

Erkki Tuomaala

Tuloilmaviilennys ja eristetyn kanaviston lämpöhäviöt

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikan tutkinto-ohjelma

Insinööriytyö

9.12.2015

Tekijä Otsikko	Erkki Tuomaala Tuloilmaviilennys ja kanaviston lämpöhäviöt
Sivumäärä Aika	56 sivua + 4 liitettä 9.12.2015
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI-suunnittelu
Ohjaaja	yliopettaja Aki Valkeapää
<p>Insinööriyön tavoitteena oli arvioida tuloilmaviilennyksen tehokkuutta ja kanavistoeristeitä. Selvitys tehtiin mittauksin, teoreettisella tarkastelulla ja haastatteluin.</p> <p>Muuttuvat lämmöneristysvaatimukset ovat kasvattaneet rakennusten eristyspakkuuksia ja ulkovaippa on muuttunut huomattavan ilmatiiviiksi. Lämmöntarve on pienentynyt, mutta jäähdystarve suurentunut. Uusissa kerrostalohuoneistoissa ja energiatehokkaissa pientaloissa jäähdystarve on jo usein lämmitystarvetta suurempi ja suurimpia sisäilmaongelmia ovat nykyään kesäkauden yliämpötilat, eli huonelämpötilat, jotka ylittävät lämpötilan maksimiraja-arvot. Tukalan ilman tuntua pienennetään laskemalla sisäilman lämpötilaa tai vähentämällä kosteutta. Pelkkä lämpötilan lasku nostaa suhteellista kosteutta. Kosteuden vaikutusta tukalan ilman tunteeseen ei tunneta.</p> <p>Työssä tarkastellaan tuloilmaviilennyksen tarvetta, laitteita ja tehokkuutta. Tehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä, kuten ilmavirran määrää, kytkentöjä ja osakomponenttivalintoja, käytiin läpi osittain myös teoreettisesti ja laskennallisesti ja laitevalmistajien esimerkein. Tuloilmaviilennyksellä on merkittävä vaikutus sisäilmaan erityisesti kesäisin ja energiatehokkuuteen myös talvella. Tuloilmaviilennyksen vaatimuksena on kondenssieristetty kanavisto. Työssä tarkasteltiin kahta erilaista eristystapaa: perinteinen eristystapa solukumilla ja uudella valmiiksi kondenssi- ja lämpöeristetyllä kanavistolla. Eristyksen merkitystä ja vaikutusta tarkasteltiin ja simuloitiin kesä- ja talviolosuhteissa.</p> <p>Mittauskohteena oli neljä omakotitaloa Turussa, joissa oli tuloilmaviilennys. Kolmen kohteen tuloilmakanavistot oli eristetty villalla ja solukumilla. Yhdessä kohteessa oli tehdaseristetty BetterPipe-kanavisto. Hellejakson mittauksissa keskityttiin kanaviston lämpöhäviöiden ja viilennystehon mittaamiseen. Tyypillisen omakotitalon 100 l/s suuruisella tuloilmavirralla saatiin vuorokaudessa 43 kWh viilennystä. Tehdaseristetyllä kanavalla viilennyksestä 96 % saatiin huoneisiin saakka. Eristetyn kanaviston lämpöhäviöihin kului 4 % saadusta viilennysenergiasta. 47 % viilennysenergiasta kului tulevan ilman kuivaamiseen eli 24 litraa vuorokaudessa ja 53 % lämpötilan pudotukseen. Suhteellisen kosteuden pienenemisellä on merkitystä. 11,5 °C jäähdytetty tuloilma lämpeni 37 metrin tuloilmakanavistossa keskimäärin 0,5 °C. 29 metrin matkallaan viimeiselle venttiilille tuloilman lämpötila oli kohonnut 12,4 °C:seen. BetterPipe-kanaviston lämpöhäviöt olivat korkeimmillaan 2 W/m. Ulkoilman tila oli hellepäivänä 24 °C ja 57 % suhteellista kosteutta eli entalpiaaltaan korkeimmillaan 50 kJ/kg.</p>	
Avainsanat	tuloilmaviilennys, ilmanvaihto, jäähdytys, maakylmä, kanavistoeristys, maalämpö, etulämmitys

Author Title	Erkki Tuomaala Intake air cooling and Heat loss from ventilation duct insulation
Number of Pages Date	56 pages + 4 appendices 9.12.2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC Engineering, Design Orientation
Instructor	Aki Valkeapää, Principal lecturer
<p>The purpose of the Bachelor's thesis was to examine the efficiency of intake-air cooling and ventilation duct insulation. –The study was conducted through measuring, theoretical examination, and interviews.</p> <p>In this study, the need for intake-air cooling, air conditioners, and efficiency are examined. Factors influencing efficiency, such as the quantity of airflow, ducting, and the part components chosen, were studied both theoretically, with the help of calculations, and real through cases. Anti-condensation insulation of ducts is the requirement for intake-air cooling. The work focused on two different ways of insulating: the most common traditional insulation with cellular rubber, and BetterPipe, a new ready-made duct system with anti-condensation and heat insulation. The significance and impact of insulation was studied and simulated both in summer and winter conditions.</p> <p>The measurements were taken in four single-family homes with cooling radiators in their intake-air duct systems. In three of them, the intake-air duct systems were insulated with mineral wool and cellular rubber, and in one the duct system was the BetterPipe spiral duct system insulated with polyurethane. During a period of hot weather, the focus was on measuring the heat loss and cooling efficiency of the duct system. The most examined house with its intake-air flow of 100 l/s achieved 43 kWh cooling in 24 hours. With a factory-insulated duct system, 96 % of the cooling power reached the rooms. Heat loss from the insulated duct system was 4 % of the cooling energy. Of the cooling power, 47 % was used to dry the incoming air - 24 liters per day, while 53 % was used to lower the temperature of this house. Outdoor air was 24 °C and the relative humidity was 57% and the enthalpy was 50kJ/kg. The reduction of relative humidity matters. The decrease of 10 % of relative humidity match up to 2 °C decrease of the temperature. The temperature of the cooled 11.5 °C intake air increased during its passage through the 37 meters of intake-air duct system by an average of 0.5 °C. Over the 29 meters to the last diffuser the temperature of the intake air had risen to 12.4 °C. The maximum heat loss in the cooling power in the BetterPipe duct system was 2W/m.</p> <p>Intake-air cooling and the good insulation has a significant impact on indoor air especially in the summer, and on energy efficiency also in the winter.</p>	
Keywords	intake-air cooling, ventilation, cooling, brine, duct system insulation, geothermal heating, precooling

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Tuloilmaviilennys	3
2.1	Tuloilmaviilennyksen vaikutukset sisäilmaan ja energian kulutukseen	5
2.2	Viilennyspatterin teho	10
2.3	Tuloilmavirta	12
2.4	Viilennyspatterin kytkentä	14
3	Eristetyn kanavan lämpöhäviö	21
3.1	Laskennallinen lämpöhäviö kohteessa A	24
3.2	Lämpö- ja kondenssieristäminen	26
3.2.1	BetterPipe	27
3.2.2	Solukumi	29
4	Mittaukset	30
4.1	Mittauskohteet	30
4.1.1	Kohde A Talo Ilmarinen, Lieto, 2015, 169 m ²	31
4.1.2	Kohde B Talo Hirvensalo, Turku, 2013, 180 m ²	32
4.1.3	Kohde C Talo Länsikeskus, Turku, 2010, 180 m ²	32
4.1.4	Kohde D Talo Ilpoinen, Turku, 2012, 180 m ²	33
4.2	Mittausajankohta	33
4.3	Mittalaitteet	35
5	Tulosten tarkastelu	39
6	Kondenssieristämiseen liittyviä ongelmia	47
7	Johtopäätökset	51
	Lähteet	55
	Liitteet	
	Liite 1. Ilmamäärien mittauspöytäkirja, 10.8.2015, RTC Vahanen Turku Oy	
	Liite 2. Lämpötilamittausten katselmus, 11.8.2015, RTC Vahanen Turku Oy	
	Liite 3. Raitisilma kohteessa A mittauspäivinä 11.8.—12.8.2015	
	Liite 4. Ullakon ilman tila kohteessa A mittauspäivinä 11.8.—12.8.2015	

1 Johdanto

Insinööriyön tavoitteena oli arvioida tuloilmaviilennyksen tarvetta, hyötyjä ja tehokkuutta, sekä edellytyksiä asuntorakentamisessa.

Muuttuvat lämmöneristysvaatimukset ovat kasvattaneet rakennusten eristyspaksuuksia ja ulkovaippa on muuttunut huomattavan ilmatiiviiksi. Asuinhuoneeseen kertynyttä lämpöä siirtyy vähemmän ulos johtumalla ja vuotoilmavirtojen kautta. Lämmöntarve on pienentynyt, mutta jäähdytystarve suurentunut (1). Uusissa kerrostalohuoneistoissa ja energiatehokkaissa pientaloissa jäähdytystarve on jo usein lämmitystarvetta suurempi. Asuinrakennusten suurimpia sisäilmaongelmia ovat nykyään kesäkauden yllämpötilat, eli lämpötilat, jotka ylittävät raja-arvot (2).

Tukalan tuntua pienennetään laskemalla sisäilman lämpötilaa tai vähentämällä kosteutta. Kuivaamalla ilmaa, eli keräämällä ilmassa olevaa kosteutta pois, ilmassa olevan veden määrä vähenee. Jos jäähdytettäessä ainoastaan lasketaan ilman lämpötilaa esimerkiksi seinä-, lattia- tai kattopintoja viilentämällä, kasvatetaan suhteellista kosteutta huoneessa. Auringonsäteilyn ja asumisen tuomaa lämpöä yritetään siirtää ilmaa vaihtamalla ulos. Ilman tuloilman viilennystä helteellä ulkoa sisään otettava raitisilma tuo mukanaan ulkoa kosteutta ja lämmintä ilmaa. Raitisilma myös lämpenee puhaltimissa ja kanavissa matkallaan huoneeseen. Ratkaisu ei ole ilmanvaihdon pienentäminen, koska hiilidioksidi ja ilman epäpuhtaudet kasvavat.

Asuinhuoneiden korkeat sisälämpötilat on havaittu ja tiedostettu. Ilmanvaihtokonevalmistajat ovat julkaisseet tänä vuonna uusia ilmanvaihtokoneiden ohjausjärjestelmiä ja uusia kanavistoon asennettavia viilennyspattereita. Ohjausjärjestelmillä mahdollistetaan portaattomasti säätyvä tuloilmaviilennys. Ilmanvaihtokoneelta kanavien kautta tulevalle lämmitys- tai jäähdytysteholla on havaittavampi ja suurempi vaikutus huoneilmaan, kun ulkovaipan eristys on kasvanut.

Tuloilmaviilennyksen tehoa ja vaikutusta ei usein tunneta. Ratkaisun tehokasta toimivuutta epäillään toisinaan myös huoneeseen tulevan alilämpöisen ilman aiheuttaman vedontunteen ja kanavien kondenssieristyksen takia. Kosteuden vaikutusta tukalan tunteeseen ei tunneta, vaikka ilman lämpösisältö voidaankin lukea suunnittelijoiden usein käyttämältä Mollier-käyrästä.

Hyvin eristetty kanavisto ja jäähdyttävä patteri ovat tärkeimmät edellytykset tuloilmaviilennykselle. Tyypillisimmin patterille tuodaan kylmää nestettä maalämpökaivosta, passiivipiiristä tai kylmävesipiiristä. Kanavisto tulee kondenssieristää lämpöeristyksen lisäksi estämään helteellä ilmasta kanavan ulkopintaan tiivistyvä kosteus. Koko ilmanvaihtojärjestelmän hyötysuhteeseen vaikuttaa hyvän ilmanvaihtokoneen hyötysuhteen lisäksi kanaviston energiahäviöt. Eristämisen puutteiden vaikutuksia ei ole kartoitettu. Ilmanvaihdon osuus rakennuksen energiankulutuksesta on tällä hetkellä 30–40 % (3; 4). Hyvä kanavistoeristäminen luo edellytyksiä energiatehokkaammalle ilman jäähdytykselle, viilennykselle ja lämmitykselle.

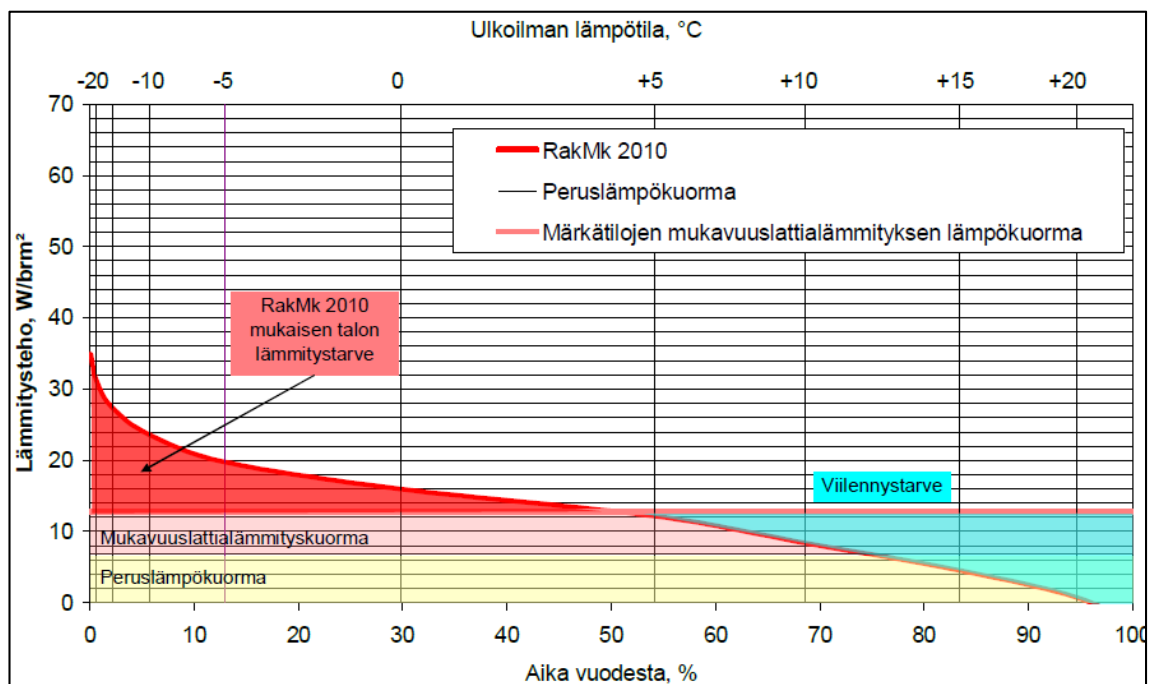
Töissä, autossa ja kaupassa meillä on viilennys tai jäähdytys, mutta usein kotona ei mitään, millä viilentää hellepäivinä. Mukavuudenhalu sekä tietoisuus riittävän ilmanvaihdon vaikutuksista terveyteen ja virkeyteen lisäävät kiinnostusta ilmanvaihdon kautta tapahtuvaan viilennykseen ja kuivaamiseen.

Mittauskohteena oli neljä omakotitaloa Turussa, joiden tuloilmakanavistossa oli viilennyspatteri. Kolmen kohteen tuloilmakanavistot oli eristetty villalla ja solukumilla. Yhden kohteen kanavistona oli polyuretaanilla eristetty BetterPipe-kierresaumakanavisto.

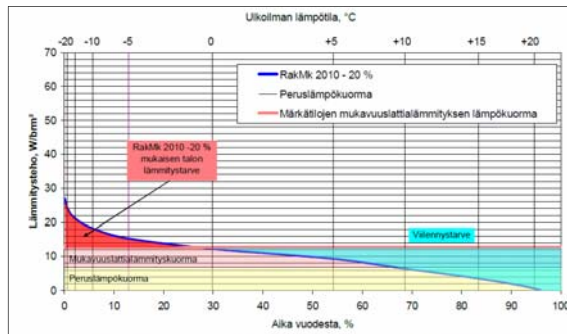
2 Tuloilma viilennys

Kun huoneiston tuloilmaa jäähdytetään, kutsutaan jäähdytystä tuloilma viilennykseksi. Jäähdytystarve on suurentunut ja lämmöntarve pienentynyt, kun ulkovaipan eristys- ja tiiveysvaatimukset ovat kasvaneet. Asuinhuoneeseen kertynyttä lämpöä ei enää siirry yhtä paljon kuin aiemmin rakenteista ulos johtamalla ja vuotoilmavirtojen kautta. Uusissa kerrostalohuoneistoissa jäähdytystarve on usein lämmitystarvetta suurempi. Pientaloissa on sama suuntaus(1). Asuinrakennusten suurimpia sisäilmaongelmia ovat nykyään kesäkauden yllämpötilat, eli lämpötilat jotka ylittävät rakentamismääräysten huonelämpötilojen maksimiarvot. Esimerkiksi televisio ja kotisohvalla istuvat neljä katsojaa saavat uusissa kerrostaloissa huonelämpötilan kasvamaan.

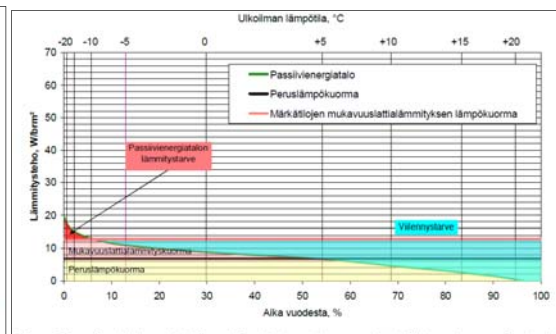
VTT on tutkinut ja tarkastellut viilennystarpeen kasvua tutkimuksissaan Passiiviennergia-talo harkoista (VTT-R-08496-09) (5) ja viimeksi vuonna 2014 Energiatehokkaan pientalon ilmanvaihto-opas (VTT-S-04674-14) (6).



Kuva 1. Suomen rakentamismääräysten vuoden 2010 minimitason mukaisen VTT:n tutkiman mallitalon lämmitys- ja viilennystarve (5).



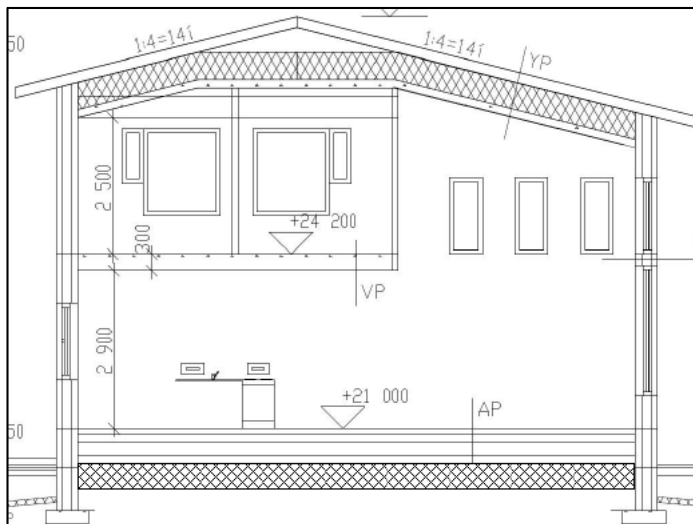
Kuva 24. Rakentamismääräysten RakMk kiristyessä 20 % vuoden 2010 määräystasosta talon lämmöntarve pienenee edelleen verrattuna RakMk 2010 taloon. Lämmitystarvetta on enää neljännes vuodesta ja viilennystarvetta on suurimman osan aikaa. Märkätilöiden mukavuuslattialämmitys aiheuttaa tarpeetonta energiankulutusta ja viilennystarvetta pakkaskauden ulkopuolella.



Kuva 25. Passiivitalossa lämmitystarvetta on vain 5 %:n ajan vuodesta ja viilennystarvetta lähes jatkuvasti eli 95 %:n ajan vuodesta. Märkätilöiden mukavuuslattialämmitys aiheuttaa tarpeetonta energiankulutusta lähes koko vuoden ajan ja lisää viilennystarpeen lähes ympärivuotiseksi. Viilennys voidaan hoitaa lähes kokonaan ilman lisäviilennystä ilmanvaihdonlämmityksellä käyttämällä ulkoilmaa viilennykseen. Tämä onnistuu kesälläkin yötaikan.

Kuvat 2 ja 3. Viilennystarve ja jäähdytystarve, kun määräykset kiristyvät vuoden 2010 tasosta 20 % (vasen kuva) ja kun rakennetaan passiivitalo (5).

Kuvissa 1, 2 ja 3 ovat VTT:n tutkiman esimerkkitalon viilennystarve ja jäähdytystarve. Jo vuoden 2010 minimieristysvaatimuksilla viilennystarve on yhtä suuri kuin lämmitystarve, kun otetaan huomioon kosteiden tilojen lattialämmitys ja asumisen tuottama lämpökuorma. Kuvissa näkyvä alue 'mukavuuslattialämmityskuorma' on laskettu kesä-aikaisen kosteiden tilojen laattalattioiden lämmityksestä ja 'peruslämpökuorma' asumisesta ja kodin tyypillisistä sähkölaitteista. Sininen alue – jäähdytystarve – voidaan ratkaista tuloilmaviilennyksellä.



Kuva 4. VTT:n passiivitalo-tutkimuksen huoneistoalaltaan 166 m²:n laskentakohde (5).

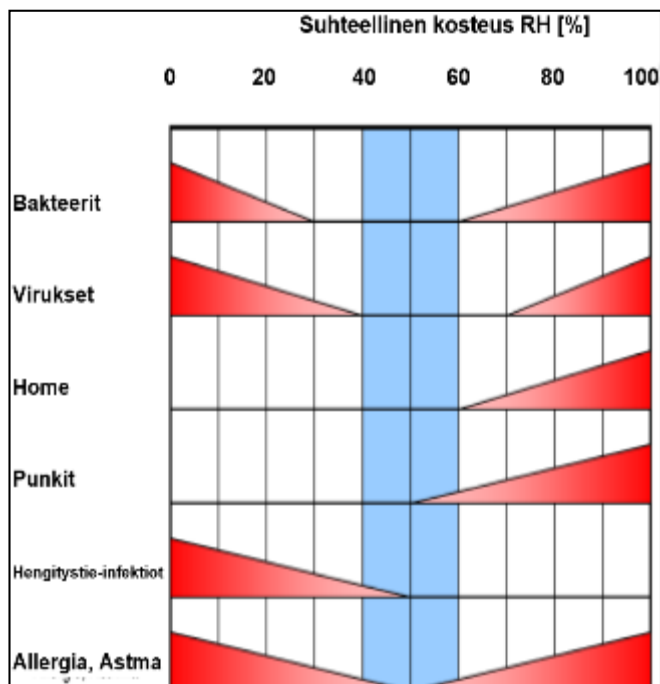
VTT:n tutkimuksessa saatiin kuvassa 4 näkyvän passiivitalon laskennalliseksi lämpöhäviötehoksi -32 °C :ssa vain 3,3 kW (5). Samankokoista taloa Turussa viilennettäessä saatiin 2,2 kW viilennystehoa ja 43 kW jäähdytysenergiaa. Ilmavirta viilennyskohteessa oli 100 l/s ja ulkoilman lämpösisältö oli tuona hellepäivänä korkeimmillaan 50 kJ/kg k.i.

Tavallisella suunnittelulla ilmavirrat huomioiden päästään äänitasovaatimukset täyttävään viilennykseen 28 dB(A) makuuhuoneissa ja 33 dB(A) olohuoneessa. Puhallinkonvektorit tuottavat ääntä pienimmälläkin tehoasetuksella 35–40 dB(A) 3 metrin päästä mitattuna tavallisessa huoneessa. 40 dB(A) on kuiskauksen voimakkuus 1 metrin päässä korvasta (7). Tyypillisesti konvektori aiheuttaa suurimmalla puhallinnopeudella huoneeseen 55–60 dB(A):n melun. 60dB (A) on puheen voimakkuus 1 metrin päässä korvasta (7).

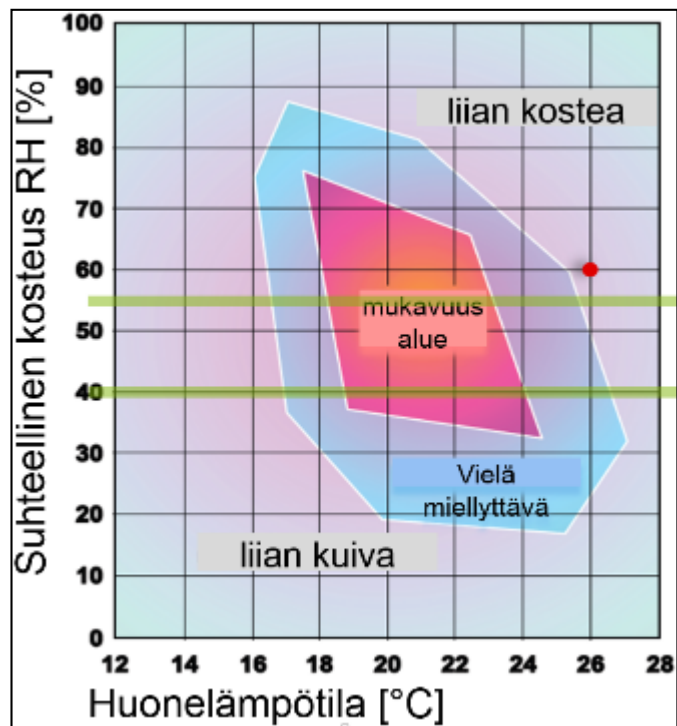
Kanavistoviilennys ei vaadi sisätiloihin visuaalisesti tai rakenteellisesti vaikeasti sijoitettavia sisäyksiköitä. Viilennys saadaan myös jokaiseen huoneeseen ja kerrokseen vaikka ovet olisivat kiinni. Jos kylmää otetaan maasta tai kalliosta, käyttäjälle ei aiheudu kompressorin, puhaltimen tai lisääntyneen elektroniikan korjauskustannuksia ja vaivaa.

2.1 Tuloilmaviilennyksen vaikutukset sisäilmaan ja energian kulutukseen

Tiedetään, että sisäilman suhteellisen kosteuden (RH:n) tulisi olla 40–60 % (kuva 5). Ideaali kosteus sisäilmalle on 50 %. Suhteellisen kosteuden merkitystä huoneilman viihtyvyyteen kesällä ei ole Suomessa tutkittu merkittävästi. Kosteuden vaikutus helteellä tunnistetaan, mutta saatavilla ei ole Suomessa tyypillisesti muuta tietoa kuin Mollier-käyrästön lämpösisältöasteikko.

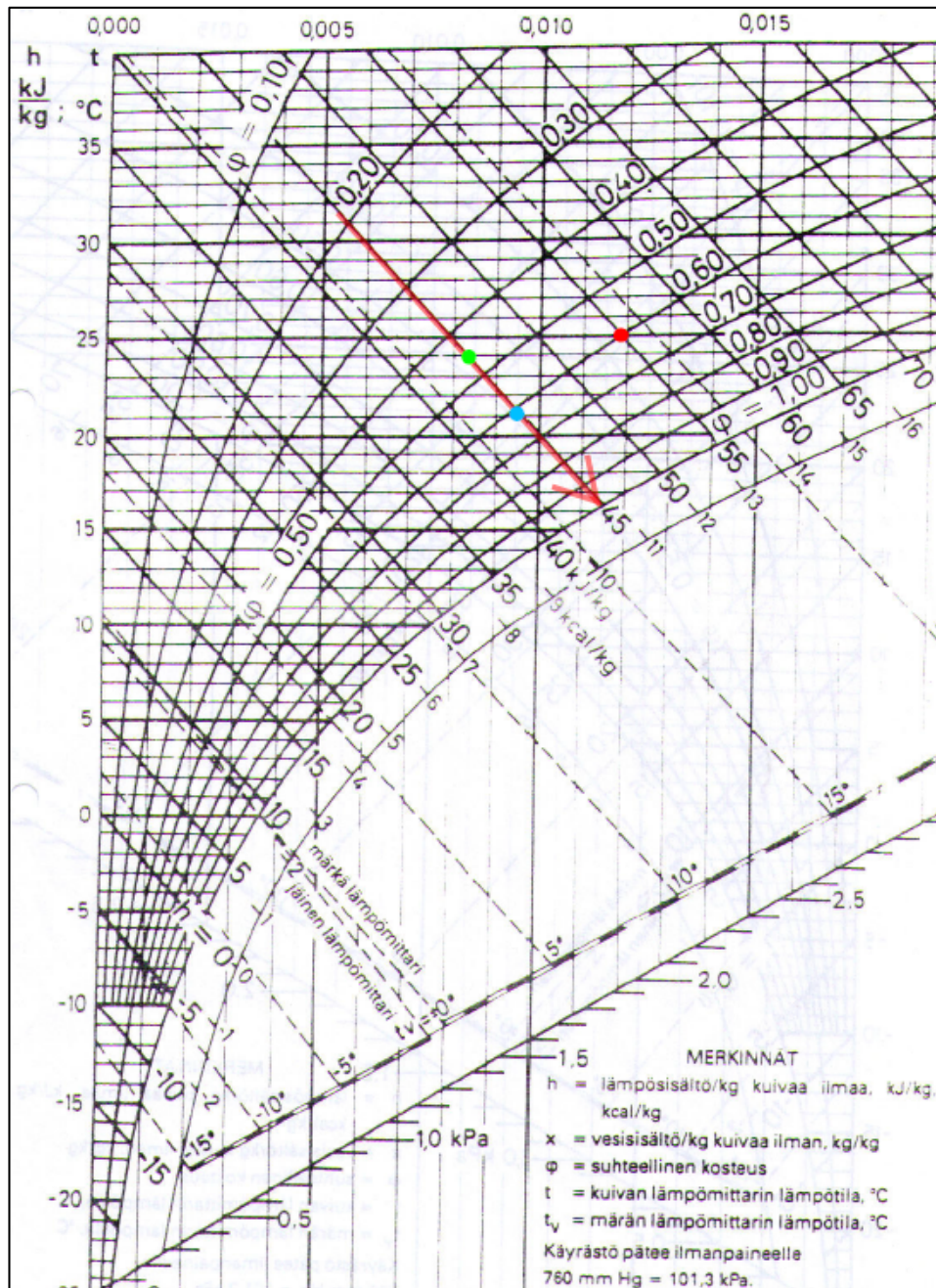


Kuva 5. Suhteellisen kosteuden vaikutuksia rakenteelle ja ihmiselle (8, muokattu).



Kuva 6. Sisäilman tavoitealue (8).

Kuvat 5 ja 6 ovat suomennoksia lähteestä 8. Kuvaan 6 on lisätty suhteellisen kosteuden RH40 % ja RH55 % rajaamat vihreät viivat. Huoneeseen tulevan ilman kuivaamisella ei tuoda ulkoa huoneistoon lisää kosteuskuormaa. Viileän tunnun aikaansaamiseksi lämpötilaa joudutaan pudottamaan vähemmän.



Kuva 7. Mollier-käyrästä.

Suhteellisen kosteuden RH:n 15 %:n pudottaminen tuntuu noin 3 °C viileämmältä kesähelteellä. Mollier-käyrästä nähdään, että ulkoilman tilasta RH60 % / 25 °C (punainen piste kuvassa 7) siirryttäessä tilaan RH45 % / 24 °C (vihreä piste) ilma on noin 4 g kilogrammaa ilmaa kohden kuivempaa. Vesisisältö on laskenut tällöin 12 grammasta arvoon 8 g/kg. Tuloilmavirralltaan 100 litraa sekunnissa olevassa talossa kondensoitunut vesimäärä (kuivausteho) on tällöin yli litran tunnissa. Lämpösisällöltään kuivattu lämpimämpi ilma RH45 % / 24 °C vastaa tuntemuksena kosteampaa kylmempää ilmaa RH60 % / 21 °C (sininen piste), jossa lämpötila on 3 astetta alempi.

Maakylmällä viilentäminen on edullinen ja energiatehokas tapa viilentää. Viilentämällä ladataan kaivoa talvea varten. Noin asteen lämpimämpi maapiirineste saa aikaan 3 % paremman maalämpöpumpun hyötysuhteen. Lataamisesta saatu hyöty painottuu syksyyn ja alkutalveen, jolloin saadaan lämpöä paremmalla hyötysuhteella. Hyötyä saadaan myös kesällä käyttöveden tuoton hyötysuhteen paranemisesta. Kiertovesipumpun kustannus ei tule siis käytännössä maksettavaksi. Porakaivot jäätyvät noin asteen verran ensimmäisenä kymmenenä vuotena (9). Porakaivon pitkäaikaisjäähdytymä on suoraan verrannollinen siitä otettuun energiamäärään (10). Viilentämällä pitkäaikaisjäähdytymä pienenee. Latauksesta saatavan hyödyn arviointia pyysin Geologian tutkimuskeskukselta. Tavallisen omakotitalon kaivon lämpötilan nousuksi arvioitiin 10 vuoden aikana 0,25-0,5°C otettaessa kaivosta viilennystehoa kesäisin kahden kuukauden ajan (1 500 kWh/ kk) (11).

Tuloilmaa voidaan viilentää

- kanavassa olevalla maakylmä-viilennyspatterilla
 - ohjaus ilmanvaihtokoneelta tai termostaatilla tai kytkimellä
- ilmanvaihtokoneen sisäänrakennetulla maakylmäviilennyspatterilla
- ilmanvaihtokoneen sisäänrakennetulla lämpöpumpulla
- ilmanvaihtokoneeseen sisäiseen patteriin kytketyllä ulkoisella lämpöpumpulla

Yleisin tapa on viilentää ilmanvaihtokoneen ulkopuolisella viilennyspatterilla (kuvat 8 ja 9). Kylmää otetaan patterille yleisimmin lämpökaivosta. Kylmää voidaan ottaa myös passiivipiiristä eli esimerkiksi saviseen pohjakaivantoon asennetusta muoviputkesta. Tuloilmaviilennyslaitteita on saatavissa useammalta valmistajalta. Viilennetyt tuloilman lämpötilasäädön ohjausautomaatiikka puuttuu kuitenkin vielä osasta markkinoilla olevista koneista. Osaan ilmanvaihtokoneista 3-tieventtiilillä säätävä automaatiikka on tullut vuonna 2015. Mitatuissa kohteissa A, B ja D oli kanavassa oleva maakylmä-viilennyspatteri, jolle kylmä otettiin lämpökaivosta. Kohteen C ilmanvaihtokoneessa oli lämpöpumppu eli kompressorilla toimiva jäähdytysyksikkö.



Kuvat 8 ja 9. Ilmanvaihtokoneen ohjauksella lämpötilaa säätävä viilennyspatterikytkentä. Kanavapatterina Swegon Casa \varnothing 250 mm, joka oli mittauskohteessa B. Oikealla kanavapatteri Swegon Casa etulevy avattuna.



Kuvat 10 ja 11. Viilennyspatterit Vallox MLV200, Veab CWK 250, Vallox MLV250, Swegon Casa 250. Kohteessa D oli viilennyspatterina Veab CWK 315.

Kuvissa 10 ja 11 näkyvät kolme oikeanpuoleista patteria ovat kanavakokoa 250 mm ja vasemmanpuoleisin sekä kuvan 9 patteri ovat kokoa 200 mm. Suuremmalla viilennys-

patterilla on merkittävät edut. Tuloilmakanaviston painehäviö pienenee, mikä mahdollistaa suuremman tuloilmavirran. Kuivausteho lisääntyy suhteessa kokonaisviilennystehoon. Nestepuolen painehäviö pienenee ja saatu virtaama ja viilennysteho suurenevät. Esimerkiksi patterien Veab CWK 250 ja Vallox MLV 250 painehäviöt ovat noin 20 kPa virtaamalla 0,2 l/s. Patterien kytkentäputket ovat 22 mm ja 18 mm kuparia. Ilmapuolen painehäviö virtaamalla 100 l/s on Veab 250 -patterilla 7 Pa, Vallox 250 -patterilla 31 Pa, Swegon Casa -patterilla 25 Pa. Valloxin patterin painehäviössä on mukana etulämmitykseen tarkoitettu suodatin, jonka pois ottaminen tuloilmakanavaan asennettaessa vähentää painehäviötä arvosta 31 Pa.



Kuvat 12 ja 13. Viilennyspatteri Iloxair $\varnothing 200$, kohteessa A. Kuva 13 on saksalaisesta harvemmin Suomessa nähdystä viilennyspatterista, jossa on kiertovesipumppu ja varusteet patterikotelon sisäpuolella.

2.2 Viilennyspatterin teho

Viilennystehon arviointiin on ilmanvaihtokonevalmistajilla ja patterivalmistajilla käyrästäjä. Veabin valmistamaan CWK-viilennyspatteriin on internetistä valmistajan sivuilta ladattavissa oleva laskentaohjelma – Veab Selection Software. Viilennyspatterien tehoa laskettaessa tulee huomioida kosteuden tiivistyminen viilennyspatterissa. Tehon laskenta perustuu entalpiamuutokseen eli lämpösisältömuutokseen, joka ottaa huomioon lämpötilan ja kosteuden tiivistymisen (kaava 1).

$$\phi_{\text{ilma}} = \rho_{\text{ilma}} \cdot Q_V \cdot (h_2 - h_1) \quad (\text{Kaava 1})$$

ϕ on ilman entalpiamuutokseen tarvittava teho [W]

ρ_{ilma} on ilman tiheys [kg/m^3]

q_v on ilmavirta [m^3/s]

h_1 on entalpia ennen patteria [kJ/kg]

h_2 on entalpia patterin jälkeen [kJ/kg]

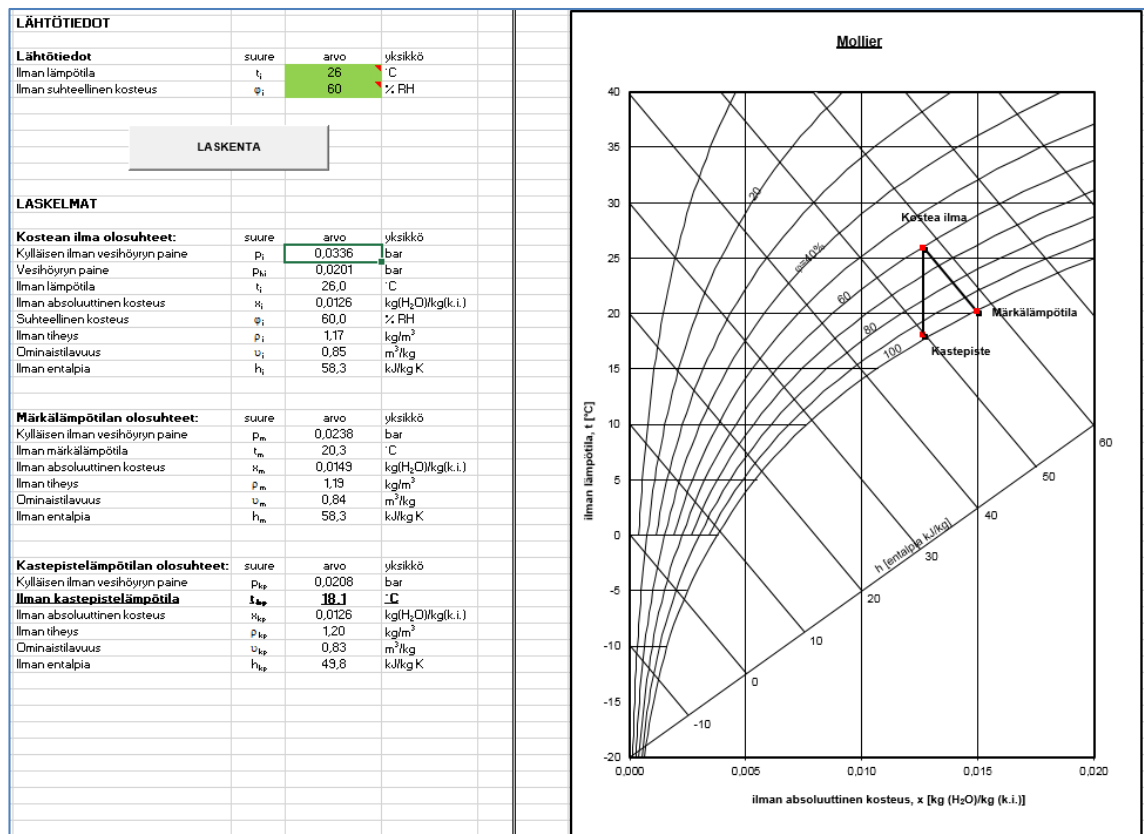
Ilman entalpia ennen ja jälkeen viilennyspatterin voidaan laskea, kun mitataan ilman lämpötila ja kosteus. Ilman entalpia lasketaan kaavalla 2.

$$h = 1,006t + x(2501 + 1,85t) \text{ [kJ/kg } ^\circ\text{C]} \quad (\text{Kaava 2})$$

t on ilman lämpötila [$^\circ\text{C}$]

x on absoluuttinen kosteus [g/m^3]

Absoluuttinen kosteus laskettiin EVTEK:n aiemman opiskelijan Samuli Korven tekemien excel-laskentakaavojen pohjalta. Kaavat muutettiin mittauksista saadun tallennetun mittaustiedon taulukkoon sopivaksi. Kaavoilla muutettiin mitattu suhteellinen kosteus ja lämpötila absoluuttiseksi kosteudeksi. (Kuva 14)



Kuva 14. Laskentatiedoston pää näkymä (Samuli Korpi).

Ilmavirrasta laskettuja tehoarvoja tarkistettiin mittaamalla maalämpönesteen lämpenemistä ja virtaamaa kaavalla 3.

$$\phi = \rho \cdot q_v \cdot c_p \cdot \Delta t \quad (\text{Kaava 3})$$

ρ on tiheys [kg/m³]

q_v on tilavuusvirta [m³/s]

c_p on ominaislämpökapasiteetti [kJ/kg°C]

Δt on meno- ja paluulämpötilan ero [°C]

2.3 Tuloilmavirta

Ilmavirran määrä vaikuttaa lähes suoraan viilennystehoon. Ilmanvaihtosuunnitelmat ovat usein lähellä Suomen Rakentamismääräyskokoelman (2) ohjearvoja – yhden hengen pienissä makuuhuoneissa tuloilman mitoitus on tällöin 6 litraa sekunnissa 30 %:n tehostusvaralla ja kahden hengen makuuhuoneissa 12 l/s tehostusvaralla. Tämän yleisen 6 litraa/henkilö-mitoituksen pitäisi pitää hiilidioksidimäärän huoneessa alle 0,12 %:ssa eli alle 1200 ppm. Kohteessa C mitattiin hiilidioksidipitoisuutta ja tuloilmavirtaa tarvittiin henkilöä kohden 7,5 l/s hiilidioksidipitoisuuden pitämiseksi alle 1200 ppm:ssä (kuvat 15 ja 16). Hyvään hengitysilmaan (700–900 ppm) tarvitaan huomattavasti suurempi ilmanvaihto (12). Työpaikoille suunnitellaan yleensä koteja suurempi ilmanvaihto. Työpaikoilla sairauspoissaolot vähenevät ja tuottavuus lisääntyy, kun ilmavirta kasvaa 25 litraan saakka (13). Samoin paranee ihmisen virkeys kotona. Työpaikkojen tuloilmavirrat ovat tyypillisesti 10–15 l/s henkilöä kohti, kun kodeissa ilmavirta on tyypillisesti 8 l/s kaiken tehostusvaran ollessa käytössä.

Jos kotiin valitaan sisäilmaluokituksen keskimmäisen tason S2 tavoitearvo, hiilidioksidipitoisuus pyritään pitämään alle 0,09 % (12). Tällöin makuuhuoneeseen, jossa on ovi kiinni, tarvitaan 10 litraa sekunnissa henkilöä kohden (kaava 4) (13). Parhaaseen luokkaan pääseminen edellyttää makuuhuoneeseen 14 litraa henkilöä kohden. Vastaavasti toimistojen suunnittelu perustuu usein sisäilmaluokkiin S2 tai parhaaseen luokkaan S1 ja tuloilmavirraksi mitoitetaan 11–16 l/s henkilöä kohden (14).

$$q_{\text{tulo}} = \frac{G_{\text{CO}_2}}{C_{\text{max}} - C_{\text{tulo}}} \quad (\text{Kaava 4})$$

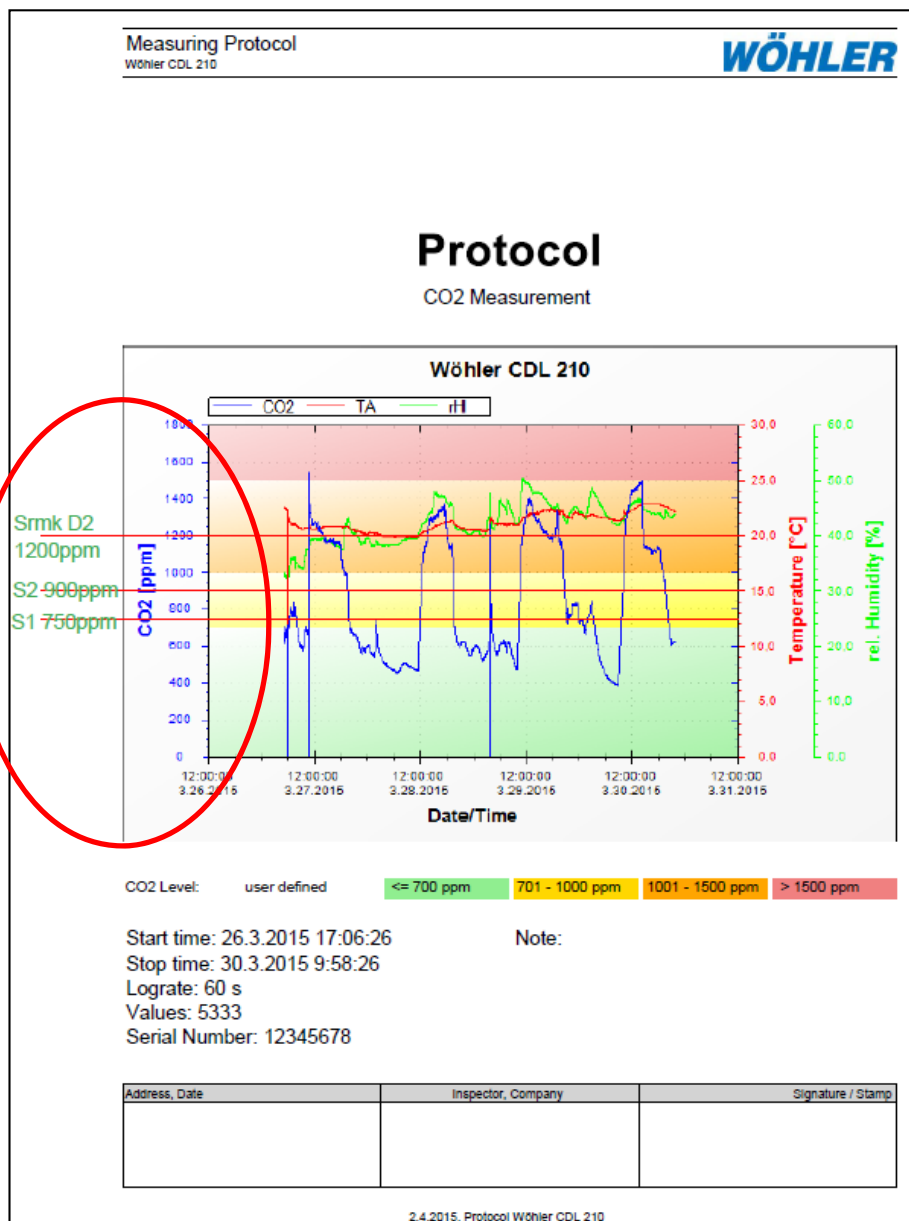
q_{tulo} on tarvittava tuloilmavirta [l/s]

G_{CO_2} on ihmisen tuottama hiilidioksidivirta [cm^3/s], esim. levossa $5,4 \text{ cm}^3/\text{s}$

C_{max} on hiilidioksidipitoisuuden maksimi huonetilassa, esim. S2 900 ppm (0,09 %)

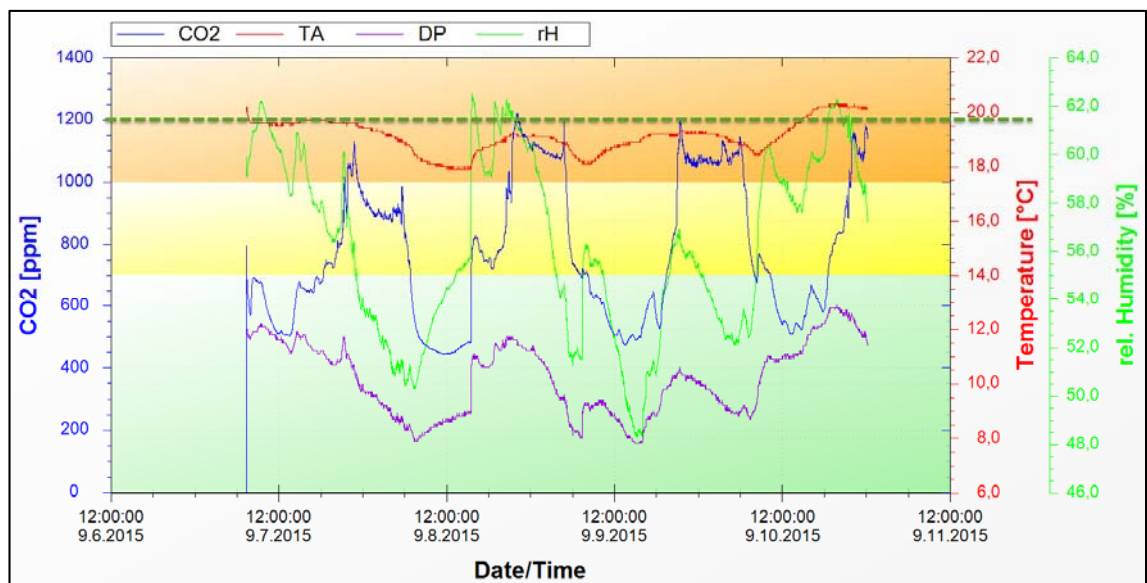
C_{tulo} on ulkoilman hiilidioksidipitoisuus [ppm], 380 ppm (0,038 %)

Toimistoissa vietetään aikaa vähemmän kuin kotona. Ihminen viettää ajastaan 60 % kotona ja 30 % muualla sisätiloissa. Muualla sisäilma on usein parempaa kuin kotona makuuhuoneessa. Ilmavirtaa lisäämällä esimerkiksi lasten astman esiintyvyys vähenee.



Kuva 15. Tuloste hiilidioksidin mittalaitteesta 2.4.2015 kohteesta C. Makuuhuoneessa oli takaseinälle suunnattu tuloilmavirta 12 l/s ja ovi oli auki. Huoneessa nukkui 2 aikuista ja 1- ja 3-vuotiaat lapset.

Kuvan makuuhuoneessa hiilidioksidipitoisuus (sininen käyrä kuvassa 15) ylitti rakentamismääräyskokoelman ohjearvon (2) raja-arvon 1200 ppm (0,12 %) (ympyröity kuvassa punaisella), vaikka ovi oli auki. Jos ovi ei olisi ollut auki ja lapset eivät olisi nukkuneet huoneessa, mittaustulokset olisivat olleet laskennallisesti noin 10 % paremmat. Silti hyvään hengitysilmaan (700–900 ppm) (12) oli vielä matkaa 8 litraa sekunnissa eli ilmavirtaa piti saada 67 % enemmän ja lasten piti siirtyä nukkumaan toiseen huoneeseen. Ilmavirtoja lisättiin makuuhuoneisiin laittamalla toinen ilmanvaihtokone palvelemaan kellarissa olevia tiloja.



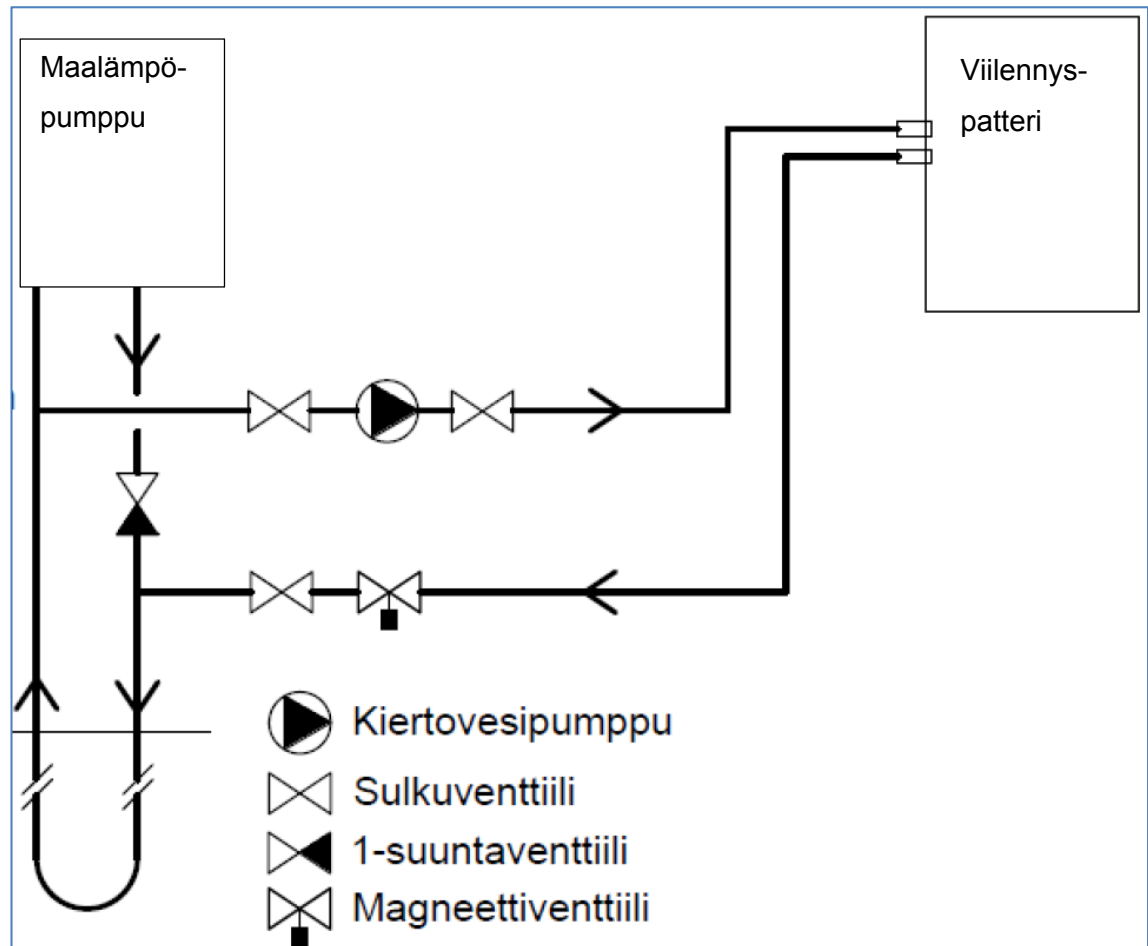
Kuva 16. Sisäilman laatu samasta huoneesta, kun ilmavirtaa oli lisätty arvoon 7,5 l/s aikuista kohden. Hiilidioksidipitoisuuden kuvaaja on sininen käyrä.

Kuvan 16 lisätyn ilmanvaihdon tilanteessa vain vanhemmat nukkuivat huoneessa oven ollessa kiinni. Vaikka ilmavirtana olivat tyypilliset jo tehostetut arvot, hiilidioksidipitoisuus oli juuri ja juuri alle rakentamismääräysten raja-arvon.

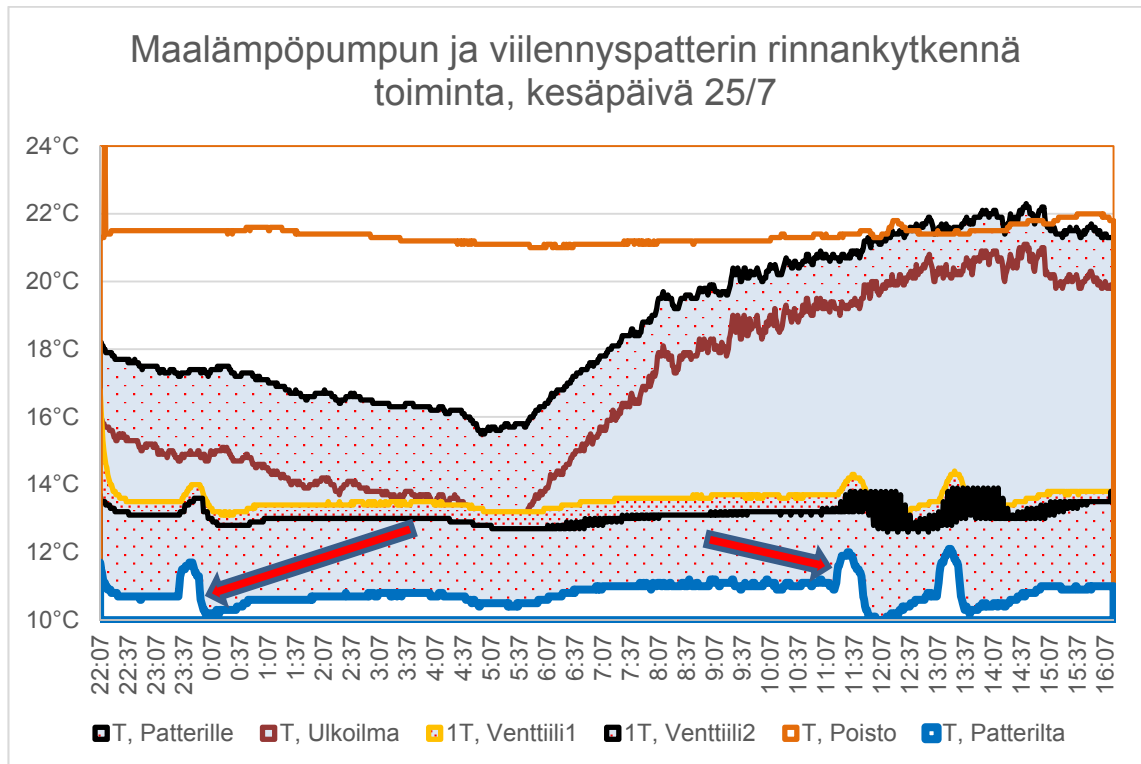
2.4 Viilennyspatterin kytkentä

Suurin mitattu viilennysteho saatiin kohteessa, joissa viilennyspatteri oli kytketty maalämpöpumpun rinnalle. Kuvan 17 rinnankytketyssä viilennyspatterissa on menoputkesta ja paluuputkesta otettu haarat viilennyspatterille. Viilennyspatterin pumppu ei tällöin joudu kierrättämään etanolia maalämpöpumpun vaihtimen, pumpun, jne. kautta, jotka

pienentävät virtaamaa ja viilennystehoa. Maalämpöpumpun kiertonestepumpun ei tarvitse käynnistyä viilennistarpeen tullessa. Viilennyspatterille menevän kierron magneettiventtiili voidaan korvata usein yksisuuntaventtiilillä.

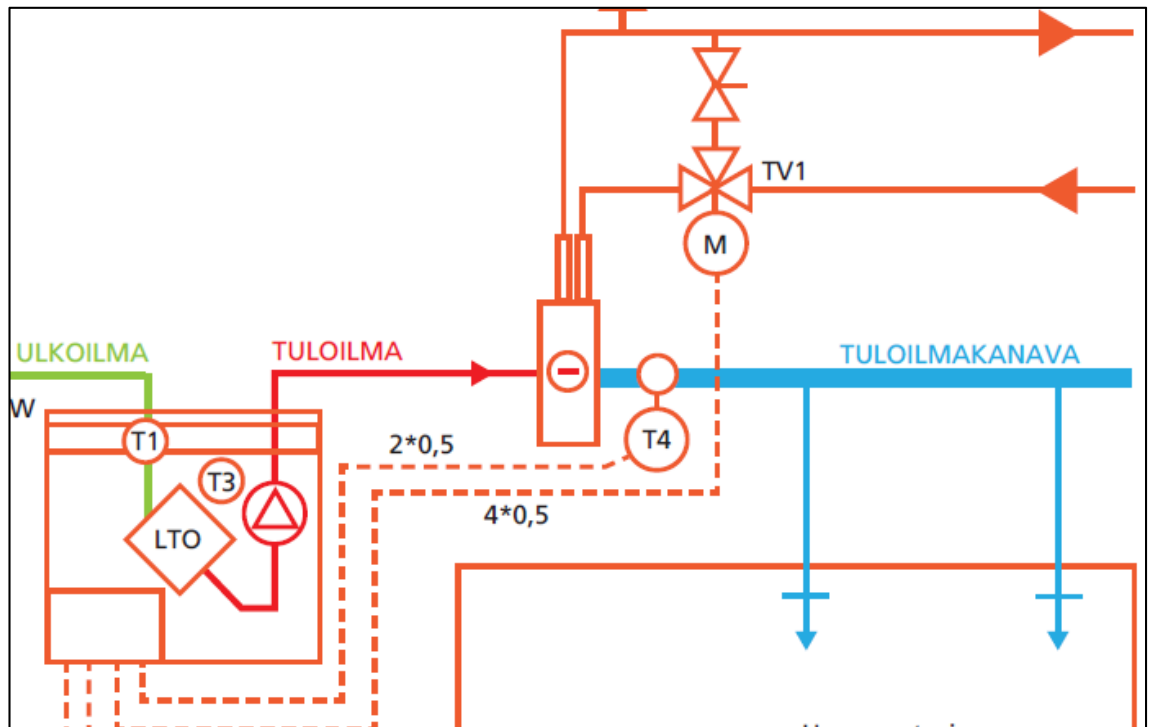


Kuva 17. Viilennyspatterin yksinkertainen kytkentä rinnakkain maalämpöpumpun kanssa (lähde: Iloxair).



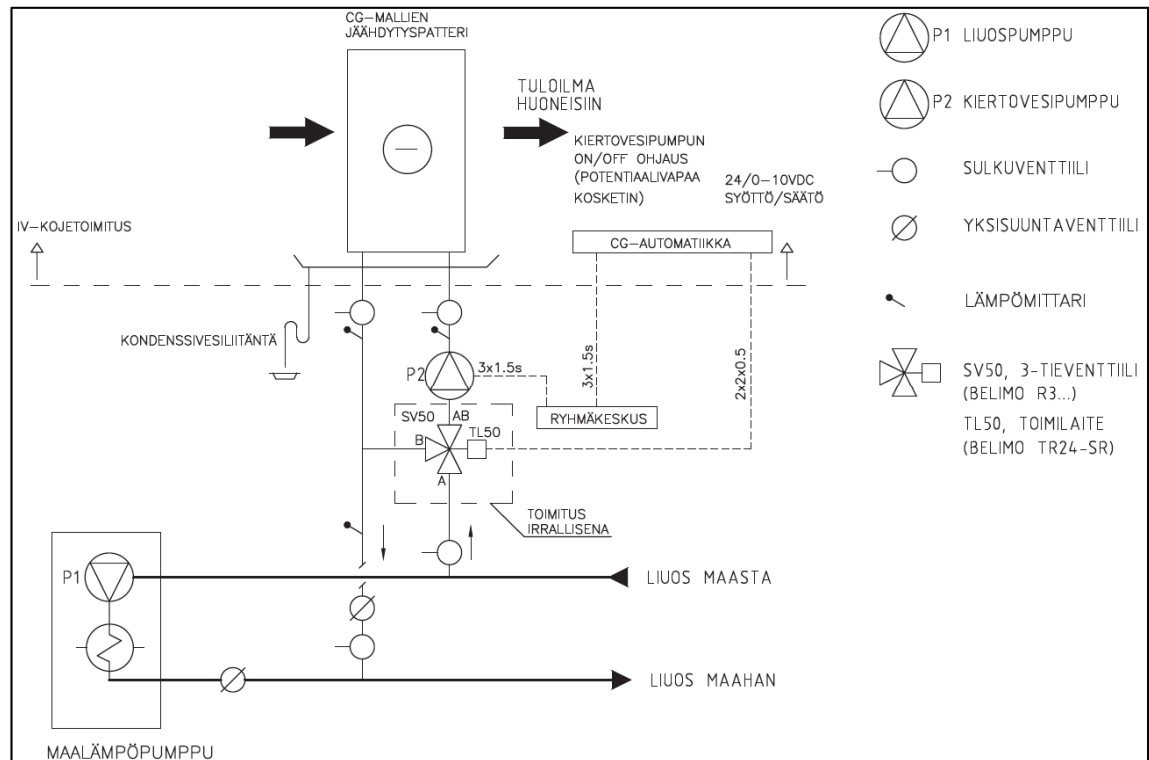
Kuva 18. Viilennyspatterin rinnankytkennän toiminta kohteessa B. Sininen alue kuvaa viilennyksen aikaansaamaa lämpötilan laskua. Punaisella pisteytetty sininen alue kuvaa ilmanvaihtokoneella ja kanavistossa tapahtuvaa lämpenemistä.

Kun maalämpöpumppu käynnistyi kohteessa B tuottamaan käyttövettä, heikomman kiertovesipumpun (viilennyskierto) virtaus hidastui. Käynnistymisen aiheuttama tuloilman lämpötilan nousu ja lasku ovat merkitty kuvaan 18 punaisella nuolilla. Tuloilmakanavan lämpötila nousi maalämpöpumpun käynnistytessä. Kuitenkin pumpun sammuttua jälleen neste oli kylmempää, ja siten maalämpöpumpun käyntijaksot eivät vähentäneet viilennystehoa.



Kuva 19. Tuloilmaviilennyspatterin kytkentä säädettyä tuloilman lämpötilaa nestevirtausta muuttamalla. Kolmitieventtiili, toimilaite ja tuloilmakanavaan asennettava lämpötila-anturi kuuluvat viilennyspatterin toimitussisältöön (lähde: Swegon).

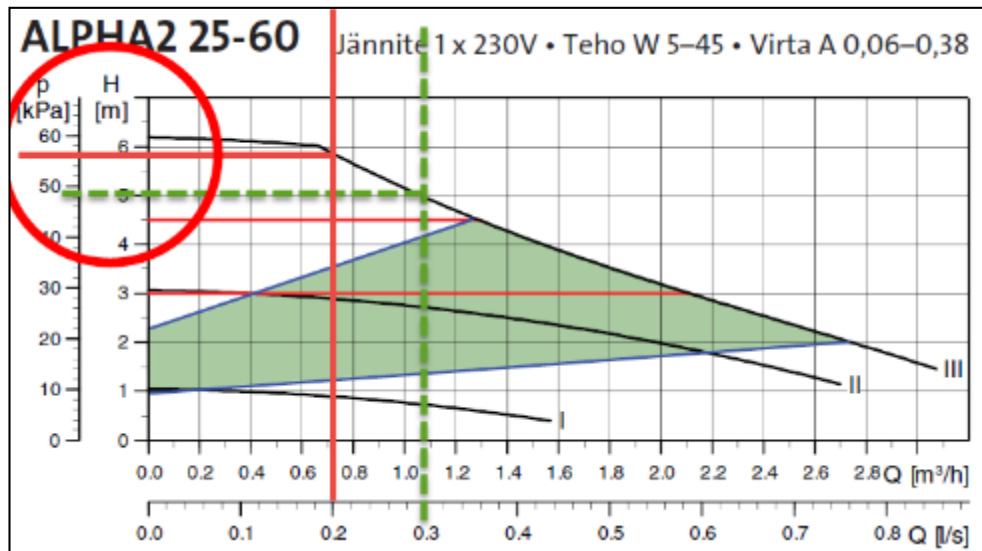
Kuvassa 19 viilennyspatterin tehoa ja siten tuloilman lämpötilaa säädetään patterin virtauksen määrää muuttamalla. Patterille menevä neste on samassa lämpötilassa kuin maalämpöpumpulle menevä neste. Ilmanvaihtokoneen vakio-säätöautomaattikka ohjaa 3-tiesekoitusventtiiliä patterilta lähtevän tuloilman lämpötilan säätämiseksi. Kun kuvassa 19 3-tieventtiili säättää patterille menevän nesteen virtausta, kuvassa 20 sama venttiili säättää patterille menevän nesteen lämpötilaa sekoittamalla. Nesteen lämpötilaa säädettyä pumpu on patterin ja 3-tieventtiilin välissä. Ilmanvaihtokoneeseen sisältyvä säädin mahdollistaa molemmat säätötavat. Kuvissa 19 ja 20 näkyvät 3-tieventtiili, venttiiliin kytkettävä säätömoottori eli toimilaite ja tarvittavat lämpötila-anturit sisältyvät viilennyspatterin toimitussisältöön. Viilennystarpeen tullessa kiertonestepumppu käynnistyy automaattisesti saadessaan käytiluvan ilmanvaihtokoneelta.



Kuva 20. Tuloilmaviilennyspatterin kytkentä säädettyä tuloilman lämpötilaa nestevirtauksen lämpötilaa muuttamalla. 3-tieventtiili, toimilaite ja lämpötila-anturit kuuluvat viilennyspatterin toimitussisältöön (lähde: Enervent).

Kuvassa 20 viilennyspatterin tehoa ja tuloilman lämpötilaa säädetään patterin virtauksen lämpötilaa muuttamalla. Ilmanvaihtokoneeseen sisältyvä säädin mahdollistaa pumpun asentamisen joko ennen 3-tieventtiiliä eli säätämällä virtaamaa, tai venttiiliin jälkeen eli säätämällä virtaaman lämpötilaa. Ilmanvaihtokone voi myös käynnistää maalämpöpumpun kiertonestepumpun ja mahdollistaa siten kytkennän ilman ulkoista kiertovesipumpua. Maalämpöpumpun valmistajalta tulee tällöin selvittää, voiko vain liuospumppu käynnistää ilmanvaihtokoneelta tulevalla viestillä.

Viilennyspatterin ja maalämpöpumpun rinnankytkennällä saadaan suurempi jäähdyttävä nestevirtaama. Nestevirtaamaan voi vaikuttaa eniten pumppu-, patteri- ja putkikokovalinnalla.



Kuva 21. Kiertonestepumpun ominaiskäyrä (lähde: Grundfos).

Kuvaan 21 on merkitty esimerkiksi 2 pistettä punaisten ja vihreiden viivojen leikkauskohdissa. Pumppu tuottaa virtauksella 0,2 l/s (punainen viiva) 55 kPa:n paineen ja vastaavasti virtauksella 0,3 l/s (vihreä katkoviiva) 48 kPa:n paineen. Paineesta suuret osat häviävät viilennyspatterille ja maalämpökollektorille.

Taulukkoon 1 on merkitty Veabin valmistamille pattereille vastaavien virtausnopeuksien 0,2 l/s ja 0,3 l/s suorituskykytietoja. Punaisella merkitty painehäviö 45 kPa ei yleensä toteudu, kun tyypillisen Grundfos Alpha 25/40- tai 25/60-kiertovesipumpun paineentuotto on pumpputyypin jälkimmäinen arvo 40–60 kPa. 25/80-pumpun paineentuotto on vastaavasti 80 kPa.

Taulukko 1. Veab CWK viilennyspatterin suorituskykytietoja ulkoilman olosuhteissa 28 °C ja RH60 %. Nesteenä 30 % etanoli.

Veab	Lämpökai- vosta	Nestevirta	Ulkoilma		Huoneeseen tuleva ilma			Teho	Nesteen painehäviö
			T	RH	T	vesisisältö	RH		
Ø	°C	l/s	°C	%	°C	g/kg	%	kW	kPa
250	7	0,2	28	60	14,7	9,9	95	2,8	21
250	7	0,3	28	60	13,5	9,2	95	3,2	45
315	7	0,2	28	60	14,1	9,6	96	3,0	11
315	7	0,3	28	60	12,6	8,85	97	3,4	29

Ulkoilman olosuhteessa 28 °C, RH 60%

250	7	0,2	26	60	13,9	9,3	94	2,4	21
315	7	0,3	26	60	11,9	8,3	96	2,9	30

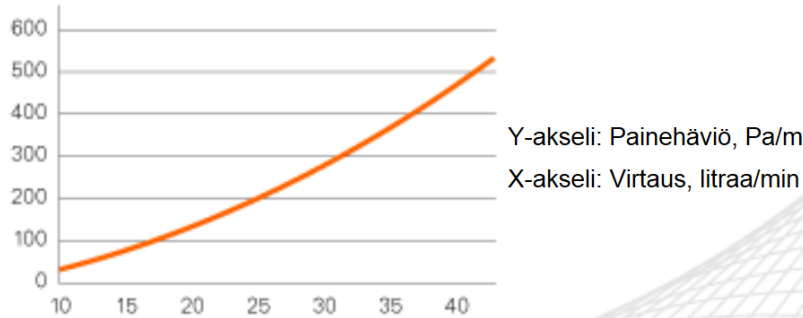
PAINEHÄVIÖKAAVIO

Turbo Collector® 40x2.4 PN 8 SDR 17, jossa etanoli lämmönkerääjänä.

Painehäviö kattaa lämmönkerääjän ja paluumutkan.

Esimerkki: Poraussyvyys 200 m, virtaus 0,5 litraa/sekunti, mikä antaa kokonaispainehäviöksi 55 kPa.

Painehäviö lämmönkeruuputkimetriä kohti



Mittaukset suoritettu 28 % etanolilla 10°C lämpötilassa ilman täyttöä.

Kuva 22. Maalämpökollektorin painehäviökäyrä (15).

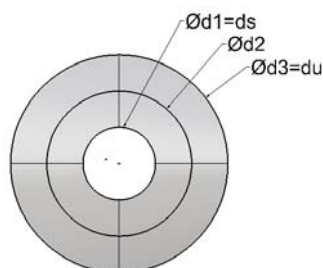
Kuvan 22 kollektoriputken tyypillisesti noin 10 kPa:n painehäviön lisäksi myös kytkennässä olevat magneettiventtiili tai 3-tieventtiili, pumppu-/takaiskuventtiili, sulkuventtiilit, putket, käyrät ja virtausmittari aiheuttavat kaikki lisää painehäviötä.

Kellarillisissa taloissa viilennys jätetään joskus pois kellarin osalta, ja tuloilmakanavisto, jota ei haluta viilentää, viedään patterin ohitse.

Tuloilman viilennyspatteri ei tyypillisesti aiheuta kanavistoon lisää ääntä, vaan vaimentaa puhallinääniä, jos otsapintanopeus ei nouse epätavallisen suureksi. Kanavaliitoksen halkaisijaltaan 250 mm:n pattereiden ilmapuolen painehäviö on tyypillisesti 7–25 Pa:n ilmavirralla 100 l/s. Tuloilmakanaviston äänenvaimentimia eristetään kondensoimisen estämisen ja lämpöhäviöiden pienentämisen takia. Makuuhuoneiden äänitasovaatimuksen laskemista arvosta 28 dB(A) harkitaan parhaillaan rakentamismääräyskoelmaa uudistettaessa. Äänilaskenta on hyvä tehdä jo nyt tehostetuilla sekä maksimiilmavirroilla ottaen huomioon ilmanvaihtokoneen kasvaneen äänitason.

3 Eristetyn kanavan lämpöhäviö

Putken ja kanavan lämpöhäviön laskenta poikkeaa tasomaisen eristeen laskennasta. Tasomaisen eristeen pinta-ala on eristeen kummallakin puolella sama, kun putkieristeissä eristeen ulkopinta-ala on suurempi kuin sisäpinta-ala (kuva 23). Tämän vuoksi putkimaisen eristeen paremmalla lämmönjohtavuuden arvolla λ on korostunut merkitys tasojen eristämiseen verrattuna.



Kuva 23. Monikerroksinen putkieristys.

Kun vapaassa ilmatilassa olevan $\varnothing 125$ mm:n kanavan eristyspaksuus kaksinkertaistuu 50 mm:stä 100 mm:iin, lämpövirta ja lämpöhäviö vähenevät vain 32–35 % (kaava 5) (16). Vaihteluvälin ensimmäinen arvo on lämmönjohtavuudelle 0,050 W/mK ja jälkimmäinen arvo lämmönjohtavuudelle 0,025 W/mK. Tasomaisessa eristeessä vastaava muutos on 44–47 % (kaava 6). Kanavan eristepaksuuden kasvaessa 50 mm:stä 100 mm:iin materiaalien menekki kasvaa 157 %, tasomaisessa 100 %. Putkieristeen paksuutta lisäämällä ei saada putkia eristettäessä yhtä suurta vaikutusta kuin tasomaisen pinnan eristämisessä, vaikka eristeen menekki ja tilantarve kasvaa huomattavasti.

$$\phi' = \frac{\Delta T}{\frac{1}{\pi d_s \alpha_s} + \frac{1}{2\pi\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{2\pi\lambda} \ln \frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{\pi d_u \alpha_u}} \quad (\text{Kaava 5})$$

ϕ' on lämpövirta eli lämpöhäviö putkimetriä kohti [W/m]

λ on eristeen lämmönjohtavuus [W/mK]

ΔT on ympäristön ja nesteen tai ilman lämpötilaero [°C]

d_s on putkimaisen eristeen sisähalkaisija [m]

d_u on putkimaisen eristeen ulkohalkaisija [m]

α_u on ulkoinen lämmönsiirtymiskerroin [W/m²K]

α_s on sisäinen lämmönsiirtokerroin, [W/ m²K]

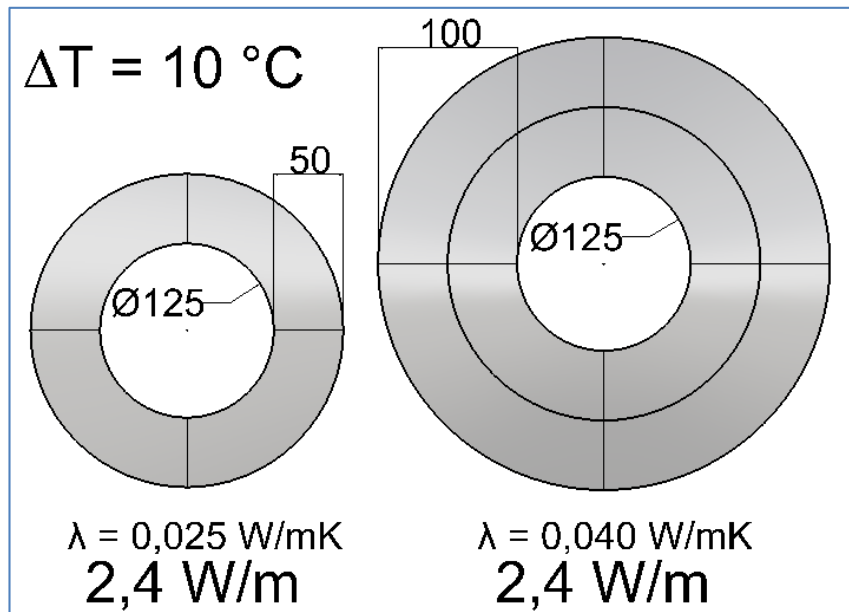
$$\phi = \frac{A * \Delta T}{\frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_u}} \quad (\text{Kaava 6})$$

ϕ on teho eli lämpöhäviö [W]

A on tasomaisen eristeen pinta-ala [m²]

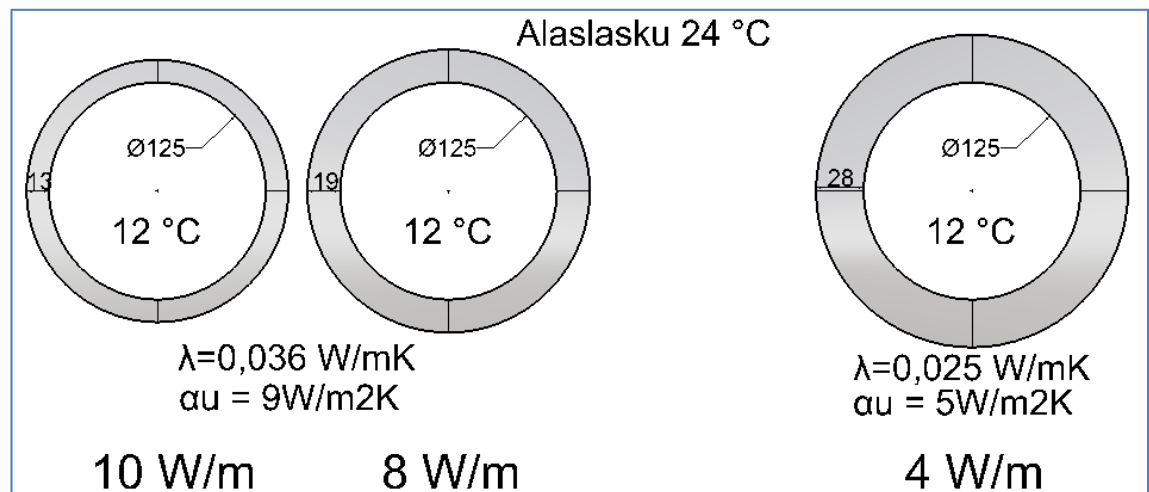
s on eristeen paksuus [m]

Putkieristeen lämmönjohtavuuden paraneminen kolmanneksella, esimerkiksi arvosta 0,05 arvoon 0,037 W/mK tai arvosta 0,04 arvoon 0,027 W/mK, vähentää lämpöhäviötä 29–30 %. Lämpöhäviön puolittaminen vaatii kolminkertaisen eristyksen, esimerkiksi 5 cm:n paksuudesta 15 cm:n paksuuteen tai eristeen lämmönjohtavuuden puolittamisen, esimerkiksi arvosta 0,05 arvoon 0,25 W /mK.



Kuva 24. Eristykset joiden lämpöhäviö on yhtä suuri.

Kuvassa 24 näkyvät 10 cm:n paksuinen lämmönjohtavuudeltaan 0,04 W/mK ja 5 cm paksuinen lämmönjohtavuudeltaan 0,025 W/mK putkieristys vuotaa saman lämpöhäviön 24 W kymmentä putkimetriä kohden, kun kanavassa oleva lämpötila eroaa ympäristön lämpötilasta 10 °C. Jos lämpötilaero kaksinkertaistuu, lämpöhäviö kaksinkertaistuu. Vertailussa käytetty lämmönjohtavuuden arvo 0,025 W/mK on BetterPipe Oy:n suoritusta-soilmoituksesta (17). Edeltäneessä tarkastelussa ja laskennassa on käytetty arvoja $\alpha_s = 15 \text{ W/m}^2\text{K}$ ja $\alpha_u = 5 \text{ W/m}^2\text{K}$. Kohteen A sisäisen lämmönsiirtokertoimen laskennassa käytettiin kanaviston keskikokoa 140 mm ja keskimääräistä maksimivirtausnopeutta viilennystilanteessa 3,2 m/s. Sisäisen lämmönsiirtokertoimen arvo on välillä 10–21 W/m²K, kun virtausnopeus on 2–5 m/s ja kanavakoko on 125–160 mm. Laskenta perustui tyypilliseen Reynoldsin ja Prandtin lukujen kautta tapahtuvaan laskentaan (13) ja ruotsalaiseen LVI-tekniisiin taulukoihin (18) Alhainen ulkoisen lämmönsiirtokertoimen arvo johtuu eristeiden pinnoitteina olevien alumiinilaminaattien ja alumiinipaperien matalasta emissiviteetistä 0,05 (19). Lämpöhäviölaskennan normin EN 15316 mukaiset laskennan lähtöarvot ulkoiselle lämmönsiirtokertoimelle ovat sisätilassa olevalle putkelle 8 W/m²K ja ulos asennetulle putkelle 25 W/m²K (20). Myös sisätiloissa olevien eristettyjen kanavien tarkastelussa poikettiin normin arvoista ja käytettiin valmistajien arvoja. Ulkoinen lämmönsiirtokerroin solukumille on valmistajan testien mukaan 9 W/m²K (21).



Kuva 25. Alaslaskuun asennettujen kanavien lämpöhäviöt.

Kuvassa 25 näkyvät vasemmanpuoleiset kanavat on eristetty tyypillisellä NBR-solukumilla. Suomessa käytetty solukumi on tyypillisesti nitrilikumia. Sisäisen lämmönsiirtokerroimen vaikutusta simuloitiin yllä olevan kuvan tapauksessa. Tuloksen arvot pysyivät samoina kaikilla sisäisen lämmönsiirtokerroimen arvoilla 15...30 W/m²K. Ulkoisen lämmönsiirtokerroimen ero mustan solukumin ja heijastavan alumiinilaminaatin välillä johtuu suuresta emissiviteetin erosta. Solukumin emissiviteetti on 0,90 ja alumiinilaminaatin 0,05 (19, 21).

Sisäpuolisen lämmönsiirtokerroimen vaikutus oli 4 % lämpöhäviöstä, kun tarkasteltiin 5 cm:n lämmönjohtavuudeltaan 0,025 W/mK olevaa putkieristystä sisäpuolisen lämmönsiirtokerroimen arvolla 15 W/m²K. Ulkoisen lämmönsiirtokerroimen vaikutus kokonaislämpöhäviöön oli 6 %, kun ulkoinen lämmönsiirtokerroin muuttuu arvosta 5 arvoon 50 W/m²K.

Teräksen lämmönjohtavuus on niin suuri, että sen vaikutus lämpöhäviöihin jätettiin huomiotta. Tarkastelussa otettiin huomioon teräksen osalta ainoastaan pinnankarheusluvun 0,15 vaikutus sisäiseen lämmönsiirtokerroimeen.

3.1 Laskennallinen lämpöhäviö kohteessa A

Laskentaa tehtiin

- a) vapaasti kannakoidulle eristetylle kanavalle
- b) puhallusvillan sisällä olevalla kanavalla

Laskennassa BetterPipe-3 ja -5-kanavan polyuretaanieristeen lämmönjohtavuudelle λ käytettiin arvoa 0,025 W/mK (17). Puhallusvillalle käytettiin arvoa 0,041 W/mK (22). Vii-
laeristeille käytettiin arvoa 0,040 W/mK.

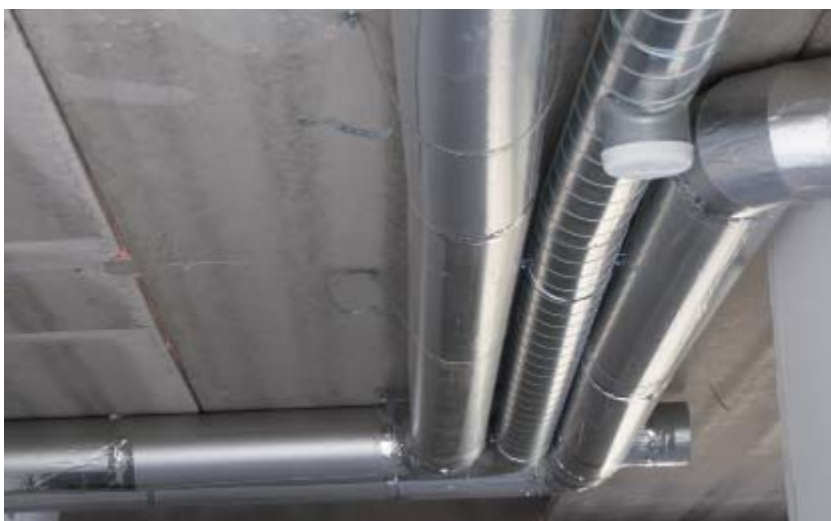
Puhallusvillan sekaan kattotuolin alaparteeseen päälle asennettua kanavaa tarkasteltiin
niin kuin puhallusvilla olisi tehnyt eristetyn kanavan ympärille lisäeristeen, jonka ulkohal-
kaisija on 500 mm ja ulkopuolinen lämmönsiirtokerroin 25 W/m²K.

Taulukko 2. Laskennalliset kohteen A lämpöhäviöt ullakon ulkolämpötilalla 34 °C ja
sisälämpötilalla 22 °C.

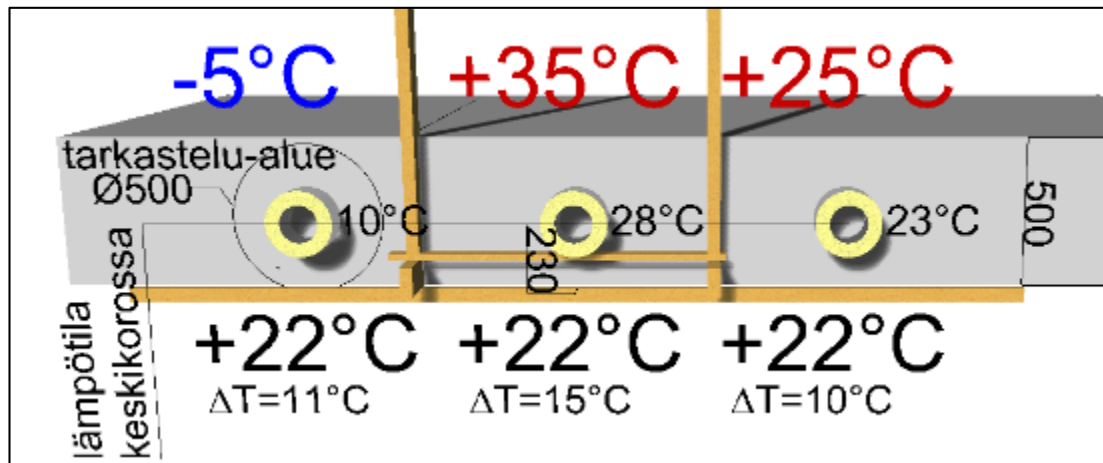
Kanaviston tyyppi	Virtaavan ilman lämpötila		Ympäristön lämpötila		Putkieristeen ulkohalkaisija		Ulkohalkaisija (putkieriste+puhallusvilla)		Ulkopuolinen lämmönsiirtokerroin		Lämpöhäviöteho putkimetriä kohti		Putken pituus		Lämpöhäviöteho yhteensä	
	°C	°C	°C	°C	mm	mm	W/m ² K	W/m	m	W						
BP-3 160 sisällä	12°C	22°C	220	220	220	5	-4,15	16m	-66W							
BP-5 125 ullakoll.	12°C	28°C	220	500	25	-2,24	10m	-21W								
BP-5 100 ullakoll.	12°C	27°C	190	500	25	-1,89	3m	-5W								
BP-5 160 ullakoll.	12°C	28°C	260	500	25	-2,78	8m	-21W								
							yht	-113W								

Taulukon 2 laskennassa on puhallusvillan lämpötilan oletettu muuttuvan lineaarisesti
yläpinnan 34 °C:sta höyrynsulkumuovin 21 °C:seen. Ullakolla olevan kanavan keskilin-
jan koron lämpötilaa on käytetty ympäristön lämpötilana. Sisäpuolisena lämmönsiirto-
kertoimena on käytetty 15 W/m²K.

Laskennan mukaan ohuemmalla eristyspaksuudella höyrynsulun sisäpuolella kellariker-
roksessa (kuva 26) ja 1. kerroksessa olevat kanavat aiheuttivat lämpöhäviöistä yli puolet,
vaikka kanavien kokonaismäärä on pienempi kuin kylmään tilaan asennettujen kanavien
kokonaismäärä.



Kuva 26. Kuvan kohdassa käytettiin laskentatapaa a) – vapaasti kannakoitu kanava.



Kuva 27. Kuvan kohdassa käytettiin laskentatapaa b) puhallusvillan seassa oleva kanava.

Ullakkoasennuksessa kanavan korkoasema eristeessä vaikuttaa häviöihin. Selluvillassa oleva lämpötila kanavan keskilinjan korkeudella muuttuu, kun kanavan korkeusasema muuttuu. Kanavan korkoasemaan vaikuttaa myös eristyksen paksuus. (Kuva 27)

3.2 Lämpö- ja kondenssieristäminen

Kolmessa mitatussa kohteessa oli käytetty kondenssieristeenä solukumia ja lämpöeristeenä ensisijaisesti villaa. Pää tarkastelukohteessa oli kanavistona BetterPipe, jossa kondenssieriste ja lämmöneriste on valettu tehtaalla valmiiksi kanavaan kiinni.

Laskennallisessa lämpöhäviötarkastelussa huomattiin alaslaskuissa olevien kanavien lämpeneminen yllättävän suureksi. Hyvä tuloilmakanavien eristäminen on merkittävää myös alaslaskuissa. Paremmalla lämmöneristeellä saadaan asuntoon lämpimämpää ilmaa kylmällä ja viileämpää ilmaa lämpimällä. Pienemmät lämpöhäviöt parantavat matalaenergiatalojen lämpötilasäätöä. Parempi lämmöneriste säästää energiaa. Esimerkiksi poistoilmakanavan 1 °C:ta suurempi lämpöhäviö talvella huonontaa 4 % LTO-koneen hyötysuhdetta. Parempi kanavaeristys vähentää LTO-koneiden jäätymistä, kondenssi-
vahinkoja ja sulatusjaksoja.

Ullakon ilman kastepistettä tarkasteltiin vain 11.8.2015. Ulkoilman kastepiste oli 14–16 °C ja ullakolla kastepiste oli tuntien ajan korkeimmillaan 17 °C. Ulkolämpötila oli 16–24 °C. Kastepistelämpötilaa kylmempi tuloilma vaatii kanavan kondenssieristämisen..

3.2.1 BetterPipe

BetterPipe-kanava pitää sisällään tavallisen kierresaumakanavan ja polyuretaanieristeen. Kanavan eristekerros saa valussa pinnalleen alumiinilaminaatin, joka toimii myös lämmön heijastinpintana. Polyuretaani on lämmönjohtavuudeltaan erinomainen ja mahdollistaa ohuemman eristepaksuuden. Eristetty kanava mahtuu paremman eristeen ansiosta 30...50 % pienempään tilaan. Kanavistoa käyttämällä vältetään eristysvirheitä. Kanavisto on pitkäikäinen, hylkii vettä ja mahdollistaa kannakoinnin suoraan eristeen päältä.

Kanavisto on tiivytensä ansiosta nopeammin säädettävä. Pienemmällä puhallinteolla saadaan enemmän ilmapirtaa ja säästetään energiaa, puhaltimia ja ilmanvaihtokonetta. Kanaviston vuotojen aiheuttamaa puhallintehon kasvua on arvioitu Sisäilmaseminaarissa 2014 esitellyssä tutkimuksessa (23.) Kanaviston vuotoilmapirttojen arvioitiin kasvatavan puhaltimen tehontarvetta tutkituissa taloissa 10–20 % puhaltimen paine-erolla 100 Pa.



Kuvat 28 ja 29. Betterpipe-kanavan liitostapa ja leikkauskuva.

Kanavan liitoskohdissa on moninkertainen tiivistys – normaali ilmanvaihtokanavan EPDM-liitostiiviste, solukumitiiviste ja työmaalla pistoolilla vaahdotettava väli ja teippi (kuvat 28 ja 29).



Kuvat 30 ja 31. Läpiviennit.

Kuvissa 30 ja 31 näkyvissä höyrynsulun läpivientikappaleissa on kaksinkertainen liitos: liima- sekä puristusliitos ruuveilla. Kondenssieriste jatkuu höyrynsulkumuovin yli huoneeseen tultaessa.



Kuva 32. BetterPipe-kanavistoa ullakolla (kohde A).

Kuvassa 32 näkyvän kohteen A ullakon tulo- ja poistoilmakanavistojen asennus tehdaseristetyllä kanavalla kesti kuusi tuntia kahdelta ensikertalaiselta eli yhteensä 12 tuntia.



Kuva 33. Viilennys Siporex-taloon.

Laadukas eristeen ja kanavan liitos tasopintaan, kuten höyrynsulkuun tai kuten kuvassa 33 näkyvään yläpohjan laattaan, vaatii vähemmän ammattitaitoa. Kanava kannakoidaan suoraan eristeen päältä, mikä ehkäisee kannakointikohdan toimimista kylmäsilta.

3.2.2 Solukumi



Kuva 34. Valmiiksi eristettyjä raitis- ja jäteilmakanavia odottamassa työmaalla asennusta. Eristys on tehty 13 mm:n solukumimatosta kahtena limitettynä kerroksena.

Kuvan 34 eristetyt kanavat on eristetty urakoitsijan omassa hallissa ja tuotu eristettynä työmaalle. Riittävä kondenssi- ja lämpöeristys raitisilmakanavaan on tehty kaksinkertaisella limitetyllä 13 mm:n solukumimatolla. Kuvassa 35 näkyy patterilta alkava kondenssieriste joka on tehty 13 mm:n matolla ja 13 mm:n solukumisukalla.



Kuva 35. Hyvin eristetty viilennyspatteri (Veab CWK 250). Viilennyspatterille tuleva tuloilmakanava (vihreä nuoli) on eristämätön ja patterilta alkaen kondenssieristetty.

4 Mittaukset

Mittausten ensimmäisenä tavoitteena oli selvittää kanaviston viilennysteho ja lämpöhäviöt, eli kuinka suuri osuus viilennystehosta hukkuu kanaviston seinämien läpi tulematta venttiilille saakka. Edellisiä mitatessa saatiin myös selvitettyä viimeisen venttiilin lämpenemä. Ullakon maksimilämpötilan ja kosteuden mittaamisella saatiin tarkennettua laskennallisen tarkastelun lähtöarvoja. Useampaa kohdetta mitattaessa voitiin vertailla erilailla kondenssieristettyjä kohteita. Mittaustuloksia voitiin verrata muiden aikaisemmin tekemiin laskennallisiin arvioihin ja saada arviota asennuksen vaikutuksesta häviöihin.

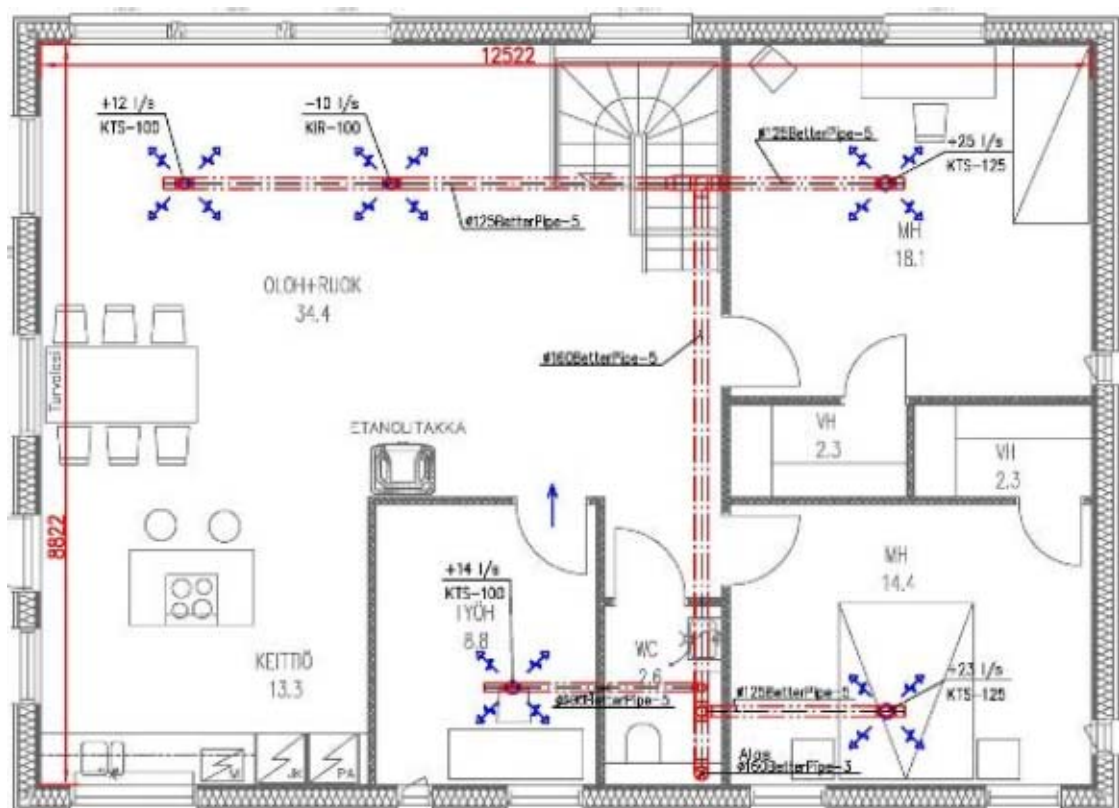
4.1 Mittauskohteet

Mittauskohteiksi valittiin neljä alle viisi vuotta vanhaa omakotitaloa 169–180 m².

4.1.1 Kohde A Talo Ilmarinen, Lieto, 2015, 169 m²

Ilmanvaihtokone palvelee lattiapinnaltaan 169 m²:n suuruista aluetta. Mitattu tuloilma-
virta oli venttiileiltä mitattaessa yhteensä 105 l/s ja ulkosäleiköltä mitattaessa 93 l/s. Ta-
lossa oli Iloxair 129 ´-etulämmitys/-viilennyspatterilla ja Iloxair 200 -kanavapatteri tuloil-
makanavassa. Kylmällä ullakolla kanavat olivat BetterPipe-5-tehdaseristettyä kanavis-
toa ja tuloilmakanavisto oli höyrynsulun sisäpuolella BetterPipe-3-kanavistoa. Mitattua
tuloilmakanavistoa oli yhteensä 37 metriä, josta höyrynsulun sisäpuolella 3 cm paksulla
eristeellä 17 metriä ja ulkopuolella 5 cm paksulla eristeellä 20 metriä. (Kuvat 36 ja 37).

Talotehtaan käyttämä rakennusurakoitsija asensi kanaviston tulevaan kotiinsa parhaan
tuntemansa IV-asentajan kanssa. Sekä urakoitsijalla ja asentajalla tämä oli ensimmäi-
nen kohde valmiseristetyllä kanavalla. Talo ei ollut vielä käyttöön otettu. Urakoitsija oli
valinnut viilennyksen vuosien varrella saamien kokemustensa perusteella eri viilennys-
tavoista.



Kuva 36. Kohteena A 1. kerroksen kanavisto.



Kuva 37. Kohde A.

4.1.2 Kohde B Talo Hirvensalo, Turku, 2013, 180 m²

Mitattu tuloilmavirta oli venttiileiltä mitattaessa yhteensä 82 l/s ja ulkosäleiköltä mitattaessa 82 l/s. Ilmanvaihtokoneena oli Nilan CT300 ja tuloilmakanavassa oli Swegon Ilto 250 -kanavapatteri. Pumppuna oli aurinkokäyttöön tarkoitettuna pumppuryhmän sisällä oleva Viesmann/ Grundfos 25/60 Solar -kiertonestepumppu. Patteri oli kytketty maalämpöpumpun rinnalle. Kohteessa ei ollut sekoitusventtiiliä. Höyrynsulun ulkopuolella puhallusvillassa olevassa tuloilman kierresaumakanavassa oli eristeenä 19 mm:n solukumi ja alumiinipäälysteinen villa. Puhallusvillassa kattotuolien välissä olleet eristetyt kanavat olivat heti höyrynsulun päällä. Höyrynsulun sisäpuolella olevissa tuloilmakanavissa oli eristeenä 19 mm:n solukumisukka. Rakentaja oli eristänyt kanavat itselleen parhaansa mukaan. Viilennys oli toiminut moitteettomasti ja asukas oli tyytyväinen. Urakoitsija ja IV-konetoimittaja olivat suositelleet tuloilmaviilennystä.

4.1.3 Kohde C Talo Länsikeskus, Turku, 2010, 180 m²

Tuloilmaventtiileiltä mitattiin 82 l/s. Ilmanvaihtokoneena oli Kair Eco Rotor, varustettuna jäähdytysyksiköllä Kair Eco Rotor Cool. Käytännössä nämä kaksi laitetta ovat kompressoreilla jäähdyttävä ilmanvaihtokone. Toinen moduuli on ilmanvaihtokone, ja toinen on siihen liitettävä ulkomitoiltaan samankokoinen jäähdytysyksikkö. Ottoteho kompressoreille on 2 x 700 W. Höyrynsulun ulkopuoliset tuloilmakanavat oli eristetty 19 mm solukumilla alumiinipintaisen villaeristysmaton lisäksi ja sijaitsivat puhallusvillassa kattotuolien alapaarteiden päällä. Tuloilmakanavassa höyrynsulun sisäpuolella oli eristeenä 13 mm:n ja 19 mm:n solukumisukkaa. LVI-alalla työskentelevä asukas oli eristänyt par-

haansa mukaan kaikki kanavistot. Viilennys oli toiminut moitteettomasti, ja asukkaat olivat tyytyväisiä. Asukas oli valinnut tuloilmaviilennyksen tehokkuuden, äänettömyyden ja näkyväisyyden takia tuloilmaviilennyksen.

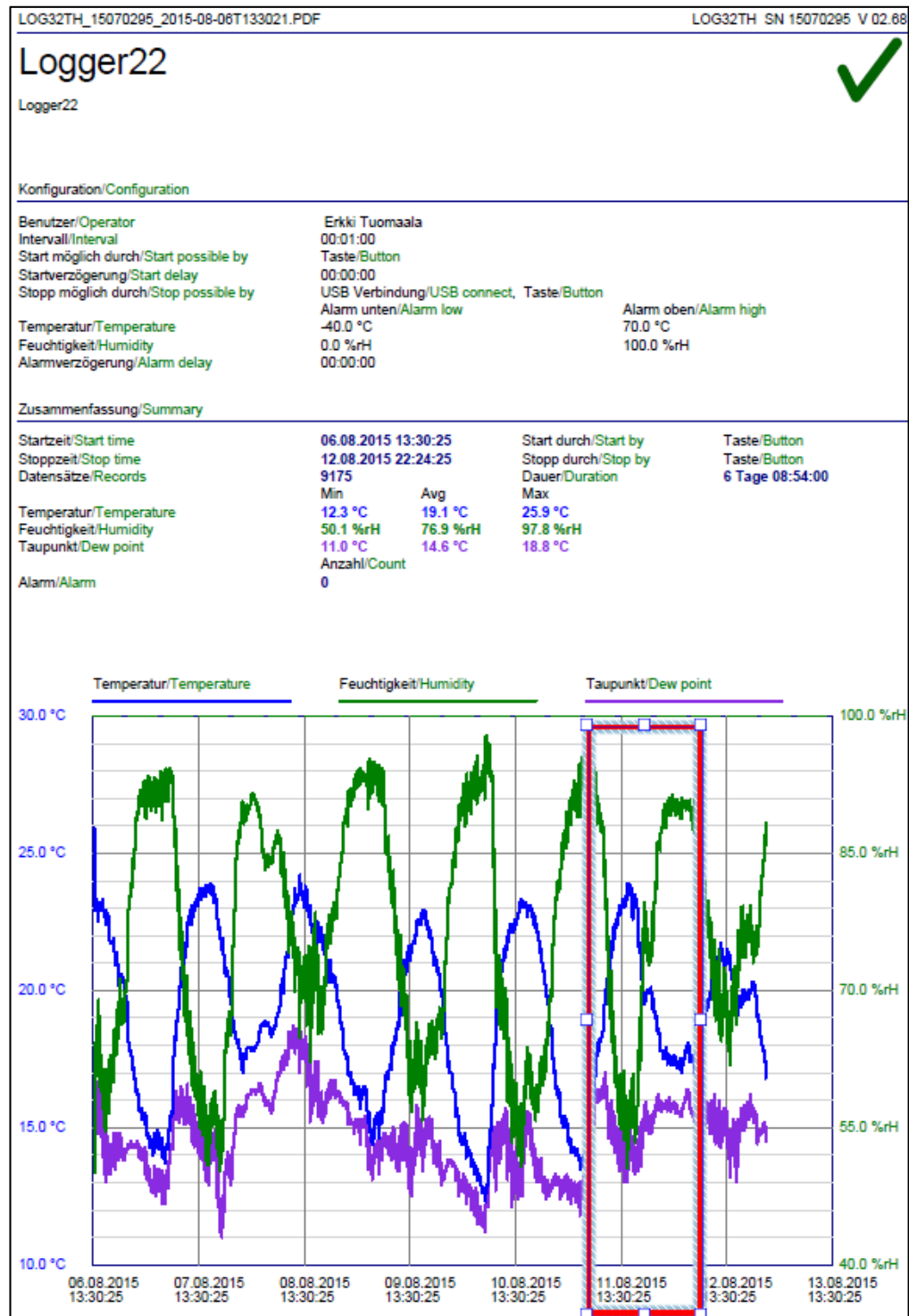
4.1.4 Kohde D Talo Ilpoinen, Turku, 2012, 180 m²

Säleiköltä mitattiin 97 l/s. Ilmanvaihtokoneena oli Iloxair 129 ja tuloilmakanavaan oli asennettu Veab CWK 315 -kanavapatteri. Kytkeä oli tehty paluuputkeen lämpöpumpun jälkeen ilman sekoitusventtiiliä. Höyrinsulun ulkopuoliset tuloilmakanavat oli eristetty 19 mm solukumilla alumiinipintaisen villaeristysmaton lisäksi ja sijaitsivat puhallusvillassa kattotuolien alapaarteiden päällä. Tuloilmakanavassa höyrinsulun sisäpuolella 19mm:n solukumi. Eristeet oli asentanut ilmanvaihtoon erikoistunut asennusliike.

Viilennys oli toiminut moitteettomasti ja asukas oli tyytyväinen käyttäjä. Asukas oli valinnut tuloilmaviilennyksen äänettömyyden takia.

4.2 Mittausajankohta

Kesäkauden mittaukset aloitettiin kesäkuussa. Mittaukset painottuivat kuitenkin elokuun alussa alkaneeseen lämpimämpään ajanjaksoon. Suurin osa mittauksesta suoritettiin 6.8.–12.8.2015. Kohteessa A mitattiin 11.8.–12.8., jolloin mittausajanjakson pituus oli 22 tuntia ja 56 minuuttia – alkamisaika oli 11.8. klo 9:04 ja päättymisaika oli 12.8. klo 8:00.



Kuva 38. Ulkoilmaolosuhteet, Turku, 6.8.–12.8.2015

Tarkastelusta suurin osa tehtiin Kuvan 38 punaisella kehystettynä aikana. Kuvassa 38 näkyvä sininen käyrä on lämpötila ja vihreä on suhteellinen kosteus.

4.3 Mittalaitteet

Ilmamäärät mitattiin kuvien 40 ja 41 SWEMA 300- ja SWEMA 233 -mittarilla.



Kuvat 39 ja 40 . Huppumittari SWEMA 233. Mittausantureina ovat kuumalangat.



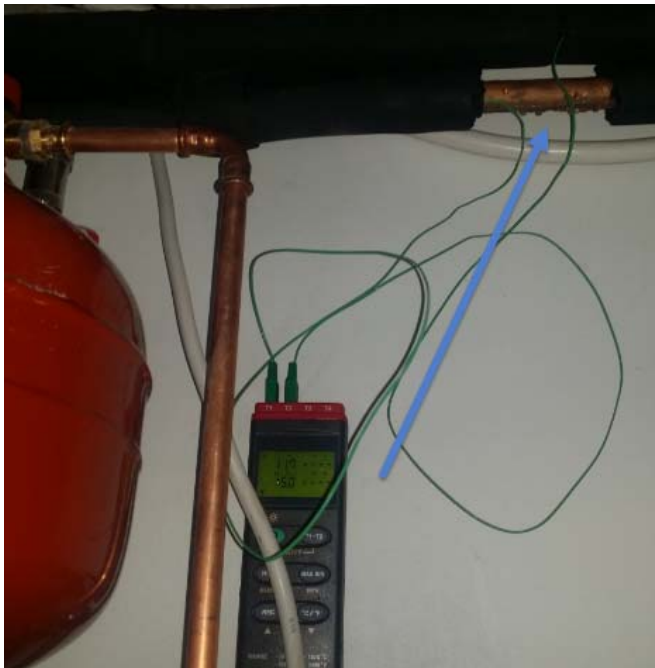
Kuva 41. Mittaus venttiilistä paine-eromittarilla Swema300.

Kuvissa 41, 42 ja 43 näkyvät K-tyyppin lämpötila-anturijohdot, joilla lämpötiloja mitattiin. Lämpötiloja ilmavirrasta ja nesteestä mitattiin ja tallennettiin näytöllisillä 4-kanavaisilla Dostmann TC 309 dataloggereilla, joihin K-tyyppin anturikaapelit olivat liitetty. Ilmavirtojen

lämpötilamittauksessa kaapeleiden pituus oli 8 m. Kaapelit oli katkaistu samalta kelalta ja testattu, että kaikki kaapelit näyttävät samaa arvota mittalaitteessa (kuva 42). Mittauksen jälkeen mitta-anturit jälkikalibroitiin ja tuloksiin tehtiin jälkikalibrointia vastaava tasokorjaus (1,1 °C).



Kuvat 42 ja 43. Tallentava lämpötilamittari Dostmann TC 309 ja siihen liitetty anturijohto.



Kuva 44 . Lämpötilamittaus nesteestä.

Kohteen B kytkenäjohtoissa oli kuvan 44 ottohetkellä 3,3 asteen lämpötilaero ja 9 litran minuuttivirtaama eli noin 2kW teho. Kuva otettiin 6.8. klo 14:15.

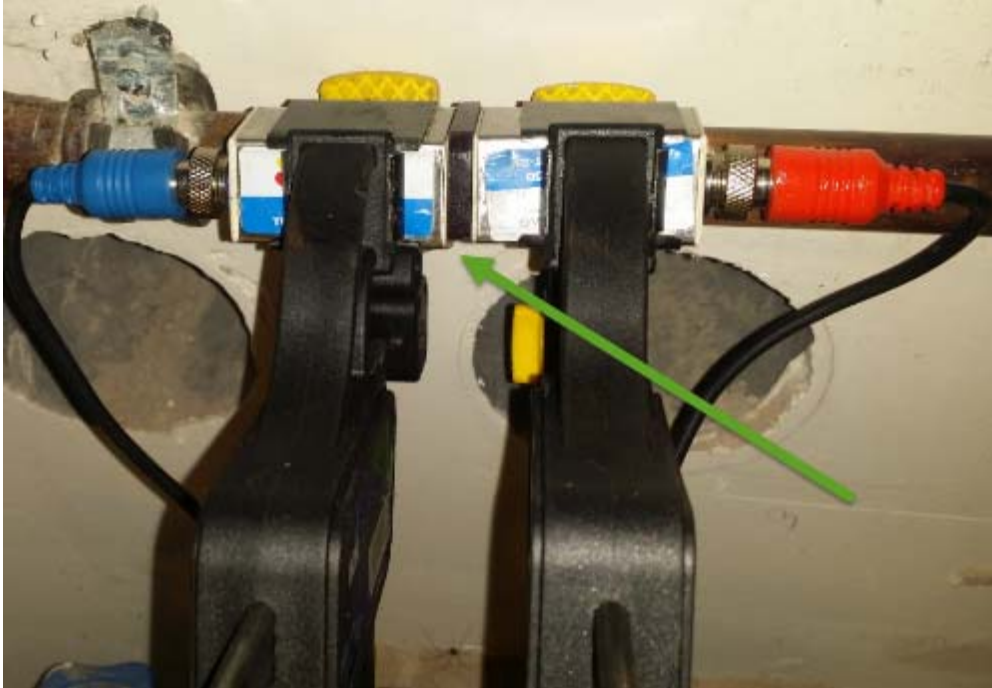
Ilman hiilidioksidin, suhteellisen kosteuden ja lämpötilan mittaamiseen käytettiin Wöhler CDL210 -mittareita sekä LOG32TH-loggereita. LOG32TH-loggereita käytettiin erityisesti ilman olosuhteen mittaamiseen kanavasta.



Kuva 45. Hiilidioksidimittari Wöhler CDL210.



Kuva 46. Nestevirtojen mittaamiseen käytettiin Euromag 2200HH -ultraäänimittaria.



Kuva 47. Euromag 2200HH -ultraäänimittarit ja -anturit.

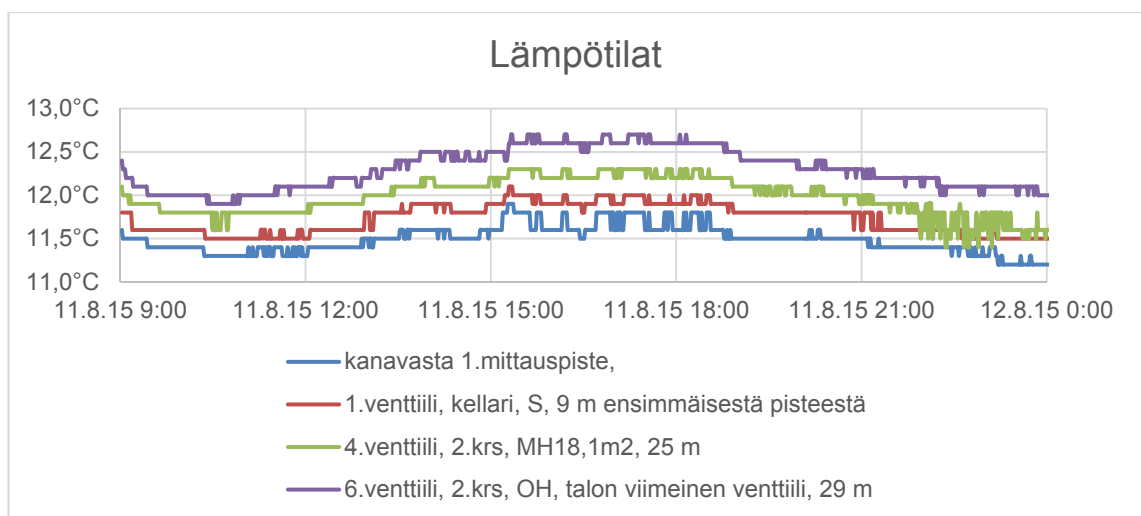
Kuvien 46 ja 47 ultraäänimittauksessa antureiden välinen etäisyys havaittiin merkittäväksi mittaustulosten kannalta ja siksi antureiden väliin teetettiin vahasta mittalaitteen ohjeen paksuinen välikappale (vihreä nuoli kuvassa). Kuvan 46 näytöllä näkyy virtaama 0,1714 l/s eli noin 10 litraa minuutissa. Nestevirtausta mitattiin myös mekaanisella virtausmittarilla saamatta riittävän luotettavaa tulosta.

5 Tulosten tarkastelu



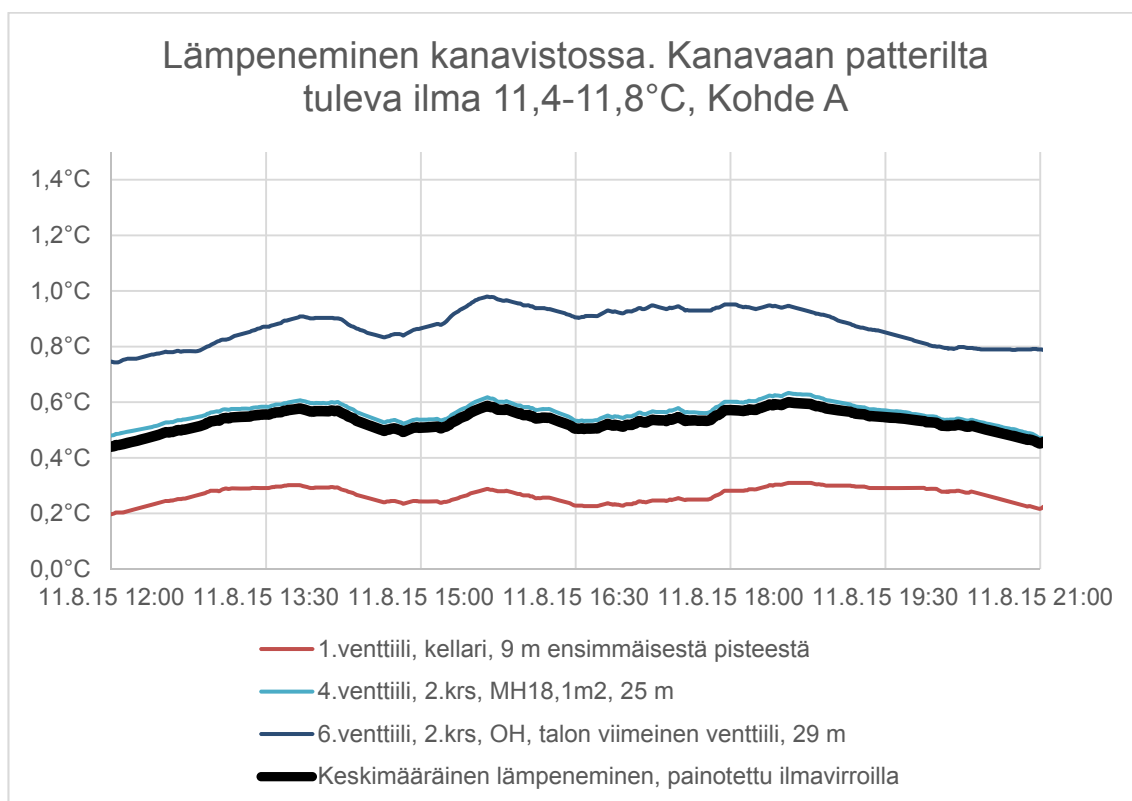
Kuva 48. Mittauspisteitä kohteessa A.

Kohteessa A tuloilmaa tuli lattiapinnaltaan 169 m²:n kaksikerroksiseen omakotitaloon yhteensä noin 100 litraa sekunnissa. Ilmamäärämittaukset, ilmamäärien säädön ja lämpötilamittausten katselmoinnin suoritti RTC Vahanen Turku Oy. Mittaus- ja katselmuspöytäkirjat ovat liitteenä.

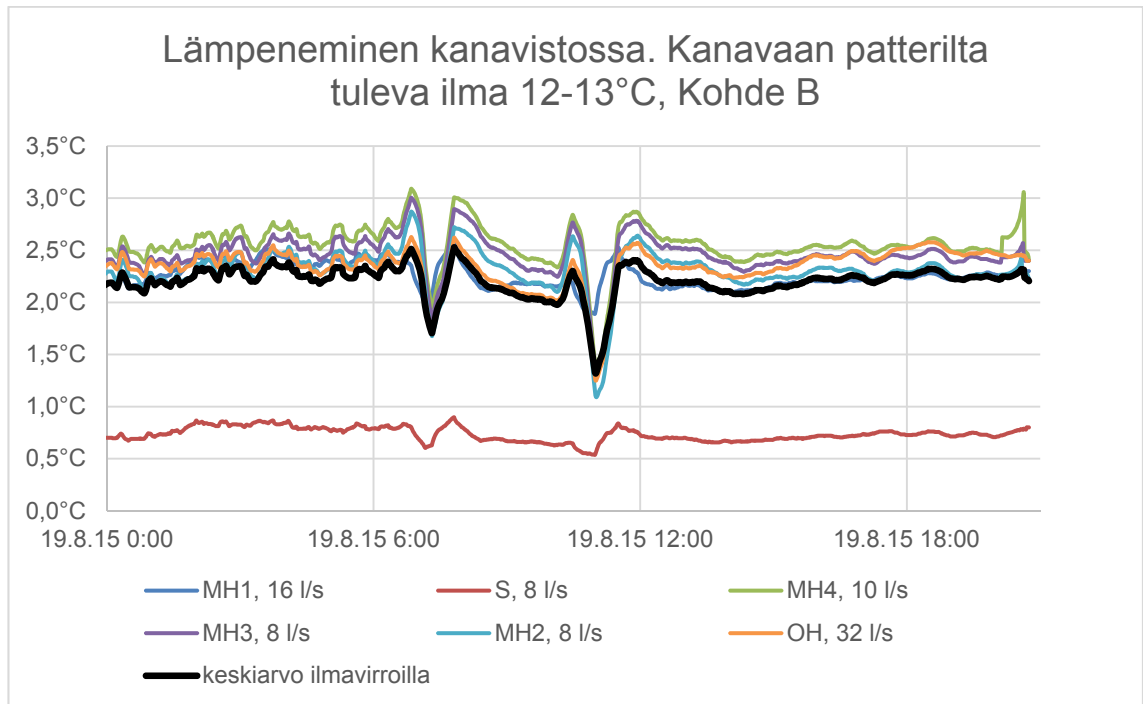


Kuva 49. Tuloilmakanavistosta mitatut lämpötilat. Kanavat olivat tehdaseristettyä BetterPipe-3- ja BetterPipe-5-kanavaa.

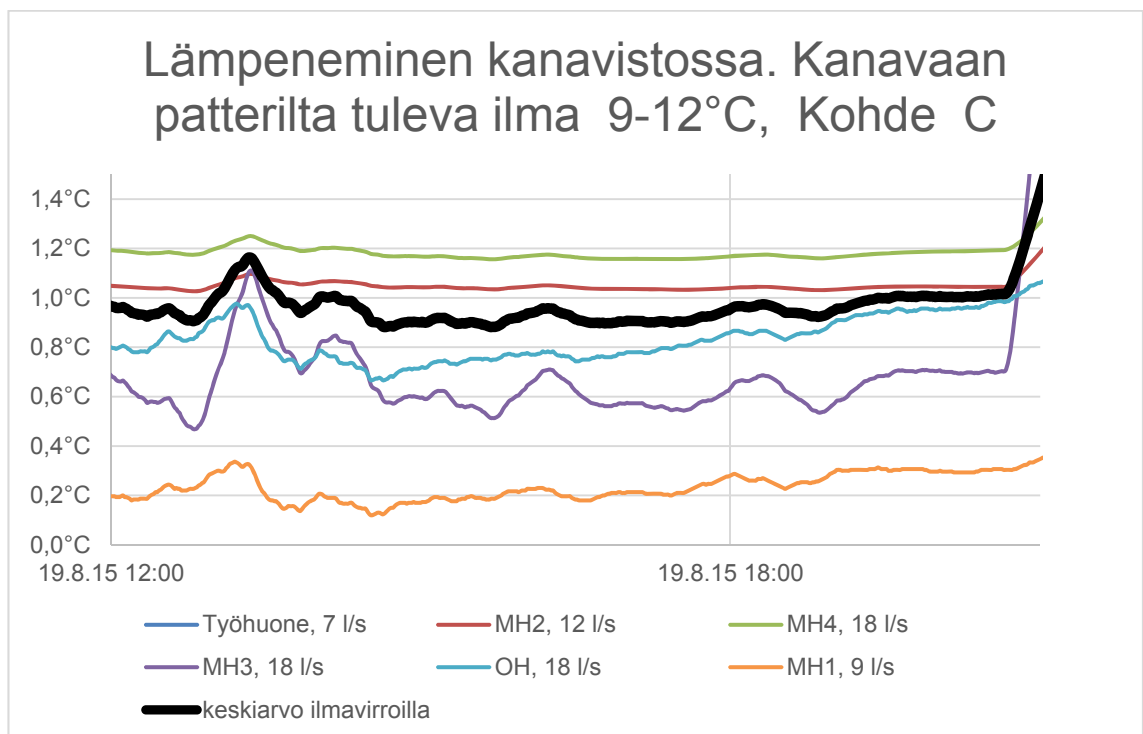
Kanaviston lämpötilat olivat korkeimmillaan 15:30–18:30 (kuva 49). Seuraavat arvot ovat keskiarvoja mitatuista arvoista tältä aikaväliltä. Tuloilman lämpenemistä mitattiin ensimmäisestä kanavan mittauspisteestä, jossa anturi oli kanavan sisällä T-haaran jälkeen, 29 metrin päässä olevalle venttiilille 0,94 °C (kuvat 48 ja 49). Ensimmäisen venttiilin vastavaksi lämpenemäksi mitattiin 0,25 °C. Kanavanopeudet ja kanavakoot painottaen suurimmaksi kolmen tunnin keskimääräiseksi lämpenemäksi mitattiin 0,49–0,53 °C. Ullakon lämpötila oli 32,0 °C ja edeltäneen kolmen tunnin ajalla keskimäärin 33,6 °C.



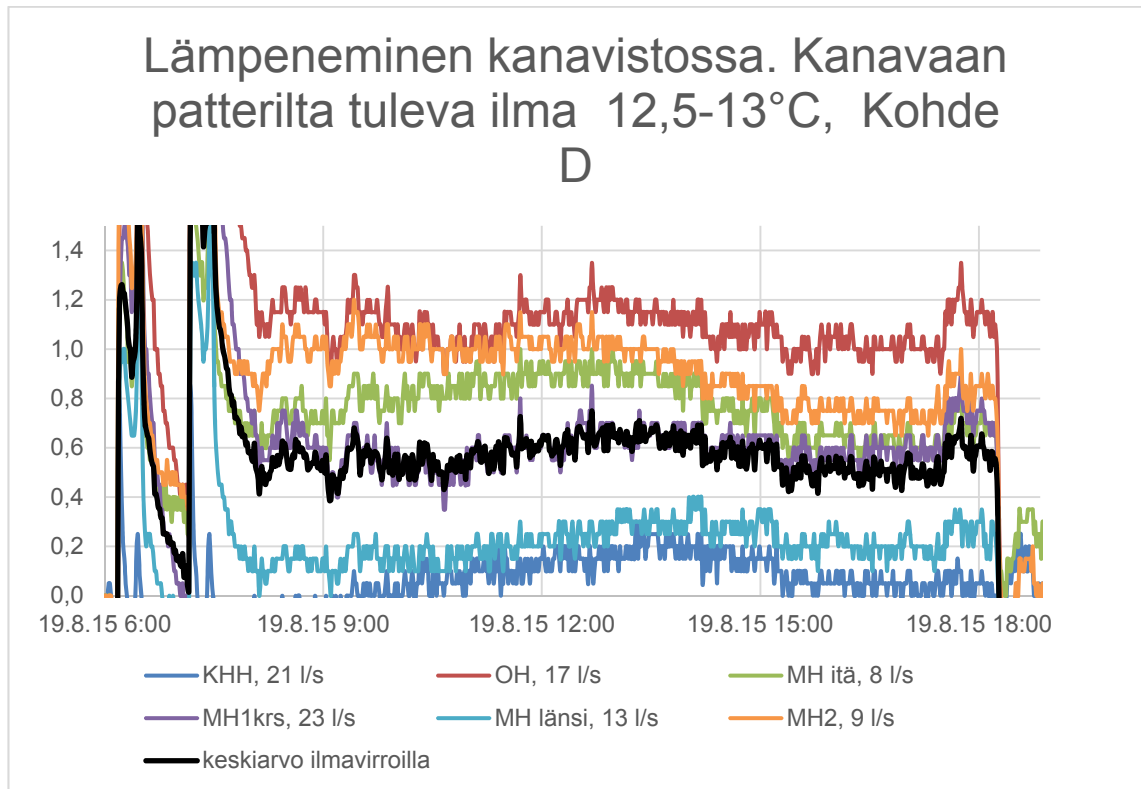
Kuva 50. Kohteen A tuloilman ilmavirroilla painotettu keskimääräinen lämpeneminen.



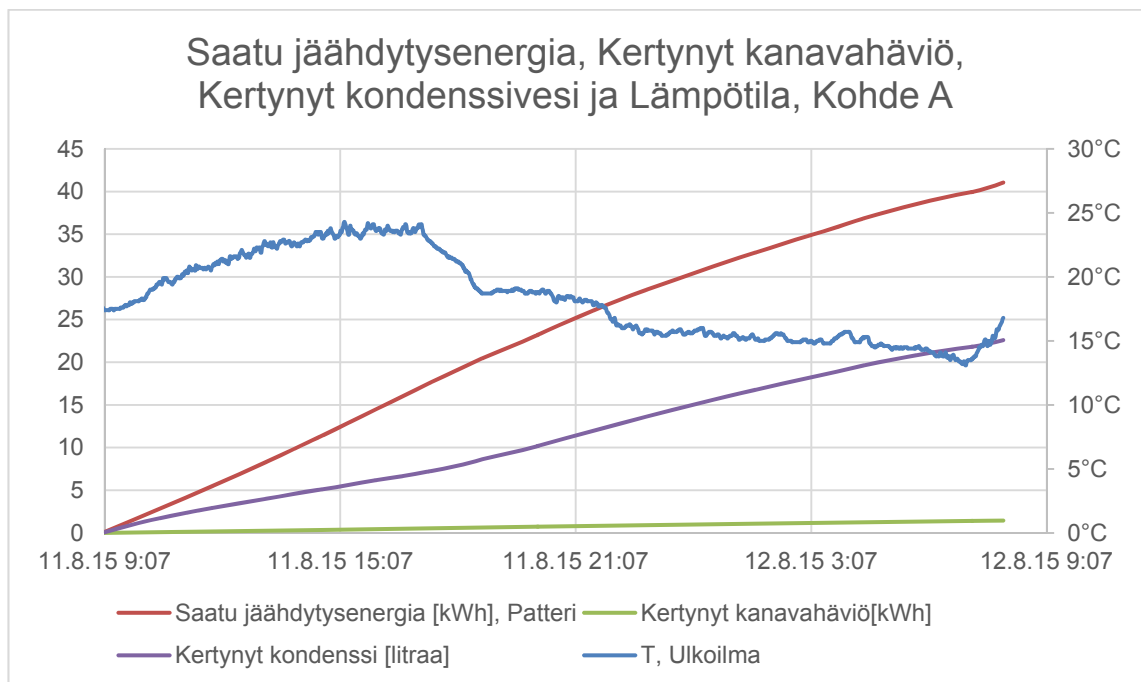
Kuva 51. Kohteen B tuloilman ilmavirroilla painotettu keskimääräinen lämpeneminen.



Kuva 52. Kohteen C tuloilman ilmavirroilla painotettu keskimääräinen lämpeneminen.



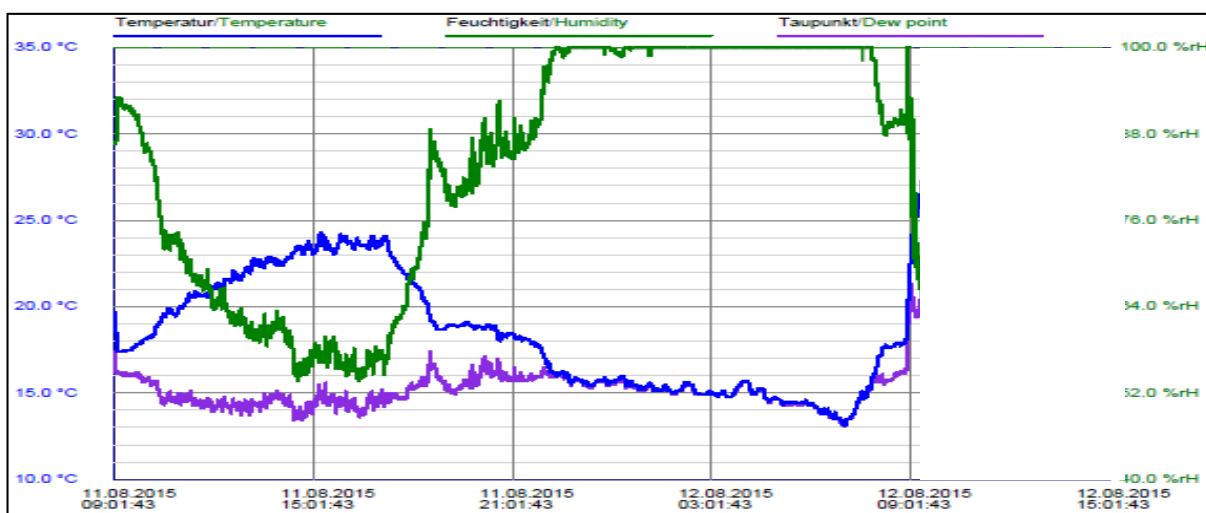
Kuva 53. Kohteen D tuloilman ilmavirroilla painotettu keskimääräinen lämpeneminen.



Kuva 54. Kumulatiivinen viilennysenergia, kanaviston lämpöhäviö ja kuivauksen määrä. Ulkolämpötilan asteikko oikealla. Vasen akseli muille kuvaajille.

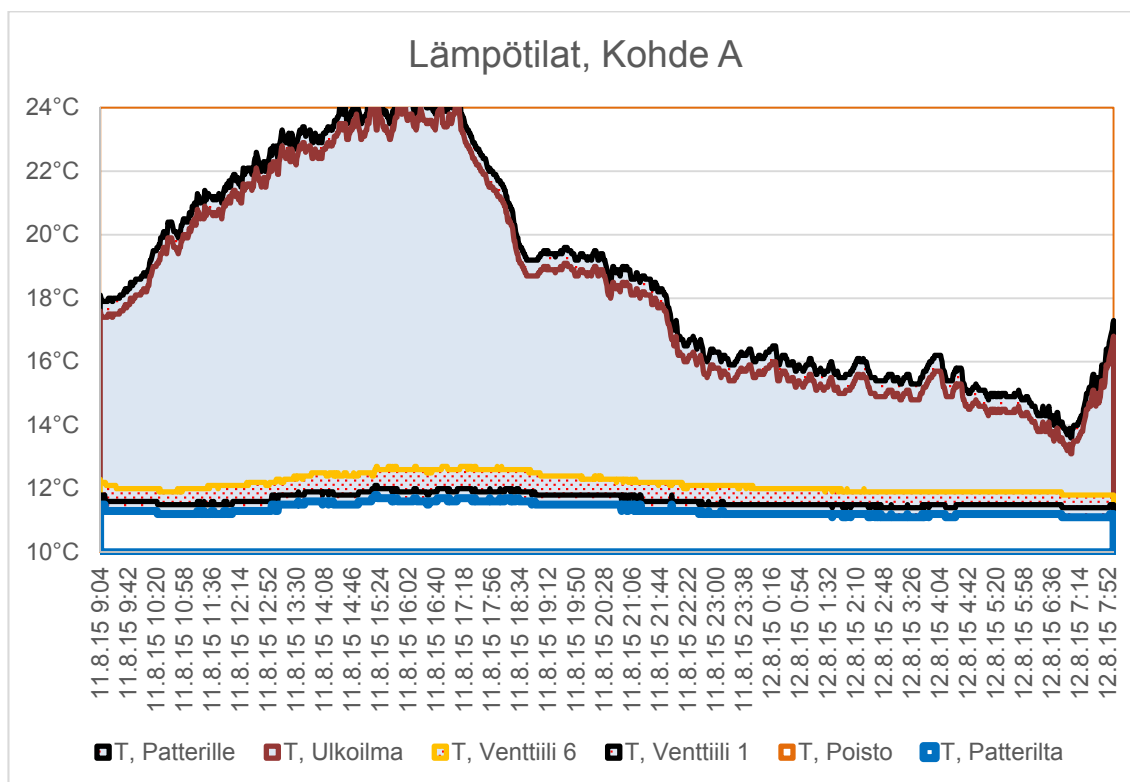
Kohteessa A viilennysenergiaa kertyi 23 tunnissa 41 kWh (punainen käyrä, vasen asteikko). Ulkoilman lämpösisältö oli suurimmillaan 50,0 kJ/kg klo 14–17 (sininen), ja siksi

saatu viilennystehokäyrä on jyrkimmillään (2 tunnin ajan yli 2,2 kW). Kondenssivesiker-
tymä oli yli litran tunnissa 10 tunnin ajan (violetti). Kanavahäviö oli 1,4 kWh (vihreä).
Viilennysenergiasta käytettiin kuivaamiseen 19 kWh. Kohteiden B, C ja D kanavissa ta-
pahtunut lämpeneminen on kuvissa 51, 52 ja 53.



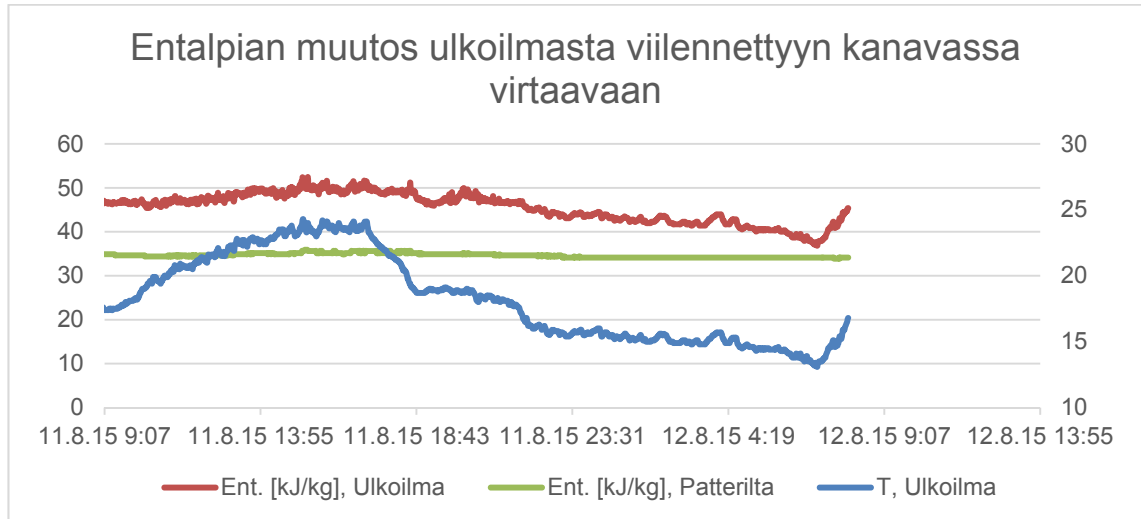
Kuva 55. Ulkoilman olosuhteet mittauspäivänä 11.8.2015

Ulkoilman lämpötila (sininen käyrä) oli 112 minuutin ajan noin 24 °C. Suhteellinen kos-
teus (vihreä) oli alimmillaan 54 %. Kastepiste oli aamupäivällä ja iltakuuden jälke-
en 16 °C. (Kuva 55)



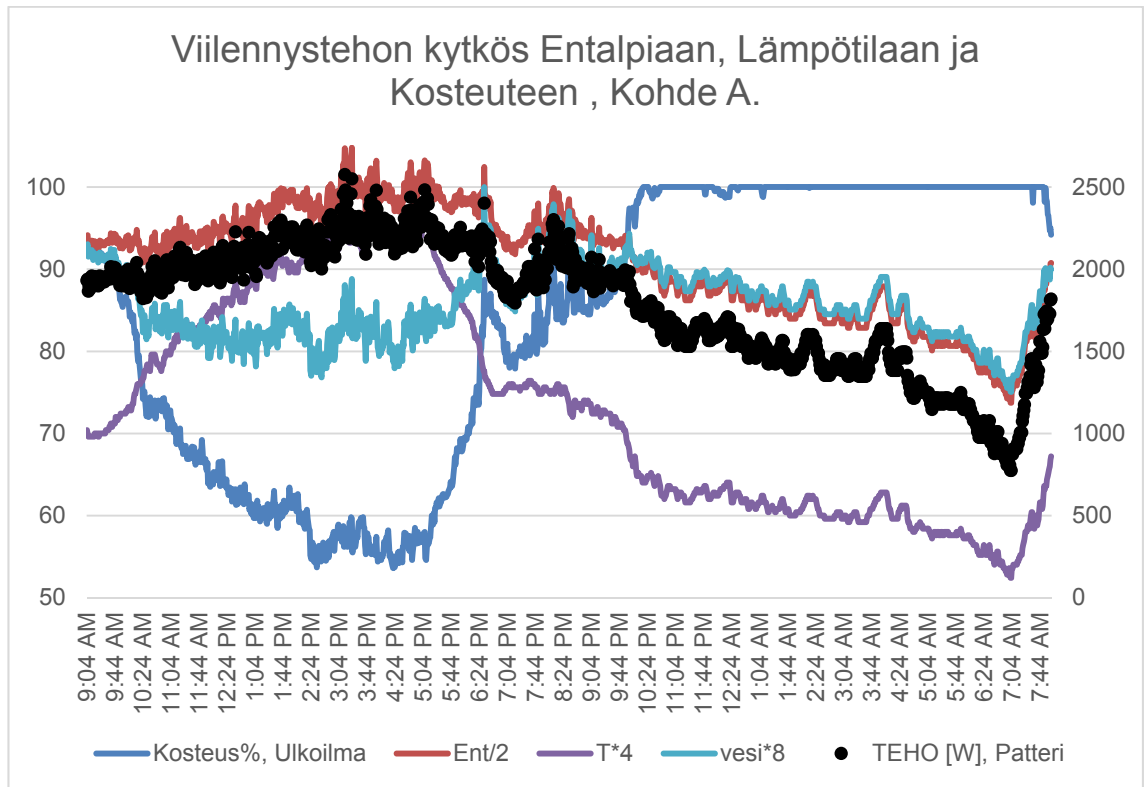
Kuva 56. Lämpötiloja kohteessa A. Sininen alue kuvaa viilennyksen aikaansaamaa lämpötilan laskua.

Kuvasta 56 nähdään, että ulkoilma (ruskea) lämpenee ilmanvaihtokoneessa ennen patteria. Ylin käyrä on puhaltimissa ja ilmanvaihtokoneessa lämmennyt raitisilma (musta). Ilman lämpenemistä viimeiselle venttiilille kuvaa patterilta lähtevän (sinisen) ja venttiilin lämpötilan (keltainen) välinen ero.



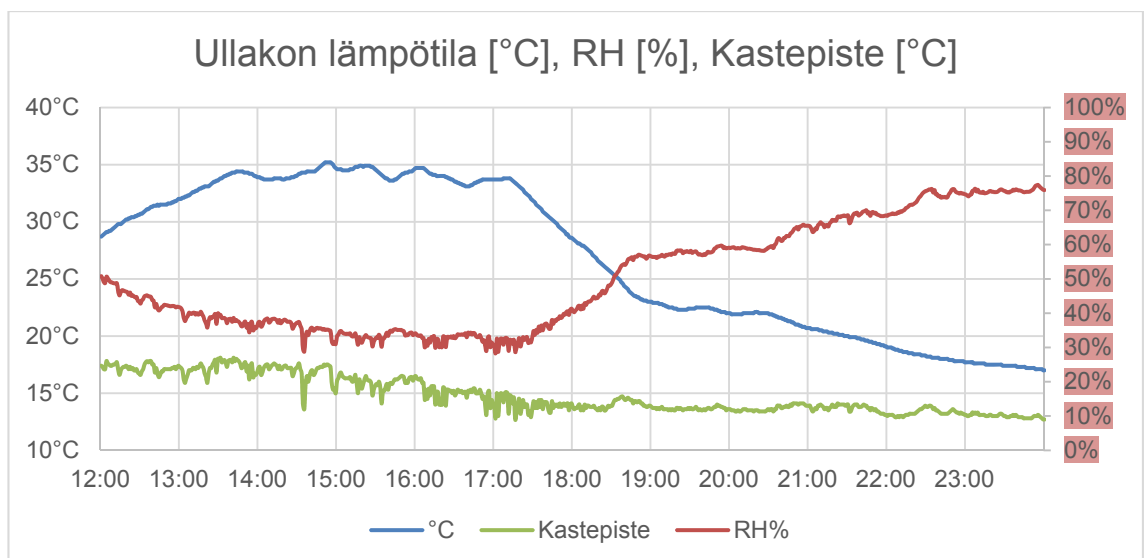
Kuva 57. Ulkoilman ja tuloilman entalpiat mittauspäivänä. Ulkolämpötilan asteikko oikealla ja vasen asteikko muille kuvaajille.

Ulkoilman entalpia oli useamman tunnin ajan 50 kJ/kg. Jäähdytystehontarvetta arvioidaan normaalisti ulkoilman entalpien ollessa 55 kJ/kg tai 57 kJ/kg. Entalpialtaan 55 kJ/kg oleva ilma on esimerkiksi 25 °C / RH60 % ja 27 °C / RH50 %. (Kuva 57)



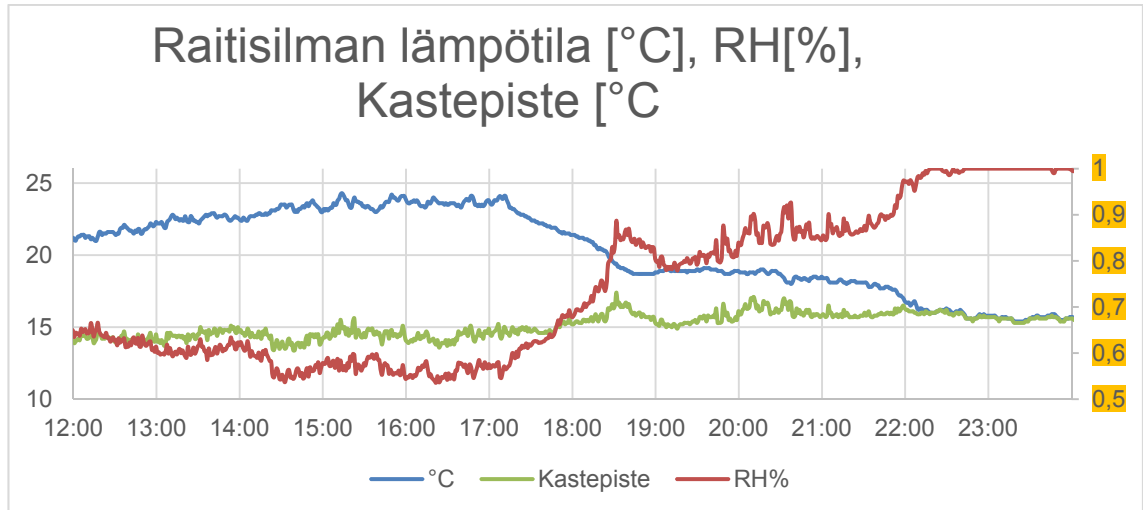
Kuva 58. Saadun viilennystehon (musta käyrä, oikea asteikko) korrelointi suhteelliseen kosteuteen, lämpötilaan ja vesisisältöön. Viilennystehon asteikko oikealla ja vasen asteikko muille kuvaajille.

Kuvasta 58 nähdään, että viilennysteho (musta) korreloi eniten ulkoilman entalpiain (punainen) kanssa. Kuvaajan mukaan seuraavaksi eniten vaikutti lämpötila, absoluuttinen vesisisältö ja vasta sen jälkeen suhteellinen kosteus. Viilennysteho kävi mittauspäivien aikana pienimmillään yleensä aamuneljän ja aamukuuden välisenä aikana.



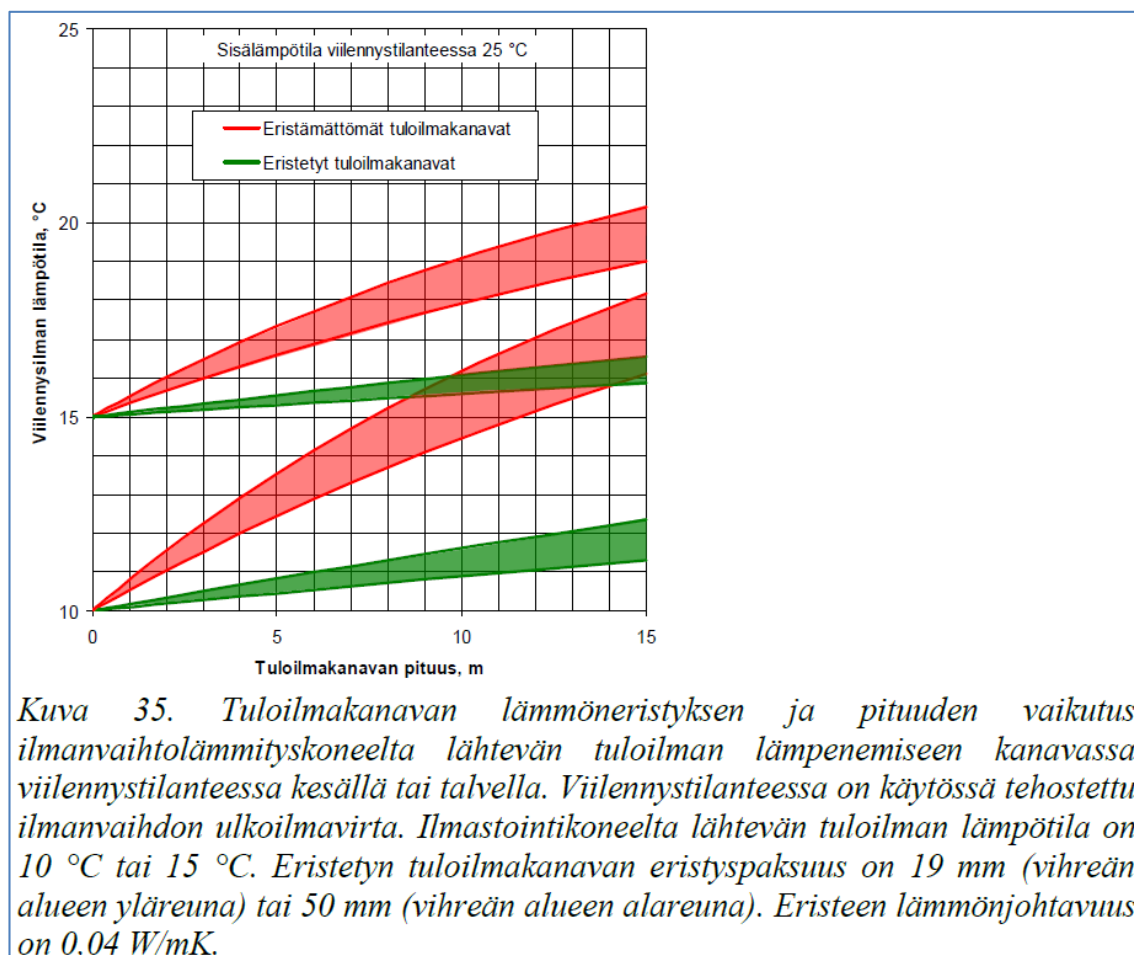
Kuva 59. Ullakon lämpötila, kastepistelämpötila ja suhteellinen kosteus kohteessa A.

Ullakon lämpötilojen mittauspiste näkyy tasokuvassa liitteessä. Ullakon lämpötila mitattiin 50 cm höyrynsulusta ylöspäin eli puhallusvillan ja vapaan ullakon ilmatilan rajapinnasta. Ullakon tuuletusta ei ollut vielä rakennettu eli ilma virtaa valmiin rakennuksen ullakolla vapaammin. Talon ympärillä ei ole varjostavia puita. Ullakon kastepiste oli tuntien ajan yli 17 °C, jota kylmempi kanava alkaa kondensoida. (Kuva 59)



Kuva 60. Raitisilman lämpötilat kohteesta A.

Ullakon kastepistelämpötila laski keskipäivästä alkaen, kun taas raitisilman kastepistelämpötila nousi keskipäivästä alkaen.



Kuva 61. Kuvaleike VTT:n tekemästä tutkimusraportista. Tuloilman lämpeneminen viilennystilanteessa ympäristön ollessa 25 °C ja ilmavirta 3 m/s. (5)

Vertailtaessa kohteen A tuloilman lämpenemää todellisista mittauksista VTT:n tekemään teoreettiseen laskentaan (5), kohteen A tuloilman lämpenemät olivat puolet pienemmät kuin 50 mm eristysvahvuudella oleva vertailueriste. Lämpenemä kohteessa A oli 0,22 °C—0,32 °C kymmenessä kanavametrissä. Kohteen A lämpenemät oli mitattu tehdystä kohteesta ja tehdyssä kohteessa on asennusvirheet heikentämässä tulosta teoreettiseen tulokseen verrattuna. Kohteessa A patterilta tuleva ilma oli noin 11,6 °C ja virtausnopeus 3,2 m/s.

6 Kondenssieristämiseen liittyviä ongelmia

Kuvissa on viime vuoden aikana vastaan tulleita kondenssieristysongelmia ja urakointiliikkeiden käyttämiä ratkaisuja näihin ongelmiin.



Kuva 62 ja 63. Poistoilmalämpöpumpun 6 vuotta käytössä ollut vanha jäteilmakanava.



Kuva 64. Edellisen kuvan kanava irroitettuna.

Kuvat 63 ja 64 ovat otettu 6 vuotta käytössä olleesta rivitalosta. Jokaisessa huoneistossa on oma käyttövetä ja lämmitystä palveleva poistoilmalämpöpumppu. Lämpöpumppu vie katolle kesällä useamman kilowatin teholla jäähdytettyä ilmaa ja vettä oli kondensoitunut kanavan ja eristeen väliin. Eristettä ei ollut liimattu putkeen. Urakoitsija oli eristänyt tuon ajan hyvän rakennustavan mukaan. Eristeenä oli 13 mm:n solukumi.

Vastaava kuvan 65 asennusvirhe tehdään usein myös raitisilmakanavassa lämpimässä tilassa, jos solukumisukkaa tai mattoa ei liimata kiinni kanavaan päistään. Yleisin kondenssieristeongelma on raitisilmakanavan solukumisukan liimaamatta jättäminen kerrostalo-kohteissa. Kerrostalojen suhteellinen kosteus on korkealla rakentamisen jälkeen johtuen betonirakenteiden kuivumisesta. Vuositarkastuksen aikoihin kanavan ja eristeen väliin on ehtinyt kertyä vahinkokohteissa 10–30 litraa vettä, ja roikkuva vesipussi on rikkoutunut. Osa rakennusliikkeistä vaatii jo kanavien eristämistä solukumimatolla solukumisukan sijaan. Mattoeristäminen vaatii enemmän ammattitaitoa ja asennusaikaa.

Raitis- ja jäteilmakanavan eristämisessä käytetään lämpimissä tiloissa yleisimmin 19 tai 25 tai kahteen kertaan 13 mm:n paksuinen solukumieriste. Jos taloon asennetaan tai on mahdollisuus, että vuosien varrella taloon asennetaan poistoilmasta tai jäteilmasta lämpöä talteen ottava laite, niin on järkevää valmiiksi kondenssieristää myös jäteilmakanava kattolämpivientiin saakka. Solukumi tulee liimata päistään toisiinsa ja putkeen. Peltikanavaa ei saa jäädä näkyviin.



Kuva 65. Solukumi tulee liimata päistään putkeen.



Kuva 66. Väärin kannakoitu solukumi.

Kannakointikohdalla tulisi olla vahvikkeena verkkovahvisteisesta teippiä muutamaan kertaan kiepauttaen, ettei kannakointiin käytetty vanne tai juniorisanka leikkaa eristettä kuten kuvassa 66. Vanteen käyttö ei ole suositeltavaa solukumilla päällystetyn kanavan kannakointiin. Paremman lopputuloksen saa käyrien ja T-kappaleiden kohdalle, jos käytetään kuvan 67 ja 68 eristematoista tehtaalla leikattuja ja esiliimattuja kulma- ja T-kappaleita. Myös nestepiirin eristyksissä on puutteita (kuvat 69 ja 70).



Kuvat 67 ja 68. LVI-tukkukaupan valikoimassa olevia solukumimatoista leikattuja eristeitä. Kanavaosien eriste tulee työmaalle valmiiksi leikattuna ja työmaalla eriste liimataan saumoistaan paikoilleen.



Kuvat 69 ja 70. Kaksi erilaista kylmäpiirin kiertonestepumpun eristystapaa.

7 Johtopäätökset

Mittausjakso kohteessa A oli vähän alle 23 tuntia välillä 9:04–8:00. Käyttämällä 24 tunnista puuttuvalle yhdelle tunnille ensimmäisen aamun ensimmäisen minuutin ja toisen aamun viimeisen minuutin keskiarvoja tuloilmakanaviston lämpöhäviö oli vuorokaudessa 1,5 kWh (3,5 % viilennysenergiasta). Viilennysenergiaa saatiin patterilta 43 kWh, josta huoneisiin saakka saatiin 41,5 kWh. Kuivaamiseen käytettiin puolet viilennysenergiasta (47 %). Kondenssivettä kertyi 24 litraa vuorokaudessa. Kanaviston lämpöhäviöteho oli 176 minuuttia arvossa 71 W ja 6 minuuttia arvossa 76 W, jotka olivat kaksi korkeinta lämpöhäviöarvoa.

BetterPipe-kanaviston alle 4 %:n lämpöhäviö on erittäin pieni verrattuna toisinaan kuultuun arvioon, että viilennystehosta kolmannes häviäisi ullakolle.

Litran verran tunnissa kuivaaminen vaikuttaa viileyden tuntuun huomattavasti. 400 kuutiometrin (huonekorkeus 2,5 m ja lattiapintaa 160 m²) talon sisäilmassa on kesäpäivänä

3,5–4,5 litraa vettä. Pelkkä suhteellisen kosteuden väheneminen kymmenellä prosentilla vaikuttaa iholla saman verran kuin 2 asteen lämpötilapudotus.

Tarkasteltaessa kaikkia kohteita höyrynsulun sisäpuolella olevien eristettyjen kanavien häviöt olivat 45–80 % kokonaislämpöhäviöistä. Sisäpuolisten kanavien eristäminen BetterPipe-3 tai vähintään 13 mm:n solukumilla on tarpeellista. BetterPipe-3-kanavan lämpenemä lämpimissä tiloissa on laskennallisesti 55 % pienempi kuin 19 mm:n solukumilla eristyn kanavan. Samansuuntainen tulos näkyi VTT:n suorittamassa laskennassa.

Kohteen B lämpöhäviöt olivat noin kolme kertaa A:ta suuremmat. Kohteen C lämpöhäviöt olivat noin 50 % suuremmat kuin kohteen A. Kohde A:n ja Kohde D:n tulokset olivat lähes samat. Vertailtaessa kohdetta A ja kohdetta D tulee huomioida, että kohteen D:n katto alkoi mennä varjoon klo 13, kun kohde A oli auringon alla koko päivän. Kohteen D patterilta lähti noin asteen verran lämpimämpi ilma 13 °C (vs. 12 °C).

Kohteissa B ja C saatiin suurimmat viilennystehot. Kohteessa B pumppu sai aikaan etanolivirtaaman noin 0,15 l/s. Kompressoritoimisen jäähdytysyksikön kohteessa C viilennystehonsäätö oli tehty poistoilman lämpötilan asetusarvolla. Kohteen D kylmätehoa asukkaat rajoittivat pumpun nopeudella ja kytkemällä pumpun pois päältä, ettei talo mennyt liian viileäksi. Kohteen D tehoa olisi saatu lisää vaihtamalla esimerkiksi pumppu 25/60-pumppuun, sekä kytkemällä viilennyspatteri lämpöpumpun rinnalle, eikä paluuputkeen.

Jos tuloilmavirraltaan 100 litraa sekunnissa olevaan taloon valitaan viilennys, suosittelen kanavakooltaan 250 mm:n viilennyspatteria. Valinnassa kannattaa kiinnittää huomiota myös nestepuolen painehäviöön. Kiertonestepumpuksi valitaan vähintään 60-sarjan pumppu (esim. Grundfos 25/60) ja etanolipiiri putkitetaan kuparikoolla 22 mm niin pitkälle kuin mahdollista. Patterin yhdistämiseen ei saisi käyttää lainkaan esimerkiksi sisämitaltaan 10 mm:n putkia suuren painehäviön takia. Tällainen putki on esimerkiksi tyypillisin muovinen käyttövesiputki 15 x 2,5 mm.

Kohteessa A saatiin viilennystehoa 43 kWh vuorokaudessa. Viikon verran samanlaisia päiviä tuottaisi 300 kWh. Täydellä teholla käyvä tyypillinen sarjan 25-60 pumppu kuluttaa 45 W eli vuorokaudessa 1 kWh verran ja viikossa 7 kWh. Kiertonestepumpun käyttämä energia ei tule maksettavaksi kallion lataamisen ja lämpöpumpun paremman hyötysuhteen vuoksi.

Teoriaan perustuvassa laskennassa lämpenemän tehoksi saatiin 113 W ja testaustilanteessa mitattiin korkeimmillaan 76 W. Höyrynsulun sisäpuolella olevat ontelolaattaan kannakoitodut kanavat eivät olleet kaikilta pinnoiltaan avoimet vapaaseen ilmatilaan, vaan ontelon alapintaan kiinni. Tämä ja puhallusvillan vaikutuksen arvioimisen haasteellisuus laskennassa aiheuttivat arvioni mukaan suurimmat laskennan ja mittausten väliset poikkeamat.

Viilennykseen voidaan käyttää myös ennen ilmanvaihtokonetta raitisilmakanavaan asennettua etulämmityspatteria. Lämpökaivon käyttäminen etulämmitykseen eli kaivon jäähdyttäminen talvella huonontaa maalämpöpumpun hyötysuhdetta, jos kaivoa ei mitoiteta pidemmäksi. Etulämmityksen suurimpia hyötyjä on, että ilmanvaihtokoneen sulatustoimintoa ei jouduta juuri käyttämään ja näin ilmavirrat pysyvät talvella muuttumattomana. Yllätys oli että yleisimmällä käytetyllä etanolilla (30 %) ei etulämmityspattereita ollut rikkoutunut, vaikka tällä pitoisuudella neste voi alkaa jähmettymään -17 °C :ssa.

Myöskään pienemmällä ilmamäärillä taloon ei tuoda lisää kosteutta tuloilman kautta. Oli kyse suurista tai pienistä tuloilmamääristä, niin taloon ei tuloilmaviilennyksellä tuoda ulkoa kosteuskuormaa. Ulkoisen kosteuskuorman vaikutuksen huomaa esimerkiksi hiostavalla ilmalla, jos viilennytyssä talossa on alue, jota ei viilennetä ja alue jota viilennetään. Esimerkiksi kellarin jäädessä viilennyksen ulkopuolelle, sen ilma voi olla lämpötilaltaan kylmien kiviainespintojen takia alhaisempi, kuin puurakenteisten ylempien kerrosten, mutta ylempänä lämpimämmässä ja kuivemmassa ilmassa on mukavampi olla.

Vaikka viilennystä ei kotiin valittaisi, kannattaa suunnitella talon ilmanvaihto siten, että huonekohtaiseen uudelleen säätöön on äänetöntä puhallintehoa saatavilla, jos joku muuttaa huoneesta toiseen. Äänilaskenta tulisi tehdä tuloilmakanavistolle tehostetuilla ilmavirroilla. Tarpeellista on myös suunnitella, mitoittaa ja säätää käytössä olevien makuuhuoneiden ilmavirrat huomattavasti suuremmalle, kuin useimmiten piirustuksissa mitoitettu 6 l/s henkilöä kohti.

Yli 10 °C alilämpöisen ilman tuominen huoneeseen venttiililtä mietityttää joitakin päätöksessä. Jos joku venttiileistä aiheuttaa vedon tunnetta, venttiili voidaan vaihtaa paremmin sekoittavaan venttiiliin, esimerkiksi Climecon OKAan. OKAn etuna on, että ilma tulee rei'itetystä pinnasta, joka parantaa sekoittumista. Toinen hyväksi havaittu oli FläktWoodsin KTI, jonka huomattavana etuna on suurempien ilmavirtojen saaminen pienemmällä

painehäviöllä, kuin esimerkiksi tyypillisellä tuloilmaventtiilillä KTS. KTI-venttiili voidaan myös suunnata 360, 270, 180 tai 90 asteen heittokuviolla.

Ei tarvita kristallipalloa ennustamaan, että tulevana vuosina rakennusten lämmöneristys lisääntyy ja talojen tiiveys paranee. Jo nyt viilennystarve on hyvin usein suurempi kuin lämmitystarve. Pienemmällä lämmitys- tai viilennysteholla on vaikutus huoneilmaan, enemmän kuin aiemmin. Huoneiden yllämpötilat ovat yleinen ongelma. Etelään ja länteen suunnattujen huoneiden lämpötilojen hallinta on erittäin haasteellista ilman viilennystä tai jäähdytystä. Rakennuksen tiiviimpi ulkovaippa vaatii jo nyt tiiviimmät läpiviennit. Huonelämpötilaa säädetään jo nyt tuloilman lämpötilaa säätämällä, enemmän kuin huomaammekaan. Ilmanvaihdon merkitys kasvaa.

Mitattujen kohteiden asukkaat olivat arvostaneet tuloilmaviilennyksen valinnassaan äänettömyyttä, kosteuden poistamista, viilennyksen huomaamattomuutta ja viileän ilman saamista makuuhuoneisiin. Asukkaat olivat tyytyväisiä valintaansa.

Lähteet

- 1 Vinha Juha. 2013. Ilmastonmuutoksen ja lämmöneristyksen lisäyksen vaikutukset vaipparakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa ja rakennusten energiankulutuksessa. Tampere. Tampereen teknillinen korkeakoulu.
- 2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2. Helsinki. Ympäristöministeriö.
- 3 Myllykoski Thomas. 2011. Rakennuksen ilmanvaihdon energiaselvitys, Mikkelin Ammattikorkeakoulu.
- 4 Vallox. Verkkodokumentti. <<http://www.keravanomakoti.net/eilta/Allo-nen07102010.pdf>> Ladattu 21.8.2015.
- 5 Saari Mikko ja Laine Juhani. 2009. Passiivienergiatalo harkoista (VTT-R-08496-09). Espoo. VTT.
- 6 Saari Mikko. 2014. Energiategokkaan pientalon ilmanvaihto-opas (VTT-S-04674-14) (6). Espoo. VTT.
- 7 Kuulontutkimus. Verkkodokumentti. Kuuloliitto ry. <http://www.kuuloliitto.fi/fin/kuulo/kuuleminen/kuulontutkimus/> Ladattu 21.8.2015.
- 8 Fraegen und Antwroten zur Raumlufffeuchte, Status Report 8. 2015. Fachverband Gebäude-Klima e. V. Bietigheim-Bissingen.
- 9 Hellström Göran. 2012. Sveriges Geologiska Undersökning (SGU). Verkkodokumentti. <http://www.slideshare.net/SGU_Sverige/geoenergi-kontra-fjrrvrme-konkurren-ter-i-ondan-gran-hellstrm-lth> Ladattu 21.8.2015
- 10 Hellström Göran. 2010. Lunds Tekniska Högskola. Kalvosarja: Termisk påverkan mellan borrhäll.
- 11 Nina Leppäharju. 2015. Geologian tutkimuskeskus GTK, Espoo. Haastattelu ja sähköposti. 25.8.2015
- 12 Säteri Jorma. 2002.. Verkkodokumentti. Sisäilmayhdistys. <www.sisailmayhdistys.fi/wp-content/.../08/Hyvan-sisailman-kriteerit.ppt> Ladattu 21.8.2015
- 13 Sandberg Esa. 2014. Ilmastointilaitoksen mitoitus. Ilmastointitekniikka osa 2. Helsinki. Talotekniikka-Julkaisut Oy.
- 14 Sisäilmaluokitus. 2008. Rakennustieto. LVI-kortti LVI-1+440.
- 15 Muovitech Oy. Verkkodokumentti. <<http://www.fi.muovitech.com/?page=turbo2&show=3>> Ladattu 21.8.2015.
- 16 Seppänen Olli. 2001. Rakennusten lämmitys. Helsinki. Suomen LVI-liitto.

- 17 Suoritustasoilmoitus NRO.BP-5/3-IV-052014. 2014. BetterPipe Oy.
- 18 VVS tabeller och diagram. 1974. Södertälje. Förlags AB VVS.
- 19 Suoritustasoilmoitus alumiinilaminaatille. 2011. Walki Oy
- 20 SFS. 2008, Rakennusten lämmitysjärjestelmät SFS-EN 15316. Järjestelmien energiavaatimusten ja järjestelmätehokkuuden laskenta.
- 21 Key terms in low-temperature insulation. 2006. Münster. Armacell GmbH.
- 22 Eko-Expert Oy 2015. Verkkosivu. <<http://www.eko-expert.com/palvelut/puhallusvillat/selluvilla>>. Ladattu 21.8.2015.
- 23 Salmi Kari. 2013. Ilmanvaihtokanavien tiiviys pientaloissa. Työterveyslaitos. Verkkodokumentti. Sisäilmayhdistys. <<http://www.sisailmayhdistys.fi/wp-content/uploads/2013/09/Kari-Salmi.pdf>> Ladattu 21.8.2015

Ilmamäärien mittauspöytäkirja, 10.8.2015, RTC Vahanen Turku Oy

VAHANEN

MITTAUSPÖYTÄKIRJA

Kohde: Jukka-Talo, Takakaarre, Lieto

ILMAMÄÄRIEN MITTAUS 10.8.2015

Kohteessa oli ilmanvaihdon kautta toteutettu viilennys päällä. Tuloilman lämpötila oli 13 astetta.

Ilmamäärät säädettiin ja mitattiin seuraaviksi:

Huone	Venttiili	koko	Rako	Paine-Ero	Virtaus
		mm	mm	Pa	[litraa/s]
Alakerta	KTS	100	12	21	23,4
MH 18.1m ²	KTS	125	12	20	24,6
MH 14.4m ²	KTS	125	12	17	22,7
Työh. 8.8m ²	KTS	100	6	21	12,4
OH1	KIR	100	6	21	9,7
OH2	KTS	100	6	21	12,4

kokonaistuloilmamäärä
hupulla mitattu säleiköltä

105 litraa
95 litraa

Laitteet ja kanavat

Ilmanvaihtokoneena oli Iloxair 129. Ilmanvaihtokone oli käynnissä ja asennolla 4/4, 9,6V.

Lämpimissä tiloissa tulo- ja jäteilmakanavistot olivat tehdaseristettyä BetterPipe 3-kanavistoa. Kylmissä tiloissa tulo-, poisto- ja jäteilmakanavistot olivat tehdaseristettyä BetterPipe 5-kanavistoa. Höyrinsulut läpivienteinä olivat BetterPipe-läpiviennit. Venttiileissä ei ollut suuntauslevyjä.

Mittalaitteet

Ilmamäärät mitattiin SWEMA 300-mittarilla ja SWEMA 233-mittarilla.

Turussa 14.8.2015

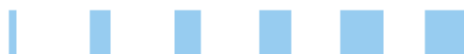
RTC Vahanen Turku Oy



Henri Koski
LVI-asiantuntija

LIITTEET: Pohjakuva 2-kerroksesta (Liite 1)

VAHANEN TURKU ■ www.vahanen.com ■ p. 0207 698 618
Ratapihankatu 53 C, 20100 Turku ■ y-tunnus 1643714-3



Lämpötilamittausten katselmus, 11.8.2015, RTC Vahanen Turku Oy

VAHANEN

MITTAUSPÖYTÄKIRJA

Kohde: Jukka-Talo, Takakaarre, Lieto

ILMANVAIHTOKANAVISTON LÄMPÖTILAMITTAUSTEN KATSELMUS 11.8.2015

Katselmuksen alkaessa mittaukset olivat käynnissä. Kohteessa oli viilennys kanaviston kautta käynnissä. Ilmamäärät oli mitattu edellisenä päivänä.

Mittarista luetut lämpötilat työmaalla katselmuksen aikana:

Kellarin kanavasta (1.mittauspiste)	12,3...12,5°C
Kellarin 1. venttiililtä 9 metrin päässä 1.pisteestä	12,6...12,7°C
1 krs:n (5 venttiiliä) MH 18,1m2, 25metriä 1.pisteestä	12,7...12,9°C
1krs. Talon kauimmainen venttiili, Olohuone 29 metriä 1.pisteestä	13,2°C

Lämpötilan lasku kanavistossa katselmuksen aikana oli 0,7...0,9°C.

Mitattava kanavisto

Lämpimissä tiloissa tulo- ja jäteilmakanavistot olivat tehdaseristettyä BetterPipe 3-kanavistoa. Kylmissä tiloissa tulo-, poisto- ja jäteilmakanavistot olivat tehdaseristettyä BetterPipe 5-kanavistoa. Kanaviston kannakointi oli toteutettu eristetyn kanavan pinnasta. Läpivienteinä olivat BetterPipe-läpiviennit.

Mittalaitteet ja mittausmenetelmä

K-tyypin anturikaapelit. Pituus 8m.

Näyttölliset tallentavat 4-kanavaiset lämpötilaloggerit Dostmann TC 309.

Mittauksen järjestäjän Erkki Tuomaalan mukaan:

K-tyypin kaapelit olivat testattu 10.8.2015 ennen mittauksia jäähdyttävässä tulokanavassa (T=12,9°C, RH n. 95%). Kaikki anturikaapelit olivat antaneet saman lukeman. Mittarin näyttötarkkuus oli 0,1°C.

Kaapelit olivat leikattu samasta kaapelikelasta, ostettu 9/2014, Pietiko, Turku.

Ullakon lämpötila oli 34-35°C kolmen ja puolen tunnin ajan.

Mittaustulokset tarkistettiin RTC Vahanen Turku Oy:n toimesta infrapunamittarilla.

Turussa 14.8.2015

RTC Vahanen Turku Oy



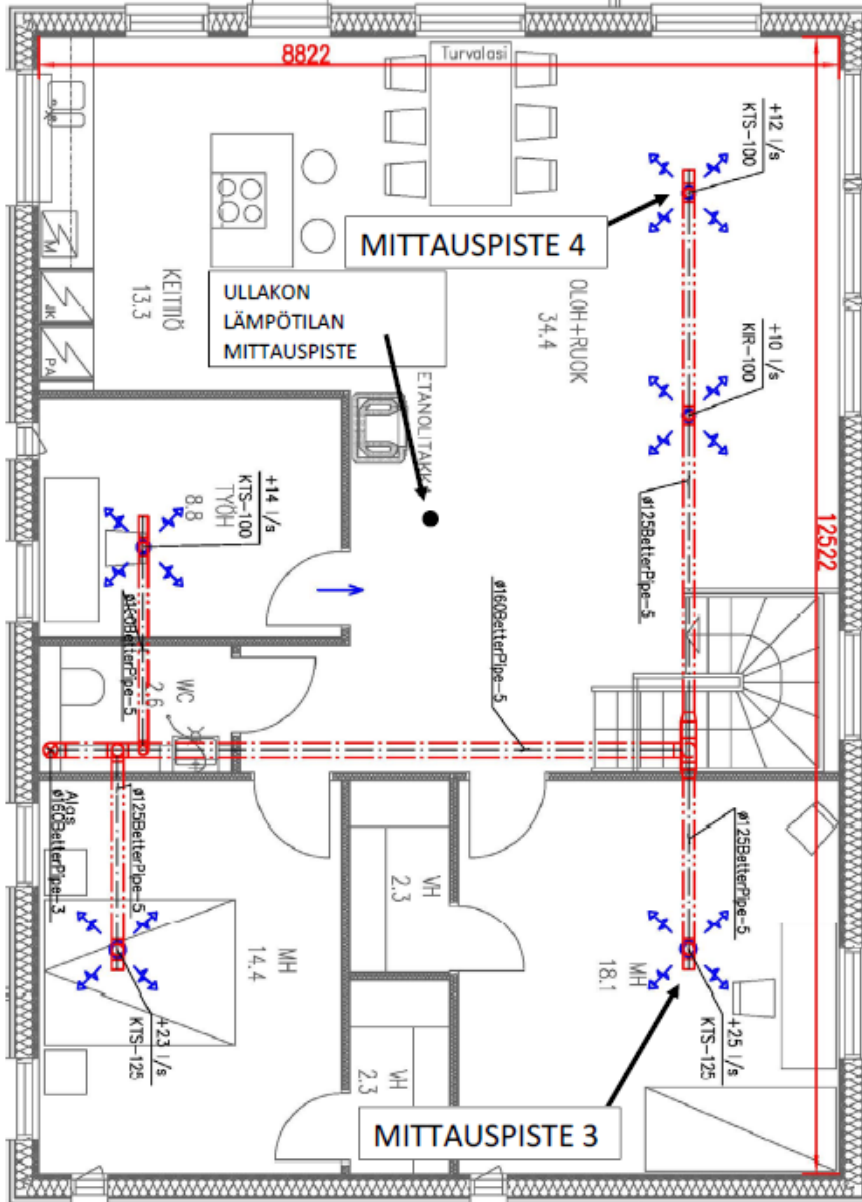
Henri Koski
LVI-asiantuntija

LIITTEET: Pohjakuva 2-kerroksesta (Liite 1)
Mittaustulokset (Liite 2)

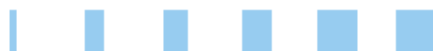
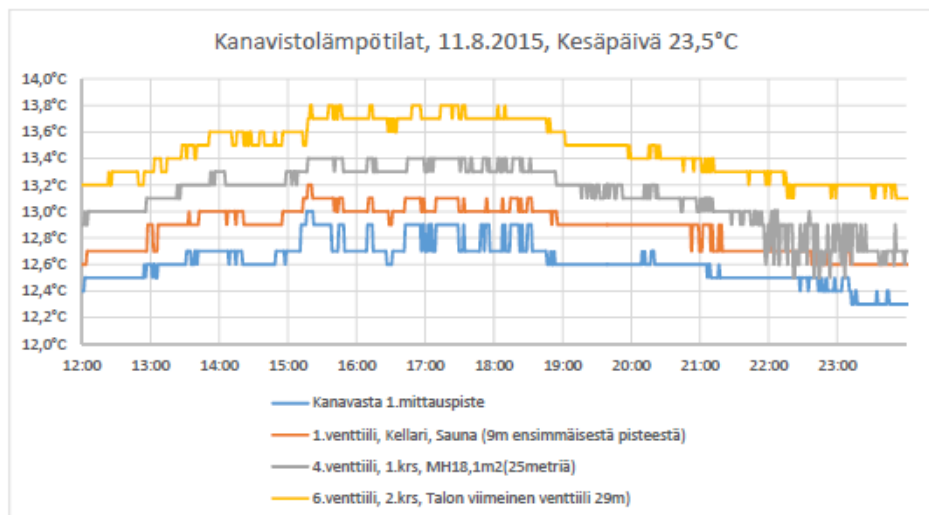
VAHANEN TURKU ■ www.vahanen.com ■ p. 0207 698 618
Ratapihankatu 53 C, 20100 Turku ■ y-tunnus 1643714-3



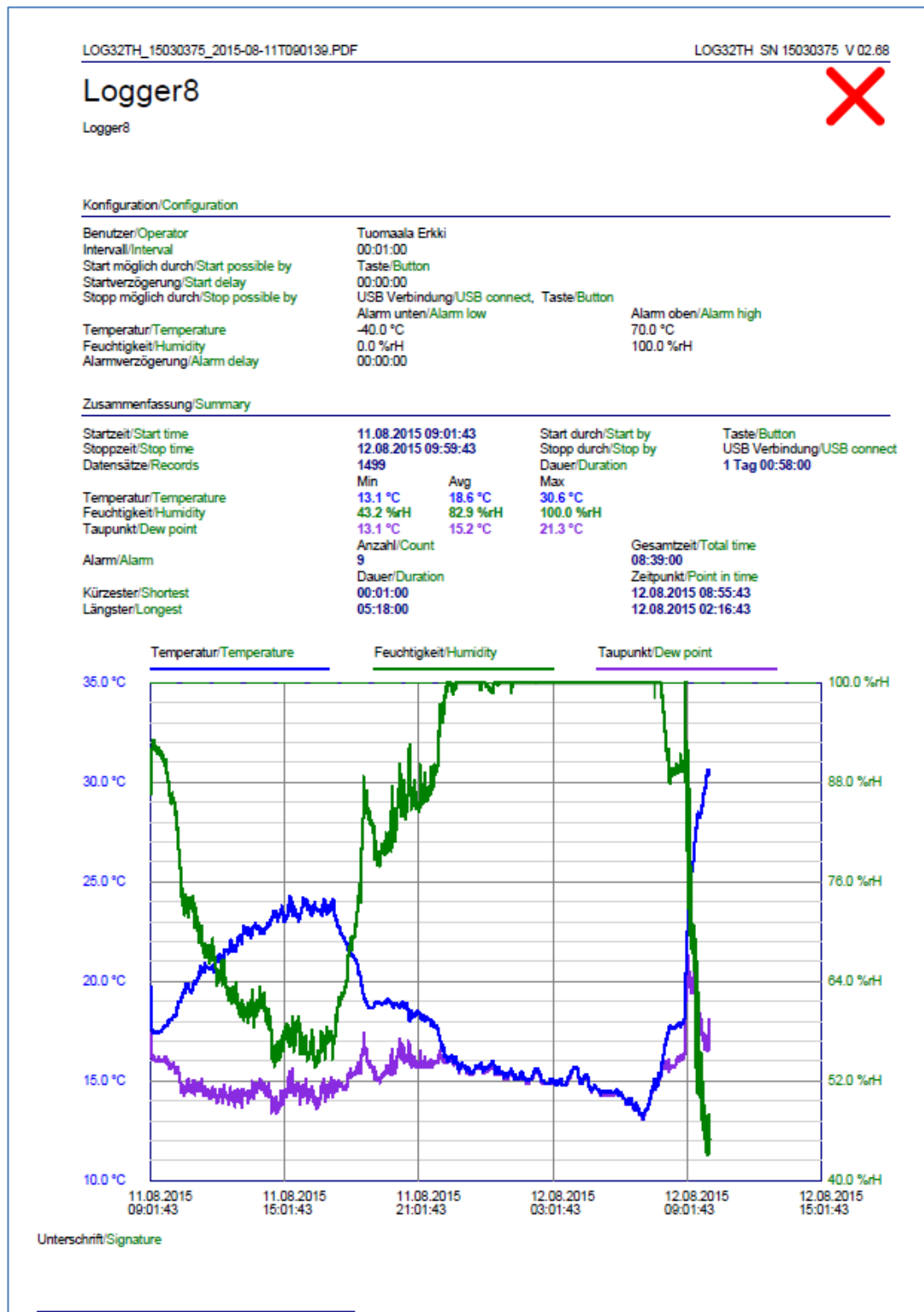
Liite 1. Pohjakuva 2-kerroksesta



Liite 2. Mittaustulokset



Raitisilma kohteessa A mittauspäivinä 11.8.-12.8.2015



Ullakon ilman tila kohteessa A mittauspäivinä 11.8.-12.8.2015

