



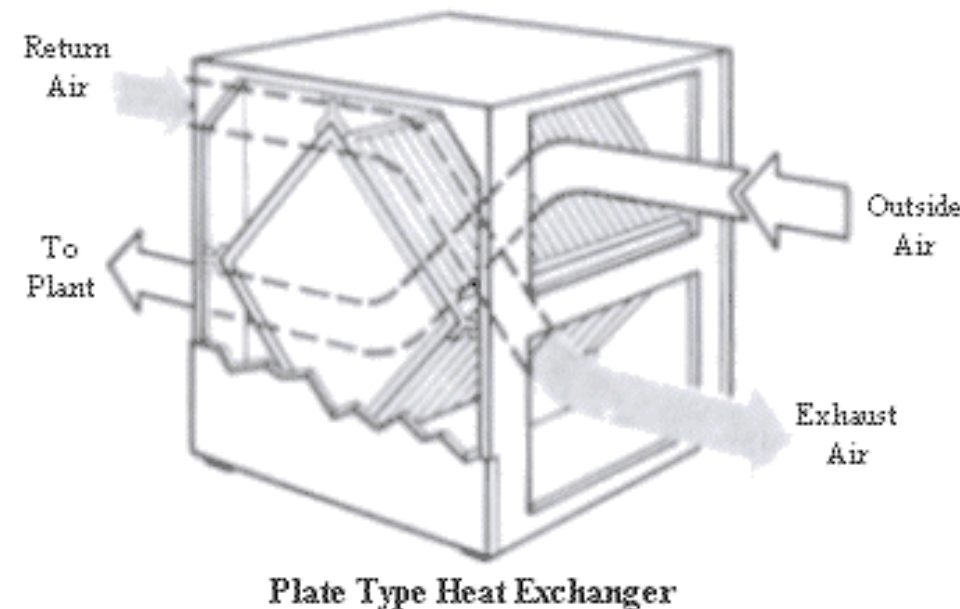
# **Ventilatsiooniseadmete soojustagastite jäätumise vältimine**

ALO MIKOLA  
Liginullenergiahoonete  
uurimisrühm

26.04.2018

## Teostatud uuringud

- Ventilatsiooniagregaatide soojustagastite uuringud:
  - Rekonstrueeritud kortermajade uuring (4 seadet ja sissepuhkeõhu temperatuuri mõõtmised jaanuar – märts 2017)
  - Laborimõõtmised TTÜ kliimakambris 2017 aastal
  - Vastuvoolu plaatsoojustagasti detailne monitooring vastvalminud TTÜ Liginullenergia ühiselamu baasil
  - Soojustagasti kalibreeritud simulatsioonid
- Kuna probleem vastuvoolu plaatsoojustagastitega on kõige aktuaalsem, siis keskendume hetkel sellele



## Vastuvoolu plaatsoojustagasti jäätumine

- Soojusatagasti saab jäätuda juhul, kui väljatõmbeõhk puutub kokku soojustagasti pinnaga, mille temperatuur on  $\leq 0\text{ °C}$
- Soojustagasti väljatõmbeõhu poolel tekkinud jää vähendab soojustagasti efektiivsust
- Võib tekitada väljatõmbeõhu poolele märgatava õhuvooluhulga vähenemise ja suurendab soojustagasti õhutakistust
- Kui jäätumisvastaseid meetmeid õigel ajal kasutusele ei võeta, siis ummistab jää soojustagasti lühikese aja jooksul

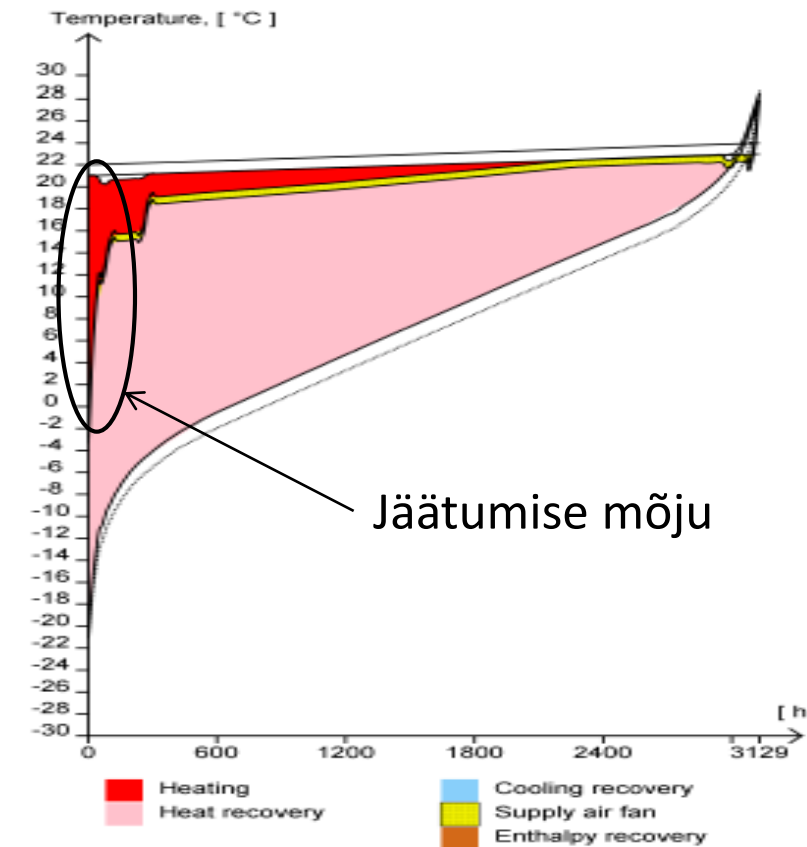
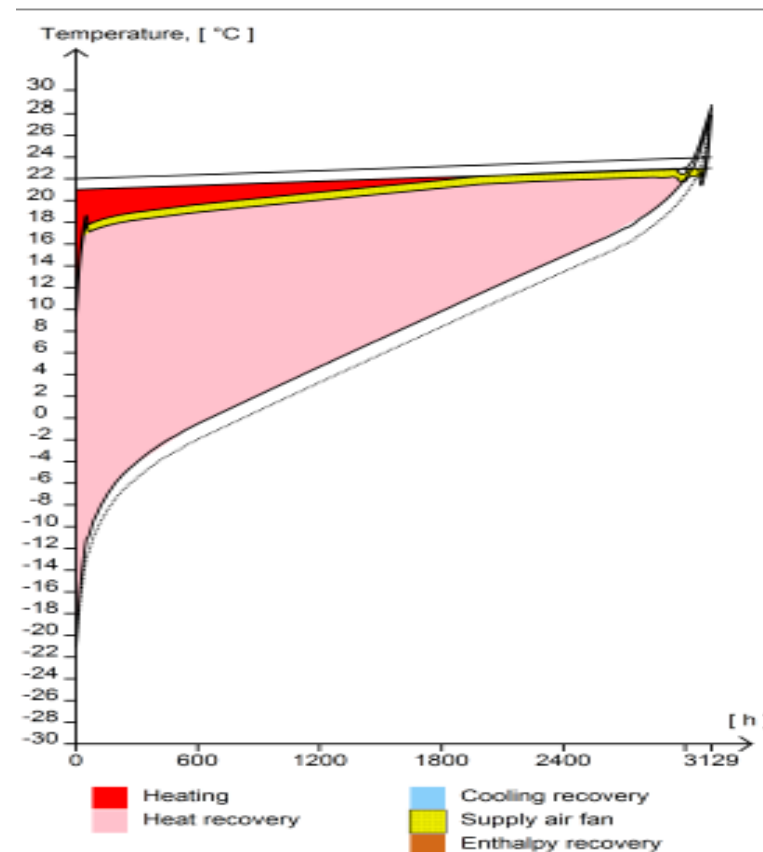


## Kondenseerunud vee jäätumise vältimine

- Sissepuhke õhuvooluhulga vähendamine/peatamine – õhuvahetus ei ole tagatud, tekitab hoones alarõhku ja suurendab infiltratsiooni
- Välisõhu eelsoojendamine konstantse temperatuurini – ei ole energiatõhus lahendus, kuna langetab temperatuuri suhtarvu
- Välisõhu eelsoojendamine muutuva temperatuurini – meetod on sarnane eelmisega, kuid välisõhk soojendatakse täpselt sellisele temperatuurile, et oleks välistatud soojustagasti jäätumine
- Sissepuhkeõhu juhtimine möödaviiguga soojustagastist mööda – soe sissepuhkeõhk sulatab tekkinud jää ära ning soojustagasti saab tavarežiimi tagasi pöörduda. Eeldab suurema küttevõimsusega kalorifeeri
- Mõned soojustagastite tootjad kasutavad jäätumise vältimiseks ka sektsioonsulatust
  - plaatsoojusvaheti jagatud sektsioonideks
  - iga sektsioon on varustatud klapi ja ajamiga
  - Sulatamise vajaduse korral sulgeb automaatika järjest ükshaaval sulatusklappe
- Lisaks sõltub soojustagasti jäätumine ka soojustagasti paigutusest agregaadis ja soojustagasti pinna omadustest

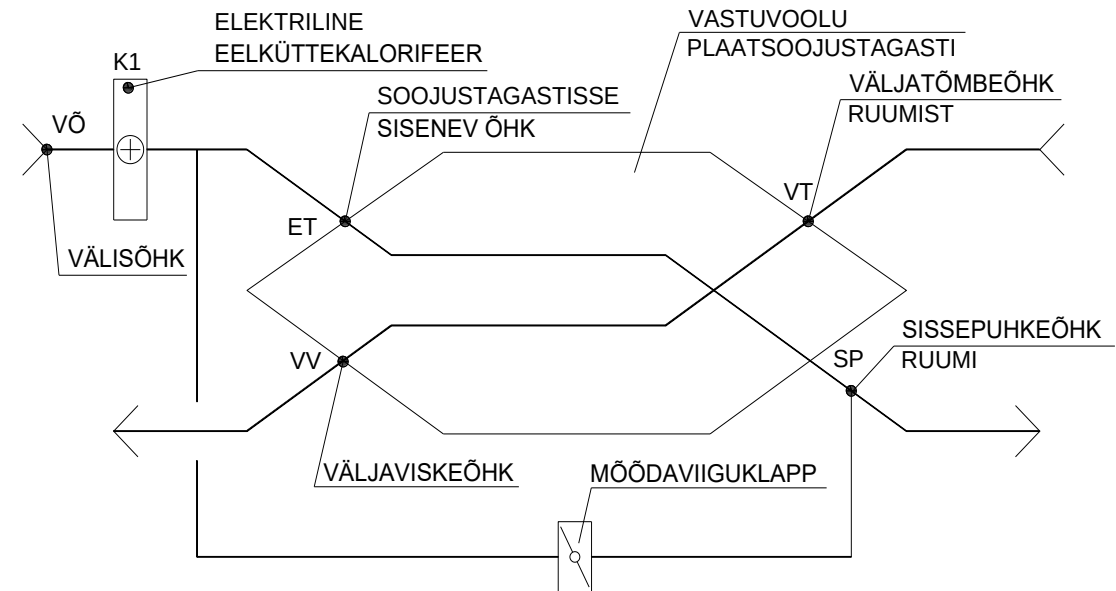
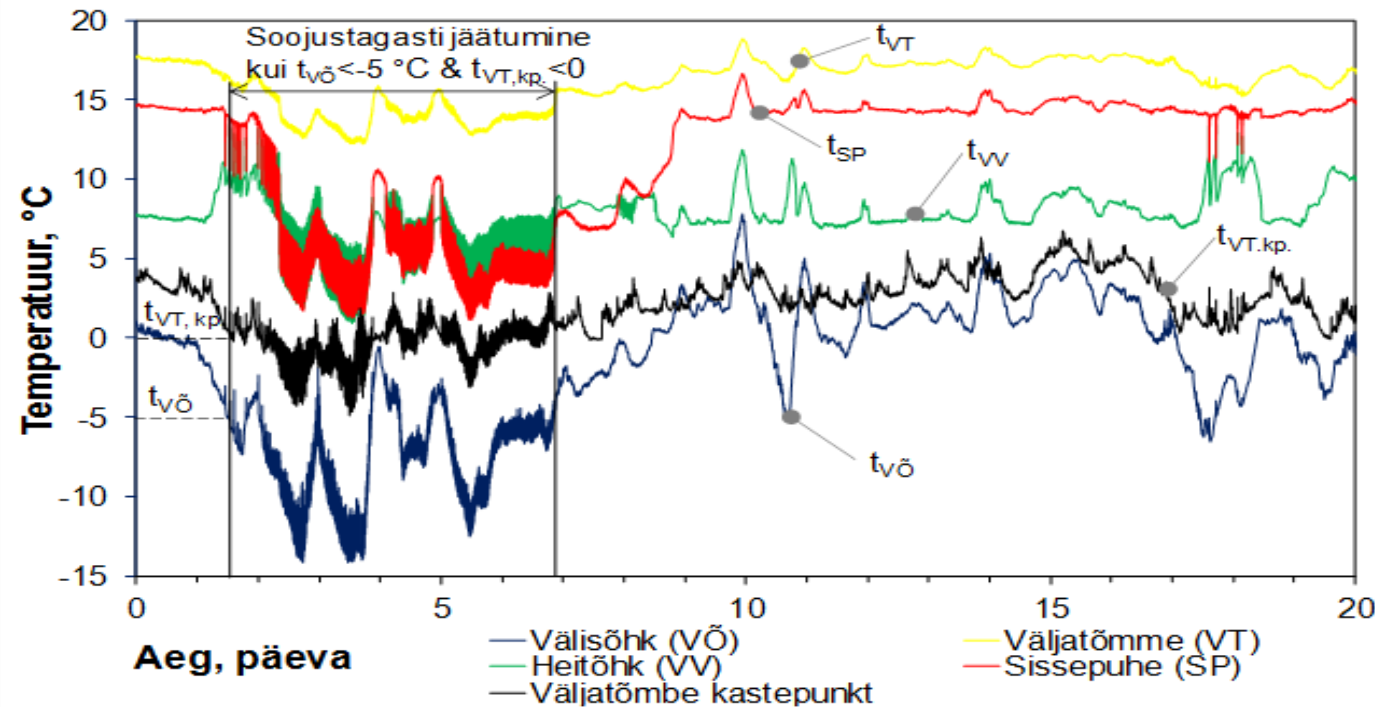
## Rootor- ja plaatsoojustagasti toimivuse erinevus

- Vasakul – rootorsoojustagasti toimivus kestvusdiagrammil
- Paremal - vastuoolu plaatsoojustagasti toimivus kestvusdiagrammil
- Mõlema soojustagasti temperatuuri suhtarv 0,84
- Energiatagastuse suhtarv:
  - Rootor – **0,93**
  - Plaat – **0,90**
- Soojustagasti valikul tuleks pigem eelistada **rootorit**



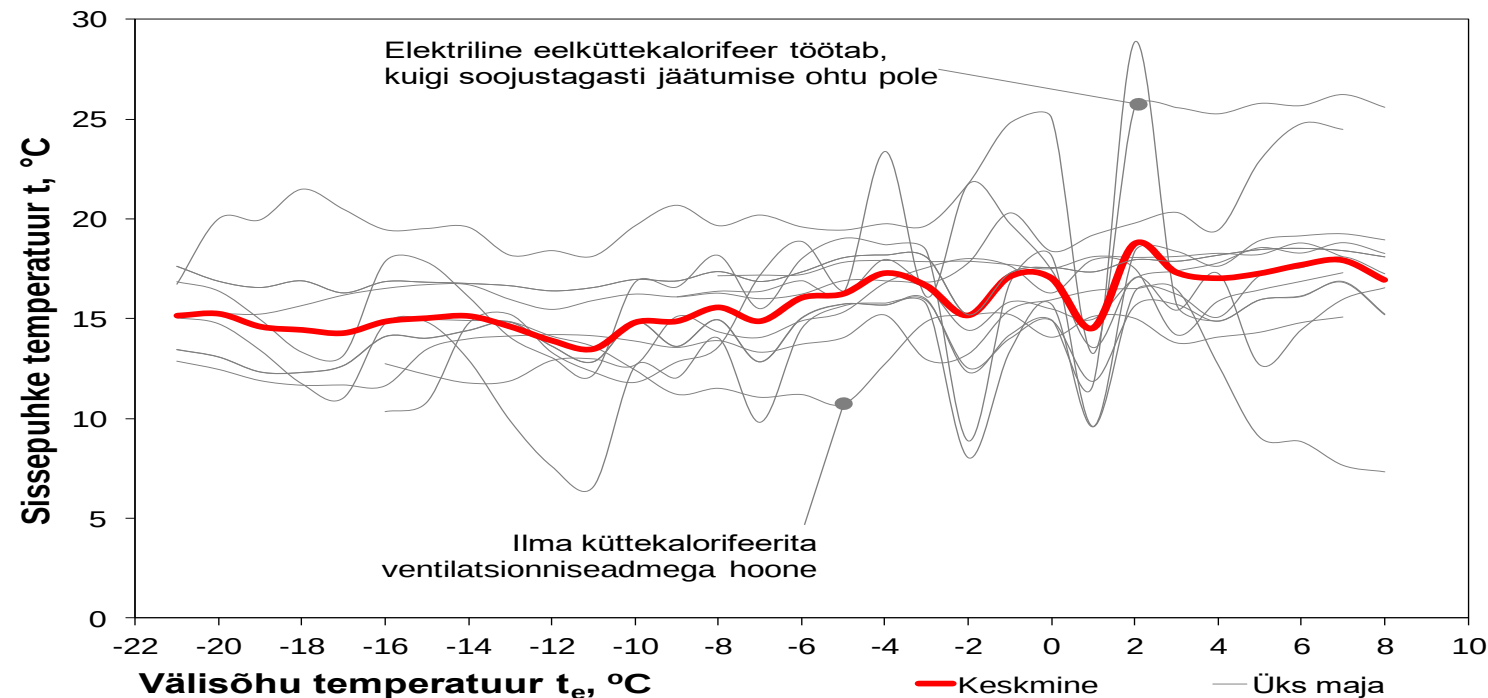
## Rekonstrueeritud kortermajade uuring

- Vaadeldud seadmetes (4 seadet) olid elektrilised eelküttekalorifeerid või ei olnud üldse kalorifeere
- Vastuvoolu plaatsoojustagasti temperatuuri suhtarv **80 ... 90 %**
- Jäätumine saab alguse välisõhu temperatuuridel **-3 ... -5 °C** ja soojustagasti pinna ebasoodsaima koha temperatuur **< 0 °C**



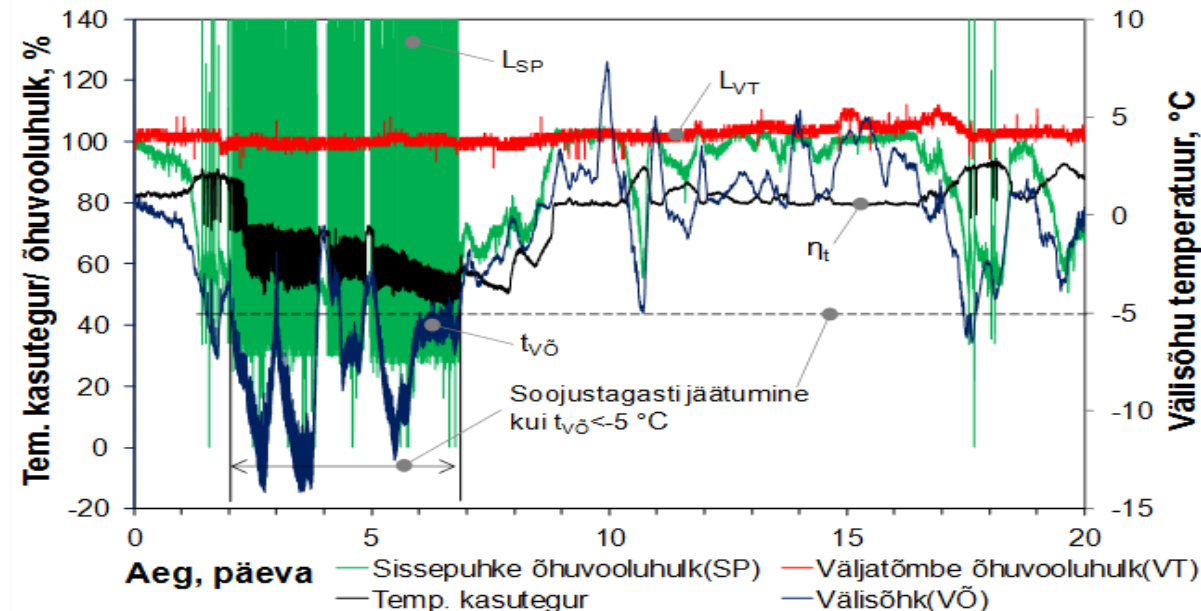
## Rekonstrueeritud kortermajade uuring

- Sissepuhketemperatuurid varieerusid vahemikus 5 °C kuni 25 °C
- Madalad temperatuurid on eelkõige põhjustatud **vastuvoolu plaatsoojustagastite jäätumisest**
- See probleem puudutab eriti teravalt hooneid, kus ventilatsiooni-agregaatidel puudus küttekalorifeer
- Uuringus oli ka hoone, kus SP temperatuur oli teatud perioodil **>25 °C**



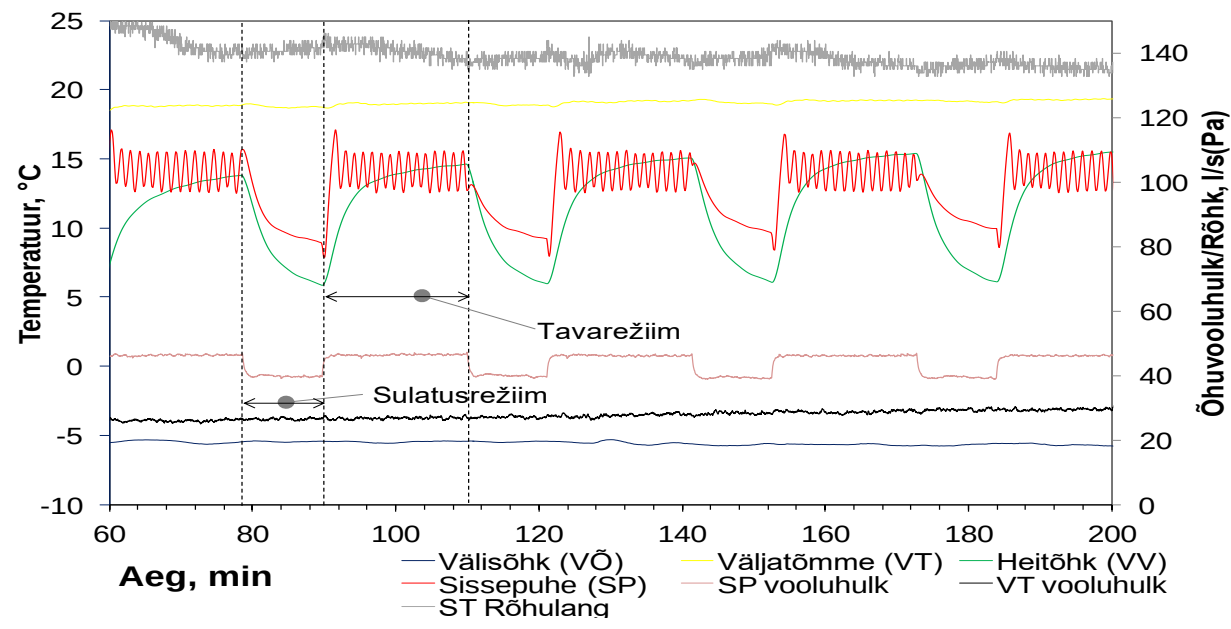
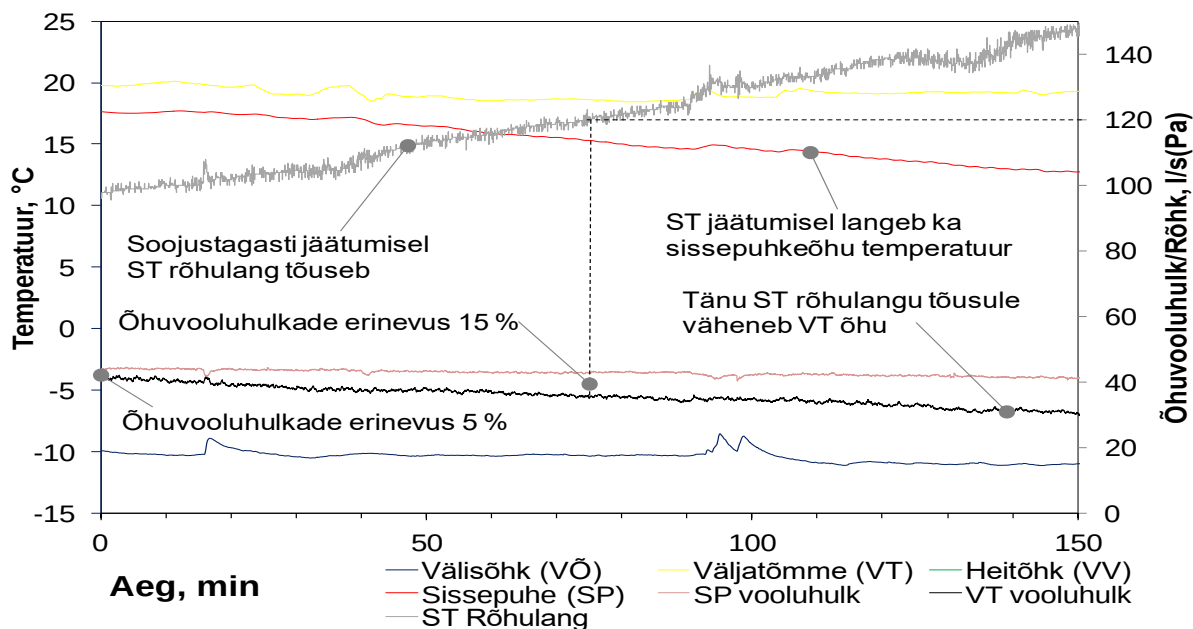
## Rekonstrueeritud kortermajade uuring

- Jooniselt võib näha, et antud juhul on jää sulatamiseks kasutatud sissepuhke õhuvooluhulga vähendamist
- Ilma küttekalorifeerita lahendus ei tööta, kuna sellisel juhul tuleb soojustagasti jäätumise vältimiseks sissepuhkeõhu vooluhulka vähendada
- Elektriline eelküttekalorifeer aitab jäätumist vältida, kuid vähendab oluliselt soojustagasti temperatuuri suhtarvu
- Järelküttekalorifeeride paigaldamine **on vältimatu**
- Kalorifeeride dimensioneerimisel arvestada soojustagasti jäätumise aegse temperatuuri langusega



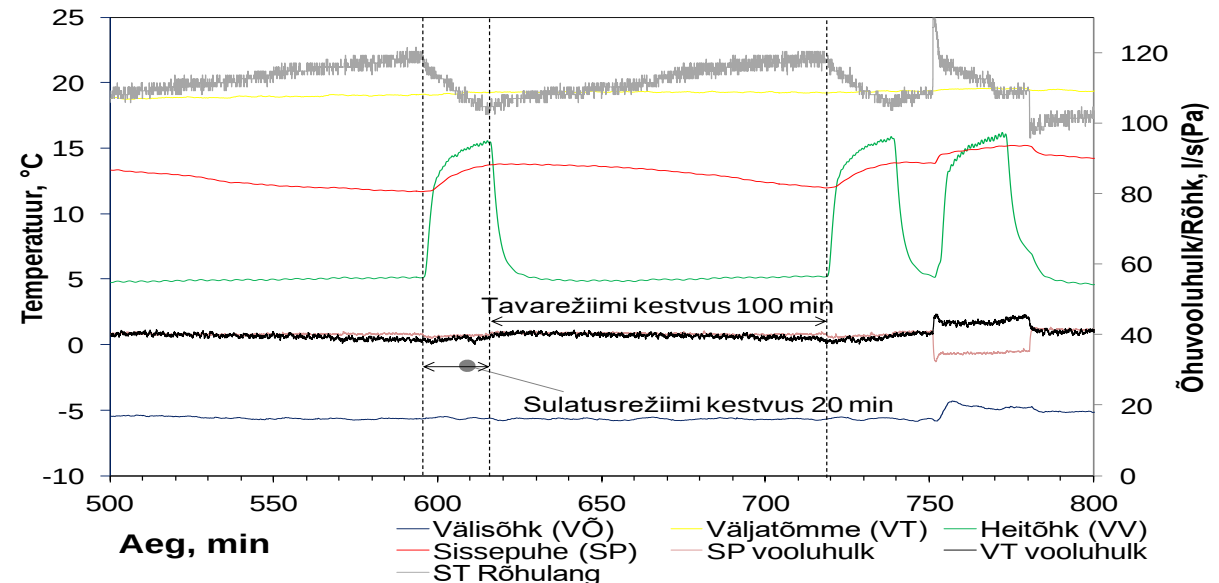
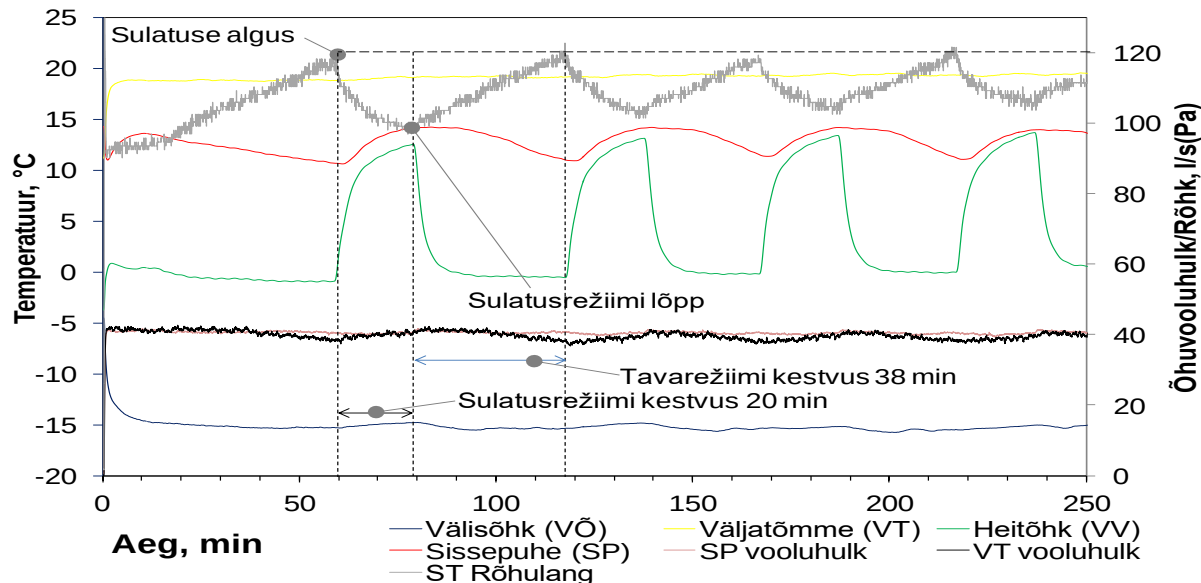
# Jäätumise mõju VT õhuvooluhulgale ja ST rõhulangule

- Soojustagasti jäätudes rõhk üle soojustagasti väljatõmbe poole kasvab
- Kui ventilaatoritel pole õhuvooluhulga kompensatsiooni võimalust, siis vähendab jäätumine väljatõmbeõhu vooluhulka
- **Möödaviiguga sulatamine** - kui soojustagasti väljatõmbepoole rõhulang (või muu seadeparameter) ületab seadearvu, siis tehakse möödaviik lahti ja külm välisõhk juhitakse soojustagastist mööda



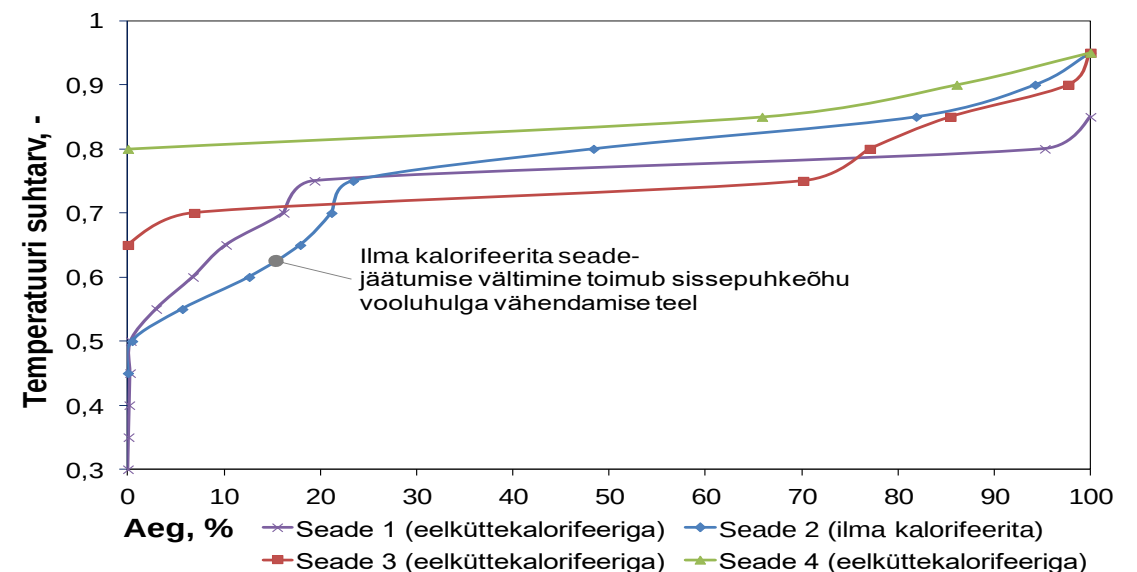
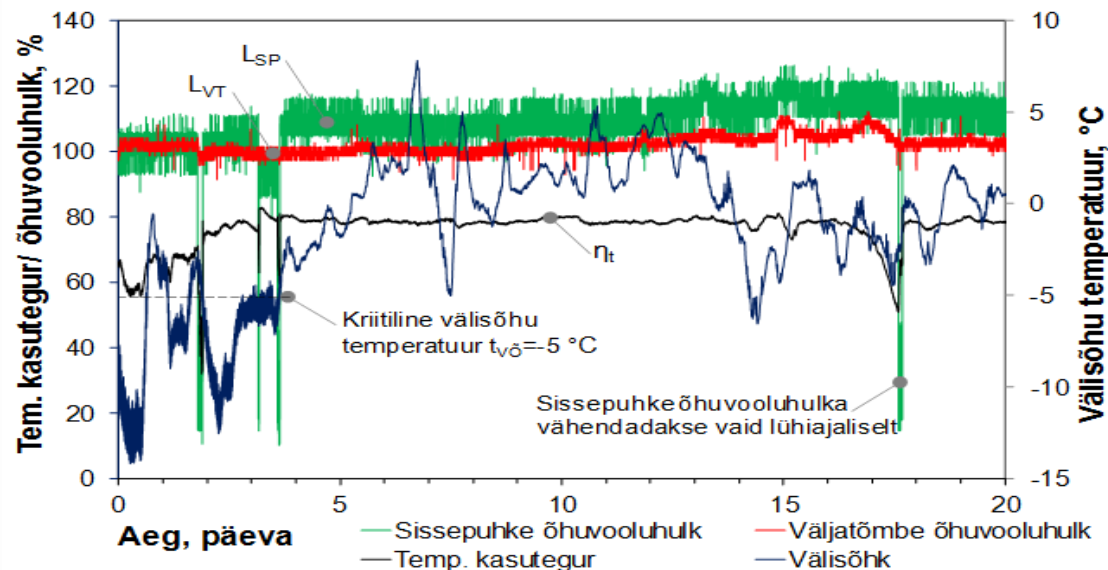
# Eelküttekaloreeriga soojustagasti sulatamine

- Vasakul joonisel - eelküttekaloreeriga sulatamine (välisõhu temperatuur -15 °C)
- Paremal joonisel - eelküttekaloreeriga sulatamine (välisõhu temperatuur -5 °C)
- Selgub, et madalama välisõhu temperatuuri puhul jäätub soojustagasti tihedamini



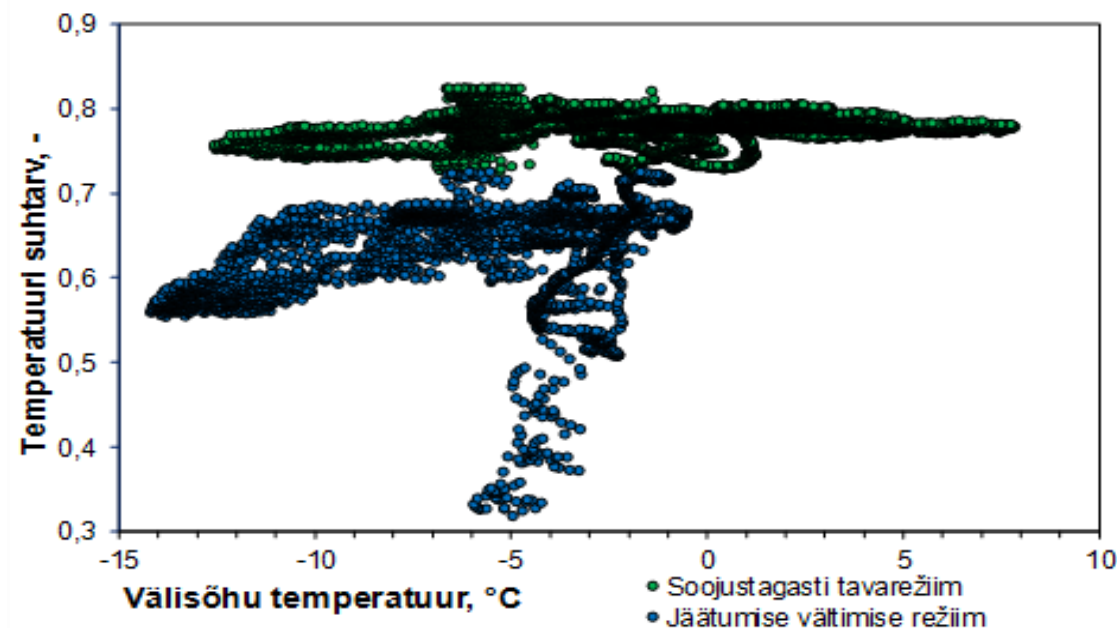
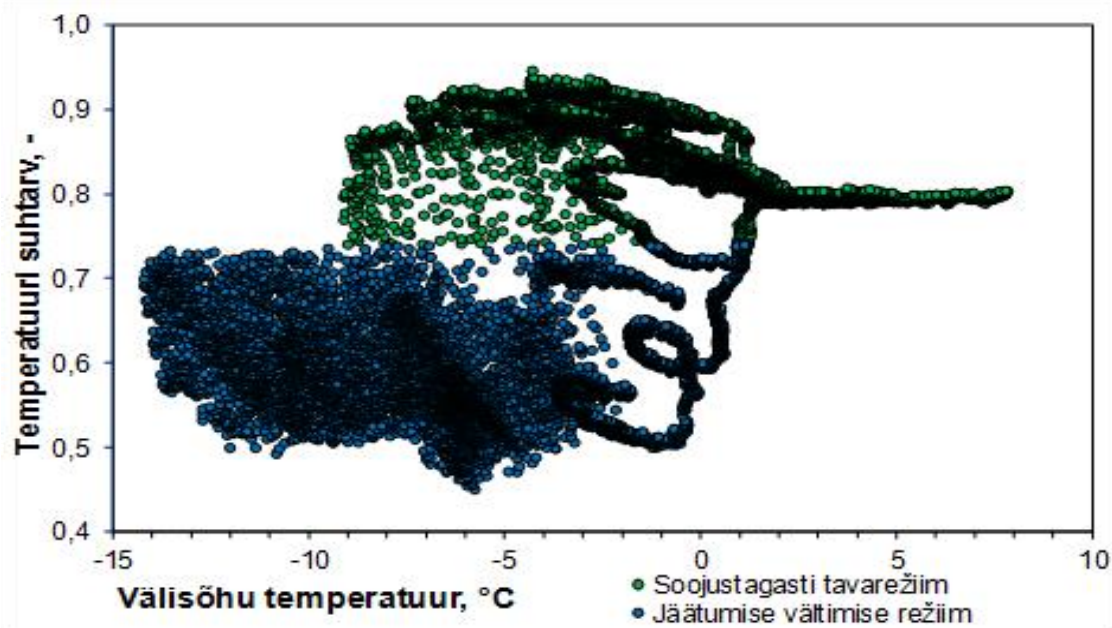
## Rekonstrueeritud kortermajade uuring

- Eelküttekalorifeerita seade töötas jää sulatuse režiimis **30%** mõõteperioodi ajast ja vastava perioodi keskmine temperatuuri suhtarv on **0,60**
- Tavarežiimis töötas seade **70%** ajast ja selle perioodi keskmine temperatuuri suhtarv oli **0,85**
- Ilma eelküttekalorifeerita vastuoolu plaatsoojustagasti toimimine välis-temperatuuride vahemikus  $-15\text{ °C}$  kuni  $+7\text{ °C}$  (vasakul)
- Erinevate mõõdetud ventilatsiooniagregaatide soojustagastite temperatuuri suhtarvude kestvuskõverad (paremal)



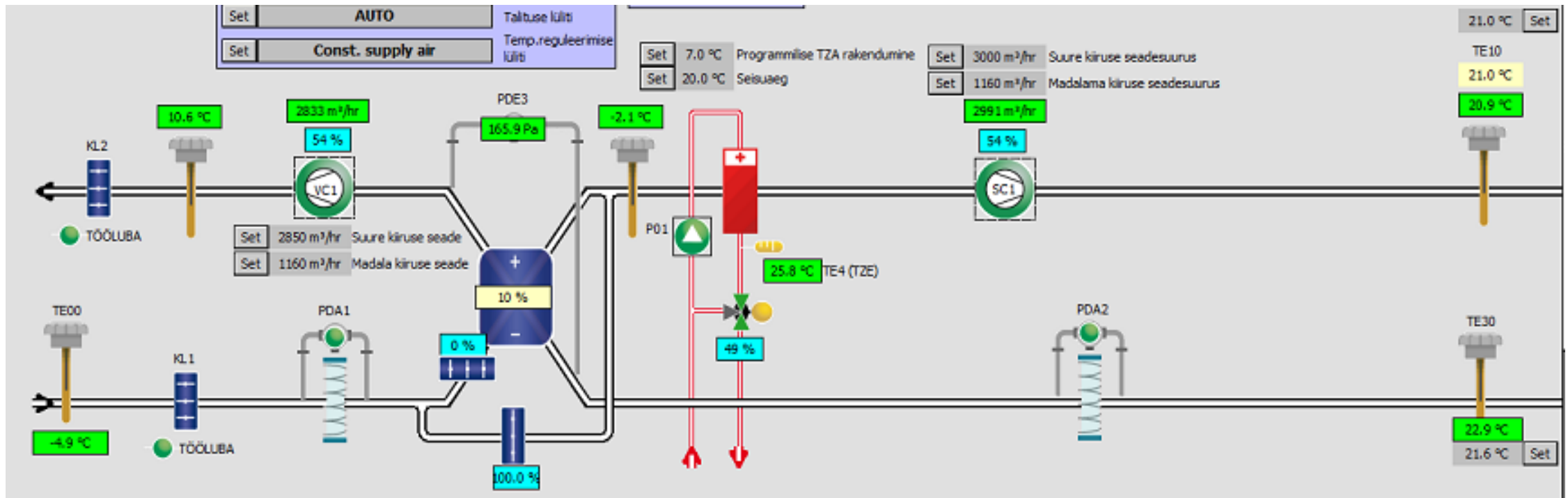
## Rekonstrueeritud kortermajade uuring

- Vastuvoolu plaatsoojustagasti temperatuuri suhtarvu sõltuvus välisõhu temperatuurist:
  - ilma küttekalorifeerideta ventilatsiooniseade (vasakul)
  - eelküttekalorifeeriga seade (paremal)
- Jäätunud olekus ja jää sulatamise ajal on aga soojustagasti temperatuuri suhtarv oluliselt madalam, jäädes vahemikku **0,4–0,6**
- Sissepuhke õhuvooluhulga vähendamisel muutub hoone alarõhuliseks ning suureneb **infiltratsioon läbi piirdetarindite**



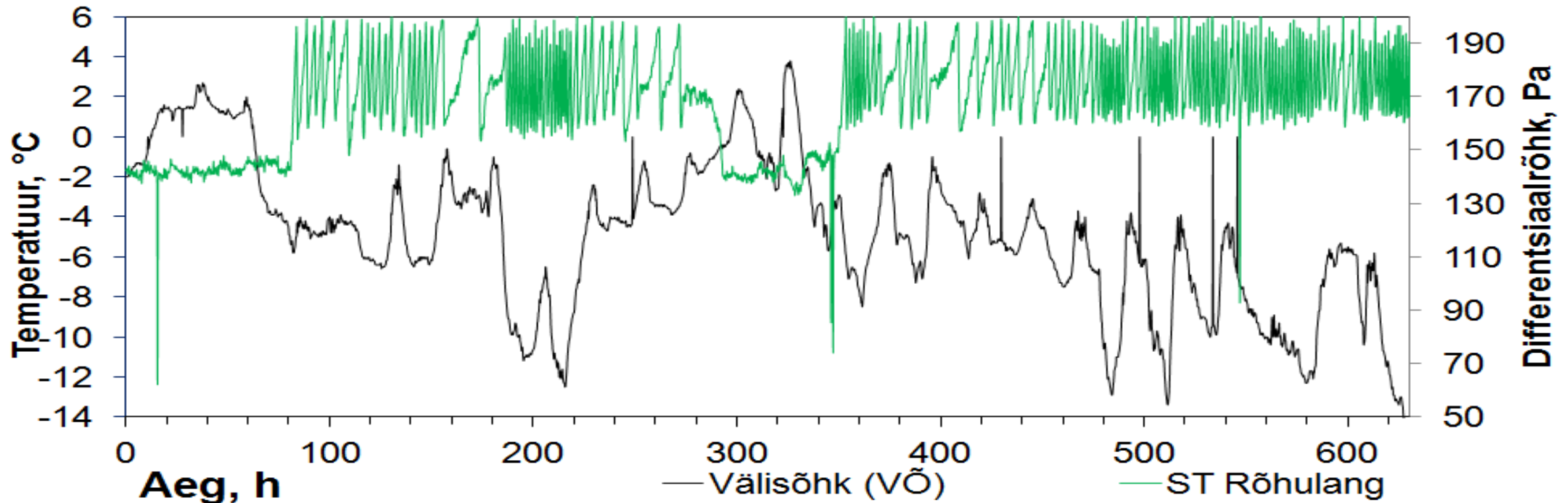
# Soojustagastite uuringud liginullenergia ühiselamus

- Ühe hoone poole teenindamiseks on paigaldatud tsentraalne vastuvoolu plaatsoojustagastiga ventilatsiooniseade
- Teises trepikojas rootorsoojustagastiga korteripõhised seadmed
- Plaatsoojustagasti sulatamine lahendatud möödaviiguklapiga
- Möödaviigu klappi juhitakse vastavalt plaatsoojustagasti rõhuandurile (seade arv 200 Pa)
- Möödaviigu avamisel liigub enamus õhku läbi möödaviigu ja kalorieeri jõuab välisõhk



## Soojustagastite uuringud liginullenergia ühiselamus

- Jäätumise algus kui välisõhu temperatuur  $< -4$  °C
- Tüüpne soojustagasti töötsükkel 50 min. tavarežiimis ja 10 min. sulatusrežiimis



## **Liginullenergia ühiselamu mõõtmistulemuste alusel kalibreeritud simulatsioonid**

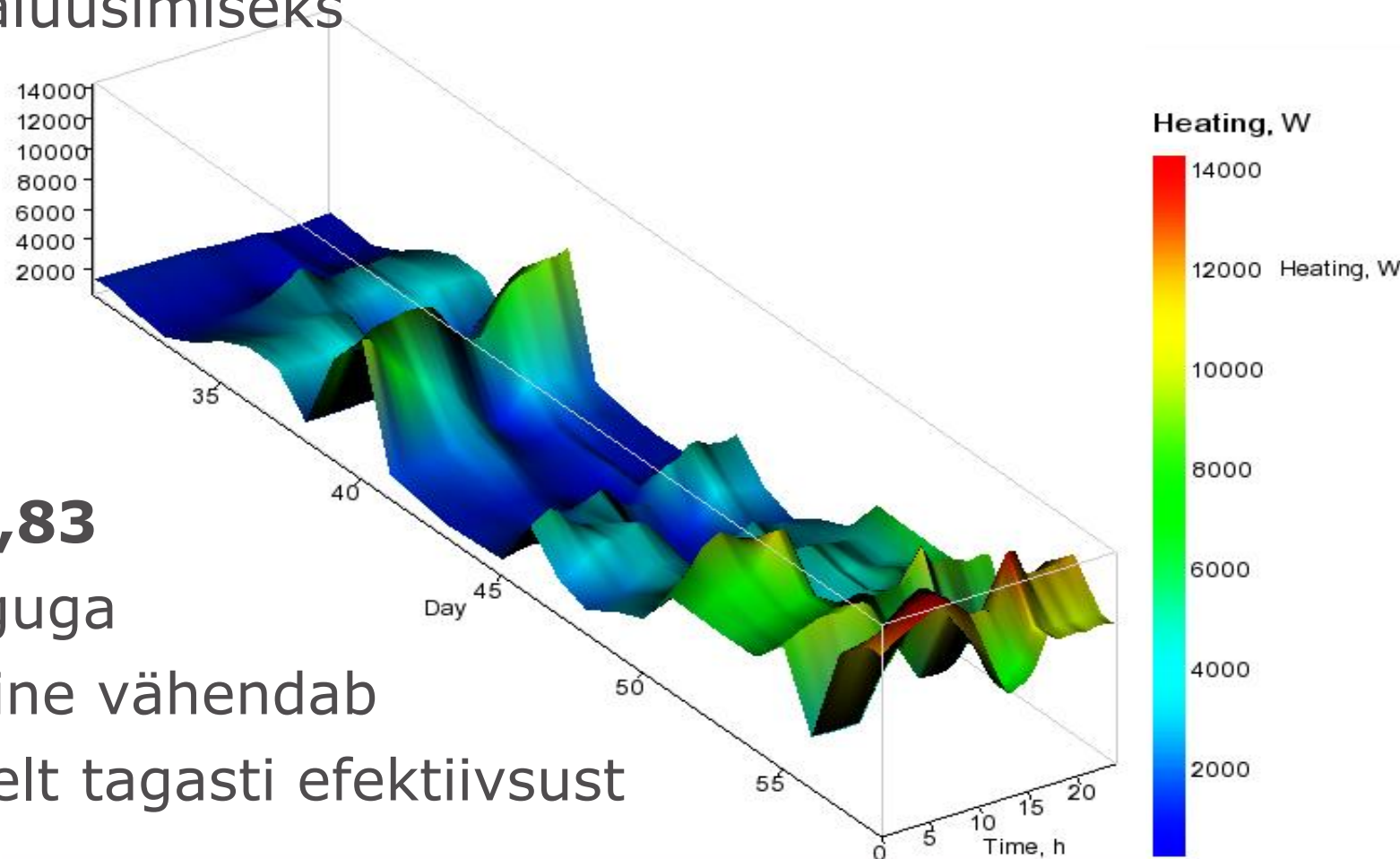
- Simulatsioon teostati 2018. aasta veebruari kuu tarbimisandmete baasil
- Objektil mõõdeti ventilatsiooniseadme kalorieeri küttekulu, väljatõmbe- ja sissepuhkeõhu temperatuure, välisõhu temperatuuri, õhuvooluhulkasid, möödaviiguklapi asendit jne
- Hoone mudel koostati kasutades dünaamilist simulatsiooniprogrammi IDA ICE 4.8
- Vastavalt mõõtmistulemustele koostati veebruari kuu väliskliima fail ning lisati hoone ventilatsioonisüsteemi mudelisse muud mainitud mõõtmisandmed
- Teostati mudeli kalibreerimine muutes heitõhutemperatuuri piirangu seadeväärtust vahemikus 0...5 °C

## Liginullenergia ühiselamu mõõtmistulemuste alusel kalibreeritud simulatsioonid

- Simulatsiooni tulemuste baasil koostasime 3D diagramm küttekalorieeri võimsuse analüüsimiseks

- Tulemustest selgub:

- 1) Heitõhu temperatuuri piirarv – **3 °C**
- 2) Perioodi ST energia-tagastuse suhtarv – **0,83**
- 3) Analüüsitud möödaviiguga soojustagasti sulatamine vähendab külmal perioodil oluliselt tagasti efektiivsust



## Soojustagasti jäätumise mõju hoone energiatõhususele

- Hoonete energiatõhususe arvutusmetoodika kohaselt piiratakse soojusvaheti jäätumise vältimiseks heitõhu minimaalset temperatuuri
- Täpsemate andmete puudumisel piiratakse plaatsoojustagastite heitõhu miinimumtemperatuuri järgmiselt:
  - 1) elamus +5 °C-ni
  - 2) ilma erilise niiskustoodanguta muus hoones 0 °C-ni
- Vastavalt kalibreeritud simulatsioonitulemustele leidis kinnitust fakt, et määruses toodud heitõhutemperatuuri miinimumtemperatuur on **energiatõhususe arvutuste teostamiseks sobilik ning läheb kokku tegelike mõõtmistulemustega möödaviiguga sulatamise puhul**
- Järgmistes uuringutes oleks tarvilik vaadelda energiatõhusamaid sulatusvõimalusi, näiteks sektsioonsulatust
- Lisaks tuleb liginullenergia hoonete kontekstis tegeleda sulatusrežiimi aegse suurenenud küttevõimsuse probleemiga



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
LIGINULLENERGIAHOONETE UURIMISRÜHM  
Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn  
[alo.mikola@ttu.ee](mailto:alo.mikola@ttu.ee)