

Janne Sulamäki

OUTOTEC RESEARCH OY:N TOIMISTON
SUUTINKONVEKTORIEN KÄYTÖN TEHOSTAMISSELVITYS

Energiatekniikan koulutusohjelma
Talotekniikan suuntautumisvaihtoehto
2012

OUTOTEC RESEARCH OY:N TOIMISTON SUUTINKONVEKTORIEN KÄYTÖN TEHOSTAMISSELVITYS

Sulamäki, Janne
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Energiatekniikan koulutusohjelma
Tammikuu 2012
Ohjaaja: Heinola, Reino
Sivumäärä: 31
Liitteitä: 2

Asiasanat: lämmitys, ilmastointi, suutinkonvektori, konvektio

Tässä työssä tutkitaan Outotec Research Oy:n Porissa sijaitsevan 1970- luvulla rakennetun toimistorakennuksen ilmalämmitysjärjestelmän toimivuutta. Tavoitteena oli selvittää rakennuksen lämmityksessä käytettävien suutinkonvektorien toimivuutta sekä miettiä mahdollisia muita parannusehdotuksia. Rakennuksen tekniikkaa on päivitetty nykyaikaiseksi viime vuosina. Suurimpana ongelmana työntekijöiden mielestä oli toimistohuoneiden työskentely lämpötilat. Huoneissa oli, vuodenajasta riippuen, joko liian kylmä tai kuuma. Syytä tähän selvitetään tässä työssä.

Työssä tutustutaan rakennuksen ilmastointi- ja lämmitysjärjestelmään ja niiden rakenteeseen. Teknisiä mittauksia suoritetaan toimistohuoneissa. Mittauksissa huoneiden lämpötilan kehitystä seurataan viikkojen ajan sekä suoritetaan mittauksia suutinkonvektoreilla. Pyritään selvittämään miten lämpötila huoneissa käyttäytyy päivän aikana ja miten suutinkonvektorin asetukset vaikuttavat siihen.

Tuloksia verrataan mm. nykypäivän rakennusmääräyksiin sekä yritetään löytää oikeita asetuksia suutinkonvektorien säätöihin. Pyritään selvittämään miten lämpötila huoneissa saataisiin pysymään tasaisesti oikeassa lämpötilassa koko päivän ajan. Työssä nostetaan esille myös mahdolliset muut tavat energian säästämiseksi ja kulujen karsimiseksi.

IMPROVING EFFICIENCY OF PERIMETER HEATING SYSTEM IN OUTOTEC RESEARCH OFFICE BUILDING

Sulamäki, Janne

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Energy Technology

January 2012

Supervisor: Heinola, Reino

Number of pages: 31

Appendices: 2

Keywords: heating, air-conditioning, induction unit, convection

This paper examines functionality of an air-heating system in an Outotec Research Oy office building in Pori. The aim was to investigate effectiveness of the building's perimeter heating and to consider any other suggestions for improvement. The building's technique has been updated in recent years. The main problem sensed by the employees was the temperatures in office rooms. The rooms were, depending on the season, either too cold or too hot. The reason for this is investigated in this paper.

In this paper the structure of the building's air-conditioning and heating system is explained. Technical measurements are carried out in office rooms. Development of office rooms temperatures are monitored for weeks and measurements for perimeter heating are made. The goal is to find out how temperature behaves in office rooms during the day and how the settings of perimeter heating affect it.

The results are compared to, for example, today's building regulations as well as trying to find out the correct settings for perimeter heating controls. Efforts are made to find out how the temperature would remain steady in rooms throughout the day. The paper also highlights other possible ways to save energy and reduce costs.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	OUTOTEC RESEARCHIN ENERGIANKULUTUS	6
3	PUHALLIN- JA SUUTINKONVEKTORI-ILMASTOINTI	8
3.1	Konvektio.....	8
3.2	Suutin- ja puhallinkonvektorit	9
4	OUTOTEC RESEARCHIN JÄRJESTELMÄ	11
4.1	Ilmastointi	11
4.2	Suutinkonvektorit.....	13
5	MITTAUKSET	18
5.1	Mittalaitteet.....	18
5.2	Lämpötilajakauma	21
5.3	Ilmavirrat huoneissa.....	26
6	PARANNUSEHDOTUKSET	28
7	YHTEENVETO	30
	LÄHTEET	31
	LIITTEET	

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia Outotec Research Oy:n Porissa sijaitsevan toimistorakennuksen ilmalämmitysjärjestelmän toimivuutta. Outotec Research Oy:n laboratorio- ja toimistorakennus sijaitsee Porissa osoitteessa Kuparitie 10. Rakennus on rakennettu 1970-luvun alussa ja on tiiliverhoiltu. Laboratorioita ja toimistohuoneita on kolmessa kerroksessa.

Osassa toimistohuoneissa on ollut kesällä tukalan kuuma ja talvisin liian kylmä työskennellä. Syy tähän haluttiin selvittää. Työssä haluttiin myös saada selville ilmanjaoissa käytettävien suutinkonvektorien toimintaa. Erityisesti tutkittiin ilmamäärän vaikutusta suutinkonvektorin lämmönluovutustehoon.

Työ aloitettiin alkuvuodesta 2011 suunnittelemalla mittauksia ja tutustumalla kohteeseen. Mittaukset aloitettiin vuoden 2011 alussa mittaamalla toimistohuoneissa tuulilman lämpötilaa sekä huonelämpötilaa. Mittausten aikana ilmamäärää sekä lämpötilan asetusarvoja suutinkonvektoreissa muutettiin. Tulokset tallennettiin dataloggeilla. Loppuvuodesta 2011 mitattiin suutinkonvektorin toimintaa eri ilmamäärillä tarkemmin.

Työssä mietittiin myös olisiko mahdollista parantaa rakennuksen energiatehokkuutta. Rakennuksen tekniikkaa oli viime vuosina päivitetty rutkasti mm. automaatiota lisäämällä. Ilmastointikoneiden asetuksia oli myös säädetty paremmiksi. Puutteitakin oli havaittavissa, sillä rakennuksessa ei esimerkiksi ollut lämmöntalteenottoa.

2 OUTOTEC RESEARCHIN ENERGIANKULUTUS

Outotec Research Oy:n ylimmässä kerroksessa on rakennuksen tekninen tila, jossa ilmastointikoneet sijaitsevat (Kuva1). Tilasta on pääsy rakennuksen katoille, jossa ilmanjäähdytyslaite sijaitsee. Osa rakennuksen huoneista lämmitetään radiaattoripattereilla, mutta suurimmilta osin rakennuksessa on ilmalämmitys. Rakennuksen lämmitys on toteutettu kaukolämmöllä. Rakennuksessa on kolme tuloilmakonetta. Kahdessa koneessa on jäähdytys, mutta yhdestä se puuttuu. Tämä aiheuttaa kesällä rakennuksen sisällä suuria lämpötilaeroja. Kolmanteenkin koneeseen on suunnitteilla jäähdytysjärjestelmä, mutta tätä tutkimusta tehtäessä sitä ei ollut asennettu.



Kuva 1. Ilmastointikoneet TK-2 ja TK-3

Kaukolämpöverkoston vesi johdetaan rakennuksen kaukolämmön alakeskukseen. Siellä kaukolämpövesi luovuttaa lämmönvaihtimessa lämpöenergiaa rakennuksen lämmitysveteen. Lämmin vesi kiertää ilmastointikoneille, joissa se esilämmittää ilman. Ilmanjakoon käytetään suutinkonvektoreita. Konvektorit ovat rakennuksen ulkokehällä ikkunapenkeihin sijoitettuna. Ilmastointikoneella esilämmitetty ilma kulkee läpi konvektorin, jossa kiertävä lämmin vesi lämmittää ilman lopulliseen lämpötilaansa, juuri ennen huoneeseen puhallusta. (Liite 1)

Rakennuksessa ei ole yhtä tai muutamaa isoa poistoilmakonetta. Sen sijaan poistoilma puhalletaan huoneista useiden yksittäisten puhaltimien avulla. Tämä johtaa siihen, että rakennuksessa ei ole yhtä keskitettyä paikkaa, josta ilma poistetaan. Poistoilma-aukot sijaitsevat ympäri rakennusta tasaisesti. Tämä johtaa ongelmiin lämmöntalteenotossa. Lämpöä on hankala ottaa talteen poistoilmasta tuloilmaan. Tuloilmakoneet sijaitsevat keskitetysti rakennuksen pohjoispäädyssä, mutta poistoilmapuhaltimet ovat ympäri rakennusta. Välimatkat ovat näin ollen suuria. Outotec onkin jo laskenut lämmöntalteenoton olevan kannattamaton ajatus.



Kuva 2. Poistoilmakanavia vieri vieressä.

3 PUHALLIN- JA SUUTINKONVEKTORI-ILMASTOINTI

3.1 Konvektio

Nesteet ja kaasut eivät yleisesti ottaen ole kovinkaan hyviä lämmön johteita. Ne pysyvät kuitenkin siirtämään lämpöenergiaa varsin nopeasti konvektion avulla. Konvektio on prosessi, jolla lämpöenergiaa siirretään virtaavan aineen mukana paikasta toiseen. Ainemolekyylit liikkuvat pitkiä matkoja. Lämmenneen aineen tiheys pienenee lämpölaajenemisen seurauksena ja neste tai kaasu nousee siksi ylöspäin. Tuttuja esimerkkejä ilmiön soveltamisesta käytäntöön ovat esimerkiksi asuntojen lämmitykseen käytettävät vesikiertolämmitys ja ilmalämmitys. Konvektiosta on kyse silloinkin kun auton moottoria jäähdytetään tai veri virtaa kehon suonistossa./1 s. 407/

Konvektion sanotaan olevan vapaata (luonnollista) kun ainevirtaus tapahtuu tiheuserojien seurauksena. Esimerkkinä tästä on lämmenneen ilman nouseminen lämpöpatterin yläpuolelle. Suurten mittakaavojen luonnollista konvektiota edustavat kylmät ja lämpimät merivirrat, kuten Golf-virta. Ilman Golf-virtaa Suomi olisi Siperian kaltaista tundra-aluetta./1 s. 407/

Vesikattilaa kuumennettaessa syntyy kattilaan konvektiovirtoja kuumentuneen veden noustessa pienentyneen tiheyden seurauksena ylös ja kylmän veden virratessa tilalle. Sama periaate pätee vanhojen rakennusten painovoimaisesti toimivissa vesi- tai ilmakehertoisissa keskuslämmityksissä. Nykyään vettä kierrätetään pumpuilla, jolloin riittää pienemmät ja edullisemmat putkistot. Tällöin kyse on kuitenkin pakotetusta konvektiosta. Pakotettu konvektio tarkoittaa yleisesti koneella aikaansaatua virtausta. Vesikiertoinen patteri lämmittää huonetilan vapaan konvektion seurauksena. /1 s. 407/

3.2 Suutin- ja puhallinkonvektorit

Suutinkonvektori eroaa puhallinkonvektorista siinä, että puhallinkonvektorissa jokaisen konvektorin ilmavirrasta huolehtii oma puhallin. Suutinkonvektorijärjestelmässä on käytössä vain yksi, keskusyksiköllä oleva puhallin. Seuraavissa kappaleissa suutin- ja puhallinkonvektoreita käsiteltäessä käytetään esimerkkinä puhallinkonvektoria. Esitettävät asiat pätevät kuitenkin myös suutinkonvektorijärjestelmiin.

Puhallinkonvektori on ilmastointilaite, joka huolehtii huonetilan jäähtymisestä ja haluttaessa lämmityksestä. Puhallinkonvektorissa on lamellipatteri kierrätettävän ilman jäähdystä varten. Puhallin tai puhaltimet kierrättävät huoneilmaa patterin kautta. Lamellipattereissa kiertää jäähdytetty tai lämmitetty vesi. Ilmanvaihto toteutetaan erillisenä tai se voidaan myös yhdistää sisäänpuhalluksen tai ulkoilman oton osalta puhallinkonvektoriin. Puhallinkonvektorin tehonsäätö toteutetaan automaattisesti säätämällä vesivirtoja säätöventtiilien avulla ja tarvittaessa muuttamalla puhaltimen tai puhaltimien pyörimisnopeutta käsikytkimellä. Yleisimmin puhallinkonvektoreissa käytetään kolmea pyörimisnopeutta.

Huonelämpötilan säätö voidaan liittää keskitettyyn valvontajärjestelmään tai säätö voi olla paikallinen, sähköisin tai omavoimaisin venttiilein toteutettu. Huoneanturi sijoitetaan usein oven yhteyteen sähköpieleen, työpisteen yhteyteen oleskeluvyöhykkeelle. Sen voi myös sijoittaa puhallinkonvektorin kierrätysilmavirtaan. Myös pyörimisnopeuden ja lämpötilan käsiasettelukytkimet tulisi sijoittaa mahdollisimman helposti käytettävään paikkaan huoneessa. Edellä mainittua asennustapaa on joskus vältelty siksi, että käyttäjä saattaa säätää lämpötilan energiankulutuksen kannalta epäedulliseksi. Säätöalue voidaan rajoittaa niin, että käyttäjä voi vaikuttaa huonelämpötilaan hallituissa rajoissa, esim. ± 2 °C perusasetuksesta. /2 s. 55 - 58/

Suomessa yleisimmät käytössä olevat puhallinkonvektorijärjestelmät on suunniteltu

- ei-kondensoiviksi (ts. sisäilmassa oleva kosteus ei tiivisty pattereihin) ja puhallinkonvektoreita ei ole varustettu kondenssiviemäröinnillä
- keskitettyyn ilmanvaihtoon liitettäväksi (ei ulkoilman ottoa suoraan puhallinkonvektoreille)

- vesipiireihin (lämmitys ja jäähdytys)/2 s. 55/

Puhallinkonvektoreilla voidaan toteuttaa huonekohtaisesti säädettävissä oleva ilmastointi. Järjestelmän keskusyksikössä on suodatus, lämmöntalteenotto, lämmitys ja jäähdytystoiminto. Puhallinkonvektorilla hoidetaan huoneen jäähdytys, usein myös lämmitys ja joissain tapauksissa myös ilmanvaihto. Puhallinkonvektorissa kiertää jäähdytystapauksessa kylmä vesi, joka on tuotettu vedenjäähdytyskoneessa. Lämmitystapauksissa konvektoreihin ohjataan vesikeskuslämmityksen vesi./2 s. 54 - 55/

Puhallinkonvektori asennetaan usein huoneen ulkoseinälle ikkunapenkkiin (jäähdytys, lämmitys) tai kattoon jäähdytystapauksessa. Näin ainakin silloin kun huone sijaitsee rakennuksen ulkovoikyöhykkeellä. Alhaisilla ulkolämpötiloilla tämä asennustapa eliminoi tehokkaasti ikkunan aiheuttaman kylmävedon. Ikkunapenkistä puhallettaessa on hyvä suunnata ilmasuihku ikkunaa kohti viistosäleillä. Näin vältetään kylmän ilman valuminen ikkunasta talvisaikaan ja saadaan aikaan suuri heittopituus kesäaikaan. /3 s. 196/

Huoneen ilmavirta mitoitetaan huoneen käyttäjien ulkoilmavirran tarpeen tai huoneen lämpökuormien mukaan. Lisäksi huoneen tuloilman esikäsitteilyaste (kuivatus) vaikuttaa huoneessa tarvittavaan jäähdytystehoon. Erilliset tulo- ja poistoilmalaitteet sijoitetaan huoneen seinään tai alakattoon. /2 s. 55/

Konvektorit sopivat hyvin huonetiloihin, joiden lämpökuormat ovat suuret ja joissa ei tarvita suuria ulkoilmavirtoja. Tällaisia ovat esimerkiksi toimistohuoneet ja erityyppiset tekniset tilat. Lisäksi järjestelmä soveltuu monenlaisiin tiloihin, kuten liike- ja myymälätiloihin, pankkisaleihin, hotellihuoneisiin jne. Konevektoreita ei voida sijoittaa tiloihin, joiden kosteuskuorma on suuri kondensointivaaran takia. Huoneen käyttäjä voi säätää huoneen lämpötilaa kaikkina vuodenaikoina konvektorin säätöyksikön kautta. Lisäksi konvektorin ilmavirtaa voidaan säätää, jolloin saadaan nopea lämpötilamuutos huoneessa aikaiseksi./2 s. 55/

4 OUTOTEC RESEARCHIN JÄRJESTELMÄ

4.1 Ilmastointi

Tarkastelussa on ilmastointikone TK-2 (kuva3), jonka piiriin kuuluu n. 50 toimistohuonetta. Järjestelmä on alkuperäinen eli se on rakennettu 70- luvulla kuten itse rakennuskin. Järjestelmän keskusyksikkö sijaitsee rakennuksen ylimmässä kerroksessa, vintillä. Ilma otetaan ilmastointikoneelle rakennuksen itäseinustalta. Ulkoilmasäleiköjen (kuva4) jälkeen ilma kulkee pussisuodattimien (kuva5) läpi ilmastointikoneelle. Sulkupellin jälkeen koneessa on lämmitys ja sen perässä jäähdytys.



Kuva 3. Ilmastointikone TK-2



Kuva 4. Ulkoilmasäleikkö



Kuva 5. Pussisuodattimet

Ilmastointikonetta ajetaan päivä- ja yösäädöllä. Päivä- säädön alue on noin kello kuudesta aamulla viiteen illalla. Yösäätö vastaavasti lopun aikaa. Yösäädössä tuloilmavirtaa lasketaan huomattavasti.

Ilmastointia päivitetessä ja tutkittaessa on huomattu isoja puutteita nykypäivän rakennusmääräyksiin ja energian kulutuksen tasoon verrattuna. Lämpötila huoneissa

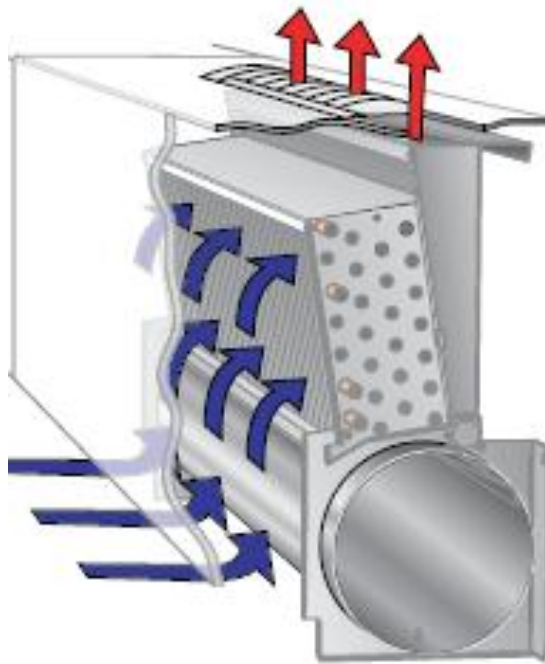
saattaa päivän aikana nousta usealla asteella tai olla korkea koko päivän ajan. Ilmastointi on alunperin karkeasti ylimitoitettu. Järjestelmää ei ole myöskään koskaan säädetty optimaaliseksi vaan on tyydytty käyttämään ilmastointia täydellä teholla. Korkeat ilmamäärät ovat aiheuttaneet vetoa ja äänitasojen nousua huoneissa. Myöhemmin ilmamääriä on kuitenkin laskettu noin viidenteen osaan alkuperäisestä. Tämä riittää lämmittämään toimistohuoneet ja laskee äänitason huomaamattomaksi. Ongelmana on kuitenkin lämmön jakautuminen huoneiden välillä. Toisissa huoneissa on kylmä ja toisissa liian lämmin työskennellä. Ongelmat näkyvät selvemmin kanaviston loppupäässä, jonne ilma joutuu kulkemaan pisimmän matkan.

4.2 Suutinkonvektorit

Outotec Research Oy:n toimistotalossa on käytössä suutinkonvektorit (Kuva6). Toisin kuin puhallinkonvektorissa, suutinkonvektorissa ei ole omaa puhallinta. Ilma liikkuu ilmastointikoneen puhaltimen voimalla. Suutinkonvektoreissa on suuttimia, jotka nostavat ilmastointikoneelta tulevan esilämmitetyn ilman nopeutta. Ilman suuri nopeus tempaa mukaansa sekundääri-ilmaa lämmityspatterin läpi (Kuva7). Sekundääri-ilma lämpiää lämmityspatterin läpi mennessään ja sekoittuu ilmastointikoneelta tulevaan ilmaan. Tämä sekoitus puhaltuu takaisin huonetilaan. Suuren nopeuden ansiosta ilmalle saadaan hyvä heittopituus, joka estää ikkunoiden kylmävetoa. Hyvän heittopituuden ansiosta huone lämpiää tasaisesti



Kuva 6. Suutinkonvektori



Kuva 7. Suutinkonvektorin toimintaperiaate/4/



Kuva 8. Suutinkonvektori ikkunapenkissä

Suutinkonvektorit sijaitsevat huoneiden ikkunapenkissä (kuva8). Jokaisessa huoneessa on vähintään kaksi konvektoria, isommissa huoneissa enemmän. Konvektoreita on kuitenkin aina parillinen määrä. Konvektoreille puhalletaan ilmaa ilmastointikoneelta TK-2. Ilma virtaa konvektorin läpi ja imee konvektorin sisällä olevan vesikiertopatterin läpi sekundääri-ilmaa huoneesta. Sekundääri-ilma lämpenee patterin läpi mennessään. Konvektoriin tulevaa ilmaa voidaan säätää ennen konvektoria kanavassa olevalla iiris- pellillä. Pellissä on säätöasetukset 1-7, ykkösen (1) ollessa täysin avoinna ja seitsemän (7) lähes kokonaan kiinni.

Konvektorin vesikiertopatterin lämpimän veden virtausta säädetään termostaatilla, joka on varustettu kapillaarianturilla. Anturi on huoneesta riippuen asennettu joko ovenpieleen tai kahden konvektorin väliin lähemmäksi ikkunoita. Termostaatissa on lämpötilan asetusarvot 1-6. Lämpimän veden virtaus riippuu asetusarvon ja mitatun lämpötilan erosta. Asetusarvolla 6 saadaan aikaan suurin ja asetusarvolla 1 pienin lämpötila. Yksi termostaatti säätää aina kahden konvektorin vesivirtaa. Konvektoreissa kiertävä vesi lämmitetään kaukolämmöllä rakennuksen lämmönjakuhuoneessa.



Kuva 9. Iiris-pelti

Huoneen käyttäjä ei pysty ilmavirtaa tai lämpötilaa helposti säätämään, sillä niin iiris- pelti (kuva9) kuin termostaattikin sijaitsevat ikkunapenkin alla, suojalevyn takana. Tästä huolimatta iiris-pellit ja termostaatit olivat usein erikoisissa asennoissa huoneissa. Jopa saman huoneen sisällä olevilla kahdella konvektorilla saattoi olla toisiinsa nähden täysin erilaiset säädöt. Tämä osoittaa, että lämpötilaa ja ilmavirtoja on vuosien aikana säädetty sattumanvaraisesti. Säättöjä ei ole myöhemmin korjattu minkä johdosta näissä huoneissa oli tukalat työolot. Tämä on johtanut muun muassa tuloilma-aukkojen (kuva10) peittämiseen laatikoiden ja muiden tavaroiden avulla, mikä sotkee huoneen oloja entisestään.



Kuva 10. Tuloilma-aukon säleikkö

5 MITTAUKSET

5.1 Mittalaitteet

Toimistohuoneen lämpötilan ja huoneeseen tulevan tuloilman lämpötilan mittauksissa käytettiin Grant Squirrel 1000- Series (kuva11) dataloggeria sarjanumero K50248001 ja Grant Squirrel 1200- Series (kuva12) dataloggeria sarjanumero 531. Lämpötiloja mitattiin samanaikaisesti kahdessa toimistohuoneessa.



Kuva 11. Grant Squirrel 1000- series



Kuva 12 Grant Squirrel 1200- series

Ilmavirtaa ja kanaviston painetta ennen konvektoria mitattiin TSI-VelociCalc Plus 8386-M-FI mittarilla (kuva13), jonka sarjanumero on 01100393. Mittaus tapahtui iiris-pellin mittayhteistä, joihin mittari kiinnitettiin letkuilla. Mittari ilmoitti paineron iiris-pellin yli Pascaleina, ilman lämpötilan celsiusasteina sekä ilmamäärän litroina sekunnissa.



Kuva 13. TSI-VelociCalc Plus

Konvektorin jälkeisen ilman, eli huoneeseen tulevan ilman nopeus mitattiin tuloilma-aukon suulta Airflow siipipyöranemometrilla (kuva14). Tuloilma pyöritti mittarin siipipyörää ja mittari laski ilman nopeuden pyörimisnopeuden mukaan.



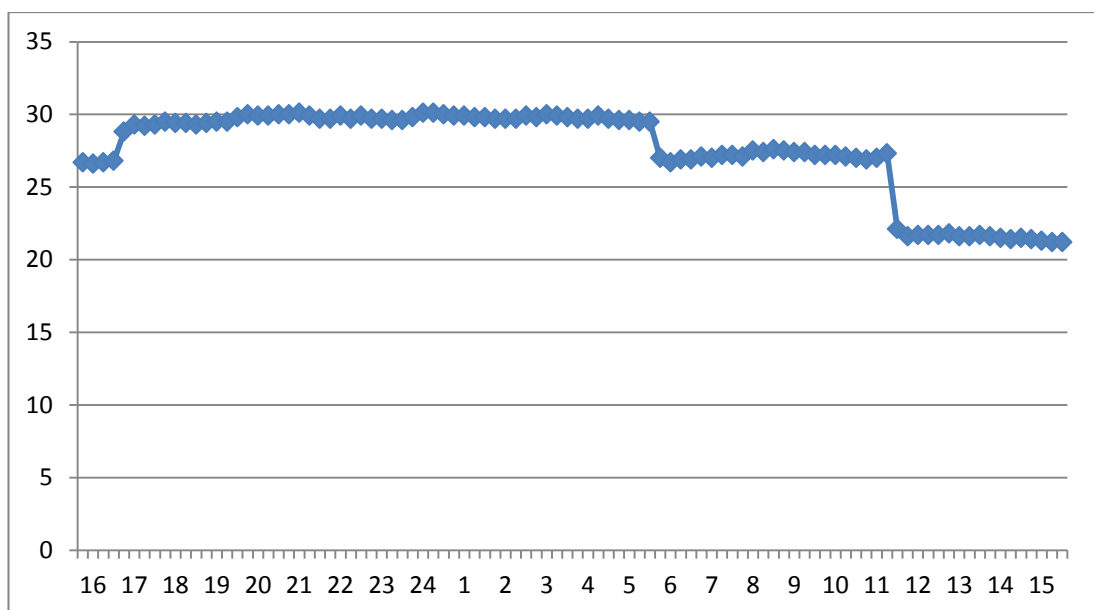
Kuva 14. Airflow siipipyöranemometri

5.2 Lämpötilajakauma

Kahdessa toimistohuoneessa suoritettiin ympäri vuorokauden kestävät lämpötilan mittaukset tammi- ja helmikuussa 2011. Lämpötilaa mitattiin konvektorin jälkeen tuloilmakanavasta sekä huoneen oleskelualueelta. Huoneen tuloilmavirran suuruutta sekä suutinkonvektorin termostaatin asentoa muutettiin mittauksen edetessä. Tiedot tallennettiin dataloggeriin. Toimistohuoneet olivat mittausten aikana tyhjillään eikä niissä työskennelty. Mittauksista haluttiin saada selville miten lämpötila huoneissa muuttuu vuorokauden aikana sekä optimoida konvektorille menevän lämpimän veden määrä.

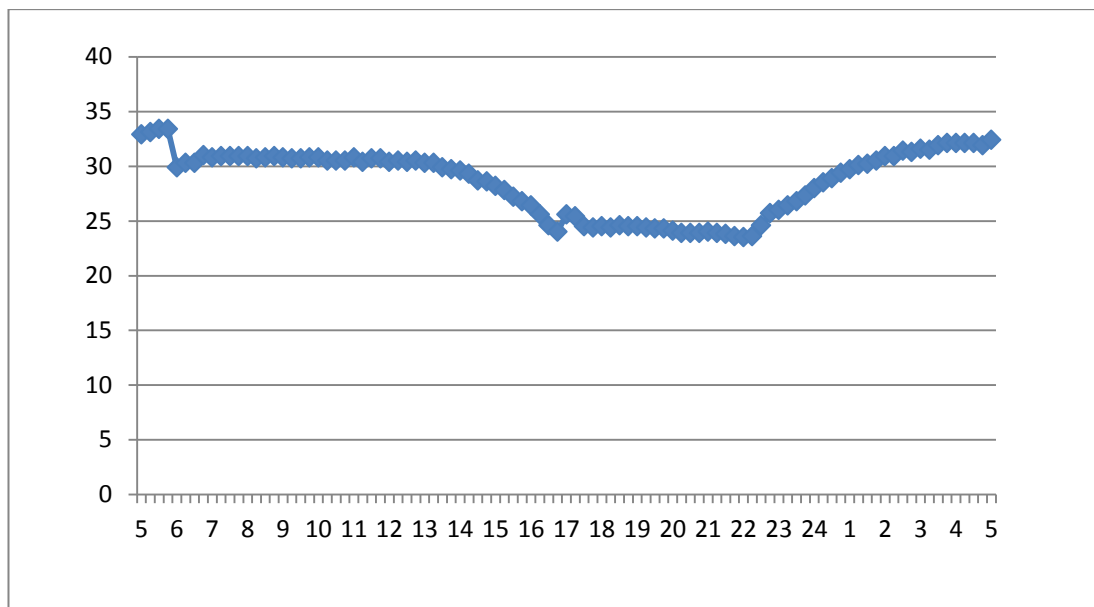
Tuloksista huomattiin tuloilman lämpötilan nousevan kun ilmastointi kytketään yö-asentoon. Tällöin huoneeseen tulevan viileän ilman määrä vähenee. Tämä johtaa lämpötilan nousuun, konvektorin jälkeen, tuloilmakanavassa. Konvektorin huoneeseen luovuttama teho kuitenkin pienenee, ilmavirran pienentyessä. Tästä johtuen lämpötila huoneessa laskee. Kun ilmastointikone aamulla kytketään päivä-asentoon lämpötila tuloilmakanavassa vastaavasti laskee, koska viileää ilmaa alkaa virrata huoneeseen taas enemmän. Tällöin konvektorin lämmönluovutusteho jälleen nousee ja huone alkaa lämmetä.

Kuvaaja 1. Tuloilman lämpötila isolla ilmavirralla ja termostaatin asetusarvolla 4.



Parhaiten järjestelmä toimi ilmavirran ollessa tarpeeksi suuri ja termostaatin asetusarvon ollessa myös tarpeeksi iso. Iiris-peltien ollessa täysin auki ja termostaatin asetusarvo kohdassa 4 saatiin tuloilman lämpötilalle selkeä kuvaaja. (kyseessä on kaavio (kuva) eikä taulukko) Kuvaajassa 1 nähdään kuinka lämpötila muuttuu kun ilmastointi kytketään yö- ja päiväsaadolle kello 17:00 ja kello 06:00. Lisäksi noin kello 11:00 termostaatin asetusarvoa muutettiin, mikä näkyy selkeästi myös kuvaajassa.

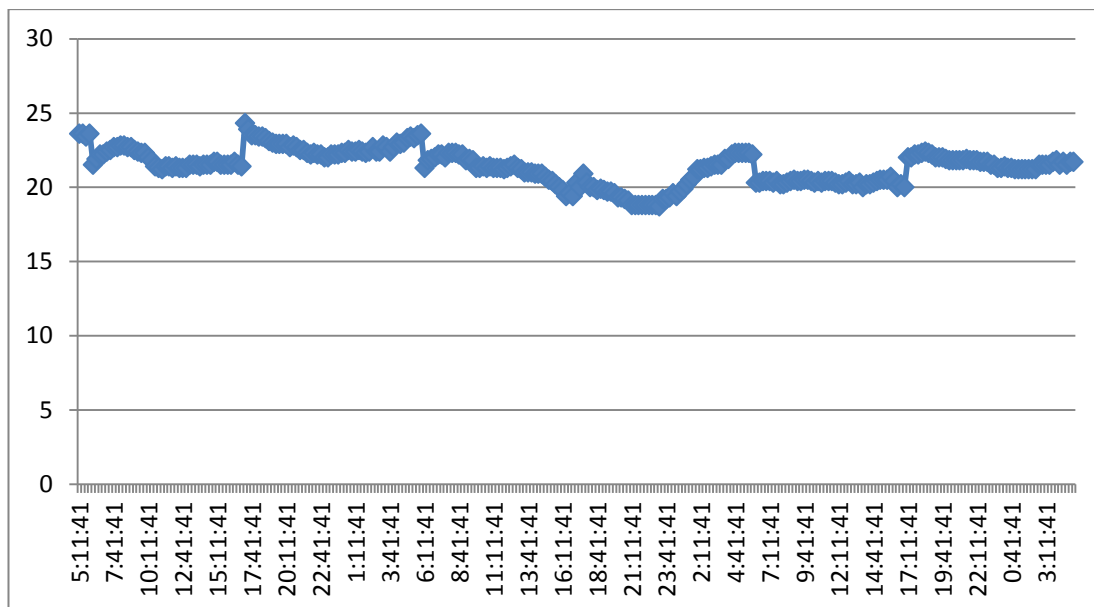
Kuvaaja 2. Tuloilman lämpötila pienellä ilmamäärällä



Ilmavirran ollessa liian pieni tuloilman lämpötila alkaa noin puolenpäivän aikaan laskea. Tämä on kuvattu kuvaajassa 2. Tämä osoittaa, että suutinkonvektori ei pysty imemään sekundääri-ilmaa patterin läpi liian pienellä ilmavirralla. Ilma kulkee luultavasti väärään suuntaan patterin läpi. Suutinkonvektori ei siis toimi oikein, liian pienellä ilmavirralla.

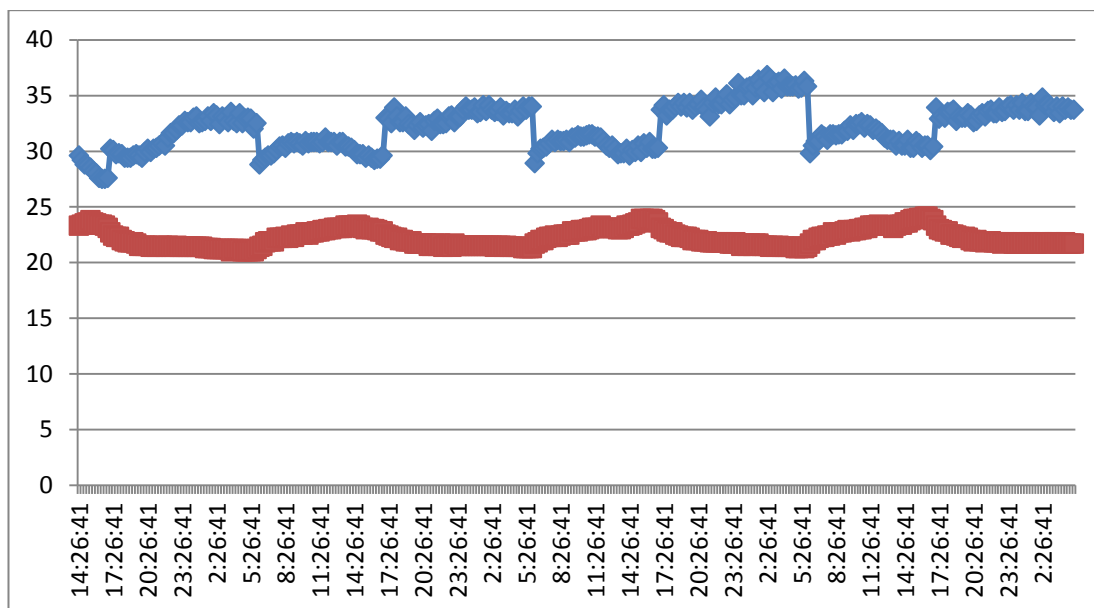
Tuloksissa huomattiin yleisestikin tuloilman lämpötilan huojuvan ilmavirran ollessa liian pieni. Ilmavirran ollessa maksimissa, mutta termostaatin asetusarvon ollessa alhainen tuloilmavirran lämpötila heittelehti sattumanvaraisesti (Kuvaaja 3). Voidaan todeta, että ilmavirran tai termostaatin asetusarvon ollessa liian alhaisia, tuloilman lämpötila heittelehti selkeästi.

Kuvaaja 3. Tuloilman lämpötila pienellä termostaatin asetusarvolla.



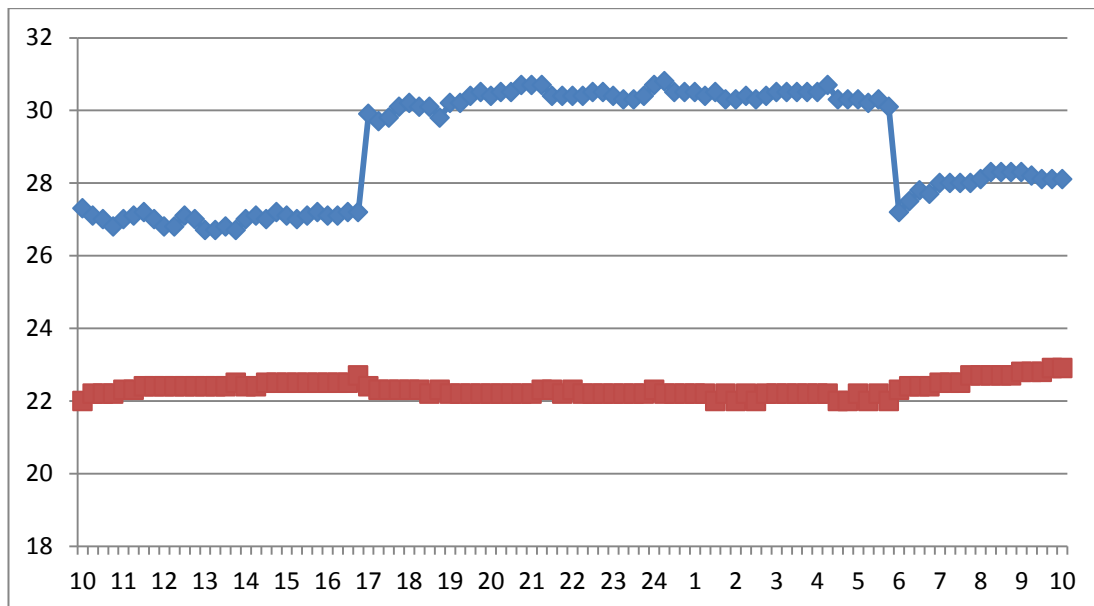
Kuvaajan 3 mukaisissa tapauksissa, joissa järjestelmän asetukset eivät ole optimaalisia huomataan huonelämpötilassa selkeitä piikkejä päiväsaikaan. Tämä on näkyvissä mittaustuloksissa, jotka esitetään kuvaajassa 4. Mittaukset on suoritettu korkealla tuloilman lämpötilalla ja pienellä ilmavirralla neljän päivän ajanjaksolla. Tuloilman lämpötila nousee yöllä jopa 35 asteeseen ja pysyy päivällä 30 asteen tienoilla. Yö- ja päivä-säädön ero näkyy kuvaajassa 4 selvästi tuloilman lämpötilan äkillisenä nousuna/laskuna. Tuloilman lämpötila kuitenkin huojuu myös muulloin, vaikka järjestelmää ei säädetäkään. Huonelämpötila nousee päivisin 3-5 asteen verran. Huonelämpötila nousee huolimatta siitä että huoneissa ei mittausten aikana työskennelty. Jos huoneissa olisi mittausten aikana työskennelty piikit luultavasti olisivat suurempia, työskentelevän henkilön tuottaman lämpöenergian vuoksi.

Kuvaaja 4. Tuloilman lämpötilan (sininen) ja huonelämpötilan (punainen) kuvaajat pienellä ilmavirralla ja isolla termostaatin asetusarvolla.



Olosuhteiden ollessa otolliset, kuten kuvaajassa 1, huonelämpötila ja tuloilman lämpötila pysyvät tasaisena. Tämä ilmenee kuvaajasta 5. Siinä on kuvattu mittaustulokset toimistohuoneesta ilmavirran ollessa iso ja termostaatin asetusarvon 4. Nähdään, että tuloilman lämpötila muuttuu yö- ja päivä-säädön mukaan, mutta pysyy muuten tasaisena. Huonelämpötila pysyy myös tasaisena koko ajan. Voidaan todeta Outotec Research Oy:n suutinkonvektori-järjestelmän tuottavan parhaan tuloksen suurella ilmavirralla ja termostaatin asetusarvolla 4. Tämä tosin vain mittausten aikana vallinneilla ilmastointikoneen TK-2 asetuksilla ja kanaviston säädöillä. Kuvaaja 5 osoittaa, että suurella ilmavirralla

Kuvaaja 5. Tuloilman lämpötilan (sininen) ja huonelämpötilan (punainen) kuvaajat isolla ilmavirralla ja termostaatin asetusarvolla 4.



Huoneen lämpötilan ja ilmavirran säätömahdollisuuksista saatiin myös uutta tietoa. Dataloggerilta saaduista tiedoista huomataan, että iiris-pellillä tapahtuva ilmavirran säätö ei vaikuta merkittävästi huoneeseen tulevan ilman lämpötilaan. Konvektorin termostaatin asetuksen muuttaminen sen sijaan muuttaa tuloilman lämpötilaa merkittävästi. Samalla lämpötila huoneessa alkaa selvästi nousta. Tästä voidaan todeta konvektorin termostaatilla tapahtuvan lämpimän veden virtaaman säädön olevan tehokas keino huoneen lämpötilan säätämiseksi.

Suomen rakennusmääräyskokoelma D2 määrittelee suunnittelulämpötilaksi toimistuhuoneelle 21 °C ja suosittelee, että lämpötila ei nousisi missään vaiheessa yli 25 °C. Mittauksissa tuli kuitenkin vastaan näistä suosituksista poikkeavia arvoja./5. s. 6/

5.3 Ilmavirrat huoneissa

Huoneisiin tulevan ilman määrää nykyasetuksilla tutkittiin kahdessa eri huoneessa. Toinen sijaitsi aivan kanaviston alkupäässä ja toinen aivan sen lopussa. Kummastakin huoneesta mitattiin kaikilla iiris-pellin asennoilla ilmamäärä ja lämpötila ennen ja jälkeen konvektorin sekä kanaviston paine. Ilmamäärä ja paine mitattiin ennen konvektoria iiris-pellin mittayhteistä. Konvektorin jälkeinen ilmamäärä saatiin mittaa-

malla säleiköstä huoneeseen tulevan ilman nopeus siipipyörä- anemometrillä. Nopeus saatiin mittaamalla ilman nopeus useasta kohtaa ja laskemalla saatujen arvojen keskiarvo. Lisäksi mitattiin ja laskettiin tuloilma- aukon otsapinta-ala. Näistä arvoista pystyttiin laskemaan ilmamäärä konvektorin jälkeen. Konvektorin jälkeisessä ilmassa on raitisilman lisäksi myös sekundääri-ilmaa, joka imeytyy konvektorin läpi.

Tuloksista saadaan hyvä kuva konvektorin ja iiris-pellin vaikutuksesta ilmamäärään huoneessa. Iiris-pellin ollessa avoinna (asetukset 1-3) raitisilman määrä pysyi lähes muuttumattomana. Peltiä säädettäessä lisää (asetukset 4 -7) alkoi ilmamäärä pudota selkeämmin. Sama kaava oli havaittavissa myös konvektorin jälkeisessä ilmamäärässä. Asetuksilla 1-3 ilmamäärä pysyi lähes vakiona, mutta asetuksilla 4 -7 ilmamäärä muuttui nopeammin. Tärkeimpänä huomiona voidaankin pitää sekundääri-ilman määrää. Tuloksista laskettiin sekundääri-ilman suhde raitisilman määrään. Huomattiin että iiris-pellin ollessa melkein kiinni sekundääri-ilman määrä romahti ja tuloilmasäleikön läpi tuli jopa vähemmän ilmaa kuin konvektorille puhallettiin. Tämä tarkoittaa, että konvektori alkaa puhaltamaan tuloilmaa lämmityspatterin läpi sen sijaan että imisi sekundääri-ilmaa sen läpi. Tämän osoittaa myös kuvaaja 2. Mittauspöytäkirja on liitteessä 2.

Suomen rakennusmääräyskokoelma D2 määrittelee toimistohuoneisiin tulevan tuloilmamäärän arvoksi $1,5 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$. Outotecin toimistohuoneet ovat n. 18 neliömetrin suuruisia. Ilmastointikone TK-2 huoltaa n. 50 huonetta. Tästä voidaan laskea suositeltava tuloilmamäärä ilmastointikoneelle./4 s. 26/

$$\frac{1,5 \text{ dm}^3/\text{s}}{\text{m}^2} * 18 \text{ m}^2 * 50 = 1350 \text{ dm}^3 = 1,35 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ilmastointikoneen tulisi puhaltaa ilmaa huoneisiin yhteensä n. 1,4 kuutiometriä sekunnissa. Suutinkonvektorit tarvitsevat kuitenkin toimiakseen isomman ilmavirran. Toimiakseen parhaiten ilmastointikone TK-2:sen tulisi puhaltaa 40 l/s ilmaa suutinkonvektoria kohden. Tämä huomataan mittauspöytäkirjan tuloksista. Se tarkoittaa n. $4 \text{ m}^3/\text{s}$

6 PARANNUSEHDOTUKSET

Outotecin toimistojen ilmastointijärjestelmässä on parantamisen varaa. Rakennuksen rakenteiden huono energiatehokkuus vaikuttaa suoraan lämmityksen tarpeeseen. Rakenteiden energiatehokkuutta on kuitenkin hankalaa ja kallista parantaa. Esimerkiksi ikkunoiden uusimisella lämpöä karkaisi ulos vähemmän, mikä keventäisi myös lämmityksen tarvetta. Tämä tuli kuitenkin ehkäpä turhan kalliiksi. Suositeltavaa onkin pohtia ilmastointijärjestelmän kanaviston, suutinkonvektorien ja kanaviston säätöön liittyviä parannusmahdollisuuksia.

Suurimpia puutteita on lämmöntalteenotossa. Lämmöntalteenotto on kuitenkin Outotecin tapauksessa vaikea toteuttaa. Poistoilmapuhaltimia on monia ympäri rakennusta. Etäisyydet tuloilmakoneeseen ovat monia kymmeniä metrejä. Tämän lisäksi rakennuksen ylimmän kerroksen teknisessä tilassa on ahdasta, joten lisäkanavien tai putkistojen asennukselle ei ole tilaa (kuva 2). Lämmöntalteenottoa on yritys jo tutkinutkin ja huomannut sen kannattamattomaksi investoinniksi. Takaisinmaksuajan todettiin olevan liian suuri.

Vaihtoehtoisena lämmöntalteenotto menetelmänä voisi harkita kiertoilman käyttöä yöaikaan. Yöllä poistoilmapuhaltimet sammutettaisiin ja ilma ohjattaisiin muuta kautta takaisin tuloilmakoneelle, joka kierrättäisi ilmaa rakennuksessa. Tällöin voisi ilmastointikoneen lämmityksen kytkeä pois päältä. Ilman voisi ohjata ilmastointikoneelle mahdollisesti rakennuksen pohjoispäädyn porraskäytävästä, joka on ilmastointikoneen lähellä. Ilmaa ohjattaisiin yö- ja päivä-säädön välillä sulkupellein. Porraskäytävä on tosin aivan rakennuksen toisessa päädyssä. Kysymys on pystyisikö sitä kautta kierrättämään koko rakennuksen ilmaa. Tätä olisi hyvä tutkia tarkemmin.

Järjestelmän säädöissä on myös puutteita. Nämä on kuitenkin mahdollista korjata. Suutinkonvektorien termostaatit ja ilmamäärää säätelevät iiris-pellit tulisi perussäätää. Luultavasti rakennusta rakennettaessa ei iiris-pelleille tai termostaateille ole tehty perussäätöä. Ottaen huomioon rakennuksen iän, tämä on hyvinkin todennäköistä. Termostaatit, jotka säätelevät konvektorille menevän lämpimän veden määrää, olivat vaihtelevissa asennoissa. Useimmissa huoneissa termostaatit olivat toimivissa sää-

döissä, mutta esimerkiksi muutamassa huoneessa termostaatti oli täysillä. Näissä huoneissa lämpötila oli todella korkea ja työskentely epämukavaa. Termostaatit ja iiris-pellit tulisikin perussäätää. Perussäädöllä saataisiin ilma ja lämpötila jakautumaan huoneisiin tasaisesti. Samalla ilmamäärä olisi optimaalinen eikä liian suuri tai pieni. Termostaatitkin voitaisiin säätää jokaisessa huoneessa samaan asetusarvoon.

Mittauksissa tuli ilmi, että suutinkonvektori ei pysty imemään sekundääri-ilmaa lämmityspatterin läpi liian pienellä ilmavirralla. Liitteen 2 mittauspöytäkirjan tuloksista nähdään, että sekundääri-ilman määrä romahtaa iiris-pellin ollessa asennossa 7. Tämä, kuten myös kuvaaja 2 osoittavat, että suutinkonvektori tarvitsee toimiakseen suuren ilmavirran. Koska suutinkonvektorit tarvitsevat toimiakseen suuremman ilmavirran kuin ilmanvaihdon tarve, kannattaa osa ilmaa ottaa päiväaikaan kiertoilmana. Yöllä kaikki lämmitysilmä voi olla kiertoilmaa.

Mittauksissa huomattiin huonelämpötilan olevan 20 °C:n tasolla kun termostaatti oli asetettu kohtaan 2-3. Säädettyessä kaikki termostaatit tälle alueelle voidaan olettaa lämpötilan olevan hyvä kaikissa huoneissa. Huoneet, joissa olot ovat säädöstä huolimatta huonot voidaan säätää uudelleen, kunnes lämpötila huoneessa pysyy sopivana. Säätö kannattaa alkaa iiris -peltien auki asennolla sekä termostaatti asetusarvolla 4.

Tutkittavana oli myös se, miksi osa toimistohuoneista on kesäisin liian kuuma ja talvisin liian kylmä. Saatujen tietojen mukaan nämä huoneet sijaitsevat ilmastointikanaviston loppupäässä. Syynä onkin luultavasti liian pieni ilman nopeus kanavassa. Eristetyistä kanavista huolimatta ilman lämpötila ehtii talvisin pudota ja kesäisin nousta, matkalla ilmastointikoneelta huoneeseen, muutaman asteen verran. Tämä vaikuttaa merkittävästi huoneviihtyvyyteen sillä ihminen on herkkä lämpötilan vaihteille. Ilmastointikonetta voisikin ajaa suuremmalla teholla (paineella), jotta ilman nopeus kasvaisi ja lämpötila ei ehtisi laskea liikaa.

7 YHTEENVETO

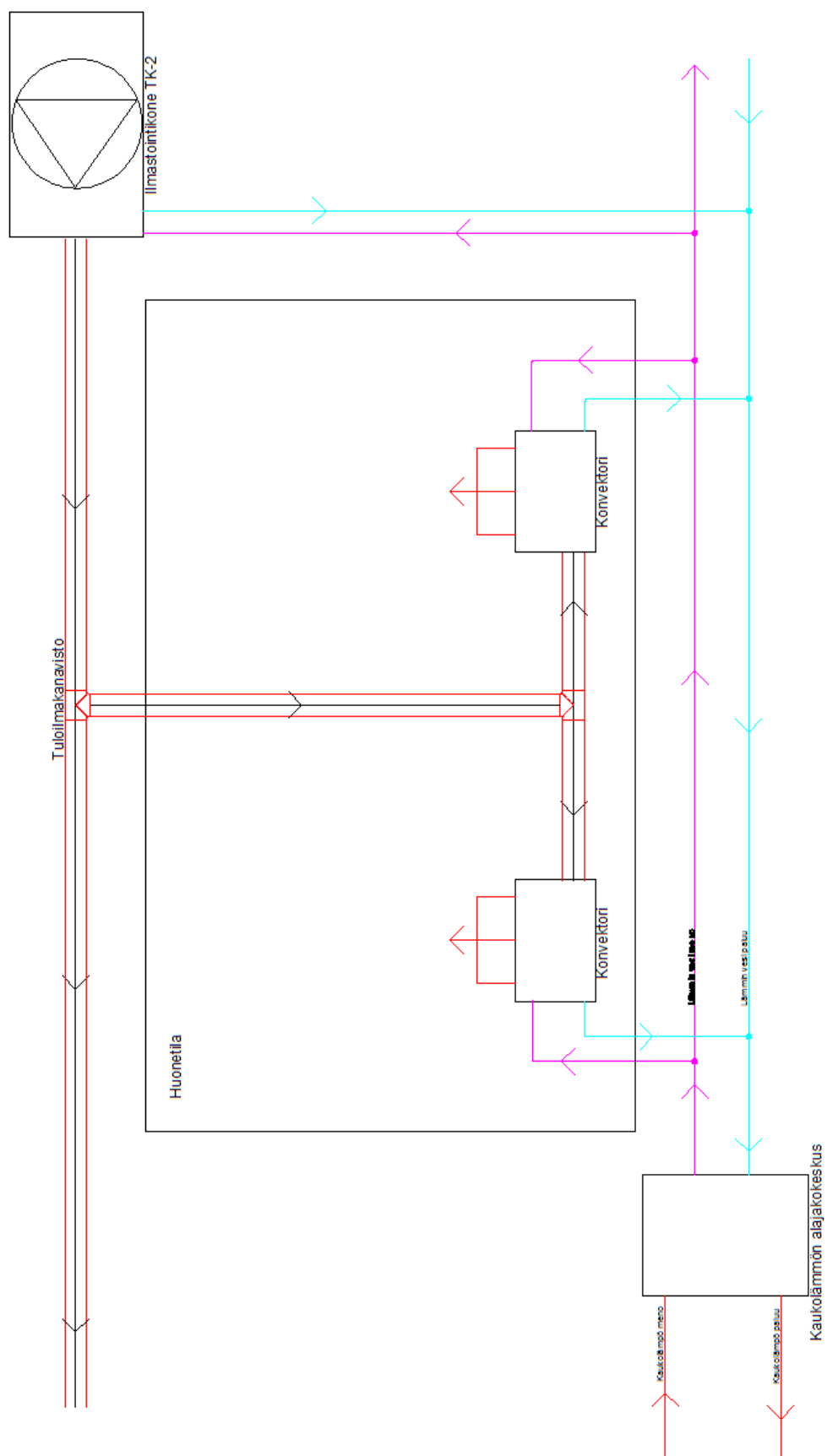
Rakennuksen energiatehokkuuden ja ilmalämmitysjärjestelmän parantamiseksi on tehty jo paljon. Ilmastointikoneiden asetuksia on parannettu ja automatiikkaa on lisätty järjestelmään. Tämä on vähentänyt energiankulutusta selkeästi. Suurin yksittäinen lämmityskustannus aiheutuu yleensä ilmanvaihdosta – erityisesti kun siinä ei ole lämmön talteenottoa. Sen toteuttaminen onnistuneesti toisi yhtiölle runsaasti säästöjä. Mahdollista kiertoilman hyödyntämistä yöaikaan kannattaa tutkia.

Lämpötilamittauksissa todettiin suutinkonvektorijärjestelmän olevan nopea tapa huoneen lämpötilan muuttamiseksi. Järjestelmä reagoi välittömästi lämpötila-asetusten muuttumiseen. Suutinkonvektorin toimimiseksi tyydyttävästi on ilmavirran oltava riittävän suuri - suurempi kuin on ilmanvaihdon kannalta tarpeellista. Suurella ilmavirralla ja termostaatin asetusarvolla 4 saavutettiin mittausolosuhteissa tasaisin huonelämpötila.

Todettiin, että järjestelmä kannattaa perussäätää. Iris-pellit ja termostaatit olivat satumanvaraisissa asennoissa. Oli myös havaittavissa, että termostaattien asetuksia oli säädetty käsin, mikä oli syynä monen huoneen liian korkeaan tai matalaan lämpötilaan. Järjestelmän säätäminen olisi iso urakka, mutta toteutettavissa ja parantaisi rakennuksen sisäilmastoa. Se on suurin yksittäinen asia, jonka järjestelmän tehostamiseksi voi tehdä. Mittauksissa selvisi myös mitkä olisivat hyvät asetukset suutinkonvektoreille tällä hetkellä. Voidaan olettaa, että asetukset toimisivat melko hyvin myös, jos perussäätö toteutetaan.

LÄHTEET

1. Momentti 1 Insinöörifysiikka, Pentti Inkinen ja Jukka Tuohi, Otava, 1999
2. Ilmastoinnin suunnittelu, Olli Seppänen, Talotekniikka-Julkaisut Oy, 2004
3. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka, Olli Seppänen ja Matti Seppänen, Gummerus, 2007
4. http://www.swegon.com/Global/PDFs/Waterborne%20climate%20systems/Perimeter%20climate%20systems/_fi/PRIMO.pdf (10.01.2012)
5. D2(2012) Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, määräykset ja ohjeet.



Lähempi	liiris	Paine (Pa)	Ilmamaäärä (l/s)	Ilman nopeus konvektorin jälkeäen (m/s)	Ilman nopeus konvektorin jälkeäen (m/s)	Ilman nopeuksien keskiarvo (m/s)	Ilmamäärä konvektorin jälkeäen (l/s)	Sekundääri-ilman osuus (%)
	1	3	38	1,02	1,08	1,12	44,8	17,89474
	2	6	37	1,04	1,08	1,12	44,7	20,72072
	3	9	37	1,06	1,1	1,12	44,7	20,72072
	4	18	33	0,92	1,04	1,02	40,7	23,23232
	5	35	31	1,01	1,01	1,02	40,7	31,1828
	6	61	26	0,85	0,82	0,87	34,7	33,33333
	7	114	22	0,46	0,5	0,49	19,5	-11,5152
Kauempi	liiris	Paine (Pa)	Ilmamaäärä (l/s)	Ilman nopeus konvektorin jälkeäen (m/s)	Ilman nopeus konvektorin jälkeäen (m/s)			
	1	1	31	1,11	1,17	1,09	43,6	40,64516
	2	3	29	1,01	1,1	1,05	41,9	44,48276
	3	5	28	0,99	1,06	1,03	41,2	47,14286
	4	8	22	0,87	1,07	1,00	39,8	80,90909
	5	18	22	0,93	1,02	0,97	38,8	76,36364
	6	38	18	0,76	0,81	0,79	31,7	76,11111
	7	60	16	0,44	0,58	0,56	22,4	40

