

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Talotekniikan koulutusohjelma

Janne Korhonen

**Ilmanvaihtokoneiden todellinen ominaissähköteho ja
painehäviötarkastelu**

Insinööriyö 8.10.2010

Ohjaaja: toimitusjohtaja Marko Holopainen
Ohjaava opettaja: lehtori Sakari Sainio

Tekijä Otsikko	Janne Korhonen Ilmanvaihtokoneiden todellinen ominaissähköteho ja painehäviötarkastelu
Sivumäärä Aika	59 8.10.2010
Koulutusohjelma	talotekniikka
Tutkinto	insinööri (AMK)
Ohjaaja Ohjaava opettaja	toimitusjohtaja Marko Holopainen lehtori Sakari Sainio
<p>Insinööriyössä oli tavoitteena tutkia ilmanvaihtokoneiden ominaissähkötehoa, ts. SFP-lukua. Lisäksi oli tavoitteena tarkastella ilmanvaihtokanavistojen painehäviöitä ja sitä, miten paljon ne merkitsivät ominaissähkötehon lopputulokseen. Tutkimus tehtiin ilmanvaihtourakoitsijan käyttöön, koska aikaisemmissa kohteissa oli ollut epäselvyyksiä SFP-luvun mittaamisessa ja mittausten menetelmässä. Lisäksi haluttiin saada tietoa, millaisiksi SFP-luvut muodostuvat valittujen ilmanvaihtokoneiden myötä. Kohde oli Helsinki-Vantaan lentoaseman T2-terminaalin lähtöaulojen 3 ja 4 saneeraustyömaa. Tutkimusalue rajattiin kahteen eri alueeseen, jotka olivat lähtöselvitysalue ja Tax-Free-myymäla.</p> <p>SFP-lukujen selvittämiseksi mitattiin puhaltimien verkosta ottamia sähkötehoja suunnitelmien mukaisilla ilmavirroilla. Lisäksi arvioitiin sähkötehoon vaikuttavia tekijöitä mittaamalla kanavistojen todellisia painehäviöitä.</p> <p>Lähtöselvitysalueen ilmanvaihtokoneen todellinen mitattu ominaissähköteholuku oli 1,05 kW/(m³/s) ja Tax-Free-myymälan 1,62 kW/(m³/s). Nämä arvot olivat 48 % ja 19 % pienemmät kuin vaadittu taso 2,0 kW/(m³/s). Lähtöselvitysalueen mitatut painehäviöt olivat 54 % suunniteltua pienemmät ja Tax-Free-myymälan 51 % pienemmät. Tulokset saatiin mittaamalla kaikki painehäviötekijät mitattavan kanaviston osuudella, vaikeimman haaran mukaisesti.</p> <p>Hyvällä toteutussuunnittelulla ja toteutuksella päästään pieniin painehäviöihin, jonka perusteella ilmanvaihtokoneet voidaan mitoittaa optimaalisesti. Tällöin on mahdollista saavuttaa haluttu SFP-arvo hieman edullisimmilla ilmanvaihtokoneilla kuin tässä tapauksessa oli valittu. Tutkimuksesta on hyötyä tulevien ilmanvaihtotöiden suunnitteluissa, toteutuksissa ja mittauksissa.</p>	
Hakusanat	ominaissähköteho, SFP-luku, Specific Fan Power

Author	Janne Korhonen
Title	Specific Fan Power in ventilation units and pressure drop analysis
Number of pages	59
Date	8 October 2010
Degree Programme	Building services Engineering
Degree	Bachelor of Engineering
Instructor Supervisor	Marko Holopainen, CEO Sakari Sainio, Senior Lecturer
<p>The objective of this thesis was, firstly, to examine the Specific Fan Power (SFP) in ventilation units, secondly, to study the pressure drops in ventilation ducts, and finally, their effect on the total Specific Fan Power. The research was created for ventilation contractors, to remove the confusion concerning both the measuring methods and the actual measuring of the SFP value. Furthermore, more information about how the SFP values developed with the ventilation units that were selected for the renewal of the departure halls 3 and 4 at the Helsinki Airport T2- terminal was required. The study was carried out in the departure area and the Tax-Free shop.</p> <p>To get the SFP values, the power used by the fan with the planned air volume was measured. In addition, the pressure drops in the ventilation ducts were measured to evaluate factors with an effect of the electric power.</p> <p>The actual measured SFP value in the ventilation unit of the departure hall was 1.05 kW/(m³/s), and in that of the Tax-Free shops 1.62 kW/(m³/s). These values were 48 % and 19 % less than the required level of 2.0 kW/(m³/s). The pressure drop in the ventilation ducts of the departure halls was 54 % less than planned, and the pressure drop in the ventilation ducts of the Tax-Free shops 51 % less than planned. The results were obtained by measuring the pressure drop in the most complex route of the duct system.</p> <p>With careful design and completion, the pressure drops in the system get smaller and optimal ventilation units can be selected. Thereby the achievement of the desired SFP values is possible with cheaper ventilation units.</p>	
Keywords	SFP, specific fan power, fan system efficiency, fan efficiency

Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

1	Johdanto	6
2	Ominais sähkötehon määritykset	7
2.1	Ominais sähkötehon laskenta	10
2.2	Ominais sähkötehon määrittäminen koko ilmanvaihtojärjestelmälle	11
2.3	Ominais sähkötehon määrittely yksittäisille ilmankäsittely koneille tai puhaltimille	12
2.4	Muuttuvan ilmavirran ominais sähkötehon määrittäminen	12
3	Sähkötehon mittaaminen	13
4	Ilmanvaihtokoneiden- ja kanavisto-osien painehäviöt	14
5	Kohteen ilmanvaihtosuunnitelmat	19
5.1	Laitesuunnitelmat	20
5.2	Ilmanvaihtokoneiden valinnat	22
5.3	Ilmanvaihtokanaviston suunnitelmat	26
6	Toteutettu ilmanvaihtojärjestelmä ja -kanavisto	27
6.1	Ilmanvaihtokoneiden todelliset painehäviöt	28
6.1.1	Raitis- ja jäteilmakanavistojen todelliset painehäviöt	29
6.1.2	Ilmanvaihtokoneiden todellisten painehäviöiden vertailu suunniteltuihin	35
6.2	Kanaviston todellinen painehäviö	35
6.2.1	Todelliset osapainehäviöt	36
6.2.2	Painehäviöihin vaikuttavat tekijät	38
6.2.3	Ilmanvaihtokanaviston todellisten painehäviöiden vertailu suunniteltuihin	40
7	Ominais sähkötehon määrittäminen	40
7.1	Suunnitelmien mukaan lasketut ominais sähköteholuvut	40
7.2	Ilmanvaihtokoneiden sähkötehon mittaus	41
7.3	Tutkimusalueen ilmavirrat	43
7.4	Ominais sähkötehon laskenta	44
8	Todellisen ominais sähkötehon vertailu suunniteltoon	44

9 Yhteenveto	45
Lähteet	47
Liitteet	
Liite 1: +60,400 taso, IV-koneen 392TK/PK alkuperäinen suunnitelma	49
Liite 2: +60,400 taso, IV-koneen 394TK/PK alkuperäinen suunnitelma	50
Liite 3: +60,400 taso, IV-koneen 392TK/PK Consti Talotekniikan suunnitteleva kuva	51
Liite 4: +60,400 taso, IV-koneen 394TK/PK Consti Talotekniikan suunnitteleva kuva	52
Liite 5: +58,200 taso, alkuperäinen suunnitelma ilmanvaihtokonehuoneen alapuolisesta tilasta	53
Liite 6: +55,500 taso, Tax-Free-myymän ilmanvaihtokanaviston alkuperäinen suunnitelma	54
Liite 7: +52,500 taso, lähtöselvitys/jonotusalueen 3/1 ilmanvaihtokanaviston alkuperäinen suunnitelma	55
Liite 8: +58,200 taso, kanavatilán todelliset kanava-asennukset	56
Liite 9: +60,400 taso, IV-koneen 392 TK/PK toteutetut asennukset	57
Liite 10: +60,400 taso, IV-koneen 394 TK/PK toteutetut asennukset	58
Liite 11: 392- ja 394TK/PK IV-koneiden ilmanmittauspöytäkirja	59

1 Johdanto

Tämän tutkimuksen tarkoitus on selvittää ilmanvaihtokoneiden ominaissähköteho- lukuun vaikuttavat tekijät ja mittausmenetelmä. Ilmanvaihtokoneiden ominaissähkötehon saavuttaminen aiheuttaa usein vaikeuksia ilmanvaihtolaiteiden valinnoissa ja ilmanvaihtoasennuksien toteutuksessa.

Tutkimuksessa tarkastellaan Helsinki-Vantaan lentoaseman terminaalin T2 lähtöaulojen 3 ja 4 saneeraustyömaan kahta ilmanvaihtokonetta, jotka palvelevat lähtöselvitystiskejä ja Tax-Free-myymlää. Ilmanvaihtojärjestelmissä on tulo- ja poistoilmakoneet regeneratiivisilla lämmöntalteenottokiekkoilla. Terminaali T2 on rakennettu vuonna 1969, jolloin ensimmäinen ilmanvaihtojärjestelmä on toteutettu. Ilmanvaihtojärjestelmiä on uusittu useaan otteeseen, ja vuonna 2010 se uusitaan jälleen.

Ominaissähköteholukuvaatimus tulo- ja poistoilmakoneille Helsinki-Vantaan lentoasemalla on $2,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})/\text{koneyksikkö}$. Vanhojen ilmanvaihtokoneiden ominaissähkötehoa ei määritellä tässä tutkimuksessa. Lentoasemalla halutaan kaikkien uusien yksittäisten tulo- ja poistoilmakoneyksiköiden ominaissähkötehon olevan maksimissaan $2,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$.

Tutkimustyö on tehty Consti Talotekniikka Oy:lle. IV-suunnitelmat ovat kokonaisuudessa Projectus Team Oy:n tekemät, mutta IV-koneiden viimeistely- ja parannussuunnittelu on Consti Talotekniikka Oy:n suunnittelema. Consti Talotekniikalla on pitkä kokemus ilmanvaihtojärjestelmien suunnittelusta. Uusilla suunnitelmilla pyritään parantamaan alkuperäisiä suunnitelmia entistä paremmiksi energiatalouden, akustiikan, virtaustekniikan, ja tilasuunnittelun kannalta.

Tutkimuksesta on hyötyä Consti Talotekniikalle, Finavialle ja Projectus Teamille. Tutkimuksesta selviävät saneerauskohteen aiheuttamat syyt mahdollisiin lisäenergiakustannuksiin ja laitevalintojen aiheuttamiin lisäkustannuksiin. Ihannetavoite toteutuksessa olisi, jos SFP-luku yksittäiselle ilmanvaihtoyksikölle jäisi hieman alle $2,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$, koska silloin laitevalinnoissa ja kanaviston toteutuksessa on onnistuttu

sekä haluttu sähköenergiankulutus tavoitettu. SFP-luvun ylittyessä reilusti laitteet ja kanavisto eivät ole optimaalisia silloin kun energiakustannukset nousevat korkeammiksi kuin halutaan. SFP-luvun ollessa reilusti alle vaatimuksen kanavisto ja koneet ovat liian väljiä, mikä puolestaan nostaa laitekustannuksia sekä vaatii enemmän tilavarauksia.

Lisäksi tutkimuksesta selviää oikeaoppinen SFP-luvun mittaus- ja laskentaperiaate sekä mittauksiin soveltuva mittalaite. Näistä asioista työmailla on ollut tiedonpuutetta. SFP-lukua varten, verkosta otettu sähköteho on yleensä mitattu tavallisella pihtiampeerimittarilla, joka ei osaa ottaa huomioon taajuusmuuttajan aiheuttamaa vaikutusta siniaaltoon eikä moottorin $\cos \varphi$ -arvoa.

2 Ominais sähkötehon määritykset

Ominais sähköteho määräytyy rakennuksen kaikkien puhaltimien yhteenlaskettu verkosta otettu sähköteho [kW] jaettuna suuremmalla, ilmanvaihtojärjestelmän mitoitusjäteilmavirralla tai mitoitusulkoilmavirralla [m^3/s], riippuen kumpi on suurempi. Ominais sähköteho voidaan laskea yksittäisille puhaltimille, kun se rajataan yksiselitteisesti ja kerrotaan, mistä luku on laskettu. [1, s. 177.] Tutkimuksessa esitetään myös perusteelliset laitevalinnat ilmanvaihtokanavistoihin, jotta saadaan kokonaiskuva ilmanvaihtojärjestelmän painehäviöistä ja siitä mihin sähköä kuluu.

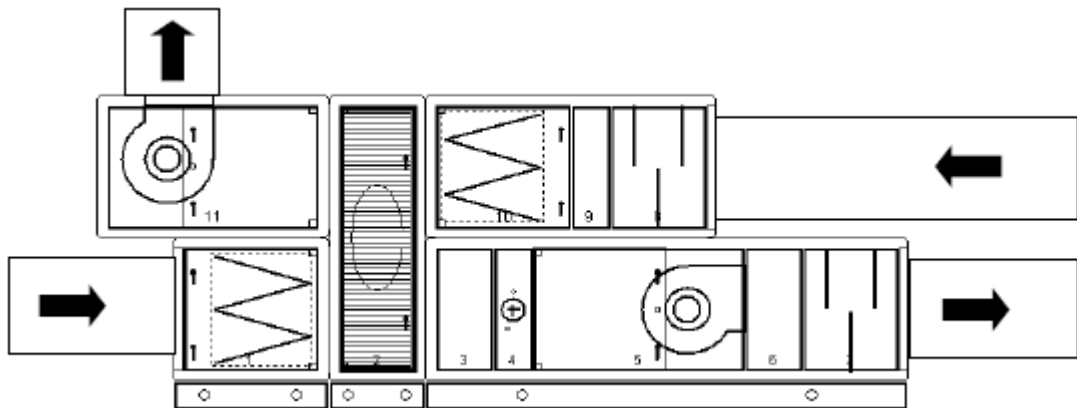
Ominais sähkötehon määrityksessä on monta tekijää. Suunnitelmat, laitevalinnat ja toteutus vaikuttavat merkittävästi lopputulokseen. Suunnitelmien täytyisi vastata toteutunutta kokonaisuutta, jotta teoriassa laskettu ominais sähköteho toteutuisi. Suunnitelmien perusteella valitaan laitteet ja rakennetaan järjestelmä. Järjestelmän rakentaminen ei pitäisi vaikuttaa merkittävästi lopputulokseen, varsinkaan uudisrakennuksissa. Saneerauskohteissa konevalinnat ja kanavistojen toteutus vaikuttaa enemmän. Toteutukset tehdään suunnittelijan piirtämien kuvien mukaisesti, mutta näin ei voida menetellä kaikissa tapauksissa, koska vanhat rakennukset sisältävät jo entuudestaan tekniikkaa ja tietämättömiä rakenteita vuosien takaa. Nämä tekijät

vaikuttavat merkittävästi todellista toteutusta, ja tällöin joudutaan usein tekemään kompromisseja, jotka vaikuttavat ominaissähkötehon lopputulokseen.

Laitevalinnoissa vaikuttaa myös ilmanvaihtokoneen ja -kanaviston väljyys. Jos valitaan pinta-alaltaan pienempi kone ja kanavisto, se nostaa ominaissähkötehoa. Jos valitaan suurempi, tämä pienentää ominaissähkötehoa. Laitevalinnoissa suuremmat ilmanvaihtokoneet nostattavat kustannuksia, joka taas vaikuttaa kannattavuuteen elinkaarikustannuksien näkökulmasta.

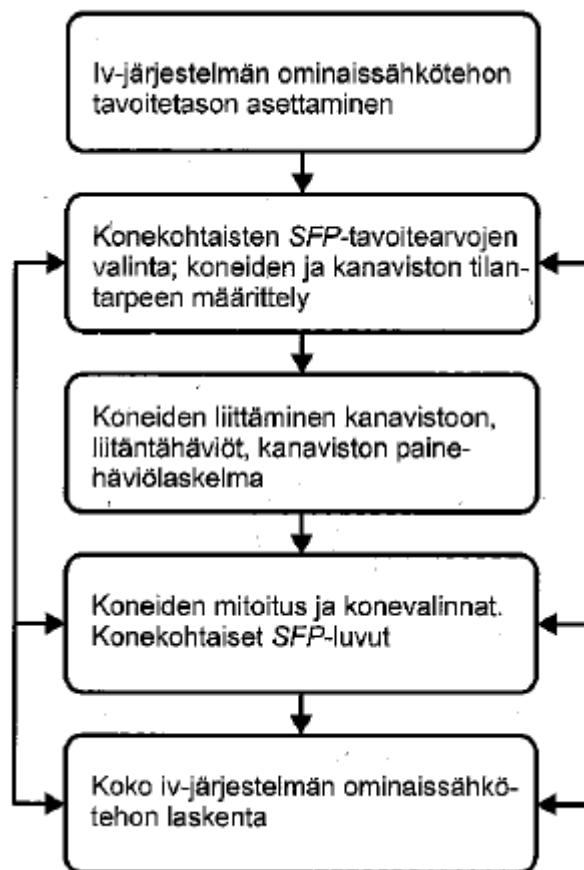
Ominaissähkötehon lukuarvojen todentamisessa koneiden ilmapvirtassuodattimet tulee olla puhtaita ja lämmönsiirtimet kuivina, jotta ominaissähkötehon määrittämiseen ei tule ylimääräistä painehäviötä. Suunnitelmat määräävät ominaissähkötehon, jonka tilaaja tai käyttäjä on halunnut toteutuvan. Ilmanvaihtokoneita valittaessa on tavoitearvo alitettava. Esimerkiksi arvo $2,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ alittuu siten, että kaikkien ilmanvaihtokoneiden painotettu keskiarvo ei ylitä haluttua ominaissähkötehon kulutusta. Yksittäisten koneiden kohdalla voidaan sallia konekohtaisia ylityksiä, mutta yhteenlaskettu loppusumma ei saa ylittyä. [2, s. 5.]

Ilmanvaihtojärjestelmän puhaltimien sähkökulutukseen vaikuttavat kaikki järjestelmässä olevat laitteet ja komponentit. Ilmankäsittelykone aiheuttaa yleensä suurimman painehäviön järjestelmälle. Tyypillinen jakauma ilmanvaihtojärjestelmässä on, että ilmanvaihtokone aiheuttaa noin 700 Pa:n painehäviön ja kanavisto 250 Pa:n painehäviön. Tällöin muodostuu 950 Pa:n kokonaispainehäviö. Kanaviston paineenkorotus tuotetaan ilmanvaihtokoneen puhaltimella, joka vaikuttaa sähköenergiankulutukseen. Kuvassa 1 on esitetty tyypillinen ilmanvaihtokone pyörivällä lämmöntalteenottolaitteella.



Kuva 1. Tyypillinen ilmanvaihtokone pyörivällä lämmöntalteenottokennolla.

Kuvan 2 kaaviossa on esitetty ominaissähkötehon suunnittelun kulkuprosessi.



Kuva 2. Ominaissähkötehon suunnittelun kulkuprosessi [2, s. 16].

Ilmastointijärjestelmän ominaissähkötehon määrittämisessä otetaan huomioon kaikkien ilmanvaihtopuhaltimien verkosta ottama sähköteho. Laskennan ulkopuolelle jätetään kaikki muut laitteet, kuten pumput, lämmityspatterit, lämmöntalteenottolaitteiden

moottorit, yksittäiset kiertoilmapuhaltimet sekä vastaavat laitteet, ts. kaikki laitteet, jotka eivät palvele ilmanvaihtoa. [3, s. 1.]

2.1 Ominais sähkötehon laskenta

Ominais sähkötehon laskennassa lähtökohtana on puhaltimen hyötyteho P_F , jonka se tuottaa tarvittavan ilmavirran liikuttamiseksi tietyillä vastusolosuhteilla. Puhaltimen hyötyteho lasketaan kaavalla 1.

(1)

jossa

P_F on puhaltimen hyötyteho [kW]
 q_v on puhaltimen ilmavirta [m^3/s]
 Δp_F on puhaltimen paineenkorotus [Pa]

Puhaltimen moottorin ottama sähköteho lasketaan kaavalla 2.

(2)

jossa

P_E on puhallinmoottorin ottama sähköteho
 η_{kok} on puhallinkäytön kokonaishyötysuhde

Ominais sähköteho SFP on sähköverkosta otettu sähköteho jaettuna ilmavirralla, ja se lasketaan kaavalla 3.

(3)

Ominais sähköteho SFP on ilmanvaihtojärjestelmän kokonaispainehäviö sisältäen ilmanvaihtokoneiston ja kanaviston painehäviön jaettuna kokonaishyötysuhteella. Ominais sähkötehoon voidaan siis vaikuttaa monella eri tekijällä.

Kokonaishyötysuhde η_{kok} muodostuu monesta eri osasta. Kaavalla 4 lasketaan sähköverkosta ottama sähköteho.

(4)

jossa

$P_{\text{sähkö}}$	on	verkosta ottamana sähköteho [kW]
$\Delta P_{\text{puhallin}}$	on	puhaltimen paineenkorotus [Pa]
Q_{puhallin}	on	puhaltimen ilmavirta [m^3/s]
η_{puhallin}	on	puhaltimen hyötysuhde
$\eta_{\text{käyttö}}$	on	voimansiirron hyötysuhde
η_{moottori}	on	moottorin hyötysuhde
$\eta_{\text{säätö}}$	on	mahdollisen taajuusmuuttajan hyötysuhde

2.2 Ominais sähkötehon määrittäminen koko ilmanvaihtojärjestelmälle

Ilmanvaihtojärjestelmän ominais sähkötehon määrittämiseen lasketaan rakennuksen kaikkien ilmanvaihtoon liittyvien puhaltimien yhteenlaskettu sähköverkosta ottama sähköteho [kW] jaettuna ilmanvaihtojärjestelmän koko mitoitusjäte- tai mitoitusulkoilmavirralla riippuen siitä, kumpi on suurempi. Ilmanvaihtojärjestelmien sähköverkosta ottaman sähköteho sisältää kaikkien puhaltimien lisäksi mahdollisten taajuusmuuttajien ja muiden tehonsäätölaitteiden sähkötehon. [3, s. 2.]

Kaavalla 5 lasketaan ominais sähköteho ts. SFP-luku.

(5)

jossa

SFP	on ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho [kW/(m ³ /s)]
$P_{\text{tuloilmapuhaltimet}}$	on tuloilmapuhaltimien ottama sähköteho yhteensä [kW]
$P_{\text{poistoilmapuhaltimet}}$	on poistoilmapuhaltimien ottama sähköteho yhteensä [kW]
Q_{max}	on mitoittava jäteilma tai ulkoilmavirta [m ³ /s]

2.3 Ominaissähkötehon määrittely yksittäisille ilmankäsittely koneille tai puhaltimille

Ominaissähköteho yksittäiselle ilmanvaihtokoneelle tai puhaltimelle määritellään periaatteessa samalla tavalla kuten kokonaiselle ilmanvaihtojärjestelmälle, mutta nimittäjänä on suurempi ilmamäärä, joko tulo- tai poistoilmavirta. Yksittäiselle puhaltimelle ominaissähköteho lasketaan puhaltimen sähköverkosta ottama sähköteho [kW] jaettuna puhaltimen ilmavirta [m³/s].

2.4 Muuttuvan ilmavirran ominaissähkötehon määrittäminen

Muuttuvan ilmavirran kohteissa ominaissähköteho lasketaan mitoitusilmavirralla huomioon ottamatta mahdollisia eroavaisuuksia käyttöajojen muuttujista.

Rakentamismääräyskokoelman osa D2 antaa luvan ylittää normaalin ominaissähköteholuvun 2,5 kW/(m³/s), silloin kun rakennuksessa joudutaan käyttämään tavanomaista suurempia painehäviön omaavia laitteita, kuten Hepa- tai kemiallisia suodattimia. Tällöin ominaissähköteho voi nousta 0,5 kW/(m³/s), ja olla kokonaisuudessa 3,0 kW/(m³/s). [3, s. 3.]

3 Sähkötehon mittaaminen

Ominais sähkötehon laskentaa varten mitataan verkosta otettu sähköteho pihtiampeerimittarilla puhaltimen jokaisesta vaiheesta taajuusmuuttajan tulopuolelta. Tulokset on hyvä mitata esimerkiksi sähkökeskukselta taajuusmuuttajalle menevistä vaiheista tai taajuusmuuttajan liitännäkohdasta riippuen siitä, kummasta on helpompi mitata. Mittauksia varten olisi suotavaa pyytää sähköasentajaa kytkemään johtimet siten, että niissä olisi hyvä lenkki, johon pihtiampeerimittarin saa vaivattomasti kiinni.

Mittauksissa on hyvä olla pihtiampeerimittari, joka mittaa samanaikaisesti virran, jännitteen ja näyttää verkosta otettavan sähkötehon. Kuvassa 3 on esimerkki mittaukseen soveltuvasta pihtiampeerimittarista Fluke 345. Oikeanlainen mittari pystyy laskemaan jännitteen ja virran välisen vaihekulman $\cos \varphi$ -arvon ja näyttää pätötehon kilowatteina ko. mitattavan vaiheen perusteella koko moottorille. [2, s. 19.] Jos mittari on sellaista mallia, jossa ei ole jännitejohdinliittimiä, voidaan mitattu ampeeritulos kertoa jännitteellä, jolloin saadaan sama tulos watteina kuin sellaisella mittarilla, jossa on jänniteliittimet.



Kuva 3. SFP-luvun määrittämiseen soveltuva pihtiampeerimittari Fluke 345 [4].

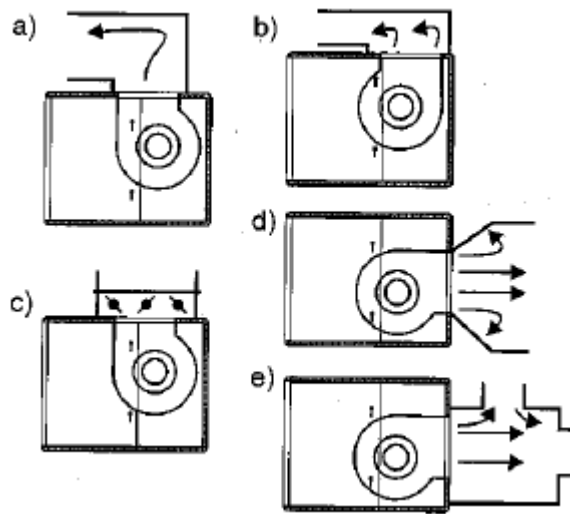
Mittari kiinnitetään mukana olevien kaapeleiden avulla siten, että mittarin ja kaikkien kolmen vaiheen välille kytketään johdot. Virta mitataan pihdillä yksi vaihe kerrallaan. Näin saadaan kolme mittaustulosta joiden keskiarvo on oikea SFP-lukuun laskettava arvo. Fluke 345:n mittavirhetoleranssi ampeerimittauksessa on 1,5 %. [5, s. 18.] Näin saadaan SFP-luvun laskentaa varten varsin hyvä tulos.

Ominais sähkötehoa voidaan myös mitata sellaisella pihtimittarilla, jolla mitataan pelkästään yhden vaiheen jännitettä. Silloin tarvitaan ainakin 2–3 erillistä mittausta, riippuen mitattavan kuorman kytkennästä. Mittalaitteessa on oltava ominaisuus, jolla mitataan todellista tehollisarvoa. Tätä kutsutaan myös true-RMS-mittariksi, (RMS = root mean square, value). Mitattavan taajuusalueen tulisi ulottua 3 kHz:iin. Tällainen mittari pystyy huomioimaan sähkövirran poikkeamat siniaallossa riittävän hyvin. [6, s. 143.]

Pienemmissä ilmanvaihtojärjestelmissä, joissa ei ole taajuusmuuttajia voidaan verkosta otettu sähköteho mitata moottorin syöttökaapelista. Jos ilmanvaihtokoneessa on pyörivä lämmöntalteenottolaite, se pitää pysäyttää mittauksen ajaksi, koska sen ottama teho ei kuulu mittaukseen. Ominais sähköteho voidaan myös laskea koneiden tehokäyrästä silloin kun koneelle löytyy tyyppihyväksyntä tai sertifikaatti.

4 Ilmanvaihtokoneiden- ja kanavisto-osien painehäviöt

Ilmanvaihtokoneiden suunnittelussa on tärkeää valita puhaltimien ja muiden laitteiden lisäksi oikeanlaiset kanavaliitännät. Kätevimmin suunnittelu onnistuu valmistajien mitoitusohjelmilla, joihin on ohjelmoitu valmiiksi tietty määrä vakioliitännöitä. Näistä tulisi valita jokin sopiva. Mikäli joudutaan valitsemaan virtausteknisesti huono liitos, täytyy puhaltimelle arvioida lisäpainehäviöitä tai tehdä laskelmia. Ilmastointikoneen liitännällä on suuri vaikutus puhaltimen ottamaan sähkötehoon.



Kuva 4. Epäedullisia kanavaliitännöjä ilmanvaihtokoneeseen [7, s. 80].

Kuvassa 4 on esitetty epäedullisia kanavaliitännöjä ilmanvaihtokoneeseen.

Esimerkissä *a* puhallin on virtausteknisesti väärinpäin suunniteltu. Esimerkissä *b* kanavisto on liian ahdas ja aiheuttaa kanavistoon tarpeetonta painehäviötä.

Esimerkissä *c* sulkupelti on liian lähellä puhallinta, mikä aiheuttaa ylimääräistä painehäviötä. Esimerkissä *d* ilmavirtaus laajenee liian jyrkästi, mikä aiheuttaa pyörteitä kanaviston reunoissa.

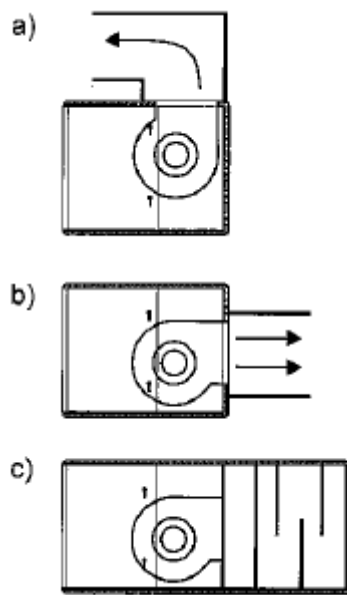
Esimerkissä *e* puhaltimen kammioon on liitetty haara, mikä vaikeuttaa kanaviston tasapainotusta, dynaamisen paineen syntymisen takia.

Dynaaminen paine hävittää puhaltimen dynaamista painetta. [7, s. 80.]

Kuvassa 5 on esitetty oikeanlaisia liitännätapoja ilmanvaihtokanavistoon.

Esimerkissä *a* puhallin on suunniteltu virtausteknisesti hyvin ilmanvaihtokanavistoon eikä aiheuta ylimääräistä painehäviötä kuten kuvan 4 esimerkissä *a*. Suunnitelmatapaa kuvan 5 tilanteessa *a* voisi parantaa siten, että puhaltimen päällä olevaan kulmaan olisi voitu tehdä pyöristetyt sisä- ja ulkokulmat. Lisäksi varustaa se ohjaussiivekkeillä.

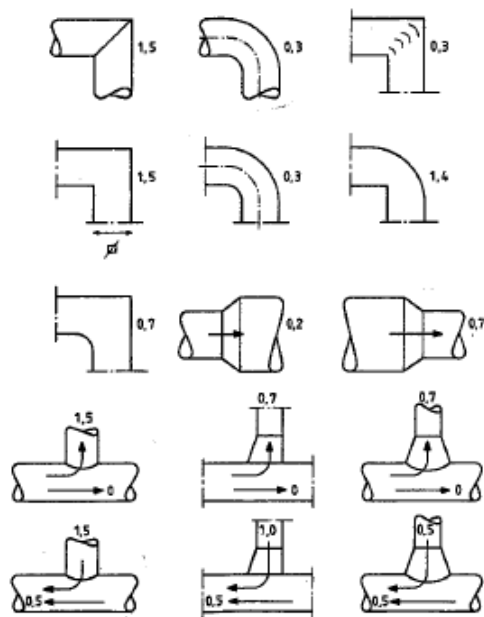
Esimerkissä *b* puhallin on liitetty suoraan kanavaan tai kammioon, joka on virtausteknisesti hyvä. Esimerkissä, *c* puhallin on liitetty äänenvaimentimeen tasaosan läpi. Tasaosan pituuden määrittää valmistajan mitoitusohjelma. Tutkimuskohteen puhaltimet ovat kaikki kammiopuhaltimia ja niiden dynaaminen paine on radiaalipuhaltimia pienempi, mutta periaate on sama molemmissa tapauksissa.



Kuva 5. Ilmanvaihtokoneen liitännätapa kavitäköön [7, s. 79].

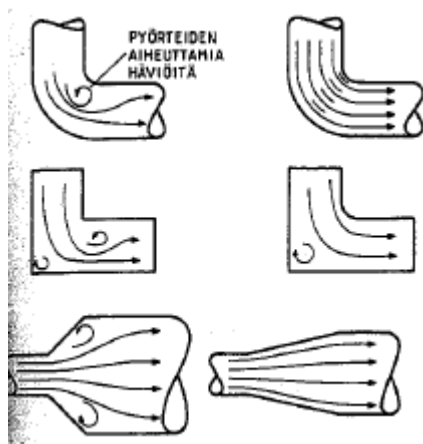
Ilmanvaihtokanavisto muodostuu monenlaisista osista, joista muodostuu oma osapainehäviö. Materiaalina käytetään yleensä sinkittyä teräskanavaa ja -osia, mutta käytetään myös ruostumatonta, haponkestävää ja alumiinikanavaa, kun ilmanlaatu on erilaista. Ilmanvaihtojärjestelmälle hyötysuhteeltaan edullisin vaihtoehto on pyöreä kierresaumakanava sekä pyöreät ilmanvaihto-osat. Näiden painehäviöt ovat pieniä suorakaidekanavan ja osien painehäviöön verrattuna. Ilmanvaihtokanavaosille on laskettu erilaisia kertavastuksia vakiotilanteissa. Ilmanvaihtokanavan virtaus on yleensä turbulenttista, mutta joissakin tilanteissa myös laminaarista. Turbulenttiset virtaukset aiheuttavat kanavaosille pyörteitä, joiden hallinta voi olla vaikeata. Kanavaosien valintaan ja niiden asennuksiin tulisi kiinnittää erityistä huomiota, jotta kanavisto olisi virtausteknisesti mahdollisimman hyvä. [8, s. 99.]

Kuvassa 6 on esitetty tyypillisille kanavaosille kertavastuskertoimia.



Kuva 6. Tyypillisten ilmanvaihto-osien kertavastuskertoimia [8, s. 100].

Kuvan 6 esitetyistä osista huomaa, minkälainen osa on virtausteknisesti hyvä. Kuvassa 7 on esitetty muutamien osien aiheuttamia virtauspyörteitä.



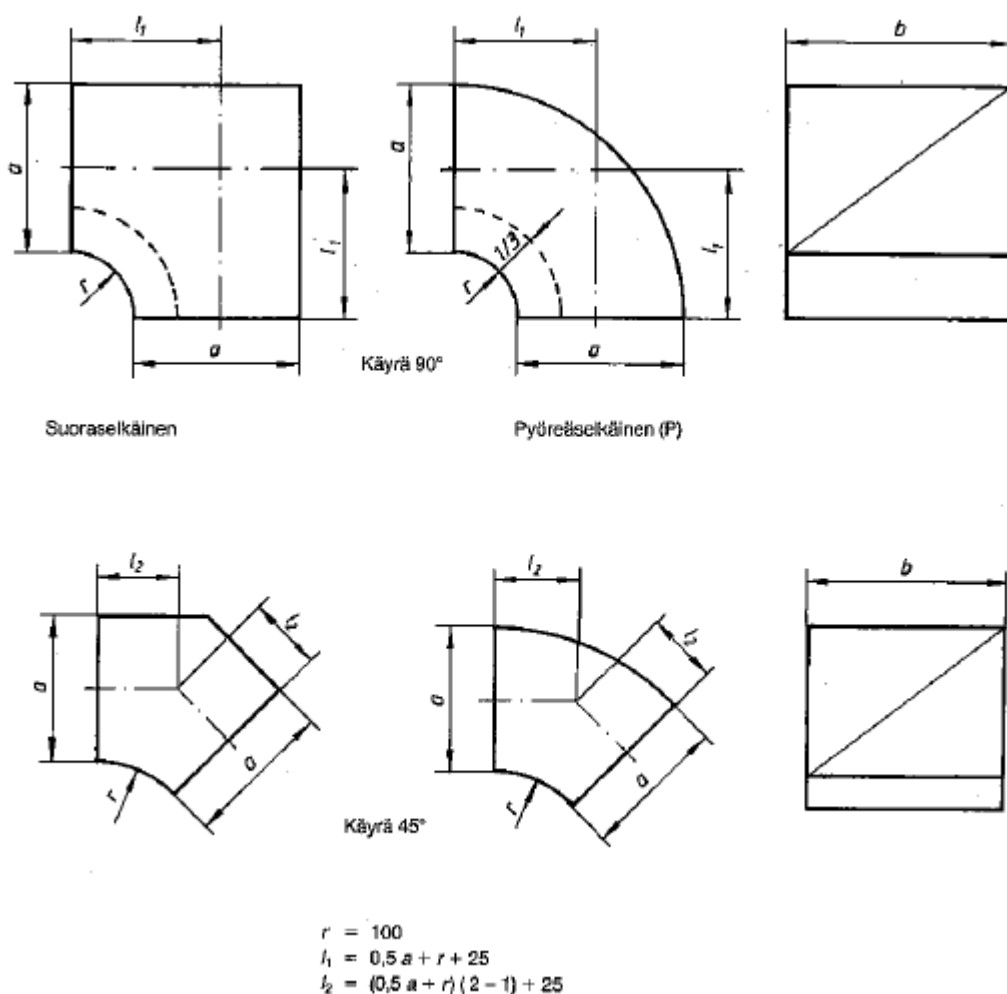
Kuva 7. Ilmanvirtauksia eräissä kanavaosissa [8, s. 99].

Kuvasta 7 huomaa, että ohjaussiivekkeillä varustettu kulma ei aiheuta pyörteitä ja pitkä muuntoyhde on selvästi parempi kuin lyhyt. Suorakaidekanavaosien pyörteet ovat runsaampia kuin pyöreiden. Kuvan 6 suorakaidekulman pyöreä sisäreuna parantaa virtausta, ja ilman pyöristettyä sisäkulmaa virtauksia tulee sekä sisä- ja ulkokulmaan. Suorakaidekulma varustettuna ohjaussiivekkeillä ja pyöristetyillä sisä- ja ulkokulmalla olisi paras vaihtoehto virtausteknisesti. Suorakaidekanavaa joudutaan yleensä

käyttämään silloin kun tilaa ei ole tarpeeksi pyöreälle kanavalle. Suorakaidekanavat mitoitetaan työmaalla tapauskohtaisesti. Aina ole tilaa mitoittaa osaa mahdollisimman hyväksi, ja saatetaan joutua tekemään virtausteknisesti huono ratkaisu.

Tutkimuskohteessa on jouduttu vaihtamaan pyöreitä kanavia, suorakaidekanaviin, lisäämään käyriä ja muita erikseen mitoitettuja osia.

Kuvassa 8 esitettyjen suorakaidekanavaosien mitoituseriaateissa on määritelty virtausteknisesti edulliset mitoitussäännöt. Suorakaidekanavia mitoittaessa kulmat tulisi varustaa yhdellä ohjaussiivekkeellä kun, mitta a on $\leq 600-800$ mm, ja kahdella ohjaussiivekkeellä, kun mitta a on ≥ 1000 mm. Ensimmäisen ohjaussiivekkeen etäisyys on $1/3$ mitasta a ja toisen $2/3$ mitasta a . [9, s. 62.]



Kuva 8. Esimerkkejä suorakaidekanavaosien mitoituksen perusteista [9, s. 62].

Paine-eromittauksissa on käytetty TSI:n uuden sukupolven DP-CALC 5825-mallista mittaria, joka on yksi markkinoiden parhaimmista ja tarkimmista mittareista.

Ilmamäärät ilmanvaihtokanavista on mitattu Pitot-putken avulla. Pyöreille kanaville viiden pisteen menetelmällä ja suorakaidekanaville tarvittavan monesta pisteestä tilanteen mukaan. Näin saadut tulokset ovat mahdollisimman luotettavia. Kuvassa 9 näkyy mittauksissa käytetty mittari.



Kuva 9. Paine-eromittari TSI DP-CALC-5825 [10].

5 Kohteen ilmanvaihtosuunnitelmat

Finavia Oyj on tilannut kohteeseen suunnittelun Projectus Team Oy:ltä. He ovat suunnitelleet Helsinki-Vantaan lentoasemalle monta kohdetta aikaisemmin. Projectus Teamillä on hyvä tieto kohteen entisistä suunnitelmista ja lentoaseman ilmanvaihtojärjestelmien toimintaperiaatteista. Näillä tiedoilla he ovat tehneet suunnitelmat parhaansa mukaan. Hyvistä suunnitelmista huolimatta kohteessa on erittäin paljon vanhaa olemassa olevaa tekniikkaa, mikä aiheuttaa toteutusvaiheessa muutoksia suunnitelmille.

Ilmanvaihtokonehuoneet sijaitsevat rakennuksen ylimmässä ja alimmassa kerroksessa. Kerroksia T2-terminaalissa on yhteensä seitsemän. Alkuperäisesti lentoaseman

terminaalissa ilmanvaihto on suunniteltu siten, että tuloilmakoneet ovat kellarin konehuoneissa ja poistoilmakoneet yläkerran konehuoneesta. Nyt suunnitelmiin tehtiin muutos, jossa periaatteena on, että yläkerran ilmanvaihtokonehuoneessa on tulo- ja poistokoneet. Kellarin ilmanvaihtokonehuoneessa on pelkästään tuloilmakoneita, vanhoja ja uusia sekaisin. Kaikki uudet ilmanvaihtokoneet on varustettu lämmöntalteenottolaitteilla. Likaista ilmaa käsittelevissä tiloissa ilmanvaihtokoneet on varustettu nestekiertoisilla lämmöntalteenottopattereilla; muissa tiloissa koneet on varustettu regeneratiivisilla lämmöntalteenottolaitteilla.

5.1 Laitesuunnitelmat

Uusien ilmanvaihtokoneiden perusvaatimuksena, Finavian mukaan on, että yksittäisen ilmanvaihtokoneen ominaissähkö ei ylittäisi $2.0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$. Ilmanvaihtokoneosien mitoituksille ja painehäviöille on kohteen urakka-asiakirjoissa määritelty tarkat minimi- ja maksimiarvot. Taulukkoon 1 on koottu määriytyksiä, joiden mukaisesti laitteet on valittu. Arvot ovat suoraan urakka-asiakirjoista, joista suunnittelija on määrittänyt tarkemmat tiedot LVI-työselostukseen. Arvot taulukossa ovat minimi- tai maksimiarvoja, joita urakoitsija ei saa ylittää eikä alittaa.

Taulukko 1. Koteloitujen ilmanvaihtokoneiden suunnittelun lähtöarvoja.

Koteloitujen ilmanvaihtokoneiden suunnittelun lähtötietoja	Kierros-luku	Taajuus	Jännite	Painehäviö	Ilman nopeus	Hyötysuhde	Lisätiedot
	[r/min]	[Hz]	[V]	[Pa], [kPa]	[m/s]	[%]	
Puhallin:							ominaissähköteho
varattu kanavapainehäviö				250 Pa			[2,0 [kW/(m ³ /s)]
puhaltimen moottori	1500	50	400				
Suodattimet:							Suodattimien pituus on 600 mm. Suodatusluokka: karkea on EU 3/85, hienosuodatin EU 5/65 ja EU 7/85
<i>karkeasuodatin</i>							
- alkupainehäviö				50 Pa	0,10...0,15		
- loppupainehäviö				≤ 180 Pa	0,10...0,15		
<i>hienosuodatin</i>							
- alkupainehäviö				100 Pa			
- loppupainehäviö				≤ 200 Pa	0,10...0,15		
Lämmöntalteenotto-patterit:							Lamellijako on 3 mm.
<i>nestekiertoiset</i>							putket kuparia, lamellit alumiinia.
lämmityspatterit				20 kPa	2,2		
jäähdytyspatterit				20 kPa	2,0		
lämmöntalteenotto-patterit					2,2	50	
<i>regeneratiiviset</i>				250 Pa		80	
pyörivät lämmöntalteenotto-kiekot							
Äänenvaimentimet				30 Pa			materiaali: Dacron
Sulku-, säätö-, ja kiertokiertoilmapelit					3,0		

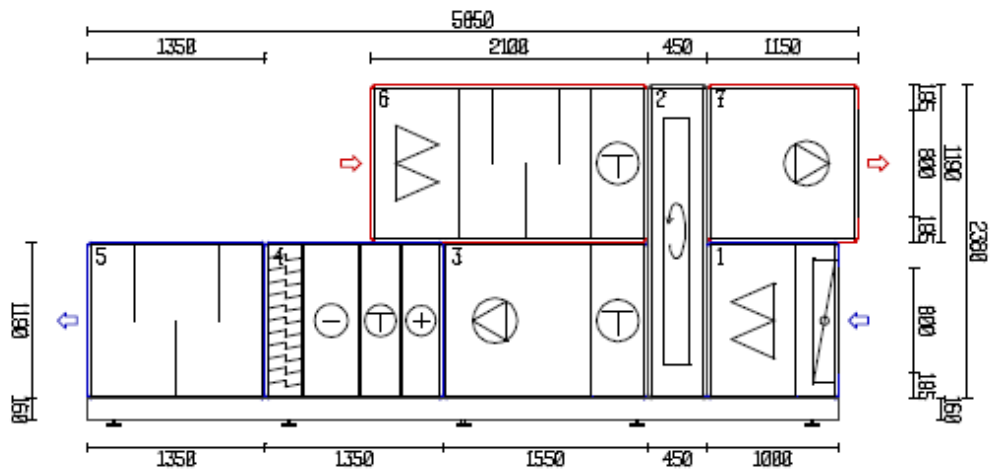
5.2 Ilmanvaihtokoneiden valinnat

Suunnitelmien perusteella päädyttiin valitsemaan Koja Oy:n valmistamat Future-merkkiset ilmanvaihtokoneet, joiden ominaisuudet, energiatehokkuus ja fyysiset ulkomitat olivat kohteeseen sopivat. T2-terminaalin lähtöselvitysalueen ja Tax-Free-myymläalueen ilmanvaihtokoneissa on tulo- ja poistoilma samassa paketissa. Koneissa on regeneratiiviset lämmöntalteenottokiekot ts. pyörivät lämmöntalteenottokiekot. Tutkimusalueen ilmanvaihtokoneita on kaksi kappaletta. Toinen palvelee lähtöselvitysalueen 3 jonotusaluetta 1 ja on nimeltään 392 TK/PK, ja toinen palvelee Tax-Free-myymlää ja on nimeltään 394 TK/PK.

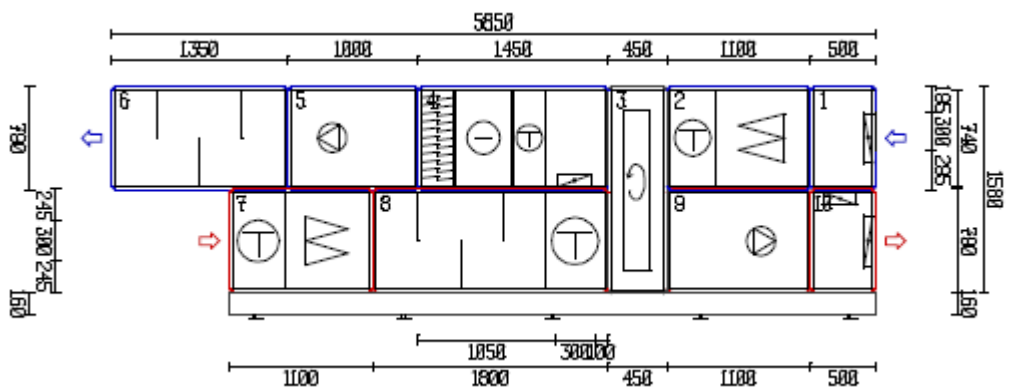
Jonotusalueen ilmanvaihdon tarve on 2,4 m³/s ja myymälän 1,2 m³/s.

Ilmanvaihtokoneiden mitoituksessa on käytetty Koja Oy:n omaa mitoitusohjelmaa Future, joka laskee suunniteltujen lähtöarvojen perusteella oikeankokoiset ja ominaisuuksiltaan kohteeseen soveltuvat koneet. Ohjelma laskee ja mitoittaa kaikille osakomponenteille painehäviöt, joiden perusteella puhaltimen paineenkorotus muodostuu. Future-ilmanvaihtokoneen mitoitusohjelman mitoittamat kuvat, ilmanvaihtokoneista 392 ja 394 esitetään kuvissa 10 ja 11. Mitoitusarvot esitetään taulukossa 3 ja 4. Kuvien 10 ja 11 koneosien numerointi vastaa taulukossa 2 ja 3 esitettyjen koneosien arvoja. Taulukoissa 2 ja 3 ilmanvaihtokoneiden 392 ja 394 SFP-luvut 1,80 kW/(m³/s) ja 1,94 kW/(m³/s) ovat Future-ohjelman laskemat. Arvot ovat muodostuneet valituista komponenteista ja vaadituista ominaisuuksista. Vaadittua SFP-lukua 2,0 kW/(m³/s) on tarkalleen ottaen vaikea tavoittaa.

Ilmanvaihtokoneet, jotka on varustettu regeneratiivisilla lämmöntalteenottokiekoilla, suunnitellaan yleensä siten, että raitis- ja tuloilma ovat koneen alakerrassa ja jäte- ja poistoilma yläkerrassa. Kohteessa IV-kone 394 TK/PK on asennettu toisinpäin, koska konehuoneen katto on kalteva molemmilta puolin. Raitis- ja jäteilmakanavistoa ilmanvaihtokoneelle, ei olisi ollut järkevä toteuttaa perinteisellä tavalla, jossa jäteilma viedään ylöspäin vesikatosta läpi.



Kuva 10. Lähtöselvitysalueen 3, jonotusalueen 1 ilmanvaihtokone 392 TK/PK.



Kuva 11. Tax-Free-myymälän ilmanvaihtokone 394 TK/PK.

Taulukko 2. Ilmanvaihtokoneen 392 TK/PK mitoitusarvot Future-mitoitusohjelmasta.

Ilmanvaihtokoneen 392 TK/PK kuvaus				
Sijainti	Yläkerran ilmanvaihtokonehuone			Hyöty- suhde
Vaikutusalue	Lähtöselvitysalueen 3, jonotusalue 1			[%]
Ilman tiheys	1,20	[kg/m ³]		
SFP-luku (ominaissähköteho)	1,80	[kW/(m ³ /s)]		
Ilmavirta				
- tulo	2,40	[m ³ /s]		
- poisto	2,40	[m ³ /s]		
Koneen sisäiset painehäviöt	Mitoituspainehäviö	Alkupaine- häviö	Loppupaine- häviö	
1.	[Pa]	[Pa]	[Pa]	
sulkupelti	2			
raitisilmasuodatin	117	78	193	
2.				
lämmöntalteenottokiekko				78
tuloilmapuoli	82			78
poistoilmapuoli	82			
3.				
tuloilmapuhallin	35 (pdyn)			78
kokonaispaineen korotus	664			
puhaltimen moottori				83
4.				
lämmityspatteri	18			
jäähdytyspatteri	51			
(ilmapuolen painehäviöt)				
5.				
äänenvaimennus (tuloilma)	35			
6.				
poistoilmasuodatin	49	34	100	
äänenvaimennus	31			
7.				
poistoilmapuhallin	35 (pdyn)			78
puhaltimen moottori	521			83

Taulukko 3. Ilmanvaihtokoneen 394 TK/PK mitoitusarvot Future-mitoitusohjelmasta.

Ilmanvaihtokoneen 394 TK/PK kuvaus				
Sijainti	Yläkerran ilmanvaihtokonehuone			Hyöty-suhde
Vaikutusalue	Tax-Free-myymäla			[%]
Ilman tiheys	1,20	[kg/m ³]		
SFP-luku (ominaissähköteho)	1,94	[kW/(m ³ /s)]		
Ilmavirta				
- tulo	1,20	[m ³ /s]		
- poisto	1,20	[m ³ /s]		
koneen sisäiset painehäviöt	mitoituspainehäviö	alkupaine-häviö	loppupaine-häviö	
1.	[Pa]	[Pa]	[Pa]	
kiertoilmatoiminto				
tuloilmasulkupelti	12			
poistoilmasulkupelti	31			
2.				
raitisilmasuodatin	135	90	213	
3.				
lämmöntalteenottokiekko				
tuloilmapuoli	96			75
poistoilmapuoli	96			75
4.				
jäähdytyspatteri (ilmapuolen painehäviö)	56			
5.				
tuloilmapuhallin	56 (pdyn)			78
kokonaispaineen korotus	732			
puhaltimen moottori				87
6.				
äänenvaimennus	39			
7.				
poistoilmasuodatin	60	42	116	
8.				
äänenvaimennus	39			
9.				
poistoilmapuhallin	34 (pdyn)			78
kokonaispaineen korotus	553			
puhaltimen moottori				79
10.				
kiertoilmatoiminto				

Future-mitoitusohjelma laskee ilmanvaihtokoneille kokonaispaineenkorotuksen, huomioon ottaen puhallinosan sisäiset painehäviöt. Projectus Teamin suunnittelija on laskenut ilmanvaihtokanavistoille 250 Pa painehäviötä. Constin suunnittelija on lisännyt painehäviötä arvion perusteella 50 Pa. Näin ilmanvaihtokanavistoille tulee painehäviötä yhteensä 300 Pa. Tällä painehäviömäärällä ilmanvaihtokoneiden puhaltimille on määritetty kokonaispaineenkorotus.

Lentoasemalla ilmaa vaihdetaan $6 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$. Siihen ei voida ilmanvaihtokoneilla eikä -kanavistoilla vaikuttaa, mutta painehäviöön voidaan. Optimaalisella suunnittelulla saadaan ilmanvaihtokoneille ja kanavistolle pienemmät painehäviöt, mikä vähentää sähköenergian kulutusta.

5.3 Ilmanvaihtokanaviston suunnitelmat

Laitesuunnittelu lähtee aina alkuperäisten suunnitelmien perusteella, joilla ilmanvaihtokoneet, -kanavisto, -kanavistovarusteet ja -päätelaitteet valitaan. Näistä muodostuu teoreettinen ominaissähköteholuku, jonka pitäisi olla lähtötietojen mukainen. Suunnitelmiin arvioidaan usein jotain lisäyksiä laitteiden painehäviöihin, mikäli muutoksia epäillään tulevan. Tässä tapauksessa muutoksia on tullut ilmanvaihtokanavistoille, mikä on lisännyt ja vähentänyt painehäviöitä. Painehäviölisäykset ovat tulleet lisättyjen säätöpeltien ja pyöreiden kierresaumakanavien muutoksista sekä lisättyjen suorakaidekanavien ansioista. Säätöpeltien lisäykset tulivat ilmanvaihtojärjestelmän säädettävyyden parantamisen vuoksi. Pyöreille kierresaumakanaville on jouduttu tekemään muutoksia tilarajoitusten vuoksi. Tyypillisimmät muutokset ovat lisätyt kulmat, haarat sekä pyöreiden kanavien tilalle asennetut suorakaidekanavat. Joissakin kanavisto-osuuksissa on tullut muutoksia, jotka ovat lyhentäneet kanavisto-osuutta; näin painehäviö on vähentynyt niiltä osin.

Alkuperäiset ilmanvaihtosuunnitelmat on esitetty liitteissä 1–3 ja 5–7. Kuvat ovat suoraan MagiCad-suunnitteluohjelmasta, jolla tämän kohteen suunnitelmat ovat suunniteltu. MagiCad-ohjelmiston painehäviöitä ja mitoituksia ei yleensä oteta todelliseen mitoitukseen. Suunnittelija jättää kanavistojen toteuttamisen kokonaan urakoitsijalle, joka vastaa työn laadusta, lopputuloksesta ja järjestelmän toimivuudesta.

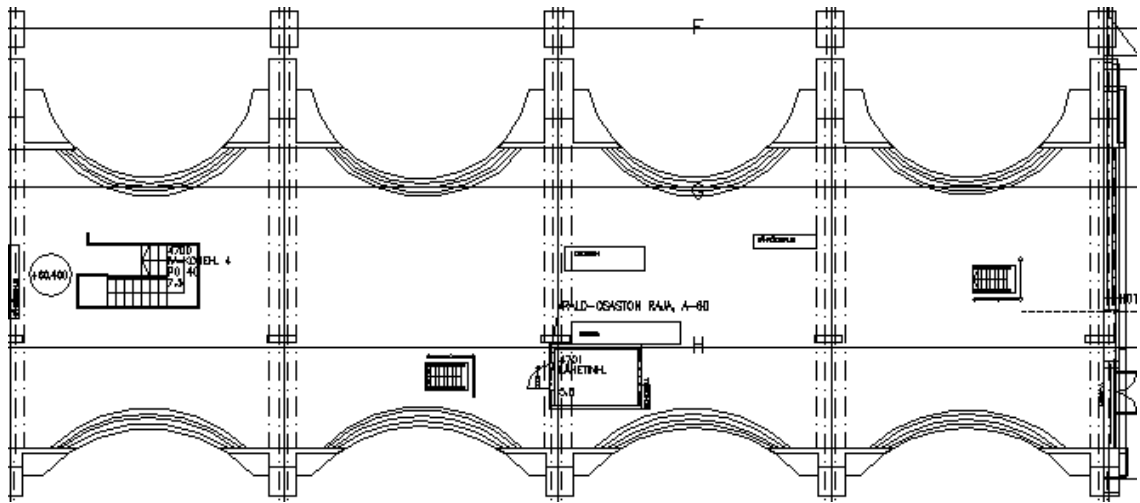
6 Toteutettu ilmanvaihtojärjestelmä ja -kanavisto

Lentoaseman suunnitelmiin on tullut muutoksia useaan otteeseen. Muutokset ovat pääasiassa sisältäneet kanavareittimuutoksia tai kanavavarusteiden muutoksia.

Ilmanvaihtokonehuone on toteutettu Consti Talotekniikka Oy:n asennussuunnitelmien mukaisesti raitis- ja jäteilmakammioita lukuun ottamatta. Ilmanvaihtokoneet kohteessa on vanhan arkkitehtuurin vuoksi yritetty sijoittaa mahdollisimman hyvin tila-ahtaudesta huolimatta. Kanavistoja ei ole kaikissa tilanteissa pystytty toteuttamaan virtausteknisesti parhaaksi mahdolliseksi. Kammiot on mitoitettu työmaalla tilakohtaisesti.

Ilmanvaihtokonehuoneen ulkoseinät ovat kaarevia, suoria seiniä ovat vain päätyseinät (kuva 12). Kaarevat seinät aiheuttivat kammioiden suunnittelulle haasteita. Kammiot suunniteltiin tilakohtaisesti lasketun kanavapinta-alan ja arvioidun tilantarpeen mukaisesti.

Ilmanvaihtokanavisto kanavatilassa ja muissa tiloissa on pääosin toteutettu Projectus Team Oy:n suunnitelmien mukaisesti. Suunniteltuihin kanavareitteihin on tullut jonkin verran muutoksia ilmanvaihtokanavakerroksessa ja yläkerran IV-konehuoneessa, koska suunnitteluvaiheessa kaikkia tilaratkaisuja ja vanhan tekniikan todentamista ei ole voitu kartoittaa. Todelliset kanavareitit on esitetty liitteissä 8–10. Liite 9 on 392 TK/PK -ilmanvaihtokoneen kuva, joka on liitteen 1 alkuperäisen suunnitelman todellinen toteutus. Liite 10 on 394 TK/PK:n kuva, joka on liitteen 2 alkuperäisen suunnitelman toteutus.



Kuva 12. Yläkerran ilmanvaihtokonehuone.

Lähtöselvitysalueella lähtöselvitystiskien kohdalla ilmaa vaihdetaan maksimissaan $2,4 \text{ m}^3/\text{s}$. Aluetta palvelee ilmanvaihtokone 394 TK/PK. Tax-Free-myymälässä ilmaa vaihdetaan maksimissaan $1,2 \text{ m}^3/\text{s}$ ja aluetta palvelee ilmanvaihtokone 392 TK/PK. Näillä ilmavirroilla on suoritettu kaikki mittaukset.

6.1 Ilmanvaihtokoneiden todelliset painehäviöt

Ilmanvaihtokoneille 392- ja 394 TK/PK on mitattu todelliset osapainehäviöt. Mittaukset on suoritettu ilmanvaihtokoneiden omista ja lisätyistä mittauspisteistä. Taulukossa 4 on esitetty mitatut ja suunnitellut osapainehäviöt tutkimusalueen ilmanvaihtokoneille.

Taulukko 4. Ilmanvaihtokoneiden mitatut ja suunnitellut osapainehäviöt.

	Ilmanvaihtokone 392 TK /PK		Ilmanvaihtokone 394 TK /PK		Lisätiedot
	suunnitellut painehäviöt	mitatut painehäviöt	suunnitellut painehäviöt	mitatut painehäviöt	
Ilmanvaihtokoneiden komponentit:	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	
sulkupelti	2	5	12	11	
raitisilmasuodatin	78 (puhtailla suodattimilla)	113	90 (puhtailla suodattimilla)	117	33 kk käytössä olevien suodattimien painehäviö
lämmöntalteenotto- kiekko					sama molemmilla puolilla
- tulopuoli	82	71	96	76	
- poistopuoli	82	71	96	76	
lämmityspatteri	18	5	Ei ole		
jäähdytyspatteri	51	31	56	77	
äänenvaimennus	35	42	39	70	
poistoilmasuodatin	34 (puhtailla suodattimilla)	18	42 (puhtailla suodattimilla)	19	
äänenvaimennus	31	45	39	46	
sulkupelti	ei laskettu	3	31	4	392 TK/PK jäteilmakanavassa, koko Ø 630

Uusien ilmanvaihtokoneiden ominaissähköteho kohteessa on laskettu jo aikaisemmin silloin kun ilmanvaihtokoneet otettiin käyttöön. Tuolloin suodattimet olivat uudet ja puhtaat. Puhtailla suodattimilla ilmanvaihtokoneiden ominaissähköteho on aina hieman alhaisempi. Suodattimien likaantuminen nostaa painehäviötä ja energiankulutusta, mutta suodattimia ei kannata vaihtaa liian tiheästi. Suodattimien hankintahinta energiakustannuksiin verrattuna voi olla paljon korkeampi.

6.1.1 Raitis- ja jäteilmakanavistojen todelliset painehäviöt

Kohteessa ilmanvaihtokonehuone on arkkitehtuurisesti hankalan muotoinen optimaalisen ilmanvaihtokanaviston rakentamiselle. Tilaa raitis- ja jäteilmakammioille on ollut vähän ja kompromisseja on jouduttu tekemään. Kaikkia osia ei ole voitu toteuttaa virtausteknisesti mahdollisimman hyvin. Yleisesti ottaen ei voida toteuttaa parasta mahdollista virtausteknistä kanavistoa, koska aina joudutaan tekemään jotain virtausteknisesti huonoja ratkaisuja. Kuitenkin tässä kohdassa ilmanvaihtokoneiden

TK/PK 392:n ja 394:n ilmanotto- ja jäteilmakammiot on onnistuttu toteuttamaan varsin onnistuneesti, eivätkä niiden painehäviöt ole kovinkaan suuret (liitteet 9 ja 10).

Ilmanvaihtokoneen 394 TK/PK raitisilmakammio on yhtenäinen ilmanvaihtokoneen 366 TK/PK kanssa siten, että kammio ja kammioista lähtevä raitisilmakanava on yhteinen (liite 10).

366 TK/PK palvelee lentoyhtiöiden toimistoja, eikä kuulu tutkittavaan alueeseen. Mittaukset IV-koneelle 394 TK/PK on tehty molempien IV-koneiden käydessä mitoitussilmavirroilla, jotta todelliset painehäviöt on pystytty huomioimaan.

Kuvissa 13 ja 14 esitetään tutkimuskohteen ilmanvaihtokoneet, joissa osa toteutettua kanavistoa on näkyvissä.



Kuva 13. Ilmanvaihtokone 392 TK/PK kanavistoineen.



Kuva 14. Ilmanvaihtokone 394 TK/PK kanavistoineen.

Ilmanvaihtokoneen 392 TK/PK raitisilmakanavisto on toteutettu hyvin (kuva 15).
Jäteilmakanavisto on toteutettu virtausteknisesti huonohkosti (kuva 16).



Kuva 15. Ilmanvaihtokoneen 392 TK/PK raitisilmakammio.



Kuva 16. Ilmanvaihtokoneen 392 TK/PK jäteilmakammio.

Ilmanvaihtokoneen 394 TK/PK raitisilmakanavistossa on konetta 392 TK/PK huomattavasti huonompi toteutus virtausteknisesti (kuva 17). Kammio on tehty kahdesta osasta helpottaakseen asennusta, koska yhdestä osasta tehtyä kammiota ei olisi mahtunut asentamaan. Nämä ratkaisut ovat johtuneet pääosin ilmanvaihtokonehuoneen keskellä sijaitsevasta kulkukäytävästä ja hätäuloskännistä, johon on jouduttu varaamaan tilaa huoltotoimenpiteille. Kuvassa 17 näkyy hätäuloskäynti, joka kulkee rautakaiteiden sisäpuolella.



Kuva 17. Ilmanvaihtokoneen 394 TK/PK raitisilmakammio.

Ilmanvaihtokoneiden 392 TK/PK ja 394 TK/PK raitis- ja jäteilmakanavistojen mitatut painehäviöt ovat kohtuullisia, eikä niiden takia ole syntynyt kohtuuttoman paljon ylimääräisiä painehäviöitä. Taulukossa 5 näkyvät mitatut tulokset.

Taulukko 5. Ilmanvaihtokoneiden 392 TK/PK ja 394 TK/PK raitis- ja jäteilmakanavistojen mitatut painehäviöt.

Mitatut raitis- ja jäteilmakanavistojen painehäviöt	392 TK/PK	394 TK/PK
	[Pa]	[Pa]
Raitisilmakanavisto	5	125
Jäteilmakanavisto	115	49

6.1.2 Ilmanvaihtokoneiden todellisten painehäviöiden vertailu suunniteltuihin

Ilmanvaihtokoneiden todelliset painehäviöt ovat suunnitteluohjelman laskemia arvoja alhaisemmat, paitsi suodattimien ja äänenvaimentimien osalta. Raitisilmasuodattimien painehäviöt ovat olleet käytössä muutaman kuukauden. Poistoilmasuodattimet eivät ole likaantuneet raitisilmasuodattimien tavoin. Lentoasemalla ulkoilma on likaista runsaan lento- ja maaliikenteen vuoksi, mistä johtuu raitisilmasuodattimien nopea likaantuminen.

Taulukossa 4 on esitetty suunnitellut ja mitatut osapainehäviöt. Absoluuttiseen mittaustulokseen on vaikea päästä, koska koneosien välissä ei ole suojaetäisyyksiä. 392 TK/PK:n mitattu kokonaispainehäviö oli 10 % pienempi kuin suunniteltu painehäviö ja 394 TK/PK:n 2 % pienempi. Mitattujen arvojen tuloksilla ei ole tässä tapauksessa kovinkaan suurta merkitystä.

6.2 Kanaviston todellinen painehäviö

Lähtöselvitysalueen lähtöselvitystiskeille ja Tax-Free-myymälään menevien ilmanvaihtokanavien painehäviöt on mitattu aiemmin luvussa 4 mainitulla TSI-mittarilla. Mittaukset on suoritettu kanavistoille vaikeimmista haaroista, joissa on suurin painehäviö. Alkuperäisissä suunnitelmissa kanavistoille oli suunniteltu painehäviöt arvioimalla, kuten yleensä tehdään. Consti Talotekniikan suunnittelija on lisännyt hieman painehäviötä, koska tiedossa oli jo etukäteen, että kanavistoille joudutaan tekemään jonkunlaisia muutoksia, joiden epäiltiin aiheuttavan lisäpainehäviötä.

LVI-suunnitelmissa oli laskettu kanavistoille 250 Pa painehäviötä. Tähän arvioitiin vielä lisäpainehäviötä 50 Pa, ja yhteensä muodostuu 300 Pa painehäviötä/kanavisto koneelta päätelaitteelle asti. Todelliset mitatut kanavistopainehäviöt esitetään taulukossa 6.

Taulukko 6. Ilmanvaihtokanavistojen 392TK/PK ja 394 TK/PK mitatut painehäviöt.

Ilmanvaihtokanavistojen painehäviöt	392 TK/PK		394 TK/PK	
	Suunnitelmien mukaiset	Mitatut	Suunnitelmien mukaiset	Mitatut
(vaikeimman haaran painehäviö)	[Pa]		[Pa]	
Tuloilmakanavisto	300	154	300	189
Poistoilmakanavisto	300	125	300	107

Todelliset painehäviöt ovat huomattavasti pienemmät kuin suunnitelmissa. Tämä johtunee siitä, että kanavisto on lyhyempi kuin suunnitelmissa ja virtausteknisesti parempi kuin etukäteisarvioinnissa.

6.2.1 Todelliset osapainehäviöt

Tutkimuksessa on mitattu osapainehäviöitä erikoisille ilmanvaihto-osille, jotka on mitoitettu ja teetetty mittojen mukaisesti aina tilanteen mukaan. Tällaisia osia joudutaan teettämään lähes poikkeuksetta jokaisessa suuremmassa ilmanvaihtokonehuoneessa. Ilmanvaihto-osat vievät todella paljon tilaa, eikä pyöreitä tehdasvalmisteisia osia voida aina käyttää. Painehäviömittaukset näille erikoisimmille osille on mitattu, koska ne valmistetaan mittatilaustyönä eikä niille pysty määrittelemään painehäviöitä, kuten vakiotuotteille on määritelty. Nämä mitoitukset tehdään yleensä työmaalla jonkun toimesta, eikä mittaajalla ole välttämättä tarpeeksi kokemusta ja/tai tietämystä minkälaisen painehäviöloukun kohteeseen mitoittaa. Tässä esitetään muutama tyypillinen esimerkki erikoismitoitetusta kammioista ja kanavaosasta, joita joutuu ilmanvaihtojärjestelmiin toteuttamaan.

Tutkittavissa ilmanvaihtokoneissa on tuloilmakammioina äänieristetyt ilmanjakokammiot. Kammiot ovat erittäin yleistä mallia, joita näkee lähes jokaisessa isommassa projektissa. Ilmanvaihtokoneessa 394 TK/PK on hieman erilainen ratkaisu, joka on virtausteknisesti parempi (kuva 18). Näin on voitu tehdä, koska tilaa oli enemmän tuloilmakoneen sijaitessa poistoilmakoneen yläpuolella. Tuloilmakammiota seuraa välittömästi muunto-osa, joka on virtausteknisesti hyvinmuotoinen ja vähentää painehäviötä. IV-koneen 392 TK/PK kammiosta lähtevä kanava on liitetty suoraan kammioon lähtökauluksella kammion alapuolelta (kuva 19). Tällainen ratkaisu aiheuttaa hieman enemmän painehäviötä kuin edellinen.



Kuva 18. Tuloilmakammio 394 TK/PK.



Kuva 19. Tuloilmakammio 392 TK/PK, kanava kytketty kammion alapuolelle.

6.2.2 Painehäviöihin vaikuttavat tekijät

Tyypillinen kammioratkaisu (kuva 20) ei virtausteknisesti ole paras mahdollinen. Tällaisia joudutaan välillä teettämään tila-ahtauksien takia. Näitä ratkaisuja tehdään yleensä kun mitoitetaan osia ennen ilmanvaihtokoneiden asennusta. Tämä johtuu pääosin työmaiden aikataulukiiireistä, eikä kaikkia hyviä ratkaisuja ehditä toteuttamaan. Tästä johtuvat monet seikat, jotka lisäävät painehäviöitä. Kuvan 20 raitisilmakammio olisi ollut virtausteknisesti parempi, jos koneen perään olisi liitetty muunto-osa pyöreälle kanavalle. Osalle mitattiin painehäviöksi 12 Pa.



Kuva 20. Raitisilmakammio 394 TK/PK.

Asennuksien laatuun työmailla vaikuttavat monet tekijät; suurimmat ovat aikataulukiiireet ja kovasti kilpailtu hintataso asennusurakoista. Nämä asiat vaikuttavat ratkaisumenetelmiin. Esimerkiksi virtausteknisesti paremmin suunnitellut suorakaidekanavat, joissa on ilmanohjauslevyjä, pyöristettyjä kulmia ja pitempiä kartioita, ovat kustannuksiltaan kalliimmat. Helposti ja edullisemmin valmistetut suorakaidekanavaosat, jotka yleensä mitoitetaan ja tilataan pönttömäisinä osina, nostavat ilmanvaihtojärjestelmien painehäviöitä, ja seurauksena ovat korkeammat energiakustannukset.

6.2.3 Ilmanvaihtokanaviston todellisten painehäviöiden vertailu suunniteltuihin

Ilmanvaihtokanavistoille tehtiin painehäviömittaukset vaikeimman haaran perusteella. Suunnitelmissa tulo- ja poistoilmakanavistoille oli varattu 300 Pa. Toteutuksessa on pyritty optimoimaan kanavistot mahdollisimman hyvin. Kohteessa on jouduttu tekemään virtausteknisesti huonoja ratkaisuja. On myös onnistuttu tekemään erittäin hyviä ratkaisuja, joiden ansiosta painehäviöt eivät ole niin korkeita kuin voisi kuvitella. Hyvään lopputulokseen ovat vaikuttaneet ensisijaisesti virtausteknisesti edulliset pyöreäkurkkuiset käyrät ja muuntoyhteet.

Ilmanvaihtokoneen 392 TK/PK:n mitattu painehäviö on keskimäärin 54 % pienempi kuin suunnitelmissa ja 394 TK/PK:n 51 % pienempi. Molemmissa tapauksissa on otettu huomioon sekä tulo- että poistokanavisto. Mitatut painehäviöt esitetään taulukossa 6.

7 Ominais sähkötehon määrittäminen

Ilmanvaihtokoneiden ominais sähköteho on laskettu luvun 2 ohjeiden mukaisesti kaavalla 5. Mittaukset on suoritettu luvun 3 ohjeiden mukaisesti. Mittalaitteena on käytetty tehoanalysointia Fluke 345, jonka mittatarkkuus on erittäin hyvä. Mittauksissa käytettiin vertailun vuoksi kahta huomattavasti edullisempaa ja yksinkertaisempaa pihtiampeerimittaria, joiden mallit olivat Fluke 336 ja Kyoritsu 2005. Fluke 336 on tavallinen pihtiampeerimittari, mutta siinä on true-RMS-toiminto. Kyoritsu ei havaitse ollenkaan taajuusmuuttajan mahdollisesti aiheuttamaa muutosta siniaaltoon.

7.1 Suunnitelmien mukaan lasketut ominais sähköteholuvut

Ilmanvaihtokoneiden laitevalinnoissa on lähtötietona ollut urakka-asiakirjat, joiden sisällöstä on sovittu. Projektin LVI-suunnittelija on laatinut niistä LVI-työselostuksen. LVI-selostuksessa on määritelty ilmanvaihtokoneiden ominais sähkötehoksi

2,0 kW/(m³/s)/koneyksikkö, joka on ollut lähtökohtana ilmanvaihtokoneiden suunnittelussa. Consti Talotekniikka Oy ja Koja Oy on tehnyt konesuunnitelmat mitoittaen niin, ettei vaadittu ominaissähkötehonkulutus ylity. Tässä kohteessa ominaissähköteho on laskettu yksittäistä ilmanvaihtokonetta kohti, eikä rakennuksen kaikkien ilmanvaihtokoneiden, kuten yleensä lasketaan. Tämä johtuu siitä, että lentoasemalla on erittäin paljon vanhoja ja vähemmän vanhoja ilmanvaihtokoneita, joita ei haluta sekoittaa uusien kanssa.

Lähtöselvitysalueen ilmanvaihtokoneen 392 TK/PK:n Future-ohjelman laskema ominaissähköteho on 1,80 kW/(m³/s) ja Tax-Free-myyvälän 394 TK/PK:n 1,94 kW/(m³/s). Arvot on esitetty myös aiemmissa taulukoissa 2 ja 3.

7.2 Ilmanvaihtokoneiden sähkötehon mittaus

Ilmanvaihtokoneelle 392 TK/PK sähkötehon mittaus on suoritettu suoraan ryhmäkeskuksesta, jossa oli paremmat tilat mittauksille. Ilmanvaihtokoneiden moottorit ovat kolmivaiheisia, joten mittaukset on tehty jokaisesta vaiheesta erikseen. Fluke 345 -mittarilla on mitattu SFP-oppaan ohjeiden mukaisesti siten, että virta on mitattu yhdestä vaiheesta samalla kun jännitettä on mitattu kahden muun vaiheen välistä. Näin mittari osaa ottaa huomioon moottorin $\cos \phi$ -arvon. Jännitettä ei ole mitattu ollenkaan Fluke 336- ja Kyoritsu-mittarilla. Kaikissa mittauksissa mukana olleilla mittareilla on mitattu verkosta otettu sähköteho, jokainen mittari antoi erilaisia arvoja. Virta-arvojen tulokset ovat keskiarvoja. Sähköarvot luettiin myös taajuusmuuttajista SFP-luvun laskentaa varten, jotta olisi vertailukohteita. Mitatut arvot näkyvät taulukossa 7.

Taulukko 7. Mitatut sähköarvot

	Fluke 345		Fluke 336		Kyoritsu		Taajuusmuuttajasta		
392 TK	3,62	A	3,95	A	3,44	A	5	A	
392 PK	2,80	A	3,40	A	2,92	A	4,8	A	
394 TK	3,65	A	4,05	A	3,48	A	3,8	A	
394 PK	1,39	A	1,57	A	1,35	A	1,8	A	

Tuloksista tarkempien pitäisi olla Fluke 345-mittarilla mitatut, joten näitä arvoja pidetään kaikkein luotettavimpina. Taajuusmuuttajan arvot ovat kaikkein suurimmat. Ne ilmoittavat pelkästään moottorin ottaman sähkötehon, mistä puuttuu itse taajuusmuuttajan ottama sähköteho, joka on yleensä suuruusluokkaa 3 %. Taajuusmuuttajien hyötysuhteet ovat 95–97 %. [11, s. 6.]

Mittareista Kyoritsu ilmoittaa kaikkein pienimmät tulokset ja Fluke 336 kaikkein isoimmat. Suurimman ja pienimmän arvojen erot ovat 14 %, mikä on suhteellisen vähän SFP-luvun laskennassa. Kyoritsu menestyy yllättävän hyvin vertailussa parhaimpaan Fluke 345-mittariin. Eroa mittareiden välillä on noin 3 %.

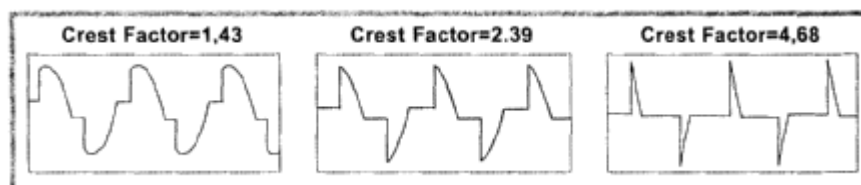
Sopiva mittari ilmanvaihtojärjestelmien ominaissähkötehon määrittämiseen on sellainen, joka sisältää true-RMS-toiminnon lisäksi huippukertoimen 2,5 tai korkeamman. Tämä perustuu tämän tutkimuksen mittauksiin. Hyvä esimerkki mittarista on Fluke 345, jossa huippukerroin on jopa 3. Hyvän mittaustuloksen saa myös Fluke 336:lla, joka on varsin hyvä mittari tällaisiin mittauksiin. Kyoritsu selviytyi varsin hyvin tästä mittauksesta tässä tapauksessa, mutta mittariin, jossa ei ole true-RMS-toimintoa, ei kannata luottaa. Sellaiset mittarit laskevat vain keskiarvon virrasta. Kuvasta 21 näkee, miten suuria mittausrvirheitä keskiarvomittareilla voi saada, kun siniaalto on erimuotoista.

Mittarityyppi	Mittaustapa	Siniaallon mittaustulos	Sakara-aallon mittaustulos	Säröytyneen aallon mittaustulos
Keskiarvo-mittauslaitteet	Kertoo tasasuunnatun keskiarvon 1:1:llä		10% korkea	Jopa 50% alle
True-RMS-mittauslaitteet	RMS-muunnin laskee tehollisarvon	Oikein	Oikein	Oikein

Kuva 21. Keskiarvomittauslaitteen ja true-RMS-laitteen vertauskuva [12, s. 8].

Huippukerroin kuvaa mittarin tarkkuutta siniaallon säröilystä. Täydellisen siniaallon huippukerroin on 1,414 [12, s. 9]. Kuvasta 22 näkyy, miten tarkempi huippukerroin

osaa laskea suuremmat säröt siniaalossa. Huippukertoimesta käytetään yleisesti myös nimitystä Crest Factor.



Kuva 22. Eri huippukertoimien tarkkuudet siniaalossa [12, s. 9].

7.3 Tutkimusalueen ilmavirrat

Lähtöselvitysalueen ja Tax-Free-myymän ilmamäärät on suunniteltu siten, että ilmaa vaihtuu $6 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$. Lähtöselvitysalue koostuu lähtöselvitystiskien yläpuolisista rakahajottajista ja laukkujen kuljetuslinjaston päällä olevista päätelaitteista (liite 7). Poistoilma poistuu lähtöselvitysalueen läpi lähtöaulan korkeasta tilasta poistoilmasäleikköjen kautta (liite 6).

Lähtöselvitysalueella ilmanvaihtokone 392 TK/PK on suunniteltu vaihtamaan sekä tulo- ja poistoilmaa $2,4 \text{ m}^3/\text{s}$. Tax-Free-myymän ilmanvaihtokone 394 TK/PK on suunniteltu vaihtamaan sekä tulo- ja poistoilmaa $1,2 \text{ m}^3/\text{s}$. Mitatut ilmamäärät poikkeavat hieman suunnitelmista, mutta pysyttelevät sallitun $\pm 10 \%$:n sisällä. Taulukossa 8 esitetään suunnitelmien mukaiset ja mitatut ilmamäärät.

Taulukko 8. 392 TK/PK ja 394 TK/PK:n mitatut ilmamäärät.

	Vaadittu ilmamäärä [m^3/s]		Mitattu ilmamäärä [m^3/s]	
	TK	PK	TK	PK
392	2,4	2,4	2,44	2,2
394	1,2	1,2	1,25	1,18

Ominaisähkötehon ollessa alhainen on ilmanvaihtokoneet ja kanavisto mitoitettu väljäksi. Väljä mitoitus on aiheuttanut kanavistoille tilarajoitusmuutoksia, joissa pyöreitä kanavaosia on jouduttu vaihtamaan suuremman painehäviön omaaviin suorakaidekanaviin ja -osiin.

7.4 Ominais sähkötehon laskenta

Ominais sähköteho on laskettu mitoitusilmavirroilla käyttäen mittareista kaikkein luotettavinta Fluke 345-mittaria (taulukko 9). SFP-luku ilmanvaihtokoneelle 392 TK/PK on $1,05 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ ja 394 TK/PK -koneelle $1,62 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$.

Taulukko 9. Ominais sähkötehon laskentataulukko.

Tulo- ilma- kone	Ilma- virta	Verkosta otettu sähkö	Sähkö- teho	Poisto- ilma- kone	Ilma- virta	Verkosta otettu sähkö	Sähkö- teho	Tämän koneen SFP
merkintä	m^3/s	A	kW	merkintä	m^3/s	A	kW	$\text{kW}/\text{m}^3/\text{s}$
392 TK	2,44	3,62	1,45	392 PK	2,20	2,80	1,12	1,05
394 TK	1,25	3,65	1,46	394 PK	1,18	1,39	0,56	1,62
Yhteensä	3,69	7,27	2,91		3,38	4,19	1,68	

Laskenta esimerkki ilmanvaihtokoneen 392 TK/PK:n ominais sähköteholuvulle kaava 5.

$$\text{---} \quad (5)$$

$$\text{---} \quad (5)$$

8 Todellisen ominais sähkötehon vertailu suunniteltoon

Tutkimuksessa saadut arvot ovat huomattavasti pienemmät kuin alkuperäisten suunnitelmien mukaiset. IV-koneen 392 TK/PK suunniteltu SFP-luku oli $1,8 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ ja 394 TK/PK-koneen $1,94 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$. Tutkimuksessa mitattu SFP-luku 392 TK/PK -koneelle on noin 47 % pienempi ja 394 TK/PK-koneen SFP-luku on noin 19 % pienempi kuin suunnitelmien mukaiset arvot.

Ilmanvaihtolaitoksen suunnittelussa on yleistä, että lopputulos poikkeaa suunnitellusta jonkin verran, varsinkin saneerauskohteissa. Suunnittelijat eivät pysty selvittämään kaikkea mahdollista ja ehkäisemään tilanteita, jotka tulevat esiin töiden edetessä.

Yleensä SFP-luku ylittyy, koska laitteet valitaan liian kireiksi pienempien hankintakustannuksien takia. Halutaan säästää, mutta energiakustannuksista ei välitetä kovinkaan paljoa. Tässä projektissa SFP-luku alittui, mikä johtui suunnittelijoiden arvioista. Lentoasema on erittäin haastava laitos; koskaan ei tiedä, mitä eteen tulee kun avataan alakattoja ja muita rakenteita uuden tekniikan tieltä.

9 Yhteenveto

Suunnitelmat ja konevalinnat toteutettiin Finavian erikoisvaatimuksien perusteella. Ilmanvaihtokoneet suunniteltiin väljiksi otsapintanopeuksien vähentämiseksi, jotta kosteusongelmat olisivat pienemmät. Koneiden patterilamellivälit haluttiin väljiksi helpompaa puhdistusta varten. Ilmanvaihtokoneiden ominaissähkötehon piti olla maksimissaan $2,0 \text{ kW/m}^3/\text{s}$. Lopputuloksena ominaissähköteho lähtöselvitysalueen ilmanvaihtokoneelle oli $1,05 \text{ kW/m}^3/\text{s}$, eli on noin 47 % vaadittua pienempi. Tax-Free-myymälän ilmanvaihtokoneen ominaissähkötehoksi tuli $1,62 \text{ kW/m}^3/\text{s}$, joka on noin 19 % vaadittua pienempi. Lähtöselvitysalueen ilmanvaihtokanavistojen painehäviöt olivat 54 % suunniteltua pienemmät ja Tax-Free-myymälän 51 % pienemmät.

Kanavisto mitoitettiin väljäksi, poistoilmapäätelaitteista poistettiin kaikki ylimääräiset reikäpellit ja verkot. Tuloilmapäätelaitteet olivat tarkoin valittuja hyvän heittokuvion mahdollistamiseksi. Vaikka ilmanvaihtokanavistoon tuli muutoksia, jotka aiheuttivat ylimääräisiä häviöitä, onnistuttiin kanavisto rakentamaan suhteellisen hyvin erilaisista vaikeuksista huolimatta. Arvioitu 50 Pa:n painehäviölisäys kanavistoon olisi voitu jättää huomioimatta, koska todelliset painehäviöt eivät yltäneet 200 Pa:iin.

Kanavistomitoituksia olisi voitu tarkemmin laskea, joka olisi ehkä tuonut säästöjä puhaltimien hankintoihin. Toisaalta ylimääräinen painehäviöarvio jättää hyvät mahdollisuudet muutoksille, joita lentoasemalla kaiken aikaa toteutetaan.

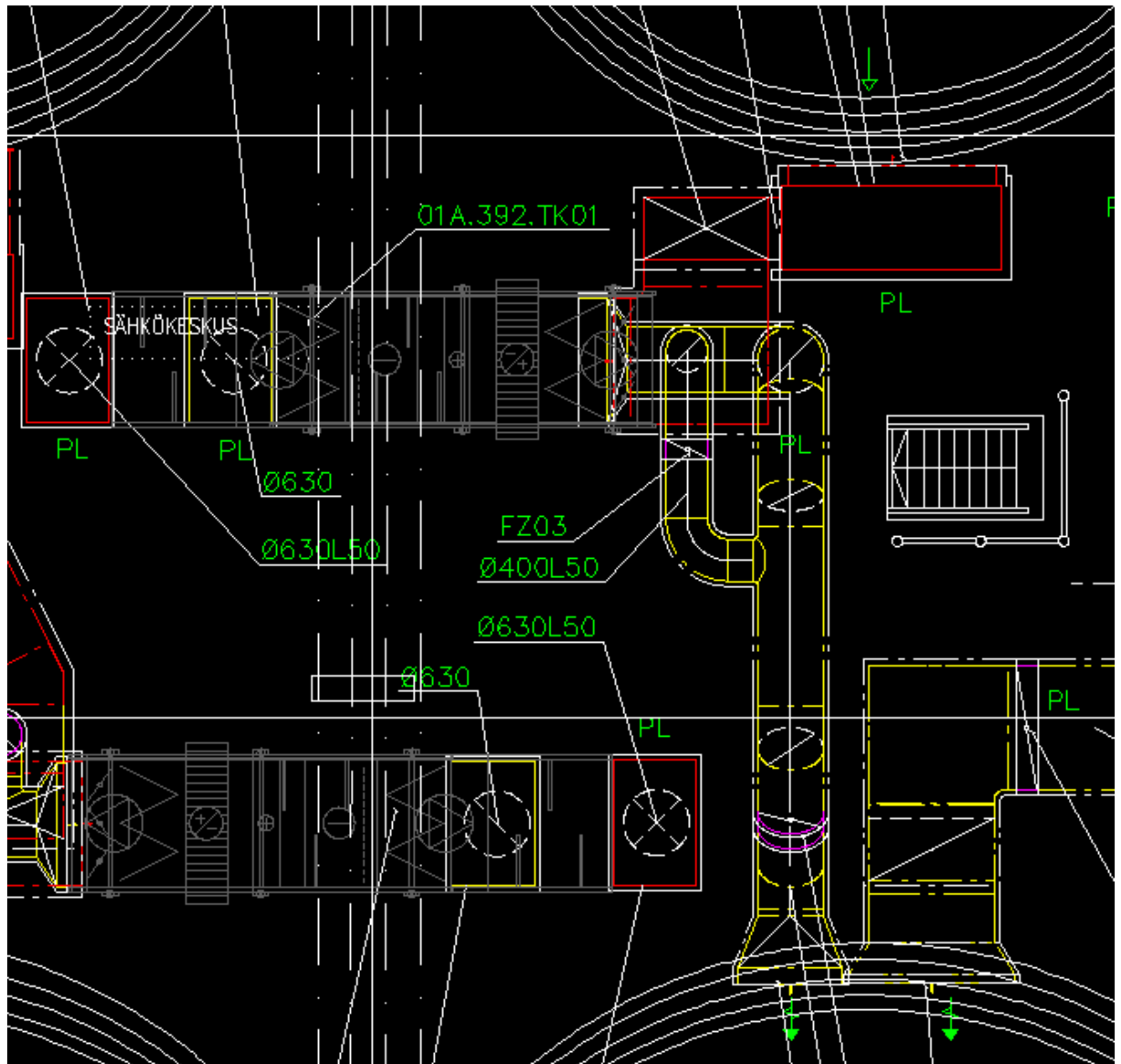
Lopputuloksena SFP-luvun kannalta ilmanvaihtokoneet olisivat voineet olla hieman kireämpiä ja kanavat pienempiä, mutta otsapintanopeudet olisivat olleet haluttua suuremmat. Ilmanvaihtokoneiden taajuudet mitoitussilmavirroilla olivat 35–50 Hz.

Ilmanvaihtokoneille jäi tehostusvaraa ainakin 10–20 %. Parempaan lopputulokseen olisi päästy, jos kohteesta olisi tehty entistä kattavampi tutkimus ennen alkuperäisten suunnitelmien laatimista. Ongelmana sen toteuttamisessa olisi ollut eri osastojen sulkeminen jo ennen töiden aloittamista, eikä sellaisiin toimenpiteisiin ole kannattavaa ryhtyä. Se olisi nostanut kustannuksia kohtuuttoman paljon todellisiin tehtyihin muutostöihin verrattuna. Lopputulos on kuitenkin suhteellisen hyvä laajoista muutoksista huolimatta.

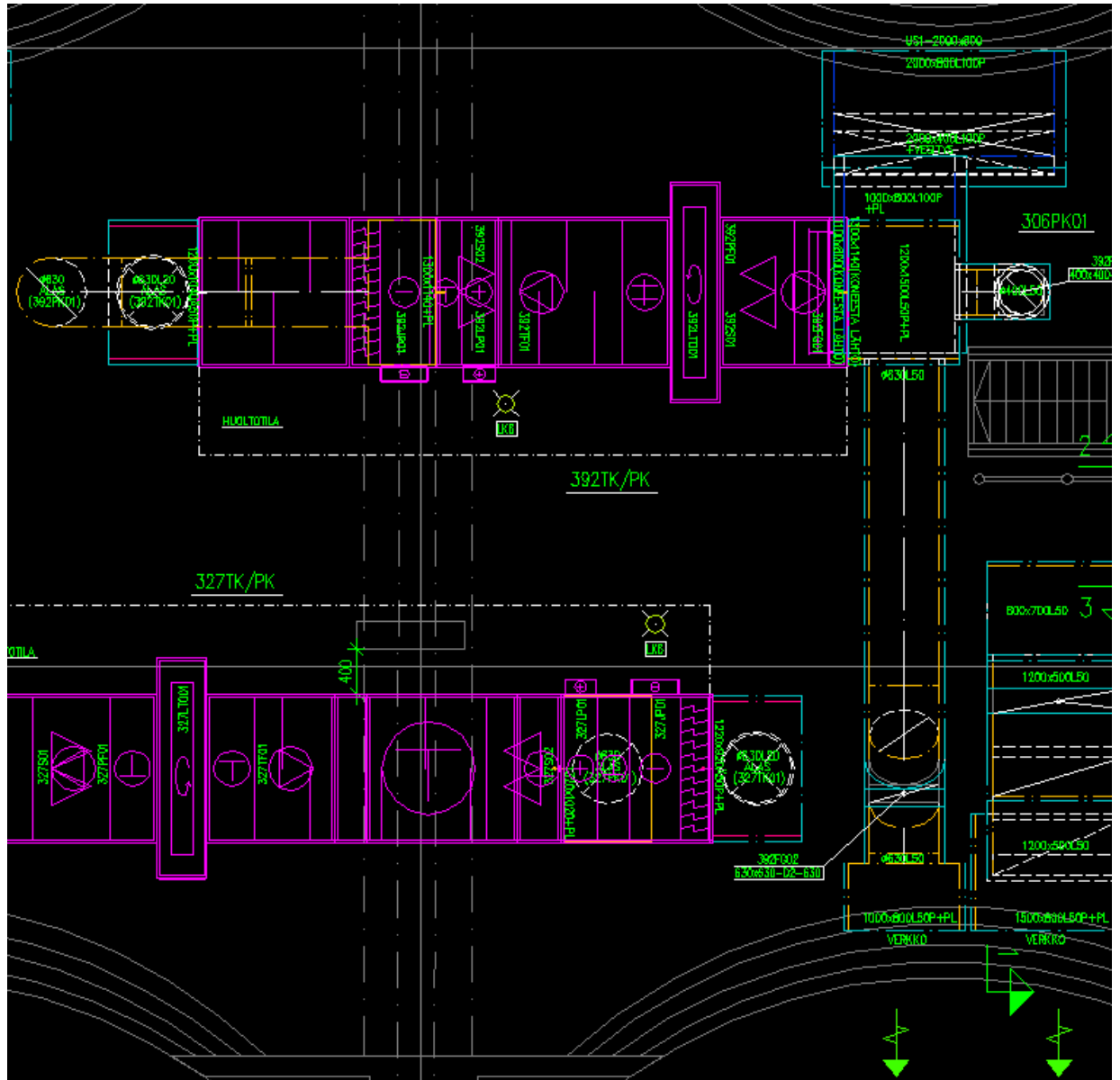
Lähteet

- 1 Säteri, Jorma, Backman, Helga. Sisäilmastoseminaari 2009. Helsinki: Sisäilmayhdistys ry, 2009.
- 2 Mäkinen, Pekka, Railio, Jorma. SFP-opas. Opas ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkötehon määrittämiseen, laskentaan ja mittaamiseen. (WWW-dokumentti.) <www.teknologiateollisuus.fi/file/5965/sfpopas3_060709.pdf.html>. 6.7.2009. Luettu 13.6.2010.
- 3 Mäkinen, Pekka, Railio, Jorma. LVI 30-10349. Ilmavaihtojärjestelmän ominaissähköteho SFP. Helsinki: Rakennustietosäätiö ja LVI-keskusliitto Oy, 2002.
- 4 Fluke 345. Tuotteet. (WWW-dokumentti.) Fluke Finland Oy. <http://www.fluke.fi/comx/show_product.aspx?pid=36919&locale=fifi&product=elw>. Luettu 16.6.2010.
- 5 Fluke 345 käyttöohje. (WWW-dokumentti.) Fluke Finland Oy. <<http://www.fluke.fi/comx/manuals.aspx?locale=fifi&pid=36919>>. Luettu 6.9.2010.
- 6 Pietiläinen, Jorma, Kauppinen, Timo, Kovanen, Keijo, Nykänen, Veijo, Nyman, Mikko, Paiho, Satu, Peltonen Janne, Pihala Hannu, Kalema, Timo, Keränen, Hannu. ToVa-käsikirja. Rakennuksen toimivuuden varmistaminen energiatehokkuuden ja sisäilmaston kannalta. (WWW-dokumentti.) <<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2007/T2413.pdf>>. 2007. Luettu 17.6.2010.
- 7 Seppänen, Olli. Ilmastoinnin suunnittelu. Helsinki: Suomen LVI-liitto, 2004.
- 8 Seppänen, Olli. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. Helsinki: Suomen LVI-yhdistysten liitto, 1996.
- 9 SFS-käsikirja 103. Ilmastointitekniikka, osa 2. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto, 1992.
- 10 TSI. Trust Science Innovation. (WWW-dokumentti.) TSI Incorporated. <<http://www.google.com/images?hl=en&q=TSI+DPCALC&wrapid=tlif12843683419992&um=1&ie=UTF8&source=og&sa=N&tabwi&biw=1004&bih=549>>. Luettu 15.6.2010.

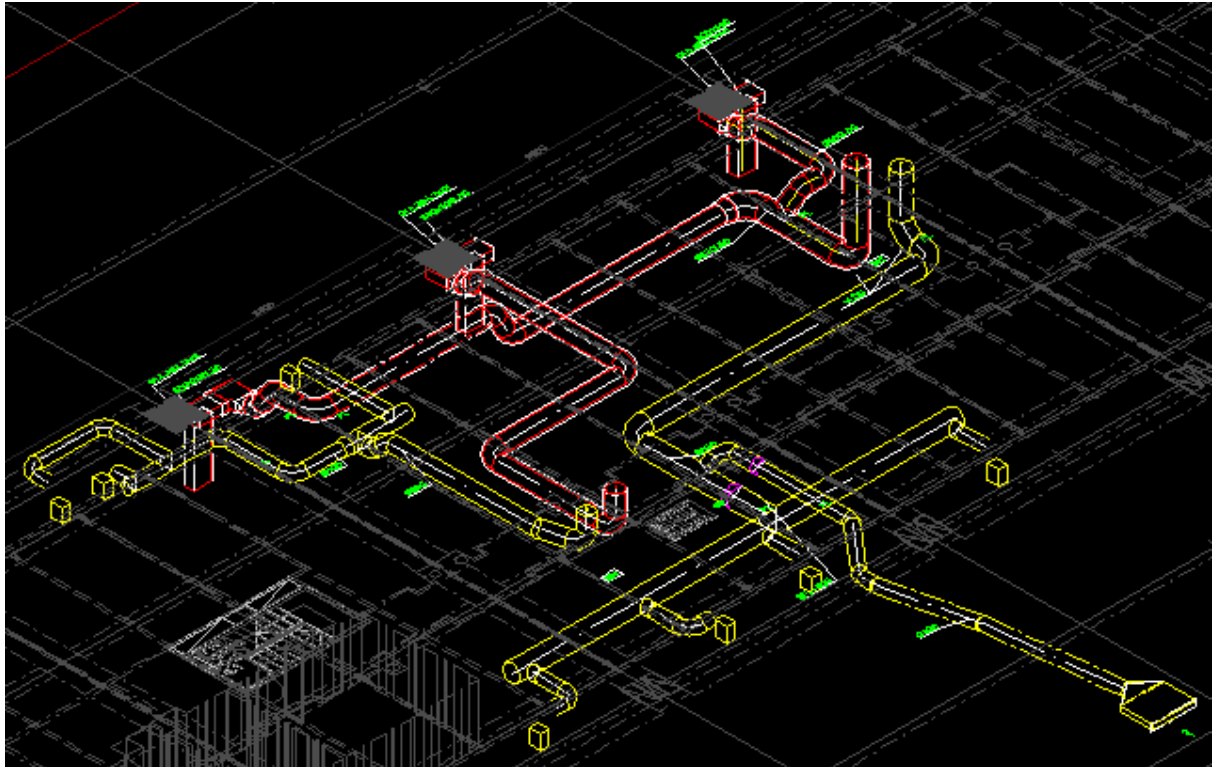
- 11 Kanninen, Seppo. Ilmastointikoneen SFP-luku ja sen laskenta. (WWW-dokumentti.) Recair Oy <http://www.recair.fi/pdf/sfp_luku_recairnetissa.pdf>. 2006. Luettu 9.7.2010.
- 12 Mittauslaiteluettelo. (WWW-dokumentti.) Fluke Finland Oy. <http://www.pkst.pkst.fi/files/download/FLUKE_2007.pdf>. 2007. Luettu 13.9.2010.

Liite 1: +60,400 taso, IV-koneen 392TK/PK alkuperäinen suunnitelma

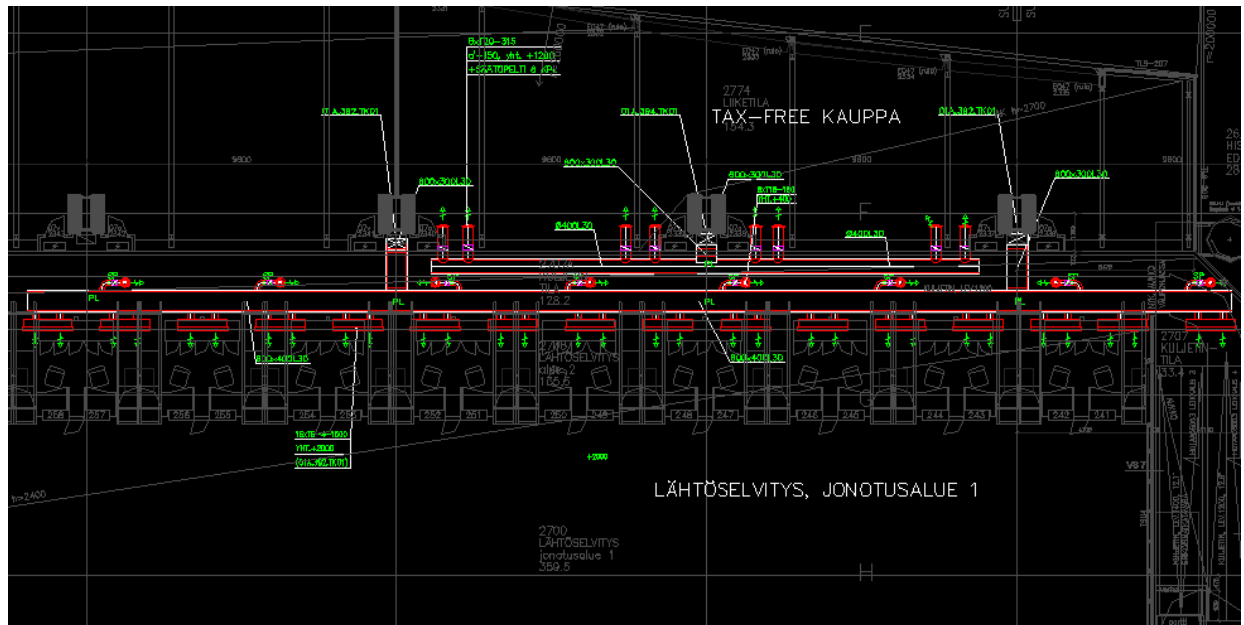
**Liite 3: +60,400 taso, IV-koneen 392TK/PK Consti Talotekniikan
suunnitelma**



**Liite 5: +58,200 taso, alkuperäinen suunnitelma
ilmanvaihtokonehuoneen alapuolisesta tilasta**



**Liite 7: +52,500 taso, lähtöselvitys/jonotusalueen 3/1
ilmanvaihtokanaviston alkuperäinen suunnitelma**



Liite 8: +58,200 taso, kanavtilan todelliset kanava-asennukset