

Kari Tarhonen

RAKENNUSAUTOMAATIO-
JÄRJESTELMÄN KÄYTTÖ
ILMASTOINTIKONEEN
LÄMMÖNTALTEENOTON
TOIMINNAN SEURANNASSA

Opinnäytetyö
Talotekniikan koulutusohjelma


Huhtikuu 2012




MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU

Mikkeli University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

 MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences	Opinnäytetyön päivämäärä				
Tekijä(t) Kari Tarhonen	Koulutusohjelma ja suuntautuminen Talotekniikan koulutusohjelma LVI-tekniikka				
Nimeke Rakennusautomaatiojärjestelmän käyttö lämmöntalteenoton toiminnan seurannassa					
Tiivistelmä <p>Insinööriyön tarkoituksena oli tutkia Mikkelin ammattikorkeakoulun Kasarmin kampuksen X-rakennuksessa sijaitsevaa ilmanvaihtokonetta ja sitä, miten rakennusautomaatiojärjestelmä soveltuu koneen energiatehokkuuden seurantaan. IV-koneen eriosista tehtiin mittauksia, joiden avulla selvitettiin, kuinka paljon rakennusautomaation mittaustulokset eroavat käsin mitatuista tuloksista.</p> <p>IV-kone on Koja Future-sarjaa ja, se on varustettu pyörivällä lämmönsiirtimellä. Mittausanturit ovat pääasiassa Schneider Electricin LVI-antureita, ja niiden avulla mitataan esimerkiksi paine-eroja sekä ilman lämpötilaa. Pitkäkestoiset mittaukset suoritettiin syys- ja lokakuussa, jolloin perehdyttiin ilmanlämpötilan mittaamiseen koneen eriosissa. Lyhyempikestoiset mittaukset suoritettiin syksyn ja talven aikana. Mittaustuloksia verrattiin aina rakennusautomaation samalta ajalta antamiin hetkellisiin tuloksiin.</p> <p>Ensimmäisten mittausten perusteella tehtyjen johtopäätösten jälkeen työssä perehdyttiin tarkemmin LTO:n jälkeisen ilmanlämpötilan tutkimiseen, koska vaikutti siltä, että rakennusautomaation antamat mittaustulokset eivät pitäneet paikkaansa. Mittauksia jatkettiin mittaamalla LTO:n jälkeistä ilmanlämpötilaa usealla eri anturilla eri kohdasta kanavaa, joiden kautta saatiin laskettua ilman lämpötilan keskiarvo. Tuloksia tutkimalla päädyttiin kuitenkin tulokseen, että rakennusautomaation antama mittaustulos on hyvin lähellä mitattua tulosta. Ilmavirtoja mitattaessa huomattiin, että varsinkin tuloilmavirta poikkeaa jonkin verran rakennusautomaation ja käsin mitatun tuloksen välillä. Rakennusautomaatiojärjestelmän ja mittausten perusteella lasketut tuloilmanlämpötilasuhteet olivat hyvin lähellä toisiaan, joten voidaan sanoa, että kyseinen järjestelmä on hyvä keino tarkkailla ilmastointikoneen LTO:n toimintaa.</p>					
Asiasanat (avainsanat) Lämmöntalteenotto, automaatio, mittaus					
Sivumäärä 24	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">Kieli</td> <td style="width: 33%;">URN</td> </tr> <tr> <td>Suomi</td> <td></td> </tr> </table>	Kieli	URN	Suomi	
Kieli	URN				
Suomi					
Huomautus (huomautukset liitteistä)					
Ohjaavan opettajan nimi Aki Valkeapää	Opinnäytetyön toimeksiantaja Mikkelin Ammattikorkeakoulu				

DESCRIPTION

 MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences		Date of the bachelor's thesis	
Author(s) Kari Tarhonen		Degree programme and option	
Name of the bachelor's thesis Monitoring the heat recovery with building automation system			
Abstract <p>The purpose of this bachelor's thesis is to examine the ventilation unit and how building automation system is suitable for monitoring its energy efficiency. The ventilation unit is located in Mikkeli University of applied sciences in Kasarmi's campus. Several measurements were made from different parts of the ventilation unit. With the help of these measurements it is possible to know how much building system's measuring results differ from the measurements that were made by hands.</p> <p>The Ventilation unit is from Koja Future series and it's equipped with rotary energy changer. Measurement sensors are maintainly made by Scneider Electric and with the help of those sensors measurements for example pressure differences and air temperature can be made.</p> <p>Long-term measurements were made in september and october. These measurements focused on measuring the air temperature on different parts of the ventilation unit. Short-term measurements were performed in autumn and winter. Measurements were compared with the building system's measurement results.</p> <p>After the first measurements conclusion was made. On the basis of this conclusion decided to research more specifically the temperature after the heat recovery because it seemed that measurement results of the building system was incorrect. The measurements were continued by measuring the air temperature after heat racovery with several different sensors on the different point of the duct. Through these measurements air temperatures average was possible to calculate.</p> <p>After researching the results it is possible to say that the building automation result is very close to the measured result. Measuring the airflow noticed that especially the incoming air differ remarkably much between building automation and measurements that were made by hands.</p>			
Subject headings, (keywords) Heat exchange, automation, measurement			
Pages 24	Language Finnish	URN	
Remarks, notes on appendices			
Tutor Aki Valkeapää		Bachelor's thesis assigned by Mikkelin Ammattikorkeakoulu	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	LÄMPÖTILAN JA PAINE-ERON MITTAAMISEN YLEISET VAATIMUKSET IV-KONEESSA.....	1
3	LÄMPÖTILAN MITTAAMINEN	2
3.1	Lämpötila-anturit	3
3.1.1	Termoelementit	3
3.1.2	Vastusanturit	3
3.1.3	Termistorit.....	4
3.1.4	Puolijohdeanturit.....	4
3.2	Lämpömittarit	5
3.2.1	Nestepatsaslämpömittarit.....	5
3.2.2	Bimetallilämpömittarit.....	5
3.2.3	Kapillaarilämpömittarit.....	6
4	ILMASTOINTI-KONEIDEN LÄMPÖTILA-ANTURIT JA LÄHETTIMET	6
4.1	Kanavalämpötila-anturi	7
4.2	Kanavalämpötilan keskiarvoanturi	7
4.3	Kanavalämpötilalähetimet	8
5	PAINE-ERON MITTAAMINEN	9
5.1	Paine-eromittarit, -kytkimet ja -lähetimet	9
5.1.1	Nestamanometrit	9
5.1.2	Vinoputkinen manometri	9
5.1.3	Sähköiset paine-eromittarit	10
5.1.4	Mekaaniset paine-eromittarit	10
5.1.5	Paine-erokytkin	10
5.1.6	Paine-erolähetin	11
6	LÄMMÖNTALTEENOTON TULOILMAN LÄMPÖTILASUHTEN MITTAAMINEN	11
7	ANTUREIDEN SUOJAETÄISYYDET JA SIOITTAMINEN.....	12
8	TK-43/PK-43.....	13
9	TUTKIMUSJÄRJESTELYT	15

9.1	Mittaukset loggereilla	16
9.2	Mittaukset ELTEK-dataloggerilla	17
9.3	Jäteilman lämpötilan mittaus	19
9.4	Tulo- ja poistoilmavirtamittaukset.....	19
10	LASKELMAT.....	21
11	JOHTOPÄÄTÖKSET	23
	LÄHTEET.....	24
	LIITTEET	
	1 TK43/PK43 Säättökaaviot	
	2 TK43/PK43 Mitoitustiedot	

1 JOHDANTO

Rakennusautomaatiojärjestelmien käyttö on yleistynyt ja vakiintunut ilmastointikoneiden käytön yhteydessä. Järjestelmien kautta voidaan seurata esimerkiksi lämpötiloja ja koneen eriosissa. Lämpötilojen kautta voidaan seurata ilmastointikoneen energiatehokkuutta, joten on tärkeää, että automaation antamat mittaustulokset ovat tarkkoja.

Työssäni tutkin Mikkelin ammattikorkeakoulun kasarmin kampuksen X-rakennuksessa olevaa ilmanvaihtokonetta. Työni syventyy siihen, miten rakennusautomaatiojärjestelmä soveltuu ilmastointikoneen lämmöntalteenoton seurantaan ja kuinka paikkansa pitävät rakennusautomaatiojärjestelmän mittaustulokset ovat.

Rakennusautomaation mittaustuloksia verrataan työn aikana suoritettuihin kenttämittauksiin. Tuloksia vertaillaan laskemalla lämpötilasuhde rakennusautomaation mittausarvoilla, jota verrataan mittauksilla korjattuihin arvoihin.

Opinnäytetyön aihe on lähtöisin Mikkelin ammattikorkeakoululta yliopettaja Aki Valkeapäältä. Haluan kiittää häntä saamastani opinnäytetyön aiheesta sekä ohjauksesta, joka on vaikuttanut opinnäytetyöni prosessiin positiivisesti.

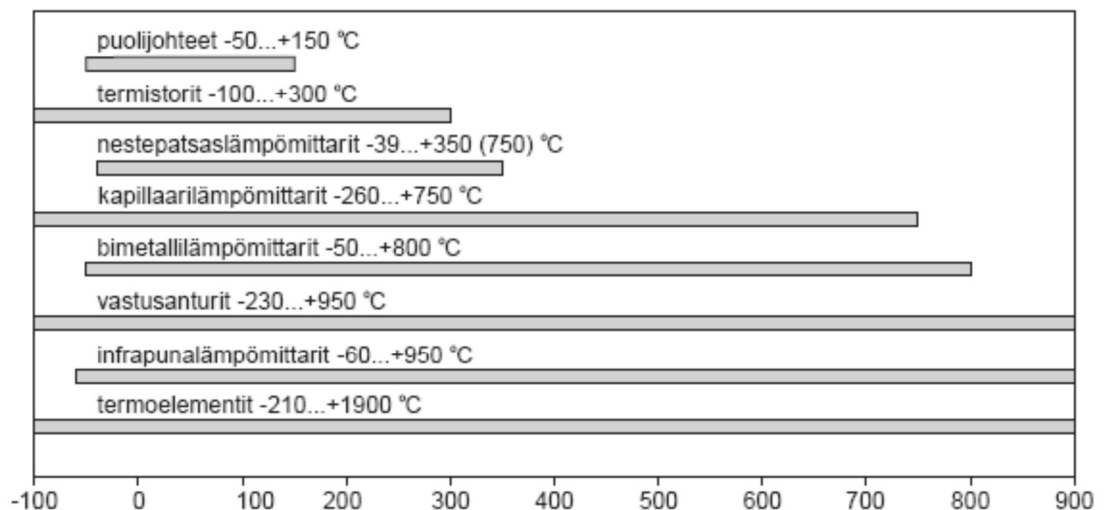
2 LÄMPÖTILAN JA PAINE-ERON MITTAAMISEN YLEISET VAATIMUKSET IV-KONEESSA

Ilmastointikoneessa tehtäviä mittauksia voidaan suorittaa monella eri tavalla. Suomen standardoimisliitto on tehnyt kuitenkin standardin, jossa mainitaan seuraavanlaiset menetelmät: kiinteästi asennettu mittauselin, kalibroitu mittauselin sekä monipistemittaus. Standardissa mainitaan myös, että mittaukset tulee suorittaa ensisijaisesti tyyppihyväksytyjä kiinteästi kanavistoon asennettuja mittauselimiä käyttäen. [1, s. 3.] Mittauselimenä voidaan lisäksi käyttää ominaisuuksiltaan tunnettua ja mittauslaitteena kalibroitua ilmastointikoneen tai kanaviston komponenttia. Jotta mittauselimelle ilmoitettu tarkkuus olisi voimassa, on sen sijoitus ja asennus oltava tyyppihyväksyntäohjeen- ja päätöksen mukainen [1, s. 3.]

3 LÄMPÖTILAN MITTAAMINEN

Ilmastointikoneessa tehtävät lämpötilamittaukset ovat ilmasta tehtäviä mittauksia. Kanavissa on yleensä kiinteästi asennetut lämpötilamittarit. Mittarit pyritään asentamaan sellaisiin kohtiin kanavistoa, joista mittausten tulosten perusteella voidaan seurata laitoksen toimintaa. Esimerkiksi lämmöntalteenoton ja IV-lämmityspatterin toimintaa seurataan mittaamalla ulkolämpötilaa, lämpötiloja ennen ja jälkeen lämmöntalteenoton sekä lämmityspatterin jälkeistä tuloilman lämpötilaa. [2, s. 3.] Lämpötilan mittauksissa yhteydessä esiintyy usein erilaisia virhetekijöitä, jotka voivat olla mittaus tuloksen luotettavuuden kannalta merkittäviä. Voidaankin sanoa, että kosketuslämpötilamittari ilmoittaa vain ja ainoastaan oman anturinsa lämpötilan. Yleensä anturin lämpötila ei ole sama kuin mittauskohteen. Syynä tähän ovat lämpösäteilyn, johtumisen sekä muiden tekijöiden aiheuttamat vaikutukset; nämä aikaansaavat systemaattisen virheen. [3, s. 77.] IV-tekniikassa toimitaan yleensä lämpötila-alueella $-40...+50^{\circ}\text{C}$

C. Kuvassa 1 on esitelty eri mittaustekniikoiden käyttöalueet.



KUVA 1. Lämpötila-antureiden käyttöalueet /3/

3.1 Lämpötila-anturit

3.1.1 Termoelementit

Lämpötilan mittaaminen termoelementillä perustuu lämpösähköilmiöön kahden eri metallin liitoskohdassa, joka on lähes suoraan verrannollinen metallien liitoskohtien lämpötilaeroon. Rakenteeltaan termoelementti on lankapari, jonka toisen pään langat on liitetty yhteen. Lankaparin toinen pää voidaan liittää joko suoraan mittalaitteeseen tai siitä voidaan myös tehdä liitos, joka asetetaan vertailulämpötilaan. Lämpötila-alue, jossa termoelementtejä käytetään, vaihtelee välillä $-200 \dots + 1700^{\circ}\text{C}$. Termoelementeillä on standardin mukaiset epätarkkuudet, ja ne vaihtelevat välillä $\pm 3 \dots \pm 1^{\circ}\text{C}$. Termoelementtien parhaita puolia ovat sen yksinkertainen valmistaminen ja sitä kautta kohtuullinen hinta sekä laaja lämpötila-alue, jossa sitä on mahdollista käyttää. [3, s.82.]



KUVA 2. Termoelementti miniatyyriliittimellä/6/

3.1.2 Vastusanturit

Vastusanturit ovat pääasiallisesti eri metalleista valmistettuja vastuksia, joiden toiminta perustuu vastuksien lämpötilariippuvuuteen. Tuntoelimen muodostaa keraamiseen tai lasiseen suojakuoreen valettu metallivastus, joissa yleisimmin käytetyt materiaalit ovat platina sekä kupari ja nikkeli. Mittaustulos on käytännössä lineaarinen lämpötilan suhteen alle $+ 200^{\circ}\text{C}$ lämpötiloissa. Lämpötila-alue, jossa vastusanturit toimivat, vaihtelee metallista riippuen välillä $-220 \dots + 850^{\circ}\text{C}$. Vastusantureiden tarkkuus riippuu anturin laadusta, mutta se on parhaimmillaan erittäin hyvä. Standardeissa mainitut pienimmät toleranssit ovat platinalle $\pm 0,15^{\circ}\text{C}$ ja nikkelille $\pm 0,4^{\circ}\text{C}$. Vastusantu-

reiden etuja ovat pieni epätarkkuus, laaja lämpötila-alue sekä stabiilius. Huonona puolelta voidaan mainita pieni lämpötilakerroin, joka asettaa vastusta mittaavalle mittarille korkeat vaatimukset. [3, s.83.]



KUVA 3. Vastusanturi /7/

3.1.3 Termistorit

Termistorit perustuvat tiettyjen metallioksidien vastuksen voimakkaaseen lämpötilariippuvuuteen, joka on samalla myös erittäin epälineaarista. Termistorit valmistetaan yleensä sintraamalla metallioksidoista. Lämpötila-alue, jossa termistorit toimivat, on luokkaa $-100 \dots + 300^{\circ}\text{C}$. Termistorien ominaisuuksia ei ole standardoitu, ja niiden epätarkkuudet vaihtelevat suuresti. Parhaimmilla termistoreilla epätarkkuus on kuitenkin luokkaa $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$. Termistorien parhaita ominaisuuksia on nopeus sekä voimakas lämpötilariippuvuus. Haittapuolena on voimakas epälineaarisuus. [3, s.84.]

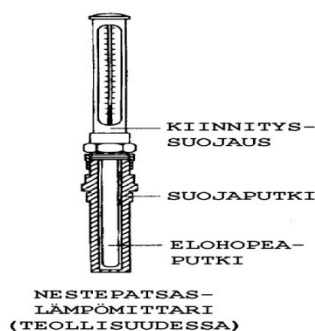
3.1.4 Puolijohdeanturit

Puolijohdeanturit ovat antureita, jotka perustuvat puolijohdeliitokseen, kuten esimerkiksi diodi sekä transistori. Käytössä on myös kehittyneempiä, useista transistoreista muodostuvia integroitua piirejä, jotka ovat erityisesti suunniteltuja lämpötilan mittaamiseen. Puolijohdeantureiden ilmoitettu lämpötila-alue vaihtelee valmistajasta riippuen; tavallisesti se on kuitenkin välillä $-50 \dots + 150^{\circ}\text{C}$. Tarkkuus puolijohdeantureilla on luokkaa $\pm 0,5 \dots \pm 5^{\circ}\text{C}$ riippuen tuotteesta. Puolijohdeantureiden suurin vahvuus on yksinkertaisuus. [3, s.85.]

3.2 Lämpömittarit

3.2.1 Nestepatsaslämpömittarit

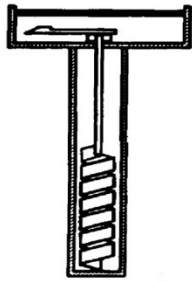
Nestepatsaslämpömittarin toiminta perustuu nesteen laajenemiseen lasisäiliössä. Mittari koostuu nestesäiliöstä sekä siihen liitetystä kapillaariputkesta. Nesteenä käytetään yleensä elohopeaa tai alkoholia, ja niiden lämpötila-alue on välillä $-90 \dots 350^{\circ}\text{C}$. Tarkkuus kyseisellä menetelmällä riippuu mittarin laadusta sekä mitattavasta lämpötilasta. Parhaimmillaan tarkkuus kuitenkin on luokkaa $\pm 0,02^{\circ}\text{C}$. Menetelmän hyvä puoli sen yksinkertaisuus, kun taas heikkoudeksi voidaan lukea mekaanisesti heikko rakenne. [3, s.80.]



KUVA 4 Nestepatsalämpötilamittari /8/

3.2.2 Bimetallilämpömittarit

Bimetalliantureiden toiminta perustuu kahden eri metalliliuskan erisuuruiseen lämpölaajenemiseen. Metallit omaavat eri lämpölaajenemiskertoimen, joten toinen materiaali venyy tai vastaavasti kutistuu toista enemmän. Tätä muodonmuutosta käytetään ilmaisemaan lämpötilan arvoa liittämällä liuskoihin esimerkiksi välitysmekanismiin, joka liikuttaa mittarin osoitinta. Bimetallilämpömittareiden käyttö-alue vaihtelee välillä $-50 \dots + 500^{\circ}\text{C}$ tarkkuuden ollessa luokkaa $\pm 2 \dots 5^{\circ}\text{C}$. Mittarin hyvänä puolena on sen yksinkertainen ja kestävä rakenne, mutta haittapuolena on epätarkkuus sekä sen menetelmän hitaus. [3, s.81.]

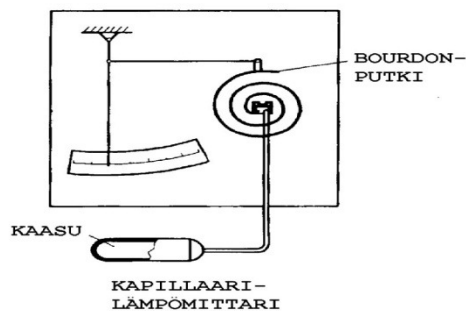


BIMETALLILÄMPÖ-
MITTARI

KUVA 5. Bimetallilämpötilamittari /8/

3.2.3 Kapillaarilämpömittarit

Kapillaarilämpömittarit on nimitys sellaisille mittareille, joissa mittaus perustuu anturisäiliössä olevan kaasun laajenemiseen tai nesteen höyrystymiseen. Mittarin asteikolta voidaan lukea muodonmuutosta vastaava lämpötila. Lämpötila-alue, jossa mittari toimii, on välillä $-50 \dots 500^{\circ}\text{C}$, jolloin tarkkuus on $\pm 2 \dots 5^{\circ}\text{C}$. Mittarin eduksi voidaan sanoa kestävä ja yksinkertainen rakenne. Haittoina mittarissa ovat epätarkkuus, hitaus sekä ajautuma. [3, s.81.]



KUVA 6. Kapillaarilämpötilamittari /8/

4 ILMASTOINTI-KONEIDEN LÄMPÖTILA-ANTURIT JA LÄHETTIMET

Ilmastointikoneen lämpötilan mittaamiseen on valmistettu erilaisia anturimalleja, joista jokaisella on hyvät ja huonot puolensa. Seuraavassa esitellään työhöni liittyviä yleisimpiä malleja.

4.1 Kanavalämpötila-anturi

Kanavalämpötila-anturi on mittauslaite, joka on tarkoitettu asennettavaksi kanavaan. Anturin pituus voi vaihdella kanavan halkaisijan mukaan. Kuvasta 7 voidaan havaita, että anturin pituus voi olla säädettävissä esimerkiksi teleskooppisen varren avulla. Tämän tyyppisen mittauslaitteen tarkkuus vaihtelee lämpötilan mukaan; mitä korkeampi tai vastaavasti matalampi lämpötila on, sitä epätarkempi mittaustulos on. [4, s.7.]



KUVA 7. Kanavalämpötila-anturi /4/

4.2 Kanavalämpötilan keskiarvoanturit

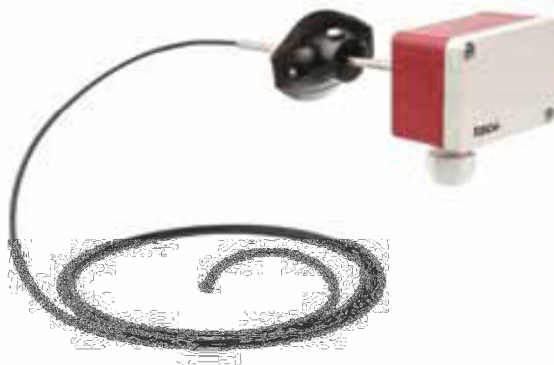
Kanavalämpötilan keskiarvoanturit ovat toimilaitteita, jotka sisältävät yleensä kytkentärasian sekä kaapelin, jossa on esimerkiksi metrin välein neljä anturia. Antureina voi olla esimerkiksi termistori, joka toimii lämpötilan keskiarvoanturina. Kaapeli, johon anturit ovat kiinnitettynä, voidaan asentaa esimerkiksi ritilään tai kanavan poikki viritettyyn vaijeriin. [4, s.9.]



KUVA 8. Kanavalämpötilan keskiarvo-anturi/4/

4.3 Kanavalämpötilalähettimet

Kanavalämpötilalähettimet ovat sähköisiä lämpötilalähtimiä, jotka muuntavat mitatun lämpötilan sähköiseksi virtasignaaliksi. Lähettimellä voidaan mitata lämpötilaa yhdestä kohdasta kerrallaan, tai sitten se voi mitata kanavan lämpötilan keskiarvon, jolloin mittaukset suoritetaan esimerkiksi viidessä, tasaisin välimatkoin sijoitetussa pisteessä. Lähettimien toiminta alue on $-50 \dots + 100^{\circ}\text{C}$ riippuen lähettimen mallista, jolloin tarkkuus on luokkaa $\pm 0,4^{\circ}\text{C}$. [4, s.10.]



KUVA 9. Kanavlämpötilalähetin /4/

5 PAINE-ERON MITTAAMINEN

IV- tekniikassa mitataan paine-eroa huomattavasti useammin kuin absoluuttista painetta. [3, s.147]. Pääsääntöisesti tilavuusvirran mittaukset perustuvat paine-eron mittaamiseen. Paine-eron mittaamisen kautta voidaan valvoa ilmastointikoneen eriosia; esimerkiksi suodattimien tai LTO-kiekon puhtautta. Paine-eron mittaamiseen voidaan käyttää monia eri mittaamenetelmiä.

5.1 Paine-eromittarit, -kytkimet ja -lähettimet

5.1.1 Nestamanometrit

Nestemanometrit paine-eron mittaus perustuu hydrostaattisen paine-eron toteamiseen nestepatsaiden korkeuksia vertaamalla [2, s. 7]. Manometreissä voidaan käyttää nesteenä esimerkiksi tislattua vettä tai värjättyä alkoholia. Parhailla nestemanometreillä tarkkuus on luokkaa $\pm 0,05 Pa$.

5.1.2 Vinoputkinen manometri

Vinoputkinen manometri on mittari, joka ilmaisee ja mittaa ilman yli- tai alipaineen sekä ilmanpaine-eron. Toiminta-alueena on esimerkiksi 1-1500 pascalia. Tämänkaltaisella mittarilla tarkkuus on hyvinkin heikko; $\pm 50 Pa$. [4, s.28.]



KUVA 10. Vinoputkinen manometri /4/

5.1.3 Sähköiset paine-eromittarit

Sähköisten paine-ero mittarit ovat helppokäyttöisiä sekä helposti liikuteltavia. Mittaustulokset ovat myös rekisteröitävissä sähköisyyden ansiosta. Sähköiset painemittarit käyttävät mittaukseen antureita, jotka voivat olla esimerkiksi kapasitiivisia, vastusan-
tureita tai termisiä. Eri periaatteella toimivissa sähköisissä mittareissa voi olla eroja, niin hinnassa kuin tarkkuudessaakin. Parhaimpien sähköisten paine-eromittareiden tarkkuus on noin $\pm 1 Pa$. [2, s.7.]

5.1.4 Mekaaniset paine-eromittarit

Mekaanisten paine-eromittareiden toiminta perustuu yleensä mitattavia paineita erottavan kalvon tai palkeen liikkeen välittämiseen osoittimen liikkeeksi. Tällaiset laitteet käyvät hyvin esimerkiksi ilmastointilaitoksen kiinteästi asennettaviksi osoittaviksi mittareiksi, koska niiden tarkkuus on vaatimaton; $\pm 5 Pa$. [2, s.7.]

5.1.5 Paine-erokytkin

Paine-erokytkimet ovat tarkoitettu esimerkiksi IV-kanavien, puhaltimien sekä suodatimien valvontaan [4, s.28].



KUVA 11. Paine-erokytkin /4/

5.1.6 Paine-erolähetin

Paine-erolähettimet ovat tarkoitettu IV-järjestelmien valvontaan. Ne voivat olla sähköisiä lähettimiä, jotka muuntavat mitatun paine-eron sähköiseksi signaaliksi. Mitattu paine-ero ilmoitetaan tavallisesti Pascal - yksikkönä. Toiminta-alue vaihtelee mitta-reilla suuresti. IV-järjestelmissä paine-erot ovat usein pieniä ja alueeksi riittää 0 – 5000 Pa. Tarkkuus on tällöin luokkaa $\pm 0,4 - 2,5 \%$. [4, s.26.]



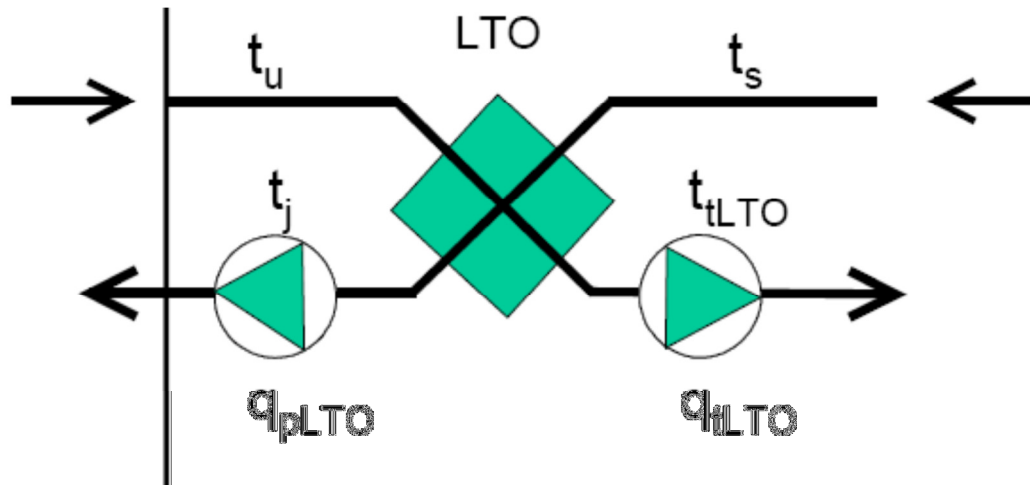
KUVA 12. Paine-erolähetin /4/

6 LÄMMÖNTALTEENOTON TULOILMAN LÄMPÖTILASUHTEEN MITTAAMINEN

Lämmöntalteenoton lämpötilasuhdetta mitattaessa lämpötilat mitataan LTO:n molemmin puolin sekä tulo- ja poistoilmavirrat. Tuloilmanlämpötilasuhde lasketaan kaavalla

$$\eta_t = \frac{t_{tLTO} - t_u}{t_s - t_u} \quad [5, \text{s.12.}] \quad (1)$$

η_t	on tuloilmalämpötilasuhde, %
t_{tLTO}	on tuloilman lämpötila LTO:n jälkeen, °C
t_u	on ulkoilman lämpötila, °C
t_s	on sisäilman lämpötila, °C



KUVA 13. Ilman lämpötila LTO:n eripuolilla/6/

Tulo- ja poistoilman lämpötilasuhteen välillä pätee [6, s.15.]

$$\eta_{p=R_{LTO}} \eta_t \quad (2)$$

missä

$$R_{LTO} = \frac{q_t}{q_p} \quad (3)$$

η_p on poistoilmanlämpötilasuhte, %

R_{LTO} on lämmöntalteenoton läpi kulkevien tulo- ja poistoilmavirtojen suhde

q_t on tuloilmavirta, m³/s

q_p on poistoilmavirta, m³/s

7 ANTUREIDEN SUOJAETÄISYYDET JA SIJOITTAMINEN

Käytettäessä standardoitua mittausmenetelmää kyetään mittauksissa tapahtuville epä-tarkkuuksille määrittämään enimmäisarvot. Enimmäisarvot pätevät vain, jos mittauskohta on riittävän etäisyyden päässä virtauksen häiriökohdista. Pyöreässä kanavassa suojaetäisyys lasketaan kaavalla 4. [1, s 3.]

$$L = N_1 D \quad (4)$$

ja suorakaidekanavassa kaavalla 5 [1,s 3.]

$$L = N_1 \times \frac{a+b}{2} \quad (5)$$

L	on häiriökohdan ja mittauskohdan välinen etäisyys, m
D	on kanavan halkaisija, m
a	on suorakaidekanavan sivun mitta, m
b	on suorakaidekanavan sivun mitta, m
N_1	on suojaetäisyyskerroin virtaussuunnassa ennen mittauskohtaa.

8 TK-43/PK-43

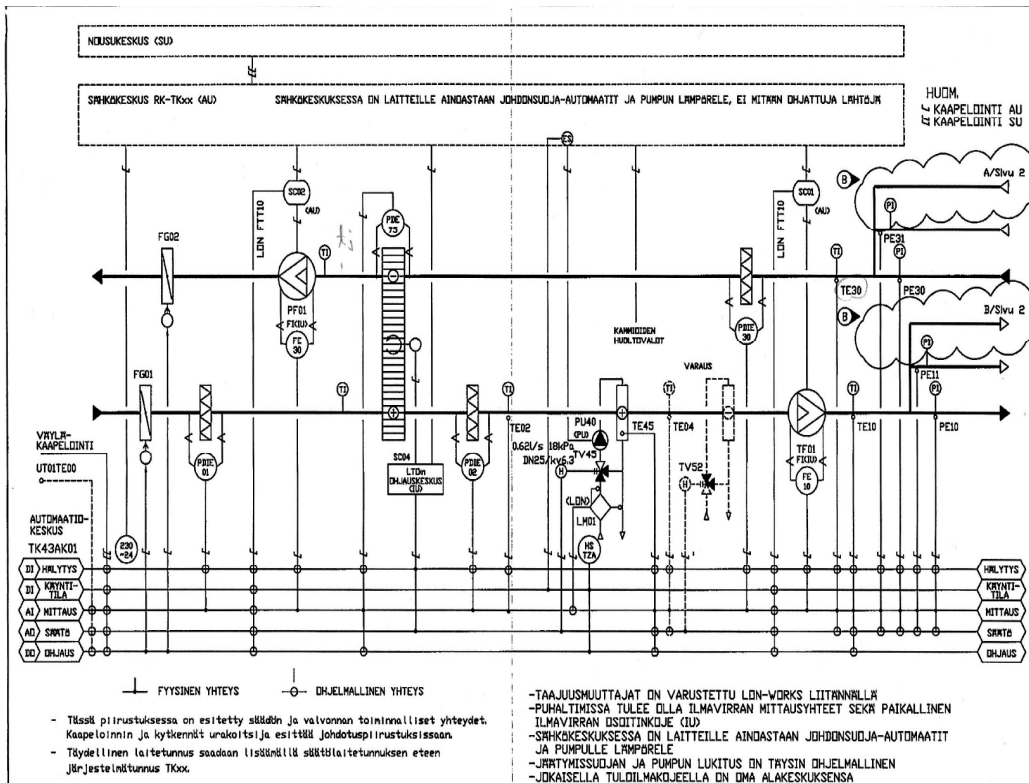
Työssäni tutkittava ilmastointikone TK-43/PK-43 IV-kone palvelee Mikkelin ammattikorkeakoulun Kasarmin kampuksella sijaitsevaa X-rakennusta. Kone on varustettu regeneratiivisella eli pyörivällä lämmönsiirtimellä. Kone on KOJA Future-mallisarjasta, ja on kooltaan 1512 (kuva 14). Koneen mitoitus tiedot on esitetty taulukossa 1, säätökaavio kuvassa 15 ja graafisen käyttöliittymän prosessikaavio näyttö kuvassa 16.

TAULUKKO 1. TK-43/PK-43 mitoitus tiedot

	Mitoitus ilmavirta (m ³ /s)	Mitoitus painehäviö (Pa)
Tulopuoli	4,0	320
Poistopuoli	3,6	320

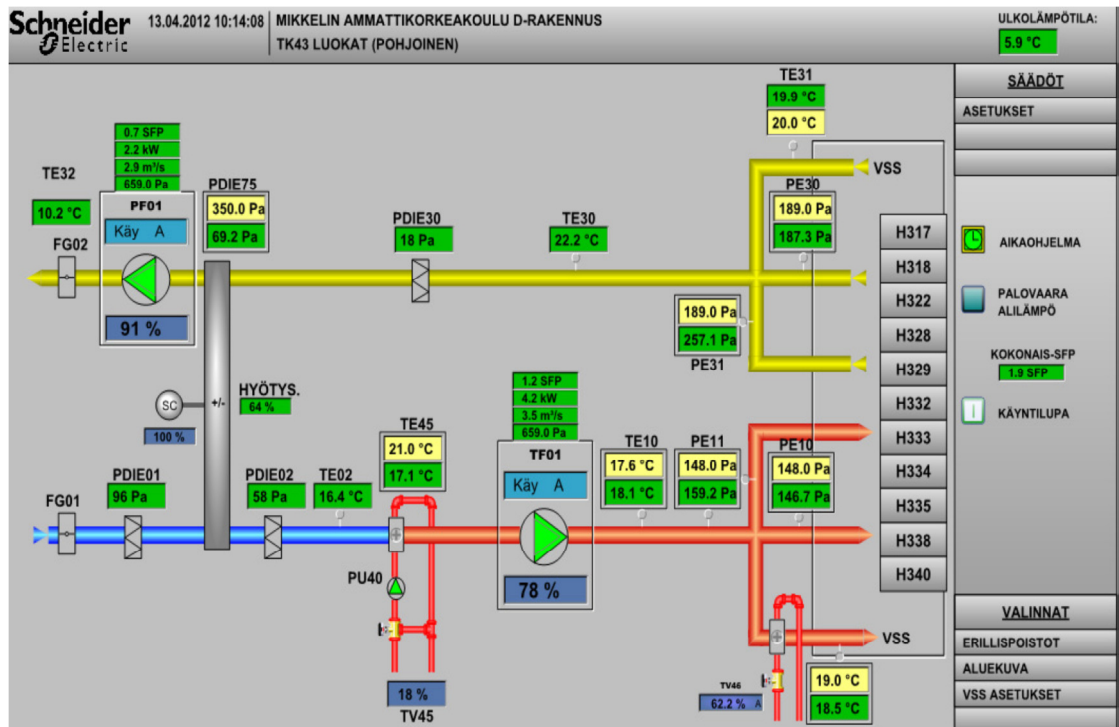


KUVA 14. TK43/PK43



KUVA 15. TK43/PK43 säätökaavio

Rakennusautomaatiokuvasta (kuvasta 16) selviää antureiden sijoituspaikat, joita rakennusautomaatiojärjestelmä käyttää lämpötilojen ja paine-erojen ilmoittamiseen.



KUVA 16. Graafisen käyttöliittymän prosessikaavionäyttö

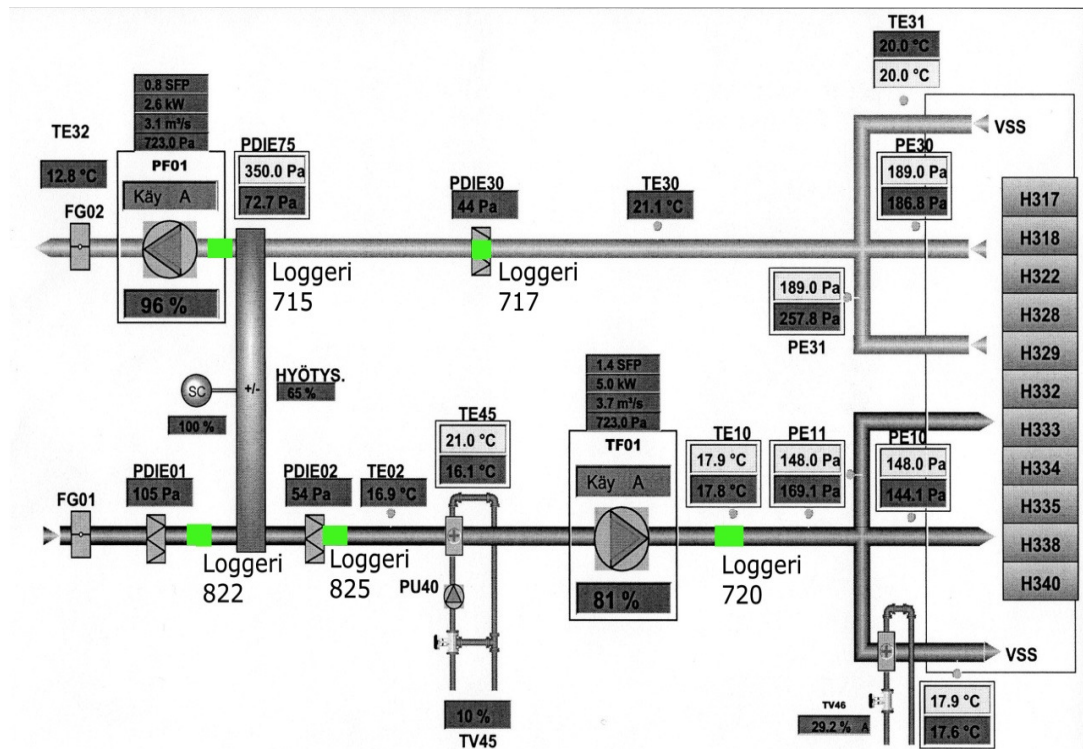
LTO:n lämpötilasuhdetta tarkasteltaessa tarvitaan lämpötilat ennen lämmöntalteenottoa (TE30, ulkolämpötila) sekä lämpötilat lämmöntalteenoton jälkeen (TE02, TE32). TK43:ssa käytetään lämpötilojen mittaukseen joko kanavalämpötila-anturia (kuva 2) tai kanavalämpötilan keskiarvo-anturia (kuva 3). Anturit ovat Schneider Electricin T.A.C STD- sarjaa.

9 TUTKIMUSJÄRJESTELYT

Mittaukset suoritettiin vuonna 2011 syyskuun ja lokakuun aikana. Lämpötilan mittaukseen käytettiin EBRO EBI-20 TH-loggereita sekä ELTEK-dataloggeria ja U-tyypin termistoriantureita. Lämpötiloja seurattiin noin yhden viikon ajan molemmissa mittauksissa. Lisäksi jäteilman lämpötila mitattiin myös TSI-kuumalankamittarilla, koska jäteilman lämpötilamittaus on koneessa epäedullisessa paikassa.

9.1 Mittaukset loggereilla

Ensimmäiset mittaukset suoritettiin EBRO EBI-20 TH-mittareita avuksi käyttäen. Mittarin anturina on NTC-lämpötila-anturi, jonka toiminta-alue on $-30 \dots + 60^{\circ}\text{C}$ ja tuolla alueella tarkkuus on $\pm 0,5 \dots 0,8^{\circ}\text{C}$. Mittaukset suoritettiin asentamalla viisi loggeria (taulukko 2) kuvassa 17 vihreällä merkittyihin paikkoihin. Kuvasta selviää, että paikoiksi on valittu vastaavat, joista rakennusautomaatiojärjestelmä suorittaa mittauksensa. Näin saadut tulokset ovat helposti vertailtavissa toisiinsa. Loggerit keräsivät tietoa kymmenen päivän ajan, minkä jälkeen tiedot purettiin tietokoneelle.



KUVA 17. Loggerit IV-koneessa

TAULUKKO 2. Loggereiden sijoitus

Automaatiojärj.tunnus	Loggeri tunnus	Kuvaus
TE02	825	Tuloilman lämpötila LTO:n jälkeen.
TE10	720	Tuloilman lämpötila puhaltimen jälkeen.
TE30	717	Poistoilman lämpötila ennen LTO:a.
TE32	715	Jäteilman lämpötila
TE30	822	Ulkoilman lämpötila

Mittaustulokset on koottu taulukkoon 3. Taulukoidut tulokset ovat valittu ajalta 20.9.2011 kello 8.50.

TAULUKKO 3. Loggereiden mittaustulokset (20.9.2011 klo. 8.50)

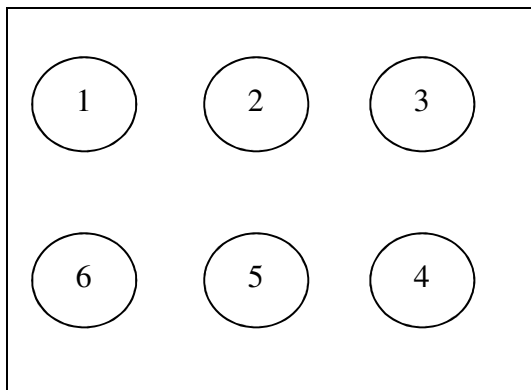
Menetelmä	$t_{ulkoilma}$ (°C)	$t_{tuloilma}$ (°C)	t_{LTO} (°C)	$t_{poistoilma}$ (°C)
Automaatio	11,1	17,5	18,0	21,5
Loggeri	11,9	16,1	14,5	21,5

Taulukosta nähdään, että lämmön talteenoton (t_{LTO}) jälkeinen lämpötila eroaa automaation ja mittauksien välillä eniten eron ollessa 3,5 °C (lähes 20 %). Ero oli muihin lämpötiloihin niin poikkeava, että näiden mittaustulosten perusteella päätettiin jatkaa mittauksia keskittymällä nimenomaan kyseisen lämpötilan mittaamiseen.

9.2 Mittaukset ELTEK-dataloggerilla

Loggereiden avulla saatujen mittaustulosten perusteella mittauksia jatkettiin mittamalla lämpötilaa LTO:n jälkeen. Mittausvälineeksi valittiin ELTEK-dataloggeri, jonka avulla pystyttiin mittaamaan lämpötilaa kanavan useasta erikohdasta. Näin saadaan

ilman lämpötilan keskiarvo, jolloin tuloskin on paljon tarkempi. Mittaukset suoritettiin ajanjaksolla 5.10.2011 - 9.10.2011. ELTEK dataloggerissa on useita mittausantureita, jotka voidaan sijoittaa haluttuihin paikkoihin. Työssäni päätettiin käyttää kuutta anturia, jotka sijoitettiin IV-koneeseen LTO: n jälkeen. Anturit asetettiin tasaisin välimatkoin kanavaan, jotta ilmanlämpötilasta saataisiin keski-arvo. Antureiden viitteelliset paikat selviävät kuvasta 18. Koska virtausnopeusjakaumaa ei tilan ahtauden takia voitu mitata, tyydyttiin pelkkään lämpötilajakauman mittaukseen.



KUVA 18. ELTEK-dataloggerin antureiden paikat

Taulukossa 4 on esitetty lämpötilat (kuva 18) LTO: n jälkeen. Taulukossa 5 on esitetty kuuden mittauspisteen mittaustulosten keskiarvo LTO: n jälkeen, jota on verrattu automaatiojärjestelmän samaan aikaan ilmoittamaan lämpötilaan. Taulukkoja vertaillen voidaan todeta, että automaation ilmoittama mittaustuloksuma ei eroa mitatusta kuin 0,5 °C (3%). Lisäksi nähdään, että anturit numero 2,5 ja 6 ovat lähimpänä tulosten keskiarvoa.

TAULUKKO 4. Tulo-ilman lämpötila LTO:n jälkeen (7.10.2011 KLO (10.10))

Anturi	1	2	3	4	5	6
Lämpötila(°C)	18,7	17,4	15,7	15,9	16,3	17,3

TAULUKKO 5. Tulo-ilman lämpötila LTO:n jälkeen

Menetelmä	Lämpötila LTO:n jälkeen (°C)
Kuuden lämpötilamittauspisteen keskiarvo	16,9
Kuuden lämpötilamittauspisteen minimi arvo	15,7
Kuuden lämpötilamittaus pisteen maksimi arvo	18,7
Automaatiojärjestelmä (TE 02)	17,4

9.3 Jäteilman lämpötilan mittaus

Jäteilman lämpötilan mittaus tehtiin hetkellisenä mittauksena käyttämällä TSI Velocicalc -kuumalankamittaria. Mittaus suoritettiin puhaltimen jälkeen jäteilmakanavasta hetkellisenä mittauksena, koska jäteilman lämpötilaa ei voitu mitata ennen poistoilmavirtauksen puhallinta. Mittausta varten porattiin reikä eristettyyn jäteilmakanavaan.

TAULUKKO 6. Jäteilman lämpötilat

Menetelmä	Jäteilman lämpötila (°C)
TSI Mittari	14,4
Automaatio (TE32)	15,8

Taulukosta nähdään, että mittarin ja automaation välinen mittaustulos eroaa toisistaan 1,4 °C (n.10 %). Tämä on nähdäkseni ainakin puhaltimesta johtuvaa, joten voidaan sanoa, että nykyinen automaatiojärjestelmän anturin paikka on huono ja se tulisi siirtää niin, että se sijaitisi puhaltimen jälkeen.

9.4 Tulo- ja poistoilmavirtamittaukset

Tulo- ja poistoilmavirrat mitattiin koneen mittayhteistä (kuva 19) Swema Air 300 -monitoimittarilla TK43:sta paine-erot, joiden avulla voitiin laskea ilmamäärät kaavalla

$$q_v = 0,1361 * \sqrt{\Delta p} \quad (6)$$

q_v on ilmamäärä, m^3/s

Δp on paine-ero, Pa

Mittaustulokset ovat esitettyinä taulukossa 7, jossa niitä on verrattu automaation arvoihin.

TAULUKKO 7. Ilmamäärät (30.3.2012)

Menetelmä	Tulo-ilma virta (m^3/s)	Poisto-ilma (m^3/s)
Mittaus	4,2	3,6
Automaatio	3,4	3,1



KUVA 19. TK43 Ilmavirtayhteet

10 LASKELMAT

Ilmanvaihdon lämmöntalteenottolaitteen tehoa ottaa poistoilmasta lämpöä talteen voidaan kuvata tuloilmanlämpötilasuhteella (kaava 1). Tuloilman lämpötilasuhte on tuloilman lämpenemisen suhde poistoilman ja ulkoilman väliseen lämpötilaerotukseen. Lämpötilasuhte kertoo lämmöntalteenottolaitteen kyvystä siirtää lämpöä poistoilmasta tuloilmaan. Tuloilman lämpötilahyötysuhdetta tarvitaan silloin, kun tuloilman lämpötilaa rajoitetaan lämmityskaudella lämmöntalteenottoa rajoittamalla [6,s 14]. Tuloilman lämpötilahyötysuhteeseen vaikuttaa lämmöntalteenottolaitteen rakenteen lisäksi tulo- ja poistoilmavirtojen suhdekaava (3). Erityyppisten lämmönsiirtimien tuloilman lämpötilahyötysuhteet ovat tyypillisesti seuraavanlaisia [6,s.9].

- virtaavan väliaineen välityksellä lämpöä siirtävät lämmönsiirinyhdistelmät; 40- 60 %
- ristivirtalevylämmönsiirtimet 50 – 70 %
- vastavirtalevylämmönsiirtimet 60 – 80 %
- regeneratiiviset lämmönsiirtimet 60 – 80 %.

Tuloilman lämpötilasuhte yhtä suurilla ilmavirroilla voidaan laskea epäsuhteisilla ilmavirroilla mitatuista lämpötilasuhteesta riittävällä tarkkuudella kaavalla 7[6, s.15.]

$$\eta_{t(RLTO=1)} = \frac{(1+R_{LTO})}{2} * \eta_{tR_{LTO}} \quad (7)$$

$\eta_{t(RLTO=1)}$	on tuloilmanlämpötilasuhte yhtä suurilla ilmavirroilla, %
$\eta_{tR_{LTO}}$	on tuloilman lämpötilasuhte yhtä suurilla ilmavirroilla, %
R_{LTO}	on lämmöntalteenoton läpi kulkevien tulo- ja poistoilmavirtojen suhde

Vastaavasti, kun ilmapirrat ovat epäsuhteessa, saadaan tuloilmanlämpötilasuhde kaavasta

$$\eta_{t(RLTO)} = \frac{(2)}{1+R_{LTO}} * \eta_{t(RLTO=1)} \quad [6, \text{s.15.}] \quad (8)$$

TAULUKKO 8. Tuloilman lämpötilasuhde TK-43

Laskelmissa käytettyjen arvojen mittausmenetelmä	R_{LTO}	$\eta_{t(RLTO)}$ (%)	$\eta_{t(RLTO=1)}$ (%)
Loggeri	1,17	27	29
Automaatio	1,10	66	69

TAULUKKO 9. Tulosten vertailu

	Automaatio	Mittaus
R_{LTO}	1,10	1,17
t_u (°C)	9,5	9,5
t_s (°C)	21,5	21,5
t_{tLTO} (°C)	17,4	16,9
t_j (°C)	13,6	13,6
$\eta_{t(RLTO)}$ (%)	66	62
$\eta_{t(RLTO=1)}$ (%)	69	67
$\eta_{p(RLTO)}$ (%)	73	70

Poistoilman lämpötilasuhde, $\eta_{p(RLTO)}$ on laskettu tuloilman lämpötilasuhdesta.

11 JOHTOPÄÄTÖKSET

Mittaustuloksista nähdään, että automaation ja mittausten välillä on eroavaisuuksia. Lämpötiloja mitattaessa suurin ero oli 3,5 °C. Tämä ero oli loggerin ja automaation mittaustulosten välillä lämmöntalteenoton jälkeisessä lämpötilassa. Kuitenkin jatko-mittauksia tehdessä huomattiin, että mittaamalla lämpötila kuudesta mittauspisteestä eroksi muodostui vain 0,5 °C mittaustuloksien ja automaation välille.

Mittaukset osoittivat sen, että lämpötila tulee mitata useasta eri pisteestä LTO: n jälkeen. Ilmavirtamittaukset poikkesivat automaation antamista arvoista tulopuolella 0,6 m^3/s (n.16%) ja poistopuolella 0,5 m^3/s (n.11%). Tulo- ja poistoilmavirtojen lasketut suhteet ovat kuitenkin hyvin lähellä toisiaan, joten pitäisin automaation antamia tuloksia suhteellisen luotettavina. Mietittäessä esimerkiksi lämpötiloja mittauksien ja automaation perusteella voidaan todeta, että ne ovat hyvinkin samankaltaisia. Automaatiojärjestelmän tuloksiin vaikuttavat varmastikin se, mihin mittausanturit ovat sijoitettu, lika sekä lämpösäteily. Mittausten ja laskelmien perusteella automaatiojärjestelmän antamat mittaustulokset ovat kuitenkin todenmukaiset. Tästä voidaan tulla johtopäätökseen, että rakennusautomaatiojärjestelmä soveltuu LTO:n toiminnan seurantaan.

Insinööriyötäni tehdessäni ymmärsin, kuinka mittauksiin tulisi valmistautua huolellisesti. Täytyisi miettiä, mitä mitataan, miksi ja mihin saatuja mittaustuloksia tullaan käyttämään. Mietinkin näin jälkeenpäin, että ELTEK-mittarilla suoritettujen mittauksien ajanjakson aikana olisi tullut suorittaa mittauksia myös loggereilla koneen muista osista. Näin olisi saatu vertailukelpoisia lämpötiloja tuloilmanlämpötilahyötysuhteen laskemiseen. Tämä mittaus olisikin mielestäni hyvä suorittaa tulevaisuudessa, jotta saataisiin täysi varmuus mittaustulosten ja automaatiojärjestelmän lämpötilojen erojen selvittämiseksi.

LÄHTEET

- [1] LVI SFS 5512. 1989. Ilmastointi, ilmavirtojen ja painesuhteiden mittaus ilmastointilaitoksissa. Luettu 2.2.2012
- [2] LVI-LAITOSTEN MITTAUKSET. 1999. Luettu 7.2.2012
- [3] Sirén,Kai 1995 Ilmastointitekniikan mittaukset. ESPOO. 1995
- [4] LVI Anturit 2010. Schneider Electric. Luettu 12.3.2012
- [5] LVI SFS 5511. 1993. Ilmastointi. Rakennusten sisäilmasto. Lämpö-olojen kenttämittaukset. Luettu 15.3.2012
- [6] Ympäristöministeriön moniste 122, Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton lämpöhäviöiden tasauslaskennassa. www-dokumentti,
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=9298&lan=fi>. 2003. Päivitetty 20.4.2012

TOIMINTASELOSTUS

Tuoliinpuhallin TF01 käynnistää ohjataan rakennusautomaatiojärjestelmän aika- ja tapahtumaohjelmilla. Puhallinta TF01 ja PF01 käynnistettäessä tuojuusmuuttajat SC01 ja SC02 säätävät puhallinien pyörimisnopeutta kiihdytyksen kuluttua säätöön mukaiselle nopeudelle.

LUKUTUKSET

Tuoliinpuhallin voi käydä kun seuraavat ehdot toteutuvat:

- Lämmityspatterin pumppu PU40 kyy
- Jäähdytysvarailiävyys TZ01 ei ole voimassa (kuittattava paikallisesti)
- IV-häätöily ei ole voimassa
- Tuoliinien ali- tai yllilämpöily ei ole voimassa (kuittattava järjestelmästä)
- IV-häätöily ei ole voimassa (kuittattava järjestelmästä)
- Palohälyty ei ole voimassa

SÄÄTÖN TOIMINTA

1. Kojie käynnistää

Poistolinpuhallin PF01 kyy rinnan tuoliinpuhallin TF01 kanssa. Tuoliinpuhallin FG01 on auki kun järjestelmässä on tuoliinpuhallinien indikaattori. Poistolinpuhallin FG02 on auki kun järjestelmässä on poistolinpuhallinien indikaattori.

1.1 Lämpötilan säätö

Tuoliin lämpötila TE10 pidetään asetussarvossa. Tuoliin lämpötilan asetussarvo muuttuu vaikutusalueen poistolinpuhallin TE30 mukaan (kuva 1). S816 ohjaa suhteellisesti sijoissa LTO-kiekan nopeutta SC04 ja lämmitysventtiiliä TV45.

1.2 Tulo/poistolin säätö

Tulo- ja poistolinpuhallinien nopeus (valittavissa joko PE10/30, PE11/31 tai keskitarve PE10-11/PE30-31) pidetään asetettavassa asetussarvossa ohjattamalla tuojuusmuuttajia SC01 ja SC02 tulo- ja poistolinpuhallinien kierrosnopeutta.

1.3 LTO-laite

LTO:n yllä vaikuttavan paine-eron PDE75 nousussa yli asetettavan raja-aron käynnistyy huurtumisenestämiseksi, jolloin LTO-kiekan pyörimisnopeutta ohjataan minimille kunnes huurtumista ei enää tapahdu.

Kesäkäyttö:

Kun poistolin lämpötila TE30 on yli asetettavan arvon (esim. 20°C) ja poistolin on asetettavan arvon verran kylmempiä (esim 2°C) kuin ulkolma, LTO ohjataan täysille.

2. Kojie seis

Tulo- ja poistolinpuhallit FG01 ja FG02 ovat kiinni.

Lämmityspatterin paluuvien lämpötila TE45 pidetään asetussarvossa. Säätökäyttöohjelma ohjaa venttiiliä TV45.

Mikäli tuoliinpuhallinien vaikutusalueella hiilidioksidimittauksen xco2E20 mittausarvoista suurin nousee yli asetettavan arvon (esim 650ppm) aikaohjelman ulkopuolella, tuoliinpuhallin käynnistyy. Tuoliinpuhallin saa sammuttaa asetettavan määrätään (esim 1h) jälkeen, kun hiilidioksidimittaukset ovat laskeneet alle asetettavan arvon (esim 500ppm).

3. Yökäyttö

Kesäaikana yökäyttö on yötuloestotoiminta ulkoilmpötilan ollessa yli 10°C. Yötuloestuksen aikana tiloja jäähdytetään, ja ulkoilmpötila on riittävän alhainen huoneilmpötilaan verrattuna (esim 3°C) ja huoneilma on jäähdytettäväksi (esim >23°C). Yötuloestuksen aikana tulo- ja poistolinpuhallit ovat auki, lämmitysventtiili on kiinni ja LTO on seis.

4. Jätkäkäyttö

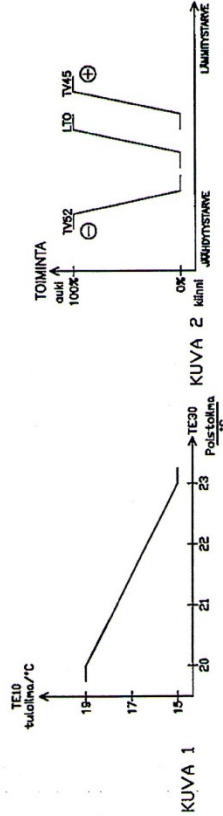
Tuoliin TE11 lämpötila pidetään asetussarvossa. Tuoliin lämpötilan asetussarvo muuttuu vaikutusalueen poistolin lämpötilan TE31 mukaan. S816 ohjaa suhteellisesti lämmityspatterin venttiiliä TV45.

SÄÄTÖOHJELMAT

Tuoliinpuhallin käydessä, poistolinpuhallin PF02.1 ja PF02.3 käyvät 1/1-nopeudella, muuna aikana 1/2-nopeudella omlen aikaohjelmien mukaisesti.

VAROTOIMINNAT

- Lämmityspatterin paluuvien lämpötila TE45 estetään laskemasta käyttöaikana alle 10°C säätämällä venttiiliä TV45
- Lämmityspatterin paluuvien lämpötilan TE45 laskiessa hälytysohjelma esim 7°C, jäähdytysvarailiävyys pysäyttää koneen ja seuraa hälytyä (kuittaus käsin alakeskuksesta)
- Tuoliin TE10 laskiessa alle asetettavan raja-aron (esim 12°C) tai nousussa yli asetettavan raja-aron (esim 45°C), kone pysähtyy ja seuraa hälytyä (kuittaus vahvoprofiililla tai alakeskuksesta käyttöpaneelilla)
- Tuojuusmuuttajien häiriötilasta, väärikätkökäytöstä tai puhallinien ohjauksivirheistä seuraa hälytyä
- Suodatintilille ohjelmoidaan paine-eromittauksen perusteella suodatinvaihtohälytykset
- LTO:n hälytyshälytys ohjelmoidaan alarajahälytyä
- Tulo- ja poistolinpuhallinien energiatehokkuutta (SFP) lasketaan ja valvotaan. Mikäli kummankaan puhallinien SFP-luku nousee yli 2kW/m³/s tapahtuu hälytyä
- Tulo- tai poistolinpuhallinien nopeus asetettavan eroluheen (esim 20Pa) verran konapainesäätökäytöstä, tapahtuu hälytyä
- Mikäli tulo- tai poistolinpuhallinien painemittaus ei saavuta konapainesäätöä asetellussa ajassa (esim 5m) koneen käynnistymisestä, tapahtuu hälytyä ja tuoliinpuhallin pysähtyy



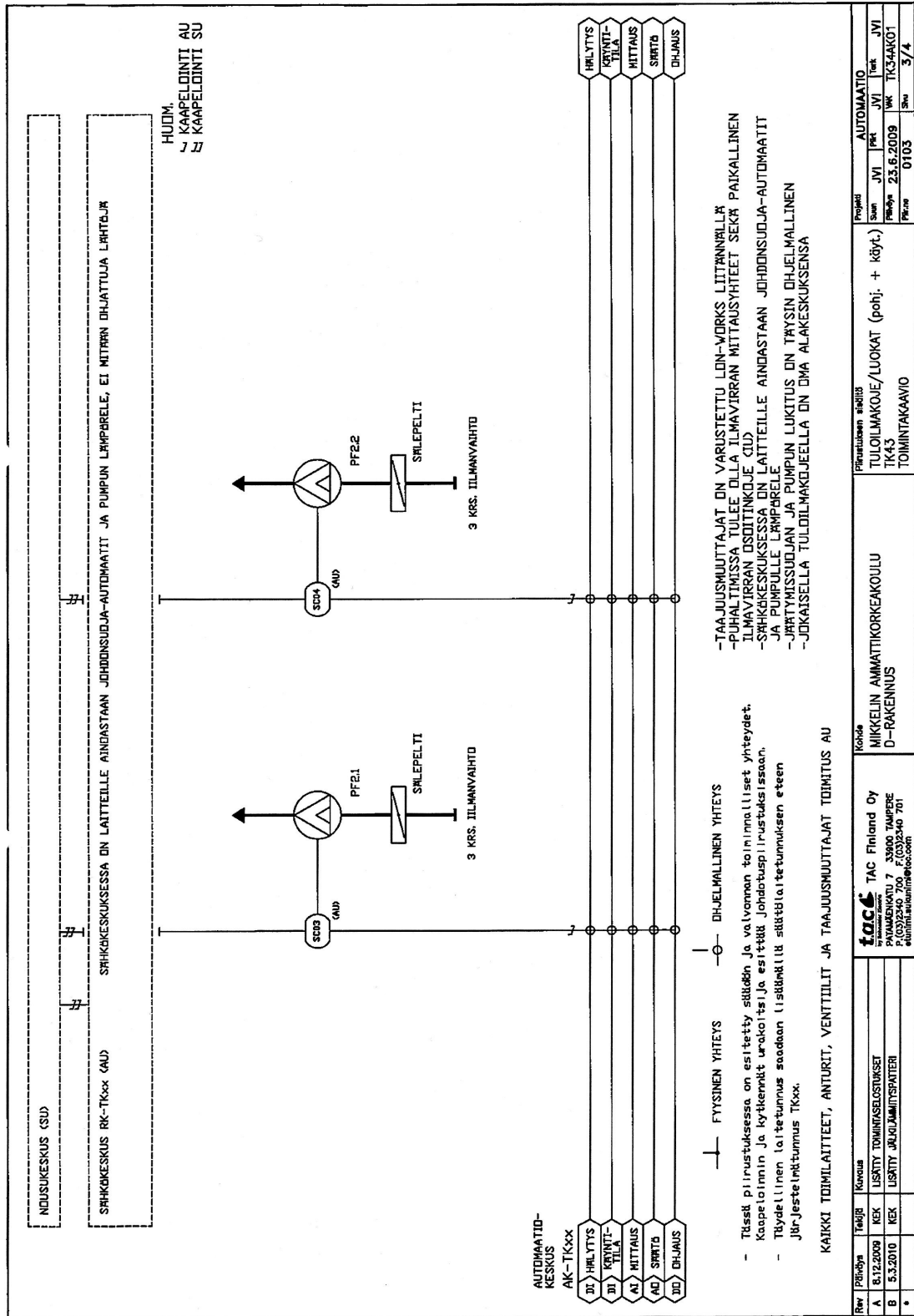
KUVA 1

KUVA 2

Rev	Päiväys	Tekijä	Korjaus
A	8.12.2009	KEK	LUSTY TOIMINTASELOSTUKSET
B	5.5.2010	KEK	LUSTY JÄRJESTÄMISPIIRIT
*			

Projekti	AUTOMAATIO			
Suunn.	JVI	PK	JVI	Tek
Projekti	23.6.2009			
Projekti	TK43-PAK01			
Projekti	0105			
Projekti	4/4			

Projekti	Finlandin sisäilma			
Projekti	TULOILMAKOJE/LUOKAT (pohj. + kyyt.)			
Projekti	TK43			
Projekti	TOIMINTAKAAVIO			



TK 43

TULO

FG01	T.A.C	874-0000-010 AF24
PDIE01	T.A.C	SPD 360-300...2500 Pa
TI	WIKA	
PDE 75	T.A.C	SPD 360-300...2500 Pa
PDIE02	T.A.C	SPD 360-300...2500 Pa
TI	WIKA	
TE02	T.A.C	STD 190
LM01	T.A.C	67C 000 8B1 245
TE45		
PU40	AE-25/4 Ø110 MOOTTORI OP-742 N12 3-50 Hz 23,3 r/s 400 V 0,28 A 230 V 0,48 A 0,08 kW cos δ 0,66	
TV45	T.A.C	M400 3-TIE 880-0230-030
FE10	T.A.C	SPD 360-300...2500 Pa
	KOJA	Paine-eromittari
TE10	T.A.C	STD 100-250
PE10	T.A.C	SPD 360-300...2500 Pa
PE11	T.A.C	SPD 360-300...2500 Pa
SC01	ALTIVAR 61	7,5 kW – 10 HP 380/480 V

k-kerroin= 0,1361

KOJA ≈ 650 Pa

TSI = 600 Pa

$q_v = 3,47 \text{ m}^3/\text{s}$

$q_v = 3,34 \text{ m}^3/\text{s}$

TK 43

POISTO

FG02	T.A.C	874-0000-010 AF24
KOJA	Paine-eromittari	
FE30	T.A.C	SPD 360-300...2500 Pa
TE3?	T.A.C	STD 100-250
TI	WIKA	
PDIE30	T.A.C	SPD 360-300...2500 Pa
TE30	T.A.C	STD 100-250
TI	WIKA	
PE31	T.A.C	SPD 360-300...2500 Pa
PE30	T.A.C	SPD 360-300...2500 Pa
SC02	ALTIVAR 61	5,5 kW – 7,5 HP 380/480 V

k-kerroin= 0,1361

KOJA \approx 300 Pa

TSI = 340 Pa

$q_v = 2,36 \text{ m}^3/\text{s}$

$q_v = 2,51 \text{ m}^3/\text{s}$