

NACIONĀLAIS  
ATTĪSTĪBAS  
PLĀNS 2020



EIROPAS SAVIENĪBA  
EIROPA INVESTĒ LAUKU APVIDOS  
Eiropas Lauksaimniecības fonds  
lauku attīstībai

Atbalsta Zemkopības ministrija un Lauku atbalsta dienests

Eiropas Savienības Eiropas Lauksaimniecības fonda lauku attīstībai (ELFLA) Latvijas Lauku attīstības programmas 2014.–2020. gadam pasākuma "Sadarbība" 16.2. apakšpasākums „Atbalsts jaunu produktu, metožu, procesu un tehnoloģiju izstrādei”

## Projekta

# Siltumenerģijas efektivitātes uzlabošanas tehnoloģijas izstrāde segto platību veģetācijas perioda pagarināšanai

(LAD projekta Nr. 17-00-A01620-000013)

## KOPSAVILKUMS - ATSKAITE

Projekta vadošais partneris, informācijas sagatavotājs:  
Latvijas Lauksaimniecības universitāte

Projekta sadarbības partneri:  
Latvijas Universitāte  
Rītausma, SIA  
Baltic Open Solution Center, SIA  
Aivara Pundura Konsultāciju Centrs, SIA

Jelgava, 2020

## Saturs

Informācijas sagatavotājs.....	4
Projekta koordinators un tā kontaktinformācija.....	4
Sadarbības partneri un to kontaktinformācija .....	4
Projekta īstenošanas periods .....	4
Kopējās projekta izmaksas .....	4
Projekta pamatjēdziens.....	4
Projekta mērķis .....	5
Projekta apraksts .....	5
1. Segto platību kultūraugu audzēšanas nepieciešamie siltuma režīmi atbilstoši Latvijas klimata apstākļiem .....	6
Definētie kultūraugu audzēšanas nepieciešamie siltuma režīmi. ....	6
Biomases žāvēšanas temperatūras, gaisa plūsmas, relatīvā mitruma režīmu pamatojums .....	8
2. Temperatūras mērījumu un datu savākšanas un apstrādes sistēma .....	9
2.1. Temperatūras mērījumu sistēmas.....	9
3. Siltuma enerģētiskā nodrošinājuma siltumnīcās tehnoloģiju analīze.....	12
Temperatūras režīms siltumnīcā .....	12
Āra temperatūra .....	14
Saules intensitāte .....	15
Siltuma nesēju salīdzinājums un analīze .....	15
Akmeņogles .....	15
Kūdra .....	15
Dabasgāze .....	16
Koksne .....	16
Elektroenerģija.....	17
4. Apsildes tehnoloģiju analīze .....	19
Gāzes centrālpakure .....	19
Biomases centrālpakure .....	19
Gāzes koģenerācija .....	20
Biomases koģenerācija .....	20
Siltumsūkņi.....	20
Saules enerģija .....	20
Enerģijas akumulators (elektrības cenu svārstību periodam) .....	21
5. Testa siltumnīcās apsildes tehnoloģijas izstrāde .....	21
Siltumsūkņa darbības algoritms.....	21

Siltuma sūkņa aprīkojuma tehnoloģiskā un konstrukcijas shēma.....	21
Siltumsūkņu izvietojums testa siltumnīcā .....	22
6. Testa siltumnīcas projekta izstrāde .....	22
7. Eksperimentālie izmēģinājumi testa siltumnīcas modeļa apstākļos.....	26
Temperatūru režīma nodrošinājums siltumnīcā ar siltumsūkni .....	26
Augu attīstības dinamika.....	35
Biomاسas (tomātu) žāvēšanas eksperimentālie pētījumi .....	39
8. Eksperimentālo izmēģinājumu testa siltumnīcas modeļa apstākļos rezultāti.....	40
9. Projekta rezultātu novērtējums un rekomendācijas .....	43
10. Secinājumi .....	46
11. Projekta publicitāte .....	46
12. Atskaites par komandējumiem.....	46
Pielikumi.....	48

## Informācijas sagatavotājs

Latvijas Lauksaimniecības universitāte

### Projekta koordinators un tā kontaktinformācija

Latvijas Lauksaimniecības universitāte, Aivars Jermušs

Tālrunis: +371 26161767;

E-pasts: aivars.jermuss@llu.lv

Adrese: Lielā iela 2, Jelgava, LV-3001



### Sadarbības partneri un to kontaktinformācija

**Latvijas Universitāte, Agris Auce**

Tālrunis: +371 29242066

E-pasts: a@aa.lv

Adrese: Raiņa bulvāris 19, Rīga., LV-1586

**Rītausma SIA, Mareks Drozdovs**

Tālrunis: +371 20248411

E-pasts: mareks.drozdovs@ritausma.lv

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

**Baltic Open Solution Center SIA, Kaspars Skalbergs**

Tālrunis: +371 67240042

E-pasts: bosc@bosc.lv

Adrese: Ainažu 13., Saulkrasti., LV-2160

**A.Pundura Konsultāciju Centrs SIA, Aivars Pundurs**

Tālrunis: +371 29423252

E-pasts: aivars.pundurs@apkc.lv

Adrese: Lielpriedes iela 12.-1., Babītes pagasts, Babītes novads, LV 2107

### Projekta īstenošanas periods

2017. gada novembris - 2020. gada oktobris

### Kopējās projekta izmaksas

Kopējās projekta izmaksas ir 100 000 EUR

### Projekta pamatjēdziens

Projekta pamatjēdziens ir noskaidrot gaiss-gaiss tipa siltumsūkņu piemērotību segto platību apsildei.

## Projekta mērķis

Samazināt siltumnīcās audzētās produkcijas pašizmaksu, izmantojot ilgtspējīgas siltumapgādes tehnoloģijas, paplašinot šo tehnoloģijas izmantošanu vasaras periodā (siltajā gada laikā). Pagarināt augu aktīvo veģetācijas periodu un aizsargāt augus no nelabvēlīgas ārējās vides iedarbības.

## Projekta apraksts

Siltumnīcas tiek izmantotas, lai nodrošinātu labvēlīgākus augšanas apstākļus un pagarinātu augu aktīvo veģetācijas periodu, aizsargātu augus no nelabvēlīgas ārējās vides iedarbības – kā, piemēram, zemas temperatūras periodiem. Pašreiz siltumnīcu apkurei Latvijā pārsvarā izmanto dabas gāzi, cieta un šķidro kurināmo. Siltumenerģijas patēriņš siltumnīcās pie esošas tehnoloģijas ir liels, un siltuma enerģijas apgādes pilnveidošana un tā samazināšana dos lielu ekonomisko efektu un ļaus samazināt produkcijas pašizmaksu.

Siltumsūkņu izmantošana nodrošina enerģētiski efektīvu un ekoloģiski tīru apkuri, bet siltumsūkņu efektivitāte strauji krītas, palielinoties temperatūru diferencei starp enerģijas avota temperatūru un uzsildītās darba vielas temperatūru. Piemēram, lai Latvijas apstākļos nodrošinātu dzīvojamo telpu apsildi, ziemas apstākļos ir jānodrošina temperatūru diference starp āra un iekštelpu līdz pat 40-50°C, kas prasa ievērojamus kapitālieguldījumus, lai iegūtu un izmantotu siltuma avotu, kurš ir ar aptuveni 0 - 4°C temperatūrā (ūdens vai zemes siltums) un tādejādi temperatūras diference samazinās līdz apmēram 20°C.

Siltumnīcu apsildē siltuma režīma prasības ir daudz zemākas – augu aktīvā augšanas temperatūra ir 13-22°C, un papildus, atkarībā no audzējamās kultūras ir jānodrošina, lai minimālā temperatūra nesamazinātos zem 10°C.

Ja siltumnīcu neizmanto visu gadu, bet tikai lai pagarinātu augu veģetācijas sezonu par dažiem mēnešiem pavasarī un rudenī, tad siltumnīcu apsildē ir jānodrošina temperatūru diference, kas ir aptuveni 10-15°C, bet, izmantojot siltuma akumulatorus, pat vēl mazāka. Šādai siltumnīcai ir iespējams izveidot siltumapgādes sistēmu, kura kā siltumsūkņa siltuma avotu izmanto āra gaisu, jo temperatūru starpība starp uzturamo temperatūru un darba vielas temperatūru ir neliela, kas nodrošina augstu siltumsūkņa enerģijas efektivitāti un dod iespēju izbūvēt siltumnīcas siltuma apgādi ar nelieliem kapitālieguldījumiem, kas ir ievērojami mazāki nekā citu apkures sistēmu izveides kapitālieguldījumi. Veidojot gaiss-gaiss tipa apsildes sistēmu siltumnīcai ir svarīgi nodrošināt vienmērīgu siltuma sadalījumu visā siltumnīcā, kam vajadzīgi 3D temperatūras lauka pētījumi, lai nodrošinātu vajadzīgos siltumnīcas siltuma režīma parametrus. Siltumsūkņi darbojoties rada darba vielu ar divām lietojamām temperatūrām: augstāku un zemāku temperatūru par ārējās darba vielas temperatūru. Lai optimizētu enerģijas un kapitālieguldījumu patēriņu projekta ietvaros paredzēts izstrādāt tehnoloģiju, kura vasarā ļaus izmantot siltumsūkni biomasas žāvēšanai, kā arī siltumsūkņa radīto aukstumu dārzu un pārtikas ražošanas tehnoloģiskajiem procesiem. Šāda tehnoloģija ievērojami samazinās energoietilpību un izmaksas lauksaimniecības un mežsaimniecības ražošanas ķēdēs.

Projektā gūtos rezultātus praksē, izmantojot siltumsūkņa radīto siltumu, varēs uzlabot ekonomiskos rādītājus segto platību saimniecības, sausu bioloģiskas izcelsmes produktu ražotāji, mežsaimniecības un pārtikas pārstrādātāji, jo izstrādātās siltumapgādes tehnoloģijas izmantošana ļaus samazināt saražotās produkcijas pašizmaksu par 12-17% un SEG samazināt salīdzinot ar cieta kurināmo par 70%. Izmantojot siltumsūkņus to maksimālā lietderības režīmā, iegūtās siltumenerģijas izmaksas būtiski samazināsies, kas nodrošinās segto platību ražotās produkcijas konkurētspēju vietējos tirgos. Izmantojot siltumsūkņa radīto siltumu vasaras periodā biomasas žāvēšanai ievērojami uzlabosies atdeve uz kapitālieguldījumiem un papildus tiks izveidots energoefektīvs biomasas žāvēšanas veids - gan mežsaimniecībā, gan pārtikas rūpniecībā un lauksaimniecībā.

# 1. Segto platību kultūraugu audzēšanas nepieciešamie siltuma režīmi atbilstoši Latvijas klimata apstākļiem

## Definētie kultūraugu audzēšanas nepieciešamie siltuma režīmi.

Tomātu audzēšanai ir nepieciešams noteikts temperatūru režīms, kas ir atšķirīgs dažādās tomātu attīstības stadijās. Kā piemēru tam var aplūkot zemāk esošo tabulu 1.1., kurā uzrādītas optimālās audzēšanas temperatūras, dažādās tā attīstības stadijās.

Tabula 1.1.

	Augu attīstības fāze		Ziedēšana un nogatavošanās fāze	
	Diena	Nakts	Diena	Nakts
T <sub>opt</sub> °C	20-25	12-15	20-28	15-18
T <sub>min</sub> °C	12	10	15	15
T <sub>max</sub> °C	30	-	30	30

Tabulā 1.1. apkopoti vairāku literatūras avotu dati, kas parāda salīdzinoši lielu temperatūru svārstību amplitūdu. Tas izskaidrojams ar to, ka tomātu augšanai un attīstībai nepieciešams noteikts ārējo apstākļu komplekss: siltums, gaisma, mitrums un barības vielas. Visi šie apstākļi jeb faktori uz tomātiem iedarbojas sarežģītā mijiedarbībā, kā arī savā starpā. Dažādās augu attīstības fāzēs tomātu prasības ir atšķirīgas (Dzērve, Taranovs, 1986). Tomāti ir siltuma prasīgi augi, un tiem ir nepieciešams daudz siltuma. Zemā temperatūrā tie slikti aug un attīstās. Tomāti cieš arī no pārāk augstas temperatūras.

Latvijā ir apmēram 60 dienu ar optimālu gaisa temperatūru gadā. (Dzērve, Taranovs, 1986) Praksē izplatītā dēstu norūdīšana, pazeminot temperatūru pirms dēstu izstādīšanas, paaugstina augu aukstumizturību. Jaunāki dēsti vieglāk piemērojas bargajiem apstākļiem, un paaugstinās to aukstumizturību. Šādiem augiem ātrāk nogatavojas augļi, un paaugstinās ražība. (Dzērve, Taranovs, 1986)

Audzējot tomātu dēstus 10-12°C temperatūrā, 45-50 dienu laikā tiem izveidojās 6-7 lapas, bet nebija neviena ziedpumpura. Citiem tomātu augiem, kuri bija auguši tikpat ilgi 20-25°C, izveidojās normālo attīstīti ziedi (Dzērve, Taranovs, 1986). Savukārt Baumane (Baumane, 1975) raksta, ka 10-14 dienas pirms ziedu izveidošanās un 1-2 dienas pirms ziedu izplaušanas temperatūras režīmam nevajadzētu pārsniegt 16 – 17°C, bet ziedēšanas laikā tai jābūt 17 – 18°C. Kad pirmajā ķekarā augļi ir aizmetušies un sāk jau nobriest, temperatūru pakāpeniski paaugstina.

Daudzu izmēģinājumu dati rāda, ka optimālā temperatūra tomātu augšanai ir 20-25°C dienā un 12-15°C naktī. Augi iet bojā zem 0°C un virs 35°C temperatūras. Palielinot ogļskābās gāzes daudzumu gaisā, asimilācijas optimums novērojams arī augstākā gaisa temperatūrā. Novērojumi liecina, ka par 15°C zemākā temperatūrā aizkavējas ziedēšana, bet par 10°C zemākā temperatūrā augi pārstāj augt. (Dzērve, Taranovs, 1986).

Kritiskās gaisa temperatūras robežas siltumnīcās:

- Maksimālā temperatūra + 35°C ne ilgāk par 5 stundām pēc kārtas;
- minimālā (+10°C) ne ilgāk kā vienu dienu;
- Virs +28°C ziedu putekšņi kļūst sterili;
- Virs +32°C ziedputekšņi nedīgst;
- Virs +30°C tiek traucēta spēja veidot partenokarpus augļus.

Turklāt ļoti liela nozīme ir gaisa temperatūras svārstībām diennakts laikā. Jo mazāka temperatūras starpība starp dienu un nakti, jo tomāti aug un attīstās ģeneratīvi. Taču, jo augstāka

gaisa temperatūra ir dienā un zemāka naktī, tas ir lielāka gaisa temperatūras svārstības, jo augi vairāk attīstās veģetatīvās augu daļas, bet samazinās ziedu veidošanās<sup>1</sup>.

Pieļaujamās svārstību robežas:

- starp dienu un nakti 10...12°C;
- starp augsni un gaisu 1...3°C.

Temperatūras svārstību rezultāta plaisā augļi, nobirst ziedi.

Ilgstoša temperatūras pazemināšana 0-10°C robežās negatīvi ietekmē augu augšanu un attīstību – tiek traucēta fizioloģiskā darbība. Ārēji tas izpaužas tādejādi, ka lapas sākumā kļūst zilgas, bet vēlāk dzeltenas un atmirst, izraisot visa auga bojāeju. (Dzērve, Taranovs, 1986)

Sevišķi svarīga nozīme temperatūras režīmam ir augu ziedēšanas un augļu veidošanās laikā. Par 15°C zemāka un 30°C augstāka temperatūra ir kritiska apaugļošanās procesam. Šādās temperatūrās pārtraucas dzimumšūnu savstarpējās asimilācijas process, apaugļošanās, augļa aizmetņu un augļu attīstība, un aizkavējas augļu attīstība. (Dzērve, Taranovs, 1986)

Tomātu ziedēšanas laikā naktī uztur 15-18°C, bet dienā atkarībā no gaismas apstākļiem – 20-28°C temperatūru. (Dzērve, Taranovs, 1986) Ziemas mēnešos, ja ir saulains laiks, temperatūru uztur ap 18-20°C, bet, ja ir apmācies, tad labāk nepārsniegt dienā 17-18°C un naktī 13-14°C. Sākot ar februāra vidu vai otro pusi, temperatūra saulainā laikā var svārstīties 20 - 22°C robežās, apmākušās dienās – ap 18°C, bet naktīs 14-16°C. Martā un aprīlī, kā arī turpmākajos mēnešos, kad ir intensīvs apgaismojums, temperatūrai ir jābūt augstākai: dienā saulainā laikā 22- 25°C, apmākušās dienās – ap 18-20°C, naktīs 15- 17°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 (Baumane, 1975).

Lai samazinātu elpošanas intensitāti un tātad arī zudumus enerģētiskajos procesos augā, naktīs vēlams pazemināt temperatūru līdz 12-15°C. (Dzērve, Taranovs, 1986)

Dienā dažādā apgaismojumā asimilācijas intensitāte attiecīgi mainās. Piemēram, mākoņainā laikā asimilācija augos noris mazāk intensīvi nekā saulainā laikā, tāpēc arī mākoņainā laikā temperatūra pēc iespējas jāpazemina līdz 15-17°C. (Dzērve, Taranovs, 1986)

Jāievēro, ka pārāk zema nakts temperatūra (zem 15°C) tomātiem, it sevišķi apziedēšanās un ražošanas periodā tomātiem nav vēlama, jo tad kavējas augļu ienākšanās, augļi kļūst dzelteni raibi un tiem pasliktinās garša. Zemo nakts temperatūru ietekmē kavējas augu galotnes augšana, jo asimilācijas produkti, kas pārsvarā uzkrājas augu augšējās lapās, zemās temperatūrās netiek pietiekami patērēti (Baumane, 1975).

#### **Izmantotā literatūra**

1. Baumane M. Dārzenkopības II daļa, Zvaigzne. 1975.236 lpp.
2. Dzērve K., Taranovs V. Tomātu audzēšana. Rīga Avots. 1986. 109. lpp
3. Tomato Growing (<http://www.tomatogrowing.co.uk/tomato-growing-temperatures>) (piekļuve saitei veikta 15.05.2018)
4. Tomato seeding and seedling cultivation <http://www.durpeta.lt/en/pomidoru-seja-ir-daigu-auginimas/>
5. Growing Temperatures for Tomatoes <http://www.allotment-garden.org/vegetable/how-to-grow-your-own-tomatoes/ideal-temperatures-for-growing-tomatoes/>
6. The Effect of Extreme Temperatures on the Tomato and Pepper Crop. Janice LeBoeuf [http://www.omafra.gov.on.ca/english/crops/facts/info\\_tomtemp.htm](http://www.omafra.gov.on.ca/english/crops/facts/info_tomtemp.htm)

<sup>1</sup> <https://greentalk.ru/topic/622/> (piekļuve saitei veikta 26.02.2020)

7. Tomato Temperature Tolerance: Best Growing Temp For Tomatoes By Amy Grant. <https://www.gardeningknowhow.com/edible/vegetables/tomato/growin>
8. Lu Aye, R.J. Fuller, A. Canal. Evaluation of a pump system for greenhouse heating. International Journal of Thermal Sciences. 49 (2010) 02–208
9. Y. Tong, T. Kozai, N. Nishioka, K. Ohyama. Greenhouse heating using heating pumps with a high coefficient of performance (COP). Biosystems engineering 106 (2010) 405 -411.

### **Biomasaš žāvēšanas temperatūras, gaisa plūsmas, relatīvā mitruma režīmu pamatojums**

Literatūrā ir aprakstīti daudzi tomātu žāvēšanas paņēmieni, no kuriem lielākā daļa ir balstīta uz vienu metodi vai metožu kombināciju, lai ražotu apsildāma gaisa plūsmu produktu žāvēšanai [1].

Dažādos pētījumos tika pārbaudīta žāvēšana gaisa temperatūrā no 42 līdz 90°C. Konstatēts, ka zemākas žāvēšanas gaisa temperatūras rezultātā tiek iegūti augstākās kvalitātes produkti, savukārt augstāka temperatūra ievērojami samazina žāvēšanas laiku. Apkopojot literatūras pētījumus, var teikt, ka 60°C ir, pieņemams līdzsvars starp produkta kvalitāti (t.i., garšas, smaržas, krāsas un struktūras) un patērēto laiku žāvēšanas procesam, kas nepieciešams žāvētas produkcijas iegūšanai. Augstākas kvalitātes un cenas produkti parasti tiek iegūti pie zemākām gaisa temperatūrām. [2]

Priekšizpētes pētījums tika veikts ar mājsaimniecības augļu žāvētāju ar piespiedu gaisa cirkulāciju. Tika pētīta tomātu žāvēšanas dinamika temperatūras diapazonā no 40 C līdz 65°C, lai gaisa – gaisa tipa siltumsūkni pielāgotu izplūdes karstā gaisa temperatūrai. Tika izmantoti sadarbības partnera SIA Rītausma siltumnīcā audzēto tomātu paraugi. Gaisa cirkulācija un mitrums netika mērīts. Žāvēšanas dinamika tika pētīta Admiro un Roma tomātu šķirnēm dažādos gatavības posmos un ar dažādu augļu izmēru. Tika pārbaudīta arī tomāta šķēles lieluma (1/6 un 1/8) ietekme. Tika uzskaitīts žāvēšanas laiks, kas vajadzīgs, lai sasniegtu tomāta masas mitrumu 10 %.

Pētījumā tika konstatēts, ka tomātus var veiksmīgi izžāvēt pat 40°C temperatūrā, un tiem netika konstatētas bojāšanās pazīmes. Temperatūras paaugstināšana no 40°C līdz 60°C samazināja žāvēšanas laiku par 50 %, tas ir no 20 h tomātus kaltējot 40°C temperatūrā, līdz 10 h paaugstinot žāvēšanas temperatūru līdz 60°C. Turpmākais žāvēšanas laika samazinājums tika panākts, izvēloties iegarenas tomātu šķirnes un plānākas šķēles. Tomātu gatavības pakāpes ietekme uz žāvēšanas laiku netika novērota. Tika konstatēts, ka karstā gaisa temperatūra no gaisa-gaisa tipa siltumsūkņa ir pietiekama efektīva tomātu žāvēšanai rūpnieciskajā ražošanā.

Turpmākajos pētījumos tika konstatēts, ka tomātus var veiksmīgi žāvēt, nesabojājot, 40°C zemā temperatūrā ar žāvēšanas periodiskumu - 6 stundas. Zemākas temperatūras un īsāki žāvēšanas periodi ietekmē žāvēšanas ilgumu, pagarinot to, līdz trīs dienām (kas definēts kā laiks, kas vajadzīgs, lai svaigā tomātu masa sasniegtu 10% mitrumu). Zemākajā temperatūrā žāvētiem tomātiem tika konstatētas krāsas izmaiņas, jeb tumšošanās, kas produkcijas garšu vai smaržu neietekmēja.

#### **Atsauces:**

[1] Izli, N., & Isik, E. (2015). Colour and microstructure properties of tomatoes dried by microwave, convective, and microwave-convective methods. International Journal of Food Properties, 18(2), 241-249.

[2] Cernishev, S. (2010). Effects of conventional and multistage drying processing on non-enzymatic browning in tomato. Journal of Food Engineering, 96(1), 114-118.



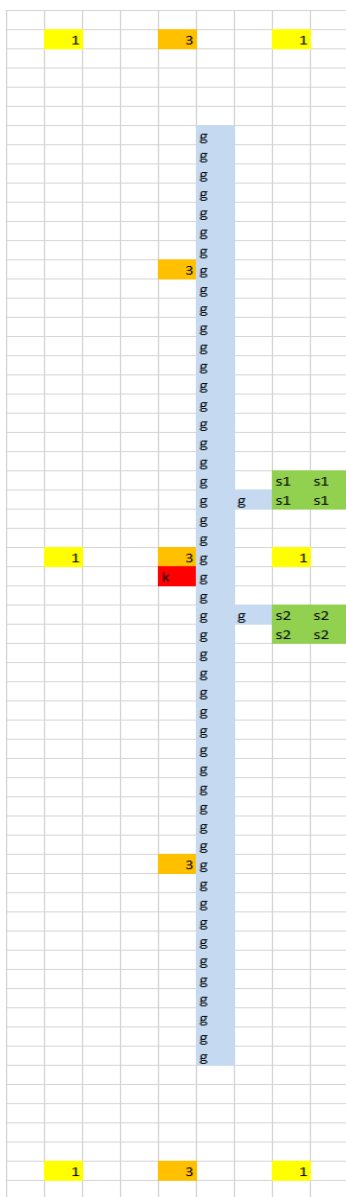
## 2. Temperatūras mērījumu un datu savākšanas un apstrādes sistēma

Temperatūras mērījumu un datu savākšanas un apstrādes sistēmas izstrāde siltumnīcas iekšējās temperatūras 3D lauka mērījumiem un ārējās temperatūras mērījumiem.

Izstrādāta 3D temperatūras lauka temperatūras mērīšanas un datu savākšanas un apstrādes sistēma.

### 2.1. Temperatūras mērījumu sistēmas

Temperatūras mērījumu sistēmas izvietojuma un montāžas apraksts.



2.1.att. Testa siltumnīcas temperatūras mērījumu sistēmas montāžas apraksts.

Sensori eksperimentālā siltumnīcā:

- 3 trīs sensori dažādā augstumā: virs zemes, vidus līmenis, augša;
- 1 viens sensors vidējā augstumā;

Kontroles sensori:

- 1 sensors lielajā siltumnīcā - blakus pašas siltumnīcas sensoram (kalibrēšanai);
- 3 3 sensori pa vertikāli - kādā vietā lielāk siltumnīcā, kas ir līdzīga mūsu vietas novietojumam (varbūt blakus?);
- 3 trīs sensori dažādās vietās lielā siltumnīcā vienā līmenī - vidus līmenī - arī redzēt T stabilitāti lielā siltumnīcā.

Āra gaisa temperatūra:

- 1 āra gaiss netālu no mūsu siltumnīcas, aizsargāts no saules.

Siltumsūkņi:

- 2 darba viela 2 sensori - izejot no kondensatora un izejot no iztvaikotāja;
- 3 izplūstošais gaiss;
- 1 izplūstošais gaiss sadales caurules galā.

Temperatūras devēji ir jāaizsargā no tiešiem saules stariem:

- 6 gaisa izdales sistēma - plānots, ka tā varētu būt viegli caurlaidīga auduma "zeķe", garums, izmēri un materiāls vēl jāprecizē;  
pirmos testus varētu veikt bez gaisa vadiem, lai redzētu, cik vienmērīgu temperatūras lauku dod siltumsūkņi, bez papildu ierīcēm;

- §1 Siltumsūknis nr. 1;
- §2 Siltumsūknis nr. 2.

Gaisa sūkņi:

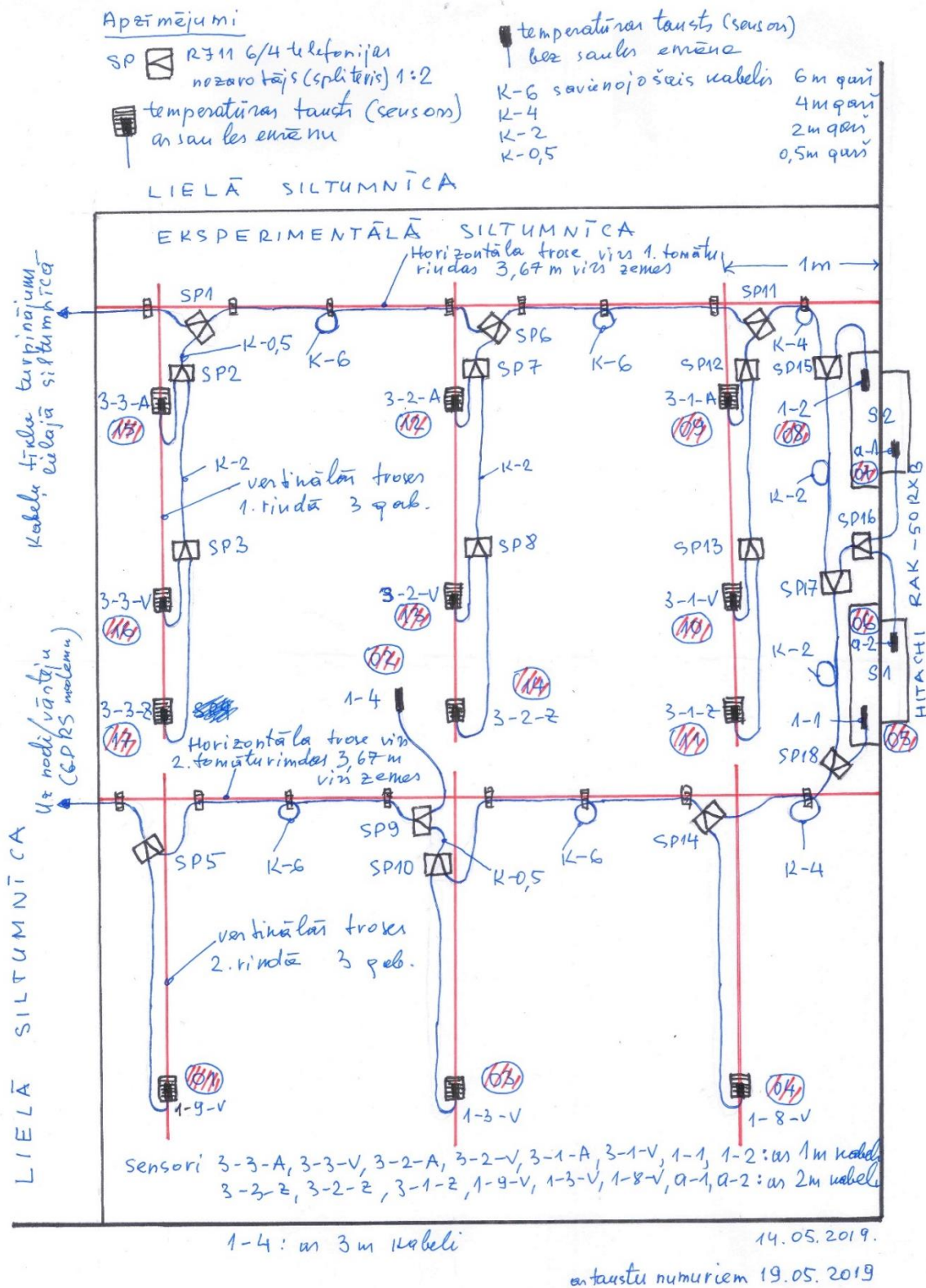
gala variants varētu būt 2 siltumsūkņi, katrs ar 5-6 kW jaudu, salīdzinoši vienkārši siltumsūkņi, kuri ir nevis "on-off", bet ar pastāvīgu darbību, kas maina jaudu atkarībā no vajadzīgās telpās temperatūras; par žāvēšanu mēs pēc tam skatīsimies, kādu gaisu reāli dod ārā siltais gais, situācijā, kad ir, jādzesē siltumnīca.

Gaisa sadales sistēma siltumnīcā:

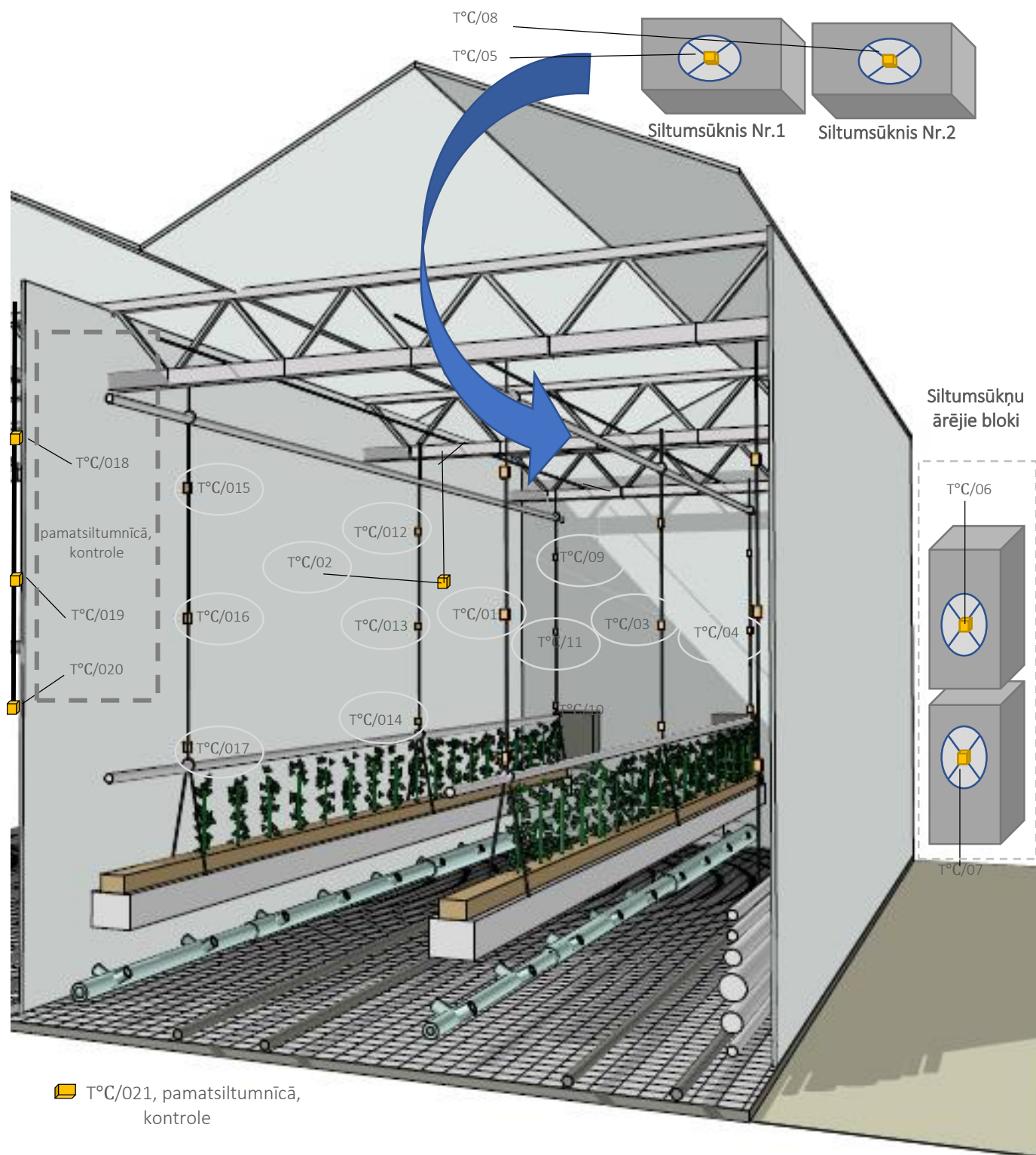
- k vieta, kur atradīsies siltumsūkņa kontroles sensors siltumnīcā - tas, kurš vada temperatūru siltumsūkņiem.

Sensoru kārtas numuri un izvietojums ir attēloti 2.2. attēla shēmā. Testa siltumnīcā tika audzētas divas tomātu rindas. Sensori ar Nr. 01; 03; 04 izvietoti vienā rindā vidējā augstuma līmenī ārējā tomātu rindā. Sensors Nr. 02 izvietots eksperimentālās siltumnīcas centrā, vidējā augstuma līmenī. Sensors Nr. 05 ir pie dzesējošā siltumsūkņa iekšējā siltummaiņa, bet Nr. 06 ir pie ārējā siltummaiņa. Sensors

Nr. 07 ir pie siltumnicu apsildošā siltumsūkņa ārējā siltummaiņa, bet Nr. 08 – pie iekšējā. Otrajā tomātu rindā izvietoti sensori Nr. 09; 12; 15 vienā rindā augšējā līmenī, Nr. 10; 13; 16 vidējā līmenī un Nr. 11; 14; 17 apakšējā līmenī. Siltumnicās izvietotajiem sensoriem uzstādīti saules ekrāni, lai novērstu tiešo saules staru ietekmi uz gaisa temperatūras mērījumiem (2.2. un 2.3. att.).



2.2.att. Testa siltumnicās temperatūras sensoru izvietojuma shēmas skice.

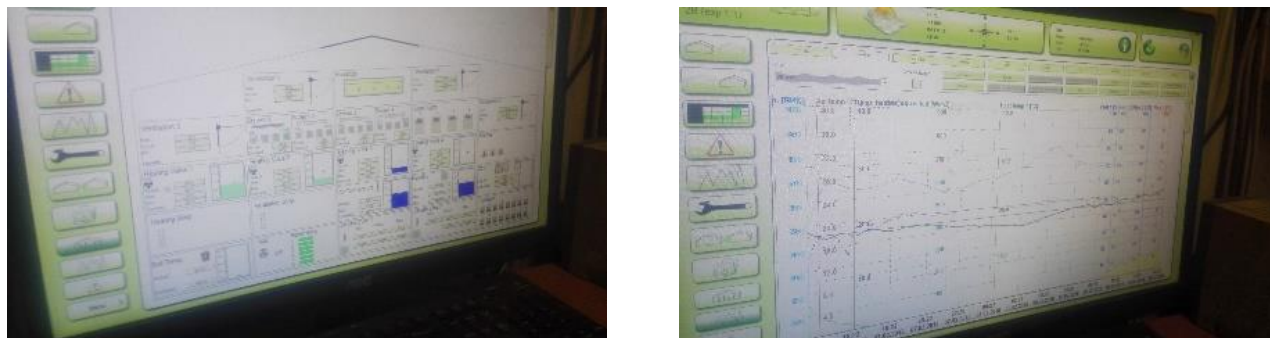


2.3.att. Testa siltumnīcas temperatūras sensoru un gaisa vadu izvietojumu skice.

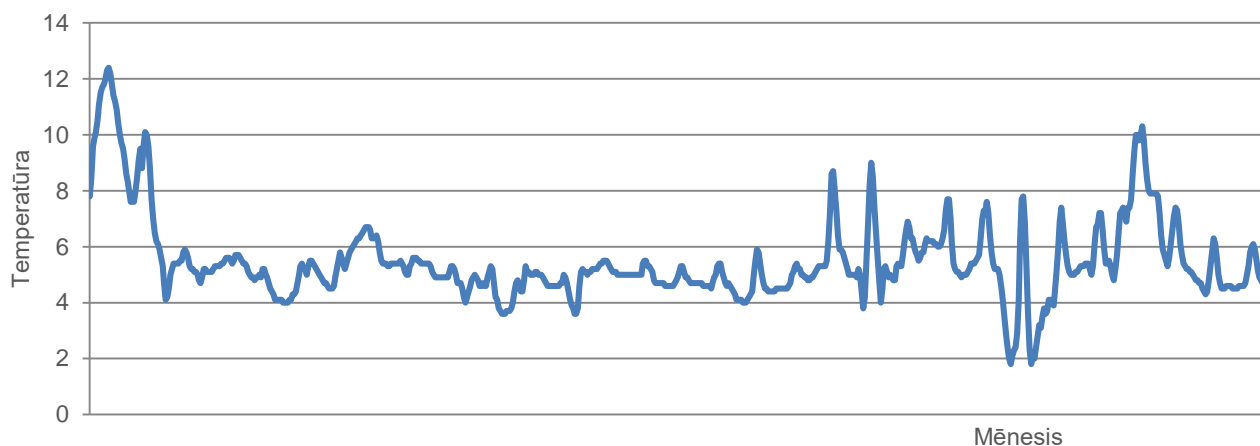
### 3. Siltuma enerģētiskā nodrošinājuma siltumnīcās tehnoloģiju analīze

#### Temperatūras režīms siltumnīcā

Attēlā 3.1 tiek aplūkots siltumnīcas "Rītausma" kurināšanas kalendārais grafiks pa temperatūras režīmiem – siltumnīcā uzturētās temperatūras visā apkures perioda garumā attēlotie dati ir iegūti no siltumnīcā esošās datorizētās temperatūras uzturēšanas sistēmas datiem.

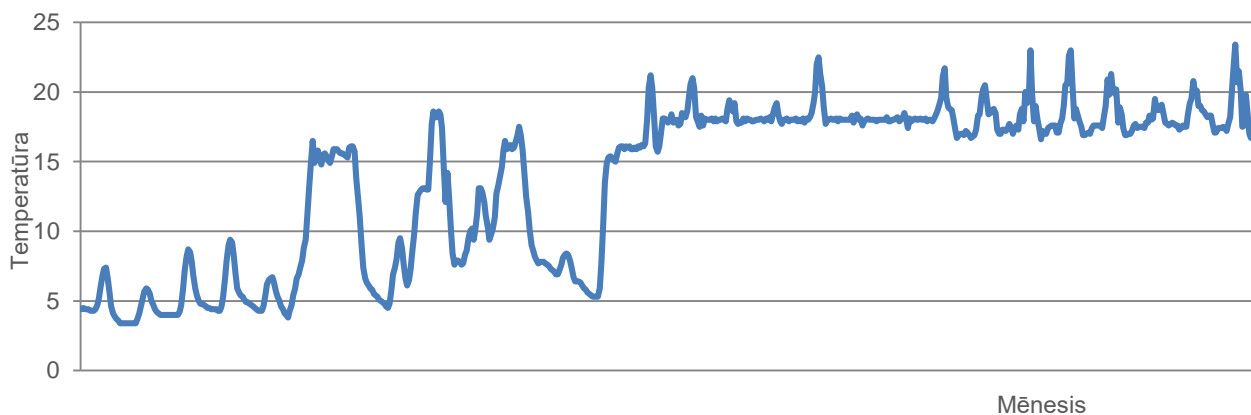


3.1. att. Siltumnīcas "Rītausma" datorizētā temperatūras uzturēšanas uzraudzības sistēma.



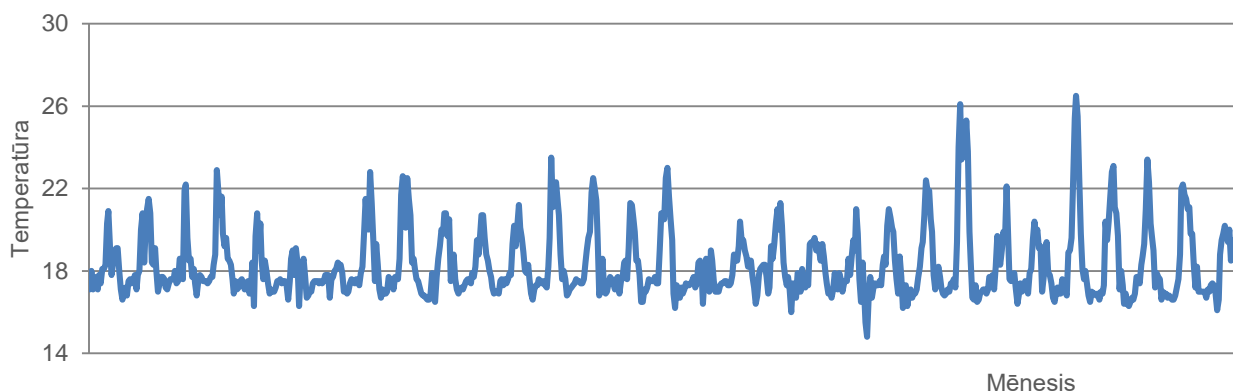
3.2. att. Siltumnīcas "Rītausma" temperatūru grafiks tomātu audzēšanai 2017. g. janvārī.

Pēc attēla 3.2. datiem var novērot, ka 2017. gada janvāra mēnesī siltumnīcā "Rītausma" netiek veikta kurināšana, taču temperatūra siltumnīcā tiek uzturēta vidēji 4 – 6°C robežās.



3.3. att. Siltumnīcas "Rītausma" temperatūru grafiks tomātu audzēšanai 2017. g. februārī.

Sākot ar 14. februāri, pēc 3.3. attēla datiem, siltumnīcā "Rītausma" tiek uzsākta kurināšana, tiek uzturēti aptuveni 18°C.



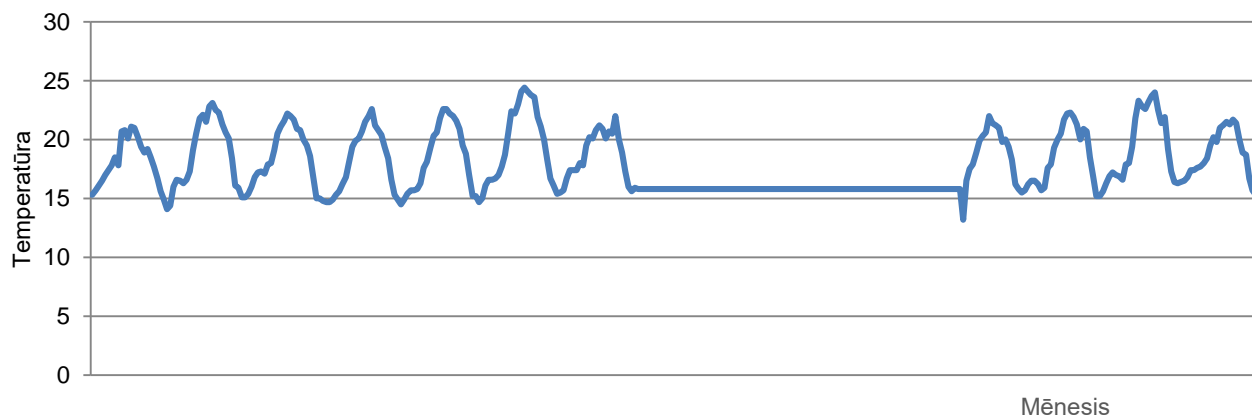
3.4. att. Siltumnīcas "Rītausma" temperatūru grafiks tomātu audzēšanai 2017. g. martā.

Visu marta mēnesi tiek veikta kurināšana, pēc attēla 3.4. datiem, tā svārstās no 17°C līdz 21°C grādam atkarība no diennakts laika, respektīvi, pa dienu tā tiek palielināta, savukārt naktī pazemināta. Dažkārt (acīmredzot saulainās dienās) temperatūra pārsniedz +25°C atzīmi.



3.5. att. Siltumnīcas "Rītausma" temperatūru grafiks tomātu audzēšanai 2017. g. Aprīlī.

Pēc siltumnīcas datorizētās temperatūras sistēmas datiem, visu aprīļa mēnesi, siltumnīca tiek uzturēta 17.3°C temperatūrā. SIA "Rītausmas" datu uzglabāšanas sistēma nav saglabājusi reālos siltumnīcas temperatūras datus, bet gan apkures sistēmas uzstādīto temperatūru, kura ir jā saglabā apkures režīmam.



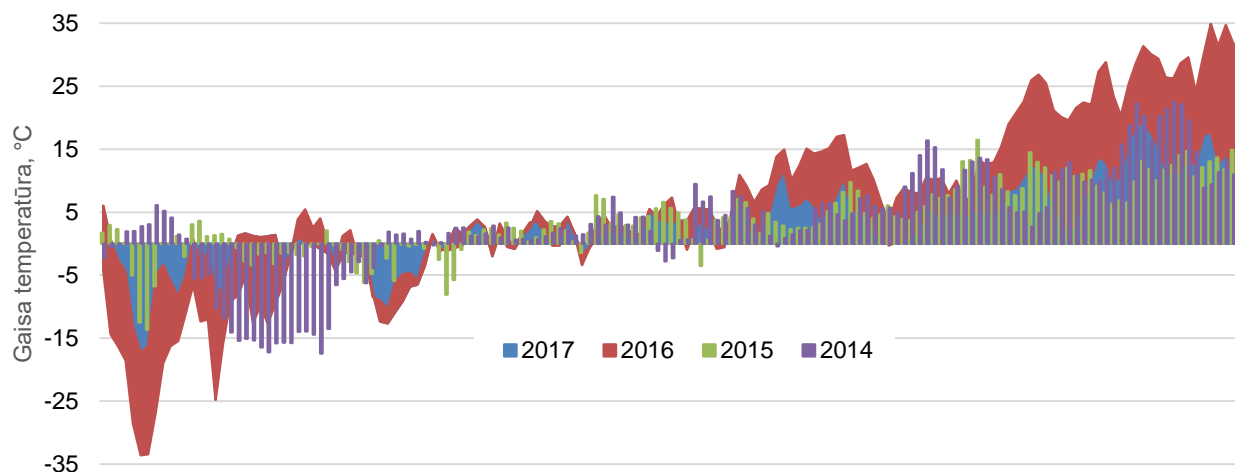
3.6. att. Siltumnīcas "Rītausma" temperatūru grafiks tomātu audzēšanai 2017. g. martā.

Attēlā 3.6. ir atspoguļota 15. mēneša diena. Maija mēnesī siltumnīcā tiek uzturēta 15°C līdz pat 25°C temperatūrā, respektīvi, tāpat kā marta mēnesī, temperatūra tiek palielināta pa dienu un

pazemināta naktīs. Līdzējā grafika periodā, līdzīgi kā attēlā 3.6. SIA "Rītausma" sistēma nav saglabājusi reālos datus siltumnīcā, bet gan apkures sistēmas uzstādījuma datus.

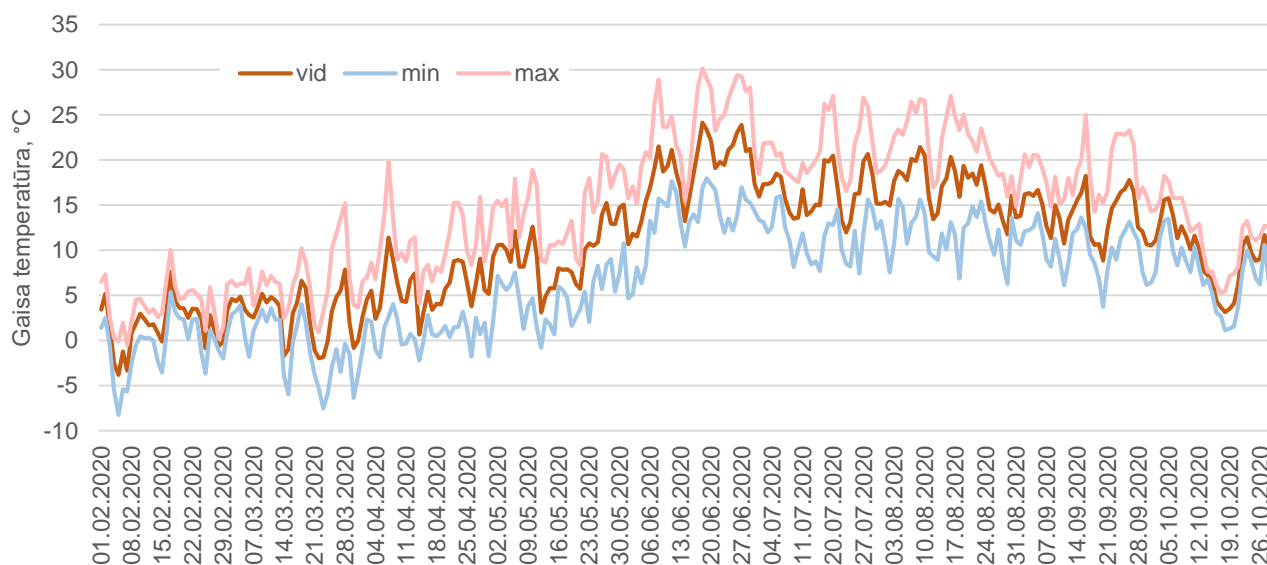
### Āra temperatūra

Attēlā 3.7. ir parādīti gaisa temperatūras dati laika periodā no 2017.g. janvāra līdz 2017. gada maijam. Gaisa temperatūras periods tiek izvēlēts attiecīgi siltumnīcas kurināmās sezonas periodam. Pēc grafikā esošās informācijas var secināt, ka katru gadu temperatūras svārstības pa mēnešiem ir atšķirīgas, piemēram 2016. gada janvārī gaisa temperatūra bija nokritusies līdz pat  $-21^{\circ}\text{C}$ , savukārt 2014. gadā, šajā pat laikā gaisa temperatūra bija aptuveni  $6^{\circ}\text{C}$ .



3.7. att. Gaisa temperatūra SIA "Rītausma" apkārtne, 2014-2017. g. janvāris – maijs.

Šāda veida anomālijas novērojamas visa perioda garumā, katrā gadā, dažādos periodos. Šādas gaisa temperatūras svārstības būtiski ietekmē arī kurināšanas apjomus, tādējādi atstājot ietekmi uz enerģijas patēriņu un apsildei vajadzīgām jaudām īsākos laika periodos.



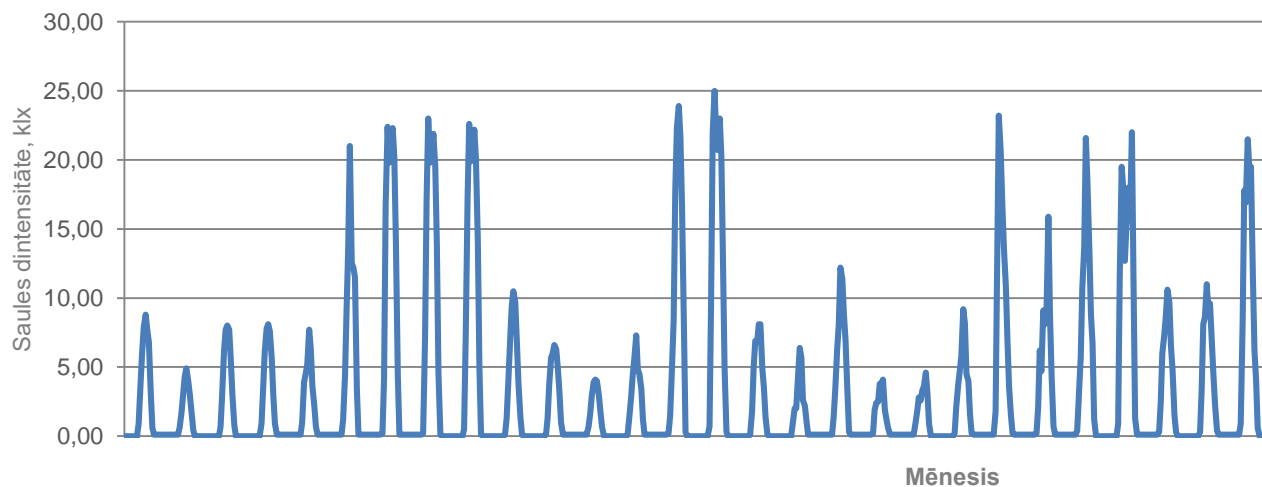
3.8 att. Vidējā, minimālā un maksimālā diennakts gaisa temperatūrā Zilānos, 2020. gadā.<sup>2</sup>

2020. gada februāra mēnesis Jēkabpils apkārtne bija vidēji  $1.6^{\circ}\text{C}$ , kas par  $6.4^{\circ}\text{C}$  siltāks par klimatisko normu (3.8. att.). Arī marta mēnesis ar vidēji  $2.9^{\circ}\text{C}$  bija par  $3.3^{\circ}\text{C}$  siltāks par ilggadīgiem vidējiem novērojumiem. Aprīļa mēnesis pēc Latvijas Vides Ģeoloģijas un Meteoroloģijas centra datiem Zilānu

<sup>2</sup> Pēc VSIA "Latvijas Vides, Ģeoloģijas un Meteoroloģijas Centrs" datiem

novērojumu stacijā bija par 0.5°C vēsāks nekā klimatiskā norma, vidēji sasniedzot tikai 5.7°C. Arī maija mēneša vidējā gaisa temperatūra 9.7°C Jēkabpils apkārtnes Zilānu stacijā bija vēsāka par 2.4°C. Vidēji 18.7°C gaisa temperatūra jūnijā bija par 3.5°C augstāka, bet jūlijā par 1.4°C zemāka par klimatisko normu, sasniedzot 16.3°C. Augustā vidējā gaisa temperatūra 17.0°C bija tuvu normai jeb augusts bija 0.6°C siltāks, nekā vidēji pēdējos 30 gados. Septembrī Jēkabpilī gaiss iesila vidēji līdz 14.1°C un tas bija 2.8°C virs klimatiskās normas. Oktobra mēnesī Jēkabpils apkārtne bija vidēji 9.5°C silts gaiss (3.8. att.).

### Saules intensitāte



3.9. att. Saules intensitāte pēc siltumnīcas “Rītausma” datiem, 2017. g marts.

Attēlā 3.9. tiek prezentēta saules intensitāte pa mēneša dienām. Grafikā var uzskatāmi redzēt dienas un nakts atšķirības, pa gaišo dienas laiku saules intensitāte palielinās līdz pat 25 klx, savukārt naktīs tas nokrīt līdz 0 klx. Tāpat var redzēt ievērojamas atšķirības starp saulainām un mākoņainām dienām. Saules intensitātes ietekmi var redzēt siltumnīcas temperatūru grafikā, kur redzams, ka pavasara periodā bieži vien temperatūra palielinās krietni virs iēplānotās normas, kam parasti cēlonis ir pēkšņs saules daudzuma pieaugums, bet esošā centrālapkures sistēmas inerce neļauj pietiekami strauji samazināt izdalīto siltuma jaudu.

### Siltuma nesēju salīdzinājums un analīze

#### Akmeņogles

Akmeņogles ir lētākais enerģijas avots, bet CO<sub>2</sub> izmešu ierobežojumu dēļ jaunu akmeņogļu jaudu veidošana nav pieļaujama. Tāpat akmeņogles ir ievērojams vides piesārņojuma avots ar nanodaļiņām un cilvēku veselībai bīstamo NO un citiem kaitīgiem elementiem. Bieži vien koksnes cena var būt nedaudz zemāka nekā akmeņogļu cena, kur tieši ar akmeņoglēm saistītās papildu izmaksas padara šo cenu dārgāku.

#### Kūdra

Dažās valstīs (Somija, Igaunija) kūdra ir enerģijas avots. Igaunijā kūdras cenas svārstās no 44-53 EUR/MWh. Kūdra kā enerģijas avots līdz 1970-iem gadiem ir izmantota arī Latvijā, šobrīd Latvijas enerģijas politika un nodokļu politika neatļauj kūdras izmantošanu enerģētikā. Latvijā ir ievērojami kūdras resursi, kuri turpina pieaugt dabiskā pieauguma ceļā. Iespējams, nākotnē, mainoties attieksmei pret kūdru un to, atzīstot par lēni atjaunojamo energoresursu, kūdra var būt kā ekonomiski izdevīgs un atjaunojams enerģijas avots, kas neveicina CO<sub>2</sub> palielinājumu, bet pašlaik Latvijā tas nav iespējams.

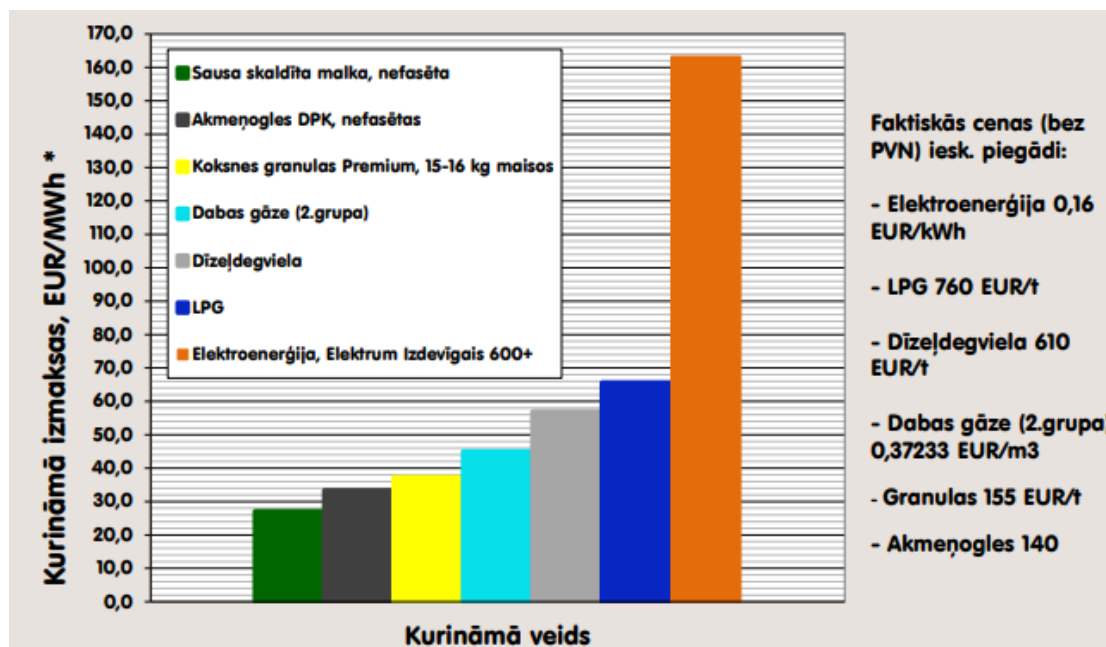
## Dabaszgāze

Dabaszgāze ir tehnoloģiski ērts kurināmais, ja ir izveidots dabaszgāzes pieslēgums. Dabaszgāzes izmantošanai ir vairākas problēmas: CO<sub>2</sub> izmeši, politiskās stabilitātes problēmas, jo pašlaik dabaszgāzes izmantošana palielina Latvijas enerģētisko atkarību no Krievijas. Dabaszgāzes cena nākotnē (vidējā termiņa nākotne 3-15 gadi): diskusija – prognozes no literatūras (lūdzu savākt dažas atsauksmes). Risks ar dabaszgāzes apgādi – krīzes situācijā (tāda pēdējos gados ir bijusi vairākās Eiropas valstīs, piemēram, Bulgārijā) mazāk svarīgiem patērētājiem dabaszgāze var tikt atslēgta. Beidzamā gada Latvijā ir bijušas diskusijas par iespējamo dabaszgāzes nepietiekamību augsta pieprasījuma apstākļos, bet konkrēti secinājumi par šī scenārija iespējamību nav izdarīti, jo viedokļi ir politizēti un atšķirīgi. Ilgtermiņa dabaszgāzes cena Latvijā varētu būt atkarīga no slānekļu gāzes iegūšanas tehnoloģijas attīstības Pasaulē, kas iespējami var samazināt dabaszgāzes cenu un dabaszgāzes alternatīvā importa iespējām Latvijā (Lietuvas terminālis un citas iespējas) Ilgāka termiņa dabaszgāzes izmantošanas cenu noteiks arī nodokļu politika par CO<sub>2</sub> izmešiem. Lielā mērā dabaszgāzes cenu ir noteikusi naftas cena pasaulē.

## Koksne

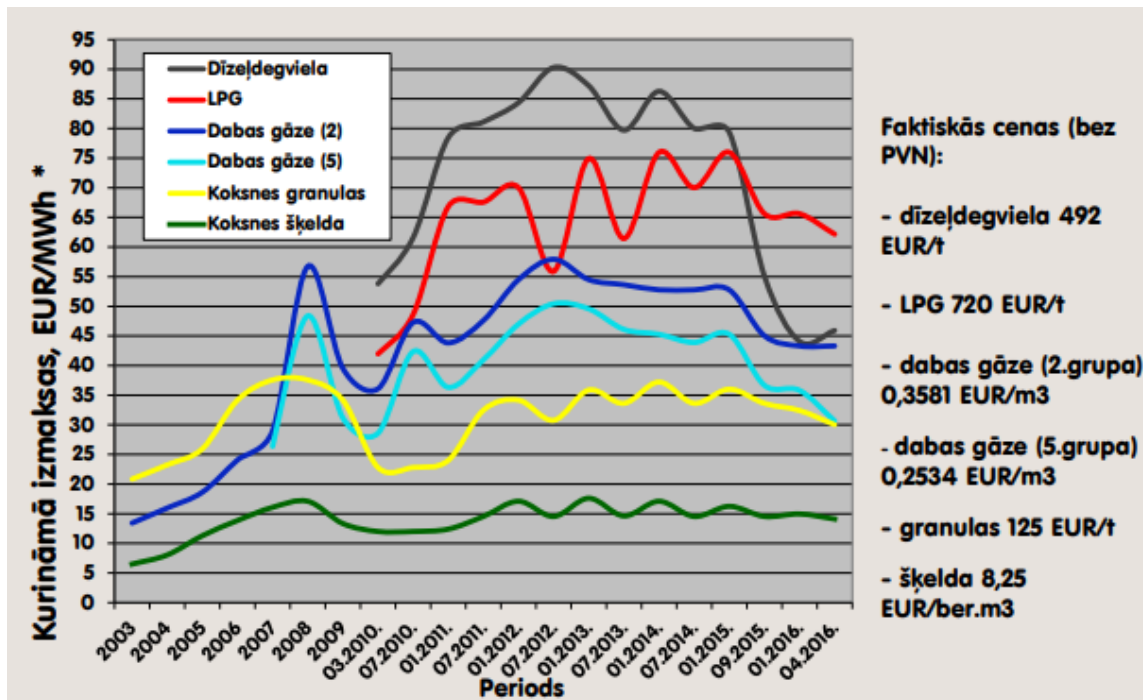
Malkas cena nav labi definēta, tā ir stipri atkarīga no vietējā piegādātāja un resursu pieejamības patēriņa vietas tuvumā. Energoietilpība, savukārt ir atkarīga no sausuma pakāpes un konkrētās koka šķirnes. Orientējošā malkas (malkas baļķi kurtuvē lietojamā izmērā) 2017- 2018. gadā ir 35-40 EUR m<sup>3</sup>; ar piegādes nosacījumiem pie patērētāja. Salīdzinoši granulu tirgus (gan briķešu, gan granulu tirgus) ir ar daudz labāk definētu cenu un produkta standartu.

Granulu tehnoloģija ir salīdzinoši jauna, un pašlaik Baltijas reģionā attīstās gan pieprasījums, gan arī ražošanas jaudas. Salīdzinoši ērtākas lietošanas dēļ, ar granulu apkures tehnoloģiju tiek nomainītas daudzas agrākās nelielas jaudas malkas apkures iekārtas. Granulu cenu Latvijā nosaka arī pieprasījums pēc granulām Pasaulē tirgū, tas šobrīd ir augošs. Tradicionāli granulas ir dārgākas nekā briķetes.



3.10. att. Kurināmo izmaksu salīdzinājums apkurei, EUR/MWh.



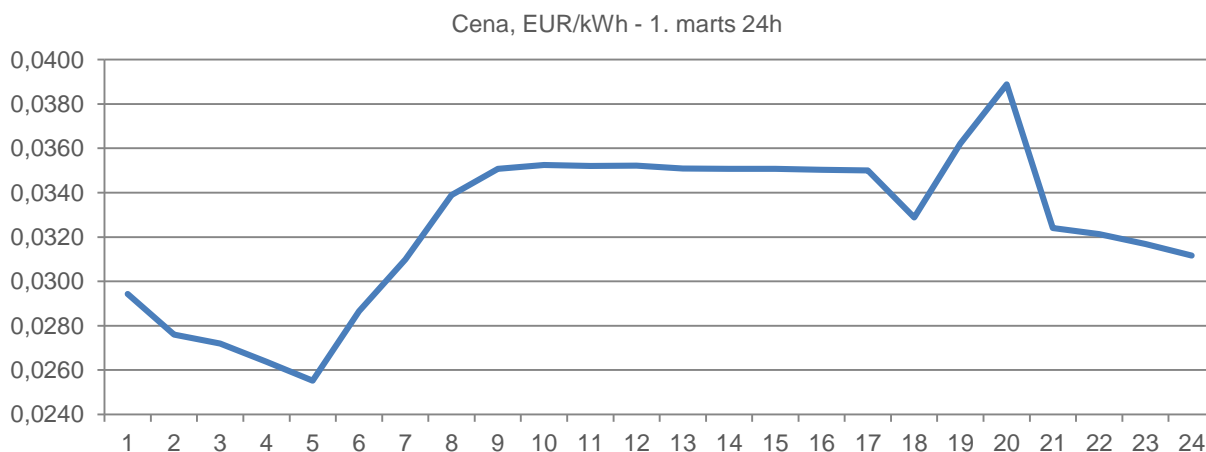


3.11. att. Kurināmo izmaksu salīdzinājums, 2003. g – 2016. g aprīlis.

Lielākie enerģijas patērētāji (kā termoelektrocentrāles, tai skaitā plānotā Rietumeiropas lielākā termoelektrocentrāle Drax (UK), izmanto sasmalcinātu koksni, tehnoloģiskā cikla dēļ.

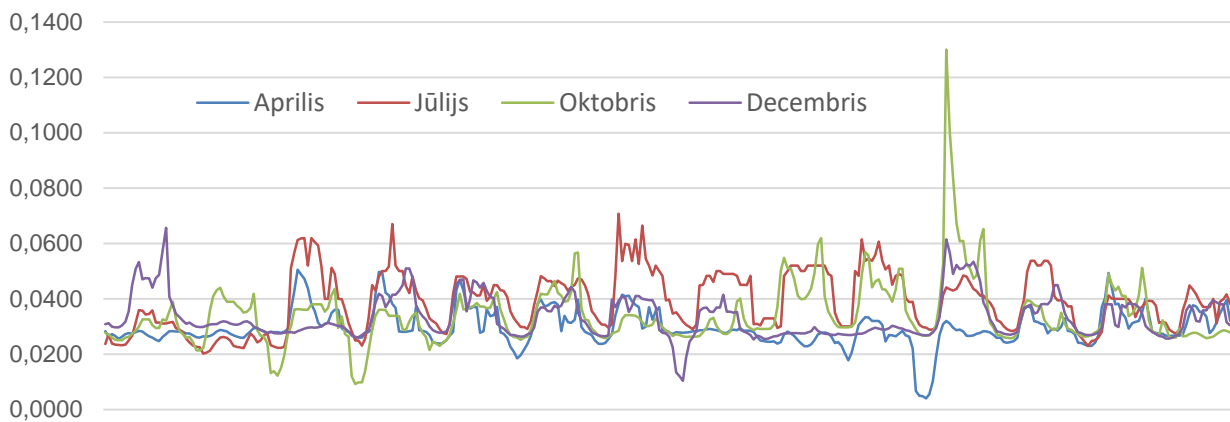
### Elektroenerģija

Dienas un nakts cenu atšķirība. Kā pēc grafika (3.12. attēls) var novērot, tad elektrības cena dienas laikā vairākkārt mainās.



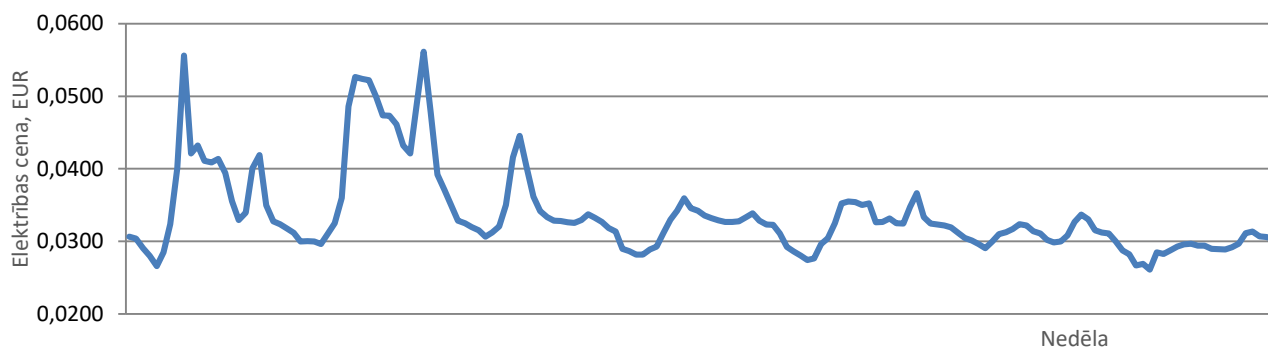
3.12. att. Elektrības cenas svārstības vienas dienas periodā, 2017. gada 1. martā.

No rīta tā palielinās, pa dienu nostabilizējas, savukārt katru vakaru tā sasniedz tā saukto "pīķa stundu" kad tiek sasniegta visaugstākā dienas cena, pa nakti cena atkal kritas un nākamajā dienā atkārti šo pašu ciklu (3.12. attēls).



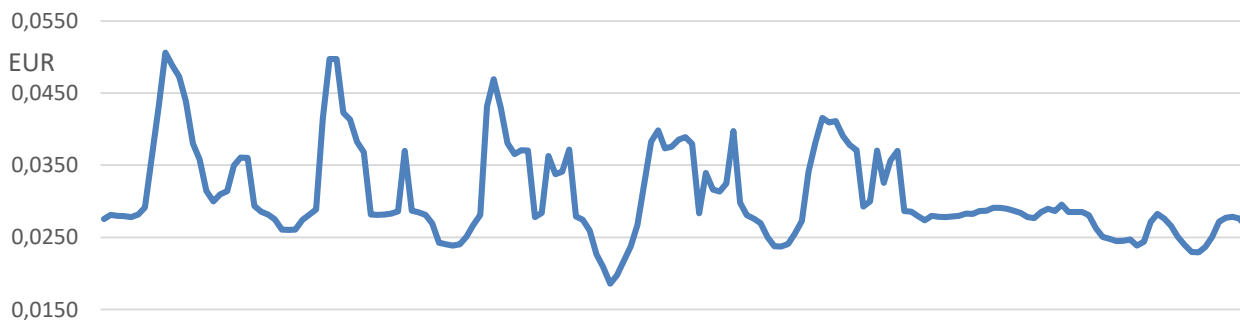
3.13. att. Elektrības cenas EUR/kWh, 2017. g. (Aprīlis, Jūlijs, Oktobris, Decembris)

Elektroenerģijas cenai Latvijā, kā to var novērot attēlā 3.13., piemīt sezonāls raksturs – apkures sezonā vairāk elektrības saražo t.s. koģenerācijā kopā ar siltumu, tādēļ tā ir lētāka. Vasarā elektrību saražojam mazāk (jo nav nepieciešams ražot siltumu) un importējam vairāk, tādēļ tā mēdz būt dārgāka. Ziemā elektrību tērējam vairāk, tādēļ šķiet, ka maksājam vairāk. Taču patiesībā vasarā elektrību tērējam mazāk, tikai tā maksā dārgāk. Augstāk esošajā grafikā atspoguļotas aprīļa, jūlija, oktobra un decembra elektrības cenas pirmajām divām nedēļām. Uzskatāmi novērojams, ka elektrības cenas aug darba dienās (līniju augstākie punkti), savukārt krīt brīvdienās (līniju zemākie punkti).



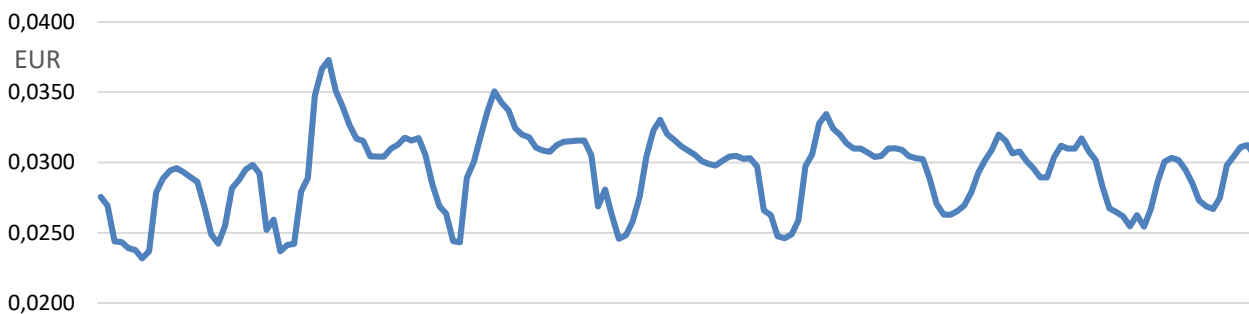
3.14. att. Elektrības cenas kWh, 2017. g. marta pirmā darba nedēļa.

Cenu atšķirība pa nedēļas dienām (3.14. att.) – grafikā atspoguļoti 2017. gada marta, pirmās darba nedēļas dati. Tā kā kopējais elektroenerģijas patēriņš energosistēmā darbadienās ir lielāks nekā brīvdienās, arī biržas cena darbadienās ir augstāka nekā brīvdienās. Grafikā (3.14. att.) redzams, ka elektrības cena būtiski krītas, tuvojoties nedēļas beigām.



3.15. att. Elektrības cenas par kWh, 2017. g. aprīļa pirmā darba nedēļa.

Attēlā 3.15. atspoguļoti 2017. gada aprīļa, pirmās darba nedēļas dati. Atšķirība no marta mēneša pirmās darba nedēļas datiem var novērot, ka katru darba dienu cenu svārstība ir samērā augsta, bet ar tendenci kristies. Arī aprīļa mēnesī var novērot to, ka brīvdienās cenas būtiski mazinās.



3.16. att. Elektriības cenas kWh, 2017. g. maija pirmā darba nedēļa.

Augstāk esošajā attēlā 3.16. tiek līdzīgā veidā atspoguļoti dati – 2017. gada maija pirmā darba nedēļa. Atšķirībā no marta un aprīļa mēnešiem, maijā cenu svārstības notiek visā nedēļas garumā, katru dienu, kā arī cenu svārstība ir savādākā amplitūdā – cenas ir zemākas nekā iepriekšējos mēnešos.

**Elektriības cenu komponenti** – biržas cena, pārvade, citi maksājumi (cenu komponentiem pievienot mērvienības)

Elektriības cenu sastāda sekojoši komponenti:

- Maksa par strāvas lielumu;
- Maksa par tirdzniecības pakalpojumu;
- Maksa par elektroenerģijas sadali;
- Maksa par obligātā iepirkuma komponenti – atjaunojamie energoresursi;
- Maksa par obligātā iepirkuma komponenti – koģenerācija;
- Jaudas obligātā iepirkuma komponente par ampēriem.

Elektriības cena reģionā (Latvijā ir atkarīga no vairākiem faktoriem). Kā svarīgākie ir jāmin: importa iespējas ar starpsavienojuma kabeļiem, Atomelektrostaciju sekmīga darbība Ziemeļvalstīs (Zviedrija un Somija), pat vienas AES apturēšana var izraisīt ievērojamu cenu kāpumu. Hidroenerģijas pieejamība – nokrišņu daudzums un ūdens caurplūde upēs var būt ar ievērojamām svārstībām gadu garumā, te var pastāvēt mums vēl nezināmi ilgtermiņa cikli. 2018. gada elektriības cenu pieaugums tiek skaidrots ar mazāku nekā parasti hidroelektriības daudzumu reģionā.

Vēja un saules enerģētikas attīstība nākotnē var nozīmēt ievērojami nestabilas elektriības piegādes – elektriības pārprodukciju vējainā laikā un elektriības deficītu mākoņainā bezvēja periodā. Šāds elektriības deficīta periods var būt visai ilgs – vairākas dienas, savukārt elektriības pārprodukcijas laikā elektriības cena var būt tuvu nullei vai pat negatīva, lai gan patērētājam tik un tā būs izmaksas par elektriības pārvadi.

## 4. Pilsēdas tehnoloģiju analīze

### Gāzes centrālāpkure

Salīdzinoši dārga izejviela, vajadzīgi ievērojami kapitālieguldījumi. Gāzes cena var būt nestabila ilgākā laika periodā. Lietošanā viens no ērtākajiem apkures veidiem.

### Biomases centrālāpkure

Salīdzinoši lēta izejviela, vajadzīgi ievērojami kapitālieguldījumi sistēmas izveidei. Sarežģītāka ekspluatācijā, salīdzinot ar gāzes apkuri. Šobrīd kurināmā cenas (koksne – šķelda, vai malkas baļķi) ir izdevīgas, bet nav skaidrības par ilgtermiņa prognozēm augot pieprasījumam pēc biomasas kurnamā.

## Gāzes koģenerācija

Latvijas ekonomiskā realitāte ir tāda, ka pie šī brīža elektrības cenām gāzes izmantošana elektrības ģenerācijai nav izdevīga. Prakse rāda, ka, tiklīdz ir beidzies subsidētais elektrības ražošanas režīms, tā daudzas koģenerācijas stacijas izskata iespēju beigt elektrības ražošanu vai arī meklēt patērētājus, kas spētu patērēt elektrību lokāli un maksāt vairāk par elektrību nekā biržas cena, bet izvairoties no citiem Latvijā elektrības patērētājiem uzliktiem papildus maksājumiem – kā OIK, pārvades cenas un tam līdzīgi.

Koģenerācijas jaudu instalēšana ir visai dārga, bet esošo jaudu izmantošana ir visai izdevīga.

Koģenerācijas staciju darbības turpināšana nesubsidētā režīmā var iespējami nozīmēt dārgākus siltuma maksājumus.

Salīdzinot elektrības cenu (biržas EUR/kWh) ar gāzes cenu (biržas EUR/kWh), gāzes ģenerēšanas lietderības koeficients turbīnām koģenerācijas režīmā ir 32-38%, bet tīrā ģenerācijas režīmā var sasniegt 60 %, savukārt iekšdedzes dzinēju lietderības koeficients var svārstīties 20-40 % robežās piedāvājot lielāku ražošanas elastību.

## Biomases koģenerācija

Apsvērumi biomasas koģenerācijā ir līdzīgi kā gāzes koģenerācijā, biomasas koģenerācija prasa vairāk pārvaldības darbu, bet ir ar potenciāli lētāku izejvielu, ja tiek izmantota lēta biomasas, piemēram, koksne dažādās tās formās.

## Siltumsūkņi

Siltumsūkņu izmantošanas efektivitāte ir atkarīga no pieejamās elektrības cenām un pašu siltumsūkņu sistēmas izveidošanas izmaksām. Iespējami efektīvākie risinājumi no ekonomiskā viedokļa varētu būt elektrības pašražota koģenerācijas režīmā un elektrības iepirkšana no tirgus zemo cenu periodā.

- **Zeme-gaiss** – prasa ievērojamus kapitālieguldījumus pazemes sistēmas daļas izveidē.
- **Zeme-ūdens** – Kapitālieguldījumi ir vēl lielāki, nekā sistēmai zeme-gaiss, bet šāda sistēma ir ērti savienojama ar jau esoši izbūvētu centrāl apkures sistēmu.
- **Ūdens-ūdens** – šādi siltumsūkņi prasa vieglu pieeju pie silta ūdens (upe, jūra), kas SIA Rītausma gadījumā nav pieejama.
- **Gaiss-ūdens** – Salīdzinoši mazi kapitālieguldījumi, šāda sistēma varētu būt salīdzinoši ērti savienojama ar jau esoši izbūvētu centrāl apkures sistēmu; ir jāpēta sistēmas efektivitāte atkarībā no reāliem āra temperatūras režīmiem.
- **Gaiss-gaiss** – nelieli kapitālieguldījumi, ir jāpēta sistēmas efektivitāte atkarībā no reāliem āra temperatūras režīmiem, ir jāpēta siltā gaisa nodrošinājuma dinamika un temperatūru uzturēšanas dinamika un vienmērīgums apsildāmajās telpās, lai noskaidrotu optimālās konfigurācijas šim apkures veidam.

## Saules enerģija

Segto platību apsildē saules enerģijas galvenā problēma ir tā, ka saules enerģija ir pieejama tad, kad apsilde ir vajadzīga vismazāk, jo saule uzsilda arī siltumnīcas. Saules enerģijas izmantošana segto platību apsildē ir saistīta ar iespējām uzkrāt siltuma enerģiju, lai to izmantotu diennakts tumšajā daļā. Saules enerģijas ieguves efektivitāte ievērojami samazinās mākoņainā laikā, bet siltuma enerģijas uzkrāšanas tehnoloģijas, lai nodrošinātu siltuma enerģijas uzkrāšanu vairāku dienu vajadzībām prasa lielus kapitālieguldījumus. Tāpēc Saules enerģija var tikt izmantota tikai kombinācijā ar vēl kādu citu apsildes veidu.

## Enerģijas akumulators (elektrības cenu svārstību periodam)

Papildus ierīce risinājumiem, kas izmanto elektrību, lai varētu uzkrāt radīto siltumu, kas saražots laika periodos ar lētu elektrību. Šobrīd tipiski siltuma akumulatori ekonomiski pamatotā veidā (vajadzīgie kapitālieguldījumi pret plānoto atdevi) nevar uzkrāt vairāk siltumā kā vienas diennakts režīma izlīdzināšanai.

## 5. Testa siltumnīcas apsildes tehnoloģijas izstrāde

### Siltumsūkņa darbības algoritms

Atbilstoši izstrādātajam optimālajam siltumsūkņa gaiss-gaiss darbības algoritmam atbilstošā siltumsūkņa un papildus aprīkojuma izvēles pamatojums.

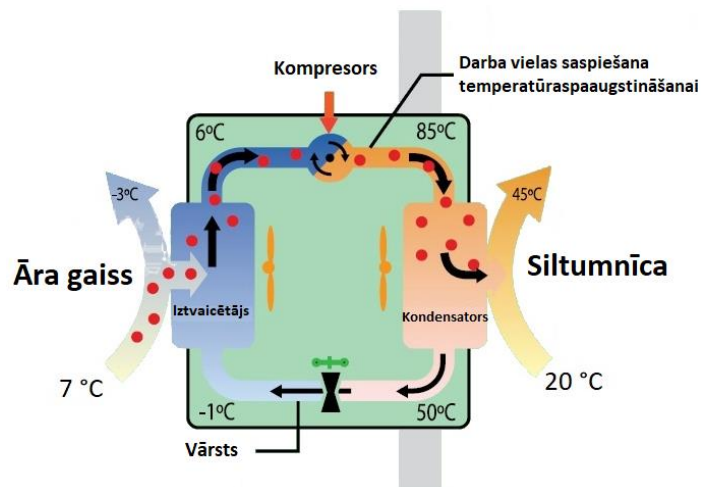
Tabula 5.1

Ražotāja efektivitātes rādītāji siltumsūkņim Hitachi RAC-50

Parametrs	Vērtība	Vienība	Apzīmējums	Vērtība
Plānotā slodze			Sezonālā efektivitāte	
Dzesēšana	5	kW	SEER	7.4
Sildīšana/vidēji	4.4	kW	SCOP	4.6
Sildīšana/ Siltā sezona	2.3	kW	SCOP/W	6
Sildīšana/ Aukstā sezona	6.4	kW	SCOP/C	3.3
Deklarētā jauda (*) Sildīšanai / vidēja sezona, iekštelpu temperatūrā 20°C un āra temperatūrā Tj			Deklarētais lietderības koeficients (*) / Vidējā sezona iekštelpu temperatūrā 20°C un āra Tj	
Tj = - 7°C	3.9	kW	COPd	2.9
Tj = 2°C	2.3	kW	COPd	4.6
Tj = 7°C	1.5	kW	COPd	6
Tj = 12°C	1.6	kW	COPd	7.3
Tj = bivalentā temperatūra	3.9	kW	COPd	2.9
Tj = darbības robeža	3.1	kW	COPd	2.4
Tj = 2°C	2.3	kW	COPd	4.6
Tj = 7°C	1.5	kW	COPd	6
Tj = 12°C	1.6	kW	COPd	7.3
Tj = bivalentā temperatūra	2.3	kW	COPd	4.6
Tj = uz darbības robežas	3.1	kW	COPd	2.4
Deklarētā jauda (*) Sildīšanai / aukstā sezonā iekštelpu temperatūrā 20°C un āra temperatūrā Tj			Deklarētais efektivitātes koeficients (*) / Aukstā sezona, iekštelpu temperatūrā 20°C un āra Tj	
Tj = - 7°C	3.9	kW	COPd	2.9
Tj = 2°C	2.3	kW	COPd	4.6
Tj = 7°C	1.5	kW	COPd	6
Tj = 12°C	1.6	kW	COPd	7.3
Tj = bivalentā temperatūra	3.9	kW	COPd	2.9
Tj = uz darbības robežas	3.1	kW	COPd	2.4
Tj = -15°C	3.1	kW	COPd	2.4

### Siltuma sūkņa aprīkojuma tehnoloģiskā un konstrukcijas shēma

Tehniskās specifikācijas siltumsūkņa gaiss-gaiss un papildus aprīkojuma tehnoloģiskās shēmas izstrāde.



5.1.att. Siltuma sūkņa aprīkojuma principiālās darbības shēma.

Siltumsūkņu izvietojums testa siltumnīcā

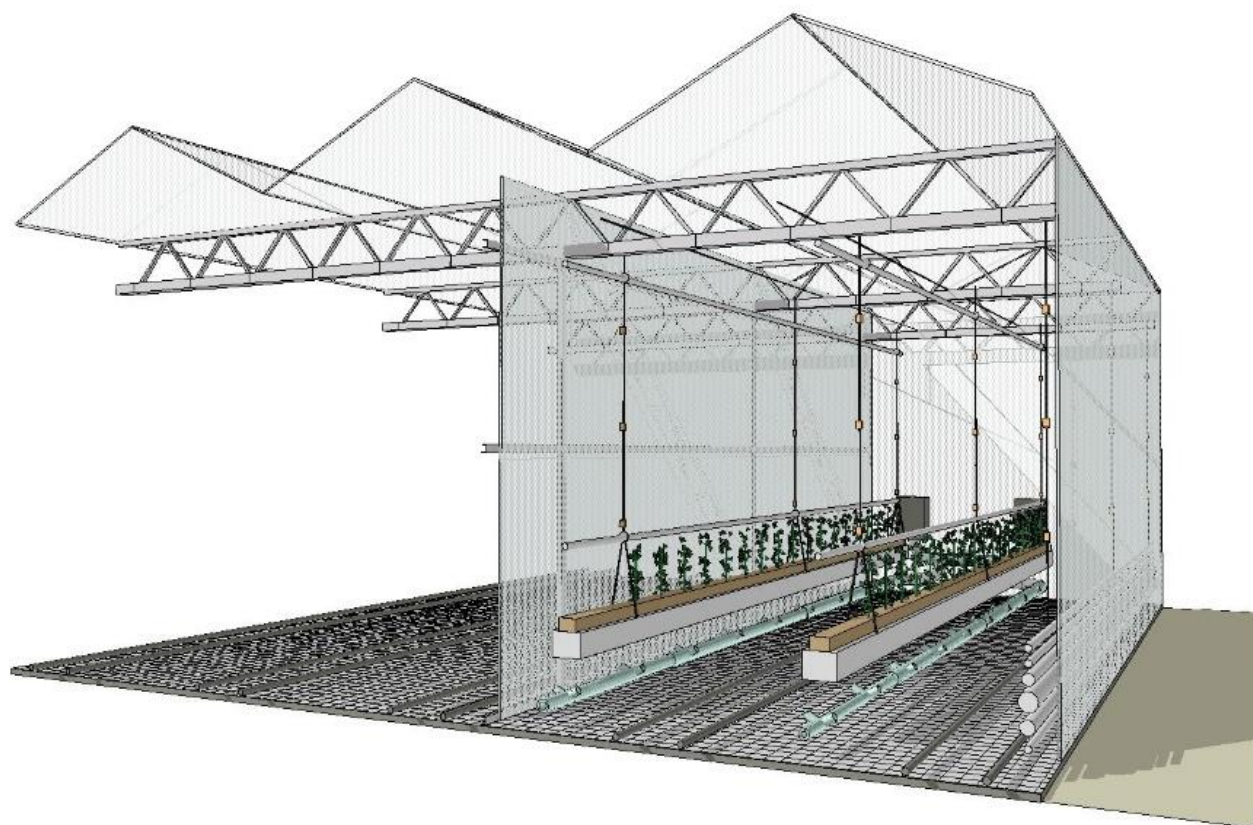
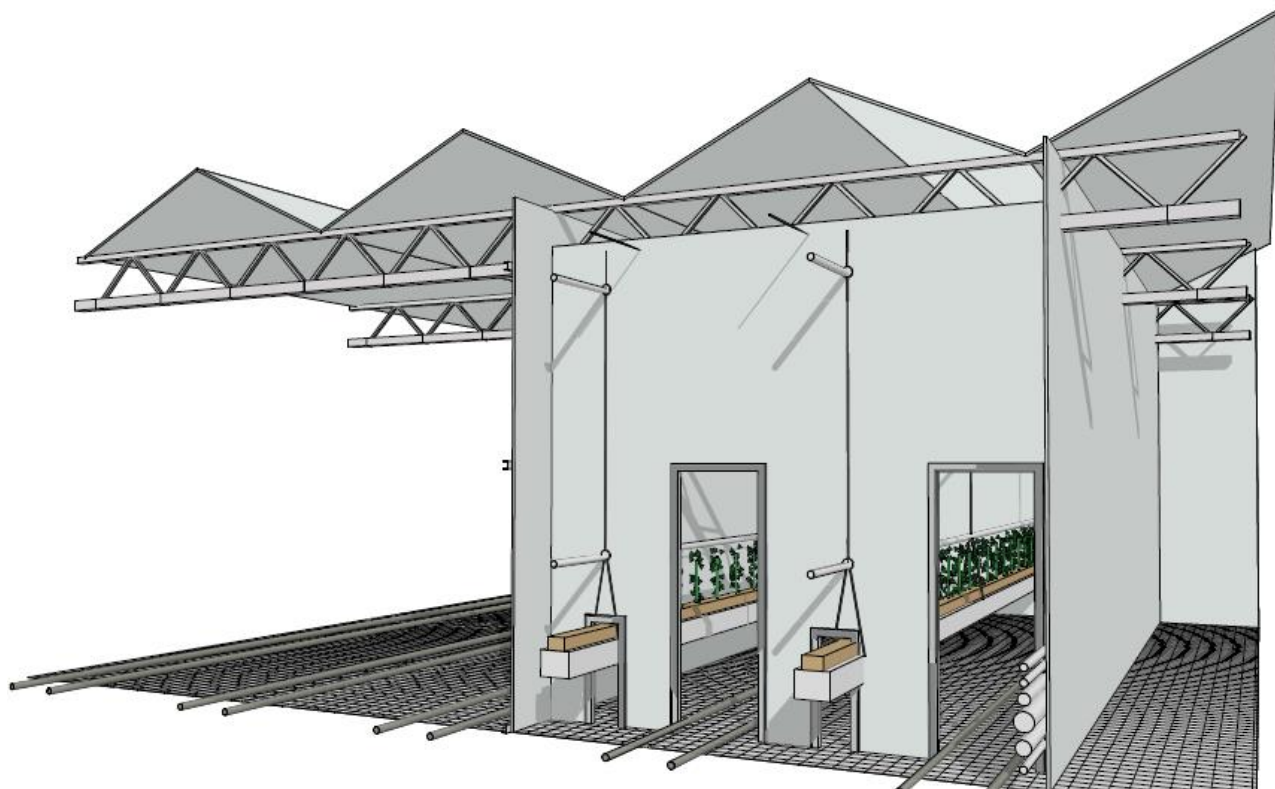


5.2. att. Siltuma sūkņa gaiss-gaiss un aprīkojuma izvietojums testa siltumnīcā.

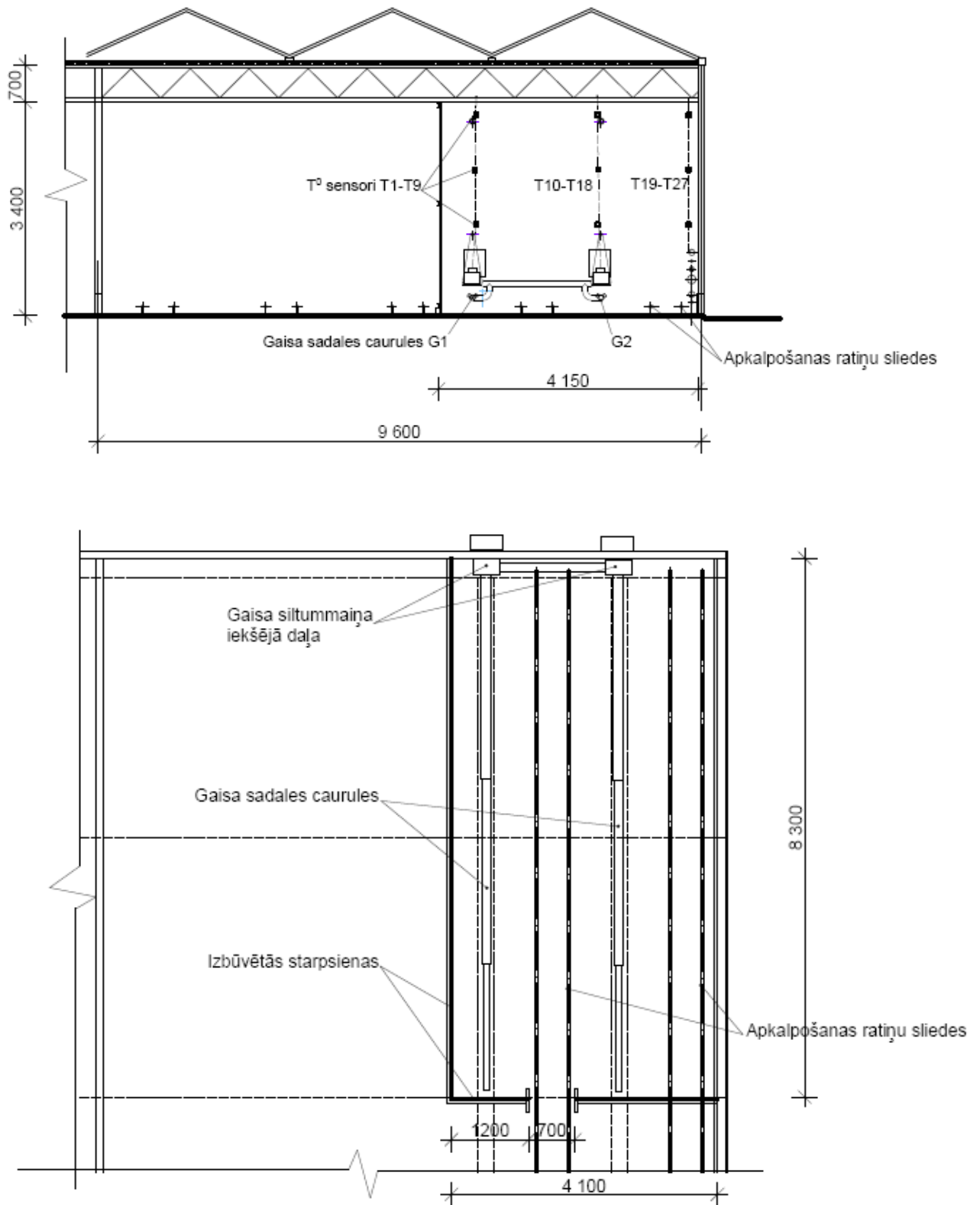
Siltumnīcas apsildei izmantota dalītā (Split) siltummaiņu sistēma (5.2 att.), kur siltummaiņu bloki - ārējais un iekšējais ir atdalīts viens no otra. Iekšējais siltummainis novietots testa siltumnīcas galā 1.8 m augstumā. Siltumsūkņa vadības pults ar integrētu apkārtējā gaisa temperatūras sensoru novietota testa siltumnīcas vidusdaļā vienā no gaisa temperatūras uzskaites sensora. Siltumnīcas ārpusē novietoti siltumsūkņu ārējie bloki, no kuriem vienam ir uzmontēta biomasas žāvēšanas iekārta.

## 6. Testa siltumnīcas projekta izstrāde

Izveidota testa siltumnīca, lai salīdzinātu gaiss-gaiss tipa siltumsūkņa un no dabasgāzes ražotā siltumenerģijas (kontROLSiltumnīcas) siltumnīcu parametrus. Eksperimentālā siltumnīca tika izveidota jau esošās lielās siltumnīcas ziemeļu daļā, ar siltumizolējošiem matēriāliem norobežojot 34 m<sup>2</sup> platību. Gaisa telpas norobežošanai izmantotas polikarbonāta loksnes, bet siltumu nesošie ūdensvadi izolēti attiecīgi ar cauruļvadu siltumizolācijas materiāliem. Eksperimentālajā siltumnīcā izveidota atsevišķa ieeja ar bīdāmām durvīm.

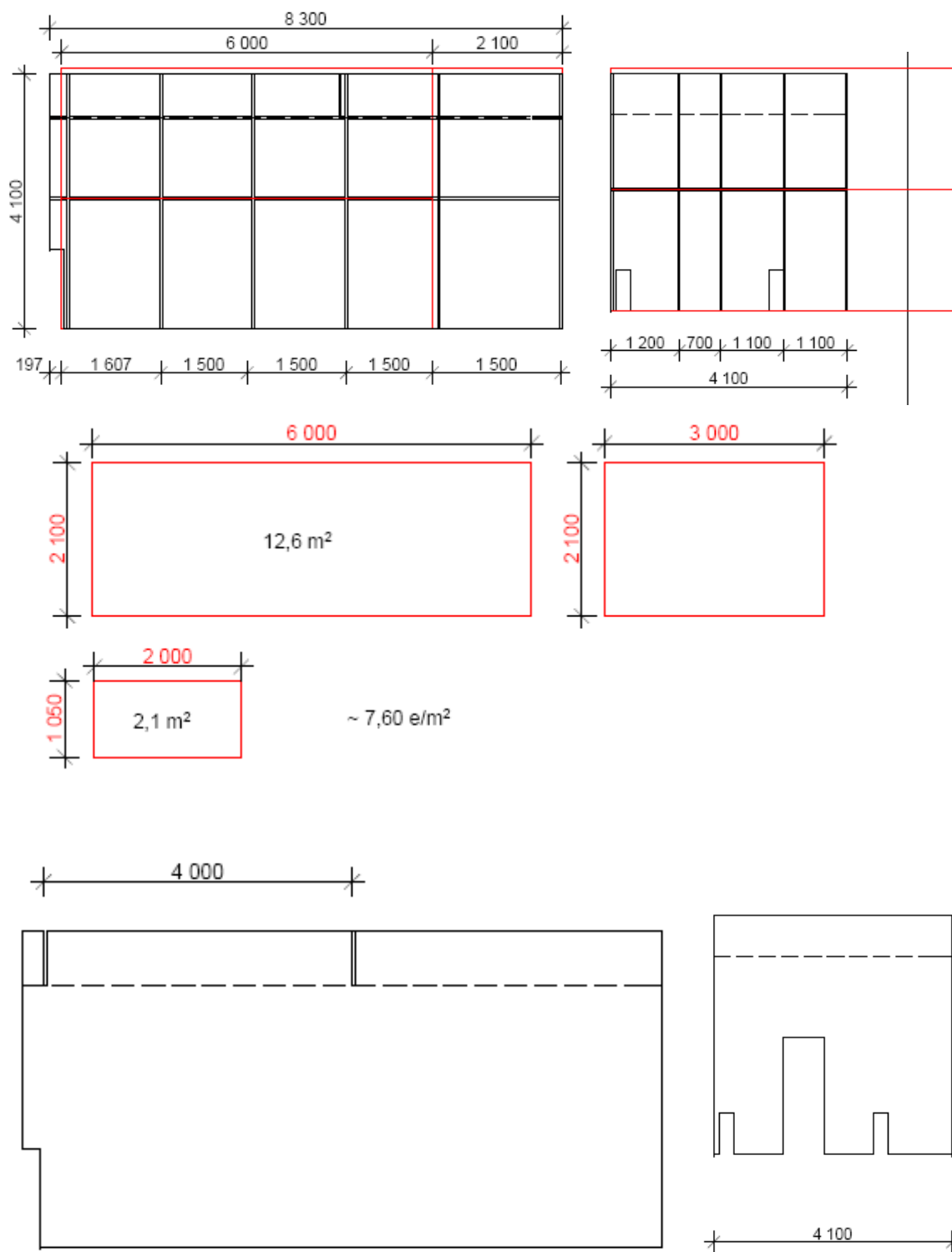


6.1.att. Testa siltumnīcas skiču projekts.



6.2. att. Testa siltumnīcas izbūves shēma.





6.3. att. Testa siltumnīcas izbūves projekts.

## 7. Eksperimentālie izmēģinājumi testa siltumnīcas modeļa apstākļos

### Temperatūru režīma nodrošinājums siltumnīcā ar siltumsūkni

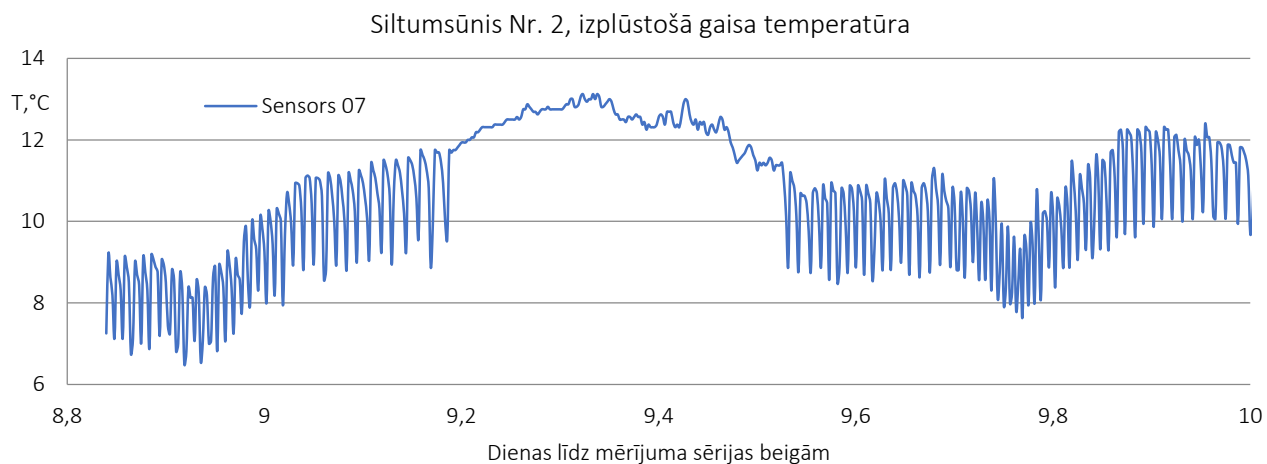
Jāievieto siltumsūkņa iepirkuma un darbības regulējuma (iestatītie) parametri

Izmantojot visas uzstādītās, sistēmas tika izmēģināta un optimizēta eksperimentālās siltumnīcas darbība to apsildot un/vai dzesējot ar gaiss-gaiss tipa siltumsūkņiem. Izmantojot izmērītos parametrus un temperatūras sadalījumu, siltumnīcā tika veikti dažādi eksperimenti un optimizēti siltumsūkņu darbības parametri un vērtēts nodrošinātais siltuma vai dzesēšanas režīms salīdzinot ar kontrollsiltumnīcu. Kontrollsiltumnīca ir SIA Rītausma galvenā siltumnīca, kas tiek apsildīta un dzesēta izmantojot tradicionālās metodes – ar siltā ūdens apkures sistēmu).

Pētot siltumsūkņu gaiss-gaiss darbību tika vērtēta, un pētīta sistēmas izejošā gaisa temperatūra. Izejošā gaisa temperatūra tika pētīta gan sildīšanas režīmā, gan arī dzesēšanas režīmā, mērījumi tika veikti gan sildīšanas režīmā siltajam un aukstajam izplūdes gaisam, gan arī dzesēšanas režīmā siltajam un aukstajam izplūdes gaisam. Īpaša uzmanība tika pievērsta sildīšanas režīma siltajam gaisam, lai vērtētu temperatūras vienmērīgumu siltumnīcā. Eksperimentu rezultātā tika izveidota siltumsūkņu konfigurācija, kura nodrošina vienmērīgu temperatūru apsildāmajiem augiem, kamēr paša siltumsūkņa iekšējā siltā gaisa temperatūra ir visai svārstīga atkarībā no tā, kurā īstermiņa sildīšanas cikla daļā siltumsūknis atrodas.

Siltā gaisa temperatūras grafiki sildīšanas režīmā ir redzami attēlos 7.1. un 7.2. Bet attēlā 7.3. ir siltumsūkņa āra izplūdes gaiss gan sildīšanas, gan dzesēšanas režīmos.

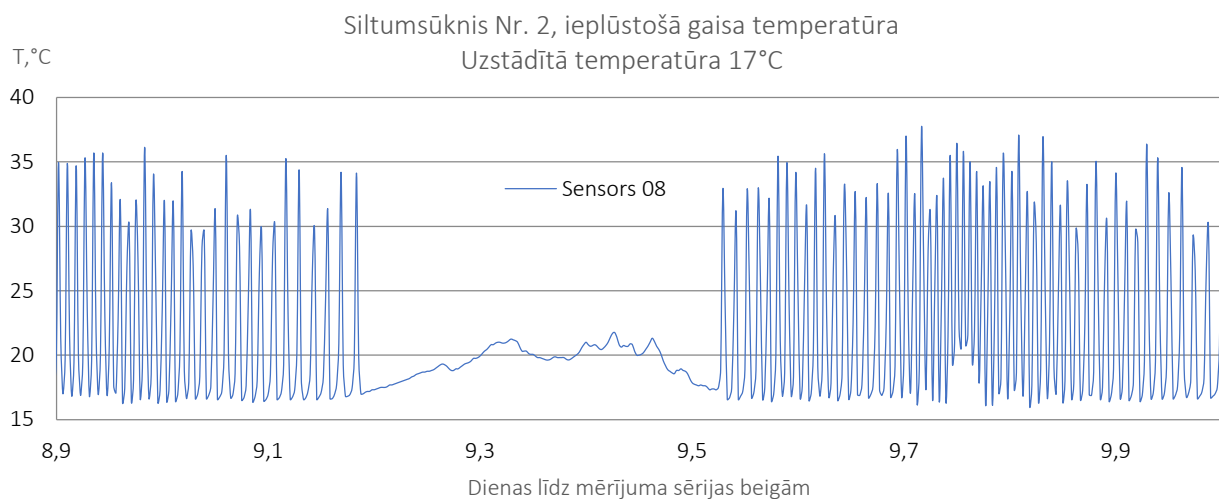
Citos attēlos ir analizēts tas, kā tiek uzturēta temperatūra siltumnīcā un salīdzināta kontrollsiltumnīca ar eksperimentālo siltumnīcu.



7.1. att. Siltumsūknis nr. 2, sildīšanas režīmā. Aukstā izplūdes gaisa temperatūra.

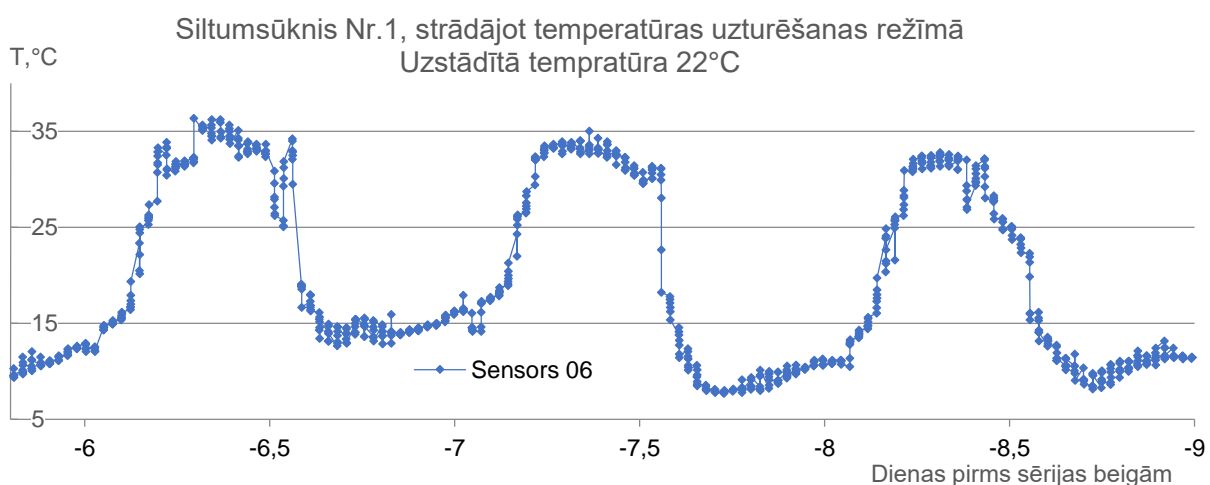
Analizējot siltumsūkņu darbības parametrus, tika konstatēts, ka vasaras un rudens apstākļos, kad temperatūras diference starp uzturamo temperatūru un āra temperatūru nav liela, un siltuma plūsma ir salīdzinoši neliela, temperatūras uzturēšanu eksperimentālajā siltumnīcā ir iespējams veikt ar vienu gaiss-gaiss tipa siltumsūkni. Lai nodrošinātu optimālu temperatūras režīmu un ekonomisku siltumsūkņa darbību, siltumsūknis vasaras periodā ir darbināms režīmā “sildīšana” – sildīt, nevis temperatūras uzturēšanas režīmā. Lai nodrošinātu silto gaisu žāvēšanas procesiem otrs siltumsūknis var paralēli tikt darbināts “cool” – dzesēšanas režīmā, kurš ieslēdzas tad, kad temperatūra pārsniedz no tomātiem optimālo maksimālo temperatūru, lai tādejādi iegūto siltumu novadītu biomasas žāvēšanas procesiem.

Grafika (7.1 att.) gludās daļas (diena 9,2-9,5) atbilst saulainam laikam, kad sildīšana nav nepieciešama.



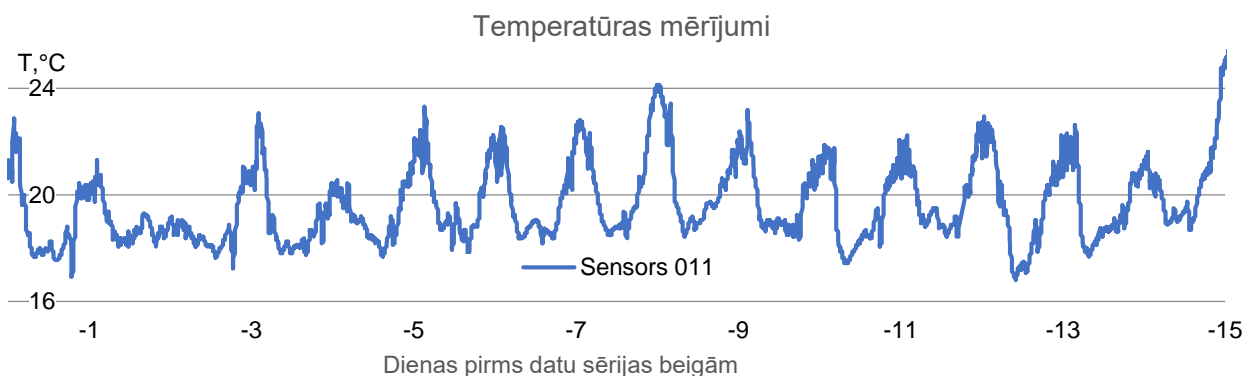
7.2. att. Siltumsūknis Nr. 2, sildīšanas režīmā.

Siltumsūknis Nr. 2, sildīšanas režīmā, uzstādītā temperatūra 17°C. Siltā izplūdes gaisa temperatūra iekšā siltumsūknī. Grafika gludās daļas (diena 9,2-9,5) atbilst saulainam laikam, kad sildīšana nav nepieciešama.



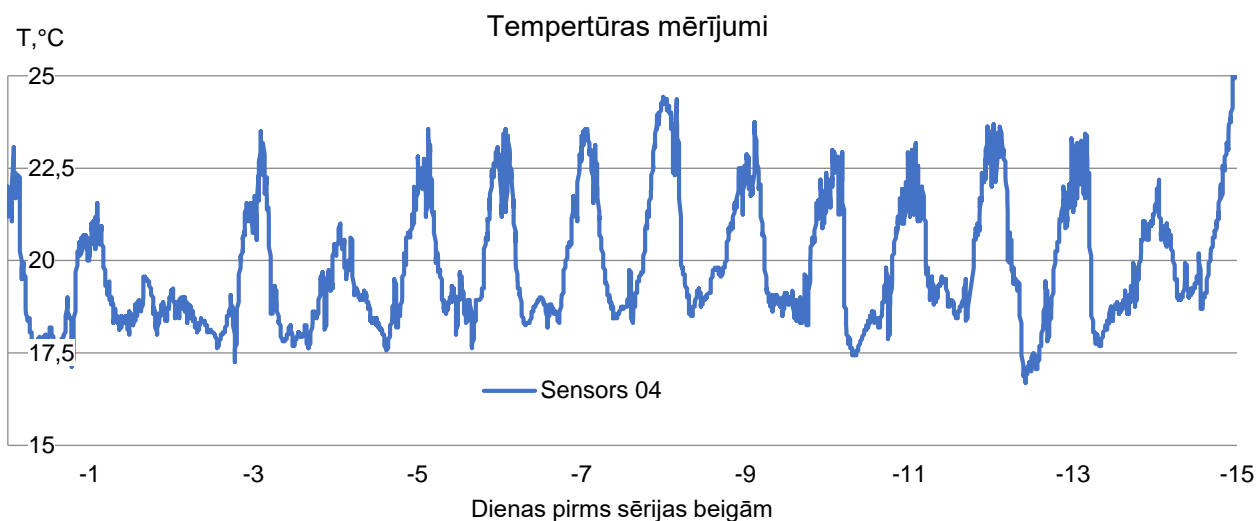
7.3. att. Siltumsūknis Nr.1 temperatūras uzturēšanas režīmā

Siltumsūknis 1 (7.3. att.) strādājot temperatūras uzturēšanas režīmā vasaras laikā, izplūstošā āra gaisa temperatūra mērīta siltumsūknī.



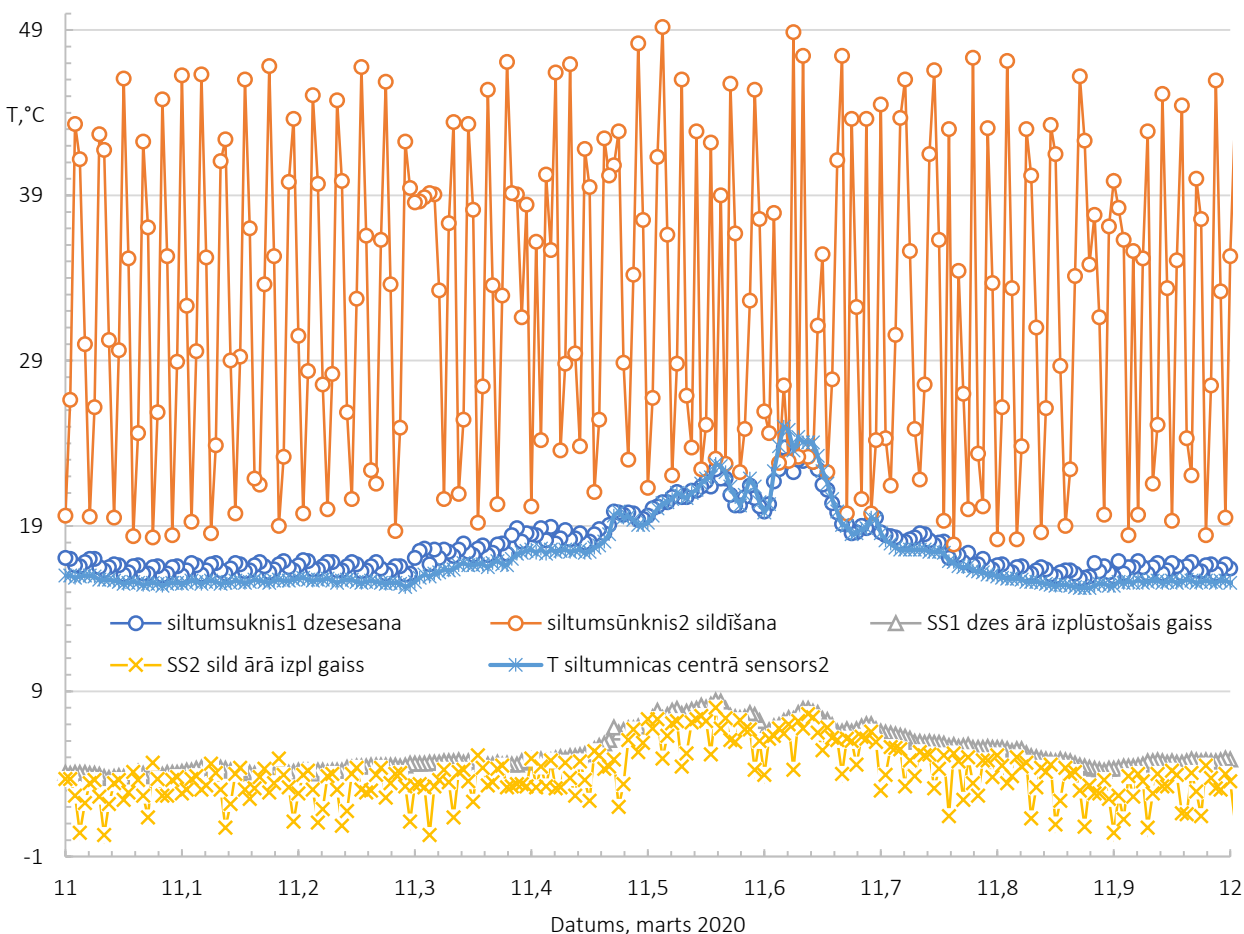
7.4. att. Temperatūra eksperimentālajā siltumnīca pie sensora 011, Septembris 2019.

Redzams, ka maksimālā temperatūra (7.4. att.) nepārsniedz 23°C grādus izņemot 1-2 reizes īslaicīgi.

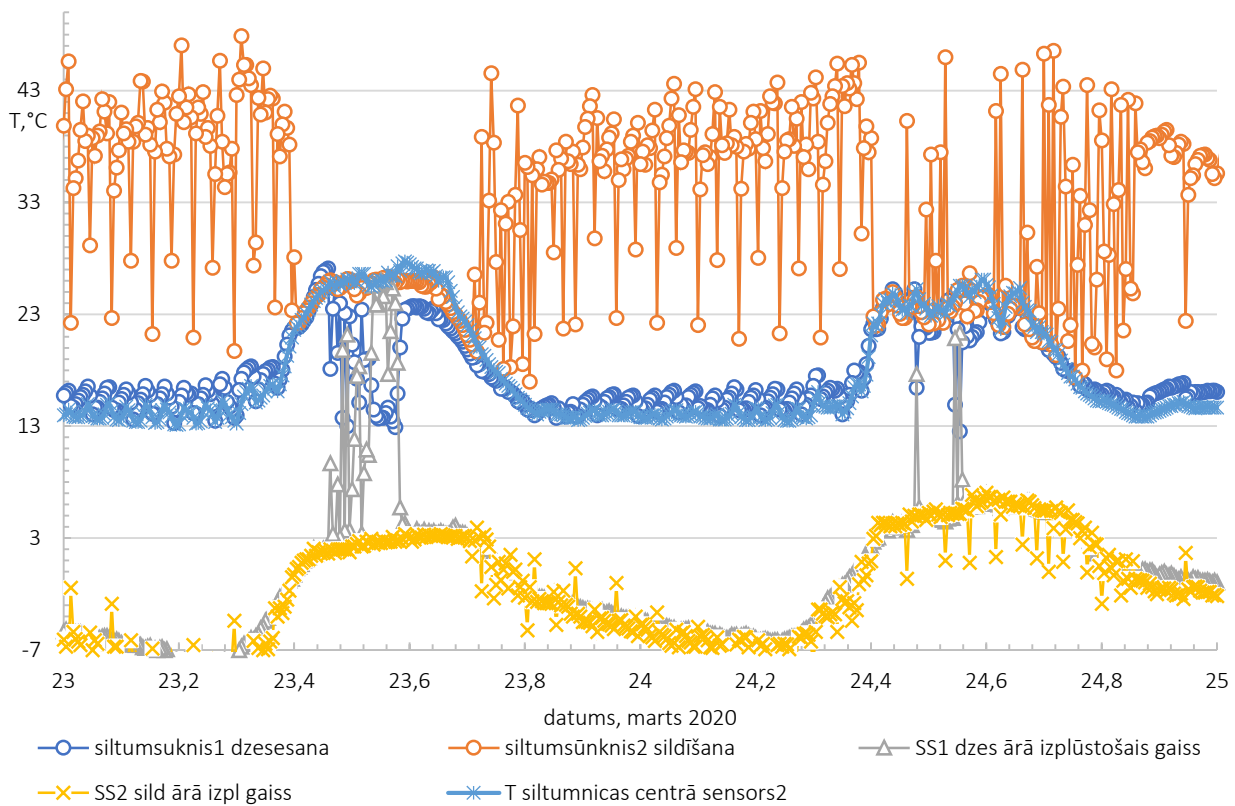


7.5. att. References (ražošanas) siltumnīca.

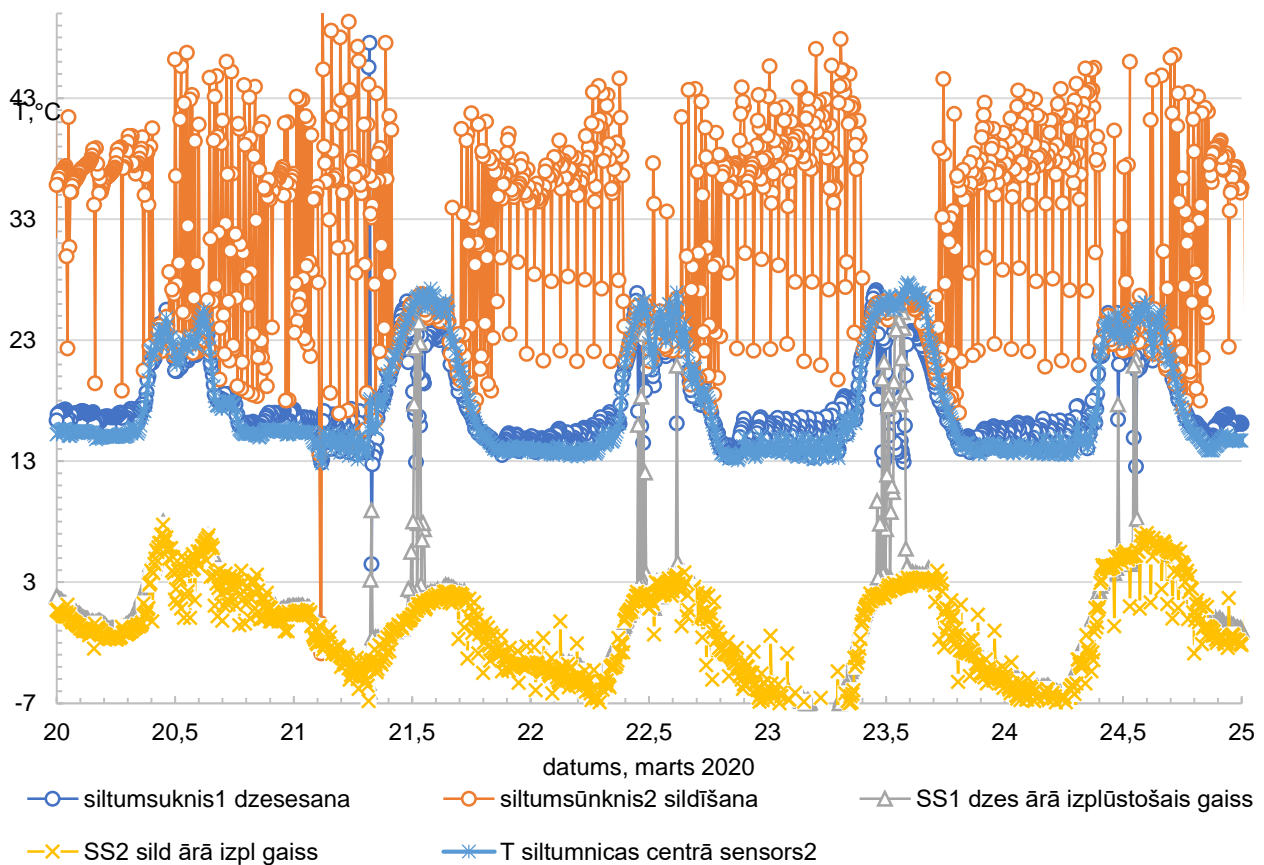
Sensors 4, kas novietots analogiskā vietā kā sensors 11 eksperimentālā siltumnīcā. Maksimālās temperatūras regulāri pārsniedz 22°C grādus un ir lielākas nekā sensoram 11 eksperimentālā siltumnīcā (7.5. attēls).



7.6. attēls Temperatūra siltumsūkņu gaisam, T°C, 11. marts 2020. gads.



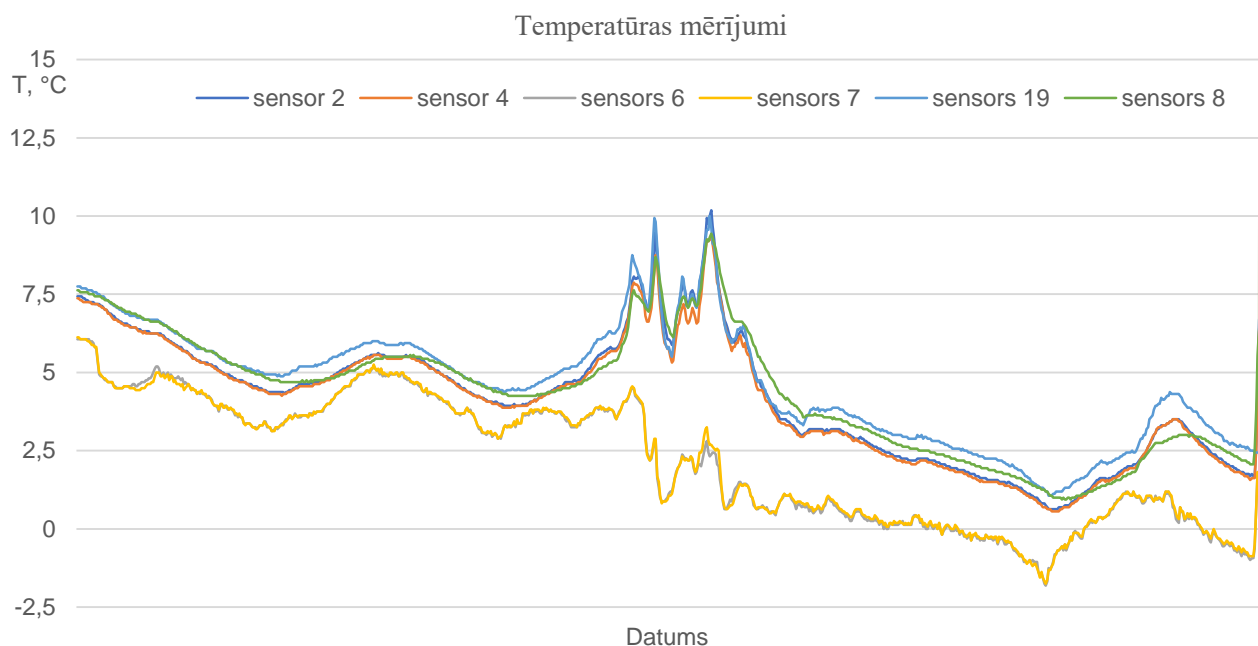
7.7. attēls Temperatūra siltumsūkņa gaisam, T°C, 23.-25. marts 2020. gads.



7.8. attēls Temperatūra siltumsūkņu gaisam, T°C, 20.–25. marts 2020.

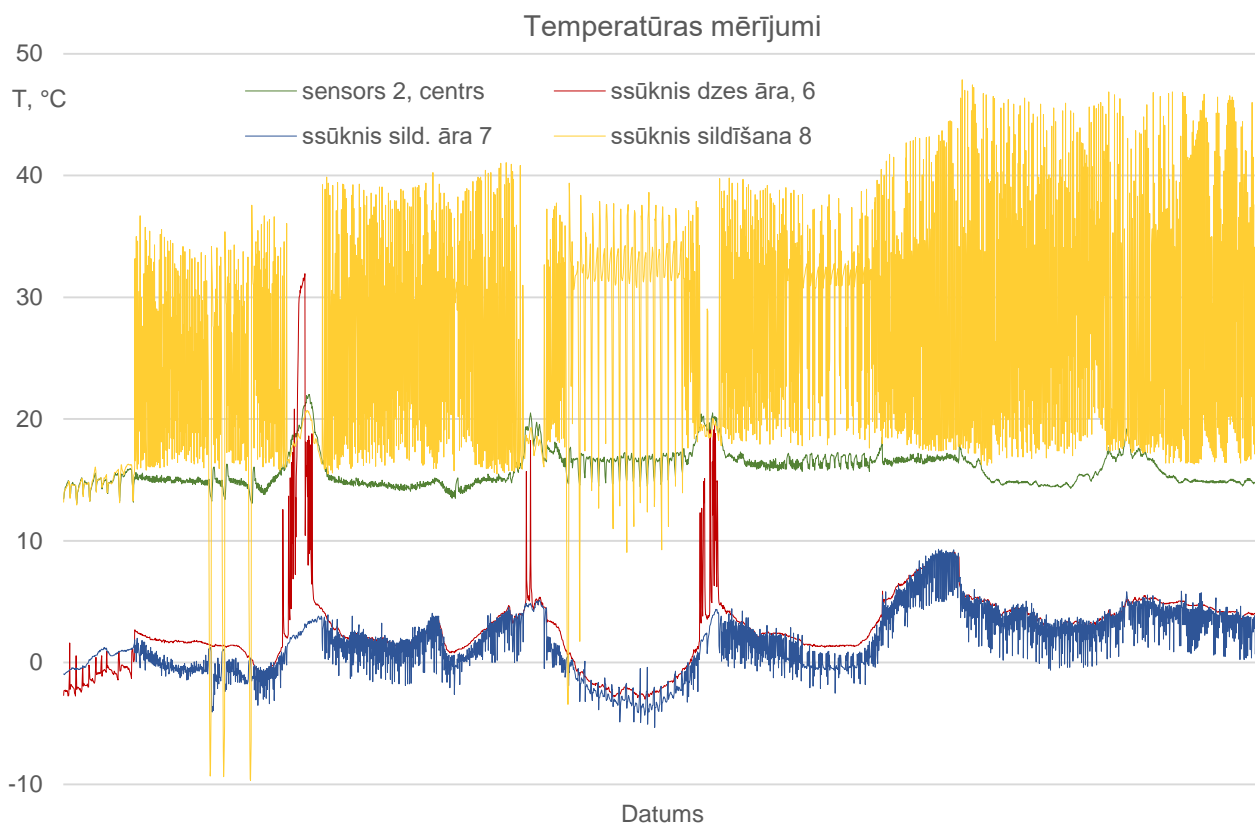
Siltumsūkņa darbība martā 2020. temperatūras uzstādījums Siltumsūkņim 2 sildīšanas režīmā ir 7 00-9 00 20°C; 9 00-11 00 21°C; 11 00-16 00 22°C; 16-18 20°C; 18 00-21 00 18°C; 21 00-7 00 19°C. Āra gaisa temperatūru mēra siltumsūkņis 1, kurš strādā dzesēšanas režīmā un aukstā laikā lielāko tiesu nestrādā. Kā redzams attēlā 7.7. un 7.8., tad pat – 7°C āra temperatūrā ar vienu siltumsūkni var uzturēt nepieciešamo temperatūru siltumnīcā. Tikai tā iemesla dēļ, ka uzstādītā temperatūra tiek uzturēta pašā siltumsūkņī, tad siltumnīcā ir pārāk auksti. Ja ievērojam zemāko temperatūru līdz kurai nokrītas no Siltumsūkņa izplūstošais gaiss siltumnīcā, tad tā aptuveni atbilst uzstādītajām temperatūrām. Tas vedina domāt, ka siltumsūkņis tiek vadīts mērot gaisa temperatūru iekšā siltumsūkņī. Kādu iemeslu dēļ temperatūra siltumsūkņī tam darbojoties ir par dažiem grādiem lielāka nekā telpā. Kā var redzēt, tad dzesējošais siltumsūkņis nestrādā un tā temperatūra ārā atbilst āra gaisa temperatūrai un temperatūra iekšā apmēram atbilst iekšas gaisa temperatūrai (nedaudz lielāka, jo siltumsūkņa masa to nedaudz pasargā no atdzišanas starojuma ceļā).

Telpiskas gaisa temperatūras mērījumi eksperimentālajā siltumnīcā ļauj izvērtēt no gaiss-gaiss tipa siltumsūkņiem izejošās gaisa plūsmas sadalījumu telpā gan vertikālā, gan horizontālā virzienā dažādos gaisa temperatūras nodrošināšanas režīmos.



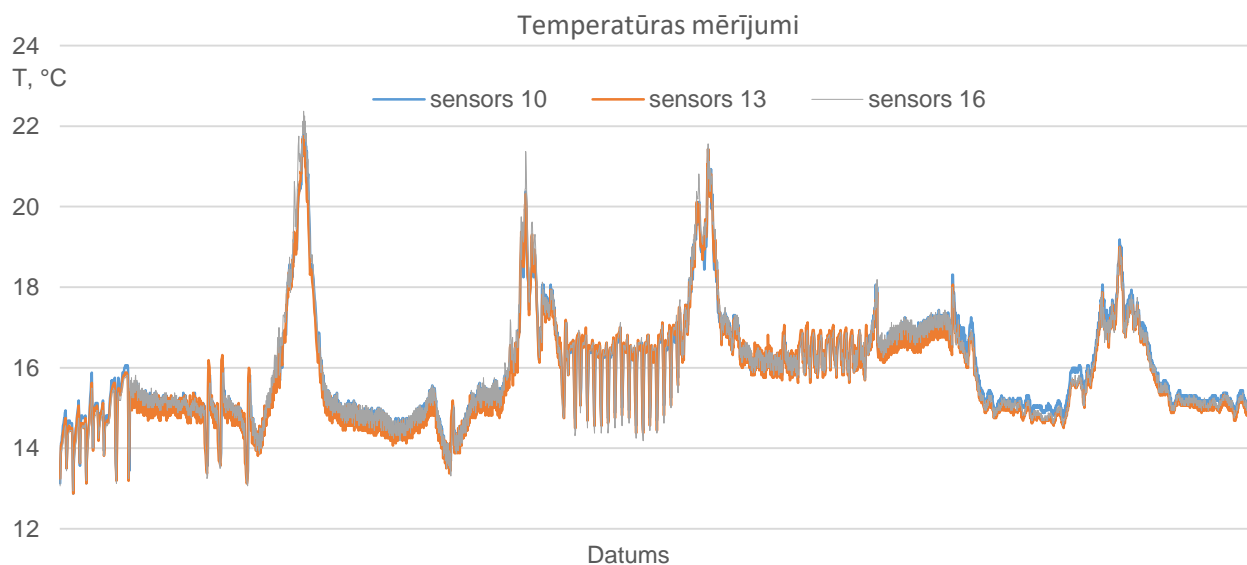
7.9. att. Temperatūras mērījumi, Janvāris 2020.

Janvāra mēneša beigās gar siltumnīcas ārējo sienu vidējā līmenī izvietotais sensors 4 vidēji par 0.1°C uzrādīja zemāku gaisa temperatūru kā eksperimentālās siltumnīcas centrā izvietotais sensors 2, kura vidējais rādījums janvāra triju dienu laikā bija 4.2°C. Siltākais gaiss novērots ražošanas siltumnīcas telpā, kur sensors 19 vidēji parādīja 4.64°C. Ārpusē esošo, pie siltumsūkņu ārējiem siltummaiņiem izvietoto sensoru 6 (siltumnīcas dzesēšana) un 7 (siltumnīcas sildīšana) rādījumi praktiski sakrita un attiecīgi bija vidēji 2.19 un 2.21°C, jo siltumnīcā tomātu audzēšana vēl nebija uzsākta (7.9. attēls).



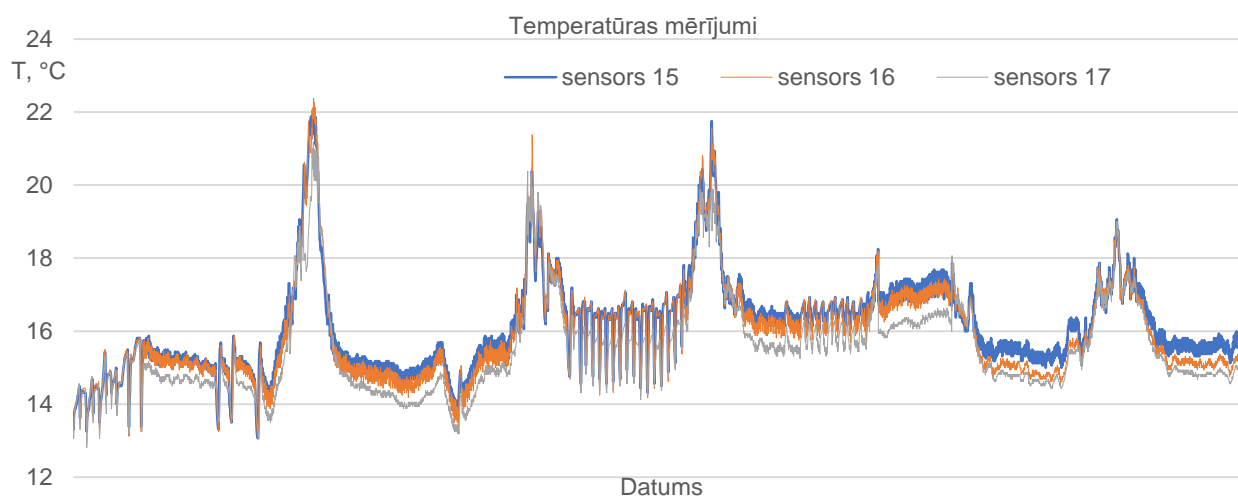
7.10. att. Temperatūras mērījumi, februāris, 2020.

Iestādot februāra mēneša sākumā augus, sāka darboties eksperimentālie siltumsūkņi. 7.10. attēlā parādītas temperatūras eksperimentālās siltumnīcas centrā - sensors 2 un pie siltumsūkņu siltummaiņiem ārā 6 un 7, bet iekšpusē pie sildošā siltummaiņa sensors 8. Attēlā 7.10 parādīts, ka sildošais siltumsūkņis, atņemot tikai dažus grādus, siltuma no āra gaisa, iekštelpā ražo par 20 un vairāk°C siltāku gaisu, apsildot jaunus stādus.



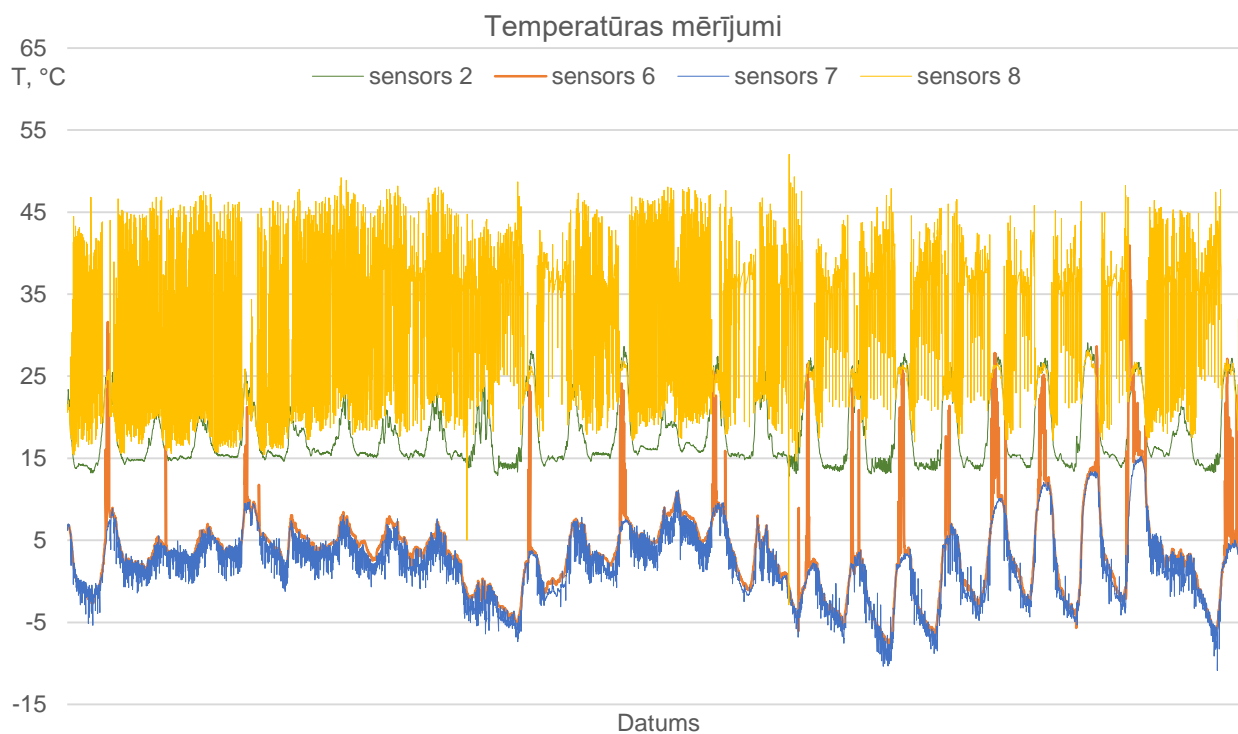
7.11. att. Temperatūras mērījumi, februāris, 2020.

Vidējā līmenī otrās tomātu rindas garumā izvietoto sensoru 10, 13 un 16 temperatūras rādījumi attēloti 7.11 attēlā. Februāra mēneša laikā sensoru vidējie rādītāji atšķīrās tikai par 0.1°C (15.96;15.83;15.94°C), kas liecina par vienmērīgu gaisa temperatūru siltumnīcas gareniskajā virzienā.



7.12. att. Temperatūras mērījumi, februāris, 2020.

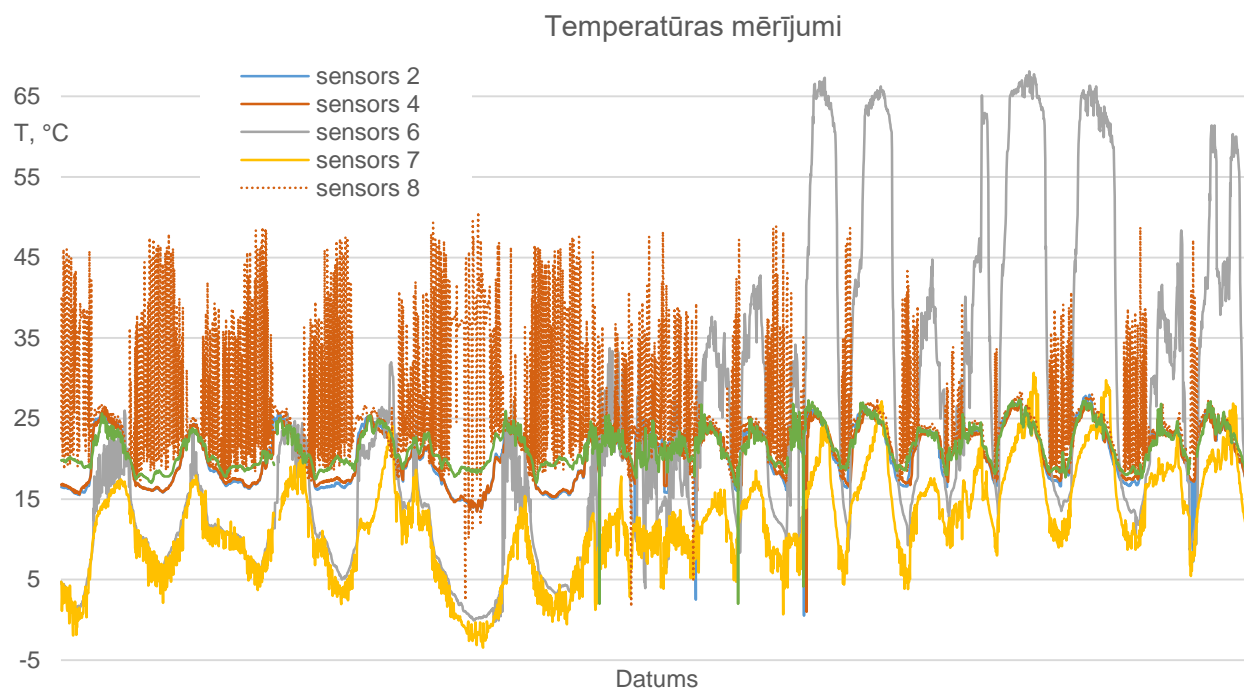
Februāra mēneša laikā novēroto gaisa temperatūras vertikālo sadalījumu atspoguļo attēls 7.12. Pakļaujoties fizikas likumiem augšējā stāvā, esošais temperatūras sensors 15. februāra mēneša laikā uzrādīja vidēji 16.1°C, vidējā līmenī esošais sensors 16 – 15.94°C, bet apakšējais sensors 17 uzrādīja vidēji mēneša laikā zemāko gaisa temperatūru - 15.55°C, ko var uzskatīt par nelielu atšķirību, jeb labu gaisa temperatūras sadalījumu arī vertikālā virzienā.



7.13. att. Temperatūras mērījumi, Marts, 2020.

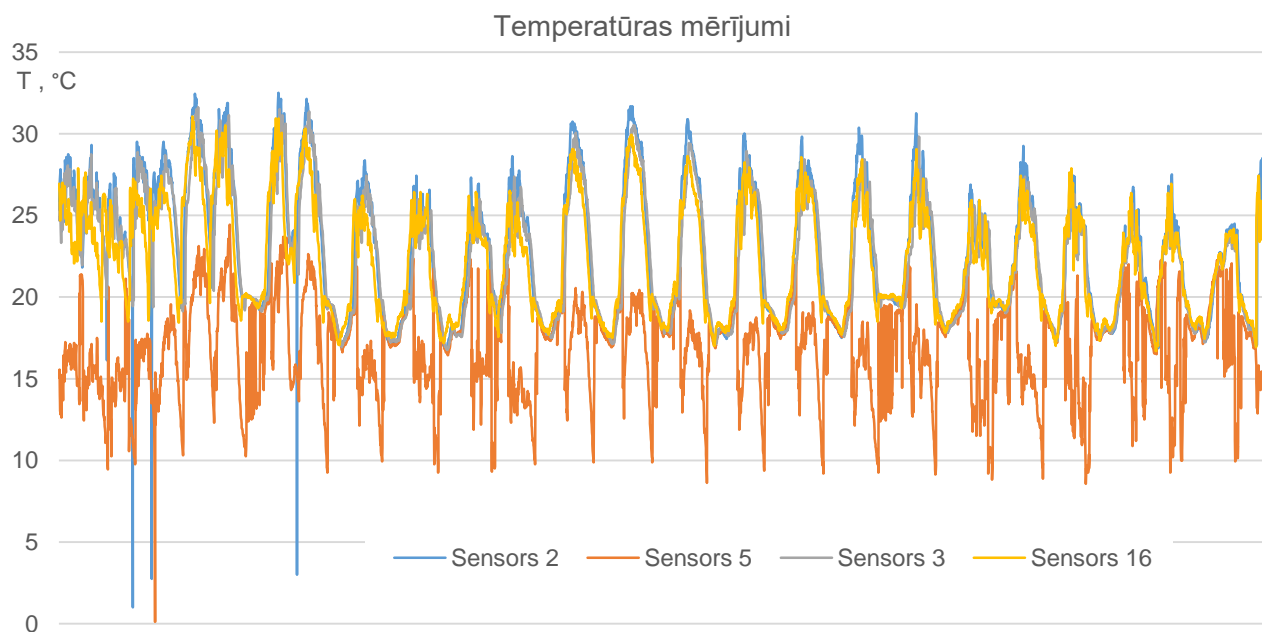
Iepriekš analizētie marta mēneša atsevišķie posmi, kā arī visa mēneša siltumsūkņu darbības gaisa temperatūru rādītāji apkopoti 7.13 attēlā, kur var redzēt aktīvu sildošā siltumsūkņa darbību visa mēneša garumā. Eksperimentālās siltumnīcas centrā esošais sensors marta mēnesī vidēji rādīja 17.64°C, bet gaisa temperatūras diapazons bija no 12.81 līdz 29.06°C. Marta laikā sildošais siltumsūknis vidēji ražoja 31.04°C siltu gaisu, bet tā ārējais siltummainis bija vidēji 2.04°C silts, kas par 1.40°C mazāk, kā āra gaisa temperatūra - vidēji 3.44°C.





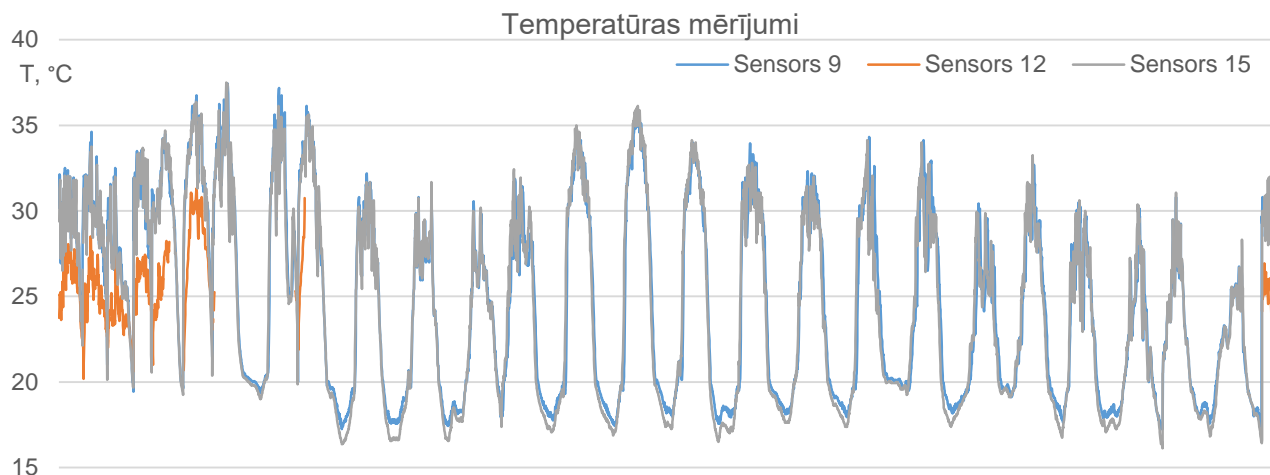
7.14. att. Temperatūras mērījumi, Maijs, 2020.

Par eksperimentālās siltumnīcas dzesēšanas sākumu var uzskatīt maija mēneša trešo dekādi, kad sākot ar 22. maiju siltumnīcas, dzesējošā siltumsūkņa ārējā siltummaiņa izplūstošais gaiss pakāpās līdz 66°C (7.14 attēls). Siltumnīcas dzesēšana bija novērota maija trešās dekādes dienas stundās, bet nakts stundās turpināja darboties arī sildošais siltumsūknis, kas maija pirmajās divās dekādēs ražoja siltumu arī dienas laikā. Eksperimentālās siltumnīcas centrālais sensors 2 konstatēja maija mēneša vidējo temperatūru 20.54°C, kas bija ļoti tuvu siltumnīcas stūrī vidējā līmenī esošā sensora 4 rādījumiem 20.48°C. Kontroles jeb ražošanas siltumnīcā izvietotais sensors 19 uzrādīja mēneša vidējo gaisa temperatūru 21.36°C, kas bija gandrīz par 1°C siltāk, kā eksperimentālajā siltumnīcā. Sildošā siltumsūkņa sasildītais gaiss maijā vidēji bija 26.25°C silts, bet tā ārējais bloks bija vidēji 12.13°C.



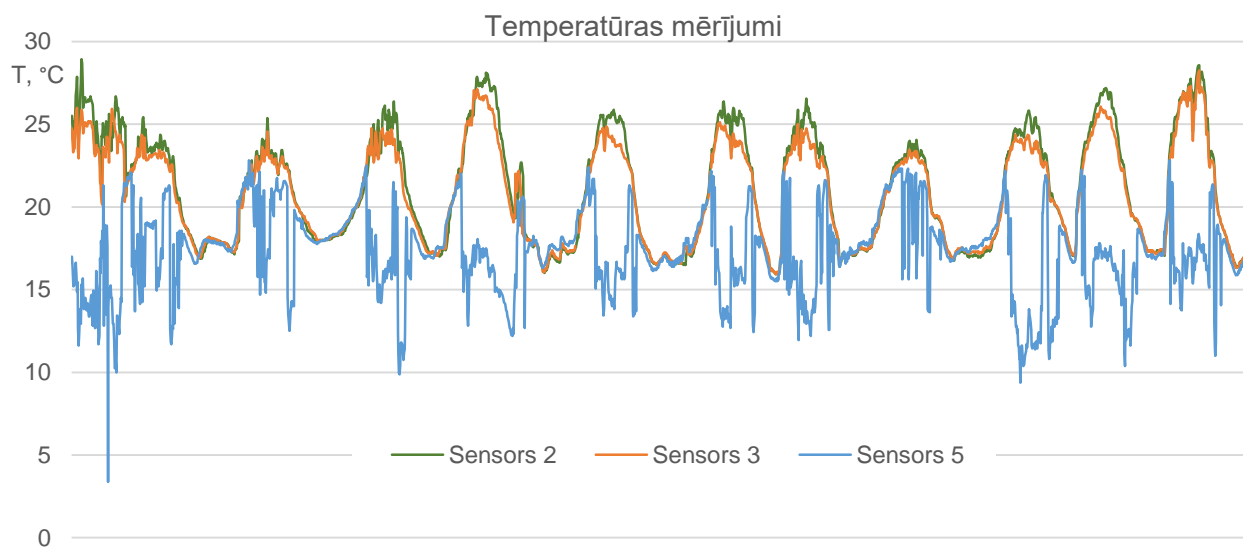
7.15. att. Temperatūras mērījumi, Augusts 2020.

Ļoti intensīva darbība augusta laikā bija vērojama dzesējošam siltumsūkņim, kas bieži vien, jeb praktiski katru dienu eksperimentālajā siltumnīcā atdzesēja gaisu līdz 10°C (7.15. attēls), kā rezultātā, neskatoties uz attālumu no siltumsūkņa dzesēšanas siltummainim, siltumnīcas gaisa temperatūra vidējā līmenī tikai uz īsi brīdi nedaudz pārsniedza 30°C atzīmi. Taču tik stipri atdzesēts gaiss, iespējams, tomātu augiem radīja aukstuma stresu, kā arī relatīvais gaisa mitrums strauji samazinājās, kas nav vēlams ziedu apputeksnēšanai.



7.16. att. Temperatūras mērījumi, Augusts 2020.

Pat augšējā līmenī esošie gaisa temperatūras mērījumi (7.16. Attēls) liecina par siltumsūkņu efektīvu dzesēšanas spēju vienā no karstākajiem 2020. gada mēnešiem. Tikai pašās karstākajās augusta dienās mēneša sākumā un vidū uz īsu brīdi gaisa temperatūra eksperimentālās siltumnīcas augšdaļā pārsniedza 35°C, bet pamatā maksimālā temperatūra bija robežās starp 30 un 35°C.

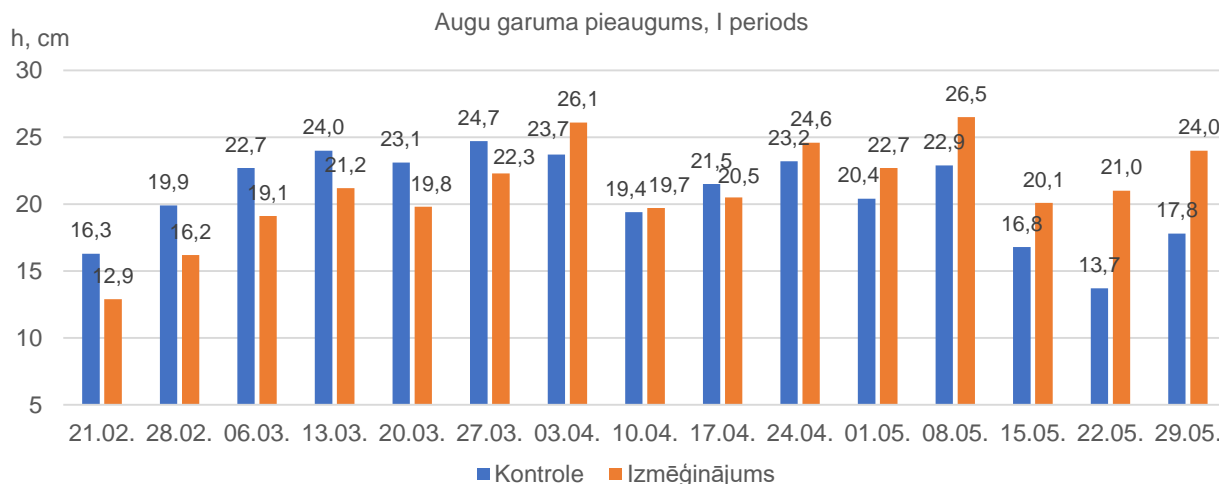


7.17. att. Temperatūras mērījumi, Septembris 2020.

Arī septembra mēnesī tika novērota dzesējošā siltumsūkņa periodiska darbība, kad mēneša laikā vairākas reizes eksperimentālajā siltumnīcā tika iepludināts līdz pat 10°C atdzesēts gaiss (7.17 attēls), kas nodrošināja siltumnīcas gaisa temperatūru ne augstāku par 29°C. Septembra vidēja gaisa temperatūra bija 21.14°C, bet vidējā atdzesētā gaisa temperatūra sastādīja 17.31°C. Horizontālais temperatūras sadalījums septembra mēnesī bija labs, jo vidēji pie ārējās malas esošais sensors 3 rādīja 20.81°C, kas tikai par 0.33°C mazāk, kā siltumnīcas centrā.

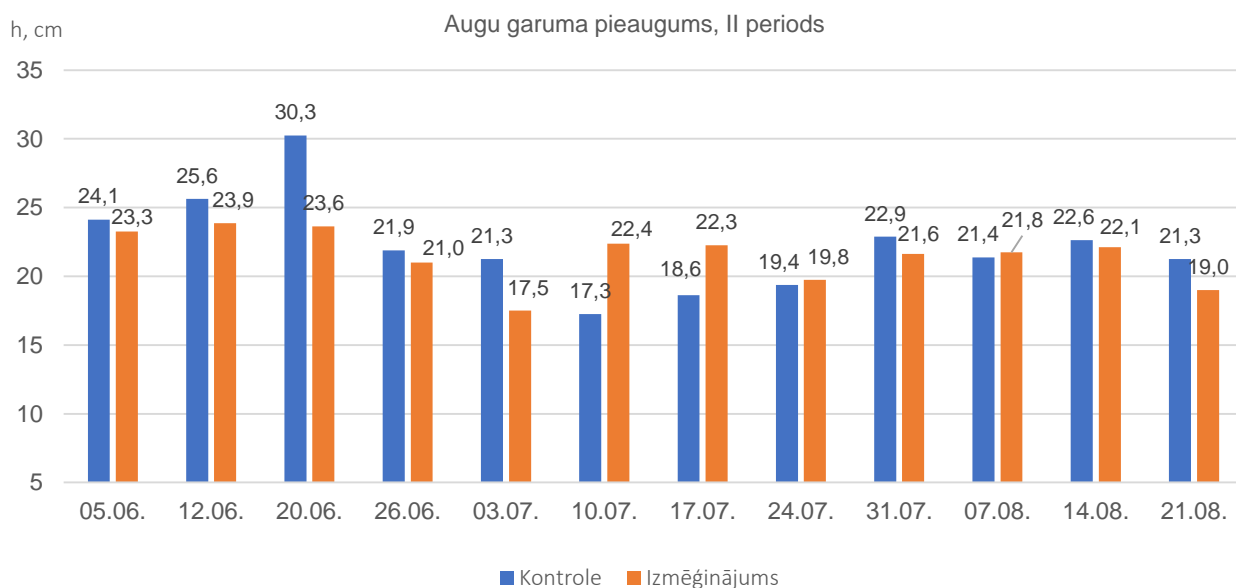
## Augu attīstības dinamika

Veicot augu augšanas un attīstības diagnostiku, tiek kontrolēta tomātu augšanas apstākļu ietekme uz augu veselību un ražību. Novērotie augu parametri tiek salīdzināti starp ražošanas un eksperimentālo siltumnīcu. Eksperimenta nosacījums bija, izmantojot siltumsūkņus, nodrošināt ne sliktākus tomātu augšanas apstākļus kā ražošanas siltumnīcā.



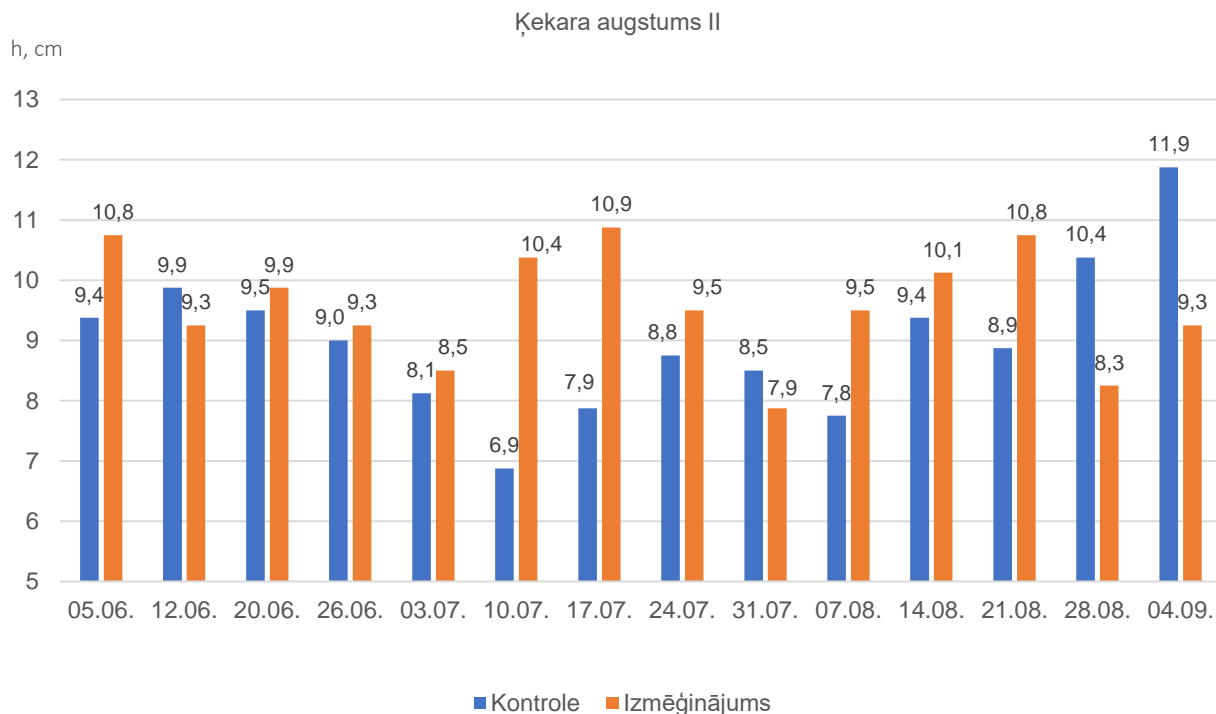
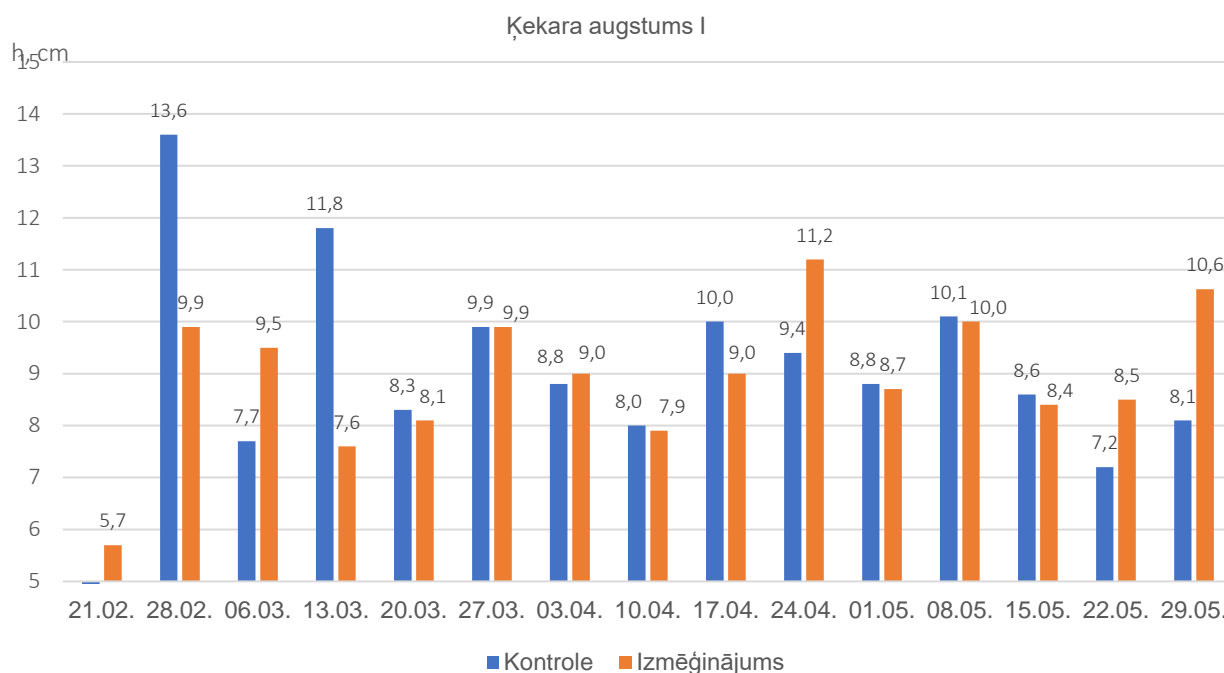
7.9. att. Augu garuma pieaugums I periodā.

Novērojot sildīšanas/dzesēšanas sistēmu praktiskā darbībā, tika konstatēta neliela novirze uzturētajās temperatūrās, salīdzinot ar kontrolsiltumnīcu - lielo SIA Rītausma ražošanas siltumnīcu. Konstatēts, ka gaiss-gaiss siltumsūkņi nodrošina vajadzīgo temperatūru bez augiem kaitīgām temperatūras svārstībām. Tika konstatēts, ka zemās temperatūrās siltumsūkņu sistēma uztur siltumnīcās nedaudz – līdz 1.5 - 2°C zemāku temperatūru. Analizējot iespējamus risinājumus, šīs problēmas novēršanai, tika konstatēts, ka izvēlētais siltumsūkņa modelis nepieļauj ārēju temperatūras devēju uzstādīšanu atbilstoši mērījumu iegūtajiem gaiss-gaiss siltumsūkņa siltā gaisa temperatūras datiem strādājot temperatūras uzturēšanas režīma dzesēšanas daļā. Kā rezultātā aprīļa sākumā tika veiktas korekcijas siltumsūkņa darbības parametros.



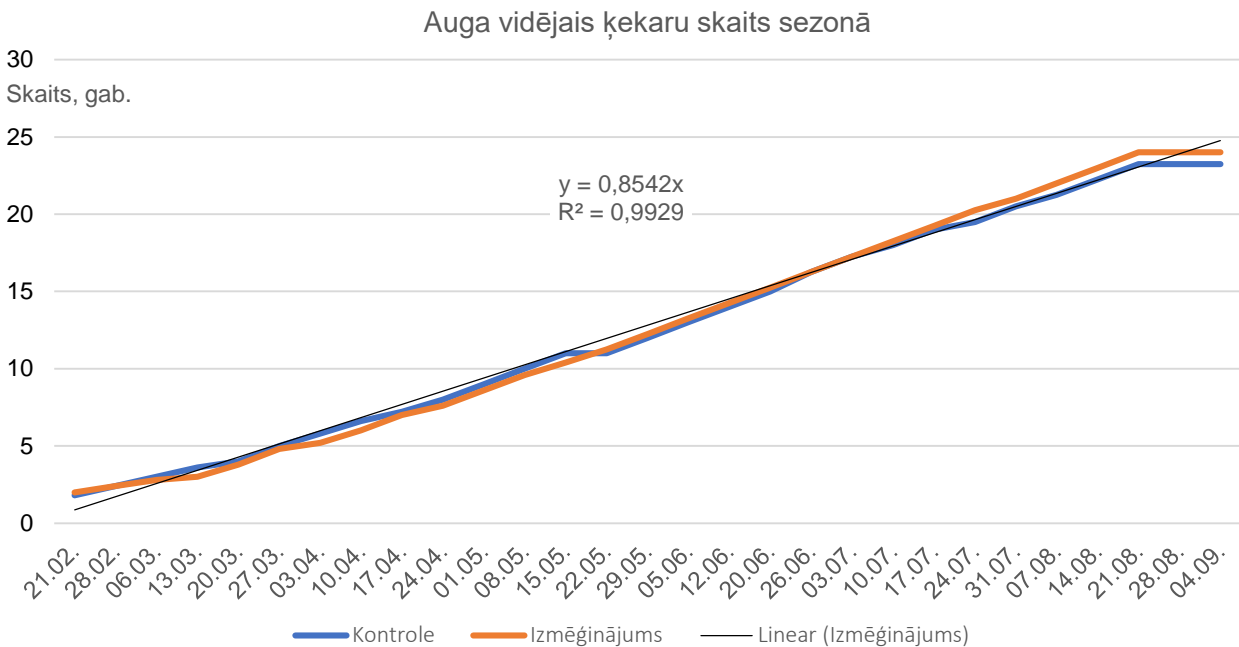
7.10. att. Augu garuma pieaugums II periodā.

Siltumsūkņa darbības parametru korekcijas rezultātā izmēģinājuma siltumnīcā esošo augu augšanas intensitāte uzlabojās un tika panākta augu garuma izlīdzināšanās ar kontroles augiem. Vienfaktora dispersijas analīzes rezultāti liecina par nebūtisku atšķirību starp kontroles un izmēģinājuma siltumnīcā augušiem tomātiem ( $P=0.939>0.05$ ).



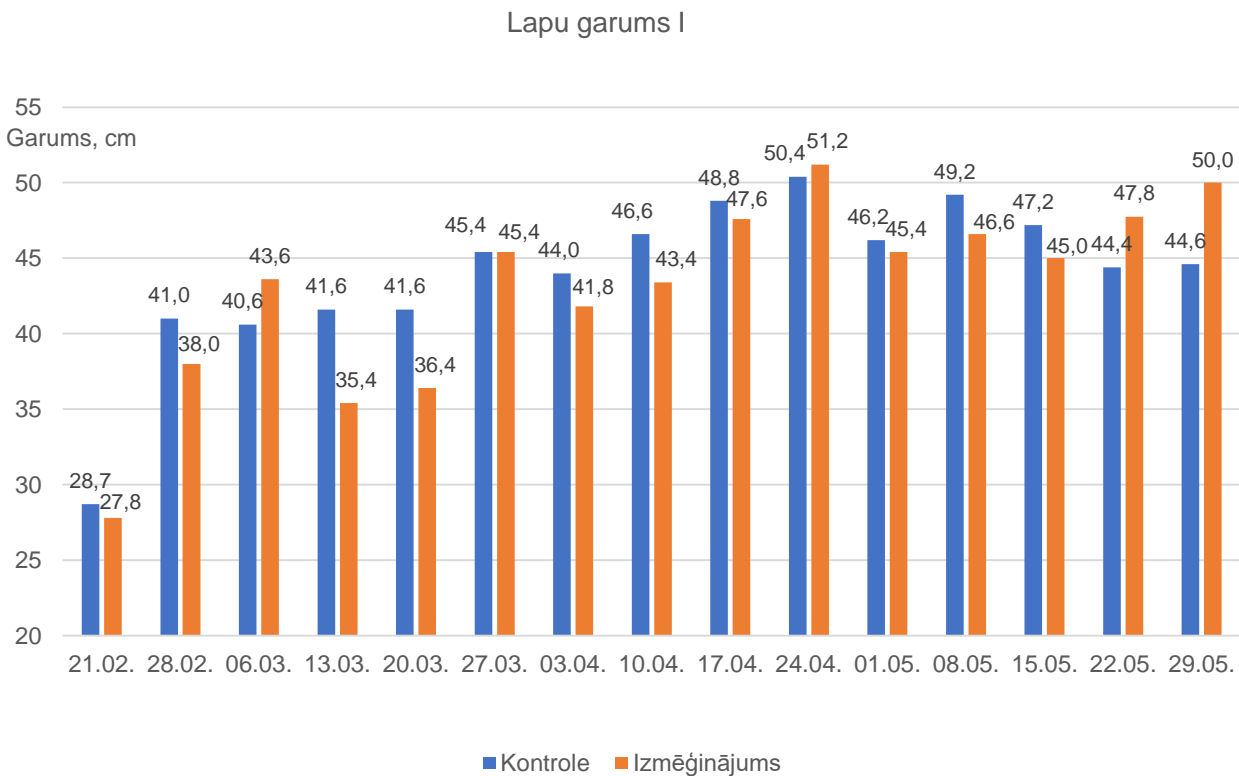
7.11. att. Attālums starp nākamo ķekaru, cm.

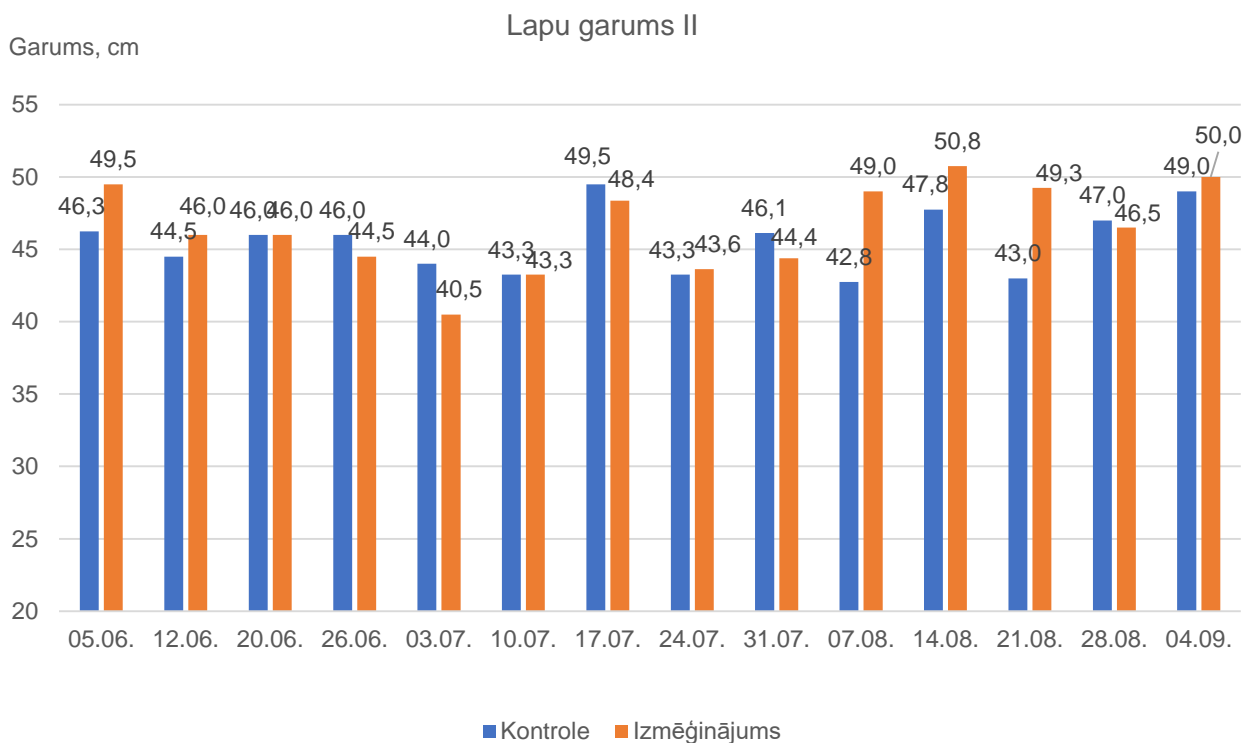
Lai arī atsevišķās uzskaites reizēs tomātu ķekara attālums starp iepriekšējo ķekaru atšķīrās vairāk par 4 cm, vidēji veģetācijas periodā ķekara attālums būtiski neatšķīrās ( $P=0.249>0.05$ ).



7.12. att. Ķekaru skaits vienam augam vidēji, gab.

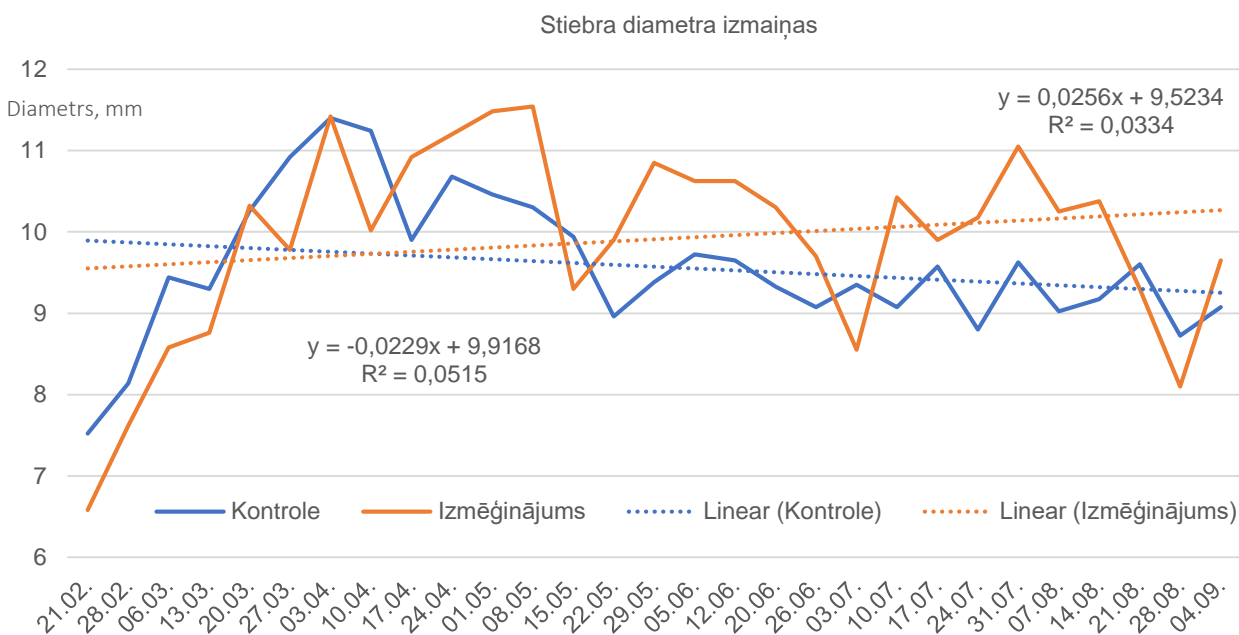
Sezonas laikā vidēji vienam tomātu augam bija izveidojušies 24 ķekari testa siltumnīcā un 23 ķekari kontroles ražošanas siltumnīcā. Ķekaru skaits abās salīdzinātajās siltumnīcās bija ļoti līdzīgs visā tomātu veģetācijas laikā no februāra līdz septembrim un nebija būtiski atšķirīgs arī vērtējot iegūtos datus ar vienfaktora dispersijas analīzi ( $P=0.963>0.05$ ).





7.13 att. Tomātu lapu garuma izmaiņas vidēji, cm.

Diagnostikas ietvaros tika veikti tomātu augu lapu garumu mērījumi visā veģetācijas perioda laikā. Lapu garums izmēģinājumu siltumnīca svārstījās no 35 līdz 51 cm robežās, izņemot pirmajā uzskaites reizē, kad lapas bija vidēji tikai 27.8 cm garas. Kontroles siltumnīcā tomātu lapas bija robežās vidēji no 41 līdz 50 cm. Arī lapu garums starp eksperimentālajā un ražošanas siltumnīcā augušajiem augiem bija nebūtiski atšķirīgs ( $P=0.962>0.05$ ).

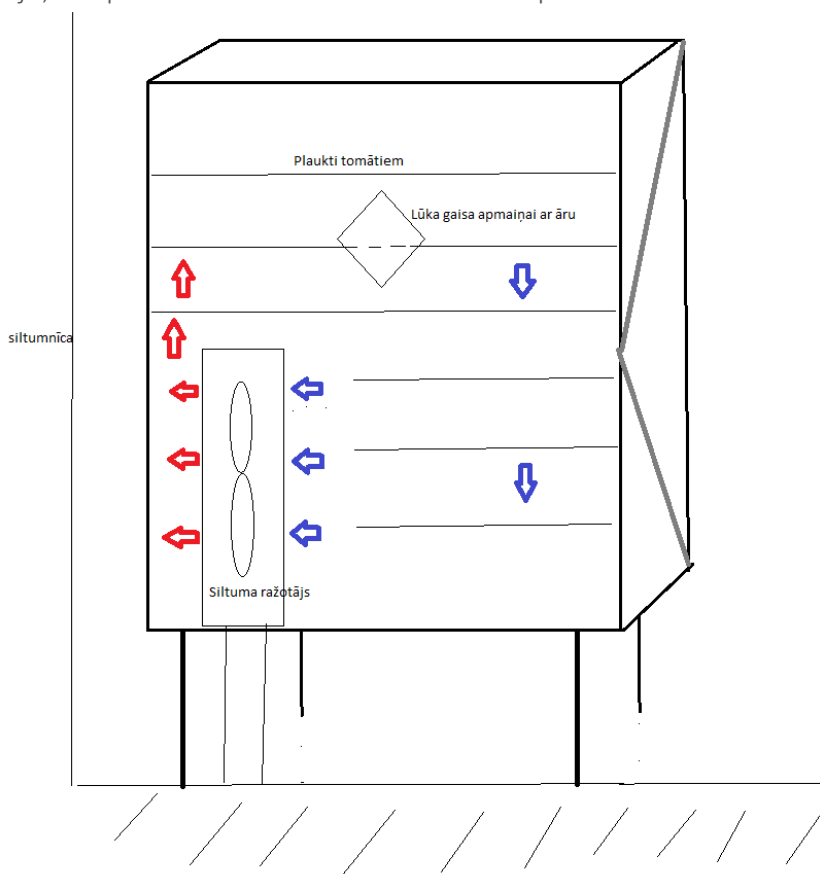


7.14. att. Tomātu stiebra diametra izmaiņas, vidēji mm.

Veģetācijas sākumā tomātu stieбри nedaudz resnāki (aptuveni par 1 mm) bija ražošanas siltumnīcā, taču, turpinoties augšanai un marta beigās veicot siltumsūkņa darbības parametru korekciju, tomātu stiebru diametrs vairāk palielinājās testa siltumnīcā 29. maijā, sasniedzot 1.5 mm starpību. Lai arī atsevišķās reizēs novērotas stiebra diametra atšķirības starp testa un ražošanas telpām, būtiskas tās nebija, jo dispersijas analīze būtisku atšķirību nevarēja parādīt ( $P=0.227>0.05$ ).

### Biomases (tomātu) žāvēšanas eksperimentālie pētījumi

Eksperimentālā pētījuma vajadzībām tika iznomāts tomātu žāvēšanas skapis, izgatavots no nerūsējoša tērauda, lai tas pēc iespējas vairāk līdzinātos pārtikas ražošanas kvalitātes prasībām. Tā kā siltumsūkņu tehniskajos parametros norādīts, kā arī iepriekšējā siltumsūkņa ekspluatācijas izmēģinājumu laikā novērota dzesējošā gaisa temperatūra nepārsniedz 45°C, bet optimālai tomātu žāvēšanai nepieciešami vismaz 55-65°C, tad eksperimenta galvenais mērķis bija noskaidrot iespēju ar siltumsūkņa palīdzību nodrošināt optimālo žāvēšanas temperatūru. Tādēļ tika nolemts izveidot papildus konstrukciju, kas palielinātu tomātu žāvēšanas temperatūru.



7.15. att. Biomases (tomātu) žāvēšanas iekārtas darbības shēma.

Analizējot sagaidāmos, siltumsūkņa darbības režīmus tika identificēts visbiežāk sagaidāmais tomātu žāvēšanas scenārijs.

Tomātu žāvēšanas pamatscenāriji:

Scenārijs 1: pamata optimālais

Mainīga siltuma padeve: žāvēšana 4-8 stundas diennaktī (dienas saulainā daļa), pamata temperatūra pārējā diennakts laikā (nosacīti istabas temperatūra).

Scenārijs 2: pamata zāģis

Mainīga siltuma padeve: sekojot mākoņu daudzumam dienas laikā, siltumsūknis padod silto gaisu vairākas reizes dienā pa dažām stundām. Pārtraukums pa nakti.

Scenārijs 3: pamata ar garo pārtraukumu

Pamata scenārijs, kura laikā iespējams 1 vai 2 dienu pārtraukums (saulainās dienas mijas ar vēsām dienām, kad siltumnīcā nav nepieciešams to dzesēt ar siltumsūkni).



7.16. att. Biomasaš žāvēšanas iekārta un gatavā produkcija

Katrs no scenārijiem ir ticis pētīts, izmantojot dažādas žāvēšanas temperatūras, vērtējot izžāvēto tomātu kvalitāti, un žāvēšanas procesa kopīgo ilgumu. Žāvēšanas pētījuma laikā tika pārbaudīti iespējamie žāvēšanas pārtraukuma laiki, lai noskaidrotu, cik gari pārtraukuma laiki ir pieļaujami, saglabājot gatavā produkta kvalitāti.

## 8. Eksperimentālo izmēģinājumu testa siltumnīcas modeļa apstākļos rezultāti

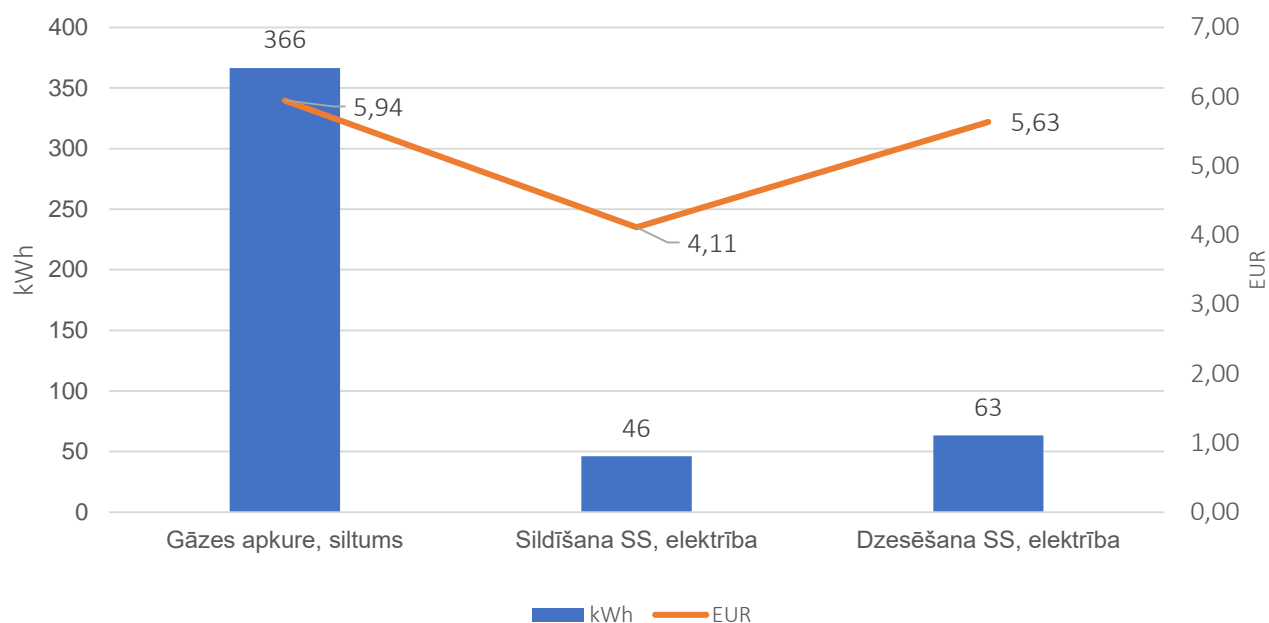
Bija divi testa režīmi - sildīšanas režīms un dzesēšanas/sildīšanas režīms.

Strādājot tikai sildīšanas režīmā, tomātu augšana sākumā aizkavējās, kas skaidrojams, ar temperatūras režīma uzturēšanas novirzēm starp SS uzstādīto temperatūru, kura tiek mērīta caur SS ieklūstošo gaisu un reālo siltumnīcā sasniegto temperatūru. Lai novērstu šo temperatūras atšķirību, tika piemērota temperatūras vadības uzstādījumu kalibrēšana, kas ļāva sasniegt siltumnīcā vajadzīgo temperatūru. Lai nodrošinātu precīzu temperatūras režīmu nākotnē, jāizmanto Gaiss-Gaiss (GAISS-GAISS) siltumsūkņi ar ārējo temperatūras devēju temperatūras vadībai. Šī eksperimenta ietvaros tika izmantoti GAISS - GAISS siltumsūkņi, kuri temperatūru nosaka pēc iesūknētā gaisa temperatūras.

Salīdzinot eksperimentālās siltumnīcas, patērētos enerģētiskos resursus ar ražošanas segto platību rādītājiem, iegūts 8.1. attēls. Tomātu audzēšanas 2020. gada sezonas laikā ražošanas siltumnīcā 1 m<sup>2</sup> apsildei patērēts 33.77 m<sup>3</sup> dabasgāzes, kas pārrēķinot uz siltumspēju (1m<sup>3</sup>=10.851 kWh) veidoja 336 kWh siltumenerģijas patēriņu uz 1 m<sup>2</sup> apsildāmās platības. Segtās platības sildīšanai ar gais-gaiss tipa siltumsūkni sezonas laikā tika iztērēts 46 kWh m<sup>-2</sup>. Pieņemot, ka ražošanas un eksperimentālajai siltumnīcai tomātu audzēšanai bija nepieciešams vienāds siltuma daudzums uz 1 m<sup>2</sup>, noskaidrots 2020. gada tomātu audzēšanas sezonas siltumsūkņa lietderības koeficients (COP), kas sildīšanas režīmā sastādīja COP=7.95.

Vidējā dabasgāzes cena 2020. gada sezonā bija 0.01622 EUR kWh, bet elektroenerģijas izmaksas ņemot vērā visas piegādes un obligātās komponentes sastādīja 0.089 EUR kWh. Gan dabasgāzes, gan elektroenerģijas cenās netika ņemts vērā PVN 21%. Naudas izteiksmē 2020. gada sezonā darbinot gais-gaiss tipa siltumsūkni iztērēts 4.11 EUR m<sup>-2</sup>, kas nodrošināja līdzīgu siltumenerģijas daudzumu, kā ražošanas siltumnīcā apkurei izmantojot dabasgāzi 5.94 EUR m<sup>-2</sup> vērtībā (8.1. att.).





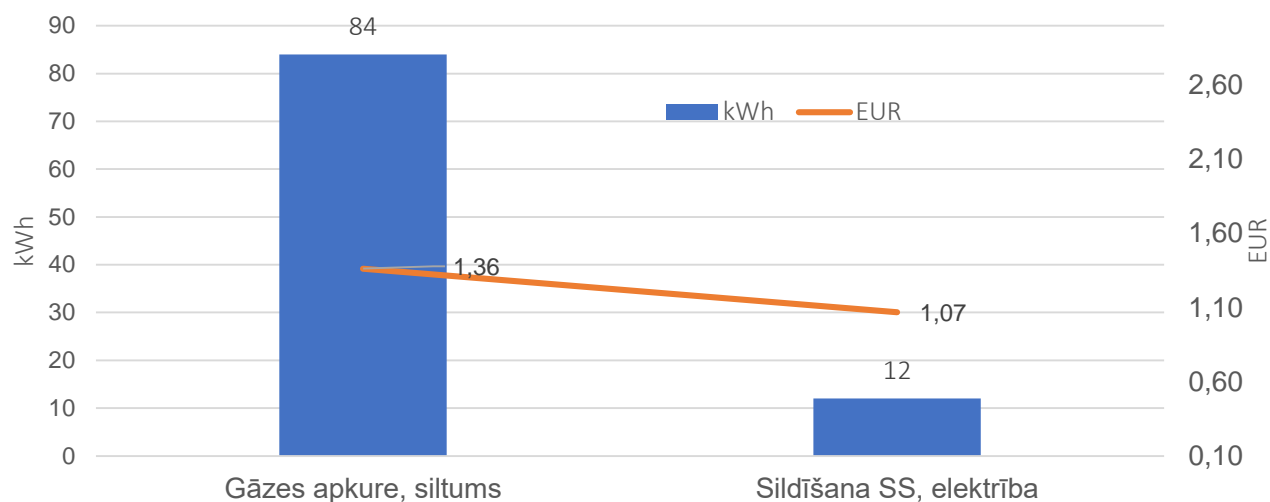
8.1 att. Energoresursu izlietojums 2020. gada sezonā, m<sup>2</sup>.

Tādejādi siltumenerģijas nodrošināšanai gaiss-gaiss tipa siltumsūkņi 2020. sezonas laikā patērēja mazāk energoresursu 1.83 EUR (=20.5 kWh) vērtībā uz 1 m<sup>2</sup> telpas kā siltumtīcu apkurinot ar dabasgāzi, kas liecina par siltumsūkņu konkurētspēju siltumenerģijas ražošanā 2020. gada sezonas klimatiskajos apstākļos.



8.2. att. Vidējā, minimālā un maksimālā diennakts gaisa temperatūra Zilānos, °C, 2020. gada marts.

Pārbaudītā siltumsūkņa siltumenerģijas nodrošināšanas izaicinošākais periods 2020. gada sezonā bija marta mēnesis, kad āra gaisa temperatūras svārstības bija no -7.5°C naktī līdz +15.2°C dienā, turklāt diennakts vidējā gaisa temperatūra atsevišķos datumos nepakāpās virs nulles, bet mēneša vidējā diennakts gaisa temperatūra bija +2.9°C (8.2. att.).



8.3. att. Resursu izlietojums 2020. gada martā, m<sup>2</sup>.

Taču arī 2020. gada marta mēnesī eksperimentā izmantotais siltumsūknis uzrādīja efektīvu siltumenerģijas nodrošināšanas spēju un viena kvadrātmetra sildīšanai patērētā elektroenerģija 12 kWh apjomā sastādīja 1.07 EUR lielas izmaksas, kas salīdzinot, ar gāzes apkuri bija par 0.29 EUR m<sup>2</sup> mazāk. Gāzes apkurei marta mēnesī 1 m<sup>2</sup> apsildei patērēts 84 kWh siltumenerģijas 1.36 EUR (8.3 att.).

8.1. tabula

Hitachi RAC 50 siltumsūkņa parametri<sup>3</sup>

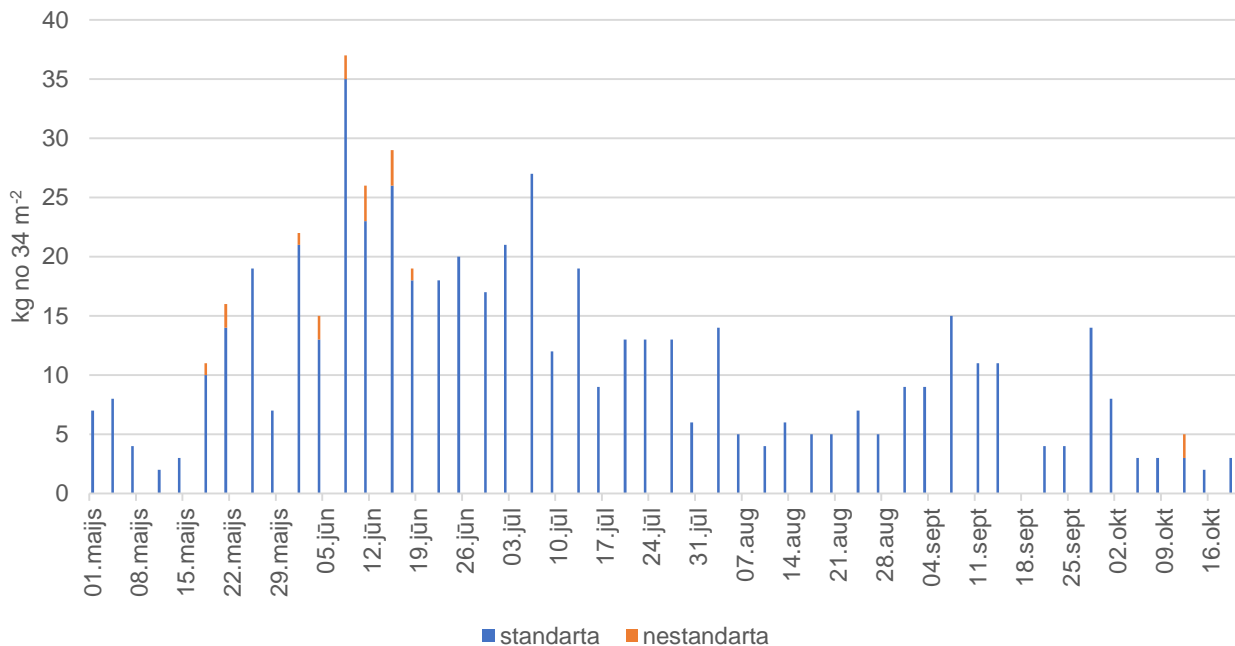
Deklarētā jauda (*) Sildīšanai / vidēji sezonā, iekštelpu temperatūrā 20°C un āra temperatūrā Tj			Deklarētais lietderības koeficients (*) / Vidējā sezona iekštelpu temperatūrā 20°C un āra temperatūrā Tj	
Tj = - 7°C	3.9	kW	COPd	2.9
Tj = 2°C	2.3	kW	COPd	4.6
Tj = 7°C	1.5	kW	COPd	6
Tj = 12°C	1.6	kW	COPd	7.3
Tj = bivalentā temperatūra	3.9	kW	COPd	2.9
Tj = darbības robeža	3.1	kW	COPd	2.4

Izmantojot iegūtos rezultātus un siltumsūkņa Hitachi RAC 50 ražotāja pārstāvja nodrošināto tehnisko informāciju (skat. 8.1 tabula) varam aprēķināt gāzes apkures un gaiss-gaiss siltumsūkņa siltumenerģijas ražošanas izmaksu līdzsvaru. Siltumenerģijas izmaksas būs līdzvērtīgas dabasgāzes izmaksām pie elektroenerģijas patēriņa gaiss-gaiss siltumsūkņa darbināšanai 66 kWh m<sup>-2</sup> ar nosacījumu, ka dabasgāzes cena ir 0.01622 EUR kWh, bet elektroenerģijas cena ir 0.089 EUR kWh. Gaiss-gaiss siltumsūkņa efektivitātes rādītājs COP šādu elektroenerģijas patēriņu sasniedz pie COP=5.5. Pēc tabulas 7.1 eksperimentā izmantotajam siltumsūknim COP=5.5 teorētiski ir sasniedzama pie vidējās āra gaisa temperatūras +5°C un nodrošinot +20°C iekšējās telpas.

Uzstādītā gaiss-gaiss tipa siltumsūkņa lietderības paaugstināšanai, karstajās veģetācijas perioda dienās tas tika izmantots segtās platības liekās siltumenerģijas uztveršanai un izmantošanai biomasas kaltēšanai. 2020. gada sezonas apstākļos dzesēšanai tika izmantots pat par 17 kWh m<sup>-2</sup> vairāk

<sup>3</sup> Pēc Hitachi oficiālā pārstāvja SIA Alter Grupa informācijas

elektroenerģijas ( $63 \text{ kWh m}^{-2}$ ) kā siltumnīcas apsildei  $46 \text{ kWh m}^{-2}$ , attiecīgi dzesēšanai patērētās elektroenerģijas izmaksai sastādot  $5.63 \text{ EUR m}^{-2}$ , un tas bija par  $1.52 \text{ EUR m}^{-2}$  vairāk kā siltumnīcu apkurinot ar siltumsūkni.



8.4 att. Tomātu ražas dinamika testa siltumnīcā 2020., kg no 34 m<sup>2</sup>

No vienas platības vienības eksperimentālajā siltumnīcā visas 2020. gada sezonas laikā kopā iegūti  $17.0 \text{ kg}$  tomātu, bet ražošanas siltumnīcā visā sezonas laikā iegūti  $39.7 \text{ kg m}^{-2}$  tomātu, kas bija vairāk nekā divas reizes vairāk. Testa siltumnīcā audzētie tomāti veģetācijas perioda pirmajā pusē līdz jūlija mēneša vidum  $34 \text{ m}^2$  ražoja ap  $20 \text{ kg}$  augļu vienā novākšanas reizē, tomātus vācot ik pēc 3 dienām. Taču veģetācijas perioda otrajā pusē bija vērojama tomātu ražības samazināšanās līdz pat  $5 \text{ kg}$  tomātu no  $34 \text{ m}^2$  lielas siltumnīcas vienā vākšanas reizē, kas būtiski ietekmēja testa siltumnīcas kopējo 2020. sezonas ražību. Par iemeslu varētu būt iekšējā mikroklimata izmaiņas gaisa dzesēšanas rezultātā, kas tika uzsākts maija trešajā dekādē. Intensīvi atdzesējot, tā relatīvais mitrums samazinās, kā rezultātā samazinās uz drīksnas nonākušo putekšņu dīgšana un tomāti neapputeksnējas.<sup>4</sup>

## 9. Projekta rezultātu novērtējums un rekomendācijas

Pētījuma gaitā gaiss-gaiss tipa siltumsūkņi parādīja energoefektivitāti, kura pārsniedz gāzes apkures energoefektivitāti, gan enerģijas patēriņu, gan arī cenas ziņā.

Apsildot siltumnīcu ar gaiss-gaiss tipa siltumsūkni un salīdzinot elektrības patēriņu ar kontrosiltumnīcas elektrības patēriņu, kur kontrosiltumnīca tika apsildīta ar gāzi, tika konstatēts, ka enerģijas patēriņa ziņā siltumsūkņi patērēja apmēram 8 reizes mazāk enerģijas nekā apsilde ar gāzi. Ņemot vērā to, ka elektroenerģija, it īpaši pēc visām OIK komponentēm un pārvades izdevumiem ir krietni dārgāka nekā gāze, tad tīrais ekonomiskais efekts nav liels – 2020 gada sezonā, kas bija ar siltu ziemu un vēsu pavasari – tāvad siltumsūkņu efektivitātei ļoti piemērotu režīmu, iegūtais ekonomiskais efekts bija apmēram 30% (izmaksas  $4,11 \text{ EUR m}^{-2}$  siltumsūkņim salīdzinot ar  $5,94 \text{ EUR m}^{-2}$  gāzei).

Ļoti būtisks toties ir CO<sub>2</sub> izmešu samazinājums. Šeit samazinājums ir 4 reizes, ja pieņemam, ka elektrība tiek ģenerēta tikai Rīgas TEC koģenerācijas režīmā vai arī 10 reizes, ja pieņemam, ka virs 50% no elektrības tiek ģenerēti Somijas vai Krievijas AES vai arī hidroelektrostacijās.

<sup>4</sup> <https://gidroponika.com/content/view/153/119/> piekļuve veikta 29.10.2020

Tādejādi projekta gaitā tika demonstrēts, ka izmantojot modernās tehnoloģijas – Gaiss-Gaiss siltumsūkņus ir iespējams nodrošināt Latvijas iedzīvotājus ar svaigiem dārzeniem un zaļumiem cauru gadu un vienlaicīgi gandrīz desmitkārt samazināt siltumnīcas gāzu emisiju siltumnīcu saimniecībā. Tās ir ļoti labas ziņas gan šo veselīgo produktu ražotājiem, gan arī Latvijas ekonomikai kopumā, jo ļauj veselam lielam lauksaimniecības sektoram būtiski samazināt CO<sub>2</sub> emisijas.

Projekta gaitā tika arī analizēti iespējamie sarežģījumi, kas var rasties izmantojot gaiss-gaiss tipa siltumsūkņus siltumnīcu apsildē. Sarežģījumi saistās ar precīzu siltuma režīma uzturēšanu un to, lai novērstu siltumsūkņu darbības cikliskuma izraisītās gaisa temperatūras svārstības, jo tipiski gan kondicionieri, gan gaiss-gaiss siltumsūkņi strādā tiešā vai modificētā ieslēgšanās/izslēgšanās režīmā, bet augi dod priekšroku vienmērīgam temperatūras režīmam. Tāpat uzmanība jāpievērš tam, lai siltumsūkņi temperatūru uzturētu ar ārēju temperatūras devēju, kas regulē temperatūru siltumnīcā, bet nevis nedaudz lētāko iekšējo temperatūras devēju, kurš regulē siltumsūkņa darbību, mērot siltumsūkņī ieklūstošā gaisa temperatūru. Rezultējošās temperatūras atšķirības starp šiem režīmiem var būt nelielas – 0.5-2°C grādi, bet tomātu augšanas novērošana parādīja, ka pat šādām it kā nelielām novirzēm no optimālās augu augšanas temperatūras ir stipra ietekme uz tomātu attīstības ātrumu. Savukārt, ja siltumsūkņi ir precīzi kalibrēti, tad tie uztur daudz precīzāku temperatūru nekā konvencionālā siltumnīcas apkure ar karsto ūdeni (radiatoriem). Tas saistīts ar daudz mazāku siltuma inerci gaiss-gaiss siltumsūkņim salīdzinot ar ūdens apkures sistēmu. Izmainoties laika apstākļiem – uzsūdot Saulei vai arī, parādoties mākoņiem, strauji mainās Saules enerģijas pieplūdums siltumnīcai. Gaiss-gaiss tipa siltumsūkņi uz šīm Saules starojuma izsuktām temperatūras izmaiņām siltumnīcā var reaģēt ļoti strauji – minūtes laikā un samazināt sildīšanu vai arī to uzsākt. Savukārt karstā ūdens apkures sistēmai siltuma inerce ir daudz lielāka – tie ir desmiti minūšu, kuru laikā siltumnīcas temperatūra var par apmēram grādu pārsniegt optimumu, ja pēkšņi uzsūc Saule, vai arī nokristies zem optimuma, ja Saule pēkšņi pazūd.

Pētījums ir parādījis, ka gaiss-gaiss tipa siltumsūkņa silto izplūdes gaisu ir iespējams uzsildīt pietiekami, lai ar to varētu veikt sekmīgu tomātu žāvēšanu, iegūstot kaltētus tomātus, kuru kvalitāte organoleptiski novērtējot ir atbilstoša, lai tos sekmīgi izmantotu pārtikā. Domājams, ka saudzīgākais temperatūras režīms, salīdzinot ar žāvēšanu tiešos saules staros karstā klimata zemēs, nodrošina pilnvērtīgāku vitamīnu un citu bioloģiski aktīvo vielu saglabāšanos šādi žāvētos tomātos un citos produktos.

Sildīšanas dzesēšanas režīmā strādājot (2020. g. vasara) eksperimentālās siltumnīcas ražība ievērojami nokritās, un vairāki augi aizgāja bojā. Mēs secinām, ka tas saistīts ar ievērojami sarežģītāku mikroklimatu, kas veidojas dzesēšanas režīma laikā. Dzesējot ar siltumsūkni, nenotiek gaisa apmaiņa ar ārpusi atšķirībā no kontroles siltumnīcas, kur siltais gaiss tiek izlaists atmosfērā un pa ventilācijas atverēm ievadīts svaigais atmosfēras gaiss. Ejot cauri dzesēšanas ciklam, gaiss tiek ievērojami atdzesēts – vairāk par 10°C (piemēram 27.08.2020 atdzesētais gaiss bija 9.9°C, ko uzrādīja sensors Nr.5, bet siltumnīcā bija 23.2°C pie sensora Nr.2 plkst. 18.18) un no gaisa tiek aizvadīts mitrums, kurš zemajā temperatūrā pāriet kondensāta fāzē. Tādejādi eksperimentālās siltumnīcas mikroklimats un gaisa sastāvs atšķiras no kontroles siltumnīcas vismaz pēc diviem parametriem - gaisa mitruma un CO<sub>2</sub> sastāva, kas acīmredzot negatīvi ietekmē augu augšanu un attīstību.

Lai sekmīgi izmantotu siltumnīcu pārpalikuma siltumu biomasas žāvēšanai ar gaiss-gaiss tipa siltumsūkni ir jāveido siltumnīca ar aktīvo ventilēšanu, kur no siltumnīcas tiek aizvākts sasilušais gaiss, kurš uzkrājas siltumnīcas augšpusē pie griestiem un sasilušais gaiss tiek novadīts uz gaiss-gaiss siltumsūkni (vai citu siltumsūkni), kurš tālāk daļu no šī gaisa atdzesē, lai otru daļu uzkarsētu vēl vairāk un tālāk izmantotu biomasas žāvēšanai. Šāda konfigurācija neietekmētu siltumnīcu iekšējo mikroklimatu liekā siltuma aizvadīšanas gaitā. Pētījumam paredzēti GAISS-GAISS siltumsūkņi nav

piemēroti šādam darba režīmam bez nopietnas pārbūves, bet pētījums ir parādījis, ka principiāli tas ir iespējams.

Ekonomiskais efekts izmantojot GAISS-GAISS tipa siltumsūkni, būvējot jaunas segtās platības. Veidojas ievērojami kapitālieguldījumu ietaupījumi, jo nav jāizbūvē atsevišķa apkures un apsildes sistēma un modulāra gaiss-gaiss siltumsūkņu apsildes sistēma ļauj daudz mobilāk un elastīgāk konfigurēt apsildāmās platības.

Ņemot vērā, ka siltumsūkņu apsildes sistēmām nepieciešama nepārtraukta elektrības padeve, tad veidojot siltumsūkņu apsildes sistēmas, ir jānodrošina elektrības nepārtraukta padeve - jābūt diviem neatkarīgiem elektrības pieslēgumiem ar nepieciešamo jaudu.

Būtiski atzīmēt vēl vienu aspektu kā gaiss-gaiss siltumsūkņi var palīdzēt nodrošināt Latviju ar svaigiem dārzeniem un zaļumiem ar zemu CO<sub>2</sub> izmešu "pēdas nospiedumu". Gaiss-gaiss siltumsūkņu apkures sistēmas izbūve prasa ievērojami mazākus kapitālieguldījumus nekā tradicionāla apkure ar karsto ūdeni. Gaiss-gaiss siltumsūkņu sistēma ir modulāra – siltumnīcu kompleksu var palielināt pieslēdzot arvien jaunus siltumsūkņus, katru ar salīdzinoši nelielu jaudu. Ja siltumnīcu neizmanto cauru gadu, bet gan veģetācijas sezonas pagarināšanai pavasarī un rudenī, tad priekšrocības ir vēl lielākas – vēl labāka lietderības koeficienta priekšrocība, ir nepieciešamas mazākas uzstādītās siltuma jaudas uz siltumnīcas kvadrātmetru, jo uzstādīto siltuma jaudu nosaka maksimāli zemākās temperatūras ziemas naktīs, kad vajadzīgs jaudas maksimums. Tāpat jāatzīmē tas, ka nav vajadzīga kāda īpaša siltumnīcas iekārtu sagatavošana ziemas sala periodam, jo siltumsūkņi salā nesasalst. Pie trūkumiem svarīgi atzīmēt, ka ir vajadzīgas garantijas par nepārtrauktu elektrības piegādi. Tas nozīmē vai nu divas neatkarīgas elektrības piegādes līnijas lieliem ražotājiem vai arī savu ģeneratoru mazākiem ražotājiem. Toties īpaši izdevīgi siltumsūkņu apkures risinājumi varētu būt ražotājiem, kuriem ir savas koģenerācijas jaudas – tas dod gan ievērojami lētākas elektrības cenas bez esošajiem papildus maksājumiem (kā OIK, pārvades maksājumi un tml.), gan arī nav nepieciešamas divas elektrības pievades līnijas, gan arī var izmantot koģenerācijā radīto siltumu. Tā saucamie "atjaunojamie" enerģijas avoti kā vējš un Saule gan nebūs piemēroti elektrības lokālai ģenerēšanai segto platību apsildei, jo tiem nav itin nekādas jaudu stabilitātes un tie nav piemēroti sistēmām, kur vajadzīga garantēta elektrības piegāde.

Elektroenerģijas ražošanas koģenerācijas elektrostacijas esamība siltumsūkņu izmantošanu padara vēl efektīvāku, jo ļauj izvairīties no dažādiem ar elektrību saistītiem papildu maksājumiem - kā pārvades izdevumi, tarifa atjaunojamās enerģijas komponentes un tamlīdzīgi papildu maksājumi, kas nav tieši saistīti ar elektrības ražošanas cenu, kā arī ļauj ģenerējošām kapacitātēm strādāt maksimāli lielu daļu laika strādāt optimālā ģenerējošā režīmā. Kā jau minēts, tad šādā gadījumā tik un tā ir nepieciešama ārējā slēguma jaudas rezerve, lai nodrošinātu elektrības padeves nepārtrauktību elektrības patēriņu pīķa periodos.

Visas šīs gaiss-gaiss siltumsūkņu tehnoloģiskās un ekonomiskās priekšrocības padara tos īpaši piemērotus dārzenū un zaļumu ražotājiem, kuri vēlas izbūvēt jaunas ražošanas jaudas ar iespējami maziem kapitālieguldījumiem un kuri vēlas iespēju laika gaitā elastīgi palielināt savas segto platību ražošanas jaudas. Arī nelieliem ražotājiem, kuri vēlas ilgāk iegūt produktus no savas jau esošās neapsildāmās siltumnīcas, šis būs ļoti piemērots risinājums, jo prasa salīdzinoši nelielus ieguldījumus un ir ērti lietojams.

Kopumā pētījums ir parādījis, ka gaiss-gaiss siltumsūkņu tehnoloģija segtajās platībās ļauj ekonomiski izdevīgi nodrošināt Latvijas iedzīvotājus ar veselīgiem vietēji ražotiem svaigiem dārzeniem un zaļumiem, apsildāmās platībās samazinot CO<sub>2</sub> emisijas no 4 līdz 10 reizes.

Pētījums parādīja, ka sildīšanas režīmā gaiss-gaiss tipa siltumsūkņi demonstrē ekonomisko un siltuma efektu.

## 10. Secinājumi

1. Gaiss-gaiss siltumsūkni ir iespējams izmantot, lai 4 līdz 10 reizes samazinātu CO<sub>2</sub> emisiju segto platību apsildē, to darot ekonomiski izdevīgā veidā. Konkrētais CO<sub>2</sub> emisijas samazinājums ir atkarīgs no elektrības ražošanas veida, kuru izmanto siltumsūkņu darbināšanai – no bez CO<sub>2</sub> elektrības īpatsvara izmantotajā elektriskajā enerģijā.

2. Gaiss-gaiss siltumsūkņu enerģijas izmaksas apsildes sistēma segtajām platībām ir nedaudz mazākas nekā gāzes apkures sistēmas enerģijas izmaksas (pie 2019-2020 gada cenām). CO<sub>2</sub> emisiju samazinājumu atšķirībā no OIK ir iespējams izdarīt ekonomiski izdevīgā veidā.

3. Kapitālieguldījumi jaunas gaiss-gaiss siltumsūkņu apsildes sistēmas izveidošanā ir apmēram 150 EUR m<sup>-2</sup> apsildāmās platības, no šīm izmaksām lielākā daļa ir rezerves jaudas īpaši aukstam laikam. Papildinot esošu gāzes apsildes sistēmu ar gaiss - gaiss siltumsūkņu apsildes sistēmu kapitālieguldījumu izmaksas samazinās līdz apmēram 70 EUR m<sup>-2</sup> paturot esošo apkuri kā jaudas rezervi. Siltumsūkņu dzīves ilgums un apkopes izmaksas šī pētījuma ietvaros nav salīdzinātas ar citu apkures sistēmu parametriem.

4. Ir nepieciešami tālāki tehnoloģiski pētījumi, lai optimizētu gaiss-gaiss apsildes sistēmas parametrus, nodrošinot ekvivalentu vai labāku efektivitāti par tradicionālām kurināmā - ūdens apsildes sistēmām. Ņemot vērā mazāko siltuma un regulēšanas inerci gaiss-gaiss sistēmai salīdzinot ar tradicionālo apkures sistēmu, ir iespējams uzturēt precīzāku temperatūru siltumnīcā saulesmākoņu mijas laikā, kas ir iespējams potenciāls ražības uzlabojumiem.

5. Gaiss - gaiss siltumsūkņu sistēmu ir iespējams sekmīgi izmantot biomasas žāvēšanai. Tika novērots, ka augu dzesēšana kaitē to attīstībai, tāpēc ir jāizmanto sistēmas, kuras silto gaisu pirms tālākas izmantošanas izvada no segtajām platībām. Izmantotais gaiss - gaiss tipa siltumsūknis nodrošināja nepieciešamo optimālo tomātu kaltēšanas temperatūru, taču tam papildus bija nepieciešama gaisa plūsmas recirkulācijas konstrukcija.

## 11. Projekta publicitāte

Rezultātu prezentācija un publicēšana notika LU 77 starptautiskajā konferencē, 08.02.2019 Latvijas Universitātes Dabas mājā, kā arī LU 78 starptautiskajā konferencē, 06.03.2020., kas arī notika Latvijas Universitātes Dabas mājā Rīgā, Jelgavas ielā 1. (4. pielikums)

25.02.2020 Salas kultūras nama telpās un SIA Rītausma segtajās platībās notika seminārs, kurā dalībnieki tika iepazīstināti ar projekta mērķiem un uzdevumiem, kā arī tika prezentēti pirmie rezultāti par tomātu žāvēšanas procesa izpēti (4.pielikums).

Sakarā ar vispārējo Latvijas valsīt izsludināto epidemioloģisko situāciju un ierobežojumiem pulcēties klātienē, 17.11.2020. Tika rīkots attālināts seminārs (vebinārs), izmantojot programmu ZOOM, kurā piedalījās 28 dalībnieki (4.pielikums).

## 12. Atskaites par komandējumiem

Tika apmeklēta 2. Starptautiskā enerģētikas un enerģijas efektivitātes tehnoloģiju izstāde ENERGETIKA 2019, JSC "Expo vakarai", kas notika Klaipēdā, Lietuvā laikā no 2019. gada 5. līdz 6. aprīlim.

Izstādes apmeklējuma laikā ar izstādes dalībniekiem, kā vadošo Eiropas valstu atjaunojamo enerģētisko iekārto ražotāju pārstāvjiem tika pārrunāts par jaunākām energoefektivitātes tehnoloģiju, enerģijas taupīšanas ierīču, enerģijas taupīšanas sistēmu, siltumsūkņu un saules kolektoru izstrādēm.

Tiekoties ar izstādes dalībniekiem, tika pārrunāts par Lietuvā esošo situāciju siltumsūkņu izmantošanas jomā, kur tie, plašāk tiek izmantoti individuālo ēku un uzņēmumu siltumapgādē. Savukārt centralizētā ēku siltumapgādē Lietuvā siltumsūkņi jau tiek izmantoti ceturtnās paaudzēs

sistēmās (siltumnesēja, ūdens temperatūra līdz 55°C). Jāatzīmē, ka salīdzinot ar Lietuvas situāciju Latvijā plašāk tiek izmantotas trešās paaudzes siltumapgādes sistēmas (siltumnesēja vidējā temperatūra līdz 90°C). Kā piemēru var minēt Lietuvā, Druskininku pilsētā, ārstniecības iestāde ar kopējo platību 20 tūkst. m<sup>2</sup> apsildei un dzesēšanai izmanto siltumsūkņus (gaiss-ūdens) kombinācijā ar zemes siltumsūkņiem, kur enerģiju atgūst no notekūdeņiem un dziļurbumiem.

Gūtas atziņas par jaunākajiem sasniegumiem, atjaunojamo enerģijas: saules fotoelementu enerģijas un saules siltuma enerģijas jomā, kā arī to optimālo parametru izvēlē, par to kā jaunākās siltumsūkņu tehnoloģijas nodrošina pilnībā automatisku siltumapgādi pie līdzcērtīgām izmaksām par segto platību apkuri un siltā ūdens sagatavošanai, salīdzinot ar dabasgāzi.

No 05.11.2019 līdz 08.11.2019 tika apmeklēta Interclima, kas jau 50 gadus ir Francijas ilggadējā gaisa kondicionēšanas iekārtu starptautiska mēroga izstāde. Izstāde notika Parīzes izstāžu kompleksā Parc des Expositions Paris Nord Villepinte. Mondial du bâtiment pasākuma ietvaros Interclima izstādē varēja atrast visu veidu apkures un gaisa kondicionēšanas iekārtas visu veidu ēkām un tirgiem, gan jaunbūvēm, gan renovācijas projektiem. Izstādes laikā tika apmeklēti vairāku siltumsūkņu un citu līdzīgu iekārtu ražotāju standi, no kuriem par nozīmīgāko var uzskatīt Ķīnas TR Outes firmas pārstāvju kontaktu izveidošanu, kuri šobrīd attīsta līdzīgu siltumnīcu apkures projektu Nīderlandē, kā arī viņiem ir vairāki šāda tipa projekti Ķīnā. Tika apmeklēti arī Panasonic, Toshiba, Airwell, Termicol, Siccom, Senseair uzņēmumu standi. Iegūtas zināšanas par siltumsūkņu attīstības tendencēm un iespējām pasaules mērogā. Ieteikums būtu apmeklēt kādu no Outes firmas attīstītajiem siltumnīcu apsildes projektiem Ķīnā.

No 09.11.2019 līdz 15.11.2019 tika apmeklēta Aclima izstāde Telavivā, Izraēlā. Tika apmeklēta izstāde ACLIMA "International Exhibition on Air-conditioning Heating, Cooling & Ventilation Systems". Izraēlas un Palestīniešu Gazas sektora konflikta saasinājuma dēļ vairākas dienas visā Izraēlā bija noteikts ārkārtas stāvoklis un atcelti visi sabiedriskie pasākumi, kuros notiek iedzīvotāju pulcēšanās, kā arī Telavivā tika izsludināta raķešu uzbrukuma trauksme. Valstī izsludinātā ārkārtas stāvokļa dēļ nenotika vairākas no plānotajām izstādes dienām, bet sakarā ar panākto pamiera risinājumu izstāde tomēr notika un bija iespējams sekmīgi apmeklēt izstādi. Izstādē bija pārstāvēti vadošie siltuma-aukstuma tehnoloģiju ražotāji, lielāka daļa no kuriem bija pārstāvēti ar dažādām dzesēšanas sistēmām, kondicionieriem un siltumsūkņiem. Izstādē bija iespējams tieši kontaktēties ar dažādu firmu pārstāvjiem, iepazīties ar iekārtu tehnoloģiskajiem parametriem un pārrunāt sildīšanas/dzesēšanas sistēmu plānošanas aspektus un plānotajiem pielietojumiem atbilstošāko sistēmas elementu parametrus.

Izstādes gaitā bija iespējams iepazīties ar siltuma, aukstuma sistēmu risinājumiem, kas varētu būt piemēroti segto lauksaimniecības platību apsildei un dzesēšanai un noderīgi projekta īstenošanai. Tika iegūti dažādi materiāli ar iekārtu tehniskajiem parametriem.

## Pielikumi

1.pielikums

### Temperatūras mērījumu dati

Piemērs (Sensors 2, 20.02.2020 no plkst. 5:48 līdz 6:18 – 30 min. periods)

Node unit id	Sensor unit id	Sensor sensor type name	Observed value	Observation time	Registration time	Observation reliability	Out of range
866191037529880	340350002	Air temperature (Celsius deg.)	15.25	2020-02-20 06:18:00	2020-02-20 05:27:39	0	0
866191037529880	340350002	Air temperature (Celsius deg.)	15.0625	2020-02-20 06:15:00	2020-02-20 04:30:16	0	0
866191037529880	340350002	Air temperature (Celsius deg.)	15.0625	2020-02-20 06:12:00	2020-02-20 04:29:54	0	0
866191037529880	340350002	Air temperature (Celsius deg.)	15.125	2020-02-20 06:09:00	2020-02-20 04:29:38	0	0
866191037529880	340350002	Air temperature (Celsius deg.)	15	2020-02-20 06:06:00	2020-02-20 04:29:23	0	0
866191037529880	340350002	Air temperature (Celsius deg.)	15.0625	2020-02-20 06:03:00	2020-02-20 04:29:01	0	0
866191037529880	340350002	Air temperature (Celsius deg.)	15	2020-02-20 06:00:00	2020-02-20 04:28:46	0	0
866191037529880	340350002	Air temperature (Celsius deg.)	14.8125	2020-02-20 05:57:00	2020-02-20 04:28:24	0	0
866191037529880	340350002	Air temperature (Celsius deg.)	14.875	2020-02-20 05:54:00	2020-02-20 04:28:09	0	0
866191037529880	340350002	Air temperature (Celsius deg.)	14.875	2020-02-20 05:51:00	2020-02-20 04:27:54	0	0
866191037529880	340350002	Air temperature (Celsius deg.)	14.8125	2020-02-20 05:48:00	2020-02-20 04:27:31	0	0

Sakarā ar lielu gaisa temperatūras mērījumu datu apjomu to izvietošana pielikumā nav racionāla un iespējama saprātīgos apmēros. Temperatūras mērījumi ar 3 minūšu intervālu uzskaitīti 12 mēnešu laikā, sākot no 2019. gada novembra līdz 2020. gada oktobrim 20 sensoriem un sastāda aptuveni 2,5 miljonus temperatūru mērījumu. Dati tiek glabāti sadarbības partnera SIA BOSC resursos un ir pieejami pēc pieprasījuma.



## Augu veģetācijas diagnostikas mērījumi

Datums	Variants	Augi	Pieaugums	Ķekara (ķ.) h, cm	Ø, cm	Lapu garums, cm	Ziedi (z.)
21.02.	Kontrole	1	21	5	0.79	28	2 ķ. -
		2	13.5	3	0.7	31	2 ķ. -
		3	13.5	2	0.76	18.5	2 ķ. -
		4	16.5	3.5	0.78	28	2 ķ. -
		5	17	5	0.73	38	1 ķ. -
		Vid.	16.3	3.7	0.75	28.7	1.8
	Izmēģinājums	1	13	13	0.65	32	2 ķ. -
		2	14	6	0.74	40	2 ķ. -
		3	12.5	2	0.76	22	2 ķ. -
		4	13	3.5	0.61	23	2 ķ. -
		5	12	4	0.53	22	2 ķ. -
		Vid.	12.9	5.7	0.66	27.8	2
28.02.	Kontrole	1	21	12.5	0.82	45	2 ķ. -
		2	19	20.5	0.79	41	2 ķ. -
		3	20	7.5	0.89	37	2 ķ. -
		4	17.5	8.5	0.68	45	3 ķ. -
		5	22	19	0.89	37	3 ķ. -
		Vid.	19.9	13.6	0.814	41	2.4
	Izmēģinājums	1	16.5	7	0.7	37	2 ķ. -
		2	16	10	0.73	38	2 ķ. -
		3	14.5	8	0.83	39	2 ķ. -
		4	17.5	13	0.88	38	3 ķ. -
		5	16.5	11.5	0.67	38	3 ķ. -
		Vid.	16.2	9.9	0.76	38	2.4
06.03.	Kontrole	1	21	6	1.02	31	3 ķ. -
		2	23	8	1.02	47	3 ķ. -
		3	26	9	1.01	45	3 ķ. -
		4	20.5	7.5	0.8	37	3 ķ. -
		5	23	8	0.87	43	3 ķ. 1 z.
		Vid.	22.7	7.7	0.94	40.6	3
	Izmēģinājums	1	20	13.5	0.88	46	3 ķ. -
		2	18.5	9.5	0.85	47	3 ķ. -
		3	18	7	0.82	42	3 ķ. -
		4	20	7	0.82	41	2 ķ. -
		5	19	10.5	0.92	42	3 ķ. -
		Vid.	19.1	9.5	0.86	43.6	2.8

## 2. pielikuma turpinājums

Datums	Variants	Augi	Pieaugums	Ķekara (ķ.) h, cm	Ø, cm	Lapu garums, cm	Ziedi (z.)
13.03.	Kontrole	1	24	12	0.97	45	4 ķ. -
		2	26	11.5	0.85	41	3 ķ. 1 z.
		3	25	16.5	0.88	43	3 ķ. 1 z.
		4	23	12	1.05	46	4 ķ. -
		5	22	7	0.9	33	4 ķ. -
		Vid.	24	11.8	0.93	41.6	3.6
	Izmēģinājums	1	19	6	0.8	33	3 ķ. -
		2	20	7	0.88	31	3 ķ. -
		3	23	8	0.94	34	3 ķ. -
		4	22	7	0.91	38	3 ķ. -
		5	22	10	0.85	41	3 ķ. -
		Vid.	21.2	7.6	0.88	35.4	3
20.03.	Kontrole	1	24.5	8	1.11	42	4 ķ. 1 z.
		2	21	4.5	1.09	35	4 ķ. -
		3	22.5	5	1	37	4 ķ. -
		4	23.5	10	0.95	47	4 ķ. 2 z.
		5	24	14	0.98	47	4 ķ. 2 z.
		Vid.	23.1	8.3	1.03	41.6	4
	Izmēģinājums	1	17.5	4	0.93	27	4 ķ. -
		2	18.5	3.5	1.04	26	4 ķ. -
		3	22	15.5	1.01	43	3 ķ. 2 z.
		4	18.5	10.5	1.05	47	4 ķ. -
		5	22.5	7	1.13	39	4 ķ. -
		Vid.	19.8	8.1	1.03	36.4	3.8
27.03.	Kontrole	1	23	12	1.15	47	5 ķ. -
		2	21	8	1.13	49	5 ķ. -
		3	27	9.5	1.07	40	5 ķ. -
		4	25	8	1.07	49	5 ķ. -
		5	27.5	12	1.04	42	5 ķ. -
		Vid.	24.7	9.9	1.09	45.4	5
	Izmēģinājums	1	21	9.5	0.89	47	5 ķ. -
		2	21	9	0.95	42	5 ķ. -
		3	25.5	10	0.92	40	4 ķ. -
		4	21	9	1.04	49	5 ķ. -
		5	23	12	1.09	49	5 ķ. -
		Vid.	22.3	9.9	0.98	45.4	4.8

Datums	Variants	Augi	Pieaugums	Ķekara (ķ.) h	Ø, cm	Lapu garums, cm	Ziedi (z.)
03.04.	Kontrole	1	23	10.5	1.13	48	6 ķ. -
		2	22.5	9.5	1.24	46	6 ķ. -
		3	25	10	1.01	48	5 ķ. 2 z.
		4	22	6.5	1.19	41	6 ķ. -
		5	26	7.5	1.13	37	6 ķ. -
		Vid.	23.7	8.8	1.14	44	5.8
	Izmēģinājums	1	24	9.5	0.97	39	6 ķ. -
		2	24	8	1.37	39	5 ķ. -
		3	31.5	9	1.06	40	5 ķ. -
		4	23.5	9	1.08	45	5 ķ. 1 z.
		5	27.5	9.5	1.23	46	5 ķ. 2 z.
		Vid.	26.1	9	1.14	41.8	5.2
10.04.	Kontrole	1	17	7.5	1.20	48	7 ķ. -
		2	19	7.5	1.14	49	6 ķ. 2 z.
		3	20.5	8.5	1.15	49	6 ķ. 2 z.
		4	21	10	1.12	49	7 ķ. -
		5	19.5	6.5	1.01	38	7 ķ. -
		Vid.	19.4	8	1.12	46.6	6.6
	Izmēģinājums	1	19	6	0.87	41	6 ķ. 1 z.
		2	19	6	1.00	38	6 ķ. 2 z.
		3	20.5	11.5	1.02	48	6 ķ. -
		4	21	7.5	1.12	43	6 ķ. -
		5	19	8.5	1.00	47	6 ķ. -
		Vid.	19.7	7.9	1.00	43.4	6.0
17.04.	Kontrole	1	22	9.5	0.91	52	7 ķ. 1 z.
		2	21.5	9	0.89	50	7 ķ. -
		3	23	10	1.15	44	7 ķ. -
		4	21	10.5	1.02	49	7 ķ. 2 z.
		5	20	11	0.98	49	8 ķ. -
		Vid.	21.5	10	0.99	48.8	7.2
	Izmēģinājums	1	20	9	1.11	49	7 ķ. -
		2	19.5	10	1.1	47	7 ķ. -
		3	20	10	1.07	52	7 ķ. -
		4	20	6.5	1.20	42	7 ķ. -
		5	23	9.5	0.98	48	7 ķ. 1 z.
		Vid.	20.5	9	1.09	47.6	7.0

Datums	Variants	Augi	Pieaugums	Ķekara (ķ.) h	∅, cm	Lapu garums	Ziedi (z.)
24.04.	Kontrole	1	25	10	1.05	47	8 ķ. 2 z.
		2	23	6.5	1.08	46	8 ķ. -
		3	24	12.5	1.02	53	8 ķ. -
		4	23	7.5	1.03	53	8 ķ. 2 z.
		5	21	10.5	1.16	53	8 ķ. 3 z.
		Vid.	23.2	9.4	1.07	50.4	8
	Izmēģinājums	1	24	10.5	1.10	52	8 ķ. -
		2	23.5	10.5	1.15	54	7 ķ. 2 z.
		3	27	16	0.95	49	7 ķ. 2 z.
		4	21	10	1.21	52	8 ķ. -
		5	27.5	9	1.19	49	8 ķ. -
		Vid.	24.6	11.2	1.12	51.2	7.6
01.05.	Kontrole	1	21	7	0.98	46	9 ķ. -
		2	18.5	9.5	1.14	55	9 ķ. -
		3	20	10	1.03	52	9 ķ. -
		4	21	8	0.98	29	9 ķ. -
		5	21.5	9.5	1.10	49	9 ķ. 2 z.
		Vid.	20.4	8.8	1.05	46.2	9
	Izmēģinājums	1	22.5	10.5	1.22	48	9 ķ. -
		2	22	4	1.26	32	8 ķ. -
		3	24	11.5	0.97	45	8 ķ. 1 z.
		4	21	8.5	1.15	53	9 ķ. 1 z.
		5	24	9	1.14	49	9 ķ. 1 z.
		Vid.	22.7	8.7	1.15	45.4	8.6
08.05.	Kontrole	1	23.5	10.5	0.96	54	10 ķ. -
		2	18	8	1.05	50	10 ķ. -
		3	23	10	1.03	52	10 ķ. -
		4	26	9	1.10	43	10ķ. 1z.
		5	24	13	1.01	47	10ķ. 2z.
		Vid.	22.9	10.1	1.03	49.2	10
	Izmēģinājums	1	24.5	10	1.11	48	10 ķ. -
		2	27	10.5	1.04	48	9 ķ. 3 z.
		3	27.5	9.5	1.20	46	9 ķ. 1 z.
		4	24.5	11	1.21	48	10 ķ. -
		5	29	9	1.21	43	10 ķ. -
		Vid.	26.5	10	1.15	46.6	9.6

Datums	Variants	Augi	Pieaugums	Ķekara (ķ.) h	∅, cm	Lapu garums, cm	Ziedi (z.)
15.05.	Kontrole	1	16.5	9	1.04	51	11 ķ. -
		2	17	8	1.04	45	11 ķ. -
		3	16	8	0.95	53	11 ķ. -
		4	17.5	11	0.92	47	11 ķ. -
		5	17	7	1.02	40	11ķ. 2z.
		Vid.	16.8	8.6	0.99	47.2	11
	Izmēģinājums	1	22	10	0.97	51	10ķ. 2z.
		2	22	9.5	0.91	44	10ķ. 2z.
		3	21	7.5	0.94	45	10 ķ. -
		4	19.5	9	1.02	49	11 ķ. -
		5	16	6	0.81	36	11 ķ. -
		Vid.	20.1	8.4	0.93	45	10.4
22.05.	Kontrole	1	17	8	1.13	48	11ķ. 2z.
		2	17	7	0.93	49	11ķ. 2z.
		3	15	11	1.02	52	11ķ. 2z.
		4	15	7	0.99	46	11ķ. 1z.
		5	4.5	3	0.41	27	11ķ. 2z.
		Vid.	13.7	7.2	0.90	44.4	11
	Izmēģinājums	1	21	9	0.97	47	11ķ. 2z.
		2	21	8	0.98	49	11ķ. 2z.
		3	22	8	0.99	48	11 ķ. -
		4	20	9	1.02	47	12 ķ. -
		5	-	-	-	-	-
		Vid.	21	8.5	0.99	47.75	11.25
29.05.	Kontrole	1	21	9	1.06	49	12ķ. 3z.
		2	19	6.5	1.09	48	12ķ. 2z.
		3	21.5	10	0.98	48	12ķ. 2z.
		4	21.5	8.5	1.06	46	12ķ. 3z.
		5	6	6.5	0.50	32	12ķ. 1z.
		Vid.	17.8	8.1	0.94	44.6	12
	Izmēģinājums	1	22	9	1.05	46	12ķ. 2z.
		2	23	11.5	1.05	55	12 ķ. -
		3	27	12.5	1.09	51	12 ķ. -
		4	24	9.5	1.15	48	13 ķ. -
		5	-	-	-	-	-
		Vid.	24	10.63	1.09	50	12.25

Datums	Variants	Augi	Pieaugums cm	Ķekara (ķ.) h, cm	Ø cm	Lapu garums cm	Ziedi (z.)	
05.06.	Kontrole	1	26	12	1.00	51	13ķ. 3z.	
		2	22.5	8	1.06	42	13ķ. 3z.	
		3	21	7	0.96	46	13ķ. 2z.	
		4	27	10.5	0.87	46	13ķ. 3z.	
		5	-	-	-	-	-	-
		Vid.	24.13	9.38	0.97	46.25	13	
	Izmēģinājums	1	22	8	1.08	44	13ķ. 3z.	
		2	20.5	13	1.11	51	14 ķ. -	
		3	27	12.5	1.04	52	13 ķ. -	
		4	23.5	9.5	1.02	51	13 ķ. -	
		5	-	-	-	-	-	-
Vid.		23.25	10.75	1.06	49.5	13.25		
12.06.	Kontrole	1	28.5	8	1.07	42	14ķ. 3z.	
		2	26	10.5	0.99	49	14ķ. 4z.	
		3	20	9	0.93	45	14ķ. 2z.	
		4	28	12	0.87	42	14ķ. 2z.	
		5	-	-	-	-	-	-
		Vid.	25.63	9.88	0.97	44.5	14	
	Izmēģinājums	1	23	8	0.99	45	14ķ. 3z.	
		2	23	9	0.96	44	14 ķ. -	
		3	28.5	11.5	1.04	47	14 ķ. -	
		4	21	8.5	1.26	48	15 ķ. -	
		5	-	-	-	-	-	-
Vid.		23.88	9.25	1.06	46	14.25		
20.06.	Kontrole	1	28.5	9.5	1.03	45	15ķ. 3z.	
		2	27	8	1	44	15ķ. 3z.	
		3	36.5	12.5	0.87	47	15ķ. 2z.	
		4	29	8	0.83	48	15ķ. 3z.	
		5	-	-	-	-	-	-
		Vid.	30.25	9.5	0.93	46	15	
	Izmēģinājums	1	25	10	1.13	44	15ķ. 4z.	
		2	23	10	1	47	15ķ. 1z.	
		3	21.5	9	0.91	46	15ķ. 1z.	
		4	25	10.5	1.08	47	16 ķ. -	
		5	-	-	-	-	-	-
Vid.		23.63	9.88	1.03	46	15.25		

Datums	Variants	Augi	Pieaugums, cm	Ķekara (ķ.) h, cm	Ø cm	Lapu garums cm	Ziedi (z.)
26.06.	Kontrole	1	22	9	0.83	44	16ķ.3z. 17ķ-
		2	21	7.5	0.98	45	16 ķ. 2z.
		3	23	12	0.85	51	16 ķ. -
		4	21.5	7.5	0.97	44	16 ķ. -
		5	-	-	-	-	-
		Vid.	21.88	9	0.91	46	16
	Izmēģinājums	1	22	9	0.88	46	16 ķ. 3z.
		2	20	10.5	0.97	45	16 ķ. -
		3	19	7	0.98	43	16 ķ. -
		4	23	10.5	1.05	44	17 ķ. -
		5	-	-	-	-	-
Vid.		21	9.25	0.97	44.5	16.25	
03.07.	Kontrole	1	22	9	1.02	46	18 ķ. -
		2	20.5	7	0.87	43	17 ķ. 3 z.
		3	20.5	8	0.93	47	17 ķ. -
		4	22	8.5	0.92	40	17 ķ. -
		5	-	-	-	-	-
		Vid.	21.25	8.13	0.94	44	17.25
	Izmēģinājums	1	17	6.5	0.80	41.5	17 ķ. 2z.
		2	18	7.5	0.86	41.5	17 ķ. -
		3	18	9	0.82	38	17 ķ. -
		4	17	11	0.94	41	18 ķ. -
		5	-	-	-	-	-
Vid.		17.5	8.5	0.86	40.5	17.25	
10.07.	Kontrole	1	20	9	0.84	47	18 ķ. 3z.
		2	15.5	5	0.93	43	18 ķ. 2z.
		3	16.5	9.5	0.95	47	18 ķ. -
		4	17	4	0.91	36	18 ķ. -
		5	-	-	-	-	-
		Vid.	17.25	6.88	0.91	43.25	18
	Izmēģinājums	1	22	8.5	0.99	42	18 ķ. 2z.
		2	22.5	9.5	1.13	45	18 ķ. -
		3	23	13	0.89	41	18 ķ. -
		4	22	10.5	1.16	45	19 ķ. -
		5	-	-	-	-	-
Vid.		22.38	10.38	1.04	43.25	18.25	

Datums	Variants	Augi	Pieaugums, cm	Ķekara (ķ.) h cm	Ø cm	Lapu garums cm	Ziedi (z.)
17.07.	Kontrolē	1	20	6.5	0.92	44	19ķ. 3z.
		2	18	6.5	1.02	52	19ķ. 3z.
		3	18.5	9.5	0.96	53	19 ķ. -
		4	18	9	0.93	49	19 ķ. -
		5	-	-	-	-	-
		Vid.	18.63	7.88	0.96	49.5	19
	Izmēģinājums	1	22.5	8	1.08	44	19ķ. 2z.
		2	21.5	11.5	1.08	52	19 ķ. -
		3	22.5	12	0.83	47.5	19 ķ. -
		4	22.5	12	0.97	50	20 ķ. -
		5	-	-	-	-	-
Vid.		22.25	10.88	0.99	48.38	19.25	
24.07.	Kontrolē	1	17	5	0.95	35	20ķ. 2z.
		2	19	8	0.90	51	20 ķ. -
		3	22.5	11.5	0.92	46	19ķ. 3z.
		4	19	10.5	0.75	41	19 ķ.2z.
		5	-	-	-	-	-
		Vid.	19.38	8.75	0.88	43.25	19.5
	Izmēģinājums	1	18.5	6	1.06	38	20 ķ. -
		2	20	11.5	1.21	50	20 ķ. -
		3	22	11	0.84	40.5	20 ķ. -
		4	18.5	9.5	0.96	46	21 ķ. -
		5	-	-	-	-	-
Vid.		19.75	9.5	1.02	43.63	20.25	
31.07.	Kontrolē	1	22.5	8.5	1.07	49	21 ķ. -
		2	22	8.5	0.96	48	21 ķ. -
		3	24	8	0.88	44.5	20ķ. 3z.
		4	23	9	0.94	43	20ķ.2 z.
		5	-	-	-	-	-
		Vid.	22.88	8.5	0.96	46.13	20.5
	Izmēģinājums	1	20	9	1.14	48	21 ķ. -
		2	21	6	1.24	41.5	21 ķ. -
		3	22	6.5	0.90	41	20ķ. 3z.
		4	23.5	10	1.14	47	22 ķ. -
		5	-	-	-	-	-
Vid.		21.63	7.88	1.11	44.38	21	



Datums	Variants	Augi	Pieaugums cm	Ķekara h, cm	Ø cm	Lapu garums cm	Ziedi
07.08.	Kontrole	1	21.5	10	0.98	47	22 ķ. -
		2	20	9.5	0.76	45	21 ķ. 2z.
		3	23	6.5	0.92	41	21 ķ. 1z.
		4	21	5	0.95	38	21 ķ. -
		5	-	-	-	-	-
		Vid.	21.38	7.75	0.90	42.75	
	Izmēģinājums	1	20	9.5	1.09	52	22 ķ. -
		2	24	10	1.16	53	22 ķ. -
		3	21	7.5	0.8	38	21 ķ. 2z.
		4	22	11	1.05	53	23 ķ. -
		5	-	-	-	-	-
Vid.		21.75	9.5	1.03	49		
14.08.	Kontrole	1	22	9	0.90	50	23 ķ. -
		2	22.5	9.5	0.88	44	22 ķ. 3z.
		3	23	10	1.02	52	22 ķ. -
		4	23	9	0.87	45	22 ķ. -
		5	-	-	-	-	-
		Vid.	22.63	9.38	0.92	47.75	
	Izmēģinājums	1	20	8.5	1.14	50	24 ķ. -
		2	22.5	10	1.07	54	23 ķ. -
		3	23	12	0.84	48	22 ķ. -
		4	23	10	1.10	51	23 ķ. -
		5	-	-	-	-	-
Vid.		22.13	10.13	1.04	50.75		
21.08.	Kontrole	1	23	9	0.88	46	24 ķ. -
		2	20	11	0.94	42	23 ķ. 2z.
		3	22	5.5	1.07	36	23 ķ. -
		4	20	10	0.95	48	23 ķ. -
		5	-	-	-	-	-
		Vid.	21.25	8.88	0.96	43	
	Izmēģinājums	1	17.5	11	1.05	48	24 ķ. -
		2	20	10	0.93	54	24 ķ. -
		3	20	13	0.82	46	23 ķ. -
		4	18.5	9	0.92	49	25 ķ. -
		5	-	-	-	-	-
Vid.		19.00	10.75	0.93	49.25		

Datums	Šķirne	Augi	Pieaugums cm	Ķekara h cm	Ø, cm	Lapu garums cm	Ziedi
28.08.	Kontrolē	1		11	0.83	48	24 ķ. 4z.
		2		10.5	0.62	41	23 ķ. 1z.
		3		10	1.14	53	23 ķ. 2z.
		4		10	0.90	46	23 ķ. 2z.
		5	-	-	-	-	-
		Vid.	0.00	10.375	0.87	47	
	Izmēģinājums	1		8	0.79	45	24 ķ. 4z.
		2		8	0.91	47	24 ķ. 3z.
		3		9	0.72	46	23 ķ. 3z.
		4		8	0.82	48	25 ķ. 3z.
		5	-	-	-	-	-
		Vid.	0.00	8.25	0.81	46.5	
04.09.	Kontrolē	1		12	0.91	48	
		2		10.5	0.72	42	
		3		10	1.04	55	
		4		15	0.96	51	
		5	-	-	-	-	-
		Vid.	0	11.88	0.91	49	
	Izmēģinājums	1		8.5	0.89	46	
		2		9.5	1.15	52	
		3		10	0.82	51	
		4		9	1.00	51	
		5	-	-	-	-	-
		Vid.	0	9.25	0.97	50	

## Elektroenerģijas uzskaitē

Sezonas uzsākšana 5. 02. Iestādīti tomāti 13.02.

Laiks	SS Nr.	Darbības režīms	Uzstādītā temp.	El. sk., kW	Elektrības sk. Pirmdien	El. patēriņš, kw	Datums	Durvju atvēršana	Durvju aizvēršana
16 00	1	dzesēšana	18	667.57	683.94	16.37			
16 00	2	sildīšana	16	136.43	251.88	115.45			

## 17. 02-23.02 Otrā nedēļa

Laiks	SS Nr.	Darbības režīms	Uzstādītā temp.	El. sk., kW	Elektrības sk. Pirmdien	Elektrības patēriņš, kw	Datums	Durvju atvēršana	Durvju aizvēršana
13 20	1	dzesēšana	Dienā 21-Naktī 19	683.94	686	2.06	20.febr	15 29	15 37
13 20	2	sildīšana	Dienā 18-Naktī 17	251.88	333.04	81.16	21.febr	10 13	10 44

## 24.02-01.03 Trešā nedēļa

Laiks	SS Nr.	Darbības režīms	Uzstādītā temp.	El. sk., kW	Elektrības sk. Pirmdien	Elektrības patēriņš, kw	Datums	Durvju atvēršana	Durvju aizvēršana
9 05	1	dzesēšana	Dienā 25-Naktī 19	686	688.34	2.34	24.febr	8 38	8 44
9 05	2	sildīšana	Dienā 18-Naktī 17	333.04	410.47	77.43	24.febr	9 03	9 12
							24.febr	9 25	9 50
							24.febr	10 19	11 05
							25.febr	9 40	9 53
							25.febr	13 30	13 55
							28.febr	13 47	14 03

## 02.03-08.03 Ceturtnā nedēļa

Laiks	SS Nr.	Darbības režīms	Uzstādītās temp. grafiks	El. sk., kW	Elektrības sk. Pirmdien	Elektrības patēriņš, kw	Datums	Durvju atvēršana	Durvju aizvēršana
14 56	1	dzesēšana	Dienā 25-Naktī 19	688.34	690.62	2.28	02.marts	14 56	14 59
14 56	2	sildīšana	7 00-9 00 18°, 9 00-11 00 19°, 11 00-16 00 20°, 16-18 18°, 18 00-21 00 16° 21 00-17 00 17°	410.47	475.97	65.5	03.marts	14 14	14 34
							04.marts	14 40	14 55
							04.marts	15 40	15 55
							05.marts	13 15	13 25
							06.marts	10 23	10 25
							06.marts	14 38	14 58

## 09. 03 -15.03 Piektā nedēļa

Laiks	SS Nr.	Darbības režīms	Uzstādītās temp. grafiks	El. sk., kW	Elektrības sk. Pirmdien	Elektrības patēriņš, kw	Datums	Durvju atvēršana	Durvju aizvēršana
08 12	1	dzesēšana	Dienā 06 30-18 00 27°-Naktī 18 00-06 30 19°	690.62	692.82	2.2	10.marts	15 18	15 32
08 12	2	sildīšana	7 00-9 00 20°, 9 00-11 00 21°, 11 00-16 00 22°, 16-18 20°, 18 00-21 00 18° 21 00-7 00 19°.	475.97	569.03	93.06	13.marts	13 15	13 31

## 16.03 - 22.03 Sestā nedēļa

Laiks	SS Nr.	Darbības režīms	Uzstādītās temp. grafiks	El. sk., kW	Elektrības sk. Pirmdien	Elektrības patēriņš, kw	Datums	Durvju atvēršana	Durvju aizvēršana
09 22	1	dzesēšana	Dienā 06 30-18 00 27°-Naktī 18 00-06 30 19°	692.82	708.02	15.2	16.marts	9 21	9 25
09 22	2	sildīšana	7 00-9 00 20°, 9 00-11 00 21°, 11 00-16 00 22°, 16-18 20°, 18 00-21 00 18° 21 00-7 00 19°	569.03	657.33	88.3	16.marts	11 22	11 36
							20.marts	14 37	15 05
							21.marts	14 59	15 03

## 23.03-29.03 Septītā nedēļa

Laiks	SS Nr.	Darbības režīms	Uzstādītās temp. grafiks	Elektrības sk. kw	Elektrības sk. Pirmdien	Elektrības patēriņš, kw	Datums	Durvju atvēršana	Durvju aizvēršana
09 55	1	dzesēšana	Dienā 06 30-18 00 27°- Naktī 18 00-06 30 19°	708.02	712.04	4.02	23.marts	8 24	8 41
09 55	2	sildīšana	7 00-9 00 20°,9 00-11 00 21°,11 00-16 00 22°,16-18 20°,18 00-21 00 18°21 00- 7 00 19°.	657.33	739.4	82.07	25.marts	9 08	9 10
							27.marts	14 39	15 40

## 30.03-05.04 Astotā nedēļa

Laiks	SS Nr.	Darbības režīms	Uzstādītās temp. grafiks	Elektrības sk. kw	Elektrības sk. Pirmdien	Elektrības patēriņš, kw	Datums	Durvju atvēršana	Durvju aizvēršana
11 00	1	dzesēšana	Dienā 06 30-18 00 27°- Naktī 18 00-06 30 19°	712.04	714.05	2.1	30.marts	9 25	9 35
11 00	2	sildīšana	7 00-9 00 20°,9 00-11 00 21°,11 00-16 00 22°,16-18 20°,18 00-21 00 18°21 00-7 00 19°.	739.4	830.29	90.89	30.marts	9 55	10 00
							30.marts	16 17	16 25
							02.apr	7 30	8 06
							03.apr	14 56	15 21
							04.apr	9 00	9 10

## 06.04-13.04 Devītā nedēļa

Laiks	SS Nr.	Darbības režīms	Uzstādītās temp. grafiks	Elektrības sk. kw	Elektrības sk. Pirmdien	Elektrības patēriņš, kw	Datums	Durvju atvēršana	Durvju aizvēršana
9 01	1	dzesēšana	Dienā 06 30-18 00 27°- Naktī 18 00-06 30 19°	714.05	715.75	1.7	07.apr	8 30	8 45
9 01	2	sildīšana	6 00-9 00 20°,9 00-11 00 21°,11 00-17 00 22°,17-20 20°,20 00-23 00 18°23 00-6 00 19°.	830,29	898	67.71	10.apr	8 20	8 41
							13.apr	7 22	7 34

## 14.04-19.04 Desmitā nedēļa

Laiks	SS Nr.	Darbības režīms	Uzstādītās temp. grafiks	Elektrības sk. kw	Elektrības sk. Pirmdien	Elektrības patēriņš, kw	Datums	Durvju atvēršana	Durvju aizvēršana
10 28	1	dzesēšana	Dienā 06 30-18 00 26°- Naktī 18 00-06 30 19°	715.75	718.08	2.33	14.apr	9 06	9 10
10 28	2	sildīšana	6 00-9 00 20°,9 00-11 00 21°,11 00-17 00 22°,17-20 20°,20 00-23 00 18°23 00- 6 00 19°.	898	976.16	78.16	14.apr	10 03	10 14
							17.apr	15 13	15 35

## 20.04-26.04 Vienpadsmitā nedēļa

Laiks	SS Nr.	Darbības režīms	Uzstādītās temp. grafiks	Elektrības sk. kw	Elektrības sk. Pirmdien	Elektrības patēriņš, kw	Datums	Durvju atvēršana	Durvju aizvēršana
15 37	1	dzesēšana	Dienā 06 30-18 00 26°- Naktī 18 00-06 30 19°	718.08	724.55	6.47	20.apr	10 27	10 30
15 37	2	sildīšana	6 00-9 00 20°,9 00-11 00 21°,11 00-17 00 22°,17-20 20°,20 00-23 00 18°23 00-6 00 19°	976.16	1035.56	59.4	20.apr	13 31	13 40
							21.apr	13 49	13 51
							21.apr	14 49	15 05
							24.apr	15 10	15 31

## 27.04-03.05 Divpadsmitā nedēļa

Laiks	SS Nr.	Darbības režīms	Uzstādītās temp. grafiks	El. skait. kw	Elektrības sk. Pirmdien	Elektrības patēriņš, kw	Datums	Durvju atvēršana	Durvju aizvēršana
10 13	1	dzesēšana	Dienā 06 30-18 00 26°- Naktī 18 00-06 30 19°	724.55	730.61	6.06	28.apr	15 10	15 22
10 13	2	sildīšana	6 00-9 00 20°,9 00-11 00 21°,11 00-17 00 22°,17-20 20°,20 00-23:00 18°23 00-6 00 19°	1035.56	1086.6	51.04	29.apr	9 38	9 46
							30.apr	8 08	8 13
							01.maijs	11 09	11 34

## 04.05-10.05 Trīspadsmitā nedēļa

Laiks	SS Nr.	Darbības režīms	Uzstādītās temp. grafiks	El. skait. kw	Elektrības sk. Pirmdien	Elektrības patēriņš, kw	Datums	Durvju atvēršana	Durvju aizvēršana
9 30	1	dzesēšana	Dienā 06 30-18 00 24°- Naktī 18 00-06 30 21°	730.61	743.15	12.54	04.maijs	8 02	8 07
9 30	2	sildīšana	6 00-9 00 20°,9 00-11 00 21°,11 00-17 00 22°,17-20 20°,20 00-23 00 18°23 00-6 00 19°.	1086.6	1137.81	51.21	06.maijs	13 15	13 33
							07.maijs	8 12	8 16
							08.maijs	14 15	14 35

## 11.05-17.05 Četrpadsmitā nedēļa

Laiks	SS Nr.	Darbības režīms	Uzstādītās temp. grafiks	Elektro-skait. kw	Elektrības sk. Pirmdien	Elektrības patēriņš, kw	Datums	Durvju atvēršana	Durvju aizvēršana
11 31	1	dzesēšana	Dienā 06 30-18 00 24°- Naktī 18 00-06 30 21°	743.15	751.61	8.46	11.maijs	8 25	8 27
11 31	2	sildīšana	6 00-9 00 20°,9 00-11 00 21°,11 00-17 00 22°,17-20 20°,20 00-23 00 18°23 00-6 00 19°.	1137.81	1201.16	63.35	12.maijs	13 37	13 54
							13.maijs	14 05	14 25
							14.maijs	7 55	7 57
							15.maijs	9 56	10 12
							15.maijs	15 05	15 29
							18.maijs	8 36	8 41

18.05-24.05 Piecpadsmītā nedēļa

Laiks	SS Nr.	Darbības režīms	Uzstādītās temp. grafiks	Elektrības sk. kw	El. sk., kW, Pirmdien	Elektrības patēriņš, kw	Datums	Durvju atvēršana	Durvju aizvēršana
12 46	1	dzesēšana	Dienā 06 30-18 00 24° Naktī 18 00-06 30 21°	751.61	796.18	44.57	18.maijs	8 36	8 41
12 46	2	sildīšana	6 00-9 00 20°,9 00-11 00 21°,11 00-17 00 22°,17-20 20°,20 00-23 00 18°23 00-6 00 19°.	1201.16	1250.70	49.54	18.maijs	11 25	11 36
							19.maijs	13 15	13 29
							21.maijs	8 16	8 22
							22.maijs	15 07	15 23
							25.maijs	8 25	8 50
							25.maijs	10 14	10 22

25.05 -31.05 Sešpadsmītā nedēļa

Laiks	SS Nr.	Darbības režīms	Uzstādītās temp. grafiks	Elektrības sk. kw	El. sk., kW, Pirmdien	Elektrības patēriņš, kw	Datums	Durvju atvēršana	Durvju aizvēršana
9 30	1	dzesēšana	Dienā 06 30-18 00 24°- Naktī 18 00-06 30 21°	796.18	892.37	96.19	25.maijs	8 25	8 50
9 30	2	sildīšana	6 00-9 00 20°,9 00-11 00 21°,11 00-17 00 22°,17-20 20°,20 00-23 00 18°23 00-6 00 19°.	1250.70	1273.57	22.87	25.maijs	10 14	10 22
							25.maijs	12 45	12 48
							27.maijs	6 37	6 48
							28.maijs	10 31	10 38
							29.maijs	11 26	11 44
							29.maijs	13 20	14 01

01.06-07.06 Septiņpadsmītā nedēļa

Laiks	SS Nr.	Darbības rež.	Uzstādītās temp. grafiks	El. sk., kW	El. sk., kW, Pirmdien	El. patēriņš, kw	Datums	Durvju atvēršana	Durvju aizvēršana
12 29	1	dzesēšana	Dienā 06 30-18 00 24°- Naktī 18 00-06 30 21°	892.37	1021.04	128.67	01.jūn	10 58	11 09
12 29	2	sildīšana	5 00-7 00 20°,7 00-9 00 21°,9 00-18 00 22°,18-21 20°,21 00-23 00 18°23 00-5 00 19°.	1273.57	1289.48	15.91	02.jūn	8 22	8 25
							03.jūn	6 36	6 50
							03.jūn	11 56	12 02
							04.jūn	10 08	10 15
							05.jūn	12 58	13 14
							05.jūn	16 05	16 34

08.06-14.06 Astoņpadsmītā nedēļa

Laiks	SS Nr.	Darbības rež.	Uzstādītās temp. grafiks	El. sk., kW	El. sk., kW, Pirmdien	El. patēriņš, kw	Datums	Durvju atvēršana	Durvju aizvēršana
13 17	1	dzesēšana	Dienā 06 30-18 00 24°- Naktī 18 00-06 30 21°	1021.04	1165.47	144.43	08.jūn	12 15	12 31
13 17	2	sildīšana	5 00-7 00 20°, 7 00-9 00 21°,9 00-18 00 22°,18-21 20°,21 00-23 00 18°23 00-5 00 19°	1289.48	1298.40	8.92	10.jūn	8 05	8 20
							11.jūn	12 27	12 38
							11.jūn	14 12	14 14
							12.jūn	16 26	16 50

15.06-21.06 Deviņpadsmitā nedēļa

Laiks	SS Nr.	Darbības rež.	Uzstādītās temp. grafiks	El. sk., kW	El. sk., kW, Pirmdien	El. patēriņš, kw	Datums	Durvju atvēršana	Durvju aizvēršana
08 01	1	dzesēšana	Dienā 06 30-18 00 24°- Naktī 18 00-06 30 21°	1165.47	1355.24	189.77	15.jūn	12 43	13 00
08 01	2	sildīšana	5 00-7 00 20°,7 00-9 00 21°,9 00-18 00 22°,18-21 20°,21 00-23 00 18°23 00- 5 00 19°.	1298.40	1303.96	5.56	15.jūn	13 15	13 17
							16.jūn	11 01	11 25
							17.jūn	6 50	7 02
							18.jūn	11 40	11 47
							18.jūn	15 23	15 39
							20.jūn	8 05	8 36

22.06-28.06 Divdesmitā nedēļa

Laiks	SS Nr.	Darbības rež.	Uzstādītās temp. grafiks	El. sk., kW	El. sk., kW, Pirmdien	El. patēriņš, kw	Datums	Durvju atvēršana	Durvju aizvēršana
11 03	1	dzesēšana	Dienā 06 30-18 00 24°- Naktī 18 00-06 30 21°	1355.24	1571.10	215.86	22.jūn	11 04	11 13
11 03	2	sildīšana	5 00-7 00 20°,7 00-9 00 21°,9 00-18 00 22°,18-21 20°,21 00-23 00 18°23 00- 5 00 19°.	1303.96	1310.92	6.96	25.jūn	10 07	10 10
							25.jūn	10 47	10 55
							26.jūn	10 00	10 22
							26.jūn	14 50	15 36

## Publikācijas

Rezultātu prezentācija un publicēšana LU 77 starptautiskajā konferencē, 08.02.2019

## TOMATO DRYING DYNAMICS STUDY FOR INCREASED ENERGY EFFICIENCY IN AGRICULTURAL PRODUCTION

### ENERĢIJAS EFEKTIVITĀTE LAUKSAIMNIECĪBAS PRODUKTU ŽĀVĒŠANĀ

Ivars Auce<sup>1\*</sup>, Agris Auce<sup>1</sup>, Aivars Jeremuss<sup>2</sup>, Semjons Ivanovs<sup>2</sup>,  
Ādolfs Ruciņš<sup>2</sup>

<sup>1</sup> University of Latvia, Institute of Chemical Physics, Jelgavas iela 1, Rīga, Latvia

<sup>2</sup> Latvia University of Life Sciences and Technology

\* E-mail: i@aa.lv

This research tests potential of heat pumps as an energy efficient and environmentally friendly process for tomato, drying. Heat pump could also be utilized as a cooling mechanism for greenhouses in the hot season to further enhance its overall energy efficiency and usability in drying biomass. A multitude of tomato drying methods are described in literature, most of which are relying on some method or combination of methods of generating a flow of heated air over the product to dry it [1].

Various studies that tested air temperatures ranging from as low as 42 °C to as high as 90 °C have been reported. It is generally agreed that lower temperatures result in the highest quality of the product, while the higher temperatures significantly decrease the drying time. It can be summarised from the literature studies that 60 °C is an acceptable equilibrium between loss of product quality (i.e. taste, smell, colour and texture) and the time required for the process where higher quality and price products tends to choose lower temperature. [2]

Tomato drying dynamics were studied for temperature range 40 °C to 65 °C to match air to air heat pumps exhaust hot air temperature. The study was performed with a conventional household fruit-dryer with forced air circulation. Tomato samples grown in the research partner SIA Rītausma greenhouse were used. Air circulation and moisture were not measured. The drying dynamics was studied for Admiro and Roma tomato varieties at different ripeness stages and with different fruit sizes. The study also tested the effect of the slice size – 1/6 and 1/8 of the tomato. Drying time was defined as time needed to reach 90% loss of mass of the raw tomato.

In the study it was found that tomatoes can be dried successfully without spoilage even at temperatures as low as 40 °C. Increase of the temperature from 40 °C to 60 °C decreased the drying time by 50% from 20 h at 40 °C to 10 h at 60 °C. Further drying time reduction was achieved by selecting elongated varieties of tomato and thinner slicing. No significant effect of the ripeness was observed. Hot air temperature from household type air-air heat pump was found to be sufficient for effective tomato drying industrial process.

*This project is supported by EAFRD – The European agricultural fund for rural development, project Nr. 17-00-A01620-000013.*

#### References:

- [1] Izli, N., & Isik, E. *International Journal of Food Properties*. **2015**, 18(2), 241–249.  
[2] Cernișev, S. *Journal of Food Engineering*. **2010**, 96(1), 114–118.



## STUDY OF HEAT PUMP USE IN TOMATO DRYING PROCESS USING EXCESS HEAT FROM GREENHOUSES

Ivars Auce<sup>1</sup>, Agris Auce<sup>1</sup>, Indulis Horns<sup>1</sup>, Aivars Jeremuss<sup>2</sup>, Semjons Ivanovs<sup>2</sup>, Mareks Drozdovs<sup>3</sup>, Ādolfs Ruciņš<sup>2</sup>

<sup>1</sup> University of Latvia, Institute of Chemical Physics, Jelgavas iela 1, Rīga, Latvia  
E-mail: i@aa.lv

<sup>2</sup> Latvia University of Life Sciences and Technology

<sup>3</sup> SIA Rītausma

This study tested the possibilities of using air-to-air type heat pumps in the process of tomato drying as an energy efficient and environmentally friendly method in greenhouse agriculture. Since in Latvia climatic conditions greenhouses used for tomato growing need to be periodically cooled during summer, the excess heat can be effectively removed and used for biomass drying via heat pumps.

An air-to-air heat pump system was tested in a purpose built test greenhouse with parameters identical to regular production greenhouses of the research partner SIA Rītausma. The temperatures in the test facility and the exhaust air temperatures of the heat pump were measured. The measurements showed a predominant cycle of 6–7 hours of heat-pump cooling the test facility and 17–18 hours of inaction in cases of warm sunny weather. The temperature of the hot air dispatched into atmosphere reached up to 40°C during the cooling period, the exact temperature depending on the outdoor air temperature in the atmosphere and the sun radiation level.

Several most probable drying cycles were established from the temperature measurements of the heat pump's hot exhaust air. The basic drying cycle was established to be 40 °C air temperature applied for 6 hours during 24 hour period. The experimentally established hot exhaust air temperature modes and time cycles were then applied to tomato drying study in laboratory using a conventional domestic electrically heated hot air fruit dryer. Tomatoes of Roma variety from greenhouses of the SIA Rītausma were used in the study. The tomatoes were divided in 1/8 pieces and dried with a set temperature for a selected period of time and then left in room temperature for the rest of the 24h period. The cycle is repeated until tomatoes lost sufficient amount of water.

It was found that tomatoes can be successfully dried without spoilage in temperatures as low as 40°C and drying periods as short as 6 hours in 24 hour cycle. Lower temperatures and shorter drying periods resulted in total drying time (defined as time necessary for loss of 90% of raw tomato mass) of three days. At the lowest temperatures there were several instances of dark discoloration of the tomatoes without any effect on taste or smell of the dried tomatoes.

This project is supported by EAFRD – The European agricultural fund for rural development, project Nr. 17-00-A01620-000013.

## Semināru programmas



## SEMINĀRS

## Siltumenerģijas ieguve segtajās platībās

25.02.2020 Salas k/n Skolas iela 2, Sala, Salas pagasts,  
Salas novads, LV 5230

- 10.30 – 11.00 Dalībnieku ierašanās un reģistrācija. Kafijas pauze.
- 11.00-11.05. Semināra atklāšana. (Lāsma [Bekina](#) SIA Rītausma)
- 11.00-11.20\* EIP "Sadarbība" projekta 16.1 "Aktīvo un pasīvo siltuma enerģijas sistēmu izmantošana segtajās platībās" būtība. (Adolfs Ruciņš LLU)
- 11.15-12.00\* Aktivās siltuma akumulācijas sistēmas (Ivars Auce Biedrība Progresīvo tehnoloģiju institūts)
- 12:00 – 12:20 Kafijas pauze
- 12:20 – 12.40\*\* Projekta darbības pārskats projekta vadītājs Aivars [Jermušs](#) LLU
- 12:40 – 13:00\*\* Iegūto starprezultātu prezentācija Agris Auce LU
- 13:00 – 13:20 Semināra vietas maiņa uz SIA Rītausma siltumnīcu (sanitārās procedūras)
- 13:30 – 14:00 Eksperimentālās vietas apskate siltumnīcā Mareks [Drozdovs](#) Rītausma
- 15:00 Semināra noslēgums

Lūgums pieteikties iepriekš - līdz [21.februārim](#) zvanot pa telefonu 67027044 vai epastu: [birojs@zemniekusaeima.lv](mailto:birojs@zemniekusaeima.lv)

\* 16.pasākuma "Sadarbība" [apakšpasākuma](#) 16.1 "Atbalsts Eiropas Inovāciju partnerības lauksaimniecības ražīgumam un ilgtspējai lauksaimniecības ražīguma un ilgtspējas darba grupu projektu īstenošanai" ietvaros Projekta iesniegums Nr.18-00-A01612-000023"Aktīvo un pasīvo siltuma enerģijas sistēmu izmantošana segtajās platībās"

\*\* 16.pasākuma "Sadarbība" 16.2.apakšpasākuma "Atbalsts jaunu produktu, metožu, procesu un tehnoloģiju izstrādei" Projekta iesniegums Nr.17-00-A01620-000013 "Siltumenerģijas efektivitātes uzlabošanas tehnoloģijas izstrāde segto platību veģetācijas perioda pagarināšanai"

NACIONĀLAIS  
ATTĪSTĪBAS  
PLĀNS 2020



EIROPAS SAVIENĪBA  
EIROPA INVESTĒ LAUKU APVIDOS  
Eiropas Lauksaimniecības fonds  
lauku attīstībai

Atbalsta Zemkopības ministrija un Lauku atbalsta dienests



LATVIJAS LAUKU  
KONSULTĀCIJU UN  
IZGLĪTĪBAS CENTRS

ZOOM SEMINĀRS

Siltumenerģijas ieguve segtajās platībās

17.11.2020

11.00-11.20\* EIP "Sadarbība" projekta 16.1 "Aktīvo un pasīvo siltuma enerģijas sistēmu izmantošana segtajās platībās" būtība. (Ādolfs Ruciņš LLU)

11.20-11.40\* Pasīvās siltuma akumulācijas sistēmas (Māris Narvils, LLKC).

11:40 – 12.10\* Pasīvās akumulācijas slāņa veidošana un akumulācijas slāņa veidošanas video. (Ādolfs Ruciņš LLU, ZS Skudriņas)

12:10 – 12:30 Pārtraukums.

12.30-12.50\*\* Segto platību siltumenerģijas nodrošināšanas iespējas ar Gaiss-Gaiss tipa siltumsūkni (Aivars Jermušs, LLU Skrīveru ZC)

12.50 – 13:10\*\* Gaiss-Gaiss tipa siltumsūkņa piemērotība biomasas (tomātu) kaltēšanai (Agris Auce ).

13:10 – 13:30 Noslēguma diskusija (Māris Narvils, LLKC)

\* 16.pasākuma "Sadarbība" apakšpasākuma 16.1 "Atbalsts Eiropas Inovāciju partnerības lauksaimniecības ražīgumam un ilgtspējai lauksaimniecības ražīguma un ilgtspējas darba grupu projektu īstenošanai" ietvaros Projekta iesniegums Nr.18-00-A01612-000023 "Aktīvo un pasīvo siltuma enerģijas sistēmu izmantošana segtajās platībās"

\*\* 16.pasākuma "Sadarbība" 16.2.apakšpasākuma "Atbalsts jaunu produktu, metožu, procesu un tehnoloģiju izstrādei" Projekta iesniegums Nr.17-00-A01620-000013 "Siltumenerģijas efektivitātes uzlabošanas tehnoloģijas izstrāde segto platību veģetācijas perioda pagarināšanai"

NACIONĀLAIS  
ATTĪSTĪBAS  
PLĀNS 2020



EIROPAS SAVIENĪBA

EIROPA INVESTĒ LAUKU APVIDOS  
Eiropas Lauksaimniecības fonds  
lauku attīstībai

**Atbalsta Zemkopības ministrija un Lauku atbalsta dienests**

Stenda referāts LLKC seminārā 31.10.2018

Latvijas Lauku attīstības programmas 2014. - 2020. gadam pasākuma 16. "Sadarbība" 16.2 apakšpasākuma: "Atbalsts jaunu produktu, metožu, procesu un tehnoloģiju izstrādei" projekts Nr. 17-00-A01620-000013

# SILTUMENERĢIJAS EFEKTIVITĀTES UZLABOŠANAS TEHNOLOĢIJAS IZSTRĀDE SEGTO PLATĪBU VEĢETĀCIJAS PERIODA PAGARINĀŠANAI



Partneri: Latvijas Lauksaimniecības Universitāte, Latvijas Universitāte, Rītausma SIA,  
Baltic Open Solution Center SIA, A.Pundura konsultāciju centrs SIA

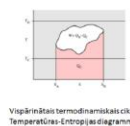
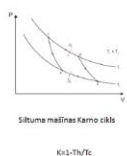


Projekta vadītājs: Dr. agr. A. Jermušs<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Latvian Lauksaimniecības Universitāte,  
Lielā ielā 2, LV-3001, Jelgava, Latvija



Siltuma mašīnu lietderības koeficients



## Mērķis

- Samazināt siltumnīcās audzētās produkcijas pašizmaksu izmantojot ilgtspējīgas siltumapgādes tehnoloģijas un paplašināt šo tehnoloģijas izmantošanu vasaras periodā (siltajā gada laikā);
- Pagarināt augu aktīvo veģetācijas periodu un aizsargāt augus no nelabvēlīgas ārējās vides iedarbības.

## Projekta uzdevumi

Definēt kultūraugus un tiem nepieciešamos siltuma režīmus segtajās platībās atbilstoši Latvijas klimata apstākļiem,  
Izstrādāt un pārbaudīt temperatūras mērījumu un datu savākšanas un aprādes sistēmu,  
Izstrādāt optimālo siltumsūkņa darbības algoritmu atkarībā no āra temperatūras un izvēlēta kultūrauga un izvēlēta tehnoloģiskā procesa siltuma vai aukstuma izmantošanai,  
Izstrādāt testa slēgto platību projektu,  
Izstrādāt optimālu siltumsūkņa darbības algoritmu.

## Agrotehniskie režīmi kultūraugu audzēšanai segtajās platībās

Kritiskās temperatūras robežas siltumnīcās:

- Maksimālā temperatūra + 35°C ne ilgāk par 5 stundām pēc kārtas,
- minimālā (+15°C) ne ilgāk kā vienu dienu,
- Virs +28°C ziedu putekšņi kļūst sterili,
- Virs +32°C ziedputekšņi nedegst,
- Virs +30°C tiek traucēta spēja veidot partenokarpus augļus.

Pielaujamās svārstību robežas:

- starp dienu un nakti 10...12°C,
  - starp augsni un gaisu 1...3 °C,
- Temperatūras svārstību rezultāta plaisā augļi, nobirst ziedi.



Att. 2. Ražojošs siltumnīcu komplekss Rītausma.

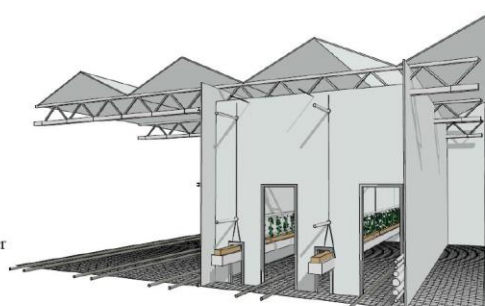
## Pamatojums

Siltumnīcu apsildē siltuma režīma

prasības ir daudz zemākas – augu aktīvā augšanas temperatūra ir 13-20°C, un papildus, atkarībā no audzējamās kultūras ir jānodrošina, lai minimālā temperatūra nesamazinātos zem 10 °C. Ja siltumnīcu izmanto tikai lai pagarinātu augu veģetācijas sezonu par dažiem mēnešiem, tad siltumnīcu apsildē ir jānodrošina temperatūru diference, kas ir aptuveni 10-15 °C. Šādai siltumnīcai ir iespējams izveidot siltumapgādes sistēmu, kura kā siltumsūkņa siltuma avotu izmanto āra gaisu, jo temperatūru starpība starp izturo temperatūru un darba vietas temperatūru ir neliela, kas nodrošina augstu siltumsūkņa enerģijas efektivitāti un šo iespēju izvēlēties siltumnīcās siltuma apgādi ar nelieliem kapitālieguldījumiem, kas ir ievērojami mazāki nekā citu apkures sistēmu izveides kapitālieguldījumi. Veidojot gais- gaisa tipa siltumsūkņu apsildes sistēmu siltumnīcai ir svarīgi nodrošināt vienmērīgu siltuma sadalījumu visā siltumnīcā, tam vajadzīgi 3D temperatūras lauka pētījumi, lai nodrošinātu vajadzīgos siltumnīcās siltuma režīma parametrus.

## Rezultāti

Projektā gūtos rezultātus praksē izmantojot siltumsūkņa radīto siltumu, varēs uzlabot ekonomiskos rādītājus segto platību saimniecības, sausu bioloģiskās izcelsmes produktu ražotāji, mežsaimniecības un pārtikas pārstrādātāji, jo izstrādātās siltumapgādes tehnoloģijas izmantošana ļaus samazināt saražotās produkcijas pašizmaksu līdz pat 12-17% un SEG samazināt salīdzinot ar cieto kurināmo līdz 70%. Izmantojot siltumsūkņa radīto siltumu vasaras periodā biomasas žāvēšanai ievērojami uzlabosies atdeve uz kapitālieguldījumiem un papildus tiks iegūts energoefektīvs siltumnīcās ražots blakusprodukts – kaltēti tomāti.



Att. 3. Testa siltumnīca, iebūvēta esošajā siltumnīcu kompleksā

## Pamatojums

Projekts ietver pētījumus, tehnoloģijas shēmas izstrādi un eksperimentālās iekārtas izgatavošanu, tā pārbaudi saimniecības apstākļos, atbilstoši testēšanas rezultātiem tiks izstrādātas rekomendācijas praksei, tehniskās dokumentācijas sagatavošanu, iekārtas galīgā varianta izgatavošanu.

NACIONĀLAIS  
ATTĪSTĪBAS  
PLĀNS 2020



EIROPAS SAVIENĪBA  
EIROPA INVESTĒ LAUKU APVIDOS  
Eiropas Lauksaimniecības fonds  
lauku attīstībai

Atbalsta Zemkopības ministrija un Lauku atbalsta dienests

## Stenda referāts LLKC semināram 17.11.2020

Latvijas Lauku attīstības programmas 2014. - 2020. gadam pasākuma 16. "Sadarbība" 16.2 apakšpasākuma: "Atbalsts jaunu produktu, metožu, procesu un tehnoloģiju izstrādei" projekts Nr. 17-00-A01620-000013

## SILTUMENERĢIJAS EFEKTIVITĀTES UZLABOŠANAS TEHNOLOĢIJAS IZSTRĀDE SEGTO PLATĪBU VEĢETĀCIJAS PERIODA PAGARINĀŠANAI 01.11.2017-30.11.2020



Partneri: Latvijas Lauksaimniecības Universitāte, Latvijas Universitāte, Rītausma SIA,  
Baltic Open Solution Center SIA, A.Pundura konsultāciju centrs SIA



Projekta vadītājs: Dr. agr. A. Jermušs<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Latvian Agricultural University,  
Lielā iela 2, LV-3001, Jelgava, Latvija

A.Pundura Konsultāciju  
Centrs SIA



### Mērķis

- Samazināt siltumnīcās audzētās produkcijas pašizmaksu izmantojot ilgtspējīgas siltumapgādes tehnoloģijas un paplašinot šo tehnoloģijas izmantošanu vasaras periodā (siltajā gada laikā);
- Pagarināt augu aktīvo veģetācijas periodu un aizsargāt augus no nelabvēlīgas ārējās vides iedarbības.

### Dabaszāģes un siltumsūkņu resursu patēriņš 2020. sezonā

Vidējā dabaszāģes cena 2020. gada sezonā bija 0.01622 EUR kWh, bet elektroenerģijas izmaksas ņemot vērā piegādes un obligātās komponentes sastādīja 0.089 EUR kWh. 2020. gada sezonā darbinot gaisa-gaisa tipa siltumsūkni iztērēts 46 kWh jeb 4.11 EUR m<sup>2</sup>, kas nodrošināja līdzīgu siltumenerģijas daudzumu – 366 kWh siltumnīcas apkurei izmantojot dabaszāģi 5.94 EUR m<sup>2</sup> vērtībā.

### Sezonas pagarināšana

Izmantojot eksperimentā iegūtos rezultātus un siltumsūkņa Hitachi RAC 50 ražotāja pārstāvja nodrošināto tehnisko informāciju pie augstāk minētām resursu izmaksām siltumenerģijas ražošanas izmaksas no dabaszāģes būs līdzvērtīgas ar elektroenerģijas patēriņu gaisa-gaisa siltumsūkņa darbināšanai 66 kWh m<sup>2</sup> apjomā. Gaisa-gaisa siltumsūkņa efektivitātes rādītājs COP šādu elektroenerģijas patēriņu var nodrošināt ar COP=5.5. Eksperimentā izmantotajam siltumsūknim COP=5.5 teorētiski ir sasniežama pie vidējās diennakts āra gaisa temperatūras +5 °C un nodrošinot +20 °C iekštelpās.



### Tomātu raža

Eksperimentālajā siltumnīcā 2020. gada sezonas laikā kopā iegūti 17.0 kg m<sup>2</sup> tomātu, bet ražošanas siltumnīcā visā sezonas laikā iegūti 39.7 kg m<sup>2</sup> tomātu. Straujš ražas kritums bija vērojams pēc siltumnīcas gaisa dzesēšanas uzsākšanas.

### Secinājumi

Gaisa-gaisa tipa siltumsūkņi efektīvi un konkurētspējīgi nodrošina nepieciešamo siltumenerģiju tomātu veģetācijas periodā. Pētījuma gaitā Gaisa-Gaisa siltumsūkņi parādīja energoefektivitāti, kura pārsniedz gāzes apkures energoefektivitāti, gan enerģijas patēriņu, gan arī cenas ziņā, diennakts vidējai āra gaisa temperatūrai nenokrītot zem +5 °C.

Izmantotais gaisa-gaisa tipa siltumsūkņis nodrošināja nepieciešamo optimālo tomātu kaltēšanas temperatūru, taču tās sasniegšanai bija nepieciešama gaisa plūsmas recirkulācijas konstrukcija. Siltumnīcas dzesēšanas rezultātā samazinājās tomātu raža, ko, iespējams, ietekmēja mikroklimatisko apstākļu izmaiņas gaisa atdzesēšanas rezultātā.



Žāvēšanas iekārta ar gaisa recirkulāciju un gatavā produkcija

Siltuma sūkņa gaisa-gaisa un aprīkojuma izvietojums testa siltumnīcā

NACIONĀLAIS  
ATTĪSTĪBAS  
PLĀNS 2020



EIROPAS SAVIENĪBA  
EIROPA INVESTĒ LAUKU APVIDOS  
Eiropas Lauksaimniecības fonds  
lauku attīstībai

Atbalsta Zemkopības ministrija un Lauku atbalsta dienests

## Prezentācija tiešsaistes semināram 17.11.2020

Gaiss-Gaiss tipa siltumsūkņa piemērotība biomasas  
(tomātu) kaltēšanai

A. Auce, Latvijas Universitāte

This project is supported by EAFRD - The European agricultural fund for rural development,  
project Nr. 17-00-A01620-000013

  
 Atbalsta Zemkopības ministrija un Lauku atbalsta dienests

- Sadarbības projekta 17-00-A01620-000013 nosaukums: Siltumenerģijas efektivitātes uzlabošanas tehnoloģijas izstrāde segto platību veģetācijas perioda pagarināšanai
- Sadarbības partneri: Latvijas Universitāte; Latvijas Lauksaimniecības universitāte; Rītausma SIA; Baltic Open Solution Center SIA; A.Pundura Konsultāciju Centrs SIA;

Pētījuma mērķis

Pārbaudīt iespējamību žāvēt biomasu un it īpaši kaltēt tomātus izmantojot Gaiss-Gaiss siltumsūkni režīmā, kurā tas dzesē siltumnīcu

Izveidot energoefektīvu tehnoloģiju tomātu kaltēšanai



Kāpēc kaltēt tomātus?

- Dzijāka pārstrāde un augstāka pievienotā vērtība
- Iespēja pārstrādāt nestandarta augļus

Tehnoloģiskais pamatojums

- Siltuma pārpalikums siltumnīcās saulainās vasaras dienās
- Siltumsūkni efektīvi izmanto enerģiju sildīšanai

Tehnoloģiskais izaicinājums

- Vienlaicīgs siltumsūkņa lietderīgais darbs gan sildīšanā gan dzesēšanā


Paraugi kaltēšanai

Kaltēšanas eksperimentiem tika izmantoti industriāli audzēti Roma šķirnes tomāti, kurus audzē SIA Rītausma.



Eksperimentālā siltumnīca

SIA Rītausma no ražošanas norobežota eksperimentāla 34 m<sup>2</sup> liela siltumnīca, kurā projekta ietvaros notika Gaiss-Gaiss tipa siltumsūkņu izmēģinājumi siltumnīcas apsildē un dzesēšanā.




Gaiss-Gaiss siltumsūkņi

2 Hitachi Gaiss-Gaiss tipa siltumsūkņi (HITACHI - RAK-50 RXB/WXB Shirokuma)

Kāpēc 2 gab?

- Nodrošina vajadzīgo jaudu – 300w/m<sup>2</sup> ļoti auksta laika periodam
- Nodrošina gan sildīšanu gan dzesēšanu siltā laika periodā



Temperatūras mērījumi Gaiss-Gaiss siltumsūkņiem



Normālā darbības režīmā gaiss-gaiss siltumsūkņa siltais izplūdes gaiss dzesēšanasrežīmā ir 35-40C. (Latvijas vasaras apstākļos)



### Temperatūras prasības tomātu žāvēšanai

Vairāki literatūras avoti sniedz informāciju par dažādiem siltuma avotiem un temperatūrām tomātu žāvēšanā.

Vispārpieņemti tiek uzskatīti, ka zemāka temperatūra dod bioloģiski vērtīgāku produktu, bet augstāka temperatūra ātrāku žāvēšanu.

Literatūrā ir ziņots par izmantotām temperatūrām 42-90C robežās

Literatūrā nav datu par tomātu žāvēšanu ar periodisku sildīšanu režīmos, kas atbilstu siltumsūkņa darbībai ņemot silto gaisu no siltumniecām.

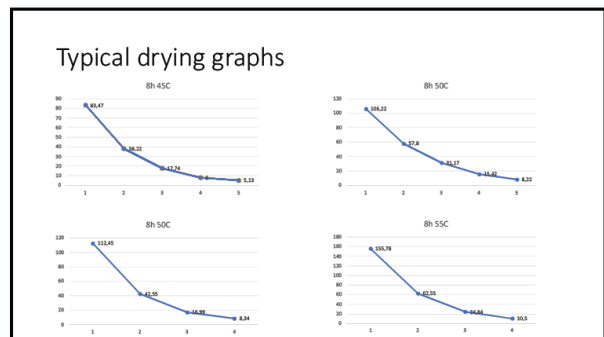
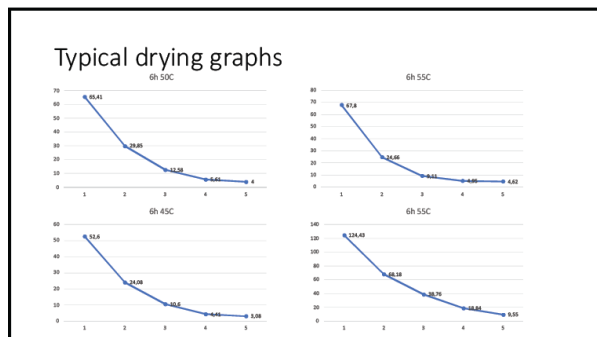


### Laboratorijas eksperimenti

Tomāti tika žāvēti sadzīves tipa žāvētājā izmantojot 24 stundu ciklu, kas sastāvēja no 6-8 stundu žāvēšanas 40-60 C un sekojošas stāvēšanas atlikušo laiku istabas temperatūrā 21 C tā imitējot dienas/nakts ciklu.

Izžāvēšanas kritērijs – vismaz 90% masas zudums.

40-60C robežas siltā gaisa temperatūra, ko iespējams iegūt no siltumsūkņa

### Eksperimentālā ierīce

Tika konstruēts īpašs žāvētājs kopā ar ārējo apvalku un siltā gaisa padeves kontroli siltumsūkņa dzesēšanas blokam

- Siltā izplūdes gaisa reciklēšana siltumsūkņa siltumapgādei ārējam blokam
- Nodrošināta augstāka temperatūra žāvētājā (lielā 65C)
- Mazākas temperatūras svārstības starp žāvēšanas un miera cikliem



### Eksperimentālie rezultāti

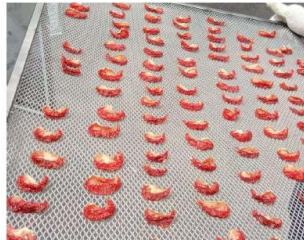
- Sekmīgi iegūti kaltēti tomāti izmantojot siltumsūkni un siltumniecā blakus produktu lielo siltumu karstā saulainā laikā

#### Novērotās problēmas

Siltumsūkņa izmantošana siltumniecā dzesēšanai izmaina siltumniecā mikroklimatu un ievērojami pasliktināja ražu veiktajā eksperimentā

#### Ieteicamais risinājums

Siltumniecā dzesēšanu veikt nevis dzesējot siltumniecā gaisu tās iekšienē, bet gan aizvadīt silto gaisu ārējā, lai pēc tam to izmantotu siltumsūkņa siltummaiņā



### Secinājumi

Ir eksperimentāli demonstrēts, ka Gaiss – gaisa siltumsūkni ir iespējams sekmīgi izmantot biomasas (tomātu) kaltēšanai

Lai izvairītos no nevēlamām siltumniecā mikroklimata izmaiņām siltais gaisa pirms tā izmantošanas siltumsūkņa siltummaiņā ir jāaizvada ārējā no siltumniecā ar ventilācijas sistēmas palīdzību.

Prezentācija tiešsaistes semināram 17.11.2020

### Siltumenerģijas efektivitātes uzlabošanas tehnoloģijas izstrāde segto platību veģetācijas perioda pagarināšanai.

Projekta vadītājs **Aivars Jermušs**

Latvijas Lauksaimniecības Universitātes projekta iesniegums Nr.17-00-A01620-000013 16.pasākuma "Sadarbība" 16.2.apakšpasākuma "Atbalsts jaunu produktu, metožu, procesu un tehnoloģiju izstrādei" 01.11.2017-30.11.2020

### Projektā iesaistītie partneri

### Projekta mērķis

- Samazināt segtajās platībās audzētās produkcijas pašizmaksu izmantojot **ilgtspējīgas** siltumapgādes tehnoloģijas;
- Dažādot segto platību produkcijas ražošanu.

### Projekta uzdevumi

- Izstrādāt optimālo gaiss-gaiss tipa siltumsūkņa darbības nosacījumus;
- Izgatavot testa siltumnīcu un žāvēšanas iekārtu;
- Audzēt izvēlētos kultūraugus, veikt temperatūru lauka un enerģijas patēriņa mērījumus, novērtēt augu augšanas gaitu un rezultātus;
- Žāvēt biomasas paraugus, novērtēt iegūtos rezultātus.

### Gaisa temperatūras režīmi tomātiem

Augu attīstības fāze	Ziedēšana un nogatavošanās fāze	
	Diena	Nakts
$T_{opt}$ °C	20-25	12-15
$T_{min}$ °C	12	10
$T_{max}$ °C	30	-

### Kritiskās temperatūras robežas siltumnīcās:

- Maksimālā temperatūra + 35°C ne ilgāk par 5 stundām pēc kārtas,
- minimālā (+15°C) ne ilgāk kā vienu dienu,
- Vīrs +28°C ziedu putekšņi kļūst sterili,
- Vīrs +32°C ziedputekšņi nedīgst,
- Vīrs +30°C tiek traucēta spēja veidot partenokarpus augļus.

### Pieļaujamās svārstību robežas:

- starp dienu un nakti 10...12°C,
- starp augsni un gaisu 1...3 °C,

Temperatūras svārstību rezultāta plaisā augļi, nobirst ziedi.

### Vidējā, minimālā un maksimālā diennakts gaisa temperatūrā Zilānos, 2020. gadā

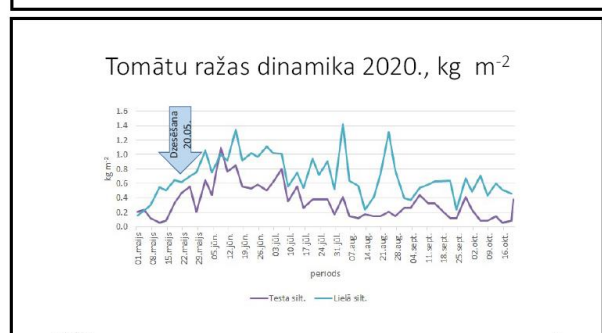
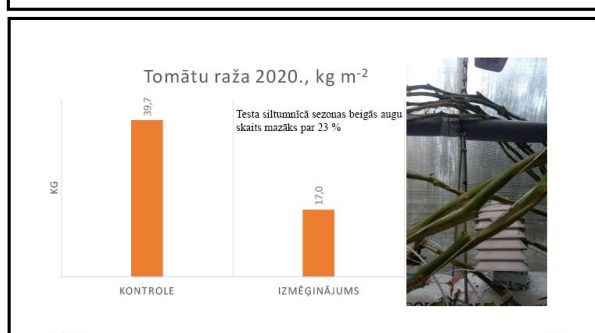
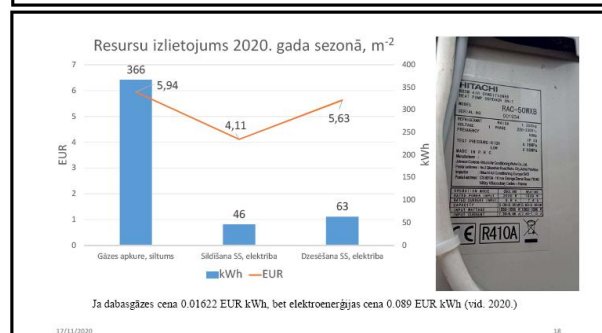
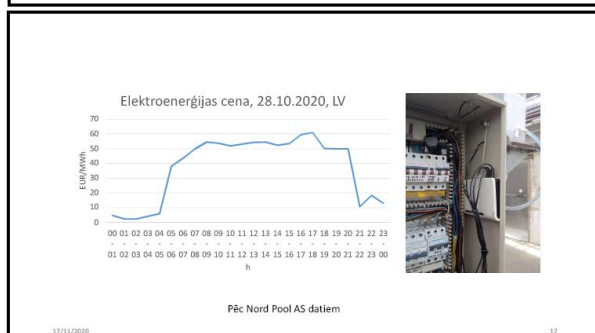
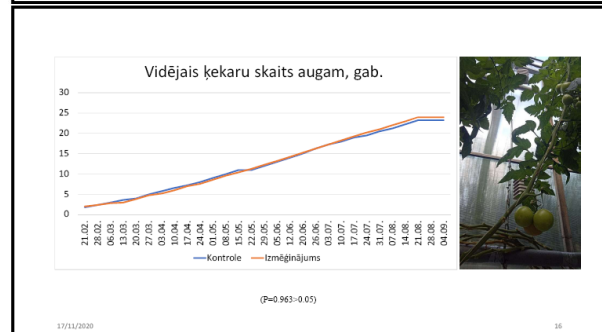
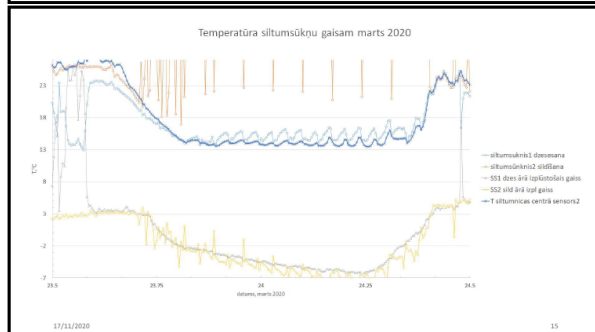
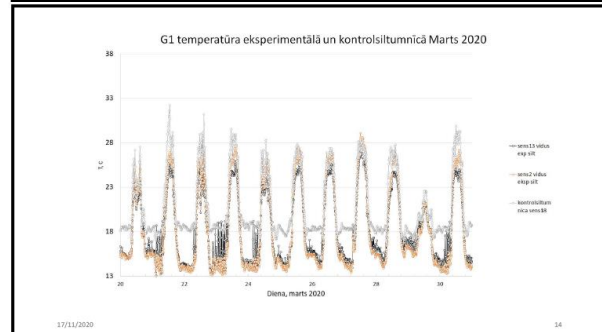
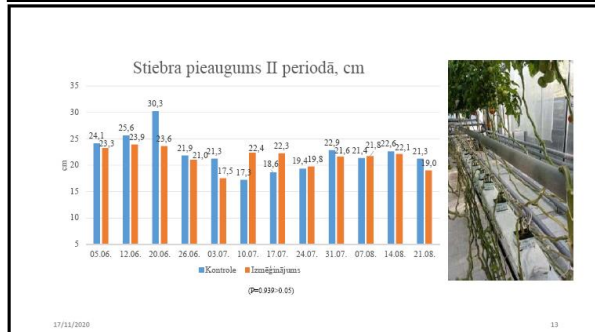
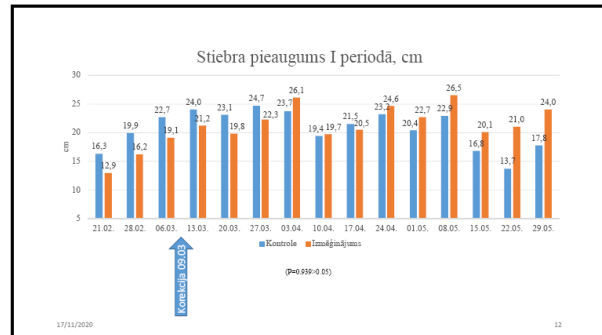
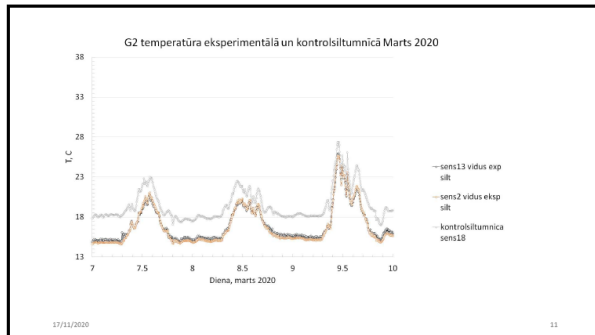
### Siltumnīcas bloks un Testa siltumnīca

### Elektroenerģijas patēriņš apsildei, 2020. kWh/nedēļā

### Elektroenerģijas patēriņš dzesēšanai 2020., kWh/nedēļā



## 5. pielikuma turpinājums



### Secinājumi

- Gaiss-gaiss tipa siltumsūkņi efektīvi nodrošina nepieciešamo gaisa temperatūru tomātu audzēšanas periodā;
- Pie vidējās āra gaisa temperatūras vismaz 5 °C, nodrošinot 20 °C iekštelpās, eksperimentā izmantotajam siltumsūkņim teorētiski ir sasniedzams COP=5.5, kas nodrošina līdzvērtīgas izmaksas gāzes apkurei;
- Konkurētspējīgai tomātu ražas ieguvei nepieciešama papildus mikroklimatisko apstākļu kontrole ražas ietekmējošo faktoru nodrošināšanai.

17/11/2020

21



17/11/2020

22

Prezentācija 77. Starptautiskā konferencē 07.02.2019


**TOMATO DRYING DYNAMICS STUDY FOR INCREASED ENERGY EFFICIENCY IN AGRICULTURAL PRODUCTION**

I. Auce, A. Auce, A. Jeremuss, S. Ivanovs, Ā. Ruciņš

This project is supported by EAFRD - The European agricultural fund for rural development, project Nr. 17-00-A01620-000013.

**Aim of the study**

This research tested the potential of air to air heat pumps as an energy efficient and environmentally friendly process for tomato drying




**Why tomatoes and air to air heat pump**

- Energy efficient way of heating in low temperature difference situations
- Low capital cost heating system
- High fuel utilisation factor in inhouse electricity generation case
- Complements greenhouse core production cycle
- Utilisation of excess heat in greenhouses during summer period

**Tomatos**

Industrially grown tomatoes by research partner SIA Rītausma were used in the study.

Two different varieties were used – Admiro and Roma, the latter of which is more commonly used in dried tomato production due to its elongated shape.



**Tomato drying temperature**

Multitude of drying methods are reported in literature, most of which rely on a method or combination of methods of generating a flow of heated air over the product.

Tests with temperatures ranging from as low as 42 C to as high as 90 C have been reported with successful results.

The general consensus is that lower temperatures produce higher quality products, with 60 C being an acceptable equilibrium between process duration and loss of quality (smell, color, taste and texture)

Air to Air retail heat pumps typically provide 45-55 C exhaust air temperature, however typical technical specifications do not provide detailed characteristics of exhaust hot air temperatures.

Air to water heat retail heat pumps have maximum exit hot water temperature of 60C

**Sample selection**

Although tomato strains developed for drying exist, most studies either use Roma tomatoes or don't specify any strain.

Literature does not provide systematic information about the size and ripeness of the samples used in studies.

There are special tomato sorts developed for sun drying of tomatoes.



**Procedure**

Product samples – taken from greenhouse of SIA Rītausma. Samples with different stages of ripeness and quality levels were used.


Prior to drying tests the samples were stored in room temperature and regularly checked for any damages or spoilage.

The samples were cut in eights and sixths to test for effects of the slice size.

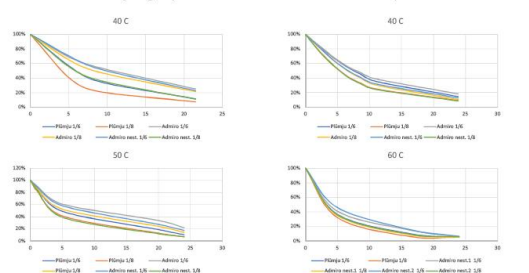
The study was performed with a conventional household fruit dryer using hot air flow. Temperature ranges from 40 to 65 C were tested.

The samples were dried until any further reduction in mass was slow – to about 5 to 10 % of the original weight.

Air flow velocity and moisture were not tested.



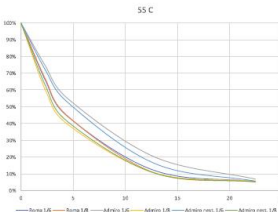
**Tomato drying dynamics at different air temperatures**



**Results**

It was found that tomatoes can be successfully dried in all the tested temperatures.

Increased temperature, thinner slice size and smaller tomatoes were all factors that lead to decreased drying times, the most impactful of which is temperature.



**Technical data**

Item	Unit	Value	Value	Value	Value
Energy consumption	kWh	1.200	1.200	1.200	1.200
Energy efficiency	%	100	100	100	100
...	...	...	...	...	...

### Air to air heatpump exhaust air temperature

Usually exhaust hot air temperature is not clearly specified in the technical specifications of retail air to air heat pumps.

Technical estimates and consultations with service personal gives different estimates but typically maximum temperature is in the range of 45-60 C

### Summary

Tomatos from SIA Rītausma greenhouse can be successfully dried in temperatures as low as 40 C without spoilage.

Increasing temperature to 60 C leads to twofold reduction of drying time.

This temperature range is compatible with air to air heat pump exhaust hot air temperatures.



Idejas pieteikuma prezentācija LAD, 18.10.2018

### Siltumenerģijas efektivitātes uzlabošanas tehnoloģijas izstrāde segto platību veģetācijas perioda pagarināšanai.

Iesniegums Nr.17-00-A01620-000013 16.pasākuma "Sadarbība" 16.2.apakšpasākuma "Atbalsts jaunu produktu, metožu, procesu un tehnoloģiju izstrādei"  
Projekta vadītājs Dr. Agr. Alvars Jermušs

Sala, 2020.gada 25. februāris

### Projektā iesaistītie partneri

### Projekta mērķis

- Samazināt siltumnīcās audzētās produkcijas pašizmaksu izmantojot ilgtspējīgas siltumapgādes tehnoloģijas un paplašināt šo tehnoloģijas izmantošanu vasaras periodā (siltajā gada laikā);
- Pagarināt augu aktīvo veģetācijas periodu un aizsargāt augus no nelabvēlīgas ārējās vides iedarbības.

### Projekta uzdevumi

- Definēt kultūraugu un tiem nepieciešamos siltuma režīmus segtajās platībās atbilstoši Latvijas klimata apstākļiem,
- Izstrādāt un ieviest temperatūras mērījumu un datu savākšanas sistēmu,
- Izstrādāt optimālu siltumsūkņa darbības algoritmu,

### Projekta uzdevumi

- Izveidot testa siltumnīcu un izvēlēties kontrolsiltumnīcu un salīdzināt siltumnīcu parametrus,
- Audzēt izvēlētos kultūraugus, veikt temperatūru lauka un enerģijas patēriņa mērījumus, novērtēt augu augšanas gaitu un rezultātus,
- Žāvēt biomasas paraugus, novērtēt iegūtos rezultātus,
- Apkopot, apstrādāt un analizēt iegūtos datus un rezultātus.

### Agrotehniskie režīmi kultūraugu audzēšanai segtajās platībās\*

**Kritiskās temperatūras robežas siltumnīcās:**

- Maksimālā temperatūra +35°C ne ilgāk par 5 stundām pēc kārtas,
- minimālā (+15°C) ne ilgāk kā vienu dienu,
- Virš +28°C ziedu putekšņi kļūst sterili,
- Virš +32°C ziedputekšņi nedīgst,
- Virš +30°C tiek traucēta spēja veidot partenokarpus augļus.

**Pieļaujamās svārstību robežas:**

- starp dienu un nakti 10...12°C,
- starp augsni un gaisu 1...3°C,
- Temperatūras svārstību rezultāta plaisā augļi, nobirst ziedi.

\*G.Šteļiņš, Zemkopības ministrija 12.11.2015./Rojumam Nr.167

### Agrotehniskie pasākumi kultūraugu audzēšanai segtajās platībās\*

**Slimības izplatību veicinošie faktori:**

- krasas temperatūras svārstības (no +12 - 15°C naktī līdz +28-32°C dienā);
- paaugstināts (virš 85%) gaisa mitrums, pie relatīvā gaisa mitruma, kas augstāks par 85%, slimības attīstība aizkavējas;
- segtajās platībās jānodrošina augiem optimālā mikroklimata uzturēšanu, nepieļaujot krāsas temperatūras un gaisa mitruma svārstības dienas un nakts laikā.

\*G.Šteļiņš, Zemkopības ministrija 12.11.2015./Rojumam Nr.167

### Tomātu audzēšanas temperatūru režīmi C<sup>0</sup>

Literatūra	Intensīvas augšanas periods		Esošais režīms	
	Diena	Nakts	Pavasaris/vasara	
T opt C <sup>0</sup>	20-25 <sup>0</sup>	12-15 <sup>0</sup>	Diena	18.5 <sup>0</sup>
T min C <sup>0</sup>	12 <sup>0</sup>	10 <sup>0</sup>	10:00	20.5 <sup>0</sup>
T max C <sup>0</sup>	30 <sup>0</sup>		13:00	19.5 <sup>0</sup>
			16:00	18.0 <sup>0</sup>
Ziedēšanas, nogatavošanās fāze			Nakts	
T opt C <sup>0</sup>	20-28 <sup>0</sup>	15-18 <sup>0</sup>	I zona	16.5 <sup>0</sup>
T min C <sup>0</sup>	15 <sup>0</sup>	15 <sup>0</sup> (pāļaiņi 13.5 <sup>0</sup> )	II zona	17.0 <sup>0</sup>
T max C <sup>0</sup>	30 <sup>0</sup>	30 <sup>0</sup>		

### APARATŪRAS LĪDZEKĻU (HARDWARE) ARHITEKTŪRA ATTĀLĪNĀTAI 3D TEMPERATŪRAS LAUKA MĒRĪŠANAI

### Siltumsūkņa Hitachi RAC-50WXB gaiss-gaiss darbības intervāli

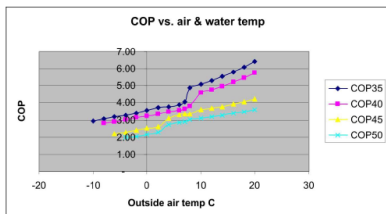
The temperature range is indicated in the following table:

Working range	Cooling		Heating	
	min (°C)	max (°C)	min (°C)	max (°C)
outdoor	-10	43	-15	21
indoor	16	43	16	20

SEER A+++ 7.2 and SCOP A++ 4.5

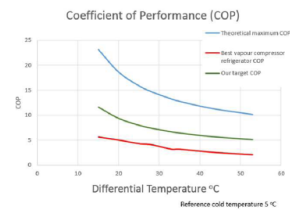
## 5. pielikuma turpinājums

### Siltumsūkņu lietderības koeficients sildīšanā COP



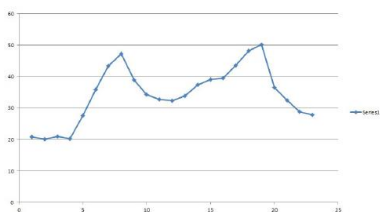
11

### Siltumsūkņu lietderības koeficients 5 °C



12

### Elektrības diennakts cenu variācija Latvija 16.okt. 2017



13

### Siltumnīcas bloks SIA Rītausma



14

### Testa siltumnīca ar Gaiss-Gaiss tipa siltumsūkni



Gaisa siltummainis  
Temperatūras sensori



15

*Paldies par uzmanību!*

16