



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
INSENERITEADUSKOND  
Ehituse ja arhitektuuri intstituut

**VENTILATSIOONISEADMES ESINEVATE  
VENTIILIDE VEAD NING NENDE MÕJU  
ENERGIATARBELE KAUBANDUSKESKUSE NÄITEL**

**VALVE FAILURES IN THE AIR HANDLING UNIT AND  
THEIR EFFECT ON ENERGY CONSUMPTION IN THE  
EXAMPLE OF A SHOPPING CENTRE**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Ekaterina Skvortsova

Üliõpilaskood A154393

Juhendaja: Tuule Mall Kull, nooremteadur

Tallinn 2021

*(Tiitellehe pöördel)*

## **AUTORIDEKLARATSIOON**

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad,

kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"....." ..... 20.....

Autor: .....

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"....." ..... 20.....

Juhendaja: .....

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....." .....20... .

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ nimi ja allkiri /

## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks<sup>1</sup>**

Mina, Ekaterina Skvortsova (sünnikuupäev: 31.07.1996 )

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Ventilatsiooniseadmes esinevate ventiilide vead ning nende mõju energiatarbele kaubanduskeskuse näitel“,

*(lõputöö pealkiri)*

mille juhendaja on Tuule Mall Kull.

*(juhendaja nimi)*

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

---

<sup>1</sup>*Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil.*

\_\_\_\_\_ *(allkiri)*

\_\_\_\_\_ *(kuupäev)*

# TalTech Ehituse ja Arhitektuuri Intstituut

## LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

**Üliõpilane:** Ekaterina Skvortsova, A154393

Õppekava, peeriala: Hooned ja rajatised (EAXM), küte ja ventilatsioon

Juhendaja(d): Tuule Mall Kull, nooremteadur

### Lõputöö teema:

*Ventilatsiooniseadmes esinevate ventiilide vead ning nende mõju energiatarbele kaubanduskeskuse näitel.*

*Valve failures in the air handling unit and their effect on energy consumption in the example of a shopping centre.*

### Lõputöö põhieesmärgid:

1. Tuvastada tüüpigu ventilatsioonisüsteemide ventiilide töös kaubanduskeskuse näitel.
2. Hinnata ventiilide toimivusvigade mõju energiatarbele.
3. Teha ettepanekuid kuidas tuvastada ja likvideerida ventiilide puuduseid.

### Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Selgitada välja ventiilide asukohad ja nende juhtimisalgoritmid.	12.02.2021
2.	Analüüsida seadesuuruse jälgimist tehnosüsteemides.	19.02.2021
3.	Tuvastada esmaseid vigu ventiilide töös.	26.02.2021
4.	Kirjanduse analüüs	05.03.2021
5.	Hinnata vigadest tulenevat lisa energia kulu.	19.03.2021
6.	Teha 50 % lõputööst.	10.04.2021
7.	Esitada ettepanekud ventiilide puuduste likvideerimiseks.	25.04.2021
8.	Viimaste analüüside teostamine.	30.04.2021
9.	Töö lõplik vormistamine.	10.05.2021
10.	Lõputöö viimane versioon juhendajale.	13.05.2021

**Töö keel:** Eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** "17." mai 2021.a

**Üliõpilane:** Ekaterina Skvortsova /allkirjastatud digitaalselt/ "17." mai 2021.a  
/allkiri/

**Juhendaja:** Tuule Mall Kull /allkirjastatud digitaalselt/ "17." mai 2021.a  
/allkiri/

**Konsultant:** ..... ".....".....20....a  
/allkiri/  
**Programmijuh:** ..... ".....".....20....a  
/allkiri/

# SISUKORD

<b>EESSÕNA</b> .....	7
<b>1. SISSEJUHATUS</b> .....	8
<b>2. KIRJANDUSE ANALÜÜS</b> .....	10
<b>3. TEOREETILISED ALUSED</b> .....	12
3.1 Ventilatsiooniagregaatide tüübid .....	12
3.2 Ventilatsiooniagregaatide osad .....	13
3.2.1 Ventilaatorid .....	13
3.2.2 Filtrid .....	14
3.2.3 Soojustagastid .....	15
3.2.4 Küttekalorifeer .....	15
3.2.5 Jahutuspatarei .....	16
3.2.6 Ventiiidid, ajamid .....	17
3.3 Võimalikud vead ventilatsiooniseadmete töös .....	19
<b>4. MEETODID</b> .....	22
4.1 Seadmete kirjeldus .....	22
4.1.1 Ventiiilide ja ajamite kirjeldused .....	24
4.2 Kasutatud andmed .....	25
4.3 Ventilatsiooniagregaatide seadesuurused .....	27
4.4 Vigade leidmise kriteeriumid ja nende analüüs .....	27
4.5 Vigadest tingitud lisaenergia kulu .....	30
<b>5. TULEMUSED</b> .....	32
5.1 Ventilatsiooniagregaatide tulemused .....	32
5.2 Ventilatsiooniagregaat 467 .....	32
5.3 Ventilatsiooniagregaat 469 .....	37
5.4 Ventilatsiooniagregaat 471 .....	44
5.5 Ventilatsiooniagregaat 474 .....	50
5.6 Ventilatsiooniagregaat 475 .....	56
5.7 Ventilatsiooniagregaat 479 .....	61
5.8 Ventilatsiooniagregaatide summaarsed erinevused .....	67
5.9 Ettepanekud ventiilide toimivuse parendamiseks .....	71
<b>KOKKUVÕTE</b> .....	73
<b>SUMMARY</b> .....	74
<b>KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU</b> .....	75
<b>LISAD</b> .....	77

# EESSÕNA

Ventilatsioonisüsteemid on pea kõikides hoonetes, sh ärihoones vältimatuks osaks sisekliima tagamisel. Aina rohkem rõhutakse sisekliima olulisust ja kuidas ideaalse sisekliima tagamisel olla võimalikult energiasäästlik. Ventilatsiooniagregaatide osad võivad töötada vigadega, mille tõttu võib suureneda energia tarve ning seeläbi rahaline kulu hoone omanikule või rentnikule. Antud magistritöös uuritakse ventilatsioonisüsteemide ventiilide toimivust ja selle mõju energia tarbele.

Autor tänab magistritöö juhendajat Tuule Mall Kulli töö valmimisele kaasaaitamise eest ja R8 Technologies OÜ ning Forus Haldus OÜ-d andmete ja veebiliidese kasutusvõimaluse eest.

# 1. SISSEJUHATUS

Järjest enam juhitakse tähelepanu tehnosüsteemide seadmete töö efektiivsusele ja kuidas vähendada energia kasutamist kulude kokkuhoiduks ja CO<sub>2</sub> emissioonide vähendamiseks. Euroopa Parlamendi ja nõukogu andmetel moodustavad hooned (ärihooned ja elamuhooned) umbes 40% kogu energiatarbimisest. [1]

Enamikes äri- ja büroohoonetes on olemas sisekliima tagamiseks vajalikud tehnosüsteemid. Majades on värske õhu tagamiseks projekteeritud ning välja ehitatud ventilatsioonisüsteemid ruumide ventileerimiseks. Enamik ventilatsiooniagregaatidest on automatiseeritud ja igapäevaseks juhtimiseks ei vaja inimese sekkumist. Automatiseeritud süsteemi jälgimiseks kasutatakse hoonetes BMS-i (*Building Managment System*). Tänu BMS süsteemile on nii hoone omanikul kui ka hooldajal-haldajal rohkem andmeid ja informatsiooni tehnosüsteemide toimivuse kohta, samuti on süsteemiga on võimalik vigu tuvastada tagantjärele ning teostada kogutud andmete põhjal analüüs edaspidiste vigade vältimiseks. Automatiseeritud on näiteks õhuklappide avanemine, soojustagasti töö, kütte- ja jahutusventiilide avatus, ventilaatorite kiirused, sissepuhke ja väljatõmbe temperatuuri jälgimine. Kõigist eelnevatest parameetritest sõltub ventilatsiooniagregaadi töö ja energia tarve. Ventilatsiooniagregaadil liigitatakse vigu kolme erinevasse klassi: mehaanilise süsteemi vead, kontrolleri vead ning inimese ja masina koostööl põhjustatud vead. Käesolevas lõputöös uuritakse süvitsi ventiilide vigu ja toimivust. Ventiilide peamisteks vigadeks on kinni kiilumine ja lekkimine. [2] Sisekliima tagamise võimekusel võivad tekkida vead, mis ei juhi agregaatid vastavalt seadistatud loogikale, mis omakorda võib kaasa tuua liigset energiakulu. Liigne energiakulu toon kaasa ka rahalise kulu, mida vigade vältimisel või vähendamisel võiks ennetada ja vältida.

Lõputöö teema valiku põhjuseks on huvi tuvastada puudusi nii ventiilide kui ka ventilatsiooniagregaatide töös, mida esmasel vaatlusel on raske tuvastada. Lõputöö vaatluseks valitud kaubanduskeskus on ehitatud 2004.aastal. On huvitav vaadelda, kuidas on automatiseeritud ventilatsiooniagregaadid ja mis vead esinevad ventiilide töös pea 17 aastat tagasi paigaldatud masinatel. Ventilatsiooniagregaatid ei ole rekonstrueeritud alates ehitamisest, ventiilide vahetused toimusid aastatel 2019 ja 2020.

Lõputöö jaguneb kolmeks põhiliseks osaks: teoreetilised alused, meetoodika ja tulemused. Teoreetilistes alustes on kirjeldatud ventilatsiooniagregaatide tüübid, filtrid, soojustagastid, küttekalorifeer ja jahutuspatareid, ventiilid ja ajamid ning võimalikud vead nende töös. Meetoodikas on kirjeldatud vaadeldud hooned ja seadmeid, kogutud mõõteandmeid ning seadesuursusi, vigade leidmise kriteeriumeid ja andmeanalüüsi



meetodeid. Tulemustes on välja toodud iga ventilatsiooniagregaadi kaupa analüüsi tulemused, ventilatsiooniagregaatide summaarsed erinevused ja ettepanekud ventiilide toimivuse parendamiseks.

## 2. KIRJANDUSE ANALÜÜS

Ventilatsiooniseadmete töös esinevaid vigu on uurinud mitmed autorid. Timothy I. Salsbury on uurinud juhtimistehnoloogiaid ehitusautomaatika tööstuses ning on välja toonud peamised vead. Üks peamisi vigu oli minutiline logi ehk andmete salvestamise vahe, mis antud valdkonnas on väga pikk ajavahemik ning ei pruugi anda täielikult detailset ülevaadet tehnosüsteemide töös. Probleemi lahenduseks on vähemate andurite paigaldamine, kuna see võib raskendada HVAC süsteemides vigade tuvastamist, samas on vähemate andurite paigaldamine kokkuhoidlikum. Teiseks probleemiks tõi Salsbury välja HVAC süsteemide automatiseerimise juhtimisloogika. Hoonesüsteemide kontroll on muutunud mittestandardseks, kuna igal hoonel võivad olla erinevad nõudmised. Salsbury on juhtimisprobleemi lahenduseks välja pakkunud kontrolleri ümberhäälestamise. Antud artiklis jõuti järeldusele, et hoone tehnosüsteemide automatiseerimine on väga kulukas protsess ning tulevikus võib suureneda vajadus tehnoloogiate järgi, mis võiks antud muutusi kompenseerida (optimeerimine, diagnostika). [3]

Zhang ja Hong on oma töös välja toonud, et erinevatel tasemetel rikked (komponendis, alamsüsteemis, süsteemis ja ka hoone tasemel) võivad mõjutada kogu hoone energiatõhusust. Töövead võivad avaldada erinevat mõju nii energiatarbimisele kui ka soojuslikule mugavusele erinevatel aastaaegadel. Rikked on jaotatud kolme klassi: staatiline rike, äkiline rike ja lagunemisviga. Autorite eesmärgiks oli tuvastada erinevaid HVAC süsteemide töövigu läbi modelleerimisprogrammi EnergyPlus. [4]

T. Gao, B. Boguslawski, S. Marie, P. Beguery, S. Thebault, S. Lecouche töös leiti, et jahutusventiil kiilub kinni 20% peal. Jahutuskalorifeeri ventiili kinni kiilumise või lekkimise põhjuseks on näiteks küttekalorifeeri ventiili avatus kuni 80%, mis omakorda on põhjustatud jahutuskalorifeeri ventiili lekkest. Samuti jõuti järeldusele, et kütte- ja jahutusenergia olid vastastikusel seoses välisõhu temperatuuriga. Välisõhu temperatuuri 10-20 °C näitas kütte poolt energia tarbimine kahte erinevat mustrit. Põhjuseks oli pumba pidev tööasend, mis muudeti vastava nõudluse tööks. Antud muudatus pumba töös hoidis kokku pumba poolt toodetud energiat. Samuti oli vähenenud kütte temperatuur, kui küttekalorifeeri klapp sulgus. Antud olukord võib viidata sellele, et tegemist on võimaliku küttekalorifeeri ventiili lekkega. Lisaks oli autorite poolt leitud, et mõnikord ventilatsiooni agregaat ei reageerinud jahutuskäskudele. Antud olukord oli tekkinud siis, kui välisõhu möödaviigu klapp soojustagastuses reguleeris sissepuhke õhu temperatuuri kõrgemale ettenähtust seadearvust. Kõrge seadepunkti eesmärgiks oli jahutusrežiimi töölemineku järjestuse kontroll. Antud olukord põhjustas probleemi, et vaba jahutus oli keelatud, kui

sissepuhke õhku hakkas reguleerima mehaaniline jahutus. Autorid pakkusid probleemi lahenduseks välja, et tuleks õigeks seadistada vabajahutuse seade arv. Erinevate osade mehaanilised rikked olid eraldatud kolmanda astme vigade tuvastuses 92,8% täpsusega. [2]

Kahe eelneva allika erinevuseks on see, et Zhang ja Hong vaatasid HVAC süsteemi kui üldist ning tegid järeldused ja ettepanekud EnergyPlusi programmi modelleerimise tulemusel. T. Gao ja teiste kaasautorite poolt oli aga hoopiski süvenetud just ventilatsioonisüsteemi puudustesse ja nende parendamisse. Samuti olid autorid välja toonud ettepanekuid, kuidas parandada ventilatsiooni süsteemi osi nii, et need ei kulutaks üleliigset energiat. [2] [4]

## **3. TEOREETILISED ALUSED**

### **3.1 Ventilatsiooniagregaatide tüübid**

Ventilatsioon on terviklike seadmete ja meetmete süsteem, mis võimaldab säilitada töökohtadel, eramutes, kaubanduskeskustes ning teistes hoonetes nõutavat õhukvaliteeti ehk üldiselt on ventilatsioonisüsteem õhu liikumine väliskeskkonna ja kinnise ruumi vahel. Ventilatsiooni põhiliseks ülesandeks on õhu kogumine, eemaldamine, liikuma panemine ja puhastamine. Mehaaniline ventilatsioon võib olla kolme põhitüüpi: sissepuhke süsteem, väljatõmbe süsteem ja sissepuhke-väljatõmbe süsteem. [5]

Sissepuhke süsteem juhib värsket välisõhku tänavalt nõutavasse ruumi. Sõltuvalt tüübist ja mudelist koosneb see enamasti elementidest nagu ventilaator, filtrid, küttekalorifeer, mürasummuti, õhukanalid ja automaatika. Süsteemi saab kvalifitseerida erinevate parameetrite ja põhimõtete järgi. Näiteks süsteem kvalifitseerub õhukanalite olemasolu või puudumise, konstruktsioon, ventileerimise meetodi ja õhu tsirkulatsiooni järgi. [6]

Puuduvate õhukanalite korral läbib värsk õhk ava seinas või aknas. Konstruktsiooni poolest on jagunenud süsteem kas monoblokkideks või kokkupandavaks süsteemiks. Monobloki eeliseks on see, et selline ventilatsiooni tüüp koosneb ühest blokidest, mis sisaldab kõiki vajalike elemente nagu ventilaator, filtrid ja küttekalorifeer. Ventileerimine võib toimuda kahel viisil: üldeventilatsiooni ventileerimine või kohtventileerimine. Üldventilatsioonil ventileerimine toimub näiteks korterites, kus õhk jaotatakse võrdselt tubadesse. Kohtventileerimine on mõeldud aga konkreetse kohta õhu tagamiseks. Loomulik ventilatsioon on õhu tsirkulatsiooniga ventilatsioon, kus seinas on loodud ava, mis on kaetud restiga, mille kaudu liigub välisõhk siseruumidesse. Sundventilatsiooni korral mängib tähtsat rolli ventilaator, mis tekitab nõutavat rõhku õhu sissevõtuks välisõhust. [7]

Nagu ka sissepuhkesüsteemi puhul kvalifitseerub ka väljatõmbesüsteem vastavalt õhu tsirkulatsioonile ja ventileerimise meetodile. Loomulik õhu tsirkulatsioon töötab erinevate looduslike tegurite mõjul. Sarnaselt sissepuhkesüsteemile asetsevad näiteks kortermajade seinades restidega kaetud avad. Õhk ventileerib iseseisvalt siseruumi siseruumi ja välisõhu rõhkude vahe mõjul. Selle süsteemi eeliseks on seadme lihtsus ja madal hind. Puuduseks võib lugeda ilmastikutingimusi, mis võivad kogu ventileerimise protsessi täielikult peatada, mis juhtub kui rõhk välis- ja siseõhu vahel on võrdne.

Sarnaselt sissepuhkesüsteemile on väljatõmbel kasutusel vooluvõrku ühendatud ventilaator ja täiendavad elemendid. [7]

Sissepuhke-väljatõmbe süsteem monteeritakse sinna, kus on oluline säilitada tasakaal sissepuhkeõhu ja väljatõmbeõhu vahel ning tagada teatud sisekliima tingimused. Antud süsteemi toimimine põhineb kahe erineva õhuvooluhulga koostoimel, mida juhitakse läbi õhukanalite. Sissepuhke-väljatõmbe eelisteks võib pidada seda, et enamus tänapäeva agregaatidest töötavad automatiseeritud režiimil, st et agregaadil on võimalus töötada vastavalt seadistatud seade arvule ning hoida talle määratud parameetreid. Lisaks on võimalik süsteemile projekteerida seadmeid, mis võivad vajalikud olla vastavalt kliendi nõudmistele. Ruumi saab jahutada jahutuspatarei olemasoluga, kütta küttekalorifeeriga, niisutada niisutiga ning kasutada soojustagastust, et tagada süsteemi energiatõhusus. [7]

## **3.2 Ventilatsiooniagregaatide osad**

### **3.2.1 Ventilaatorid**

Ventilaatoreid võib jagada erinevatesse kategooriatesse näiteks nende põhimõtete alusel: konstruktsiooni ja tööpõhimõtte järgi, kasutuse järgi, montaažitüübi järgi ja tehniliste näitajate järgi. [8]

Konstruktsiooni ja tööpõhimõtte järgi jagunevad ventilaatorid viieks kategooriaks. Nendeks on aksiaalsed, tsentrifugaalsed, diagonaalsed, labadeta ja diameetrilised ventilaatorid.

Aksiaalsetel ventilaatoritel on labad, mis pöörlevad telje lähedal ja juhivad õhuvoolu läbi ventilatsioonivõllide. Seda tüüpi ventilaatorite eeliseks on nende lihtsus ja ehituse suhteliselt madal hind. Samuti on paigaldusel kõrge kasutegur, kuna õhutakistust on vähe ja osade vahel puudub hõõrdumine. Õhuvool suunatakse paralleelselt pöörleva ventilaatori teljega. Spetsiaalse kollektori olemasolu aitab seda joondada, mis parandab oluliselt mehhanismi aerodünaamikat. [8]

Tsentrifugaalse ventilaatori mehhanismi eripäraks on lõpuks väljuva õhu sissetuleva voo suhtes alati 90° nurk ning mehhanismi eeliseks on suur võimsus. [8]

Diagonaalsed ventilaatorid sarnanevad aksiaalsete ventilaatoritega. Selles ventilaatoris on õhuvoolu sisselaskeava sama mis aksiaalsel ventilaatoril ja õhuvool väljub diagonaalselt. Korpus on koonusekujuline, mis aitab suurendada õhukiirus, kuid võrreldes aksiaalse tüübiga on diagonaalse seadme efektiivsus palju madalam. [8]

Labadeta ventilaatori struktuur on turbiin, mis on fikseeritud mehhanismi põhjas. Selle abil tarnitakse kokkusurutud õhuvoog väikeste pilude kaudu ruumi. Kuna väljas pole pöörlevaid liikuvaid osi, on see seade ohutum ja efektiivsem kui teised. Labadeta ventilaatori puuduseks on tugev müra. [8]

Diameetrilised ventilaatorid töötavad topelt- ja ristõhu liikumisel. Sellel mehhanismil on korpus, hajuti, filter, toru ja silinder, milles on pöörlemissuunas painutatud paralleelsed tööosad. Diameetriliste ventilaatorite paigaldus on lihtne ning efektiivsus kõrge. [8]

Kasutuse järgi jagunevad ventilaatorid veel omakorda viieks. Ventilaatorid, mis on ettenähtud õhumasside eemaldamiseks ruumist, mille temperatuur ei ületa 50°C. Tõhustatud korrosioonikindlusega ventilaatorid, mida paigaldatakse kõrge niiskustasemega kohtadesse. Kuumakindlad ventilaatorid, mis töötavad tingimustes, kus õhk kuumutatakse temperatuurini 80°C ja üle selle. Tolmumehhanismid on paigaldatud keskkondadesse, kus lisandite hulk õhuvoolus ületab 100 mg/1 m<sup>2</sup> kohta. [8]

Tehnilised parameetrid ventilaatoritel on rõhk, pöörlemiskiirus, paigaldusvõimsus, ruumi puhta õhuga täitmise kiirus, efektiivsus ja müratase. [8]

### **3.2.2 Filtrid**

Õhk siseruumides võib olla sageli saastunud kui õues, sisaldades palju erinevaid aineid ning osakesi alates nähtavast tolmust kuni nähtamatute kemikaalideni. Lihtsaks õhukvaliteedi parandamiseks on õigesti valitud ventilatsiooniagregaadi filtreerimissüsteem. Filtrid takistavad tänavatolmu ja väikeste prahiosakeste pääsemist siseruumi. Puhastusvõime alusel jagunevad filtrid vastavalt Euroopa standardile EN779 viite erineva rühma: jämfiltrid, peenfiltrid, absoluutfiltrid, HEPA filtrid ja ULPA filtrid. [9] [10]

HEPA filtrid ehk *High Efficiency Particulate Air* ja ULPA ehk *Ultra Low Penetration Air* filtrite erinevus seisneb kõrgemas puhastusastmes, kuid oma konstruktsiooni poolest on nad sarnased. HEPA filtrid suudavad hoida kinni väikseid tolmuosakesi, hallitusseeni, õietolmu ja muid saasteaineid. Filtrid on valmistatud kiudmaterjalist, mis koosnevad akordionist ja nende puhastusaste on ligikaudu 99%. [11]

Jämfiltrid on ette nähtud hoidmaks kinni suuri saasteosakesi. Jämfiltrid aitavad teistel filtritel pikendada nende kasutusiga, sellepärast tuleb kord kolme kuu jooksul filtrid välja võtta ja tolmuimejaga puhastada. Filtri vahetusest võib piisata üks kord aastas. [10]

Peenfiltrid on ettenähtud välis- ja ringlusõhu puhastamiseks tolmust sissepuhke ja väljatõmbe ventilatsioonisüsteemides, mitmeastmelistes filtreerimissüsteemides puhastuse teise või kolmanda etapi filtritena. [12]

### **3.2.3 Soojustagastid**

Soojustagastite eesmärk on viia osa ruumi soojusest tagasi sissepuhke õhku. Soojustagastid ventilatsioonisüsteemides jagunevad kaheks: regeneratiivsed ja rekuperatiivsed. Rekuperatiivsete soojustagastite alla kuuluvad plaatsoojustagasti, vahesoojuskandjaga soojustagasti, soojuspumbal baseeruv soojustagasti ja väljatõmbeõhu soojuspump soojustagasti.

Regeneratiivsete soojustagastid kujutavad endast soojusvahetit, kus tahke aine vaheldumisi jahtudes ja soojenedes kannab soojust üle ühest õhuvoolust teisele. Rekuperatiivsed soojusvahetid annavad soojust üle ühest õhuvoolust teisele otsesel või kaudsel meetodil. Enamus tänapäeva ventilatsiooniagregaadid on kas rootor-, vahesoojuskandjaga- ja plaatsoojustagastid. [13]

Rotoorsoojustagasti temperatuuri suhtarv on ligikaudu 75-85%. Rotoorsoojustagasti tööpõhimõte on rootori pöörlemine kettülekanadega elektrimootori abil. Värske õhk siseneb rootorplaatide vahele, soojeneb ja kogunenud soojuse mõjul siseneb ruumi.

Plaatsoojustagasti on plokk, mille sees on mitu paralleelselt paigaldatud plaati, mille vahel asetsevad õhu liikumise kanalid. Õhuvood on eraldatud ja ei segune üksteisega. Vahesoojuskandjaga soojustagastid on süsteemid, kus kaks soojusvahetit on omavahel ühendatud suletud süsteemis, mille kaudu vee-glükooli lahus ringleb. Esimene soojusvaheti võtab sooja sissepuhkeõhuvoolust ja lahuse toime tõttu annab soojuse teisele soojusvahetile. Samuti annab antifriisi sissepuhkeõhku soojust. Soojal aastaajal saab soojustagasti energiat kasutada mitte kütmiseks vaid konditsioneerimiseks. Soojustagastite peamisteks puudusteks on nende suuremahulisus. Rotoorsoojustagasti korral on puuduseks liikuv mehhanism, mis aja jooksul kulub ja ühtlasi suurendab sellega ekspluatatsioonikulusid. Soojustagastite eeliseks on oluline energikulu vähenemine, sest juba üles soojendatud õhk soojendab omakorda väljast tulevat õhku.

### **3.2.4 Küttekalorifeer**

Küttekalorifeer paigaldatakse otse ventilatsioonikanali sisse, mistõttu peab see vastama kanali suurusele ja kujule. Sõltuvalt millist soojuskandjat küttekalorifeeris kasutatakse, jaguneb see kolmeks: vee, auru ja elektrilised küttekalorifeerid.

Vee küttekalorifeerid on enamasti ristkülikukujulised, kuid võib leida ka ümaraid mudeleid. Seade koosneb toruridadest, eemaldatavatest külpaneelidest ja kaantest.

Toruridade kaudu ringleb enamasti vesi kuid võib olla ka etüleenglükool. Läbi küljel asuvate alade ühendatakse kalorifeer hoone küttesüsteemiga. Küttekalorifeeri läbiva õhu suhtes on kehtestatud nõuded, näiteks õhk ei tohiks sisaldada tahkeid ega kleepuvaid aineid ning minimaalne õhu sissepuhke temperatuur on -20 °C. Küttekalorifeer on tarvis valida seadme võimsuse järgi ja sissepuhkeõhu soovitatava temperatuuri järgi. Kui võimsus on ebapiisav, siis ei soojenda küttekalorifeer piisavalt õhku ja soojendatavad ruumid võivad jääda külmaks. Kui vajaliku võimsusega seadet ei ole võimalik paigaldada, siis võib lahenduseks olla mitme väiksema võimsusega seadmete paigaldus.

Aurküttekalorifeere kasutatakse peamiselt tööstusrajatistes, kus aur on tootmisprotsessi kõrvalsaadus. Auru põhjal küttekalorifeeridel on märgitud, millist suurimat lubatud rõhku nad taluvad. [14]

Elektrilised küttekalorifeerid sobivad väikestele ventilatsioonisüsteemidele ja väikeste ruumide teenindamiseks. Elektrilisi küttekalorifeere on lihtsam integreerida ventilatsioonisüsteemi kui vee küttekalorifeere. Üheks suureks eelduseks paigaldusel on seadet läbiva minimaalse õhuvoolu jälgimine. Elektriliste küttekalorifeeride eelisteks on lihtne paigaldamine, torustiku puudumine ja sõltumatus kütteperioodist. Puudusteks võib pidada suurt energiakulu ja suurte ruumide teenindamiseks võimsatesse ventilatsioonisüsteemidesse paigaldamise ebaotstarbekus. [6]

### **3.2.5 Jahutuspatarei**

Jahutuspatareide peamiseks ülesandeks on temperatuuri alandamine, samal ajal võib selle abil kuivatada ka sissepuhke õhku. Seade on enamasti monobloki kujul, mis koosneb korpusest, soojusvahetist ja kondensaadi kogumisalusest. Komponentideks on vasest torud, mida läbivad erinevad külmakandjad ja alumiiniumiribad jahutuspinna laiendamiseks, mis asetsevad korpuses. Jahutuspatareid läbinud õhumassid jahutatakse, mis muutub vasktorude ja alumiiniumplaatide külmal pinnal kondensaadiks. Kondensaadialdusel kogutakse kondensaat spetsiaalsesse kogumise alusesse. Kondensaadi äravool toimub anumal, kus on ette nähtud täiendav isolatsioon ja drenaažitoru. Jahutuspatareid jagunevad kaheks erinevaks tüübiks: freooni ja vee põhised jahutuspatareid. [15]

Freoonipõhised jahutuspatareid koosnevad vasktorudest ja alumiiniumribidest. Freoonipõhised jahutuspatareid valitakse vastavalt õhuvooluhulkade mahule ja arvestades nii arvutuslike kui ka nõutavaid parameetreid sissepuhkeõhule. [14]

Teiseks liigiks on veepõhised jahutuspatareid. Põhiliseks külmakandjaks on vesi, kuid mõnikord erandina ka vee ja glükooli segu. Antud jahutuspatareid saavad läbivat



õhumassi nii jahutada kui ka kuivatada. Veepõhised jahutuspatareid on oma olemuselt sarnased freoonipõhiste jahutuspatareidele ehk koosnevad samuti vasktorudest ja alumiiniumplaatidest. Kasutatakse kahte erineva tüüpi ristlõikega: ümmargune ja ristkülikukujuline. [15]

Jahutuspatarei minimaalne võimalik kaugus ventilatsioonisüsteemi elementidest ei tohiks olla väiksem jahutuspatarei enda mõõtmetest. Jahutuspatarei paigaldatakse nii, et õhuvool jaguneks ühtlaselt kogu jahutuspatarei territooriumile. Jahutuspatareid läbib õhk ei tohiks sisaldada kiulisi ega kleepuvaid ained ja osakesi. Jahutuspatareid ja ventilaatori vaheline kaugus ei tohiks olla väiksem kui 1.5 m. Külmakandja tarnimiseks jahutuspatareisse on spetsiaalsed sisse- ja väljalasketorud. Jahutuspatarei tuleb ühendada vastavalt vastuvoolu põhimõttele, et tagada võimalikult tõhus jahutusvõimsuse. [15]

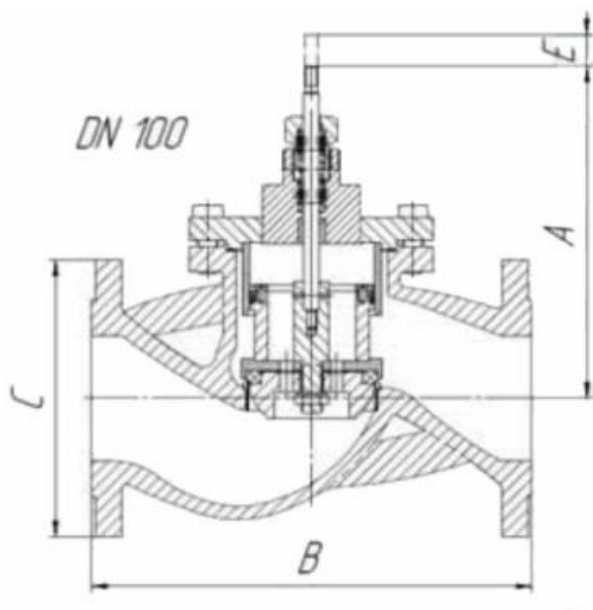
Jahutuspatareide jahutusvõimsust saab reguleerida kahel võimalusel: manuaalselt või automaatselt. Manuaalselt juhitakse drossel või kolmepoolsete ventiilide abil. Automaatset juhtimissüsteemi kasutatakse sellisel juhul, kui on tarvis tagada katkematu ja ohutu juhtimisviis. Lisaks jahutuspatareide juhtimisele ja reguleerimisele teostab automaatika kogu ventilatsiooniseadme juhtimist. Automaatne juhtimissüsteem aitab kaasa hoone temperatuuriindikaatorite jälgimisele ja saadud info põhjal automaatselt jahutusvõimsuse reguleerimisele, samuti vastavalt vajadusel külmakaitse rakendumisele. [15]

### **3.2.6 Ventiilid, ajamid**

Ventiil on seade, mis on ette nähtud erinevate vedelike ja gaaside juurdevoolu sulgemiseks, kuid see pole ainus ventiilide kasutusviis. Ventiilide abil võib samuti reguleerida vedelike või gaaside survet torustikes. Ventilatsiooniseadmetes on enamasti kasutusel kahe- ja kolme tee ventiilid. [16]

Süsteemides, kus on näiteks kütteseadmeid või jahutuspatareid, on kasutusel 2-tee ventiil, mis reguleerib kiirelt ja täpselt veevarustust. Antud ventiil on nõutav kütte-, ventilatsiooni- ja konditsioneerimissüsteemides. Suure nõudlusega on tänapäeval elektriajamitega 2-tee ventiilid. 2-tee ventiilid jagunevad kaheks erinevaks tüübiks: ühe või kahe klapiga. Kahe klapiga 2-tee ventiilidega reguleeritakse ja sulgetakse töökeskkonna vooluhulgad ning on lubatud märkimisväärsed rõhulangud, millega üheklapiline ventiil toime ei tule. Enamlevinud on 2-tee ventiilid malmist, messingist ja terasest, ventilatsioonisüsteemides on enamasti kasutusel messingist ventiilid. 2-tee eelisteks on madal hüdrauliline takistus, lihtne ehitus ja paigaldus, ei nõua tõhusaks

tööks inimest, kergesti hooldatav. 2-tee ventiili kasutamine annab tarbimise reguleerimise ja säästlikuma soojustarbimise. [16]



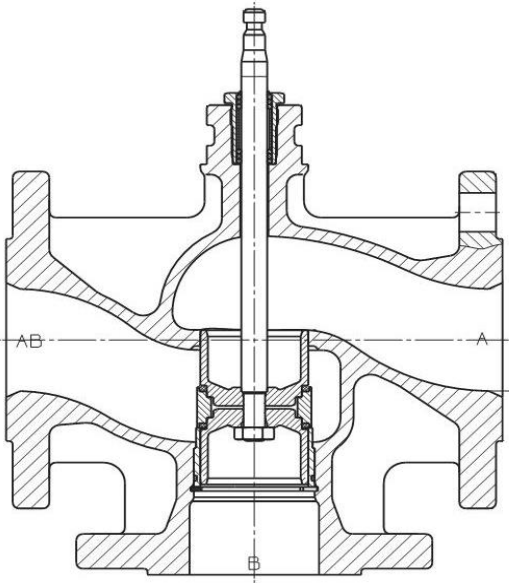
Joonis 1. 2-tee ventiil [17]

3-tee ventiile on teatud tüüpi sulgemis- ja juhtventiile, mis on võimelised reguleerima külma ja kuuma voolu suhet kahes suletud ahelas. 3-tee ventiilil on kolm düüsi ja tööpõhimõtte seisneb voogude segamisel või eraldamisel. 3-tee ventiili põhimõtet saab saavutada ka 2-tee ventiilide paarina, mille töö on pöördvõrdeline. Ühe ventiili avamine viib teise ventiili sulgemiseni. Põhimõtte seisneb selles, et üldine voolukiirus jääb samaks. Ventiili võib juhtida ajam, mis on omakorda ühendatud kontrolliga. Kontroll võtab vastu signaale erinevatelt anduritelt ja juhib ventiili. Vastavalt tööpõhimõttele jaotuvad 3-tee ventiilid kolmeks erinevaks tüübiks. Nendeks on 3-tee segamisventiil, 3-tee eraldusklapp ja 3-tee ümberlülitusklapp. [18]

3-tee segamisventiilil on kaks sisselaskeava ja üks väljalaskeava. Seda kasutatakse juhtkontuuri temperatuuri reguleerimiseks, segades kahe erineva voolutemperatuuriga kasutaja poolt määratud proportsioonis. [18]

3-tee eraldusklapiga ventiilil on üks sisselaskeava ja kaks väljalasketoru. Neid ventiile kasutatakse juhtivas kontuuris temperatuuri reguleerimiseks, muutes ringleva jahutusvedeliku kogust, samuti kasutatakse neid täiendavate kütte- ja jahutussüsteemide ees. [18]

3-tee ümberlülitusklapp on võimeline ümber lülitama vooluhulga vooluringide vahel, selle juures mõjutamata selle temperatuuri ja intensiivsust. Ümberlülitamine toimub vastavalt kahele skeemile: „sisend-sisend-väljund“ ja „sisend-väljund-väljund“. [18]



Joonis 2. 3-tee ventiil [19]

Ajam on seadmete kogum töomasina või mehhanismi käitamiseks. Elektriajamit kasutatakse kolmesuunalistel ventiilidel automatiseeritud kütte- ja ventilatsioonisüsteemides. Ajam koosneb jõuallikast, ülekandeseadmest ja juhtimisaparatuurist. Masinaajami jõuallikaks on soojus, elekter või hüdrauliline süsteem. Salvestatud energiat vabastav seade on näiteks vedru-, inerts- või raskusmehhanism. [20]

Elektriajam ehk elektrimootorajam on elektrijõul töötav ajam, mis koosneb ühest või mitmest elektrimootorist, ülekandemehhanismist, juhtimisaparatuurist, reguleerimisaparatuurist ja kaitseaparatuurist. Elektriajameid klassifitseeritakse vooluliigi (alalis- ja vahelduvvooluajamid), liikumissuuna muutumise (reversiivsed ja mittereversiivsed) ja kiiruse järgi (reguleerimatu ja reguleeritav). [20]

### 3.3 Võimalikud vead ventilatsiooniseadmete töös

Ventilatsiooniagregaadi ja selles olevate komponentide töös võivad esineda erinevad vead, mis võivad mõjutada seadme tööd. Erinevad vead ventilatsiooni töös suurendavad ja toovad endaga kaasa üleliigse energia tarbimise. Vead jagunevad kolmeks erinevaks liigiks: mehaanilised vead, kontrolleri vead ja inimeste poolt põhjustatud vead. Antud töö raames autor laiendas seda käsitlust Tabelis 1, kus on välja toodud liikide kaupa võimalikud vead, mis võivad esineda ventilatsiooni agregaatide töös.

Mehaaniliste vigade all on mõeldud, et teatud ventilatsiooniagregaadi ja õhu ventileerimisel moodustaval süsteemil võivad olla füüsilised vead, mis on silmaga nähtavad. Probleemi tuvastamisele võib kaasa aidata ventilatsiooni automatiseerimine

ja visualiseering BMS-i süsteemis. Mehaanilisteks vigadeks on näiteks filtrite mustumine, ventiilide vead, sissepuhke ja väljatõmbe ventilaatori rihmade libisemine või kulumine, rootori mustumine või jäätumine, õhuleke keskkonna vahel ja katkised andurid. Ventiili vigade alla kuuluvad vead nagu küttekalorifeeri ja jahutuspatarei ventiilide kinni kiilumine või lekkimine, soojustagasti ventiili või selle möödaviigu ventiili kinni kiilumine või lekkimine. Samuti võib ventiili veaks lugeda seda, kui ventiil ei lähe 100% ulatuses lahti või ei sulgu vajadusel täielikult. Kontrolleri vigade alla kuuluvad vead nagu seadepunkti mitte hoidmine ehk andmete kõikumine ümber seadepunkti ja konstantne nihe seadepunktist.

Loogika vead agregaaadi juhtimisel või esialgsel ventilatsiooni agregaaadi automatiseerimisel ehk ventiili vigadena läheb arvesse, kui küttekalorifeer ja jahutuspatarei toimivad samaaegselt ja küttekalorifeeri ventiil avaneb enne, kui soojustagastus on saavutanud 100% efektiivsusest.

Inimese poolt tekitatud vigadeks on näiteks ebarealistliku seadearvu seadistamine ja ebarealistlik ajagraafik, mille tõttu võib masin töötada rohkem tegelikust vajadusest. Inimese poolt põhjustatud viga saab tuvastada selle järgi, kuidas oli seadistatud kindlal ventilatsiooniagregaadil kogu perioodi vältel seadepunkt ja palju kordi on seda muudetud.

Tabel 1. Võimalikud vead ventilatsiooniagregaatide töös.

<b>Mehaanilised vead</b>
1. Filtri mustumine
2. Ventiili kinni kiilumine/leke:
2.1 Küttekalorifeeri ventiil
2.2 Jahutuspatarei ventiil
2.3 Soojustagasti ventiil/möödaviigu ventiil
2.4 Maksimum ei ole maksimum(avatus ei ole 100%)
2.5 Rootori rihma libisemine/kinni kiilumine/kulumine
3. Rootori mustumine/jäätumine
4. Sissepuhe ja väljatõmbe ventilaatori rihma libisemine/kulumine
5. Õhuleke kanalite vahel
6. Õhuleke väliskeskkonda
7. Anduri rike
7.1 Temperatuuriandur
7.2 Rõhuandur
7.3 Rõhu anduri vooliku ots on lahti
7.4 Välisõhuklappide olek/kinni kiilumine
7.5 Klapi/ventiili asendiandur
<b>Inimese poolt põhjustatud viga</b>
8. Seadepunkt on ebarealistlik
9. Ajagraafik on ebarealistlik
<b>Kontrolleri vead</b>
10. Ei suuda seadepunkti hoida
10.1 Kõikumine ümber seadepunkti
10.2 Konstantne nihe seadepunktist
11. Loogika vead
11.1 Küttekalorifeer ja jahutuspatarei toimivad samaaegselt
11.2 Kütte läheb enne tööle, kui soojustagastus on 100 % peal

## 4. MEETODID

### 4.1 Seadmete kirjeldus

Vaadeldavas Tallinna kaubanduskeskuses on hoones kokku 19 ventilatsiooniagregaati, antud töös on analüüsimisel neist kuus erinevat. Kuuest ventilatsiooni seadmest kolm on rootorsoojustagastusega ja kolm vahesoojuskandja soojustagastusega. Kõikidel ventilatsiooniagregaatidel on küttekalorifeer. Kahel ventilatsiooniagregaadil puudub jahutuspatarei. Kuuest masinast kaks teenindavad kaubanduspindu, kaks masinat tehno- ja laoruume, üks masin teenindab toidukauplust ning üks masin puhkeruume.

Tehnosüsteemidest teenindavad lisaks ventilatsioonile hoonet ka kütte- ja jahutussõlmed. Hoone on ehitatud aastal 2004 ning sama vanad on ka hoone tehnosüsteemid. Tehnosüsteeme ei ole alates 2004.aastast rekonstrueeritud.

*Tabel 2. Ventilatsiooniagregaatide soojustagastite tüüp, küttekalorifeeri/jahutuspatarei olemasolu ja teenindatavad alad*

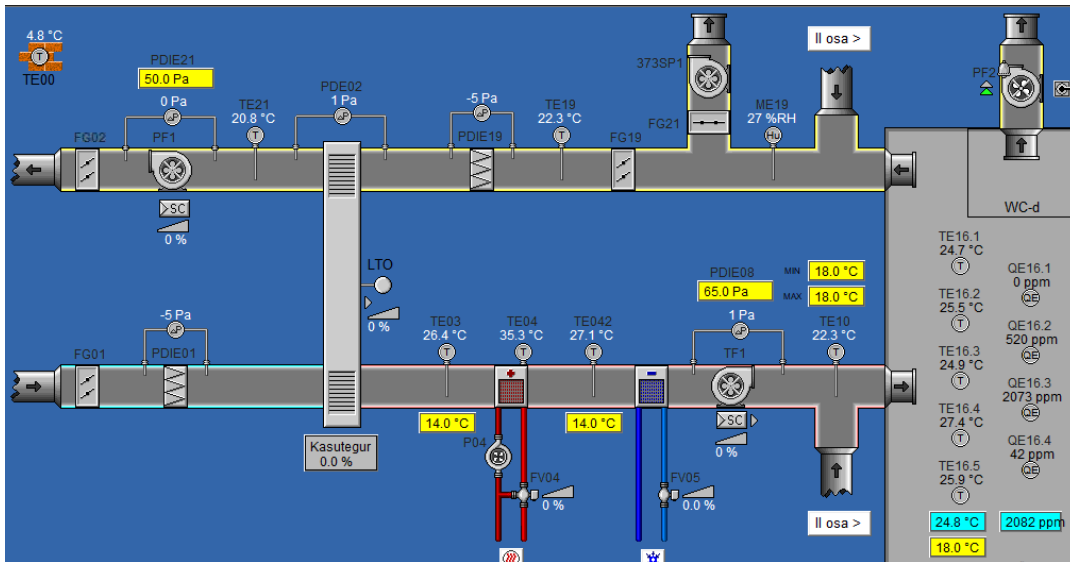
<b>Agregaat</b>	<b>Soojustagasti tüüp</b>	<b>Küttekalorifeer</b>	<b>Jahutuspatarei</b>	<b>Teenindatavad alad</b>
467	Rootor	Jah	Jah	Kaubanduspinnad
469	Rootor	Jah	Jah	Kaubanduspinnad
471	Rootor	Jah	Ei	Toidukauplus
474	Vahesoojuskandja	Jah	Jah	Puhkeruumid
475	Vahesoojuskandja	Jah	Ei	Tehno- ja laoruumid
479	Vahesoojuskandja	Jah	Jah	Laoruumid

*Tabel 3. Tootja poolt antud efektiivsuse agregaatide kaupa*

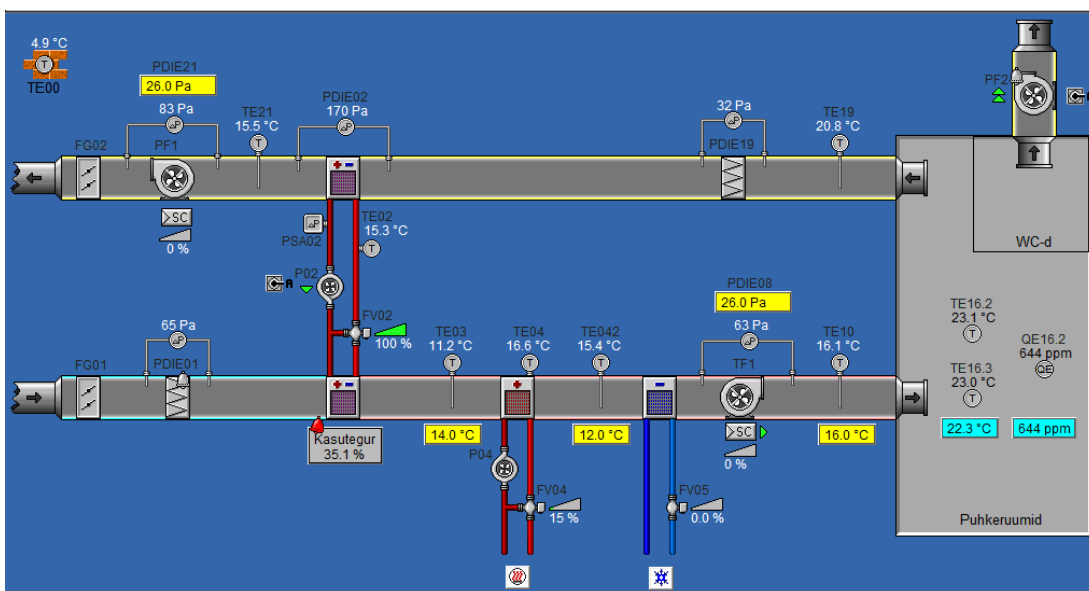
<b>Ventilatsioon agregaat</b>	<b>Stef, %</b>
467	77,7
469	78,7
471	67,6
474	30,2
475	35,9
479	38,9

Joonistel 3 ja 4 on kujutatud näidiseks BMS visualiseering rootorsoojustagasti ja vahesoojuskandja soojustagasti põhised ventilatsiooni agregaadid 467 ja 474. Ülejäänud ventilatsiooniagregaatide BMS visualiseeringud on Lisades 1-4.

Ventilatsioonisüsteemid juhivad sissepuhkeõhu temperatuuri seadepunkti järgi ja sissepuhke- ning väljatõmbe õhuvooluhulki üle ventilaatorijärgse diafragma oleva rõhulangu seadepunkti alusel. Seadepunktid on joonistel näidatud kollastes kastides. Vaadeldava kaubanduskeskuse tehnosüsteemid on varustatud automaatikaga ning kõik tehnosüsteemid on seadistatud automaatsele juhtimisele, mis üldiselt inimese sekkumist ei vaja. Hoones on paigaldatud BMS ja R8 Technologies OÜ automaatika. R8 Technologies OÜ kirjutab üle BMS-s olevad seadepunktid.



Joonis 3. Ventilatsiooniagregaat 467 rootorsoojustagasti, küttekalorifeeri ja jahutuspatareiga



Joonis 4. Ventilatsiooniagregaat 474 vahekandjaga soojustagasti, küttekalorifeeri ja jahutuspatareiga

#### 4.1.1 Ventiihide ja ajamite kirjeldused

Antud magistritöös on vaadeldud ühe konkreetse kaubanduskeskuse kuue ventilatsiooni agregaaadi soojustagasti, küttekalorifeeri ja jahutuspatareide ventiile ning ajameid. Töö fookuses on ventiilide vigade tuvastamine ja paralleelselt õhu ettevalmistuse muude parameetrite jälgimine, et tuvastada nende mõju ventiilidele.

Tabel 4. Ventilatsiooniagregaatidel kasutatavad ventiilide ja ajamite tüübid

<b>Agregaat</b>	<b>Küttekalorifeeri ventiili tüüp</b>	<b>Jahutuspatareid ventiili tüüp</b>	<b>Ajami tüüp</b>	<b>Soojustagasti ventiili tüüp</b>
467	Siemens VVG41.40 (KVS 25 m <sup>3</sup> /h)	Ventiil isoleeritud	Siemens SAX61.03	-
469	Siemens VVG41.40 (KVS 25 m <sup>3</sup> )	Siemens SKD62	Siemens SKD62	-
471	Siemens VVG41.40 (KVS 25 m <sup>3</sup> )	-	-	-
474	Siemens VVG44.32-16	Ventiil isoleeritud	Siemens SQX62	Ventiil isoleeritud
475	Siemens VVG44.20-6.3	-	Siemens SQX62	Ventiil isoleeritud
479	Belimo H432B (KVS 16)/Belimo NVC 24A-SZ-TPC	Belimo UNV-002	Belimo Nvy24-MFT	Belimo Nvy24-MFT /Belimo UNV-002

Tabelis 4 on välja toodud uuritavate ventilatsiooniagregaatide ventiilide ja ajamite tüübid. Kolmel jahutuspatareil on ventiilid isoleeritud. Info puudub ühe ventilatsiooniseadme ajami tüübi kohta. Kahel ventilatsiooniagregaadil on soojustagastuse ventiilid isoleeritud ning ventiil on olemas 479 ventilatsiooni agregaadil milleks on Belimo Nvy24-MFT/Belimo UNV-002.

Siemens VVG41.40, Siemens VVG44.32-16, Siemens VVG44.20-6.3 on 2-tee ventiilid väliskeermega ja ventiili korpus on valmistatud pronksist. Ventiil võib olla varustatud elektrimootorsete SQX või elektrijamitega SKD ja SKB. Antud ventiili kasutatakse



keskküttes, ventilatsioonis, kliimaseadmete juhtimises või turvasulgurina. Siemens VVG41.40 ventiil on läbimõõduga 40 DN ja  $k_{vs}$  (külma vee (5 ... 30 ° C) nominaalne voolukiirus läbi täielikult avatud ventiili rõhu diferentsiaaliga 100 kPa (1 bar)) arvuga 25 m<sup>3</sup>/h. Lubatud töö rõhk on ventiilil 1600kPa (16 bar). Ventiili võivad läbida vesi, soolane vesi ja aur. Siemens VVG44.32-16 on läbimõõduga 32 DN ja  $k_{vs}$  arvuga 16 25 m<sup>3</sup>/h. Siemens VVG44.20-6.3 ventiili läbimõõt on 20 DN. [21] [22]

Belimo H432B juhtventiili juhitakse elektrilise ajamiga. Klapp avaneb vastupäeva ja sulgeb päripäeva. Elektriajam valitakse sõltuvalt ventiili haakeseadise tüübist ja suurusest. Töö keskkonnaks on sobiv külm vesi ja kuum vesi, jahutatud vesi ja vesi antifriisiga temperatuuri vahemikus 1...120 °C [23]

Elektriline ajam NVC24A-SZ-TPC on kaitstud ülekoormuse eest ja peatub automaatselt, kui lõppasendid on saavutatud. Sobivad ventiilid saab kindlaks määrata ventiilide tehniliste andmete põhjal, võttes alati arvesse lubatud keskmist temperatuuri ja sulgemisrõhku. [24]

Siemensi SKD62, Siemens SAX 61.03 ja Siemens SQX62 elektriline ajam on paigaldatud 2 ja 3-suunalistele juhtventiilidele. SKD62 on varustatud tagasivooluga, juhtsignaali rikke või elektrikatkestuse korral viib ajam ventiili varre oma algsesse asendisse. Käivitatava ventiili saab paigaldada mis tahes asendisse, välja arvatud ajam allapoole. Ajam on mõeldud otse paigaldamiseks Siemensi ventiilidele. Teiste tootjate 6 ja 20 mm liikumisega klappe saab ajamitega kasutada seni, kuni neil on usaldusväärne sulgemismehhanism ja usaldusväärne mehaaniline ühendus. Siemens SQX62 elektrimootor tagab hammasratta ja hammasratta abil soovitud käigu. SAX61.03 elektriajam ei ole varustatud tagasivoolu vedruga, seetõttu jääb juhtsignaali katkemise või toiteallika katkestamise korral täiturmehhanism samasse asendisse nagu purunemise hetkel. [25] [26]

## **4.2 Kasutatud andmed**

Antud magistritöös on andmed kogutud R8 Technologies OÜ poolt, kes juhib igapäevaselt vaadeldava hoone tehnosüsteeme. Seadme väärtusi ja tegelikke väärtusi fikseeritakse 15 minutilise ajasammuga. Lõputöös ei ole arvestatud öise perioodiga, vaid vaadeldud ainult seadmete tööajal registreeritud logisid. Küsitavateks ja vaadeldavateks mõõteandmeteks, mis antud magistritöös kasutati, olid välisõhu temperatuur, väljatõmbe temperatuur, sissepuhke tegelik temperatuur, sissepuhke seadepunkt, soojustagasti kiirus, vahesoojuskandjaga soojustagasti ventiili avatus, küttekalorifeeri ventiili avatus, jahutuspatarei ventiili avatus, temperatuur sissepuhkel peale soojustagasti, temperatuur sissepuhkel peale küttekalorifeeri, soojustagasti

efektiivsus, rõhulang üle ventilaatori diafragma, rõhulang üle ventilaatori diafragma seadepunkt, õhuvooluhulgad.

Tabel 5. Töös kasutatavad mõõdetud ja arvutuslikud andmed

<b>Mõõdetud andmed</b>		
<b>Tähis</b>	<b>Kirjeldus</b>	<b>Ühik</b>
$x_0$	mõõdetud väärtus (sissepuhke temperatuur, ventilaatori rõhulang)	°C, Pa
$x$	Soovitud väärtus (sissepuhke temperatuuri seadepunkt, ventilaatori rõhu seadepunkt), °C, Pa	°C, Pa
$H_{KKV}$	küttekalorifeeri ventiili asend	%
$H_{JPV}$	jahutuspatarei ventiili asend, %	%
$T_{SPST}$	temperatuur peale soojustagastit	°C
$T_{SPtemp.teg}$	tegelik sissepuhke temperatuur	°C
$V_{ST}$	Soojustagasti olek (rootorsoojustagasti puhul soojustagasti kiirus, vahesoojuskandjaga soojusvaheti puhul ventiili avatus)	%
$T_{SPseadepunkt}$	sissepuhke temperatuuri seadepunkt	°C
$STef$	tootja poole antud soojustagasti efektiivsus	%
$T_{VT}$	väljatõmbe temperatuur	°C
$T_{Võ}$	välisõhu temperatuur	°C
<b>Arvutuslikud andmed</b>		
$\Delta x$	absoluutne viga (mõõdetud ja tegeliku väärtuse erinevus või muutus)	°C, Pa
$X_{const}$	konstantne väärtus	%
$X_{CP}$	mahuvoolumulgi	m <sup>3</sup> /h
$X_Q$	soojushulk	Wh

Töös on kasutatud hoone tehnosüsteemide hooldaja täidetud hoolduspäevikut, kus on ära märgitud hoolduse teostamise kuupäev ja vead, mis on hoolduse käigus tuvastatud.

Hoolduspäeviku kasutamine antud töös annab ülevaate leitud vigadest ning aitab teostada analüüsi ventilatsiooni agregaatidele vigadele ja kuidas need vead mõjutavad mõõteandmeid.

#### **4.3 Ventilatsiooniagregaatide seadesuurused**

Vaadeldava kaubanduskeskuse tehnosüsteemid on varustatud automaatikaga ning kõik tehnosüsteemid on seadistatud automaatsele juhtimisele ja üldiselt inimese sekkumist ei vaja. Hoones on paigaldatud BMS (Building Management System) ja R8 Technologies OÜ automaatika. R8 Technologies OÜ kirjutab üle BMS-s olevad seadepunktid.

#### **4.4 Vigade leidmise kriteeriumid ja nende analüüs**

Vigade analüüs on teostatud talveperioodil detsembrist veebruarini. Vaadeldavateks perioodideks on 01.01.2019-28.02.2019 ja 01.12.2019-28.01.2020. Antud periood sai valitud, kuna oli võimalik analüüsida küttekalorifeeri ventiili tööd ning jälgida, kuidas ventiilide ja soojustagasti olekut mõjutab talvine välisõhu temperatuur.

Tabel 6. Vea nimetused, muutujad ja vigade leidmise valemid

Nr.	Vea nimi	Muutujad	Valem
1.	Temperatuuri seadepunkti hoidmise täpsus	Sissepuhke temperatuur	$\Delta x = x_0 - x$
		Sissepuhke temperatuuri seadepunkt	
2.	Rõhu seadepunkti hoidmise täpsus	Ventilaatori rõhulang	
		Rõhulang üle ventilaatori diafragma seadepunkt	
3.	Ventiili kinni kiilumine/lekkimine	Küttekalorifeeri ventiili avatus	$H_{KKV} \neq X_{const}$
4.	Ventiili maksimaalne avatus	Küttekalorifeeri ventiili avatus	$H_{KKV} = 100\%$
5.	Küttekalorifeeri ja jahutuspatarei koosmõju	Küttekalorifeeri ja jahutuspatarei ventiili avatus	$H_{KKV} > 0$ seega $H_{JPV} = 0$
6.	Ülekütmine	Sissepuhkeõhu temperatuur	$T_{SPST} > T_{SPseadepunkt}$ $(T_{SPST} > T_{SPseadepunkt}) \times m \times 1.2$
		Sissepuhke temperatuuri seadepunkt	
7.	Temperatuuri tõstmise prioriteedi/järjekorra viga	Soojustagasti olek	$T_{SPST} > T_{SPseadepunkt}; V_{ST} > 90\%$
		Temperatuur peale soojustagastit	
		Sissepuhke temperatuuri seadepunkt	
		Ventiili avatus	

Antud lõputöö raames vaadeldakse sissepuhke õhu ettevalmistusprotsessi ja küttekalorifeeri ventiiliga seonduvaid vigu. Kokku on vaadeldud seitse viga ning kahe vea põhjal tehtud energia tarbimise analüüs.

Esimeseks vaadeldavaks veaks oli temperatuuri ja rõhu absoluutne viga.

Absoluutne viga leiti sissepuhke temperatuuri ja sissepuhke temperatuuri seadepunkti vahel, samuti ventilaatori rõhulangu ja ventilaatori rõhu seadepunkti vahel. Nende kahe parameetri eesmärgiks oli välja uurida, kui täpselt suudetakse seadepunkti hoida.

Samuti oli vaadeldud iga ventilatsiooniagregaadi õhu ettevalmistusprotsessi parameetrite keskmisi väärtusi, et näidata erinevust erinevatel ventilatsiooniagregaatidel samal ajaperioodil ja päeval.

Lisaks viidi läbi graafikute visuaalne inspeksioon ventilatsiooniagregaadi sissepuhkeõhu temperatuurile vastavalt seadepunktile ja määruses ettenähtud sissepuhkeõhu temperatuurile. Määruses „Hoonete energiatõhususe arvutamise meetodika“ § 18 lõik 5 sätestab, et ruumi ülekuumenemise vältimiseks valitakse sissepuhke õhu temperatuur ruumi temperatuurist madalam. Püsiva sissepuhketemperatuuriga süsteemis on sissepuhketemperatuur üldjuhul 18 °C. [27] Määrus annab parema ülevaate sellest, kuidas lähtuvalt antud parameetrist kõigub sissepuhkeõhu seadepunkt. Määrus on soovituslik.

Oluliseks aspektiks vigade leidmisel on tehtud graafikute visuaalne inspeksioon rõhulangule üle ventilaatori diafragma ja rõhulangu seadepunktile üle ventilaatori diafragma. Antud diagrammid annavad hea ülevaate sellest, kuidas rõhulang järgib seadepunkti ning kui tihe on kõikumine ja kui suur on seadepunkti ning rõhulangu tegeliku väärtuse vahe paskalites. Visuaalse inspeksiooni käigus otsitakse olukordi, kus ventiil on avatud 0%, aga temperatuur paralleelselt tõuseb oluliselt.

Teiseks analüüsitavaks veaks oli ventiili kinni kiilumine või lekkimine. Eesmärgiks antud vea analüüsis oli vaadelda, kas küttekalorifeeri ventiil on olnud konstantses asendis paari tunni jooksul ning ei ole enda avatust protsentuaalselt muutnud selle aja jooksul. Muutujaks antud vea puhul oli küttekalorifeeri ventiili avatus.

Kolmandaks vaadeldavaks veaks oli ventiili maksimaalne avatuse saavutamine. Vaatluse alla oli võetud kogu periood ning vaadeldud, kas ventiil suudab saavutada enda maksimumi, milleks on 100%. Antud vea puhul on meetodina kasutatud ka visuaalset inspeksiooni. Kui andmetes on näha, et ventiil on saavutanud 100%, siis ei pruugi see

olla tõsi, kuna puudub tegelikult tagasiside. Kui BMS-i näitajate poolest on ventiil 100% lahti, siis tegelik olukord ei pruugi olla sama. Muutujateks antud vea juures oli küttekalorifeeri ventiili avatus. Ventiili maksimaalne ja minimaalne avatus oli leitud kogu vaadeldava perioodi jooksul.

Küttekalorifeeri ja jahutuspatarei koosmõju vea eesmärgiks oli välja selgitada, kas küttekalorifeer ja jahutuspatarei töötavad paralleelselt ning kas jahutuspatarei ventiil avaneb enne, kui küttekalorifeer on end täielikult sulgenud. Samuti oli antud vea eesmärgiks vaadelda, kas talvisel perioodil töötab jahutuspatarei ning mis võis jahutuspatarei ventiili avatust põhjustada. Vaatluse alla oli võetud küttekalorifeeri ja jahutuspatarei ventiili avatus protsentuaalselt.

Ülekütmise vea leidmise tingimuseks oli, et sissepuhke temperatuur ei tohi olla väiksem sissepuhkeõhu seadepunktist. Vaadeldavateks muutujateks olid soojustagasti olek, temperatuur peale soojustagastit ja sissepuhkeõhu seadepunkt.

Koosmõju vea leidmise tingimuseks oli, et sissepuhke temperatuur peale soojustagastit peab olema väiksem sissepuhkeõhu seadepunktist. Sellisel juhul peab soojustagasti kiirus olema mitte väiksem kui 90%. Antud tingimus on selleks, oleks teada, et soojustagasti peab töötama 100%. Vaadeldavateks muutujateks olid soojustagasti kiirus, temperatuur peale soojustagastit ja sissepuhkeõhu seadepunkt. 90% kiirus oli valitud selle tõttu, et lubatud on 10% viga. Teoreetiliselt peaks soojustagasti kiirus olema 100%.

Töös on kasutatud hoone tehnosüsteemide hooldaja täidetud hoolduspäevikut, kus on ära märgitud, mis kuupäeval on hooldus teostatud ja mis vead on hoolduse käigus tuvastatud. Hoolduspäeviku kasutamine antud töös annab ülevaate leitud vigadest ning teostada analüüsi ventilatsiooni agregaatidele vigadele ning kuidas need vead mõjutavad mõõteandmeid.

#### **4.5 Vigadest tingitud lisaenergia kulu**

Energiatarbimise summad on leitud kahe vea põhjal. Esimene energiatarbimise erinevus, mis on tulemustes summades välja toodud, on ülekütmisest põhjustatud energia tarbimine. Muutujateks antud analüüsis olid sissepuhke temperatuur, sissepuhke seadepunkt, sissepuhke temperatuur peale soojustagastit ja mahuvooluhulk. Esmalt leiti massivooluhulk, mille tulemusena sai leida soojushulga ja soojushulga seadepunkti järgi. Soojushulga leidmisel saadi kätte energia tarbimise vahe

(kWh). 21.04.2021 kehtivaks Tallinna võrgupiirkonna hinnaks oli 50,14 €/MWh +km. Kui  $SP_{temp.teg}$  on alla seadepunkti, siis on väärtuseks võetud 0.

$$xQ = X_{cp} \times 1.2 \times 1.005 \times (SP_{temp.teg} - SP_{st}) - X_{cp} \times 1.2 \times 1.005 \times (SP_{seadepunkt} - SP_{st})$$

Teiseks energia tarbimise erinevuseks, mis on summades välja toodud, oli küttekalorifeeri ja soojustagasti koosmõju. Muutujateks antud analüüsis olid tootja poolt antud soojustagastite efektiivsus, sissepuhke temperatuur peale soojustagastit, väljatõmbe temperatuur, välisõhu temperatuur ja mahuvooluhulk. Allpool on välja toodud valem, millega on leitud soojushulk ning seejärel summa kulunud energia tarbele. Nagu ka eelmise energia tarbimise analüüsi puhul oli 21.04.2021 seisuga kehtivaks Tallinna võrgupiirkonna hinnaks 50,14 €/MWh +km. Kui  $SP_{temp.teg}$  on alla seadepunkti, siis on väärtuseks võetud 0. Antud analüüsi eesmärgiks oli vaadelda, mis oleks tegelik sissepuhke temperatuur tootja poolt antud efektiivsuse juures. Tootja poolt antud efektiivsused agregaatide kaupa on välja toodud Tabelis 3 .

$$\Delta t = (SP_{st} - (ST_{EF} \div 100 \times VT + V\ddot{O} \times (1 - ST_{EF} \div 100))$$

$$\Delta xQ = \Delta x \times X_{cp} \times 1.2 \times 1.005$$

## **5. TULEMUSED**

### **5.1 Ventilatsiooniagregaatide tulemused**

Vaatluse alla oli võetud kuus erinevat ventilatsiooniagregaati numbritega 467, 469, 471, 474, 475 ja 479.

Küttekalorifeeri ja jahutuspatarei koostoimivuse analüüsis võrreldakse kogu perioodi jooksul ventilatsiooniagregaadi kaupa, kas küttekalorifeeri ventiili avatuse korral on avatud jahutuspatarei ventiil ning vastupidi. Kuna antud tüüpi viga ei leitud üheski ventilatsiooniagregaadis, siis edaspidi seda viga töös ei käsitleta.

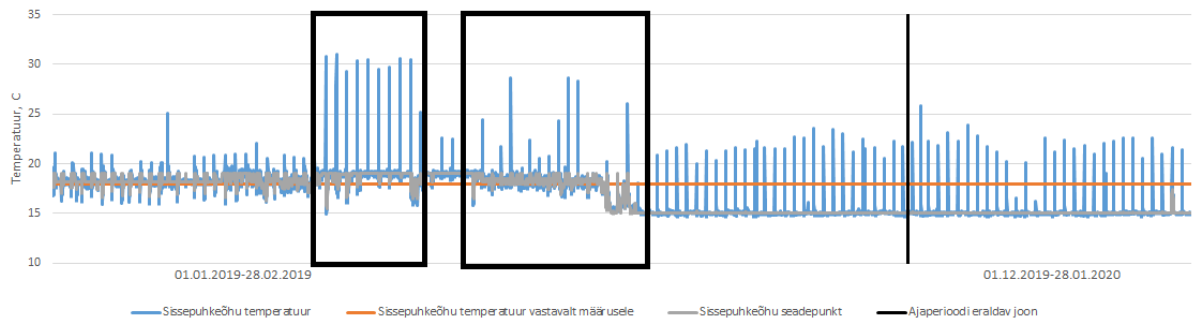
### **5.2 Ventilatsiooniagregaat 467**

Esimesena vaadeldakse ventilatsiooniagregaati tähisega 467. 467 masin on varustatud rootorsoojustagastiga, ühe küttekalorifeeri ja ühe jahutuspatareiga. Kokku oli antud perioodi jooksul tehtud 5931 logi 15 minutilise ajasammuga. Andmed ja tulemused on graafikutes välja toodud nädalate kaupa, et saaks vaadelda mitu viga protsentuaalselt oli leitud nädala jooksul ventilatsiooniagregaadi töös. Samuti vaadeldi, kas küttekalorifeer on kogu ajaperioodi jooksul olnud minimaalselt ja maksimaalselt avatud.

Antud ventilatsiooni agregaaadi hooldus oli teostatud 02.12.2019. Hoolduspäevikus on vigadena välja toodud, et sissepuhke ja väljatõmbe ventilaatorid vajavad vahetust, väljatõmbe rihmad vajavad pingutamist, hooldusvalgusti ei tööta. Ettepanekutena on tehtud haisuluku vahetus, kütte isolatsiooni otsad vajaksid vahetust ja vahetada välja kütte tagasilöögiklapi. Hoolduspäeviku väljavõtte leiab Lisa 5 alt. Sissepuhke ventilaatorite vahetuse vajadust saab vaadelda rõhulangu üle ventilaatori diafragma seadepunkti hoidmist.

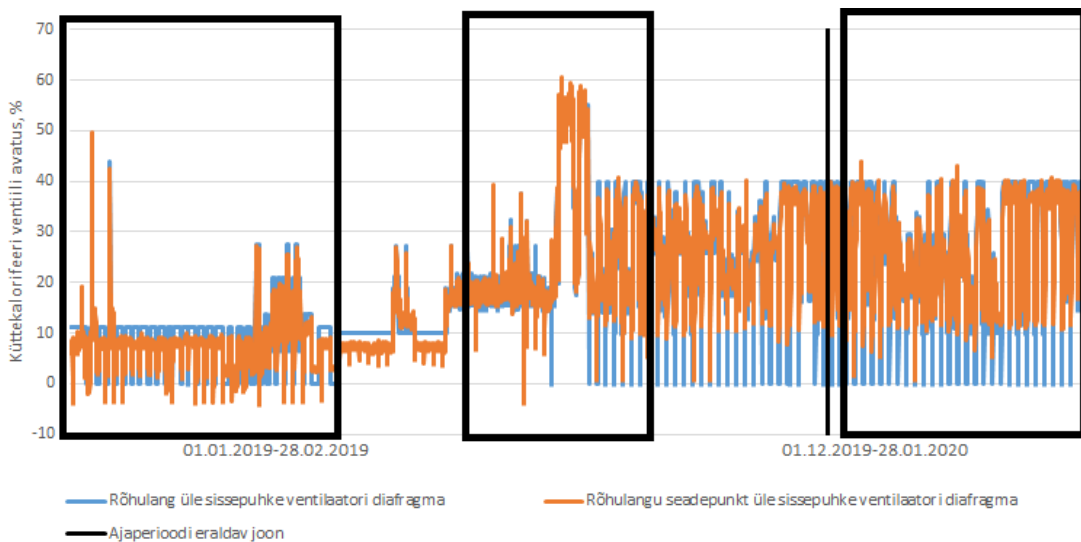
Esimese veana analüüsiti soojustagastuse ja küttekalorifeeri koosmõju ventilatsiooniagregaadile 467. Eesmärgiks oli välja selgitada, kas antud tingimus on ventilatsiooni agregaaadi töös järgitav ja kas soojustagastit on efektiivselt kasutatud nõutava ruumi temperatuuri saamiseks. Kokku analüüsiti üheksateist nädalat, millest 100% antud tingimust ei järgitud viieteistkümnel nädalal. Selgus, et kõige vähem on vigu esinenud 31.12.2018-06.01.2019 nädala, kui vigade protsent oli 97%. Maksimaalseks rootorsoojustagasti kiiruseks oli fikseeritud 100%.





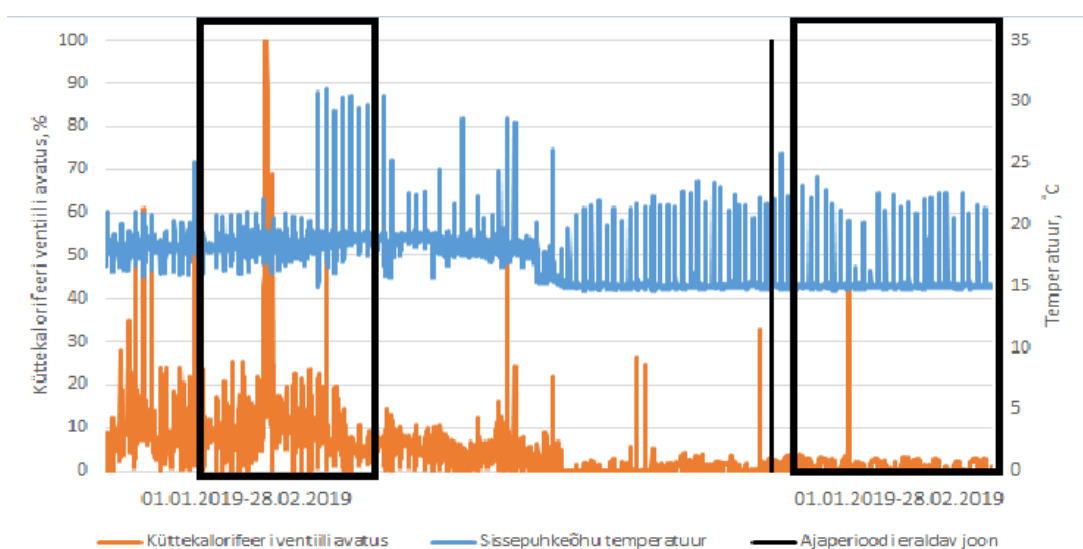
*Joonis 5. 467 ventilatsiooni agregaaadi sisepuhkeõhu temperatuur tegelikus vastavalt seade arvule ja standardis ettenähtud sisepuhkeõhu temperatuurile*

Joonisel 5 on kujutatud siniste joontena tegelik mõõdetud sisspuhke temperatuur, oranži joonena määruses määratud temperatuur ja hall joonega sisepuhke seadepunkt. Mõõtmised teostati vahemikus 01.01.2019-28.02.2019 ja 01.12.2019-28.01.2020. Joonise eesmärgiks on näidata ja analüüsida, kas ventilatsiooni agregaat 467 suudab hoida talle määratud sisepuhke seade arvu. Standardi poolt on määratud temperatuuriks 18 ° C , diagrammilt on näha, et suurem osa ajast sisepuhke temperatuur ei jälgi ei määruses antud temperatuuri ega sisepuhkeõhu seade arvu. Kõige kõrgemaks sisepuhke temperatuuriks saavutas ventilatsiooniagregaat 467 31.06 ° C tööajal. Antud temperatuur oli fikseeritud 1,5h peale ventilatsiooniagregaaadi käivitamist. Väljatõmbe temperatuur oli samal ajal 21.74 ° C Diagrammi teises pooles on näha, et seade arv on enamuse ajast 15 ° C, mille juures kõige madalamaks väärtuseks on 16.26 ° C ja kõige kõrgemaks väärtuseks on 25.8 ° C. Keskmise absoluutne viga on 0.24 ° C.



*Joonis 6. 467 ventilatsiooniagregaaadi rõhulang üle sisepuhke ventilaatori diafragma ja rõhulangu seadepunkt üle sisepuhke ventilaatori diafragma*

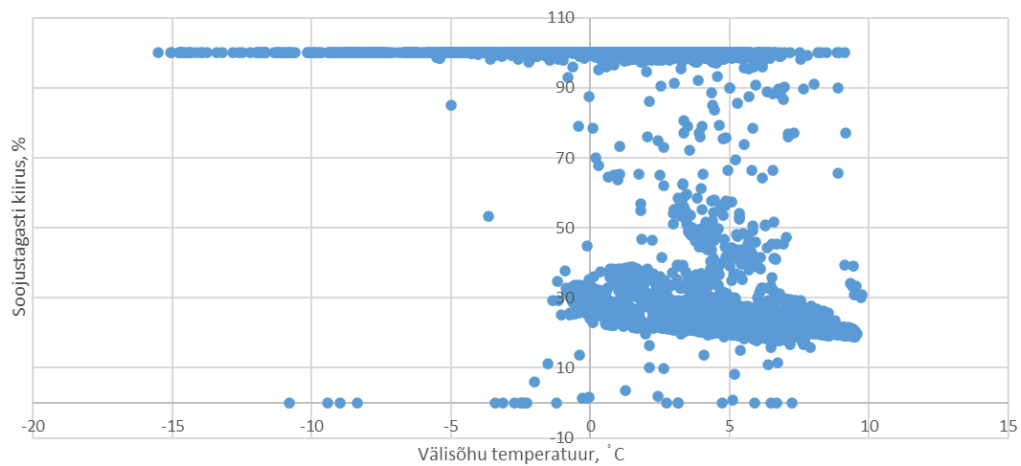
467 ventilatsiooniagregaadi rõhulang üle sissepuhke ventilaatori diafragma ja rõhulangu seadepunkt üle sissepuhke ventilaatori diafragma on esimesel vaatlemise perioodil, 01.01.2019-28.02.2019, näha sagedamast ja suuremat rõhuvähe kõikumist kui teisel perioodil. Maksimaalseks rõhulangu seadepunktiks üle ventilaatori diafragma on 60.1 Pa, registreeritud rõhulang üle sissepuhke ventilaatori diafragma on 55 Pa. Antud perioodil on näha, kus rõhulang hüppab järsult teisele tasemele, mille põhjuseks võib olla rihma libisemine. Ka hoolduspäevikus on mainitud, et rihmad vajavad pingutamist, samuti vajab vahetamist sissepuhke ventilaator. Samuti võib põhjuseks olla torustikus tehtud muudatused. Näiteks mõni klapi asendi muutmisel või renoveerimise käigus tehtud muudatused. Teises vaadeldavas perioodis on näha, et rõhu seadepunkt üle sissepuhke ventilaatori diafragma kõrgem, kui ta oli esimeses vaadeldavas perioodis.



*Joonis 7. 467 ventilatsiooniagregaadi sissepuhkeõhu temperatuur ja küttekalorifeeri ventiili avatus protsentuaalselt*

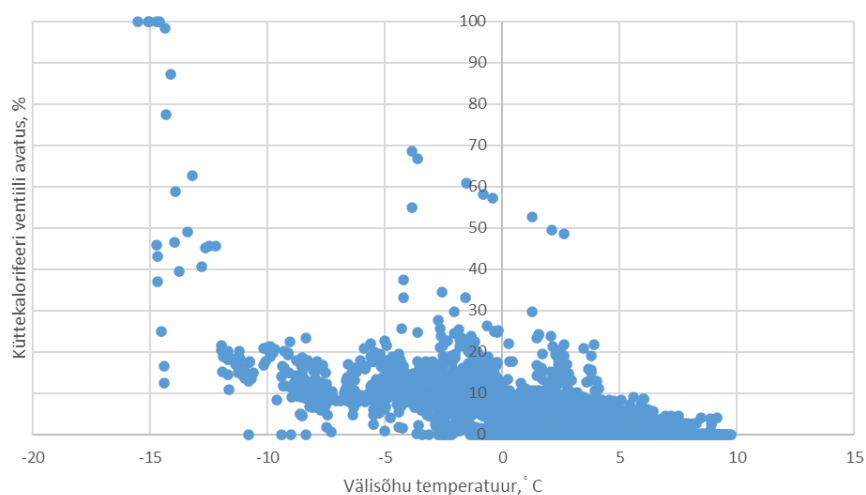
Sissepuhkeõhu temperatuuri ja küttekalorifeeri ventiili avatuse suhe on kujutatud Joonisel 7. Esimese perioodi ajal oli maksimaalseks ventiili avatuseks registreeritud 98%, mille juures sissepuhke temperatuur oli 18.4 ° C. Esimesel joonisel kastiga märgitud vaatlusperioodil jääb küttekalorifeeri ventiili avatus 60 % piiresse, teisel perioodil aga jääb ventiili avatus 10% piiresse. Ühel juhul on küttekalorifeeri ventiili avatus olnud 48 %. Diagrammilt on näha, et mida rohkem on olnud küttekalorifeeri ventiili avatus protsentuaalselt, seda kõrgem oli ka sissepuhkeõhu temperatuur. Teises pooles oli küttekalorifeeri ventiil vähem avanenud protsentuaalselt, kuid sissepuhkeõhu

temperatuuri kõikumine oli kõrgem temperatuuride poolest.



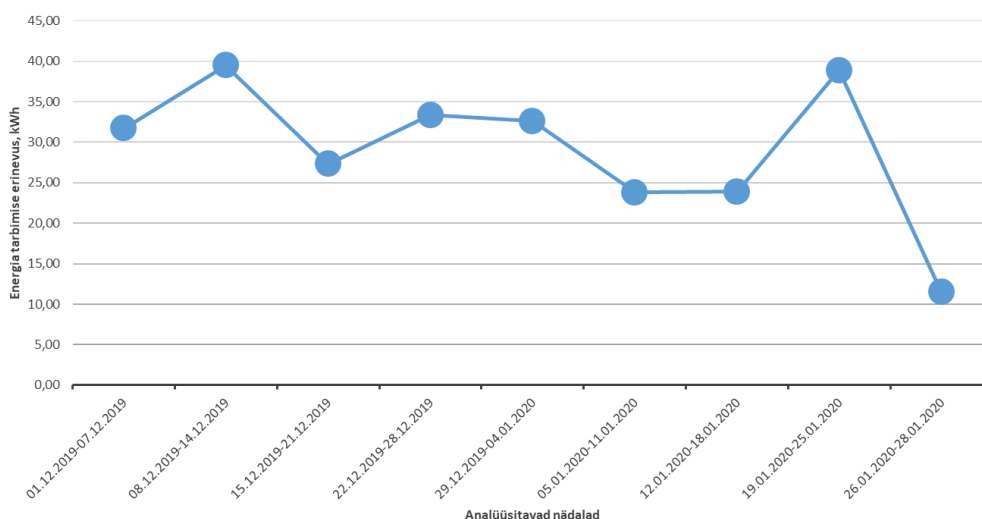
Joonis 8. 467 ventilatsiooni agregadi soojustagasti kiirus välisõhu temperatuuril

Joonisel 8 on kujutatud 467 ventilatsiooni agregadi soojustagasti kiirus välisõhu temperatuuril. Graafikult on näha, et välisõhu temperatuuril  $-2^{\circ}\text{C}$  kuni  $10^{\circ}\text{C}$  jääb soojustagasti kiirus vahemiku 10% kuni 50%. Samuti on näha, et on pikalt olukordi, kus soojustagasti kiirus saavutab 100% antud temperatuuril. Välisõhu temperatuuril  $0^{\circ}\text{C}$  kuni  $-16^{\circ}\text{C}$  on enamuse ajast soojustagasti kiirus 100%. Välisõhu temperatuuri tõusuga on küll näha, et soojustagasti kiirus väheneb, kuid on päris palju kohti, mille juures jääb soojustagasti kiirus püsima 100% läheduses. Kuna soojustagasti kiirus on pikema ajaperioodi jooksul konstantses asendis, siis võib tegu olla soojustagasti ventiili lahti jätmisega, mille tulemusena toimub ülekütmine. Samuti võib selle põhjuseks olla tegelik soojustagasti kiiruse vajadus.



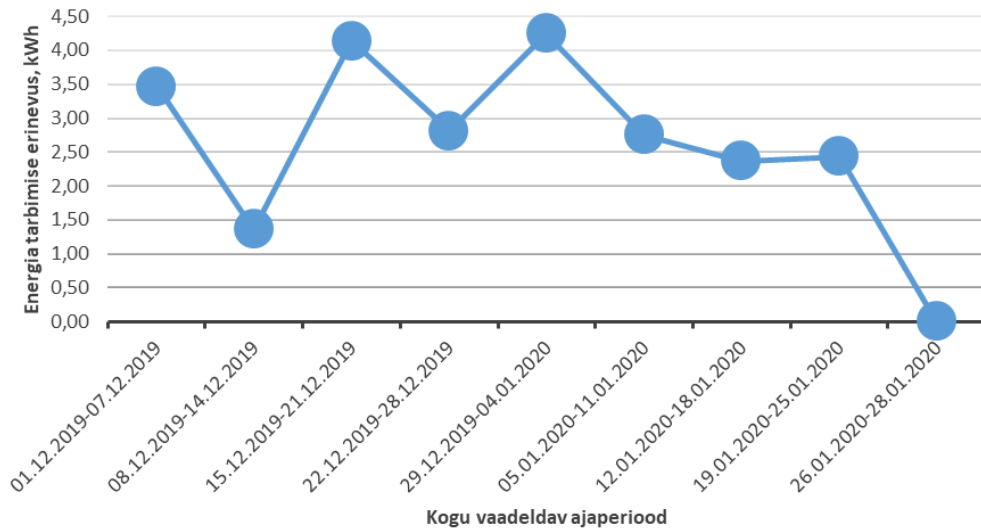
Joonis 9. 467 ventilatsiooni agregadi küttekalorifeeri ventiili avatus välisõhu temperatuuril

Ventilatsiooniagregaadi küttekalorifeeri ventiili avatus välisõhu temperatuuril on kujutatud Joonisel 9. Graafikult on näha, et küttekalorifeeri ventiili avatus jääb enamasti vahemiku 0% kuni 40%. Küttekalorifeeri ventiil saavutab oma maksimaalse avatuse temperatuuril  $-15^{\circ}\text{C}$ . Temperatuuril  $-10^{\circ}\text{C}$  kuni  $10^{\circ}\text{C}$  on küttekalorifeeri avatus enamasti kuni 20%. Graafikult võib järeldada, et küttekalorifeer ei saavuta oma maksimaalset avatust, milleks on 100%, enne kui välisõhu temperatuur on  $-15^{\circ}\text{C}$ . Kuna temperatuuride vahe on ligikaudu  $20^{\circ}\text{C}$  ja küttekalorifeeri ventiili avatusel pole näha suurt kõikumist, siis võib järeldada, et küttekalorifeeri võimsus on liiga suur. Näiteks on liiga kõrge küttekalorifeeri temperatuur või liiga suur vooluhulk ning pole tarvis küttekalorifeeri ventiili rohkem avada. Põhjuseks madalale küttekalorifeeri ventiili avatusele võib olla küttekalorifeeri madal temperatuur, kuna tegemist on suure ülekütmisega ja kalorifeeri temperatuur võib olla liiga kõrge.



*Joonis 10. 467 ventilatsiooniagregaadi energia tarbimise summa ülekütmise tõttu*

467 ventilatsiooniagregaadi energia tarbimine ülekütmise tõttu on kujutatud Joonisel 10. Mõõtmised teostati vahemikul 01.12.2019-26.01.2019. Analüüsi sai teostada ainult üheksa nädala põhjal, kuna teiste nädalate kohta andmed puuduvad. Antud analüüsi eesmärgiks oli välja selgitada ülekütmisest tuleneva lisaenergiakulu hindamine. Kõige suurem võimsuse erinevus on olnud nädalal 08.12.2019-07.12.2019, kui summaks oli 39 kWh. Kokku oli vaadeldava perioodi ehk üheksa nädala jooksul oli summaarseks energiatarbimise erinevuseks 262 kWh.



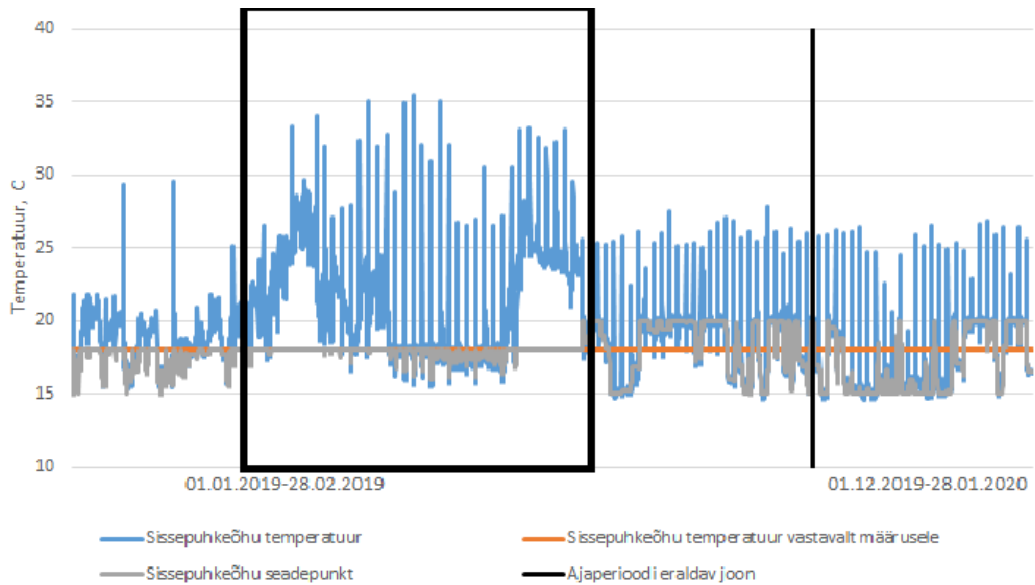
*Joonis 11. 467 ventilatsiooniagregaadi energia tarbimise summa soojustagasti ja küttekalorifeeri koosmõjul*

467 ventilatsiooniagregaadi energiatarbimise summa soojustagasti ja küttekalorifeeri koosmõjul on kujutatud Joonisel 11. Antud analüüsi eesmärgiks oli vaadelda, mis oleks tegelik sissepuhke temperatuur tootja poolt antud efektiivsuse juures. Kokku analüüsiti üheksa nädalat, millest viimasel ajaperioodil 26.01.2020-28.01.2020 oli näitajaks 0 kWh. Suurimaks energia tarbimise summaks oli nädalal 29.12.2019-04.01.2020 4 kWh. Kokku oli soojustagasti ja küttekalorifeeri koosmõjul energia tarbimise erinevus 23 kWh.

### **5.3 Ventilatsiooniagregaat 469**

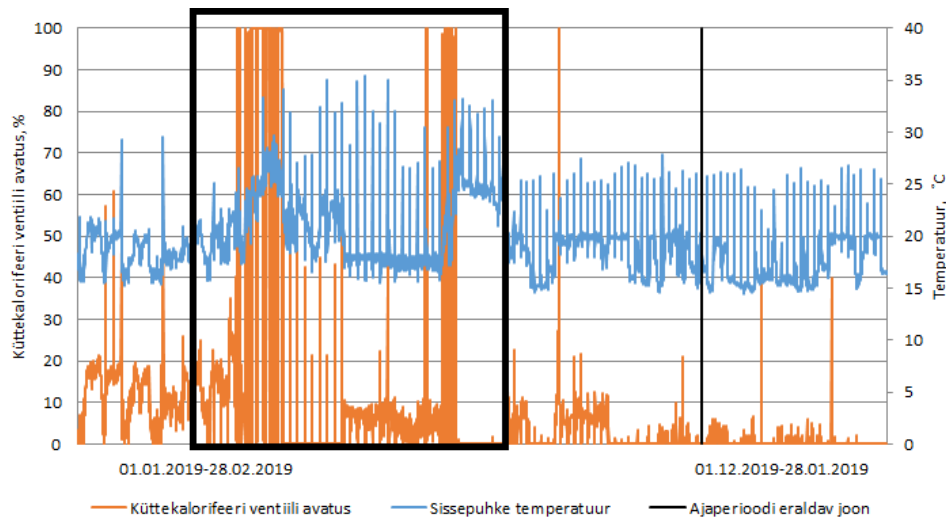
469 ventilatsiooniagregaadi hooldus teostati 03.12.2019. Hoolduspäevikus on puudustena välja toodud, et küttepump vajab keeramist, rootori ja küttekalorifeeri vahel on temperatuuri andur lühike, küttestorustiku isolatsioon vajab taastamist, väljatõmbe mootori laagrid vajavad vahetust. Ettepanekuna on lisatud haisuluugi vahetamine ja sissepuhke laagrite vahetamine, kuid olukord pole veel hull. Hoolduspäeviku väljavõtte on Lisas 6. Küttestorustiku puudulik isolatsioon võib tekitada soojuskadusid, mille tõttu väheneb ventilatsiooniagregaadi efektiivsus.

Kokku analüüsiti üheksateist nädalat. Eesmärgiks oli välja selgitada, et sissepuhke temperatuur peale soojustagastit ei tohi olla väiksem ruumi suunduvast sissepuhke temperatuurist, sellisel juhul peab soojustagasti kiirus olema mitte väiksem kui 90%. Analüüsi käigus selgus, et mitte ühelgi nädalal ei ole ülevalpool mainitud tingimusest 100% täidetud. Sellest võib teha järelduse, et soojustagasti ei ole kogu analüüsitava perioodi jooksul täitnud oma eesmärgi ja saavutanud vajaliku efektiivsust.



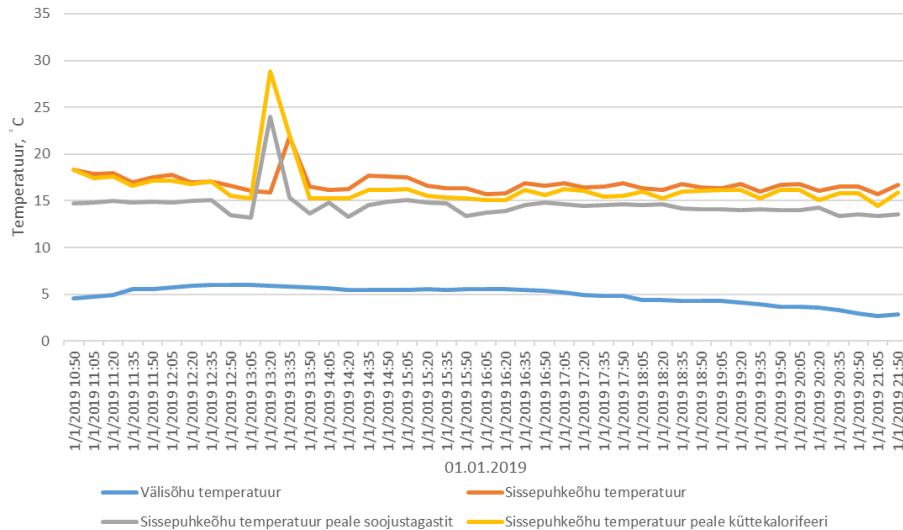
*Joonis 12. 469 ventilatsiooniagregaadi sissepuhkeõhu temperatuur tegelikkuses vastavalt seadepunktile ja standardis ettenähtud sissepuhkeõhu temperatuurile*

469 ventilatsiooniagregaadi sissepuhkeõhu temperatuur tegelikkuses vastavalt seadepunktile ja määruses ettenähtud sissepuhkeõhu temperatuur on kujutatud Joonisel 12. Diagrammilt on näha tegeliku temperatuuri suurt kõikumist. On perioode, kus õhu sissepuhke seade arv on sama väärtusega, mis on määruses määratud temperatuur, milleks on 18 ° C. Sissepuhke seade arvu juures 16.2 ° C on sissepuhke temperatuur 35.4 ° C. Antud sissepuhke temperatuur oli registreeritud masina käivitamise hetkel ehk 10.02.2019 kell 7.50 hommikul. Vaadeldava perioodi jooksul on näha, et sissepuhkeõhu temperatuuri kõikumine ei ole seotud kõrgete või madalate seadepunktidega. Enamuse vaadeldavast perioodist ei ole tegelik sissepuhkeõhu temperatuur lähedal sissepuhkeõhu seade arvule. Kõrge sissepuhkeõhu temperatuur põhjuseks võib olla ülemäärne küttekalorifeeri ventiili avatus, ventiili kinni kiilumine või automatatika viga.



*Joonis 13. 469 ventilatsiooni agregadi sissepuhkeõhu temperatuur ja küttekalorifeeri ventiili avatus protsentuaalselt*

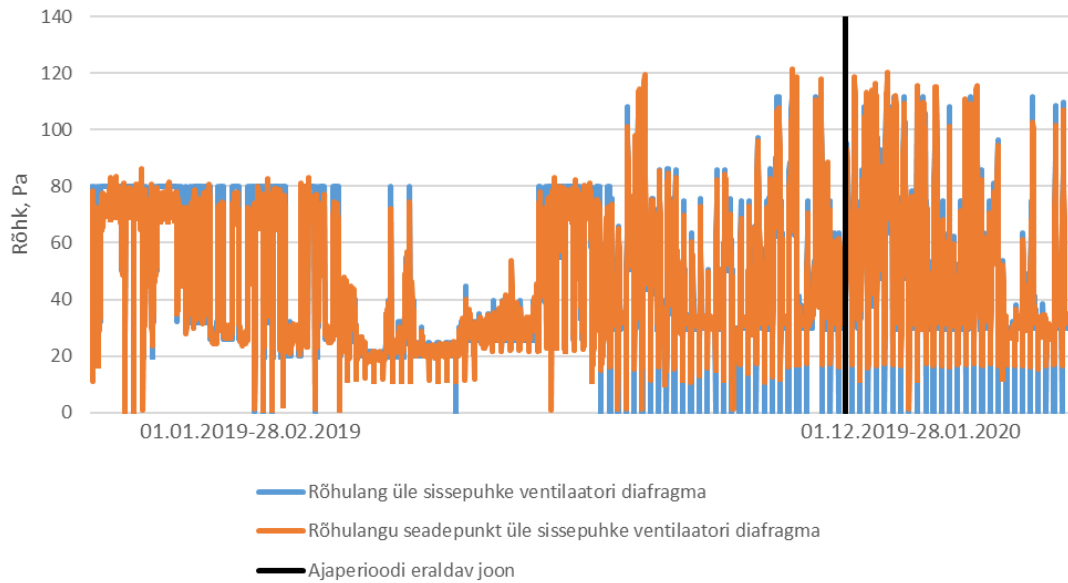
Joonisel 13 on kujutatud kogu vaadeldava ajaperioodi vältel sissepuhkeõhu temperatuur ja küttekalorifeeri avatus protsentuaalselt. Jooniselt on näha, et esimeses pooles on aktiivne küttekalorifeeri avatuse kõikumine, mille tõttu kõigub ka sissepuhke temperatuur. Võib väita, et sissepuhkeõhu temperatuuri kõikumine on seotud küttekalorifeeri avatuse kõikumisega. Kui küttekalorifeer on avatud maksimaalselt, siis on näha ka sissepuhkeõhu temperatuuri tõusmist koosmõjus küttekalorifeeri avatusega. Samuti võib antud diagrammilt näha, et perioodidel, kui temperatuur on selgelt üle seadepunkti, siis on küttekalorifeer läinud avatuks täisvõimsusele, kuigi tegelikult seda pole vaja. Põhjuseks võib olla torustikus tehtud muudatused. Näiteks mõni klapi asendi muutmisel või renoveerimise käigus tehtud muudatused.



Joonis 14. 469 ventilatsiooniagregaadi ühe päeva sissepuhkeõhu ettevalmistus protsess

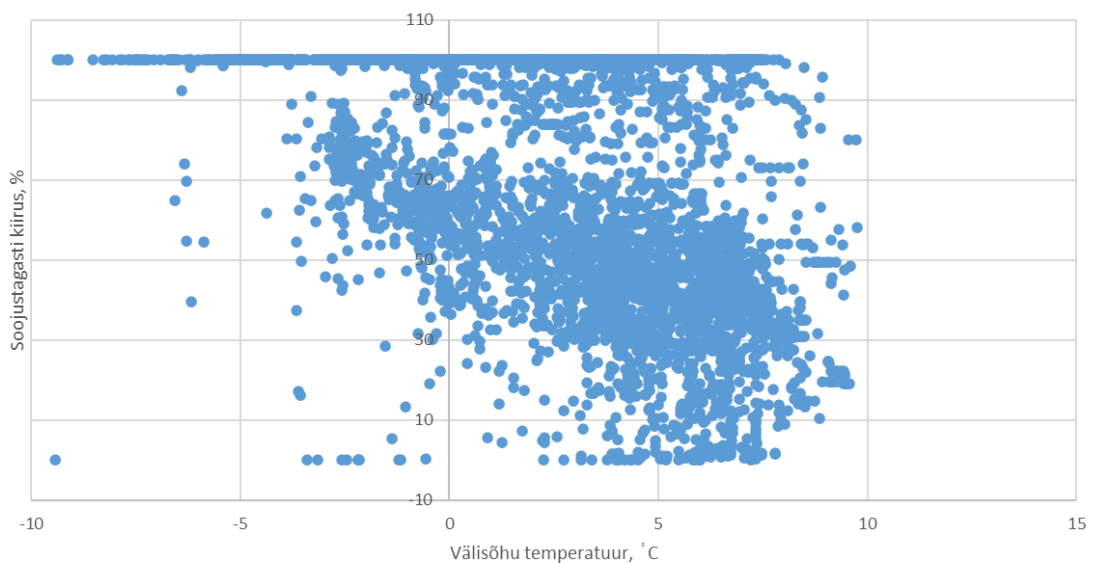
Näitena on toodud ventilatsiooniagregaadi sissepuhkeõhu ettevalmistus protsess ühe päeva jooksul, milleks oli 01.01.2019. Jooniselt 14 on näha, et sissepuhkeõhu temperatuur peale soojustagastit, sissepuhkeõhu temperatuur ja sissepuhkeõhu temperatuur peale küttekalorifeeri on tasakaalus ning kõikumise korral on kõik kolm parameetrit paralleelselt kõikunud. Küll aga on hüppelisel hetkel sissepuhkeõhk madalam sissepuhkeõhu temperatuurist peale küttekalorifeeri. Hüppeline hetk oli tekkinud kõikidel diagrammil märgitud parameetritel ühel ajal ehk kellaajaga 12.50. Parameetrite hüppelisuse põhjuseks võib olla näiteks see, et antud ajaperioodil paistis välisõhu temperatuuriandurile päike, mis soojendas seda ning tekitas vale temperatuuri tegelikusest, mille tõttu võisid ka parameetrid teha hüppelise tõusu.





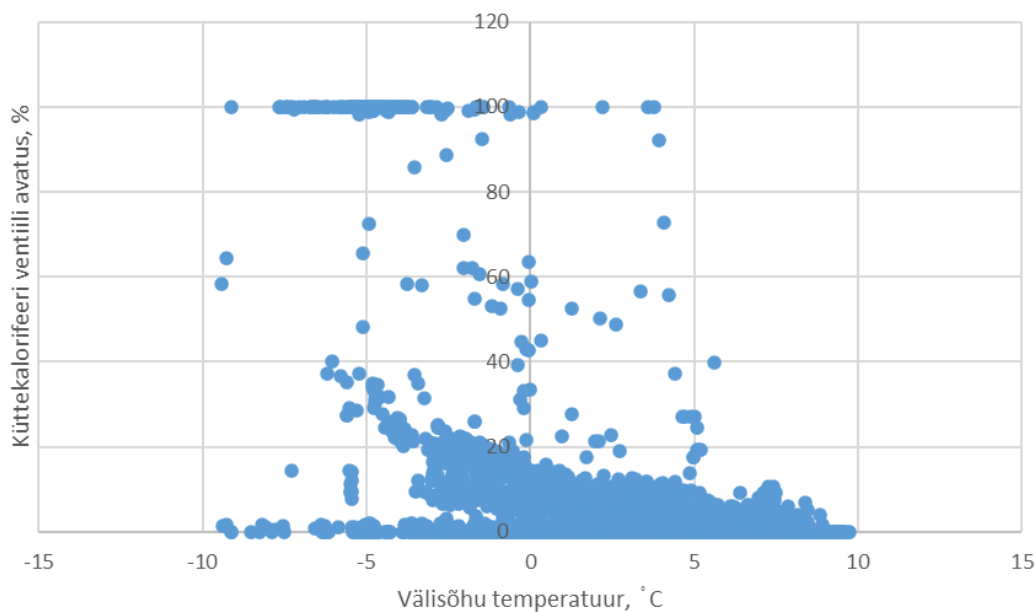
*Joonis 15. 469 ventilatsiooniagregaadi rõhulang üle sissepuhke ventilaatori diafragma ja rõhulangu seadepunkt üle sissepuhke ventilaatori diafragma*

469 ventilatsiooni agregaaadi rõhulang üle sissepuhke ventilaatori diafragma ja rõhulangu seadepunkt üle sissepuhke ventilaatori diafragma on kujutatud Joonisel 15. Diagrammilt on näha, et rõhulangu seadepunkt ja rõhulang on kogu vaadeldava perioodi jooksul kõikunud palju. Diagrammi teises pooles on näha, et rõhulang läheb madalamale rõhulangu seadepunktist. Samuti on Joonisel 15 näha, et sissepuhke temperatuur kõigub oluliselt. On näha teadaolev seos, et rõhulang ja temperatuurid on omavahel koosmõjus.



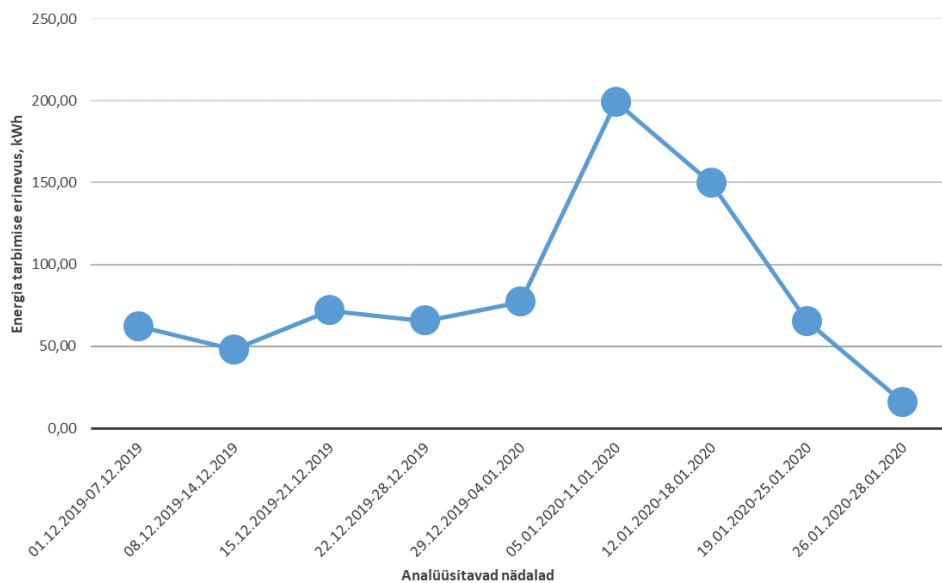
*Joonis 16. 469 ventilatsiooniagregaadi soojustagasti kiirus välisõhu temperatuuril*

Jooniselt 16 on näha, et madalatel temperatuuridel on soojustagasti kiirus kõrgem ning temperatuuri tõusuga hakkab rootori kiirus vähenema, kuid seejuures on olukordi, kus soojustagasti kiirus on 100% lähedal. Soojustagasti kiirus 100% on saavutatud temperatuuri vahemikus  $-9^{\circ}\text{C}$  kuni  $7^{\circ}\text{C}$ . Vahemikus  $0^{\circ}\text{C}$  kuni  $8^{\circ}\text{C}$  on graafikult näha, et soojustagasti kiirus on saavutanud ka vahemiku 70% kuni 100%. Samas vahemikus on näha, et soojustagastuse minimaalsed kiirused oli ligikaudu 8%. Kuna soojustagasti kiirus on pikema ajaperioodi jooksul konstantses asendis, siis võib tegu olla soojustagasti ventiili lahti jätmisega, mille tulemusena toimub ülekütmine. Samuti võib selle põhjuseks olla tegelik soojustagasti kiiruse vajadus.



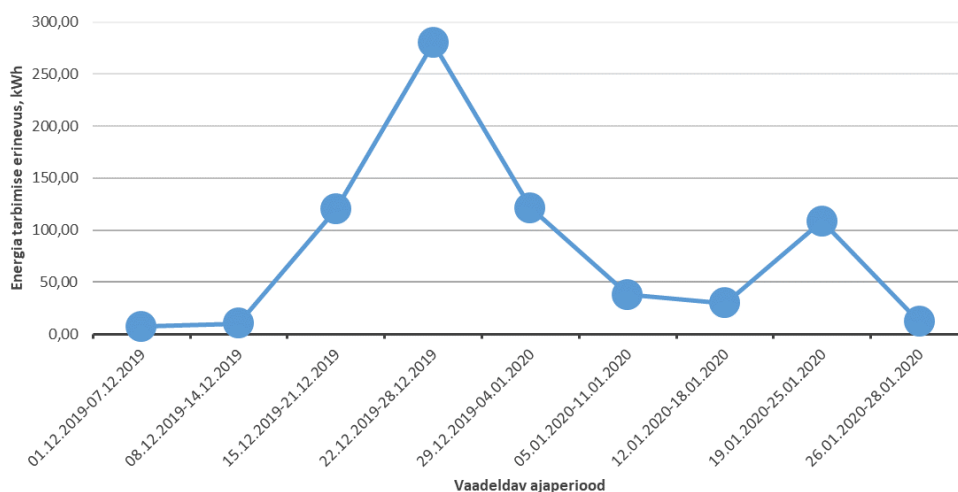
*Joonis 17. 469 ventilatsiooniagregaadi küttekalorifeeri ventiili avatus välisõhu temperatuuril*

469 ventilatsiooniagregaadi küttekalorifeeri ventiili avatus välisõhu temperatuuril on kujutatud Joonisel 17. Suurema osa ajast, vaatamata välisõhu temperatuurile, on küttekalorifeeri ventiili avatus olnud vahemikus 0% kuni 20%. Põhjuseks võib olla liiga suure võimsusega küttekalorifeer. Küttekalorifeeri ventiili avatus 100% on olnud välisõhu temperatuuril  $-9^{\circ}\text{C}$  kuni  $2^{\circ}\text{C}$ . Temperatuuri vahemikus  $0^{\circ}\text{C}$  kuni  $5^{\circ}\text{C}$  oli küttekalorifeeri avatus olnud paaril korral 100%, kusjuures samadel välisõhu temperatuuridel oli ka maksimaalne soojustagastuse kiirus. Esmalt peaks saavutama soojustagasti oma kiiruseks 100% ning seejärel alles avanema küttekalorifeeri ventiil. Põhjuseks võib olla samuti see, et küttekalorifeeri võimsus on liiga suur.



Joonis 18. 469 ventilatsiooniagregaadi energia tarbimise summa ülekütmise tõttu

Joonisel 18 on analüüsitud 469 ventilatsiooniagregaadi energiatarbimise summat ülekütmise tõttu. Kokku analüüsiti üheksa nädalat, kuna ülejäänud ajaperioodi kohta logid puuduvad. Kõige madalam energiatarbimise erinevus oli nädalal 25.01.2020-28.01.2020 väärtusega 15 kWh. Kõige suurem energiatarbimise erinevus oli nädalal 05.01.2020-11.01.2020, kui väärtus oli 199 kWh. Kokku üheksa nädala peale oli energia tarbimise erinevuseks 754 kWh. Võrreldes ventilatsiooni agregaadiga 467, kus energiatarbimise erinevuseks oli 262 kWh, siis ventilatsiooniagregaadil 469 on ligikaudne võimsuse erinevus peaaegu kolm korda suurem.



Joonis 19. 469 ventilatsiooniagregaadi energia tarbimise summa soojustagasti ja küttekalorifeeri koosmõjul

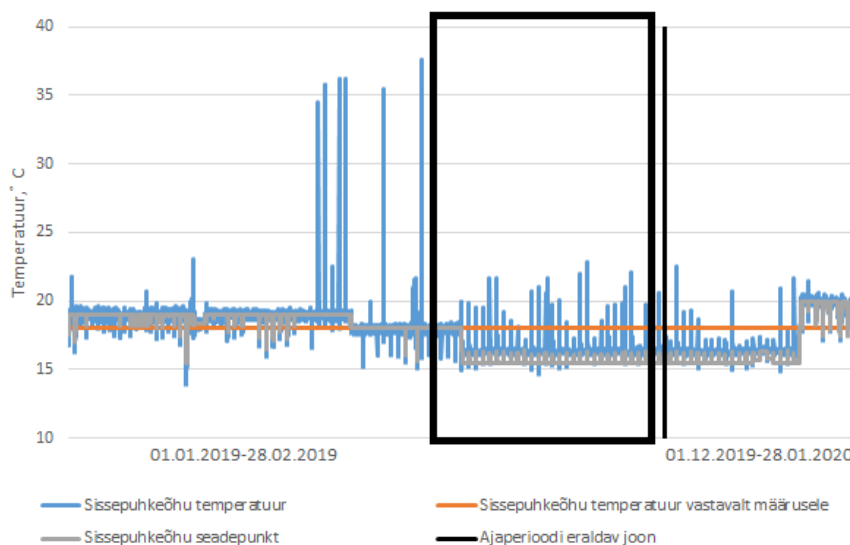
469 ventilatsiooniagregaadi energiatarbimise summat soojustagasti ja küttekalorifeeri koosmõjul analüüsiti üheksa nädalat, millest kõige väiksem energia tarbimise erinevus oli nädalal 01.12.2019-07.12.2019, kui väärtuseks oli 7 kWh. Kõige suuremaks väärtuseks oli 279 kWh perioodil 22.12.2019-28.12.2019. Üheksa nädala peale oli kokku energia tarbimise summaks 713 kWh.

#### 5.4 Ventilatsiooniagregaat 471

Kolmandaks analüüsitavaks ventilatsiooniagregaadiks on 471. 471 ventilatsiooniagregaat on soojustagastusega ja ühe küttekalorifeeriga. Jahutuspatarei antud seadmehel puudub nagu ka õhu retsirkulatsiooni võimalus.

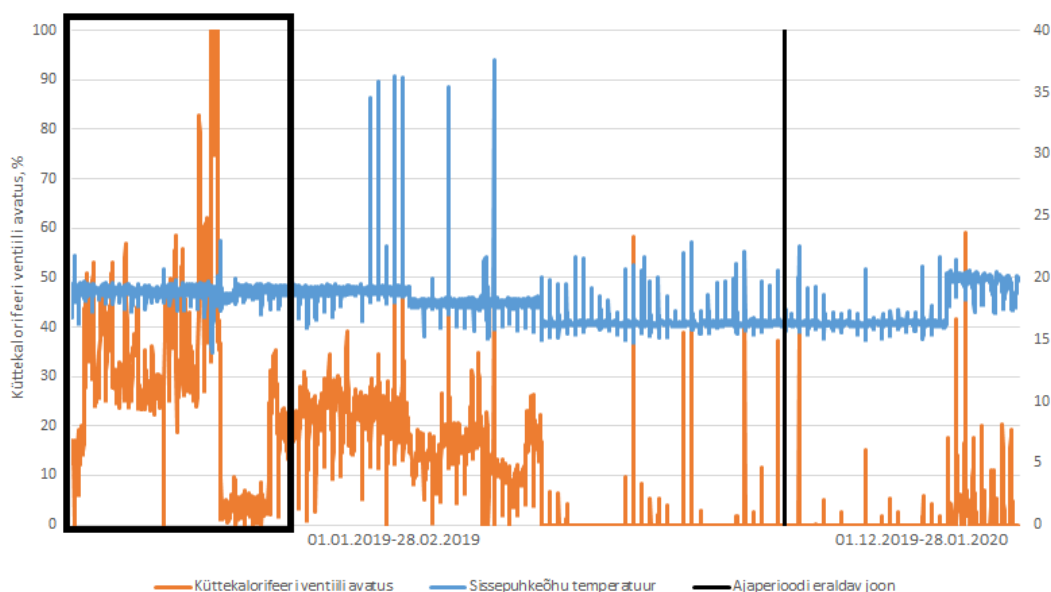
471 ventilatsiooniagregaadi soojustagastuse ja küttekalorifeeri koosmõju eesmärgiks oli näidata, et sissepuhke temperatuur peale soojustagastit ei tohi olla väiksem ruumi suunduvast sissepuhke temperatuurist, sellisel juhul peab soojustagasti kiirus olema mitte väiksem kui 90%. Kokku analüüsiti üheksateist nädalat, millest ühelgi nädalal üleval mainitud tingimust 100% ulatuses ei järgitud. Võib järeldada, et üheksateistkümnepäevase nädala jooksul pole rootorsoojustagasti töötanud efektiivselt.

Antud ventilatsiooniagregaadi hooldus teostati 03.12.2019. Hoolduspäevikus on puudustena välja toodud, et sissepuhkel on tarvis varurihmasid, väljatõmbe mootori laagrid vajavad vahetust, küttepump vajab keeramist, tarvis teha uus küttestorustiku tugi ja taastada kütte isolatsioon. Sissepuhke tarvidus varurihmade järel võib mõjutada rõulangu.



Joonis 20. 471 ventilatsiooniagregaadi sissepuhkeõhu temperatuur tegelikkuses, vastavalt seadeapunktile ja standardis ettenähtud sissepuhkeõhu temperatuurile

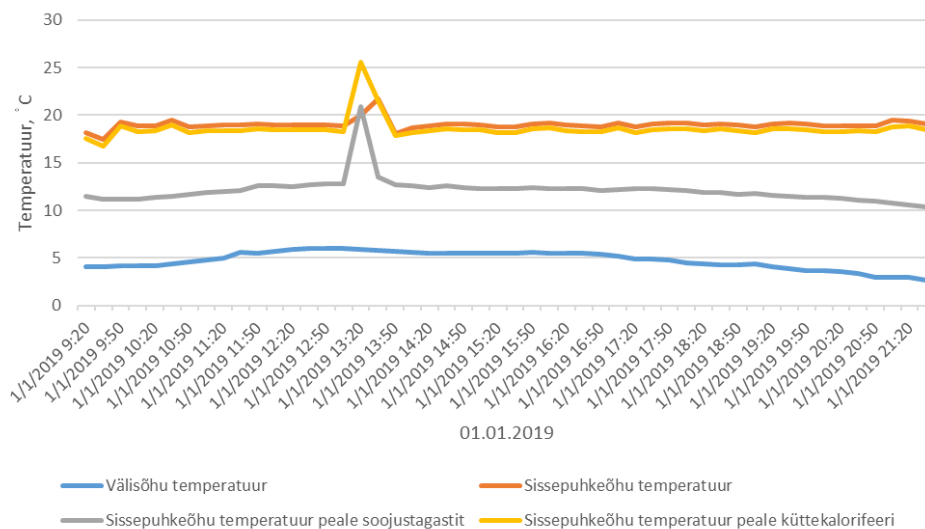
Joonisel 20 on kujutatud ventilatsiooniagregaadi 471 sissepuhkeõhu temperatuur tegelikkuses vastavalt seadearvule ja määrukses ettenähtud sissepuhkeõhu temperatuurile. Diagrammilt on näha, et määrukses ette nähtud temperatuur ja sissepuhkeõhu seadearu on olnud sama väärtusega lühikest aega kogu perioodist. Maksimaalseks mõõdetud sissepuhke temperatuuriks kogu ajaperioodi jooksul oli 37.6 ° C ja minimaalseks temperatuuriks 13.9 ° C. Esimeses diagrammi pooles suudab sissepuhkeõhu temperatuur enam-vähem tagada nõutud sissepuhkeõhu seadepunkti. Samuti võib diagrammilt välja lugeda, et ligikaudu poole ajast ei ole määrukses olev temperatuur ja sissepuhkeõhu seadepunkt paralleelsed ja seadepunkt on seadistatud madalamale, kui see tegelikult olema peaks.



*Joonis 21. 471 ventilatsiooniagregaadi sissepuhkeõhu temperatuur ja küttekalorifeeri ventiili avatus protsentuaalselt*

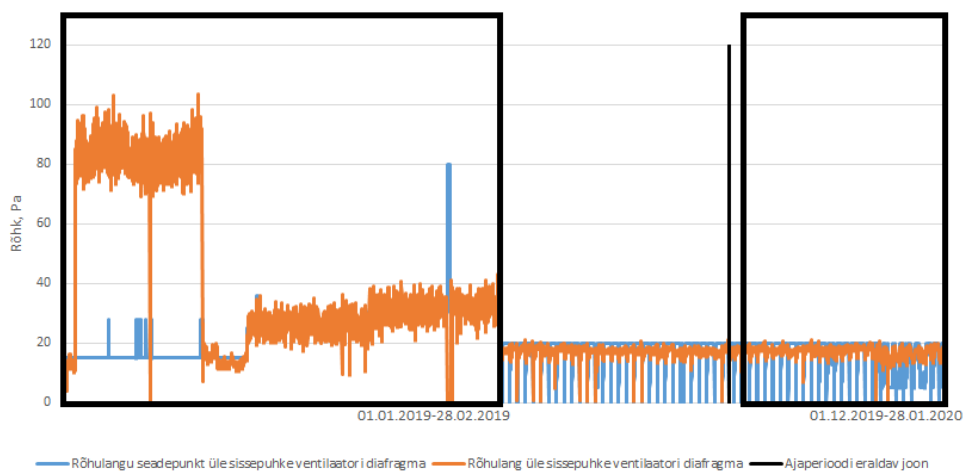
Sissepuhkeõhu temperatuuri ja küttekalorifeeri ventiili avatuse protsentuaalst on näha Joonisel 21. Diagrammil on näha sagedast küttekalorifeeri ventiili kõikumist. Maksimaalsel sissepuhkeõhu temperatuuril, milleks oli 37.6 ° C, on küttekalorifeeri ventiil avatud 55.3%. Minimaalse sissepuhkeõhu temperatuuril 13.9 ° C, oli küttekalorifeeri ventiil avatud 100%. Maksimaalse sissepuhkeõhu temperatuuri korral oleks pidanud ventiil ennast täielikult sulgema, et vältida õhu ülekütmist ning üleliigse energia tarbimist. Peale maksimaalset eelpool mainitud temperatuuri oli järgmisel logil 15-minutilise ajasammuga sissepuhkeõhu temperatuur 15.8 ° C ja küttekalorifeeri ventiili avatus 4.23%. Ehk antud ajaperioodil toimus järsk sissepuhkeõhu temperatuuri langus ja küttekalorifeeri ventiil oli peaaegu kinni. Diagrammilt on näha, et küttekalorifeeri ventiil avaneb äkitselt, mille võivad põhjustada parameetrite või automaatika vead.

Samuti võib antud diagrammilt näha, et perioodidel, kui temperatuur on selgelt üle seadepunkti, siis on küttekalorifeer läinud avatuks täisvõimsusele, kuigi tegelikult seda pole vaja. Põhjuseks võib olla torustikus tehtud muudatused. Näiteks mõni klapi asendi muutmisel või renoveerimise käigus tehtud muudatused.



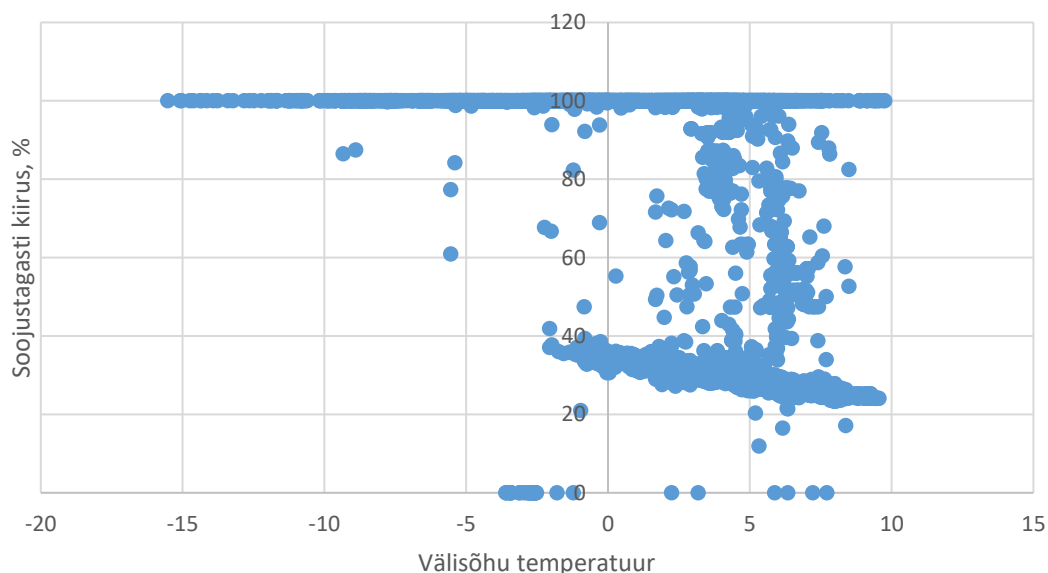
*Joonis 22. 471 ventilatsiooniagregaadi ühe päeva sissepuhkeõhu ettevalmistus protsess*

471 ventilatsiooniagregaadi ühe päeva sissepuhkeõhu ettevalmistuse protsessis on näha Joonisel 22 ühte hüppelist kõikumist kolmel parameetril. Kõikumise perioodil on sissepuhkeõhu temperatuur madalam sissepuhkeõhu temperatuurist peale küttekalorifeeri. Parameetrite järsk tõus on toimunud päeval kellaaajal 12.50. Põhjuseks võib olla, et küttekalorifeer soojendas sissepuhkeõhu temperatuuri, et saavutada seadepunktil määratud temperatuuri. Samuti võib põhjuseks olla anduri viga. Parameetrite hüppelisuse põhjuseks võib olla näiteks see, et antud ajaperioodil paistis välisõhu temperatuurandurile päike, mis soojendas seda ning tekitas vale temperatuuri tegelikusest, mille tõttu võisid ka parameetrid teha hüppelise tõusu.



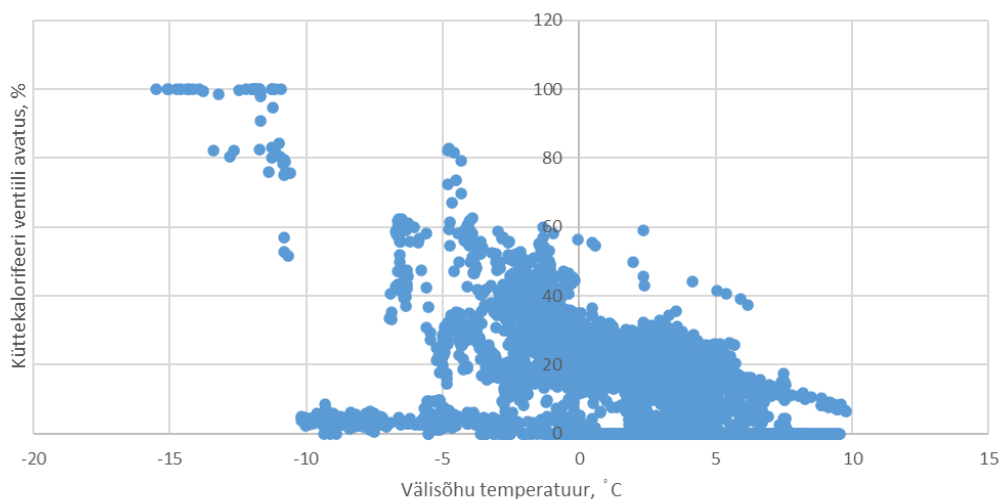
*Joonis 23. 471 ventilatsiooniagregaadi rõhulang üle sissepuhke ventilaatori diafragma ja rõhulangu seadepunkt üle sissepuhke ventilaatori diafragma*

471 ventilatsiooniagregaadi rõhulang üle sissepuhke ventilaatori diafragma ja rõhulangu seadepunkti üle sissepuhke ventilaatori diafragma on kujutatud Joonisel 23 . Diagrammi teises pooles on aktiivne rõhulangu seadepunkti muutus, seal juures rõhulang ise ei ole suures kõikumises. Diagrammi esimeses pooles on stabiilne rõhulangu seadepunkt, sealjuures aga rõhulang ise on oma väärtuste poolest väga kõikuv ning kordades kõrgem rõhulangu seadepunktist. Olulisemaks on antud diagrammil suur erinevus seadepunktist.



*Joonis 24. 471 ventilatsiooniagregaadi soojustagasti kiirus välisõhu temperatuuril*

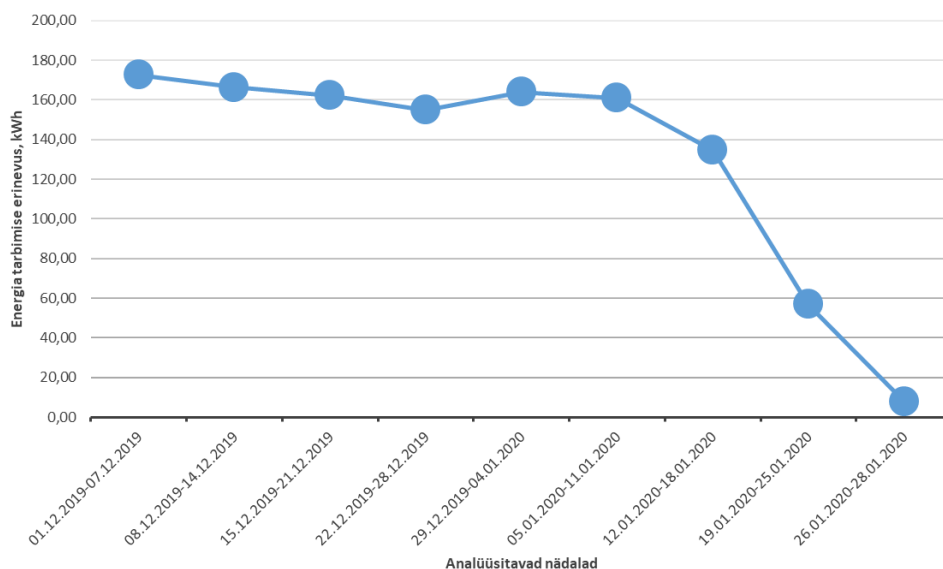
471 ventilatsioonigregaaadi soojustagasti kiirus välisõhu temperatuuril on kujutatud Joonisel 24. Graafikult on näha, et soojustagasti kiirus püsib stabiilselt 100% peal välisõhu temperatuuril  $-16^{\circ}\text{C}$  kuni  $10^{\circ}\text{C}$ . Alates  $-3^{\circ}\text{C}$  hakkab soojustagasti kiirus langema, kuid seejuures välisõhu temperatuuril vahemikus  $1^{\circ}\text{C}$  kuni  $9^{\circ}\text{C}$  on näha, et soojustagasti kiirus kõigub vahemikus 20% kuni 100%. Soojemate ilmade puhul pole enamasti tarvis, et soojustagasti kiirus oleks maksimaalne. Samuti on soojade ilmade korral väga palju registreeritud hetki, kus soojustagasti kiirus on 100%. Antud nähtus võib tekitada lisaneenergia kulu. Kuna soojustagasti kiirus on pikema ajaperioodi jooksul konstantses asendis, siis võib tegu olla soojustagasti ventiili lahti jätmisega, mille tulemusena toimub ülekütmine. Samuti võib selle põhjuseks olla tegelik soojustagasti kiiruse vajadus.



*Joonis 25. 471 ventilatsioonigregaaadi küttekalorifeeri ventiili avatus välisõhu temperatuuril*

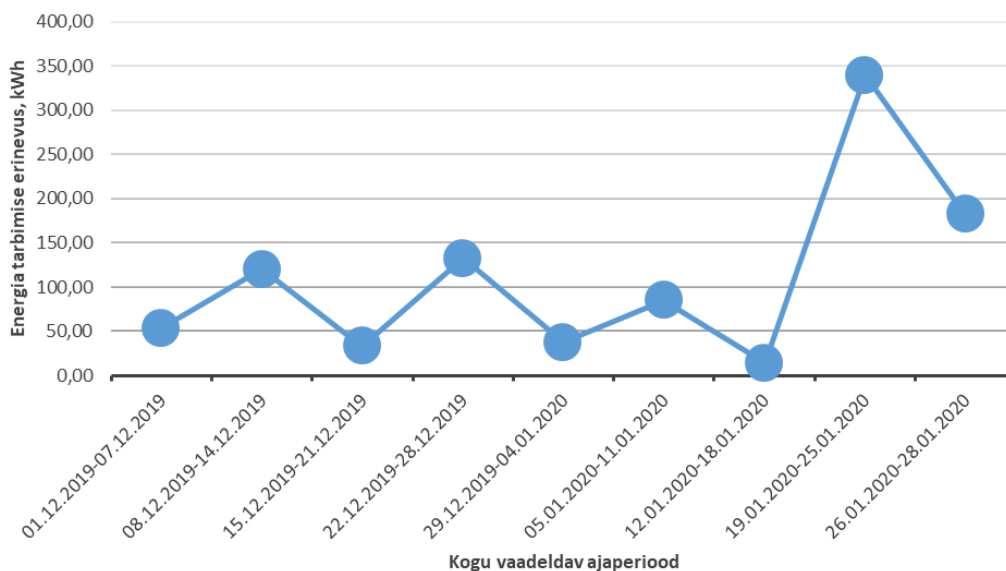
471 ventilatsioonigregaaadi küttekalorifeeri ventiili avatus välisõhu temperatuuril on kujutatud Joonisel 25. Antud graafikul on näha, et küttekalorifeeri maksimaalne avatus ehk 100% saavutatakse välisõhu temperatuuril vahemikus  $-16^{\circ}\text{C}$  kuni  $-11^{\circ}\text{C}$ . Enamuse ajast on küttekalorifeeri ventiili avatus vahemikus 0% kuni 60%. Mõned üksikud korrad on ventiili avatus olnud kuni 85%. Antud graafikult on näha, et välisõhu temperatuuri tõusuga väheneb küttekalorifeeri ventiili avatus. Samuti võib antud graafikult järeldada, et soojusvaheti võib saada enda ülesandega hakkama ning ei vaja õhu soojendamiseks maksimaalset küttekalorifeeri ventiili avatust. Põhjuseks võib olla samuti see, et küttekalorifeeri võimsus on liiga suur.





Joonis 26. 471 ventilatsiooniagregaadi energia tarbimise summa ülekütmise tõttu

471 ventilatsiooniagregaadi energiatarbimise summa ülekütmise tõttu on kujutatud Joonisel 26. Kokku analüüsi üheksa nädalat, kuna andmed olid analüüsimiseks ainult antud perioodi kohta. Kõige suurem energiatarbimine oli nädalal 01.12.2019-07.12.2019, kui suurimaks väärtuseks 172 kWh ning väikseimaks väärtuseks oli 7 kWh vahemikus 26.01.2020-28.01.2020. Kokku oli üheksa nädala peale energiatarbimise erinevuseks 1180 kWh.



Joonis 27. 471 ventilatsiooni agregaadi energia tarbimise summa soojustagasti ja küttekalorifeeri koosmõjul

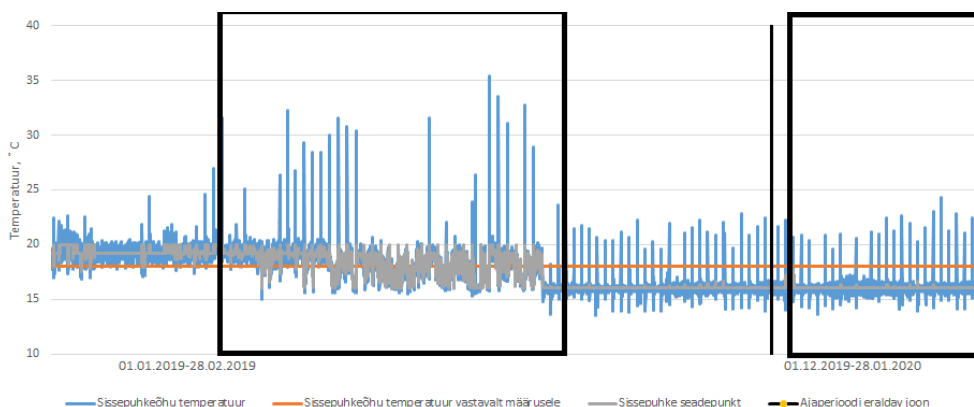
Analüüsi kokku üheksa nädalat, millest ühel nädalal oli minimaalseks energiatarbimise erinevuseks perioodil 12.01.2020-18.01.2020 13 kWh. Maksimaalseks energiatarbimise erinevuseks oli 338 kWh perioodil 19.01.2010-25.01.2020. Kokku oli üheksa nädala jooksul energia tarbimise erinevuseks soojustagasti ja küttekalorifeeri koosmõjul 996 kWh.

## 5.5 Ventilatsiooniagregaat 474

Neljandaks vaadeldavaks ventilatsiooniagregaadiks on 474. Antud agregaat on vahekandjaga soojustagastusega, ühe küttekalorifeeriga ja ühe jahutuspatareiga.

474 ventilatsiooniagregaadi hooldus teostati 05.12.2019. Hoolduspäevikus oli puudustena välja toodud, et sissepuhke mootori laagrid vajavad vahetamist, kütte isolatsioon vajab taastamist, küttepump vajab keeramist ja ettepanekuna on tehtud haisuluku vahetamist.

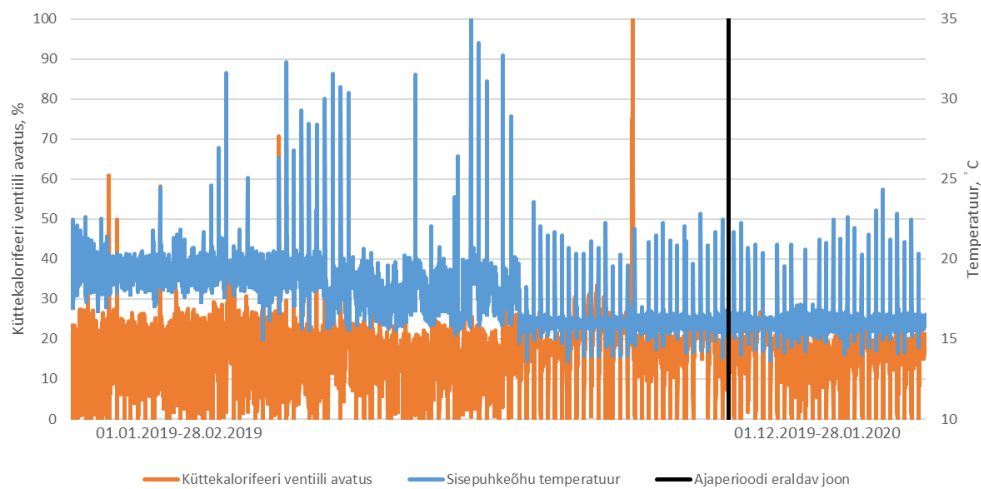
Analüüsi eesmärgiks oli näidata, et sissepuhke temperatuur peale soojustagastit ei tohi olla väiksem ruumi suunduvast sissepuhke temperatuurist, sellisel juhul peab soojustagasti kiirus olema mitte väiksem kui 90%. Kokku analüüsi üheksateist nädalat, millest ühelgi nädalal üleval mainitud tingimust 100% ulatuses ei järgitud. Võib järeldada, et üheksateistkümmne nädala jooksul pole vahesoojuskandjaga soojustagasti töötanud efektiivselt.



Joonis 28. 474 ventilatsiooniagregaadi sissepuhkeõhu temperatuur tegelikkuses, vastavalt seadearvule ja määruse ettenähtud sissepuhkeõhu temperatuurile

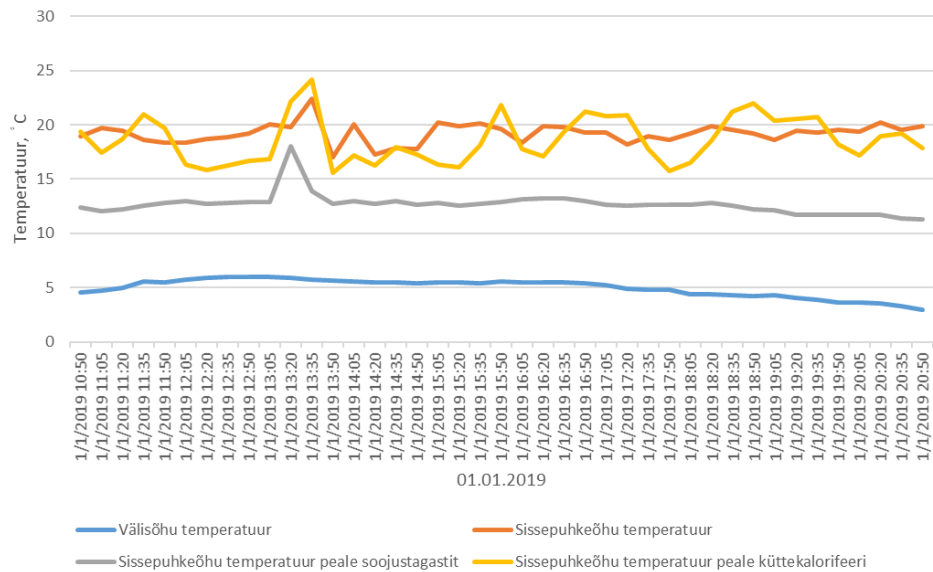
474 ventilatsiooniagregaadi sissepuhkeõhu temperatuur tegelikkuses vastavalt seadeapunktile ja määruses ettenähtud sissepuhkeõhu temperatuurile. Sissepuhkeõhu seadeapunkt enamasti kõigub 15 ° C ja 20 ° C vahel. Joonise 28 teises pooles on näha, et valdavalt sissepuhkeõhu seadeapunktiks on 16 ° C, kuid selle juures kõigub sissepuhkeõhu temperatuur. Diagrammi keskel võib aga näha, et seadeapunkt ja tegelik

sissepuhke temperatuur on tasakaalus, on vaid paar erandlikku juhtumit, kui kaks tingimust ei ole täidetud. Maksimaalseks mõõdetud sissepuhke temperatuuriks oli 35.36 °C ja minimaalseks sissepuhke temperatuuriks 13.6 °C.



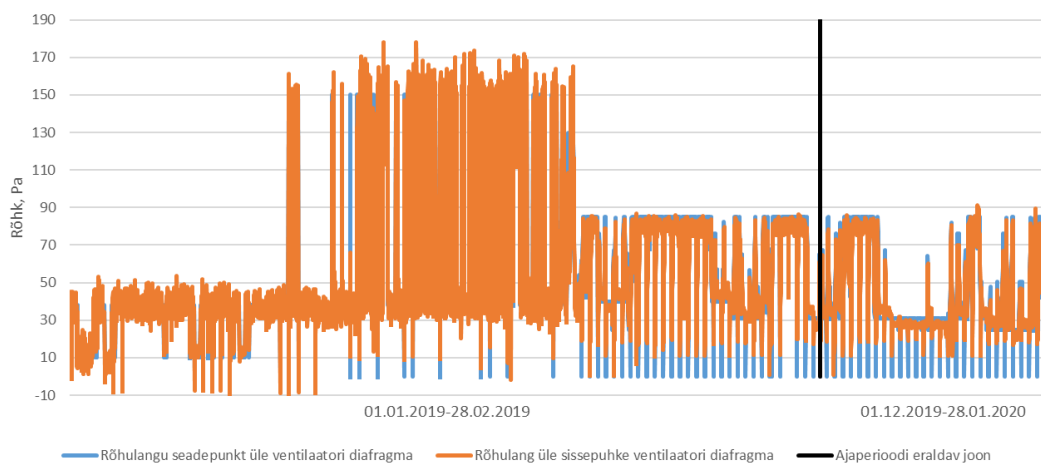
*Joonis 29. 474 ventilatsiooniagregaadi sissepuhkeõhu temperatuur ja küttekalorifeeri ventiili avatus protsentuaalselt*

474 ventilatsiooniagregaadi sissepuhkeõhu temperatuuri ja küttekalorifeeri ventiili avatuse protsentuaalsuse diagrammil on näha esimeses pooles väga tihedat küttekalorifeeri ventiili avatuse kõikumist, samuti on paralleelselt näha sissepuhkeõhu tihedat kõikumist paari kraadi ulatuses. Maksimaalne mõõdetud sissepuhke temperatuur oli 35.3 °C, küttekalorifeeri ventiil avatud 1 % ja minimaalsel sissepuhke temperatuuril 13.62 °C 25%. Suurt ventiili ja temperatuuri kõikumist on põhjustanud Joonisel 29, kujutatud on tihe seadepunkti muutumine diagrammi esimeses pooles. Samuti võib diagrammilt näha, et küttekalorifeeri ventiili avatus kõigub järsult, mis omakorda põhjustab temperatuuri kõikumist. Põhjuseks võib olla ka kõrge kalorifeeri temperatuur. Kui küttekalorifeer on avatud maksimaalselt, siis on näha ka sissepuhkeõhu temperatuuri tõusmist koosmõjus küttekalorifeeri avatusega. Samuti võib antud diagrammilt näha, et perioodidel, kui temperatuur on selgelt üle seadepunkti, siis on küttekalorifeer läinud avatuks täisvõimsusele, kuigi tegelikult seda pole vaja. Põhjuseks võib olla torustikus tehtud muudatused. Näiteks mõni klapi asendi muutmisel või renoveerimise käigus tehtud muudatused.



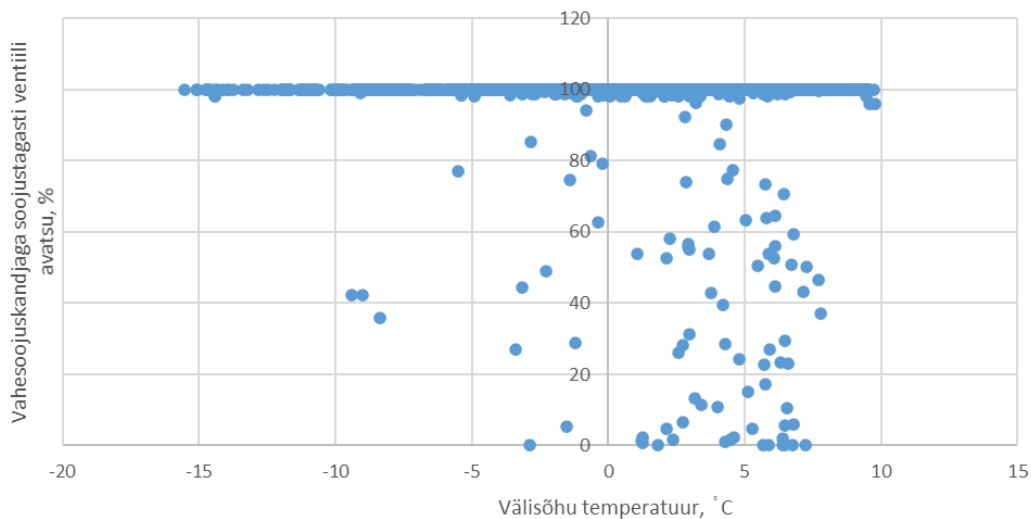
Joonis 30. 474 ventilatsiooniagregaadi ühe päeva sissepuhkeõhu ettevalmistus protsess

Nagu ka eelnevatel ühe päeva sissepuhkeõhu ettevalmistusprotsessi diagrammidel on ka Joonisel 30 näha ühte järku kõikumist, kus sissepuhkeõhu temperatuur peale küttekalorifeeri on kõrgem sissepuhkeõhu temperatuurist. Samuti on sama kõikumist täheldatud terve päeva jooksul. Sissepuhkeõhu temperatuur peale soojustagastit on üsna stabiilne. Päeva jooksul sissepuhkeõhu temperatuur ja sissepuhkeõhu temperatuur peale küttekalorifeeri pole eelnevatel agregaatidel kõikunud nii märgatavalt. Põhjuseks võib olla ebasobival kohal asuv temperatuuriandur, mille tagajärjel ei segune õhk hästi. Parameetrite hüppelisuse põhjuseks võib olla näiteks see, et antud ajaperioodil paistis välisõhu temperatuuriandurile päike, mis soojendas seda ning tekitas vale temperatuuri tegelikusest, mille tõttu võisid ka parameetrid teha hüppelise tõusu.



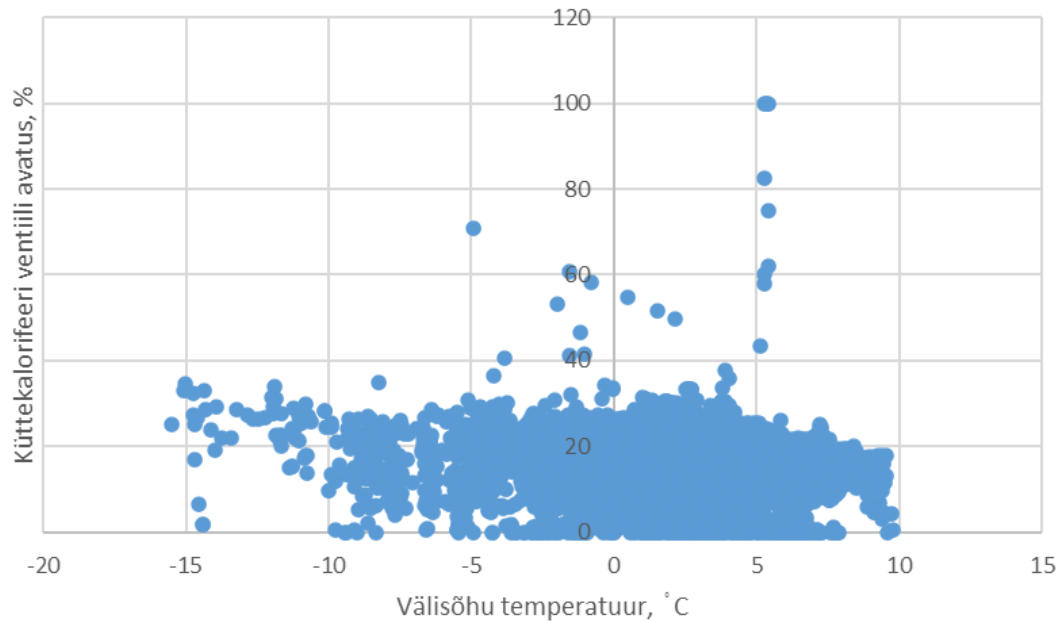
Joonis 31. 474 ventilatsiooni agregaadi rõhulang üle sissepuhke ventilaatori diafragma ja rõhulangu seadepunkt üle sissepuhke ventilaatori diafragma

474 ventilatsiooniagregaadi rõhulang on esimeses diagrammi pooles rõhulangu seadepunktiga koosmõjus ning suuri erinevusi pole. Küll aga diagrammi teises pooles on rõhulangu seadepunkt madalam rõhulangust üle sissepuhke ventilaatori diafragma. Joonisel 31 ei ole näha koosmõju sissepuhke temperatuuri ja rõhulangu üle sissepuhke ventilaatori diafragma vahel.



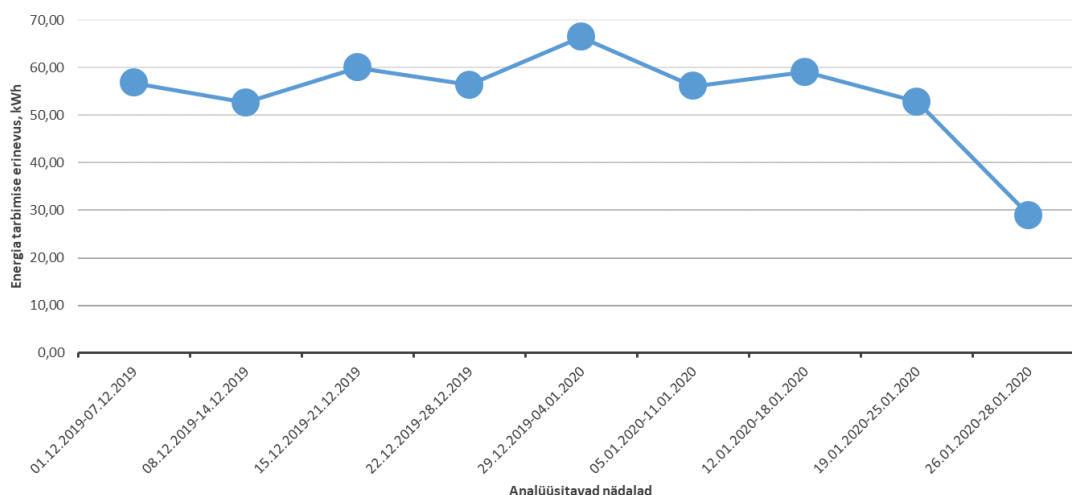
*Joonis 32. 474 ventilatsiooniagregaadi vahesoojuskandjaga soojustagasti ventiili avatus välisõhu temperatuuril*

Joonisel 32 on näha 474 ventilatsiooniagregaadi vahesoojuskandjaga soojustagasti ventiili avatus välisõhu temperatuuril. Välisõhu temperatuuril vahemikus  $-16^{\circ}\text{C}$  kuni  $-10^{\circ}\text{C}$  on vahesoojuskandjaga soojustagasti ventiil olnud avatud 100%, mõned registreeritud punktid on olnud vahemikus 0% kuni 98%. Antud graafikut jälgides võib väita, et soojustagasti on töötanud stabiilselt konstantses asendis vaatamata välisõhu temperatuurile. Kuna vahesoojuskandjaga soojutagasti kiirus on pikema ajaperioodi jooksul konstantses asendis, siis võib tegu olla soojustagasti ventiili lahti jätmisega, mille tulemusena toimub ülekütmine. Samuti võib selle põhjuseks olla tegelik soojustagasti kiiruse vajadus.



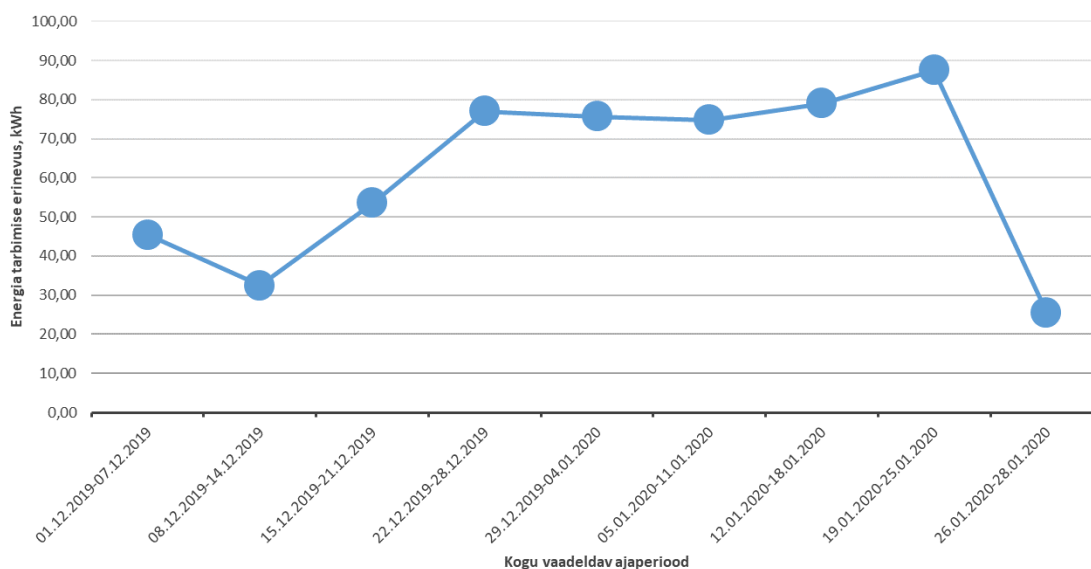
*Joonis 33. 474 ventilatsiooniregulaatori küttekalorifeeri ventiili avatus välisõhu temperatuuril*

474 ventilatsiooniregulaatori küttekalorifeeri ventiili avatus välisõhu temperatuuril on kujutatud Joonisel 33. Küttekalorifeeri 100% ventiili avatus on saavutatud ühel korral välisõhu temperatuuril 6 ° C. Enamuse ajast on küttekalorifeeri avatus sõltumata välisõhu temperatuurist jäänud vahemiku 0% kuni 40%. Silma jääb see, et välisõhu temperatuuril -15 ° C ei ole küttekalorifeeri ventiili avatus tõusnud, kuid välisõhu temperatuuril 6 ° C on küttekalorifeeri ventiili avatus olnud 100%. Kuna küttekalorifeeri pole kasutatud maksimaalselt, siis võib Joonise 33 põhjal väita, et vahesoojuskandjaga soojustagasti on hakkama saanud enda funktsiooniga ning seda pole olnud tarvidust kasutada, sest enamuse ajast oli vahesoojuskandja ventiil avatud 100%. Samuti oli näha õhu ettevalmistus protsessist, et pärast soojustagastit pole sissepuhkeõhk piisavalt soe. Samuti võib antud graafikult järeldada, et soojusvaheti võib saada enda ülesandega hakkama ning ei vaja õhu soojendamiseks maksimaalset küttekalorifeeri ventiili avatust. Põhjuseks võib olla samuti see, et küttekalorifeeri võimsus on liiga suur.



*Joonis 34. 474 ventilatsiooniagregaadi energia tarbimise summa ülekütmise tõttu*

474 ventilatsiooniagregaadi energiatarbimise summa nädalate kaupa ülekütmise tõttu on kujutatud Joonisel 34. Kokku analüüsiti kaheksa nädalat, kuna rohkem logisid antud ventilatsiooniagregaadi kohta ei olnud. Kaheksast nädalast oli kõige suurem ligikaudne võimsuste erinevus vahemikul 29.12.2019-04.01.2020 väärtuses 66 kWh ja kõige väiksem väärtus 28 kWh nädalal 26.01.2020-28.01.2020. Kokku oli vaadeldud perioodi energia tarbimise erinevuseks 489 kWh.



*Joonis 35. 474 ventilatsiooniagregaadi energiatarbimise summa soojustagasti ja küttekalorifeeri koosmõjul*

Analüüsiti üheksa nädalat, kus minimaalne leitud energia tarbimise erinevuseks oli perioodil 26.01.2020-28.01.2020 25 kWh. Maksimaalseks leitud energiatarbimise

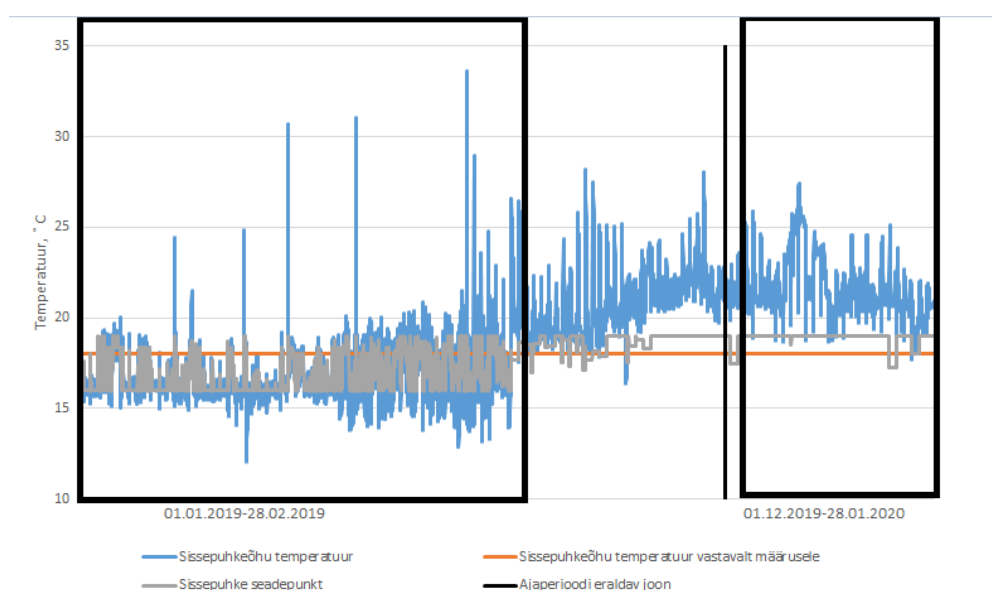
erinevuseks oli 87.48 kWh perioodil 19.01.2020-25.01.2020. Alates 08.12.2019-14.12.2019 tegi energiatarbimine järsu tõusu. Järsem langus toimus perioodil 19.01.2020-25.01.2020, peale mille oli saavutatud madalaim leitud väärtus.

## 5.6 Ventilatsiooniagregaat 475

Viiendaks vaadeldavaks ventilatsiooniagregaadiks oli 475. Ventilatsiooniagregaat on vahesoojuskan djaga soojustagastusega ja ühe küttekalorifeeriga.

475 ventilatsiooniagregaadi hooldus teostati 05.12.2019. Antud hoolduse käigus toodi puudustena välja sissepuhkeventilaatori mootoririhm on tarvis vahetada, soojustagasti isolatsioon on mõnes kohas katki, külmakaitse andur on liitest väljas (15 cm), väljatõmbe poole filtrikotid on horisontaalselt, küttekalorifeeri liitmik lekib ja kolmik roostes, agregaat ise on väljast must. Siit võib järeldada, et küttekalorifeeri liitmiku lekke tagajärjel väheneb süsteemi efektiivsus, toimuvad soojuskaod ning sissepuhkeõhk ei pruugi saavutada vajalikku seadepunkti poolt määratud temperatuuri.

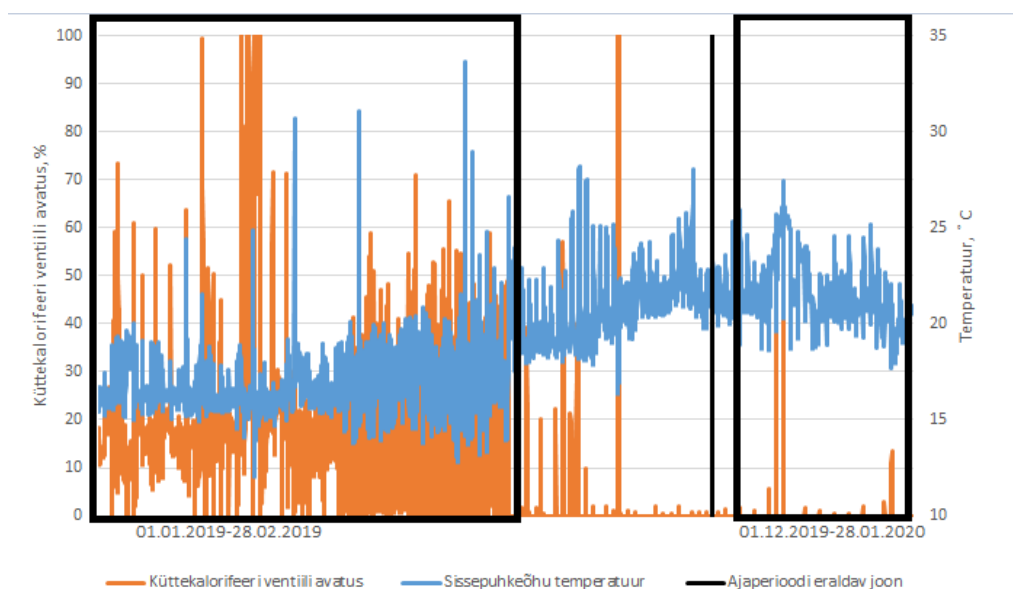
Esimeseks eesmärgiks oli näidata, et sissepuhke temperatuur peale soojustagastit ei tohi olla väiksem ruumi suunduvast sissepuhke temperatuurist, sellisel juhul peab soojustagasti kiirus olema mitte väiksem kui 90%. Kokku analüüsiti üheksateist nädalat, millest ühelgi nädalal üleval mainitud tingimust 100% ulatuses ei järgitud, millest võib järeldada, et üheksateistkümn e nädala jooksul pole vahesoojuskan djaga soojustagasti töötanud efektiivselt.





Joonis 36. 475 ventilatsiooniagregaadi sissepuhkeõhu temperatuur tegelikkuses, vastavalt seadepunktile ja määruuses ettenähtud sissepuhkeõhu temperatuurile

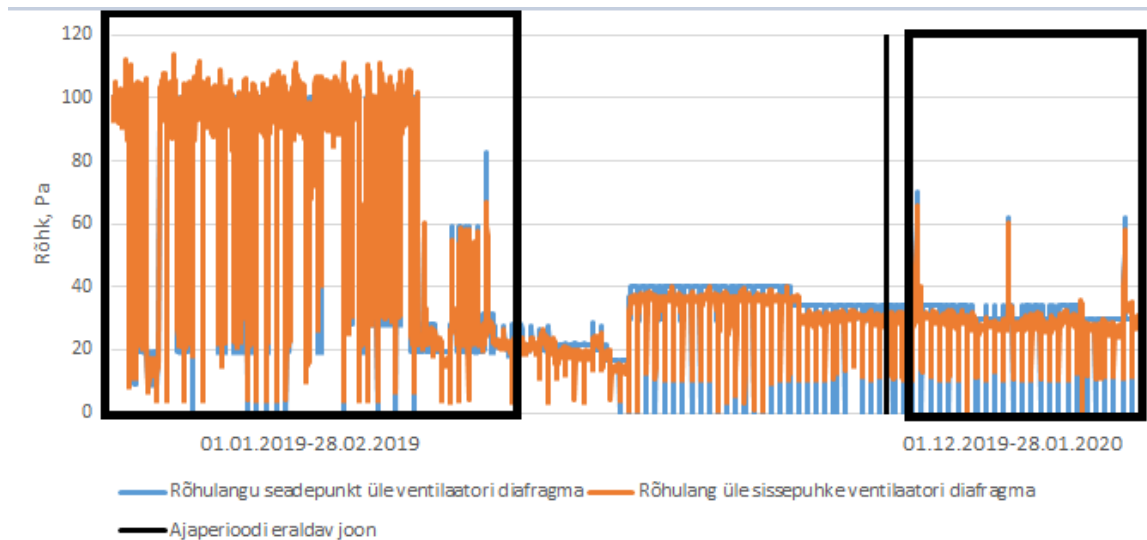
475 ventilatsiooniagregaadi sissepuhkeõhu temperatuur tegelikkuses, vastavalt seadearvule ja määruuses ettenähtud sissepuhkeõhu temperatuurile on kujutatud Joonisel 36. Diagrammi esimeses pooles on näha aktiivseid sissepuhkeõhu seadepunkti muudatusi, seal juures on näha ka sissepuhkeõhu tegeliku temperatuuri paari kraadilist kõikumist, kuid see püsib siiski lähedal sissepuhkeõhu seadepunktile. Diagrammi teises pooles on näha, et sissepuhkeõhu seadepunkti ei ole väga tihti muudetud, kuid selle juures ei järgi sissepuhkeõhu temperatuur talle ette määratud sissepuhkeõhu seadepunkti. Maksimaalseks mõõdetud sissepuhke temperatuuriks oli 33.6 ° C ja minimaalseks mõõdetud temperatuuriks 12.1 ° C



Joonis 37. 475 ventilatsiooniagregaadi sissepuhkeõhu temperatuur ja küttekalorifeeri ventiili avatus protsentuaalselt

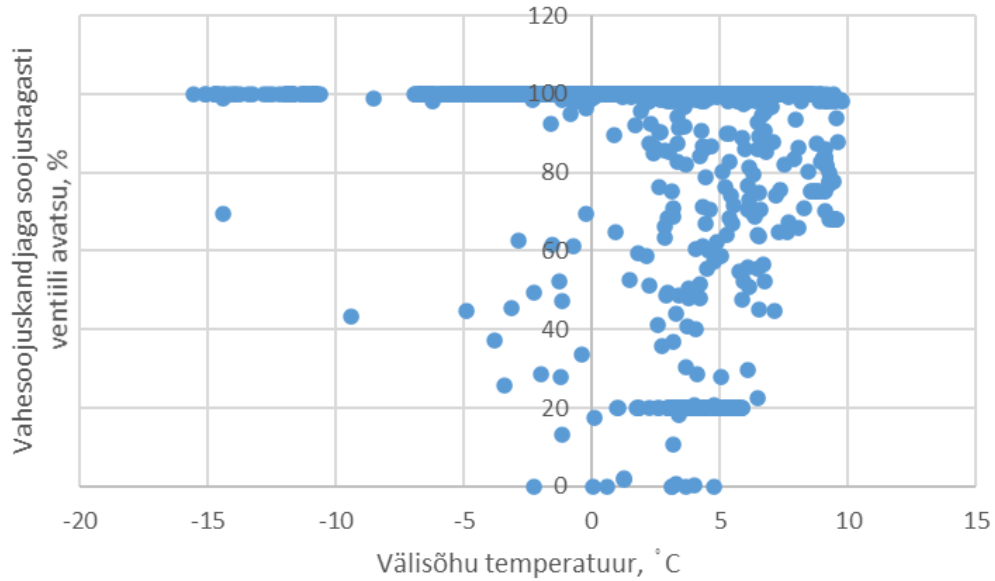
475 ventilatsiooniagregaadi sissepuhkeõhu temperatuuri ja küttekalorifeeri ventiili avatuse protsentuaalsel diagrammil on näha esimeses pooles nii küttekalorifeeri ventiili kui ka sissepuhkeõhu temperatuuri aktiivset kõikumist. Maksimaalse mõõdetud temperatuuri 33.6 ° C juures oli küttekalorifeeri ventiili avatus 0.2%, välisõhu temperatuur oli 1.2 ° C ja väljatõmbe temperatuur oli 19.6 ° C. Tegemist oli esimese registreeritud temperatuuriga kuupäeval 23.02.2019 kell 07.50 hommikul. Minimaalse mõõdetud temperatuuri 12.1 ° C juures oli küttekalorifeeri ventiil avatud 99.3% ehk maksimaalsete ja minimaalsete temperatuuride juures on küttekalorifeeri ventiili juhtinud end õigel põhimõttel. Kui tegemist oli kõrge temperatuuriga, siis ventiil oli praktiliselt kinni. Minimaalsel temperatuuril olukorras, kus oli vaja tõsta sissepuhkeõhu

temperatuuri oli küttekalorifeeri ventiil maksimaalselt lahti. Antud ventilatsiooniagregaadi juures oli kogu perioodi minimaalne ventiili avatus 0% ja maksimaalne ventiili avatus 100%. . Samuti võib antud diagrammilt näha, et perioodidel, kui temperatuur on selgelt üle seadepunkti, siis on küttekalorifeer läinud avatuks täisvõimsusele, kuigi tegelikult seda pole vaja. Põhjuseks võib olla torustikus tehtud muudatused. Näiteks mõni klapi asendi muutmisel või renoveerimise käigus tehtud muudatused.



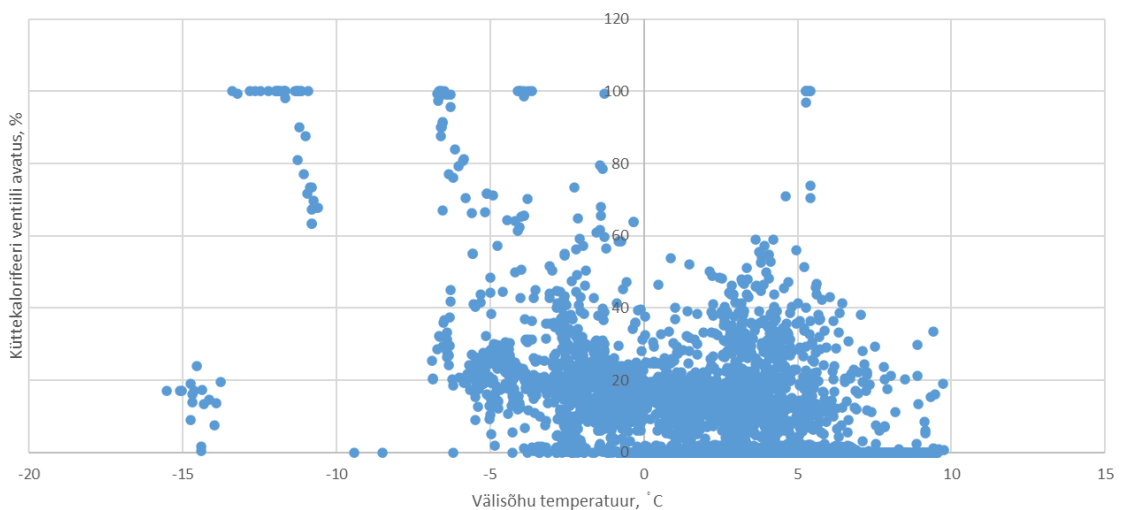
*Joonis 38. 475 ventilatsiooni agregaaadi rõhulang üle sissepuhke ventilatori diafragma ja rõhulangu seadepunkt üle sissepuhke ventilatori diafragma*

Rõhulang üle sissepuhke ventilatori diafragma ja rõhulangu seadepunkt üle sissepuhke ventilatori diafragma diagrammi esimeses pooles on suur rõhkude kõikumine, mis on põhjustatud rõhulangu seadepunkti kõikumisest ning vahe kahe punkti vahel ei ole suuresti märgatavad. Teises diagrammi pooles on rõhulang üle sissepuhke ventilatori diafragma väärtused väiksemad võrreldes diagrammi esimese poolega, kuid rõhulangu seadepunkti ja rõhulangu vahel on suuremad väärtused.



*Joonis 39. 475 ventilatsiooniagregaadi vahesoojuskandjaga soojustagasti ventiili avatus välisõhu temperatuuril*

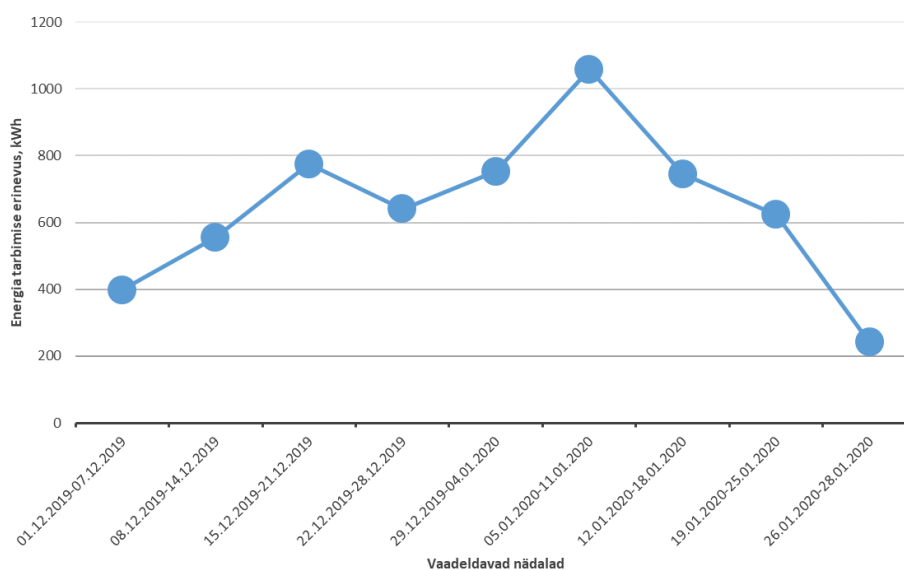
475 ventilatsiooniagregaadi vahesoojuskandjaga soojustagasti ventiili avatus välisõhu temperatuuril on kujutatud Joonisel 39 . Nagu ka eelmise ventilatsiooniseadme puhul on ka sellel agregaadil enamik ajast vahesoojuskandja soojustagasti ventiili avatus 100%, kuid temperatuuridel vahemikus 0 ° C kuni 10 ° C on ventiili avatuse kõikumine olnud fikseeritud ka vahemikus 0% kuni 100%. Välisõhu temperatuuril -8 ° C ei ole aga antud graafiku põhjal vahesoojuskandja ventiil avatud, samuti nagu ka temperatuuril -10 ° C kuni -9 ° C. Välisõhu temperatuuri tõusuga ei ole märgata, et vahesoojuskandja ventiili avatus oleks suuresti vähenenud.



*Joonis 40. 475 ventilatsiooniagregaadi küttekalorifeeri ventiili avatus välisõhu temperatuuril*

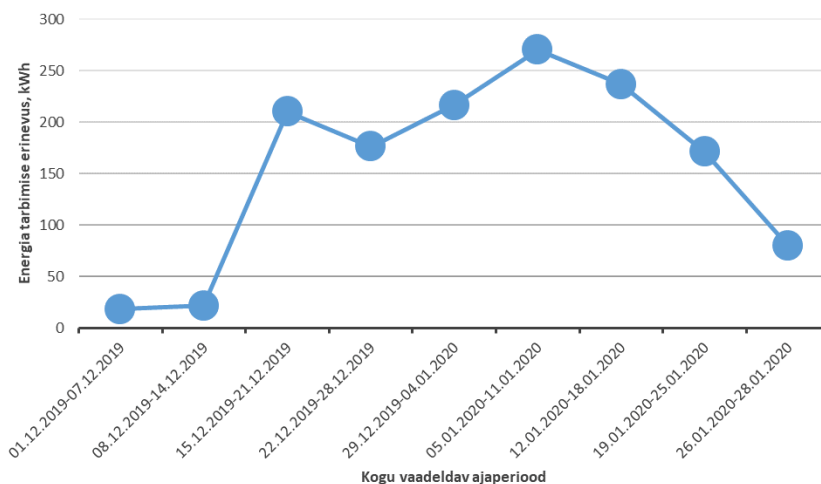
475 ventilatsiooniseadme küttekalorifeeri ventiili avatus välisõhu temperatuuril on kujutatud Joonisel 40. Antud graafikul on näha, et küttekalorifeeri ventiili avatus 100% on olnud registreeritud mõned korrad, kuid enamasti jääb ventiili avatus vahemiku 0% kuni 60%. Välisõhu temperatuuri tõusuga on näha, et tõuseb ka küttekalorifeeri ventiili avatus. Põhjuseks võib olla see, et vahesoojuskandjaga soojustagastist ei piisa ning õhu soojendamiseks on tarvis küttekalorifeeri.

Samuti vahesoojuskandjaga soojustagasti maksimaalseks avatuse põhjuseks võib olla see, et küttekalorifeeri temperatuur on madal ning ei suudeta ära köeta. Nagu ka joonisel ...on näha, et osadel perioodidel ei saavutata vajaliku sissepuhke temperatuuri. Antud põhjuseks võib ka olla, et küttekalorifeeri temperatuur on madal ning küttekalorifeeril on liiga suur võimsus.



*Joonis 41. 475 ventilatsiooniagregaadi energia tarbimise summa ülekütmise tõttu*

Joonisel 41 on kujutatud 475 ventilatsiooniagregaadi energiatarbimise summasid ülekütmise tõttu nädalate kaupa. Kõige suurem energiatarbimise erinevus oli nädalal 05.01.2020-1.01.2020, kui väärtuseks oli 1057 kWh. Kõige väiksem energia tarbimise erinevus oli nädalal 26.01.2020-28.01.2020 oli väärtus 240 kWh. Kokku oli üheksa nädala peale 475 ventilatsiooniagregaadi energiatarbimise summa 5787 kWh.



*Joonis 42. 475 ventilatsiooniagregaadi energiatarbimise summa soojustagasti ja küttekalorifeeri koosmõjul*

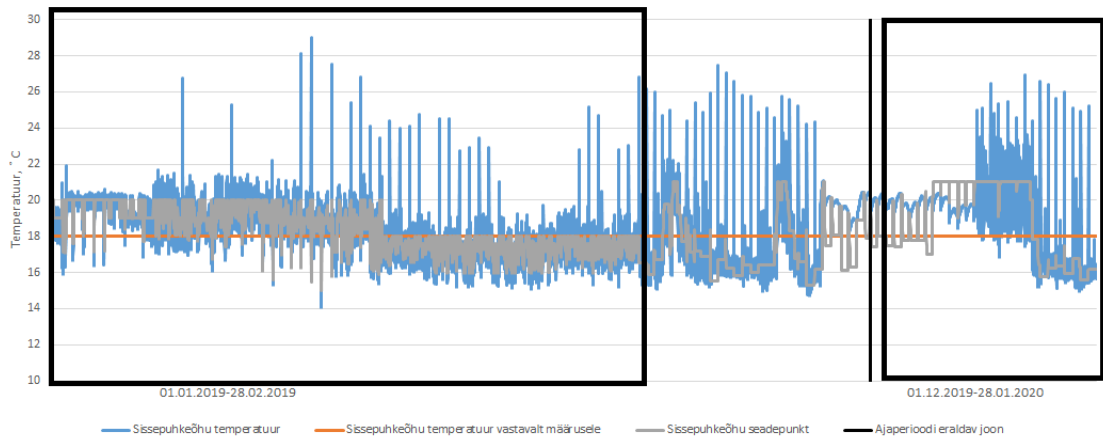
475 ventilatsiooniagregaadi energiatarbimise summasid soojustagasti ja küttekalorifeeri koosmõjul analüüsiti üheksa nädalat. Kõige väiksemaks energiatarbimiseks küttekalorifeeri ja soojustagasti koosmõjul oli periood 01.12.2019-07.12.2019 väärtusega 18 kWh. Kõige suurem energiatarbimise erinevus oli nädalal 05.01.2020-11.01.2020 väärtusega 270 kWh. Kokku oli üheksa nädala jooksul energia tarbimise erinevus 1400 kWh.

## **5.7 Ventilatsiooniagregaat 479**

Kuuendaks vaadeldavaks ventilatsiooniagregaadiks oli 479. Ventilatsiooniagregaat on vahesoojuskandja soojustagastusega, ühe jahutuspatareiga ja ühe küttekalorifeeriga.

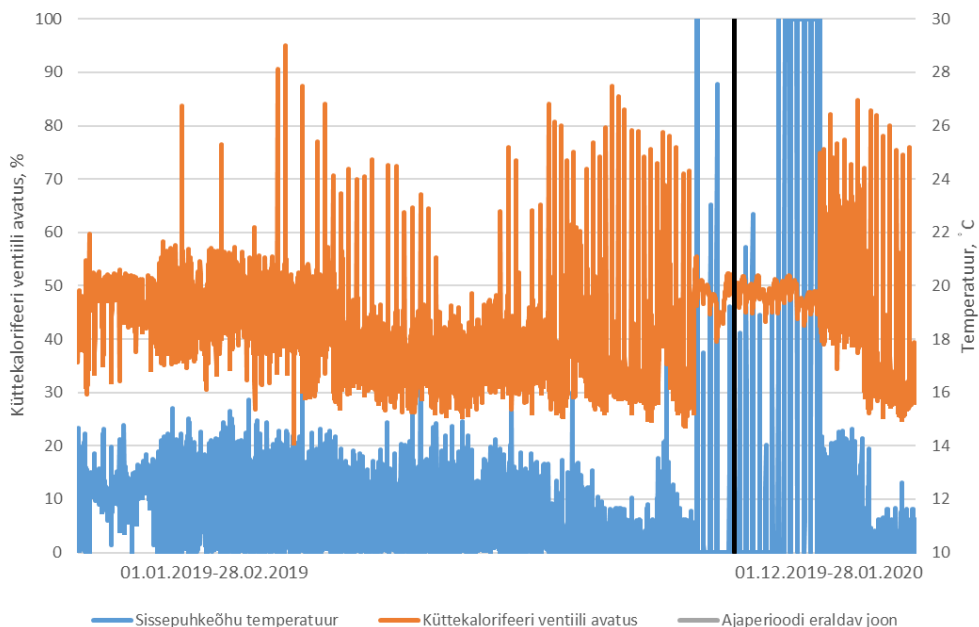
479 ventilatsiooniagregaadi hooldus teostati 06.12.2019. Hoolduspäevikus oli tuvastatud puudustena välja toodud soojustagasti isolatsioon oli teatud kohtades katki, glükooli täitepump oli katki, agregaat ise on väljast määrdunud, soojustagastil on üks kraadiklaas puudu. Ettepanekuks oli haisuluku vahetus.

Esmaseks eesmärgiks oli näidata, et sissepuhke temperatuur peale soojustagastit ei tohi olla väiksem ruumi suunduvast sissepuhke temperatuurist, sellisel juhul peab soojustagasti kiirus olema mitte väiksem kui 90%. Kokku analüüsiti üheksateist nädalat, millest ühelgi nädalal üleval mainitud tingimust 100% ulatuses ei järgitud. Võib järeldada, et üheksateistkümmene nädala jooksul pole vahesoojuskandjaga soojustagasti töötanud efektiivselt.



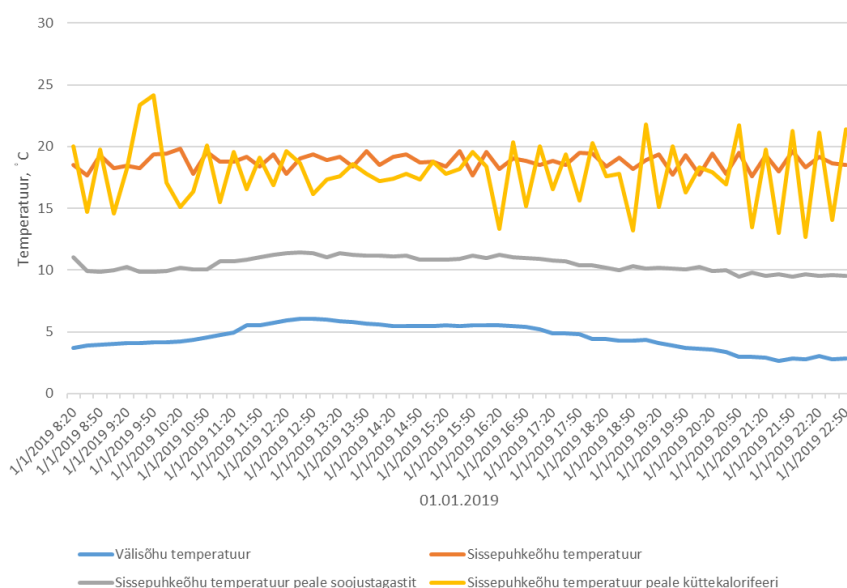
Joonis 43. ventilatsiooniagregaadi sisepuhkeõhu temperatuur tegelikkuses, vastavalt seadepunktile ja määruuses ettenähtud sisepuhkeõhu temperatuurile

479 ventilatsiooniagregaadi sisepuhkeõhu temperatuur tegelikkuses, vastavalt seadearvule ja standardis ettenähtud sisepuhkeõhu temperatuurile on kujutatud Joonisel 43. Diagrammi esimesel poolel on näha, et standardis määratud 18 °C vastavalt millele ei ole määratud seadepunkt. Diagrammil on näha suurt seadepunkti kõikumist ning väga tihedaid muutuseid seadepunktis. Esimeses pooles hoiab väikese kalibreerimisega sisepuhkeõhu temperatuur vastavalt sisepuhke seadepunktile. Diagrammi keskel ja lõpus on näha suuri kõikumisi. Maksimaalseks mõõdetud temperatuuriks oli 29 °C ja minimaalseks mõõdetud temperatuuriks oli 14.1 °C.



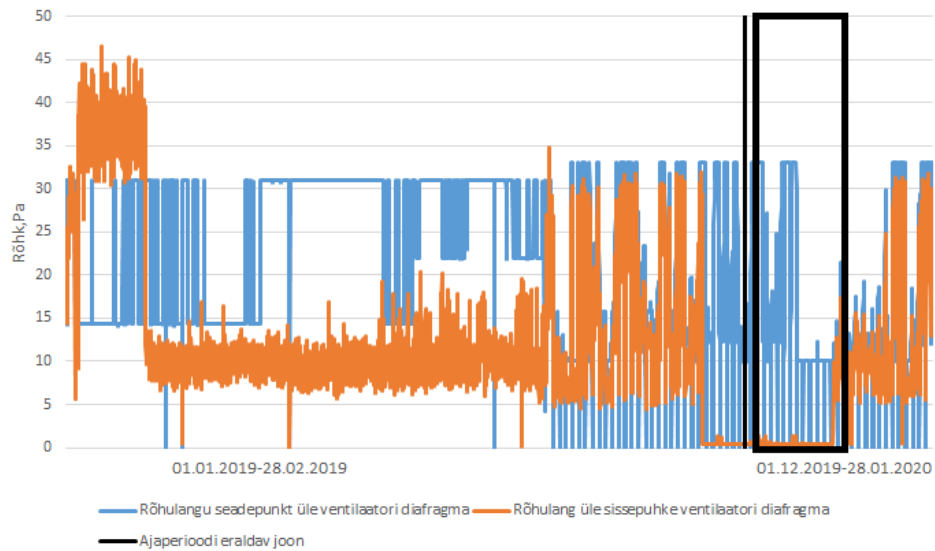
Joonis 44. 479 ventilatsiooniagregaadi sisepuhkeõhu temperatuur ja küttekalorifeeri ventiili avatus protsentuaalselt

479 ventilatsiooniagregaadi sissepuhkeõhu temperatuuri ja küttekalorifeeri ventiili avatuse protsentuaalsuse diagrammil on näha, et ligikaudu 60% kogu vaadeldava perioodi ajast oli küttekalorifeeri ventiil avatud mitte rohkem kui 30%. Maksimaalsel mõõdetud sissepuhke temperatuuril 29 °C oli küttekalorifeeri ventiil avatud 1.96% ja minimaalsel sissepuhke temperatuuril 14.1 °C oli ventiil avatud 0%. Põhjuseks on see, et sissepuhkeõhu temperatuuri seadepunkt oli 15 °C. Diagrammil näidatud maksimaalsel küttekalorifeeri ventiilide avatuse ajal ei olnud temperatuur kõrgem, kui olukorras kus ventiil oli lahti kuni 30%. Küttekalorifeeri ventiili kõikumine on suuresti seotud tihedate seadepunktide muutmistega. Samuti võib antud diagrammilt näha, et perioodidel, kui temperatuur on selgelt üle seadepunkti, siis on küttekalorifeer läinud avatuks täisvõimsusele, kuigi tegelikult seda pole vaja. Põhjuseks võib olla torustikus tehtud muudatused. Näiteks mõni klapi asendi muutmisel või renoveerimise käigus tehtud muudatused.



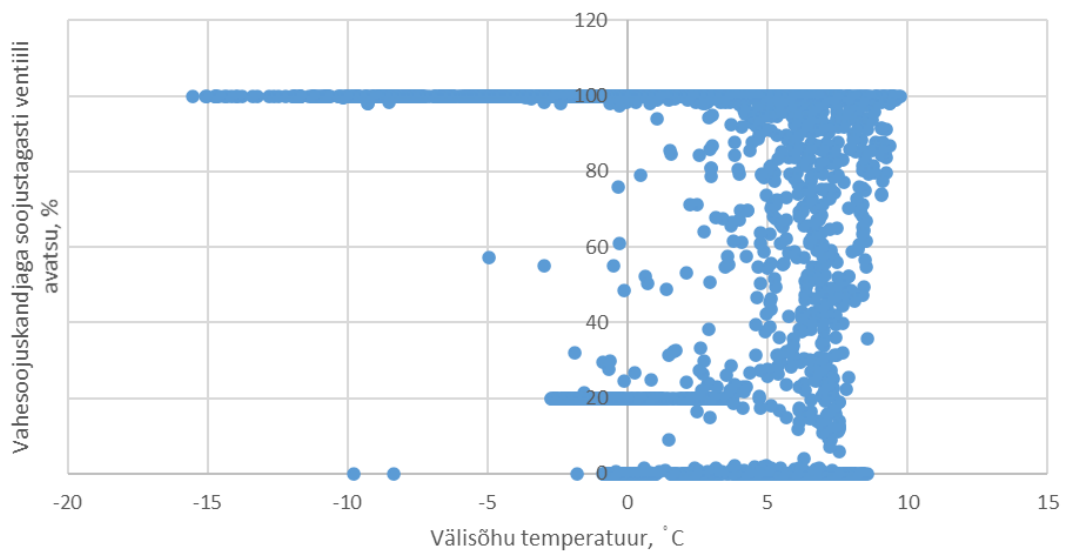
*Joonis 45. 479 ventilatsiooniagregaadi ühe päeva sissepuhkeõhu ettevalmistus protsess*

479 ventilatsiooniagregaadi ühe päeva sissepuhkeõhu ettevalmistuse protsessis on näha päeva jooksul küttekalorifeeri kõikumist, mis omakorda mõjutab sissepuhkeõhu temperatuuri. On mitmeid kordi päeva jooksul, kus küttekalorifeeri järel sissepuhkeõhk on ligikaudu viie kraadi erinevusega. Parameetrite hüppelisuse põhjuseks võib olla näiteks see, et antud ajaperioodil paistis välisõhu temperatuuriandurile päike, mis soojendas seda ning tekitas vale temperatuuri tegelikusest, mille tõttu võisid ka parameetrid teha hüppelise tõusu.



Joonis 46. 479 ventilatsiooniagregaadi rõhulang üle sissepuhke ventilaatori diafragma ja rõhulangu seadepunkt üle sissepuhke ventilaatori diafragma

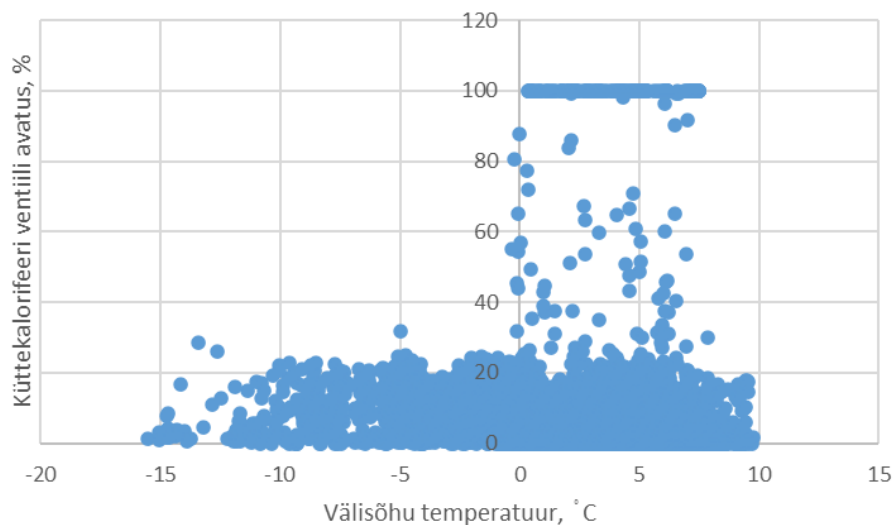
Joonisel 46 on rõhulangu seadepunkt väga tihedalt muutunud. Esimeses diagrammi pooles ei ole rõhulang koosmõjus rõhulangu seadepunktiga. Rõhulangu seadepunkt on oluliselt kõrgem rõhulangust. Samas diagrammi teises pooles on näha, et rõhulang üle sissepuhke ventilaatori diafragma on mõnda aega olnud nulli lähedal, seal juures on rõhulangu seadepunkt olnud 30 Pa ja 35 Pa vahel. Diagrammilt tundub, et osa ajast ei suudeta seadepunkti hoida, põhjuseks võib olla loogika või juhtimise muudatus.



Joonis 47. 479 ventilatsiooniagregaadi vahesoojuskandjaga soojustagasti ventiili avatus välisõhu temperatuuril

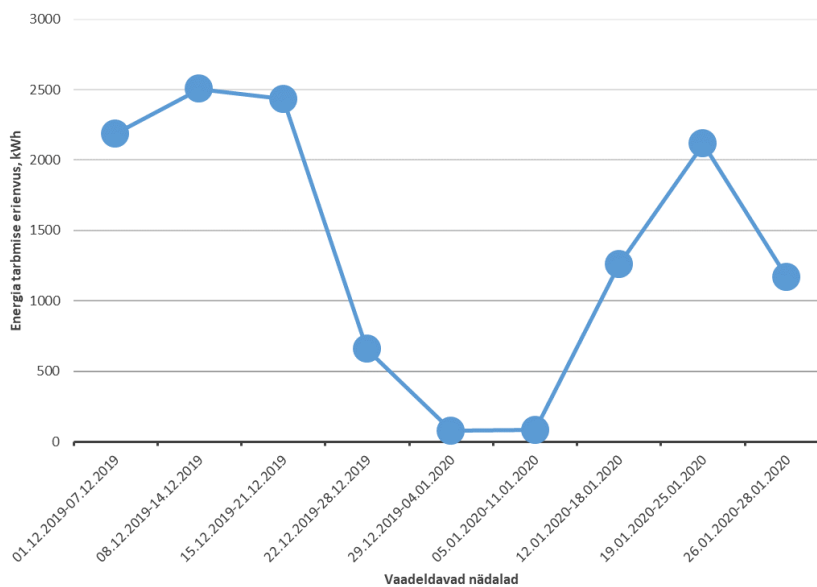


Joonisel 47 on kujutatud 479 ventilatsiooniagregaadi vahesoojuskandjaga soojustagasti ventiili avatus välisõhu temperatuuril. Nagu ka eelnevatel seadmetel on antud agregaaadi puhul näha, et enamuse ajast on vahesoojuskandja ventiili avatus 100%. Graafikult on näha, et teatud välisõhu temperatuuridel on olnud vahesoojuskandja soojustagasti ventiil konstantses asendis 20%. Selle põhjuseks võib olla ventiili kinni kiilumine. Samuti on temperatuuridel  $-1^{\circ}\text{C}$  kuni  $8^{\circ}\text{C}$  näha, et vahesoojuskandjaga soojustagasti ventiil oli avatud 0% ja 5% vahel ja samadel temperatuuridel saavutanud ka maksimaalse vahesoojuskandjaga soojustagasti ventiili avatuse.



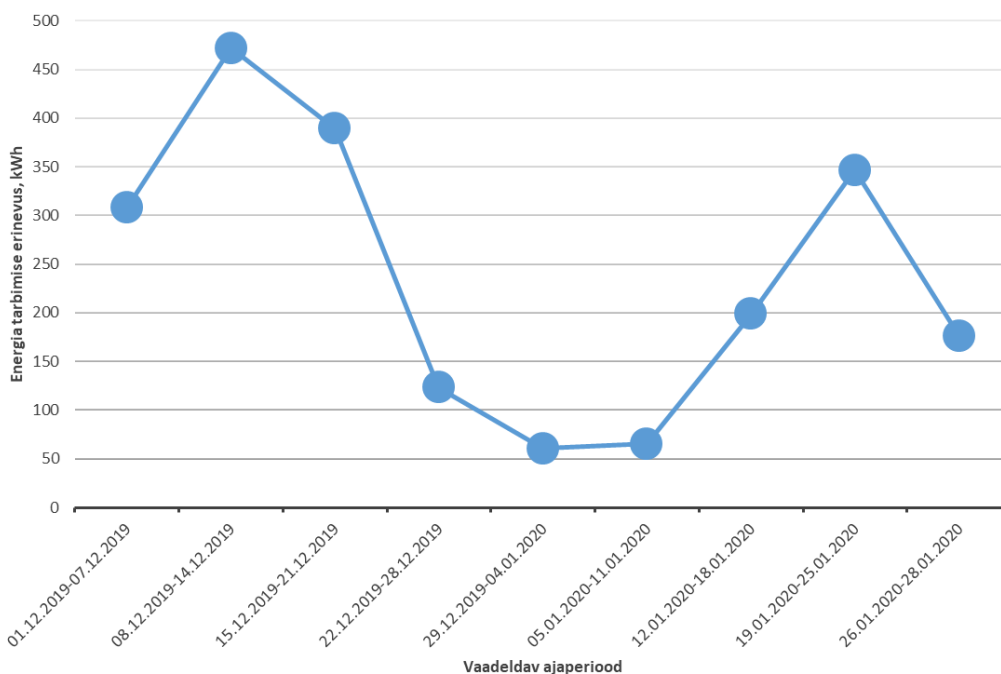
*Joonis 48. 479 ventilatsiooniagregaadi küttekalorifeeri ventiili avatus välisõhu temperatuuril*

Joonisel 48 on kujutatud 479 ventilatsiooniagregaadi küttekalorifeeri ventiili avatuse välisõhu temperatuuril. Antud graafikul on näha, et küttekalorifeeri ventiili avatus 100% oli konstantses asendis välisõhu temperatuuril  $0^{\circ}\text{C}$  kuni  $5^{\circ}\text{C}$ . Samuti on antud välisõhu temperatuuri vahemikus näha, et küttekalorifeeri ventiili avatus on saavutanud avatuse vahemikus 0% kuni 100%. Madalatel välisõhu temperatuuridel aga ei ole küttekalorifeeri ventiili asend protsentuaalselt tõusnud vaid vastupidi langenud aina madalamale koos välisõhu temperatuuriga. Põhjuseks madalale küttekalorifeeri ventiili avatusele võib olla küttekalorifeeri madal temperatuur, kuna tegemist on suure ülekütmisega ja kalorifeeri temperatuur võib olla liiga kõrge.



Joonis 49. 479 ventilatsiooniagregaadi energia tarbimise summa ülekütmise tõttu

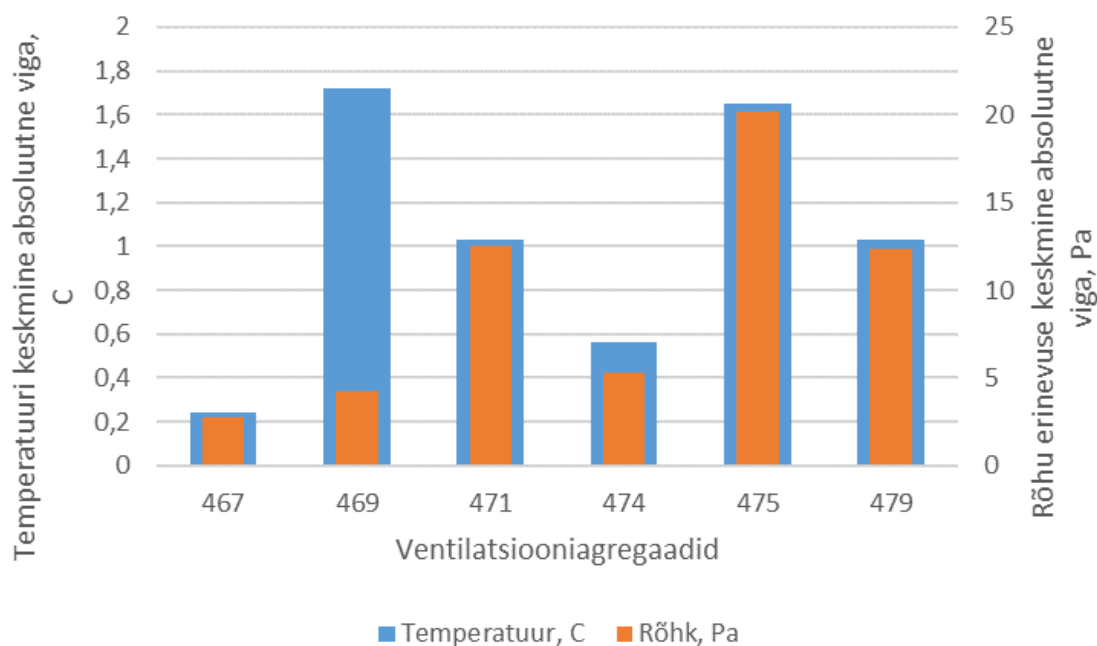
479 ventilatsiooniagregaadi energiatarbimise summasid vaadeldi kokku üheksa nädalat. Kõige väiksem energiatarbimise erinevus oli nädalal 29.12.2019-04.01.2020 mil oli väärtuseks 77 kWh. Kõige suurem energiatarbimise erinevus aga nädalal 08.12.2019-14.12.2019 väärtusega 2504 kWh. Kogu perioodi peale oli energiatarbimise erinevus 12480 kWh.



Joonis 50. 479 ventilatsiooni agregaadi energia tarbimise summa soojustagasti ja küttekalorifeeri koosmõjul

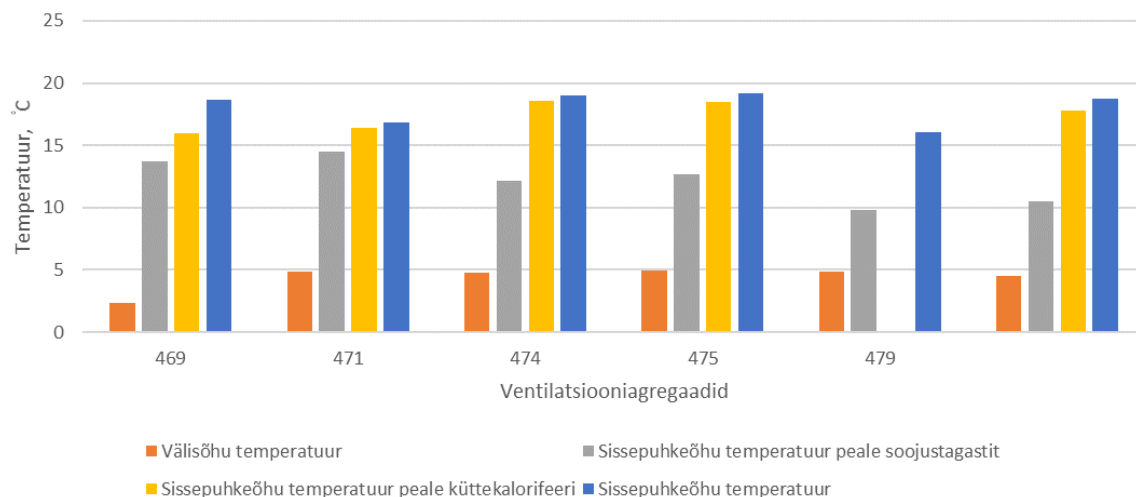
479 ventilatsiooniagregaadi energiatarbimise erinevus soojustagasti ja küttekalorifeeri koosmõjul on kujutatud Joonisel 50. Väiksemaiks energiatarbimise erinevuse summaks oli 60 kWh, suurimaks aga perioodil 08.12.2019-14.12.2019 väärtus 471 kWh. Kokku oli üheksa nädala peale energia tarbimise summaks 2139 kWh.

### 5.8 Ventilatsiooniagregaatide summaarsed erinevused



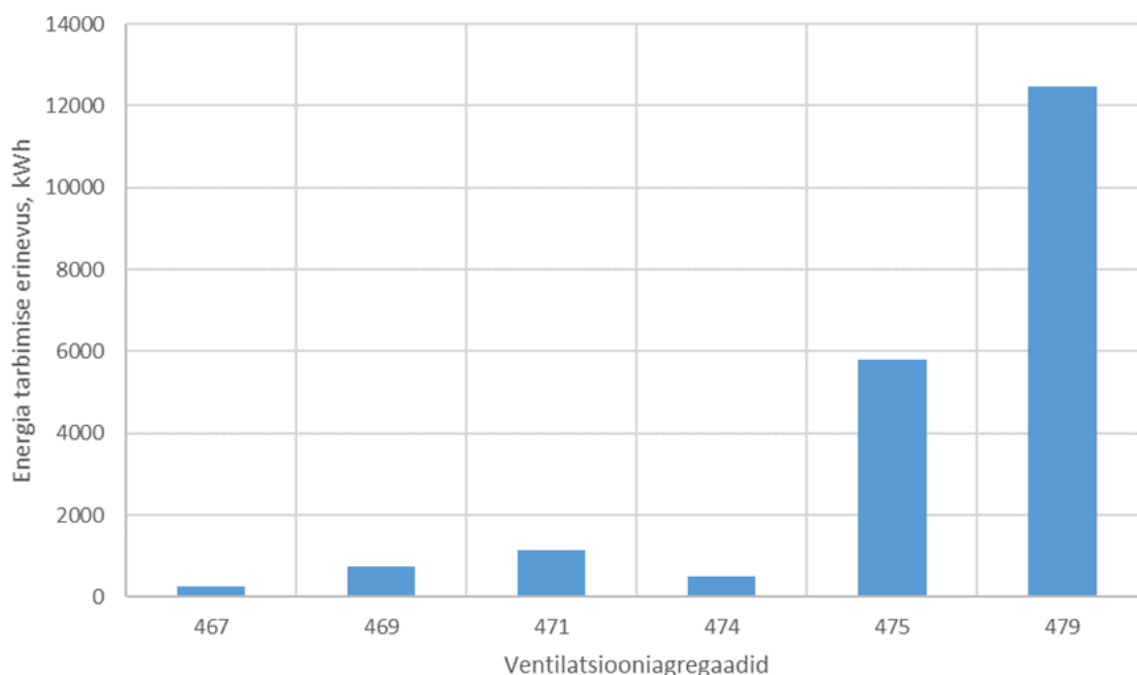
Joonis 51. Kõikide ventilatsiooniagregaatide temperatuuri ja rõhu keskmine absoluutne viga kogu vaadeldava ajaperioodi jooksul

Joonisel 51 on välja toodud temperatuuri ja rõhu erinevuse keskmine absoluutne viga. Kõige suurem temperatuuri keskmine absoluutne viga oli agregaadil 469 väärtusega 1,7. Rõhu keskmine absoluutne viga oli kõige suurem agregaadil 475 väärtusega 12,3.



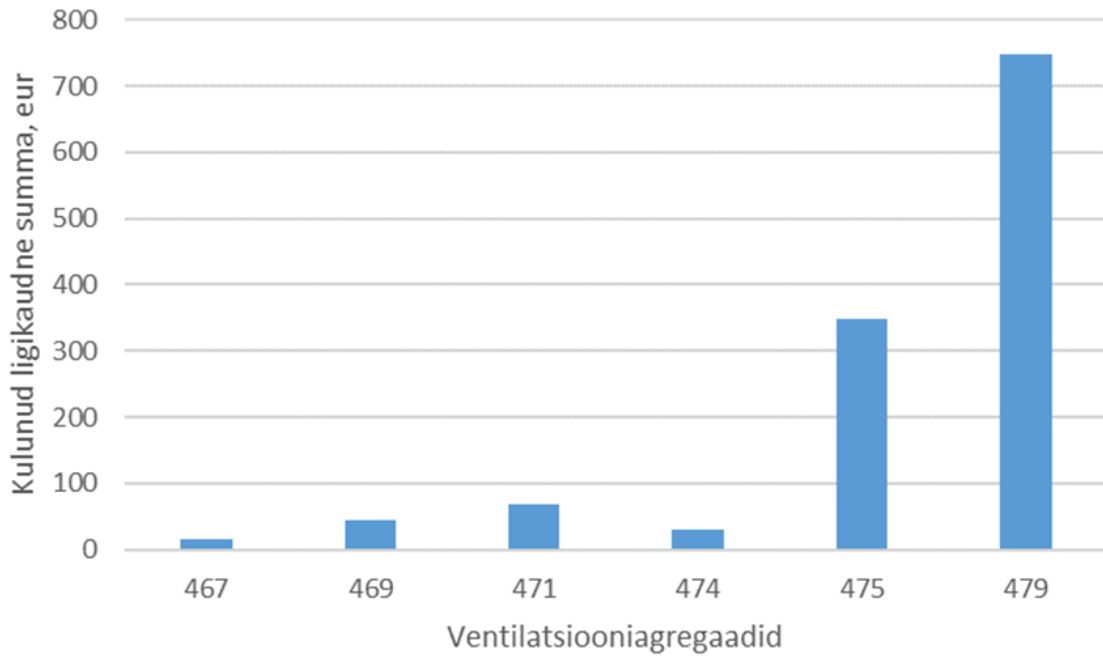
*Joonis 52. Õhu ettevalmistusprotsessi parameetrite keskmised näitajad*

Joonisel 52 on kujutatud 01.01.2019 õhu ettevalmistusprotsessi parameetrite keskmisi näitajaid agregaatide kaupa, et saada ettekujutus, mis oli antud päeval keskmine välisõhu temperatuur, sissepuhkeõhu temperatuur peale soojustagastit, sissepuhkeõhu temperatuur ja sissepuhkeõhu temperatuur peale küttekalorifeeri. Madalaim keskmine sissepuhkeõhu temperatuur oli 16 ° C ja kõrgeim 19 ° C. Sissepuhkeõhu temperatuuri madalaim keskmine oli 9 ° C ja kõrgeim 14 ° C. Sissepuhkeõhu temperatuur peale küttekalorifeeri madalaim keskmine oli 16 ° C ja kõrgeim 18 ° C. Agregaadil 475 pole kujutatud sissepuhkeõhu temperatuuri peale küttekalorifeeri, kuna andmed puudusid.



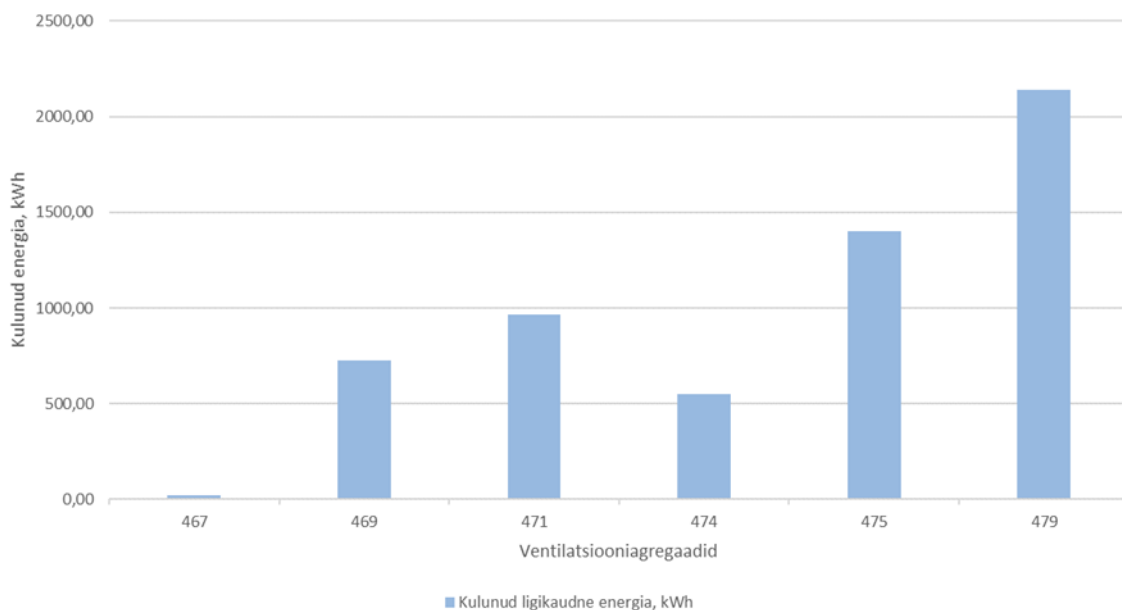
*Joonis 53. Energia tarbimise summa ülekütmise tõttu ventilatsiooniagregaatide kaupa*

Joonisel 53 on kujutatud energiatarbimise summa ülekütmise tõttu ventilatsiooniagregaatide kaupa. Kõige enam oli energiatarbimise erinevus agregaadil 479 summaga 12479 kWh. Antud agregaadil oli kõige suurim rõhulangude kōikumine-nii rõhulang üle ventilaatori diafragma kui ka rõhulangu seadepunkt üle ventilaatori diafragma. See võib olla üheks põhjuseks, miks antud agregaadil puhul on energiatarbimine niivõrd suur. Samuti on teada ka taustainfo, et 479 ventilatsiooniagregaat on olnud eelnevalt problemaatiline juhtimise poolest. Samuti on ka seadmed juba üle 15 aastat vanad. Kōikide ventilatsiooniagregaatide peale oli energia tarbimise erinevuseks 20 928 kWh.



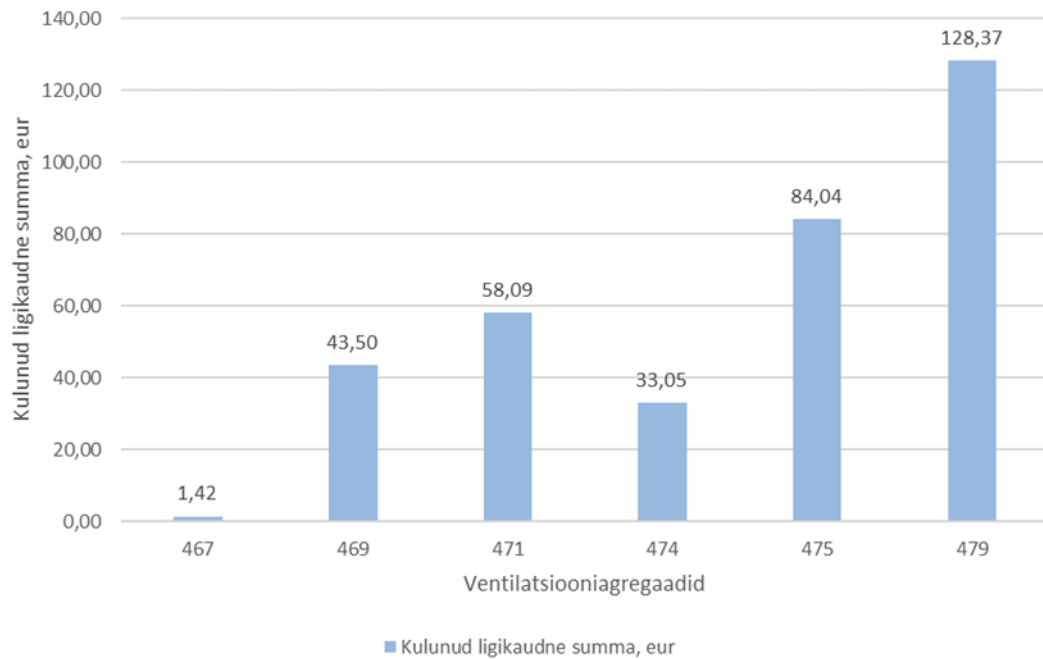
*Joonis 54. Ventilatsiooniagregaatide kaupa kulunud summa energia tarbimise erinevus eurodes soojustagasti ja küttekalorifeeri koosmõjul*

Soojustagasti ja küttekalorifeeri koosmõjul leitud energiatarbimise erinevus eurodes on kujutatud Joonisel 54. Kogu ajaperioodi ja kõikide ventilatsiooniagregaatide peale oli kulunud 1239 € lisaenergia tõttu. Kõige suurem summa on 748 € ja see on tekitatud ventilatsiooni agregaadil 479 poolt. Väiksemaks summaks oli 15 € ventilatsiooni agregaadil 467.



*Joonis 55. Ventilatsiooniagregaatide energiatarbimise summa soojustagasti ja küttekalorifeeri koosmõjul eurodes*

Nagu ka eelmiste tulemuste korral on ka selle energiatarbimisel kõige enam liigenergiat kasutanud ventilatsiooniagregaat 479. Kokku oli kulunud energiat küttekalorifeeri ja soojustagasti koosmõjul 2139 kWh. Kokku oli kõikide ventilatsiooniagregaatide kohata energia tarbimise erinevuseks 5807 kWh. Nagu ka eelmistel tulemustel, siis võib ka siin välja tuua, et taustainfona on teada, et tegemist on problemaatilise ja vana ventilatsiooniagregaadiga, mida juhtida võib olla keeruline.



*Joonis 56. Ventilatsiooni agregaatide energia tarbimise summa soojustagasti ja küttekalorifeeri koosmõjul eurodes.*

Ventilatsiooniagregaatide kaupa kulunud ligikaudne summa energiatarbimise erinevusele soojustagasti ja küttekalorifeeri koosmõjul kogu ajaperioodi jooksul kõikidel ventilatsiooniagregaatidel oli kokku 348 €.

Järeldusena võib öelda, et kõige problemaatilisem ventilatsiooniagregaat on 475. Sellel on esinenud kõige suurem energiatarbimise erinevus ja suurim summa kulutatud liigenergia tootmise tõttu. Põhjuseks võib olla see, et ventilatsiooni agregaaadi parameetrid on valesti seadistatud ning juhitud, võimalikud on ka tuvastamata ventiilide lekked ning küttekalorifeer võib olla üle dimensioneeritud.

## **5.9 Ettepanekud ventiilide toimivuse parendamiseks**

Antud töös oli autori poolt tuvastatud mitmeid ventilatsiooniseadmete vigu nii analüüsi kui ka hoolduspäevikute sissekannete põhjal.

Kogu küttekalorifeeri ventiili avatuse analüüsi jooksul oli tuvastatud kõikumisi, mis olid mõningatel perioodidel järskute üleminekutega. Küttekalorifeeride ventiilide avatuse analüüsis selgus, et küttekalorifeeri ventiil oli saavutanud oma maksimaalse avatuse kõigest mõningatel kordadel. Ehk küttekalorifeer pole praktiliselt suurema osa ajast töötanud täiel võimsusel. Sellest võib järeldada, et küttekalorifeerid on üle dimensioneeritud. Selle tõttu toimub ka ülekütmine, mille põhjuseks võib olla pealevoolu liiga kõrge temperatuur ning selle tõttu ei suuda ka ventiil ennast maksimumini avada.

Seetõttu võiks kindlasti kontrollida küttekalorifeeri võimsuseid ning nende peale- ja tagasivoolu temperatuurid.

Teiseks ettepanekuks on küttekalorifeeri ventiili toimivuse kontrollimine. Analüüsi tulemustest selgus, et on olnud olukordi, kus sissepuhkeõhu temperatuur on üle seadepunkti, kuid seejuures on küttekalorifeeri ventiil ikka lahti. Põhjuseks võib olla ventiili kinni kiilumine või ajami poolt vale juhtimine. Küttekalorifeeri ventiilide kontrollimisel ning nende parendamisel saab vältida olukorda, kus toimub näiteks ventiili vea tõttu kinni kiilumine

Üheks ettepanekuks on üle vaadata BMS süsteemi juhtimise ning seadistatud parameetrid. Valesti seadistatud parameetrid mõjutavad ventilatsiooniagregaatide automaatika juhtimise põhimõtteid.



## KOKKUVÕTE

Ventilatsiooniseadmetes esinevaid ventiilide vigasid ja nende mõju energiatarbele uuriti ühe Tallinnas asuva kaubanduskeskuse näitel talvisel perioodil. Kokku oli uurimise all kuus ventilatsiooniagregaati, millest kolm olid rootorsoojustagastiga ja kolm vahesoojuskandjaga soojustagastiga. Andmeid koguti ja edastati R8 Technologies OÜ poolt.

Töö käigus uuriti põhjalikult seitset erinevat viga: temperatuuri seadepunkti hoidmise täpsus, rõhu seadepunkti hoidmine, ventiili kinnikiilumine/lekkimine, ventiili maksimaalne avatus, küttekalorifeeri ja jahutuspatarei koosmõju, ülekütmine ning temperatuuri tõstmise prioriteedi/järjekorra viga. Analüüsis selgus, et toimuvad suured kõikumised erinevatel ajaperioodidel rõhulangul üle ventilaatori diafragma, sissepuhke temperatuuril ning küttekalorifeeri avatusel. Samuti leiti, et seadepunktid pole seadistatud stabiilselt ning need muutuvad väga tihti, mis omakorda toob kaasa ka muude parameetrite kõikumist. Erinevad vead ventilatsiooniagregaatides võivad põhjustada suuremat energiakulu.

Igale ventilatsiooniseadmele teostati kaks energiatarbimise erinevuse analüüsi, mis väljendas summaarsed tulemused eurodes. Esimeseks analüüsiks oli ülekütmisest põhjustatud energiatarbimine. Teiseks energiatarbimise erinevuse analüüsiks oli küttekalorifeeri ja soojustagasti koosmõju.

Esimese energiatarbimise erinevuse analüüsis, milleks oli ülekütmine, leidis autor, et kõikide ventilatsiooniagregaatide erinevus kokku on 20 928 kWh ehk 21 MWh. Antud energiatarbimise erinevus summaarselt tuli 1239 €. Teise energiatarbimise erinevuse analüüsis, milleks oli küttekalorifeeri ja soojustagasti koosmõju, leiti, et energia tarbimise erinevuseks on 5807 kWh. Küttekalorifeeri ja soojustagasti energiatarbimise erinevus summaarselt tuli kokku 348 €. Kahe energiatarbimise erinevuseks tuli kokku 26 736 kWh ja summaarselt 1588 €. Arvestades seda, et energia tarbimise erinevuse analüüs oli teostatud kahe vea põhjal on kaheks talviseks perioodiks saadud vigadest tulenev summa suur ning vigade parendamisel saab seda summat vähendada.

Tulemustes selgus, et kõige suurem energia tarbimise erinevus oli ventilatsiooniagregaadil 479. Lõputöös keskenduti sissepuhkeõhu ettevalmistuse protsessidele, selle analüüsile ning vigade tuvastamisele. Käesoleva analüüsi põhjal saab edaspidi vaadelda ja keskenduda detailsemalt õhuvooluhulkadele, soojustagasti juhtimisele, BMS ühendusele ning selle parameetrite tõesusele, lisaks küttekalorifeeri põhjalikule analüüsile ja automaatika seadistustele ning juhtimise algoritmidele.

## SUMMARY

Valve defects in ventilation equipment and their impact on energy consumption were studied during the winter period on the example of a shopping centre in Tallinn. A total of six ventilation units were under investigation, three of which were with a rotor heat exchanger and three with a run-around coil heat exchanger. Data were collected and transmitted by R8 Technologies OÜ.

Seven different faults were thoroughly investigated in the thesis: accuracy of the set point maintenance temperature, pressure set point tracking accuracy, valve jamming / leakage, maximum valve opening, combined effect of heating coil and cooling coil, overheating, and temperature increase priority / sequence error. The analysis revealed that there are large fluctuations in the pressure drop across the fan diaphragm, the inlet temperature and the opening of the heating radiator at different times. It was also found that the set points are not constant and are changed very often, which in turn leads to fluctuations in other parameters. Various faults in the ventilation units can lead to higher energy consumption.

In the current thesis, the author prepared two analysed extra energy consumption due to two faults in the air handling units and expressed the total results in euros. The first analysis was based on the energy consumption due to overheating. The second analysis of difference of the energy consumption was based on the combined effect of the heat exchanger and the heating coil.

In the first analysis of the difference in energy consumption, the author found out that the total extra energy consumption of all six air handling units was 20 928 kWh, which would cost 1239 €. In the second analysis of the difference in energy consumption, which was the combined effect of the heat exchanger and the heat transfer system, the author found out that the difference in energy consumption was 5807.75 kWh. The difference between the energy consumption of the heat exchanger and the heating coil totalled to 348 €. The sum of extra energy consumption of the two faults totalled to 26 736 kWh and therefore, to € 1 588. The results showed that the largest extra energy consumption was in the ventilation unit 479.

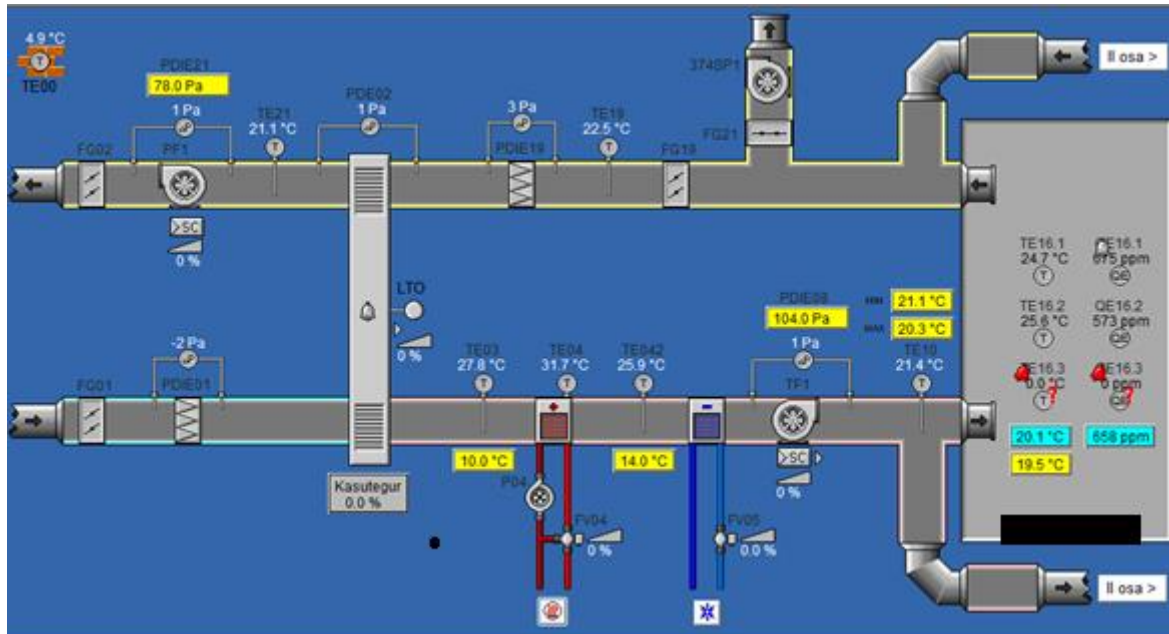
The thesis focused on the supply air preparation processes, it's analysis and error detection. Based on this analysis, it is possible to observe and focus in more detail on airflow volumes, the control of the heat transfer system, BMS connection and the accuracy of its parameters, in addition to a thorough analysis of the heat exchanger and automation settings and control algorithms.

## KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

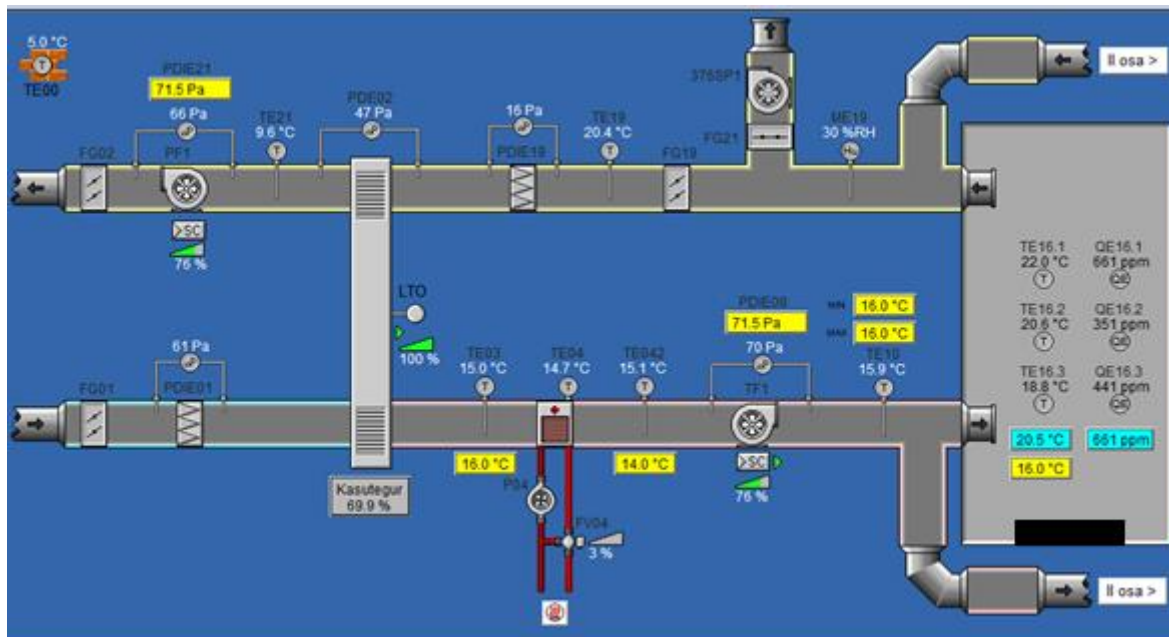
- [1] Euroopa Parlamendi Nõukogu, „COMMISSION RECOMMENDATION (EU) 2019/786,“ 16 05 2019. [Võrgumaterjal]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:32019H0786&from=PT>. [Kasutatud 2021].
- [2] B. B. S. M. P. B. S. T. S. L. T. Gao, „Data mining and data-driven modelling for Air Handling Unit fault detection,“ *E3S Web of Conferences*, kd. 111, nr 4, 2019.
- [3] T. Salsbury, „A survey of Control technologies in the building automation Industry,“ *IFAC Proceedings Volumes*, kd. 38, nr 1, pp. 90-100, 2005.
- [4] T. R. Zhang, „Modeling HVAC operational faults in building performance simulation,“ *Applied Energy*, kd. 202, pp. 178-188, 2017.
- [5] Tion.ru, „Системы вентиляции: виды, устройство, назначение,“ 2018. [Võrgumaterjal]. Available: <https://tion.ru/ventilyaciya/>. [Kasutatud 14 02 2021].
- [6] Ventinginfo.ru, „Виды систем вентиляции для помещений,“ 07 08 2018. [Võrgumaterjal]. Available: <https://ventinginfo.ru/sistemyventilyacii/vidy-sistem-ventilyatsii-dlya-pomeshhenij-ih-otlichiya>. [Kasutatud 12 02 2021].
- [7] ИНТЕХ, „ТИПЫ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.air-ventilation.ru/vidy-sistem-ventilyatsii-zdaniy-i-pomeshcheniy.htm>. [Kasutatud 01 03 2021].
- [8] С. П. Петрович, „Вентиляторы для системы вентиляции: какие они бывают и как работают,“ 28 08 2018. [Võrgumaterjal]. Available: <https://ventilation-conditioning.ru/primenenie/ventilyacionnye-ventilyatory.html>. [Kasutatud 03 03 2021].
- [9] Patkar Developers, „Kliimaseade,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://est.patkardevelopers.com/klassy-filtrov-dlja-ventiljatsii>. [Kasutatud 02 03 2021].
- [10] ЭЛВЕНТ, „Воздушные фильтры G4 (EU4) для грубой очистки воздуха: панельные, кассетные, компактные,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.el-vent.ru/ventilyaciya-i-kondicionirovanie/filtry-dlya-ventilyacii/gruboy-ochistki/klass-g4-eu4/>. [Kasutatud 02 03 2021].
- [11] E. Abel ja H. Voll, „Hoonete energiatarve ja sisekliima,“ 2014. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.ekvy.ee/attachments/article/17/Enno%20Abel%2007.09.2010.pdf>. [Kasutatud 27 02 2021].
- [12] Г. к. "МАС", „Фильтры тонкой очистки воздуха: Классификация фильтров тонкой очистки воздуха,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.masvent.ru/info/informacia-po-filtram/infofilterstonkochistkivozduh.html>. [Kasutatud 01 03 2021].
- [13] Yan Chen, Sen Huang, Draguna Vrabie, „A simulation based approach for impacts assessment of physical faults: large commercial building HVAC case study,“ %1 2018 *Building Performance Modeling Conference*, Chicago, IL, 2018.
- [14] <https://vse-otoplenie.ru/>, „Виды калориферов для приточной вентиляции и их устройство,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://yandex.ru/turbo/vse-otoplenie.ru/s/kalorifer-raznovidnosti-ustrojstv-i-ustanovka-princip-raboty-pritocnoj-ventilacii-i-pravila-vybora-sovety>. [Kasutatud 02 03 2021].

- [15] Быстровозводимое строительство - Информационный портал, „ОХЛАДИТЕЛЬ ВЕНТИЛЯЦИИ: ВИДЫ И ВЫБОР УСТРОЙСТВ“, 10 04 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://bvzd.ru/vopros/ohladitel-ventilyacii-kak-vybrat-i-luchshie-ustroystva>. [Kasutatud 15 04 2021].
- [16] Все об электричестве, „Двухходовой клапан принцип работы“, [Võrgumaterjal]. Available: <https://contur-sb.com/dvuhhodovoy-klapan-printsip-raboty/>. [Kasutatud 15 04 2021].
- [17] АВАТАР, „Регулирующая арматура с электро и пневмо приводами“, [Võrgumaterjal]. Available: <https://avatar-spb.ru/product/granrer-km225f-s-razgruzhennym-plunzherom-pod-elektro-i-pnevmoprivod-dlya-para-zhidkostej-i-gazov-t-do-200-s/>. [Kasutatud 15 04 2021].
- [18] Камин-Эксперт, „Зачем нужен трехходовой клапан и на что обращать внимание, выбирая его?“, [Võrgumaterjal]. Available: <https://kamin-expert.ru/sistemyi-otopleniya/zachem-nuzhen-trehhodovoj-klapan-i-na-chto-obrashhat-vnimanie-vybiraya-ego.html>. [Kasutatud 15 04 2021].
- [19] LDMvalves, „Принцип действия регулирующего клапана“, [Võrgumaterjal]. Available: [http://ldmvalves.ru/Princip\\_dejstvija/Princip\\_dejstvija\\_reguliruyuschego\\_klapana.html](http://ldmvalves.ru/Princip_dejstvija/Princip_dejstvija_reguliruyuschego_klapana.html). [Kasutatud 16 04 2021].
- [20] R. Lahtmets, Tehnoloogia ja ajamid, Tallinn: Elektri jaam, 2008.
- [21] Altermo, „Двухходовой регулирующей клапан Siemens VVG44.20-6.3“, [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.altermo.ru/katalog/klapany-siemens-vvg-44/klapan-siemens-vvg44-20-6-3>. [Kasutatud 04 04 2021].
- [22] Simteplo, „2-ходовые клапаны с“, [Võrgumaterjal]. Available: <https://simteplo.nt-rt.ru/images/manuals/VVG44.pdf>. [Kasutatud 04 04 2021].
- [23] Belimo-SS, „Globe valve, 2-way, External thread“, [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.belimo-ss.ru/upload/iblock/ba3/ba393768bdeaba8d50c772c8bb52a26b.pdf>. [Kasutatud 04 04 2021].
- [24] Belimo-SS, „ПРИВОД BELIMO NVC24A-SZ-TPC“, [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.belimo-ss.ru/catalog/klapany-regulirovaniya-vodyanogo-potoka/sedelnye-klapany/sedelnye-klapany-pn-6-dn-15-100/privod-belimo-nvc24a-sz-tpc/>. [Kasutatud 04 04 2021].
- [25] Altermo, „Электромоторный привод Siemens SAX61.03“, [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.altermo.ru/katalog/privody-siemens-sax/siemens-sax-61-03>. [Kasutatud 05 04 2021].
- [26] Acvatix, „Электромоторные приводы“, [Võrgumaterjal]. Available: [https://acvatix.nt-rt.ru/images/manuals/Q4554ru\\_SQX...E.pdf](https://acvatix.nt-rt.ru/images/manuals/Q4554ru_SQX...E.pdf). [Kasutatud 05 04 2021].
- [27] Majandus- ja taristuminister, „Hoone energiatõhususe arvutamise metoodika1“, 10 07 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/119012018007?leiaKehtiv>. [Kasutatud 20 04 2021].

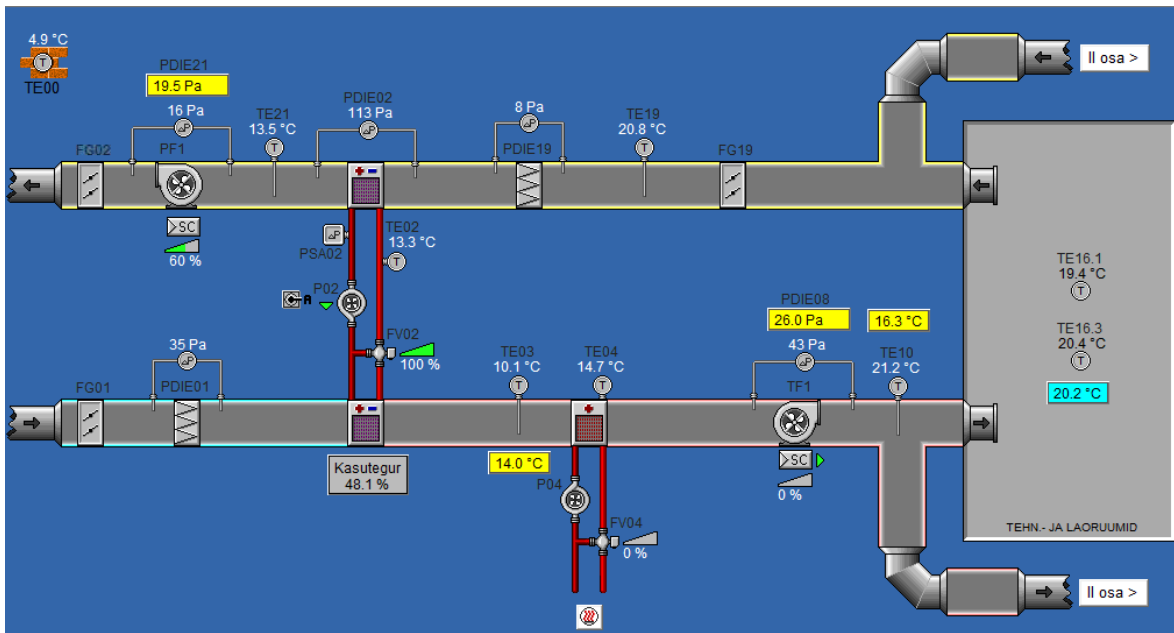
# LISAD



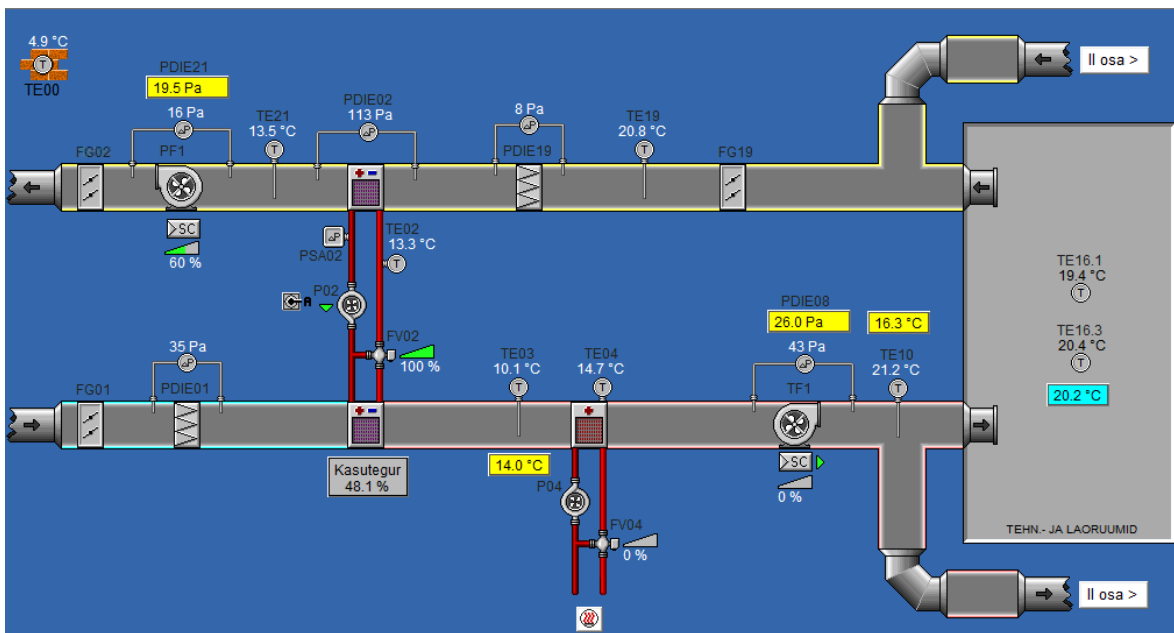
Lisa 1. 469 ventilatsiooniagregaadi BMS visualiseering



Lisa 2. 471 ventilatsiooniagregaadi BMS visualiseering

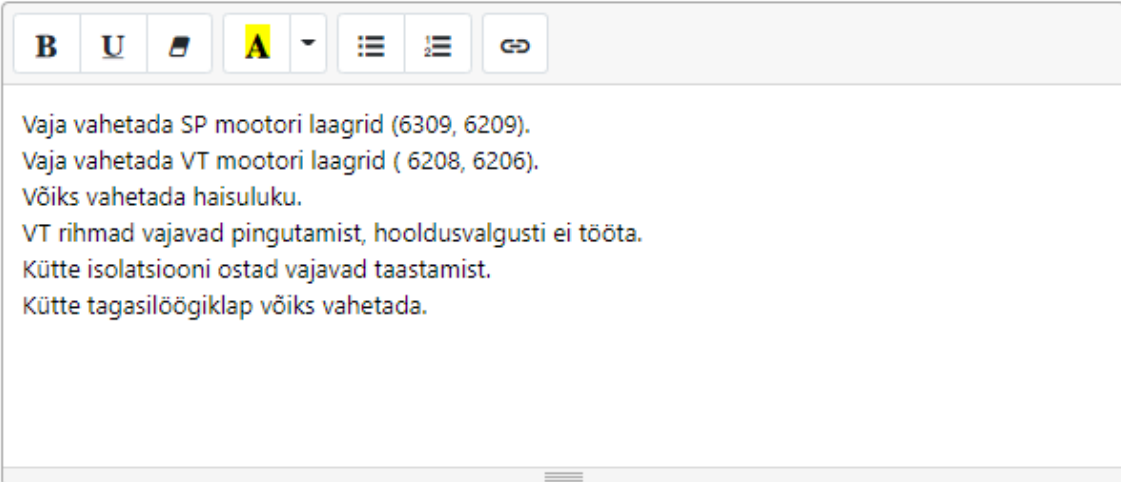


Lisa 3. 475 ventilatsiooniagregaadi BMS visualiseering



Lisa 4. 479 ventilatsiooniagregaadi BMS visualiseering

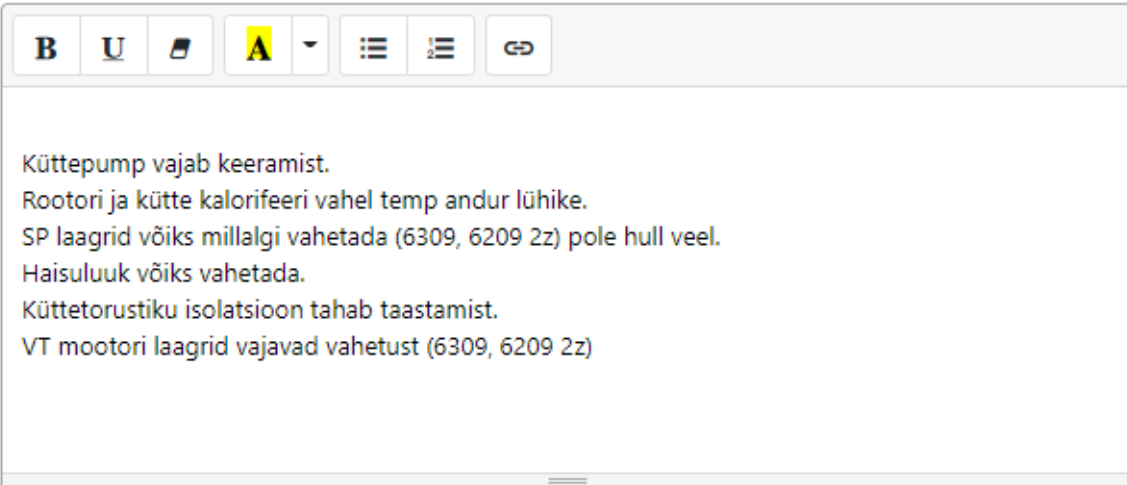
#### Kirjeldus



Vaja vahetada SP mootori laagrid (6309, 6209).  
Vaja vahetada VT mootori laagrid ( 6208, 6206).  
Võiks vahetada haisuluku.  
VT rihmad vajavad pingutamist, hooldusvalgusti ei tööta.  
Kütte isolatsiooni ostad vajavad taastamist.  
Kütte tagasilöögiklap võiks vahetada.

#### Lisa 5. 467 ventilatsiooniagregaadi hoolduspäeviku väljavõte





#### Kirjeldus



Küttepump vajab keeramist.  
Rootori ja kütte kalorifeeri vahel temp andur lühike.  
SP laagrid võiks millalgi vahetada (6309, 6209 2z) pole hull veel.  
Haisuluuk võiks vahetada.  
Küttetorustiku isolatsioon tahab taastamist.  
VT mootori laagrid vajavad vahetust (6309, 6209 2z)

#### Lisa 6. 469 ventilatsiooniagregaadi hoolduspäeviku väljavõte





#### Kirjeldus

**B** **U**  **A** ▾   

SP vaja varu rihmaseid.  
Vt mootori laagrid vaja vahetada (6208, 6206 2z)  
Kütte pump vajab keeramist.  
Vaja teha uus kütetorustiku tugi.  
Kütte isolatsiooni otste taastamine vaja teha.

#### *Lisa 7. 471 ventilatsiooniagregaadi hoolduspäeviku väljavõte*

#### Kirjeldus

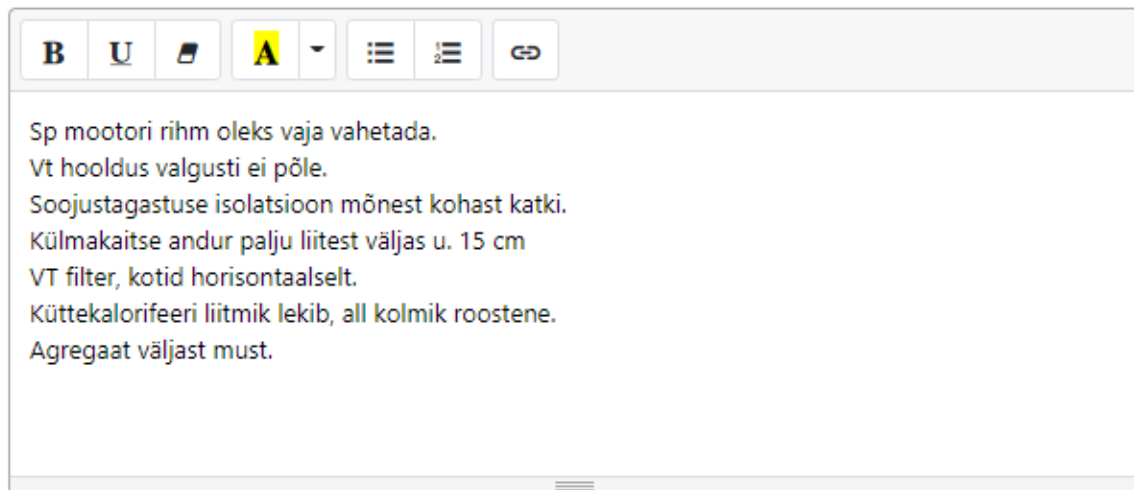
**B** **U**  **A** ▾   

SP mootori laagrid vajavad vahetamist ( 6208, 6206) 2z/c3.  
Haisuluku võiks vahetada.  
Kütte isolatsioon vajab natuke taastamist.  
Küttepump vajab keeramist.

#### *Lisa 8. 474 ventilatsiooniagregaadi hoolduspäeviku väljavõte*



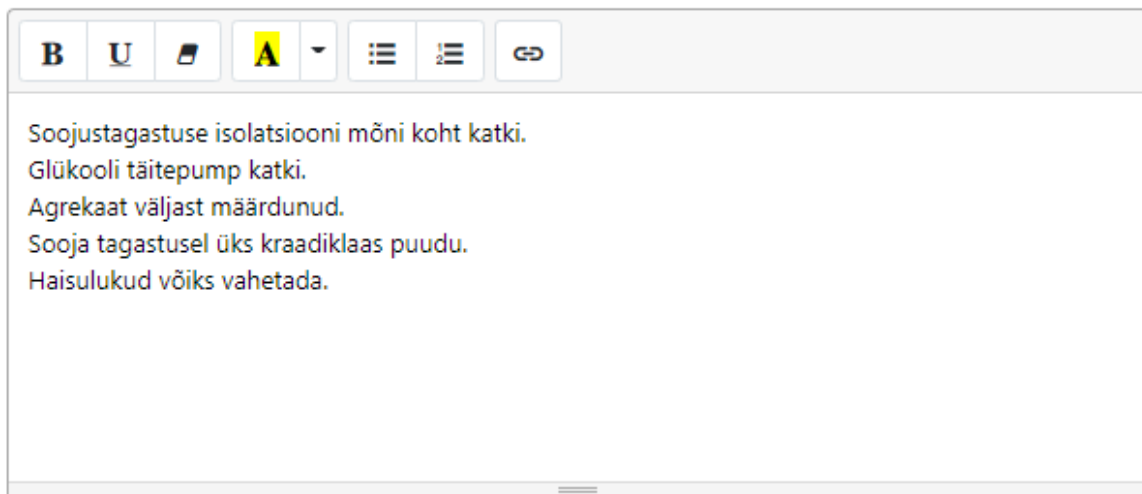
#### Kirjeldus



Sp mootori rihm oleks vaja vahetada.  
Vt hooldus valgusti ei põle.  
Soojustagastuse isolatsioon mõnest kohast katki.  
Külmakaitse andur palju liitest väljas u. 15 cm  
VT filter, kotid horisontaalselt.  
Küttekalorifeeri liitmik lekib, all kolmik roostene.  
Agregaat väljast must.

*Lisa 9. 475 ventilatsiooniagregaadi hoolduspäeviku väljavõte*

#### Kirjeldus



Soojustagastuse isolatsiooni mõni koht katki.  
Glükooli täitepump katki.  
Agregaat väljast määrdunud.  
Sooja tagastusel üks kraadiklaas puudu.  
Haisulukud võiks vahetada.

*Lisa 10. 479 ventilatsiooniagregaadi hoolduspäeviku väljavõte*