

Samuli Lehtola

**ASUNTOILMANVAIHTOKONEEN LÄMMÖN JA KOSTEUDEN
SIIRTO**

ASUNTOILMANVAIHTOKONEEN LÄMMÖN JA KOSTEUDEN SIIRTO

Samuli Lehtola
Opinnäytetyö
Kevät 2015
Talotekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Talotekniikan koulutusohjelma, LVI-tekniikan suuntautumisvaihtoehto

Tekijä: Samuli Lehtola
Opinnäytetyön nimi: Asuntoilmanvaihtokoneen lämmön ja kosteuden siirto
Työn ohjaaja: Pirjo Kimari
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2015
Sivumäärä: 41 + 3 liitettä

Opinnäytetyön aiheena on asuntoilmanvaihtokoneen lämmön ja kosteuden siirto. Työssä vertaillaan kahden erilaisella lämmöntalteenottokennolla varustetun ilmanvaihtokoneen lämmön- ja kosteudensiirto-ominaisuuksia. Työssä tutkitaan myös, onko pyörivä lämmöntalteenottokenno jäätymisherkempi kuin levylämmöntalteenottokenno. Kohteessa 1 on SunAirin pyörivällä lämmöntalteenotto-laitteella varustettu RW 130 EC -ilmanvaihtokone ja kohteessa 2 saman valmistajan vastavirtalevylämmönsiirtimellä varustettu 481 EC -ilmanvaihtokone.

Kohteessa 1 ilmavirrat mitattiin paine-eromenetelmällä ja kohteessa 2 anemometritorvilla. Tällä varmistettiin, että ilmavirrat ovat suunnitelmien mukaisia. Lämpötilat ja suhteelliset kosteudet mitataan koneiden sisältä ulko-, tulo-, poisto- ja jäteilmalohkoista.

Kohteen 1 pyörivän lämmönsiirtimen lämpötilasuhteeksi saatiin 79,3 %. Poistoilman kosteushyötysuhteeksi saatiin 66,6 %. Ilmanvaihtojärjestelmän kokonaisyötysuhteeksi mittausajanjaksolle saatiin 73,3 %.

Kohteen 2 vastavirtalevylämmönsiirtimen lämpötilasuhteeksi saatiin 78,0 % poistoilmapuolelta mitattuna ja 92,6 % tuloilmapuolelta mitattuna. Ero lämpötilasuhteissa johtuu kondensoitumisesta. Ilmanvaihtojärjestelmän kokonaisyötysuhteeksi mittausajanjaksolle saatiin 52,3 %.

Tulosten perusteella pyörivällä lämmöntalteenottokennolla saavutetaan hieman parempi lämpötilasuhte kuin vastavirtalevylämmöntalteenottokennolla. Ero ei kuitenkaan ole kovin suuri. Jos mukaan lasketaan pyörivän lämmöntalteenottokennon apulaitteiden viemä sähköenergia ja suurempi huollon tarve, ero tasoittuu vielä hieman lisää. Koneiden hankintahinnoissa ei ole juurikaan eroa.

Asiasanat: ilmanvaihto, lämmönsiirrin, iv-kone, ilmanvaihtokone, lämmöntalteenotto

ALKULAUSE

Haluan kiittää työssä käsiteltyjen talojen asukkaita kärsivällisyydestä ja kiireellisten aikataulujen sovittamisesta kanssani.

Oulussa 17.4.2015

Samuli Lehtola

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ALKULAUSE	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	7
2 KONEELLINEN TULO- JA POISTOILMAJÄRJESTELMÄ	8
2.1 Pyörivä lämmönsiirrin	8
2.2 Ristivirtalevylämmönsiirrin	10
2.3 Vastavirtalevylämmönsiirrin	11
3 TIETOA KOHTEISTA	12
3.1 Kohde 1	12
3.1.1 Rakennuksen laajuustiedot	12
3.1.2 Ilmanvaihtojärjestelmä	12
3.2 Kohde 2	14
3.2.1 Rakennuksen laajuustiedot	15
3.2.2 Ilmanvaihtojärjestelmä	15
4 MITTAUSSUUNNITELMA	17
5 MITTAUSTEN SUORITUS	20
5.1 Ilmavirtamittaukset	20
5.2 Lämpötila- ja kosteusmittaukset	23
5.3 Kohteen 2 tarkistusmittaukset	24
5.3.1 Mittareiden vertailumittaus	25
5.3.2 Jälkilämmityspatterin tehon mittaus	26
5.3.3 Koneen sisäisten vuotojen mittaus	26
5.3.4 Ilmavirtojen mittaus	26
6 MITTAUSTULOSTEN KÄSITTELY	28
6.1 Kostean ilman ominaisuudet	28
6.2 Lämmönsiirtimen hyötysuhteet	29
6.3 Ilman lämpeneminen puhaltimessa	32
7 TULOKSET	34
7.1 Kohde 1	34
7.2 Kohde 2	35

8 YHTEENVETO	38
LÄHTEET	40

1 JOHDANTO

Työssä perehdytään kahden vastavalmistuneen pientalon ilmanvaihtokoneiden lämmön- ja kosteudensiirto-ominaisuuksiin. Työssä verrataan pyörivän lämmöntalteenottolaitteen ja levylämmöntalteenottolaitteen toimintaa. Koneista mitataan ja lasketaan lämpötilasuhde samalla ajanjaksolla.

Työn tavoitteena on myös selvittää, aiheuttaako regeneratiivisen pyörivän lämmöntalteenottolaitteen kosteudensiirto-ominaisuus ongelmia, ja verrataan pyörivän lämmöntalteenottolaitteen toimintaa levylämmöntalteenottolaitteen toimintaan. Lisäksi selvitetään pitääkö paikkaansa erään talotehtaan edustajan väittäminen, jonka mukaan pyörivä lämmöntalteenottolaite jäätyy herkemmin kuin levylämmöntalteenottolaite.

2 KONEELLINEN TULO- JA POISTOILMAJÄRJESTELMÄ

Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D2 määrittelee koneellisen tulo- ja poistoilmajärjestelmän järjestelmäksi, jolla ilma poistetaan rakennuksesta koneellisesti puhaltimen avulla ja tilalle tuodaan lämmitettyä tai jäähdytettyä ja suodatettua ulkoilmaa puhaltimen avulla (1, s. 4). Käytännössä koneellisessa tulo- ja poistoilmajärjestelmässä on myös lämmöntalteenotto.

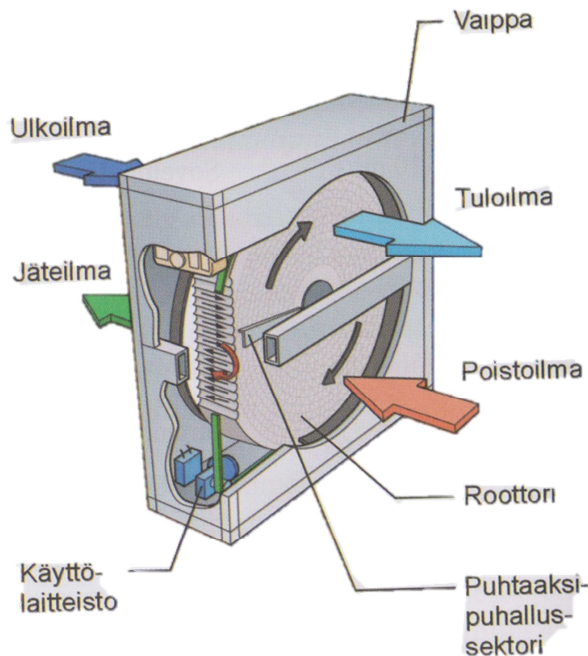
Ilmanvaihdon tarkoituksena on ylläpitää terveellistä ja viihtyisää sisäilmastoa. Koneellinen tulo- ja poistoilmavaihtojärjestelmä poistaa rakennuksessa syntyvät epäpuhtaudet ja tuo tilalle puhdasta ulkoilmaa. Puhdas ilma tuodaan rakennuksen oleskelutiloihin, pientaloissa yleensä makuu- ja olohuoneisiin. Ilmaa poistetaan ns. likaisista tiloista, kuten keittiöistä, WC:stä ja kylpytiloista. Ilma virtaa siis rakennuksessa puhtaista tiloista likaisiin. On tärkeää, että ilma pääsee virtaamaan ovirakojen kautta huoneista toisiin. (2, s. 161.)

1970-luvun öljykriisissä energian hinta nousi ja sen seurauksena pientaloja alettiin lämpöeristää paremmin. Tuolloin rakennuksiin alettiin kehittää ilmanvaihtojärjestelmiä, joissa oli lämmöntalteenotto-laite. 1970-luku oli edistysaskel kohti nykyisiä järjestelmiä, koska tuloilman lämmitys lämmöntalteenotolla tuli edullisemmaksi. Myös ilmanjako huonetiloihin parani, koska lämmitetyn tuloilman ansiosta ilma oli mahdollista tuoda huoneisiin vedottomasti. Tuloilma voitiin myös varustaa hyvillä suodattimilla. (3, s. 116.)

2.1 Pyörivä lämmönsiirrin

Pyörivä lämmönsiirrin koostuu pyörivästä roottorista ja sitä käyttävästä laitteistosta. Käyttölaitteistoon kuuluvat moottori, vaihde ja käyttöhihna. Roottorin kotelon on jaettu kahteen osaan, joista toiseen johdetaan tuloilma ja toiseen poistoilma. Pyöriessään roottori siirtää lämmön poistoilmasta tuloilmaan, kuten kuva 1 osoittaa. Roottori on valmistettu kennorakenteiseksi ohuesta alumiinilevystä tai keraamisesta materiaalista. Roottorin sisällä on kolmion mallisia, hydrauliselta halkaisijaltaan niin pieniä virtauskanavia, että virtaus on niissä täysin laminaarista. Roottorissa lämmön ei tarvitse siirtyä edes ohuen materiaalin läpi, vaan se

siirtyy poistoilmavirrasta kennoon, josta se siirtyy roottorin pyörähdettyä tuloilmavirtaan. (3, s. 178–179.)



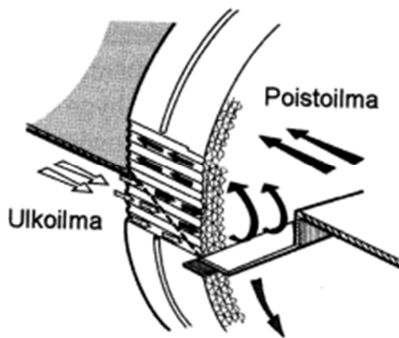
KUVA 1. Pyörivä lämmönsiirrin (3, s. 178)

Pyörivässä lämmönsiirtimessä ilmavirtojen on kuljettava aina vastakkaisiin suuntiin, koska myötävirtasiirtimenä lämmönsiirron hyötysuhde laskee noin 40...50 %:iin (3, s. 180).

Matalilla ulkolämpötiloilla poistoilmapuolelle tiivistyy kosteutta, joka normaalisti höyrystyy tuloilmavirtaan. Jos poistoilman kosteussisältö on suuri ja ulkolämpötila hyvin alhainen, tiivistyminen on suurempaa kuin höyrystyminen, ja roottoriin jää ylijäämävettä. Kierroksen keskilämpötilan ollessa alle 0 °C vesi jäätyy huurteeksi, joka pitää poistaa. Normaalissa yleisilmanvaihdossa hygroskooppinen roottori toimii jopa –25 °C:seen asti ilman ylijäämävettä ja huurteenpoistoa. (3, s. 179.)

Jotta poistoilmaa ei siirtyisi tuloilmapuolelle pyörivän roottorin mukana, on pyörivässä lämmönsiirtimessä puhtaaksi-puhallus-sektori. Sektorissa on suora yhte-

ys ulko- ja poistoilmojen välillä. Puhtaaksipuhallusektorin toimintaa on esitetty kuvassa 2. Alipaineen ollessa suurempi poistoilmassa kuin ulkoilmassa huuhtelee ulkoilmavirta virtauskanavat ennen niiden siirtymistä tuloilmapuolelle. Oikeilla painesuhteilla puhtaaksipuhalluksen ilmavirta on merkityksettömän pieni. Voimakkaat hajut voivat siirtyä tuloilmaan roottorin pintojen adsorption avulla, vaikka puhtaaksipuhallusektori olisi oikein mitoitettu. Esimerkiksi ruuanvalmistuksen hajut ovat voimakkaasti siirtyviä. (3, s. 179–180.)



KUVA 2. Puhtaaksipuhallusektori (3, s. 180)

2.2 Ristivirtalevylämmönsiirrin

Lukumääräisesti eniten käytetty ilmanvaihdon lämmöntalteenottolaite on levylämmönsiirrin. Sen tekee suosituksi kustannustehokas rakenne, hygieenisuus ja kohtuullisen hyvä lämpötilasuhde. Levylämmönsiirtimen muodostaa joukko neliömäisiä levyjä. Ilma kulkee ristikkäin levyjen välissä. Joka toisessa kanavassa virtaa lämmin poistoilma ja joka toisessa kylmä ulkoilma. Levyt ovat ohuita ja valmistettu hyvin lämpöä johtavasta materiaalista. Lämpö siis siirtyy levyjen läpi. Levylämmönsiirrin on hyvin toimintavarma, sillä lämmöntalteenottoon ei vaadita lainkaan liikkuvia osia. (3, s. 180–181.) Ristivirtaperiaate rajoittaa saavutettavan taloudellisen maksimihyötysuhteen 60–65 %:iin (3, s. 181).

Levylämmönsiirrin voidaan valmistaa hyvin tiiviiksi. Vuoto voi olla vähemmän kuin 0,5 % 400 Pa:n paine-erolla. (3, s. 181.)

Levylämmönsiirtimessä tulee ottaa huomioon huurtumisherkkyys. Poistoilma jäähtyy kylmällä ilmalla alle kastepisteensä, ja vesihöyry kondensoituu levyn pinnalle. Kun lämmönsiirtimen pintalämpötila alittaa 0 °C, vesi alkaa huurtua.

Ristivirtalevylämmönsiirtimellä kriittinen ulkoilman lämpötila on noin $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tälöin tiivistynyt kosteus alkaa jäätyä. Ulkoilman ja jäteilman väliseen kohtauskulmaan muodostuu ristivirtarakenteen takia niin sanottu kylmä kulma, josta jäätyminen alkaa. Kulmassa kohtaavat kylmin ulkoilma ja eniten jäähtynyt jäteilma. Levylämmönsiirrin vaatii siis luotettavan huurtumisenestojärjestelmän. (3, s. 181.)

2.3 Vastavirtalevylämmönsiirrin

Vastavirtalevylämmönsiirrin on niin sanotusti venytetty ristivirtasiirrin. Tämä mahdollistaa ilmavirtojen kulkemisen enemmän vastakkaisiin suuntiin. Vastavirtalevylämmönsiirrin ei siis ole puhdas vastavirtasiirrin. Vastavirtasiirtimen koko on suurempi kuin ristivirtasiirtimen. (3, s. 183.)

Vastavirtalevylämmönsiirtimellä on mahdollista saavuttaa yli 80 %:n lämpötilasuhde. Koska lämpötilasuhde on suurempi kuin ristivirtasiirtimellä, poistoilma jäähtyy kylmemmäksi ja on siten huurtumisherkempi. Joissakin tapauksissa tarvitaan lisäksi etulämmityspatteri lämmittämään ulkoilma tarpeeksi lämpimäksi, esimerkiksi $18\text{ }^{\circ}\text{C}$:seen. (3, s. 183.)

Vastavirtasiirtimellä poistoilman täytyy suuntautua alaspäin kondenssin poistumisen takia. Syntyvän kondenssiveden määrä on suurempi kuin ristivirtasiirtimellä. (3, s. 183.) Kuvassa 3 nähdään ilman virtaus vastavirtalevylämmönsiirtimessä.



KUVA 3. Vastavirtalevylämmönsiirrin (4, s. 4)

3 TIETOA KOHTEISTA

Tähän työhön valitut kaksi kohdetta ovat vastavalmistuneita omakotitaloja ja sijaitsevat Oulussa, säävyöhykkeellä III. Molemmissa kohteissa on Air Wise Oy:n valmistamat SunAir-merkkiset ilmanvaihtokoneet. Kohteessa 1 koneessa on pyörivä lämmöntalteenottokenno ja kohteessa 2 vastavirtalevyllämmönsiirrin.

3.1 Kohde 1

Kohde 1 on vuonna 2013 valmistunut omakotitalo Metsokankaalla Oulussa. Rakennuksesta laaditun energiaselvityksen mukaan rakennuksen energiatehokkuusluokka on B ja energiatehokkuusluku 165 kWh/brm²/vuosi. Lämmitysmuotona on kaukolämpö ja lämmönjakotapana vesikiertoinen lattialämmitys.

3.1.1 Rakennuksen laajuustiedot

Kohteesta laaditusta energiaselvityksestä löytyvät seuraavat tiedot:

- bruttoala 151,50 brm²
- rakennustilavuus 515,00 rak-m²
- huoneistoala 126,30 hum²
- ilmatilavuus 359,50 m³
- henkilömäärä 6.

3.1.2 Ilmanvaihtojärjestelmä

Ilmanvaihtokoneena toimii SunAir RW 130 EC. Koneesta on mahdollista kytkeä jälkilämmityspatteri ja lämmöntalteenottokenno pois päältä. Koneesta löytyy takkakytkin ja sisäänrakennettu kosteusanturi. Automatiikan pitäisi lisätä ilmanvaihtoa, jos sisäilman kosteus nousee liian suureksi. Energiaselvityksen mukaan ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho, SFP, on 1,60 kW/m³/s. Kohteessa mitattu ilmanvuotoluku (n_{50}) on 1,0 1/h. Ilmanvaihtojärjestelmän vuosihyötysuhde on 70 %. Kohteessa ei ole jäähdytystä.

Huurtumisenesto on järjestetty etulämmitysvastuksella. Koneen anturit tarkkailevat poistoilman kosteutta ja LTO-kennon kylmimmän pisteen lämpötilaa. Näi-

den tietojen perusteella koneen etulämmitysvastus antaa sulatuspulsseja. Kone säättää sulatuspulssien tehoja portaattomasti. (5.)

SunAir RW 130 EC -ilmanvaihtokoneen tekniset tiedot:

- lämpötilasuhde 82 % ($q_v=75 \text{ dm}^3/\text{s}$)
- tuloilma enintään 109 l/s (50 Pa) G3- ja F7-suodattimilla
- poistoilma enintään 125 l/s (50 Pa)
- tulo- ja poistoilmapuhaltimet 119 W (EC)
- etulämmitys sähkövastuksella 0–1000 W
- jälkilämmitys sähkövastuksella 0–600 W (6).

Suunnitellut huonekohtaiset ilmavirrat on esitetty taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Suunnitellut ilmavirrat kohteessa 1

Huone	Tulo [l/s]	Poisto [l/s]
Makuuhuone 1	+8	
Makuuhuone 2	+8	
Makuuhuone 3	+12	
Kirjasto	+8	
Olohuone	+16	
Keittiö/ruokailu	+8	-8
Sauna	+7	-7
Eteinen		-8
Kylpyhuone		-12
Vaatehuone		-8
Kodinhuoltohuone		-12
WC		-8
Tekninen tila		-8
Yhteensä	+67	-71

3.2 Kohde 2

Kohde 2 on vuonna 2013 valmistunut omakotitalo Ritaharjussa Oulussa. Rakennuksesta laaditun energiatodistuksen mukaan rakennuksen energiatehokkuusluokka on C ja E-luku $135 \text{ kWh}_E/(\text{m}^2\text{vuosi})$. Lämmitysmuotona on kaukolämpö ja lämmönjakotapana on vesikiertoinen lattialämmitys.

3.2.1 Rakennuksen laajuustiedot

Kohteesta laaditusta energiatodistuksesta löytyvät seuraavat tiedot:

- kerrostasoala 164,00 m²
- julkisivun pinta-ala 147,50 m²
- vaipan pinta-ala 437,50 m²
- lämmitetty nettoala 145,00 m²
- henkilömäärä 4.

3.2.2 Ilmanvaihtojärjestelmä

Energiaselvityksen mukaan ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho, SFP, on 1,50 kW/m³/s. Kohteessa mitattu ilmanvuotoluku (q_{50}) on 0,63 l/h. Ilmanvaihtojärjestelmän vuosihyötysuhde on 73 % ja LTO:n lämpötilasuhde 75 %. Kohteessa ei ole jäähdytystä.

Ilmanvaihdon suunnittelussa on ilmeisesti ollut hieman epäselvyyksiä, koska energiatodistus on laadittu Enerventin Pandion -koneelle, ilmanvaihtosuunnitelmissa ilmanvaihtokoneeksi on ilmoitettu Deekax Talteri 120 EC ja kohteeseen on asennettu SunAir 481 EC -kone. Lisäksi energiatodistuksen ilmanvaihdon tehokkuus on laskettu ilmavirroilla +58 dm³/s / -58 dm³/s. Ilmanvaihtosuunnitelmissa ilmavirrat ovat +59 dm³/s / -63 dm³/s.

Myös SunAir 481 EC:ssä LTO-kennon jäätymisenestoautomaatio perustuu lämpötilamittausten lisäksi jäätymisenestoonalyysiin, joka tehdään poistoilman kosteuden mittauksen perusteella. Koneen anturit tarkkailevat poistoilman kosteutta ja LTO-kennon kylmimmän pisteen lämpötilaa. Näiden tietojen perusteella koneen etulämmitysvastus antaa sulatuspulsseja. Kone säätää sulatuspulsien tehoja portaattomasti. Kone myös rajoittaa puhaltimien pyörimisnopeuksia alle -15 °C:n lämpötiloissa. Tällä pyritään vähentämään lämmityksen mitoitusarvetta ja lämmitinelementtien käyttöä. (5; 7)

SunAir 481 EC -ilmanvaihtokoneen tekniset tiedot:

- ilmamäärät enintään ± 140 l/s (50 Pa)
- lämpötilasuhde 83 % ($q_v=50$ dm³/s)
- sähköinen etulämmitys 0–1000 W
- jälkilämmitys sähköllä 0–600 W tai vedellä
- tulo- ja poistoilmapuhaltimet 2 x 170 W (EC) (7).

Huonekohtaiset ilmavirrat on esitetty taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Suunnitellut ilmavirrat kohteessa 2

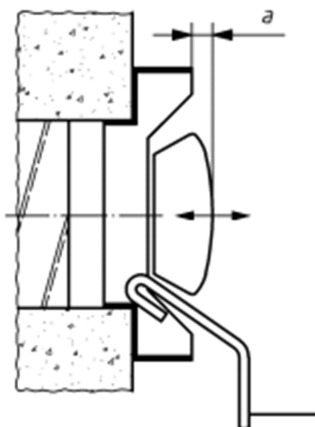
Huone	Tulo [l/s]	Poisto [l/s]
Makuuhuone 1	+12	
Makuuhuone 2	+7	
Makuuhuone 3	+7	
Makuuhuone 4	+7	
Olohuone	+18	
Sauna	+8	-8
Keittiö		-9
Pesuhuone		-18
Kodinhoitohuone		-14
WC		-9
Eteinen		-5
Yhteensä	+59	-63

4 MITTAUSSUUNNITELMA

Kohteessa 1 mitataan ilmavirrat paine-eromenetelmällä TSI Velocicalc 9555-p -mittarilla ja kohteessa 2 anemometritorvilla. Tulo-, poisto, jäte- ja ulkoilmojen lämpötilat ja suhteelliset kosteudet mitataan Lascar EL-USB-2 -mittareilla.

EL-USB-2-mittarit sijoitetaan ilmanvaihtokoneiden eri lohkoihin niin, että niillä saadaan mitattua tarvittavat lämpötilat ja suhteelliset kosteudet. Ennen mittauksia varmistetaan, että ilmanvaihtokone käy suunnitellulla teholla ja suodattimet ovat puhtaat.

Ilmavirran mittaus paine-erolla tapahtuu työntämällä paine-eromittarin ohut, metallinen mittapää venttiilin raosta kanavaan, kuvan 4 osoittamaan paikkaan.



KUVA 4. Paine-eromittauksen mittauspiste (8, s. 47)

Mittari antaa tuloksen paine-erona, yleensä 1–50 Pa. Paine-ero muutetaan ilmavirraksi kaavalla 1 (9, s. 1).

$$q_v = k * \sqrt{\Delta p}$$

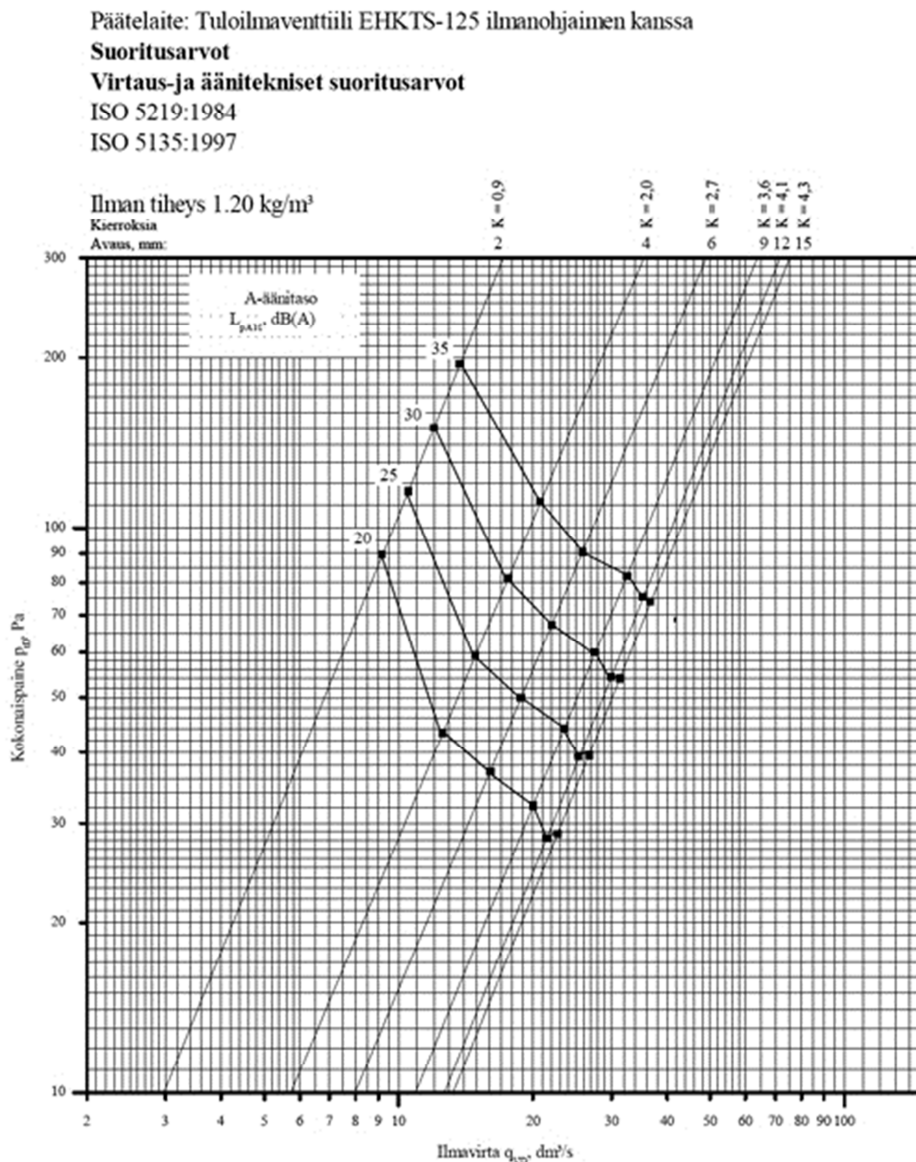
KAAVA 1

q_v = Ilmavirta (dm³/s)

k = yksikötön, venttiilistä riippuva kerroin

Δp = paine-ero mitattavan venttiilin yli (Pa)

K-arvot luetaan venttiilien säätökäyrltä. Jokaiselle venttiilityypille ja -koolle löytyy omat säätökäyrät. K-arvoon vaikuttaa venttiilin aukioloasento. Käsiteltävissä poistoilmaventtiileissä nolla-asento on kiinniasento. Jokainen avattu kierros vastaa yhtä millimetriä. Tuloilmaventtiileissä venttiilin avauma mitataan venttiilin rungon ja venttiilin väliin jäävästä raosta. K-arvo luetaan säätökäyrltä venttiilin avauman perusteella. Esimerkiksi mitattaessa ilmavirtaa 6 mm auki olevasta ilmaohjaimellisesta EHKTS-125-venttiilistä saadaan k-arvoksi 2,7 kuvan 5 perusteella.



KUVA 5. Ilmanohjaimellisen EHKTS-125-venttiilin säätökäyrästä

Anemometritorvella ilmavirtaa mitattaessa mitataan ilman virtausnopeus v torven kaulan kapeimmassa kohdassa. Torvi on muotoiltu niin, että kaulan kapeimmassa kohdassa ilmanvirtaus on mahdollisimman tasainen. Anemometritorvelle määritetään kokeellisesti torven kerroin k . Kun ilman virtausnopeus v on mitattu, voidaan ilmamäärä q_v laskea kaavalla 2. (10, s. 2.)

$$q_v = v * k$$

KAAVA 2

q_v = ilmavirta (dm³/s)

v = ilman virtausnopeus (m/s)

k = yksikötön, torvelle kokeellisesti määritetty kerroin

K-arvo poistoilman mittaukseen käytettävällä anemometritorvella on 15,8 ja tuuloilman mittaukseen käytettävällä 9,5. Käytetyt torvet ovat Mätforumin valmistamia.

5 MITTAUSTEN SUORITUS

5.1 Ilmavirtamittaukset

Kohteessa 1 venttiilejä ei ollut lukittu säätämisen jälkeen. Tuloilmapuolella venttiilien yli vaikutti vain hieman paine-eroa, 11,5–13 Pa. Venttiilit olivat lähes täysin auki. Venttiileissä tuntui kuitenkin ilmavirta, ja k-arvoilla kerrottuna ilmavirrat vaikuttivat olevan kohdallaan. Poistoilmapuolella paine-erot olivat normaalimpia, 10 pascalista 27 pascaliiin. Taulukosta 3 löytyy kohteessa 1 mitatut tuloilmavirrat.

TAULUKKO 3. Mitatut tuloilmavirrat kohteessa 1

Huone	Δp [Pa]	k-kerroin	q_v [dm ³ /s]
MH	6,3	2,7	6,8
MH	7,7	2,7	7,5
Sauna	7,7	2,7	7,5
MH	7,2	2,7	7,2
OH	10,2	3,1	9,9
OH	10,3	3,1	9,9
Keittiö	7,8	2,7	7,5
Kirjasto	8,3	2,1	6,1
Yhteensä			62,4

Taulukosta 4 löytyy kohteessa 1 mitatut poistoilmavirrat.

TAULUKKO 4. Mitatut poistoilmavirrat kohteessa 1

Huone	Δp [Pa]	k-kerroin	q_v [dm ³ /s]
ET	18,7	1,7	7,4
Keittiö	16,8	1,7	7,0
Sauna	10,8	2,1	6,9
KPH	15,9	3,1	12,4
VH	17,8	1,7	7,2
WC	17,7	1,7	7,2
KHH	17,9	2,7	11,4
Tekn.	27,3	1,5	7,8
Yhteensä			67,2

Taulukoista 5 ja 6 löytyvät anemometritorvilla mitatut tulo- ja poistoilmavirrat kohteessa 2. Taulukoista nähdään rakennuksen olevan voimakkaasti alipaineinen. Tehotasolla 4 mitatut tuloilmavirrat ovat lähellä suunniteltuja, mutta poistoilmavirrat ovat liian isoja.

TAULUKKO 5. Mitatut tuloilmavirrat kohteessa 2

Huone	Tehotaso 2		Tehotaso 4	
	v [m/s]	q _v [dm ³ /s]	v [m/s]	q _v [dm ³ /s]
OH(1)	0,41	3,9	0,97	9,2
OH(2)	0,44	4,2	0,94	8,9
MH4	0,40	3,8	0,72	6,8
MH3	0,42	4,0	0,84	8,0
MH2	0,35	3,3	0,74	7,0
MH1	0,32	3,0	0,65	6,2
Sauna	0,41	3,9	0,92	8,7
Yhteensä	26,1		54,9	

Taulukosta 6 löytyy kohteessa 2 mitatut poistoilmavirrat.

TAULUKKO 6. Mitatut poistoilmavirrat kohteessa 2

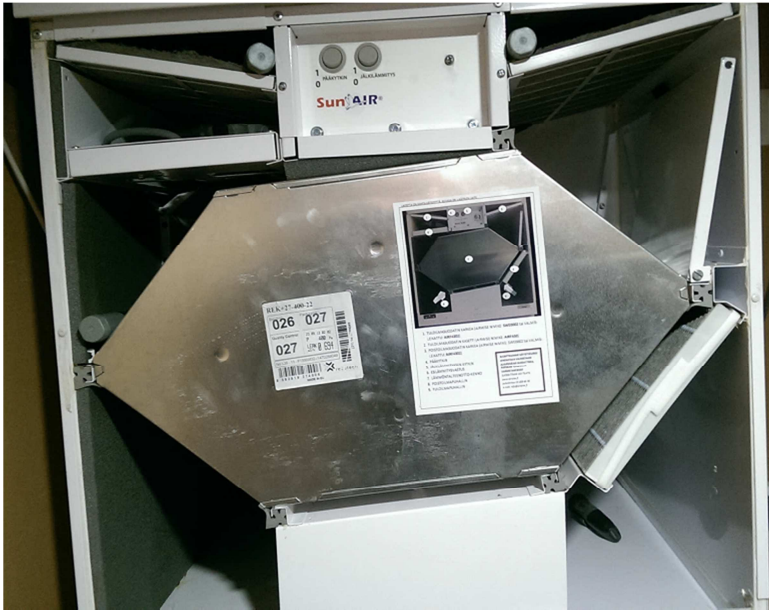
Huone	Tehotaso 2		Tehotaso 4	
	v [m/s]	q _v [dm ³ /s]	v [m/s]	q _v [dm ³ /s]
Keittiö	0,33	5,2	0,62	9,8
Käytävä	0,22	3,5	0,41	6,5
WC	0,32	5,0	0,54	8,5
KHH	0,76	12,0	1,39	21,9
PH(1)	0,48	7,6	0,83	13,1
PH(2)	0,40	6,3	0,85	13,4
Sauna	0,39	6,2	0,70	11,1
Yhteensä	45,9		84,4	

5.2 Lämpötila- ja kosteusmittaukset

Lascar EL-USB-2 -mittarit tallensivat kohteessa 1 tulo-, poisto-, ulko- ja jäteilmojen lämpötiloja ja suhteellisia kosteuksia kahden minuutin välein noin 11 vuorokauden ajan. Mittauksia kertyi 8101 kappaletta. Kohteessa 2 mittarit keräsivät tietoa yhtä kauan, mutta jäteilman lämpötilan ja suhteellisen kosteuden sijaan kohteessa 2 mitattiin raitisilman lämpötilaa ja suhteellista kosteutta etulämmitysvastuksen jälkeen ennen LTO-kennoa. Kohteessa 1 tällaista mittausta ei voinut tehdä, koska etulämmitysvastus on lähes kiinni LTO-kennossa eikä väliin mahdu mittaria.

Kuvasta 6 nähdään Lascar EL-USB-2 -mittareiden sijoituspisteet kohteen 2 ilmanvaihtokoneessa. Mittarit sijoitettiin tulo- ja poistoilmapuolien karkeasuodattimien päälle, etulämmitysvastuksen ja LTO-kennon väliin sekä koneen pohjalle ennen tuloilmapuhallinta. Kuvaustilanteessa mittarit otettiin esille koneen etu-

reunaan, jotta ne näkyisivät kuvassa. Todellisuudessa mittarit olivat syvemmällä koneessa.



KUVA 6. Mittareiden sijoituspaikat kohteen 2 ilmanvaihtokoneessa

Kohteiden mittaukset suoritettiin 14.2.–25.2.2015 ulkolämpötilan ollessa keskimäärin $-0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Alimmillaan ulkolämpötila oli $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja ylimmillään $5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

5.3 Kohteen 2 tarkistusmittaukset

Kohteessa 2 suoritettiin myös toinen mittaus. Mittaus suoritettiin 6.3.–13.3.2015 ulkolämpötilan ollessa keskimäärin $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Alimmillaan ulkolämpötila oli $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja ylimmillään $5,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Toisessa mittauksessa ulko-, poisto- ja tuloilmamittarit olivat samalla paikalla kuin ensimmäisellä mittauskerralla. Lisäksi mitattiin jäteilmän lämpötilaa ja suhteellista kosteutta asettamalla mittari poistoilmapuhaltimen eteen koneen alaosaan. Myös tulopuolelle lisättiin toinen mittari koneen sisälle sekä konetta lähinnä olevan tuloilmaventtiin taakse.

Ulkoilman lämpötilan ollessa $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ tuloilma lämpeni $19,5\text{ }^{\circ}\text{C}$:seen poistoilman jäähtyessä $21\text{ }^{\circ}\text{C}$:sta $12,5\text{ }^{\circ}\text{C}$:seen. Haluttiin selvittää johtuiko tämä pelkästään liiallisesta alipaineesta rakennuksessa vai oliko mittaustuloksille myös muita selityksiä.

5.3.1 Mittareiden vertailumittaus

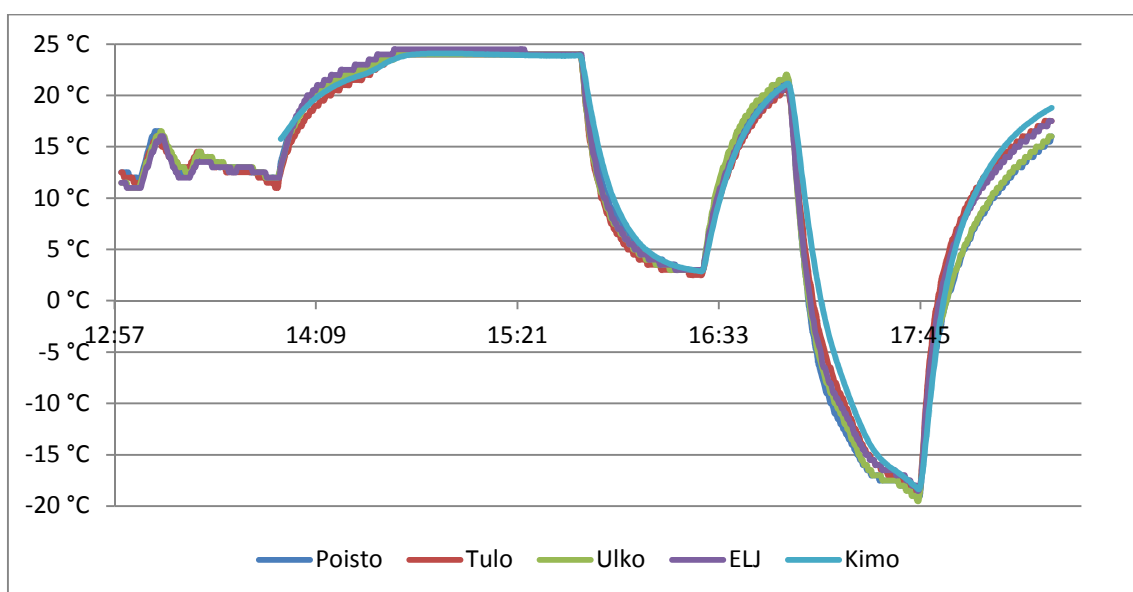
Koska kohteen 2 ensimmäisessä mittauksessa tulo- ja poistoilmojen lämpötilat olivat lähellä toisiaan, epäiltiin mittareiden tuloksissa olevan eroja. Tämän toteamiseksi suoritettiin mittaus, jossa kaikki mittauksessa käytetyt mittarit laitettiin vierekkäin ja siirrettiin ne sisältä ulos, jääkaappiin ja pakastimeen. Mittausväliksi asetettiin 30 sekuntia. Verrokiksi otettiin Kimo Kistock KT 210 -mittari.

Taulukosta 7 ja kuvasta 7 ja voidaan nähdä vertailumittauksen tulokset. Tuloilmaa mitannut mittari näytti keskimäärin 0,3 °C lämpimämpää kuin poistoilman mittari. Lämpötilan tasautuessa kaikki mittarit näyttivät samaa lämpötilaa. Syy erikoisiin mittauksituloksiin ei siis löytynyt mittareiden epätarkkuudesta.

TAULUKKO 7. Mittareiden näyttämät keskilämpötilat vertailumittauksessa

Poisto	Tulo	Ulko	Etulämmittimen jälkeinen
11,5 °C	11,8 °C	11,9 °C	12,1 °C

Kuvassa 7 nähdään mittareiden vertailumittauksen lämpötilamittauksitulokset ajan funktiona.



KUVA 7. Mittareiden vertailumittaus

5.3.2 Jälkilämmityspatterin tehon mittaus

Tutkittiin, onko jälkilämmityspatteri päällä koko ajan, vaikka kytkin olisi 0-asennossa. Tämän selvittämiseksi mitattiin koneen ottama sähköteho Waldsee Electronicin valmistamalla tehomittarilla. Mittari kytkettiin pistorasiaan ja ilmanvaihtokoneen pistotulppa liitettiin tehomittariin. Tehomittari kertoi ilmanvaihtokoneen ottotehoksi 37 W, joten jälkilämmityspatteri ei ollut päällä. Lukema ei muuttunut kytkettäessä jälkilämmityspatteri 1-asentoon.

5.3.3 Koneen sisäisten vuotojen mittaus

Tutkittiin, vuotaako poistoilmaa tuloilmapuolelle. Koneen ottama ulkoilma mitattiin poistoilma-anemometritorvella ja TSI Velocicalc 9565-p -mittarilla ulkoilmasäleiköltä. Jos ulkoilmavirta olisi merkittävästi alhaisempi mitattuun tuloilmavirtaan verrattuna, voitaisiin olettaa poistoilmaa vuotavan tuloilmapuolelle. Tässä tapauksessa mitatut ulko- ja tuloilmavirrat ovat lähellä toisiaan, joten vuotava poistoilma ei selitä mittaustuloksia.

5.3.4 Ilmavirtojen mittaus

Lopulta mittaustuloksille ei löytynyt muuta selitystä kuin liian alipaineiseksi säädetty ilmanvaihto. Urakoitsijan kohteesta laatima mittauspöytäkirja on mielenkiintoinen. Mittauspöytäkirjan laatija on ilmoittanut suunnitelluksi tuloilmavirraksi $50 \text{ dm}^3/\text{s}$ ja poistoilmavirraksi $49 \text{ dm}^3/\text{s}$. Talo olisi siis suunniteltu ylipaineiseksi. Todellisuudessa suunniteltu tuloilmavirta on $59 \text{ dm}^3/\text{s}$ ja poistoilmavirta $63 \text{ dm}^3/\text{s}$. Ilmavirrat oli myös ilmoitettu säädetyksi lukemiin $+ 50 \text{ dm}^3/\text{s}$ / $-49 \text{ dm}^3/\text{s}$ koneen tehotasolla 2. Suunniteltuja ilmavirtoja ei voida saavuttaa tehotasolla 2 venttiilien ollessa lukittuina alkuperäisiin säätöasentoihin. Ilmanvaihdon mittauspöytäkirja löytyy kuvasta 8.

	Suunniteltu l/s		Mitattu l/s	
	Tulo	Poisto	Tulo	Poisto
OH	9		9	
MH1	12		12	
MH2	7		7	
MH3	7		7	
MH4	7		7	
WC2				
WC1	8	9		9
KHH		74		74
PH		9		9
VH				
SAUNA	8	8	8	8
KEITTIÖ		9		9

Huomautuksia: Mitattu nopeudella 2.

KUVA 8. Urakoitsijan laatima ilmanvaihdon mittauspöytäkirja kohteessa 2

6 MITTAUSTULOSTEN KÄSITTELY

6.1 Kostean ilman ominaisuudet

Jokaisella lämpötilalla on sitä vastaava maksimaalinen vesihöyryn paine, jota kutsutaan vesihöyryn kyllästymispaineeksi. Vesihöyryn kyllästymispaine kasvaa lämpötilan noustessa. Kyllästymispaine nousee lämpötilan noustessa, joten lämpimään ilmaan mahtuu enemmän vesihöyryä kuin kylmään. Ilmassa ei voi koskaan olla kyllästymispainetta vastaavaa määrää enempää vesihöyryä. Vesihöyryn kyllästymispaine p_{hs} saadaan kaavasta 3. (11, s. 188.)

$$p_{hs} = \frac{e^{(77,345 + 0,0057 T - \frac{7235}{T})}}{T^{8,2}}$$

KAAVA 3

p_{hs} = vesihöyryn kyllästymispaine (Pa)

T = ilman lämpötila (K)

e = Neperin luku $\approx 2,718$

Ilmassa vallitsevan vesihöyryn osapaine lasketaan kaavalla 4 (11, s. 188).

$$p_h = \varphi p_{hs}$$

KAAVA 4

p_h = vesihöyryn osapaine (Pa)

φ = suhteellinen kosteus (%)

p_{hs} = vesihöyryn kyllästymispaine (Pa)

Ilman kosteus x määritellään kaavalla 5 (11, s. 188).

$$x = 0,6220 \frac{p_h}{p - p_h}$$

KAAVA 5

x = ilman kosteus (g/kg k.i.)

p_h = vesihöyryn osapaine (Pa)

p = kostean ilman kokonaispaine (Pa)

Ilman entalpia tarkoittaa sen suhteellista lämpösisältöä. Entalpia on kuivan ilman ja vesihöyryn entalpioiden summa. Ilman ominaisentalpia lasketaan kaavalla 6. (11, s. 189.)

$$h = 1,006 t + x (2501 + 1,85 t) \text{ kJ/kg}$$

KAAVA 6

h = ilman ominaisentalpia (kJ/kg)

t = kostean ilman lämpötila (°C)

x = ilman kosteus (g/kg k.i.)

6.2 Lämmönsiirtimen hyötysuhteet

Lämmönsiirtimen lämpötilasuhteella tarkoitetaan lämmönsiirtimessä tapahtuvan tuloilman lämpötilan nousun suhdetta lämmönsiirtimeen tulevien ulko- ja poistoilmojen lämpötilaerotukseen. Lämpötilasuhde η_t lasketaan kaavalla 7. (11, s. 197.)

$$\eta_t = \frac{t_{tulo} - t_{ulko}}{t_{poisto} - t_{ulko}} = \frac{q_{vpoisto}}{q_{vtulo}} \left(\frac{t_{poisto} - t_{jäte}}{t_{poisto} - t_{ulko}} \right)$$

KAAVA 7

η_t = lämpötilasuhde (%)

t_{tulo} = tuloilman lämpötila (°C)

t_{poisto} = poistoilman lämpötila (°C)

t_{ulko} = ulkoilman lämpötila (°C)

Lämmönsiirtimen entalpiahyötysuhteella η_h tarkoitetaan vastaavien entalpiaero-
tusten suhdetta. Regeneratiivisessa LTO-kennossa tapahtuvan kosteuden siir-
ron johdosta lämpötila- ja entalpiahyötysuhteet eivät ole aina samoja. Ental-
piahyötysuhde lasketaan kaavalla 8. (11, s. 197.)

$$\eta_h = \frac{h_{tulo} - h_{ulko}}{h_{poisto} - h_{ulko}}$$

KAAVA 8

η_h = entalpiahyötysuhde (%)

h_{tulo} = tuloilman entalpia (°C)

h_{poisto} = poistoilman entalpia (°C)

h_{ulko} = ulkoilman entalpia (°C)

Hyötysuhde määritellään yleensä tuloilmassa tapahtuneen muutoksen suhteena suurimpaan mahdolliseen muutokseen. Joskus on tarpeen käyttää myös poistoilman jäähtymiseen suhteen määriteltyjä hyötysuhteita. (11, s. 285–286).

Kosteudensiirron hyötysuhde lasketaan sekä poistoilman kosteushyötysuhteena η_{xp} että ulkoilman kosteushyötysuhteena η_{xu} . Poistoilman kosteushyötysuhde lasketaan kaavalla 9 (11, s. 286).

$$\eta_{xp} = \frac{x_{poisto} - x_{jäte}}{x_{poisto} - x_{ulko}} \quad \text{KAAVA 9}$$

η_{xp} = poistoilman kosteushyötysuhde (%)

x_{poisto} = poistoilman kosteussisältö (g/kg k.i.)

$x_{jäte}$ = jäteilman kosteussisältö (g/kg k.i.)

x_{ulko} = ulkoilman kosteussisältö (g/kg k.i.)

Ulkoilman kosteushyötysuhde lasketaan kaavalla 10 (11, s. 286).

$$\eta_{xu} = \frac{x_{tulo} - x_{ulko}}{x_{poisto} - x_{ulko}} \quad \text{KAAVA 10}$$

η_{xu} = ulkoilman kosteushyötysuhde (%)

x_{poisto} = poistoilman kosteussisältö (g/kg k.i.)

x_{tulo} = tuloilman kosteussisältö (g/kg k.i.)

x_{ulko} = ulkoilman kosteussisältö (g/kg k.i.)

Lämmöntalteenottolaitteen teho lasketaan kaavalla 11 (11, s. 195).

$$\dot{Q}_{LTO} = q_{vpoisto} * \rho_{ilma} * (h_{poisto} - h_{jäte}) \quad \text{KAAVA 11}$$

\dot{Q}_{LTO} = lämmöntalteenottolaitteen teho (kW)

$q_{vpoisto}$ = poistoilmavirta (dm³/s)

ρ_{ilma} = ilman tiheys (kg/m³)

h_{poisto} = poistoilman ominaisentalpia (kJ/kg)

$h_{jäte}$ = jäteilman ominaisentalpia (kJ/kg)

Poistoilman lämmitysteho lasketaan kaavalla 12 (11, s 195).

$$\dot{Q}_{\text{poisto}} = q_{\text{vpoisto}} * \rho_{\text{ilma}} * (h_{\text{poisto}} - h_{\text{ulko}}) \quad \text{KAAVA 12}$$

\dot{Q}_{poisto} = poistoilman lämmitysteho (kW)

q_{vpoisto} = poistoilmavirta (dm³/s)

ρ_{ilma} = ilman tiheys (kg/m³)

h_{poisto} = poistoilman ominaisentalpia (kJ/kg)

h_{ulko} = ulkoilman ominaisentalpia (kJ/kg)

Lämmöntalteenoton poistoilman hyötysuhde kyseiseltä ajanjaksolta lasketaan jakamalla poistoilmasta talteen otettu energia koko ilmanvaihdon energiatarpeella. Se lasketaan kaavalla 13. (12, s. 35.)

$$\eta_a = \frac{\dot{Q}_{LTO}}{\dot{Q}_{\text{poisto}}} \quad \text{KAAVA 13}$$

η_a = poistoilman hyötysuhde mittausjaksolta (%)

\dot{Q}_{LTO} = poistoilman lämmitysteho (kW)

\dot{Q}_{poisto} = poistoilman lämmitysteho (kW)

Lämmöntalteenoton poistoilman hyötysuhde kyseiseltä ajanjaksolta voidaan laskea myös lämpötiloja käyttäen kaavalla 14.

$$\eta_a = \frac{q_{\text{vtulo}} (T_{LTOj} - T_{LTOe})}{q_{\text{vpoisto}} (T_{\text{poisto}} - T_{\text{ulko}})} \quad \text{KAAVA 14}$$

η_a = poistoilman hyötysuhde mittausjaksolta (%)

q_{vtulo} = tuloilmavirta (dm³/s)

T_{LTOj} = ilman lämpötila lämmöntalteenottokennon jälkeen (°C)

T_{LTOe} = ilman lämpötila ennen lämmöntalteenottokennoa (°C)

q_{vpoisto} = poistoilmavirta (dm³/s)

T_{poisto} = poistoilman lämpötila (°C)

T_{ulko} = ulkoilman lämpötila (°C)

Vesihöyryn kyllästymispaine p_{hs} , Ilmassa vallitsevan vesihöyryn osapaine p_h , Ilman kosteus x , ilman ominaisentalpia h , lämpötilasuhde η_t , lämmöntalteenotto-laitteen teho \varnothing_{LTO} , poistoilman lämmitysteho \varnothing_{poisto} ja poistoilman hyötysuhde mittaussyksykseltä η_a on laskettu Excel-taulukkoon kustakin kohteesta. Taulukoita syntyi yhteensä noin 1500 sivua, joten liitteissä 2 ja 3 ovat vain esimerkit taulukoista.

6.3 Ilman lämpeneminen puhaltimessa

Koska tuloilman lämpötilaa mitattiin kohteessa 2 myös puhaltimen jälkeen tuloilmaventtiin takaa, on tässä luvussa laskettu ilman lämpeneminen tuloilmapuhaltimessa. Ilma lämpenee tuloilmapuhaltimessa, koska puhaltimessa ja puhaltimen moottorissa syntyy häviöitä, jotka muuttuvat lämmöksi.

Puhaltimen ilmavirtaan siirtämä teho saadaan puhaltimen tuottaman paine-eron ja ilman tilavuusvirran tulona käyttäen kaavaa 15 (11, s.125).

$$P_F = q_v * p_{tF}$$

KAAVA 15

P_F = puhaltimen hyötyteho (W)

q_v = puhaltimen ilmavirta (m^3/s)

p_{tF} = puhaltimen paine-ero (Pa)

Käyttämällä valmistajan SFP-luvun laskennassa ilmoittamia arvoja saadaan puhaltimen hyötytehoksi

$$P_F = 0,067 \text{ m}^3/s * 134 \text{ Pa} \\ = 8,978 \text{ W (12).}$$

Puhaltimen hyötysuhde saadaan jakamalla moottorin puhaltimen hyötyteho moottorin ottamalla teholla. Puhaltimen hyötysuhde lasketaan kaavalla 16. (11, s. 125.)

$$\eta_E = \frac{P_F}{P_E}$$

KAAVA 16

η_E = hyötysuhde (%)

P_F = puhaltimen hyötyteho (W)

P_E = Moottorin ottama teho (W)

Käyttämällä valmistajan SFP-luvun laskennassa ilmoittamia arvoja saadaan hyötysuhteeksi

$$\eta_E = \frac{8,978 \text{ W}}{40 \text{ W}} \\ = 22,4 \%$$

koska puhaltimet ottavat yhteensä 90 W ja voidaan olettaa poistopuhaltimen ottavan hieman enemmän tehoa kuin tulopuhaltimen, jonka lämmitysvaikutusta lasketaan. Tuloilmapuhaltimen oletetaan siis ottavan tehoa 40 W. (13.)

Puhaltimen läpi virtaava ilma lämpenee, koska siipipyörän virtauksessa syntyvät häviöt muuttuvat lämmöksi. Kaavalla 17 voidaan laskea ilma lämpeneminen puhaltimessa. (11, s. 126.)

$$\Delta T = \frac{p_t(1-\eta)}{\rho c_p \eta}$$

KAAVA 17

ΔT = ilman lämpeneminen puhaltimessa (°C)

p_t = puhaltimen tuottama paine (Pa)

η = hyötysuhde (%)

ρ = ilman tiheys (kg/m³)

Ilma lämpenee siis tuloilmapuhaltimessa

$$\Delta T = \frac{134 \text{ Pa} (1-0,224)}{1200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \cdot 0,224} \\ = 0,4 \text{ }^\circ\text{C}.$$

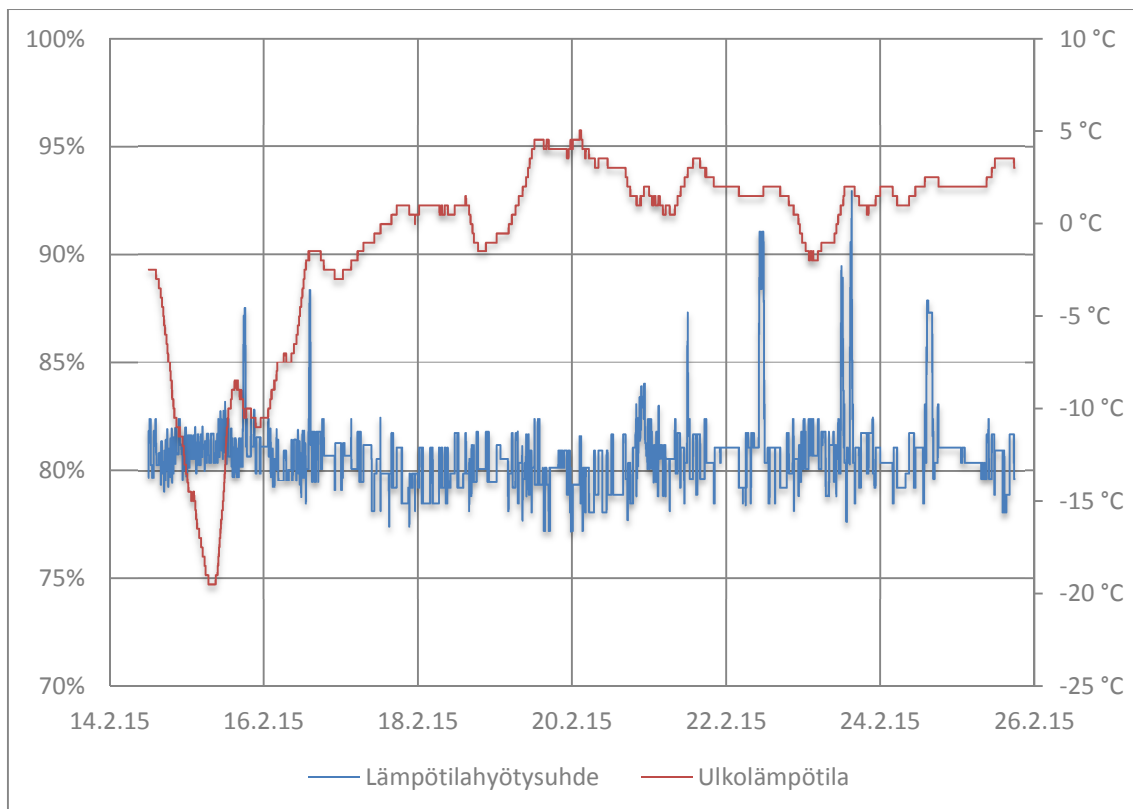
Voidaan olettaa ilman jäähtyvän kanavistossa saman verran, joten ilman lämpenemistä puhaltimessa ei oteta huomioon.

7 TULOKSET

7.1 Kohde 1

Kohteen 1 mittauksissa poistoilman kosteushyötysuhteeksi η_{xp} saatiin kaavaa 9 käyttäen 66,6 %. Lämpötilasuhteeksi η_t saatiin 79,3 %. Lämpötilasuhde laskettiin kaavalla 7. Valmistaja lupaa kennon lämpötilasuhteeksi ilmavirroilla +63 dm³/s / -67 dm³/s 85,1 %. Ilmanvaihtojärjestelmän kokonaishyötysuhteeksi η_a mittausajanjaksolle saatiin kaavaa 13 käyttäen 73,3 %. Vuosihyötysuhteeksi ilmoitetaan Jyväskylässä 82,2 %. (14.) Esimerkki kohteen 1 mittaustulosten Excel-taulukosta löytyy liitteestä 2.

Kuvassa 9 esitetään kohteessa 1 mitattu ja laskettu lämpötilasuhde η_t ja ulkoilman lämpötila samalla hetkellä. Ulkolämpötila luetaan oikean reunan asteikolta ja lämpötilasuhde vasemmasta reunasta. Ulkoilman lämpötilan ja lämpötilasuhteen välillä ei voida päätellä olevan yhteyttä. Etulämmitysvastus ei käynyt päällä mittausjakson aikana.



KUVA 9. Kohteen 1 ulkolämpötila ja laskettu lämpötilasuhde samalla hetkellä

7.2 Kohde 2

Kohteen 2 ensimmäisellä mittauskerralla lämpötilasuhteeksi saatiin 98,4 %. Tulos ei ole uskottava. Toisen mittauksen jälkeen havaittiin, että tuloilmaventtiilin takana ollut mittari mittasi keskimäärin 1,6 °C viileämpiä lämpötiloja kuin koneen sisällä olleet mittarit. Suurimmillaan ero oli 8 °C. Kun ensimmäisen mittauksen tuloilmojen lämpötiloista vähennetään 1,6 °C, lämpötilasuhteeksi saadaan 91,0 %.

Toisen mittauskerran tulokset kaavalla 7 laskettuna antoivat lämpötilasuhteeksi η_t poistoilmapuolelta mitattuna 78,0 % ja tuloilmapuolelta mitattuna 92,6 %. Ero tuloksissa johtuu kondensoitumisesta. Koska poistoilman kastepistelämpötila $T_{kppoisto}$ on korkeampi kuin ulkoilman lämpötila T_{ulko} , poistoilman kosteus tiivistyy lämmöntalteenottokennolle. Ilmanvaihtojärjestelmän kokonaishyötysuhteeksi η_a mittausajanjaksolle saatiin kaavaa 14 käyttäen 52,3 %. Vuosihyötysuhteeksi ilmoitetaan Jyväskylässä 75,7 % (15). Heikko mitattu tulos johtuu liiallisesta alipaineesta rakennuksessa. Poistoilmavirrasta ei saada kaikkea mahdollista lämpöä käytettyä hyödyksi, koska tuloilmavirta on paljon poistoilmavirtaa pienempi. Kennon lämpötilasuhteeksi valmistaja ilmoittaa ilmavirroilla +43 dm³/s / -47 dm³/s 84,7 % (15). Esimerkki kohteen 2 mittaustulosten Excel-taulukosta löytyy liitteestä 3.

Koska tulo- ja poistoilmavirrat poikkesivat toisistaan runsaasti, lasketaan lämpötilasuhteet yhtä suurille tulo- ja poistoilmavirroille ympäristöministeriön Tasauslaskentaopas 2012:n mukaan kaavoja 18 ja 19 käyttäen (16, s.15). Kaavalla 18 lasketaan lämmöntalteenoton läpi kulkevien tulo- ja poistoilmavirtojen suhde R_{LTO} .

$$R_{LTO} = \frac{q_{tLTO}}{q_{pLTO}}$$

KAAVA 18

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

q_{tLTO} = lämmöntalteenoton läpi kulkeva tuloilmavirta

q_{pLTO} = lämmöntalteenoton läpi kulkeva poistoilmavirta

Kaavalla 19 lasketaan tuloilman lämpötilasuhde yhtä suurilla tulo- ja poistoilmavirroilla (16, s. 50).

$$\eta_{t(R_{LTO}=1)} = \frac{(1+R_{LTO})}{2} \eta_{t(R_{LTO})} \quad \text{KAAVA 19}$$

$\eta_{t(R_{LTO}=1)}$ = tuloilman lämpötilasuhde yhtä suurilla ilmavirroilla

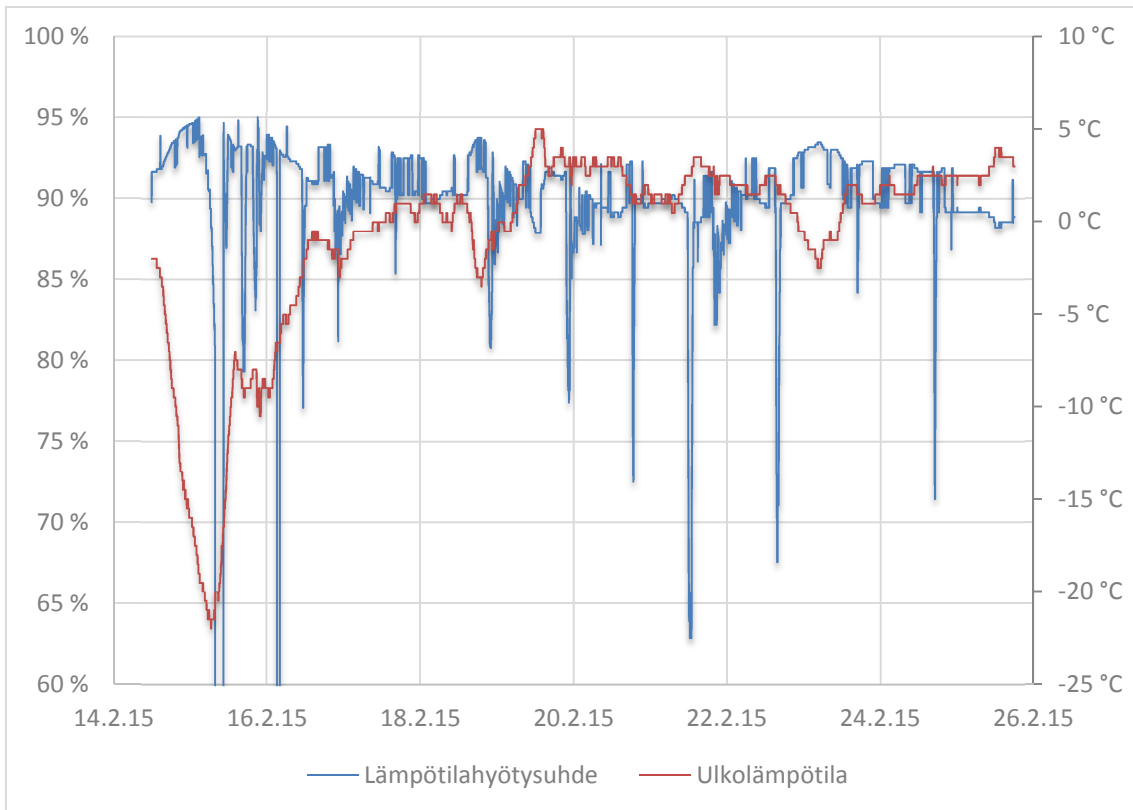
R_{LTO} = lämmöntalteenoton läpi kulkevien tulo- ja poistoilmavirtojen suhde

$\eta_{t(R_{LTO})}$ = Tuloilman lämpötilahyötysuhde todellisilla ilmavirroilla

Tuloilman lämpötilasuhteeksi yhtä suurilla ilmavirroilla saatiin ensimmäisellä mittauskerralla 71,6 % ja toisella mittauskerralla 72,5 %.

Kuvassa 10 esitetään kohteessa 2 ensimmäisellä mittauskerralla mitattu ja laskettu lämpötilasuhde η_t ja ulkoilman lämpötila samalla hetkellä. Ulkolämpötila luetaan oikean reunan asteikolta ja lämpötilasuhde vasemmasta reunasta. Ulkoilman lämpötilan ja lämpötilasuhteen välillä voidaan nähdä yhteys lämpötilan ollessa tarpeeksi alhainen. Tällöin huurtumisenestojärjestelmä kytkee etulämmitysvastuksen päälle. Etulämmitysvastus kytkeytyi päälle kaksi kertaa mittausjakson aikana.

Mittaustulosten Excel-taulukossa on asetettu lämpötilasuhteen arvoksi 0 etulämmitysvastuksen ollessa päällä. Mittaustuloksia on myös käsitelty vähentämällä tuloilman lämpötilasta toisen mittauksen tulosten perusteella 1,6 °C.



KUVA 10. Kohteen 2 ulkolämpötila ja laskettu lämpötilasuhde samalla hetkellä

8 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli vertailla erilaisilla lämmöntalteenottokennoilla varustettujen ilmanvaihtokoneiden lämpötilasuhteita. Lisäksi tutkittiin erään talotehtaan talotekniikkaosaston johtajan väittämää, jonka mukaan pyörivällä lämmöntalteenotokennolla varustettu ilmanvaihtokone jäätyisi pakkasilla herkemmin kuin levylämmöntalteenottolaitteella varustettu kone. Opinnäytetyön mittausten ja käytetyn teoria-aineiston perusteella näin ei ole. Kohteen 1 koneen pyörivän lämmönsiirtimen koneessa etulämmitysvastus ei ollut päällä mittausjakson aikana, mutta kohteen 2 levylämmönsiirtimellisessä koneessa etulämmitysvastus oli ajoittain päällä.

Pyörivän lämmöntalteenottokennon kerrotaan myös aiheuttavan ikkunoiden huurtumista pakkasilla kennon siirtämän kosteuden vuoksi. Mittausjakson aikana ikkunoiden huurtumista ei tapahtunut kummassakaan kohteessa. Mielenkiintoisesti kohteen 2 keskimääräinen poistoilman kosteussisältö oli suurempi kuin kohteessa 1. Kohteessa 2 poistoilman kosteussisältö oli keskimäärin 5,9 g/kg k.i. ja kohteessa 1 5,4 g/kg k.i. Tulos johtuu todennäköisesti rakennusten käytöstä, johon ei oteta kantaa tässä työssä.

Kohteen 1 mittaukset sujuivat ongelmitta. Ilmavirrat olivat lähellä suunniteltuja ja kohde sopivasti alipaineinen. Lämpötilasuhteeksi η_t saatiin 79,3 %.

Kohteessa 2 käytetyille mittareille tehtiin tarkastusmittaukset, joilla testattiin, näyttävätkö mittarit samoja lukemia samassa paikassa. Lämpötilat ja suhteelliset kosteudet mitattiin vielä toiseen kertaan useampaa mittaria käyttäen. Kohteessa myös tutkittiin, vuotaako poistoilmaa tuloilmapuolelle ja onko jälkilämmityspatteri päällä jatkuvasti. Ilmavirtamittauksissa paljastui rakennuksen olevan liian alipaineinen. Poistoilmavirta lämmönsiirtimessä oli reilusti tuloilmavirtaa suurempi, minkä vuoksi poistoilma jäähtyi siirtimessä vähemmän kuin tuloilma lämpeni.

Toisen mittauskerran tulokset kerrottuna mitattujen ilmavirtojen suhteilla antoivat lämpötilasuhteeksi η_t poistoilmapuolelta 78,0 % ja tuloilmapuolelta 92,6 %. Ero tuloksissa johtuu poistoilman kosteuden kondensoitumisesta lämmöntal-

teenottolaitteen pinnoille. Koska ilmavirrat olivat pienemmät kuin suunnitelmissa, voidaan olettaa hyötysuhteen laskevan noin yhden prosenttiyksikön ilmavirtojen kasvaessa $20 \text{ dm}^3/\text{s}$. Ympäristöministeriön tasauslaskentaoppaan mukaan yhtä suurilla ilmavirroilla laskettu tuloilman lämpötilasuhde oli ensimmäisellä mittauskerralla 71,6 % ja toisella 72,5 %.

Opinnäytetyön perusteella pyörivällä lämmöntalteenottokennolla saavutetaan hieman parempi lämpötilasuhde kuin vastavirtalevyllämmöntalteenottokennolla. Ero ei kuitenkaan ole kovin suuri. Jos mukaan lasketaan pyörivän lämmöntalteenottokennon apulaitteiden viemä sähköenergia ja suurempi huollon tarve, ero tasoittuu vielä hieman lisää. Koneiden hankintahinnoissa ei ole juurikaan eroa.

LÄHTEET

1. D2 (2012). 2011. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2012. D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö, rakennetun ympäristön osasto. Saatavissa: http://www.finlex.fi/data/normit/37187-D2-2012_Suomi.pdf. Hakupäivä 2.3.2015.
2. Seppänen, Olli – Seppänen, Matti 2004. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka. Espoo: SIY Sisäilmatieto Oy.
3. Heinonen, Jarkko – Holmberg, Rolf – Hyvärinen, Kalevi – Hänninen, Reijo – Jokinen, Liisa – Kauppila, Kari – Keinonen, Pauli – Koivula, Urpo – Koskela, Hannu – Koskinen, Erkki – Kosonen, Risto – Laine, Tuomas – Liljeström, Kimmo – Lönnström, Jyrki - Mustakallio, Panu – Mäkinen, Pekka – Nykvist, Ari – Paasio, Ilkka – Pessi, Pekka - Pettersson, Henrik – Pihlajamaa, Pirkko – Railio, Jorma – Rantama, Markku – Ripatti, Harri – Sahlsten, Toivo – Sandberg, Esa – Silvan, Jari – Sundman, Tom L. – Säteri, Jorma – Tammi-vaara, Heikki – Valkeapää, Aki – Vuolle Mika 2014. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. Talotekniikka-Julkaisut Oy.
4. SunAir 431 EC ja 481 EC. 2015. Air Wise Oy. Saatavissa: http://www.airwise.fi/content/download/1166/21160/SunAIR_431EC_ja_481EC_esite.pdf. Hakupäivä 31.3.2015.
5. Kantelus, Marko 2015. Tuotepäällikkö, Air Wise Oy. Puhelinhaastattelu 27.1.2015.
6. SunAir RW 130 EC. 2015. Air Wise Oy. Saatavissa: <http://www.airwise.fi/Tuotteet/SunAIR/SunAIR-LTO-laitteet/Hyoetysuhde-yli-80/SunAIR-RW-130-EC>. Hakupäivä 16.2.2015.
7. SunAir 481 EC. 2015. Air Wise Oy. Saatavissa: <http://www.airwise.fi/Tuotteet/SunAIR/SunAIR-LTO-laitteet/Hyoetysuhde-yli-80/SunAIR-481-EC>. Hakupäivä 16.2.2015.

8. SFS-EN 5299. 2013. Ventilation for buildings. Test procedures and measurement methods to hand over air conditioning and ventilation systems. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS.
9. Ilmavirtojen mittaus- ja säätöopas. 2011. Fläkt Woods Oy. Saatavissa: www.flaktwoods.fi/aaf939c0-af71-4df4-9f84-b5513b9ed6f3. Hakupäivä 2.3.2015.
10. Ilmanvaihdon mittaus anemometritorvella. 2015. Pietiko Oy. Saatavissa: <http://www.pietiko.fi/ilmanvaihtomittarit/esitteet/Anemometritorviv1.pdf>. Hakupäivä 25.3.2015.
11. Seppänen, Olli 2008. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. Anjalankoski: Suomen LVI-yhdistysten Liitto.
12. Sivula, Laura 2014. Omakotitalon ilmanvaihtojärjestelmän toiminta – Case Sivula 2011. Opinnäytetyö. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, talotekniikan koulutusohjelma.
13. SunAIR 481-mallit: SFP-arvot. 2015. Air Wise Oy. Saatavissa: http://www.airwise.fi/content/download/1178/21797/SFP-arvot_SA-481-mallit.pdf. Hakupäivä 1.4.2015.
14. Sunair RW 130-EC lämpötilahyötysuhde. 2015. Air Wise Oy. Saatavissa: http://www.airwise.fi/content/download/1169/21763/Lampotilahyotysuhde_SA-RW-130-EC_v2.pdf. Hakupäivä 22.3.2015.
15. Sunair 481-EC lämpötilahyötysuhde. 2015. Air Wise Oy. Saatavissa: http://www.airwise.fi/content/download/1177/21794/Lampotilahyotysuhde_SA-481-EC_v2.pdf. Hakupäivä 31.3.2015.
16. Tasauslaskentaopas 2012. Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden osoittaminen. 2011. Ympäristöministeriö. Saatavissa: <http://www.ym.fi/download/noname/%7B4A826B40-9B82-4749-B6BA-7A3537EA9DAE%7D/40514>. Hakupäivä 7.4.2015.

LÄHTÖTIETOMUISTIO

Tekijä Samuli Lehtola, t1lesa00@students.oamk.fi

Tilaaja -

Työn nimi Asuntoilmanvaihtokoneen lämmön ja kosteuden siirto

Työn kuvaus Työssä perehdytään asuntoilmanvaihtokoneiden lämmön ja kosteudensiirto-ominaisuuksiin. Työssä verrataan pyörivän lämmöntalteenottolaitteen ja levylämmöntalteenottolaitteen toimintaa. Selvitetään, aiheuttaako pyörivän lämmöntalteenottolaitteen kosteuden siirto-ominaisuus enemmän lämmöntalteenoton jäätymiä kuin levylämmöntalteenottoa käytettäessä.

Työssä mitataan erilaisella lämmöntalteenottolaitteella varustetun omakotitalon ilmanvaihdon toimintaa.

Työn tavoitteet

Työn tavoitteena on selvittää regeneratiivisen pyörivän lämmöntalteenottolaitteen kosteuden siirron aiheuttamia ongelmia ja verrataan toimintaa levylämmöntalteenottolaitteen toimintaan.

Tavoiteaikataulu

Mittaussuunnitelma ja laitteistoihin perehtyminen marraskuun 2014 loppuun mennessä

Mittaukset tammikuun 2015 loppuun mennessä

Mittaustulosten ja toimivuuden analysointi helmikuun 2015 loppuun mennessä

Loppuraportti huhtikuun 2015 loppuun mennessä

Samuli Lehtola

KOHTEEN 1 LÄMPÖTILA- JA KOSTEUSMITTAUSTULOSTEN KÄSITTELY

LIITE 2

Kohde 1		Jäte						Ulko						Tulo 62 l/s				Poisto 67 l/s						Hyötysuhteet						
		T	rh	p _{hs}	p _h	x	h	T	rh	p _{hs}	p _h	x	h	T	rh	p _{hs}	p _h	x	h	T	rh	p _{hs}	p _h	x	h	η _{xp}	η _{tp}	Ø _{LTO}	Ø _{poisto}	η _a
Mittaus	Aika	°C	%	Pa	Pa	g/kg k.i.	kJ/kg	°C	%	Pa	Pa	g/kg k.i.	kJ/kg	°C	%	Pa	Pa	g/kg k.i.	kJ/kg	°C	%	Pa	Pa	g/kg k.i.	kJ/kg	%	%	kW	kW	%
1	14.2.2015 12:00	4,5	65	840	546	0,00337	2514	-2,5	74,5	507	378	0,00233	2494	20	49,5	2331	1154	0,00717	2558	23	45	2801	1260	0,00784	2567	81,1	78,4	4,25	5,86	72,5
2	14.2.2015 12:02	4,5	65	840	546	0,00337	2514	-2,5	74,5	507	378	0,00233	2494	20	49	2331	1142	0,00709	2558	23	45	2801	1260	0,00784	2567	81,1	78,4	4,25	5,86	72,5
3	14.2.2015 12:04	4,5	64,5	840	542	0,00334	2514	-2,5	74,5	507	378	0,00233	2494	20	48,5	2331	1131	0,00702	2558	23	44	2801	1232	0,00766	2567	80,9	78,4	4,25	5,86	72,5
4	14.2.2015 12:06	4,5	64,5	840	542	0,00334	2514	-2,5	75	507	380	0,00234	2494	20	47,5	2331	1107	0,00687	2558	23	44	2801	1232	0,00766	2567	81,2	78,4	4,25	5,86	72,5
5	14.2.2015 12:08	4,5	63	840	529	0,00327	2514	-2,5	75	507	380	0,00234	2494	20	46,5	2331	1084	0,00673	2558	23	42	2801	1176	0,00731	2567	81,4	78,4	4,25	5,86	72,5
6	14.2.2015 12:10	4,5	63	840	529	0,00327	2514	-2,5	74,5	507	378	0,00233	2494	20	46	2331	1072	0,00665	2558	23	41,5	2801	1162	0,00722	2567	80,8	78,4	4,25	5,86	72,5
7	14.2.2015 12:12	4	63	811	511	0,00315	2512	-2,5	74,5	507	378	0,00233	2494	19,5	45,5	2260	1028	0,00638	2557	23	41	2801	1148	0,00713	2567	82,8	80,5	4,36	5,86	74,5
8	14.2.2015 12:14	4	63	811	511	0,00315	2512	-2,5	74,5	507	378	0,00233	2494	19,5	45	2260	1017	0,00631	2557	23	41	2801	1148	0,00713	2567	82,8	80,5	4,36	5,86	74,5
9	14.2.2015 12:16	4	63	811	511	0,00315	2512	-2,5	74,5	507	378	0,00233	2494	19,5	45	2260	1017	0,00631	2557	23	40,5	2801	1134	0,00704	2567	82,5	80,5	4,36	5,86	74,5
10	14.2.2015 12:18	4	63	811	511	0,00315	2512	-2,5	74,5	507	378	0,00233	2494	19,5	45	2260	1017	0,00631	2557	23	40	2801	1120	0,00695	2567	82,2	80,5	4,36	5,86	74,5
11	14.2.2015 12:20	4	63	811	511	0,00315	2512	-2,5	75	507	380	0,00234	2494	19,5	44	2260	994	0,00616	2557	23	40	2801	1120	0,00695	2567	82,5	80,5	4,36	5,86	74,5
12	14.2.2015 12:22	4	63	811	511	0,00315	2512	-2,5	75	507	380	0,00234	2494	19,5	43,5	2260	983	0,00609	2557	23	39,5	2801	1106	0,00687	2567	82,1	80,5	4,36	5,86	74,5
13	14.2.2015 12:24	4	63	811	511	0,00315	2512	-2,5	75	507	380	0,00234	2494	19,5	43	2260	972	0,00602	2557	23	38,5	2801	1078	0,00669	2567	81,4	80,5	4,36	5,86	74,5
8866	26.2.2015 19:30	8	68	1070	727	0,00450	2524	2,5	83	729	605	0,00374	2508	20	35,5	2331	828	0,00512	2558	22,5	32	2717	870	0,00538	2565	53,9	78,3	3,33	4,59	72,5
8867	26.2.2015 19:32	8	68	1070	727	0,00450	2524	2,5	83	729	605	0,00374	2508	20	35,5	2331	828	0,00512	2558	22,5	32	2717	870	0,00538	2565	53,9	78,3	3,33	4,59	72,5
8868	26.2.2015 19:34	8	68	1070	727	0,00450	2524	2,5	83	729	605	0,00374	2508	20	35,5	2331	828	0,00512	2558	22,5	32	2717	870	0,00538	2565	53,9	78,3	3,33	4,59	72,5
8869	26.2.2015 19:36	8	68	1070	727	0,00450	2524	2,5	83	729	605	0,00374	2508	20	35,5	2331	828	0,00512	2558	22,5	32	2717	870	0,00538	2565	53,9	78,3	3,33	4,59	72,5
8870	26.2.2015 19:38	8	68	1070	727	0,00450	2524	2,5	83	729	605	0,00374	2508	20	35,5	2331	828	0,00512	2558	22,5	32	2717	870	0,00538	2565	53,9	78,3	3,33	4,59	72,5
8871	26.2.2015 19:40	8	68	1070	727	0,00450	2524	2,5	83	729	605	0,00374	2508	19,5	35,5	2260	802	0,00496	2557	22,5	32	2717	870	0,00538	2565	53,9	78,3	3,33	4,59	72,5
8872	26.2.2015 19:42	8	67,5	1070	722	0,00446	2524	2,5	82,5	729	602	0,00372	2508	20	35,5	2331	828	0,00512	2558	22,5	32	2717	870	0,00538	2565	55,2	78,3	3,33	4,59	72,5
8873	26.2.2015 19:44	8	67,5	1070	722	0,00446	2524	2,5	82,5	729	602	0,00372	2508	19,5	35,5	2260	802	0,00496	2557	22,5	32	2717	870	0,00538	2565	55,2	78,3	3,33	4,59	72,5
8874	26.2.2015 19:46	8	67,5	1070	722	0,00446	2524	2,5	82	729	598	0,00369	2508	19,5	35,5	2260	802	0,00496	2557	22,5	32	2717	870	0,00538	2565	54,4	78,3	3,33	4,59	72,5
8875	26.2.2015 19:48	8	67,5	1070	722	0,00446	2524	2,5	82	729	598	0,00369	2508	19,5	35,5	2260	802	0,00496	2557	22,5	32,5	2717	883	0,00547	2565	56,6	78,3	3,33	4,59	72,5
8876	26.2.2015 19:50	8	67,5	1070	722	0,00446	2524	2,5	82	729	598	0,00369	2508	19,5	35,5	2260	802	0,00496	2557	22,5	32,5	2717	883	0,00547	2565	56,6	78,3	3,33	4,59	72,5
8877	26.2.2015 19:52	8	68	1070	727	0,00450	2524	2,5	82	729	598	0,00369	2508	19,5	35,5	2260	802	0,00496	2557	22,5	32,5	2717	883	0,00547	2565	54,7	78,3	3,33	4,59	72,5
8878	26.2.2015 19:54	8	68	1070	727	0,00450	2524	2,5	82	729	598	0,00369	2508	19,5	36	2260	814	0,00503	2557	22,5	33	2717	897	0,00555	2565	56,8	78,3	3,33	4,59	72,5
Keskiarvo		5,6	64,9	935	613	0,0038	2517	-0,5	79,8	617	501	0,0031	2500	19,4	35,4	2253	801	0,005	2556	22,6	31,9	2734	875	0,00542	2565	66,59	79,3	3,89	5,30	73,3
Minimi		-9	44,5	309	195	0,0012	2475	-19,5	51,5	131	91	0,0006	2445	16,5	27,5	1871	566	0,0035	2548	21,5	23,5	2557	614	0,00379	2562	44,01	75,9	2,87	4,02	70,3
Maksimi		10	78,5	1224	858	0,0053	2530	5	89,5	870	748	0,0046	2515	26	88	3352	2465	0,0155	2575	30,5	81	4354	2826	0,01785	2588	89,81	91,4	7,00	9,53	84,6

Kohde 2, mittaus 1		Raitis				Poisto	Tulo		Hyötysuhteet	
		ELJ	Ulko	ELJ - ulko	Etulämmitys	Poisto	Tulo	Tulo - 1,5 °C	η_t	$\eta_{t,RLTO=1}$
Mittaus	Aika	T (°C)	T (°C)	T (°C)	W	T (°C)	T (°C)	T (°C)	%	%
1	14.2.2015 12:00	-1	-2	1	0	22,5	22	20,5	91,8	71,9
2	14.2.2015 12:02	-1	-2	1	0	22,5	22	20,5	91,8	71,9
3	14.2.2015 12:04	-1	-2	1	0	22,5	22	20,5	91,8	71,9
4	14.2.2015 12:06	-1	-2	1	0	22,5	22	20,5	91,8	71,9
5	14.2.2015 12:08	-1	-2	1	0	22,5	22	20,5	91,8	71,9
6	14.2.2015 12:10	-1	-2	1	0	22,5	22	20,5	91,8	71,9
7	14.2.2015 12:12	-1	-2	1	0	22	22	20,5	93,8	73,4
8	14.2.2015 12:14	-1	-2	1	0	22	22	20,5	93,8	73,4
9	14.2.2015 12:16	-1	-2	1	0	22	22	20,5	93,8	73,4
10	14.2.2015 12:18	-1	-2	1	0	22	22	20,5	93,8	73,4
11	14.2.2015 12:20	-1	-2	1	0	22	22	20,5	93,8	73,4
12	14.2.2015 12:22	-1	-2	1	0	22	22	20,5	93,8	73,4
13	14.2.2015 12:24	-1	-2	1	0	22	22	20,5	93,8	73,4
14	14.2.2015 12:26	-0,5	-2	1,5	0	22	22	20,5	93,8	73,4
15	14.2.2015 12:28	-0,5	-2	1,5	0	22	22	20,5	93,8	73,4
16	14.2.2015 12:30	-0,5	-2	1,5	0	22	22	20,5	93,8	73,4
17	14.2.2015 12:32	-0,5	-2	1,5	0	22	22	20,5	93,8	73,4
18	14.2.2015 12:34	-0,5	-2	1,5	0	22	22	20,5	93,8	73,4
19	14.2.2015 12:36	-0,5	-2	1,5	0	22	22	20,5	93,8	73,4
8081	25.2.2015 17:20	4,5	3,5	1	0	21	21	19,5	91,4	71,6
8082	25.2.2015 17:22	4,5	3	1,5	0	21	21	19,5	91,7	71,7
8083	25.2.2015 17:24	4,5	3	1,5	0	21	21	19,5	91,7	71,7
8084	25.2.2015 17:26	4,5	3	1,5	0	21	21	19,5	91,7	71,7
8085	25.2.2015 17:28	4,5	3	1,5	0	21	21	19,5	91,7	71,7
8086	25.2.2015 17:30	4,5	3	1,5	0	21	21	19,5	91,7	71,7
8087	25.2.2015 17:32	4,5	3	1,5	0	21	21	19,5	91,7	71,7
8088	25.2.2015 17:34	4,5	3	1,5	0	21	21	19,5	91,7	71,7
8089	25.2.2015 17:36	4,5	3	1,5	0	21	21	19,5	91,7	71,7
8090	25.2.2015 17:38	4,5	3	1,5	0	21	21	19,5	91,7	71,7
8091	25.2.2015 17:40	4,5	3	1,5	0	21	21	19,5	91,7	71,7
8092	25.2.2015 17:42	4,5	3	1,5	0	21	21	19,5	91,7	71,7
8093	25.2.2015 17:44	4,5	3	1,5	0	21	21	19,5	91,7	71,7
8094	25.2.2015 17:46	4,5	3	1,5	0	21	21	19,5	91,7	71,7
8095	25.2.2015 17:48	4,5	3	1,5	0	21	21	19,5	91,7	71,7
8096	25.2.2015 17:50	4,5	3	1,5	0	21	21	19,5	91,7	71,7
8097	25.2.2015 17:52	4,5	3	1,5	0	21	21	19,5	91,7	71,7
8098	25.2.2015 17:54	4,5	3	1,5	0	21	21	19,5	91,7	71,7
8099	25.2.2015 17:56	4,5	3	1,5	0	21	21	19,5	91,7	71,7
8100	25.2.2015 17:58	4,5	3	1,5	0	21	21	19,5	91,7	71,7
8101	25.2.2015 18:00	4,5	3	1,5	0	21	21	19,5	91,7	71,7
Keskiarvo		0,58	-0,74	1,32	7,36	21,92	21,78	20,28	91,5	71,6
Minimi		-20,50	-22,00	0,50	0,00	19,50	15,00	13,50	0,0	0,0
Maksimi		56,50	5,00	68,50	4960,68	38,00	34,00	32,50	96,6	75,6

KOHTEEN 2 LÄMPÖTILA- JA KOSTEUSMITTAUSTULOSTEN KÄSITTELY

LIITE 3/2

Kohde 2, mittaus 2		Jäte						Ulko						Tulo 26 l/s						Poisto 46 l/s						Hyötysuhteet					
		T	φ	p _{hs}	p _h	x	h	T	φ	p _{hs}	p _h	x	h	T	φ	p _{hs}	p _h	x	h	T	φ	p _{hs}	p _h	x	h	η _{tt}	η _{tp}	η _{TRLTO=1}	φ _{LTO}	φ _{poisto}	η _a
Mittaus	Aika	°C	%	Pa	Pa	g/kg k.i.	kJ/kg	°C	%	Pa	Pa	g/kg k.i.	kJ/kg	°C	%	Pa	Pa	g/kg k.i.	kJ/kg	°C	%	Pa	Pa	g/kg k.i.	kJ/kg	%	%	%	kW	kW	%
1	6.3.2015 0:00	12,5	60	1445	867	0,00537	2537	0	80	609	488	0,00301	2501	19,5	25	2260	565	0,00349	2557	21	35,5	2480	880	0,00545	2561	71,6	92,9	72,7	1,34	3,31	52,5
2	6.3.2015 0:01	12,5	60	1445	867	0,00537	2537	0	80	609	488	0,00301	2501	19,5	25	2260	565	0,00349	2557	21	35,5	2480	880	0,00545	2561	71,6	92,9	72,7	1,34	3,31	52,5
3	6.3.2015 0:02	12,5	60,5	1445	874	0,00541	2537	0	80	609	488	0,00301	2501	19,5	25	2260	565	0,00349	2557	21	35,5	2480	880	0,00545	2561	71,6	92,9	72,7	1,34	3,31	52,5
4	6.3.2015 0:03	12,5	60	1445	867	0,00537	2537	0	80	609	488	0,00301	2501	19,5	25	2260	565	0,00349	2557	21	35,5	2480	880	0,00545	2561	71,6	92,9	72,7	1,34	3,31	52,5
5	6.3.2015 0:04	12,5	60,5	1445	874	0,00541	2537	0	80	609	488	0,00301	2501	19,5	25	2260	565	0,00349	2557	21	35,5	2480	880	0,00545	2561	71,6	92,9	72,7	1,34	3,31	52,5
6	6.3.2015 0:05	12,5	60,5	1445	874	0,00541	2537	0	80	609	488	0,00301	2501	19,5	25	2260	565	0,00349	2557	21	35,5	2480	880	0,00545	2561	71,6	92,9	72,7	1,34	3,31	52,5
7	6.3.2015 0:06	12,5	60	1445	867	0,00537	2537	0	80	609	488	0,00301	2501	19,5	25	2260	565	0,00349	2557	21	35,5	2480	880	0,00545	2561	71,6	92,9	72,7	1,34	3,31	52,5
8	6.3.2015 0:07	12,5	60	1445	867	0,00537	2537	0	80	609	488	0,00301	2501	19,5	25	2260	565	0,00349	2557	21	35,5	2480	880	0,00545	2561	71,6	92,9	72,7	1,34	3,31	52,5
9	6.3.2015 0:08	12,5	60,5	1445	874	0,00541	2537	0	80	609	488	0,00301	2501	19,5	25	2260	565	0,00349	2557	21	35,5	2480	880	0,00545	2561	71,6	92,9	72,7	1,34	3,31	52,5
10	6.3.2015 0:09	12,5	60	1445	867	0,00537	2537	0	80	609	488	0,00301	2501	19,5	25	2260	565	0,00349	2557	21	35,5	2480	880	0,00545	2561	71,6	92,9	72,7	1,34	3,31	52,5
10758	13.3.2015 11:17	15	63	1700	1071	0,00665	2544	3,5	73	783	572	0,00353	2511	20,5	23	2404	553	0,00341	2560	23	30	2801	840	0,00520	2567	72,6	87,2	68,2	1,26	3,07	49,3
10759	13.3.2015 11:18	15	62,5	1700	1063	0,00659	2544	3,5	73	783	572	0,00353	2511	20,5	23,5	2404	565	0,00349	2560	23	30	2801	840	0,00520	2567	72,6	87,2	68,2	1,26	3,07	49,3
10760	13.3.2015 11:19	15	62,5	1700	1063	0,00659	2544	3,5	72,5	783	568	0,00350	2511	20,5	23	2404	553	0,00341	2560	23	30	2801	840	0,00520	2567	72,6	87,2	68,2	1,26	3,07	49,3
10761	13.3.2015 11:20	15	62,5	1700	1063	0,00659	2544	3,5	72,5	783	568	0,00350	2511	20,5	23	2404	553	0,00341	2560	23	30	2801	840	0,00520	2567	72,6	87,2	68,2	1,26	3,07	49,3
10762	13.3.2015 11:21	15	63	1700	1071	0,00665	2544	3,5	72,5	783	568	0,00350	2511	20,5	23	2404	553	0,00341	2560	23	30	2801	840	0,00520	2567	72,6	87,2	68,2	1,26	3,07	49,3
10763	13.3.2015 11:22	15	62,5	1700	1063	0,00659	2544	4	72,5	811	588	0,00363	2512	20,5	23	2404	553	0,00341	2560	23	30	2801	840	0,00520	2567	74,5	86,8	68,0	1,26	3,00	49,1
10764	13.3.2015 11:23	15	62,5	1700	1063	0,00659	2544	4	72	811	584	0,00361	2512	20,5	23	2404	553	0,00341	2560	23	30	2801	840	0,00520	2567	74,5	86,8	68,0	1,26	3,00	49,1
10765	13.3.2015 11:24	15	62,5	1700	1063	0,00659	2544	4	72	811	584	0,00361	2512	21	23	2480	570	0,00352	2561	23	30	2801	840	0,00520	2567	74,5	89,5	70,0	1,26	3,00	50,6
10766	13.3.2015 11:25	15	62,5	1700	1063	0,00659	2544	4	71,5	811	580	0,00358	2512	21	23	2480	570	0,00352	2561	23	30	2801	840	0,00520	2567	74,5	89,5	70,0	1,26	3,00	50,6
10767	13.3.2015 11:26	15	62,5	1700	1063	0,00659	2544	4	71,5	811	580	0,00358	2512	20,5	23	2404	553	0,00341	2560	23	30	2801	840	0,00520	2567	74,5	86,8	68,0	1,26	3,00	49,1
10768	13.3.2015 11:27	15	62,5	1700	1063	0,00659	2544	4	71	811	576	0,00356	2512	21	23	2480	570	0,00352	2561	23	30	2801	840	0,00520	2567	74,5	89,5	70,0	1,26	3,00	50,6
10769	13.3.2015 11:28	15	62,5	1700	1063	0,00659	2544	4	70,5	811	572	0,00353	2512	21	23	2480	570	0,00352	2561	23	30	2801	840	0,00520	2567	74,5	89,5	70,0	1,26	3,00	50,6
10770	13.3.2015 11:29	15	62,5	1700	1063	0,00659	2544	4	70,5	811	572	0,00353	2512	21	23	2480	570	0,00352	2561	23	30	2801	840	0,00520	2567	74,5	89,5	70,0	1,26	3,00	50,6
10771	13.3.2015 11:30	15,5	62,5	1756	1097	0,00681	2545	4	70,5	811	572	0,00353	2512	21	23	2480	570	0,00352	2561	23	30	2801	840	0,00520	2567	69,8	89,5	70,0	1,18	3,00	50,6
Keskiarvo		12,5	71,8	1448	1035	0,0064	2537	0,6	82,6	644	528	0,0033	2503	20,2	24,3	2367	571	0,00352	2559	21,8	33,8	2627	889	0,00551	2563	78,0	92,6	72,5	1,48	3,35	52,3
Minimi		9	52,5	1145	785	0,0049	2527	-7	46	361	318	0,002	2481	18,5	13,5	2123	360	0,0022	2554	20,5	23,5	2404	719	0,00445	2560	40,8	66,2	51,8	1,02	2,68	37,4
Maksimi		26,5	96	3452	3262	0,0207	2577	5,5	92,5	901	705	0,0044	2517	28	33	3769	746	0,0046	2581	34	92	5305	4748	0,03058	2598	96,8	97,2	76,1	2,84	6,07	98,6