

Opinnäytetyö (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

2021

Topias Leivo

# ILMANVAIHDON PÄIVITTÄMISEN KOKONAISHYÖDYT

– IV-koneen päivitys uuteen ja päivittämisen vaikutukset

Topias Leivo

# ILMANVAIHDON PÄIVITTÄMISEN KOKONAISHYÖDYT

- IV-koneen päivitys uuteen ja päivittämisen vaikutukset

Tässä työssä tehtiin kokonaisvaltainen vertailu jo ajasta ja teknisestä toteutuksesta jälkeen jääneen mutta toimivan, ja nykyaikaisen järjestelmän välillä, kun spesifiä tilaa palveleva ilmanvaihtokonekokonaisuus vaihdetaan uuteen. Erilaisia teknisiä suoritusarvoja vertailemalla päästiin käsitykseen, mikä on teknologisen kehityksen vaikutus niin energia- kuin kustannustehokkuuteenkin ilmanvaihtokoneissa. Samalla saatiin esiin perustelut, miksi vanha järjestelmä – vaikkakin toimiva sellainen – kannattaa lähteä uusimaan. Työ suoritettiin osana Vallox Oy:n laiteuudistusprojektia, jonka perustana oli palveltavan tilan ilmanvaihtokoneen vanhanaikainen tekniikka ja vastikään lanseeratun tuotemalliston koneen tuotekehitystyön mahdollistaminen yrityksen omissa tiloissa.

Vertailtavia teknisiä suoritusarvoja olivat esimerkiksi puhaltimien suoritusarvot, lämmöntalteenoton hyötysuhteet, SFP-luvut, käytetty sähköteho, energiankulutus, sekä kokonaiskustannukset. Arvioitiin myös nykyaikaisen ohjauksen ja säädön tarkoituksenmukaisuutta ja vaikuttavuutta, kuten myös rakentuneen tuotekehitysympäristön merkitystä tuotekehitystyön jatkamiseksi.

Energiataloudellisesta näkökulmasta säästöä syntyi vuositasolla huomattavasti. Uusi järjestelmä on hienostuneempi ohjauksensa suhteen, sekä mahdollistaa etäyhteyden muodostamisen koneen ohjaamiseksi. Järjestelmän arvioitiin maksavan itsensä takaisin alle viidessä vuodessa, joskin tämä luku oli arvio eikä välttämättä vastaa täysin todellisuutta. Jatkokehittämisen suhteen pohdittiin, tulisiko tietoisuutta kyseisen projektin hyödyistä viestiä enemmän, sillä tulokset ovat sekä markkinointi-, että kustannusmielessä arvokkaita. Pohdintaa tuli myös siitä, että pitäisikö valmistajien – yhteistyössä lainsäätäjän kanssa – sisällyttää todellinen energiankulutuksen testausprosessi osaksi toimintaansa.

## ASIASANAT:

ilmanvaihto, ilmankäsitteilykone, ilmanvaihtokone, energiatehokkuus, energiansäästö, tuotekehitys

BACHELOR'S / MASTER'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Energy and environmental engineering

28.6.2021 | 66 pages, 6 pages in appendices

Topias Leivo

# OVERALL BENEFITS OF VENTILATION UPGRADES

- upgrading an AHU and its effects

In this thesis, the goal was to make a comprehensive comparison between an older, technically out-dated but functioning system, and a more modern one, when an air-handling unit serving a specific space is being replaced by a brand new one. By comparing different performance values, the effects of technological developments in both energy-efficiency and cost-efficiency in AHU's can be made quite clear. By doing this, we can reveal the reasoning behind why it is sensible to replace an older, yet still functional system, with a new one. The work was done as a part of Vallox Inc.'s unit -renewal -project which was initiated because of the somewhat out-dated technology of the current AHU, as well as to provide the possibility of product development of a recently launched line on company property.

The technical performance values under comparison were, for example, the efficiency of the heat exchanger, SFP-values, input power, energy consumption, and the overall expenses. The suitability and effectiveness of the new modernized control system were evaluated, as well as the significance of the constructed on-site product development environment.

From an energy -savings stand point, the annual savings were substantial. The new system is much more refined in its controls and there is now a possibility to remotely operate the AHU. Although only an estimate and possibly an unrealistic one, the payback time for the system was calculated to be under five years. For the future, this thesis raised some thoughts on whether the benefits of such project should be communicated more thoroughly as, the results show great value in both, marketing and operational costs. There was also discussion about whether manufacturers should include real energy consumption testing procedures in their activities in co-operation with legislators.

## KEYWORDS:

ventilation, air handling unit, ventilation unit, energy efficiency, energy savings, product development

# SISÄLTÖ

<b>KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO</b>	<b>7</b>
<b>1 JOHDANTO</b>	<b>8</b>
<b>2 LÄPILEIKKAUS ILMANVAIHDOSTA</b>	<b>13</b>
2.1 Ilmanvaihdon nykytilanne ja merkitys Suomessa	13
2.1.1 Sisäilman puhtaus ja sen merkitys	14
2.1.2 Puutteellisen ilmanvaihdon ongelmia	15
2.2 Ilmanvaihdon laitteet	16
2.2.1 Tulo-poisto- ilmanvaihtokone	17
2.2.2 Ilmanvaihtokoneen osat	20
2.3 Koneellisen ilmanvaihdon energiatalous	27
2.4 Energiankulutuksen osuudet ja tunnusluvut	27
2.5 Energiatehokkuus IV-koneissa	28
2.6 Energiankulutuksen optimoinnin keinoja	28
<b>3 TUTKIMUSKYSYMYS</b>	<b>30</b>
3.1 Toimeksiantajana Vallox Oy	30
3.2 Tutkimusmenetelmät	31
<b>4 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS</b>	<b>32</b>
4.1 Mitattavat tekniset arvot	32
4.1.1 Ilmavirrat	33
4.1.2 Puhaltimien tekniset suoritusarvot	34
4.1.3 Suodattimet	35
4.1.4 Lämmöntalteenotto	36
4.1.5 Ilman lämmitys	37
4.1.6 Kokonaisteho ja SFP	38
4.1.7 Arvioitu energiankulutus ja vuosihyötysuhde	38
4.1.8 Ohjaus, anturointi ym.	39
4.1.9 Kustannukset	41
4.2 Merkitys tuotekehitykselle	41
<b>5 TULOKSET</b>	<b>42</b>
5.1 Tekniset mittaustulokset ja laskenta	42

5.1.1 Ilmava 252D tulokset	42
5.1.2 Pureo TX500 tulokset	46
5.2 Vertailu	53
5.3 Asennuksen ja huollon kulut	57
<b>6 JOHTOPÄÄTÖKSET</b>	<b>59</b>
<b>7 POHDINTA</b>	<b>62</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>64</b>

## LIITTEET

Liite 1. Taulukko lämpötilojen pysyvyyksistä tarkasteluvuonna Helsingissä ja Sodankylässä.

Liite 2. VTT:n raportti Ilmava-koneen lämpötilahyötysuhdemittauksista.

Liite 3. VTT:n raportti Ilmava-koneen virtausteknisistä suoritusarvoista.

## KUVAT

Kuva 1. Vanha järjestelmä. Kaksi kappaletta Ilmava 252D- ilmanvaihtokoneita IV-konehuoneessa Valloxin Loimaan tehtaalla.	10
Kuva 2. Uuden järjestelmän Vallox Pureo TX500- ilmankäsittelykone IV-tilassa. Kuvassa myös kanavistomuutokset.	11
Kuva 3. Sisäilman epäpuhtauksia ja niiden lähteitä (Hänninen & Asikainen 2013).	15
Kuva 4. Moduulirakenteinen ilmankäsittelykone pyörivällä LTO:lla (Heinonen 2014, 164).	18
Kuva 5. Periaatekuva pyörivän LTO:n ilmankäsittelykoneesta (Heinonen 2014, 180).	19
Kuva 6. Periaatekuva ristivirta LTO:lla varustetusta ilmankäsittelykoneesta (Heinonen 2014, 182).	19
Kuva 7. Periaatekuva vastavirta LTO:lla varustetusta ilmankäsittelykoneesta (Heinonen 2014, 183).	20
Kuva 8. Ristivirtalämmönsiirrin, periaatekuva (Heinonen 2014, 181).	22
Kuva 9. Vastavirtalämmönsiirrin, periaatekuva (Heinonen 2014, 183).	23
Kuva 10. Pureon lohkopellit ja peltien toimilaitteet. Etualalla myös ohituskanavan sulkupellit.	24
Kuva 11. Periaatekuva pyörivästä LTO:sta (Heinonen 2014, 178).	25
Kuva 12. Periaatekuva nestekiertoisesta lämmityspatterista (Heinonen 2014, 170).	26
Kuva 13. Puhallinkäyrät Ilmava 252D (Vallox Oy).	34
Kuva 14. Vallox Digit SED- ohjainpaneeli (Vallox.com).	39
Kuva 15. Vallox Pureo- ohjainpaneeli toimintakaavionäyttötilassa, josta nähdään lämpötilat, suodatinten paine-erot sekä puhallinten kierrosnopeudet.	40
Kuva 16. Ouman Ounet -palvelun käyttöliittymä uuden koneen ohjaukseen.	41

Kuva 17. Ilmava 252D:n tehonmittaus Christ Elektronik -pistotulppamittarilla, käyttöasennolla 8/8.	42
Kuva 18. Pureo-koneen tehonkulutus ohjaimesta näkyvillä ilmavirroilla.	47
Kuva 19. Pureo -ilmankäsittelykoneen puhallinkäyrät. Kuvassa piirrettynä myös laitoskäyrä ja toimintapiste.	50
Kuva 20. Pureon kanavapaine mitoitusilmavirralla.	50

## KUVAAJAT

Kuvaaja 1. Ilmava 252D jälkilämmityksen energiankulutus vertailuvuoden säätiedoilla. Tuloilman lämmitysraja 17 °C.	44
Kuvaaja 2. Esilämmitysvastuksen/jäätymiseneston energiankulutus vertailuvuonna.	44
Kuvaaja 3. Uuden Pureo TX500:n jälkilämmityksen energiankulutus tarkasteluvuonna.	52
Kuvaaja 4. Koneiden LTO:n lämpötilahyötysuhdevertailu.	54
Kuvaaja 5. Puhallinenergian kulutus vuodessa.	54
Kuvaaja 6. Jälkilämmityksen energiankulutus tarkasteluvuonna.	55
Kuvaaja 7. Vuosihyötysuhdelaskennan tulokset molempien koneiden osalta.	55
Kuvaaja 8. Vertailukuvaaja uuden ja vanhan koneen energiakustannuksista.	56

## TAULUKOT

Taulukko 1: Ilmavirran mittaustaulukko pukuhuonetilasta	34
Taulukko 2: Suodatinvertailu, CAMFIL Oy koulutusmateriaalit (Rosendahl 2019).	35
Taulukko 3: Kustannukset konevaihdon ja kunnossapidon osalta.	58
Taulukko 4: Ulkolämpötilojen pysyvyydet tarkasteluvuonna 1987 Helsingissä ja Sodankylässä	1

## KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

AHU	Air Handling Unit (Heinonen 2014)
$\beta$	venttiilin auktoriteetti (IMI TA 2011)
$C_p$	ominaislämpökapasiteetti, $\frac{kJ}{kg \cdot K}$ (Seppänen 1996)
CO <sub>2</sub>	hiilidioksidi (Heinonen 2014)
ePM <sub>xx</sub>	suodatusaste, % (Talotekniikkateollisuus ry)
$\eta_a$	lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde (Seppänen 1996)
$\eta_t$	lämmöntalteenoton lämpötilahyötysuhde (Seppänen 1996)
Ilmanvaihtojärjestelmä	ilmanvaihtojärjestelmällä tarkoitetaan kokonaisuutta, johon kuuluu ilmanvaihto- tai käsittelykone, kanavisto, päätelaitteet ja muut oleelliset osat kuten automaation anturointi ja toimilaitteet
Ilmankäsittelykone	termillä tarkoitetaan yleisesti moduulirakenteista konetta, johon erilaiset ilman käsittelyyn tarkoitetut osat, kuten suodattimet, lämmityslaitteet ja äänenvaimentimet liitetään osaksi konetta omina moduuleinaan. Ilmamäärän suhteen ei varsinaisesti ole määriteltyä rajaa, mutta normaalisti yli 400 dm <sup>3</sup> /s käytön aikaisella ilmavirralla käsittelevää konetta voidaan kutsua ilmankäsittelykoneeksi.
Ilmanvaihtokone	ilmanvaihtokone, myös IV-kone, yleensä ei sisällä esimerkiksi äänenvaimenninosaa sisäänrakennettuna ja kaikki ilmanvaihtoon ja käsittelyyn tarkoitetut osat ovat sijoitettuna yksien kuorien sisällä. Edellä mainittujen ominaisuuksien lisäksi maksimiilmavirraltaan noin 400:n dm <sup>3</sup> /s laitteet voidaan ajatella lukeutuvan ilmanvaihtokoneisiin.
LTO	lämmöntalteenotto (Seppänen 2016)
$\rho_i$	ilman tiheys, $\frac{kg}{m^3}$ (Heinonen 2016)
VOC	haihtuvat orgaaniset yhdisteet (Heinonen 2014)

# 1 JOHDANTO

Aiheena tässä opinnäytetyössä on ilmanvaihtokoneen uudistuksesta saavutettavat hyödyt ja niiden merkitys. Ilmanvaihto on jo pitkään ollut puheenaiheena alan ammattilaisten lisäksi esimerkiksi kuntien, poliitikkojen, sisäilmasto-oireilevien ja terveydenhuollon ammattilaisten keskuudessa sen valtavan kansantaloudellisen ja terveydellisen merkityksen vuoksi. Vuonna 2020 Suomi yllätettiin COVID-19- pandemian nopealla leviämistahdilla ja näin ollen yhteiskunnan ei-välttämättömiä palveluita, yksityisiä yrityksiä sekä harrastustoimintaa laitettiin katkolle tartuntalukujen laskun toivossa. Käytännössä koko vuosi oli niin taloudellisesti kuin terveydellisestikin ajatellen katastrofaalinen. Oli yleistä pohdintaa viruksen leviämisestä ilmanvaihdon kautta ja ilman suodattamisesta huolimatta. Näin ollen ilmanvaihto nousi ensimmäistä kertaa hengenvaarallisen epidemian valossa parrasvaloihin Suomessa ja eri instanssit alkoivat pohtia ilmanvaihdon merkitystä leviämisen hillitsemisessä. Ilman epäpuhtauksien vaikutuksia ja niiden eliminointia asianmukaisella suodattamisella sivutaan työssä, mutta pääpaino on ilmanvaihdon energiateknisellä parantamisella laiteuusinnan keinoin, koska korona jätti omalta osaltaan korjaus- ja perusparannusvelkaa kiinteistöille ja taloyhtiöille, ja näihin tarttuminen on nyt ajankohtaista. On perusteltua väittää, että liki 20 vuotta vanha järjestelmä ei välttämättä toimi täyttäen nykypäivän energia- ja sisäilmavaatimuksia, ja esimerkiksi LVI-ohjekortti 01-10424 (LVI 01-10424 2008, 23-25) kertoo kiinteistöjen ilmanvaihtojärjestelmän eri osien elinkaaren olevan 20-25 vuotta, joten vaihto on ajankohtaista jo tämänkin valossa. Tätä työtä vastaavia tutkimuksia ei ole juurikaan tehty, vaan jo julkaistut tutkimukset ja työt keskittyvät enimmäkseen eri komponenttien ominaisuuksiin osana isompaa järjestelmää sekä yksittäisiin komponenttiuusintoihin. Esimerkiksi Lahdenmäki (2018, 52) kuvaa energiansäästökohteita ilmankäsittelykoneiden osalta juuri yksittäisten komponenttien uusinnan keinoin. Hänen tutkimustuloksensa puoltavat komponenttiuusinnan hankintapäätöksen tekemistä, joten voidaan olettaa koko laitteiston uusinnan tuottavan samankaltaisia tuloksia.

Työn aloitus tapahtui toimeksiantajan, Vallox Oy:n, laiteuudistusprojektista, jonka tarkoituksena oli parantaa tietyn tilan ilmanvaihtoa, säästää energiakustannuksissa sekä saada arvokasta tietoa uuden vastavalmistuneen malliston ilmankäsittelykoneen toiminnasta käytännössä. Yhteistyö toimeksiantajan ja kirjoittajan välillä aikaisemmilta vuosilta oli rajoittunut pääasiassa kesän harjoitteluihin, joiden pohjalta kuitenkin voitiin



arvioida kirjoittaja päteväksi tekemään lopputyönsä laiteuudistusprojektin parissa, projektipäällikkönä.

Ilmanvaihtoala on hyvin spesifi kokonaisuutensa, ja nyanssit löytyvät tänä päivänä valmistusteknisten ratkaisujen, automaation ja ohjelmoinnin parista. Ilmanvaihtoon liittyvä monipuolinen komponenttivalikoima on myös käsitelty työssä tarkoituksena luoda selkeä kuva komponenttivalinnoista niiden erilaisten ominaisuuksien perusteella. Ilmanvaihtokoneen komponenttien kokoaminen yhteen koteloon optimaalisella tavalla on ilmanvaihto- ja ilmapuhdistuskoneiden valmistajien työtä. Ilmanvaihtokoneiden valmistajat joutuvat myös seuraamaan – ja toisinaan myös tukeutumaan – erilaisiin määräyksiin sekä standardeihin, jotka alalla vallitsevat ohjaamassa koneiden toiminto-osien suunnittelua. Määräyksiä ja standardeja on poikkeuksellisen paljon, mutta työhön on koottu oleelliset näistä, jotka tukevat työn kirjoittamista.

Kahden eri järjestelmän teknisiä ominaisuuksia pyrittiin selvittämään mahdollisimman tarkasti mittauksin sekä jo aiemmin mitatun ja dokumentoidun datan perusteella. Osa käytetyistä dokumenteista määriteltiin salaisiksi, jonka vuoksi niitä ei tarkemmin työssä käsitellä, mutta silti joitain osia voitiin sisällyttää työhön. Järjestelmät kanaviston osalta eivät juurikaan eroa toisistaan lukuun ottamatta ilmanvaihdon konehuoneen kanavaosuuksia, jotka voidaan huomata kuvista 1 ja 2.



Kuva 1. Vanha järjestelmä. Kaksi kappaletta Ilmava 252D- ilmanvaihtokoneita IV-konehuoneessa Valloxin Loimaan tehtaalla.



Kuva 2. Uuden järjestelmän Vallox Pureo TX500- ilmapuhdistusyksikkö IV-tilassa. Kuvassa myös kanavistomuutokset.

Työssä järjestelmiä tarkasteltiin kaikkien relevanttien dokumentaatioiden, mittausten, laskennan sekä simuloinnin keinoin, kun määritettiin erilaisia tunnuslukuja vertailtavaksi. Energiankulutuksen arvioinnissa pystyttiin osittain tukeutumaan vanhoihin mittauksiin niiltä osin, kun se oli tarkoituksenmukaista ja nämä tiedot on sijoitettu tekstiin ilman salassapitoa, sillä vanhan järjestelmän ilmanvaihtokoneen valmistus on lopetettu jo joitain vuosia sitten. Jotta työn puolueettomuus voitaisiin varmistaa mahdollisimman hyvin, pyrittiin löytämään kolmannen osapuolen tekemiä mittauksia vanhasta järjestel-

mästä, sekä käyttämään molempien järjestelmien osalta vain standardoituihin mittaus- ja testausmenettelyihin perustuneita mittaustuloksia. Puolueettoman kolmannen osapuolen mittausdatat, jota työssä käytettiin olivat Valtion Teknillisen Tutkimuskeskuksen VTT:n tuottamia.

Oletuksena siis oli, että uudella järjestelmällä teknologisen kehityksen seurauksena syntyisi säästöä, kun tarkastellaan vuosittaisia käyttökustannuksia. Tulokset osoittavat, että uusi järjestelmä suoriutuu energiateknisesti arvioituna vanhaa järjestelmää paremmin ja että järjestelmän asennus- ja hankintakustannukset voidaan saada maksettua takaisin verrattain lyhyessä ajassa. Ilmateknisten muuttujien valossa uusi järjestelmä osoittautui paremmaksi ja samalla järjestelmä kulutti vähemmän energiaa toimissaan. Lisäksi poistoilmasta talteen otettu energiamäärä kasvoi järjestelmäuusinnan jälkeen merkittävässä määrin.

## 2 LÄPILEIKKAUS ILMANVAIHDOSTA

Ilmanvaihto ja sisäilmasto tunnistetaan yhdeksi suurimmista ongelmakohtista rakennuksissa puhuttiin sitten työnteon tehokkuudesta, jaksamisesta tai turvallisesta työympäristöstä. Tähän ongelmaan tarttumisella on merkittävä vaikutus ihmisen oppimiseen, terveyteen ja toimintakykyyn (Salmela ym. 2019, 11–13). Samainen ongelma tunnistetaan myös rakennusten teknisten ominaisuuksien valossa, kun tarkastellaan kokonaisenergian kulutusta – etsien mahdollisia vähennys- ja säästökohteita (Motiva 2012, 9). Sisäilmaston vaikutuksia on tutkittu valtavasti, ja erilaisia oppaita ja ohjeita on julkaistu lukuisia. Kun sisäilmastoa hallitaan ilmanvaihdon keinoin, tulee tarkasteluun mukaan myös energiaosa-alue, koska rakennusten energiantarpeesta merkittävin osa kuluu lämmitykseen, ja tästä arviolta noin 20–40% kuluu ilmanvaihdon lämmittämiseen (Ympäristöministeriö 2018).

### 2.1 Ilmanvaihdon nykytilanne ja merkitys Suomessa

Merkittäviä asiantuntijoita löytyy tänä päivänä alalta monia. Tämä ammattilaisten joukko on täydentynyt uusilla asiantuntijoilla, ja sisäilma-asioihin on tänä päivänä tarjolla erilaisia asiantuntijoita erilaisin lähestymiskulmin. Erilaisiin ongelmiin keskitytään eri toimijoiden tahoilta sekä tehdään kattavaa tutkimustyötä ongelmien ratkaisemiseksi. Tällä hetkellä erilaisista ilmanlaatua ja terveyttä heikentävistä tekijöistä ollaan hyvin tietoisia jo suoritettujen perusteellisten tutkimusten ja selvitysten kautta. Ongelmana on terveellisemmän sisäilmaston vaatima ilmanvaihdon ja ilmanvaihdollisten osien tehokkaampi toiminta näiden usein kasvattaessa energian tarvetta, samanaikaisesti kiinteistöjen omistajien ja rakennuttajien toivoessa ilmanvaihdon energiantarpeen sekä ilmanvaihdon rakentamisen ja käytön aikaisten kustannusten leikkaamista. Keinoja tilanteeseen, jossa ilmanvaihto toimii samanaikaisesti mahdollisimman energiatehokkaasti, mutta ilman negatiivisia sisäilmastovaikutuksia pääsemiseksi on olemassa. Epäselvää on, pääsevätkö kiinteistöjen omistajat niin julkisella kuin yksityiselläkin sektorilla näihin keinoihin käsiksi. (Seppänen 2019.)

Suomessa rakentamisen säädösten keskeisessä roolissa on jo vuosia ollut sisäilmasto (Seppänen 2019). Erilaisia lakeja, asetuksia, määräyksiä ja ohjeita ilmanvaihdon toteuttamiseen ja käyttöön on olemassa useita. Ilmanvaihdon terveysvaikutusten näkö-

kulmasta yksi oleellisimmista on niin kutsuttu asumisterveysasetus (A 545/2015). Asumisterveysasetus kuvaa toimenpiderajat erilaisista sisäilmasto-olosuhteisiin vaikuttavista fysikaalisista suureista, mutta myös pätevyysvaatimukset suunnittelijoille.

### 2.1.1 Sisäilman puhtaus ja sen merkitys

Ilmanvaihto kirjaimellisesti tarkoittaa vain ilman vaihtamista tilassa. Ilmanvaihtuvuuden tunnusluvut ovat merkityksellisiä ja näitä kartoitetaan tehokkaasti rakennuksissa, mutta ilman vaihtuvuuden lisääminen ilman asianmukaista ilman käsittelyä ei riitä varmistamaan terveellistä toimintaympäristöä sisäilman osalta. Sisäilman puhtauteen vaikuttaa oleellisesti niin ilman käsittely kuin myös ulkoa tuotavan korvausilman tila. Koneellisessa tulo-poisto -ilmanvaihdossa lähes järjestäen koneet sisältävät ilman suodatusmoduulit tai suodattimet, jotka valitaan ominaisuuksiltaan sellaisiksi kuin ulkoa tuotava ilma vaatii ja mitä ovat sisäilmaston tavoitearvot (Heinonen 2016, 203, 233). Asumisterveysasetus asettaa raja-arvot, joiden ylittyessä tai alittuessa vaaditaan kiinteistön omistajalta jo korjaavia toimenpiteitä, mutta usein varsinkin julkisia rakennuksia suunniteltaessa sisäilmastovaatimukset on asetettu huomattavasti korkeammalle kuin mitä asetuksen rajat ovat. Sisäilman epäpuhtauksiin lukeutuu muun muassa hiilidioksidi (CO<sub>2</sub>), kosteus, orgaaniset epäpuhtaudet (VOC), radon, pienhiukkaset ja tupakansavu. Yleisesti epäpuhtaudet on jaoteltu ulkoisiin ja sisäisiin lähteisiin. Kuvasta 3 nähdään näiden epäpuhtauksien jaottelu sekä esimerkkejä lähteistä.

Major exposures	Examples of sources
<b>Indoor origin</b>	
Particulate matter (PM <sub>2.5</sub> )	Cooking, cleaning, living, smoking...
Dampness and moulds	Structural moisture, humidity, biological growth
Second hand smoke (SHS)	Smoking
Radon (Rn)	Soil, (construction materials)
Carbon monoxide (CO)	Combustion devices
Volatile organic compounds (VOC) - formaldehyde, benzene, etc.	Building materials, furniture, consumer products
<b>Outdoor origin</b>	
Particulate matter (PM <sub>2.5</sub> )	Traffic, combustion etc.
Bioaerosols (pollens)	Vegetation
Ozone (O <sub>3</sub> )	Atmospheric photochemistry
Volatile organic compounds (VOC) - benzene etc.	Combustion processes etc.

Kuva 3. Sisäilman epäpuhtauksia ja niiden lähteitä (Hänninen & Asikainen 2013).

Sisäilman epäpuhtauksista aiheutuvat vaikutukset näyttävät olevan dominoivampia työpaikoilla kuin kotitalouksissa. Nämä erilaiset epäpuhtaudet ovat myötävaikuttajia monien erilaisten sairauksien ja terveydellisten ongelmien syntyyn, ja Taloustutkimuksen Peab Oy:lle tekemän kyselytutkimuksen (Taloustutkimus 2018) mukaan valtaosa väestöstä pitää sisäilman laadun ongelmia ja sisäilman liiallista kosteutta merkittävänä yhteiskunnallisena ongelmana.

### 2.1.2 Puutteellisen ilmanvaihdon ongelmia

Jos ilmanvaihto on riittämätön, voidaan tarkastella tilannetta kahdesta näkökulmasta:

- Rakennukselle aiheutuvat tekniset ongelmat, ja
- Käyttäjien terveydelle aiheutuvat ongelmat

Näitä kahta eri osa-aluetta voidaan paloitella osiin ja tarkastella niitä niin yhteiskunnallis-  
sin kuin taloudellisinkin näkökulmin. Rakennustekniset ongelmat liittyvät yleisimmin  
kosteuden hallintaan ja painesuhteiden säätöön. Rakennusten ilmanvaihdon suunnitte-  
lussa on erilaisia suunnitteluperusteita, joiden mukaan ilmanvaihtoa suunnitellaan.  
Tyypillistä on suunnitella rakennuksen ilmanvaihtoa erilaisten kuormien perusteella,  
mutta kuitenkin niin, että tilaan tuodaan ja sieltä poistetaan sama määrä ilmaa. Lämpö-

tai epäpuhtauskuormien vaikutukset sisäilmastoon, ja tätä kautta käyttäjien viihtyvyyteen, ovat hyvin oleellisia suunnittelua tehtäessä. Kosteuden aiheuttamista rakenteellisista vaurioista saadaan lukea uutisointeja ympäri maata, missä esimerkiksi vanhempia koulurakennuksia on jouduttu poistamaan käytöstä sisäilman kosteuden aiheuttettua merkittäviä rakenteellisia vaurioita sekä sisäilmaoireilua. Toinen ongelma, joka rakenteisiin aiheutuu kosteuden vaikutuksesta, on tilojen ylipaineisuuden aiheuttamaa. Kun esimerkiksi märkätiloissa on lieväkin ylipaine, aiheuttaa se kosteuden tunkeutumista tilasta kohti ulkovaippaa. Kosteussulun ollessa puutteellinen pääsee kosteus rakenteisiin, jossa vallitsevat lämpötilat huomioon ottaen se pääsee tiivistymään puu-, betoni- tai muun rakennusmateriaalin pintaan. Erityisen hankalaa kosteutta on päästä poistamaan esimerkiksi villaeristeistä, jota usein on sekä välipohjassa että seinärakenteissa. Tällainen kostea ympäristö on edukas kasvualusta erilaisille organismeille, kuten homeille ja bakteereille.

Terveystieteiden ongelmien voidaan ajatella olevan rakennusteknisiä ongelmia huomattavasti monimutkaisempi kokonaisuus ratkaista, kun otetaan huomioon käyttäjien yksilölliset altistavat tekijät, taipumus ja alttius hengitystieoireilulle sekä yksilöllinen aineenvaihdunta. Puutteellisella ilmanvaihdolla on myös valtava vaikutus kansanterveyteen, ja tätä kautta yhteiskunnalliset taloudelliset vaikutukset ovat mittavia. Terveysvaikutusten kustannukset vuosittain ovat välillä 23-953 miljoonaa euroa (Reijula ym. 2012, 13).

Sisäilmaongelmiin tarttumisessa on tehty merkittävä harppaus eteenpäin, kun THL:n toimesta vuonna 2017 aloitettiin Kansallinen sisäilma ja terveys -ohjelman 2018–2028 valmistelu yhdessä eri yhteistyötahojen kanssa. Ohjelman tarkoituksena on toteuttaa hallituksen Terveet tilat 2028 -ohjelmaan kirjatut relevantit toimenpiteet Sosiaali- ja terveysministeriön kanssa. (Lampi 2018, 8.)

## 2.2 Ilmanvaihdon laitteet

Koneellinen ilmanvaihto pitää sisällään yleisimmin ajatultena yhteen rakennetun kokonaisuuden, jossa käsitellään ja siirretään ilmaa, lämpöä ja toisinaan kosteutta yhden koteloidun kokonaisuuden sisällä. Tämä kokonaisuus on erilainen useimmiten pientaloissa vastaan tulevissa järjestelmissä, jossa lämmönlähteenä voi olla poistoilmasta lämpöenergiaa talteen ottava lämpöpumppu. Tämän kanssa voidaan käyttöön kytkeä myös tuloilmalaite, joka kuitenkin on erillinen yksikkönsä.

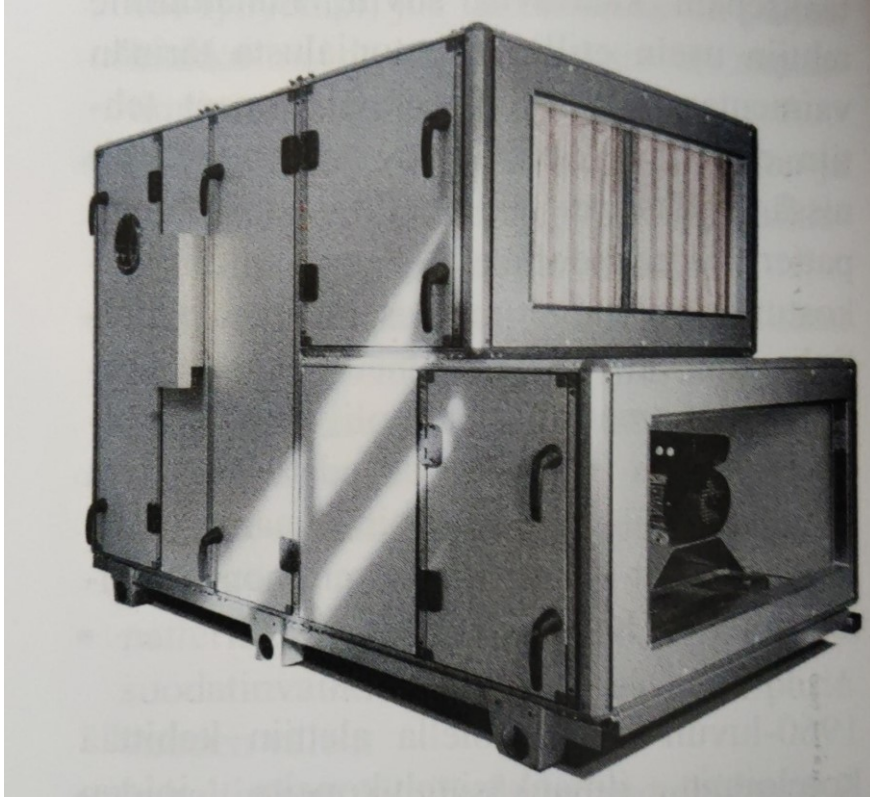


Kone sisältää usein samat peruskomponentit ja laitteet, joista tärkeimpiä ovat puhaltimet, lämmöntalteenottoyksikkö (kenno, pyörivä LTO tai nestepatteri), suodattimet ja lämmityslaitteet.

### 2.2.1 Tulo-poisto- ilmanvaihtokone

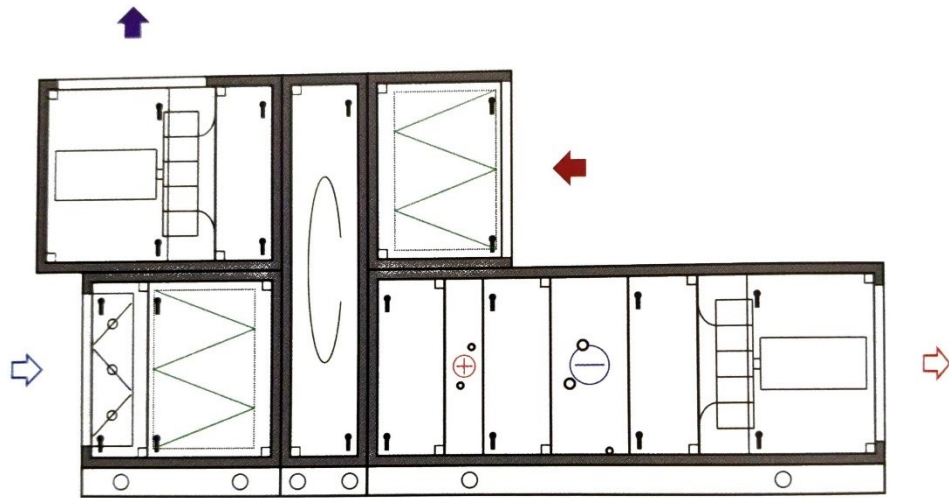
Työssä käsitellyt ilmanvaihtokoneet tai ilmankäsittelykoneet (*eng. Air Handling Unit, AHU*) ovat perusrakenteeltaan yllä kuvattujen mukaisia, pienin keskinäisin rakenneroin. Tulo-poisto- koneessa ulkoa tuleva ja huoneilmaan puhallettava ilma sekä huonetilasta poistettava likainen poistoilma ja jäteilma on kiinnitetty toisiinsa kiinteillä rakenneratkaisuilla sekoittamatta kuitenkaan eri puolilla konetta olevia ilmoja keskenään. Koneen perusajatus on johtaa ulkoilmakanavaa pitkin tuleva ulkoilma koneeseen, kuljettaa tämä lämmöntalteenoton läpi puhaltimen imupuolelle ja tästä eteenpäin puhaltimen painepuolelta huonetilaan johtavaa tuloilmakanavaa pitkin tilaan. Huonetilasta taas poistetaan ilmaa joka johdetaan kohti ilmanvaihto- tai ilmankäsittelykonetta poistoilmakanavaa pitkin, lämmöntalteenoton läpi ja tästä poistoilmapuhaltimen imupuolen kautta painepuolelle jäteilmakanavan kautta ulos rakennuksesta. Koneellisen tulo-poisto- ilmanvaihdon toiminnalle oleellista on, että rakennus tai tila, jossa ilmaa vaihdetaan on riittävän tiivis. Ilmavuodot rakenteiden läpi saumoista ja liitoskohdista häiritsevät ilmanvaihdon hallittavuutta ja näin ollen sen tarkoituksenmukaisuutta.

Lähes kaikki ilmanvaihtokoneet – pientaloon, tai isompaan kiinteistöön tarkoitetut – ovat rakenteeltaan kantikkaita laatikoita. Suurempien ilmankäsittelykoneiden (kuva 4) rakenne on usein modulaarinen, joka tarkoittaa sitä, että ne ovat irrallisia yksiköitä, jotka ovat liitetty toisiinsa erilaisin rakenneratkaisuin. Tämä mahdollistaa myös sen, että erilaiset ilmankäsittelyn osat voidaan liittää koneeseen myös jälkiasenteisesti.



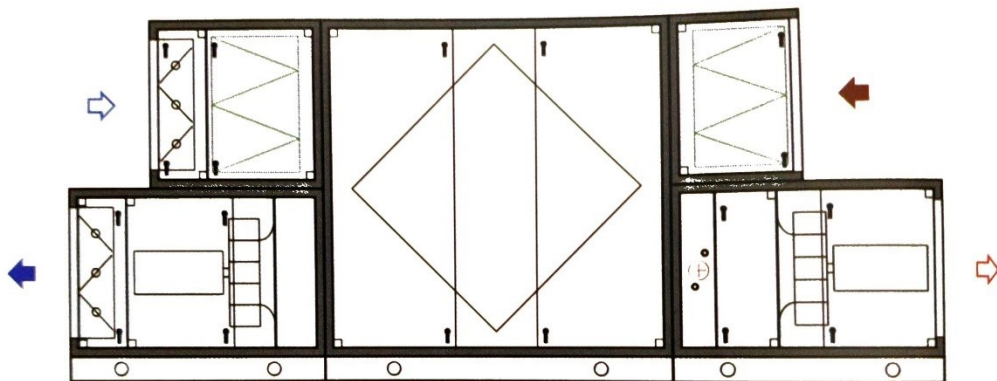
Kuva 4. Moduulirakenteinen ilmastointikone pyörivällä LTO:lla (Heinonen 2014, 164).

Isompien koneiden, joissa on pyörivä lämmöntalteenotto, perusrakenne on yleisesti sellainen, että ulko- ja tuloilma on koneen alaosassa ja poisto- ja jäteilma yläosassa, ikään kuin omina irrallisina kanavinaan koteloituina kammioina, jotka liittyvät toisiinsa vain lämmöntalteenoton tai palautusilmakanavan osalta (kuva 5).

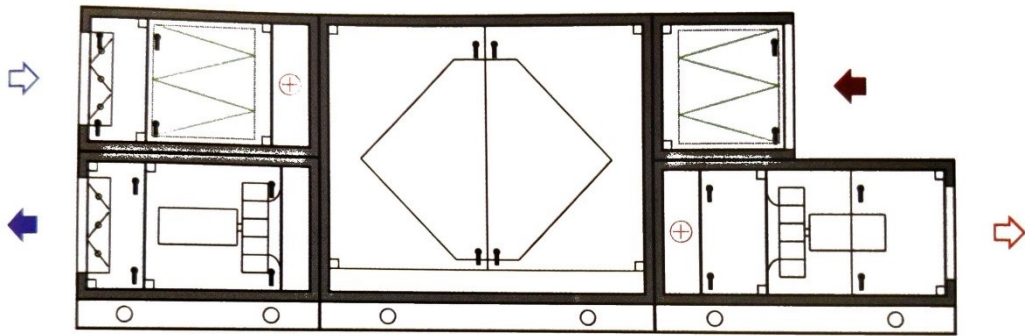


Kuva 5. Periaatekuva pyörivän LTO:n ilmapöytäyksiköstä (Heinonen 2014, 180).

Käytettäessä risti- tai vastavirtakennolämpöntalteenottoa tulo- ja jäteilmakanavat voivat sijaita alhaalla, ja taas ulko- ja poistoilma päällä, tai toisinpäin (kuva 6 ja 7).



Kuva 6. Periaatekuva ristivirta LTO:lla varustetusta ilmapöytäyksiköstä (Heinonen 2014, 182).



Kuva 7. Periaatekuva vastavirta LTO:lla varustetusta ilmakehäsittelykoneesta (Heinonen 2014, 183).

## 2.2.2 Ilmanvaihtokoneen osat

### Puhaltimet ja moottorit

Puhaltimien suhteen kehitystä on tapahtunut valtavasti viimeisen kahden vuosikymmenen aikana. Puhaltimet kokonaisuutena sisältävät aina moottorin ja siipipyörän, jota se pyörittää. Heinosen (2016, 148-150) mukaan erilaiset puhallintyypit voidaan jaotella kolmeen eri ryhmään:

- radiaalipuhaltimiin
- aksiaalipuhaltimiin
- puoliaksaali- tai sekavirtauspuhaltimiin

Radiaalipuhaltimen toimintaperiaate voidaan kiteyttää niin, että ilmavirta tulee sisään siipipyörän imuaukosta aksiaalisesti (kohtisuoraan) ja se poistuu siipipyörän ulkokehältä kohtisuoraa tulevaa ilmavirtaa vasten säteen suuntaisesti. Aksiaalipuhaltimessa taas ilmavirta tulee – ja poistuu – siipipyörästä akselin suunnassa. Sekavirtauspuhaltimessa taas voi olla näiden molempien tyyppien ominaisuuksia (Heinonen, 2016, 148-150). Nämä erilaiset puhallintyypit voivat toisinaan käyttää useampiakin erilaisia siipipyörätyyppejä, joista voidaan mainita:

- taaksepäin suunnatut, taaksepäin kaartuvat siivet
- taaksepäin suunnatut, suorat siivet
- taaksepäin suunnatut, eteenpäin kaartuvat siivet
- eteenpäin kaartuvat ”siroccosiivet”
- suorat säteensuuntaiset siivet

- Virtausteknisesti suunnitellut siivet
- Symmetriset siivet

Erilaiset siipiprofiilit ja puhallintyytit voidaan yhdistää karkeasti eri puhallinominaisuuksiin, kuten hyötysuhteeseen, äänen tuottoon ja paineen korotukseen. Karkea jako näissä on, että radiaalipuhaltimia erilaisin siipiprofiilein käytetään, kun halutaan korkeaa paineen tuottoa, ja aksiaalipuhaltimia, kun halutaan maksimoida ilmavirta pienellä paineen korotuksella. Siipien muotoilun vaikutus näihin on ikään kuin hienosäätöä toiminta-arvojen optimointiin. (Heinonen 2016, 148.)

Radiaalipuhallin on tänä päivänä yleisin isojen koneiden puhallin (Heinonen 2016). Radiaalipuhallinta voidaan käyttää kaavullisena, jolloin ilma tulee imuaukosta sisään, ja se ohjataan kaavun avulla tiettyyn suuntaan, tai ilman kaapua, jolloin radiaalipuhallin toimii kammiopuhaltimena, jolloin ilmavirta sinkoaa joka puolelle radiaalisesti.

Moottoriteknologiat ovat toinen merkittävä kokonaisuus, jossa kehitystä on tapahtunut valtavin harppauksin. Erilaisista moottorityypeistä voidaan mainita:

- oikosulkumoottorit
- kestromagneettimoottorit (PM-moottorit)
- DC-moottorit
- elektronisesti kommutoitu DC-moottori (EC-moottori)

Perinteinen oikosulkumoottori on paljon käytetty ympäri maailmaa erilaisissa sovelluksissa. Ilmanvaihdossa se on ollut iso osa isojen ilmankäsittelykoneiden puhaltimien voimanlähteenä. Sen toimintaperiaate perustuu vaihtovirran sykliseen vaihteluun, jolloin saadaan moottorin roottorille pyörimisliike staattorin käämeihin vaihtovirralla luodun magneettikentän avulla. Pyörimisnopeus riippuu moottorin napaparien lukumäärästä sekä vaihtovirran taajuudesta. Pyörimisnopeuden säätöön on tarjolla AC-puhaltimille myös taajuusmuuttaja, jolla voidaan syöttövirran taajuutta muuttamalla säätää pyörimisnopeutta.

Kestomagneettimoottorit ovat energiatehokkaampia kuin perinteiset oikosulkumoottorit ja niitä voidaan ohjata vain tietynlaisella taajuusmuuttajalla. Periaate on sama kuin oikosulkumoottorissa, erona käämitysten lisänä magnetointiin käytettävät kestromagneetit.

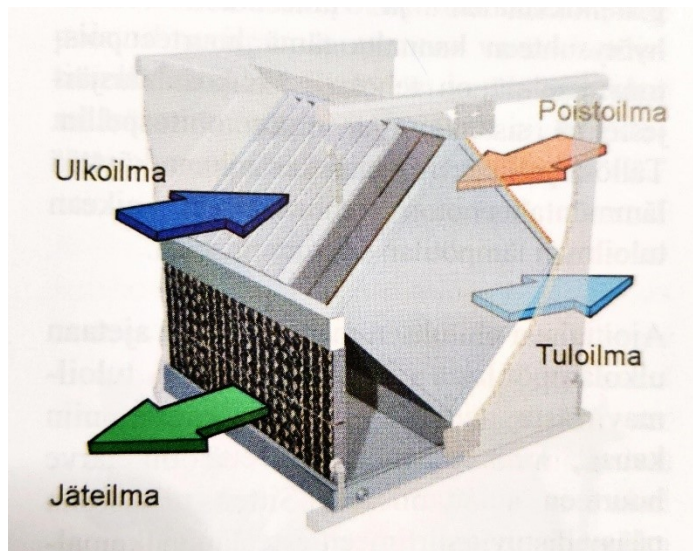
DC- ja EC- moottorit ovat perusperiaatteeltaan samanlaisia. Erona näissä on ohjaus, joka perinteisessä tasavirtamoottorissa tapahtuu hiiliharjoilla mekaanisesti, ja EC-

moottorissa taas elektroniikan avulla. EC-moottoreista löytyy useita etuja, kun verrataan perinteiseen oikosulkumoottoriin. Pienemmät energiahäviöt ja näin ollen matalampi lämpötilan nousu, hyötysuhde koko toiminta-alueella sekä laajempi toiminta-alue näistä esimerkkeinä. (Heinonen 2016, 173.)

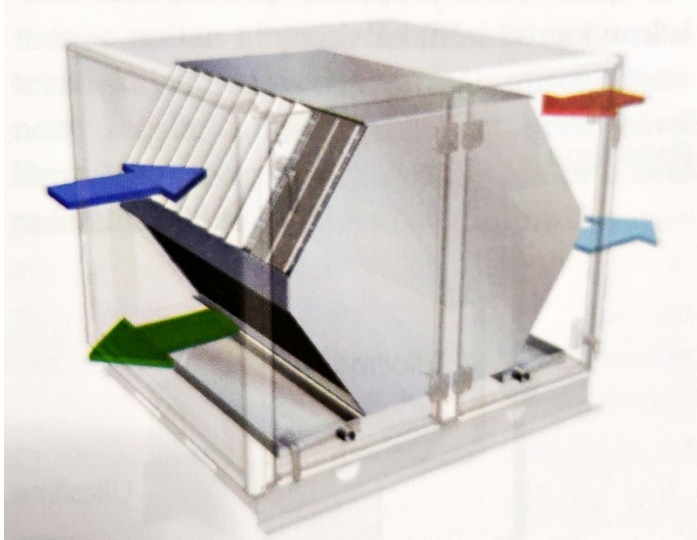
## Lämmöntalteenotto

Lämmöntalteenoton tarkoitus on vähentää poistoilman sisältämän lämpöenergian hukkaamista ja siirtää sitä erilaisin lämmönsiirratkaisuin takaisin tilaan ohjattavaan tuloilmaan. Lämmönsiirintyyppinä mainitsemisen arvoisia ilmapuhaltuslaitteiden osalta ovat *levylämmönsiirrin*, *nestekiertoinen lamellilämmönsiirrin* ja *pyörivä lämmönsiirrinkiekkö*.

Levylämmönsiirrin mielletään nykyisin lämmöntalteenottokennoksi sen kennomaisen rakenteen vuoksi. Nykyisin ilmavirtojen voidaan ajatella kulkevan useimmiten kennossa enemmän toisiaan vastaan, kuin ristiin, jolloin tällaista kennoa nimitetään vastavirtalämmönsiirtimeksi. Vastavirtakennoissa (kuva 9) – samoin kuin ristivirtakennoissa, jossa ilmavirrat kulkevat suuremmaksi osaksi ristiin (kuva 8) – rakenne on yksinkertainen, mutta tehokas. Ohuet lamellilevyt on liimattu päällekkäin säännölliseen järjestykseen niin, että joka toinen levyjen väliin jäävä sola on tulevalle viileälle ilmalle ja joka toinen taas likaiselle ja lämpimälle poistoilmalle.



Kuva 8. Ristivirtalämmönsiirrin, periaatekuva (Heinonen 2014, 181).



Kuva 9. Vastavirtalämmönsiirrin, periaatekuva (Heinonen 2014, 183).

Ilmavirrat eivät keskenään sekoitu, vaan ainoastaan lämpö siirtyy levyn välityksellä ilmavirrasta toiseen. Hyötysuhteet tällaisten lämmöntalteenottojen suhteen ovat ristivirran osalta noin 60-70% ja vastavirran osalta taas peräti yli 80% (Heinonen, 2014, 180-183).

Jäätyminen on ongelma näissä lämmöntalteenottotyypeissä, ja valmistajat ovat vuosien saatossa keksineet siihen erilaisia ratkaisuja. Jäätymissuoja on toteutettu pakkaskeleillä joko kylmää ulkoilmaa tuovaa tuloilmapuhallinta pysäyttelemällä, kasvattamalla poistoilmapuhaltimen nopeutta, ohittamalla osa kennosta tai ohittamalla kenno kokonaan erillistä ohituskanavaa pitkin. Ilma on kuitenkin liian viileää johdettavaksi suoraan tuloilmakanavistoon, ja se täytyy lämmittää jälkilämmityksellä. Osavirtaussulatusta kutsutaan yleisemmin lohkosulatukseksi, jossa idea on rajoittaa ulkoa tuotavan ilman kulkeminen kennon läpi käyttäen sulkupeltejä (kuva 10). Sulkupellit sulkevat tietyt lohkot kennon ulkoilman otsapinnasta, jolloin nämä lohkot sulavat vuorotellen poistoilman virratessa kennon läpi. Tämä toimenpide toistetaan aiemmin suljetuille lohkoille, kunnes koko kenno on saatu sulatettua (Heinonen, 2014, 181-182). Jäätymisestä ilmoittava indikaattori on yleensä paine-ero kennon yli, joka kasvaa kun jäätä alkaa muodostua kennoon. Tällöin paine-eromittaustiedon perusteella laitteen automaatiikka aloittaa sulatussekvenssin.



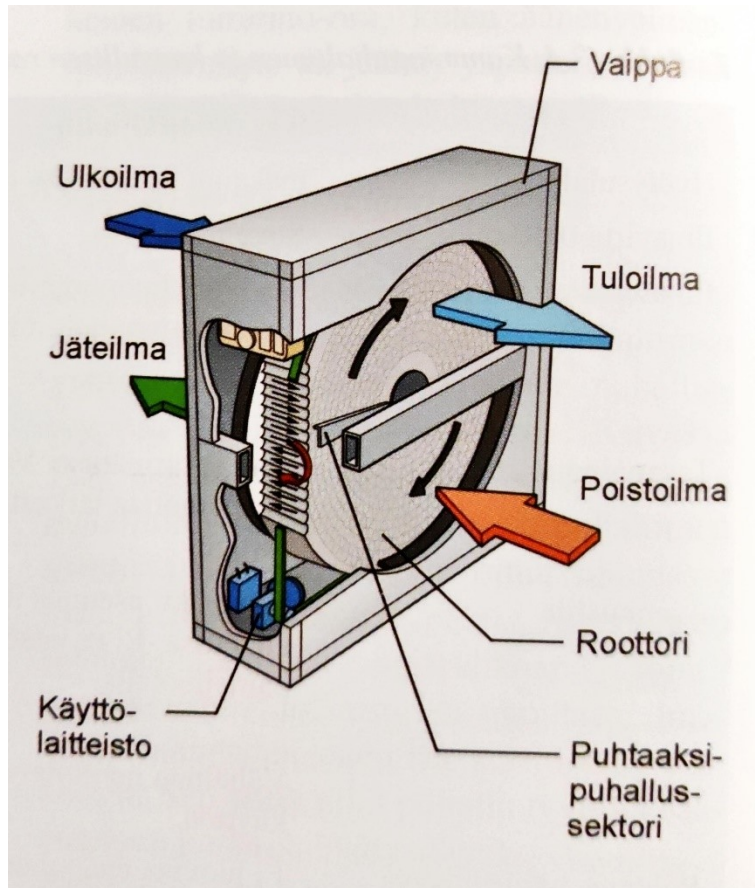


Kuva 10. Pureon lohkopellit ja peltien toimilaitteet. Etualalla myös ohituskanavan sulkupellit.

Isoihin ilmankäsittelykoneisiin erinomaisesti rakenteeltaan sopiva pyörivä lämmönsiirrin toimii hieman toisin. Tämä lämmönsiirrintyyppi voidaan jakaa kahteen pääryhmään; hygroskooppisiin, eli kosteutta siirtäviin ja ei-hygroskooppisiin eli kosteutta siirtämättömiin. Rakenne pyörivässä LTO:ssa (kuva 11) muistuttaa hunajakennoa; kolmion malliset, hydrauliselta halkaisijaltaan hyvin pienet kanavat on valmistettu tiheästi alumiiniin tai keraamiseen kiekkoon, jolloin näiden kanavien lämmönsiirtopinta-ala on valta-



va suhteessa itse kiekon – roottorin – kokoon. Ilmavirta kulkee vastakkaisiin suuntiin kiekon pyöriessä verrattain hitaasti (0,5 – 15 rpm), jolloin kanaviin varastoitunut energia ”pyörähtää” lämpimältä poistopuolelta kylmälle tulo puolelle luovuttaen lämpönsä tähän ilmavirtaan.



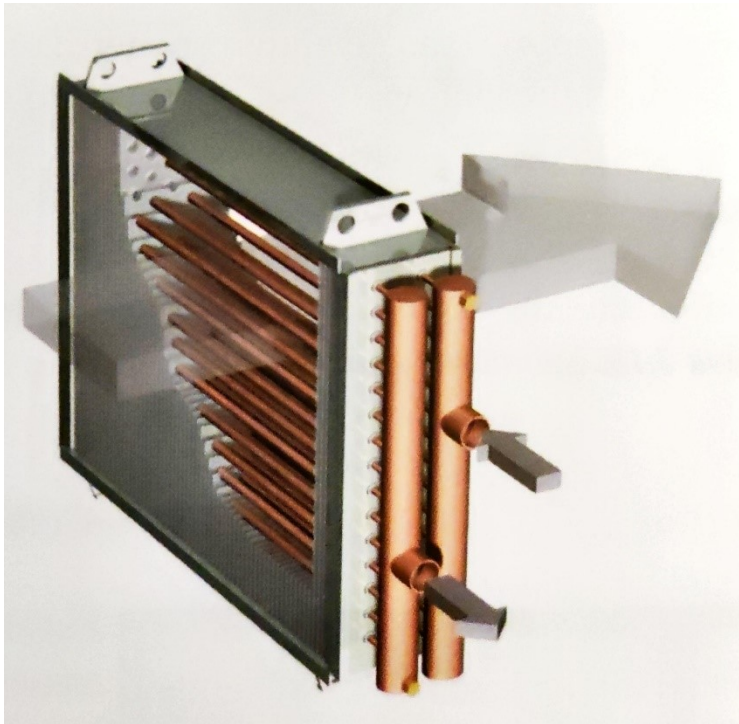
Kuva 11. Periaatekuva pyörivästä LTO:sta (Heinonen 2014, 178).

Roottori on hihnavetoinen, jolloin myös moottori tarvitaan pyörittämään kiekkoa ja tämän voidaan tietysti osaltaan ajatella vaikuttavan kokonaishyötysuhteeseen lämmönsiirtimessä. Pyörivän LTO:n sulatussekvenssi eroaa myös levylämmönsiirrinten sulatuksesta. Pyörivässä LTO:ssa pyörimisnopeutta hidastamalla saadaan tarvittava sulatus tai huurteenpoisto aikaiseksi. (Heinonen, 2014, 178-179.)

### Ilman lämmitys

Poistoilman lämmöntalteenoton lisäksi tarvitaan myös muita keinoja tuloilman lämmittämiseen. Tuloilmaa voidaan esilämmittää jo ulkoilmaliitännän yhteydessä, tai vasta lämmöntalteenoton jälkeen. Lisäksi tuloilmaa voidaan ennen jälkilämmitystä jäähdyttää

tai poistaa siitä kosteutta jäädytyspatterilla. Lämmituspatterit voivat olla joko sähkövastuksia, tai nestekiertoisia (kuva 12) lämmönsiirtimiä.



Kuva 12. Periaatekuva nestekiertoisesta lämmituspatterista (Heinonen 2014, 170).

Perusidea on yksinkertainen; lämmönsiirtoneste virtaa putkiriveissä, jotka kulkevat ohuiden – yleensä alumiinisten – lamellien läpi siirtäen lämpöä lamelleihin. Näin ollen ilma, joka kulkee putkiriveihin nähden kohtisuoraa vastaan pääsee virtaamaan lamellien väleistä vastaanottaen lämpöä. Nestekiertoisten IV-patterien ja niihin liittyvien komponenttien mitoittamiseen ja valintaan vaikuttaa ennen kaikkea haluttu teho sekä muun nestepiirin painehäviöt.

### **Ilman suodatus**

Ilman suodatusta sivuttiin jo kappaleessa 2.1.1, jossa kerrottiin sen merkityksestä sisäilmaoireilun torjunnassa ilmanvaihdon keinoin. Pientalo- ja huoneistokohtaisissa koneissa suodatinten koot on määriteltävä konekohtaisesti ja ovat rakenteeltaan niinkutsuttuja kasettisuodattimia, kun taas isoissa ilmapuhaltimissa suodatinkoot ovat moduulirakenteen vuoksi standardoitu tiettyihin kehyskokoihin. Suodatinluokat SFS-EN 779:2012:n mukaan määriteltiin aiemmin karkeasuodatinluokkaan G, perussuodatinluokkaan M sekä hienosuodattimiin F perustuen näiden erotuskykyyn 0,4 µm:n partikkelikoossa. Nykyään tämä standardi on korvattu uudella, ISO 16890:2016:lla, jossa

suodattimen tyyppi määritellään sen erikokoisten partikkelikokojen erotuskyvyn mukaan. Partikkelikokoa tarkastellaan 0,3-10 µm:n koossa, ja erotuskyky kyseessä olevalla partikkelikoolla ilmoitetaan prosenttilukuna, jolloin esimerkiksi 50% erotuskyvyllä 10:n mikrometrin partikkeleille suodattimen luokitus on *ePM10 50%*. Korkeamman erotusasteen suodattimista käytetään lyhenteitä *EPA (Efficient Particulate Air filter)*, *HEPA (High Efficiency Particulate Air filter)* ja *ULPA (Ultra Low Particulate Air filter)*. Ilmankäsitelykoneissa käytettävät suodattimet ovat yleisimmin pussisuodattimia, eli standardikokoiseen kehykseen on kiinnitetty suodatinmateriaalia, kartio- tai pussimaiseen muotoon tehtynä. Materiaalina voi toimia esimerkiksi lasi- tai polymeerikuitu. Pussien syvydet voivat vaihdella jopa 300 mm:n ja 900 mm:n välillä. (Heinonen 2016, 211.)

### 2.3 Koneellisen ilmanvaihdon energiatalous

Ilmanvaihdon – samoin kuin muiden kiinteistön taloteknisten laitteistojen – energiatehokkuutta ohjaamassa on jo aiemmin mainittu Energiatehokkuusdirektiivi. Energiankulutukseen ilmanvaihdossa on olemassa yhtenä merkittävänä tunnuslukuna ominais-sähkötehoa kuvaava SFP-luku (*Specific Fan Power*), joka antaa ylärajan tulo-poisto- ja koneellisen poiston laitteistoille kulutetun sähkötehon suhteena ilmavirtaan (yks.  $\frac{kW}{m^3/s}$ ). Laskennasta, ja huomioon otettavista muuttujista on kerrottu Ympäristöministeriön asetuksessa 1010/2017 (A 1010/2017) sekä Ympäristöministeriön lämpöhäviöiden tasauslaskentaoppaassa 2018 (Ympäristöministeriö 2017).

Ilmanvaihtolaitosten -ja laitteistojen energiateknisessä tarkastelussa oleelliset osat ovat puhaltimet, lämmöntalteenotto sekä ilman lämmityksen eri vaihtoehdot.

### 2.4 Energiankulutuksen osuudet ja tunnusluvut

Kuten mainittu jo kappaleessa 2, ilmanvaihdon osuus rakennusten energiankulutuksesta on huomattava. Rakennusten lämmitykseen – käyttöveden lämmitystä lukuunottamatta – Suomessa kului vuonna 2019 noin 67% kokonaisenergiankulutuksesta (SVT 2019), josta ilmanvaihdon lämmityksen osuus on tyypillisesti noin 20-40%. Oikealla ja tarpeenmukaisella ilmanvaihdon käytön ohjauksella ja asianmukaisella kunnossapidolla vaikutus kiinteistön lämmön kulutuksessa voi olla jopa 5-15% (Ympäristöministeriö 2018).

## 2.5 Energiätehokkuus IV-koneissa

Ilmanvaihtokoneissa ja ilmapuhaltimissa energiatehokkuuden voisi ajatella keskittyvän vain ja ainoastaan lämmöntalteenoton ympärille. Kyse on kuitenkin monimutkaisesta yhtälöstä, jossa tasapainotellaan saavutettavien ilmateknisten ominaisuuksien ja laitteiden kuluttaman energian välillä. Ison osan vuosittaista energiakustannusta aiheuttaa puhaltimet sekä ilman lämmitys esi- tai jälkilämmityksellä tai molemmilla.

Ilmanvaihto täytyy varmistaa vuoden jokaisena päivänä ja useimmiten 24 tuntia vuorokaudessa. Tämä tarkoittaa sitä, että puhaltimet kuluttavat sähköä 365 päivää vuodesta. Näin ollen sekä puhaltimien moottorien että niiden siipipyörien tulee olla tarpeenmukaisia ja oikein mitoitetuja kohteeseen, jotta vältetään ylirajoittamisen aiheuttamalta energian hukkaamiselta tai alirajoittamisen aiheuttamalta sisäilmaston heikkenemiseltä.

Useasti varsinkin isoissa ilmapuhaltimissa ilman lämmittäminen tapahtuu neste-kiertoisella lämmityspatterilla, eikä sähkövastuksella, kuten pienemmissä asuntoilmanvaihtokoneissa. Huomion arvoista on myös mahdollinen jäähdytyksen tarve, jota tässä työssä ei tarkemmin kuitenkaan käsitellä.

## 2.6 Energiankulutuksen optimoinnin keinoja

Lämmöntalteenotto täytyy mitoittaa niin, että Ympäristöministeriön asetuksen 1009/2017 asettamat sisäilmasto-olosuhteiden tavoitearvot saavutetaan. Ilmanvaihtokoneet itsessään asettavat jonkin verran reunaehdoja lämmöntalteenotolle, kuten tilantarpeen tai sen, millaista lämmöntalteenottoa voidaan käyttää. LTO:n optimointi liittyy usein kennomateriaalivalintoihin vallitsevan ilmaston mukaan ja sen kunnossapitoon tai eliniän pitkittämiseen erilaisin keinoin. Säännöllisestä kunnossapidollisesta toiminnasta vaikuttavin on sulatus, joka itsessään vie huomattavasti lämmitysenergiaa, mutta mahdollistaa LTO:n toiminnan sulatuksen jälkeen. Sulatuksessa tarkoituksena on varmistaa, ettei lämmöntalteenotto rikkoudu jään muodostumisesta, ja että rakennuksen tai tilan painesuhteet ja näin ollen myös ilmapirrat saadaan säilytettyä suunnitelluissa arvoissa.

Puhaltimien suhteen moottorivalinta on erinomainen optimoinnin keino. Vanha AC-tekniikka on huomattavasti nykyisiä EC-moottoreita energiatehottomampi, joten moot-

torivalinnalla on suuri merkitys. Myös ohjauksella on oma roolinsa tässä. Voidaanko puhallinta ohjata tarpeen mukaan pyörimään eri kierrosnopeudella, vai seuraako se vakionopeuskäyrää? Tämä on oleellista, kun ilmanvaihtoa ohjataan kuormitustekijöiden perusteella, kuten esimerkiksi CO<sub>2</sub>-anturin mittaustiedolla, tai kun ilmanvaihto toimii kalenteriohjauksella.

Usein pienissä ilmanvaihtokoneissa ei ole mahdollisuutta nestekiertoiseen lämmityspatteriin niiden liian suuren tilantarpeen vuoksi, jolloin sähkövastus on ainoa vaihtoehto. Näiden osalta ilmanvaihdon ohjauksella, ja varsinkin halutulla tuloilman lämpötilalla voidaan vaikuttaa lämmitysvastusten sähkötehon kulutukseen.

Isoissa koneissa nestekiertoisen patterin mitoitus on verrattain yksinkertaista, kun tiedetään halutut mitoituslämpötilat. Tämän jälkeen tehon määrittäminen on yksinkertaista laskentaa, ja sen jälkeen kyse on enää komponenttien valinnoista. Pumppu tällaisessa ilmanvaihdon lämmityspiirissä on niinsanottu sekundääripumppu tai ”piiskapumppu”, joka kierrättää vettä patterin läpi kokoaikaisesti mitoitusvirtaaman vaatimalla vakionopeudella. Säätöventtiilit – 2-tie tai 3-tie – ovat tässä oleellisia optimoinnin kannalta, koska niillä hallitaan piiriin kiertävän lämmitysveden määrää. Liian isoaukkoisen säätöventtiili on hitaampi reagoimaan, ja näin ollen energiankulutus on korkeampi kuin pienemmällä venttiilillä. Venttiilien reagoimisesta puhuttaessa käytetään termiä auktoriteetti (kirjaintunnus  $\beta$ ) (IMI TA 2011).

### 3 TUTKIMUSKYSYMYS

Tutkimuksen lähtökohtana on jo ideoitu projekti toimeksiantajan tuotantolaitoksen erään pukuhuoneen ilmanvaihdon päivittämiseen. Vanha ilmanvaihtokone – Ilmava 252D – on noin 20 vuotta palvellut, ja nyt se vaihdetaan upouuden malliston, Vallox Pureon pienimpään TX500- malliin. Tutkimuksen tekoaikaan äärimmäisen tärkeään rooliin on asetettu toimiva ilmanvaihto ja terveellinen sisäilmasto johtuen vallitsevasta COVID-pandemiatilanteesta ja ratkaisuista sen leviämisen hillitsemiseksi. Työssä pyritään erilaisin mittauksin sekä laskennan keinoin antamaan käsitys siitä, millainen vaikutus kokonaisenergiataloudellisesti on vanhaa teknologiaa hyödyntävän laitteiston vaihtamisella tämän päivän teknologiaan, ja onko ilmanvaihtojärjestelmän päivittäminen perusteltua kokonaisuhyötyjä sekä kustannuksia tarkasteltaessa. Lisäksi pyritään arvioimaan ilmanvaihdon päivitystyön vaikuttavuutta palveltavan tilan sisäilmastossa, kuten myös koneen monipuolisen tuotekehityskäytönkin kannalta.

#### 3.1 Toimeksiantajana Vallox Oy

Vallox Oy – aiemmin tunnettu myös Valmet Loimaan tehtaana – perustettiin alun perin Valmetin pansiossa tapahtuneen laajenemisen aiheuttaman tilanpuutteen vuoksi nykyiselle sijainnilleen Loimaan Myllykyläntielle vuonna 1971. Tänä vuonna 50 vuotta täyttävä tuotantolaitos aloitti ilmanvaihtolaitteisiin keskittyvän liiketoimintansa, kun Valmetin huippuimurituotanto siirtyi Loimaalle, ja alettiin – energiakriisin vauhdittamana – kehittää ja tuoda markkinoille uutta ilmalämmitysjärjestelmää, Kotilämpöä. Kun elettiin 80-luvun puoliväliä, asuntoilmanvaihtomarkkinoille tuotiin Valmet Loimaan toimesta vielä tänäkin päivänä Suomen eniten myydyin tulo- poistoilmanvaihtolaitteiden mallisto MUH-Ilmava. Valmet Loimaasta tuli Vallox Oy kun 80-luvun lopulla Wärtsilä ja Valmet tekivät yritysjärjestelyjä, ja Loimaan silloiselle operatiiviselle johdolle myytiin kyseinen tuotantolaitos. Vallox Oy:stä osti 2000-luvun alkupuolella osake-enemmistön saksalainen TOP-AIR AG, jolloin osaaminen ja markkinat alkoivat kansainvälistyä vauhdilla. Työn tekoaikaankin Valloxin liikevaihdosta noin puolet kertyy viennistä ja vientiä tapahtuu noin viiteentoista maahan. (Vallox Oy 2021.)

Tällä hetkellä Vallox Oy työllistää Loimaan tehtaalla noin 150 henkilöä, joista noin 50 on toimihenkilöitä, kuten hallintoa, suunnittelijoita, työnjohtoa sekä asiantuntijoita, ja

lopun noin 100 henkilöä työskentelevät tuotannon puolella erilaisissa tehtävissä tuotantoprosessin eri vaiheissa. Yrityksen ajatellaan olevan paikallisesti merkittävä työllistäjä, ja yhteiskunnallisella tasolla paikallisesti hyvin vaikuttava, valtaosan henkilöstöstä ollessa lähiseudun asukkaita. Valloxin tuotevalikoimaan kuuluu muun muassa ilmanvaihtolaitteet eri kokoluokissa, erilaiset ilmanjakoon tarkoitetut laitteet kuten Valloxin oma BlueSky- ilmanjakojärjestelmä ja päätelaitteet, ilmanvaihdon suodattimet sekä erilaiset liesikuvut. Vuosittainen liikevaihto Vallox Oy:n osalta on ollut noin 38 miljoonaa euroa/vuosi välillä 2017-2020 (Suomen Asiakastieto).

### 3.2 Tutkimusmenetelmät

Tutkimusmenetelmien valossa työtä voidaan kuvata tutkimukselliseksi kehittämistyöksi. Työn pääpaino on työelämän sovelluksen kehittämisessä, jonka vahvistamiseksi tehdään konkreettista tutkimustyötä. Tässä tapauksessa tutkimustyöllä tarkoitetaan numeerista vertailevaa tutkimusta kahden eri tekijän välillä. Aineiston analyysi, sekä tutkimuksellisten menetelmien soveltaminen ovat olennaisia osia yhdessä pohjana toimivan, työelämästä nousevan käytännön ongelman kanssa. Toikko & Rantanen (2009, 156) määrittelevät tutkimuksen siten, että siinä pyritään vastaamaan tiettyihin tutkimuskysymyksiin spesifein keinoin ja kehittämistoiminnan niin, että siinä nimensä mukaisesti tavoite on kehittää jotain toiminnan osaa; tuotetta, palvelua tai muuta sellaista. Tutkimusmäärittelyssä mainitaan myös kriteereinä pidetyt tutkimusprosessien -ja menetelmien luotettavuus, ja kehittämistoimintamäärittelyssä taas mainitaan tiedon käyttökelppoisuus keskeiseksi elementiksi. Näiden kahden toiminnan erotessa toisistaan muun muassa edellä mainituin tavoin useassa tapauksessa – kuten tässäkin työssä – voidaan liikkua näiden kahden välillä.

Kehittämistyön menetelmän tulee olla kohdistettu selkeästi rajattuun kohteeseen tai toimintoon, joten on pohdittava, millaista tietoa tarvitaan ja mihin tarkoitukseen sitä käytetään. Tavoitteena on saada aikaan muutosta, menetelmällä ei siis ainoastaan kuvata kohteena olevaa ilmiötä (Ojasalo ym. 2015, 25–40).

## 4 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

Mittauksia pystytään laitteistoissa tekemään jokseenkin rajallisesti. Perinteisesti mittauksiin nykypäivänä lukeutuu niin puhaltimien toimintapisteiden kuin lämmöntalteenoton suorituskyvyn ja laitteen tiiveyksien mittausta. Tämä on haastavaa vanhan laitteiston sijaitessa verrattain kaukana mittauslaboratoriosta ja olemassa oleva kanavisto ei kaikilta osin sovellu vertailukelpoisiin mittauksiin. Ne suureet, joiden mittaaminen työn suorituksessa ei ole mahdollista, arvioidaan jo suoritetuin ja dokumentoiduin mittauksin. Jotta aiempaa mittausdataa voidaan ajatella objektiivisena, käytetään Valtion Teknillisen tutkimuslaitoksen, VTT:n, mittausdataa niiltä osin, kun sitä on saatavilla. Komparatiivinen tutkimus on tässä työssä hyvin perusteltu, kun haetaan perusteluja laitepäivityksen suorittamiseksi. Vertailu vanhan ja uuden teknologian välillä antaa lukijalle käsityksen niistä säästöistä ja hyödyistä, joita voidaan saada aikaan päivittämällä laitteistoa.

Datan analyysissä ja laskennassa noudatettiin niitä normeja, joita alalla on sekä myös laskennan perustana olevia erilaisia lakeja ja standardeja. Energiatarkastelun osalta on huomioitava erityisesti Ympäristöministeriön Tasauslaskentaopas 2018 (Ympäristöministeriö 2017), sekä taustalla olevat direktiivit, kuten Euroopan Unionin energiatehokkuusdirektiivi EPBD (*Energy Performance of Buildings Directive*) ja ErP-direktiivi (*Energy-related Products*). Oleellista osaa näyttelee taustalla myös standardi SFS-EN 308, joka määrittelee testausmenettelyt lämmöntalteenottolaitteiden suorituskyvyn mittaamiseen.

### 4.1 Mitattavat tekniset arvot

Työ käynnistettiin taustamateriaalien keruulla, johon kuului laaja-alaisesti erilaisia toimintapisteitä ja arvoja molempien koneiden teknisistä ominaisuuksista. Osa aineistoa on julkisesti saatavilla verkosta ja osa taas toimeksiantajan sisäisissä arkistoissa. Mitattavia, tai jo aiemmin mitattuja suureita olivat:

- Ilmavirrat
- Paineenkorotus
- Koneen ottoteho
- LTO:n lämpötilat niiltä osin, kuin tarvitaan vuosihyötysuhteen määrittämiseen



- SFP-luku

Näistä eritoten LTO:n lämpötilat eivät sääolosuhteiden valossa anna realistista kuvaa tarkasteltavan aiheraamien sisällä, joten pysyteltiin lämmityskauden lämpötiloissa ja laitteiden ominaisuuksissa näillä lämpötiloilla.

Osa tarvittavasta datasta ei pystytty muun muassa edellä mainitusta syystä mittaamaan, minkä johdosta esimerkiksi erilaiset energiankulutukseen vaikuttavat olosuhteet käsiteltiin laskennallisesti. Näin päästiin verrattain tarkkaan lopputulokseen todellisista kustannuksista. Laskennallisesti määritettiin:

- Ilmanvaihdon ja LTO:n vuosihyötysuhde
- Ilmanvaihdon energiatarve
- LTO:n talteen ottama energia
- Laitteiden kokonaisenergian kulutus
- Jälkilämmityksen ja esilämmityksen energiankulutus
- Energian kustannukset

#### 4.1.1 Ilmavirrat

Ilmavirtojen osalta mittaukset suoritettiin TSI:n Airflow A465- virtaamamittarilla, jonka toiminta perustuu mittaososan tai päätelaitteen paine-eron mittaamiseen. Mittayhteinä tilassa toimivat Climeconin SAM-mittarenkaat.

Tuloilman päätelaitteina toimivat tuntemattoman valmistajan suutinkanavat, joiden yhteydessä oli mittarengas ilmavirran määrittämiseen. Poistoilman osalta varsinaisia päätelaitteita oli vain WC-, siivous- ja suihkutiloissa (yhteensä 5 kpl). Tässä päätelaitteena toimi niin ikään FläktGroupin valmistama KSO-125- lautasventtiili. Muutoin poistoilman haarakanavien oksat olivat kytkettyinä pukukaappeihin suunnitelmien mukaisesti. Ilmavirtojen suunnitteluarvot saatiin LVI-piirustuksista, joita myös verrattiin FINVAC ry:n *Opas ilmanvaihdon mitoitukseen muissa kuin asuinrakennuksissa*- ohjeeseen. Ohje pohjautuu Ympäristöministeriön asetukseen uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta (YM1009/2017).

Mitatut ilmavirrat verrattuna suunnitteluilmavirtoihin näkyvät alla olevassa taulukossa 1. Laskentakelpoisena työn muiden suureiden laskentaan arvoja ei voida pitää, koska tietoa ilmanvaihdon säädön ajankohdasta tai puhdistuksesta ei ole saatavilla. Näin ol-

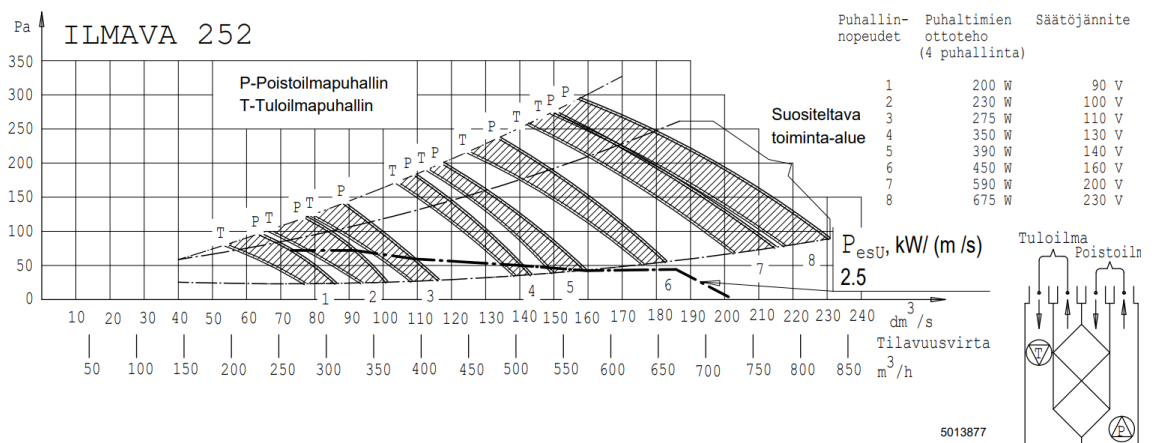
len työssä tukeuduttiin suunnitteluilmapirtoihin. Ilmavirta kahdelle samanlaiselle koneelle on  $200 \text{ dm}^3/\text{s}$  yhteisilmavirran ollen tällöin  $400 \text{ dm}^3/\text{s}$ .

Taulukko 1: Ilmavirran mittaustaulukko pukuhuonetilasta

Mittaustunnus	Kanavisto	Ilmavirran mittaus:					
		Mittausetäisyys rungosta (cm)	dp [Pa]	k-arvo	d [mm]	qv [l/s]	Suunniteltu ilmavirta [l/s]
T1	Tulo	57	30,8	13,6	160	75,48	+80
P1	Poisto	53	20,9	7,4	125	33,83	-44
T2	Tulo	57	29,2	13,6	160	73,49	+80
P2	Poisto	53	18	7,4	125	31,40	-36
T3	Tulo	57	11,3	13,6	160	45,72	+80
P3	Poisto	53	18,2	7,4	125	31,57	-36
T4	Tulo	57	12	13,6	160	47,11	+80
P4	Poisto	53	20,4	13,6	160	61,43	-72
T5	Tulo	57	12,2	13,6	160	47,50	+80
P5	Poisto	53	11	7,4	125	24,54	-36
P6	Poisto	53	13,5	7,4	125	27,19	-36
P7	Poisto	53	7,6	7,4	125	20,40	-36
PL1 S	Poisto	-	5,4	3,3	125	7,67	-25
PL2 S	Poisto	-	5,1	3,3	125	7,45	-25
PL3 Siiv	Poisto	-	6	3,9	125	9,55	-10
PL4 WC	Poisto	-	3,8	3,3	125	6,43	-25
PL5 WC	Poisto	-	3,4	3,6	125	6,64	-25

#### 4.1.2 Puhaltimien tekniset suoritusarvot

Puhaltimien teknistä dataa ei enää ole järkeä saada. Tiedossa on kuitenkin siipipyörän tyyppi, puhallinkäyrät sekä moottoriteknologian perustiedot. Alla olevassa kuvassa (kuva 13) on määriteltynä Vallox Oy:n toimesta puhaltimien eri ohjauksjärjestelmään perustuvat puhallinkäyrät.



Kuva 13. Puhallinkäyrät Ilmava 252D (Vallox Oy).

Puhaltimista tiedetään myös että ne ovat F-siipipyörää hyödyntäviä, ns. "scirocco"-siivellä varustettuja puhaltimia, jotka ovat tunnettuja kovista ilmavirran nopeuksista. Moottoritekniologia edustaa vanhempaa teknologiaa puhallinmoottorien ollessa AC-moottoreita, joiden pyörimisnopeutta säädetään vaihtovirtaa säätämällä. Tässä puhallinmallissa säätö on 8-portainen, mutta mitoitusilmavirran ollessa konekohtaisesti 200 l/s molemmat koneet pyörivät asennolla 8 jatkuvasti.

Uudessa Pureo-koneessa on uutta teknologiaa hyödyntävät, usein isoissa ilmankäsittelykoneissakin toimivat, kammiopuhaltimet taaksepäin kaartuvilla siivillä. Valmistaja Ziehl-Abegg on alan johtavia puhallinvalmistajia Euroopassa. Puhaltimen ohjaus tapahtuu portaattomasti standardin 0-10V:n jänniteviestin avulla, ja ne ovat lisäksi väylähajattavia.

#### 4.1.3 Suodattimet

Suodatinten luokitus on muuttunut sitten 2000-luvun alun. Silloin luokitusasteet olivat EU 5-EU 17, tänä päivänä suodatusluokitus tapahtuu hiukkaserotusasteen tehokkuuden kautta tietyille partikkelikoolle, kuten kappaleessa 2.2 mainittiin. Vanhan Ilmava-koneen suodattimet tuloilman osalle ovat luokkaa EU 3 ja EU 7 ja poistoilmalle EU 3 ja EU 5. Nämä vertautuvat nykyiseen käytössä olevaan luokitusstandardiin alla olevan taulukon 2 mukaisesti. Tämän taulukon yli menevät luokitukset ovat EPA- (*Efficient Particulate Absorbing*), HEPA- (*High Efficiency Particulate Absorbing*) ja ULPA- (*Ultra High Particulate Absorbing*) suodattimet.

Taulukko 2: Suodatinvertailu, CAMFIL Oy koulutusmateriaalit (Rosendahl 2019).

Vanha suodatinstandardi EUROVENT 4/5	Viimeaikaisin suodatinstandardi EN779	Uusi standardi ISO16890		
Suodatusluokka	Suodatusluokka	ePM1	ePM2,5	ePM10
<b>EU5</b>	<b>M5</b>	-	-	<b>&gt;50%</b>
<b>EU6</b>	<b>M6</b>	-	<b>50-60%</b>	<b>&gt;60%</b>
<b>EU7</b>	<b>F7</b>	<b>50-75%</b>	<b>&gt;70%</b>	<b>&gt;80%</b>
<b>EU8</b>	<b>F8</b>	<b>70-85%</b>	<b>&gt;80%</b>	<b>&gt;90%</b>
<b>EU9</b>	<b>F9</b>	<b>&gt;85%</b>	<b>&gt;90%</b>	<b>&gt;95%</b>
EU1-4	G1-4	Coarse, eli karkeasuodatin. Coarse-luokalla oma erotusasteensa		

Huomataan, että Ilmavan suodattimet sieppaavat luokituksensa mukaan tuloilman osalta hyvin ePM10-hiukkaset, ja kohtalaisesti sitä pienemmät ePM2,5- ja ePM1- hiukkaset, joskaan suodatusluokitusten vertailu ei ole välttämättä paikkansa pitävää (Talotekniikkateollisuus ry 2017).

Uuden Pureon suodattimet ovat linjassa uuden suodatusluokituksen kanssa ja tuloilman osalta suodattimena toimii vakioitoituksessa metallikehyksinen pussisuodatin luokitukseltaan ePM1 60% ja poistoilman osalta ePM10 60%, joiden molempien energialuokitus on A+ -luokkaa. Suodattimien energialuokituksessa oleellista on suodattimen aiheuttama painehäviö, ja energiatarve sen voittamiseksi. Suodatinvalintoja voi tilaaja halutessaan myös muuttaa edellä mainituista poikkeaviksi.

Suodatinvalinta on tasapainoilua suodattimen aiheuttaman painehäviön ja suodatustehon välillä; paremmin hiukkasia suodattava suodatin aiheuttaa suuremman painehäviön ja näin ollen puhaltimelta vaaditaan enemmän tehoa saman ilmamäärän siirtämiseksi suodattimen läpi, kuin mitä karkeammalla suodattimella vaadittaisiin. Kuitenkaan sisäilman laadusta ei voida tinkiä, joten suodattimen korkeakin painehäviö yleensä hyväksytään.

#### 4.1.4 Lämmöntalteenotto

Vanha Ilmava-kone pitää sisällään kaksi peräkkäistä ristivirtalämmöntalteenottokenoa. Ristivirta vertautuu ammattitutkimuksissa -ja kirjallisuudessa hyötysuhteeltaan huonommaksi vaihtoehdoksi kuin Pureo-koneessa oleva ristivastavirtasiirrin. Lämmöntalteenoton hyötysuhde määritellään ja lasketaan valmistajan osalta EN 308-standardin mukaan tai muulla hyväksytyllä metodilla, mutta koneeseen asennettuna valmistaja normaalisti testaa tuotekehitys- ja sertifiointivaiheessa sen toiminnan. Valloxilla tuotekehityksen olosuhdetestauksessa hyödynnetään olosuhdehallittavaa kylmälabraa, joka muistuttaa rakenteeltaan kylmiötä. Kylmälaitteilla saadaan luotua tilan sisällä olevalle ilmanvaihtolaitteelle erilaisia olosuhteita samaan aikaan mitaten sen suoriutumista erilaisilla antureilla. Tätä mahdollisuutta ei tämän työn parametreilla ole mahdollisuutta suorittaa, joten hyötysuhteen osalta tukeudutaan vanhan koneen suhteen olemassa olevaan, liitteisiin sijoitettuun VTT:n mittausdataan.

LTO:n hyötyenergian laskennassa käytetään Ympäristöoppaan 106, Ympäristöministeriön moniste 122:n ja Tasauslaskentaoppaan 2018 sisältämien laskennallisten ohjeiden pohjalta tehtyjä Excel-hyötysuhdelaskureita, joilla saadaan määriteltyä lämmöntalteenoton säästämän energian vuositasolla. Lähtöarvoiksi laskentapohjaan annetaan koneen tulo- ja poistoilmavirta, LTO:n tyyppi ja lämpötilahyötysuhde, jäteilman minimilämpötila ja sisäilman (poistoilman) lämpötila.

#### 4.1.5 Ilman lämmitys

Ilman lämmityksen osuus on aivan oleellinen tarkastellessa kokonaisenergiakustannuksia varsinkin Suomen kaltaisissa lämpöoloissa. Lämmöntalteenotto pyrkii jääty-mään, jos ulos puhallettavan kostean jäteilman lämpötila laskee riittävän lähelle nollaa, tai sen alle. Näin muodostuu aikanaan LTO:hon jäätä, joka ahdistaa poistoilman kulkeutumista koneen läpi ylipaineistaen kohdetilaa. Ilmavassa huurtumisen-/jäätyminenesto on toteutettu 2,5 kW:n sähköisellä etulämmitysvastuksella, jonka lisäksi tarvittaessa pysäytellään tuloilmapuhaltimia jäteilman lämpötila-anturin mittaustiedon perusteella. Tehdasasetuksena pidetään Ilmavan teknisen datan mukaan +3°C:n lämpötilaa, mutta laskennassa arvioimme tämän olevan alakanttiin, joten käytetään +6°C:n lämpötilaa jäteilman alarajana.

Lämpötilojen pysyvyyskäyrien – eli kuinka suuri osa tiettyä lämpötilaa on esiintynyt tarkasteltavalla alueella vuoden aikana – avulla voidaan määrittää laskennallisesti tiettyssä ulkolämpötilassa lämmitystehontarve esilämmitykselle. Lämpötilojen pysyvyys- taulukko löytyy liitteistä. Lämmitysvastuksen teho ei tässä suhteessa vaikuta laskentaan, koska sisään tuotava ilma on lämmitettävä joka tapauksessa tavalla tai toisella, jos esilämmitysvastuksella haluttua tavoitelämpötilaa ei saavuteta sisälämpötilan ollessa vakio.

Isomman Pureon kanssa tilanne on hieman mutkikkaampi. Koneessa ei ole esilämmitysvastusta, vaan jäätyminenesto on toteutettu lohkosulatuksella. LTO-kennon otsapinta on jaettu kahteen yhtä suureen osaan sulkupeltiasetelmalla, ja kennon vieressä on myös ohituskanava omine sulkupelteineen. Sulatussyklin ohjaus toimii paine-eromittauksen perusteella, eli kun paine-ero kennon yli ylittää tietyn asetetun raja- arvon, sulatussykli alkaa. Peltimootorit sulkevat vuorotellen tietyksi ajaksi toisen puo- likkaan kennosta samaan aikaan nostaen puhaltimen kierrosnopeutta. Kennon läm- möntalteenotto ei mene täysin nolnaan, mutta pienenee kuitenkin normaalitilaan verrat-

tuna. Sulatussykliä aikataulutusta on liki mahdotonta arvioida ilman perusteellista olosuhdetestausta, jota kyseiselle koneelle ei ole vielä tehty. Kuitenkin joitain mittauksia tähän liittyen on tehty, jolloin myös tämän osalta saadaan energiankulutustietoa arvioitua. Sulatusautomaatiikan testausdata lämpötilojen osalta löytyy liitteenä.

#### 4.1.6 Kokonaisteho ja SFP

Kokonaistehon määrittäminen on sikäli yksinkertainen mitattava, koska sähköteho koneelle koostuu likipitään vain puhaltimien ottotehosta. Vanhassa koneessa sähkövastusten tehon kulutusta ei ole mielekästä mitata niiden pysyessä vakioina toimintatilanteessa, ja ne on huomioitu energialaskennassa.

Uuden koneen EC-puhaltimet ovat oletusarvoisesti huomattavasti vanhaa AC-teknologiaa energiatehokkaammat.

#### 4.1.7 Arvioitu energiankulutus ja vuosihyötysuhde

Energiankulutusta on molemmissa koneissa arvioitu normaalin mitoitustilanteen vaatiman tehon kautta, sekä eri ulkolämpötilojen tilanteissa, joissa sulatussykliä osuudet aiheuttavat suuren osan energiankulutuksesta. Vuosihyötysuhteen laskennan ohjeet on annettu Ympäristöministeriön lämpöhäviöiden tasaustalaskentaoppaassa perustuen moneisiin 122 ja 106 (Ympäristöministeriö 2018).

Tasaustalaskentaoppas 2018 antaa mahdollisuuden määrittellä tasaisilla ilmavirroilla vuosihyötysuhteen kaavalla:

$\eta_a = \eta_T * 0,6$ , jossa:

$\eta_a$  vuosihyötysuhde, %

$\eta_T$  tuloilman lämpötilahyötysuhde, %

Tästä poiketen, tietyn lämpötilaeron esiintyvyyden kertovilla lämmöntarveluvuilla  $S_T$ ,  $S_P$  ja  $S_J$  saadaan määritettyä vuosihyötysuhde hieman mielekkäämmin.

#### 4.1.8 Ohjaus, anturointi ym.

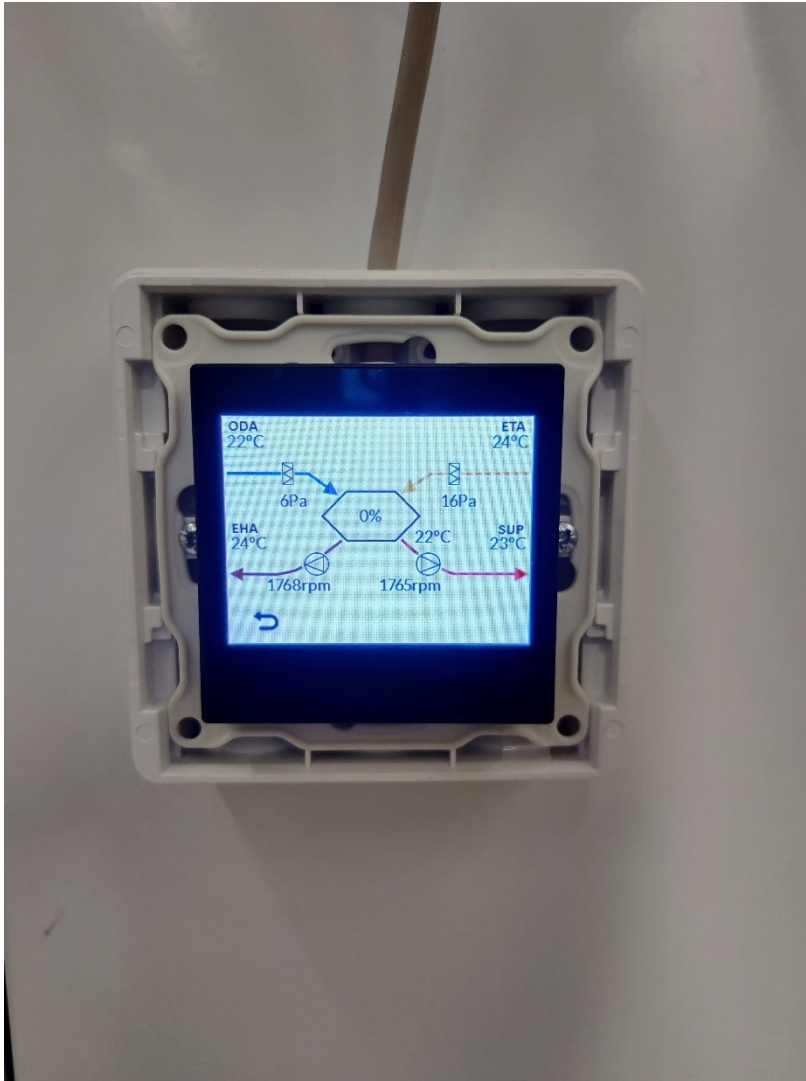
Vanhan koneen käyttö on jokseenkin yksinkertainen ilmanvaihdon seurattessa vain tilaan asennettua hiilidioksidianturin mittaustietoa. Kone voidaan asettaa myös käsikäytölle, sekä asettaa parametreja eri toiminnoille painikkeellisesta näyttöpaneelistä (kuva 14).



Kuva 14. Vallox Digit SED- ohjainpaneeli (Vallox.com).

Myös väyläohjaus tai muu mittaustieto ohjaukseen on mahdollista asentaa, mutta tarkasteltavassa koneessa ei näitä ole.

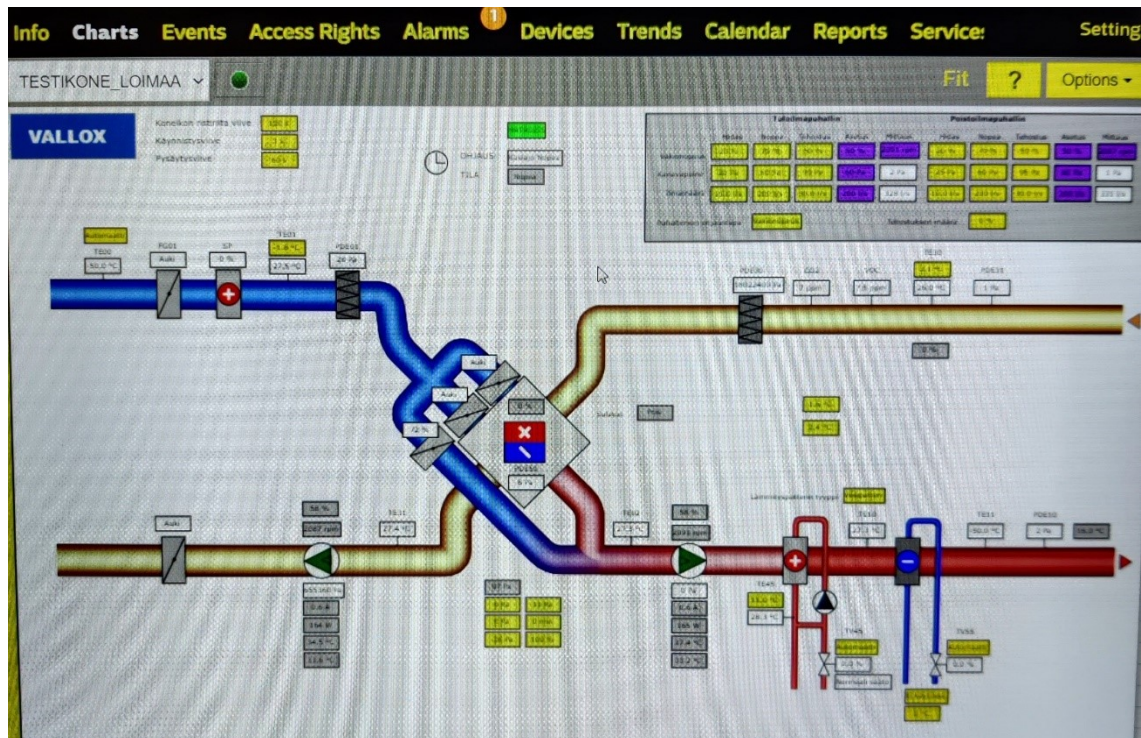
Uuden koneen ohjaus on moniulotteisempi. Koneen kyljessä on nykyaikainen kosketusnäytöllinen ohjainpaneeli (kuva 15), jonka lisäksi kone kommunikoi väylän kautta mahdollistaen monimutkaistenkin ohjauslogiikoiden implementoinnin koneen toimintaan. Uuden koneen "aivot" ovat Oumanin M-BA- säädinyksikkö, jonka graafinen ohjelmointiympäristö antaa vapauden asettaa erilaisia parametreja toiminnalle.



Kuva 15. Vallox Pureo- ohjainpaneeli toimintakaavionäyttötilassa, josta nähdään lämpötilat, suodatinten paine-erot sekä puhallinten kierrosnopeudet.

Kone on myös yhteydessä verkkopohjaiseen valvonta- ja ohjauskäyttöliittymään valmistajan omassa Ounet -palvelussa (kuva 16). Tässä koneen toiminnan valvonta on tehty todella yksinkertaiseksi käyttäjälle.





Kuva 16. Ouman Ounet -palvelun käyttöliittymä uuden koneen ohjaukseen.

#### 4.1.9 Kustannukset

Käyttökulut molempien koneiden osalta rajoittuvat lähinnä kunnossapidon vaatimusten mukaisiin suodatinvaihtoihin. Myös puhaltimien huollot ja tarpeelliset vaihdot ovat todellisuudessa oleellisia käytön aikaisia kustannuksia, mutta niiden osuus jätetään työssä arvioimatta. Kummankaan osalta kanaviston kunnossapitoa ei oteta huomioon. Hankinnan kustannuksia tarkastellaan vain uuden koneen osalta. Takaisinmaksuaikaa arvioidaan säästettyjen energiakustannusten kautta huomioiden vuosittaiset suodatinvaihdon kustannukset.

#### 4.2 Merkitys tuotekehitykselle

Tuotekehitysympäristön tällä hetkellä sijaitessa Pirkanmaalla eräässä kohdekiinteistössä on ajateltava uuden järjestelmän rakentumisen omalle tehtaalle olevan merkittävä helpotus isojen ilmankäsittelykoneiden tuotekehitykselle. Tätä merkitystä pohditaan testauksen, tuotekehityksen, koulutusmahdollisuuksien sekä järjestelmäintegraation kautta.

## 5 TULOKSET

### 5.1 Tekniset mittaustulokset ja laskenta

#### 5.1.1 Ilmava 252D tulokset

Lämpötilahyötysuhde mitoitusilmavirralla löydetään konekohtaisesti VTT:n mittauksista vuodelta 2004, jossa mittauksia tehty myös eri ilmavirtasuhteella. Mittaukset perustuvat Ympäristöministeriön kirjeen 1765/545/81:n tyyppihyväksyntä- ja testausohjeeseen vuodelta 1983. Hyötysuhdemittausraportin osa lämpötilahyötysuhteesta löytyy liitteistä (liite 2). Siitä voidaan arvioida konekohtaisella mitoitusilmavirralla 200 l/s lämpötilahyötysuhteen olevan noin 69%, kun ilmavirtasuhte on 1,0 ja tätä tullaan käyttämään vuosihyötysuhdelaskennassa.

Vanhan koneen yhteensä 4 puhallinta vievät mitoitusilmavirtatilanteessa sähkötehoa yhteensä noin 606W pistotulppamittarin perusteella (kuva 17).



Kuva 17. Ilmava 252D:n tehonmittaus Christ Elektronik -pistotulppamittarilla, käyttöasennolla 8/8.

Tämä mitattu teho voidaan kertoa koneiden määrällä saaden kokonaisuudeksi 1,212 kW. SFP-luvun kertoessa tarvittava teho siirrettyä ilmavirtaa kohden, SFP-luvuksi Ilmava-koneelle/koneille yhdessä saadaan mitoitusilmavirralla:

$$SFP = \frac{P}{q_v} = \frac{0,606 \text{ kW}}{0,2 \text{ m}^3/\text{s}} = 3,03 \frac{\text{kW}}{\text{m}^3/\text{s}}$$

SFP-luvun merkitystä kiinteistön ilmanvaihdon muodostamaan laitoksen SFP-lukuun ei voida osoittaa, koska laitoksen SFP-luku määritellään kaikkien laitoksen koneiden omien ominaissähkötehojen yhteisenä keskiarvona, ja muiden koneiden tietoja ei ole saatavilla.

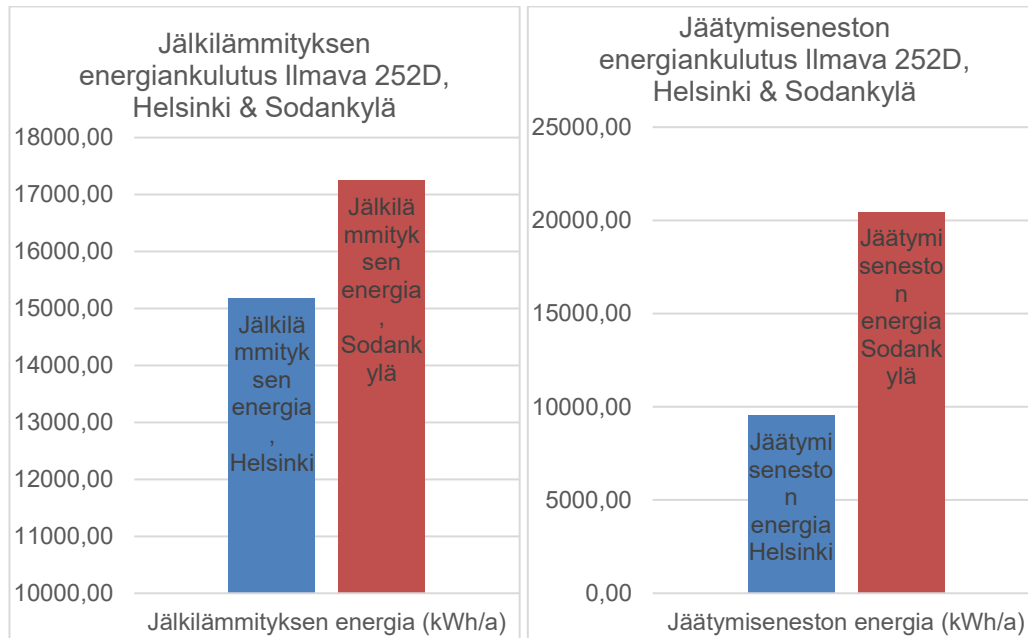
Puhallinenergiansiirto on verrattain yksinkertainen laskettava, jos oletetaan koneen käyvän mitoitusilmavirralla ympäri vuoden. Näin ollen laskennassa voidaan käyttää energiansiirron aikana koko vuoden tunteja.

$$E_{puhallin} = P_{puhallin} * t = 1,212 \text{ kW} * 8760 \text{ h} = 10617,12 \text{ kWh}$$

Kaksi vanhaa konetta rinnankytkettynä pystyvät tuottamaan ilmavirtaa maksimissaan yhteensä noin 460 l/s alle 200 Pascalin paineenkorotuksella VTT:n paine-ilmavirtamittausten perusteella (liite 3). Mitoitusilmavirralla 400 l/s paineenkorotus on hieman yli 200 Pa.

Koneen esilämmitys- ja jälkilämmitystarve muodostavat kuvaajien 1 ja 2 kaltaisen energiansiirron, kun tarkastellaan vertailuvuoden sään pysyvyyskäyriä. Laskennassa on oletettu kennon jäätymiseneston etulämmitysvastuksella toimivan, kun jäteilmän lämpötila on tietyllä tasolla, ja etulämmityksen tarve on ulkolämpötilaan 0°C asti. Nollaa korkeammilla ulkolämpötiloilla etulämmitystä ei tarvita, vaan jälkilämmitysvastus hoitaa tästä ilman lämmittämisen asetettuun tuloilman lämpötilaan. Raja-arvona jälkilämmityksen laskennalle on asetettu +12°C, jolloin ilmanvaihtokone ohittaa lämmöntalteenottokennon. Tällaisella laskennalla saadaan todellisuutta kohtuullisella tarkkuudella vastaava toimintatilanne, vaikkei välttämättä jokaista todellista joulea tällä tavalla saadakaan laskettua. Todellisuudessa jäätymisenesto on toteutettu Ilmava-koneessa etulämmitysvastuksen lisäksi tarvittaessa tapahtuvalla tuloilmapuhaltimen pysäytyksellä, mutta tämän syklisyyden arvioiminen ei ole mahdollista, eikä näin ollen ole sisällytetty laskentaan. Todellisuudessa siis tuloilmapuhaltimen pysäyttäminen alipaineistaa voimakkaasti tilaa, jolloin rakenteiden väleistä ja raoista pääsee ulkolämpötilassa olevaa – tässä tapauksessa pakkasilmaa – sisään rakennukseen, jolloin sen lämmittäminen

sisäilman lämpötilaan täytyy tehdä rakennuksen lämmitysjärjestelmällä. Sulanapidon, tai tässä tapauksessa esilämmitysvastuksen energiankulutus on kuvattu alla olevassa kuvaajassa 2.



Kuvaaja 1. Ilmava 252D jälkilämmityksen energiankulutus vertailuvuoden säätiedoilla. Tuloilman lämmitysraja 17 °C.

Kuvaaja 2. Esilämmitysvastuksen/jäätymisenestön energiankulutus vertailuvuonna.

LTO:n vuosihyötysuhteen määrittämisessä ei käytetä Tasauslaskentaoppaan oikaisua – eli kerrointa 0,6 – vaan sen sijaan määritellään vuosihyötysuhde laskentaoppaan laskentaohjeen mukaisesti. Laskentaohjeessa lämmöntalteenoton hyötysuhde heikkenee sulanapidon seurauksena, kun jäteilman lämpötilalle on asetettu alaraja-arvo. Vanhan koneen tapauksessa jäteilman minimilämpötila asetettu 6 celsiusasteeseen. Tasauslaskentaopas esittelee vuosihyötysuhteen laskennassa lämmöntarveluvun  $S$ , joka kuvaa koko vuoden aikaisten lämpötilaerojen esiintyvyyttä. Lämmöntarveluvun alaindeksillä kuvataan tarkasteltavia lämpötiloja.

$S_T$  tulo- ja ulkoilman välisten lämpötilojen esiintyvyyttä, [Kd]

$S_P$  poisto- ja ulkoilman välisten lämpötilojen erotus, [Kd]

$S_J$  poisto- ja jäteilman välisten lämpötilojen erotus, [Kd]

Vuosihyötysuhteen laskennassa oleellista on myös ilmavirtasuhte R. Tässä laskennassa oletetaan tulo- ja poistoilmavirtojen olevan tasapainossa, joten  $R = 1$ . Vuosihyötysuhde määritellään prosenttiosuuksien kautta seuraavasti:

Helsingissä:

$$\eta_a = \frac{R * S_S}{S_T} = \frac{1 * 3381,25 \text{ Kd}}{5636,91 \text{ Kd}} = 60 \%$$

Sodankylässä:

$$\eta_a = \frac{R * S_S}{S_T} = \frac{1 * 3899,38 \text{ Kd}}{7286,94 \text{ Kd}} = 53,5 \%$$

jossa:

$$S_T = \text{aika vuodesta [d]} * (T_{tulo} - T_{ulko})$$

$$S_P = \text{aika vuodesta [d]} * (T_{poisto} - T_{ulko})$$

$$S_J = \text{aika vuodesta [d]} * (T_{poisto} - T_{jäte})$$

Aikaosuus määritellään tarkasteluvuoden lämpötilojen pysyvyystietojen perusteella, prosenttiosuutena koko vuoden ajanjaksosta, joka sitten kerrotaan vastaamaan vuorokauden yksikköä  $d$ .

Vuosihyötysuhdelaskennan perusteena käytettiin laskennassa ilmavirtaa 400 l/s vaikakakaan tällaisia ilmavirtoja ei koneesta irti todellisuudessa saada. Tämä kuitenkin antaa kohtuullisen tarkan arvion LTO:n jälkeisestä energiankulutuksesta koko järjestelmälle. Vuosihyötysuhteilla 60% (Helsinki) ja 53,5% (Sodankylä) saadaan seuraavanlaiset kokonais- ja LTO:n jälkeiset energiankulutukset ilmanvaihdolle molemmilla paikkakunnilla perustuen ympäristöministeriön tasauslaskentaoppaan ohjeisiin:

Helsingissä,

$$E_{tot} = 0,029 * S_S * q_{v,poisto} = 0,029 * 5636,91 \text{ Kd} * 400 \frac{\text{l}}{\text{s}} = 65388,2 \text{ kWh}$$

$$E_{talteen} = \eta_a * E_{tot} = 0,6 * 65388,2 \text{ kWh} = 39232,9 \text{ kWh}$$

$$E_{netto} = E_{tot} - E_{talteen} = 65388,2 - 39232,9 \text{ kWh} = 26155,3 \text{ kWh}$$

Sodankylässä,

$$E_{tot} = 0,029 * S_S * q_{v,poisto} = 0,029 * 7286,94 \text{ Kd} * 400 \frac{\text{l}}{\text{s}} = 84528,5 \text{ kWh}$$

$$E_{talteen} = \eta_a * E_{tot} = 0,535 * 84528,5 \text{ kWh} = 45232,8 \text{ kWh}$$

$$E_{netto} = E_{tot} - E_{talteen} = 84528,5 - 45232,8 \text{ kWh} = 39295,7 \text{ kWh}$$

jossa:

0,029 kerroin, joka sisältää vakiotiheyden 1,2 kg/m<sup>3</sup>, sekä ajan d.

q<sub>v,poisto</sub> poistoilmavirta, [l/s]

Kun ajatellaan, että lämmitystapana toimii sähkölämmitys, jonka hinnaksi määritellään 15 senttiä/kWh, saadaan molemmissa tarkastelupisteissä vuosittaiseksi energiakustannukseksi:

Helsingin säätiedoilla:

$$E_{kustannus} = (E_{puhallin} + E_{jätkälämm.} + E_{sulatus} + E_{LTO:n jätk.}) * \frac{0,15\text{€}}{\text{kWh}} = 8617,30\text{€}$$

Tilanne Etelä-Suomen säätiedoilla on huomattavasti edullisempi kuin Pohjois-Suomessa johtuen todella alhaisten lämpötilojen pysyvyyksistä pohjoisessa. Sodankylän säätiedoilla kustannus on:

$$E_{kustannus} = (E_{puhallin} + E_{jätkälämm.} + E_{sulatus} + E_{LTO:n jätk.}) * \frac{0,15\text{€}}{\text{kWh}} = 13143,16\text{€}$$

### 5.1.2 Pureo TX500 tulokset

Pureo TX500:n kennovalmistaja ilmoittaa lämpötilahyötysuhteen kuivalla ilmalla, mutta ei määrittele olemassa olevissa dokumenteissa sen testauksen taustalla vaikuttavaa määrittelystandardia. Ainoa määrittelevä standardi ilmoitetaan olevan EN 13053, joka määrittelee laboratorio ja *in-situ*-testausmenettelyjä. Sen mukaan määritelty energiatehokkuusluokka 77,88% toimii tässä yhteydessä lämpötilahyötysuhteenä. Todellisuus-

dessa mitattaessa lämpötilahyötysuhdetta edellä mainittu lukema on alhaisempi kuin todellinen, mutta tässä yhteydessä sitä voidaan pitää vertailukelpoisena taustalla vaikuttavan standardin vuoksi.

Teho koneen mitoitusilmavirralla +/- 10% saatiin samaisella pistotulppamittarilla, kuin vanhankin koneen suhteen. Ilmavirroiksi saatiin lopulta asettumaan 372/380 l/s, jolloin koneen tehonkulutus nähdään kuvasta 18.



Kuva 18. Pureo-koneen tehonkulutus ohjaimesta näkyvillä ilmavirroilla.

SFP-luku määritellään koneelle samalla tavalla, kuin edellisessä kappaleessa, joten Pureo TX500- koneen SFP-luvuksi saadaan toimintapisteessä:

$$SFP = \frac{P}{q_{v,poisto}} = \frac{0,4988 \text{ kW}}{0,38 \text{ m}^3/\text{s}} = 1,31 \frac{\text{kW}}{\text{m}^3/\text{s}}$$

Koneen puhaltimet edustavat uusinta teknologiaa EC-moottorien maailmassa, ja yleisesti alalla ajatellaan radiaalipuhaltimen taaksepäin kaartuvilla siivillä soveltuvan kammiopuhaltimena ilmankäsittelykoneisiin erinomaisesti. Tämän lisäksi moottoritekniikkaansa ansiosta se on myös energiataloudellinen.

Puhaltimien energiankulutuksen laskennassa täytyi ottaa huomioon lohkosulatuksen hetkellisesti vaatima tehonlisäys tuloilmapuhaltimen osalta, kun LTO-kennon otsapinta on jaettu kahteen lohkokseen. Lohkosulatuksen aikana puhaltimelta vaaditaan suurempaa tehoa supistuneen virtausalan vuoksi, ja tämän aikatekijä määriteltiin Etelä-Suomen osalta kahteen vuorokauteen ja Pohjois-Suomen osalta yhdeksään vuorokauteen vuodessa. Puhaltimien (2 kpl) normaalin käyttötilanteen aikainen kokonaisenergiankulutus vuodessa laskettiin olevan:

$$E_{\text{puhaltimet}} = P_{\text{puhaltimet}} * t = 0,4988 \text{ kW} * 8712 \text{ h} = 4345,55 \text{ kWh}$$
 Helsingin säätiedoilla ja

$$E_{\text{puhaltimet}} = P_{\text{puhaltimet}} * t = 0,4988 \text{ kW} * 8544 \text{ h} = 4261,75 \text{ kWh}$$
 Sodankylän säätiedoilla.

Lohkosulatusautomaattia ohjaava paine-eroanturi aloittaa lohkosulatussyklin, kun paine-ero kennon yli on 20% asetusravoa suurempi. Paine-eron kautta puhaltimen erilaisia ominaisuuksia pystytään arvioimaan laskennallisesti. Oletuksena ajatellaan LTO-kennon olevan ainoa puhaltimen imupuolen painehäviön lähde, millä tarkoitetaan karkeasti sitä, että ilmavirran pysyessä vakiona kokonaispaineiden suhde olisi 1,2. Tämä 20%:n paineenlisäys täytyy tuottaa puhaltimen kierroksia nostamalla aikaisemmasta normaalitilanteen 2400 rpm:stä. Näin ollen puhaltimen sulatuksen aikaiseksi kierrosnopeudeksi voidaan määrittää Heinosen (2016, 156) mukaan:

$$\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 = 1,2$$

jossa:

$n_1$  puhaltimen kierrosluku 1. tilanteessa [rpm]

$n_2$  puhaltimen kierrosluku 2. tilanteessa [rpm]

Tämä saadaan uuden kierrosluvun suhteen muotoon:



$$n_1 = \sqrt{1,2} * n_2 = \sqrt{1,2} * 2400 \text{ rpm} = 2629 \text{ rpm}$$

Puhaltimen kierroslukujen kautta voidaan karkeasti määrittää uusi tehontarve sulatustilanteessa, kun mitattu kokonaisteho jaetaan puhallinten lukumäärällä ja sen jälkeen puhaltimen lisääntynyt teho saadaan alla olevan kaavan kautta (Heinonen 2016, 156).

$$\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 = \frac{P_1}{P_2}$$

jossa:

P1 puhallinteho 1. tilanteessa [kW]

P2 puhallinteho 2. tilanteessa = 0,2494 kW

$$\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 * P_2 = P_1 = \left(\frac{2629 \text{ rpm}}{2400 \text{ rpm}}\right)^3 * 0,2494 \text{ kW} = 0,3269 \text{ kW}$$

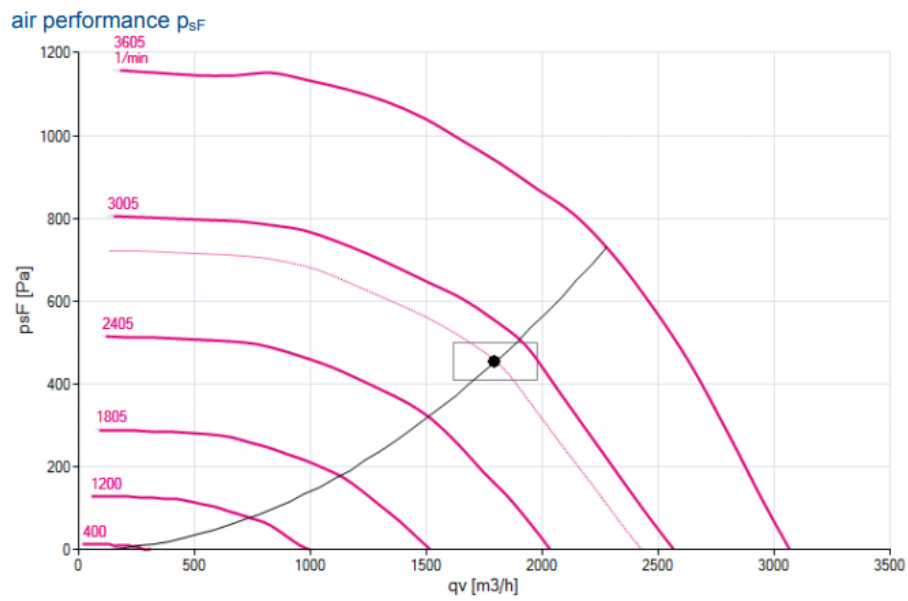
Tämän laskennan jälkeen voitiin laskea sulatuksen aikana vaadittu teho seuraavasti-Helsingissä:

$$E_{\text{sulatuksen aikana}} = (P_{\text{poistopuhallin}} + P_{\text{tulopuhallin}}) * t = 0,2494 \text{ kW} + 0,3269 \text{ kW} * 48 \text{ h} \\ = 27,66 \text{ kWh}$$

Sodankylässä:

$$E_{\text{sulatuksen aikana}} = (P_{\text{poistopuhallin}} + P_{\text{tulopuhallin}}) * t = 0,2494 \text{ kW} + 0,3269 \text{ kW} * 216 \text{ h} \\ = 124,49 \text{ kWh}$$

Ilmavirta-paineenkorotus -kuvaajasta (kuva 19) ja kuvasta 20 voidaan Pureo-koneen osalta nähdä, että mitoitusilmavirralla 400 l/s (1440 m<sup>3</sup>/h) paineenkorotusta pystytään tuottamaan yli 600 Pascalia.



Kuva 19. Pureo -ilmankäsittelykoneen puhallinkäyrät. Kuvassa piirrettynä myös laitoskäyrä ja toimintapiste.



Kuva 20. Pureon kanavapaine mitoitusilmavirralla.

Ilman lämmittämiseen Pureossa on asennettuna nestekiertoinen lämmityspatteri, joskin vaihtoehtoisesti myös sähkövastus on saatavilla. Vesikiertoinen patteri on mitoitettu yli 19 kW:n teholle, mutta IV-lämmityspatterin piiriin asennetaan aina toimilaitteohjattu sää-  
töventtiili, jolla tarvittava kierto piiriin varmistetaan ulkolämpötilan perusteella. Jälki-  
lämmityksen osuutta on laskennallisesti määritetty tehdyn lohkosulatustestin lämpötila-  
kuvaajien perusteella (julkaisematon 2020), joissa on kuvattuna lämpötilat: tulo-, pois-  
to-, jäte- ja ulkoilmasta.

Testissä konetta käytettiin kylmissä olosuhteissa noin 3-4 vuorokautta ulkoilman läm-  
pötiloissa  $-20^{\circ}\text{C}$  ja  $-10^{\circ}\text{C}$  ajaen lohkosulatusautomaatiikkaa paine-eron mukaan. Näin  
ollen saadaan määriteltyä ilman lämmittämisen tehontarve ulkolämpötilan funktiona  
käyttäen Excelin ENNUSTUS-funktiota mittaamattomien pisteiden määrittämiseen.  
Tuloilman lämmittämisen raja asetettiin  $21^{\circ}\text{C}$ :een. Julkaisemattomasta kuvaajasta voi-  
taisiin nähdä, että  $-19$  -asteisella ulkoilmalla tuloilma kennon jälkeen on painotettuna  
kuivaa ja kosteaa ilmaa noin  $+11,8$  astetta, jolloin lämmitystehon laskennan  $\Delta T$ :nä on  
 $21-11,8 = 9,2$  astetta. Näin ollen  $-19$  -asteisen ulkoilman lämmittäminen lämmöntal-  
teenotto huomioon ottaen saadaan kaavalla:

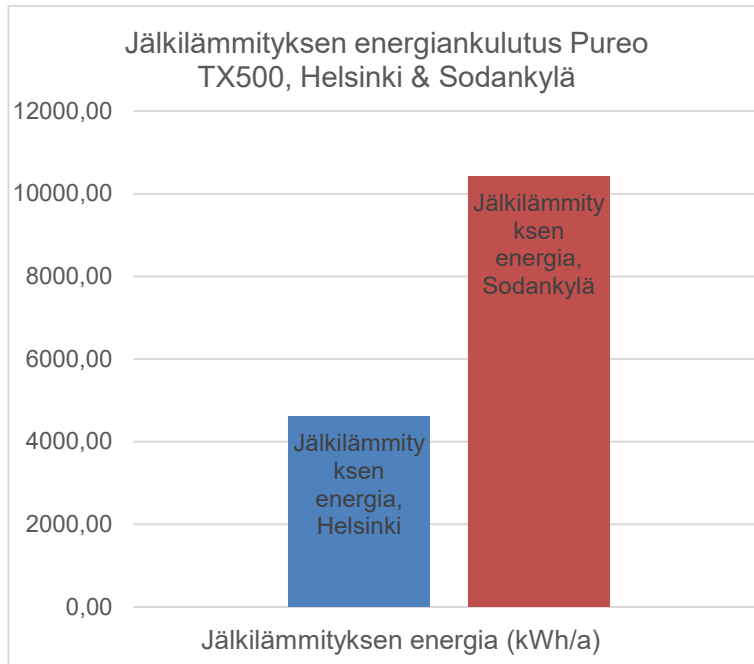
$$P_{\text{lämmitys}} = c_p * \rho_i * q_{v,\text{poisto}} * (T_{\text{tulo,haluttu}} - T_{\text{LTO:n jälk.}})$$

$$P_{\text{lämmitys}} = 1,008 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * \text{K}} * 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0,4 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * (9,2 \text{ K}) = 4,45 \text{ kW}$$

$c_p$  ominaislämpökapasiteetti ilmalle, [kJ/kg\*K]

$\rho_i$  ilman tiheys, [kg/m<sup>3</sup>]

Samaisella laskennalla  $-10$  -asteisella ulkoilmalla saadaan tuloilman LTO:n jälkeiseksi  
painotetuksi keskiarvoiseksi lämpötilaksi noin  $+14$  astetta, jolloin lämmitystarve vähe-  
nee. Ennustaen lineaarisen funktion avulla tehontarpeet eri ulkolämpötiloille tarkastelu-  
paikkakunnilla saatiin kuvaajan 3 mukaiset energiankulutukset kun käsiteltiin samaisia  
lämpötilojen pysyvyystietoja kuin edellisessäkin kappaleessa.



Kuvaaja 3. Uuden Pureo TX500:n jälkilämmityksen energiankulutus tarkasteluvuonna.

Vuosihyötysuhteen laskentakaan ei eroa juurikaan Ilmavan laskennasta, ainoana erona on jäteilmän lämpötila, joka voidaan laskea 0°C:een ilman, että jäätymistä tapahtuu. Todellisuudessa luultavimmin jäteilma voidaan päästää hieman pakkasellekin, mikä näkyy mittausdatan keskiarvoista, mutta tässä se jätetään huomioimatta.

Edellä mainitun kaltaisessa tilanteessa, lämpötilahyötysuhteella 77,9% saadaan vuosihyötysuhdelaskennan tulokseksi Helsingissä:

$$\eta_a = \frac{R * S_S}{S_T} = \frac{1 * 4162,40 \text{ Kd}}{5636,91 \text{ Kd}} = 73,8 \%$$

ja Sodankylässä:

$$\eta_a = \frac{R * S_S}{S_T} = \frac{1 * 4954,69 \text{ Kd}}{7286,94 \text{ Kd}} = 68 \%$$

Vuosihyötysuhdelaskennan kautta saadaan nettoenergiankulutukseksi LTO:n talteen ottaman energian jälkeen Helsingin tapauksessa:

$$E_{tot} = 0,029 * S_S * q_{v,poisto} = 0,029 * 5636,91 \text{ Kd} * 400 \frac{l}{s} = 65388,2 \text{ kWh}$$

$$E_{talteen} = \eta_a * E_{tot} = 0,738 * 65388,2 \text{ kWh} = 48256,5 \text{ kWh}$$

$$E_{netto} = E_{tot} - E_{talteen} = 65388,2 - 48256,5 \text{ kWh} = 17131,7 \text{ kWh}$$

ja Sodankylän säätiedoilla:

$$E_{tot} = 0,029 * S_S * q_{v,poisto} = 0,029 * 7286,94 \text{ Kd} * 400 \frac{\text{l}}{\text{s}} = 84528,5 \text{ kWh}$$

$$E_{talteen} = \eta_a * E_{tot} = 0,68 * 84528,5 \text{ kWh} = 57479,4 \text{ kWh}$$

$$E_{netto} = E_{tot} - E_{talteen} = 84528,5 - 57479,4 \text{ kWh} = 27049,1 \text{ kWh}$$

Ja kokonaisenergiakustannukseksi näillä laskennan tiedoilla saadaan Pureo-koneelle tarkasteluvuoden säätiedoilla Etelä-Suomessa:

$$E_{kustannus} = (E_{puhallin} + E_{jätkilämm.} + E_{sulatus} + E_{LTO:n jälk.}) * \frac{0,15\text{€}}{\text{kWh}} = 3912,19 \text{ €}$$

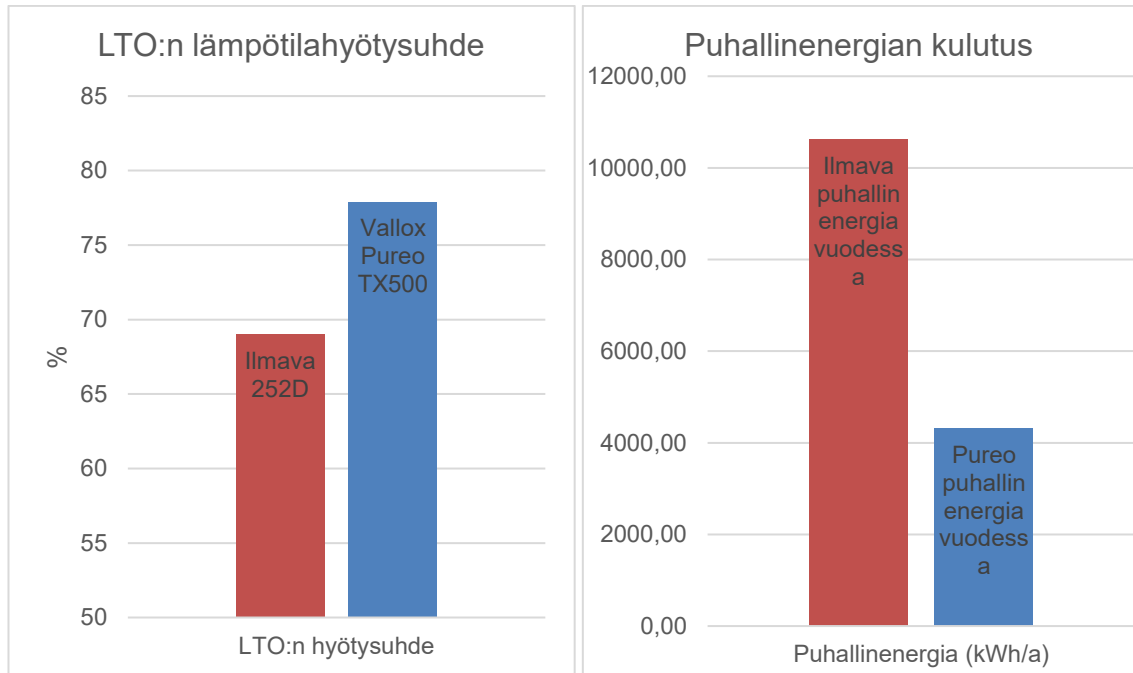
ja Pohjois-Suomen osalta sama lukema on:

$$E_{kustannus} = (E_{puhallin} + E_{jätkilämm.} + E_{sulatus} + E_{LTO:n jälk.}) * \frac{0,15\text{€}}{\text{kWh}} = 6278,85 \text{ €}$$

## 5.2 Vertailu

SFP-lukujen ja koneiden tehonkulutuksen vertailussa huomataan, että sekä SFP-luvun että koneen ottotehon osalta Pureo näyttäytyy energiatehokkaampana vaihtoehtona samalla täyttäen nykypäivän määräysten mukaisuuden SFP-luvun suhteen.

Lämmöntalteenoton lämpötilahyötysuhteen tarkastelussa nähdään selvästi ero uuden ja vanhan teknologian välillä (kuvaaja 4). Vanha ristivirtalämmönsiirrin ei vastaa tämän päivän LTO:n tehokkuusvaatimuksia, toisin kuin nykyaikainen vastavirtasiirrin.

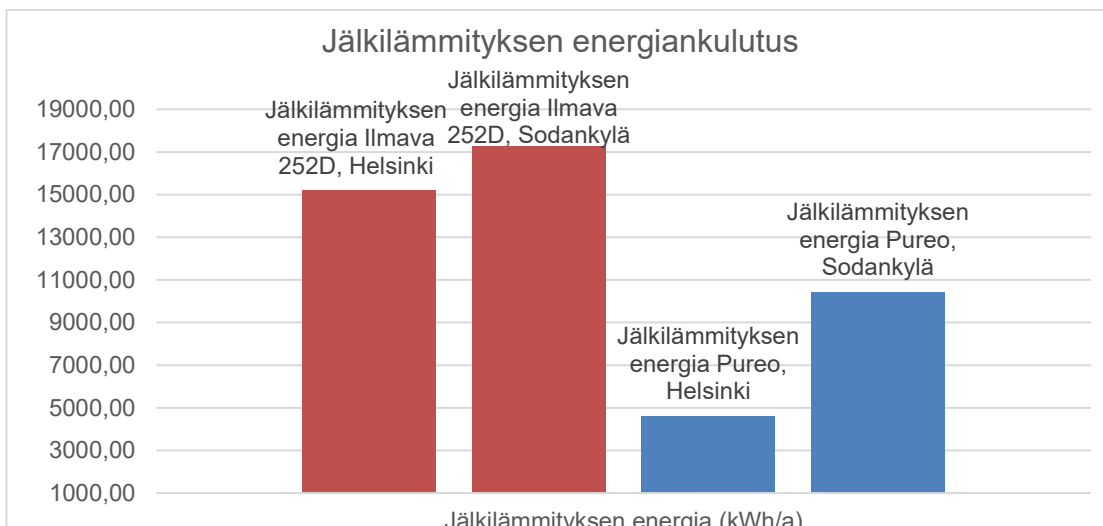


Kuvaaja 4. Koneiden LTO:n lämpötilahyötysuhdevertailu.

Kuvaaja 5. Puhallinenergian kulutus vuodessa.

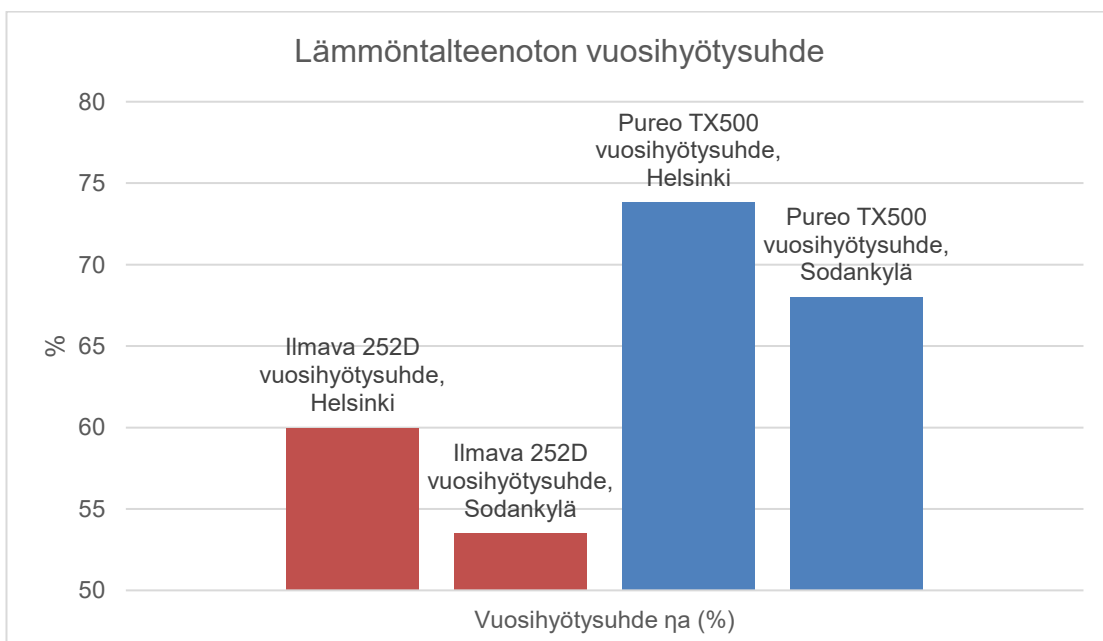
Puhallinenergian osalta taas nähdään uuden moottoriteknologian, sekä siipipyörän tyyppin vaikutukset tarvittavaan energiankulutukseen (kuvaaja 5). Taaksepäin suunnattu radiaalipuhallin EC-moottorilla näyttäytyy huomattavasti energiatehokkaammalta kuin vanha F-siipinen (*scirocco-siipi*) kaavullinen puhallin.

Lämmitystä tarkastellessa vain vanhassa Ilmava 252D:ssä on etulämmitysvastus, joten sille ei uudessa järjestelmässä ole vertailukohdetta lainkaan. Jälkilämmityksen tarve taas on kuvattu alla kuvaajassa 6 molempien koneiden osalta.



Kuvaaja 6. Jälkilämmityksen energiankulutus tarkasteluvuonna.

Kuten edellä mainittu, vuosihyötysuhdelaskennan perusteena on Ympäristöministeriön ohjeistus vuosihyötysuhteen määrittämiseen ja netissä on monia laskureita aiheeseen liittyen tarjolla. Niitä kuitenkin tässä ei hyödynnetty vaan luotiin oma laskuri, jolla vuosihyötysuhteiksi molemmille koneille laskettiin kuvaajan 7 mukaiset arvot.



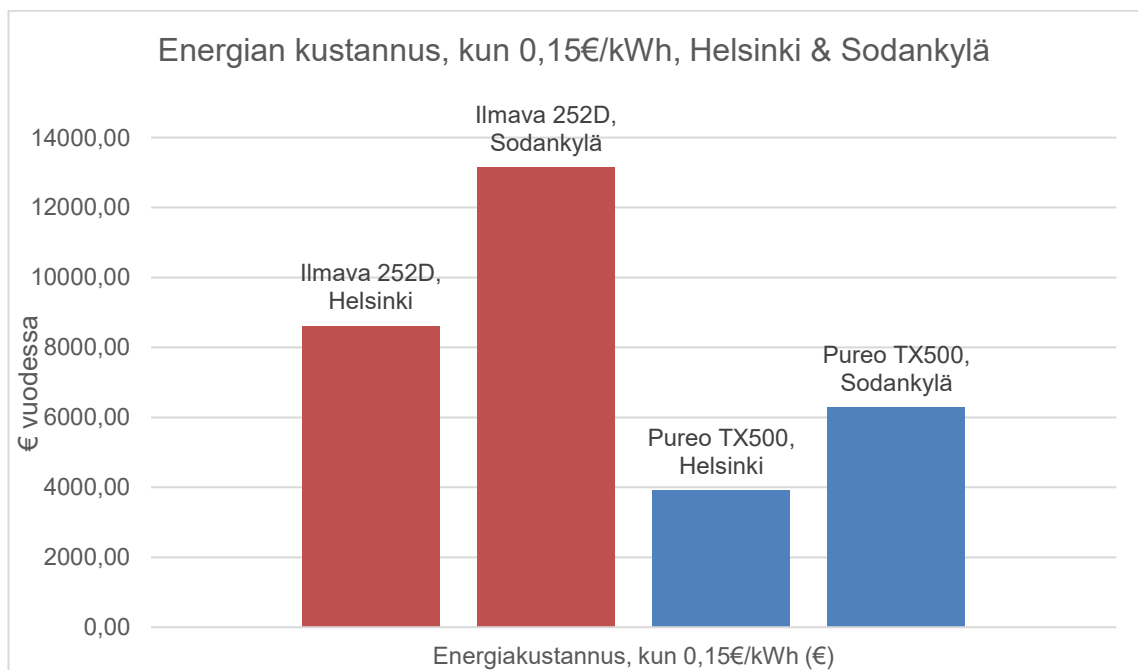
Kuvaaja 7. Vuosihyötysuhdelaskennan tulokset molempien koneiden osalta.

Vuosihyötysuhteen kautta huomattavan suuri osuus ilmanvaihdon tarvitsemasta energiasta saadaan uudella koneella talteen kaventaen ilmanvaihdon nettoenergiatarvetta,

kun taas vanhan koneen talteenotettua energiaa on verrattain pieni osuus johtuen paljolti sulatusautomaatiikan asettamista rajoitteista koneen lämmöntalteenotolle.

Ilmateknisiä muuttujia ei ole tarkoituksenmukaista tässä työssä edes vertailla, koska järjestelmän kanavisto on määrittävänä osana usein kone- tai puhallinvalintoja tehtäessä, mutta kuitenkin puhallinkäyrien ja mittausten perusteella mitoitusilmavirralla uusi Pureo-kone kykenee tekemään noin 3 kertaa suuremman paineenkorotuksen kuin vanhempi Ilmava-vastine. Tarvitsee myös pitää mielessä, että vanhassa Ilmava 252:ssa koneessa on 2 puhallinta molemmilla, niin tulo kuin poistupuolellakin. Tästä johtuen huollontarve puhaltimille on merkittävästi suurempi koneiden sisältäen yhteisesti 8 puhallinta verrattuna uuteen Pureoon, jossa kumpaakin puolta palvelee vain 1 puhallin.

Pelkkää energiakustannusta tarkastellessa kuvaajasta 8 huomataan myös, että vanha kone on merkittävästi kalliimpi, kuin uusi. Tähän vaikuttaa puhaltimet, mutta myös kenon sulanapidon osuus, joka uudessa koneessa ei yhtä lailla heikennä lämmöntalteenottoa vanhaan verrattuna. Alla kuvaaja 8 on arvio energiakustannuksista molemmille koneille, kun oletetaan ostosähkön hinnan olevan 15 senttiä/kWh.



Kuvaaja 8. Vertailukuvaaja uuden ja vanhan koneen energiakustannuksista.



### 5.3 Asennuksen ja huollon kulut

Käytön aikaisia kustannuksia ei edellä mainitun suodatinvaihdon ja puhallinhuoltojen lisäksi juurikaan ole, normaalia kennon puhdistusta lukuun ottamatta. Kuitenkin järjestelmän vaihdon kustannuksissa on huomioitava asennuksen kulut. Vanha järjestelmä on ensin purettava, jonka jälkeen uusi asennettava paikalleen. Tässä tapauksessa asennuksen hoitaneen yrityksen asentajat olivat työmaalla noin 1,5 työpäivää. Tästä karkeasti saadaan arvioitua vaihtotyön kokonaiskestoksi 20 tuntia vaihtotyön vaatiessa kahden asentajan läsnäoloa kohteessa vain ensimmäisenä asennuspäivänä. Jos asennusliikkeen laskelmaa näkemättä arvioidaan työn kustannuksia, voidaan tuntihinaksi ajatella esimerkiksi 75 €/h, joka kirjoittajan ammatillisesta näkökulmasta on realistinen. Tällöin asennuksen työn osuudelle tulisi hintaa 1500 euroa. Ilmanvaihtokanavaa, tai kanavaosia tarvittiin huomattavasti vähemmän kuin mitä oli suunnitelmissa arvioitu, johtuen vanhojen kanavaosien hyödyntämisestä uuteen järjestelmään. Kuitenkin tarvikekustannukseksi voitaneen arvioida kohtuullinen 500€. Tämän lisäksi kahden päivän vyöhykelisä asentajien kulkemisesta välillä Valkeakoski-Loimaa täytyy arvioida. Lisäkustannusta verohallinnon vahvistamaa kilometrikorvausta laskentaperusteena käyttäen saadaan:

$$\text{Lisäkustannus} = 0,44 \frac{\text{€}}{\text{km}} + \left( \text{matkustajalisä } 0,03 \frac{\text{€}}{\text{km/hlö}} \right) * \text{matkan pituus (km)}$$

$$\text{Lisäkustannus} = 0,44 \frac{\text{€}}{\text{km}} * 161 \text{ km} + \left( (0,03 + 0,44) \frac{\text{€}}{\text{km}} * 161 \text{ km} \right) = 146,51 \text{ €}$$

Huoltokustannuksista tarkastelun alle otetaan vain suodatinvaihdon osuus. Puhallinten kunnossapito pääasiallisesti tapahtuu suodatinvaihtojen yhteydessä tehtävien puhallintarkastusten perusteella tehtävistä huomioista tai puhallinten toimintahäiriöistä, joita ei voida arvioida tässä yhteydessä. Suodatinvaihto tapahtuu valmistajan ohjeiden mukaan sekä tarpeen vaatiessa, riippuen palveltavan tilan- ja ulkoilman epäpuhtauskuormasta. Tarkastellaan tilannetta, jossa suodatinvaihto tapahtuu tyyppillisen asuntoilmanvaihdon syklillä 2 krt/vuodessa. Suodatinten osalta kustannus vanhan Ilmava-koneen suodattimille on noin 164 euroa/kone/vuosi (sis. ALV 24%) Vallox Oy:n virallisen tarvi-kehinnaston mukaan. Vaihdolle jätetään laskematta kustannusta sen välttämättä vaatimatta kunnossapitoammattilaista. Uudessa Pureossa taas yksi pussisuodatin maksaa arviolta noin 100 euroa/kpl, jolloin suodatinkustannusten valossa tarkastelu kääntyy Ilmavan eduksi, kun Pureon suodatinvaihdot maksavat arviolta noin 400 euroa vuodes-

sa, vaihtoväli arvioitaessa samaksi molemmissa tapauksissa. Todellisuudessa pussisuodattimen vaihtoväli ei välttämättä ole edellä mainittu 2 krt/a, vaan harvempi.

Katsellessa kustannuksia enemmän on todettava, että vaikka suuremmat pussisuodattimet uudessa koneessa ovat kalliimmat, niiden uudempi suodatusteknologia ja materiaalit sekä uudempaan standardiin perustuva valmistajan ilmoittama suodatusaste asettaa tilanteen sisäilman laadun puolesta tasaväkisemmäksi, vaikkakaan vertailua uuden ja vanhan luokituksen välillä ei ole mielekäästä tehdä (Talotekniikkateollisuus ry 2017).

Koneen hankintahinta on oletettavasti se kaikkein mielenkiintoisin seikka sen ollessa melkoisen suuri verrattuna muihin kuluihin. Tässä yhteydessä voidaan koneen hankintahinnaksi laskea välttämättömin lisätarvikkein noin 13000 euroa.

Alla olevasta taulukosta 3 voidaan saada karkea käsitys asennus- ja huoltokustannuksista, jotka on kuvattu yllä. Taulukossa on kuvattuna kertaluonteisena kustannuksena asennus- ja hankintakulut ja toistuvina kuluina suodatinkulut.

Taulukko 3: Kustannukset konevaihdon ja kunnossapidon osalta.

Kustannus [€/vuosi]					
Konemalli	Koneen hankinta	Suodattimet	Vaihtotyö	Tarvikkeet	Yhteensä
Pureo	13000,00	400,00	1646,51	500,00	<b>15546,51</b>
Ilmava 252D	-	164,00	-	-	<b>164,00</b>

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Mitattujen suureiden ja suoritettujen laskennan perusteella uusi kone olisi huomattavasti energiatehokkaampi vanhaan verrattuna. Lisäksi uuden koneen ohjauksen monipuolisuus ja modernisuus mahdollistaa käyttäjäystävällisemmän operoinnin, sekä valvonnan moniulotteisuuden aivan eri tavalla. Energiatehokkuus on yleinen puheenaihe alalla alati kiristyvien kansallisten ja kansainvälisten vaatimusten vuoksi, ja tämä luo tuotekehitykselle sekä suunnittelulle paineita tuottaa komponentteja ja laitteita, jotka pystyvät toimimaan matalaenergisesti, mutta vähintään samalla suorituskyvyllä kuin aiemminkin. Tässä vertailussa käy selväksi, että edellä mainitussa on työn tarkastelun valossa onnistuttu.

Tarkasteltaessa kustannuspuolta tarkemmin voidaan määrittää kustannusraamit, joiden avulla arvioidaan uuden järjestelmän pääoman takaisinmaksuaikaa kuitenkin huomioiden rahan aika-arvoa tai investoinnin jäännösarvoa. Laskelmat sisältävät ainoastaan energiatarpeen tarkastelun ja ovat suuntaa antavia siitä, päästäänkö kustannusarvioinnissa positiiviselle puolelle vanhaan verrattuna, ja kuinka kauan tämä kestäisi.

Takaisinmaksuajan laskennassa investointimenot jaetaan vuotuisella nettotulolla, josta saadaan aika, jonka jälkeen kustannus kääntyy positiiviseksi. Alla esitetty tästä karkea laskelma.

$$Takaisinmaksuaika = \frac{\text{Investointimeno}}{(E_{\text{kustannus, vanha}} - E_{\text{kustannus, uusi}}) - \text{huoltokustannukset}}$$

$$Takaisinmaksuaika = \frac{15146,51\text{€}}{(8617,30\text{€/a} - 3912,19\text{€/a}) - 400\text{€/a}} = 3,52 \text{ a}$$

Yllä oleva laskelma on tehty tarkasteluvuonna Helsingin säätiedoilla. Samainen laskelma Pohjois-Suomen osalta olisi seuraava:

$$Takaisinmaksuaika = \frac{15146,51\text{€}}{(13143,16\text{€/a} - 6278,85\text{€/a}) - 400\text{€/a}} = 2,21 \text{ a}$$

Vaikkakin laskenta olisi vain suuntaa-antava, se osoittaa että järjestelmä maksaisi itsensä takaisin verrattain nopeasti. Pohjois-Suomen osalta täytyy pitää mielessä, että välimatkojen ollessa huomattavasti Etelä-Suomea pidempiä olisi jo niidenkin osalta asennuksen kustannukset korkeammat kuin tässä laskelmassa. Realistisempi arvio

olisi varmaankin lähempänä kymmentä vuotta, mikä ei ole kuitenkaan merkittävä aika tämän kokoluokan investoinnin takaisinmaksulle sen samalla sisältäessä useita muitakin positiivisia vaikutuksia kuin vain energiakustannukset.

Kappaleen 5.2 vertailu osoittaa, että energiankulutuksessa saavutettu rahallinen säästö olisi Etelä-Suomessa noin 4700 euroa ja Pohjois-Suomessa noin 6900 euroa vuodessa. Tämä on merkittävä summa ajatellessa kiinteistön omistajia, jotka tällaisen tiedon valossa mahdollisia investointipäätöksiä tekevät.

Ohjauksen suhteen uusi kone mahdollistaa entistä monipuolisemman ja kattavamman automaatiopisteiden integroimisen joko koneen omaan yksikköön, tai kaukovalvontaan väylän kautta. Merkittävä etu on myös etäohjattavuus nettipohjaisen Ounet -palvelun kautta, jolla laitteen toimintaa voidaan valvoa sekä kerätä dataa laitteen eri mittauksista. Tämä voidaan samanaikaisesti nähdä myös riskitekijänä, kun automaatiopisteiden kautta fyysiset liitännät lisääntyvät, jolloin automaatioasennustyötä ja komponenttiviikaantumista voi olla enemmän kuin vanhassa järjestelmässä.

Tuotekehityksen kannalta uusi järjestelmä on kuitenkin aivan merkittävä harppaus eteenpäin. Koneiden myynnin alkaessa tämän työn kirjoitusaikaan tarve lisäkehitykselle sekä vikadiagnostiikalle fyysisellä koneella lähellä tuotekehitystiloihin kasvaa koko ajan. Kun erilaiset testaustilanteetkin voidaan järjestää omalla tuotantolaitoksella säästyy kustannuksia matkustamisesta sekä välttään häiriöiden aiheuttamiselta asiakkaan tiloihin. Myös erilaiset, tähän asti tuntemattomat ongelmat, on mahdollista diagnosoida ja paikallistaa nopeammin, jolloin jo koneensa tilanneille asiakkaille nämä voidaan informoida etukäteen ja korjata ennen kuin kone tulee asennetuksi asiakkaan kiinteistöön. Lisäksi kiinteistön ylläpidon kannalta laiteuudistusprojekti on erinomainen toimenpide, sillä koneen integroiminen osaksi rakennusautomaatiojärjestelmää mahdollistaa sen toiminnan seuraamisen ja säädön kaukovalvonnasta käsin. Tällä on oleellinen vaikutus kiinteistön kokonaisvaltaiseen hallittavuuteen, kun hälytys- ja toimintahäiriöilmoitukset saadaan kaukovalvonnan kautta nopeasti laitoshuollon tietoon. Näin voidaan myös nopeammin reagoida erilaisiin ilmanlaatuun vaikuttaviin tekijöihin, jotka vaikuttavat työympäristöön ja sisäilmastoon.

Uusi järjestelmä on myös nähtävä valtavana voimavarana yrityksen sisäiseen koulutukseen. Uuden malliston myynnin kasvaessa, tarve tekniselle tuelle ja jälkimarkkinoinnille kasvaa. Uudella järjestelmällä pystytään yrityksen omissa tiloissa kouluttamaan

henkilöstöä uuden koneen toiminnasta, jolloin tuotteen elinkaaren aikainen palvelu on entistä parempaa ja monipuolisempaa.

## 7 POHDINTA

Ilmanvaihtoalan kehittyessä koko ajan valtavasti, tulevat työn tekemisen jälkeen konkreettiseksi ne hyödyt, joita ilmanvaihdon laitepäivityksellä on kiinteistöille. Itsenäisesti, ilman jatkuvaa ohjaustarvetta toimiva järjestelmä on huomaamaton kiinteistön päivittäisessä toiminnassa oli sitten kyse toimisto-, teollisuus-, opetus- tai asuinkiinteistöstä, mutta sen merkitys on valtaisa energiatehokkuus- ja kulutustavoitteita saavuteltaessa. Kiinteistön omistajalle hyödyt ovat valtaiset, kun ajatellaan kiinteistön käyttökustannuksia ja kyseisen kaltainen projekti verrattain pienin investointikustannuksin omaa valtavaa säästöpotentiaalia varsinkin, jos kiinteistössä toimii useampi vanhaa teknologiaa hyödyntävä ilmanvaihto- tai käsittelykone. Työn tuloksien valossa voidaan myös pohtia samankaltaisten investointien ympäristövaikutuksia ostoenergian tarpeen vähentyessä, ja erilaiset yritykset ja tuotantolaitokset pystyvät markkinoinnissaan tuomaan esille tällaisen laitepäivityksen ympäristövastuunkantonsa.

Merkittävän osuuden työn suorittamiseksi vei laiteuudistusprojektin eteenpäin vieminen, joka oli pääasiassa kirjoittajan vastuulla. Kontaktointi ja viestintä alihankkijoiden kanssa, sekä työn eritasoinen valvonta sekä suunnittelu oli valtava osa työn valmiiksi saattamisessa. Näin ollen tämänkin teoksen taakse kätkeytyy kirjoitetun asiasisällön lisäksi paljon muuta työtä.

Kysymys, johon työssä etsittiin vastausta sekä ennakoajatus siitä, mitä tulokset tulevat olemaan pitivät hyvin tarkasti paikkansa. Ilmanvaihdon tarkempi ohjaus, toiminnan tehostuminen, pienempi energiankulutus sekä merkittävä harppaus tuotekehitys- ja koulutusympäristön luomisessa toteutuivat. Ne tunnusluvut ja muuttujat, joita tutkittiin asettuvat helposti selkeään numeeriseen vertailuun, ja näin ollen tutkimustapa oli vähintäänkin oikean suuntainen, kun samalla suoritettiin konkreettista työelämän kehitystyötä. Tutkimuksen tuloksia voidaan pitää myös luotettavina, sillä ne perustuvat pitkälti lainsäätäjän määrittelemiin testausmenetelmiin ja laskentaan. Erilaisia tuloksia haettaessa täytyisi aineiston käsittelyn määritelmiä muuttaa lainsäätäjän ja muiden vakiintuneita toimintatapoja ja rajoja asettavien järjestöjen toimesta.

Aloitettaessa työn taustan kirjoittamista huhti-toukokuussa näyttäytyi työn valmistumisen ajankohta olevan vielä kaukana edessäpäin, mutta loppujen lopuksi sisältökokoaisuus valmistui muutaman viikon kuluessa taustaprojektin käynnistymisestä. Nopea kontaktointi sekä valmiit alihankintaverkostot nousivat tässä etualalle alihankkijoiden

nopean reagoinnin lisäksi. Tyytyväisiä lopputulokseen tuntuivat olevan niin alihankkijayritysten edustajat, toimeksiantaja, kuin myös työn kirjoittaja.

Tutkiessa tällaista aihealuetta alkoi muodostumaan ajatus siitä, että todelliselle energiankulutukselle ilmanvaihtoon liittyvissä laitteissa ei ole tarjolla riittävästi luotettavaa dataa. Lainsäätäjän vaatimatta mittauksia ja perusteellista testausta todellisista toimintatilanteista näyttäyty sen vapaaehtoinen suorittaminen vain lisäkululta valmistajan suunnalta. Yhteistyö eri lainsäädäntöön liittyvien toimijoiden kanssa tämän aiheen parissa voisi olla konkreettinen kädenojennus laitevalmistajia kohtaan ja se voisi vauhdittaa tuotekehitystyötä entistä energiatehokkaampaan suuntaan.

On lohdullista huomata, kuinka paljon jo opittua tietoa pystyy ammentamaan työn tekemiseen ja samaan aikaan hämmästyttävää, kuinka paljon oppimismahdollisuuksia kyseisen kaltainen työ antaa tekijälleen. Toimeksiantajayrityksen valtavan laajan osaamisen ja ammattitaidon avulla tämäkin työ saatiin valmiiksi, ja työtä aiheen parissa tullaan varmasti jatkamaan tulevaisuudessakin.

# LÄHTEET

Euroopan Unioni. 2010/31/EU. Directive of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings. Annettu 19.5.2010. Saatavilla osoitteessa: <http://data.europa.eu/eli/dir/2018/844/oj>. Viitattu 28.5.2021.

Euroopan Unioni. 2009/125/EC Directive of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009 establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for energy-related products. Annettu 21.10.2009. Saatavilla osoitteessa: <http://data.europa.eu/eli/dir/2009/125/oj>. Viitattu 28.5.2021.

Euroopan Unioni. Directive (EU) 2018/2002 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 amending Directive 2012/27/EU on energy efficiency. Saatavilla osoitteessa: <http://data.europa.eu/eli/dir/2018/2002/oj>. Viitattu 16.4.2021.

Heinonen J. & Sandberg E. 2014. Ilmastointiteknikka: Osa 1, Sisäilmasto ja Ilmastointijärjestelmät: perustietoa ilmastointiteknikasta rakentamisen ja rakennusten käytön asiantuntijoille. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut. Viitattu xx.x.2021.

Heinonen J. & Sandberg E. 2016. Ilmastointiteknikka: Osa 2, Ilmastointilaitoksen mitoitus: Opastusta Sisäilmaston, Ilmastointilaitoksen Järjestelmien, Tilailmastoinnin, Kanavistojen, Koneiden Sekä Jäähdytys- ja Rakennusautomaatiojärjestelmien Suunnitteluun Ja Mitoitukseen. Toinen painos. Helsinki: Talotekniikkajulkaisut Oy. Viitattu xx.x.2021.

Hänninen O. & Asikainen A. 2013. Efficient reduction of indoor exposures: health benefits from optimizing ventilation, filtration and indoor source controls. Terveystieteiden tutkimuskeskus. Raportti 002/2013. Saatavilla osoitteessa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-245-822-3>. Viitattu 6.5.2021.

IMI TA. 2011. Säättöpiirien säätäminen. Saatavilla osoitteessa: <http://vantalvi.fi/wp-content/uploads/2014/05/TA-K%C3%84SIKIRJA-S%C3%A4%C3%A4t%C3%B6piirien-S%C3%A4%C3%A4t%C3%A4minen-2011.pdf>.

Lahdenmäki A. 2018. Tavaratalon ilmapuhdistuslaitteiden dokumentointi ja energiansäästömahdollisuudet. Opinnäytetyö. Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma. Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Saatavilla osoitteessa: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/146398/Lahdenmaki\\_Ari-Matti.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/146398/Lahdenmaki_Ari-Matti.pdf?sequence=1).

Lampi J. & Pekkanen J. 2018. Kansallinen sisäilma ja terveys- ohjelma. Raportti 8/2018. Terve ihminen terveissä tiloissa. Saatavilla osoitteessa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-343-158-4>. Juvenes Print – Suomen yliopistopaino Oy.

LVI 01-10424. 2008. Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitajakset. Rakennustieto. Helsinki.

Motiva Oy. 2012. Kiinteistön energiatehokkaat sähkötekniset ratkaisut. Saatavilla osoitteessa: [https://www.motiva.fi/files/7974/Kiinteiston\\_energiatehokkaat\\_sahkotekniset\\_ratkaisut.pdf](https://www.motiva.fi/files/7974/Kiinteiston_energiatehokkaat_sahkotekniset_ratkaisut.pdf). Viitattu 5.5.2021.

Ojasalo K., Moilanen T. & Ritalahti J. 2015. Kehittämistyön menetelmät. Uuden-laista osaamista liiketoimintaan. Helsinki. Sanoma Pro.

Opetushallitus, Holopainen R., Pasanen P., Railio J., Säteri J. & Virranta P. 2008. Ilmanvaihtojärjestelmän puhdistus ja tasapainotus: Tavoitteena hyvä ja energiataloudellinen sisäilmasto. Helsinki: Opetushallitus. Viitattu xx.x.2021.



Reijula K., Ahonen G., Alenius H., Holopainen R., Lappalainen S., Palomäki E. & Reiman M. Rakennusten kosteus- ja homeongelmat. 2012. Eduskunnan tarkastusvaliokunnan julkaisu 1/2012. Saatavilla osoitteessa: [https://www.eduskunta.fi/FI/naineduskuntatoimii/julkaisut/Documents/trvj\\_1+2012.pdf](https://www.eduskunta.fi/FI/naineduskuntatoimii/julkaisut/Documents/trvj_1+2012.pdf).

Salmela A., Tähtinen K., Hartikainen T., Pekkanen J., Lampi J., Jalkanen K., Niemi J., Lappalainen S., Lahtinen M., Sainio M., Manninen T., Wallenius K., Salmi K., Reijula K., Lindqvist H. & Hyvärinen A. 2019. Sisäilma ja terveys: kehitys, nykytilanne, seuranta ja vertailu eri maiden sekä julkisen ja yksityisen sektorin välillä. Helsinki. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2019:59. Saatavilla osoitteessa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-788-8>.

Seppänen O. 1996. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. Suomen LVI-yhdistysten liitto SuLVI. Helsinki.

Seppänen O. 2019. Rakennusten sisäilmasto ja energiatehokkuus ristiriidassa? The Finnish Association of HVAC Societies FINVAC ry. Saatavilla osoitteessa: <https://finvac.org/rakennusten-sisailmasto-ja-energiatehokkuus-ristiriidassa/>. Viitattu 16.4.2021

Suomen virallinen tilasto (SVT). 2020. Asumisen energiankulutus 2019. Helsinki: Tilastokeskus. Saatavilla osoitteessa: [http://www.stat.fi/til/asen/2019/asen\\_2019\\_2020-11-19\\_tie\\_001\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/asen/2019/asen_2019_2020-11-19_tie_001_fi.html). Viitattu 18.5.2021.

Suomen asiakastieto Oy. 2021. Vallox Oy yritystiedot. Saatavilla osoitteessa: <https://www.asiakastieto.fi/yritykset/fi/vallox-oy/06723509/yleiskuva>. Viitattu 9.6.2021.

Talotekniikkateollisuus ry. 2017. Tietoisku 38/2017. Ilmansuodatuksen testaus ja luokittelustandardi muuttuu. Saatavilla osoitteessa: [https://www.talteka.fi/sites/default/files/file\\_attachments/38\\_ilmansuodatuksen\\_testaus-ja\\_luokittelustandardi\\_muuttuu.pdf](https://www.talteka.fi/sites/default/files/file_attachments/38_ilmansuodatuksen_testaus-ja_luokittelustandardi_muuttuu.pdf). Viitattu 9.6.2021.

Taloustutkimus. 2018. Rakennusyhtiö Peab tutki: 92 % suomalaisista pitää kosteus- ja sisäilmaongelmia suurena yhteiskunnallisena ongelmana. Peab Oy. Saatavilla osoitteessa: <https://peab.fi/peab/tiedotteet/lehdistotiedote/3DB6C2166BCBC027/>. Viitattu 6.5.2021.

Tammelin E. & Erkiö E. 1987. Energialaskennan säätiedot – suomalainen testivuosi. Ilmatieteenlaitos. Helsinki. 1987.

Terveystieteiden tutkimuskeskus. 2015. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista. 545/2015. Annettu Helsingissä 23.4.2015. Saatavilla osoitteessa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150545>.

Toikko T. & Rantanen T. 2009. Tutkimuksellinen kehittämistoiminta. Näkökulmia kehittämisssessiin, osallistamiseen ja tiedontuotantoon. Tampereen Yliopistopaino Oy – Juvenes Print. Tampere. 2009. Saatavilla osoitteessa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-44-7732-4>.

Valmet Oy & OY Mercantile A.B. 1977. Ilmatekniikan suunnitteluopas osa 1. Jaakkoo-Taara Oy. Turku. 1977.

Valmet Oy & OY Mercantile A.B. 1978. Ilmatekniikan suunnitteluopas osa 2. Jaakkoo-Taara Oy. Turku. 1980.

World Health Organization. 2021. Roadmap to improve and ensure good indoor ventilation in the context of COVID-19. Saatavilla osoitteessa: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240021280>. Viitattu 16.4.2021.

Ympäristöministeriö. 2017. 1010/2017 Asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. Annettu Helsingissä 20.12.2017. Saatavilla osoitteessa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171010>. Viitattu 16.5.2021.

Ympäristöministeriö, Saari M., Nyman M., Kokko E. & Vuolle M. 2017. Tasauslaskentaopas 2018. Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden osoittaminen. Saatavilla osoitteessa: [https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Tasauslaskentaopas-2018-310317-181217-\(002\)-8DA891B6\\_94AC\\_4367\\_9E45\\_D59ECED00CCF-133703.pdf/acb4fd5e-e622-c6e7-c0f0-97aa59de0886/Tasauslaskentaopas-2018-310317-181217-\(002\)-8DA891B6\\_94AC\\_4367\\_9E45\\_D59ECED00CCF-133703.pdf?t=1603260250564](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Tasauslaskentaopas-2018-310317-181217-(002)-8DA891B6_94AC_4367_9E45_D59ECED00CCF-133703.pdf/acb4fd5e-e622-c6e7-c0f0-97aa59de0886/Tasauslaskentaopas-2018-310317-181217-(002)-8DA891B6_94AC_4367_9E45_D59ECED00CCF-133703.pdf?t=1603260250564). Viitattu 28.5.2021.

Ympäristöministeriö. 2018. Asuntokohtainen koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto. Saatavilla osoitteessa [https://www.ymparisto.fi/fi-fi/rakentaminen/korjaustieto/Taloyhtiot/Energiatehokkuus/Energiahukan\\_vahentaminen/Ilmanvaihdon\\_tarkastus\\_ja\\_saato/Asuntokohtainen\\_koneellinen\\_tulo\\_ja\\_poistoilmanvaihto](https://www.ymparisto.fi/fi-fi/rakentaminen/korjaustieto/Taloyhtiot/Energiatehokkuus/Energiahukan_vahentaminen/Ilmanvaihdon_tarkastus_ja_saato/Asuntokohtainen_koneellinen_tulo_ja_poistoilmanvaihto). Viitattu 5.5.2021.

## Taulukko lämpötilojen pysyvyyksistä

Taulukko 4: Ulkolämpötilojen pysyvyydet tarkasteluvuonna 1987 Helsingissä ja Sodankylässä

Helsinki		Sodankylä	
Ulkolämpötila °C	Aika vuodesta %	Ulkolämpötila °C	Aika vuodesta %
-40,5	0	-40,5	0
-39,5	0	-39,5	0,011
-38,5	0	-38,5	0,068
-37,5	0	-37,5	0,137
-36,5	0	-36,5	0,263
-35,5	0	-35,5	0,422
-34,5	0	-34,5	0,548
-33,5	0	-33,5	0,685
-32,5	0	-32,5	0,902
-31,5	0	-31,5	1,301
-30,5	0	-30,5	1,667
-29,5	0,034	-29,5	2,066
-28,5	0,057	-28,5	2,603
-27,5	0,137	-27,5	3,071
-26,5	0,217	-26,5	3,539
-25,5	0,297	-25,5	4,018
-24,5	0,365	-24,5	4,578
-23,5	0,514	-23,5	5,194
-22,5	0,799	-22,5	6,016
-21,5	1,164	-21,5	6,804
-20,5	1,461	-20,5	7,591
-19,5	1,678	-19,5	8,425
-18,5	2,203	-18,5	9,326
-17,5	2,568	-17,5	10,06
-16,5	3,219	-16,5	10,91
-15,5	3,79	-15,5	11,84
-14,5	4,6	-14,5	12,87
-13,5	5,913	-13,5	14,09
-12,5	6,963	-12,5	15,75
-11,5	7,831	-11,5	17,49
-10,5	8,893	-10,5	19,33
-9,5	10,22	-9,5	21,44
-8,5	11,63	-8,5	23,48
-7,5	12,91	-7,5	25,75
-6,5	14,74	-6,5	27,65
-5,5	16,62	-5,5	29,67
-4,5	18,82	-4,5	32,02
-3,5	21,35	-3,5	35,42
-2,5	23,44	-2,5	38,42
-1,5	27,02	-1,5	43,44
-0,5	32,04	-0,5	47,73
0,5	38,64	0,5	52
1,5	43,6	1,5	56,08
2,5	47,73	2,5	59,17
3,5	51,43	3,5	61,2
4,5	54,66	4,5	63,09
5,5	57,16	5,5	65,01
6,5	59,26	6,5	67,52
7,5	61,37	7,5	70,48
8,5	64,09	8,5	73,01
9,5	66,84	9,5	75,98
10,5	69,43	10,5	78,39
11,5	72,49	11,5	80,76

## VTT:n raportti Ilmava-koneen lämpötilahyötysuhdemittauksista



TESTAUSSELOSTE NRO VTT-S-01067-07

Ilmanvaihtokone: Vallox 280

### Lämpötekniset suoritusarvot

Poistoilman lämmöntalteenoton lämmönsiirtimen tuloilman lämpötilahyötysuhde  $\eta_t = (t_2 - t_1)$

Poistoilmasta tuloilmaan lämpöä siirtävien lämmöntalteenottolaitteiden tyyppihyväksyntä- ja testausohje. Ympäristöministeriön kirje Dno 1765/545/81, 6.5.1983.

$t_1 = +5 \text{ °C}$

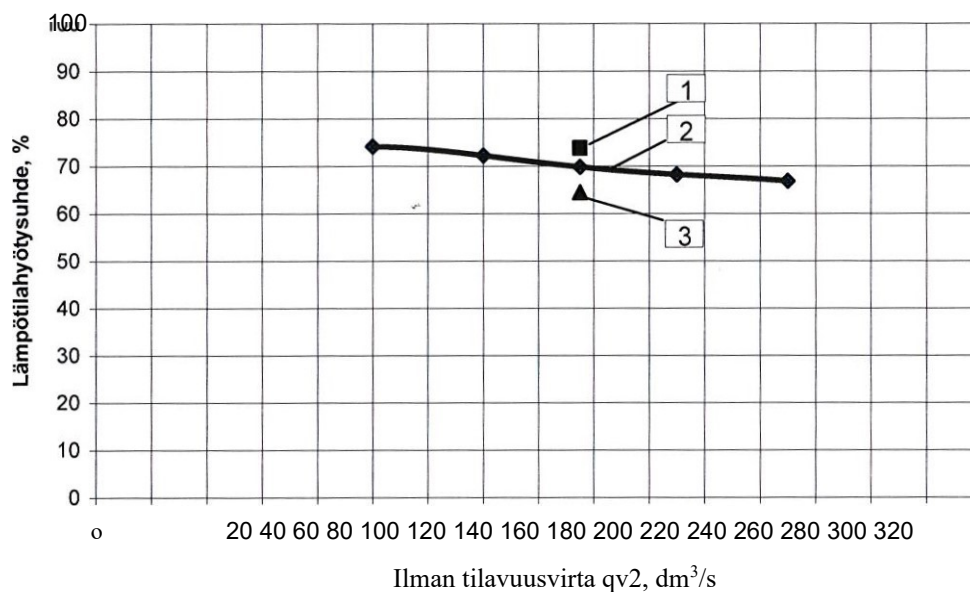
Ulkoilman lämpötila

$t_3 = +23 \text{ °C}$

Poistoilman lämpötila

Poistoilman suhteellinen kosteus ( $P_3 = 30 \%$   $t_2$  on tuloilman lämpötila, °C)

Tuloilman tilavuusvirta on annettu ilman tiheydessä  $1,20 \text{ kg/m}^3$ .



- 1 Poisto- ja tuloilman massavirtojen suhde  $q_{m3}/q_{m2}=1,17$
- 2 Poisto- ja tuloilman massavirtojen suhde  $q_{m3}/q_{m2} = 1,0$ ,
- 3 Poisto- ja tuloilman massavirtojen suhde  $q_{m3}/q_{m2} = 0,85$

Lämpötilahyötysuhteen mittaustulokset taulukkona (ilman tiheys  $\rho=1,20 \text{ kg/m}^3$ ):

Suure	Yksikkö	1	2	3	4	5
$q_{v2}$	$\text{dm}^3/\text{s}$	100	140	175	210	250
		74	72	64/70/740	68	67

(1 Tuloilman tilavuusvirta  $175 \text{ dm}^3/\text{s}$  ja poistoilman tilavuusvirta  $149/175/204 \text{ dm}^3/\text{s}$  eli poisto- ja tuloilman massavirtojen suhde  $q_{m3}/q_{m2} = 0,85; 1,0; 1,17$ ).

## VTT:n raportti Ilmava-koneen virtausteknisistä suoritusarvoista

20.4.2004/MN

Ilmanvaihtokone: Vallox 252

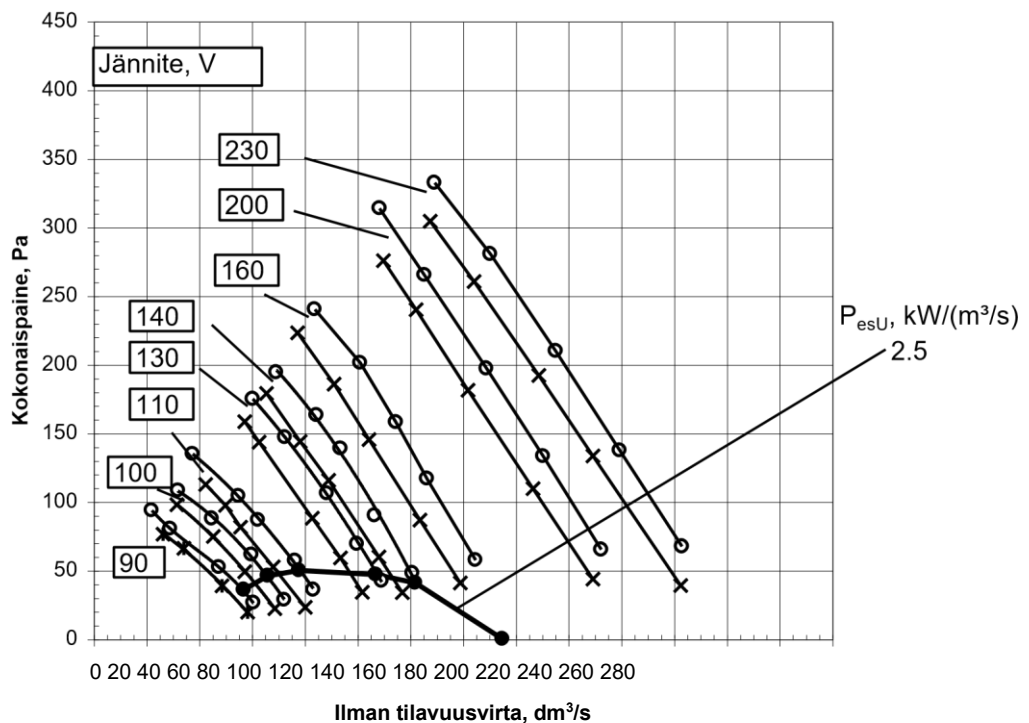
Tuloilmapuhallin EBM 410 W, ilmansuodatin G3+F7

Poistoilmapuhallin EBM 410 W, ilmansuodatin G3+F5 **Virtaustekniset suoritusarvot** Ilman tiheys on 1,20 kg/m<sup>3</sup>.

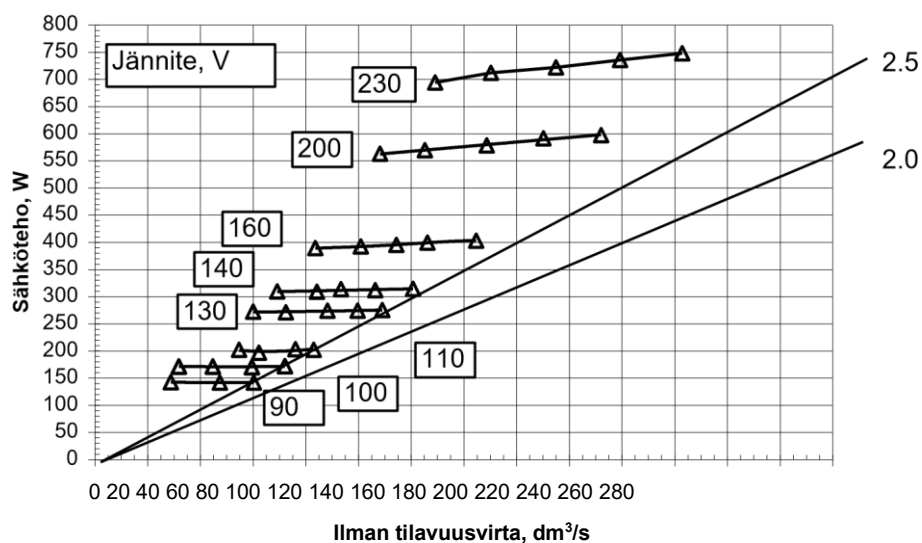
x Ilmanvaihtokoneen tuloilmapuolen paine (tulo- ja ulkoilmakanavan välinen paine-ero) o Ilmanvaihtokoneen poistoilmapuolen paine (jäte- ja poistoilmakanavan välinen paine-ero)

$\Delta$  Ilmanvaihtokoneen sähköteho

$P_{esU}$  on ilmanvaihtokoneen ominaissähköteho



$P_{esU}$ , kW/(m<sup>3</sup>/s)



Ilmanvaihtokone: Vallox 252

Tuloilmapuhallin EBM 410 W, ilmansuodattimet G3+F5

Poistoilmapuhallin EBM 410 W, ilmansuodatin G3 **Virtaustekniset suoritusarvot** Ilman tiheys on 1,20 kg/m<sup>3</sup>.

x Ilmanvaihtokoneen tuloilmapuolen paine (tulo- ja ulkoilmakanavan välinen paine-ero) o Ilmanvaihtokoneen poistoilmapuolen paine (jäte- ja poistoilmakanavan välinen paine-ero)

Δ Ilmanvaihtokoneen sähköteho

P<sub>esU</sub> on ilmanvaihtokoneen ominaissähköteho

