

Janne Kettunen

HUONEISTOKOHTAISEN
LÄMMÖNTALTEENOTON
ENERGIATEHOKKUUDEN
PARANTAMINEN AS OY
KONDUKTÖÖRISSÄ

Opinnäytetyö
Talotekniikka


Huhtikuu 2012




MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU

Mikkeli University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>	Opinnäytetyön päivämäärä		
Tekijä(t) Janne Kettunen	Koulutusohjelma ja suuntautuminen Talotekniikka		
Nimeke Huoneistokohtaisen lämmöntalteenoton energiatehokkuuden parantaminen As Oy Konduktöörissä			
Tiivistelmä <p>Työn tavoitteena oli tehdä parannusehdotuksia lämmöntalteenotossa ilmenneeseen ongelmaan asunto-osakeyhtiö Konduktöörissä. Lämmöntalteenoton ongelma johtui siitä, että lämmöntalteenottokennon ohitse meni merkittävä määrä poistoilmaa, jonka olisi kuulunut mennä lämmöntalteenottokennon lävitse. Parannusehdotuksia tarkasteltiin energialaskennan avulla. Energialaskennan avulla tutkittiin talteen saadun lämmön määrää koko kiinteistössä sekä lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdetta.</p> <p>Energialaskennan avulla tarkasteltiin kolmea eri tilannetta: alkuperäistä tilannetta, jossa jokaisessa huoneistossa meni lämmöntalteenottokennon ohitse 15 dm³/s poistoilmaa, tilannetta jossa saataisiin kaikki poistoilma lämmöntalteenottokennon lävitse sekä tilannetta, jossa jouduttaisiin joka huoneistossa poistamaan 8 dm³/s poistoilmaa lämmöntalteenottokennon ohitse. Energialaskennan avulla saatiin selville, että jo ilmamääriä tarkastelemalla ja uudelleen poistoilmaventtiileiden kesken jakamalla päästäisiin määräysten vaatimalle tasolle.</p> <p>Energialaskennan jälkeen valittiin yksi parannusehdotus toteutettavaksi. Valinnan jälkeen kohteessa suoritettiin ilmanvaihtokoneiden käyttöönotto sekä toteutettiin ilmapvirtojen mittaus- ja säätötyöt ehdotukseen perustuen. Kohteen ilmanvaihtokoneissa oli kosteusanturiohjaus tarveohjauksena. Ohjauksen käyttöönotto ja kalibrointi suoritettiin muun mittaus- ja säätötyön ohessa. Työn ohessa laadittiin Excel-pohjainen mittauspöytäkirjapohja työn toimeksiantajalle.</p>			
Asiasanat (avainsanat) Ilmanvaihto, Ilmastointi, Ilmanvaihtojärjestelmät, Ilmastointilaitteet, Mittaus, Sisäilma			
Sivumäärä 40+2	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> Kieli Suomi </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> URN </td> </tr> </table>	Kieli Suomi	URN
Kieli Suomi	URN		
Huomautus (huomautukset liitteistä)			
Ohjaavan opettajan nimi Martti Veuro	Opinnäytetyön toimeksiantaja Ilmasiili Oy		

DESCRIPTION

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Date of the bachelor's thesis
Author(s)		Degree programme and option
Janne Kettunen		Building Services
Name of the bachelor's thesis		
Improving the energy efficiency of the apartment specific heat exchanger in Housing Company Konduktööri		
Abstract		
<p>The goal of this thesis was to do some improvement proposals for arisen problem in heat exchanger in housing cooperative Konduktööri. Heat exchanger problem was because lot of exhaust air went past the plate heat exchanger that should have gone straight through the plate heat exchanger. The proposals were viewed with energy computation. With help of energy computation, we researched the amount of heat that was inside the house. We also researched benefits of heat exchanger in a year.</p> <p>With energy computation we viewed three different situations. Original situation was that in each room 15dm³/s of extract air would past the plate heat exchanger. Second situation was to get all extract air to go through plate heat exchanger. Third situation was that we should remove 8dm³/s extract air that goes past plate heat exchanger. With energy computation we discovered that by examining amount of air and again between the extract air valves, we would reach the level that the regulations demand.</p> <p>After energy computation one improvement proposal was chosen to be carried out. After the choice we commissioned the air handling unit and accomplished the measurement and adjustment of air draughts based on the proposal. We also composed an Excel- based report for the commissioner of the work.</p>		
Subject headings, (keywords)		
Ventilation, air conditioning, ventilation system, air conditioning system, measurement, indoor air		
Pages	Language	URN
40+2	Finnish	
Remarks, notes on appendices		
Tutor		Bachelor's thesis assigned by
Martti Veuro		Ilmasiili Oy

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	2
2	HUONEISTOKOHTAINEN ILMANVAIHTO	3
2.1	Huoneistokohtaisen ilmanvaihdon ohjaus	3
2.2	Huoneistokohtaisen ilmanvaihdon kanavointi.....	5
2.3	Lämmöntalteenotto	6
2.4	Huoneistokohtaisen ilmanvaihdon määräyksiä	7
2.4.1	Ilmanvaihtojärjestelmät.....	7
2.4.2	Ilmanvaihtojärjestelmän toimintakunnon varmistaminen ja käyttöönotto	9
2.5	Huoneistokohtainen ilmanvaihto As Oy Konduktöörissä	11
3	LÄMMÖNTALTEENOTOSSA ILMENNEET ONGELMAT.....	15
4	PARANNUSEHDOTUKSET.....	18
4.1	Kanavoinnin muutos	18
4.2	Ilmamäärien tarkastelu.....	19
5	ENERGIALASKENTA	20
6	PARANNUSEHDOTUKSEN TOTEUTUS.....	27
6.1	Mittaus- ja säätötyöt	28
6.1.1	Mittaustavan valinta.....	28
6.1.2	Mittaukset kohteessa.....	29
6.2	Kosteusanturiohjaus.....	33
6.3	Mittauspöytäkirjan laadinta	35
7	TULOKSET	36
8	POHDINTA	38
	LÄHTEET	40
	LIITTEET	

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena on ratkaista Kuopiossa sijaitsevan uudisrakennuskohteen As Oy Konduktöörin lämmöntalteenotossa ilmenneet ongelmat. As Oy Konduktööri on kerrostalokohde, joka sisältää kaksi viisikerroksista pistetaloa, talot A ja B. Kohde sijaitsee Kuopiossa vanhalla VR:n makasiinialueella lähellä Maljalahtea. Molemmat talot valmistuivat joulukuun puolessa välissä 2011. Kohteeseen on suunniteltu huoneistokohtaiset lämmöntalteenottokoneet. Lämmöntalteenottoon liittyvä ongelma tuli esiin, kun kiinteistön ilmanvaihdon mittaus- ja säätötoita oltiin aloittamassa marraskuussa 2011. Ongelmana kohteessa on, että huoneistojen poistoilmamääräksi oli suunniteltu 29–44 dm³/s riippuen asunnon koosta. Jokaisessa huoneistossa oli liesikuvun kautta poistettavaksi suunniteltu normaalikäytössä 15 dm³/s poistoilmaa. Liesikupu on kanavoitu lämmöntalteenottokoneeseen sitten, että se ohittaa lämmöntalteenottokennon, jottei kenno rasvaantuisi ja likaantuisi niin pahasti liesikuvulta tulevan ilman takia. Tämä kuitenkin tarkoittaa sitä, että noin puolet huoneistojen poistoilmamäärästä ohittaisi koko ajan lämmöntalteenottokennon, ja näin ollen laskisi merkittävästi lämmöntalteenottolaitteen vuosihyötysuhdetta. Lisäksi laitteen valmistajan puolelta oli oltu yhteydessä sen takia, että näin suurta lämmöntalteenottokennon ohitusta ei sallittaisi, jotta voitaisiin taata koneen toiminta ilman lämmöntalteenottokennon jääty-misongelmia.

Ongelmaa tutkitaan kirjallisuuden avulla, kuten mitä mahdollisuuksia D2 antaa ilmavirtojen uudelleen määrittämiseen poistoilmaventtiileiden kesken. Toisena ratkaisumallina mietitään, miten saataisiin keittiöön poistoilmaventtiili, joka ei olisi kytkettynä liesikuvulta tulevaan lämmöntalteenoton ohituskanavaan, ja minkälaisia purku-, sekä asennustöitä se vaatisi.

Ongelman ratkaisun ohessa suoritetaan kohteessa huoneistokohtaisten ilmanvaihtokoneiden käyttöönotto sekä mittaus- ja säätötyöt. Kohteeseen on valittu Swegonin CASA W80-ilmanvaihtokoneet, joihin on lisättyä kosteusanturiohjaus sekä jäähdytystoiminto erillisellä kanavistoon asennettavalla jäähdytyspatterilla. Koneita ohjataan Swegonin Premium-säätimillä, jotka on sijoitettu huoneistoihin siten, että asukas pääsee käyttämään niitä ja valitsemaan ilmanvaihtokoneen käyntinopeuden seuraavista vaihtoehdoista: poissa – kotona - tehostus.

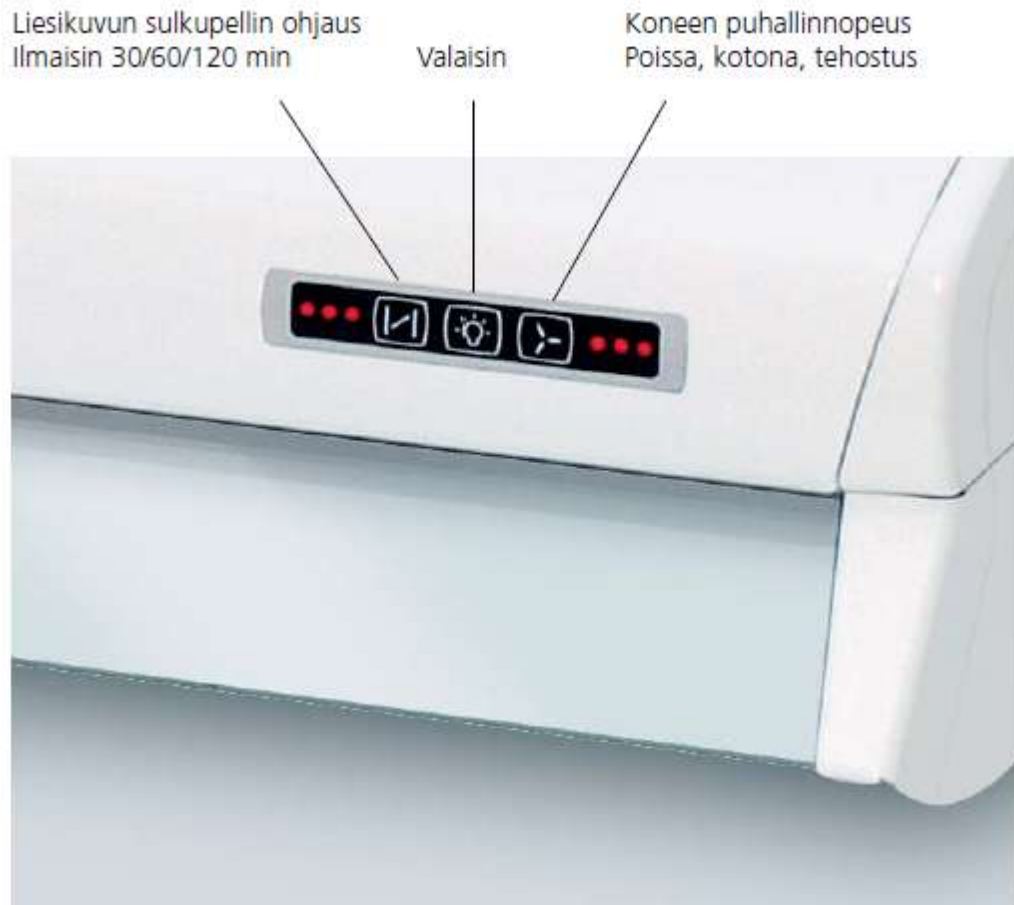
Toimeksiannon opinnäytetyöhön sain Ilmasiili Oy:ltä. Yritys toimii Pohjois-Savon alueella pääpainoalueenaan ilmanvaihtotöiden urakointi. Yritys urakoi eniten asuntorakentamisen puolella, kuten uudiskerrostalokohteissa ja – rivitalokohteissa. Lähivuosina on ollut myös paljon kouluja sekä vanhustentaloja uudis- ja saneerauskohteina. Muita urakointikohteita on ollut aina omakotitaloista teollisuushalleihin. Yritys rakensi itselleen juuri uudet toimitilat Kuopion Pieneen Neulamäkeen.

2 HUONEISTOKOHTAINEN ILMANVAIHTO

Huoneistokohtaisella ilmanvaihdolla tarkoitetaan, että jokaisessa asuinkiinteistössä sijaitsevassa huoneistossa on oma ilmanvaihtokone. Huoneistoon sijoitetussa ilmanvaihtokoneessa on yleensä myös lämmöntalteenotto poistoilmasta. Kone sijoitetaan äänentuoton vuoksi aputiloihin, kuten esimerkiksi kylpyhuoneeseen tai kodinhoituhuoneeseen. Huoneistokohtaisen ilmanvaihdon hyviä puolia on, että asukas voi ohjata huoneistonsa ilmanvaihtokonetta omien tarpeidensa mukaan.

2.1 Huoneistokohtaisen ilmanvaihdon ohjaus

Ilmanvaihtokoneen ohjaus tapahtuu useimmiten joko liesikuvun tai huoneistoon erikseen sijoitetun säätimen avulla, jolloin asukkaalla on mahdollisuus valita kolmesta neljään eri nopeutta käyttötilanteen mukaan. Esimerkiksi Swegonin huoneistokohtaisissa ilmanvaihtojärjestelmissä liesikupu- ja ohjauspaneeli-ohjaus tapahtuu seuraavan näköisten laitteiden avulla. Kuvassa 1 ohjaus tapahtuu liesikuvulta ja kuvassa 2 on huoneistoon sijoitettava ohjaussäädin. /1; 3, s. 60./



KUVA 1. Premium-liesikuvun ohjauspaneeli /1/



KUVA 2. Premium-ohjaussäädin /1/

2.2 Huoneistokohtaisen ilmanvaihdon kanavointi

Huoneistokohtaiselle ilmanvaihtokoneelle kanavoidaan aina ulkoilmakanava omana kanavanaan rakennuksen ulkoseinästä. Ulkoilman ottamista rakennuksen eteläseinältä pyritään välttämään, jotta kesäaikana välttyttäisiin auringon lämmittämän ilman tuomiselta asuinhuoneistoon. Lisäksi ulkoilman ottamisen kannalta pyritään välttämään kadun puoleista ulkoseinää, jotta voitaisiin välttää katupölyn ja pakokaasujen joutuminen asuinhuoneistoon.

Yleensä huoneistojen jäteilmat johdetaan omina kanavina vesikatolle saakka, jossa jokaisen huoneiston ilmanvaihtokanavalla on oma tai yhteinen ulospuhallus. Yleensä jäteilma kanavoidaan huoneistosta Elpo-hormiin, joka johtaa aina vesikatolla saakka tai ullakkotilaan, josta jäteilma sitten kanavoidaan vesikatolle.

Elpo-hormi on betonirunkoinen asuinkerrostalon kerroskorkeinen nousuputkistoelementti. Se suunnitellaan ja valmistetaan aina tilaajan yksilöimien tarpeiden mukaan. Elpo-hormiin voidaan sijoittaa kaikki asuinhuoneistoissa tarvittavat vesijohdot, lämpöjohdot, viemärit, ilmastointikanavat sekä putkitukset sähkö- ja tietoliikennekaapeleita varten. Putkistoihin ja kanaviin tehdään valmiit haaroitukset halutuille korkeuksille ja haluttuihin suuntiin. Elpo-hormit asennetaan samanaikaisesti runkorakentamisen yhteydessä. Elpo-hormi voidaan asentaa seinän osaksi, jolloin LVIS-putkiston tilantarve minimoituu ja arvokkaita asuinneliöitä säästyy. /2./



KUVA 3. Elpo-hormeja /2/

Tuloilma ja poistoilma kanavoidaan huoneistokohtaisessa ilmanvaihdossa, kuten se kanavoitaisiin yhteiskanavajärjestelmissä. Tuloilmapäätelaitteet sijoitetaan ns. puhtaisiin tiloihin, kuten makuuhuoneisiin ja olohuoneisiin. Poistoilmapäätelaitteet taas sijoitetaan siten, että ne sijaitsevat niin sanotuissa likaisissa tiloissa, kuten vessoissa, pesuhuoneissa, keittiöissä ja vaatehuoneissa. Huoneistokohtaisissa ilmanvaihtolaitteissa on nykyään kaksi käytäntöä kanavoida liesikupu. Ensimmäinen tapa on, että liesikupu kanavoidaan osaksi yleispoistoa, jolloin koko yleispoiston runkkanavisto ja lämmöntalteenottokeino rasvoittuu helpommin ruuan valmistuksesta aiheutuvasta rasvan käyrystä. Tässä systeemissä on myös monesti se ongelma, että liesikupu tulee poistoilmarungon päähän kytkettäväksi ja tehostustilanteessa ei saada riittävän kovaa imua liesikuvulta aikaiseksi. Toinen tapa on, että ilmanvaihtokoneessa on niin kutsuttu lämmöntalteenoton ohituslähtö. Tässä tapauksessa liesikuvulta kanavoidaan oma kanava aina ilmanvaihtokoneelle saakka, jolloin yleispoiston kanavisto ei ole missään tekemisissä liesikuvun poistoilmakanavan kanssa. Liesikuvulta tuleva poisto ohittaa ilmanvaihtokoneessa lämmöntalteenottokeinoon, ja se kytkeytyy suoraan poistoilmakammioon, josta ilma kulkee enää vain poistoilmapuhaltimen läpi koneessa. Tämän systeemin kiistaton etu on, että liesikuvun poistoilma ei kulje lämmöntalteenoton läpi ja näin ollen aiheuta tehostustilanteessa suurta painehäviötä. Saadaan tehostustilanteessa liesikuvulle riittävän kova imu, jotta ”ruuankäryt” eivät leviä huoneistoon.

2.3 Lämmöntalteenotto

”Lämmöntalteenoton avulla otetaan rakennuksesta koneellisesti poistettavasta ilmasta lämpöä talteen ja tällä lämmöllä lämmitetään sisään tulevaa ulkoilmaa. Näin lämmöntalteenoton avulla pienennetään rakennusten lämmityskustannuksia.” /3, s. 73./

Levylämmönsiirrin on yksinkertaisin tapa ottaa lämpöä talteen, koska levylämmönsiirtimen avulla saadaan lämpöä talteen ilman moottoreita tai pumppuja. Levylämmönsiirrin koostuu alumiinilevyistä. Alumiinilevyjen joka toisessa välissä menee lämmin poistoilma ja joka toisessa virtaa kylmä ulkoilma. Näin lämpöä siirtyy alumiinilevyn välityksellä poistoilmasta ulkoilmaan. Ilmavirrat eivät siis sekoitu keskenään. Levylämmönsiirtimiä on kahta mallia tällä hetkellä joko vastavirtatekniikalla toteutettuja tai ristivirtatekniikalla toteutettuja. Vastavirtatekniikalla saavutetaan parempi lämpötilasuhde. Levylämmönsiirrin alkaa huurtua kovilla pakkasilla, ja silloin sitä täytyy sulattaa. Tähän on olemassa muutamia keinoja. Ensimmäinen tapa on mitata

paine-eroa lämmöntalteenottokennon ”ylitse”, jolloin paine-eron kasvaessa riittävän suureksi pysähtyy tuloilmapuhallin ja lämmin poistoilma sulattaa kennon. Toinen tapa estää lämmöntalteenottokennon huurtumista on valokenno, tällöin valokennon säde katkeaa eikä tavoita anturia, kun sen väliin on muodostunut huurretta. Lämmöntalteenottokennon sulatus tapana voi olla sama, kuin ensimmäisessä kohdassa. /3, s. 73./

2.4 Huoneistokohtaisen ilmanvaihdon määräyksiä

Päätettiin Ilmasiili Oy:n toimitusjohtaja Kari Kettusen kanssa, että käyn läpi huoneistokohtaiseen ilmanvaihtoon liittyviä määräyksiä Suomen rakentamismääräyskokoelman osasta D2. Tällä tavoin haluttiin varmistua siltä, että kohteena toimiva kerrostalo täyttää D2:n vaatimukset. Ilmanvaihtoa koskevat määräykset löytyvät Suomen rakentamismääräyskokoelman osasta D2. Työn kannalta tärkeät kohdat poimittiin kappaleisiin 2.4.1 ja 2.4.2.

2.4.1 Ilmanvaihtojärjestelmät

Ilmanvaihtojärjestelmä on suunniteltava ja rakennettava rakennuksen suunnitellun käyttötarkoituksen ja käytön perusteella siten, että se luo omalta osaltaan edellytykset tavanomaisissa sääoloissa ja käyttötilanteissa terveelliselle, turvalliselle ja viihtyisälle sisäilmastolle.

Huonetiloissa tulee olla ilmanvaihto, jolla käyttöaikana taataan terveellinen, turvallinen ja viihtyisä sisäilman laatu.

Ilmanvaihtojärjestelmän ilmavirtoja on voitava ohjata kuormituksen ja ilman laadun mukaan käyttötilannetta vastaavasti.

Asuinrakennuksen ilmanvaihdon ohjaus suunnitellaan ja rakennetaan niin, että asunnon käyttöajan tehostettu ilmavirta on vähintään 30 % suurempi kuin käyttöajan ilmavirta. Ilmanvaihdon tehostus toteutetaan yleensä vähintään liesikuvun tehostetulla ilmavirralla taulukon 1 ohjearvojen mukaisesti.

Jos ilmanvaihto on asuntokohtaisesti ohjattavissa, voidaan ilmanvaihtojärjestelmä suunnitella ja rakentaa siten, että ilmavirtoja voidaan ohjata myös käyttöajan ilmavir-

toja pienemmiksi. Kun asunnossa ei oleskella eikä käyttäjän ilmanvaihdolle ole tarvetta esimerkiksi kosteuden hallitsemiseksi, voidaan ilmanvaihdon ohjaus suunnitella siten, että asunnon ilmavirtaa voidaan pienentää enintään 60 % käyttäjän ilmavirrasta.

Jos rakennus sijaitsee 50 m:ä lähempänä vilkasliikenteisen ajoväylän keskiviivaa, rakennuksen ulkoilmalaitteet sijoitetaan mahdollisimman ylös, yleensä rakennuksen liikenneväylän vastakkaiselle puolelle. Tie tai katu katsotaan vilkasliikenteiseksi ainakin silloin, kun keskivuorokausiliikenne on yli 10 000 autoa vuorokaudessa.

Jäteilma on johdettava ulos siten, ettei rakennukselle, sen käyttäjille tai ympäristölle aiheudu terveydellistä tai muuta haittaa.

Jäteilma johdetaan yleensä rakennuksen korkeimman osan vesikaton yläpuolelle ja puhallus suunnataan yleensä ylöspäin, jotta jäteilman pääsy ulkoilmalaitteisiin, ikkunoihin ja oleskelualueille estetään.

Tuloilma on johdettava huonetiloihin siten, että ilma virtaa koko oleskeluvyöhykkeelle vedottomasti ja poistaa tehokkaasti huonetilassa syntyvät epäpuhtaudet käyttöaikana. Likaantunut ilma ei saa palautua haitallisessa määrin takaisin oleskeluvyöhykkeelle.

Ilmanvaihto suunnitellaan mahdollisimman tehokkaaksi siten, että tuloilma virtaa koko oleskelu-vyöhykkeelle ja epäpuhtaudet kulkeutuvat suoraan poistoilman päätelaitteisiin leviämättä huonetilaan. Tuloilma ei saa virrata suoraan oleskeluvyöhykkeen ohi poistoilman päätelaitteisiin.

Rakennuksen tavanomainen käyttö tai sään vaihtelu ei saa merkittävästi muuttaa rakennuksen tai huonetilojen paineita eikä heikentää ilmanvaihtoa.

Ilmanvaihtojärjestelmä on suunniteltava ja rakennettava siten, että se on ennen rakennuksen käyttöönottoa puhdas ja sen puhtautta on helppo ylläpitää.

Ilmanvaihtojärjestelmä rakennetaan osista, joiden sisäpinnoilla ei ole öljyä, pölyä tai muita epäpuhtauksia. Ilmanvaihtojärjestelmän osista ei saa irrota ilmavirtaan haitallisia aineita tai hajuja.

Kanavat säilytetään työmaalla välivarastossa tulpattuna siten, että ne eivät joudu alttiiksi sateelle, lialle tai kolhuille. Pienet kanavaosat ja päätelaitteet säilytetään työmaalla suljetuissa pakkauksissa.

Ilmanvaihtojärjestelmä suojataan likaantumiselta asennustyön aikana. Suojaukset poistetaan lopullisesti vasta siivouksen jälkeen, kun tilassa ei tehdä enää pölyäviä työvaiheita.

Asuntokohtaisissa ilmanvaihtokoneissa vedeksi tiivistyvä kosteus tai muu mahdollinen vuotovesi johdetaan häiriöttömästi viemäriin.

2.4.2 Ilmanvaihtojärjestelmän toimintakunnon varmistaminen ja käyttöönotto

Yhtä tilaa tai yhtä asuntoa palvelevissa ilmanvaihtojärjestelmissä tiiviyskoe voidaan korvata asennustarkastuksella, jos kanavisto on tehty kokonaan vähintään tiiviysluokan C mukaisista laadultaan testatuista ja tarkastetuista kanavista ja kanavanosista.

Ilmanvaihtojärjestelmän puhtaus on tarkastettava, ja järjestelmä on tarvittaessa puhdistettava ennen ilma-virtojen mittausta ja säätöä.

Ilmanvaihtojärjestelmän ilmavirrat on mitattava ja säädettävä, ominaissähköteho on mitattava ja järjestelmän toiminta sekä puhtaus on todettava suunnitelman mukaiseksi ennen rakennuksen käyttöönottoa. Selvitykset näistä on liitettävä rakennustyön tarkastusasiakirjaan.

Toimintakokeet suoritetaan ennen ilmavirtojen mittausta ja säätöä. Ennen kokeiden aloittamista tarkistetaan, ettei rakennus tai ilmanvaihtojärjestelmä ole niin keskeneräinen, että se vaikuttaisi ilmavirtoihin, paineisiin tai siirtoilman virtaussuuntiin. Tällöin tarkistetaan, että rakennus on riittävän puhdas, tiloissa ei enää tehdä pölyäviä rakennustöitä, ilmanvaihtolaitteiden suodattimet on asennettu sekä ovet ja ikkunat ovat paikallaan. Rakennuksen ja sen ilmanvaihtojärjestelmän riittävän puhtauden vähintään silmämääräinen tarkastus varmennetaan rakennustyön tarkastusasiakirjaan.

Ilmavirtojen perussäätö tehdään yleisimmän käyttötilanteen mukaisella käyttöajan tehostamattomalla ilmavirralla. Säätölaitteiden asetus suoritetaan eri vuodenaikojen keskimääräisiä olosuhteita vastaavissa käyttötilanteissa. Paineiden suunnitelmanmukaisuus todetaan savukokein tai ilmavirta- ja paine-eromittauksin.

Ilmanvaihtojärjestelmän virtaus-, ääni-, sähkö- ja lämpötekniset suoritusarvot mitataan vähintään järjestelmän käyttöajan tehostamattomalla mitoitusilmavirralla ja asunnoissa myös tehostetulla mitoitusilmavirralla. Hyväksyttävät poikkeamat mitoitusarvoista ovat yleensä seuraavat:

- 1) ilmavirta järjestelmäkohtaisesti $\pm 10 \%$;
- 2) ilmavirta huonekohtaisesti $\pm 20 \%$;
- 3) ilman nopeus oleskeluvyöhykkeellä $+ 0,05 \text{ m/s}$;
- 4) sähköteho $+ 10 \%$; sekä
- 5) lämmitysteho -10% .

Hyväksyttävät poikkeamat sisältävät sekä mittauksien tulosten poikkeamat että mittaus-epävarmuuden.

Mittaukset ja mittausarvojen muuntaminen vastaamaan mitoitusarvoja suoritetaan voimassa olevien standardien mukaisesti. Mittauksissa käytetään laitteita, joiden kalibrointi on voimassa ja menetelmiä, joiden mittausepävarmuus on yleensä enintään puolet ylempänä luetelluista hyväksyttävistä poikkeamista.

Asuntojen ilmanvaihto mitoitetaan yleensä taulukon poistoilmavirtojen perusteella siten, että asuntojen ilmanvaihtokerroin on vähintään 0,5 l/h ja ulkoilmavirtojen riittävyys varmistetaan vähintään ohjearvojen mukaisiksi. Pienten asuntojen poistoilmavirrat mitoitetaan yleensä ohjearvoja pienemmiksi siten, että huoneiston käyttöajan ilmanvaihtokerroin on enintään 0,7 l/h ja poistoilmavirran tehostusta voidaan ohjata tila- tai asuntokohtaisesti tarpeen mukaan. Jos poistoilmavirran tehostusta voidaan ohjata vain rakennuskohtaisesti, voidaan pienten asuntojen poistoilmavirrat mitoitaa ohjearvoja pienemmiksi siten, että huoneiston ilmanvaihtokerroin on vähintään 1,0 l/h. Suurten asuntojen poistoilmavirrat mitoitetaan yleensä ohjearvoja suuremmiksi, jotta tilakohtainen ulkoilmavirta olisi ohjearvon mukainen ja huoneiston ilmanvaihtokerroin olisi vähintään 0,5 l/h.						
Tila / käyttötarkoitus	Ulkoilmavirta (dm ³ /s)/hlö	Ulkoilmavirta (dm ³ /s)/m ²	Poistoilmavirta dm ³ /s	Äänitaso L _{A,eq,T} / L _{A,max} dB	Ilman nopeus talvi m/s	Huom!
Asuintilat:	6					
Asuinhuoneet		0,5		28 / 33 *	0,20	*C1 määräys
Keittiö		#S	8 #A	33 / 38 *	0,20	*C1 määräys
- käyttöajan tehostus		#S	25	33 / 38	0,20	
Vaatehuone, varasto		#S	3	33 / 38		
Kylpyhuone		#S	10 #B	38 / 43	0,20	
- käyttöajan tehostus		#S	15	38 / 43	0,20	
WC		#S	7 #B	33 / 38		
- käyttöajan tehostus		#S	10	33 / 38		
Kodinhuoltohuone		#S	8	33 / 38	0,30	
- käyttöajan tehostus		#S	15	33 / 38	0,30	
Huoneistos sauna		2 #C	2/m ² #C	33 / 38		
Yhteistilat:						
Porrashuone		0,5 l/h	0,5 l/h	38 / 43		
Varastot		0,35	0,35 /m ²	43 / 48		
Kylmäkellari (myös asuntokylmiö, jos pinta-ala > 4m ²)		0,2	0,2 / m ²	43 / 48		
Pukuhuone		2	2 / m ²	33 / 38	0,20	
Pesuhuone		3	3 / m ²	43 / 48	0,20	
Saunan löylyhuone		2	2 / m ²	33 / 38		
Talopesula		1	1 / m ²	43 / 48		
Kuivaushuone		2 #D	2 / m ² #D	43 / 48		
Askarteluhuone, kerhohuone		1 #E	1 / m ² #E	33 / 38	0,20	
# A Ohjearvo, kun liesikuvun ilmavirran tehostusta voidaan ohjata tila- tai asuntokohtaisesti, muussa tapauksessa on liesikuvun ohjearvo 20 dm ³ /s. # B Ohjearvo, kun ilmavirran tehostusta voidaan ohjata tila- tai asuntokohtaisesti, muussa tapauksessa ilmavirran ohjearvo on käyttöajan tehostuksen mukainen. # C Kuitenkin vähintään 6 dm ³ /s. Saunan ilmavirtaa ei oteta huomioon laskettaessa asunnon ilmanvaihtokerrointa, jos saunan ulkoilmavirta on yhtä suuri kuin poistoilmavirta. # D Voidaan mitoitaa pienemmäksi kun käytetään ilmankuivainta. # E Edellyttää tuuletusmahdollisuutta; muuten 1,5 (dm ³ /s)/m ² . # S Ulkoilmavirta korvataan yleensä asuinhuoneista johdettavalla siirtoilmavirralla.						

KUVA 4. D2:n taulukko ilmavirroista

2.5 Huoneistokohtainen ilmanvaihto As Oy Konduktöörissä

As Oy Konduktöörin huoneistokohtainen ilmanvaihto toteutettiin Swegonin valmistamilla ilmanvaihtokoneilla. Kohteessa käytettiin W80-mallia, jossa on vastavirtatekniikalla toteutettu levlämmönsiirin. Kone on kohteessa asennettu kylpyhuonetilojen kattoon kattoasennuslevyn avulla. Koneelle luvataan 80 % lämpötilasuhde. Koneessa on mahdollisuus erillispoistolle liesikuvulta ja tätä mahdollisuutta on kohteessa käytetty. Konea ohjataan sekä liesikuvulta että premium-ohjauspaneelista (kuvat 1 ja 2).

/1./



KUVA 5. Swegon W80-lämmöntalteenottokone asennettuna

Yllä oleva kuva on otettu As Oy Konduktööristä. Keskellä oleva kuusikulmio on vastavirtatekniikalla toimiva lämmöntalteenottockenno. Vasemmassa yläkulmassa on esilämmityspatteri, joka kytkeytyy päälle yli 20 °C pakkasella, sekä tuloilmasuodattimet karkea- ja hienosuodatin. Karkeasuodatin ei kuvassa näy kovin selkeästi, koska on väriltään musta, mutta se on hienosuodattimen päällä. Oikeassa alakulmassa taas nähdään jälkilämmityspatteri, joka lämmittää lämmöntalteenottockennon jälkeen tuloilman +17 °C. Oikeassa yläkulmassa on poistoilman karkeasuodatin ennen lämmöntalteenottockennoa.

Koneen vaippa on peltiä, ja vaippa on eristetty vuorivillalla. Koneen vaipan väri on valkoinen. Koneen etuovi on saranoitu, jotta sen tarkastaminen ja huoltaminen on mahdollisimman helppoa. Kun koneen etuovi avataan, sammuttaa ovikytkin koneen.

/1./

Koneessa poisto- ja tuloilmapuhaltimet on integroidut ja energiataloudelliset EC-tasavirtapuhaltimet, joiden sähkönkulutus on alhaisempi kuin vaihtovirtapuhaltimien. EC-puhaltimien etu on, että niitä voidaan säätää portaattomasti ja hyötysuhde pysyy

hyvänä myös alhaisemmilla kierroksilla. Ohjaus- ja sähkökaapelit on varustettu pikaliittimin, jotta puhaltimet voidaan tarvittaessa purkaa ja ottaa irti koneesta. EC-puhallinmoottoreihin syötetään vaihtovirtaa, jonka sisäänrakennettu elektroniikka muuttaa tasavirraksi ja saa moottorin pyörimään. Nopeutta voidaan säätää portaattomasti. /1./

Kone on varustettu G3 luokan karkeasuodattimilla, nämä suodattimet löytyvät sekä tulo- että poistoilmasta. Lisäksi tuloilma on varustettu F7-luokan hienosuodattimella. /1/

Levylämmönsiirrin toimii vastavirtatekniikalla, ja se on rakennettu alumiinilamelleista. Levylämmönsiirrin on helppo vetää ulos koneesta tarkastamista ja huoltamista varten. Koneessa on mekaaninen ohituspelti, joka voidaan avata kesällä, kun ei haluta ottaa lämpöä talteen. /1./

Jäätymisen esto on koneessa toteutettu siten, että lämmönsiirrin on varustettu jäätymisenestotermostaatilla. Koneessa oleva etuvastus kytkeytyy päälle ja tuloilmapuhaltimen pyörimisnopeus pienenee, jos lämmönsiirrinkenno alkaa jäätyä ja näin ollen lämmin poistoilma sulattaa lämmönsiirrinkennon. /1./

Kohde on toteutettu siten, että koneessa molemmat lämmitysvastukset toimivat sähköllä. Jälkilämmitysvastuksen teho on 500W. Vastus sijaitsee nimensä mukaisesti lämmönsiirtimen jälkeen. Vastuu kytkeytyy päälle, kun huoneistoon pyrkii menemään alle +17 asteista ilmaa. Koneessa oleva etulämmitysvastus on teholtaan 1000W, ja se sijaitsee koneessa ennen lämmönsiirrintä. Etulämmitysvastus kytkeytyy päälle, kun ulkoilman ylittää -20 astetta. /1./

Ilmanvaihtokoneita voidaan ohjata asuntoon sijoitetulla Premium-ohjauspaneelilla (kuva 2), jolla voidaan myös muokata ja lukea koneelle asetettuja asetusarvoja, kuten lämmitysvastusten toimintaa, puhaltimien pyörimisnopeutta ja koneeseen asetettujen ulkoisten ohjausten toimintaa. Lisäksi konetta voidaan ohjata liesikuvulta, josta on valittavissa kolme eri nopeutta 1-2-3, jotka tarkoittavat poissa – kotona – tehostus asentoja (kuva 1). Kohteessa Premium-ohjauspaneelit sijoitettiin ulko-oven välittömään läheisyyteen. /1./

Premium-ohjauspaneelilla voidaan asettaa koneeseen esimerkiksi seuraavanlaisia toimintoja. Kone voidaan ohjauspaneelin avulla sammuttaa ja käynnistää. Koneen puhallimet voidaan säätää ja ohjata viiteen eri nopeuteen, joista voidaan valita nopeudet kotona – poissa – tehostus asennoille. Ajastimella voidaan koneelle asettaa eri käyntinopeuksia, kuten jos asukas on töissä arkisin 8-16, voi asukas ohjelmoida laitteen menemään automaattisesti poissa asennolle tuoksi aikaa. Jälkilämmitysvastuksen käynnistyslämpötila on mahdollista säätää välille 13–20 °C.. Koneeseen voidaan myös käyttöön ohjelmoida alipaineen kompensointi, joka on hyödyllinen, jos asunnossa on keskuspölymuri tai erillinen liesituuletin. Toiminto vaatii kärkitiedon keskuspölyimurilta tai liesituulettimelta. Kesäviilennys otetaan käyttöön avaamalla koneen sisällä oleva mekaaninen lämmönsiirtimen ohitus ja poistamalla käytöstä etulämmitysvastus. Näin saadaan yöaikaan viileää ilmaa asuntoon. Takkatoiminnon avulla saadaan asuntoon hetkellisesti ylipaine ja tämän avulla hormi vetämään. Käyntinopeus näkyy jatkuvasti näytöllä tekstinä, ja tärkeimmät koneen toiminnot ohjauspaneeli ilmoittaa valodiodin eri väreinä. Koneessa on seuraavat automaattiset toiminnot: Hälytys suodatimien vaihdosta tai huollon tarpeesta sekä mahdollisista käyttöhäiriöistä, ylikuumenemissuojaus moottoreille ja sähköiselle lämmitysvastukselle sekä jäädytysnesto. /1./

Premium-liesikuvussa on kolme painiketta. Näistä painikkeista voidaan ohjata liesikuvun valoa, puhallinnopeuksia sekä liesikuvun sulkupeltiä, jonka aukioloajaksi on mahdollista valita 30, 60 tai 120 minuuttia. /1./

Kohteessa on myös tarveohjauksena käytetty kosteusanturiohjausta. Kosteusanturi on sijoitettu kylpyhuoneeseen. Kun anturiin asetettu kosteusarvo ylittyy, pakko-ohjaa tämä anturi koneen tehostusnopeudelle siihen saakka, että kosteusarvo laskee alle asetetun raja-arvon.

Lisäksi kohteessa on käytössä vesikiertoiset lamelliputkijäähdytyspatterit. Jäähdytyspatterit on asennettu huoneistojen tuloilman runkokanavaan heti koneen jälkeen, mutta ennen äänenvaimenninta. Jäähdytyspatteri on malliltaan QJCD, ja niitä valmistaa FläktWoods Oy kuva 6. Jäähdytyspattereissa kiertää kylmä vesi. Jäähdytyspatterin vuoksi kohteen tuloilmakanavisto on lämpöeristetty. Jäähdytystoiminnan otti käyttöön tehtaanedustaja, joten jäähdytysjärjestelmän käyttöönottoa en tässä työssä käy sen tarkemmin läpi.

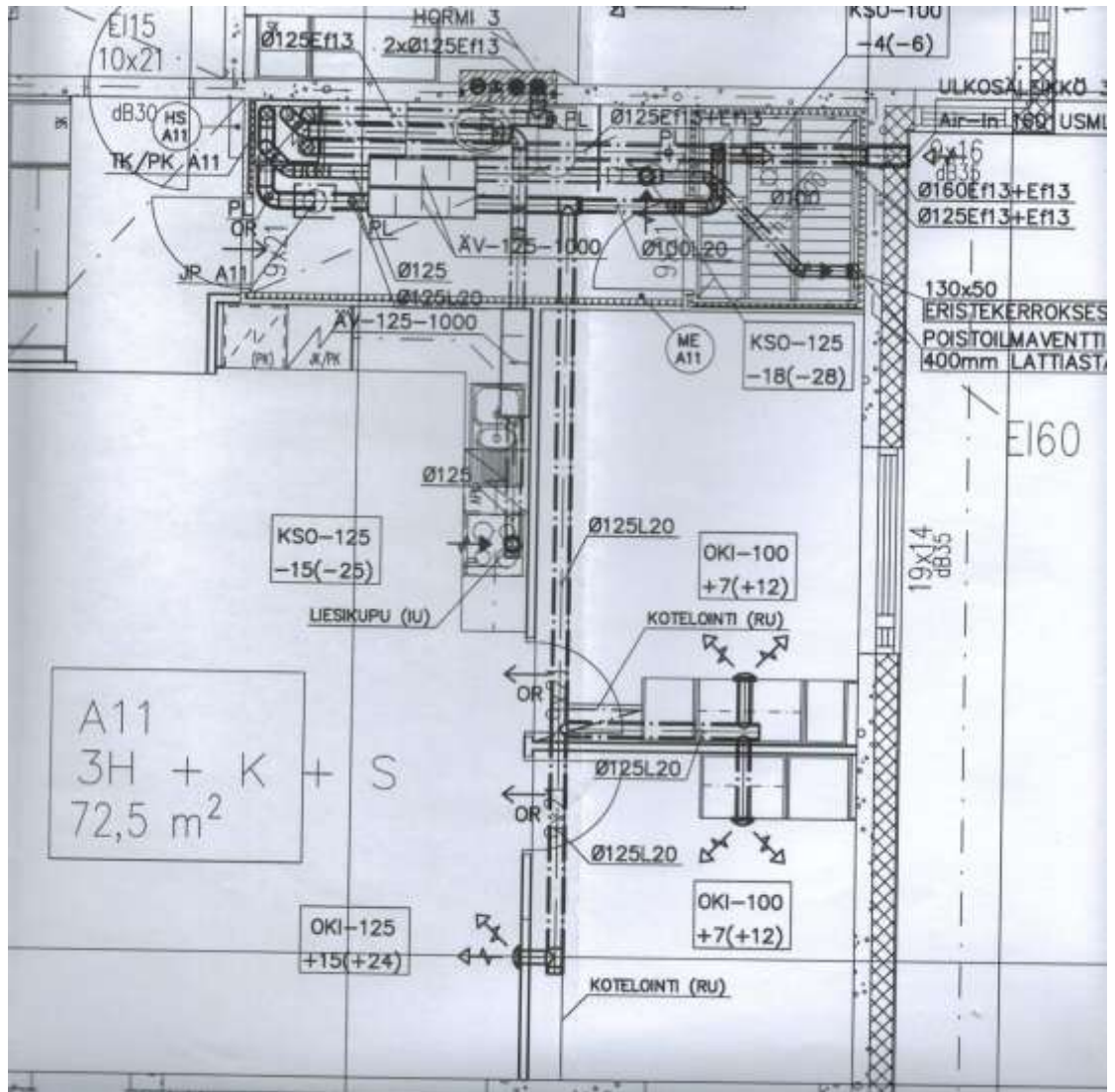


KUVA 6. QJCD-jäähdytyspatteri

3 LÄMMÖNTALTEENOTOSSA ILMENNEET ONGELMAT

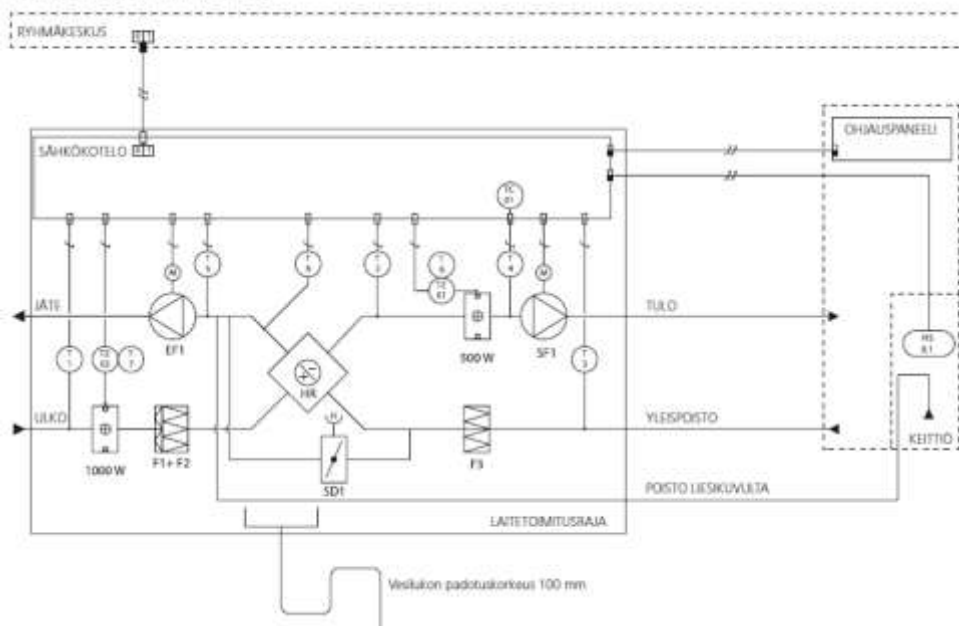
Rakennuskohteen valmistumisen lähestyessä huomattiin lämmöntalteenottoon liittyvä ongelma. Kun mittaus- ja säätötöitä oltiin valmistelemassa, huomattiin kuvia tutkittaessa tarkemmin, että suunnittelija oli suunnitellut kohteen poistoilmakanaviston siten, että keittiön liesikuvun poistoilmamäärä on koko ajan $15\text{dm}^3/\text{s}$. Koska liesikupu on tässä kohteessa kanavoitu ohittamaan lämmöntalteenottokenno, laskisi lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde huomattavasti. Kohteessa sijaitsevien huoneistojen kokonaispoistoilmamäärät vaihtelevat huoneiston koon mukaan $29\text{--}44\text{dm}^3/\text{s}$. Näin ollen huoneistojen lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde tulisi laskemaan merkittävästi.

Myös laitevalmistajan puolesta oltiin yhteydessä, koska he olivat huolissaan lämmöntalteenottokoneen jäätyä vuoksi. Koneen toimintaa kovilla pakkasilla ei taattu näin suurella lämmöntalteenoton ohituksella.

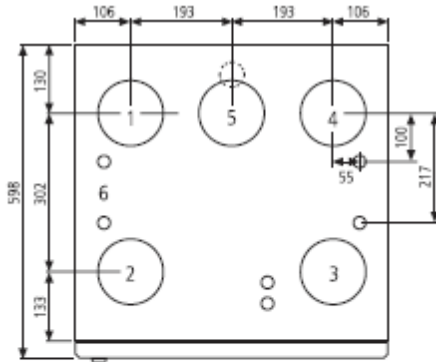


KUVA 7. A11-huoneiston ilmanvaihdon työpiirustus

6.4 Säättökaavio W80 EC



KUVA 8. W80-ilmanvaihtokoneen säättökaavio



1. Tuloilma huoneistoon $\varnothing 125$
2. Poistoilma huoneistosta $\varnothing 125$
3. Ulkoilma kojeelle $\varnothing 125$
4. Jäteilma ulos $\varnothing 125$
5. Erillispoisto $\varnothing 125$

KUVA 9. W80 R-ilmanvaihtokoneen lähdöt

Näitä kuvia käytettiin selventääksemme ongelmaa. Kuva 7 on IV-työpiirustus kohteen huoneistosta A11. Tästä kuvasta nähdään liesikuvun erillispoiston kanavoinnin periaate. A11:n kaltaisiin huoneistoihin keittiön apuventtiilin lisääminen olisi ollut mahdollista kohtuullisen vähäisillä purkutöillä, mutta tässäkin huoneistossa se olisi tarkoittanut ison tarkastusluukun tekoa kylpyhuoneen kattoon, sekä keittiökaapiston yläpuolisen koteloinnin purkamista.

Kuva 8 on Swegon W80 koneen yleinen säätökaavio. Tästä kuvasta näkee periaatteen, miten liesikuvun erillispoisto ohittaa lämmöntalteenoton.

Kuvassa 9 on esitetty W80-ilmanvaihtokone päältäpäin. Tästä voi hahmottaa sen, että liesikuvulta tuleva erillispoisto kytkeytyy koneeseen erillisenä lähtönä.

4 PARANNUSEHDOTUKSET

Parannusehdotuksia muotoutui loppujen lopuksi kaksi. Ensimmäisessä ehdotuksessa käsitellään tapausta, missä kanavointia yritettäisiin muuttaa siten, että saataisiin kaikki poistoilma lämmöntalteenottoon kuuluvaksi. Toisessa ehdotuksessa perehdytään poistoilmavirtojen uudelleen järjestelyyn poistoilmaventtiileiden kesken.

4.1 Kanavoinnin muutos

Ensimmäinen ehdotuksista perustuu siihen, että liesikuvulta pyrittäisiin saamaan pois tämä käyttöajan poistoilmamäärä. D2:ssa sanotaan, että keittiössä täytyy olla jatkuvaan poistoilmaa $8 \text{ dm}^3/\text{s}$, joten näin ollen keittiöön tulisi saada niin kutsuttu ”apuventtiili”, joka tulisi kanavoida yleispoistosta. Jos keittiöön saataisiin yleispoistokanavistosta venttiilin, josta voitaisiin poistaa tämä $8 \text{ dm}^3/\text{s}$, saataisiin normaalissa käytössä kaikki poistoilmamäärän ajettua lämmöntalteenottokennon läpi. Tällöin lämpöä menisi hukkaan vain silloin, kun liesikuvulta aukaistaisiin sulkupelti. Tämä tilanne olisi suotuista, koska sulkupelti avattaisiin vain silloin, kun keittiössä valmistettaisiin ruokaa tai asukas haluaisi muutoin tehostaa ilmanvaihtoa liesikuvulta. Tämä ongelma huomattiin kuitenkin harmillisen myöhään tämän parannusehdotuksen kannalta, koska tässä vaiheessa tämän parannusehdotuksen toteuttaminen tarkoittaisi rakennuksessa valmiiden pintojen purkamista, kuten alakattojen avaamista ja keittiökaapistojen yläpuolisen koteloinnin purkamista. Yleispoiston kanavointi jouduttaisiin aloittamaan lähes joka asunnossa kylpyhuoneen katosta. Tästä johtuen kanavaa kuluisi huoneiston mallista riippuen muutamista metreistä aina kymmeneen metriin ja käyriä kuluisi useita huoneistoja kohden.

Yksi mahdollisuus olisi ollut ottaa liesikuvun erillispoistonkanava kylpyhuoneen katossa kiinni yleispoistonkanavistoon, mutta tämä olisi tarkoittanut sitä, että liesikuvulta tuleva rasvainen ilma olisi mennyt lämmöntalteenottokennon lävitse. Tätä keinoa ei haluttu kumminkaan käyttää, koska konemalli oli valittu juuri sen takia, että liesikuvulta poistettava ilma ohittaa lämmöntalteenoton. Liesikuvulta oli myös erillispoiston ansiosta mahdollista saada suurempi ilmamäärä poistettua tehostuskäytön aikana.

4.2 Ilmamäärien tarkastelu

Kuten edeltävästä kappaleesta huomataan, on keittiön suunnittelussa ilmamäärässä selkeästi tarkastelun paikka. D2:ssa sanotaan seuraavasti: keittiön ilmamääräksi ohjearvo on $8\text{dm}^3/\text{s}$, kun liesikuvun ilmavirran tehostusta voidaan ohjata tila- tai asunto-kohtaisesti, muussa tapauksessa on liesikuvun ohjearvo $20\text{dm}^3/\text{s}$. Tässä kohteessa huoneistokohtainen tehostus on mahdollista, joten keittiön poistoilmamäärää olisi mahdollista pudottaa $7\text{dm}^3/\text{s}$.

Seuraavaksi tarkasteltiin, olisiko mahdollista vähentää tämä $7\text{dm}^3/\text{s}$ huoneistojen kokonaisilmavirrasta. Tässä vaiheessa laskettiin asuntojen ilmanvaihtokertoimia, joiden tulee olla vähintään $0,5\text{ 1/h}$. Ilmanvaihtokerrointa tutkittiin seuraavalla kaavalla.

$$\text{ilmanvaihtokerroin } \frac{1}{h} = \frac{\text{huoneiston ilmavirta } \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{\text{huoneiston tilavuus } \text{m}^3} \quad (1)$$

Huomattiin heti, että varsinkin pienempien asuntojen osalta tämä keittiön ilmamäärän vähennys olisi mahdollista. Tämä edellyttäisi totta kai sitä, että pudotettaisiin myös tuloilman määrää, jotta huoneistot pysyisivät alipaineisina. Ilmavaihtokerroin $0,5\text{ 1/h}$ toteutuisi vielä hyvin tämän pudotuksen jälkeenkin. Laskin Excel-ohjelmaa käyttäen muutamasta valitsemastani esimerkki huoneistosta ilmavirtoja, jos tulo- ja poistoilmaa pudotettaisiin $7\text{dm}^3/\text{s}$. Taulukosta 1 nähdään, mitä tapahtuu ilmanvaihtokertoimelle.

TAULUKKO 1. Ilmanvaihtokertoimia

Huoneisto	ne-liöt	korkeus	ilmatilavuus	tulo	poisto	ilmanvaihtokerroin	uusi tulo	uusi poisto	ilmanvaihtokerroin
	m^2	m	m^3	m^3/s	m^3/s	$1/\text{h}$	m^3/s	m^3/s	$1/\text{h}$
A6	55,5	2,8	155,4	0,030	0,033	0,76	0,023	0,026	0,60
A7	44,5	2,8	124,6	0,026	0,029	0,84	0,019	0,022	0,64
A9	54,0	2,8	151,2	0,030	0,033	0,79	0,023	0,026	0,62
A10	51,0	2,8	142,8	0,026	0,029	0,73	0,019	0,022	0,55
A11	72,5	2,8	203,0	0,033	0,037	0,66	0,026	0,030	0,53
A24	86,5	2,8	242,2	0,040	0,044	0,65	0,033	0,037	0,55
A25	85,5	2,8	239,4	0,036	0,040	0,60	0,029	0,033	0,50

Taulukosta 1 huomattiin heti muutama asia. Huoneistojen ilmamääriä voitaisiin laskea $7\text{dm}^3/\text{s}$, ja ilmanvaihtokertoimen vaatimus täytyisi. Huoneistossa A25 ilmanvaihtokerroin putoaisi juuri vaadittuun puoli vaihtoa tunnissa tasoon. Toinen asia on, että alkuperäisillä ilmamäärillä pienimmissä asunnoissa ylittyy $0,71/\text{h}$ vaihtoa. Tätä pidetään rajana, silloin kun ilmamääriä pystytään ohjaamaan tila- tai huoneistokohtaisesti tarpeen mukaan, joten ilmamäärien pienentäminen varsinkin pienemmissä asunnoissa olisi varsin perusteltua.

Suunnittelija oli kuitenkin ollut sitä mieltä, että kokonaisilmavirtoja ei pienennetä, vaan kokonaisilmamäärien tulee olla samat, mitä hän oli laskenut ja merkannut työpiirustuksiin. Tästä johtuen ainoa mahdollisuus oli jakaa poistoilmavirta uudestaan poistoventtiileille ja pudottaa liesikuvun kautta poistettavan ilman määrää sovittuun $8\text{dm}^3/\text{s}$. Liesikuvun kautta poistettavasta ilmamäärästä vähennetty $7\text{dm}^3/\text{s}$ oli mahdollista pienemmissä huoneistoissa lisätä vain kylpyhuoneen poistoventtiilille, koska saunan poistoilmamäärää ei haluttu kasvattaa, jotta saunomistilanteessa lämpö ei karkaisi saunasta poistoilmakanavistoon. Kohteen saunoissa oli ainoastaan lauteiden alla oleva poistoilmaventtiili, jota ei ollut mahdollista sulkea saunomistilanteessa. Huoneistossa, joissa oli vaatehuone, lisättiin vaatehuoneen poistoilmamäärää hieman. Myös huoneistoissa, joissa oli erillinen vessa, lisättiin vessasta poistettavan ilman määrää.

5 ENERGIALASKENTA

Tässä laskennassa apuna käytettiin Excel-taulukkolaskentaohjelmaa. Käytössä oli laskentapohja, jonka avulla laskettiin harjoitustöitä muutamalla kurssilla. Taulukko on esitetty liitteenä 1. Excel-taulukon avulla voidaan laskea ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde, ilmanvaihdon lämmityksen energiatarve sekä poistoilmasta talteenotettu lämpöenergia. Excel-taulukkoon on annettu seuraavat kaavat:

$$\eta_t = \frac{(t_{tLTO} - t_u)}{(t_s - t_u)} \quad (2)$$

$$\eta_p = \frac{(t_s - t_j)}{(t_s - t_u)} \quad (3)$$

$$\eta_p = \eta_t R_{LTO} \quad (4)$$

η_t = tuloilman lämpötilasuhde, kWh

η_p = poistoilman lämpötilasuhde

t_{LTO} = tuloilman lämpötila lämmöntalteenoton jälkeen

t_j = poistoilman lämpötila lämmöntalteenoton jälkeen

t_s = sisäilman lämpötila

t_u = ulkoilma lämpötila

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

$$Q_{iv} = c_p \rho q_p S_s \quad (5)$$

Q_{iv} = ilmanvaihdon lämmityksen energiantarve, kWh

c_p = ilman ominaislämpökapasiteetti, J / kg K

ρ = ilman tiheys, kg / m³

q_p = lämmöntalteenoton vaatimusten piiriin kuuluva poistoilmavirta

S_s = sisäilman lämpötilan ja ulkoilman lämpötilan välinen lämmöntarveluku lämmityskaudella, Kd

$$Q_{LTO} = c_p \rho \sum_i q_{p,i} S_{J,i} \quad (6)$$

Q_{LTO} = poistoilman talteenotettu lämpöenergia

c_p = ilman ominaislämpökapasiteetti, J / kg K

ρ = ilman tiheys, kg / m³

q_p = lämmöntalteenoton vaatimusten piiriin kuuluva poistoilmavirta

S_J = sisäilman lämpötilan ja jäteilman lämpötilan (poistoilma LTO:n jälkeen) välinen lämmöntarveluku lämmityskaudella, Kd /11./

$$\eta_{a,ivk} = \frac{Q_{LTO}}{Q_{iv}} \quad (7)$$

$\eta_{a,ivk}$ = lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde

Laskuissa käytettiin Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 ohjeita.

Lämmöntalteenottoa säädetään yleensä siten, ettei sisäänpuhalluslämpötila ylitä haluttua asetusarvoa. Lämmöntalteenottolaitteen vuosihyötysuhdetta määrittäessä on sen ilmavirtasuhde otettava laskennassa huomioon. Lämmöntalteenottolaitteen jäätyminen esto otetaan huomioon rajoittamalla jäteilman lämpötilaa (tehonsäätö). Jäätyamisen

eston jäteilman minilämpötilana voidaan käyttää seuraavia ohjearvoja, jos laitteessa ei ole olemassa varmennettuja suoritusarvoja:

- asuinrakennuksissa levylämmönsiirtimille +5 °C ja pyöriville lämmönsiirtimille tai kosteutta siirtäville levylämmönsiirtimille 0 °C;
- muissa rakennuksissa levylämmönsiirtimille 0 °C ja pyöriville lämmönsiirtimille -5 °C

Lämpötilasuhteena voidaan käyttää lämmöntalteenottolaitteen valmistajan ilmoittamaa varmennettua hyötysuhdetta, ellei sitä ole käytettävissä käytetään D5 taulukon 3.7 arvoja

Laskuissa siis sisäänpuhalluslämpötila eli tuloilma rajoitetaan +17 °C ja jäteilma rajoitetaan +5 °C, koska kyseessä on asuinrakennus ja kohteessa on vastavirtalevyllämmönsiirtimet, jotka eivät siirrä kosteutta. Lisäksi laskuissa käytetään D5:n arvoista poiketen lämpötilasuhteena 80 %, koska valmistaja on tämän ilmoittanut tuotemateriaaleissaan selkeästi. D5:n ohjearvo vastavirtalevyllämmönsiirtimelle on 60 %. /12./

Säätiетoina laskennassa käytettiin tasauslaskentaoppaan mukaisesti Jyväskylän säätiетoja vuodelta 1979, koska laskenta tulee yleensä tehdä rakennuksen sijaintipaikkakuntaa lähinnä olevan paikkakunnan säätiетiedoilla. Kuva 10 kyseisestä lämpötilataulukosta. /11./

Taulukko 5. Rakennuksen ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskennassa voidaan käyttää esimerkiksi alla olevia Ilmatieteen laitoksen testivuoden 1979 [Tammelin & Erkiö 1987] [RakMk osa D5/2007] ulkoilman lämpötilasta laskettuja pysyvyystietoja. Prosenttiosuus ilmoittaa, kuinka suuri osuus vuodesta on kyseistä ulkoilman lämpötilaa kylmempi.

Ulkoilman lämpötila, °C	Helsinki, %	Jokioinen, %	Jyväskylä, %	Sodankylä, %	Ulkoilman lämpötila, °C	Helsinki, %	Jokioinen, %	Jyväskylä, %	Sodankylä, %
-41				0	-4	18,82	25,90	22,91	35,42
-40				0,011	-3	21,35	29,18	26,29	38,92
-39				0,068	-2	23,44	33,06	29,10	43,44
-38				0,137	-1	27,02	38,25	32,93	47,73
-37		0		0,263	0	32,04	45,60	38,18	52,00
-36		0,031		0,422	1	38,64	54,21	45,47	56,08
-35		0,061	0	0,548	2	43,60	61,07	50,21	59,17
-34		0,107	0,057	0,685	3	47,73	65,95	54,03	61,20
-33		0,122	0,080	0,902	4	51,43	70,76	56,95	63,09
-32		0,153	0,091	1,301	5	54,66	75,03	59,39	65,01
-31	0	0,198	0,171	1,667	6	57,16	77,95	62,07	67,52
-30	0,011	0,244	0,263	2,066	7	59,26	80,60	63,95	70,48
-29	0,034	0,290	0,377	2,603	8	61,37	83,17	65,96	73,01
-28	0,057	0,336	0,548	3,071	9	64,09	86,03	68,37	75,98
-27	0,137	0,366	0,753	3,539	10	66,84	88,74	70,88	78,39
-26	0,217	0,641	0,902	4,018	11	69,43	91,12	73,74	80,76
-25	0,297	0,946	1,210	4,578	12	72,49	93,51	76,39	83,71
-24	0,365	1,160	1,553	5,194	13	76,18	94,78	79,26	86,43
-23	0,514	1,511	1,975	6,016	14	80,27	96,08	82,74	88,70
-22	0,799	1,984	2,432	6,804	15	83,90	97,08	85,79	91,05
-21	1,164	2,473	2,911	7,591	16	87,31	97,73	88,69	93,22
-20	1,461	2,930	3,368	8,425	17	90,70	98,11	91,07	94,71
-19	1,678	3,480	3,984	9,326	18	93,31	98,32	93,24	96,13
-18	2,203	4,121	4,749	10,06	19	95,25	98,57	94,90	97,36
-17	2,568	4,869	5,731	10,91	20	96,61	98,89	96,35	98,17
-16	3,219	5,998	6,963	11,84	21	97,52	99,13	97,52	98,82
-15	3,790	6,929	7,740	12,87	22	98,44	99,27	98,39	99,24
-14	4,600	8,410	8,402	14,09	23	99,13	99,53	99,00	99,63
-13	5,913	9,615	9,064	15,75	24	99,36	99,76	99,35	99,83
-12	6,963	10,49	9,680	17,49	25	99,74	99,88	99,69	99,97
-11	7,831	11,43	10,45	19,33	26	99,90	99,98	99,86	100,00
-10	8,893	12,84	11,95	21,44	27	99,94	100,00	99,95	
-9	10,22	14,12	13,32	23,48	28	99,97		100,00	
-8	11,63	15,92	14,51	25,75	29	100,00			
-7	12,91	17,99	15,96	27,65					
-6	14,74	20,71	17,71	29,67					
-5	16,62	23,18	19,90	32,02					

KUVA 10. Tasauslaskentaopas säätiedot /11/

Eri ratkaisumalleja vertailtiin siis energialaskennan avulla. Ensiksi laskettiin, minkä verran energiaa menisi hukkaan, jos voimaan jäisi alkuperäinen tilanne, jossa poistoilmasta merkittävä määrä ohittaisi lämmöntalteenoton eli joka asunnon kokonaispoistoilmavirrasta 15 dm³/s. Tuota tilannetta verrattiin kahteen eri tilanteeseen, tilanteeseen jossa saataisiin kaikki poistoilmavirta lämmöntalteenoton lävitse, ja tilanteeseen, jossa poistoilmavirta lämmöntalteenoton läpi olisi 7 dm³/s suurempi kuin alkuperäisen suunnitelman mukaan.

Huoneistotyyppiä tässä kerrostalossa oli seitsemän erilaista, mutta ilmamääriltään näistä osa oli samanlaisia. Ilmamääriltään toisistaan poikkeavia asuntoja oli viisi kappaletta. Pohjakuvasta laskettiin, minkä verran kutakin huoneistotyyppiä oli kerrosta-

lossa, ja huoneistot jaettiin sen jälkeen ilmamäärien perusteella. Pienimpiä huoneistoja ilmamäärän perusteella oli 11 kappaletta. Keskikokoisia huoneistoja ilmamäärän perusteella oli seitsemän kappaletta ja suuria asuntoja ilmamäärän perusteella viisi kappaletta. Näiden lisäksi viidennen kerroksen asunnot olivat muista asunnoista poikkeava ilmamääriltään, joten ylimmän kerroksen molemmat asunnot laskettiin omanaan.

Ensimmäiset laskut näille viidelle huonetyypille laskettiin niillä ilmavirroilla, jotka suunniteltiin oli kohteeseen suunnitellut. Otetaan esimerkiksi kohteen tyypillisin huoneisto ilmavirtojen perusteella. Huoneiston kokonaispoistoilmavirta on $29 \text{ dm}^3/\text{s}$ ja tuloilmavirta $26 \text{ dm}^3/\text{s}$, mutta liesikuvun takia lämmöntalteenoton läpi kulkeva poistoilmavirta pienenee $15 \text{ dm}^3/\text{s}$, joten poistoilma lämmöntalteenoton läpi on enää $14 \text{ dm}^3/\text{s}$. Tätä laskentaa tutkiessa huomataan Excel-tilauksesta heti, että koska poistoilmavirta on verrattain pieni, ei tuloilmaan siirry lämpöä kovin paljon. Valitsin tarkasteltavan kohdan taulukosta. Päädyin tarkastelemaan tilannetta, kun ulkolämpötila on $0 \text{ }^\circ\text{C}$. Huomio kiinnittyi siihen, että tuloilma ei lämpene lämmöntalteenotossa kuin $8,6 \text{ }^\circ\text{C}$. Samaan aikaan poistoilma jäähtyy $16 \text{ }^\circ\text{C}$ ja jäähtymistä joudutaan jo rajoittamaan, jottei jäteilma laske alle $+5 \text{ }^\circ\text{C}$. Tässä huoneistossa näillä ilmavirroilla olisi ilmanvaihdon lämmityksen energiantarve vuodessa 5592 kWh ja poistoilmasta talteenotettu lämpöenergia 1713 kWh , joten sähköä pitäisi lämmitykseen käyttää 3879 kWh . Lämmöntalteenottolaitteen vuosihyötysuhde olisi vain $31 \text{ } \%$.

Kun laskut oli tehty kaikille huoneistotyypeille alkuperäisillä ilmavirroilla, päätettiin, että laskut suoritetaan seuraavaksi siten, että lämmöntalteenoton läpi kulkevaa poistoilmavirtaa kasvatetaan $7 \text{ dm}^3/\text{s}$ jokaisessa huoneistotyyppissä. Näistä laskuista tarkasteltiin samaa tilannetta kuin edellä, ja huomattiin heti, että tuloilmaan siirtyy jo huomattavasti paremmin lämpöä eli $13,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Jäteilman jäähtymistä täytyi jälleen rajoittaa. Tässä huoneistossa näillä ilmavirroilla olisi ilmanvaihdon lämmityksen energiantarve vuodessa 5592 kWh ja poistoilmasta talteenotettu lämpöenergia 2633 kWh , joten sähköä pitäisi lämmitykseen käyttää 2959 kWh . Eli jo ilmavirtojen uudelleen jaotelulla päästäisiin lähes 1000 kWh säästöön vuodessa. Lämmöntalteenottolaitteen vuosihyötysuhde olisi jo hyväksyttävä $47 \text{ } \%$.

Viimeiseksi tarkasteltiin tilannetta, johon olisi tullut päästä eli kaikki poistoilmavirta kulkee lämmöntalteenoton läpi. Tarkastellaan jälleen samaa tilannetta eli ulkolämpötila on $0 \text{ }^\circ\text{C}$, joka tarkoittaa siis laskennassa, että ulkoilman lämpötila keskiarvo on $-0,5$

°C. Tuloilmaan siirtyy lämpöä 17,5 °C, joka tarkoittaa siis, että tuloilman lämpötilaa joudutaan rajoittamaan, jottei se ylitä sovittua 17 °C tuloilman lämpötilaa. Tässä huoneistossa näillä ilmavirroilla olisi ilmanvaihdon lämmityksen energiantarve vuodessa 5592kWh ja poistoilmasta talteenotettu lämpöenergia 3222 kWh, joten sähköä pitäisi lämmitykseen käyttää 2370 kWh. Edeltävästä laskusta lämmitykseen tarvittava sähkönkulutus putoaisi 600 kWh. Lämmöntalteenottolaitteen vuosihyötysuhde nousisi jo mielestäni hyvänä pidettävälle tasolle eli 58 %.

Tuloksia tarkastellaan laajemmin koko rakennuksen tasolla. Tässä tarkastelussa ei oteta huomioon kahta poistoilmapuhallinta, jotka on asennettu kiinteistön vesikatolle. Puhaltimet palvelevat porrashuoneistoa sekä kiinteistön varastotiloja. Asuntojen osalta toimittiin niin, että huoneistotyypeittäin lasketut energiankulutukset kerrottiin huoneistojen määrällä ja näin ollen päästiin kokonaisenergiankulutukseen käsiksi.

Taulukosta 2 nähdään alkuperäisen suunnitelman mukainen energiankulutus ja vuosihyötysuhde.

TAULUKKO 2. Alkuperäinen energiankulutus ja vuosihyötysuhde

Asunnot	Asuntojen määrä	Q_{iv}	Q_{LTO}
	kpl	kWh	kWh
A2, A4, A7, A8, A10, A13, A14, A16, A19, A20, A22	11	5592	1713
A1, A6, A9, A12, A15, A18, A21	7	6363	2197
A3, A5, A11, A17, A23	5	7135	2675
A25	1	7713	3033
A24	1	8485	3512
Yhteensä	25	157926	54142
$\eta_{a,ivk}$	34,3 %		

Tästä taulukosta huomattiin heti, että ilmanvaihdon lämmöntalteenotolle asetettu vaatimus 45 % vuosihyötysuhteessa ei täyty. Suomen rakentamismääräyskokoelmassa D3 sanotaan seuraavasti: ” Rakennuksen ilmanvaihdon poistoilmasta on otettava lämpöä talteen lämpömäärä, joka vastaa vähintään 45 % ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemasta lämpömäärästä. Vastaava lämpöenergian tarpeen pienentäminen voidaan toteuttaa

- 1) rakennuksen vaipan lämmöneristystä parantamalla;
- 2) rakennuksen vaipan ilmanpitävyyttä parantamalla; tai

3) vähentämällä ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemaa lämpö määrää muulla tavalla kuin poistoilman lämmöntalteenotolla.”

Muita keinoja on esimerkiksi nestekiertoinen maalämmityspiirin esilämmityspatteri, jolla estetään lämmöntalteenottolaitteen jäätyminen. Mitään edellä mainittuja toimenpiteitä ei ole suoritettu kerrostalossa. Tämä tarkoitti siis sitä, että jotain toimenpiteitä olisi suoritettava, jotta lämmöntalteenotolle asetettu vaatimus täyttyisi. /13./

Seuraavaksi tarkastellaan tilannetta, kun lämmöntalteenottolaitteen lävitse kulkevan poistoilman määrää kasvatetaan jokaisessa huoneistossa $7 \text{ dm}^3/\text{s}$.

TAULUKKO 3. Ilmamäärien uudelleen jaon jälkeinen energiankulutus ja vuosihyötysuhde

Asunnot	Asuntojen määrä	Q_{iv}	Q_{LTO}
	kpl	kWh	kWh
A2, A4, A7, A8, A10, A13, A14, A16, A19, A20, A22	11	5592	2633
A1, A6, A9, A12, A15, A18, A21	7	6363	2997
A3, A5, A11, A17, A23	5	7135	3457
A25	1	7713	3808
A24	1	8485	4278
Yhteensä	25	157926	75313
$\eta_{a,ivk}$	47,7 %		

Taulukosta 3 huomataan heti, että ilmanvaihdolle asetettu vuosihyötysuhde ylittyy 2,7 %. Tämä parannus olisi siis riittävä vuosihyötysuhteen kannalta, mutta minun mielestäni vuosihyötysuhde on uudelle rakennukselle edelleen aika alhainen.

Viimeisenä tarkasteltiin tilannetta, mihin olisi tullut päästä eli kaikki poistoilma saataisiin lämmöntalteenoton läpi.

TAULUKKO 4. Kaikki poistoilma lämmöntalteenoton läpi

Asunnot	Asuntojen määrä	Q_{iv}	Q_{LTO}
	kpl	kWh	kWh
A2, A4, A7, A8, A10, A13, A14, A16, A19, A20, A22	11	5592	3222
A1, A6, A9, A12, A15, A18, A21	7	6363	3693
A3, A5, A11, A17, A23	5	7135	4101
A25	1	7713	4453
A24	1	8485	4923
Yhteensä	25	157926	91174
$\eta_{a,ivk}$	57,7 %		

Taulukosta 4 voidaan huomata, että vuosihyötysuhde on jo lähes 60 %. Tätä voidaan pitää hyvänä vuosihyötysuhteena vastavirtalevylämmönsiirtimellä. Tähän pääseminen edellyttäisi kumminkin kanavoinnin muuttamista ja tällöin huoneistoissa pitäisi purkaa jo valmiita alakattoja, joten jo työhön ryhtyessäni tiesin, että tähän tuskin tultaisiin pääsemään.

6 PARANNUSEHDOTUKSEN TOTEUTUS

Muutamien keskustelukertojen jälkeen tultiin ratkaisuun, että poistoilmamäärät jaetaan uudestaan poistoventtiileille. Tämä johtui siitä, että kohteen huoneistot olivat valmiita kaikkien kattopintojen osalta eikä niissä enää haluttu suorittaa purkutöitä. Ehdotuksen mukaan keittiöön säädetään normaali käyttötilanteen mukaiseksi ilmamääräksi $8 \text{ dm}^3/\text{s}$, ja tämä vähennetty $7 \text{ dm}^3/\text{s}$ siirretään huoneistoiden muille poistoilmaventtiileille. Tällä tavoin tämä $7 \text{ dm}^3/\text{s}$ ilmamäärä saadaan lämmöntalteenotossa käytettyä hyväksi. Pienemmissä huoneistoissa tämä tarkoitti sitä, että ilmamäärä siirrettiin kokonaisuudessaan kylpyhuoneen venttiilille, mutta suuremmissa huoneistoissa vähennetty ilmamäärä jaettiin joko kylpyhuoneen ja vaatehuoneen kesken tai kylpyhuoneen ja erillisen wc:n kanssa.

Taulukossa 5 on malliasuntojen poistoilmamääriä.

TAULUKKO 5. Uudet ilmamäärät

Huoneistotyyppi	Keittiö (liesikupu)	KPH	WC	VH	Sauna	YHT
Malli 1	-8	-17			-4	-29
Malli 2	-8	-15		-6	-4	-33
Malli 3	-8	-22	-10		-4	-44

Tämä parannusehdotus ei ole energiansäästön kannalta paras ratkaisu. Keittiöön ei ollut enää mahdollista saada yleispoistosta venttiiliä, josta olisi voitu ottaa tämä 8 dm³/s ilmamäärä, joka määräysten mukaan on keittiössä oltava, joten oli pakko tyytyä tähän ratkaisuun. Näin ollen kaikkea poistoilmaa ei saada kulkemaan lämmöntalteenottokennon läpi. Tämä ratkaisu kumminkin lisää poistoilman määrää lämmöntalteenottokennon läpi selkeästi.

Itse toteutin tämän parannusehdotuksen vain toiseen näistä kahdesta kerrostalosta, joten käsitelän pelkästään sitä tässä työssäni. As Oy Konduktöörissä on kaksi toisiaan vastaavaa kerrostaloa, joissa molemmissa on 25 asuinhuoneistoa. Alun perin tarkoituksena oli, että tekisin yksin mittaus- ja säätötyöt molempiin rakennuksiin, mutta koska mittaus- ja säätötöiden aloittaminen myöhästyi niin paljon, päädyttiin sellaiseen ratkaisuun, että tekisin mittaus- ja säätötyöt yksin vain toiseen näistä rakennuksista. Työt aloitin kohteen A-rakennuksesta, jonka mittasin ja säädin yksinäni, joten tarkastelen vain A-rakennusta tässä työssä.

6.1 Mittaus- ja säätötyöt

6.1.1 Mittaustavan valinta

Huone- tai pääte-elinkohtaiset ilmavirrat mitataan ensisijaisesti kiinteällä mittauselimellä tai kalibroidulla anturilla. (Kuva 11 menetelmät B0, C0 ja B1, C1.) Mittauslaitteiden tulee olla tyyppihyväksytyjä ja kalibroituja. /10./

Paine-eromittauksessa mitataan paine-ero päätelaitteen ”ylitse” ja luetaan päätelaitteen säätökäyrästä ilmvirta tai lasketaan ilmvirta valmistajan antaman k-kertoimen avulla kaavalla 1. /10./

Menetelmät B11 ja C11 kuvasta 11 soveltuvat työhön parhaiten. Menetelmissä tulo- ja poistoilmavirrat mitataan kalibroidun mittausanturin avulla. Menetelmä soveltuu tulo- ja poistoilmaventtiileiden ilmavirtojen mittaamiseen. Mittaus toteutetaan paine-eromittarin avulla, lisävarusteena käytetään kalibroituja anturia ns. ”mittaussondi”, sekä mitattavan venttiilin asennon osoittavaa mittausvälinettä. Mittausvälineenä voidaan käyttää kuvassa 6 näkyvää välinettä. Mittausmenetelmän epätarkkuus on noin 5 %, kun mittausolosuhteet sekä tuntoelimen paikka on tarkoin määritetty. /10./

KANAVA	Mittauspaikka tai kohde POISTOILMAELIN	TULO- JA ULKOILMAELIN
A	B	C
A0 Kiinteästi asennetut mittauselimet	B0 Kiinteästi asennetut mittauselimet	C0 Kiinteästi asennetut mittauselimet
A1 Kiinteät mittauselimet	B1 Paine- eromittaus	C1 Paine- eromittaus
	B11 mittaus- anturilla	C11 mittaus- anturilla
	B12 kiinteällä mittauseli- mellä tai -yhteellä/ yhteillä	C12 kiinteällä mittauseli- mellä tai -yhteellä/ yhteillä

KUVA 11. Mittaustavat /10/

6.1.2 Mittaukset kohteessa

Ilmamäärän mittaus ja säätäminen tapahtui kohteessa pelkästään poisto- ja tuloilman päätelaitteista. Päätelaitteita voidaan käyttää pienten tilavuusvirtojen hallintaan. Päätelaitteet eli venttiilit asennetaan asuinrakennuksissa joko huonetilojen seinään (SHH) tai kattoon (KIR ja KSU). Poisto- ja tuloilmaventtiileiden ilmamäärät mitataan ns. sondimittausmenetelmällä mittausliittimen avulla. Sondimittausmenetelmän avulla mitataan tyyppikohtaisesti kalibroitujen tulo- ja poistoilmaventtiileiden ilmamäärät. Ilmavirta lasketaan k-kertoimen ja venttiilin paine-eron avulla. Paine-ero mitataan venttiilin takaa mittausputkella eli sondilla, joka on samanlainen kuin venttiilin kalib-

roinnissa käytetty putki. Venttiileiden avaus mitataan kätevimmin rakotulkin avulla. /6, s. 133./

Kohteen mittaustöitä varten minulla oli käytössä ilmastoinnin mittauksiin tarkoitettu monitoimimittari TSI AirFlow TA460-P. Mittarilla pystyy mittaamaan ilman nopeutta, paine-eroa, lämpötilaa sekä kosteutta. Mittarilla saadaan laskennallisesti suoraan myös ilmamäärä, märkälämpötila sekä kastepiste. /4./

Kohteessa käytetyt venttiilit on Lindabin valmistamia. Venttiilimalleina käytettiin poistoilmassa KSU-venttiilejä. Tuloilman venttiileinä käytettiin KIR- sekä SHH-venttiilejä. Venttiileiden säätöopas ja k-kertoimet on esitetty valmistajan Internet-sivuilla.

Mittaukset toteutettiin paine-eromittauksin. Mittarilla mitattiin siis paine-eroa pääte-laitteen eli ”venttiilin yli”, josta kaavan kahdeksan avulla saatiin ilmamäärä dm^3/s . Mittaus työskentelyä helpotti huomattavasti se, että mittariin sai asetettua suoraan k-kertoimia. Näin ollen mittarin näytöltä pystyi lukemaan paine-eron sekä ilmavirran yhtä aikaa.

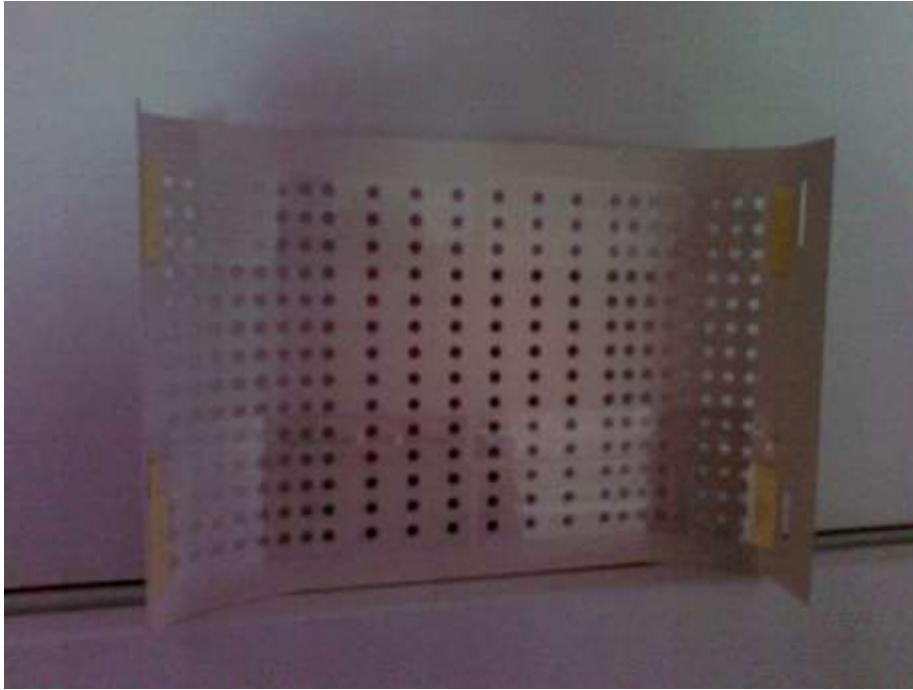
$$q = k * \sqrt{\Delta p_i} \quad (8)$$

q = ilmavirta (dm^3/s)

Δp_i = mitattu paine-ero

k = valmistajan ilmoittama k-arvo venttiilin avauksen mukaan /5./

SHH-venttiileiden säätö on tehty helpoksi. Venttiilissä on yhteensä 14 päällekkäistä reikäriiviä, joista tehtaalla on valmiiksi teipattuna kuusi riviä. K-kerroin on ilmoitettu kahden rivin aukaisuvälein, mutta laskin itselleni töiden alkuvaiheessa joka rivin aukaisulle k-kertoimen. Kuvassa 12 on SHH-venttiilin etulevy irrotettuna. Kuvasta voi huomata, miten venttiiliä säädetään eli reikäriivejä teipataan kiinni tai aukaistaan.

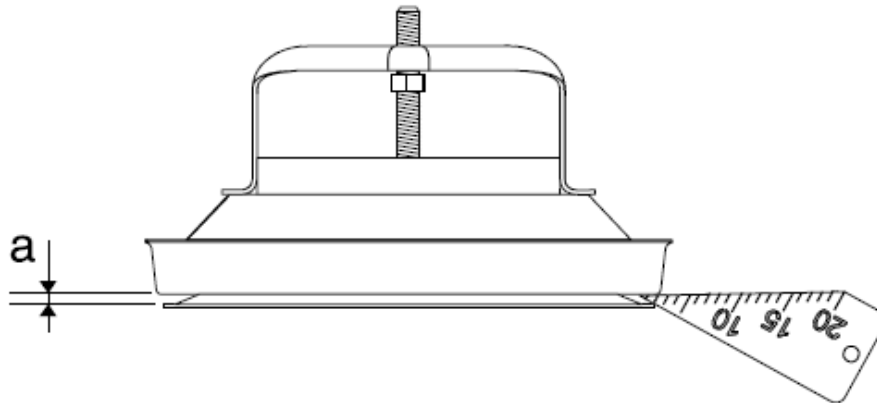


KUVA 12. SHH-venttiilin etulevy

Käytetään tämän venttiilin teippausta hyödyksi seuraavassa esimerkkilaskussa. SHH-100 venttiilin ollessa auki kuusi riviä on k-kerroin 1,7. Paine-eron ollessa 11,4Pa voidaan kaavan yksi avulla laskea ilmamäärä venttiilille.

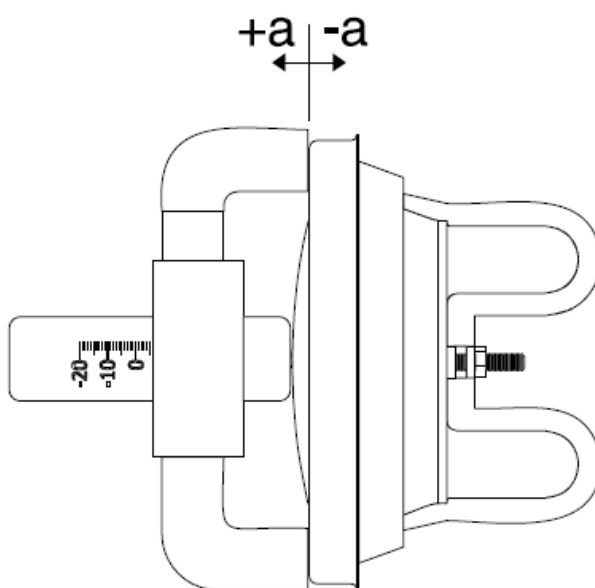
$$q = 1,7 * \sqrt{11,4} = 5,74\text{dm}^3/\text{s}$$

KIR-venttiiliä säädetään sen linssiosaa pyörittämällä (kuva 13). Tällöin venttiilin avaus luetaan siten, että yksi täysi pyöräytys on myös 1 mm avaus. Apuna tässä käytetään rakotulkkia, jotta ei tarvitsisi aina laskea kiinni asennosta, montako kierrosta on pyörittänyt venttiiliä auki. KIR-venttiilille on annettu k-kertoimet ohjauslevyn kanssa ja ilman ohjauslevyä. Ohjauslevy sijaitsee venttiilin sisäpuolella, ja sillä voidaan sulkea puhallussuunnasta 180° sektori pois. Kohteessa kaikkiin venttiileihin jätettiin ohjauslevyt paikalleen, koska venttiilit sijaitsivat lähellä seinää, jolloin haluttiin rajata seinän puoli pois, jotta venttiilistä tuleva ilma ei lähtisi valumaan seinään osuessaan alaspäin ja aiheuttaisi näin ollen vedon tunnetta asukkaaseen. KIR-venttiilille on annettu k-kertoimet 2 mm avauksen välein, mutta laskin venttiilille töiden alkuvaiheessa k-kertoimen joka 1 mm avaukselle.



KUVA 13. KIR-venttiilin asennon lukeminen

Poistoilman venttiileinä on kohteessa käytetty KSU-venttiilejä (kuva 14), joiden säätö tapahtuu samoin kuin KIR-venttiilin eli venttiilin keskellä olevaa linssiä pyöritetään, joko miinus-suuntaan eli sisäänpäin tai plus-suuntaan eli ulospäin. K-kertoimia on ilmoitettu 5 mm avauksen välein, joten tässäkin tapauksessa laskin k-kertoimet jokaiselle 1 mm avaukselle. KSU-venttiilille on lisäksi annettu eri kertoimet riippuen, siitä onko venttiili kytketty suoraan kanavaan, 90° käyrään tai T-haaraan. Kaikki venttiilit oli kytketty kanavistoon siten, että ainakin kanavan halkaisijan verran suoraa kanavaa oli ennen venttiiliä, joten ilmamäärän laskemiseen on käytetty suoran kanavan k-kertoimia.



KUVA 14. KSU-venttiilin avauksen lukeminen

Premium-liesikuvun säätö tapahtuu poistamalla muovisesta sulkupelistä tulppia. Sulkupeltiin on tehty 10 reikää, jotka ovat tehtaan jäljiltä kaikki tulpattuina. Tulppia poistamalla voidaan lukea laitevalmistajan diagrammista ilmamäärä paine-eron ja avattujen reikien lukumäärän perusteella (kuva 15).



KUVA 15. Premium-liesikuvun sulkupellin säätäminen

6.2 Kosteusanturiohjaus

Kohteeseen oli haluttu kosteusanturiperusteinen tarveohjaus. Kosteusanturi oli huoneistoissa sijoitettu kylpyhuoneeseen, jossa sen tarkoituksena on reagoida asukkaan kylpemiseen ja ohjata ilmanvaihtokone automaattisesti tehostusnopeudelle kosteuden raja-arvon ylittyessä. Tämä toiminto edesauttaa kylpyhuoneiden kuivumista kylpymisen jälkeen.

Kosteusanturi on hygroskooppinen eli niin sanottu hiushygrometri. Hiushygrometri mittaa ilman suhteellisen kosteuden hiuskimpun pituuden muutokseen perustuen. Hiushygrometria käytetäänkin yleensä jatkuvaan ilman suhteellisen kosteuden seurantaan. Hiushygrometri ei kuitenkaan sovellu tarkkuusmittauksiin.

Suhteellisen kosteuden raja-arvon valintaan vaikuttaa ihmisen tuntemus kosteudesta, vaikka ihmisellä ei olekaan kosteutta tuntevaa aistia. Tuntee ihminen korkean ja alhaisen kosteuden arvon iholla, limakalvoilla ja hengityselimissä epämääräisinä tuntemuksina. Asuinhuoneistoon sopiva suhteellinen kosteus on noin 40–50 %. Pitkäaikaisesti huoneen suhteellinen kosteus ei saisi ylittää arvoa 60 %. Liian kostea tai kuiva ilma aiheuttaa terveydellisiä oireita. /3, s. 27./

Kosteusanturin raja-arvoksi talviaikaan sovittiin yhdessä suunnittelijan kanssa 50 % suhteellinen kosteus. Kesäaikaan suositelimme raja-arvon nostamista 60 % suhteelliseen kosteuteen, jotta välttyttäisiin turhalta koneen tehostus toiminnalta, koska ulkoilman mukana sisälle tuleva kosteus nostaa myös huoneen suhteellista kosteusprosenttia.

Samalla, kun etsin valmistajan sivuilta tietoa, kuinka kyseinen anturi kalibroidaan, löysin myös anturille huolto-ohjeen, joka lisättiin myöhemmin luovutusmateriaaleihin. Ohjeessa neuvottiin, miten kosteusanturin kalibrointi tapahtuu. Lisäksi ohjeessa kehoitetaan suorittamaan kalibrointi tietyin aikaväleihin esimerkiksi aina lämmityskauden alkaessa. Jos anturin hius- tai muovipinnoille pääsee pölyä tai muuta likaa, on se puhdistettava, jotta hygroskooppinen vaikutus ilman kanssa ei estyisi. Tästä johtuen puhdistus olisi hyvä tehdä aina kalibroinnin yhteydessä. /7./

”Kosteusmittaukset tehdään yleensä yhdestä pisteestä suuressakin huonetilassa, koska ilman absoluuttinen kosteus on jokseenkin vakio koko huonetilan oleskeluvyöhykkeellä. Tuloilmasuihkussa sekä paikallisten kosteuslähteiden lähellä voi kosteus kuitenkin poiketa tästä, joten kosteuden mittauspisteen edustavuus varmistetaan.” /9./

Kosteusanturi piti kalibroida ennen käyttöönottoa (kuva 18). Tämä tapahtui siten, että kylpyhuoneessa mitattiin noin puolen minuutin ajan suhteellista kosteutta, jonka jälkeen kosteusanturin osoitinkiekko asetettiin saatuun suhteellisen kosteuden lukemaan. Tämän jälkeen kosteusanturin kalibroidiin seuraavasti: jos kone ei mennyt tehostusasennolle, kun osoitinkiekko näytti mitattua suhteellista kosteutta, kalibrointiruuvia kierrettiin myötäpäivään, kunnes kone napsahti käymään tehostustoiminnolle, josta tiesimme, että raja-arvo ylittyi. Jos taas kone rupesi pyörimään tehostusasennolla jo silloin, kun osoitinkiekkoa pyöritettiin, täytyi kalibrointi ruuvia pyörittää vastapäi-

vään, kunnes kone alkoi pyöriä normaalilla käyttöajan nopeudella. Koneen käyntinopeuden vaihtelun kuuli erittäin selkeästi, koska kosteusanturi ja kone sijaittivat parin metrin etäisyydellä toisistaan jokaisessa huoneistossa ja näin ollen kalibrointi onnistui hyvin myös yksin. Mittarina toimi tässä työssä sama mittari kuin paineromittauksissa. Nyt siihen oli kiinnitettyä kuuma-lanka-anturi, jolla pystyttiin mittaamaan suhteellista kosteutta. /7./



KUVA 18. Kosteusanturin kalibrointi

6.3 Mittauspöytäkirjan laadinta

Mittaus- ja säätötoista tulee laatia mittauspöytäkirja. Sovittiin, että tämän työn ohessa tehdään yritykselle uusi Excel-pohjainen mittauspöytäkirjapohja. Tätä varten tutustuin standardiin, jossa käsitellään mittauspöytäkirjan laadintaa sekä D2:ssa esiintyviin määräyksiin koskien mittauspöytäkirjaa. Standardin SFS 5512 mukaan mittauspöytäkirjasta tulee selvittää seuraavat asiat:

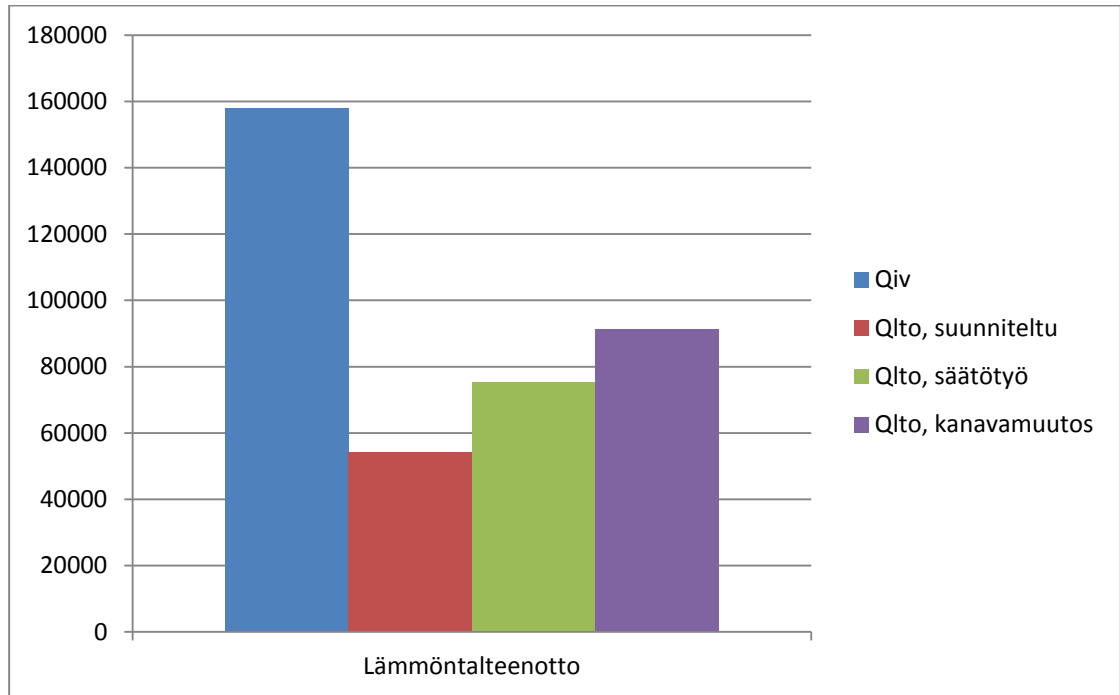
- mittausajankohta
- mittauspaikka (huonetilojen, koneiden tms. paikantamisessa voidaan viitata esimerkiksi suunnitelmiin)

- mittaaja ja mittauksen valvoja
- käytetyt mittausmenetelmät ja – laitteet ja selvitys niiden kalibroinnista
- mitattavan ilmavirran lämpötila ja tarvittaessa kosteus
- selvitys mittaukseen vaikuttavista häiriöistä
- varsinaiset mittaustulokset.

Yrityksellä käytössä olleesta pohjasta ei löydy kohtia ilman lämpötilalle eikä varsinaisesti kohtaa, jossa mainittaisiin mittausmenetelmä, vaikkakin tämä asia selviää jo pöytäkirjaa tutkimalla, koska pöytäkirjaan on aina merkattu venttiilin paine-ero ja asento. Kyseessä on siis tällöin aina mikromanometrillä suoritettu paine-ero mittaus. Keskusteltiin tästä asiasta että onko mittausmenetelmä oleellinen mainita mittauspöytäkirjassa, ja tultiin siihen tulokseen, että jos mittaus tapahtuu muulla tavoin kuin edellä mainittu, se mainitaan aina kyseisen venttiilin tai huoneiston kohdalla muutenkin, joten pöytäkirja pohjaan ei päädytty lisäämään erikseen kohtaa ”mittausmenetelmä”. Lisäksi puuttuu tyhjäkenttä jossa voitaisiin esimerkiksi selvittää mittauksiin vaikuttaneita häiriöitä. Päädyttiin lisäämään pöytäkirjaan kohta ”Muuta”. Kun olin saanut pöytäkirjapohjan valmiiksi ja näytin sitä Ilmasiili Oy:n toimitusjohtaja Kari Kettuselle, pyysi hän lisäämään vielä Excel-taulukkoon sarakkeen, josta nähtäisiin suoraan mitatun ilmavirran poikkeama vaadittuun ilmavirtaan prosentteina. Pöytäkirjapohja on liitteenä 2, ja siihen on malliksi täytetty kohteen huoneisto A1 mitatut ilmavirrat.

7 TULOKSET

Työn tuloksena saatiin rakennuksen lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde nostettua vaatimusten tasolle eli yli 45 %. Vuosihyötysuhdetta 47,7 % ei sinänsä voida pitää hyvänä, mutta kun otetaan huomioon, miltä tasolta lähdettiin eli 34,4 % vuosihyötysuhteesta, on parannus merkittävä. Pylväskaaviossa (taulukko 6) on esitetty parannusehdotusten avulla talteen saatavan lämmön määrä verrattuna alkuperäiseen tilanteeseen ja ilmanvaihdon lämmityksen energiantarpeeseen.

TAULUKKO 6. Pylväskaavio lämmöntalteenotolla saavutettavasta hyödystä

Kaaviota tutkimalla nähtiin, että parannettavaa lämmöntalteenotossa jäi vielä siihen tilanteeseen, mihin olisi haluttu päästä. Joskin taulukosta nähdään myös se, että parannus alkuperäiseen tilanteeseen on jo merkittävä.

Laskin mielenkiinnosta myös, mitä tämä parannus tarkoittaisi rahallisesti kohteen asukkaille. Laskussa käytin sähkön hintana 10,06 snt/kWh (taulukko 6).

TAULUKKO 6. Säästö vuodessa

	Q _{iv} kWh	Q _{LTO} kWh	Q _{sähkölämmitys} kWh	hinta 10,06 snt/kWh €	säästö vuodessa €
Alkuperäinen tilanne	157926	54142	103784	10441	0
Ilmavirtojen uudelleen jako	157926	75313	82613	8311	2130
Kaikki poistoilma lto:n läpi	157926	91174	66752	6715	3725

Huomataan, että As Oy Konduktöörin asukkaat talossa A säästävät melkein 2130 € vuodessa. Tämä säättötyön merkitys on siis rahallisestikin merkittävä. Työn tuloksena myöskään lämmöntalteenoton ohittava poistoilmamäärä ei ole liian suuri koneen jäätyksen kannalta.

8 POHDINTA

Työn tarkoituksena oli tarjota muutamia erilaisia ratkaisumalleja lämmöntalteenotossa ilmenneeseen ongelmaan. Ongelmaa tutkittaessa huomattiin, että ongelma tuli ilmi liian myöhään ja siihen olisi hankala enää puuttua. Ongelmaan löydettiin kumminkin kaksi erilaista parannusvaihtoehtoa. Ensimmäinen parannusehdotus jouduttiin kuitenkin hylkäämään, koska se olisi tarkoittanut, että valmista rakennusta olisi ruvettu purkamaan, jotta kanavointi olisi voitu muuttaa. Toisessa parannusehdotuksessa käsiteltiin ilmavirtojen uudelleen määrittelyä ja jakamista poistoilmaventtiileiden kesken. Tämän jälkimmäisen parannusehdotuksen tuloksena päästiin määräysten osalta hyväksyttävälle tasolle, vaikka muuten tulosta ei voida minun mielestä pitää mitenkään mairittelevan hyvänä uudelle rakennukselle. Nyt saavutettu parannus oli siis riittävä tässä tapauksessa.

Työssä pääsin tutustumaan ilmanvaihdontyöpiirroksiin sekä muihin urakoitsijan paljon käyttämiin dokumentteihin, kuten LVI-työselitykseen ja laitevalmistajien omiin teknisiin dokumentteihin. Näihin tutustuminen oli tärkeää, jotta pystyi hahmottamaan kohteessa olleen ongelman ja ymmärtämään samalla, mistä ongelma tilanne johtui.

Työn mielenkiintoisuutta lisäsi se, että siihen oli lisätty itse kohteessa suoritettavia töitä. Ilmavirtojen mittaus- ja säätötyöt olivat minulle entuudestaan jonkin verran tuttuja, mutta tämän työn aikana tuli huomattua, että joka kohteessa nämä työt ovat erilaisia. Tämä johtuu lähinnä siitä, että joka rakennuskohteessa on hieman toisistaan poikkeavia ilmastointijärjestelmiä ja niihin on aina perehdyttävä huolella, ennen kuin aloittaa itse mittaus- ja säätötyöt. Työn aikana perehdyin myös ilmamäärien mittaukseen koskeviin standardeihin. Tästä on varmasti hyötyä jatkossa, koska uskon, että tulen tulevassa työssäni tekemään ilmavirtojen mittaus- ja säätötyötä jonkin verran.

Lopuksi jos mietitään, miten lämmöntalteenoton ongelmatilanne olisi voitu välttää, tulee mieleen totta kai suunnittelijan huolellisuus jo suunnitteluvaiheessa, jotta tällaisia piirustuksia ei päätyisi ollenkaan urakoitsijoille. Mutta urakoitsijan olisi tullut perehtyä jo aikaisemmassa vaiheessa IV-työpiirroksiin niin hyvin, että hän olisi huomoinut tämän kaltaisen ongelman. Jos ongelma olisi huomattu ajoissa eli silloin, kun kohteen huoneistoja on kanavoitu, olisi huoneiston yleispoistosta voinut lisätä kohtuullisen helposti keittiöön poistoilmaventtiilin. Kohteen kanavointivaiheessa keittiön

poistoilmaventtiilin lisääminen osaksi yleispoistoa olisi tarkoittanut vain kohtalaisen pieniä lisätoita. Jatkossa työnjohto tulee kiinnittämään enemmän huomiota ilmanvaihdon työpiirustuksiin jo aikaisemmassa rakentamisen vaiheessa.

LÄHTEET

- 1 Swegon Oy. Tuotteet. www.swegon.fi. Luettu 1.1.2012.
- 2 Rudus. Tuotteet. www.rudus.fi/tuotteet/elpohormi. Luettu 14.2.2012
- 3 Harju Pentti. Ilmastointitekniikan oppikirja osa 1. Anjalankoski: Solverpalvelut Oy. 2008.
- 4 TSI AirFlow TA460-P pdf-esite.
- 5 Lindab Oy Ab. Esitteet ja dokumentit. www.lindab.fi. Luettu 15.2.2012
- 6 Harju Pentti. Ilmastointitekniikan oppikirja osa 2. Anjalankoski: Solverpalvelut Oy. 2008.
- 7 Regin. Products. <http://www.reginproducts.se>. Luettu: 2.1.2012
- 8 FläktWoods Oy.Tuotteet. www.flaktwoods.fi. Luettu 20.2.2012
- 9 LVI 014-10187. Standardi (SFS 5511). Suomen Standardisoimisliitto SFS. 03/1989.
- 10 LVI 014-10190. Standardi (SFS 5512). Suomen Standardisoimisliitto SFS. 03/1989.
- 11 Tasauslaskentaopas 2010. Ympäristöministeriö. 6.5.2010.
- 12 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Suomen rakentamismääräys-kokoelma. Osa D5. Luonnos. 27. lokakuuta 2011.
- 13 Rakennusten energiatehokkuus. Suomen rakentamismääräys-kokoelma. Osa D3. Määräykset ja ohjeet 2012.

LIITE 1.

Ulkolämpötila		Pysyvyys				LTO ei säädeta								LTO säädetaan							
t _u	%	h	t _{u,ka} °C	t _s °C	t _{s,min} °C	t _{Ro,max} °C	η _t %	η _p %	t _{u,to} °C	t _{s,to} °C	Q _v kWh	Q _{LTO} kWh	η _t %	η _p %	t _{u,to} °C	t _{s,to} °C	Q _v kWh	Q _{LTO} kWh			
-34	0,057	5	-34	21	0	17	43,1	80,0	-10,3	-23,0	10	4	15,7	29,1	-25,4	5,0	10	10	1		
-33	0,080	2	-33,5	21	0	17	43,1	80,0	-10,0	-22,6	4	1	15,8	29,4	-24,9	5,0	4	4	1		
-32	0,091	1	-32,5	21	0	17	43,1	80,0	-9,5	-21,8	2	1	16,1	29,9	-23,9	5,0	2	2	0		
-31	0,171	7	-31,5	21	0	17	43,1	80,0	-8,9	-21,0	13	5	16,4	30,5	-22,9	5,0	13	2	2		
-30	0,263	8	-30,5	21	0	17	43,1	80,0	-8,3	-20,2	14	6	16,7	31,1	-21,9	5,0	14	2	2		
-29	0,377	10	-29,5	21	0	17	43,1	80,0	-7,7	-19,4	18	7	17,1	31,7	-20,9	5,0	18	3	3		
-28	0,548	15	-28,5	21	0	17	43,1	80,0	-7,2	-18,6	26	10	17,4	32,3	-19,9	5,0	26	4	4		
-27	0,753	18	-27,5	21	0	17	43,1	80,0	-6,6	-17,8	30	12	17,8	33,0	-18,9	5,0	30	5	5		
-26	0,902	13	-26,5	21	0	17	43,1	80,0	-6,0	-17,0	22	8	18,1	33,7	-17,9	5,0	22	4	4		
-25	1,210	27	-25,5	21	0	17	43,1	80,0	-5,5	-16,2	44	17	18,5	34,4	-16,9	5,0	44	7	7		
-24	1,553	30	-24,5	21	0	17	43,1	80,0	-4,9	-15,4	48	18	18,9	35,2	-15,9	5,0	48	8	8		
-23	1,975	37	-23,5	21	0	17	43,1	80,0	-4,3	-14,6	57	22	19,4	36,0	-14,9	5,0	57	10	10		
-22	2,432	40	-22,5	21	0	17	43,1	80,0	-3,8	-13,8	61	23	19,8	36,8	-13,9	5,0	61	11	11		
-21	2,911	42	-21,5	21	0	17	43,1	80,0	-3,2	-13,0	62	24	20,3	37,6	-12,9	5,0	62	11	11		
-20	3,368	40	-20,5	21	0	17	43,1	80,0	-2,6	-12,2	58	22	20,8	38,6	-11,9	5,0	58	11	11		
-19	3,984	54	-19,5	21	0	17	43,1	80,0	-2,1	-11,4	76	29	21,3	39,5	-10,9	5,0	76	15	15		
-18	4,749	67	-18,5	21	0	17	43,1	80,0	-1,5	-10,6	92	36	21,8	40,5	-9,9	5,0	92	18	18		
-17	5,731	86	-17,5	21	0	17	43,1	80,0	-0,9	-9,8	115	45	22,4	41,6	-8,9	5,0	115	23	23		
-16	6,963	108	-16,5	21	0	17	43,1	80,0	-0,3	-9,0	141	54	23,0	42,7	-7,9	5,0	141	29	29		
-15	7,740	68	-15,5	21	0	17	43,1	80,0	0,2	-8,2	86	33	23,6	43,8	-6,9	5,0	86	18	18		
-14	8,402	58	-14,5	21	0	17	43,1	80,0	0,8	-7,4	72	28	24,3	45,1	-5,9	5,0	72	16	16		
-13	9,064	58	-13,5	21	0	17	43,1	80,0	1,4	-6,6	70	27	25,0	46,4	-4,9	5,0	70	16	16		
-12	9,680	54	-12,5	21	0	17	43,1	80,0	1,9	-5,8	63	24	25,7	47,8	-3,9	5,0	63	15	15		
-11	10,450	67	-11,5	21	0	17	43,1	80,0	2,5	-5,0	76	29	26,5	49,2	-2,9	5,0	76	18	18		
-10	11,950	131	-10,5	21	0	17	43,1	80,0	3,1	-4,2	144	56	27,4	50,8	-1,9	5,0	144	35	35		
-9	13,320	120	-9,5	21	0	17	43,1	80,0	3,6	-3,4	127	49	28,2	52,5	-0,9	5,0	127	32	32		
-8	14,510	104	-8,5	21	0	17	43,1	80,0	4,2	-2,6	107	41	29,2	54,2	0,1	5,0	107	28	28		
-7	15,960	127	-7,5	21	0	17	43,1	80,0	4,8	-1,8	126	49	30,2	56,1	1,1	5,0	126	34	34		
-6	17,710	153	-6,5	21	0	17	43,1	80,0	5,3	-1,0	147	57	31,3	58,2	2,1	5,0	147	41	41		
-5	19,900	192	-5,5	21	0	17	43,1	80,0	5,9	-0,2	177	68	32,5	60,4	3,1	5,0	177	52	52		
-4	22,910	264	-4,5	21	0	17	43,1	80,0	6,5	0,6	234	90	33,8	62,7	4,1	5,0	234	71	71		
-3	26,290	296	-3,5	21	0	17	43,1	80,0	7,1	1,4	252	97	35,2	65,3	5,1	5,0	252	80	80		
-2	29,100	246	-2,5	21	0	17	43,1	80,0	7,6	2,2	201	78	36,7	68,1	6,1	5,0	201	66	66		
-1	32,930	336	-1,5	21	0	17	43,1	80,0	8,2	3,0	263	101	38,3	71,1	7,1	5,0	263	90	90		
0	38,180	460	-0,5	21	0	17	43,1	80,0	8,8	3,8	344	133	40,1	74,4	8,1	5,0	344	124	124		
1	45,470	639	0,5	21	0	17	43,1	80,0	9,3	4,6	456	176	42,0	78,0	9,1	5,0	456	172	172		
2	50,210	415	1,5	21	0	17	43,1	80,0	9,9	5,4	282	109	43,1	80,0	9,9	5,4	282	109	109		
3	54,030	335	2,5	21	0	17	43,1	80,0	10,5	6,2	215	83	43,1	80,0	10,5	6,2	215	83	83		
4	56,950	256	3,5	21	0	17	43,1	80,0	11,0	7,0	156	60	43,1	80,0	11,0	7,0	156	60	60		
5	59,390	214	4,5	21	0	17	43,1	80,0	11,6	7,8	123	47	43,1	80,0	11,6	7,8	123	47	47		
6	62,070	235	5,5	21	0	17	43,1	80,0	12,2	8,6	127	49	43,1	80,0	12,2	8,6	127	49	49		
7	63,950	165	6,5	21	0	17	43,1	80,0	12,7	9,4	83	32	43,1	80,0	12,7	9,4	83	32	32		
8	65,960	176	7,5	21	0	17	43,1	80,0	13,3	10,2	83	32	43,1	80,0	13,3	10,2	83	32	32		
9	68,370	211	8,5	21	0	17	43,1	80,0	13,9	11,0	92	35	43,1	80,0	13,9	11,0	92	35	35		
10	70,880	220	9,5	21	0	17	43,1	80,0	14,5	11,8	88	34	43,1	80,0	14,5	11,8	88	34	34		
11	73,740	251	10,5	21	0	17	43,1	80,0	15,0	12,6	92	35	43,1	80,0	15,0	12,6	92	35	35		
12	76,390	232	11,5	21	0	17	43,1	80,0	15,6	13,4	77	30	43,1	80,0	15,6	13,4	77	30	30		
13	79,260	251	12,5	21	0	17	43,1	80,0	16,2	14,2	74	29	43,1	80,0	16,2	14,2	74	29	29		
14	82,740	305	13,5	21	0	17	43,1	80,0	16,7	15,0	80	31	43,1	80,0	16,7	15,0	80	31	31		
15	85,790	267	14,5	21	0	17	43,1	80,0	17,3	15,8	60	23	38,5	80,0	17,0	15,8	60	21	21		
16	88,690	254	15,5	21	0	17	43,1	80,0	17,9	16,6	49	19	27,3	80,0	17,0	16,6	49	12	12		
17	91,070	208	16,5	21	0	17	43,1	80,0	18,4	17,4	33	13	11,1	80,0	17,0	17,4	33	3	3		
18	93,240	190	17,5	21	0	17	43,1	80,0	19,0	18,2	23	9	0,0	80,0	17,0	18,2	23	0	0		
19	94,900	145	18,5	21	0	17	43,1	80,0	19,6	19,0	13	5	0,0	80,0	17,0	19,0	13	0	0		
20	96,350	127	19,5	21	0	17	43,1	80,0	20,1	19,8	7	3	0,0	80,0	17,0	19,8	7	0	0		
21	97,520	102	20,5	21	0	17	43,1	80,0	20,7	20,6	2	1	0,0	80,0	17,0	20,6	2	0	0		
22	98,390	76	21,5	21	0	17	43,1	80,0	21,3	21,4	-1	-1	0,0	80,0	17,0	21,0	0	0	0		
23	99,000	53	22,5	21	0	17	43,1	80,0	21,9	22,2	-3	-1	0,0	80,0	17,0	21,0	0	0	0		
24	99,350	31	23,5	21	0	17	43,1	80,0	22,4	23,0	-3	-1	0,0	80,0	17,0	21,0	0	0	0		
25	99,690	30	24,5	21	0	17	43,1	80,0	23,0	23,8	-4	-1	0,0	80,0	17,0	21,0	0	0	0		
26	99,860	15	25,5	21	0	17	43,1	80,0	23,6	24,6	-2	-1	0,0	80,0	17,0	21,0	0	0	0		
27	99,950	8	26,5	21	0	17	43,1	80,0	24,1	25,4	-2	-1	0,0	80,0	17,0	21,0	0	0	0		
28	100,000	4	27,5	21	0	17	43,1	80,0	24,7	26,2	-1	0	0,0	80,0	17,0	21,0	0	0	0		
		8760,0								yht	5577	2154	24,2	60,4		yht	5592	1713			
										η _{a,ivk}	0,39					η _{a,ivk}	0,31				

