

Levylämmönsiirtimen ohjaustoiminnot

Dani Peuraharju

Examensarbete för EI- och automationsteknik (YH)-examen

Utbildningen EI- och automationsteknik

Vasa 2023

EXAMENSARBETE

Författare: Dani Peuraharju

Utbildning och ort: El- och automationsteknik Vasa

Inriktningsalternativ/Fördjupning: Automation

Handledare: Henrik Järveläinen & Tapio Mäki

Titel: Plattvärmeväxlarens styrfunktioner

Datum 22.5.2023 Sidantal 25

Bilagor 2

Abstrakt

Examensarbetets ämne var ventilationsenheternas plattvärmeväxlare och deras styr- samt avfrostningsmetoder, arbetet gjordes åt Granlund Pohjanmaa Oy. Företaget hade intresse att förnya sina befintliga funktionsbeskrivningar, för diverse plattvärmeväxlare. Målet var att undersöka plattvärmeväxlarens olika styr- och avfrostningsfunktioner samt utnyttja informationen för att utveckla funktionsbeskrivningarna.

I teoridelen går igenom värmeåtervinningens grunder, användningen av olika typer av värmeväxlare (platt-, roterande och vätskeväxlare) och funktionsprincipen för värmeväxlarens avfrostning. Branschens litteratur, befintliga planeringsmaterial samt information som anskaffats genom intervjuer med branschens experter har använts som material.

I praktiska delen används informationen som skaffats från intervjuer och andra material för att uppdatera befintliga funktionsbeskrivningar. Med hjälp av programmet AutoCAD skapades justeringsdiagram för plattvärmeväxlare där man sedan implementerade de uppdaterade funktionsbeskrivningarna.

Baserat på resultaten av intervjuerna varierar avfrostningsmetoderna för olika tillverkare en hel del. Alla dessa avfrostningsmetoder är fungerande lösningar, vilket gör det svårt att avgöra vilken lösning som är bäst. Arbetet resulterade i en bättre bild av de olika avfrostningsmetoder som används och hur de styrs. Med insamlade datan var det möjligt att uppdatera de nuvarande funktionsbeskrivningar för några olika plattvärmeväxlare.

Språk: Finska

Nyckelord: Värmeåtervinning, värmeväxlare, ventilation

OPINNÄYTETYÖ

Tekijä: Dani Peuraharju

Koulutus ja paikkakunta: Sähkö- ja automaatiotekniikka, Vaasa

Suuntautumisvaihtoehto/Syventävät opinnot: Automaatio

Ohjaaja(t): Henrik Järveläinen & Tapio Mäki

Nimike: Levylämmönsiirtimen ohjaustoiminnot

Päivämäärä 22.5.2023 Sivumäärä 25

Liitteet 2

Tiivistelmä

Opinnäytetyön aiheena oli kiinteistöissä olevien ilmanvaihtokoneiden levylämmöntalteenottojärjestelmien säätö- ja sulatusohjaukset. Työ tehtiin Granlund Pohjanmaa Oy:n toimeksiannosta. Syy työlle oli toimeksiantajan halu päivittää heidän rakennusautomaatiosuunnitelmien toimintaselostusmalleja, erityyppisiin laitekoonpanoihin liittyen. Tavoitteena oli siis selvittää levylämmöntalteenottojärjestelmien erilaiset säätö- ja sulatusohjaukset sekä hyödyntää tieto toimintaselostusmallien parantamisessa.

Teoriaosuudessa käytiin läpi lämmöntalteenoton perusteet, eri lämmöntalteenottojärjestelmien käyttö (levy, pyörivät ja nestekiertoiset) sekä huurteen ja jään sulatuksen toimintaperiaate. Aineistona on käytetty alan kirjallisuutta sekä nykyistä suunnittelumateriaalia ja tietoa on myös kerätty haastattelemalla alan ammattilaisia joko kasvotusten tai etänä. Työtä varten suoritettiin myös kohdekäynti, kohdekäynti tarjosi mahdollisuuden nähdä lämmöntalteenottojärjestelmä käytössä sekä antoi yleiskuvan toimintaperiaatteesta. Käytännön osuudessa haastatteluista ja aineistoista kerättyä tietoa käytettiin säätökaavioiden malliselostuksiin. AutoCAD ohjelmalla kehitettiin säätökaaviot eri levylämmönsiirtokoonpanolle ja kyseisiin säätökaavioihin lisättiin päivitetty toimintamalliselostukset.

Haastattelujen tulosten perusteella eri laitevalmistajien jään- ja huurteensulatusmenetelmät vaihtelevat huomattavasti. Näistä menetelmistä kaikki ovat toimivia ratkaisuja ja tämän takia on vaikea päätellä mikä ratkaisu olisi paras. Tutkimuksen ansiosta saatiin parempi kuva käytetyistä jään- ja huurteensulatusmenetelmistä sekä niiden ohjauksesta. Kerätyllä tiedolla pystyttiin päivittämään nykyisiä toimintamalliselostuksia muutamalle eri levy LTO-koonpanolle.

.

Kieli: Suomi

Avainsanat: Lämmöntalteenotto, energiatehokkuus, ilmanvaihto

BACHELOR'S THESIS

Author: Dani Peuraharju

Degree Programme: Electrical & Automation Engineer

Specialization: Automation

Supervisor(s): Henrik Järveläinen & Tapio Mäki

Title: Plate heat exchanger control functions

Date 22.5.2023 Number of pages 25

Appendices 2

Abstract

The topic of this Bachelor's thesis was the regulation and defrosting control of plate heat recovery systems of ventilation units in buildings. The thesis was assigned by Granlund Pohjanmaa Oy. The company was in need of updating their operational description models for different plate heat recovery unit configurations. The goal was to find out the different control and defrosting functions of plate heat exchangers and use the knowledge to improve the operational description models.

The theory section covers the basics of heat recovery, the use of different heat recovery systems (plate, rotary, and liquid recovery systems), and the operating principle of the defrosting function in plate heat exchangers. The material used is literature about the field as well as current design material, information has also been collected by interviewing professionals in the field, either face-to-face or remotely. A site visit was also carried out for the work, the site visit provided an opportunity to see the heat recovery units in use and gave an overview of the operating principle.

In the practical part, the knowledge collected from interviews and materials was used for the operational description models of the adjustment diagrams. AutoCAD was used to develop control diagrams for plate heat exchangers and an updated operational description model was added to the control diagrams.

Based on the results of the interviews, the defrosting methods of different manufacturers vary considerably. All of these defrosting methods are workable solutions and this makes it difficult to conclude which solution would be the best. Thanks to the study, a better picture of the defrosting methods used and their control was obtained. With the collected data, it was possible to update the current operating model reports for a few different plate heat exchanger configurations.

Language: Finnish

Key words: Heat recovery, Heat exchanger, Ventilation

Sisällysluettelo

Kuvaluettelo.....	5
1 Johdanto.....	1
2 Perusteet.....	2
2.1 Lämmöntalteenotto	2
2.2 Lämpötilahyötysuhde	2
2.2.1 Tuloilman lämpötilahyötysuhde	3
2.2.2 Poistoilman lämpötilahyötysuhde.....	3
2.3 Pyörivät lämmönsiirtimet.....	4
2.4 Nestekiertoiset lämmönsiirtimet	5
2.5 Levylämmönsiirtimet.....	6
3 Levylämmönsiirtimeen ohjaustoiminnot.....	8
4 Levylämmönsiirtimeen sulatustoiminnot.....	8
4.1 Levylämmönsiirrin lohkosulatuksella	9
4.2 Jälkilämmityspatteri	10
4.3 Levy lämmönsiirrin etulämmityspatterilla	10
5 Laittevalmistajien haastattelu	11
5.1 Haastattelujen analyysi.....	12
6 Kohdekäynti.....	13
6.1 Vaasan kaupunki	13
6.1.1 Lämmöntalteenotto	14
6.1.2 Huurteen ja jään sulatus.....	14
6.1.3 Jälkilämmitys	17
6.1.4 Valvomografiikka.....	18
6.2 Mietteitä.....	19
7 Toimintaselostusmalli ja säätökaaviot.....	20
7.1 Levylämmönsiirtimeillä varustettu IV-koneen säätökaaviot.....	21
7.2 Toimintaselostusmallit.....	21
8 Pohdinta.....	23
8.1 Tulosten luotettavuus.....	23
8.2 Yhteenveto.....	24
9 Lähdeluettelo.....	26

Kuvaluettelo

Kuva 1; Pyörivän lämmönsiirtimen periaatekuva [5]	4
Kuva 2; Nestekiertoisen lämmönsiirtimen toimintaperiaate. [7]	6
Kuva 3; Vastavirtalevyllämmöntalteenottolaite periaatekuva [9]	7
Kuva 4; Ristivirtalevyllämmöntalteenottolaite periaatekuva [9]	7
Kuva 5;LTO-laitteen lamelleihin muodostunut jää. [11]	8
Kuva 6; LTO:n lohkosulatuspellistö [16].....	9
Kuva 7; Toimistotilan ristivirtalämmönsiirrin.....	14
Kuva 8; Huurteen ja jään sulatuksen raja-arvot.....	15
Kuva 9; IV-koneen mittarit	15
Kuva 10; LTO:n sulatusjärjestelmä.....	16
Kuva 11; Jälkilämmityspatteri.....	17
Kuva 12; IV-koneen valvomografiikka.....	18
Kuva 13; IV-koneen suodattimet	19
Kuva 14; IV-kone säätökaavio.....	21
Kuva 15; Osajärjestelmän toimintaa vaikuttavat ohjelmat.....	22
Kuva 16; Toimintamalliselostus.....	22

Lyhenteet

LTO	Lämmöntalteenotto
LTO kuutio	Levyllämmönsiirrin
IV	Ilmanvaihto
IV-kone	Ilmanvaihtokone
Lämpötilahyötysuhde	SFS-EN 308:en mukaan määritelty tuloilman lämpötilasuhde, joka on testattu tilanteessa, jossa tulo- ja poistoilmavirrat ovat yhtä suuria.
Asetusarvo	Haluttu saavutettava arvo
Kastepiste	Lämpötila, jossa ilmassa oleva kosteus tiivistyy

1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö suoritettiin Granlund Pohjanmaa Oy:n toimeksiannosta. Granlund Pohjanmaa Oy:n tapaaminen yrityksen Koja Oy:n kanssa, herätti idean toteuttaa kyseisen opinnäytetyön.

Granlund Oy on vuonna 1960 perustettu kiinteistö- ja rakennusalan konserni. Yrityksen päätavoitteena on edistää kiinteistöjen toimivuutta ja älykkyyttä sekä lisätä ihmisten hyvinvointia rakennetussa ympäristössä. Granlund toimii monella eri alalla, kuten talotekniikan suunnittelussa, kiinteistönylläpitopalveluissa ja -ohjelmistoissa, energia-, ympäristö- ja kiinteistökonsultoinnissa, rakennuttamisessa sekä valvonnassa. [1]

Konsernin emoyhtiö on Granlund Oy ja sillä on useita tytäryhtiöitä eri puolilla Suomea sekä kansainvälistä toimintaa ulkomailla. Granlund Oy on kehittynyt helsinkiläisestä LVI-suunnittelutoimistosta nykyiseen kokoonsa. Hiljattain yritys vietti 60-vuotisjuhliaan. [1]

Toimeksiantoyritys Granlund Pohjanmaa Oy on toiminut yli 50 vuotta. Aluksi pääasiassa Vaasan alueella ja sittemmin koko Pohjanmaan alueella. Granlund Pohjanmaa Oy:llä on toimipisteet Vaasan lisäksi Seinäjoella, Kokkolassa ja Alavudella. [1]

Opinnäytetyössäni keskitytään levylämmöntalteenottolaitteiden sulatusprosessiin, erityisesti huurteen ja jään muodostumisen estämiseen ja poistamiseen käytettyjä menetelmiä. Tässä työssä tarkastellaan nykyisiä levy-LTO:lle käytettäviä sulatusmenetelmiä, kuten lohkosulatus ja lohkosulatus etulämmityspatterilla. Työssä tutkitaan myös sulatuksen käynnistyskriteereitä ja ohjausta sekä erilaisten käyttöolosuhteiden vaikutusta sulatusprosessiin. Lisäksi tässä työssä arvioidaan eri sulatusratkaisujen tehokkuutta, ja tavoitteena on luoda suoraviivaisempi sekä parannettu ohjauselostusmalli, mitä voisi käyttää lämmöntalteenottojärjestelmien säätökaavioiden suunnittelussa.

2 Perusteet

Rakennukset ovat merkittävä energiankulutuksen aiheuttaja, sillä niiden käyttö ja ylläpito vastaa tällä hetkellä jopa 40 % maailman kokonaisenergiantarpeesta. Merkittävä osa rakennuksen energiantarpeesta, noin 40–60 %, johtuu lämmitys-, ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmistä, josta ilmanvaihtojärjestelmien osuus on 20–30 %. Vaikka rakennuksen vaipan eristämällä ja tiivistämällä voidaan vähentää lämpöhäviöitä ja lämmöntarvetta, se voi johtaa ilmanvaihdon ja sisäilman laadun heikkenemiseen, mikä vaikuttaa kielteisesti asukkaiden hyvinvointiin. [2]

Sisäilman laadun parantamiseksi käytetään yleensä koneellista ilmanvaihtoa, mutta ilman lämmöntalteenottoa se johtaa suuriin lämpöhäviöihin poistoilman mukana. Tätä voidaan vähentää käyttämällä lämmöntalteenottolaitteita (LTO-laite), LTO-laitteet siirtävät lämpöä ilmanvaihtojärjestelmän tulo- ja poistoilmavirran välillä. LTO-laitteiden sijoittaminen kylmään ilmastoon voi olla hieman haastavaa, sillä kylmissä olosuhteissa LTO-laitteilla on taipumus jäätyä, näin heikentäen lämmönsiirtoa. [2]

2.1 Lämmöntalteenotto

Lämmöntalteenottoon (LTO) viitataan usein laitteena, joka toimii kahden eri lämpötilassa olevan ilmalähteen välillä ja siirtää energiaa yhdeltä toiseen. Toisin sanoen se perustuu sisätiloihin tulevan ilman esilämmitykseen, kierrätetyn hukkalämmön avulla. LTO-järjestelmät voidaan yleisesti ottaen jakaa tuntuvan lämmöntalteenottoon ja entalpia lämmöntalteenottoon, entalpia lämmönsiirtimillä on mahdollista ottaa talteen sekä sensibiiliä (havaittavaa) että latenttia (piilevää) lämpöä. LTO-ratkaisuja on monenlaisia, mutta tyypillisimmät ratkaisut ovat levylämmönsiirtimet ja pyörivät lämmönsiirtimet. [3]

2.2 Lämpötilahyötysuhde

Lämmöntalteenottojärjestelmien tehokkuutta mitataan lämpötilahyötysuhteena. Lämpötilahyötysuhteella tarkoitetaan tuloilman lämmityksen ja poistoilman jäähtymisen suhteessa ulkolämpötilaan. Lämpötilahyötysuhde osoittaa poistoilmasta talteen otetun ja tuloilmaan siirretyn lämmön määrän. Korkeampi lämpötilahyötysuhde tarkoittaa tehokkaampaa järjestelmää, mikä johtaa energiansäästöihin. [4]

Ilmanvaihtolaitteiden valmistajien on ilmoitettava laitteidensa lämpötilahyötysuhde standardin EN 308 mukaisesti. Lämpöhyötysuhde mitataan kuivissa olosuhteissa ja vakioilmaolosuhteissa, kun massavirta on tasapainossa tulo- ja poistoilman puolella. [4]

2.2.1 Tuloilman lämpötilahyötysuhde

Tuloilman lämpötilasuhde on tuloilman lämpenemisen suhde poistoilman ja ulkoilman väliseen lämpötilaerotukseen. Tuloilman lämpötilasuhteeseen voi vaikuttaa esimerkiksi LTO:n rakenne sekä tulo- ja poistoilmavirtojen suhde. Lämmöntalteenottojärjestelmän tuloilman lämpötilasuhteen laskemiseksi mitoitusolosuhteissa käytetään kaavaa (2.1) [4]

$$\eta_t = \frac{T_{LTO} - T_u}{T_s - T_u} \quad (2.1)$$

Missä,

η_t LTO:n tuloilman lämpötilasuhde

T_{LTO} Tuloilman lämpötila LTO:n jälkeen (°C)

T_u Ulkoilman lämpötila (°C)

T_s Sisäilman lämpötila (°C)

2.2.2 Poistoilman lämpötilahyötysuhde

Lämmöntalteenottojärjestelmän poistoilman lämpötilasuhteen laskemiseksi mitoitusolosuhteissa käytetään kaavaa (2.2) [4]

$$\eta_p = \frac{T_s - T_{ji}}{T_s - T_u} \quad (2.2)$$

Missä,

η_p Poistoilman lämpötilahyötysuhde.

T_s Sisäilman lämpötila (°C)

T_{ji} Jäteilman lämpötila (°C)

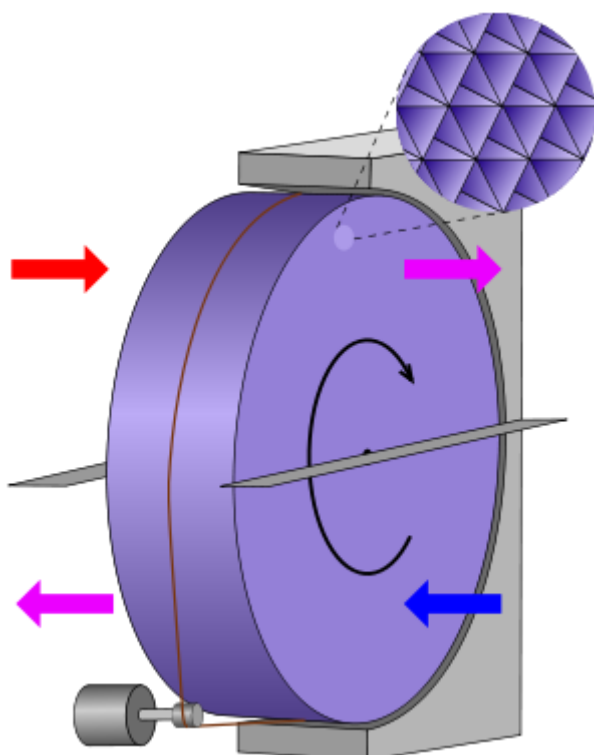
T_u Ulkoilman lämpötila (°C)

Lämmitystehon laskennassa on otettava huomioon poistoilman lämpötilasuhteen aleneminen, joka johtuu lämmöntalteenoton ohittamisesta lämmönvaihtimen jäätyksen estämiseksi. Valmistajan antamaa sertifioitua arvoa on käytettävä poistoilman lämpötilan ensisijaisena arvona mitoitusolosuhteissa. Tapauksissa, joissa valmistajan ilmoittamaa arvoa ei ole saatavilla, jäätyssuojan rajalämpötilaksi voidaan olettaa $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ kuivissa toimistoissa ja $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ normaaleissa asuintiloissa edellyttäen, että jäätyssuojaus ja käyttöolosuhteet sallivat sen. [4]

Lämmöntalteenoton poisto- ja tuloilman lämpötilasuhteen laskeminen mitoitusolosuhteissa on olennaista lämmitystehon määrittämiseksi ja järjestelmän tehokkaan toiminnan varmistamiseksi. Kun huomioidaan poistoilman lämpötilasuhteen aleneminen ja käytetään sopivia arvoja poistoilman lämpötilalle, laskennalla voidaan antaa tarkka arvio tehontarpeesta ja auttaa optimoimaan järjestelmän energiatehokkuutta. [4]

2.3 Pyörivät lämmönsiirtimet

Pyörivä lämmöntalteenottojärjestelmä perustuu pyörivään alumiiniseen kiekkoon (kuva 1), joka siirtää poistoilmasta talteen otettua lämpöä tuloilmaan. Järjestelmän toiminta perustuu



Kuva 1; Pyörivän lämmönsiirtimen periaatekuva [5]

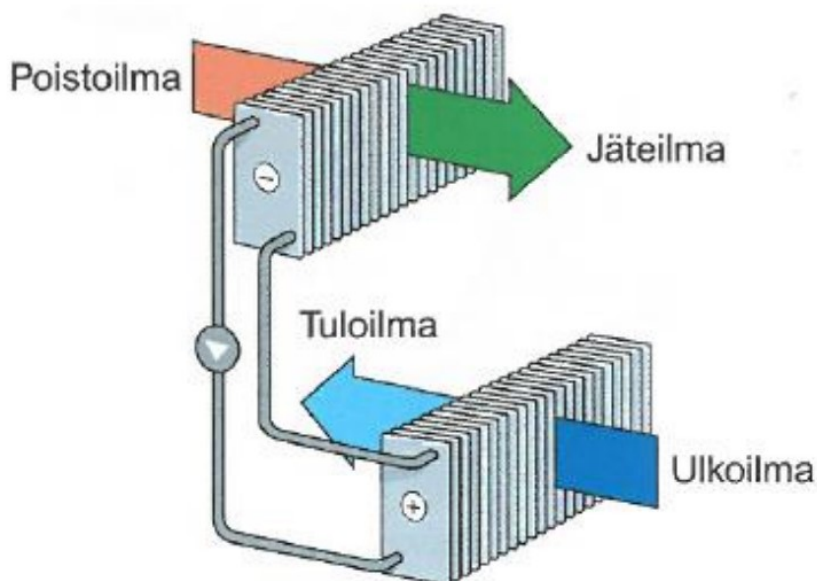
siihen, että lämmin poistoilma kulkee kiekon yläpuolen läpi minkä seurauksena kiekon lamellit varaavat lämpöä. Kun poistoilma siirtyy tuloilman puolelle kiekon kennot luovuttavat lämpöä alapuolella virtaavaan kylmään tuloilmaan. Kiekon tehoa on säädettävissä vaihtamalla kiekon pyörimisnopeutta. Pyörivät lämmönsiirtimet ovat suhteellisen tehokkaita ja niiden lämpöhyötysuhde on yleensä 75–80 % paikkeilla. Pyörivät lämmönsiirtimet sopivat parhaiten pienempiin rakennuksiin, pientaloihin ja kerrostalojen asuntoloihin, joissa on huoneistokohtainen ilmanvaihto. [6] [7]

Pyörivän lämmönsiirtimen asennus vanhempiin rakennuksiin voi olla hankalaa, sillä järjestelmä vaatii sen, että poisto- sekä tuloilmakanavat sijoitetaan vierekkäin. Vanhemmissa rakennuksissa ei välttämättä aina ole erillistä tuloilmakanavaa, jolloin pyörivän lämmönsiirtimen asentaminen olemassa olevaan ilmanvaihtojärjestelmään ei suoraan onnistu. On otettava huomioon, että pyörivässä lämmönsiirtimessä tulo- ja poistoilman sekoittuminen on mahdollista, minkä takia laitetta ei suositella tiloihin, joiden ilma koostuu epäpuhtauksista tai kosteudesta. Esimerkiksi sairaaloihin ei tästä johtuen suositella pyörivää lämmönsiirtokonetta. [8]

2.4 Nestekiertoiset lämmönsiirtimet

Nestekiertoiset lämmönsiirtimet koostuvat kahdesta tai useammasta lämpöpatterista, joiden välillä kiertää jäätymätön neste (yleensä vesi, johon on lisätty glykolia). Nestettä kierrättävä putki on usein valmistettu kuparista ja patterit alumiinilamelleista. Patterit on sijoitettu siten että yksi on tuloilmakanavassa ja toiset poistoilmakanavissa. Lämmin poistoilma lämmittää patteria, jonka jälkeen patterin lämpö siirtyy nesteeseen. Neste kiertää poistopuolelta tuloilmapuolelle, jonka seurauksena kylmä tuloilma lämpenee. Nestekiertoisessa lämmönsiirrossa neste kiertää suljetussa järjestelmässä, eikä ilmavirrat missään vaiheessa

pääse sekoittumaan toistensa kanssa (kuva 2). Lämpöhyötysuhde nestekiertoisessa lämmönsiirtimessä on kuitenkin huomattavasti alempi kuin muissa mainituissa lämmönsiirtimissä, noin 45–65 %. [6] [9]



Kuva 2; Nestekiertoisen lämmönsiirtimen toimintaperiaate. [7]

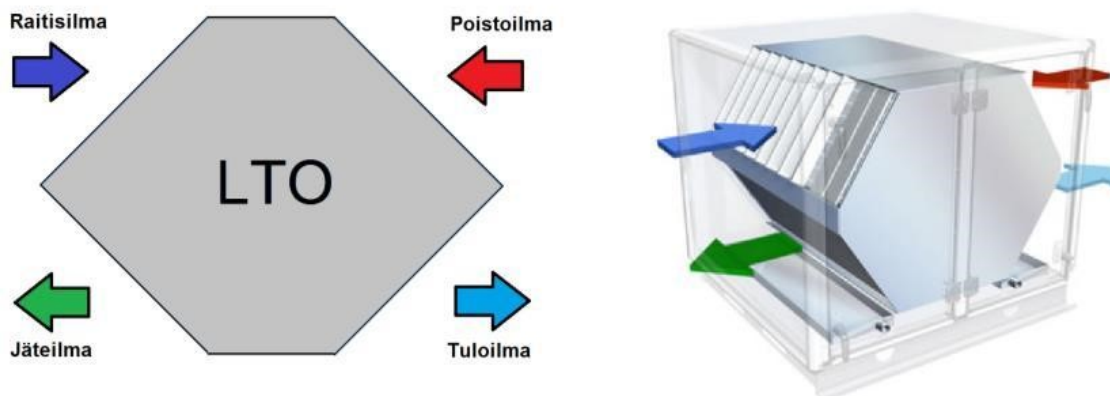
Nestekiertoiset lämmönsiirtimet sopivat hyvin kohteisiin missä on tärkeää, ettei likainen ja kostea poistoilma sekoitu puhtaan tuloilman kanssa. Tällaisia kohteita ovat esimerkiksi sairaalat ja laboratoriot. Nestekiertoiset lämmönsiirtimet soveltuvat myös hyvin vanhempiin rakennuksiin, koska ne eivät vaadi erillisen tuloilmakanavan asennusta. [6]

2.5 Levylämmönsiirtimet

Levylämmönsiirrin on lukumääräisesti suosituin lämmöntalteenottolaite. Sen taloudellisen rakenteen, hygieenisyyden ja suhteellisen hyvän lämmöntalteenoton lämpötilahyötysuhteen takia levylämmönsiirrin on monissa kohteissa järkevä valinta. Levylämmönsiirrin koostuu ohuista neliömäisistä levyistä, levyt koostuvat hyvin lämpöä johtavasta materiaalista, useimmiten alumiinista. Levyjen paksuus on usein 0,1...0,2 mm, ja niiden välit voi vaihdella kolmesta jopa yli kymmeneen millimetriin siirtimen koon ja ilmavirran mukaan. [6]

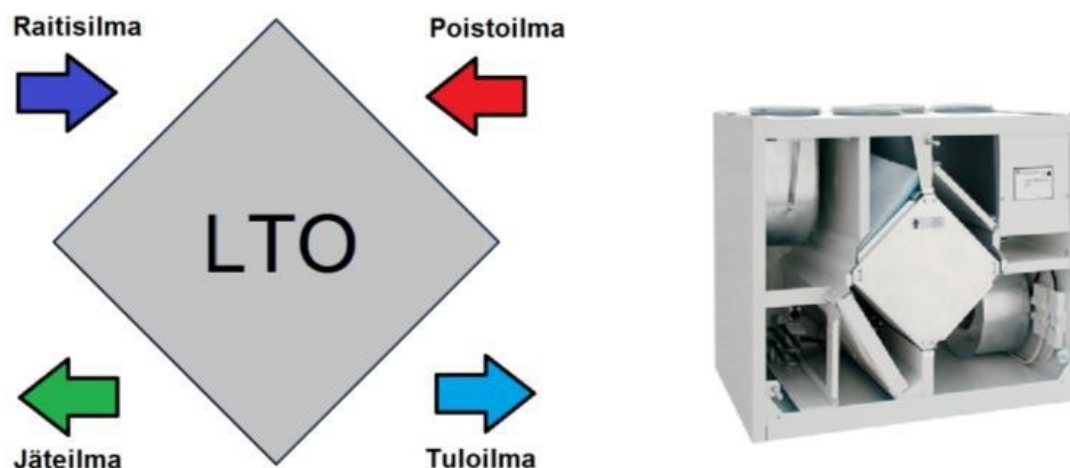
Levylämmönsiirtimiä on kahdenlaisia, ristivirtalämmönsiirtimet ja vastavirtalevylämmönsiirtimiä. Näistä kahdesta vastavirtalevylämmönsiirtimellä on parempi lämpöhyötysuhde. Kun puhutaan levylämmönsiirtimistä, käytetään yleensä lyhennettä (LTO-kuutio). [7]

Levylämmönsiirtimien toimintaperiaate on yksinkertainen. Lämmin poistoilma lämmittää lamelleja ja kylmä tuloilma kerää lämpöenergiaa lamelleista. Vastavirtasiirtimessä tulo- ja poistoilma kulkevat vastakkaisiin suuntiin ja osittain ristiin (kuva 3) alumiinisen lamellipaketin läpi. [7]



Kuva 3; Vastavirtalevylämmöntalteenottolaite periaatekuva [9]

Ristivirtasiirtimessä tulo- ja poistoilma menevät ainoastaan ristiin, siten että poistoilma yleensä menee alaspäin (kuva 4). [7]



Kuva 4; Ristivirtalevylämmöntalteenottolaite periaatekuva [9]

Vastavirtasiirtimen lämpöhyötysuhde on noin 80 % ja ristivirtasiirtimellä noin 60 %. Kaksi ristivirtasiirintä voidaan käyttää myös sarjassa, jolloin lämpöhyötysuhde nousee noin 80 %:iin. Levylämmönsiirtimissä epäpuhtauksien sekoittuminen tuloilmaan on hyvin vähäistä, tämän takia laitteet sopii hyvin esimerkiksi sosiaalityöihin. Haaste LTO-kuutioiden kanssa ovat niiden tilantarve, kun ilmavirrat ovat suuria niin myös LTO-kuution sekä ilmastointikoneen koko kasvaa huomattavasti. [6] Hyötysuhteeltaan huonompi ristivirtasiirtimen käyttö on huomattavasti vähentynyt nykypäivän rakennuksissa, koska suositaan paremmalla hyötysuhteella olevia lämmönsiirtimiä. [11]

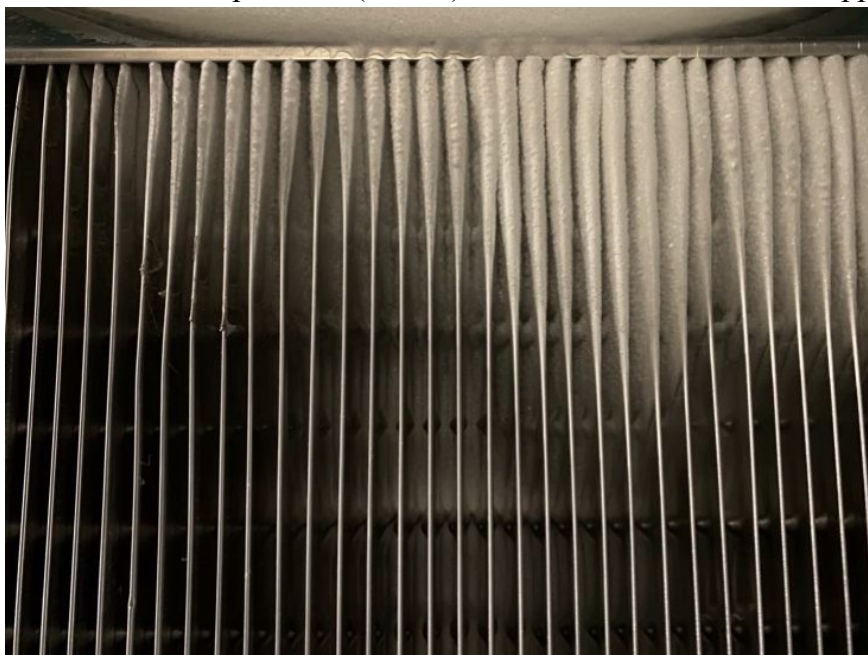
3 Levylämmönsiirtimen ohjaustoiminnot

Automaation avulla huolehditaan LTO-kuution talteenoton tehon ohjauksesta sekä laitteen sulatuksesta. LTO:ta voi ohjata muutamalla eri tavalla, tästä perinteisin malli on rakennusautomaatioon (VAK) kytketty ratkaisu. Rakennusautomaatioon kytkettyjen koneiden ohjaus toteutetaan rakennusautomaatiosuunnittelijan ja rakennusautomaatiourakoitsijan toimesta. Toinen tapa ohjata LTO:ta on laitevalmistajan omalla automatiikalla toimiva IV-kone, laitevalmistaja toteuttaa koko IV-koneen ohjauksen sulatustoimintoa mukaan lukien. LTO:n sulatustoimintoa voidaan myös ohjata erillisellä lohkosulatusautomaatiikalla, tämä ohjaa ainoastaan LTO:n sulatusta. [10]

4 Levylämmönsiirtimen sulatustoiminnot

Sulatus on tärkeä osa levylämmönsiirtimen toimintaa erityisesti silloin, kun laite on sijoitettu kohteisiin missä ulkolämpötila voi laskea todella kylmäksi. Tällaisissa tilanteissa sulatusprosessi auttaa säilyttämään lämmönvaihtimen tehokkuuden ja toimivuuden poistamalla jääkerrostumat. [13]

Matala ulkoilman lämpötila voi herkästi johtaa poistoilman kosteuden tiivistymiseen lämmönsiirtimen pinnoille (kuva 5). Kondensoitumisen määrä riippuu poistoilman

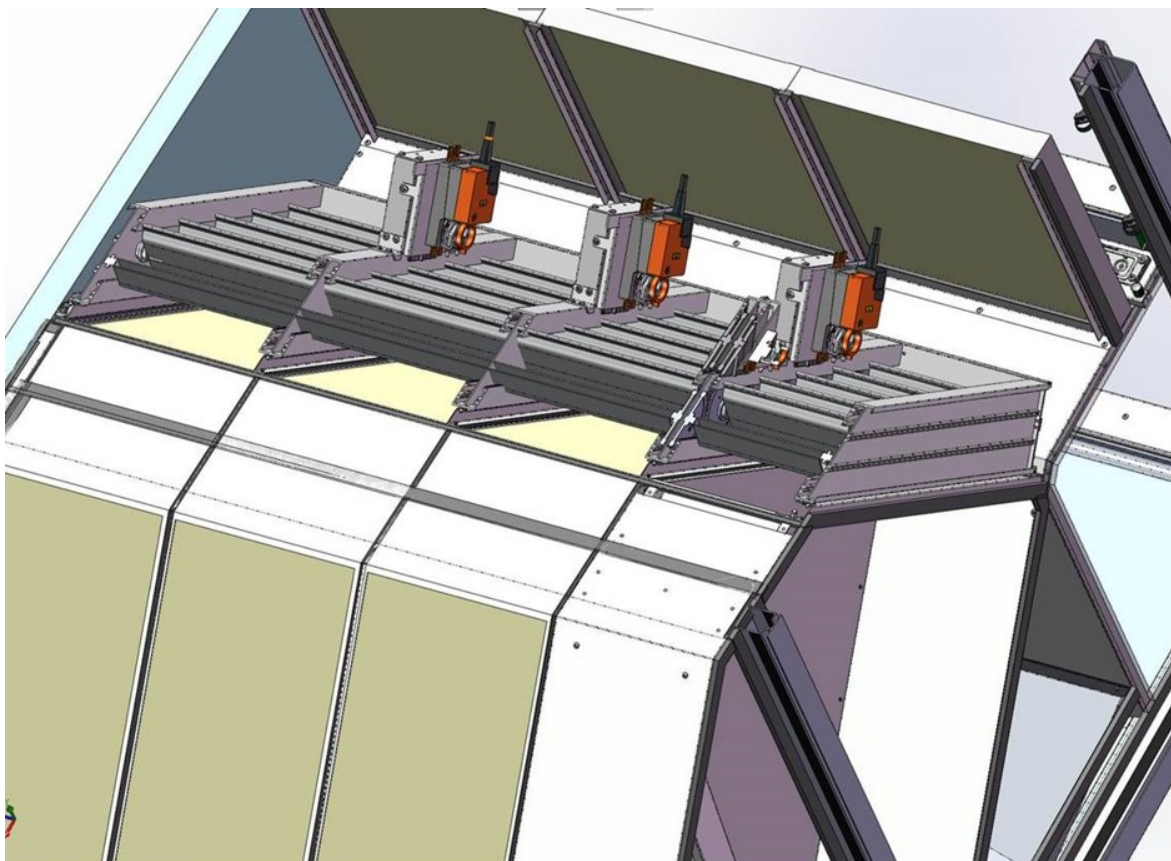


Kuva 5; LTO-laitteen lamelleihin muodostunut jää. [11]

kosteudesta ja ulkolämpötilasta. Siirtimen pintaan muodostuu huurretta, kun talvella ulkoilman lämpötila laskee riittävän matalaksi ja siirtimen pintalämpötila on pakkasen puolella. Huurtuminen voi johtaa jään muodostumiseen, ellei huurretta sulateta ajoissa. [8] Huurtuminen alkaa niin sanotussa ”kylmässä kulmassa”, kylmä kulma muodostuu levy LTO-laitteessa kohtaan missä kylmän poistoilman lämpötila on matalin [11]. Huurteensulatusjärjestelmiä on monenlaisia, yleisimmät näistä ovat lohkosulatus ja etulämmityspatteri [8].

4.1 Levylämmönsiirrin lohkosulatuksella

Yksi levylämmönsiirtimien sulatuksessa käytetyistä menetelmistä on lohkosulatus, joka perustuu lämmönsiirtimen ulkoilman puoleisen etupinnan jakamiseen 2–4 lohkokoon (kuva 6). Sulatusprosessin aikana näitä lohkokolevyjä käytetään sulkemaan lämmönvaihtimen



Kuva 6; LTO:n lohkosulatuspellistö [16]

ulkoilman sisääntulo vuorotellen, yksi osa kerrallaan, tietyksi ajaksi. Tämän jälkeen lämmintä poistoilmaa käytetään sulattamaan jään tai huurteen kyseisessä osassa. Sulatusprosessi käy vuorotellen läpi jokaisen lohkon. Lohkosulatus käynnistyy yleensä, kun paine-ero LTO-laitteen poistopuolella kasvaa liian suureksi. Kun osa tuloilmasta ohjataan

LTO-kennon ohi, jää osa poistoilman lämmöstä ottamatta talteen ja hyötysuhde laskee. [13]
[12]

Vaikka sulatusprosessista aiheutuu jonkin verran tehohäviötä, johtuen siitä, että osa lämmönvaihtimesta ei ole käytössä, tehon lasku ei ole yhtä merkittävä kuin tapauksissa, joissa lämmönvaihdin ei ole käytössä. Tämä johtuu siitä, että lämmönsiirto levylämmönvaihtimen muissa osissa tehostuu. Lisäksi lämmityspatterin tehontarpeen kasvu on suhteellisen vähäistä sulatuksen aikana. [13]

Energiatehokkuuden kannalta lohkosulatus on järkevä menetelmä. Jotta ilmanvirtausta saadaan ylläpidettyä sulatuksen aikana, käytetään aina ohituspeltiä. [7]

Lohkosulatus on hyödyllinen tekniikka levylämmönvaihtimen suorituskyvyn ylläpitämiseksi ja sen tehokkaan toiminnan varmistamiseksi olosuhteissa, joissa on olemassa jään ja huurteen kertymisen riski. [13]

4.2 Jälkilämmityspatteri

Kun tuloilma LTO-kennon jälkeen laskee liian alhaiseksi, tarvitaan jälkilämmitystä saavuttaakseen halutun lämpötilan tuloilmalle. Lämmitys voidaan toteuttaa sähköisellä tai nestekiertoisella jälkilämmityspatterilla. Mitä parempi hyötysuhde LTO:lla on, sitä pienempi tarve on käyttää jälkilämmitystä, vähentäen energiakulutusta. Suunnitteluvaiheessa kannattaisi kaikin keinoin välttää sähköisen jälkilämmityspatterin käyttöä, sähköiset jälkilämmityspatterit tuovat mukanaan suuren paloriskin. [12]

Huurteen ja jään muodostuessa IV-kone aloittaa huurteen ja jään sulatustoiminnan, tämän seurauksena sisään puhallettavan tuloilman lämpötila laskee. IV-koneen sulatusmenetelmä vaikuttaa siihen kuinka paljon sisään puhallettavan tuloilman lämpötila laskee, esim. Jos IV-kone on varustettu lohkosulatuksella niin osa tuloilma pääsee kulkemaan LTO:n läpi eikä se jäähdy yhtä paljon, kun käytössä on LTO:n suora ohitus sulkupellin avulla. [14]

4.3 Levy lämmönsiirrin etulämmityspatterilla

Etulämmityspatterin tarkoitus on ehkäistä LTO-laitteen menemistä huurteenestotilaan, näin pitäen ilmanvaihtokoneen mahdollisimman optimaalisessa käyntitilassa [13]. Etulämmityspatteri on yleensä sähkökäyttöinen mutta voi olla myös nestekiertoinen, jos

lämmitystarve on suuri. Etulämmityspatteri asetetaan yleensä tuloilmakanavaan ennen LTO:ta, mutta on myös koneita missä patteri on sijoitettu LTO-kennon sisälle tulopuolelle. Nestekiertoisissa etulämmityspattereissa käytetään vesi-glykoli sekoitusta jäätymisvaaran takia. [14] Nestekiertoisetpatterit ovat myös kalliimpi vaihtoehto sähköpattereihin verrattuna (haastattelut). Etulämmityspatterit ovat usein mitoitettu niin, että kylmä raitisilma esilämmitetään -23...-18 °C:ksi ennen LTO:ta [11].

Haastattelussa Tom Ahlsvedin ja Mikael Bajernin kanssa tuli ilmi, ettei etulämmityspatteria aina käytetä huurteen ja jään estämiseksi vaan myös sen sulatukseen. Ongelmana voi olla, että patteri on aina päällä, kun ulkolämpötila on alhaisempi kuin asetusarvo tämä johtaa turhaan lämmitykseen, jos kosteuskuorma on alhainen eikä etulämmitystä välttämättä tarvittaisi. Haasteena on siis toteuttaa ohjaus, joka lämmittäisi tuloilmaa ainoastaan silloin kun on todellinen tarve ja LTO:lla on vaarana jäätyä. [14]

5 Laitevalmistajien haastattelu

Tavoitteena on haastattelujen kautta saada eri laitevalmistajien näkemykset levy-LTO:n jään- ja huurteensulatuksen toiminnosta. Laitevalmistajien mielipiteet ovat ratkaiseva osa kehittäessä toimintaselostusmallia. Koska tutkimus käsittelee levy-LTO:n ohjaustoimintoa saadaan parempi käsitys erilaisista ohjaus- ja seurantatavoista haastatteleamalla eri laitevalmistajia. Haastateltavaksi valikoitui seuraavat laitevalmistajat:

- Kair
- Swegon
- FläktGroup
- Koja

Kysymyksiä on kymmenen kappaletta, samaa kysymyspohjaa käytetään kaikissa haastatteluissa. Haastateltaville esitetyt kysymykset:

1. Millaista automaatiojärjestelmää käytetään laitteiden huurteen ja jään sulatukseen? (Suoraan automaatioon kytketty/erillinen ohjaus).
2. Miten automaatiojärjestelmä on ohjelmoitu havaitsemaan sulatuksen tarvetta, ja miten sulatus aktivoidaan?

3. Miten eri mittauksien kuten paine, lämpötila ja kosteus lukemia käytetään automaatiojärjestelmän ohjaamiseen?
4. Millaista sulatusmenetelmää suosittelisitte ja miksi? (lohkosulatus, ilman lohkosulatusta, esilämmitys)
5. Esilämmityspatteri (Nestekiertoiset vai sähkökäyttöiset)
6. Esilämmityspatterin käyttöohje
7. Onko ollut tapauksia, joissa automaatiojärjestelmä ei ole onnistunut estämään huurtumista tai jäätymistä, ja miten nämä ongelmat on ratkaistu?
8. Miten eri sulatusmenetelmät vaikuttavat laitteiden yleiseen tehokkuuteen?
9. Onko automaatiojärjestelmään tai yleiseen prosessiin laitteiden huurtumisen ja jäätymisen ehkäisyssä mahdollisesti tulevaisuuden tutkimus- tai parannuskohteita?
10. Muuta mainittavaa/kommentit?

5.1 Haastattelujen analyysi

Haastatteluissa ilmeni, että kaikki haastateltavat pitivät aihetta olennaisena ja ovat myös kiinnostuneita kehittää entistä parempia ratkaisuja. Huurteen ja jään sulatustoimintona käytettiin pääsääntöisesti ainoastaan lohkosulatusta, mutta tässä lohkopeltien määrä vaihteli eri laitevalmistajien ratkaisuista 2:n ja 4:n välillä. Huomattava ero oli siinä, kuinka jään ja huurteen muodostumista seurattiin ja kuinka sulatustoiminto käynnistetään. Seuranta menetelmänä käytettiin paineenmittausta LTO:n poistopuolen yli, kosteusmittauksen sekä jäteilmän lämpötilamittauksen avulla laskettu kastepiste tai yhdistelmä paine- sekä jäteilmän lämpötilamittaus. Kun kastepistettä käytetään, on järkevintä käyttää laitevalmistajan omaa automatiikkaa. [10]

Toinen suuri ero oli myös etulämmityspatterin käytöstä sekä sen tarpeesta, mutta yhtenäistä oli kuitenkin se, että etulämmityspatterin käyttö ei aina ole vältettävissä. Etulämmitysratkaisuna käytetään useimmiten sähköistä patteria, mutta jossain tapauksissa nestekiertoista. Etulämmityspatteria ohjataan usein niin että patteri pitää tuloilman ennen

LTO:ta halutussa arvossa, asetusarvo on muutettavissa mutta oletusarvot vaihtelevat laitevalmistajien välillä -18 jopa -32. Jään- ja huurteensulatukseen laitevalmistajat tarjoavat joko omalla säätimellä varustettuja koneita tai ilman erillistä säädintä. Yleensä koneet myydään laitevalmistajan omalla automatiikalla asiakkaan toiveesta. [10]

Lohkosulatuksen ohjaus vaihteli myös laitevalmistajien välillä, tässä yksi ero oli lohkopeltien määrä mistä aikaisemmin mainitsin. Eroa oli myös siinä, kuinka ohituspeltiä ohjattiin suhteessa lohkopelteihin, neljän lohkopellin ratkaisussa oli mahdollisuus suuremmissa sulatustarpeissa sulkea useampi pelti kerrallaan. [10]

Ongelmatilanteita on useimmiten syntynyt silloin kun rakennusten kosteuskuormaa ei ole pystytty arvioimaan, tämän seurauksena LTO-laitteet ovat päässyt jäätymään koska käytössä ei ole ollut etulämmityspatteria. [10]

6 Kohdekäynti

Kohdekäynti tarjoaa ainutlaatuisen tilaisuuden nähdä laitteet toiminnassa, sekä antaa ymmärryksen siitä, kuinka koneet toimivat reaaliajassa. Lisäksi vierailut paikan päällä antavat käsityksen siitä, miten lämmöntalteenottojärjestelmää hallitaan ja valvotaan automaation avulla.

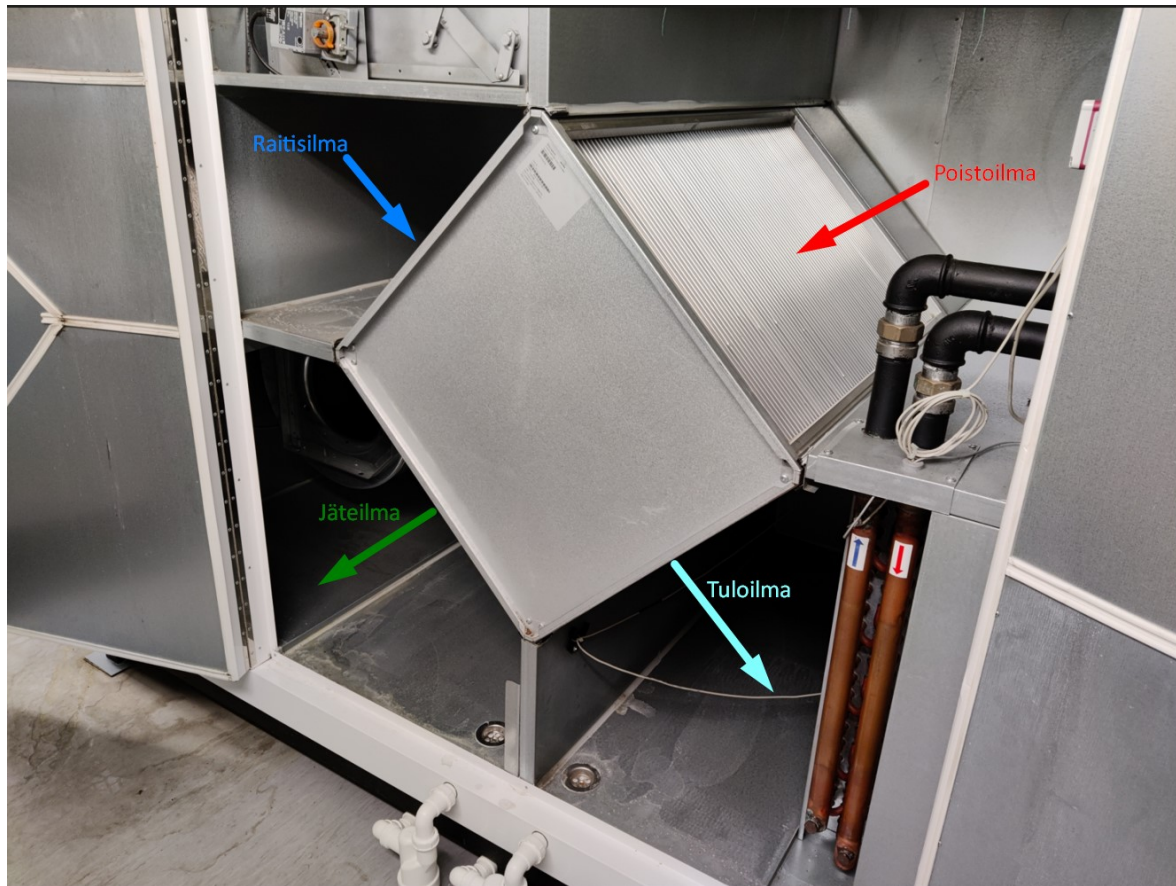
Tässä luvussa esitellään kohteessa tehdyn käynnin tulokset. Kohdekäynnillä analysoitiin laitteen suorituskykyä, paikannettiin parannusta vaativat alueet ja muodostettiin käsitys IV-koneitten toiminnasta, joissa on lämmöntalteenotto- ja sulatustoiminto.

6.1 Vaasan kaupunki

Vaasan kaupungin kohdekäynnissä tarkasteltiin 160m² toimistotilaan suunniteltua IV-konetta. Lämmöntalteenottoratkaisuna käytettiin ristivirtaista levylämmönsiirrintä, LTO-kuution jään ja huurtumisen sulatus suoritettiin ohituspellillä. Tässä järjestelmässä käytettiin myös nestekiertoista jälkilämmityspatteria, ilman lämmittämiseen sulatustoiminnon aikana. Etäyhteyden avulla IV-koneen seuranta ja säätö onnistui suoraan valvomosta. Ohjaajana toimi Teese Botnian kiinteistö- ja energiatekniikan työnjohtaja Ulf Nyman. [15]

6.1.1 Lämmöntalteenotto

Kuvassa (kuva 7) on toimistotilaan käytetty levylämmönsiirrin, tarkemmin ottaen



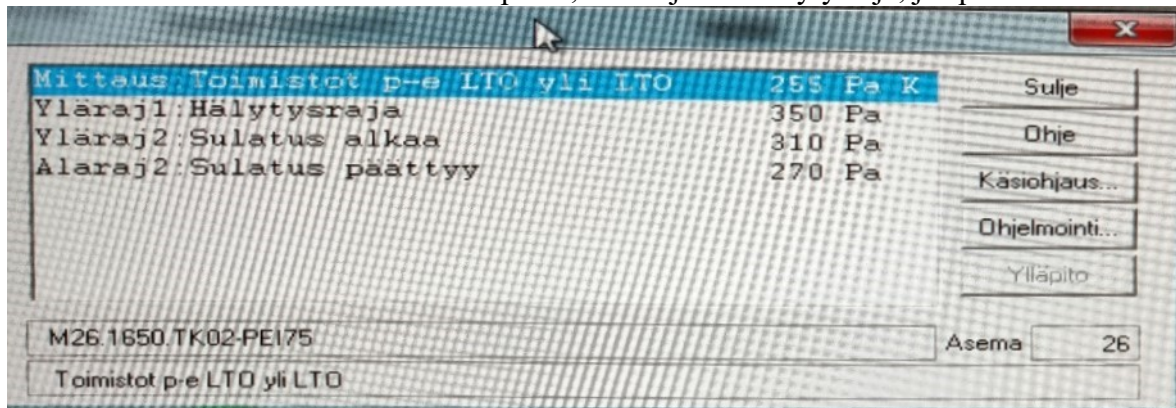
Kuva 7; Toimistotilan ristivirtalämmönsiirrin

ristivirtalämmönsiirrin. Koneen sisällä kulkevat ilmanvirrat ovat mallinnettu ja nimetty kuvassa nuolten avulla. Koneen pohjalta löytyy myös kondenssivesiallas, kun huurteen ja jään sulattamisen yhteydessä ilmestyy vettä, se valuu altaaseen näin poistuen IV-koneesta. [15]

6.1.2 Huurteen ja jään sulatus

Niin kuin aiemmin mainitsin, IV-kone on varustettu huurteen ja jään sulatustoiminnolla. Huurteen ja jään sulatus toiminto käynnistyy painemittauksen avulla, jos paine LTO:n poistupuolella nousee liian korkeaksi, sulatustoiminto käynnistyy. [15]

Kuvassa (kuva 8) nähdään sulatustoiminnon raja-arvot sekä aktueli paine LTO:n yli. Ensimmäisen rivin mittaus on aktueli paine, ”Yläraj1” on hälytysraja, jos paine nousee 350



Kuva 8; Huurteen ja jään sulatuksen raja-arvot

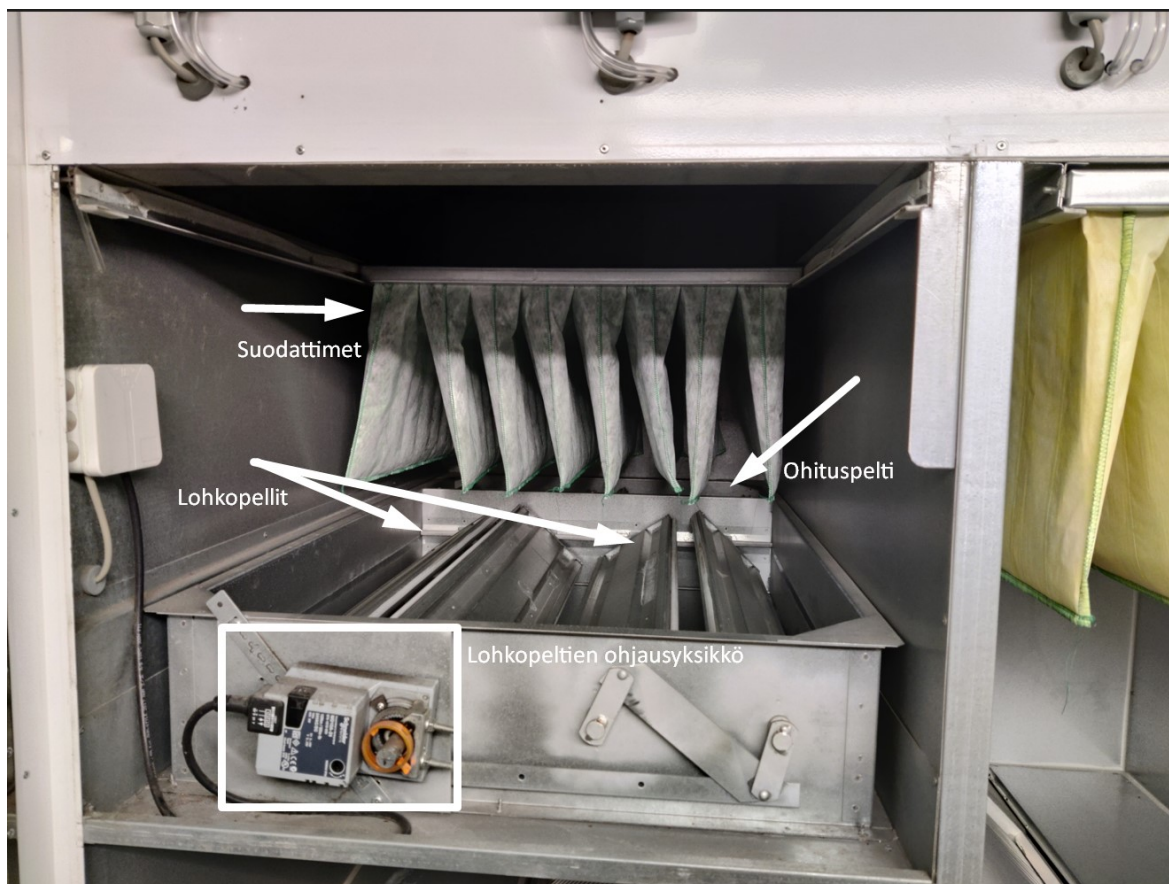
Pascaliin tai sen yli niin järjestelmään tulee hälytys. ”Yläraj2” on raja-arvo sulatuksen aloittamiseksi, kun paine nousee 310 Pascaliin tai sen yli, sulatus käynnistyy. Sulatustoiminto on käynnissä niin kauan kunnes paine putoaa 270 Pascaliin tai sen alle, eli alarajaan. [15]



Kuva 9; IV-koneen mittarit

Kuvassa (kuva 9) on IV-koneen fyysiset mittarit, nämä arvot ovat myös nähtävissä IV-koneen grafiikassa.

Tässä kuvassa (kuva 10) nähdään IV-koneen sulatusjärjestelmän rakenteen, nuolien avulla on eritelty sulatusjärjestelmän eri osat. On huomioitava, että kyseinen sulatusjärjestelmä on hieman yksinkertaisempi kuin aiemmin tekstissä mainitusta lohkosulatuksesta, sillä tämän koneen sulatusjärjestelmä ei sulata yhtä osaa kerrallaan lohkojen avulla. Keskustelu Teese Botnian kiinteistö- ja energiatekniikan työnjohtajan Ulf Nymanin kanssa, selvensi että



Kuva 10; LTO:n sulatusjärjestelmä

kyseisessä järjestelmässä pellit ovat joko täysin auki tai kiinni, eikä siinä ole mitään välitilaa. Tämän järjestelmän sulatus toimii siis ohituspeltimallisena, joko ilma virtaa LTO:n läpi tai sitten ei. [15]

6.1.3 Jälkilämmitys

Siinä vaiheessa, kun IV-kone joutuu sulatustoimintoon pellit sulkeutuvat ja kylmä raitisilma ohjautuu ohituspellin avulla LTO:n ohi. Sulatuksen aikana tässä järjestelmässä ei siis saada yhtään lämpöä talteen LTO:lta koska kaikki tuleva kylmä raitisilma kulkee ohituspellin kautta. Sulatuksen aikana tarvitaan siis toista tapaa lämmittää kylmää raitisilmaa, kyseisessä järjestelmässä käytetään nestekiertoista lämmityspatteria. Kuvassa (kuva 11) on

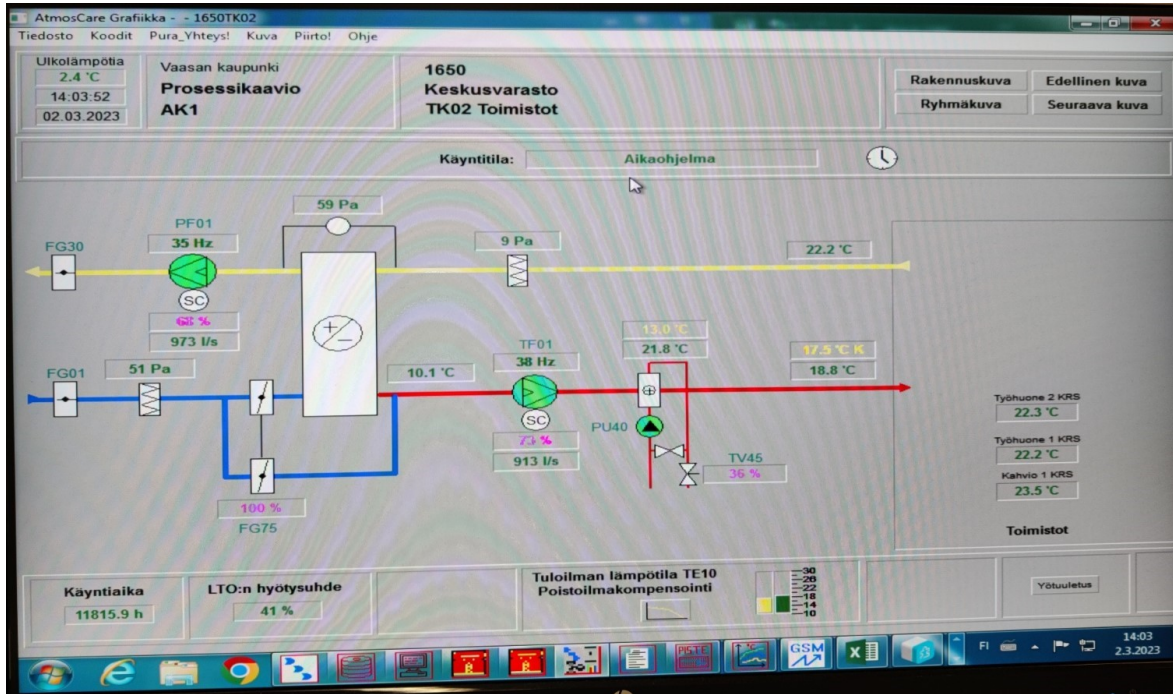


Kuva 11; Jälkilämmityspatteri

järjestelmässä käytetty nestekiertoinen jälkilämmityspatteri. Kun IV-kone ajettiin huurteensulatustilaan, jälkilämmityspatteri alkoi lämmittämään raitisilmaa samalle asetetulle arvolle, kun LTO:n ollessa normaalitilassa. [15]

6.1.4 Valvomografiikka

Valvomografiikan avulla on mahdollista seurata ilmanvaihtokoneen erillisten laitteiden tilat sekä mitattavat arvot. Kuvassa (kuva 12) on kohteen valvomossa käytetty grafiikka IV-koneelle.



Kuva 12; IV-koneen valvomografiikka

Grafiikasta voidaan päätellä IV-koneen toimintaperiaate (kuva 10). Aloittaen vasemmalta, kylmä raitisilma kulkeutuu sinistä kanavaa pitkin. Sekä raitisilman- että poistupuolen kanavassa on sulkupelti (FG01 ja FG30), tuloilmapuoleisen sulkupellin jälkeen on suodatin, jonka yli mitataan paine. Paineen noustessa kyseessä voi olla likaantunut suodatin. Suodattimen jälkeen raitisilma kulkeutuu joko LTO:n läpi tai sitten ohituksen kautta, kuvassa nähdään, että ohituspelti (FG75) on 100 % kiinni tämä tarkoittaa sitä, että kaikki raitisilma kulkeutuu LTO:n läpi. LTO:n jälkeen mitataan lämpötila. TF01 ja PF01 ovat puhaltimia ja molempia ohjataan omilla taajuusmuuntajilla. TF01 on tuloilmapuhallin, grafiikasta selviää puhaltimen tehon (73 %) sekä kuinka paljon ilmaa kone puhaltaa (913 l/s). Tuloilmapuhaltimen jälkeen on nestekiertoinen jälkilämmityspatteri. Jälkilämmityspatteri käynnistyy silloin kun LTO ei pysty lämmittämään ilmaa halutulle asetusarvolle. Patterin tehoa säädetään ohjaamalla venttiiliä (TV45), PU40 on pumppu, joka kierrättää nestettä patterissa. Viimeisenä mitataan lämpötila sisään puhallettavasta ilmasta. [15]

Poistupuolella aloittaen oikealta, lämmin poistoilma kulkeutuu keltaista kanavaa pitkin. Ensimmäisenä mitataan toimistosta tullutta lämpötilaa, tätä lämpötilamittausta käytetään

poistoilmakompensointiin. Ennen LTO:ta poistoilmapuolella on suodatin minkä yli myös mitataan paine. Lämmin poistoilma kulkeutuu LTO:n läpi, LTO:n yli poistopuolella mitataan paine. Paineenmittauksen avulla käynnistetään huurteen ja jään sulatuksen tarvittaessa. PF01 on poistoilmapuhallin, grafiikalta selviää samat tiedot, kun tuloilmapuhaltimesta. [15]

Ulkolämpötilaa mitataan myös ja se esitetään grafiikan vasemmassa yläkulmassa. Grafiikasta voidaan myös seurata LTO:n hyötysuhdetta, on huomioitavaa, että tässä kuvassa IV-kone on juuri lopettanut huurteen ja jään sulatustoiminnon ja tämän takia hyötysuhde on niin alhainen. IV-koneen käyntiaika on myös lisätty grafiikkaan vasemmassa alareunassa. [15]

6.2 Mietteitä

Järjestelmä vaati hyvin vähän huoltotoimenpiteitä, suodattimia vaihdettiin kahdesti vuodessa (kuva 13). Ulf Nymanin mukaan hänen aikansa kone ei ole ikinä jäänyt ja



Kuva 13; IV-koneen suodattimet

meinasin että jos huurteen ja jään sulatus käynnistyy tämä viittaa usein johonkin muuhun vikaan, eikä LTO:n jäätymiseen. Se että LTO-kuutio harvoin jäätyy, johtuu todennäköisesti siitä, että IV-konetta käytetään toimistotilaan, missä kosteuskuorma on hyvin vähäistä. Sulatusjärjestelmää voitaisiin parantaa säätämällä ohituspellistön ohjausta siten, ettei pellit aina ole joko täysin auki tai kiinni. Pienemmässä sulatuksen tarpeessa voitaisiin ohjata peltejä 50 % auki, näin järjestelmä toimisi energiatehokkaammin. [15]

7 Toimintaselostusmalli ja säätökaaviot

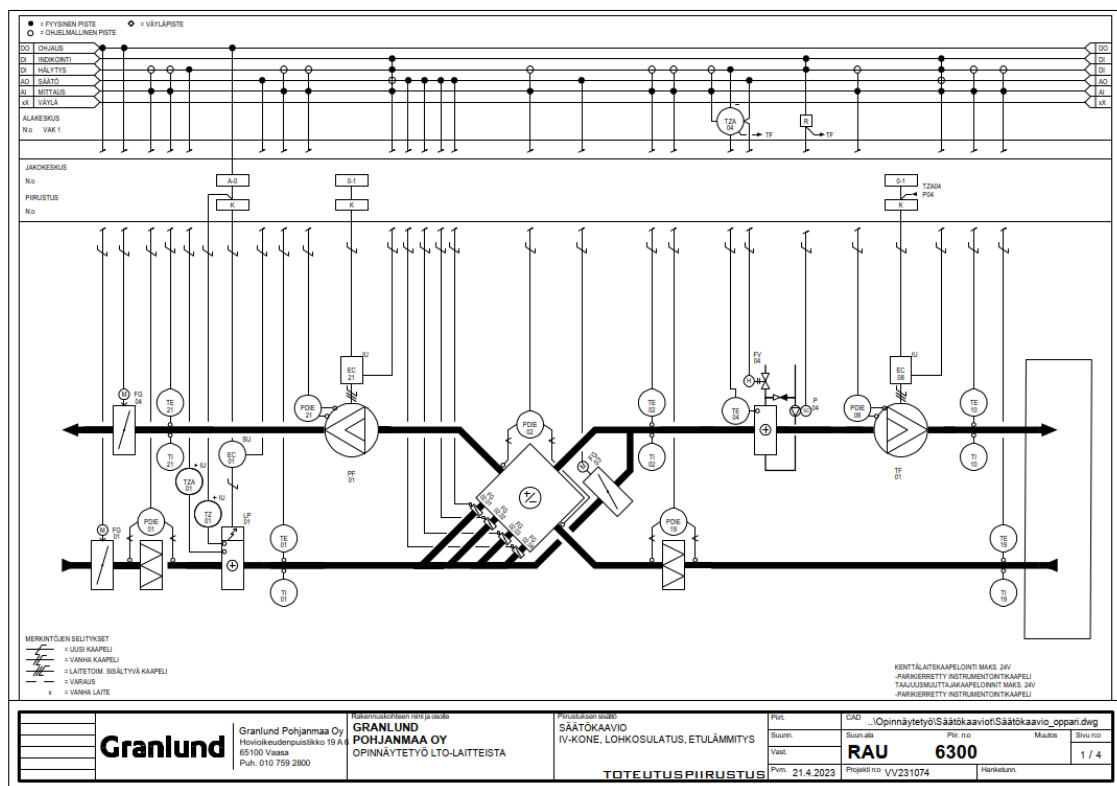
Säätökaavio kuvaa prosessin toimintaa ja laitteen ohjaavat sekä säätävät järjestelmät piirustusten ja sanallisen toimintaselostuksen avulla. Säätökaaviot ovat tehty AutoCAD suunnitteluohjelmassa. Säätökaaviossa esiintyvien laitteiden sekä antureiden laitetunnukset ja selitteet löytyvät tunnus ja selite taulukosta.

Taulukko 1. Tunnus ja selite

TUNNUS JA SELITE	
FG	Pellin toimilaite
PDIE	Paine-eroanturi/mittari
TE	Lämpötila-anturi
TI	Lämpötilamittari
TZA	Ylikuumenemis-/jäätymisvaaratermostaatti
TZ	ylilämpötermostaatti
EC	Sähkötehon säädin
LP	Lämmityspatteri
FV	Säätöventtiili
P	Pumppu
TF	Tuloilmapuhallin
PF	Poistoilmapuhallin

7.1 Levylämmönsiirtimellä varustettu IV-koneen säätökaaviot

Kuvassa (kuva 14) on säätökaavio IV-koneelle lohkosulatuksella sekä sähköisellä etulämmityspatterilla. Tässä järjestelmässä jään – ja huurteensulatustoiminto käynnistyy painemittauksella LTO:n poistupuolen yli (PDIE 02) sekä jätelämpötilan mittauksella (TE21). LTO-kuutiossa on 4 lohkopeltiä (FG02.01, FG02.02, FG02.03, FG02.04) sekä ohituspelti (FG03). Koneessa on myös nestekiertoinen jälkilämmityspatteri.



Kuva 14; IV-kone säätökaavio

7.2 Toimintaselostusmallit

Järjestelmän toimintaa vaikuttavat ohjelmat ovat tarkemmin selostettu Granlund Pohjanmaan omassa ohjelmaluettelossa, toimintamalliselostuksiin lisättiin seuraavat ohjelmat (kuva 15). Toimintamalliselostuksiin on liitetty ainoastaan LTO-laitteen oleelliset ohjelmat koska tarkoituksena on käyttää malleja pohjana suunnitteluvaiheessa. Suunnittelija päättää itse mitkä ohjelmat on lisättävä luodessaan piirustukset.

OHJELMAT	
Osajärjestelmän toimintaan vaikuttavat seuraavat ohjelmat, joiden yksityiskohtainen toiminta on selostettu ohjelmaluettelossa.	
NO	HÄLYTYSOHJELMAT
0-17	HÄLYTYSOHJELMAT OHJELMALUETTELOON MUKAISESTI
NO	TAPAHTUMAOHJELMAT
8	LTO-LUKITUS
9	LTO-JÄÄHDYTYSENERGIAN TALTEENOTTO
NO	RAPORTINTOHJELMAT
2	LTO:N HYÖTYSUHDELASKENTA JA RAPORTTI

Granolund	Granolund Pohjanmaa Oy Hivokalehterintie 19 A 60100 Vaasa Puh. 010 759 2800	GRANLUND POHJANMAA OY OPINNAITETTY LTO-LAITTEISTA	SÄÄTÖKAAVIO IV-KONE, LOHKOSULATUS, ETULÄMMITYS	Proj.	OP	Opinnäytetyö/Sääntökaavio/Sääntökaavio_oppaari.dwg	Arvio		
				Luonn.			Arvio		
				Yks.	RAU	6300	2 / 4		
			TOTEUTUSPIIRUSTUS	Päivä	21.4.2023	Projekti	VY231074	Revisioiden	

Kuva 16; Osajärjestelmän toimintaa vaikuttavat ohjelmat

Ensimmäisen säätökaavion toimintamalliselostuksen kuvaus toteutettiin seuraavanlaisesti (kuva 16). Ohjaus kohdassa on selostettu etulämmityspatterin ohjaus sekä turvatoimet, tähän

TOIMINTAKUVAUS	
Tuloilmakone tuottaa vaikutusalueensa lämmitetyn tuloilman yläpöytäen tavoitteensa mukaista ilmanlaatua.	
YLEISTÄ Kaikki toimintaselostuksessa mainitut [aseteltavat arvot] ovat käyttäjän muutettavissa sekä valvomografialta että alakeskusnäytelä.	
OHJAUKSET Jos sähkölämmityspatteri LP01 on ollut käytössä tulo- ja poistoilmapuhaltimet TP01 ja PF01 ei saa pysähtyä ennen kuin sähkölämmityspatterin jälkikäyntiaika on ohi. Jälkikäyntiäin asetusarvo (esim. 15 min.) ei saa olla käyttäjän muutettavissa. Jos sähkölämmityspatteri LP01 on asennettu kannon sisälle LTO-lohkopelti FG02.01, FG02.02, FG02.03 ja FG02.04 ei saa sulkeutua ennen kuin sähkölämmityspatterista sulkeutuu syöttö. Tuloilman lämpötilan TE10 alarajan alittaessa [esim. +10 °C] pysäyttää kuitenkin tämän toiminnon ennen viiveen kulumista loppuun. Sähkölämmityspatteri LP01 saa käynniltään ainoastaan jos tulo- ja poistoilmapuhaltimet TP01 ja PF01 käy, ilmämäärälähettimen FE10 mittamaa ilmarivua on yli [esim. x l/s] ja raitisilmalämpötila TE00 on alle asetusarvon [esim. Koja -15 °C, Kair -23 °C, Swegon -32 °C, Fläkt -18 °C].	
Lämpötilan säätö (etulämmitys): Säätöohjelma pitää tuloilman lämpötilan TE01 asetusarvossaan (esim. -18°C) ohjaamalla sähköpatterin tehoa.	
VAROTOIMINNAT JA HÄLYTYKSET Sähkölämmityspatterin LP01 sisäinen ylläpölymerostatti TZ01 katkaisee lämmityksen. Sähkölämmityspatterin LP01 ylikuumentumisuoja TZA01 katkaisee lämmityksen. Lauetessa se on kuitattava käsin. LTO-kuution poistopuolen paine-eron PDIE02 ollessa asetellun ajan [esim. 5 min.] yli huurtumisrajan [esim. 150 Pa] ja jäteilämpötilan TE21 ollessa alle LTO:n huurtumisrajan [esim. -1°C] säätöohjelma TC21 estää jällelman lämpötilaa TE21 laskemasta alle asetusarvon [esim. 3 °C] ohjaamalla LTO-pellistä. Mikäli paine-ero ei laske viiveen jälkeen, käynnistetään LTO-pellistin lohkosulatusjakso. Lohkosulatusjakson aikana suljetaan vuorotellen LTO-lohkopeltiä FG02.01, FG02.02, FG02.03 ja FG02.04 rakennusautomaatio-järjestelmään asetellun jaksotuksen mukaan.	
Kukin pelti sulkeutuu aseteltavaksi ajaksi [esim. 10 min.] jonka jälkeen seuraava pelti sulkeutuu ja edellinen pelti avautuu. Kun viimeisen lohkon sulatusaika on kulunut, mahdollistetaan uusi sulatusjakso vasta aseteltavan viiveen [esim. 10 min.] jälkeen. Lohkosulatuskseen ollessa toiminnassa ohituspelit FG03 on auki (esim. 40%), jotta tuloilmamäärä säilyy haluttuna. Jos viiveen sekä x määrän sulatusjakson jälkeen paine-ero edelleen yli huurtumisrajan, ohjataan sulatusjakso siten että pelit sulkeutuvat 2x peliä kerrallaan. Lohkosulatuskseen ollessa toiminnassa ohituspelit FG03 on auki (esim. 50-60%), jotta tuloilmamäärä säilyy haluttuna. Jos tämän jälkeen paine-ero edelleen yli huurtumisrajan suljetaan kaikki LTO-lohkopeltit FG02.01, FG02.02, FG02.03 ja FG02.04 sekä avataan ohituspelit FG03 (100%) aseteltavaksi ajaksi (esim. 15min). Palautuminen normaaliasäädön piiriin tapahtuu, kun paine-ero PDIE02 on laskenut eroalueen verran, kuitenkin aikaisintaan [esim. 20 min.] viiveen kuluttua. LTO-lohkosulatusohjelman ollessa aktiivituneena, saadaan graafikalle ilmoitus "LTO-lohkosulatus". Säätöohjelma TC01 estää raitisilman lämpötilaa TE01 laskemasta käyntiaikana alle asetusarvon [esim. Kaja -15 °C, Kair -23 °C, Swegon -32 °C, Fläkt -18 °C] ohjaamalla etulämmityspatteria LP01. Säätöohjelma TC02 estää LTO:n jälkeistä tuloilman lämpötilaa TE02 laskemasta käyntiaikana alle asetusarvon [esim. +12 °C] ohjaamalla LTO-kuution ohituspeltejä FG02.0x.	

Granolund	Granolund Pohjanmaa Oy Hivokalehterintie 19 A 60100 Vaasa Puh. 010 759 2800	GRANLUND POHJANMAA OY OPINNAITETTY LTO-LAITTEISTA	SÄÄTÖKAAVIO IV-KONE, LOHKOSULATUS	Proj.	OP	Opinnäytetyö/Sääntökaavio/Sääntökaavio_oppaari.dwg	Arvio		
				Luonn.			Arvio		
				Yks.	RAU	6300	3 / 3		
			TOTEUTUSPIIRUSTUS	Päivä	21.4.2023	Projekti	VY231074	Revisioiden	

Kuva 15; Toimintamalliselostus

malliin on lisätty se mahdollisuus, että etulämmityspatteri on asennettu LTO-kuution sisälle eikä tuloilmakanavaan. Etulämmityspatterin ollessa asennettuna LTO-kuution sisälle on varmistettava, ettei LTO:n lohkopellit (FG02.0x) voi sulkeutua ilman että syöttö myös katkeaa lämmityspatterista. Kyseisessä säätökaaviossa etulämmityspatterin ohjaus on suunniteltu niin ettei se ole mukana lämmitysportaassa. Tämä tarkoittaa sitä, että etulämmityspatteri saa käyntiluvan ainoastaan ulkolämpötilan perusteella. Etulämmityksen käynnistys edellyttää myös sen että tulo- ja poistoilmapuhaltimet ovat käynnissä ja

ilmavirtaus on riittävän suuri. Ulkolämpötilan asetusarvo voi valita eri laitevalmistajien asetusarvoista, tässä vaihtoehdot ovat: Kair (-23 °C), Swegon (-32 °C), FläktGroup (-18 °C) ja Koja (-15 °C).

Lohkosulatus on suunniteltu siten että yksi lohkopelti sulkeutuu kerrallaan, tietyksi ajaksi. Oletusarvona on käytetty kymmenen minuuttia, tämän ajan jälkeen lohkopelti aukeaa ja toinen sulkeutuu, kunnes viimeisen lohkopellin sulatusaika päättyy. Sulatusjakson aikana ohituspelti aukeaa 40 %, oletusarvo on vaihdettavissa. Jos sulatus ei onnistu ensimmäisellä sulatusjaksolla toinen sulatus alkaa tietyn viiveen jälkeen, tässä oletusarvo kymmenen minuuttia. Toisella sulatusjaksolla ohjataan peltejä siten että kaksi peltiä sulkeutuu kerrallaan, tietyksi ajaksi. Jos toisen sulatusjakson jälkeen edelleen tarve sulatukselle, ajautuu kaikki lohkopellit kiinni ja ohituspelti aukeaa 100 % asetetulle ajalle. Tämä mahdollistaa koko LTO:n sulatusta vaativissa tilanteissa.

Toinen mallikaavio on hieman yksinkertaisempi, tässä järjestelmässä ei ole käytetty esilämmityspatteria vaan ainoastaan lohkosulatusta. Lohkosulatuksen ohjaus on tässä mallissa sama kuin edellisessä.

Viimeinen säätökaavio ja toimintamalliselostus perustuu IV-koneeseen missä on lohkosulatus ainoastaan kahdella lohkopellillä. Sulatusjakso ohjataan siten että yksi lohkopelti sulkeutuu kerrallaan asetelluksi ajaksi, tässä asetusarvo on 15 minuuttia. Sulatusjakson aikana ohituspelti aukeaa 40 %.

8 Pohdinta

8.1 Tulosten luotettavuus

Tieto käytetty uusien toimintamalliselostusten luomisessa on suurimmaksi osaksi tullut laitevalmistajien omista ratkaisuksista sekä mielipiteistä. Laitevalmistajilla on pitkä kokemus ja tietämys LTO:n toiminnasta useassa eri olosuhteessa. Toimintamalliselostukset seuraavat ympäristöministeriön viimeisimpiä asetuksia kuten, ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta (1010/2017) ja ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta (1009/2017).

Säätökaavioiden piirustukseen on käytetty Granlund Pohjanmaan lisenssillä oleva AutoCAD piirustusohjelma.

8.2 Yhteenveto

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä selvitys levylämmönsiirtimen jään- ja huurteensulatuksen ohjaustoiminnoista ja hyödyntää eri vaihtoehtoja toimintamalliselostusten päivittämisessä. Haastatteluista ilmeni että jään- ja huurteensulatuksen ohjaukset sekä sulatusjärjestelmien ratkaisut eroavat toisistaan. Kun kosteuskuorma on korkea ja ulkolämpötila laskee hyvin alhaiseksi, etulämmityspatterin tarvetta ei voida poissulkea, jotta levylämmönsiirrin toimisi optimaalisesti.

Sulatusjärjestelmänä lohkosulatus on ehdottomasti suosituin, tässä lohkopeltien määrä voi vaihdella 2–4:ään mutta toimintaperiaate on sama. Koska lohkosulatuksen ohjaustoiminnot ovat monipuolisia sekä sulatusmenetelmänä energiatehokas, sen käyttö on hyvin järkevää. Tässä omasta mielestäni lohkosulatus neljällä lohkopellillä antaa enemmän ohjausvaihtoehtoja. Etulämmityspatterin käyttö on suositeltavaa, kun ulkolämpötila laskee hyvin alhaiseksi ja kosteuskuorma tilassa on suuri. Jos laitteessa ei käytetä etulämmityspatteria niin on huomioitava, että LTO-kuution täytyy olla mitoitettu ja optimoitu siten että se pystyy toimimaan ilman etulämmitystä ulkolämpötilan ollessa reilusti pakkasen puolella.

Jään ja huurteen paikantamiseen käytetyt menetelmät vaihtelivat myös jonkin verran, suosituin tapa oli kuitenkin LTO:n poistopuolen yli mitattu paine-ero. Poistoilman lämpötila- ja kosteusmittauksella laskettu kastepiste oli myös yksi tapa havaita huurtumista. Suunnittelijan näkökulmasta kastepiste jään ja huurteen havaitsemiseksi on hieman haastavaa, sillä LTO-laitteet, jotka käyttävät tätä menetelmää ovat useimmiten ohjattu laitevalmistajien omalla automatiikalla. Tästä syystä LTO:n yli mitattu paine ero on huomattavasti helpompi toteuttaa suunnittelijan sekä rakennusautomaatiourakoitsijan toimesta, jos koneessa ei ole laitevalmistajan omaa automatiikkaa. Paine-ero mittauksen raja-arvo ei ole kuitenkaan kiinteä vaan vaihtelee poistoilmavirtauksen mukaan. Jos puhallin on pienellä teholla niin raja-arvo voi olla 60 Pascalia vähemmän, kun koneen ollessa täydellä teholla. Esimerkiksi paine-eron raja-arvo koneen ollessa minimiteholla (120 Pa) ja koneen ollessa maksimiteholla (180 Pa).

Suunnitteluvaiheessa on todella tärkeää, että tiedostetaan toimialueen kosteuskuormat, jotta voidaan tehdä oikeat päätökset IV-koneen suunnittelussa sekä koneen ohjauksiin liittyviin valintoihin.

Kolme eri IV-koneen mallia piirrettiin autoCAD ohjelmassa, toteutetut mallit olivat seuraavat: IV-kone sähköisellä etulämmityspatterilla sekä lohkosulatuksella neljällä lohkopellillä, IV-kone pelkällä lohkosulatuksella neljällä lohkopellillä ja IV-kone pelkällä lohkosulatuksella kahdella lohkopellillä. Kaikissa kolmessa säätökaaviossa ja toimintamalliselostuksessa käytettiin LTO:n poistopuolen paine-ero mittausta jään ja huurteen havaitsemiseksi. Toimintamalliselostuksiin lisättiin mahdollisuus valita eri laitevalmistajien asetusarvoja, tämä helpottaa suunnittelijan työtä, kun IV-koneen valmistaja on tiedossa.

Kohdekäynti tarjosi mahdollisuuden tutustua IV-koneen sekä LTO:n toimintaperiaatteeseen sekä nähdä laitteet toiminnassa. Käynti oli tärkeä, sillä aikaisempaa tietämystä laitteista oli hyvin vähäistä. Ajanpuutteesta kohdekäyntejä kertyi ainoastaan yksi, käyntejä olisi saanut olla enemmän, jotta olisi ollut mahdollisuus perehtyä entistä syvemmälle LTO-kuutioiden jään- ja huurteensulatusprosessiin. Kohdekäynnin yhteydessä tarkasteltu IV-kone harvoin ajautui huurteenestotilaan, tämän takia olisi ollut hyvä tehdä useampi kohdekäynti nähdäkseen IV-koneita, jotka ajautuvat huurteenestotilaan. Näin ollen olisi voinut seurata IV-koneen käyttäytymistä sulatustilassa, sekä analysoida grafiikan sekä trendien avulla hyödyllistä tietoa.

Opinnäytetyön aiheesta oli suhteellisen vähän taustatietoa ja tietämystä, tämän takia alussa kului paljon aikaa perehtymiseen ja perustiedon luomiseen. Luotettavien lähteiden löytäminen tuntui alussa todella haastavalta, mutta oikealla hakutavalla niitäkin alkoi lopulta löytyä.

Tuloksena muodostui kolme säätökaaviota päivitettyillä toimintamalliselostuksilla, malleja voi käyttää pohjana suunnittelu vaiheessa. Tutkielman kautta pystytään mahdollistamaan parempi ymmärrys levy LTO-laitteista sekä niiden ohjaustoiminnoista.

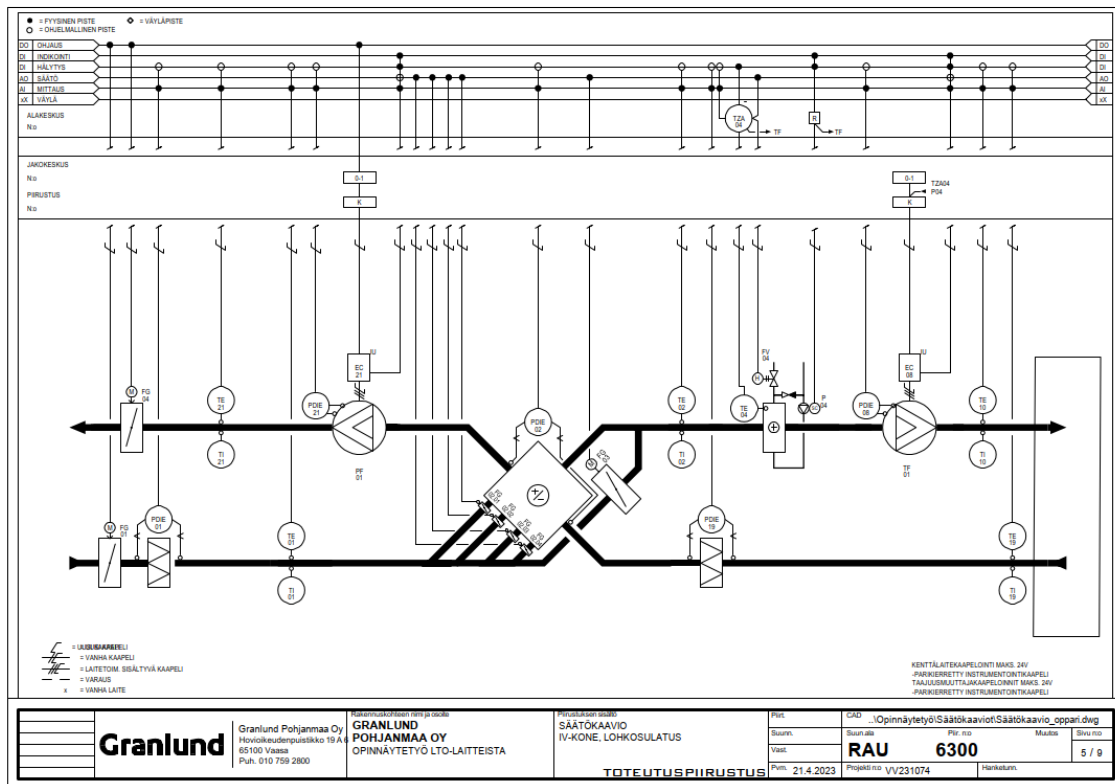
Parannusta kaivattaisiin suunnittelijoiden, urakoitsijoiden sekä laitevalmistajien välillä, jotta saataisiin suoraviivaisemman sekä yhteensopivamman tavan toteuttaa huurteenesto menetelmää.

9 Lähdeluettelo

- [1] Granlund Oy, "Granlund," Granlund Oy, [Online]. Available: <https://www.granlund.fi/meista/>. [Haettu 27 2 2023].
- [2] E. Świercz, "Energies," *A Review of Heat Recovery in Ventilation*, pp. 7-11, 22 Maaliskuu 2021.
- [3] Q. Xu, S. Riffat ja S. Zhang, "Energies," *Review of Heat Recovery Technologies for*, pp. 1-7, 3 Huhtikuu 2019.
- [4] Ympäristöministeriö, "Ympäristöministeriö," 20 Joulukuu 2017. [Online]. Available: <https://ym.fi/haku?q=Ilmanvaihdon%20l%C3%A4mm%C3%B6ntalteenotto%20l>. [Haettu 20 Helmikuu 2023].
- [5] Wikipedia, "Wikipedia," [Online]. Available: Wikipedia.
- [6] P. Mäkinen, H. Tammivaara, I. Paasio, E. Sandberg ja J. Lönnström, "Ilmastointikoneet ja -konehuoneet," tekijä: *SISÄILMASTO JA ILMASTOINTIJÄRJESTELMÄT*, Helsinki, Talotekniikka-Julkaisut Oy, 2016, pp. 155-205.
- [7] tekijä: *Ilmastointitekniikka. Osa 2, Ilmastointilaitoksen mitoitus : opastusta sisäilmaston, ilmastointilaitoksen järjestelmien, tilailmastoinnin, kanavistojen, koneiden sekä jäähdytys- ja rakennusautomaatiojärjestelmien suunnitteluun ja mitoitukseen*, Helsinki, Talotekniikka-Julkaisut Oy, 2016.
- [8] Y. Hietanen, "Ilmanvaihto & ilmastointitekniikka," 5 Syyskuu 2019. [Online]. Available: <https://ilmanvaihtojailmastointitekniikka.blogspot.com/2019/09/blogilabrahamarjoituksille.html>.
- [9] [Online]. Available: <https://docplayer.fi/docs-images/65/54294910/images/27-1.jpg>.
- [10] O. Ali-Rantala, J. Lönnström ja J. Kousa, Interviewees, *Levylämmönsiirtimen ohjaustoiminnot*. [Haastattelu]. Huhtikuu 2023.
- [11] M. Zaitsev, "Asuinkerrostalon keskitetty ilmanvaihtojärjestelmä: poistoilman suhteellinen kosteus ja sen vaikutus lämmöntalteenottolaitteen toimintaan. Huurtumattoman lämmöntalteenottolaitteen mitoitus poistoilman jälkilämmitysratkaisulla," Metropolia Ammattikorkeakoulu, Helsinki, 2022.
- [12] Rakentaja, "Artikkelit: Ilmanvaihtokone jälkilämmitys vallox," 11 8 2014. [Online]. Available: <https://www.rakentaja.fi>. [Haettu 14 3 2023].

- [13 L. Laakso, "Teknocalor: ILMANVAIHTOKONEEN LÄMMÖNTALTEENOTON HUURTUMINEN," Teknocalor, [Online]. Available: <https://www.teknocalor.fi/>. [Haettu 1 Maaliskuu 2023].
- [14 M. Beijar ja T. Ahlsved, Interviewees, *LTO-kuutio ja etulämmityspatterit*. [Haastattelu]. 3 Huhtikuu 2023.
- [15 U. Nyman, Interviewee, *Levyämmöntalteenoton toimintaperiaate*. [Haastattelu]. 2 Maaliskuu 2023.
- [16 L. Laakso, "teknocalor.fi," [Online]. Available: <https://www.teknocalor.fi/content/files/untitled%20folder%201/IV-blogi/Kuva1.png>. [Haettu 4 Huhtikuu 2023].

Liite 1 Säätkökaavio ja toimintamalliselostus 2



TOIMINTAKUVAUS

Tuloilmakone tuottaa vaikutusalueensa lämmitetyn tuloilman ylläpitäen tavoitteensa mukaista ilmanlaatua.

YLEISTÄ

Kaikki toimintaselostuksessa mainitut [aseteltavat arvot] ovat käyttäjän muutettavissa sekä valvomografialta että alakeskuspääteiltä.

VAROITOINNIT JA HÄLYTYKSET

LTO-kuution poistopuolen paine-eron PDIE02 ollessa asetellun ajan [esim. 5 min.] yli huurtumisrajan [esim. 150 Pa] ja jäteilämpötilan TE21 ollessa alle LTO:n huurtumisrajan [esim. -1°C] säätöohjelma TC21 estää jäteilman lämpötilaa TE21 laskemasta alle asetusarvon [esim. 3 °C] ohjaamalla LTO-pellistöä. Mikäli paine-ero ei laske viiveen jälkeen, käynnistetään LTO-pelliston lohkosulatusjakso.

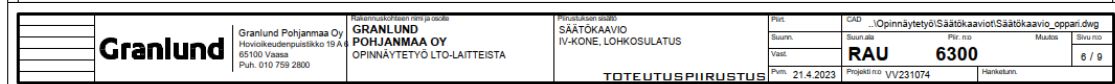
Lohkosulatusjakson aikana suljetaan vuorotellen LTO-lohkopelttejä FG02.01, FG02.02, FG02.03 ja FG02.04 rakennusautomaatio-järjestelmään asetellun jaksotuksen mukaan. Kukin pelti sulkeutuu aseteltavaksi ajaksi [esim. 10 min], jonka jälkeen seuraava pelti sulkeutuu ja edellinen pelti avautuu. Kun viimeisen lohkon sulatusaika on kulunut, mahdollistetaan uusi sulatusjakso vasta aseteltavan viiveen [esim. 10 min] jälkeen.

Lohkosulatuksen ollessa toiminnassa ohituspelti FG03 on aukki(esim. 40%), jotta tuloilmamäärä säilyy haluttuna. Jos viiveen sekä x määrän sulatusjakson jälkeen paine-ero edelleen yli huurtumisrajan, ohjataan sulatusjakso siten että pellit sulkeutuvat 2x peltiä kerrallaan. Lohkosulatuksen ollessa toiminnassa ohituspelti FG03 on aukki(esim. 50-60%), jotta tuloilmamäärä säilyy haluttuna. Jos tämän jälkeen paine-ero edelleen yli huurtumisrajan suljetaan kaikki LTO-lohkopellit FG02.01, FG02.02, FG02.03 ja FG02.04 sekä avataan ohituspelti FG03 (100%) aseteltavaksi ajaksi (esim. 15min).

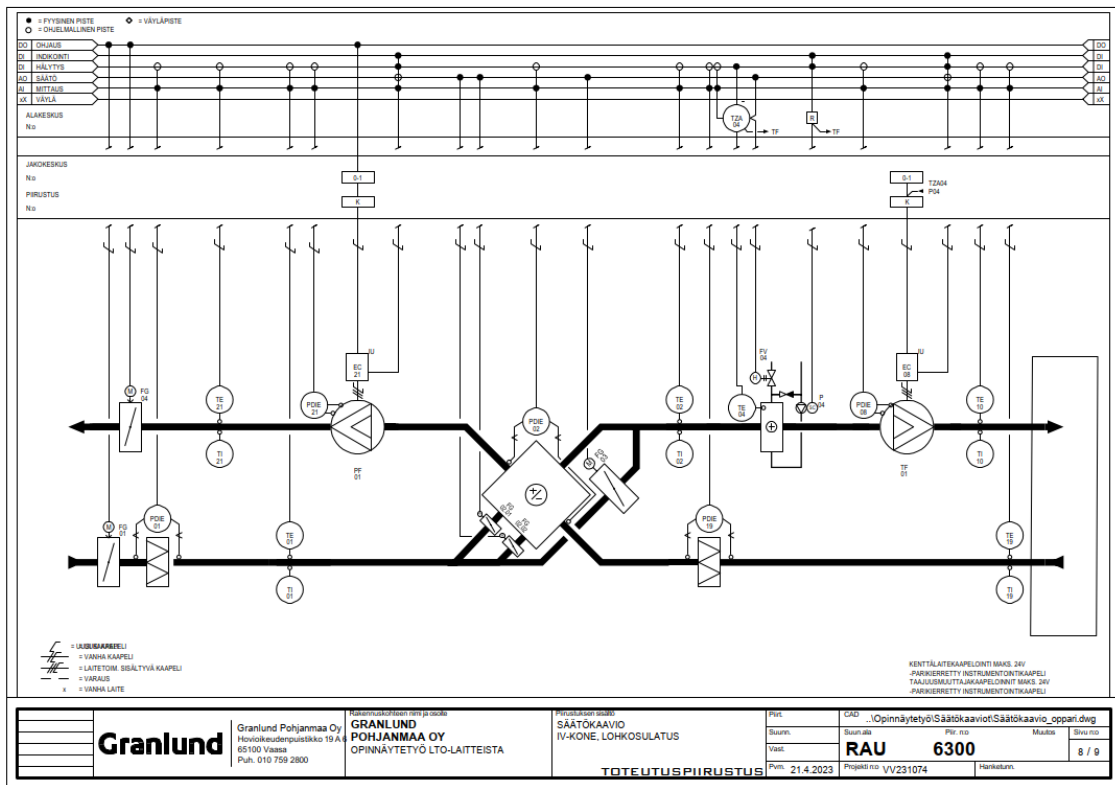
Palautuminen normaalisäädön piiriin tapahtuu, kun paine-ero PDIE02 on laskenut eroalueen verran, kuitenkin aikaisintaan [esim. 20 min.] viiveen kuluttua.

LTO-lohkosulatusohjelman ollessa aktiivituneena, saadaan grafiikalle ilmoitus "LTO-lohkosulatus".

Säätöohjelma TC02 estää LTO:n jälkeistä tuloilman lämpötilaa TE02 laskemasta käyntiaikana alle asetusarvon [esim. +12 °C] ohjaamalla LTO-kuution ohituspelttejä FG02.0x.



Liite 2. Säätkäavio ja toimintamalliselostus 3



TOIMINTAKUVAUS

Tuloilmakone tuottaa vaikutusalueensa lämmitetyn tuloilman ylläpitäen tavoitteensa mukaista ilmanlaatua.

YLEISTÄ

Kaikki toimintaselostuksessa mainitut [aseteltavat arvot] ovat käyttäjän muutettavissa sekä valvomografialta että alakeskuspääteitä.

KONEEN OLLESSA SEIS

Ulkoilmapelti FG01 on kiinni, kun tuloilmapuhallin TF01 ei käy.
 Puhallinmoottorin EC08 säätöviesti on 0 %, kun tuloilmapuhallin TF01 ei käy.
 Jäteilmapelti FG30 on kiinni, kun poistoilmapuhallin PF01 ei käy.
 Puhallinmoottorin EC21 säätöviesti on 0 %, kun poistoilmapuhallin PF01 ei käy.
 Kaikki LTO-pellit FG02.0x ovat LTO-asennossa.

KONEEN KÄYDESSÄ

Ulkoilmapelti FG01 on auki, kun tuloilmapuhallin TF01 käy.
 Jäteilmapelti FG30 on auki, kun poistoilmapuhallin PF01 käy.

VAROITIMINNOT JA HÄLYTYKSET

LTO-kuution poistopuolen paine-eron PDIE02 ollessa asetellun ajan [esim. 5 min.] yli huurtumisrajaan [esim. 180 Pa] ja jäteilmalämpötilan TE21 ollessa alle LTO:n huurtumisrajan [esim. 2°C] säätöohjelma TC21 estää jäteilmalämpötilaa TE21 laskemasta alle asetusarvon [esim. 3 °C] ohjaamalla LTO-pellistöä. Mikäli paine-ero ei laske viiveen jälkeen, käynnistetään LTO-pellistön lohkosulatusjaksoksi.

Lohkosulatusjakson aikana suljetaan vuorotellen LTO-lohkosulatusjaksot FG02.01 ja FG02.02 rakennusautomaatio-järjestelmään asetellun jaksotuksen mukaan. Kukin pelti sulkeutuu aseteltavaksi ajaksi [esim. 15 min], jonka jälkeen seuraava pelti sulkeutuu ja edellinen pelti avautuu. Kun viimeisen lohkon sulatusaika on kulunut, mahdollistetaan uusi sulatusjakso vasta aseteltavan viiveen [esim. 10 min] jälkeen.

Lohkosulatuksen ollessa toiminnassa ohituspelti FG03 on auki (esim. 40%), jotta tuloilmamäärä säilyy haluttuna.

Palautuminen normaalisäädön piiriin tapahtuu, kun paine-ero PDIE02 on laskenut eroalueen verran, kuitenkin aikaisintaan [esim. 20 min.] viiveen kuluttua.

LTO-lohkosulatusohjelman ollessa aktivoituneena, saadaan graafikalle ilmoitus "LTO-lohkosulatus".

Säätöohjelma TC02 estää LTO:n jälkeistä tuloilman lämpötilaa TE02 laskemasta käyntiaikana alle asetusarvon [esim. +12 °C] ohjaamalla LTO-kuution ohituspeltejä FG02.0x.

Kaikilla mittauksilla on ohjelmalliset ylä- ja alarajahälytykset.

Asetusarvon omaavilla mittauksilla hälytysraja-arvot ovat liukuvat.

