



Iiro Heikkinen

# Liikekiinteistön etähallintaopas

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

Insinöörityö

24.2.2023

# Tiivistelmä

Tekijä: Iiro Heikkinen  
Otsikko: Liikekiinteistön etähallintaopas  
Sivumäärä: 59 sivua  
Aika: 24.2.2023

Tutkinto: Insinööri (AMK)  
Tutkinto-ohjelma: Energia- ja ympäristötekniikka  
Ammatillinen pääaine: Energiatekniikka  
Ohjaajat: Lehtori Juha Kotamies  
Lehtori Tomi Hämäläinen  
Energiapäällikkö Luka Heinonen

---

Työ tehtiin Fidelixille, joka on Suomen johtava yritys rakennusautomaatioalalla. Työssä käydään läpi, miten optimoidaan kiinteistön ilmanvaihto, lämmitys ja jäähdytys käyttäen etähallinnan työkaluja. Työssä myös kerrotaan, miten erilaisia vikoja voi löytää, miten ne vaikuttavat kiinteistön toimintaan ja kuinka ongelmat voi paikallistaa ja korjata.

Ilmanvaihdon osuudessa tutustutaan siihen, mitä erilaisia osia rakennuksen ilmanvaihtoon kuuluu koneellisessa ilmanvaihdossa ja miten IV-koneiden optimointi riippuu niiden palvelusalueella olevien tilojen käyttötarkoituksesta. Toimistotilojen IV-koneiden säädöt ovat paljon tarkemmat, kuin muilla, koska sisäilman laatu ja lämpötila vaikuttavat työntekijöiden jaksamiseen ja keskittymiseen. Autohallien IV-koneiden on tärkeää poistaa autojen pakokaasut ja niiden mukana tuoma kosteus pois autohallista. Autohallien IV-koneet tulisi optimoida käymään vain tarpeen mukaan, ettei energiaa kuluteta turhaan. Myös WC- ja sosiaalitilat ovat tärkeitä huomioida ilmanvaihdossa, sekä mahdolliset ylimääräiset poistot. Rakennuksen ilmanvaihdon tulee olla tasapainossa, eli ilmaa tuodaan ja poistetaan yhtä tehokkaasti, ettei rakennukseen synny voimakasta yli- tai alipainetta.

Työssä käydään läpi, miten kiinteistön lämmitys ja jäähdytys tulee optimoida, kun lämmitykseen käytetään kaukolämpöä ja jäähdytykseen kaukokylmää. Lämmityksessä käydään läpi lämmin käyttövesi-, patteri- ja IV-lämmitysverkostot. Jäähdytyksessä käydään läpi, miten IV-jäähdytys- ja puhallinkonvektoriverkostot optimoidaan. Toisin kuin ilmanvaihdossa, kiinteistön lämmitys ja jäähdytys riippuvat vuodenajasta ja ulkolämpötilasta, jolloin ne eivät ole käytössä ympäri vuoden. Niitä käytetään vain tarpeen mukaan, joten niiden optimointi on tärkeää, ettei kiinteistö kuluta turhaan energiaa. Ainoa poikkeus on lämmityspuolella lämmin käyttövesi, jota käytetään ympäri vuoden. Lämmityksen ja jäähdytyksen optimoinnissa on tärkeää varmistaa, että kiinteistön lämpötiloja säädetään energiatehokkaasti. Ostoenergiaa tulisi käyttää vasta, kun LTO:illa, kiertoilmalla tai muilla kiinteistölle halvemmilla lämpötilan säätelymuodoilla ei päästä enää tavoitelämpötiloihin.

Avainsanat: rakennusautomaatio, etähallinta, ilmanvaihto

## Abstract

Author: Iiro Heikkinen  
Title: Remote control guide to a commercial property  
Number of Pages: 59 pages  
Date: 24 February 2023

Degree: Bachelor of Engineering  
Degree Programme: Energy and Environmental Technology  
Professional Major: Energy Technology  
Supervisors: Juha Kotamies, Senior Lecturer  
Tomi Hämäläinen, Senior Lecturer  
Luka Heinonen, Energy Manager

---

This thesis was made for Fidelix. Fidelix is Finland's leading company in building automation industry. This study explains how to optimize a commercial building's air conditioning, heating and cooling using remote control. This thesis also explains how to find possible faults, how they impact the buildings other functions and how you can locate and possibly repair them.

The air conditioning part explains the different aspects of mechanical air conditioning and shows how optimizing the system is dependent on external factors such as how the different rooms in its service area are used. Optimizing the air conditioning in office spaces needs to be more precise than other spaces. This is because the air temperature and quality affect the concentration and well being of the people working there. The air conditioning in parking garages needs to effectively remove the emissions and humidity that cars emit. You can optimize the air conditioning in these spaces by only using the air supply unit when needed, for example when the emission levels are becoming too high. This can save a large amount of energy. Toilets and break rooms also need to be included. Its important that the building's air conditioning is in balance. This means we bring the same amount of air into the building as is removed. Otherwise, excess or negative air pressure can occur.

This thesis explains how to optimize the building's heating and cooling when the building uses district heating and cooling. The heating part covers the warm service water, the radiator and the air supply unit's heating networks. The cooling part covers the air supply unit's and the fan convector networks. Unlike the air conditioning, the heating and cooling of a building are dependent on the seasons and the outside temperature, meaning that neither of these networks are used throughout the year. They are only used when needed thus optimizing them is important for the building's energy usage. The only exception is the warm service water which is used throughout the year. The most important aspect in optimizing the buildings heating and cooling, is that these two should usually never be used simultaneously. The second important aspect is that the heating and cooling should always use the less expensive forms of heating or cooling first, for example, a heat recovery system. The most expensive forms of energy should always be used last and as little as possible.

Keywords: building automation, remote control, air conditioning

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Etähallinta	2
3	Ilmanvaihtokoneet	2
3.1	IV-koneiden toiminta ja toimilaitteet	5
3.1.1	Tulo- ja poistoilmapellit	5
3.1.2	Suodattimet	8
3.1.3	Lämmöntalteenotto	10
3.1.4	Puhaltimet	14
3.1.5	Lämmitys- ja jäähdytyspatterit	16
3.1.6	Mittaukset ja anturointi	17
3.2	Toimistotilojen IV-koneet	17
3.2.1	Raitisilmapellit	18
3.2.2	Tuloilmasuodattimet	19
3.2.3	Lämmöntalteenotto	21
3.2.4	Puhaltimet	25
3.2.5	Lämmityspatterit	28
3.2.6	Jäähdytyspatterit	31
3.2.7	Poistoilmasuodattimet	32
3.2.8	Aikaohjelmat ja ohjaukset	32
3.3	Autohallien IV-koneet	36
3.4	WC- ja sosiaalityötilojen IV-koneet	38
3.5	Erilliset poistot	40
3.6	Kiertoilmakoneet	41
4	Lämmönjako	41
4.1	Kaukolämpö	42
4.2	Lämmin käyttövesi	43
4.3	Patteriverkosto	45
4.4	IV-verkoston lämmitys	49
5	Jäähdytys	52

5.1	Kaukokylmä	53
5.2	IV-verkoston jäähdytys	54
5.3	Puhallinkonvektoriverkosto	56
6	Yhteenveto	57
	Lähteet	60

## Lyhenteet

CO: Hiilimonoksidi

EC: Electronically commutated, eli elektronisesti kommutoitu. EC-puhallin muuttaa itse vaihtovirran tasavirraksi, jolloin sen voi kytkeä suoraan vaihtovirtaverkkoon

IMS: Ilmamääräsäädin

IV: Ilmanvaihto

LKV: Lämmin käyttövesi

LTO: Lämmöntalteenotto

SFP: Specific fan power eli koneen ominaissähköteho

# 1 Johdanto

Opinnäytetyö tehtiin Fidelixille. Kyseessä on suomen suurin rakennusautomaatioon erikoistunut yritys ja vastaa kiinteistöjen rakennusautomaation urakoinnista, laitteista, ohjelmoinnista ja etähallinnasta. Etähallinnan avulla kiinteistöjen olosuhteista ja energiankulutuksen seuraamisesta ja hallinnasta vastaa energia-asiantuntija. Energia-asiantuntijalta yritykset ja yksittäiset asiakkaat saavat tarpeen mukaan asiantuntevaa apua kiinteistön ilmanvaihdon, lämmityksen ja jäähdytyksen optimointiin.

Rakennusautomaatio on voimakkaasti kasvava ala, ja vuoden 2022 aikana alkanut energiakriisi on vahvistanut tarvetta asiantuntevalle avulle kiinteistön energiankulutusten hillitsemiseksi ilman, että olosuhteiden laadusta tingitään. Tämän työn tarkoituksena on kasata yrityksen sisällä oleva tietotaito liikekiinteistön optimoinnista yhdeksi dokumentiksi. Ala kasvaa ja kehittyy jatkuvasti ja kirjallisuutta ja tietoa, johon tukeutua, on rajallisesti.

Työssä käydään läpi ilmanvaihdon, lämmityksen ja jäähdytyksen toiminta ja optimoiminen kiinteistön tarpeen mukaisesti. Ohjeistetaan, miten löydetään viallisia osia, jotka vaikuttavat negatiivisesti talon energiatehokkuuteen, ja käydään läpi laitteiden ja rakennusautomaation perustoimintaa. Tarkoituksena on kasata selkeä ohje, josta saa tietoa ja apua olemassa olevien laitteiden ja säätöjen toiminnan varmistamiseksi. Opinnäytetyössä käydään läpi alaan liittyvää ohjeistusta perusteista lähtien.

Työ on tehty perehtyen olemassa olevaan kirjallisuuteen alalta ja haastatteleamalla alalla pitkään työskennelleitä ihmisiä. Näiden pohjalta on kirjoitettu ohjeet, joiden avulla rakennusautomaatiojärjestelmästä saatavaa tietoa on helpompi tulkita. Esimerkkinä työssä on käytetty kiinteistöä Pasilassa, Esterinportti 1, josta suurin osa kuvista ja esimerkeistä on otettu.

## 2 Etähallinta

Etähallinta mahdollistaa nimensä mukaisesti kohteen olosuhteiden hallinnan etänä. Kohteessa olevien antureiden mittaukset tuodaan näkyviin rakennusautomaatiolle. Tärkeimpiä mitattavia suureita ovat lämpötilat, painemittaukset, virtaukset ja ilmanlaatu. Näiden pohjalta voidaan säätää kiinteistön ilmanvaihdon, lämmityksen ja jäähdytyksen lämpötiloja, paineita ja virtauksia. Etähallinnassa etuna on, että energiamanageri voi tarkastella ja ohjata kiinteistön rakennusautomaatiota ilman, että kenenkään tarvitsee mennä kiinteistölle paikan päälle. Tämän ansiosta mahdollisiin ongelmiin pystytään reagoimaan nopeasti ja tehokkaasti. Etähallinnassa kohteen rakennusautomaatiota voi ohjata, joko ottamalla etänä haltuun paikallisen valvomokoneen tai luomalla kohteelle pilvivalvomon. Etähallintapalvelussa etähallinnasta vastaa yleensä energia-asiantuntija. Energia-asiantuntija tuo asiantuntevaa apua kiinteistön säätämiseen ja toimii kiinteistöpäällikön ja -huollon tukena.

Etähallinnan avulla energia-asiantuntija voi seurata kiinteistön ilmanvaihdon, lämmityksen ja jäähdytyksen toimintaa ja optimoida energiankulutusta sekä olosuhteita. Rakennusautomaation säätäminen on ajoittain todella vaativaa, ja olosuhteet ja laitteet tulisi saada toimimaan hyvin myös kiinteistön kokonaisuuden kannalta.

## 3 Ilmanvaihtokoneet

Koneellisessa ilmanvaihdossa ilmanvaihtokone ottaa raikasta ulkoilmaa ja puhdistaa siitä suurimman osan epäpuhtauksista sekä säätää ilmavirran määrää ja lämpötilaa ennen sen tuomista kiinteistön tiloihin (kuva 1). Samanaikaisesti kone poistaa tilasta hiilidioksidin täyteistä, likaista ilmaa, jota syntyy ihmisten hengityksen ja mahdollisesti rakenteista irtoavan pölyn kautta. [1.] Poistoilma sisältää usein runsaasti lämpöä, jota voidaan hyödyntää tuloilman lämmittämiseen. Tämä toteutetaan lämmöntalteenotolla tai käyttämällä kiertoilmaa. Hyödyntämällä poistoilmassa oleva lämpö tuloilman lämmittämiseen, vähennetään

ostoenergian tarvetta lämmityksessä ja talon energiatehokkuus paranee. [2.]



Kuva 1. Yleiskuva ilmanvaihtokoneesta.

Ilmanvaihtokoneiden oikea mitoittaminen on tärkeää, riittävän ilmanvaihdon takaamiseksi. Ilmanvaihtokoneen mitoittamiseen vaikuttaa kiinteistön tilojen pinta-ala sekä tilojen käyttöaste. [3.] Käyttöasteella kuvataan, miten tiloja käytetään ja kuinka paljon siellä on ihmisten tuomaa kuormaa. Päivisin kun tilojen käyttöaste on yleensä suurinta, täytyy ilman vaihtua tehokkaammin. Jokainen tilan käyttäjä tuottaa lämpöä ja hiilidioksidia, joita täytyy pystyä poistamaan tiloista tehokkaasti, tai muuten sisäilman laatu laskee. Yöllä, kun käyttöaste on todella pieni tai olematon, on valittavissa useampi vaihtoehto. Ilmanvaihtokoneet voidaan laittaa yöksi kokonaan pois päältä ja käynnistää aamulla hieman ennen ihmisten saapumista. Toinen vaihtoehto on laskea ilmanvaihtokoneet puoliteholle yöksi, jolloin käyttöaste on pienimmillään ja ilmanvaihdon ei tarvitse olla tehokasta. Tämä auttaa pitämään kiinteistön sisäilman raikkaana, eikä anna sen jäädä seisomaan pitkiksi ajoiksi parantaen kiinteistön energiatehokkuutta.

Huono sisäilman laatu, kuten kosteus ja hiilidioksidi, vaikuttavat ihmisten jaksamiseen. Tämän takia sisäilman laadun seuraaminen on tärkeää ja tehokkaasta ilmanvaihdosta tulisi huolehtia. Sisäilman laadun ja vaihtuvuuden arvioimiseksi on luotu sisäilmastoluokitus, jossa on määritetty rajat ilmanvaihdon tehokkuudelle. Tämä luokitus on jaettu kolmeen tasoon S1, S2 ja S3. Ulkoilmassa on yleisesti noin 400 ppm hiilidioksidia [4]. Herkimmät ihmiset alkavat saamaan päänsärkyä noin 1000 ppm:n kohdilla, ja 1500 ppm alkaa vaikuttaa jo. [5, s. 63.]

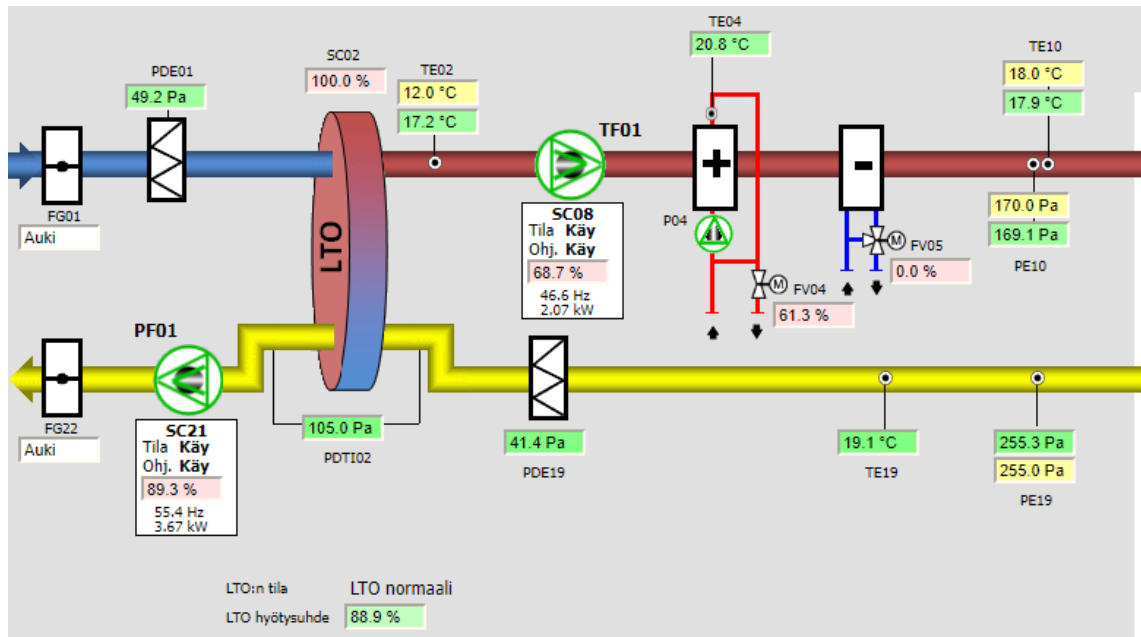
S1-taso on paras ilmanvaihtoluokitus ja siihen kuuluu, että sisäilma vaihtuu lähes aina hyvin ja lämpötilat ovat käyttäjien säädettävissä. Rakenteista ei irtoa huomattavasti pölyä tai hajuja, eikä niissä ole vaurioita, lämpötilat ovat vuodesta riippumatta sopivat ja käyttäjä pystyy säätämään niitä huonekohtaisesti itselleen sopivaksi. Valaistus ja melu eivät myöskään saa aiheuttaa häiriötä tiloissa. [6.] Tilojen hiilidioksidipitoisuus ei saisi ylittää 700 ppm ja lämpötilojen tulee pysyä käyttöaikoina 90 % 22,5–20,5 °C:ssa. Ilmanvaihto mitoitetaan lattia-pinta-alan ja suunnitellun käyttöasteen mukaan. Ilman tulisi vaihtua  $0.5 \text{ l/s per } m^2$ , sekä  $10 \text{ l/s}$ , jokaista tilassa olevaa henkilöä kohden. [3.]

S2-tasolla tiloissa ei saisi esiintyä voimakkaita hajuja ja ilmanvaihdon tulisi toimia hyvin. Lämpötilat ovat suurimman osan vuodesta sopivat, mutta kovilla helteillä ja pakkasilla voi esiintyä poikkeuksia. Yksilöllistä säätöä ei tarvitse olla, mutta valaistuksen ja melun tasojen tulee olla sopivat. [6.] Tilojen hiilidioksidipitoisuus ei saisi ylittää 900 ppm ja lämpötilojen tulee pysyä käyttöaikoina 90 % 23–20,5 °C:ssa. Ilmanvaihdon mitoitus tulisi olla  $0,35 \text{ l/s per } m^2$ , sekä  $7 \text{ l/s}$  jokaista henkilöä kohden. [3.]

S3-tasolla ilmanvaihdon tulee läpäistä sille asetetut lainmääräämät rajat sekä terveydensuojelulain asettamat raja-arvot. Ilmanlaadussa saattaa esiintyä heitelyä ja lämpötilat pyritään pitämään siedettävänä. [6.] Hiilidioksidipitoisuus ei saisi ylittää 1200 ppm, mutta alle 1500 ppm pidetään kuitenkin vielä tyydyttävänä. Ilmanvaihdon mitoitus tulee olla  $0,35 \text{ l/s per } m^2$ , sekä  $6 \text{ l/s}$  jokaista henkilöä kohden. [3.]

### 3.1 IV-koneiden toiminta ja toimilaitteet

Ilmanvaihtokoneet sisältävät paljon toimilaitteita, joilla pyritään huolehtimaan, että sisään puhallettava ilma on hyvälaatuista, lämpötila on sopiva, sekä ilmamäärät tiloissa sopivat tilojen käyttöasteisiin (Kuva 2).



Kuva 2. Yleiskuva IV-koneesta rakennusautomaatiojärjestelmässä

Hyvin toteutetussa grafiikkakuvassa IV-koneen toiminnasta saa nopeasti ja helposti selkeän kuvan.

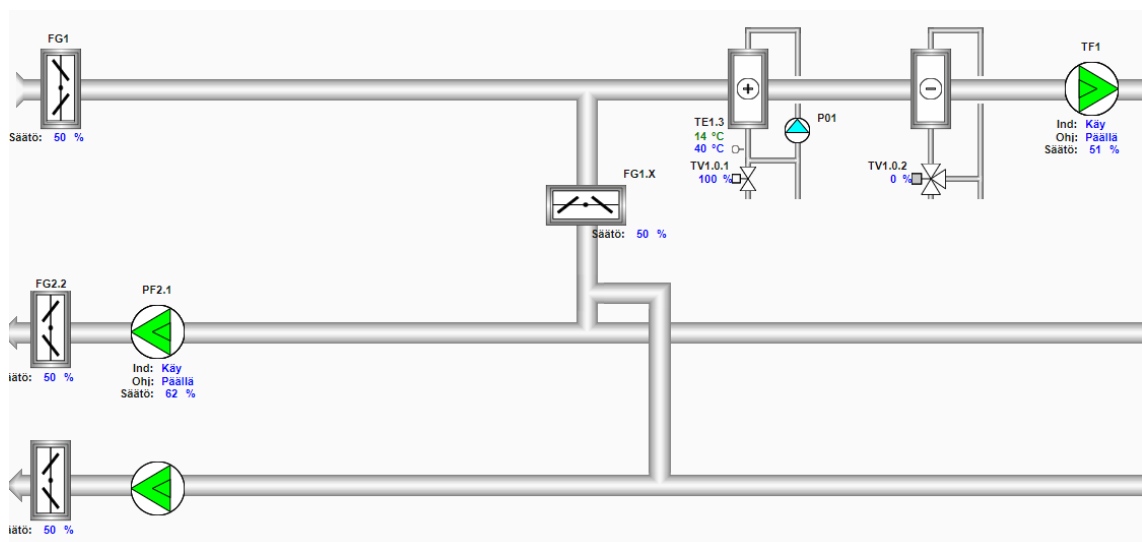
#### 3.1.1 Tulo- ja poistoilmapellit

Tulo- ja poistoilmapelleillä estetään raitisilman pääsy IV-koneeseen ja kiinteistöön, koneen ollessa sammuksissa. Tulo- ja poistoilmapellit aukeavat, kun IV-kone alkaa käynnistymään ja menevät kiinni, kun IV-kone on sammunut.

Yleensä raitisilmapellit ovat auki-kiinni-toimilaitteita, jotka suojaavat IV-koneen muita laitteita, kuten lämmöntalteenottoa ja lämmönsiirtimiä. Tarkoituksena on varsinkin talven pakkasilla ja kesän helteillä pitää ylimääräinen kylmyys ja lämpö poissa IV-koneesta ja ilmanvaihtokanavista, ettei koneiden

käynnistyessä tarvitse kuluttaa ylimääräistä energiaa lämpötilojen tasaamiseen. [7.] Tämän vuoksi on tärkeää, että pellit ovat varmasti kunnolla kiinni, minkä takia niiden sulkemiseen käytetään jousipalautusta. Jousi virittyy, kun raitisilmapellit aukeavat ja kun kone sammuu, jousi palauttaa pellin kiinni. [8.] Tällä tavalla pelti saadaan varmasti kiinni ja estetään esimerkiksi talvella IV-koneen lämmönsiirtimien jäätyminen. Belimo, joka on rakennusautomaatio-alan laitteiden kehittäjä ja tuottaja on kuitenkin julkaissut vastikään sähköohjatut raitisilmapellit, jotka ajetaan auki ja kiinni sähköllä. Pelteihin on laitettu varoimintona myös jousisulku sähkökatkoja ja -häiriöitä varten. [9.]

Joissain kohteissa on mahdollista käyttää kiertoilmaa kiinteistön lämmittämiseen ja viilentämiseen. Kiertoilman käyttöä säädetään kiertoilmapeltien ja raitisilmapeltien avulla. Kiertoilman käyttämiseksi tulisi kaikkien peltien olla säädettävissä. Jos pellit toimivat vain auki- ja kiinni-ohjauksilla, kiertoilmaa ei saa säädettyä ja siitä saatu hyöty on vähäistä. Automaatiolle voi tuoda peltien avauman prosentteina näkyviin ja määrittää ilmamäärät kiertoilman käyttöä varten (Kuva 3).

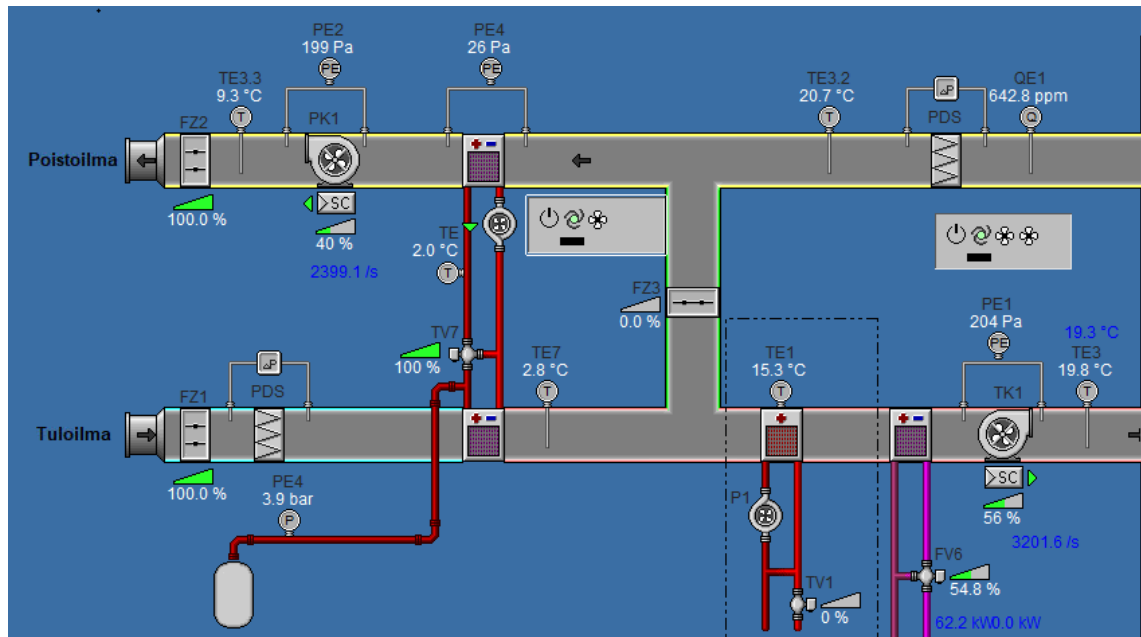


Kuva 3. Esimerkki säädettävien kiertoilmapeltien toiminnasta.

Esimerkiksi talvella saadaan vähennettyä lämmityskustannuksia kierrättämällä jo valmiiksi lämmitettyä poistoilmaa uudestaan käyttöön. Kiertoilman käytössä

kannattaa tarkkailla tilojen hiilidioksidimittauksia, koska kiertoilman mukana tiloihin tulee osa poistoilmassa olevasta hiilidioksidista. Jos hiilidioksidin määrä tiloissa alkaa kasvaa liian suureksi, ilmasta tulee tunkkaista, mikä ilmenee käyttäjillä nopeasti päänsärkinä ja väsymyksenä [10]. Hiilidioksidipitoisuuden laske-  
miseksi täytyy kiertoilman määrää alkaa rajoittamaan. Kiertoilmakanava on yleensä hyvin paljon pienempi kuin tulo- ja poistoilmakanavat, joten kiertoilman lineaarinen ohjaus ei ole suositeltavaa tai ilmamäärät saattavat mennä sekaisin, mikä heikentää ilmanvaihtoa. Linearisessa ohjauksessa, jos kiertoilmapelti aukeaa 50 %, raitisilmapellit menevät kiinni 50 %:lla, jolloin tarkoituksena olisi pitää sama ilmamäärä kierrossa, mutta vähentää raittiin ilman osuutta. Ongelmana on, että jos kiertoilmakanava on pienempi, kuin raitisilmakanavat, kuristavat lineaarisessa ohjauksessa raitisilmapellit virtausta liikaa ja puhaltimet joutuvat käymään suuremmalla teholla saadakseen ilmalle riittävän tilavuusvirran. Tämän takia kiertoilman ohjaukset olisivat suositeltavaa määrittää jokaiselle IV-koneelle erikseen ilmamäärien ja kanavien kokojen mukaan. [7.]

Kiertoilmakanavan sijoituksessa IV-koneessa täytyy myös ottaa muutama asia huomioon, jotta se toimii halutusti. Kiertoilmakanava ei saisi olla tulo- ja poistoilmapuhaltimien imupuolten välissä (Kuva 4). Muuten kiertoilmapellin ollessa auki on kanavassa imu useaan suuntaan ja ilma ei virtaa kunnolla mihinkään niistä. Tätä asennusta käytetään yölämmityksessä, jolloin poistoilmapuhallin on pois käytöstä ja tuloilmapuhallin kierrättää kiertoilmakanavan kautta lämmintä ilmaa kiinteistössä yöaikaan, kun raittiille ilmalle ei ole tarvetta. [9.]



Kuva 4. Kiertoilma on sijoitettu väärin puhaltimien TK1 ja PK1 imupuolten väliin.

Kiertoilmakanava tulisi sijoittaa tuloilmapuhaltimen imupuolelle ja poistoilmapuhaltimen poistupuolelle, jolloin ilmankierto toimii parhaiten. Kiertoilma ei saa olla käytössä, kun IV-koneelle mitataan ilmamääriä tai ilmamäärät menevät epätasapainoon ja talon ilmanvaihto ei toimi oikein. [9.]

### 3.1.2 Suodattimet

Ilmanvaihtokoneiden suodattimet puhdistavat isommat partikkelit ja pölyn ilmasta. Näihin lukeutuu esimerkiksi katupöly ja siitepöly tuloilmapuolella ja ihmisten mukana tuomat epäpuhtaudet, sekä rakenteista irtoava pöly ja partikkelit poistupuolella. Suodattimet tulisi sijoittaa niin, että vähintään yksi on tuloilmakanavassa heti tuloilmapellin jälkeen ja toinen on poistoilmakanavassa puhdistamassa ilmaa ennen sen kulkua tärkeisiin laitteisiin, kuten puhaltimeen. Yleisimmin käytetään suodatinkankaasta valmistettuja suodattimia, joita on standardien mukaisesti erilaatuisia. Mitä korkeampitasoinen suodatin, sitä pienempiä hiukasia se pystyy suodattamaan tuloilmasta. [7.] Käytössä on myös sähkösuodattimia, mutta näitä käytetään lähinnä voimalaitoksilla ja paljon isommassa mittakaavassa, kuin liikekiinteistöissä.

Suodattimia on myynnissä erilaatuisia, ja niitä voi olla useampi yhdessä kanavassa. Joissain kiinteistöissä käytetään yhdessä kanavassa kahta eri suodatinta. Karkeasuodatin suodattaa ensin tuloilmasta suurimmat partikkelit, minkä jälkeen hienosuodatin nappaa jäljelle jäävän hienomman aineksen ilmasta. On kuitenkin yhtä tärkeää tarkistaa suodattimien laatu, on niitä sitten yksi tai useampi per kanava. Suodattimen erottelukykyyyn vaikuttaa suodattimen materiaali ja sen suodatusluokka, eli minkä kokoisia partikkeleita se pystyy suodattamaan ilmasta. Suodatin tulisi valita ulkoilman laadun ja tavoitellun sisäilman laadun mukaan. Jos valitaan suodatin, jonka suodatuskyky on tarpeettoman suuri, se vaatii puhaltimelta enemmän työtä ilman kuljettamiseen, mikä lisää energiankulutusta. [11.] Suodatin myös tukkeutuu nopeammin, mikä johtaa siihen, että puhallin käy täydellä teholla jatkuvasti, mutta kanavapaineet romahtavat. Kuinka paljon suodatin pystyy keräämään likaa ja pölyä ennen tukkeutumista riippuu myös suodattimen pinta-alasta. Mitä isompi suodatin, sitä enemmän siinä on suodatuspinta-alaa. Pussisuodattimissa tämä tarkoittaa yleensä, että suodattimien pituus kasvaa. Tämän takia olisi parasta asentaa IV-koneeseen niin isot suodattimet kuin sinne mahtuu. [9.]

Suodattimet likaantuvat ja tukkeutuvat ajan saatossa, joten niitä tulisi vaihtaa säännöllisesti. Suodattimet tulisi vaihtaa ainakin 2 kertaa vuodessa eli keväisin ja syksyisin. Keväällä maassa ja ilmassa on todella paljon katupölyä, jota syntyy esimerkiksi hiekoitushiekasta. Kun hiekoitushiekkaa aletaan siivoamaan keväällä kaduilta, siitä nousee valtavasti pölyä, joka kulkeutuu ilmanvaihtokanaviin ja suodattimet tukkeutuvat nopeasti. Uusi suodatin tulisi vaihtaa keväällä vasta kun kadut on saatu kunnolla puhdistettua ja esimerkiksi sade on sitonut ison osan pölystä pois ilmasta. Muuten uusi tuloilmasuodatin on heti tukossa ja vaihtoa joutuu pahimmillaan odottamaan puoli vuotta. Tukossa oleva suodatin on haitaksi kiinteistön ilmanvaihdolle. Mitä enemmän suodatin on tukossa, sitä vaikeampi ilmavirran on päästä siitä läpi. Tämä johtaa siihen, että puhaltimet joutuvat tekemään enemmän työtä saadakseen saman ilmamäärän kulkemaan. Tämän myötä talon sähkön- ja energiankulutus kasvaa. Talon ilmamäärät saattavat mennä tämän johdosta epätasapainoon, jolloin ilma ei välttämättä vaihdu

oikein. Ilmanvaihdon epätasapaino saattaa myös heikentää LTO:n ja muiden laitteiden toimintaa, jolloin kiinteistön energiatehokkuus laskee merkittävästi.

[12.]

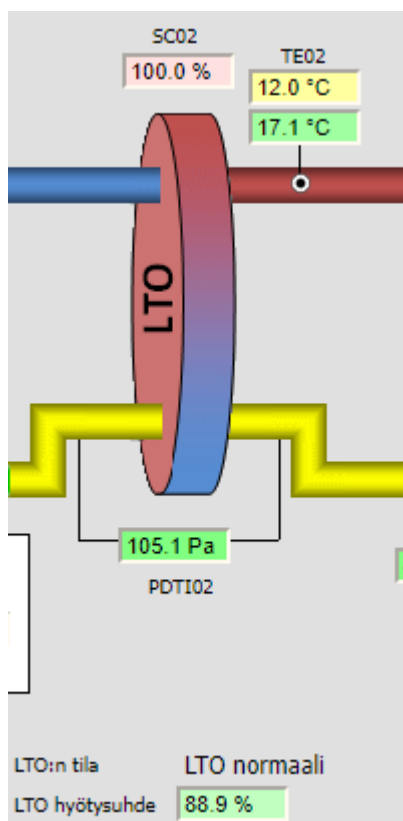
Helppo tapa automaatiolla tunnistaa, milloin suodatin on tukossa, on anturoida paine-ero suodattimen yli. Mitä suurempi paine-ero on, sitä likaisempi on myös suodatin. Automaatioon voidaan sitten asettaa raja-arvo kyseiselle paine-erolle, joka ylittyessään aiheuttaa hälytyksen automaatiolla. Näin saadaan nopeasti tieto, milloin suodatin on vaihtokunnossa, ja tieto voidaan välittää kiinteistöhuololle, joka käy vaihtamassa suodattimen. Hälytyksen rajoissa täytyy ottaa huomioon millä tehoilla konetta ajetaan, ettei automaatiolle tule turhia hälytyksiä koneen käydessä eri tehoilla, kun käyttöaste muuttuu.

### 3.1.3 Lämmöntalteenotto

Tärkeä energiaa säästävä laite IV-koneessa on LTO, eli lämmöntalteenotto. LTO:lla otetaan talteen poistoilmassa olevaa lämpöä, joka muuten menisi hukkaan, ja käytetään sitä esilämmittämään ulkoa otettua tuloilmaa. Näin ollen ilmaa ei tarvitse lämmittää niin paljoa muilla lämmitystavoilla. Välikeleillä syksyllä ja keväällä LTO yksin riittää ajoittain lämmittämään tuloilmaa tarpeeksi, jolloin energiaa ilman lämmittämiseen ei kulu ollenkaan. LTO:t ovat siis lämmönsiirtimiä ja niitä on IV-koneisiin karkeasti kolmea erilaista, kiekko-, kuutio- ja neste-LTO [13].

Lämmöntalteenottokiekko eli pyörivä lämmönsiirrin on regeneratiivinen lämmönsiirrin ja on LTO:ista kaikkein tehokkain (Kuva 5). Sen lämpötilahyötysuhde on parhaimmillaan jopa 90 %. LTO-kiekko on nimensäkin mukaan kiekon muotoinen lämmönsiirrin, joka pyörii varaten itseensä lämpöä poistuvasta lämpimästä ilmasta ja siirtämällä sen tuloilmaan. LTO-kiekko on valmistettu ohuista alumiini-levyistä, joilla saadaan iso lämmönsiirto pinta-ala, sekä lämmönjohtavuus, jonka takia sen lämpötilahyötysuhde on niin suuri. LTO:a säädetään muuttamalla kiekon pyörimisnopeutta. Mitä lujempaa kiekko pyörii, sitä suurempi on lämmönsiirtoteho. Ongelmana LTO-kiekossa on, että ilmapirrat sekoittuvat väkisinkin

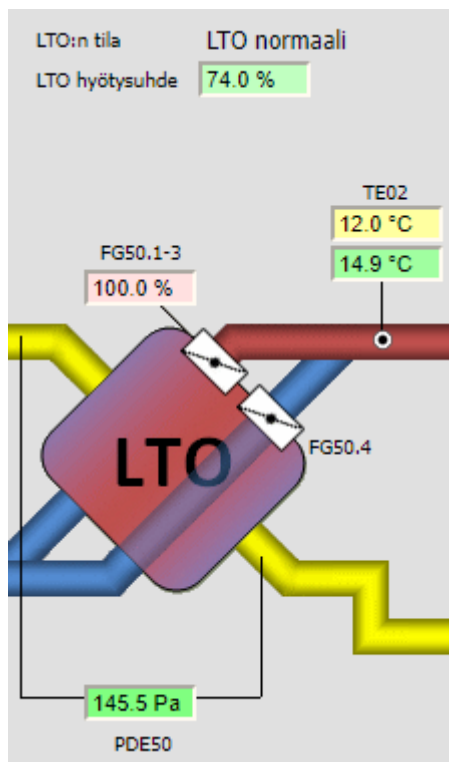
jonkin verran, jolloin se ei sovellu tiloihin, joissa ilmanvaihto täytyy pitää täysin puhtaana, kuten sairaaloiden tiloissa. [7.]



Kuva 5. Lämmöntalteenottokiekkoo, eli pyörivä lämmönsiirrin.

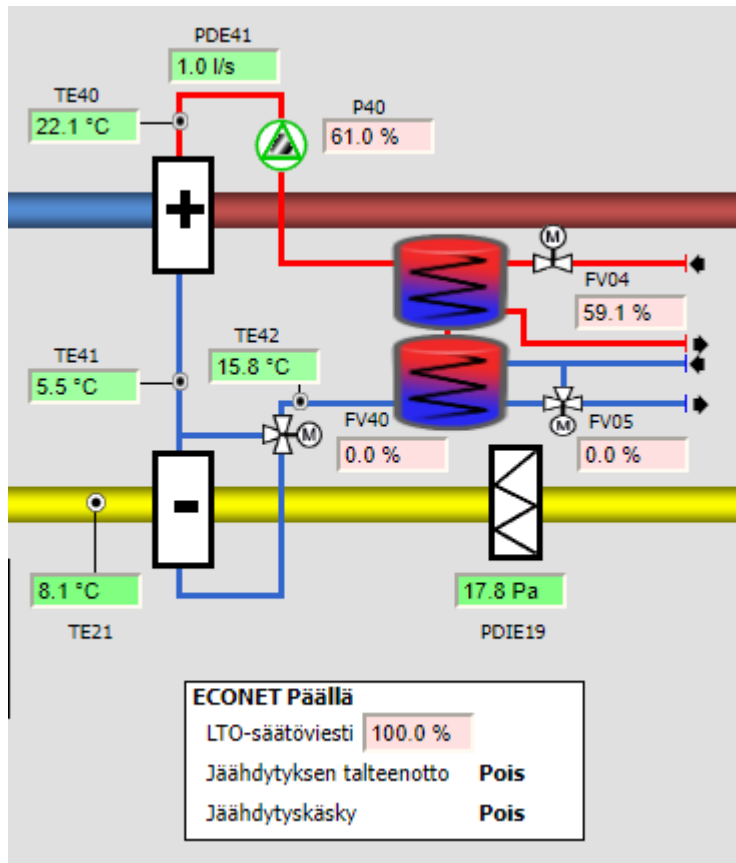
Levylämmönsiirrin on toiseksi tehokkain lämmöntalteenottolaite, ja sen lämpötilahyötysuhde on noin 70–80 %. Levylämmönsiirtimestä puhutaan yleensä kuutio-LTO:na ja se on perinteinen ristivirtalämmönsiirrin, jossa ilmavirrat kulkevat ristiin lämmönsiirtimen sisällä ja luovuttavat lämpöä lämmönsiirtopintojen kautta (Kuva 6). Sen käyttöä ohjataan säädettävillä pelleillä, joilla voidaan tarpeen mukaan ohjata osa ilmavirrasta LTO:n läpi. LTO:n säätö on 100 %:lla, kun kaikki tuloilma ohjataan LTO:n läpi ja LTO:n kiertävän kanavan pelti on kokonaan kiinni. Kuutio-LTO:ta käytetään, kun ilmavirrat eivät saa sekoittua keskenään, kuten autohallien IV-koneissa. Muuten olisi riski, että autohallissa olevat pako-kaasut ja häkä saattaisivat sekoittua tuloilman sekaan. Isoimmat ongelmat kuutio-LTO:issa ovat peltien toiminnassa. Ohituspeltien täytyy sulkeutua kunnolla, tai ilmaa pääsee virtaamaan LTO:n ohi. Pienikin rako heikentää voimakkaasti

LTO:n lämpötilahyötysuhdetta ja laskee kiinteistön energiatehokkuutta. Tämä on yleinen ongelma, jota täytyy tarkkailla automaatiolta, ja LTO:n lämpötilahyötysuhde tulisi tarkistaa säännöllisin väliajoin. [7.]



Kuva 6. Levylämmönsiirrin eli kuutio-LTO

Kolmantena ovat nestekäyttöiset eli yleisesti vesiglykolilämmönsiirtimet (Kuva 7). Ne ovat putkilämmönsiirtimiä, niiden lämpötilahyötysuhde on yleensä 60 %:n luokkaa ja ne ovat monimutkaisempia kuin kiekot ja kuutiot. [7.] Glykoli-LTO:ssa on tulo- ja poistoilmapuolella lämmönsiirtimet. Näiden lämmönsiirtimien välillä on putkisto, jossa virtaa vesi-glykoliseos. Neste liikkuu LTO:ssa pumpun avulla, joka kierrättää seosta lämmönvaihtimien välillä. Nesteenä käytetään vesi-glykoliseosta, ettei neste pääse jäätymään, kun tuloilman lämpötila laskee alle 0 °C.



Kuva 7. Nestekäyttöinen Econet-LTO

Glykoli-LTO:ita käytetään, kun IV-koneen rakenteen tai sijainnin takia ei ole mahdollista käyttää kuutiota. Nämä ovat todella yleisiä sairaalatiilojen IV-koneissa tai esimerkiksi autohallien IV-koneissa. Glykoli-LTO:ta käytetään myös keittiöiden IV-koneissa rasvan ja muiden syntyvien epäpuhtauksien takia. [7]

Isoimmat ongelmat glykoli-LTO:ssa ovat ilma verkostossa, ongelmat kierrossa ja väärin nesteiden käyttö. Verkostoon pääsee ajoittain ilmaa ja sinne voi muodostua ilmatasku, joka vaikeuttaa tai kokonaan estää nesteen kierron LTO:ssa. Ilma saadaan ulos LTO:sta ilmaamalla se kierron korkeimmasta kohdasta joko käsin tai automaattisella ilmanpoistimella. Isompi ongelma on, jos ilma on sekoittunut nesteen sekaan mikrokuplina. Silloin ilmaa ei saa mitenkään pois nesteen seasta ja ainoa keino päästä siitä eroon on vaihtaa kokonaan nesteet LTO:oon. Mikrokuplat glykolin seassa tunnistaa helpoiten, kun glykoliseos näyttää vaahtomaiselta. [9.]

Ongelmat nesteen kierrossa voivat liittyä useaan asiaan. Kierron pumppu voi käydä väärällä teholla, jolloin neste kiertää systeemissä liian nopeasti tai hitaasti. Vesi pystyy sitomaan itseensä vain tietyn määrän lämpöä ja jos virtausnopeus kierrossa on liian pieni, niin vesi kerkeää sitomaan itseensä maksimi määrän lämpöä ennen kuin se poistuu lämmönvaihtimelta. Tämän seurauksena poistoilmaa kerkeää virtaamaan lämmönvaihtimen läpi ilman että se pystyy luovuttamaan lämpöä nesteelle. [9.] Linjasäätöventtiilit on voitu myös säätää väärin ja haittaavat kiertoa kuristamalla sitä liian vähän tai liikaa. Pumpun ja venttiilien ongelmat vaikuttavat suoraan nesteen virtauksiin. Glykoli-LTO:ssa virtausten olisi todella tärkeää olla niille suunnitelluissa arvoissa ja vesiglykolipumppu tulee mitoittaa putkiston perusteella. Myös oikeat nesteet ja LTO:n oikeaoppinen täyttäminen auttaa sen toimintaa paljon.

Neste-LTO:ita pitää yleisesti välillä täyttää, ja niille kuuluu olla IV-konehuoneessa täyttöastia. Jos täyttönesteessä on liikaa glykolia, se heikentää LTO:n lämpötilahyötysuhdetta ja jos seos on liian laimeaa, jäätyminen riski nousee. [7.] Verkostoon lisättävän nesteen tulee aina olla valmiiksi sekoitettu. Jos kiertoon täyttää ensin glykolin ja kaataa perään vettä, ne eivät sekoitu kierrossa ollenkaan ja LTO:n toiminta heikkenee merkittävästi. Nesteet tulee sekoittaa täyttöastiaan valmiiksi ja täyttöastian tulee olla tiivis, ettei vesi ala haihtumaan astiasta. Tärkeää olisi LTO:n toiminnan kannalta, että täyttöastian kyljessä olisi nesteen tiedot. [9.]

### 3.1.4 Puhaltimet

IV-koneissa on tulo- ja poistupuolella puhaltimet, joilla liikutetaan ilmaa kiinteistöissä. Puhaltimet voidaan jakaa karkeasti kahteen eri luokkaan, suoravetoisiin ja hihnavetoisiin puhaltimiin. Suoravetoisessa puhaltimessa puhallin on fyysisesti akselilla kiinni sähkömoottorissa, joka pyörittää puhallinta. Hihnavetoisessa puhaltimessa puhaltimen ja sähkömoottorin välissä on hihna, joka välittää voiman sähkömoottorilta puhaltimelle. Suoraveto on näistä kahdesta toimintavarmempi ja energiatehokkaampi. Hihnavedossa hihna löystyy ja kuluu ajan saatossa ja vaatii säännöllistä vaihtoa ja kiristämistä. Se myös hajoaa

herkemmin ja saattaa heilua ja liikkua, jos sitä ei ole asennettu tai kiristetty kunnolla. [9.] Hihnan vaihto ja kiristäminen kuuluu normaalin huollon piiriin ja tulisi tarkistaa säännöllisesti.

Tulo- ja poistoilmapuhaltimet pyörittävät koko koneistetun ilmanvaihdon systeemiä ja ovat erittäin tärkeä osa ilmanvaihtoa. Puhaltimilla voidaan säätää ilmamääriä ja ilman vaihtuvuutta säätämällä niiden tehoa. Puhaltimien oikea mitoitus on todella tärkeää kiinteistössä. Jos puhallin on alimitoitettu, ei ilma kiinteistössä vaihdu tarpeeksi. Jos tiloista poistetaan ilmaa tehokkaammin kuin sinne tuodaan sitä saattaa tiloihin muodostua voimakas alipaine. Tämä heikentää kiinteistön ilmanvaihtoa merkittävästi. Ylimitoitettu puhallin ei välttämättä aiheuta kiinteistölle turhaa energiankulutusta, jos sitä ohjataan esimerkiksi taajuusmuuntajalla ja sen tehoja on rajoitettu vain tarpeiden mukaisesti. Tärkeintä on kuitenkin ilmanvaihdon tasapaino. Tulo- ja poistoilmamäärien tulee olla tasapainossa yksittäisissä huoneistoissa, mutta myös koko kiinteistön laajuisesti kaikkien IV-koneiden yhteisilmamäärästä. Erilliset poistot ovat huomioitava, kun ilmamääriä säädetään. Huoneeseen tuotavan ilmamäärän tulisi olla sama kuin sieltä poistuvan ilman määrä, joten jos tilassa on erillinen poisto, on kaikkien poistojen ilmamäärät oltava yhteensä sama kuin tuloilmamäärä. Muuten tilaan tulee alipainetta, joka heikentää ilman vaihtuvuutta.

Voimakas ali- tai ylipaine estää ilmaa vaihtumasta kunnolla, ja ilma tiloissa alkaa tuntua tunkkaiselta tai huoneessa saattaa olla voimakas vedon tuntu, mikä on erittäin iso epämukavuustekijä liikekiinteistössä. Eri IV-koneiden palvelualueiden väliset paine-erot näkyy selkeästi esimerkiksi ovia avatessa. Jos ovea on vaikea avata ja kun se aukeaa, tuntuu voimakas ilmavirta tilojen välillä tai jos ovi lennähtää auki ja sitä on vaikea sulkea, on tiloissa jo reilusti epätasapainoa ilmanvaihdossa. [7.] Korkeat tilat ja rakennukset tulee ottaa huomioon, koska isot korkeuserot vaikeuttavat ilmanvaihdon säätämistä ja rakennuksen sisälle saattaa muodostua paine-eroja myös sen johdosta. Suuret korkeuserot myös voimistavat painovoimaista ilmanvaihtoa. [9.]

### 3.1.5 Lämmitys- ja jäähdytyspatterit

LTO:n tehot eivät aina riitä lämpötilan säätelyyn kiinteistössä, jolloin sisään puhallettavan ilman lämpötilaa voidaan säätää lämmitys- ja jäähdytyspattereilla. Lämmitys- ja jäähdytyspatterit ovat sähkövastuksella tai nestekierrolla toimivia lämmönsiirtimiä. Tilan käyttötarkoituksesta riippuen tuloilman ihannelämpötila vaihtelee, mutta toimistotiloissa sisään pyritään puhaltamaan 18–21 asteista ilmaa [7]. Lämpötila riippuu tilan käyttöasteesta, käyttötarkoituksesta, vuodenajasta, sekä ilmanvaihdon toteutuksesta. Ilmalämmitteisissä kiinteistöissä työpisteiden sijoittelu on myös erittäin tärkeää. Ilmankiertoa ei saisi estää ja tuloilmakanavien eteen ei saisi kasata tavaraa, jotta ilma pääsisi sekoittumaan tilassa kunnolla. [9.]

Lämmityskaudella, kun ulkoa otettava raitisilma on todella viileää, ei LTO:ssa riitä enää tehot lämmittämään ilmaa tarpeeksi. Tällöin tuloilmaa voidaan alkaa lämmittää lämmityspatterilla. Lämmityspattereita on kahta erilaista, sähkövastuksella toimivia ja nestekierrolla toimivia. [7.] Kaukolämmöllä toimivan lämmityspatterin venttiilin viritys on todella tärkeää. Venttiilillä säädetään patterille virtaavan lämpimän veden määrää, joten se ei saa aueta liikaa tai liian vähän, ettei ilman lämpötila ala nousemaan liikaa. Sen täytyy myös reagoida lämpötilan muutoksiin oikein, eli venttiilin säätö ei saa muuttua liian nopeasti tai hitaasti. Jäähdytyskaudella tuloilmaa täytyy viilentää, ettei tiloihin puhalleta kuumaa, ajoittain yli 30-asteista ilmaa. Sisään puhallettavasta ilmasta tulisi poistaa myös ylimääräinen kosteus.

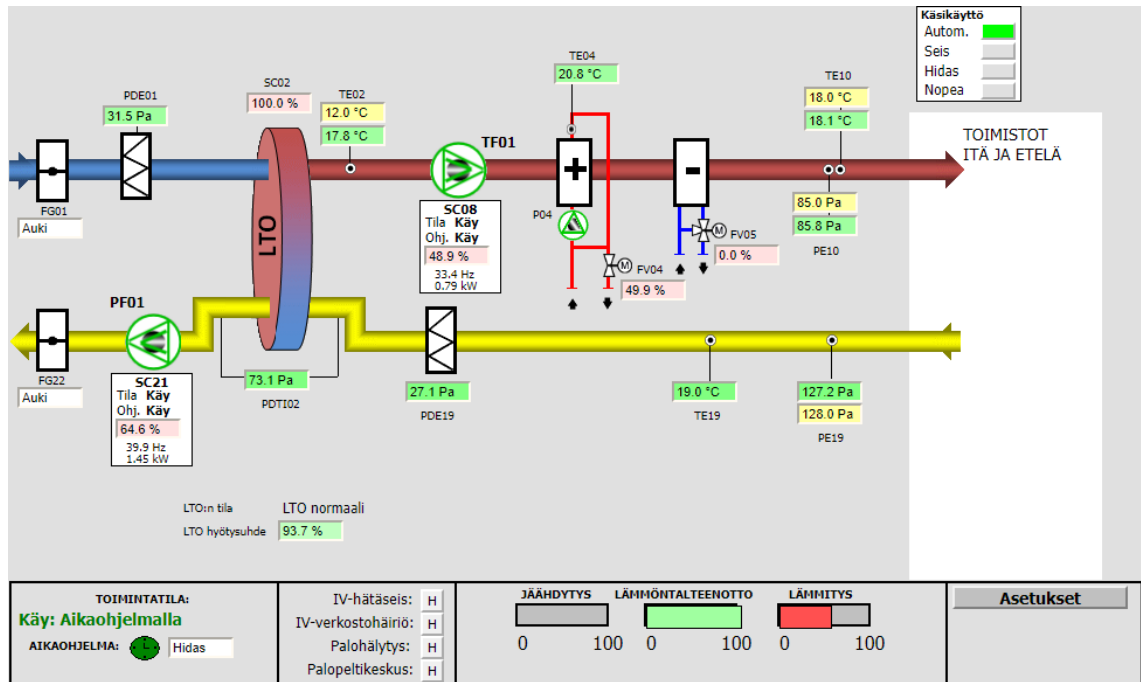
Jäähdytyspattereilla on sama toiminto kuin lämmityspattereilla, mutta siellä virtaa kylmää nestettä, jolla ilmavirtaa viilennetään. Kylmä tähän tuotetaan yleensä joko vedenjäähdytyskoneella, lämpöpumpulla tai kaukokylmästä [9]. Lämmitys- ja jäähdytyspatterien säätö on tärkeää varsinkin väliskeleillä, ettei tapahdu päällekkäistä lämmitystä ja jäähdytystä. Tämä lisää energiankulutusta erittäin voimakkaasti, ja nämä kaksi laitetta eivät koskaan saisi olla samanaikaisesti käytössä.

### 3.1.6 Mittaukset ja anturointi

Kiinteistön tilojen ja laitteiden laaja ja järkevä anturointi on todella tärkeää, jotta olosuhteista saadaan tarpeeksi tietoa. Lämpötila- ja hiilidioksidianturit kiinteistön tiloissa auttavat kertomaan tilan käyttöasteen, jonka pohjalta IV-koneiden ja ilmanvaihdon käyntiaikoja ja -tehoja voidaan säätää. Jos hiilidioksidimäärät lähtevät nousemaan, tilojen käyttöaste on suurempi ja ilmanvaihtoa täytyy tehostaa. Jos lämpötila alkaa olla liian korkea tai matala, voidaan IV-koneelta säätää tuloilman lämpötilaa tai ohjata erillistä jäähdytystä tai lämmitystä päälle. Kaikissa näissä toimenpiteissä on myös tärkeää, että IV-kone ja sen toimilaitteet ovat anturoitu. Antureilla voidaan saada selville viallisia toimilaitteita, kuten tukkeutuneet suodattimet, läpi päästäviä venttiilejä tai hajonnut puhallin. IV-koneelta seurataan useasta paikasta lämpötiloja, paineita, virtauksia ja hyötysuhteita. Kaikista näistä laitteista saadaan antureilla tuotua tietoa automaatiolle ja niille voidaan laittaa hälytysrajat. Hälytysrajojen avulla saadaan nopeasti tietoa, jos komponentteja hajoaa. Järkevällä anturoinnilla pystytään säätämään koneet toimimaan paremmin ja energiatehokkaammin.

## 3.2 Toimistotilojen IV-koneet

Liikekiinteistöissä erityisen tärkeää on huolehtia toimistotilojen hyvästä ilmanvaihdosta. Huono ilmanlaatu vaikuttaa työntekijöiden jaksamiseen ja sitä kautta työn laatuun. Tämän vuoksi toimistotilojen IV-koneiden tulisi olla helposti säädettävissä (Kuva 8).



Kuva 8. Toimistotilojen IV-kone rakennusautomaatiojärjestelmässä.

Tilojen ilmanvaihto tulisi olla mitoitettu oikein, jotta niissä ei esiinny voimakasta ali- tai ylipainetta. Laitteet toimivat suunnitellusti ja lämpötilat saadaan pidettyä sopivina.

### 3.2.1 Raitisilmapellit

Raitisilmapellit ovat joko auki tai kiinni riippuen koneen käyntitilasta. Raitisilmapellit avataan, kun kone on käynnistymässä, ja suljetaan kun kone on sammunut. Peltien täytyy aueta ennen koneen käynnistymistä ja sulkeutua vasta kun kone on sammunut. Muuten pelteihin, puhaltimiin ja koneen runkoon kohdistuu turhaa rasitusta. [7.] Peltien tarkoituksena on suojata konetta ulkona vallitsevilta olosuhteilta. Talvella kylmä pakkasilma voi jäädyttää ja hajottaa IV-koneen paterit ja lämmönvaihtimet [7]. Tämän lisäksi ylimääräinen kosteus ja lika saadaan pidettyä ulkona. Jos kohteessa on kiertoilman käyttömahdollisuus, peltien ohjaus on yleensä erilainen. Tällöin peltejä täytyy pystyä säätämään ja automaatiolle voidaan tuoda peltien avauma näkyviin prosentteina.

Peltien toiminnan varmistus sen sijaan olisi tärkeää tarkistaa säännöllisesti. Automaatiolta voi tarkastella trendikäyriä, joista näkee peltien toiminnan historiadataa. Tärkeää olisi tarkistaa, ovatko pellit menneet kiinni, kun kone on sammunut. Koneen käyntiajat täytyy tarkistaa aikaohjelmista ja verrata peltien luomiin trendeihin. [7.] Trendeistä näkee, milloin peltien ohjaus on saanut käskyn sulkeutua, mutta tämä ei suoraan kerro ovatko pellit menneet varmasti kiinni. Jos esimerkiksi pellin akseli on luistanut toimilaitteesta, saattaa pelti jäädä hieman raolleen. Trendien tietoja täytyy verrata kanavapaineisiin ja -lämpötiloihin, jotta saadaan varmuus, että pellit ovat menneet kunnolla kiinni. [9.] Jos epäillään, että peltien toiminnassa on vikaa, IV-koneen voi ajaa automaatiolta käsin pysähdyksiin ja katsoa reagoiko tuloilmapellit asiaan. Jos raitisilmapelti on jäänyt jumiin, voi kokeilla, ratkeako ongelma ajamalla peltiä muutaman kerran automaatiolta edestakaisin. Jos pellit ovat jääneet jumiin kiinni, sen voi huomata muutamista asioista tuloilmakanavassa: jos tuloilmasuodattimen tai LTO:n paine-ero on todella pieni, ja kanavapaine ei pääse asetusarvoonsa, vaikka puhaltimet käyvät täydellä teholla. [7.] Samat ongelmat aiheuttaa myös esimerkiksi IV-koneen hihnan katkeaminen, joten tärkeää olisi varmistaa asia paikan päällä [9].

### 3.2.2 Tuloilmasuodattimet

Tuloilmasuodattimessakin toiminnan varmistus on keskeisin asia. Tämän varmistamiseksi automaatiolta tulisi mitata ilmanpainetta suodattimen yli. Paineerosta saadaan selkeä viittaus suodattimen toimintaan. Jos paine-ero suodattimen yli on liian pieni, se tarkoittaa, että suodattimessa saattaa olla reikä tai se ei ole asennettu oikein, jolloin ilmaa pääsee virtaamaan suodattimen ohi. [7.] Jos IV-koneen runko on vääntynyt, ilmaa voi päästä virtaamaan suodattimen ohi [9]. Tällöin IV-koneeseen saattaa päästä likaa, joka heikentää sen toimintaa tai pahimmassa tapauksessa hajottaa koneen. Jos paine-ero on liian suuri, suodatin on todennäköisesti tukossa ja tulisi vaihtaa. Muuten puhallin joutuu tekemään lisää työtä ilmamäärän ylläpitämiseksi ja alkaa kuluttaa huomattavasti enemmän energiaa. Ongelma saattaa myös olla anturin toiminnassa tai asennuksessa. Jos paine-ero näyttää liian vähän tai suoraan nolaa, voi esimerkiksi

paineanturista olla letkut irti, tukossa, tai asennettu väärinpäin, jolloin anturi näyttää väärin (Kuva 9).



Kuva 9. Paineanturin letku on asennettu väärin ja siinä ei kulkenut ilma kunnolla, jolloin myös mittaus näytti väärin.

Mittaukselle on tärkeä asettaa oikeat raja-arvot. Jos automaation raja-arvot ovat pielessä, suodattimeen liitetty hälytys saattaa laueta liian usein tai harvoin. Raja-arvot ovat riippuvaisia kohteesta ja kanaviston rakenteesta, koska ilmamäärät vaikuttavat paineisiin [9]. Raja-arvojen kanssa tärkeintä on olla johdonmukainen ja niitä tulee säätää tarvittaessa. Suunnittelija määrittää koneelle raja-arvot, mutta näihin ei tule sokeasti luottaa vaan aina säätää tarvittaessa. Paineeron mennessä yli tai alle näiden rajojen, tulee automaatiolle ja hälytyslistaan hälytys asiasta, jolloin sen huomaa nopeasti automaatiolta ja sen voi välittää kiinteistöhuollolle. Hälytyksen ilmaantuessa tulisi selvittää, onko sille jotain loogista selitystä. Esimerkiksi keväällä suodatin voi olla vain tukossa suuren katu-pölymäärän takia tai talvella sinne on saattanut päästä lunta. Kastunut suodatin tulisi aina vähintään kuivata kunnolla mutta on suositeltavaa vaihtaa se kokonaan uuteen. Jos IV-koneeseen pääsee runsaasti ylimääräistä kosteutta, IV-kone joudutaan sammuttamaan ja kuivaamaan mekaanisesti. IV-koneissa ei ole kosteuden poistoa muualla kuin jäähdytyspattereiden luona. [7.]

Paine-ero voi vaihdella ajoittain, mikä on täysin normaalia, mutta jatkuva ja voimakas paine-eron vaihtelu viittaa anturivikaan tai ongelmaan ilmamäärän säädössä. Jos paine-ero huojuu muun koneen ollessa stabiili, se viittaa yleensä viikaan mittauksessa. Yleisimpinä syinä huojumiseen on virheellinen

kanavapainemittauksen asennuspaikka ja virheelliset viritysparametrit. [7.] Jos muutkin paineet kanavassa käyttäytyvät oudosti ja esimerkiksi kanavapaineikin heiluu voimakkaasti, vika on muualla kuin suodattimessa. Kone voi olla epäviireessä tai suodattimen paine-eron mittausta on voitu asentaa paikkaan, jossa ilmavirtaus on turbulენტtista, kuten heti mutkan jälkeen. [9.]

### 3.2.3 Lämmöntalteenotto

LTO:lla saatu lämmitys tai jäähdytys on kiinteistölle kaikkein edullisin lämpötilansäätelyn muoto. Tämän vuoksi LTO:n säätö ja optimointi on erittäin tärkeää. Automaatiojärjestelmään on tehty sarjasäädin, joka ohjaa lämmitysportaita lämmitystarpeen mukaisesti. Säädin siis ohjaa mikä lämmitys- tai jäähdytysmuoto menee ensimmäisenä päälle, ja vasta kun siinä ei riitä tehot lämpötilan pääsemiseksi sille asetettuun arvoon, käynnistyy seuraava. [7.] Lämmitysportaan tarkoitus on parantaa kiinteistön energiatehokkuutta käyttämällä ensisijaisesti kiinteistölle halvimpia lämmityksen muotoja. Säätöjärjestys on, ensimmäisenä LTO, toisena kiertoilma, kolmantena erillinen lauhdelämmön talteenottopatteri ja neljäntenä lämmityspatterit. [7.] Lämmitystarpeen vähentyessä säädin alkaa säätämään laitteita kiinni päinvastaisessa järjestyksessä ja kun lämmöntalteenotto on lopetettu alkaa jäähdytysporras viilentämään kiinteistöä samalla periaatteella. Tähän vaikuttaa kuitenkin kohde ja IV-koneen toteutus. Kaikissa IV-koneissa ei ole mahdollisuutta kaikille näille säädöille. Jos tämä säätöporras ei toimi oikein, sen toiminta tulee tarkistaa ohjelmasta. [9.]

LTO:lla otetaan talteen poistoilmassa olevaa lämpöä ja käytetään sitä tuloilman lämmittämiseen, joten LTO:n säädön tulee olla 100 %:lla ennen kuin muita lämmityksen muotoja saa käyttää. LTO:n säätäminen riippuu siitä, mikä LTO on kyseessä. Kiekon tehoa säädetään muuttamalla sen pyörimisnopeutta, kuutiota ohjaamalla säätöpelleillä ilmavirtaa tarpeen mukaan LTO:n läpi tai sen ohi ja glykolia 3-tie säätöventtiilillä tai pumpun tehoa rajoittamalla [9]. LTO:n toiminnan varmistamiseksi, kannattaa mitata lämpötiloja ja paine-eroa sen yli. Lämpötiloista saadaan laskettua LTO:n lämpötilahyötysuhde, jota seuraamalla huomaa kaikkein helpoiten, kun LTO:n toiminnassa on ongelmia. Tämä on LTO:ssa

erityisen tärkeää, koska kyseessä on lämmönvaihdin, joten esimerkiksi kovilla pakkasilla on riski, että se jäätyy. [7.]

Jos LTO:n lämpötilahyötysuhde on liian pieni tai suuri, vika voi olla laskennassa, ilmamäärissä, antureissa tai LTO:n toiminnassa. Ilmamäärien täytyy olla yhtä suuret molempiin suuntiin LTO:n läpi, jotta automaation laskenta toimii oikein. Jos tuloilmaa tuodaan 1,5 kuutiota sekunnissa mutta poistetaan alle kuutio sekunnissa, lämpötilahyötysuhde ei näytä oikein. [7.] Tähän vaikuttaa esimerkiksi, jos IV-koneen vaikutusalueella on erillispoistoja, eli kaikkea ilmaa ei poisteta IV-koneen läpi [9]. LTO:n säädön täytyy olla 100 %:lla, jotta lämpötilahyötysuhde näyttää oikein. Lämpötilahyötysuhteen laskenta ei osaa ottaa huomioon, jos LTO:n säätö on vain 50 %:lla ja näyttää silloin väärin. Jos lämpötila-anturit ovat rikki tai huonosti sijoitettu, sekoittavat ne myös laskentaa. LTO:n lämpötilahyötysuhde lasketaan suoraan lämpötiloista, joten jos lämpötilamittaus on pielessä, niin silloin myös lämpötilahyötysuhde on väärin. Lämpötila-anturit eivät saisi olla liian lähellä muita laitteita, esimerkiksi jälkilämmitystä, ettei johtumislämpö sekoita anturin mittausta.

LTO:n lämpötilahyötysuhteen voi laskea myös itse ja siten tarkistaa LTO:n toimintaa. Tulo- ja poistupuolelle lasketaan erikseen lämpötilahyötysuhteet ja niitä tulisi verrata toisiinsa. Pientä eroa hyötysuhteiden välillä voi olla mutta jos ero alkaa olla yli 15 %, tulisi LTO:n toimintaa tutkia tarkemmin. Kiekko-LTO:ssa kiekko voi olla epätiivis, kuutiossa voi olla ongelmaa peltien toiminnassa ja neste-LTO:ssa voi olla ongelmia kierron kanssa. [9.] Lämpötilahyötysuhteet voi laskea alla olevilla kaavoilla.

$$\frac{T_2 - T_1}{T_3 - T_1} = \text{Tuloilman lämpötilahyötysuhde}$$

$$\frac{T_3 - T_4}{T_3 - T_1} = \text{Poistoilman lämpötilahyötysuhde}$$

$T_1 = \text{Ulkolämpötila } [^{\circ}\text{C}]$

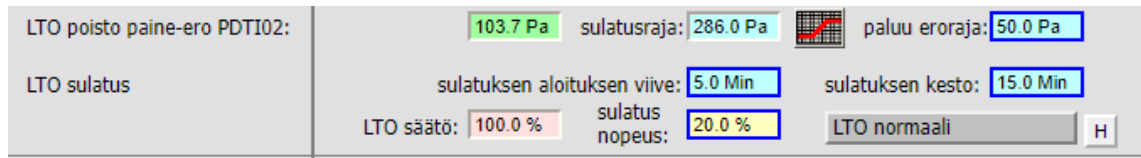
$T_2 = \text{Tuloilmanlämpötila LTO:n jälkeen } [^{\circ}\text{C}]$

$T_3 = \text{Poistoilman lämpötila ennen LTO:ta } [^{\circ}\text{C}]$

$T_4 = \text{Poistoilman lämpötila LTO:n jälkeen } [^{\circ}\text{C}]$

Tuloilman lämpötilahyötysuhde on näistä kahdesta se tärkeämpi, ja sitä käytetään IV-koneen grafiikalla kuvaamaan LTO:n toimintaa. Poistoilman lämpötilahyötysuhteen voi itse laskea, jos epäillään, että tulo- ja poistoilmavirrat ovat epätasapainossa.

LTO:n jäätyminen ja huurtuminen estämiseksi asetetaan sille yleensä huurtumisraja. Tämä tarkoittaa, että paine-eron noustessa liian suureksi tai lämpötilojen laskiessa voimakkaasti käynnistyy LTO:n sulatus. LTO:n tehoa lasketaan alas noin 20 %:iin, jolloin poistoilmassa oleva lämpö ei poistu LTO:sta niin nopeasti ja sen sisältämä lämpö sulattaa mahdollisen kertyneen jään ja kosteuden. [7.] Nestekiertoisessa LTO:ssa 3-tie venttiili ajetaan niin, että neste kiertää vain LTO:n lämmityspuolella [9]. Sulatuksen kesto on yleensä noin 15 minuuttia, mutta sitä voi säätää tarpeen mukaan. Huurtumisraja ja sulatuksen säädöt on tärkeää katsoa oikein (Kuva 10). Huurtumisraja ei tule olla kiinteä arvo, vaan sille tulisi luoda muunnostaulukko, joka ohjaa sen käynnistymisrajaa sen perusteella, kuinka suurella teholla poistoilmapuhallin käy. Tämä sen takia, koska mitä suuremmalla teholla puhallin käy, sitä enemmän ilmaa virtaa LTO:n läpi. Tämän myötä paine-erokin luontaisesti vaihtelee. Sulatukselle tulee myös asettaa riittävä viive, ettei se lähde käyntiin, jos paine-ero vain nopeasti käväisee liian korkealla, koska paineet saattavat välillä vaihdella hyvinkin voimakkaasti. Tarkoitus on välttää turhat sulatukset, koska sulatuksen aikana LTO ei käy täydellä teholla, jolloin sen lämpötilahyötysuhde laskee ja muita lämmitysmuotoja joudutaan käyttämään enemmän. Käynnistymisviiveen tulisi olla ainakin 5 minuuttia. [7.]



Kuva 10. LTO:n sulatuksen asetukset.

Nykyään LTO:lla on myös kylmän talteenotto, eli kesähelteillä voidaan vähentää jäähdyttämiseen käytetyn energian määrää hyödyntämällä viileämpää poistoilmaa. Tämä toimii vain, jos poistoilma on viileämpää kuin ulkoilma. Jäähdytyksen talteenoton tulisi saada käyntilupa, kun poistoilma on 2 °C viileämpää kuin ulkoilma, ja käyntiluvan tulisi poistua, kun ero on alle 0,5 °C. [7.] Tätä puolen-toista asteen eroa käyntilupien välillä kutsutaan hystereesirajaksi. Hystereesirajaa käytetään muissakin laitteissa ja toiminnoissa, ja se tulee määrittää tapauskohtaisesti. Hystereesirajan tarkoitus on estää laitteiden turhat edestakaiset käynnistymiset ja sammumiset, kun lämpötila on juuri käynnistymisrajan tuntumassa. Kylmän talteenotossa hystereesiraja tulisi olla noin 1,5 °C. Automaation trendeistä kannattaa myös säännöllisesti käydä tarkistamassa, huojuuko LTO:n säätö. Voimakas huojuminen tarkoittaa yleensä sitä, että säätöparametrit eivät ole kunnossa, ja saattaa johtaa laitteiden eliniän lyhenemiseen [7].

LTO:n jälkeistä lämpötilamittausta käytetään usein tuloilmakanavan rajoitussäätönä. Rajoitussäätö auttaa tuomaan stabiiliutta tulokanavan lämpötilojen säätöihin. LTO:n jälkeisellä rajoitussäädöllä pyritään huolehtimaan, että kanavassa on jonkinlainen peruslämpö jatkuvasti, jolloin muut lämpötilat ja niiden säädöt eivät heilu niin helposti. Lämpötila LTO:n jälkeen tulisi olla vähintään 12 °C ja rajoitussäätö pystyy pakottamaan LTO:n ohjauksen ohi lämpöä kanavaan, jos tämä alittuu. Rajoitussäätö auttaa myös huolehtimaan, ettei pattereille pääse liian viileää ilmaa. Jos rajoitussäätö ei pysty ohjaamaan tulokanavaan tarpeeksi lämpöä, vaikka LTO on pakotettu 100 %:lle, voi LTO:n toiminnassa olla vikaa. Normaalitylanteessa LTO:n jälkeinen rajoitussäätö auttaa vähentämään lämpötilojen huojuntaa koneen käynnistyessä tai jos muut säädöt lämmitysportaassa heiluvat. [9.]

### 3.2.4 Puhaltimet

Tuloilmapuhaltimen tehtävä on liikuttaa ilmaa ja ylläpitää sopivaa painetta tuloilmakanavassa. Puhaltimien ohjauksia on automaatiolla kolmea erilaista, taajuusmuuttajaohjattuja, EC- ja yksi- tai kaksi-nopeuspuhaltimia. Puhaltimelta olisi tärkeää saada käyntitila-tieto automaatiolle. Tällöin automaatiolta näkee, käykö puhallin vai ei. [9.]

Jos käyntitilaa ei ole tuotu automaatiolle, niin vaikka automaatiolla näkyy, että puhallin on saanut käyntiluvan, ei ole tarkkaa tietoa, käykö puhallin silti. Tässä tilanteessa puhaltimen käynti täytyy päätellä esimerkiksi kanavapaineesta, lämmitysportaiden tilasta ja lämpötilamittauksista. [9.] Puhaltimen tulisi käydä ainoastaan, kun IV-kone on käynnissä. Jos puhaltimen käyntitiedot on tuotu trendeihin, tulisi tarkastaa puhaltimien käyntiajat ja verrata niitä IV-koneen käyntiaikoihin. Jos puhallin on käynyt muun koneen ollessa pysähdyksissä, täytyy selvittää mistä tämä ongelma johtuu. On mahdollista, että koneen indikointi näyttää väärin tai kohteessa voi olla ongelmia ala-asemissa, ryhmäkeskuksissa tai taajuusmuuntajassa. [7.] Kone saattaa olla laitettu käsin päälle paikan päällä, jolloin sitä ei saa sammutettua automaatiolta, mutta tästä pitäisi tulla ristiriitahälytys automaatiolle. Koneessa voi myös olla yötuuletusohjelma tai lisäaikapainike, joka käynnistää koneen normaalien aikaohjelmien ulkopuolella. Näistä tulisi myös tuoda indikointi automaatiolle, jotta syy puhaltimen ylimääräiselle käynnille on helposti löydettävissä. [9.]

Taajuusmuuttajakäyttöisessä puhaltimessa tulisi trendeistä tarkastaa tämän lisäksi, että puhaltimen säätö on käynyt tasaisesti. Säädön huojunnan voi päätellä esimerkiksi tulokanavapaineen heilumisesta. Täytyy kuitenkin tarkistaa, ettei kanavapaineen mittaus heilu anturin huonon sijoituksen takia. Paineanturi voi olla sijoitettu huonosti mutkaan, mutkan jälkeen tai liian lähelle puhallinta, jolloin ilma on turbulenttista. [7.] Painemittauksen paikkaa voidaan siirtää, sillä itse anturin siirto on todella kallista. Mittaukselle ei ole merkitystä, kuinka pitkät letkut antureilta vedetään mittaukselle. Järjestelmästä riippuen mittausta voidaan myös vaimentaa, ettei se reagoi muutoksiin niin herkästi. [9.]

Puhaltimien oikea mitoitus on olosuhteiden ja energiatehokkuuden kannalta hyvin tärkeää. Puhallin tulisi aina mitoittaa niin, että siinä on säätövaraa kuorman mukaan. Jos puhallin käy 100 % ja kanavapaine ei silti pääse asetusarvoonsa, on jossain vikaa. Suodattimet ja paineanturit tulisi tarkistaa ensimmäisenä, koska tukossa oleva suodatin saattaa vaikeuttaa ilman kulkua tai hajonnut paineanturi saattaa ohjata puhaltimen täydelle teholla turhaan. [7.] Virhe on saattanut myös tapahtua, kun koneen ilmamääriä on mitattu, jos esimerkiksi kiertoilma on ollut käytössä mittausten aikana tai ilmamääräsäätimet eivät ole kaikki olleet täysin auki. Kanava voi myös olla ratkennut, jolloin ilmaa pääsee virtaamaan kanavasta hallitsemattomasti. [9.] Järkevästi mitoitettu puhallin käy 80–90 %:lla, kun kiinteistössä on suuri käyttöaste ja IV-kone on tehostuksella. Jos puhallin ei ole taajuusmuuttajaohjattu, ei puhaltimen tehoa voida tietää ja se käy säädetyllä teholla aina sen ollessa käynnissä. [7.]

Puhaltimet voivat myös olla ali- tai ylimitoitettuja. Alimitoitettut puhaltimet joutuvat käymään jatkuvasti täydellä teholla saavuttamatta silti tavoiteilmamääriä ja kanavapaineita. Liian pienet ilmamäärät heikentävät sisäilman laatua ja johtavat tunkkaiseen ja raskaaseen ilmaan kiinteistössä. IV-koneiden vaikutusalueiden väliset ilmamäärät voivat myös olla tämän takia epätasapainossa ja sekoittaa kiinteistön ilmanvaihtoa. [7.] Ylimitoitetussa puhaltimessa ei ole niin suuria negatiivisia vaikutuksia kiinteistölle, kuin alimitoitetussa puhaltimessa. Puhaltimen hankintakustannukset nousevat, mutta se ei tarkoita suoraan, että puhallin kuluttaisi enemmän energiaa. Puhaltimen koko täytyy vain ottaa tarkasti huomioon ilmamääriä säätäessä. [9.]

Tärkeää on verrata tulo- ja poistoilmamääriä toisiinsa, sillä näiden tulisi olla tasapainossa, jotta ilma kulkee hyvin kiinteistöön ja sieltä ulos. Jos puhaltimien ilmamääriä ei ole tuotu näkyville automaatiolle, on ilmamäärien tasapainoa haastavampaa arvioida. Puhaltimien tehoista voi vertailla ilmamääriä toisiinsa mutta vain jos puhaltimien koot ovat tiedossa. Jos tiedetään, että tulo- ja poistopuolella on samankokoiset puhaltimet, voi puhaltimien käyttötehoja vertailla toisiinsa ja varmistaa ettei niiden väillä olisi suurta eroa. Jos IV-koneen alueella on erillispoistoja, näidenkin puhaltimien koot tulisi tietää, jotta ilmamäärävertailu on

mahdollista. [7.] Yksi vaihtoehto on myös verrata LTO:n tulo- ja poistolämpötilahyötysuhteita toisiinsa. Nämä saa laskettua kanavien lämpötiloista ja jos lämpötilahyötysuhteiden välillä on liikaa eroa, on hyvin todennäköistä, että toisessa kanavassa on pienemmät ilmamäärät. [9.] Ilmamäärien ollessa epätasapainossa, ilma ei vaihdu kiinteistössä tasaisesti ja tehokkaasti, mikä johtaa huonoihin olosuhteisiin ja ylimääräiseen energiankulutukseen.

Automaatiolle voi tuoda puhaltimien ilmamäärät näkyviin mutta niihin ei voi luottaa sokeasti. Ilmamäärät tuodaan automaatiolle laskemalla ne puhaltimen yli olevasta paine-erosta sekä ilman k-arvosta. Eli virhe laskennassa, vika anturissa tai väärä k-arvo voivat aiheuttaa sen, että ilmamäärät näyttäisivät olevan epätasapainossa, vaikka ne olisivat oikein. Ilmamäärien tuominen näkyviin ei ole pakollista, mutta auttaa ilmanvaihdon säätämisessä ja niistä saisi laskettua IV-koneen SFP-luvun eli ominaissähkötehon. [9.]

SFP-luku, eli specific fan power kertoo IV-koneen ominaissähkötehon. Tällä luvulla saadaan laskettua, kuinka paljon sähkötehoa tarvitaan kuljettamaan yksi kuutiometri ilmaa kiinteistössä ( $\frac{kW}{m^3/s}$ ). SFP-luku kertoo siis puhaltimen sähkötehokkuuden. Mitä suurempi SFP-luku, sitä enemmän työtä puhallin joutuu tekemään ilmavirran liikuttamiseksi ja sitä enemmän se myös kuluttaa sähköä. [14.] SFP-luvun voi itse laskea:

$$\frac{\text{Tuloilmapuhaltimen teho} + \text{Poistoilmapuhaltimen teho}}{\text{Tuloilmamäärä} + \text{poistoilmamäärä}} = SFP$$

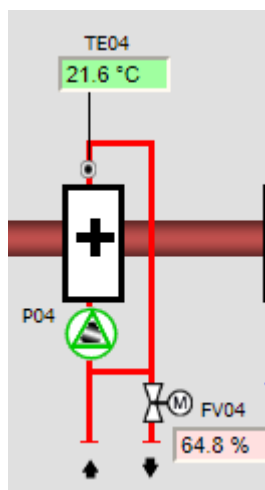
Kiekko- ja kuutio-LTO:lla varustetuissa IV-koneissa sisäisen SFP-luvun vaatimus on 0,8. Nestekiertoisissa LTO:ssa SFP-luvun vaatimus on 1,9. [15.]

Tuloilmapuhaltimelle paras sijoitus IV-koneessa on kaikkien lämmityselementtien jälkeen mutta ennen jäähdytyspatteria. Kylmempi ilma on raskaampaa kuljettaa, ja puhallin joutuu tekemään enemmän töitä ilman kuljettamiseksi. Vastaavasti lämpimämpi ilma on helpompaa kuljettaa, joten ilma tulisi lämmittää lähelle asetusarvoa ennen puhallinta, jolloin puhallin joutuu tekemään vähemmän

työtä ilman kuljettamiseksi ja kuluttaa vähemmän energiaa. Ilman lämpötila myös nousee, kun se kulkee puhaltimen läpi, jolloin lämmityksen tarve vähenee. [7.] Vanhoissa koneissa lämpötila voi nousta puhaltimen yli jopa muutamalla asteella, mutta tämä on merkki todella huonosta energiatehokkuudesta. Sijoittamalla puhallin lämmityksen taakse saadaan siis säästettyä energiaa vähentämällä lämmityksen tarvetta ja helpottamalla puhaltimen työtä. [9.] Puhaltimien sijoitus kuitenkin vaihtelee riippuen kohteesta ja koneesta. Puhallin tulee kuitenkin aina sijoittaa vasta LTO:n jälkeen. Muuten se joutuu talvella kuljettamaan kylmää pakkasilmaa, mikä on raskasta ja aiheuttaa suurta lisäenergiankulutusta. [7.] Ilmavirran nopeuteen täytyy kuitenkin kiinnittää huomiota, jos IV-koneessa on jäähdytyspatterit. Jos virtaaman nopeus jäähdytyspatterin yli ylittää  $2,5 \frac{m^3}{s}$  niin patterin pintaan kondensoitunut vesi saattaa lähteä ilmavirran mukaan ja kanavaan täytyy asentaa pisaranerotin. [9.]

### 3.2.5 Lämmityspatterit

Lämmityspatteri on nestekiertoinen tai sähkökäyttöinen lämmönsiirrin, jolla lämmitetään tuloilmaa, kun muissa lämmitysmuodoissa ei riitä enää teho. Lämmityspatteri on lämmitysportaassa viimeisenä ja sitä tulee käyttää vasta kun muissa lämmitysmuodoissa ei riitä enää teho lämmittämään ilmaa tarpeeksi. Tämä johtuu siitä, että lämmityspatteri käyttää ostoenergiaa. Lämmityspatteri esimerkikiinteistössä on nestekiertoinen ja käyttää kaukolämmöstä otettua lämpöenergiaa ja lämmittää sillä tuloilmaa (Kuva 11). Siinä on säätöventtiili, joka säätelee lämmönsiirrimelle virtaavan veden määrää ja tätä myötä sen tehoa. Säätöventtiilin toimintaa voidaan tutkia trendikäyrältä [7]. Venttiilin tulee toimia ja reagoida tasaisesti kuorman ja lämpötilan muutoksiin, eikä sen tulisi huojua. Lämmityspatterin venttiili huojuu hyvin herkästi ja tulisi olla säädetty oikein. Voimakas huojuminen vaatii venttiilin uudelleen virittämistä, ettei venttiili ja sen toimilaite hajoa ennenaikaisesti ja jotta lämpötila ei huojuisi sen mukana. [9.]



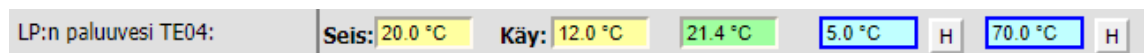
Kuva 11. Nestekiertoinen lämmityspatteri tuloilmakanavassa.

Lämmityspatterin kierto toimii kaikkein parhaiten, kun venttiilin avauma on mahdollisimman iso. Paras tilanne on silloin, kun kaikkien IV-koneiden lämmityspatterien venttiilit ovat 20–80 %:n alueella. Silloin venttiilien säätö toimii parhaiten ja niillä on säätövaraa molempiin suuntiin. [7.] Varsinkin istukkaventtiileissä on ongelmana, kun ne ovat 7–10 % auki, voi virtaama loppua ja alkaa nopeasti ja säätäminen on vaikeaa tällä alueella. Patterille virtaavan veden lämpötila tulisi säätää tämän mukaan, mutta se on yleensä riippuvainen ulkolämpötilasta. [9.]

Lämmityspatterin paluueden lämpötila tulisi olla mahdollisimman matala, huomioiden kuitenkin paluuevisäätö ja jäätymissuojan asetus. Paluuvesi on jo luovuttanut energiansa tuloilmalle, ja mitä tehokkaammin sen saa tehtyä, sitä parempi. [9.] Jos paluueden lämpötila ei laske kuin muutamalla asteella on säädöissä tai laitteessa vikaa. Voi olla, että lämmityspatterille virtaa liian kuumaa vettä, jolloin lämpöä hukkuu turhaan johtumislämpönä putkistossa. Tämän tunnistaa venttiilin avaumasta. Jos venttiili on vain vähän auki ja paluuvesi on todella kuumaa, tulisi lämpötiloja säätää alaspäin lämmönjakohuoneen säätökäyristä. On myös mahdollista, että lämmityspattere ei pysty luovuttamaan lämpöä tarpeeksi tehokkaasti ilmanvaihdon virtaukselle. Tähän voi olla syynä lämmityspatterin lämmönsiirtopintojen likaisuus tai liian suuri virtausnopeus. [7.] Jos lämmityspatterin pinta on likainen, toimii se tehokkaana eristeenä ja estää lämpöä siirtymästä. Jos taas lämmityspatterin sisäinen virtaus on liian nopea, ei

lämpö kerkeä siirtymään. Verkosto voi myös olla yli- tai alimitoitettu tai sinne on saattanut päästä ilmaa, joka estää nestettä virtaamasta kunnolla ja heikentää lämmönsiirtoa.

Lämmityspatterin paluueden lämpötila ei myöskään saa olla liian matala. Muuten kierrossa ei ole tarpeeksi lämpöenergiaa lämmittämään tuloilmaa. Riskinä on myös kovilla pakkasilla, että lämmityspatteri jäätyy. IV-koneen ollessa kiinni tulisi lämmityspattereilla kiertää noin 20-asteista vettä suojaamassa niitä, jotta ne eivät jäädy ja hajoa. [7.] Tämä huolehtii myös, että lämmityspatteri ei ole liian kylmä koneen käynnistyessä. Lämmityspattereilla on jäätymissuoja estämässä niiden jäätymistä, jos lämpötilat laskevat liian alas (Kuva 12). Lämmityspatterien paluueden lämpötilamittaus on kytketty jäätymissuojan termostaattiin, joka taas on kytketty ala-asemaan. Paluueden rajoitusarvo on 12 °C ja sitä pystyy säätämään paikan päältä. Jäätymissuojan asetus on tällä hetkellä 5 °C, joka on hieman matala ja tulisi nostaa 7 °C:seen. Jos paluueden lämpötila siis laskee alle 5 °C, laukeaa jäätymissuoja ja lämmityspatterin säätöventtiili aukeaa riippumatta tuloilman lämpötilasta tai muista rajoittavista tekijöistä ja koko IV-kone sammuu. [9.]



Kuva 12. Lämmityspatterin jäätymissuojan asetukset automaatiolla.

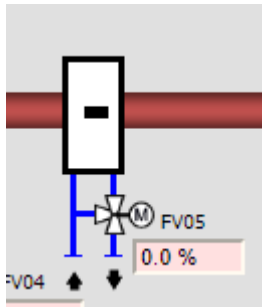
Jotta IV-kone ei sammuisi, on jäätymissuojassa myös paluueden ennakointi. Paluueden ennakointi alkaa avaamaan lämmityspatterin venttiiliä, jos kierron lämpötila on ollut jatkuvassa laskussa eikä lähde tasaantumaan. Tarkoituksena on pakottaa kiertoon lisää lämpöä välittämättä olosuhteista, jotta koko IV-kone ei sammuisi. Jäätymissuojan asetukset ja säädöt tulisi olla samat automaatiolla, sekä paikan päällä. Jäätymissuojan lauetessa sitä ei saa kuitattua pois automaatiolta, vaan se pitää korjata paikan päällä. Paluulämpötilan ollessa niin alhainen ei yleensä ole kyse lämpötilasäädöistä vaan fyysisestä ongelmasta, joko toimilaitteissa tai kierrossa. Voi olla, että pumppu on hajonnut, jolloin virtausnopeus ja paine romahtavat. [7.] Pumpun hajotessa tulisi koko IV-koneen

sammua, koska muuten jäätymisen riski lämmityspatterille on todella suuri. Pumppujen tulisikin olla käytännössä aina käynnissä ja niistä tuodaan automaatiolle tilatieto, jotta niiden hajoaminen havaittaisiin nopeasti. [9.]

Lämmityspatterin venttiili voi olla rikki, jumissa tai päästää läpi. Venttiiliä voi yrittää ajaa automaatiolta edestakaisin muutaman kerran ja katsoa, lähteekö se toimimaan. Venttiiliä kannattaa myös ajaa edestakaisin samalla kun kiinteistöhuolto on paikan päällä kuuntelemassa, kuuluuko venttiilistä outoja ääniä tai muuta vikaa. Muussa tapauksessa tulisi venttiili korjata paikan päällä. Jos venttiili päästää läpi, sen voi päätellä lämpötiloista ennen ja jälkeen lämmityspatterin. Läpipäästävät venttiilit ovat yleinen ongelma, ja niiden nopea paikantaminen auttaa säästämään kiinteistön energiankulutuksessa. [7.] Venttiilien vuodot on helpointa löytää väliskeleillä, kun lämmitys- ja jäähdytystarpeet eivät ole vielä kovin suuret. Ongelma voi myös olla lämmityspatterin- tai lämmönjakohuoneen kierroissa ja putkistoissa, jolloin ne tulisi käydä läpi. Jos venttiilin väliin on päässyt roskaa tai muuta sinne kuulumatonta, joka on estänyt sen toimintaa, voi venttiili lähteä toimimaan roskan poistamisen jälkeen mutta sitä tulee seurata tarkasti. Todennäköistä on, että venttiili hajoaa lopullisesti pian sen jälkeen ja tulee vaihtaa uuteen. [9.]

### 3.2.6 Jäähdytyspatterit

Jäähdytyspatteri toimii täsmälleen samalla tavalla, kuin lämmityspatteri. Erona on vain, että lämmityspatteria käytetään lämmityskaudella, kun taas jäähdytyspatteria käytetään jäähdytyskaudella ja se viilennetään käyttäen kaukokylmää, vedenjäähdytyskonetta tai lämpöpumppua (Kuva 13).



Kuva 13. Nestekiertoinen jäähdytyspatteri tuloilmakanavassa.

Tärkeintä näiden yhteistoiminnassa on, ettei kiinteistössä tapahdu päällekkäistä lämmitystä ja jäähdytystä. Molemmat näistä pattereista käyttävät ostoenergiaa, ja niitä ei tulisi käyttää turhaan. Jos jäähdytyspatterin venttiili päästää läpi, joutuu lämmityspatteri tekemään enemmän töitä tuloilma lämmittämiseksi. Jos lämpötila jäähdytyspatterin yli muuttuu, vaikka se ei ole käytössä, päästää venttiili läpi ja tulisi korjata.

### 3.2.7 Poistoilmasuodattimet

IV-koneessa on myös poistopuolella suodatin. Tämän suodattimen tarkoitus on suojella LTO:a erilaisilta sisäilman epäpuhtauksilta, kuten ihmisten mukanaan tuomalta pölyltä ja hilseeltä sekä rakenteista irtoavalta pölyltä. Näiden päätyminen LTO:n sisään heikentää sen toimintaa. Poistopuolen suodatin ei mene tukkoon yhtä helposti kuin tulopuolella, koska ulkoilmassa on suurempi määrä epäpuhtauksia kuin sisäilmassa, mutta sen toimintaa tulee silti valvoa. Jos poisto-suodatin on tukossa tai asennettu huonosti, heikentää se merkittävästi IV-koneen toimintaa. Suodattimen toimintaa voi varmistaa samalla tavalla kuin tuloilmakanavassa: asennetaan ilmanvaihtokanavaan paineanturit suodattimen molemmille puolille ja seurataan paine-eroa. [7.]

### 3.2.8 Aikaohjelmat ja ohjaukset

IV-koneille saa asetettua aikaohjelmia, joiden mukaan ne käyvät. Taajuusmuuntajaohjatuissa IV-koneissa voi myös määrittää IV-koneen käymään joko

puoliteholla tai täydellä teholla tarpeen mukaan, jos niille on määritetty nopean ja hitaan nopeuden ilmamäärät (Kuva 14). Näitä voi säätää aikaohjelmista kellonajan mukaan. Aikaohjelmista pystyy määrittellä, milloin IV-kone käynnistyy päiväkohtaisesti ja määrittää sille viikko-ohjelman, joka ohjaa IV-koneen käynnistymään ja sammumaan oikeaan aikaan. Aikaohjelmat tulisi olla sidottu kohteen käyttöasteeseen, eli koneiden tulisi olla käytössä vain, kun kohteessa on ihmisiä paikalla. Aikaohjelmien määrittämiseen täytyy selvittää kiinteistön aukioloajat tai aluekohtaiset käyttöajat. Yleisesti tällaiset koneet käyvät täydellä teholla kello 8–16 arkisin, kun suurin osa ihmisistä on töissä. Tällöin kuorma on suurin ja ilmanvaihdon täytyy olla tehokasta. Tiloja on kuitenkin suositeltavaa huuhdella hieman ennen ja jälkeen suurimman käyttöasteen. Esimerkiksi kiinteistö, joka on käytössä kello 8–16, kannattaa IV-koneiden käydä puoliteholla 0.5–1 tuntia ennen kello 8 ja kello 16 jälkeen. Tämä auttaa puhdistamaan tiloja, jolloin työntekijöiden saapuessa paikalle tilat olisivat valmiiksi raikkaat, eivätkä alkaisi vasta puhdistua.

<b>Ma</b>	00:01 Hidas	<b>07:00</b> <b>Nopea</b>	17:00 Hidas	
<b>Ti</b>	00:01 Hidas	07:00 Nopea	17:00 Hidas	
<b>Ke</b>	00:01 Hidas	07:00 Nopea	17:00 Hidas	
<b>To</b>	00:01 Hidas	07:00 Nopea	17:00 Hidas	
<b>Pe</b>	00:01 Hidas	07:00 Nopea	17:00 Hidas	
<b>La</b>	00:01 Hidas	07:00 Nopea	17:00 Hidas	
<b>Su</b>	00:01 Hidas	07:00 Nopea	17:00 Hidas	

Kuva 14. Taajuusmuuttajaohjatun IV-koneen aikaohjelma.

Automaatiolla on myös kalenteri, johon voi tehdä erilaisia ohjauksia IV-koneiden ja muiden laitteiden käyntiaikoihin esimerkiksi juhlapyhien kohdalle. Yleiset vapaapäivät ja muut käyttöasteelta normaalista poikkeavat päivät tulisi merkitä automaation kalenteriin, jotta IV-koneet eivät käy turhaan, kun kiinteistön käyttöaste on normaalia pienempi. Tällä saadaan säästettyä tehokkaasti energiaa. [7.]

Jos IV-kone ei ole taajuusmuuttajaohjattu, ei sille voi määrittää puolitehoa tai muita teholuokkia vaan se on joko päällä tai pois. On olemassa kaksitehokoneita, joissa on kaksi puhallinta tai kaksi moottoria, joiden avulla koneeseen saadaan määritetty puoliteho ja täysteho. Kaksitehokoneita ei nykyään enää toteuteta, koska taajuusmuuntajaohjatuilla koneilla saadaan paljon helpommin ja halvemmin tuotettua samat teholuokat. [9.] Viikonloppuisin käyttöasteen ollessa todella pieni tai nolla, voidaan IV-koneilla huuhdella tiloja tunnista kahteen öisin, jotta ilma ei jäisi seisomaan tiloihin liian pitkäksi aikaa. Tämä myös estää kosteaa ilmaa jäämästä liian pitkäksi aikaa seisomaan rakennukseen ja näin ehkäisee homehtumista ja muita vaurioita rakenteisiin. Tilat kannattaa viikonloppuisin huuhdella öisin, koska se tulee halvemmaksi kuin päivällä. Sähkön kulutuspiikit ovat silloin ohi ja sähkö on halvempaa. [7.] Siinä on kuitenkin riskinsä. Talvella ulkoilma on todella viileää, jolloin tilat saattavat jäähtyä liikaa huuhtelun aikana ja lämmitykseen joudutaan käyttämään aamulla kulutuspiikin aikaan enemmän energiaa. Riskinä on myös, jos IV-koneesta tai lämmityksestä hajoaa jotain keskellä yötä, joutuu kiinteistönhuolto lähtemään paikan päälle keskellä yötä. Jos IV-koneella on taajuusmuuttaja mutta sille ei ole tehty puolitehoa tai muita teholuokkia, ne voidaan määrittää koneelle. Jos lähtötilanne on selkeä ja IV-koneiden ja muiden laitteiden ilmamäärät, tehot ja paineet tiedetään, voidaan teholuokat määrittellä laskentatyökalun avulla. Mutta jos lähtötilanteessa ja tiedoissa on epäselvyyksiä, täytyy kohteeseen suorittaa täydet ilmamäärämittaukset ja määrittää teholuokat niiden perusteella. Muuten on riskinä, että ilmamäärät menevät epätasapainoon ja rakennuksen ilmanvaihto heikentyy merkittävästi. [9.]

On kuitenkin olemassa kohteita, joissa IV-koneiden on oltava päällä jatkuvasti. Tällaisia ovat esimerkiksi sairaalat ja muut rakennukset, joissa on aina ihmisiä paikalla vuorokauden ympäri ja jatkuva ilmanvaihto on tärkeää bakteerien ja

muiden epäpuhtauksien leviämisen estämiseksi. Myös uudisrakennuksissa on tärkeää huolehtia ensimmäisen vuoden ajan tehokkaasta ilmanvaihdosta. Vasta valmistuneissa rakennuksissa rakenteista irtoaa vielä pitkään merkittävästi pölyä ja muita pieniä epäpuhtauksia, jotka vaikuttavat ilman laatuun. [7.]

Kovilla helteillä tiloja voidaan viilentää yötuuletuksella. Yötuuletuksella voidaan käyttää, jos ulkolämpötila on vähintään 3 °C poistoilmaa viileämpää. Eli tiloja voidaan yöllä viilentää ilman ostoenergiaa. Yötuuletuksen hyöty on kuitenkin todella marginaalinen, ja sitä pystyy käyttämään vain kovilla helteillä. Yötuuletuksen raja-arvojen kanssa täytyy myös olla tarkkana, ja sitä tulisi ohjata vain ulkolämpötilan mukaan, ettei kiinteistössä esiinny vahingossa päällekkäistä lämmitystä ja jäähdytystä. Yötuuletuksen aikana LTO ei saa olla käytössä. [7.]

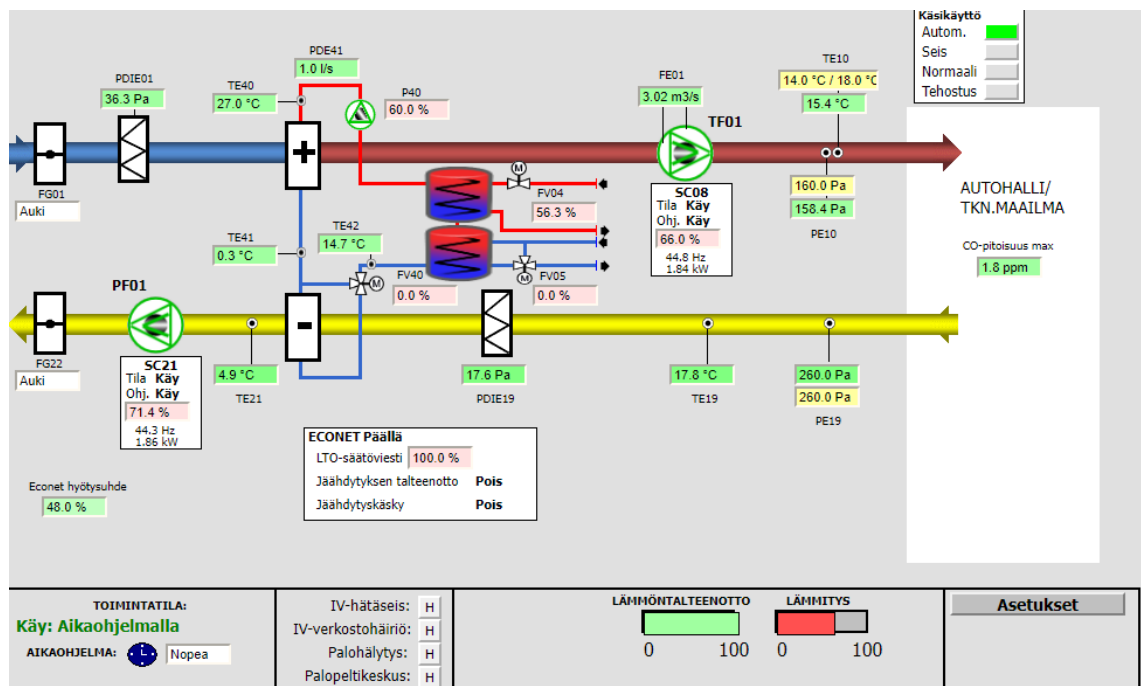
Tehokas tapa ohjata tuloilman lämpötilaa on kompensointisäädöllä. Kompensointisäädöllä tuloilman lämpötilan ohjaukseen luodaan säätökäyrä, joka ohjaa tuloilman lämpötilaa valittujen olosuhteiden mukaan. Säätökäyrää voi esimerkiksi ohjata ulkolämpötilan mukaan, eli mitä viileämpi ulkolämpötila, sitä lämpimämmälle sisään puhallettavan ilman lämpötila ohjautuu. Toinen vaihtoehto on luoda poistokompensoitu säätökäyrä, eli mitataan ilman lämpötilaa poistoilman kanavassa ja säädetään sen mukaan tuloilman lämpötilaa. Jos tiloissa on paljon ihmisiä ja poistoilman lämpötila nousee, alkaa säätökäyrä laskemaan tuloilman lämpötilaa. Kolmas vaihtoehto on säätää tuloilman lämpötilaa huonelämpötilan mukaan. Tämä auttaa säätämään tilojen lämpötiloja kuorman ja olosuhteiden mukaan. Tämä kuitenkin vaatii tiloihin lämpötila-antureiden asennusta. [9.]

Kompensointisäädössä tuloilman lämpötilaa ohjataan siis säätökäyrällä, joka on sidottu yhteen fyysiseen mittaukseen. Säätökäyrään tulisi luoda ainakin 4 pistettä, jotta lämpötilojen säätö on mahdollisimman monipuolista ja tehokasta. Maksimi- ja minimiarvot on tärkeä määritellä käyrälle hyvin, ettei tiloihin puhalleta tarpeettomasti liian lämmintä tai viileää ilmaa. Ilmanvaihdon päätarkoitus on tuoda jatkuvasti raitista ilmaa tiloihin ja poistaa raskasta ilmaa, ei viilentää ja lämmittää tiloja suoraa. Ainoa poikkeus tähän ovat ilmalämmitteiset kiinteistöt.

Säätämällä tuloilman lämpötilaa, ilma sekoittuu tiloissa tehokkaammin ja sen ansiosta ilma vaihtuu tehokkaammin. [7.]

### 3.3 Autohallien IV-koneet

Autohalleissa IV-koneiden säätäminen ja olosuhteista huolehtiminen ei ole yhtä tarkkaa kuin toimistotiloissa. Autohalleissa suurin ongelma on autoista tulevat pakokaasut ja niiden mukanaan tuoma kosteus, jotka tulee poistaa tiloista tehokkaasti. Autohalleihin tulisikin aina asentaa hiilidioksidi- ja hiilimonoksidianturit, jotta pitoisuuksia voidaan tarkkailla. Alla olevassa autohallin IV-koneen kuvassa (Kuva 15) suurimpina eroina toimistotilojen IV-koneeseen on erilainen LTO, erilaiset säädöt tuloilmalle, ja lämpötilojen sijaan tiloista mitataan suurinta ilman hiilimonoksidipitoisuutta.



Kuva 15. Esimerkki autohallin IV-koneesta rakennusautomaatiojärjestelmässä.

IV-kone voi autohalleissa olla suurimman osan ajasta puoliteholla tai kokonaan pois käytöstä. Tärkeintä on poistaa pakokaasuntäyteistä ilmaa suurimpien käyttöaikojen alussa ja lopussa. Autohallien IV-koneille suositellaankin hiilidioksidien

mukaista ohjausta tehostukseen. Tämä tarkoittaa, että IV-kone on jatkuvasti puoliteholla tai pois päältä, mutta kun tilan hiilidioksiditasot alkavat noustamaan, ohjaa automaatio koneen tehostukselle. Kun hiilidioksidipitoisuus autohallissa saadaan takaisin laskuun, menee IV-kone takaisin puoliteholle. Tällä ohjauksella saadaan huolehdittua autohallin sopivasta ilmanvaihdosta, säästäen samalla energiaa. Tämä auttaa myös paljon kiinteistöissä, joissa on jatkuvaa liikennettä autohalleissa. Muuten IV-kone joudutaan todennäköisesti ohjaamaan tehostukselle koko päiväksi. [7.]

Ohjauksessa täytyy olla tarkkana anturien kalibroinnin ja huollon kanssa. Kaikki kaasuanturit ovat kuluvia osia ja tulisi vaihtaa vähintään 5 vuoden välein [9]. Tämän lisäksi anturien toimintaa tulisi seurata ja varmistaa, että ne toimivat oikein. Jos anturien toiminnassa on ongelmaa ja ne näyttävät autohallin pitoisuudet väärin, automaatio ohjaa koneen jatkuvasti tehostukselle tai pitää sen pysyvästi puoliteholla tai kokonaan seis. Näillä on voimakkaita vaikutuksia energian kuluksiin, sekä olosuhteisiin. Anturit tulisi tämän vuoksi kalibroida vuosittain [7].

Hiilidioksidin lisäksi autohalleista seurataan usein myös häkäpitoisuuksia ja ne tulisi lisätä ohjaukseen. Häkä-anturien tärkeys kuitenkin laskee vuosittain, koska uudet autot kuluttavat vähemmän polttoainetta ja polttavat sen puhtaammin, minkä vuoksi häkäpäästöjä syntyy vähemmän. Sähkö- ja hybridautojen lisääntymässä häkäanturien merkitys laskee yhä voimakkaammin. [9.]

Ilmankosteutta olisi myös suositeltavaa mitata autohalleista. Autojen mukana tulee syksyisin ja talvisin paljon kosteutta autohalleihin ja ilmankosteus tiloissa nousee. Kosteuden poistaminen ilmanvaihtoa tehostamalla olisi tärkeää, koska autohalleissa lämpötilat pidetään paljon matalampina, kuin toimistotiloissa. Suuri ilmankosteus pääsee aiheuttamaan rakenteisiin pitkällä aikavälillä kosteus- ja homevaurioita, sekä helposti ruostuttaa autoja ja muita laitteita, joita ei ole suojattu. Jos autohalliin tuodaan ilmankosteusanturi, voidaan IV-koneen tehostusta ohjata myös sen mukaan. [7.]

Autohalleissa lämpötilan säätely ei ole yhtä tarkkaa ja tärkeää kuin toimistotiloissa. Autohalleja ei tarvitse pitää yhtä lämpiminä tai viileinä, joten IV-koneen tehon ja lämpötilojen säätö ei ole yhtä tarkkaa, kuin muissa IV-koneissa. Autohallien lämpötilat pyritään talvisin pitämään nollan yläpuolella, jolloin tuloilman lämpötilaksi riittää usein 12–14 °C. Kesäisin tuloilmaa ei tarvitse viilentää tarpeettomasti ja riittää, että ilma vaihtuu kunnolla. Autohalleissa tulisi kuitenkin olla käytössä LTO, jossa tulo- ja poistoilma eivät pääse sekoittumaan keskenään eli nestekiertoisen- tai kuutio-LTO. Poistoilma sisältää hiilidioksidia ja -monoksidia, joten esimerkiksi kiekko-LTO:ta ei voi käyttää, koska muuten nämä päästöt voivat päästä tuloilmakanavan kautta takaisin autohalliin ja heikentää sisäilman laatua. [7.] Autohallien IV-koneiden suodattimet tulisi myös vaihtaa useammin kuin muilla IV-koneilla. Suodattimet tukkiutuvat nopeammin ja heikentävät ilmanvaihtoa. [9.]

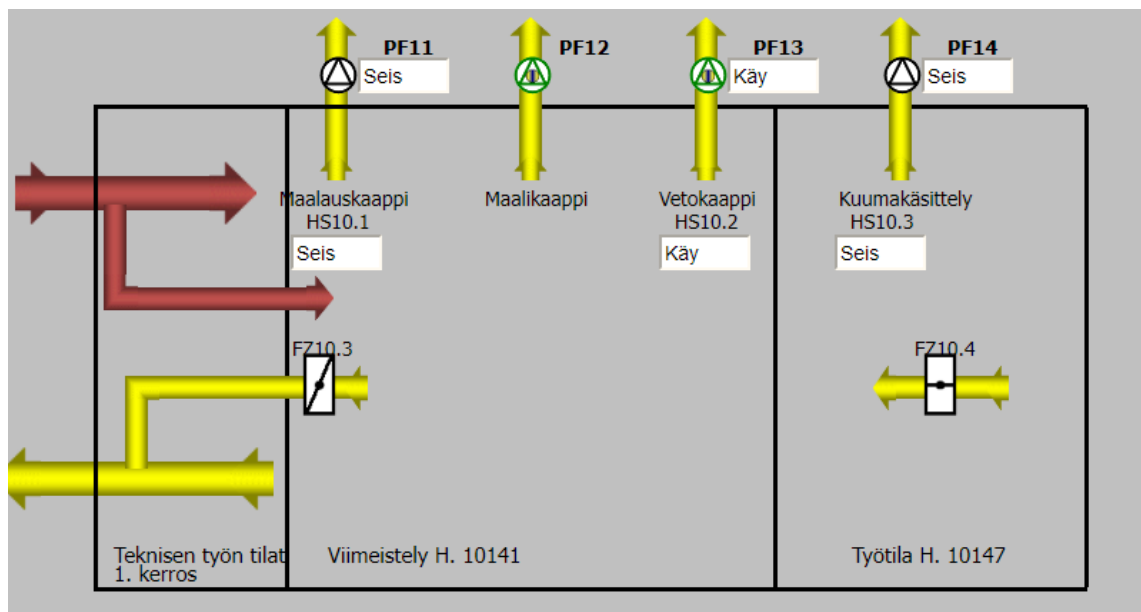
Tässä kiinteistössä autohallin IV-koneessa on Econet LTO (Kuva 7). Se on nestekiertoisen LTO, jossa on samassa lämmitys- ja jäähdytyspatterit, sekä kaksi lämmönvaihdinta, jolloin siinä toimii myös lämmön- ja kylmäntalteenotto. Econet on uusi nestekiertoisen LTO, jolla saadaan parempi lämpötilahyötysuhde, kuin normaaleissa nestekiertoisissa LTO:issa. Kuten muissa nestekiertoisissa LTO:issa, täytyy kuitenkin säätöjen olla tarkkaan säädetty, jotta LTO toimii oikein ja lämpötilahyötysuhde saadaan tarpeeksi korkeaksi. Econet on myös monimutkaisempi kuin muut nestekiertoiset LTO:t, joten sen säädöt on katsottava tarkemmin. Virtausten, paineiden, venttiilien, pumppujen ja kierron on oltava kunnossa. Jos jossakin näistä on ongelmaa tai mahdollisesti niiden yhteissäädössä, huomaa ongelmat heti lämmöntalteenoton tehokkuudessa. [7.]

### 3.4 WC- ja sosiaalitilojen IV-koneet

WC- ja sosiaalitilojen IV-koneiden säätäminen ja optimointi toimii hyvin samalla tavalla kuin toimistotilojen IV-koneilla. Lämpötilat tulisi saada pysymään sopivina vuoden ajasta riippumatta ja ilmanvaihto tehokkaana. WC- ja sosiaalitiloissa täytyy kuitenkin ottaa huomioon, että kyseessä on likaiset tilat, eli tulo- ja poistoilmat eivät saisi sekoittua keskenään. Tämä tarkoittaa, että IV-koneessa

käytetään yleensä kuutio- tai nestekiertoista LTO:ta. Kiekkoa ei saa käyttää, koska kiekko-LTO:ssa ilmavirrat pääsevät sekoittumaan keskenään ja poistoilman sisältämiä epäpuhtauksia saattaisi päästä takaisin tiloihin tuloilman mukana. [7.]

Likaisissa tiloissa kuten WC:issä on yleensä myös erilliset poistot, kuten huippuimurit (Kuva 16). Nämä poistot pyörivät yleensä vuorokauden ympäri ja niiden ilmamäärät täytyy ottaa huomioon myös IV-koneen säädöissä. Ylimääräiset poistot tarkoittavat, että tiloista poistetaan ilmaa muutenkin kuin vain IV-koneen poistoilmapuhaltimella. Tulo- ja poistoilmapuhaltimien ilmamäärät täytyy siis säätää niin, että tiloissa on suunnilleen samat tulo- ja poistoilmamäärät, jolloin tuloilmapuhallin joudutaan yleensä säätämään hieman isommalle, kuin poistoilmapuhallin. Tämä riippuu kuitenkin ylimääräisten poistojen koosta ja määrästä. [9.]



Kuva 16. Esimerkki erillisistä poistoista likaisissa tiloissa, kuten teknisen työn tiloissa.

Painesuhteet on kuitenkin katsottava varsinkin WC-tiloissa tarkkaan. WC-tilat tulisi pitää aina hieman alipaineisina, eli poistoilmamäärä tulee olla suurempi kuin tuloilma. Jos WC-tilat pääsevät ylipaineen puolelle, saattavat tilojen hajut ja

epäpuhtaudet päästä leviämään muualle rakennukseen. Voimakas viemärin haju toimistotiloissa voi viitata ylipaineeseen likaisissa tiloissa. [7.]

### 3.5 Erilliset poistot

Erilliset poistot sijaitsevat yleensä likaisissa tiloissa, kuten WC:issä ja hissikuiluissa, sekä esimerkiksi porraskäytävissä. Kyseessä on pienikokoiset poistoilmapuhaltimet, jotka ovat käytännössä aina päällä. [7.] Vanhoissa kohteissa on yleensä vain huippumurit, eli katolla olevat poistopuhaltimet, jotka toimivat ilman tulopuhallinta. Huippumurit ovat yleensä pienikokoisia, koska ne ovat aina käynnissä ja loisivat muuten liian voimakkaan alipaineen tiloihin. Tämän vuoksi näille poistoille olisi tärkeää määrittää tehot todella tarkasti. Jos mahdollista, niille tulisi tehdä aikaohjelmat, jolloin käyttöaikojen ulkopuolella niiden tehoja tiputettaisiin, ettei ne käy yöllä liian suurella teholla. Riskinä on, että yöllä taloon muodostuu voimakastakin alipainetta, jolloin korvaavaa ilmaa saattaa vuotaa tiloihin rakenteiden ja tiivisteiden välistä. Tämä taas johtaa siihen, että korvaavan ilman mukana saattaa päästä rakenteisiin kosteutta ja sisäilmaan pölyä rakenteista, jolloin sisäilman laatu huononee ajan mukaan ja kosteusvaurioiden riski kasvaa. [9.]

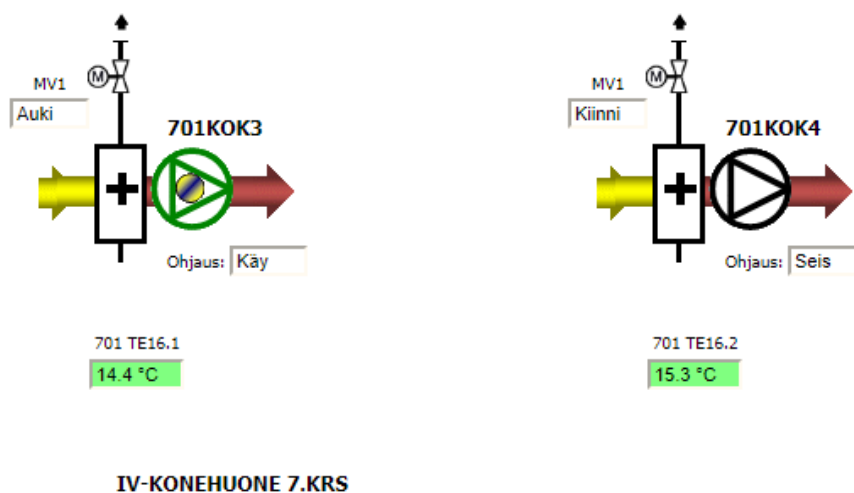
Porraskäytävien IV-koneet ovat yleensä todella pieniä ja niissä on harvemmin edes LTO:ta, puhaltimien suurien välimatkojen takia. Tuloilmapuhallin on todella pieni ja sijaitsee yleensä alemmissa kerroksissa, kun taas poistoilmapuhallin on sijoitettu katolle ja toimii huippumurina. [7.] Uusimmissa pakettikoneissa on myös LTO:t mutta ne eivät ole vielä yleistyneet voimakkaasti. Porraskäytävien IV-koneet ovat myös lähes aina käynnissä. Niiden tehot ovat niin pienet, että niiden sammuttamisella ei saavuteta suurta energiansäästöä. [9.]

Pienissä IV-koneissa voi olla ohjelmoituna pakkaspudotukset. Pakkaspudotusten tarkoitus on pudottaa koneen tehoja, kun ulkolämpötila laskee sille määritetyn asetusarvon alle. Tarkoituksena on säästää energiaa talvisin, kun ilma on kylmää ja raskasta. Vaikka porraskäytävien IV-koneet ovat yleensä pieniä, ovat ne käynnissä jatkuvasti, jolloin tehojen laskemisella saadaan konkreettista

säästöä. Pakkaspudotukset ovat yleisesti käytössä vanhemmissa rakennuksissa mutta uusiin rakennuksiin niitä laitetaan vain harvoin. [9.]

### 3.6 Kiertoilmakoneet

Kiertoilmakoneita on erilaisia, ja niitä voidaan käyttää ilman kierrättämiseen, lämmittämiseen ja jäähdyttämiseen erilaisissa tiloissa ja olosuhteissa. Esimerkikiinteistössä kiertoilmakoneilla pyritään ylläpitämään tavoitelämpötilaa teknisissä tiloissa, kuten IV-konehuoneessa (Kuva 17).



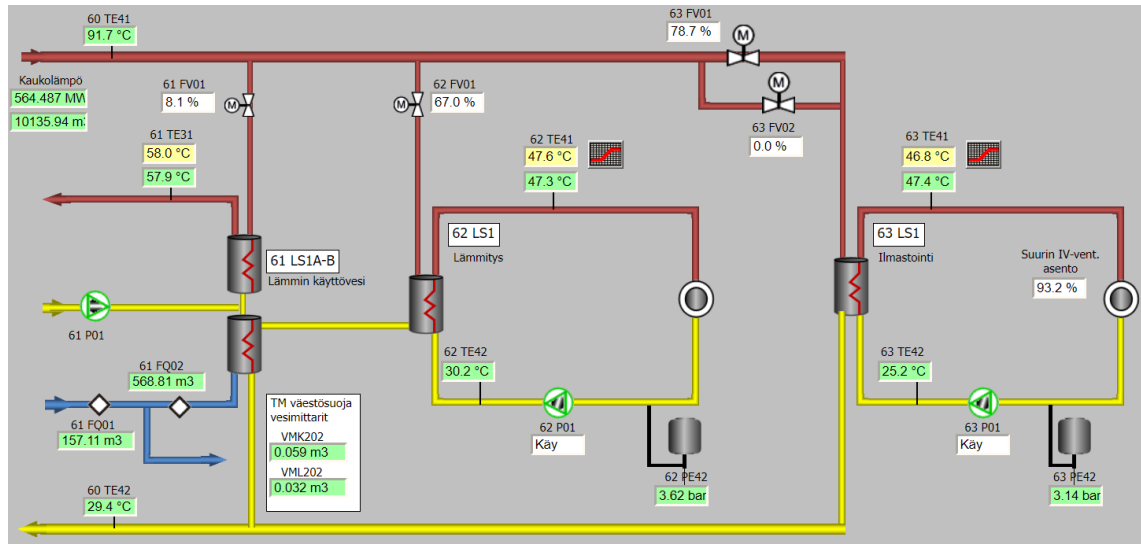
Kuva 17. Kiertoilmakoneita, joissa on lämmityspatterit tavoitelämpötilan saavuttamiseksi.

Kiertoilmakoneen tarkoitus ei ole poistaa hajuja tai vaihtaa ilmaa, vaan lämmitteä ja sekoittaa sitä. Kiertoilmakoneessa on pienet lämmityspatterit, joilla saadaan ilmaan lisää lämpöä ja saadaan pidettyä konehuone talvella lämpimänä, koska kylmä ilma on laitteiden toiminnalle haitallisempaa, kuin kuuma ilma. IV-konehuoneet sijaitsevat yleensä kiinteistön katolla. [9.]

## 4 Lämmönjako

Kiinteistön lämmitys ja siihen käytettävistä toimilaitteista suurin osa löytyy lämmönjakohuoneesta. Kiinteistön lämmittämiseen voidaan käyttää

sähkölämmitystä, kaukolämpöä tai lämpöpumppuja. Kaukolämpölämmitteisessä kiinteistössä kaukolämmöstä otetaan lämpöenergia talteen lämmönvaihtimilla ja johdetaan se ilmanvaihto- ja patteriverkostoille, sekä lämpimälle käyttövedelle (Kuva 18).



Kuva 18. Kiinteistön lämmitysverkostot.

Kaikkien lämmitysverkostojen lämmönvaihtimet ja venttiilit ovat yleensä yhdessä huoneessa kustannustehokkuuden takia ja huoltotöiden helpottamiseksi [9].

#### 4.1 Kaukolämpö

Kiinteistön lämmitykseen tarvittava lämpö ja energia otetaan talteen kaukolämmöstä. Voimalaitoksella tuotettu kaukolämpö tuodaan kaukolämpöputkia pitkin kiinteistöön kuumana vetenä, jossa siitä voidaan ohjata tarpeen mukaan lämpöenergiaa eri käyttötarkoituksiin. Tämän jälkeen kaukolämpö viedään poistoputkea pitkin takaisin voimalaitokselle. [16.]

Tärkeimpiä laitteita kaukolämmön käytössä ovat lämmönvaihtimet ja venttiilit. Lämmönvaihtimilla otetaan talteen kaukolämmössä oleva lämpöenergia ja käytetään sitä eri lämmityspiirien menovesien lämmittämiseen. Venttiileillä

säädetään, kuinka paljon kaukolämpöä lämmönvaihtimelle ohjataan. Jos kaukolämmön määrää tai lämpötilaa ei säädettäisi, kulutettaisiin turhaan energiaa ja kiinteistön lämpötilat olisivat korkeat ympäri vuoden. Kaukolämpö on yleensä 65–115 °C riippuen kaukolämpöyhtiöstä, ulkolämpötilasta ja kysynnästä [16]. Tämän vuoksi sen lämpötilaa täytyy pystyä säätämään käyttäjälle. Talven koviilla pakkasilla, kaukolämpövesi jäähtyy helpommin matkalla voimalaitokselta kiinteistölle, vaikka lämmitystarve kiinteistöissä on suurempi. Tämän vuoksi talvella kaukolämpöverkoston vettä lämmitetään huomattavasti enemmän kuin kesällä. Verkoston lämpöhäviöt Suomessa vaihtelevat 5–15 % [16].

Kaukolämmön kierto tulisi optimoida niin, että kaikkiin lämmitysverkostoihin saadaan aina tarpeeksi lämpöä, ja kaukolämmön paluueden lämpötila saataisiin mahdollisimman matalaksi. Mitä isompi ero saadaan kaukolämmön tulo- ja paluueden välille, sitä parempi, koska silloin lämmönvaihtimet toimivat oikein ja kiinteistö hyödyntää tehokkaasti kaukolämmöstä saatua lämpöenergiaa. [7.]

Kaukolämpölaitos haluaa kaukolämmön paluueden mahdollisimman viileänä takaisin, jotta sen jäähdyttämiseen ei jouduttaisi käyttämään ylimääräistä energiaa. Kiinteistön kannalta viileä paluuvesi tarkoittaa, että lämmönvaihtimet toimivat hyvin ja kiertojen nopeus on oikea ja lämmönvaihdinpinnat ovat puhtaat. Jos paluuvesi on edelleen todella lämmintä, vaikka kiinteistössä on lämmitystarvetta, viittaa tämä ongelmiin lämmönvaihtimissa. Lämmönvaihtimet voivat olla likaiset tai hajonneet, jolloin lämmönsiirto ei toimi kunnolla ja heikentää kiinteistön lämmitystä ja energiatehokkuutta. Jos lämmönvaihtimista ei löydy ongelmia voi syy myös olla niiden mitoituksessa. Lämmönvaihtimet voivat olla väärin mitoitettu, jolloin lämpöä ei siirry tarpeeksi lämmityspiirien käyttöön [9].

## 4.2 Lämmin käyttövesi

Lämmin käyttövesi on todella tärkeä osa kiinteistön lämmönjakoa, koska se on ainoa lämmitysverkoston osa, jota käytetään ympäri vuoden. Muita lämmitysverkostoja käytetään vain, kun ulkolämpötila laskee ja kiinteistön lämmityksen

tarve nousee. Lämmin käyttövesi on kiinteistön hanoista tulevaa puhdasta vettä, jota käytetään juoma- ja pesuvetänä.

Lämmin käyttövesi tulee suomen lainsäädännön mukaan pitää aina yli 50 °C ettei verkostossa ala leviämään Legionella-bakteeria. Legionella-bakteeria esiintyy makeassa vedessä sekä maaperässä, ja se aiheuttaa lievistä nuhan oireista pahimmassa tapauksessa keuhkokuumeeseen ja muihin vakavampiin tauteihin. Yleisesti lämpimän käyttöveden kierto pyritään pitämään tasaisesti 55–65 °C. Käyttövesi ei saisi olla yli 65 °C, ja sen lämmittäminen kuluttaisi turhaan energiaa. [17.] Lämpötilan säädössä on tärkeää, että venttiili on viritetty oikein. Venttiili ja sen säätölaite tulee virittää asennuksen yhteydessä yhdessä automaation kanssa. Muuten menoveden lämpötila huojuu venttiilin reagoissa kuorman liian hitaasti tai nopeasti. Jos venttiili reagoi muutokseen liian nopeasti, sahaa se edestakaisin jatkuvasti, mikä kuluttaa venttiiliä ja käyttöveden lämpötila ei pysy tasaisena. Jos venttiili reagoi muutokseen liian hitaasti, saattaa veden lämpötila olla jatkuvasti liian kuumaa tai kylmää. [7.]

Lämpimän käyttöveden menoveden lämpötilaa säädetään yleensä kiinteällä asetusarvolla, jonka mukaan LKV-venttiili säätelee veden lämpötilaa. Kierron lämpötila tulee pitää yli 50 °C, ettei veteen pääse muodostumaan Legionella-bakteeria [17]. Menoveden lämpötila täytyy olla anturoitu veden lämpötilan säätämiseksi mutta olisi tärkeää anturoida ja tarkkailla myös paluueden lämpötilaa. Vaikka verkostoon menee yli 60-asteista vettä, jos kuorma on hetkellisesti todella suuri ja lämmintä vettä kuluu tavallista voimakkaammin, voi kierron lämpötila laskea liian matalaksi, jolloin Legionella-bakteerin riski kasvaa. Paluueden lämpötilaa seuraamalla voidaan huolehtia, että kierron lämpötila pysyy tarpeeksi korkeana. [7.]

LKV-venttiilin oikein säätäminen on myös haastavampaa kuin muissa lämmitysverkostoissa. Lämpötilan säätö huojuu todella herkästi, koska kuorma ei ole tasainen ja käyttöpiikkejä tulee päivän aikana, johon venttiilin on reagoitava. Jos venttiili reagoi kuorman muutokseen liian hitaasti, laskee veden lämpötila mahdollisesti liian alas, jolloin käyttäjille saattaa tulla ongelmia ja Legionella-

bakteerin riski kasvaa. Käyttöpiikin loppuessa verkostossa taas virtaa pitkään liian kuumaa vettä. Jos venttiili reagoi lämpötilan muutoksiin liian nopeasti, saattaa venttiili olla jatkuvasti ajamassa itseään auki tai kiinni, eikä se asetu paikalleen. Jatkuva venttiilin edestakaisin ajaminen heikentää sen toimintaa eikä ole hyväksi kierron optimille toiminnalle. Lämmin käyttövesi on isoin osa kiinteistön lämmönkulutusta, koska sitä käytetään ympäri vuoden, joten venttiilin oikea viritys vaikuttaa huomattavasti kiinteistön energiatehokkuuteen. Säätojen saaminen oikein voi viedä aikaa, koska kuorma ei ole tasainen ja lämpötilat voivat vaihdella vuodenaikojen mukaan. [7.]

### 4.3 Patteriverkosto

Energiatehokkain lämmitysmuoto kiinteistölle on patteriverkosto. Varsinkin vesikäyttöinen patteriverkosto, jossa käytetty lämmin vesi lämmitetään kaukolämmöllä. Patterit kiinteistössä sijoitetaan yleensä ikkunoiden kanssa samalle seinustalle, jotta niillä saadaan luotua lämpöerho ikkunoiden eteen, jolloin tilojen lämpötilan säätö helpottuu. [9.]

Patteriverkoston säädössä on tärkeää, että siinä on oikein mitoitettut lämmönvaihtimet ja hyvin viritetyt venttiilit ja niiden säätölaitteet. Toisin kuin lämpimän käyttöveden verkostossa, jota yleensä säädetään kiinteällä asetusarvolla, patteriverkoston lämpötilaa säädetään säätökäyrällä. Säätökäyrällä voidaan muuttaa menoveden lämpötilaa ulkolämpötilan, paluueden lämpötilan, huonelämpötilan tai lämpöenergian tarpeen mukaan.

Vesikäyttöisissä pattereissa on tärkeää käydä ilmaamassa ne tasaisin väliajoin tai tarpeen mukaan. Pattereihin pääsee ajoittain ilmaa, joka aiheuttaa patteriin tukoksen, eikä lämmin vesi pääse kiertämään siellä vapaasti. Verkostossa oleva ilma heikentää tai estää veden virtausta patterissa, jolloin se ei lämpene kunnolla. Ongelma ilmenee yleensä ylimmissä kerroksissa ensimmäisenä, koska ilma kerääntyy verkoston korkeimpaan kohtaan. Patterien ilmaus on helppo ja lyhyt toimenpide, jossa patteriin asetetusta ilmausventtiilistä käydään päästämässä kerääntynyt ilma pois, jolloin vesi pääsee taas kiertämään

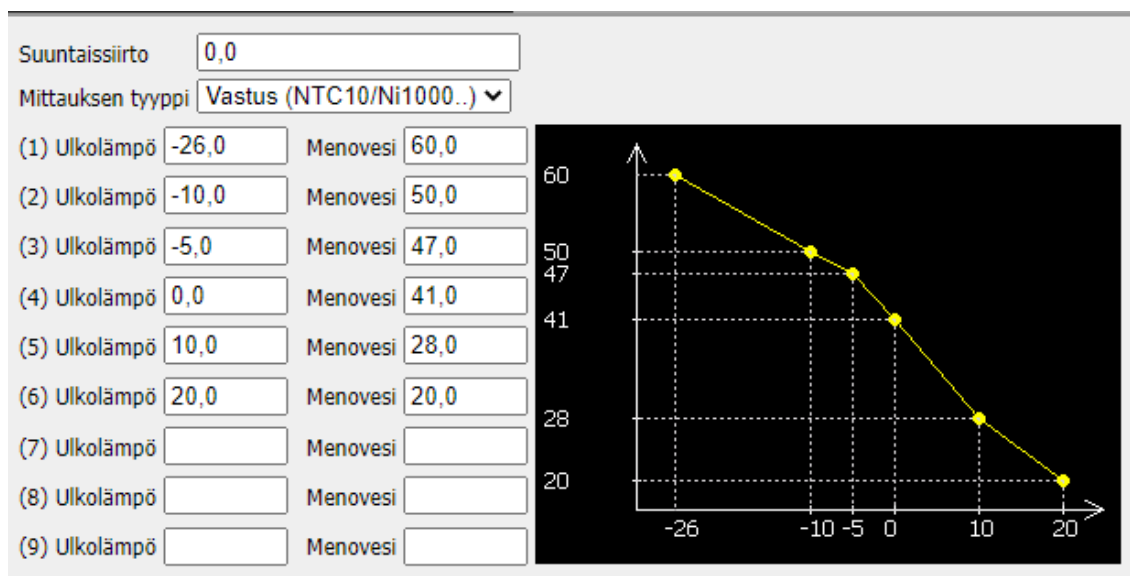
kunnolla ja patteri toimii normaalisti. Ilmausventtiili tulee sijoittaa verkoston korkeimpaan kohtaan, koska verkostossa oleva ilma kerääntyy sinne. [7.] Pattereita ilmatessa verkoston lämpötila olisi suositeltavaa nostaa yli 60 °C:ksi. Tämä auttaa saamaan ilman helpommin pois verkostosta. Ongelmaa voidaan myös torjua asentamalla verkostoon automaattinen ilmanpoistin. [9.]

Ilmaa pääsee verkostoon esimerkiksi, kun verkostoa huolletaan tai sinne lisätään nestettä. Huoltojen yhteydessä verkostoon pääsee helposti ja nopeasti ilmaa, joka lopulta kertyy verkoston yläosiin ja tukkii sen. Tämän vuoksi huoltotöiden yhteydessä patterit tulisi lopuksi ilmata ongelman ehkäisemiseksi. Joskus kiertoon täytyy myös lisätä nestettä, jolloin ilmaa saattaa päästä verkostoon täytön yhteydessä tai nesteen mukana. Verkostossa saattaa olla myös reikä tai halkeama, jonka kautta verkostoon pääsee ilmaa. Jos verkostossa on jatkuvasti ilmaa, tulisi se käydä tarkasti läpi ja etsiä mahdolliset vuodot ja korjata ne. [9.]

Patteriverkoston kierron lämpötilaa säädetään säätökäyrällä kiinteän säätöpisteen sijaan. Säätökäyrän tarkoitus on säätää verkostoon menevän veden lämpötilaa ulkolämpötilan mukaan. Kesällä lämpötilojen ollessa korkealla, lämmitystä ei tarvita ja kierron lämpötila lasketaan mahdollisimman alas, ettei lämpöenergiaa kuluteta turhaan. Kuormaakaan ei silloin ole, kun patterien termostaattit suljetaan kesäksi. Lämpötilojen laskiessa talvella säätökäyrä nostaa verkostolle menevän veden lämpötilaa, jotta lämpöä riittää kuorman kasvaessa. Verkostolle voi luoda kesäpysäytyksen energian säästämiseksi. Kesäpysäytys sammuttaa patteriverkoston pumpun ja sulkee venttiilit, koska jäätymisriskiä ei ole ja näin säästetään energiaa. [7.]

Patteriverkoston säätökäyrän tulisi olla nimensä mukaan käyrä. Käyrälle on tärkeää määrittää oikeat rajat. [7.] Esimerkiksi kyseisessä kohteessa alarajana toimii, kun ulkolämpötila nousee 20 °C:seen, ohjaa venttiili menoveden lämpötilan vain 20 °C:seen. Maksimina toimii, kun ulkolämpötila laskee -26 °C:seen, jolloin menoveden lämpötila nousee 60 °C:seen (Kuva 19). Oikeat lämpötilat ovat riippuvaisia kohteesta ja kuormasta. Näitä rajoja voi muuttaa helposti säätökäyrältä, jos verkoston yli on liikaa tai liian vähän jäähtymää. Tätä pystyy

seuraamaan tarkkailemalla paluuveden lämpötilaa. Jos paluuveden lämpötila on lähellä menovettä, ei kuormaa verkostossa ole ja voi lämpötiloja hieman laskea. Jos taas lämpötila laskee liikaa ja lämpö ei riitä, ei verkostolle mene tarpeeksi lämmintä ja käyrän arvoja tulisi nostaa. Verkoston lämpötilan jäähtymiseen vaikuttaa verkoston pituus, koko ja kuorma.



Kuva 19. Patteriverkoston menoveden lämpötilan säätökäyrä.

Säätökäyrällä lämpötiloja on helppo asetella ja säätää eri olosuhteisiin. Tämän ansiosta lämpötilojen säätely on joustavampaa ja monipuolisempaa. Noin 0 °C:n lämpötilassa käyrän asetusrvojen tulisi olla hieman korkeampia verrattuna muihin käyrän arvoihin. Tämä johtuu siitä, että lämpötilan ollessa nollian rajoilla on ilmassa yleensä enemmän kosteutta ja näinä vuoden aikoina sataa ja tuulee tavallista enemmän. Nämä aiheuttavat myös hieman isompaa lämpöhäviötä, jota täytyy kompensoida käyrällä. [7.] Säätöpisteitä ei kuitenkaan kannata laittaa jokaiselle asteen muutokselle erikseen vaan pitää käyrä yksinkertaisena. 3–6 säätöpistettä riittää säätökäyrään, jos ne on määritetty oikein. Lämpötilojen säätäminen säätökäyrälle on jatkuvaa hienosäätämistä varsinkin uusissa kohteissa. [9.] Huonelämpötiloja, kierron jäähtymää ja venttiilien avaumaa tulisi tarkkailla tasaisin väliajoin ja tarpeen mukaan säätää. Jokaiselle kohteelle täytyy säätää sille sopivat arvot, ja ne löytyvät useimmiten vasta oikeiden

ulkolämpötilojen osuessa kohdalle. Säätokäyrän pisteitä voi kaikkia muuttaa kerralla suuntaissierrolla, mutta tämä ei ole normaalitilanteessa suositeltavaa. Suuntaissierrolla voidaan siirtää kaikkia käyrän pisteitä kerralla ylös tai alaspäin, mikä saattaa tietyissä lämpötiloissa auttaa ongelmaan mutta sekoittaa lämpötilat muuten.

Patteriverkoston oikea paine on tärkeä osa sen toimintaa. Verkoston paine määräytyy rakennuksen korkeuden mukaan, koska lämmin vesi täytyy saada kiertämään kunnolla ylimmissäkin kerroksissa. Laskentaohje sopivalle paineelle on:

$$0,1 \text{ bar} \cdot h_{max} + 0,3 \text{ bar} = \text{Patteriverkoston paine}$$

1 baarin paine nostaa vettä siis noin 10 metriä. Eli kymmenen metriä korkeassa talossa paineeksi tulisi laittaa 1,3 baaria, jotta vesi kiertää varmasti ylimmissäkin kerroksissa. Verkoston toiminnan varmistamiseksi alin sallittu paine on 1,3 bar. [18, s. 5.] Paineessa tulee kuitenkin huomioida paisuntasäiliön esipaine, sekä varoventtiilin aukeamispaine. Verkoston paineen tulee olla suurempi kuin paisuntasäiliön esipaine tai kierto ei toimi. Varoventtiilin aukeamispaine täytyy myös ottaa huomioon, kun automaatiolle määritetään verkoston ylärajahälytystä. Jos ylärajahälytys on suurempi kuin varoventtiilin aukeamispaine, ei hälytys koskaan laukea, koska varoventtiili aukeaa ja päästää paineen tasaantumaan. [9.]

Paineelle täytyy määrittää sopivat raja-arvot, jotta paineen lasku tai nousu huomataan ajoissa. Paineen laskiessa liian alas tai noustessa liian ylös tulee automaatiolle hälytys. Arvojen kanssa täytyy kuitenkin olla tarkka, koska lämpötilan noustessa verkostonpaineekin kasvaa. Jos yläraja on laitettu liian matalaksi niin kovilla pakkasilla tulee turhia hälytyksiä paineen noustessa. Samalla tavalla verkoston lämpötilan laskiessa myös paine laskee, joten alarajan täytyy olla määritetty sopivaksi. Jos verkoston paine on laskenut tasaisesti ja lopulta menee alle hälytysrajan, viittaa tämä verkostossa olevaan vuotoon. Patteriverkostoon on saattanut tulla reikä ja se voi vuotaa vettä rakenteisiin ja aiheuttaa mittavat

kosteusvauriot. Paineen tasainen kasvu viittaa siihen, että joko patteriverkoston täyttöventtiili vuotaa ja verkostoon tulee jatkuvasti lisää vettä, tai lämmönvaihdin on hajonnut ja verkostoon pääsee kaukolämmön puolelta virtaamaan vettä. [7.] Patteriverkoston paine ei saisi heilua. Paineen heiluminen tarkoittaa, että kierron pumppu on rikki ja sieltä tulee paineiskuja verkostoon tai paisuntasäiliön kalvo on hajonnut. [9.]

Paine-ero patteriverkoston pumpun yli olisi hyödyllistä anturoida. Tällä pystyy helposti seuraamaan kierron toimintaa. Jos paine-ero ei pääse asetusarvoonsa pumpun käydessä täydellä teholla, on kierrossa jotain ongelmaa. Mutapussi saattaa esimerkiksi olla tukossa ja tulisi putsata. Liian pieni paine tarkoittaa yleensä, että kierron pumppu on alimitoitettu tai siinä on jotain vikaa. [7.]

Patteriverkoston lämpötilan säätämiseksi oikein tulee varmistaa myös ulkolämpötila-anturin sijoitus. Verkoston lämpötilaa ohjataan säätökäyrällä, joka on sidottu ulkolämpötilaan. Jos on todella aurinkoinen talvipäivä ja aurinko paistaa suoraan lämpötila-anturiin, automaatio luulee, että ulkolämpötila on korkeampi kuin se oikeasti on ja ohjaa lämmitystä pienemmälle. [9.]

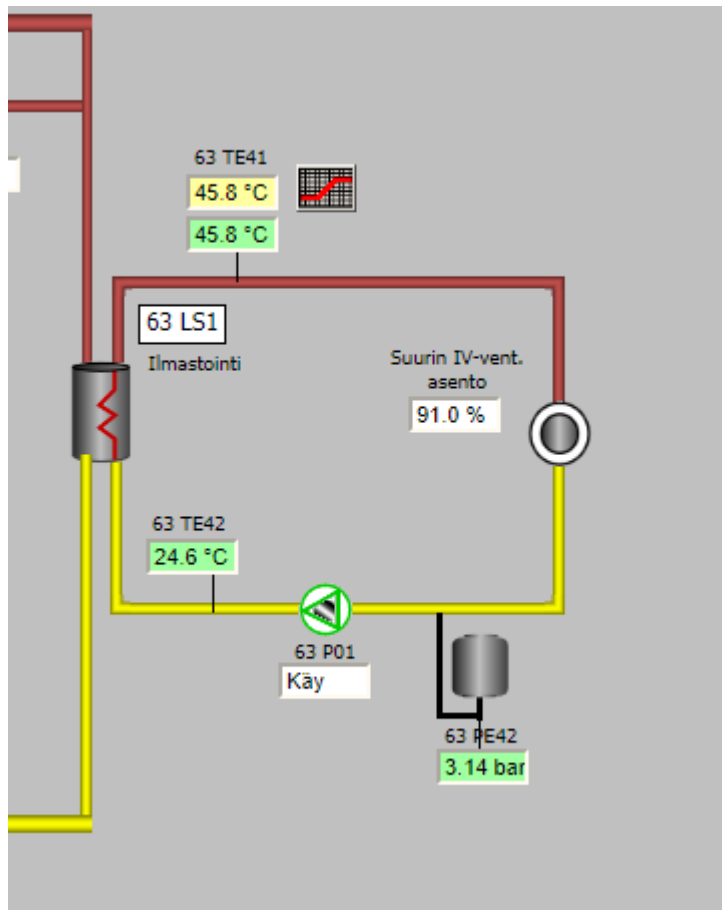
#### 4.4 IV-verkoston lämmitys

Kolmas tärkeä osa kiinteistön lämmitystä on ilmanvaihtoverkoston lämmitys. Varsinkin talvella ulkolämpötilan ollessa miinuksella ei kylmää ulkoilmaa voi suoraan puhaltaa sisään. Tämä johtaisi ilmanvaihtoverkoston ja tärkeiden laitteiden jäätymiseen ja lopulta hajoamiseen. Ensisijainen lämmitysmuoto tuloilmalle on LTO. LTO:lla lämmitetty ulkoilma lämmitetään ”ilmaiseksi”, koska lämmitykseen käytetty energia on otettu talteen poistoilmasta, eikä tällöin vaadi ollenkaan ylimääräistä energiaa. Vasta kun LTO on 100 %:n teholla ja sen tuoma lämmitysteho ei riitä, otetaan käyttöön IV-koneiden lämmityspatterit. Lämmityspattereille virtaa kuumaa vettä, joka on lämmitetty kaukolämmöllä. Lämmityspatterit lämmittävät tuloilmaa tarpeen mukaan ja säätö tapahtuu säätämällä virtauksen määrää. Lämmityspatterissa on säätöventtiili, jolla virtausta säädetään.

Kuten patteriverkoston kanssa, tulee toimilaitteiden olla oikein mitoitettu ja viri-tetty. Verkoston lämpötilan säätö tapahtuu säätökäyrällä, jolla voidaan eritellä eri olosuhteisiin sopivat lämpötilat.

IV-verkoston lämmityksen säätäminen toimii samalla tavalla kuin patteriverkos-ton säätäminen. Lämpötilan säätö tehdään säätökäyrällä, joka on sidottu ulko-lämpötilaan. Verkoston painetta ja jäähtymää tulee seurata mahdollisten ongel-mien takia sekä paine-eron anturointi pumpun yli on suositeltavaa.

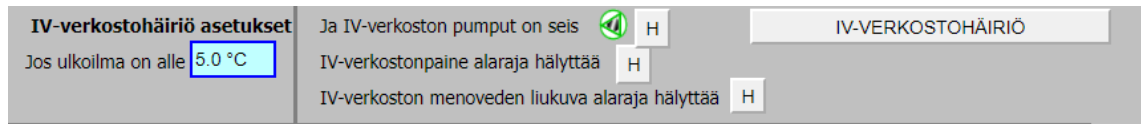
IV-verkoston lämmitystä voi kuitenkin optimoida kuorman mukaan. Säätökäyrän pisteitä voi muuttaa tarkkailemalla IV-koneiden lämmityspatterien venttiilien avaumaa. Jos kaikkien IV-koneiden lämmitysventtiilit ovat vain vähän auki, me-nee lämmityspattereille liian lämmintä vettä ja säätökäyrää voi laskea. Jos läm-mityspatterien venttiilit ovat täysin auki ja sisään puhallettavan ilman lämpötilaa ei silti saada tarpeeksi korkealle, täytyy säätökäyrää nostaa. Tärkeintä on tar-kastella suurinta venttiilin avaumaa ja säätää lämpötiloja sen perusteella (Kuva 20). Säätämisen helpottamiseksi lämmönjaon grafiikalle voi tuoda näkyviin suu-rimman IV-venttiilin avauman, jolloin ei tarvitse käydä jokaista IV-konetta erik-seen läpi. [7.]



Kuva 20. IV-verkoston menoveden lämpötilan ohjaukseen on tuotu venttiilien avauma mukaan.

IV-koneiden käynnistystä voi hieman porrastaa, etteivät ne kaikki lähde aina käyntiin samaan aikaan. Jos kaikki IV-koneet lähtevät samaan aikaan käyntiin, verkostoon tulee yhtäkkiä todella iso piikki lämmöntarpeeseen ja säätö ei pysy perässä. Varsinkin kun IV-koneiden käynnistyessä lämmityksen tarve on hieman tavanomaista suurempi. [9.]

IV:n lämmitykseen voi myös ohjelmoida IV-verkoston häiriöhälytyksen, jonka tarkoitus on suojata lämmityspattereita sarjajäätymiseltä (Kuva 21).

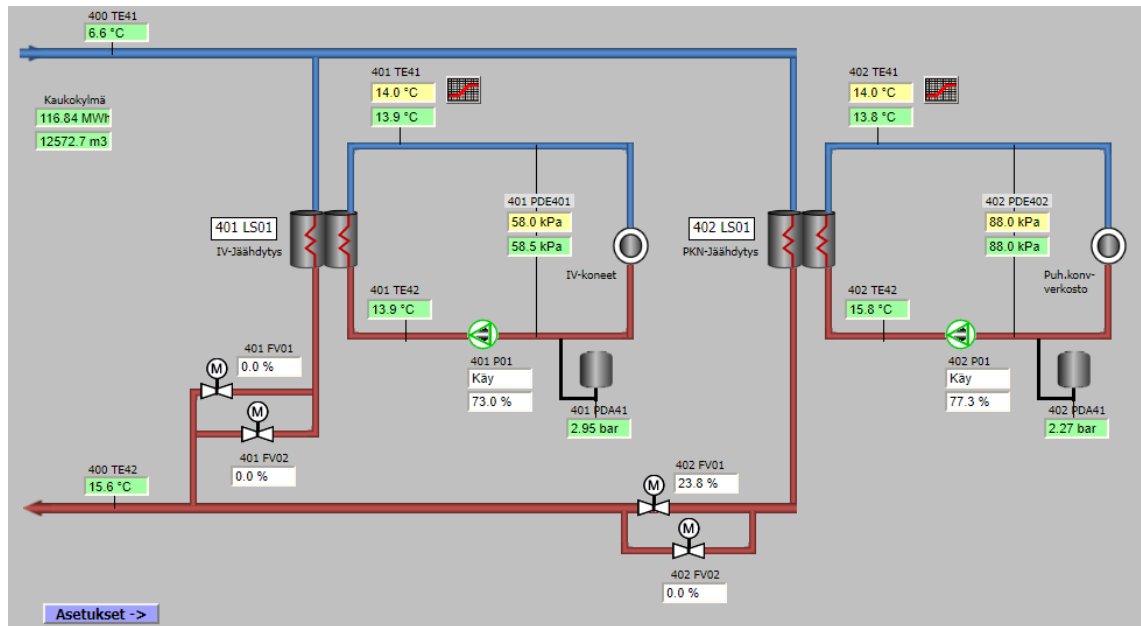


Kuva 21. IV-verkoston häiriöhälytys, johon on eritelty mistä hälytys mahdollisesti johtuu.

Jos verkostossa on liian alhainen paine, pumppu on pysähdyksissä tai verkoston menoveden lämpötila laskee liian alas, laukeaa hälytys, joka sammuttaa kaikki IV-koneet. Tällä suojataan IV-koneiden lämmityspattereita jäätymästä, koska vesi ei kierrä verkostossa kunnolla tai se on liian viileää. Riskinä on, että kaikki IV-koneiden lämmityspatterit jäätyvät. Hälytyksen pystyy kuittaamaan automaatiolta. [9.]

## 5 Jäähdytys

Kiinteistön sisäilman jäähdyttäminen on tärkeää, varsinkin kun kesähelteet ovat voimistuneet viime vuosina. Kiinteistön jäähdyttäminen kesällä voidaan hoitaa vedenjäähdytyskoneella, kaukokylmällä tai erilaisilla lämpöpumpuilla. Näillä saadaan tuotettua kylmää, joka johdetaan eri jäähdytysverkostoihin kohteesta ja jäähdytystavasta riippuen. Kylmää käytetään esimerkiksi IV-koneiden tuloilman jäähdyttämiseen tai palkki- ja puhallinkonvektoriverkostojen kautta huoneiden jäähdyttämiseen (Kuva 22).



Kuva 22. Kiinteistön jäähdytysverkostot.

Esimerkkikiinteistössä on käytössä kaukokylmä, jota käytetään IV-verkoston ja puhallinkonvektoriverkoston kautta kiinteistön jäähdyttämiseen.

## 5.1 Kaukokylmä

Kaukokylmä toimii hyvin samalla tavalla kuin kaukolämpö. Jäähdytetty vesi tuodaan maanalaisia putkistoja pitkin kiinteistöön, jossa siitä otetaan tarvittava jäähdytysenergia talteen kiinteistön jäähdyttämiseksi ja lopuksi se viedään putkistoja pitkin takaisin laitokselle, jossa prosessi alkaa alusta. [19.] Kaukokylmää tuotetaan käyttämällä hyödyksi merien ja järvien pohjassa olevaa kylmää vettä tai ottamalla talteen puhdistetun jäteveden sisältämää energiaa lämpöpumppulaitoksella. Kaukokylmävesi jäähdytetään noin 6–8 °C:seen, minkä jälkeen se tuodaan kiinteistöön. [20.]

Kaukokylmä on erittäin ekologinen jäähdytysmuoto verrattuna esimerkiksi vedenjäähdytyskoneisiin. Kaukokylmä tuottaa yli 95 % vähemmän hiilidioksidipäästöjä, kuin keskiverto vedenjäähdytyskone. Tämän lisäksi kaukokylmän tuotosta ei tule kiinteistölle ylimääräistä melu- tai hajuhaittaa, sen kunnossapito

vaatii vähemmän työtä ja investointeja ja sillä on todella hyvä toimintavarmuus. [20.] Kaukokylmän ongelmana on verkoston saatavuus ja suuret alkuinvestoinnit. Kaukokylmä ei ole vielä laajasti käytössä oleva jäähdytyksen muoto, ja sitä sijoitetaan suurimmaksi osin vain uusiin rakennuksiin kantakaupungissa, jotka sattuvat olemaan verkoston alueella. Vanhoihin kohteisiin kaukokylmän lisääminen vaatii suurta remonttia ja tämän vuoksi myös paljon rahaa. [9.]

Kaukokylmää käytetään jäähdytysverkostojen menovesien jäähdyttämiseen. Kaukokylmä toimii samalla tavalla kuin kaukolämpö, mutta päinvastoin. Kaukokylmävesi sitoo itseensä jäähdytysverkostoissa kulkevan veden sisältämää lämpöä, jäähdyttäen niitä. Näin kiinteistön jäähdytysverkostoihin saadaan kulkemaan viileää vettä, jota käytetään esimerkiksi ilmanvaihto- ja puhallinkonvektori- verkostojen avulla kiinteistön jäähdyttämiseen. Lämmennyt kaukokylmä johdetaan takaisin laitokselle.

## 5.2 IV-verkoston jäähdytys

Ulkoilman lämpötilan noustessa keväällä lämmityksen tarve laskee nopeasti ja kiinteistöä täytyy alkaa viilentää. Yksi tärkeä osa kiinteistön jäähdytystä on IV-koneen tuloilman jäähdyttäminen. Jos tuloilmaa ei jäähdytettäisi ennen sisään puhaltamista, olisi tiloissa todella hiostavaa työskennellä ja ilma tuntuisi todella raskaalta.

Ensisijaisesti IV-verkoston lämpötilaa aletaan jäähdyttämään LTO:n kylmäntalteenotolla. LTO ottaa valmiiksi viilennettyä poistoilmaa ja viilentää sillä tuloilmaa. LTO:n kylmän talteenotto on todella energiatehokas tapa viilentää kiinteistöä ja sillä pystytään välttämään ostoenergian käyttämistä. Kun LTO:ssa ei enää riitä tehot, aletaan käyttää jäähdytyspattereita. Jäähdytyspatterit toimivat samalla tavalla kuin lämmityspatterit. Jäähdytyspatterille tuodaan kaukokylmästä lämmönvaihtimilla talteen otettua kylmää vettä, joka sitoo itseensä ilmanvaihtokanavassa kulkevasta ilmasta lämpöä, viilentäen sitä. Jäähdytyspatterin tehoa säädetään venttiilillä, joka säättää virtauksen määrää.

IV-verkoston jäähdytystä optimoidaan ja säädetään samalla tavalla kuin lämmityspuolta. Säättökäyrä ohjaa verkoston menoveden lämpötilaa. Ulkolämpötilan laskiessa alle 14 °C jäähdytystarvetta ei ole ja verkoston lämpötila ohjataan 14 °C:seen ja venttiilit menevät kiinni. Ulkolämpötilan noustessa 25 °C:seen ohjataan menoveden lämpötila 6 °C:seen. Jäähdytyksen säättökäyrä on paljon jyrkempi kuin lämmityspuolella, joten käyrään ei tarvitse yhtä paljon säätöpisteitä. Jäähdytyksessä ei myöskään ole samalla tavalla ongelma alueita kuin lämmityspuolella on 0 °C:n alueella, joten käyrät ovat yleensä todella suorina. [7.]

Jäähdytyksen optimoinnissa olisi tärkeää huomioida kastepiste ja sen laskenta tulisi lisätä ohjaukseen. Jos IV-verkostoa jäähdytetään liian viileällä vedellä, alkaa putkien pinnalle muodostumaan kondensoitunutta vettä. Kondensoitunut vesi voi aiheuttaa ongelmia, riippuen pääseekö sitä rakenteisiin tai laitteisiin. [7.] Pahimmillaan pahat kondensoitumisongelmat voivat johtaa vesivahinkoihin. Kastepistelaskennalla tätä ongelmaa voi ehkäistä. Automaatiolle voidaan ohjelmoida kastepistelaskenta, joka ohjaa menoveden lämpötilaa. Kastepiste toimii säättökäyrää rajoittavana suojana, jos ulkolämpötila ja ilmankosteus nousee todella suureksi ja jäähdytysverkostoon ohjataan liian kylmää vettä. Silloin kastepistelaskenta rajoittaa jäähdytyksen tehoa estääkseen kondensoitumisen. [9.]

IV-verkoston jäähdytyksen ollessa käytössä, täytyy verkoston yli olla lämpenemistä. Tämä tarkoittaa, että verkoston paluuveden lämpötilan tulisi olla selkeästi lämpimämpää kuin menoveden. Paluuveden lämpötila tulisi anturoida, että saadaan tietoa laitteiden ja kierron toiminnasta. Lämpenemisen mukaan voidaan myös muuttaa säättökäyrää, jotta ei kuluteta liikaa tai liian vähän jäähdytykseen energiaa. Liian suuri lämpiämä viittaa siihen, ettei verkostolle mene tarpeeksi viileää jäähdytyspattereiden tarpeisiin. Liian pieni lämpiämä taas kertoo, että kylmää käytetään liikaa. [7.]

Talvella, kun jäähdytystarvetta ei ole, voidaan jäähdytysverkostolle ohjelmoida talvipysäytys, joka ohjaa pumput seis ja venttiilit kiinni. Tällä säästetään energiaa talven aikana, mutta jäähdytyspatterien omat pumput eivät saa pysähtyä jäätymisriksin takia.

### 5.3 Puhallinkonvektoriverkosto

Puhallinkonvektorit ovat katon rajaan asennettavia puhaltimia, joita käytetään huoneiden, huoneistojen ja neuvottelutilojen jäähdytykseen ja lämmitykseen [21]. Puhallinkonvektoreita on myös seinään ja lattiaan asennettavia versioita, mutta liikekiinteistöissä katon rajaan asennettava versio on tehokkain. Katon rajasta viileän ilman saa helposti leviämään tasaisesti huoneeseen, jolloin huoneeseen ei muodostu niin helposti lämpötilaeroja ja käyttäjille ei puhalleta suoraan viileää ilmaa niskaan. Jäähdytyskäytöllä puhallinkonvektorille tuodaan viileää jäähdytysverkostolla ja sen päätarkoitus on puhaltaa viileää ilmaa tiloihin.

Puhallinkonvektoreiden jäähdytysteho on todella hyvä, jos niille tulevat ilmamäärät ovat sopivat ja jäähdytysverkostossa ei ole ongelmia. Ilmanvaihdolla tilojen viilentäminen ei ole yhtä energiatehokasta ja IV-koneiden tuloilman päätarkoitus on huolehtia ilman vaihtuvuudesta. Itse jäähdytys hoidetaan puhallinkonvektoreilla.

Puhallinkonvektorit voivat myös toimia ilman tuloelimenä huoneisiin. Eli puhallinkonvektorit on asennettu kiinni ilmanvaihtokanavaan ja ilma tuodaan tiloihin niiden kautta. Tämä auttaa puhdasta tuloilmaa leviämään huoneisiin ja tunkkainen lämmin ilma pääsee poistumaan tiloista, kun ilma sekoittuu. Puhallinkonvektorilla pystytään helposti viilentämään tuloilmaa samalla tarpeen mukaan. [7.]

Puhallinkonvektoreilta tulevan ilmavirran suuntaus on tärkeä osa jäähdytyksen optimointia. Jos puhallinkonvektori sijaitsee keskellä huonetta, tulisi raitis viileä ilma puhaltaa katon rajasta seiniä pitkin alas eikä suoraan käyttäjän niskaan. Kun ilma puhalletaan seinien kautta tilaan, sekoittuu ilma tilassa kunnolla, jolloin lämmin hiilidioksidin täyteinen ilma nousee tehokkaasti ylös katon rajaan ja poistuu ilmanvaihtokanavaan. Puhalluksen ja vedon tunnetta ei tule ja rakenteetkin pysyvät helpommin viileänä, mikä auttaa kesän helteillä merkittävästi. Kesällä rakenteisiin varautuu helposti lämpöä, jolloin se hohkaa sitä käytännössä joka suunnasta ja luo tilasta hiostavan ja epämukavan. Ilmavirran

suuntauksessa täytyy kuitenkin huomioida mahdolliset seinillä olevat huonelämpötila-anturit ja huonesäätimet. Jos viileää ilmaa puhalletaan suoraan lämpötilamittaukseen, huoneen lämpötila näyttää automaatiolla paljon viileämpää kuin siellä oikeasti on. Tämän johdosta automaatio alkaa vähentämään jäähdytystä ja tilassa saattaa olla todella lämmin, vaikka lämpötila automaation mukaan näyttää oikealta. [7.]

Puhallinkonvektoreiden hyvä jäähdytysteho johtuu myös kondenssiveden keräyksestä. Puhallinkonvektoreilla on kondenssivesialtaat, johon mahdollinen kondensoitunut vesi kerääntyy ja poistuu, jolloin riskiä vesivahingoista ei ole. Tämän johdosta puhallinkonvektoriverkostolle ei tarvitse kastepistelaskentaa ja verkostolle voi johtaa paljon viileämpää vettä, kuin IV- ja esimerkiksi palkkiverkostoille. Jos puhallinkonvektorilta valuu vettä käyttäjän niskaan, on kondenssivesialtaissa jotain vikaa. Altaassa voi olla reikä tai vuoto, jolloin osa vedestä pääsee valumaan pois altaasta. Altaan poisto voi myös olla tukossa tai siinä voi olla jotain vikaa, jolloin allas pääsee hiljalleen täyttymään ja kun se on täynnä, vesi alkaa valumaan yli. [7.]

Verkoston optimointi toimii samalla tavalla kuin muilla jäähdytys- ja lämmitysverkostoilla. Säätokäyrää voi muuttaa tarpeen mukaan, ja sen säätö on hieman vaipaampaa, koska kondensoituminen ei ole ongelma. Puhallinkonvektorit täytyy mitoittaa tilojen käyttötarpeen mukaan oikein. Puhallinkonvektoreja löytyy erikoisia eri ilmamäärille ja jos konvektori on alimitoitettu, ei tilojen viilennys ole tarpeeksi tehokasta. Jos puhallinkonvektoria käytetään tuloilmaelimenä, heikentää alimitoitus myös ilmanvaihtoa tilassa. [7.]

## **6 Yhteenveto**

Työn tarkoituksena oli kerätä Fidelixin sisäinen tietotaito yhdeksi selkeäksi ohjeeksi. Työ toteutettiin haastattelemalla työntekijöitä ja perehtymällä olemassa olevaan kirjallisuuteen ja tehtyihin tutkimuksiin. Rakennusautomaatio ja varsinkin etähallinta ovat tällä hetkellä energiakriisin myötä nopeasti kasvava ala ja niiden teknologiat ja ohjeistukset kehittyvät vauhdilla. Etähallintaopas auttaa

uusien työntekijöitä ymmärtämään etähallinnan perusteet, sekä periaatteet, joiden pohjalta liikekiinteistöjä kannattaa lähteä säätämään. Oppaasta on myös hyötyä kokeneemmillekin työntekijöille, koska alalla on töissä monilta eri koulutustasoilta ja -haaroilta työntekijöitä. Työssä keskityttiin liikekiinteistön optimointiin, koska tämän tyyppiset isommat rakennukset, joissa on iso käyttöaste, on iso mahdollisuus tehdä energiaa säästäviä toimenpiteitä.

Ilmanvaihdosta käytiin läpi tärkeimmät IV-koneet, niiden toimilaitteet ja niiden optimointi. Ilmanvaihdon perusteet käsiteltiin ja kerrottiin taustaa, miksi ilmapäämien ja lämpötilojen tulisi olla kiinteistön laajuisesti tasapainossa. Toimistotilojen ilmanvaihto käytiin perusteellisesti läpi. Lämpötilojen, paineiden ja virtausnojen säätöön annettiin ohjeistusta ja käytiin läpi niiden tärkeys ilmanvaihdon tehokkuuden kannalta. Käytiin läpi keinoja tunnistaa, milloin ilmanvaihdossa on vikaa ja miten ongelman voi paikantaa ja todentaa. Autohallien ilmanvaihdossa tuotiin esiin sen erot toimistotilojen ilmanvaihtoon ja miksi prioriteetit ovat erilaiset. Optimointi ja energiansäästö ovat näillä kahdella erilaiset ja ne eriteltiin ja käytiin läpi. WC- ja sosiaalitilojen ilmanvaihdosta käytiin läpi tärkeimmät asiat, mutta näillä tiloilla on usein erilliset poistot ja IV-koneet ovat muutenkin pienemmät, joten säätämisestä ja optimoinnista ei saa niin selkeää energian säästöä aikaiseksi.

Lämmönjaossa käytiin läpi kiinteistön lämmityksen tärkeimmät osat, sekä niihin kuuluvia laitteita. Lämmin käyttövesi on tärkein lämmityksen osa kiinteistössä, koska sitä käytetään ympäri vuoden ja se muodostaa suurimman lämpöenergian kulutuksen kiinteistössä. Kiinteistön lämmityksestä käytiin läpi IV-verkoston lämmitys sekä patteriverkosto. Lämmityksessä tärkeää on optimoida lämmityksen säätöporras oikein kiinteistön energiatehokkuuden vuoksi. Ensin käytetään kiinteistölle halvimpia lämmityksen muotoja. Näihin lukeutuu LTO ja kiertoilma ja vasta, kun niissä ei riitä enää teho, kiinteistön lämmitykseen aletaan käyttää osatoenergiaa.

Kiinteistön jäähdytyksessä käytiin läpi tärkeimmät sen toiminta ja tärkeimmät laitteet, sekä niiden toiminta. Jäähdytystä käytetään vain tarpeen mukaan ja

siinä täytyy huomioida kondensoitumisen riski, ettei kondensoitunut vesi aiheuta vesivahinkoa kiinteistössä. Tärkeintä lämmityksen ja jäähdytyksen optimoinnissa on huolehtia, että kiinteistössä ei esiinny päällekkäistä jäähdytystä ja lämmitystä.

Työ rajattiin liikekiinteistöihin ja työtä varten valittiin esimerkikiinteistö, jonka pohjalta työ tehtiin. Tämän takia kaikkia ilmanvaihdon, lämmityksen ja jäähdytyksen muotoja ei ole käyty läpi. Työssä ei myöskään lähdetty tarkemmin perehtymään eri automaatiojärjestelmiin tai laitteisiin. Kaikissa kohteissa ongelmien havaitseminen ja paikallistaminen ei ole yhtä helppoa ja voi vaatia enemmän selvittelyä paikan päällä.

Työssä ei lähdetty perehtymään etähallinnan teknisempään puoleen, kuten ohjelmointiin tai ala-asemiin. Työstä jätettiin myös pois pienemmän kokonaisuudet kiinteistön etähallinnasta, kuten huonesäätimet ja valaistukset. Nämä jätettiin pois koska työssä haluttiin keskittyä kiinteistön laajuisen toiminnan varmistukseen ja optimointiin, eikä lähdetty keskittymään pienempiin asioihin niin tarkasti.

Työn on tarkoitus toimia pohjana laajemmalle ohjeelle kiinteistöjen etähallinnassa. Työtä lähdetään jatkossa laajentamaan ja siihen otetaan mukaan myös pienemmät kokonaisuudet automaatiosta, kuten huonesäätimet. Olemassa olevia kokonaisuuksia laajennetaan koskemaan myös muiden kiinteistöjen käyttötarkoituksia. Esimerkiksi kiertoilmakoneiden toimintaa ja käyttötarkoituksia lähdetään laajentamaan, käydään läpi muita lämmityksen ja jäähdytyksen muotoja ja käsitellään esimerkiksi ilmalämmitteiset kiinteistöt. Työn tarkoitus oli olla hyvin jaoteltu ja selkeä, jotta sitä voi päivittää, kun ohjeistukset muuttuvat ja teknologia kehittyy.

## Lähteet

- 1 Miten se toimii? Ilmanvaihdon toimintaperiaate. Verkkoaineisto. Vallox. <[https://www.vallox.com/tietoa\\_ilmanvaihdosta/miten\\_se\\_toimii\\_ilmanvaihdon\\_toimintaperiaate.html](https://www.vallox.com/tietoa_ilmanvaihdosta/miten_se_toimii_ilmanvaihdon_toimintaperiaate.html)>. Luettu 15.9.2022.
- 2 Ilmanvaihtokone – tekniikka tutuksi. Verkkoaineisto. Nilan Suomi Oy. <<https://www.nilan.fi/ilmanvaihtokone/>>. Luettu 15.9.2022.
- 3 Sisäilmastoluokitus. 2018. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. Helsinki: Sisäilmayhdistys ry.
- 4 Holopainen, Reijo. 2020. Sisäilman hiilidioksidimittaus olisi tehtävä pakolliseksi. Verkkoaineisto. Rakennustaito. <<https://rakennustaito.fi/sisailman-hiilidioksidimittaus-olisi-tehtava-pakolliseksi/>>. 22.9.2020. Luettu 16.9.2022
- 5 Harju, Pentti; Matilainen, Veijo. 2007. LVI-tekniikka ja korjausrakentaminen. 1–3. Painos. Tampere: Tampereen yliopistopaino Oy.
- 6 Sisäilmastoluokitus. Verkkoaineisto. Hengityслиitto ry. <<https://www.hengityслиitto.fi/kodin-sisailma-ja-kunnossapito/uudisrakennuksen-sisailma/sisailmastoluokitus/>>. Luettu 16.9.2022.
- 7 Heinonen, Luka. 2022. Energiapäällikkö, Fidelix Oy, Helsinki. Keskustelu 21.10.2022.
- 8 Technical data sheet. 2022. Verkkoaineisto. Belimo Finland Oy. <[https://www.belimo.com/mam/general-documents/datasheets/fi-fi/belimo\\_LF24\\_datasheet\\_fi-fi.pdf](https://www.belimo.com/mam/general-documents/datasheets/fi-fi/belimo_LF24_datasheet_fi-fi.pdf)>. 12.6.2022. Luettu 11.11.2022
- 9 Posio, Tuomas. 2022. Energiamanageri, Fidelix Oy, Helsinki. Keskustelu 10.11.2022
- 10 Sisäilman kemikaalit. 2016. Verkkoaineisto. Valvira. <<https://www.valvira.fi/ymparistoterveys/terveydensuojelu/asumisterveys/kemikaalit>>. Päivitetty 22.2.2016. Luettu 22.9.2022.
- 11 Säästä energiaa valitsemalla oikeanlainen suodatin. 2022. Verkkoaineisto. Camfil Oy <<https://www.camfil.com/fi-fi/insights/standardeja-ja-asetuksia/lcc>>. Päivitetty 4.1.2023. Luettu 21.12.2022
- 12 Käytä alkuperäissuodattimia. Verkkoaineisto. Vallox. <[https://www.vallox.com/tietoa\\_ilmanvaihdosta/kayta\\_alkuperäissuodattimia.html](https://www.vallox.com/tietoa_ilmanvaihdosta/kayta_alkuperäissuodattimia.html)>. Luettu 22.9.2022.

- 13 Lämmöntalteenotto (LTO) – tekniikka tutuksi. Verkkoaineisto. Nilan Suomi Oy. <<https://www.nilan.fi/lammontalteenotto/>>. Luettu 22.9.2022
- 14 SFP-luku. Verkkoaineisto. Retermia Oy. <<https://retermia.fi/fi/teknologia/elinkaaritehokkuus/sfp-luku/>>. Luettu 3.11.2022.
- 15 Ekosuunnitteludirektiivin 2018 vaikutukset ilmanvaihtoon. 2018. Verkkoaineisto. Intervent Oy. <<https://intervent.fi/ekosuunnitteludirektiivin-2018-vaikutukset-ilmanvaihtoon/>>. 22.2.2018. Luettu 3.11.2022.
- 16 Kaukolämpöverkot. Verkkoaineisto. Energiateollisuus ry. <<https://energia.fi/energiasta/energiaverkot/kaukolampoverkot/>>. Luettu 17.11.2022.
- 17 Käyttöveden lämpötila ja laatu. Verkkoaineisto. Talotekniikkainfo. <<https://talotekniikkainfo.fi/esimerkit/kayttoveden-lampotila-ja-laatu/>>. Luettu 17.11.2022.
- 18 Paine ja paisunta. 2014. Verkkoaineisto. LSV tekniikka Oy. <[https://lsvtekniikka.fi/2020\\_LSVtekniikka/LVI\\_info\\_files/Paine\\_ja\\_paisunta.pdf](https://lsvtekniikka.fi/2020_LSVtekniikka/LVI_info_files/Paine_ja_paisunta.pdf)>. Luettu 17.11.2022.
- 19 Tuomenoja, Markku. 2020. Hukkalämmöstä jäähdytystä – mitä on kaukokylmä? Verkkoaineisto. AFRY AB. <<https://afry.com/fi-fi/artikkeli/hukkalammosta-jaahdytysta-mita-kaukokylma/>>. 5.3.2020. Luettu 1.12.2022
- 20 Fortum kaukokylmä. Verkkoaineisto. Fortum Oyj. <[https://www.fortum.fi/yrityksille-ja-yhteisolle/lammitys/kaukokylma?gclid=EAlalQob-ChMI9s\\_pvJzi-gIVNO7mCh1vhAZ7EAAYASAAEgIIFvD\\_BwE](https://www.fortum.fi/yrityksille-ja-yhteisolle/lammitys/kaukokylma?gclid=EAlalQob-ChMI9s_pvJzi-gIVNO7mCh1vhAZ7EAAYASAAEgIIFvD_BwE)>. Luettu 1.12.2022.
- 21 Puhallinkonvektorit. Verkkoaineisto. Biottori Oy. <<https://www.biottori.fi/tuoteryhma/puhallinkonvektorit-919028>>. Luettu 1.12.2022

