



# Ilmalämmitysjärjestelmä pientalossa

rakennetekniikan kehittyessä

Veli-Matti Viljakainen

OPINNÄYTETYÖ  
Helmikuu 2020

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka  
Talorakennustekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka  
Talonrakennustekniikka

VILJAKAINEN, VELI-MATTI:  
Ilmalämmitysjärjestelmä pientalossa  
rakennetekniikan kehittyessä

Opinnäytetyö 53 sivua, joista liitteitä 7 sivua  
Helmikuu 2020

---

Opinnäytetyössä tutkittiin kokeellisen rakentamisen keinoin ilmalämmitysjärjestelmän rakentamista uuteen pientaloon ja tehtiin järjestelmän käytönaikaisia mittauksia. Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää ilmalämmitysjärjestelmän toteutuksessa ilmeneviä haasteita, sekä tutkia järjestelmän vaikutuksia sisäilmanlaatuun. Työssä rakennettiin uuteen pientaloon ilmalämmitysjärjestelmä, tutkittiin järjestelmän toimintaa käytön aikana ja pohdittiin tarpeenmukaisen ilmanvaihdon käyttömahdollisuuksia pientalossa. Ilmalämmitysjärjestelmä toteutettiin perinteisistä järjestelmistä poiketen täysin yläjakoisena koko rakennuksen alalle. Ilmanlaatua tutkittiin hiilidioksidi-, kosteus- ja lämpötilamittauksin. Lämpötilaeroja huoneiden sisällä tutkittiin lämpökameralla kuvaamalla.

Tutkimuksessa todettiin, että ilmalämmitysjärjestelmä on mahdollista toteuttaa tekemällä pieniä muutoksia tavanomaiseen ilmanvaihtojärjestelmään. Ilmalämmitysjärjestelmä ei myöskään aiheuta erityisiä vaatimuksia pientalon rakenteelliselle toteutukselle. Ilmanlaadun todettiin kiertoilmaa hyödyntämällä paranevan yön yli tehdyillä mittauksilla havainnoiden. Lämmön jakaantumista lämpökameralla tutkittaessa ei tiloissa havaittu suuria lämpötilaeroja. Asukkaiden kokemus ilmalämmitysjärjestelmästä on ollut myönteinen asunnon tasalämpöisyyden ja sisäilman raikkauden vuoksi.

Työn tuloksista voidaan päätellä, että ilmalämmitys on toimiva lämmönjakojärjestelmä nykyaikaiseen pientaloon. Järjestelmästä ei noussut työn edetessä esiin seikkoja, jotka heikentäisivät ilmalämmitysjärjestelmän toteutus- tai käyttömahdollisuuksia. Tuloksista voidaan yhteenvetona todeta, että ilmankierrätyksellä voidaan saada laadukkaampaa sisäilmaa oleskelutiloihin energiankulutusta kasvattamatta. Lämpökuvauksen perusteella yläjakoisena toteutettu ilmalämmitysjärjestelmä on lämmön jakaantumisen kannalta toimiva vaihtoehto pientalon lämmönjakojärjestelmäksi.

---

Asiasanat: ilmalämmitys, lämmitysjärjestelmät, ilmanvaihto, energiatehokkuus, passiivirakentaminen

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Construction Engineering  
Building Construction

VELI-MATTI VILJAKAINEN:  
Using an Air Heating System in Detached Houses

Bachelor's thesis 53 pages, appendices 7 pages  
February 2020

---

In this thesis, the construction of an air heating system in new detached house was investigated by means of experimental construction and measurements were made during the use of the system. The purpose of this thesis was to save energy and improve indoor air quality by developing the ventilation system of the detached house. The aim of the work was to build a functioning air heating system in the new small house, to investigate the operation of the system in practice and to examine the use of adaptive ventilation in the small house. Unlike traditional systems, this air heating system is based on blowing air from above throughout the building. Air quality was studied by measuring carbon dioxide, moisture and temperature from indoor air. The temperature differences inside the rooms were investigated by thermal imaging.

The study found that it is possible to implement an air heating system by making relatively small changes to a conventional ventilation system. The use of recirculated air improved air quality, as observed by overnight measurements. In the thermal imaging, no significant temperature differences were found in the rooms. The residents' subjective experience with the airheating system has been positive.

Based on the results, it can be concluded that air heating is a functional heat distribution system for a modern small house. As the work progressed, no issues appeared that would make the implementation of the air heating system less viable. The results show that air recirculation provides better indoor air for living areas without increasing energy consumption. On the basis of the thermographic survey it can be stated that the air heating system discussed here is a viable alternative to the heat distribution system of a detached house.

---

Key words: air heating, heating systems, ventilation system, energy efficiency, passive isolated construction

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	ILMALÄMMITYSJÄRJESTELMÄN TAUSTAA .....	7
	2.1 Sisäilmasto.....	7
	2.2 Ilmalämmitysjärjestelmän esittely.....	8
	2.3 Ilmalämmitysjärjestelmä 1970-80 luvuilla.....	10
	2.4 2010-luku .....	10
	2.5 Ilmalämmitysjärjestelmä nykyaikaiseen pientaloon .....	12
3	TESTIYMPÄRISTÖ.....	14
	3.1 Tutkimuskohde.....	14
	3.2 Lämmitysjärjestelmän suunnittelu .....	19
	3.3 Järjestelmän toteutus .....	23
	3.4 Järjestelmän säätäminen .....	24
4	MITTAUKSET JA HAVAINNOINTI.....	27
	4.1 Mittausmenetelmät.....	27
	4.2 Mittaustulokset .....	28
	4.3 Lämpökamerahavainnointi .....	38
	4.4 Empiiriset havainnot.....	41
5	POHDINTA .....	43
	LÄHTEET.....	45
	LIITTEET .....	47
	Liite 1. Ilmanvaihtosuunnitelma 1.krs .....	47
	Liite 2. Ilmanvaihtosuunnitelma 2.krs .....	48
	Liite 3. Ilmalämmitykselle muokattu kanavisto .....	49
	Liite 4. MH1, Ensimmäisen mittauksen mittauspöytäkirja .....	50
	Liite 5. MH1, Toisen mittauksen mittauspöytäkirja.....	51
	Liite 6. MH2, Kolmannen mittauksen mittauspöytäkirja.....	52
	Liite 7. MH2, Neljännen mittauksen mittauspöytäkirja.....	53

**LYHENTEET JA TERMIT**

THL	Terveysten- ja hyvinvoinninlaitos
STM	Sosiaali- ja teveysministeriö
YM	Ympäristöministeriö
U-arvo	lämmönläpäisykerroin (W/m <sup>2</sup> K)
LTO	lämmöntalteenotto

## 1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä toteutettiin ilmakiertoinen lämmönjakojärjestelmä passiivieristeiseen pientaloon ja tutkittiin kohteen sisäilman laatua järjestelmän käytön aikana. Opinnäytetyössä tutkittiin, onko ilmalämmitys vielä toteutus- ja käyttökel-poinen lämmönjakojärjestelmä nykyaikaiseen pientaloon, sekä millaisia vaikutuk-sia järjestelmällä on sisäilman laatuun. Ilmalämmityksen hyödyntämistä pienta-loissa on aiemmin tutkittu muun muassa Miia Liikasen kirjallisuusselvityksenä laaditussa kandidaatintyössä, Ilmalämmityksen soveltuvuus pientaloihin, Lap-peenrannan teknillisessä yliopistossa 2014.

Opinnäytetyö tehtiin Tampereen ammattikorkeakoulussa, yhteistyössä ilman-vaihtokonevalmistaja Valloxin kanssa.

Työn tutkimusteorianä käytettiin kokeellista rakentamista. Valittu tutkimustapa antaa aitoja mittaustuloksia testikohteesta, mutta menetelmä on huomattavasti työläämpi ja kalliimpi, kuin esimerkiksi olosuhdemallinnuksena toteutettu tutki-mus. Tutkimus sisälsi ilmalämmitysjärjestelmän suunnittelun ja rakentamisen passiivieristeiseen pientaloon sekä järjestelmän mittausta ja havainnointia sisäil-man laadullisesta näkökulmasta käytön aikana. Tutkimuksen ulkopuolelle oli ra-jattu kustannusvaikutusten vertailu ja laskenta, sekä järjestelmän vaikutukset pientalon energiataseeseen. Lopussa käsiteltiin aiheen jatkotutkimuksen tarvetta ja mahdollisuuksia.

## 2 ILMALÄMMITYSJÄRJESTELMÄN TAUSTAA

### 2.1 Sisäilmasto

Laadukkaassa sisäilmassa ei ole erotettavissa erityisiä tuoksuja ja ilman kosteuden ja lämpötilan tulee olla miellyttävää (THL 2019).

Sisäilmastoluokitus on sisäilmayhdistyksen laatima ohjeistus sisäilmastosta. Luokitus on ensimmäisen kerran julkaistu vuonna 1995 nimellä Sisäilmaston, rakennustöiden ja pintamateriaalien luokitus. Viimeisin julkaisu on Sisäilmastoluokitus 2018, joka on saatavilla RT-kortistosta. Luokitus täydentää rakentamismääräyksiä ja toimii ohjeena suunniteltaessa ja toteutettaessa rakennuksiin laadukasta sisäilmastoa. (Sisäilmayhdistys. 2020)

#### **S1: Yksilöllinen sisäilmasto**

Korkein sisäilmastoluokka. Sisäilman laatua ei heikennä epäpuhtaudet, eikä ilman hiilidioksidipitoisuus kasva 350ppm yli taustan pitoisuuden. Sisäilmassa ei erotu hajuja. Ilman lämpötila pysyy vakaana, siinä ei tunnu vetoa ja lämpötilaa on mahdollista säätää yksilöllisesti. Tiloissa on tilojen käyttötarkoituksen mukaiset hyvät ääni- ja valaistusolosuhteet. (RT 2018)

#### **S2: Hyvä sisäilmasto**

Sisäilman laatu on hyvä, ilmassa ei ole häiritseviä hajuja. Sisäilmaa ei heikennä epäpuhtaudet rakenteista tai rakennusmateriaaleista. Ilman lämpötila on vakaa, vetoa ei ole, mutta yllämpenemistä voi esiintyä kesällä. Tiloissa on tilojen käyttötarkoituksen mukaiset hyvät ääni- ja valaistusolosuhteet. Hiilidioksidipitoisuus pysyy alle 550ppm yli taustan. (RT 2018)

#### **S3: Tyydyttävä sisäilmasto**

Sisäilmasto täyttää rakennusmääräysten vähimmäisvaatimukset. Lämpö-, valaistus- ja ääniolosuhteet täyttävät viranomaismääräykset. Asetusten täytyminen ei edellytä kuitenkaan S3-luokan tavoitearvojen täyttymistä. Hiilidioksidipitoisuus pysyy alle 800ppm yli taustan. (RT 2018)

Sosiaali- ja terveysministeriön 2015 julkaisema Asumisterveysasetus asettaa ilmanvaihdolle seuraavat vaatimukset:

#### 8 § Ilmanvaihdon yleiset arviointiperusteet

Rakennuksen ulkoilmavirran on oltava riittävä ja sen tulee olla riittävästi puhdasta. Sisäilman vaihtuminen on huomioitava kaikkialla sisätiloissa. Ilmanvaihdon on pystyttävä huolehtimaan siitä, ettei rakennukseen synny mikrobikasvun riskiä. Sisäilman vaihtuvuus voi olla pienempi kuin 9 ja 10 §:ssä on säädetty, jos ilmanvaihtoa on tarpeen tullen mahdollista kasvattaa. Oleskeluaikojen ulkopuolella ilmanvaihdon tulee voida poistaa rakennusmateriaaleista ja muista lähteistä vapautuvat epäpuhtaudet sisäilmasta (STM 2015).

#### 9 § Asunnon ilmanvaihto

Asunnon ulkoilmavirran täytyy olla vähintään 0,35 dm<sup>3</sup>/s neliometriä kohden kaikissa asuinhuoneissa oleskelu aikana. Asunnon ulkoilma virtaa voi pienentää, jos sisäilman laadusta varmistutaan, ettei lämpötila, kosteus tai epäpuhtaudet pääse kasvamaan sisäilmassa haitallisesti (STM 2015).

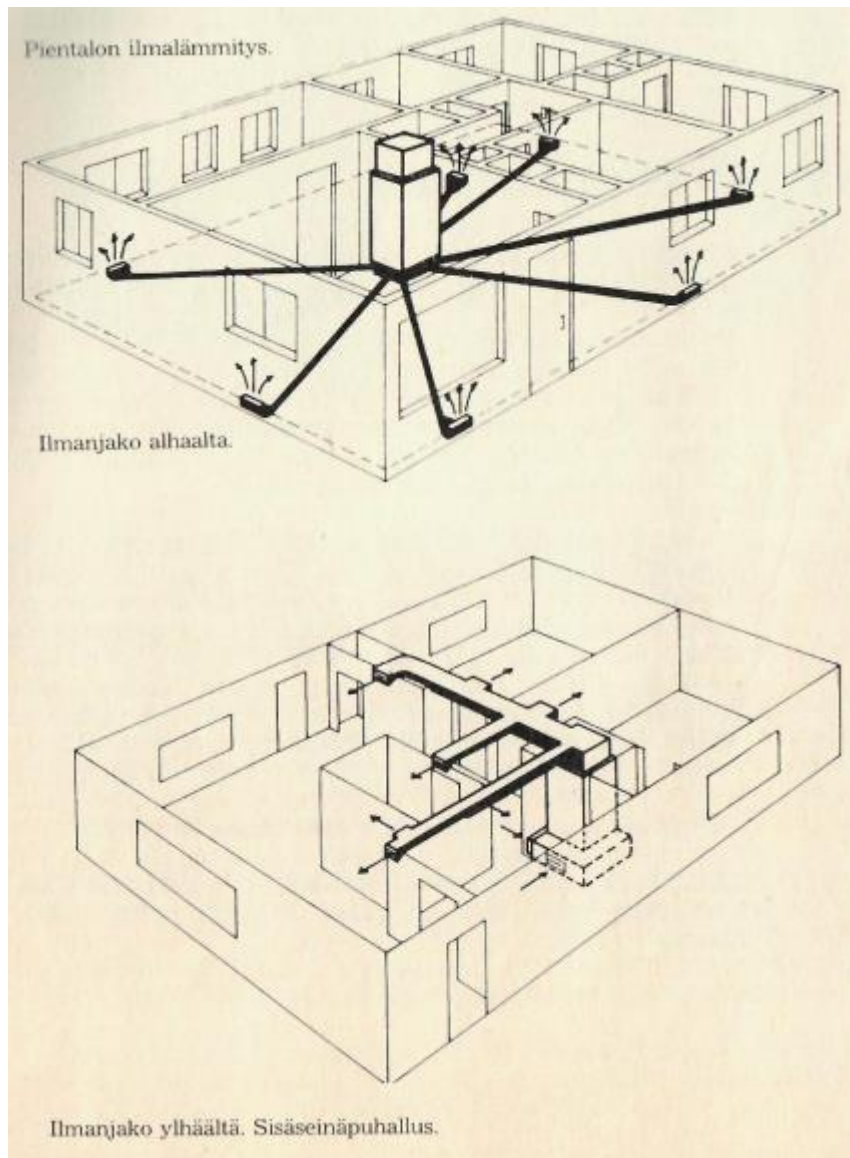
## 2.2 Ilmalämmitysjärjestelmän esittely

Ilmalämmitysjärjestelmällä, jäljempänä ilmalämmitys, tarkoitetaan lämmönjakojärjestelmää, jossa ilma toimii lämpöenergian välittäjäaineena. Ilmalämmityksessä osa huoneiston ilmasta kerätään ilmalämmityskoneeseen uudelleenkierrätettäväksi asuntoon. Ilmalämmityskoneessa kiertoilman joukkoon sekoitetaan ulkoa otettua puhdasta ilmaa, joka edelleen lämmitetään ilmalämmityskoneessa tarvittavan lämpöiseksi ja puhalletaan tulokanavista takaisin huoneistoon. Järjestelmä toimii täten ilmanvaihdon ja lämmitysjärjestelmän yhdistelmänä.

Jo omaksutun ilmalämmitys-nimensä mukaisesti käsitettäneen yleisesti, että ilmalämmitys tarkoittaa ilmalla lämmittämistä. Ilmalämmitys on lämmön jakamista - kierrättämistä - ilman avulla eri huoneisiin. Tämä tapahtuu puhaltamalla lämmintä ilmaa lattia-, katto- tai seinä rakenteisiin asennettuja kanavia pitkin huoneisiin. Ilma puhaltaa sisään kanavien päihin asennetuista, yleensä säädettävillä rillillä olevista aukoista. Ilmalämmitys ei sinänsä tuota lämpöä, vaan jakaa sitä. (Markkanen 1980, 11)

Kuviossa 1 ilmalämmitysjärjestelmän tyypillinen rakenne. Kuvion yläosassa on alajakaisena toteutettu ilmalämmitysjärjestelmä, jossa huoneiden tuloilmaput-

kisto on sijoitettu lattiarakenteeseen eristeiden väliin. Kuvion alaosassa on kuvattu yläjakoisena toteutettu lämmönjakojärjestelmä. Opinnäytetyön tutkimuskohteen olleeseen pientaloon ilmalämmitysjärjestelmä suunniteltiin ja toteutettiin yläjakoisena.



KUVIO 1. Ilmalämmitysjärjestelmän tyypillinen rakenne (Markkanen 1980, 11)

### 2.3 Ilmalämmitysjärjestelmä 1970-80 luvuilla

Ilmalämmitys oli suosittu lämmitysjärjestelmä 1980-luvun alkupuolella. Tuolloin noin joka kolmanteen uuteen omakotitaloon asennettiin ilmalämmitysjärjestelmä. VTT on selvittänyt 1980-luvulla, että ilman kierrätyksellä voidaan pienentää lämmönkulutusta noin 10 prosenttia. (Markkanen 1980).

Laite valmistajia oli vuoden 1980 alussa runsaasti. Tarjolla oli 11 varsinaista ilmalämmitysjärjestelmää: Aeromaster, Energiset, Ila 15, Taloterm Air, Parma, Tupla, Valmet Kotilämpö, Termovent, Upovari, Himabloc, Ilmajoule, sekä Ukko-ilmalämmitysjärjestelmä, joka oli toteutukseltaan erilainen, mutta periaatteeltaan samanlainen. (Markkanen 1980, 49)

Ilmalämmitysjärjestelmään on ollut mahdollista liittää myös matalämpöisiä lämpölähteitä. Järjestelmät olivat tyypillisesti yhdistettyinä puu- ja öljykattiloihin, sähkövaraajiin tai maalämpöpumppuun. (Sandberg & Ripatti 2014, 117)

Koska ilmalämmitys toteutettiin tuolloin tyypillisesti alajakoisena, asetti se haasteita kanaviston toteutukselle. Tuloilmakanaviston asennus oli tehtävä ennen lattian valua. Kanaviston eristämisessä piti olla huolellinen korroosioriskin ja lämpövuotojen välttämiseksi (Markkanen 1980, 26) Lisäksi kanaviston muutos- ja kunnostustyöt lattian valamisen jälkeen, olivat vaikeita ja kalliita.

### 2.4 2010-luku

Matala- ja passiivenergiataloissa on käytetty ilmanvaihdon kanssa toimivia päätelaitelämmittimiä oleskelutilojen lämmityksessä (Motiva 2011, 23). Tämä päätelaitelämmitys ei kuitenkaan lisää huoneisiin puhallettavan ilmamäärää ja eroaa siinä suhteessa tämän opinnäytetyön kohteena olleesta järjestelmästä. Nykyaikana perinteisiä ilman kierrätyksellä varustettuja ilmalämmitysjärjestelmiä on käytössä lähinnä 70- ja 80- luvuilla rakennetuissa pientaloissa. Näiden laitteistojen käyttöikä alkaa olla jo loppuillaan ja niihin vaihdetaan uusia laitteistoja, jotka ovat varustettuja nykyaikaisella LTO:lla ja elektronisestiohjatulla puhaltimilla. Uudis-

kohteisiin laitteistoja ei juurikaan asenneta. Ilmalämmityksen yleistymiseen vaikuttaa todennäköisesti myös se, ettei ilmalämmityskonevalmistajilla ole tarjota varsinaisesti uudiskohteisiin tarkoitettua ilmalämmityskonetta. Tällä hetkellä myynnissä olevat ilmalämmityskoneet ovat tarkoitettu lähinnä korvaamaan olemassa olevia vanhoja ilmalämmityskoneita.

## 2.5 Ilmalämmitysjärjestelmä nykyaikaiseen pientaloon

2000-luvulla talojen rakennetekniikka on kehittynyt monella osa-alueella huomattavasti. Esimerkiksi rakenteiden U-arvovaatimukset ovat kiristyneet huomattavasti 1970-luvun tasosta (taulukko 1).

TAULUKKO 1. Rakenteiden U-arvovaatimusten kehittyminen (Taulukko: Kouhia ym. 2010)

	1976	1978	1985	2003	2007	2010
Ulkoseinä U [W/m <sup>2</sup> K]	0,4	0,29	0,28	0,25	0,24	0,17
Yläpohja U [W/m <sup>2</sup> K]	0,35	0,23	0,22	0,16	0,15	0,09
Alapohja U [W/m <sup>2</sup> K]	0,4	0,4	0,36	0,25	0,24	0,16
Ikkuna U [W/m <sup>2</sup> K]	2,1	2,1	2,1	1,4	1,4	1
Ovi U [W/m <sup>2</sup> K]	-	-	-	1,4	1,4	1
Muut energialaskennan lähtötiedot						
Ilmavuotoluku n <sub>50</sub> [1/h]	6	6	6	4	4	2
Lämmön talteenoton hyötysuhde [%]	0	0	0	30	30	45

Ulkoseinien U-arvovaatimusten kehittyminen on vaikuttanut myös pientalon runkojärjestelmän kehittymiseen. Kun 1970-luvun alkupuolella tyypillinen pientalon runko tehtiin 4" sahatavarasta, on 2010-luvun jälkeen pientalon puurunko kasvanut jopa 8" vahvuiseksi. Taulukko 2 kuvaa rankarunkoisen pientalon seinärakenteen kehittymistä 1970-luvulta nykyaikaan.

TAULUKKO 2. Rankarunkoisen pientalon seinän kehitys (Hietakangas 2017)

Vuosi	RakMk U-arvo	Eristettä yhteensä [mm]	Eristekerrokset [mm]	Rakenteen U-arvo
1976	0,4	100		0,37
1978	0,35	125		0,32
1985	0,28	150		0,27
2003	0,25	175	125 + 50	0,22
2007	0,24	175	125 + 50	0,22
2010	0,17	205	30 + 125 + 50	0,17
2012	0,17	205	30 + 125 + 50	0,17

Ilmanvaihtokoneiden lämmöntalteenotto on kehittynyt vuotuisten hyötysuhteiden ollessa tänäpäivänä yli 70%. Ilmanvaihto- ja ilmalämmityskoneiden puhaltimet ovat vaihtuneet vaihtovirtapuhaltimista elektronisesti ohjattuihin tasavirtapuhaltimiin, joten laitteiden kuluttama puhallusenergia on myös pienentynyt (Vallox 2017).

Koska rakennusten lämmitykseen tarvittava lämmitystehon tarve on pienentynyt, voidaan lämmitykseen käyttää pienempiä ilmamääriä ja matalampaa tuloilman lämpötilaa. Pienemmät lämmitykseen tarvittavat ilmavirrat mahdollistavat ilmalämmitysjärjestelmää toteutettaessa pienemmät kanavakoot kuin aikaisemmin ja matalampi lämpötila mahdollistaa useiden erilaisten lämmönlähteiden tehokkaan käytön. Esimerkiksi lämpöpumppujen energiatehokkuus kasvaa, jos lämmönjakojärjestelmän vuoksi lämpöpumpun ei tarvitse tuottaa korkeita lämpötiloja.

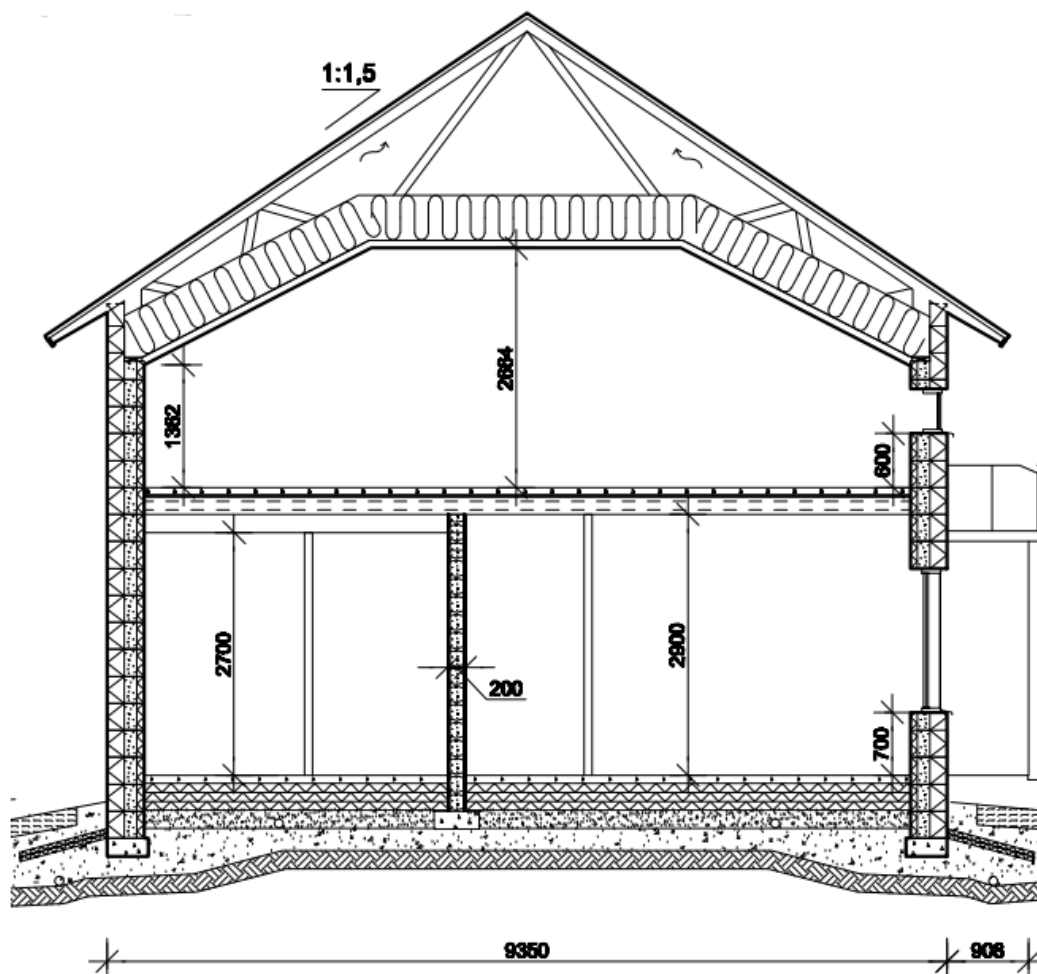
Nykyaikana pienentyneen lämmitystarpeen ja rakennuksen laadukkaamman ulkovaipan vuoksi, ilmalämmitys on mahdollista toteuttaa yläjakoisena. Tässä opinäytetyössä kävi ilmi, että ainakin passivieristeisessä pientalossa ylhäältä tilaan johdettu lämmitetty tuloilma lämmittää tilan tasaisesti. Tällä tavalla toteutettuna ilmalämmitys ei aseta rakennuksen rakenteelliselle toteutukselle juurikaan suurempia vaatimuksia kanavavetojen suhteen, kuin tavallinen ilmanvaihtojärjestelmä. Perinteisessä tulo- ja poistoilmanvaihdossa on kanaviston toteutuksessa hyödynnetty tyypillisesti rakennuksen ylä- ja välipohjia, sekä pystykotelointeja. Vaikka ilmalämmityksessä kanavakoot kasvaisivat pykälällä suuremmiksi, voidaan näitä reittejä yhä hyödyntää.

Ilmanvaihtokone sijoitetaan pientalossa usein tekniseen tilaan tai kodinhoitohuoneeseen. Koneen sijoittaminen on kuitenkin mahdollista myös esimerkiksi eteiseen, mutta tällöin koneelle olisi syytä olla äänieristetty komero ja koneen kondenssiveden viemäroinnistä tulee huolehtia. (Jokinen ym. 2014, 325) Ilmalämmityskoneella on samat vaatimukset tilan suhteen. Ulkomitoiltaan ilmalämmityskone on hieman tyypillistä ilmanvaihtokonetta suurempi, noin jääkaappipakastimen kokoinen. Se sopii moduulimittaisena esimerkiksi kodinhoitohuoneeseen 60cm kaapin paikalle.

### 3 TESTIYMPÄRISTÖ

#### 3.1 Tutkimuskohde

Tutkimuksessa suunniteltiin ja toteutettiin ilmalämmitysjärjestelmä betonirunkoiseen, EPS-harkoista rakennettuun puolitoistakerroksiseen pientaloon. Rakennus on passiivieristeinen, joten rakenteiden U-arvot alittavat nykyaikana voimassa olevat eristysvaatimukset. Rakennuksen yläpohja on toteutettu a-saksiristikolla, jonka alapaarretta on korotettu keskeltä 1300mm (kuvio 2). Rakenteella on mahdollistettu yläkertaan reunoille asti avoinna oleva asuintila. Käyttämällä 600mm ristikkojakoa, voitiin yläpohjarakenne toteuttaa ilman huoneistoon sijoitettavia yläpohjaa kannattelevia rakenteita. Rakennuksessa on ontelolaatoilla toteutettu betoninen välipohja. Seinien betonirunko on EPS-eristeen sisällä, jonka vahvuus on seinän ulkopuolella 180mm ja sisäpuolella 75mm.



KUVIO 2. Tutkimuskohteen periaatteellinen rakenneleikkaus

Taulukossa 3 on eriteltynä testikohteen rakenteiden U-arvot. Passiivieristeisen pientalon lämmitysenergian tarve on vähäinen, joten sen lämmitys soveltuu hyvin toteutettavaksi ilmajakoisella lämmitysjärjestelmällä.

TAULUKKO 3. Rakenteiden U-arvot

<u>Rakenneos</u>	<u>U-arvo</u>	<u>Yksikkö</u>
yläpohja	0,07	W/(m <sup>2</sup> K)
seinät	0,1	W/(m <sup>2</sup> K)
lattia	0,1	W/(m <sup>2</sup> K)
ikkunat	0,65	W/(m <sup>2</sup> K)
ovet	0,85	W/(m <sup>2</sup> K)

Lämmitysmuoto esimerkikohteessa on sähkölämmitys. Lämmitysvesi lämmitetään hybridivaraajassa sähkövastuksella. Varaajaan on liitettävissä myös muita energialähteitä, kuten aurinkokeräimet tai lämpöpumppu.

Hybridivaraaja on sijoitettu rakennuksen toiseen kerrokseen tehtyyn tekniseen tilaan (kuva 1). Hyödyntämällä yläkerran matalaa reunaosaa teknisenä tilana, ei tekniikalle tarvinnut käyttää asuinneliöitä muualta rakennuksesta. Varaajan yhteyteen on rakennettu ilmalämmityksen sunntausjärjestelmä, lattialämmityksen säätöjärjestelmä, sekä yläkerran lattialämmityksen ja käyttöveden jakotukit. Myös yläpohjaan sijoitetut ilmanvaihtokanavat sekä tuuletusviemäri, kulkevat teknisen tilan kautta.

Varaajan paino huomioitiin rakennesuunnitelmissa pistekuormana, jonka lisäksi suunnitelmien kuormituksia määritettäessä huomioitiin myös mahdollinen varaajakapasiteetin laajennusvara tulevaisuudessa. Tekninentila varustettiin lattiakäivöllä, sekä tulvakynnyksellä. Lattian pinta käsiteltiin epoksinnoitteella.



KUVA 1. Yläkertaan sijoitettu tekninentila

### **Rakenteelliset ratkaisut ilmalämmityksen toteuttamiseksi**

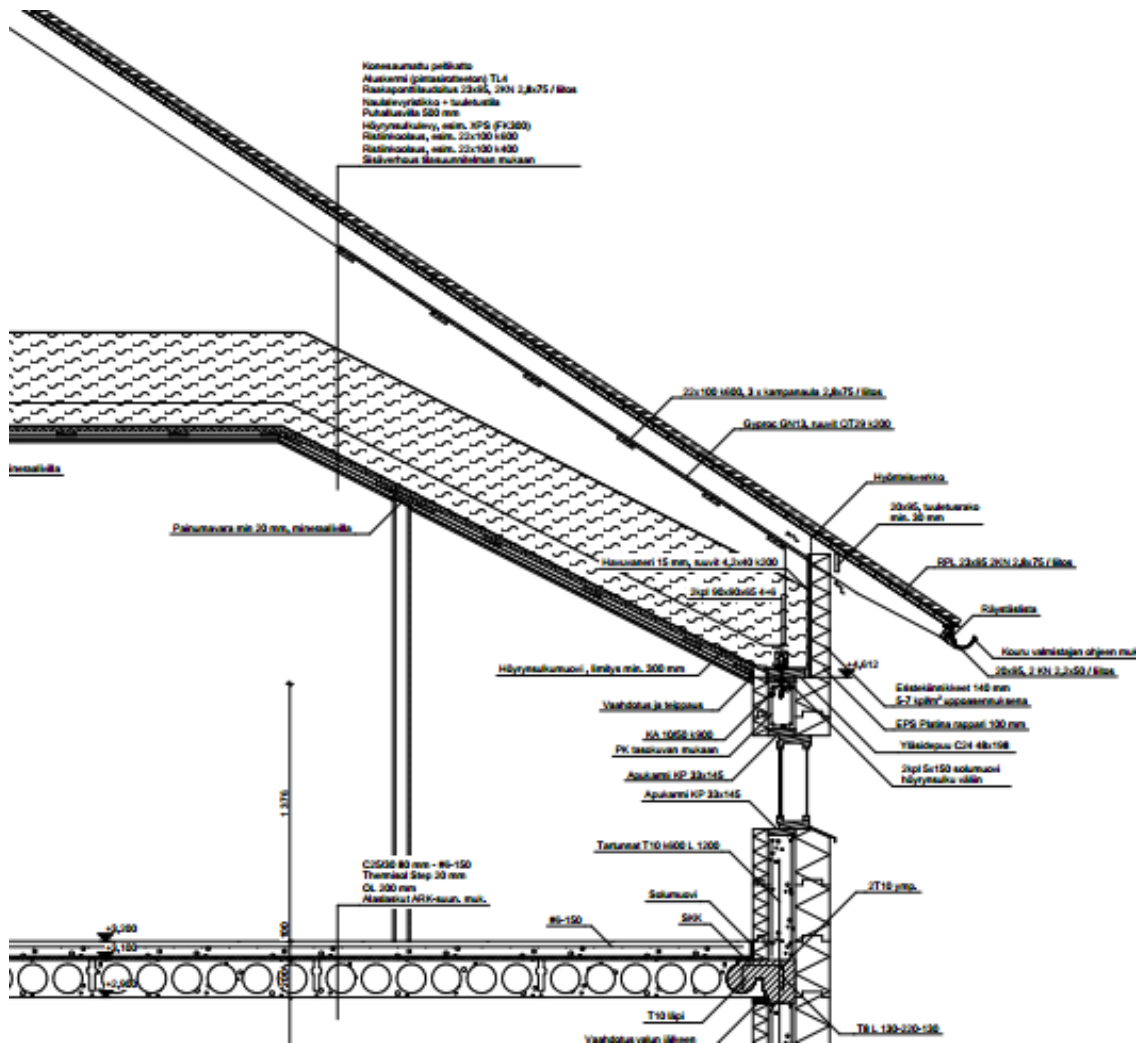
Rakennukseen suunniteltiin koko ensimmäisen kerroksen alalle alaslaskettu kattorakenne, joka mahdollisti talotekniikan vapaan sijoittelun. Rakennuksen ulko-seiniä korotettiin tästä syystä yhdellä harkkokerroksella. Alaslasketun sisäkaton ja ontelolaatoilla toteutetun välipohjan väliin saatiin tällä rakenneratkaisulla 250mm varustelutila, jossa kanavistot mahtuivat kulkemaan (kuva 2).



KUVA 2. Alaslaskettu sisäkattorakenne

Mikäli rakennuksessa olisi ollut puurakenteinen palkkivälipohja, ei alaslaskurakenne olisi ollut tarpeen, sillä kanavat olisi voinut sijoittaa välipohjakannattimien väleihin. Tällaisessa rakenteessa on kuitenkin huomioitava se, että rakennesuunnittelijan on aina mitoitettava mahdolliset välipohjapalkkeihin tehtävät reiät. Välipohjapalkkien reiittäminen ei aina ole mahdollista, vaan siihen liittyy rajoitteita mm. reiän halkaisijan ja sijoittelun suhteen. Tästä syystä kanavien poikkisuuntaiset linjaukset kannattaa suorittaa tiloissa, joissa on alaslaskettu kattorakenne kuten kodinhoituhuone tms. Kun ilmalämmitysjärjestelmä suunnitellaan yhteistyössä rakennesuunnittelun kanssa, voidaan kanavien reititykset huomioida kantavia rakenteita suunniteltaessa.

Yläpohjan höyrynsulkuna rakennuksessa käytettiin 30mm polyuretaanilevyä, joka oli pinnoitettu molemmin puolin alumiinivahvistein (kuvio 3). Yläkerran ilmanvaihtokanavistot sijoitettiin höyrynsulun yläpuolelle, puhallusvillan sekaan. Höyrynsulun läpi johdettujen kanavistojen läpivientikohdat tiivistettiin polyuretaanivaahdolla.



KUVIO 3. Yläpohjan rakenneleikkaus

Matalan ristikkorakenteen vuoksi tuulenohjaimista täytyi tehdä tavanomaista pidemmät. Ilmanvaihtokanavistoille jäi tilaa ylä- ja alapaarteiden väliin noin 900mm. Kuvassa 3 näkyy etualalla alapaarteiden vaakasuuntaista sidontaa. Siteiden tehtävänä on siirtää rakennuksen päätyyn tuulesta syntyviä voimia seinärakenteelle. Kanavistoja yläpohjaan sijoitettaessa tulee huomioida, että ristikoiden tuenta voi toteutua rakennesuunitelmien mukaisesti. Tavanomaisessa yläpohjarakenteessa ristikon alapaarre kulkee vakasuunnassa suoraan, joten ilmanvaihtokanaville jää tilaa enemmän kuin testikohtassa.



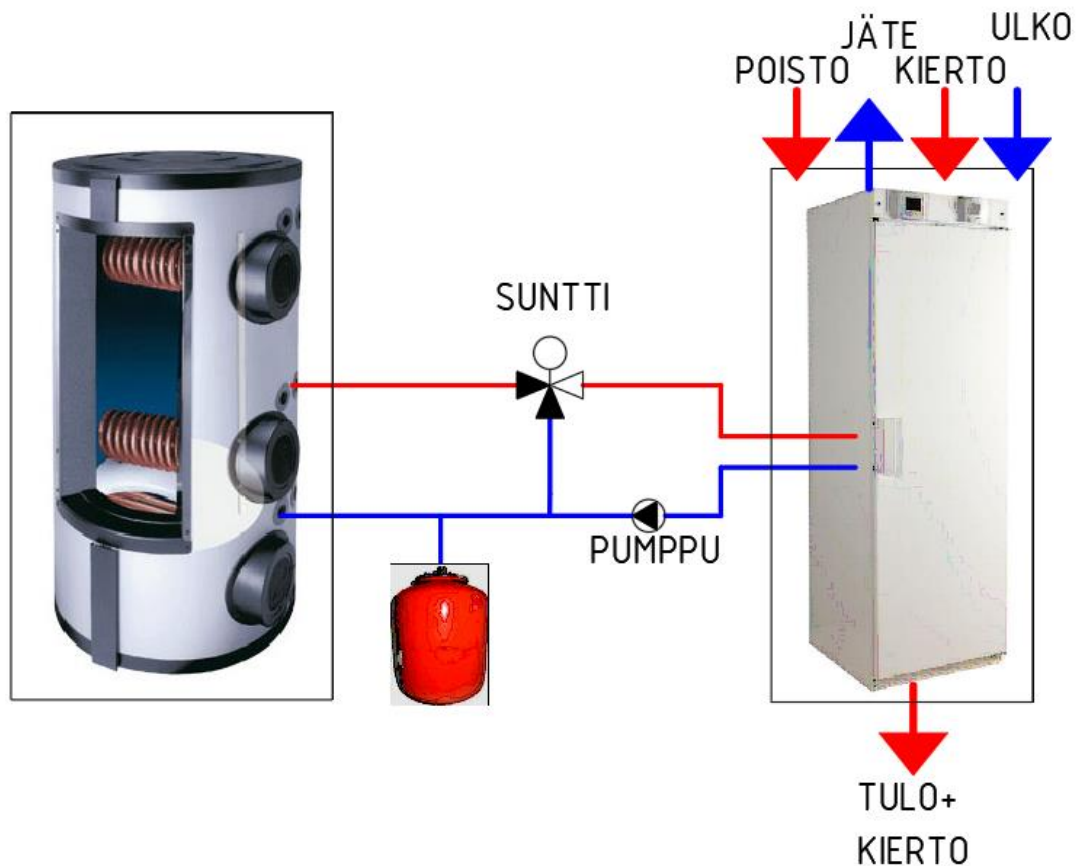
KUVA 3. Ristikoiden tuentaa ja tuulenohjaimet

### 3.2 Lämmitysjärjestelmän suunnittelu

Ilmalämmitysjärjestelmä suunniteltiin rakennukseen laaditun tavanomaisen ilmanvaihtosuunnitelman pohjalta, liite 1 ja liite 2. Rakennuksen oleskelutilat suunniteltiin lämmitettäväksi ilmanvaihdon kautta ja muut tilat kuten pesuhuone, wc:t ja kodinhoituhuone lämpiävät vesikiertoisella lattialämmityksellä.

#### Lämmitysjärjestelmän kuvaus

Varaajasta lämmitysvesi kiertää sunttiventtiin kautta ilmalämmityskoneessa olevalle patterille. Järjestelmässä lämpötilan säätö tapahtuu säätämällä lämmitysveden lämpötilaa sunttiventtiilillä. Sunttiventtiiliä säätävä ohjainlaite mittaa rakennuksen huonelämpötilaa ja säätää lämmitystarpeen sen perusteella. Kuviossa 4 on testikohteeseen toteutetun ilmalämmitysjärjestelmän periaatekuva.



KUVIO 4. Testikohteen ilmalämmitysjärjestelmän periaatekuva

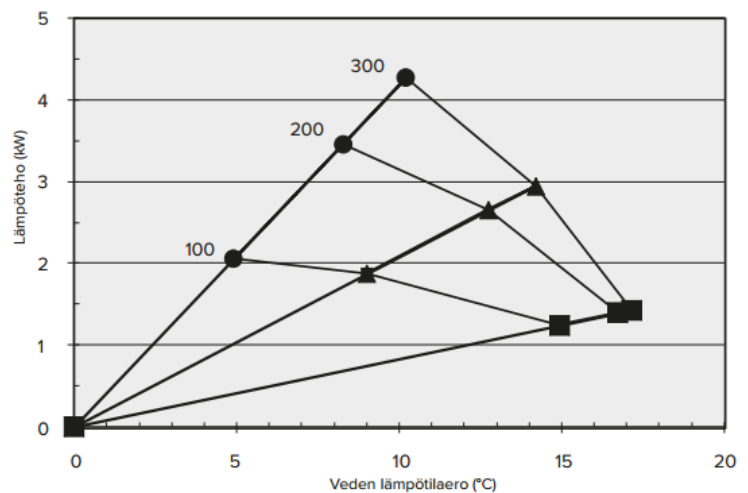
Valloxin Kotilämpö Aito koneessa on myös itsessään lämmönsäätöjärjestelmä, joka säätelee huoneiden tuloilman lämpötilaa ilmalämmityskoneen lämmityspatterin vesikiertoa kuristamalla. Tätä järjestelmää ei tässä kohteessa otettu käyttöön. Kuviossa 5 on kuvattu Vallox Aito Kotilämpökoneen lämmitystehoja erilaisilla veden tilavuusvirroilla ja lämpötiloilla.

Tehot eri nestevirroilla, kun ilmavirta on 100, 200 ja 300 dm<sup>3</sup>/s

- Tuloilman lämpötila ennen vesipatteria 17 °C
- Tulevan nesteen lämpötila 35 °C

Ilmavirta 300 dm<sup>3</sup>/s  
 Ilmavirta 200 dm<sup>3</sup>/s  
 Ilmavirta 100 dm<sup>3</sup>/s

- 0,10 dm<sup>3</sup>/s
- ▲ 0,05 dm<sup>3</sup>/s
- 0,02 dm<sup>3</sup>/s



KUVIO 5. Kotilämpökoneen lämmitystehot eri neste- ja ilmavirroilla (Vallox2018)

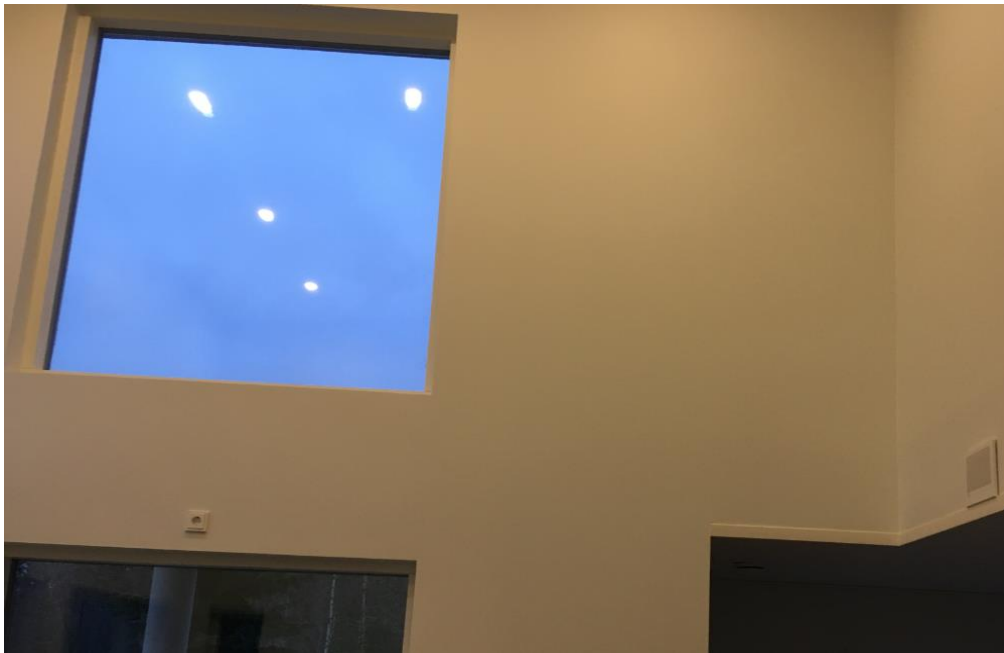
### **Muutokset ilmanvaihtojärjestelmässä**

Alkuperäistä ilmanvaihtosuunnitelmaa muokattiin siten, että järjestelmään lisättiin kiertoilmakanavisto ja tuloilman kanavia kasvatettiin vastaamaan kasvaneita ilmamääriä. Myös alkuperäiset 100mm:n tuloilmaventtiilit korvattiin suuremmilla venttileillä.

Rakennukseen suunniteltu poistokanavisto säilytettiin alkuperäisen suunnitelman mukaisena. Laitteisto ottaa kiertoilman olohuoneesta, huoneen lattian tasolta. Tuloilmakanavisto suunniteltiin yläjakoisena kaikkiin tiloihin. Keittiöön, makuuhuoneisiin ja työhuoneeseen tuloilma johdetaan katosta normaalin kattoventtiiliin (EHKTS-125) kautta. Olohuoneeseen tuloilma johdetaan kahdesta seinäventtiilistä (Climecon fino-160) ja yhteen makuuhuoneeseen seinäventtiilistä (STQA-125). Ilmalämmitykselle muokatut kanavistot liitteessä 3.

### **Ilmanjako**

Ilmanjaon toteutumiseksi olohuoneessa hyödynnettiin olohuoneen suurien ikkunoiden aiheuttamaa alaspäinsuuntautuvaa ilman virtausta. Tuloilma johdetaan huoneeseen kahdesta seinäventtiilistä, joiden heittopituus on valittu siten että tuloilmavirta saadaan johdetuksi ikkunoille, jossa se sekoittuu ikkunoiden aiheuttamaan ilman virtaukseen (kuva 4). Ikkunoiden aiheuttamaa ilman virtausta hyödyntämällä ja kiertoilman ottamisella olohuoneen alareunasta, estetään lämmitetyn tuloilman kerrostuminen korkean olohuoneen yläosiin. Muissa tiloissa huonekohtaisen ilmanjaon todettiin toteutuvan tiloihin johdettavan suuren tuloilmamäärän vaikutuksesta.



KUVA 4. Olohuoneen tuloilmaventtiilien sijoittelu suhteessa ikkunoihin

### Ilmavirtojen mitoitus

Rakennuksen ulkoilmavirta säilytettiin alkuperäisen suunnitelman mukaisena. Lisä- kaisista tiloista määritetyt poistoilmamäärät pidettiin myös ennallaan. Ulkoilmavirta säädettiin ilmanvaihtokoneelta suunnitellun mukaiseksi, hyödyntämällä koneessa olleita mittayhteitä.

Ilmalämmityksellä lämmitettävistä tiloista laskettiin johtumishäviöiden perusteella huoneisiin tarvittava lämmitys teho, millä johtumishäviöt saadaan katettua. Johtumishäviöiden summa laskettiin tilakohtaisesti eri rakenneosien U-arvot ja pinta- alat huomioiden. Rakenteiden U-arvoina käytettiin talopakettitoimittajan rakenteille ilmoittamia U-arvoja. Huoneeseen tarvittava lämmitysteho johtumishäviöistä laskettiin kaavalla 1,

$$\Phi_{tarve} = (U_{seinä} \cdot A_{seinä} + U_{yp} \cdot A_{yp} + U_{ap} \cdot A_{ap} + U_{ikkuna} \cdot A_{ikkuna}) \Delta T \quad (1)$$

jossa  $U_i$  on rakenneosan lämmönjohtavuus,  $A_i$  on rakennusosan pinta-ala ja  $\Delta T$  on sisä- ja ulkoilman lämpötilaero.

Huoneiden ilmamäärät sovitettiin siten, että ilmalämmityskoneessa lämmitetyn

tuloilman lämmitysteholla saatiin katettua tilan lämmitystarve. Rakennuksen lämpötilan säätö tapahtuu tuloilman lämpötilaa muuttamalla. Huonekohtainen lämpötilan säätö tapahtuu tuloilmavirtaa säätämällä. Tuloilman lämmitysteho  $\Phi_{tulo}$  laskettiin kaavalla 2,

$$\Phi_{tulo} = q_{tulo} \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta T \quad (2)$$

jossa  $q_{tulo}$  on huoneeseen tuleva ilmavirta,  $\rho$  on ilman tiheys,  $c$  on ilman ominaislämpökapasiteetti ja  $\Delta T$  on huoneen ja tuloilman välinen lämpötilaero.

### 3.3 Järjestelmän toteutus

Ilmalämmityksen kanavisto rakennettiin väliseinien ja alaslaskettujen kattorunkojen valmistumisen jälkeen. Tulokanaviston kasvaneet kanavakoot eivät hankaloittaneet asennustyötä, runkolinjojen pysyessä 160mm kokoisina. 200mm kiertoilmankanavakin mahtui kulkemaan kattorakenteissa. Ilmalämmityskone on sijoitettuna talon kodinhoitohuoneeseen, jonka kattoa laskettiin putkivetojen helpottamiseksi enemmän kuin muissa huoneissa. Lisätilalla mahdollistettiin ristikkäiset kanavavedot. Koneen yläpuolella oli ahtautta kanaviston määrän takia, mutta tarkan suunnittelun ja 400mm alaslaskun ansiosta kanavat eristeineen mahtuivat paikoilleen. Kiertoilman johtaminen kanavalla ilmalämmityskoneelle, lisäsi ahtautta koneen yläpuolella (kuva 5).



### KUVA 5. Kiertoilman johtaminen kanavalla ilmalämmityskoneelle

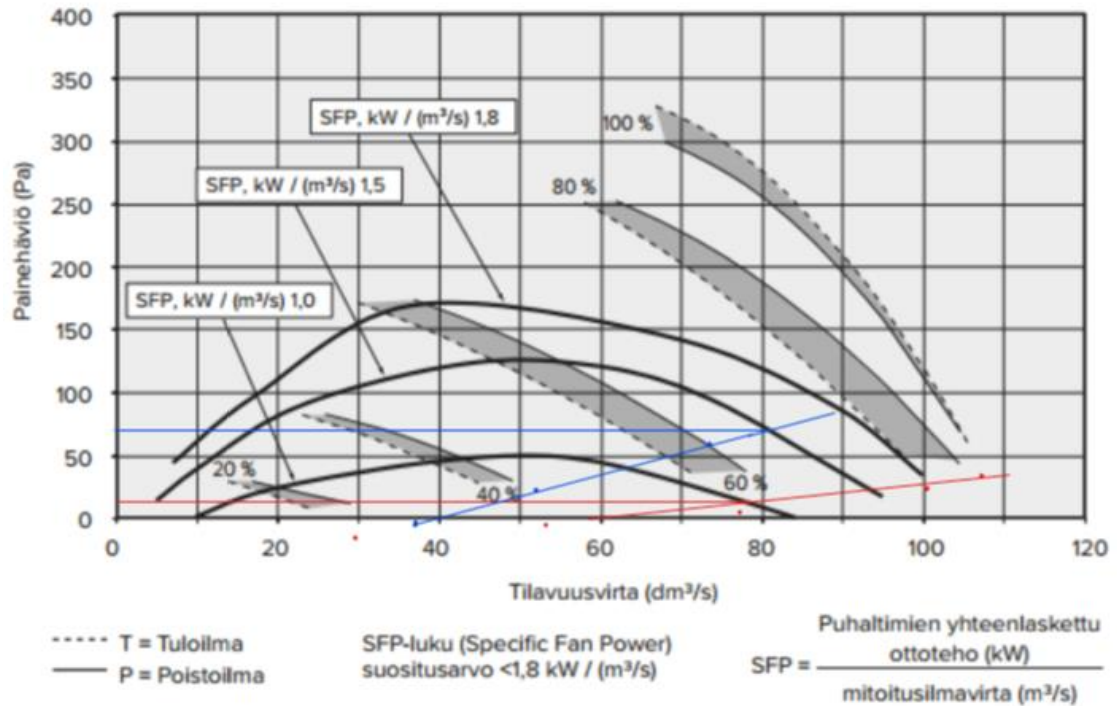
Koska 1980-luvulla ilmalämmitysjärjestelmät olivat yleisesti alajakoisia, Valloxin valmistama Aito Kotilämpö-kone puhaltaa tulo- ja kiertoilman alas. Koneen kylkeen rakennettiin kantikas pystykanava, jolla tuloilma johdettiin ylös tuloilmakanavistoihin.

### 3.4 Järjestelmän säätäminen

Käyttöönoton yhteydessä järjestelmä tulee säätää. Säätötyö tehtiin Valloxin ohjeen mukaan, säätämällä ulkoilmavirta suunnitelmien mukaiseksi mittaus-yhteiden avulla ilmalämmityskoneelta. Mittauksissa käytettiin Swema Air 300 ilmastoinnin yleismittaria varustettuna SWA07 paineanturilla. "SwemaAir 300 on ilmastoinnin yleismittari, jolla voidaan mitata ilman virtausnopeutta, ilmamääriä, ilman kosteutta, lämpötilaa, painetta ja hiilidioksidipitoisuutta" (Pietiko oy).

Ennen tulo- ja poistoilmavirtojen säätämistä tuloilmaventtiilit esisäädettiin 15 pascalin paine-erolla siten, että lämmitettäviin huoneisiin saatiin niihin lämmitystarpeen mukaan määritetty ilmavirtaus.

Ulkoilmavirralle muodostettiin erilaisia puhallintehoja käyttäen ns. laituskäyrä, jonka avulla määritettiin mittayhteistä mitatun paine-eron perusteella oikea puhallinteho suunnitellulle ulkoilmavirralle. Poistoilmavirta säädettiin venttiileiltä paineero mittauksella suunnitelmien mukaiseksi, jonka jälkeen poistoilmavirta vielä tarkastettiin koneen mittayhteiden avulla määrittäen. Kuviossa 6 ilmavirtojen mitoitus laituskäyrän perusteella mittayhteiltä määritettynä. Kuviossa punaisella tuloilman määrittäminen ja sinisellä poistoilman määrittäminen.



KUVIO 6. Ilmavirtamitoitus laitoskäyrän perusteella

Ilmalämmityskoneen kiertoilmapuhallin tuli olla minimi teholla ilmanvaihto-osan säädön ajan. Ilmanvaihto-osan ilmavirtojen asettamisen jälkeen kiertoilmapuhallin säädettiin siten, että tuloventtiileistä saatiin mitattua noin 15 pascalin paineerot. Olohuoneen ja keittiön lämmitysenergian perusteella määritettyjä ilmavirtoja pudotettiin n. 20% tiloihin asumisesta ja takanpoltosta tulevan muun lämpöenergian takia. Olohuoneen ilmavirta jäi kuitenkin lähes nelinkertaiseksi alkuperäiseen suunnitelmaan verrattuna ja keittiö noin kolminkertaiseksi.

Järjestelmän säätötyö onnistui ongelmitta. Kanavistot olivat keskenään tasapainoisia, eikä suuria paine-eroja venttiilien välillä ilmennyt. Poistoilmavirran ollessa suunnitelman mukainen, poistolinjan viimeinen venttiili jouduttiin säätämään maksimi asentonsa auki. Alkupään venttiileissä oli hieman suurempi paine-ero, joten alkupään venttiilien säätö asetui säätöasteikon keskivaiheille. Poistokanavistossa ei kaiken kaikkiaan tarvinnut käyttää suuria paine-eroja, maksimaalisen venttiilillä esiintyvän paine-eron jäädessä hieman alle 30 pascalin. Matalilla paine-eroilla saadaan säästöä puhallinenergiassa. Puhallinmoottorien tehot asetuiivat säädössä samalle 60% teholle maksimista. Rakennus oli tällöin noin 5 pascalia alipaineinen. Taulukossa 4 ilmanvaihdon mittauspöytäkirja.

## TAULUKKO 4. Ilmanvaihdon mittauspöytäkirja

ILMANVAIHDON MITTAUSPÖYTÄKIRJA									
Kohde: Heposuontie 41				Ilmanvaihtokone:		Vallox kotilämpö aito			
Päivämäärä: 22.1.2020				Tehoasetus mittauksessa:					
Mittaaja: Veli-Matti Viljakainen				Tulo		60 %			
Mittari: Swema Air 300				Poisto		60 %			
Huone	Tulo- tai poistoilmaventtiili (T/P)			Mittausarvot		Ilmamäärä		Poikkeama	
	T/P	Valmistaja	Malli ja koko	Asento	Mitattu paine-ero	Mitattu l/s	Suunn. l/s	l/s	%
Nro.	1.krs								
	Keittiö	P	Fläktwoods	KSOP-125	-6	16	-8	-8	
	Eteinen	P	Fläktwoods	KSO-125	-10	25	-7	-7	
	WC	P	Fläktwoods	KSOP-125	-10	27	-8	-7	-1 14 %
	KHH	P	Fläktwoods	KSO-125	0	28	-14	-12	-2 17 %
	Arki eteinen	P	EH-muovi	EHP-125	10	26	-7	-7	
8	Keittiö	T	EH-muovi	EHKTS-125	12	15	16	20	4 20 %
8	Keittiö	T	EH-muovi	EHKTS-125	12	15	16	20	4 20 %
7	OH	T	Climecon	fino-160	4 riviä kiinni	18	20	25	5 20 %
7	OH	T	Climecon	fino-160	4 riviä kiinni	19	21	25	5 20 %
6	MH	T	EH-muovi	EHKTS-125	6	19	12	10	2 20 %
5	TH	T	EH-muovi	EHKTS-125	6	15	10	10	
	2.krs								
1	MH 1	T	EH-muovi	EHKTS-125	12	15	16	15	1 7 %
2	MH 2	T	EH-muovi	EHKTS-125	10	14	14	14	
3	MH 3	T	Fläktwoods	STQA-125	auki	11	14	16	2 13 %
4	Aula	T	EH-muovi	EHKTS-125	9	14	13	13	
	WC/kph	P	Fläktwoods	KSOP-125	10	22	-19	-19	
	WC	P	EH-muovi	EHP-125	9	24	-11	-14	-3 21 %
	VH	P	EH-muovi	EHP-125	9	16	-7	-7	
	tulot yht								
	poistot yht								
	kiertoilma								

## 4 MITTAUKSET JA HAVAINNOINTI

### 4.1 Mittausmenetelmät

#### Toteutus

Tutkimuksessa havainnoitiin ilmanlaatua asuintiloissa ja mitattiin huoneiston pintalämpötiloja lämpökameralla kuvantamalla. Tiloista mitattiin kosteutta, hiilidioksidipitoisuutta ja lämpötilaa. Sisäilman laatua tutkittiin neljällä erilaisella mittaus-tapauksella. Mittaustulosten keräämiseen käytettiin Vaisalan MI70 näyttölaitetta, johon yhdistettiin hiilidioksidi-, kosteus- ja lämpötilamittarit.

MI70-näyttölaitteella voidaan erilaisia mittausantureita käyttämällä seurata ja tal-lentaa kentällä tehtäviä mittaustuloksia. Näyttölaitteeseen on yhdistettävissä kos-teus- lämpötila ja hiilidioksidianturit sekä esimerkiksi öljyn kosteuden seurantaan käytettävä lähetin. (Vaisala 2020)

Mittauspisteet huoneissa sijaitsivat oven läheisyydessä, noin 50cm korkeudella lattiasta. Mittapisteiden sijainnista tarkastettiin, ettei niihin kohdistunut erityistä vetoa ilmanvaihdosta. Mittaukset aloitettiin illalla noin kello 21.00 aikaan ja pää-tettiin aamulla 12 tuntia myöhemmin. Dataloggerin tallennusväliksi valittiin 15 mi-nuuttia.

#### Ilmamäärien mittaaminen

Ennen mittausten aloitusta, huoneeseen tuleva ilmamäärä tarkistettiin paine-ero-mittauksella venttiililtä Swema Air 300 mittarilla. Huoneisiin tuleva ilma on noin 50/50 suhteessa sekoitus ulkoa vaihdettua ulkoilmaa ja olohuoneesta kierrätettyä kiertoilmaa.

#### Hiilidioksidi

Sisäilmastoluokitukset määrittävät hiilidioksidipitoisuuslisän, joka lasketaan ul-koilman hiilidioksiditason päälle. Sisäilmanlaadun hiilidioksidilisän tavoitearvot ovat S1 <350ppm, S2 <550ppm ja S3 <800ppm (RT 2018). Mikäli taustan hiilidi-oksidi-pitoisuus on 400ppm (oletustaso), on S1 luokituksen hiilidioksidipitoisuuden

yläraja  $400\text{ppm} + 350\text{ppm} = 750\text{ppm}$ . Sisäilman hiilidioksidipitoisuuden toimenpideraja ylittyy, jos pitoisuus on  $1150\text{ppm}$  ( $2\ 100\text{ mg/m}^3$ ) suurempi kuin ulkoilman hiilidioksidipitoisuus (STM 2015).

Hiilidioksidin tasoa mitattiin Vaisalan GM70 mittapäällä ja tulosten tallentamiseen käytettiin Vaisalan MI70 näyttölaitetta. Mittalaitteen virherajat ovat  $1,5\% + 2\%$   $25\text{C}^\circ$  lämpötilassa ja  $1013\text{hPa}$  ilmanpaineessa (Vaisala 2008).

### **Kosteus ja lämpötila**

Kosteus- ja lämpötilamittaukseen käytettiin Vaisalan kosteus- ja lämpötilamittaria HM70 ja tuolosten tallentamiseen Vaisalan MI70 näyttölaitetta.

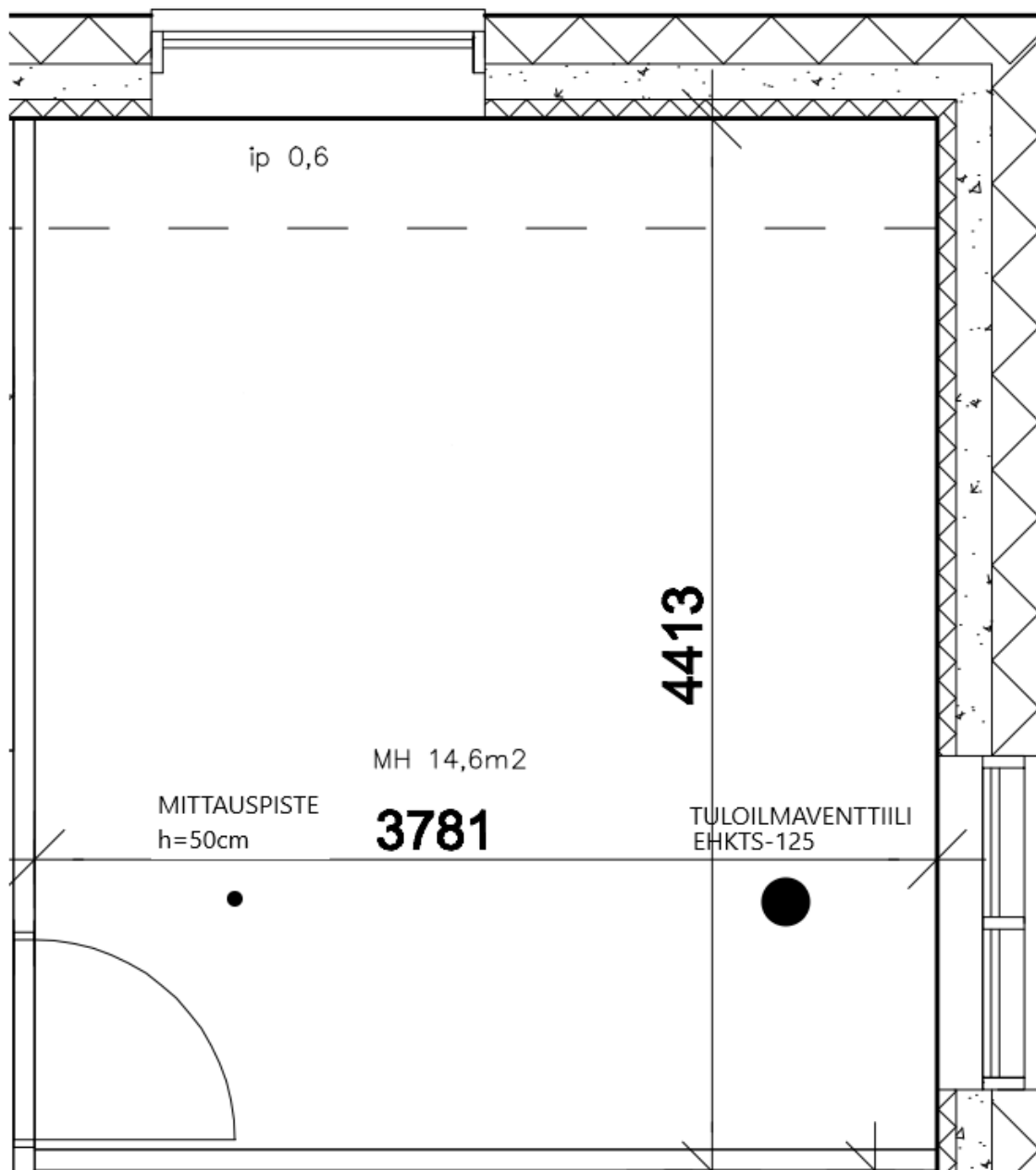
Ilman suhteellisen kosteuden mittauksessa laitteen virhemarginaali on  $\pm 1$  prosenttiyksikköä ja lämpötilamittauksessa  $\pm 0,2\text{C}^\circ$  (Vaisala 2007).

Ilman suhteelliseen kosteuteen vaikuttavat useat tekijät, kuten ulkoilman kosteus ja lämpötila, asumisen aiheuttama kosteuslisä, rakenteiden kyky sitoa ja luovuttaa kosteutta, sekä ilmanvaihto.

## **4.2 Mittaustulokset**

### **Ensimmäinen mittaus**

Ensimmäinen mittaus suoritettiin 23.1.2020-24.1.2020 välisenä yönä. Mittaus suoritettiin huoneesta, jossa oleskeli kolme alakouluikäistä lasta. Huoneen ovi pidettiin mittauksen ajan pääosin suljettuna. Huoneen tuloilmavirta oli  $16\text{l/s}$  ja se johdettiin tilaan kattoventtiilistä (EHKTS-125). Mittauksen kohteena ollut huone on kohtalaisen suuri  $14,6\text{m}^2$  ja siinä on vino sisäkatto matalemmän reunan korkeuden ollessa noin  $1,4\text{m}$ . Huoneen pohjapiirustus, jossa tuloilmaventtiilin ja mittalaitteen sijoittelu kuviossa 7.



KUVIO 7. Pohjapiirustus ja tuloilmaventtiilin ja mittauspisteen sijainti MH1

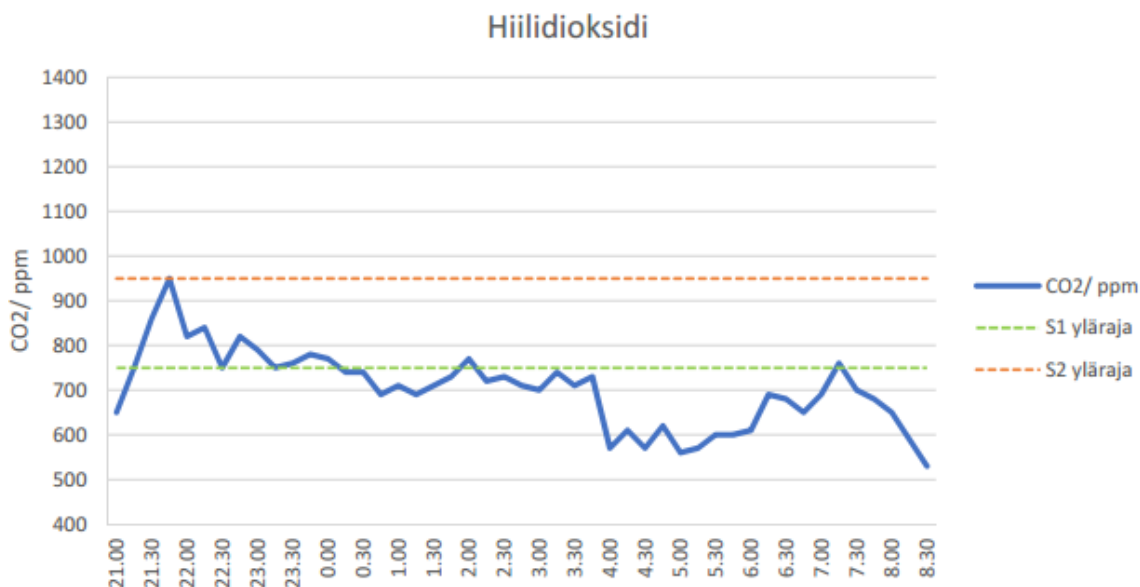
Mittauksen perusteella, hiilidioksidipitoisuus pudottaa huoneen sisäilmaluokituksen S2 luokkaan. Taulukossa 4 esiteltynä mittauksen keskeiset tulokset. Koko tarkastelujakson mittausdata ja mittauspöytäkirja liitteessä 5.

## TAULUKKO 5. Ensimmäisen mittauksen keskeiset tulokset MH1

(Mittausten virherajat  $\text{CO}_2 = \pm 3,5\%$ ,  $\text{RH} = \pm 1\%$ ,  $T = \pm 0,2\text{C}^\circ$ )

$\text{CO}_2_{\text{maks}}$	950 ppm	$T_{\text{ulko, alku}}$	0 C°
$\text{CO}_2_{\text{min}}$	490 ppm	$T_{\text{ulko, loppu}}$	-3 C°
$\text{CO}_2_{\text{ka}}$	699 ppm	$\text{Tausta}_{\text{CO}_2}$	400 ppm
$\text{RH}_{\text{maks}}$	28 %	S1 yläraja	750 ppm
$\text{RH}_{\text{min}}$	26 %	S2 yläraja	950 ppm
$\text{RH}_{\text{ka}}$	27 %	Toimenpideraja	1550 ppm
$T_{\text{maks}}$	22,5 C°	$\text{CO}_2_{\text{virhe, maks}} \pm$	33 ppm
$T_{\text{min}}$	21,4 C°	$\text{RH}_{\text{virhe, maks}} \pm$	1 %
$T_{\text{ka}}$	21,7 C°	$T_{\text{virhe, maks}} \pm$	0,2 C°

Kuviossa 8 on esitetty huoneen hiilidioksiditason muutoksia mittausjakson aikana. Kuvioista on havaittavissa hiilidioksiditason kasvu tarkastelujakson alussa. Aluksi hiilidioksiditaso kasvaa S2 sisäilmaluokituksen ylärajalle. Kello 4:00 huoneen ovi avattiin kesken mittauksen, mikä erottuu mittauksessa selkeästi. Mittausjakson loppuvaiheilla kuvioista erottuu, kuinka hiilidioksiditaso on lähtenyt laskuun huoneen tyhjennyttyä ihmisistä. Mittauksen keskiarvo virherajoineen 699ppm  $\pm 24$ ppm asettuu S1 ylärajan 750ppm alapuolelle.

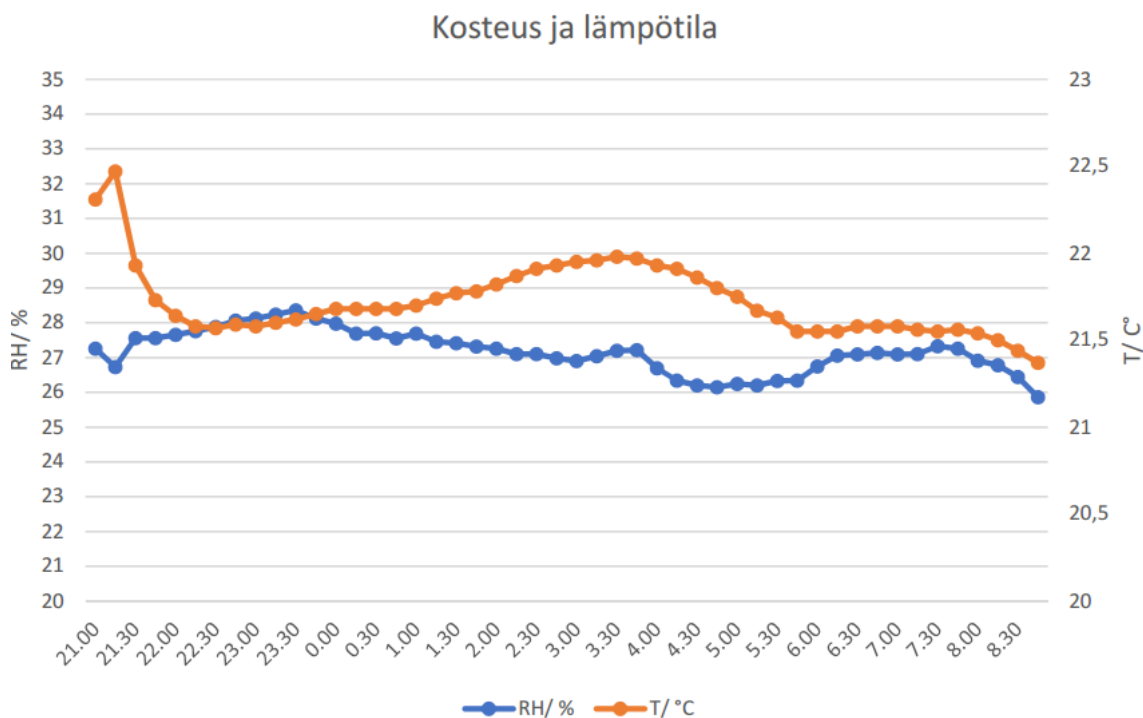


KUVIO 8. Hiilidioksidin taso, ensimmäinen mittausjakso MH1

Kuviossa 9 on esitetty ilman suhteellisen kosteuden ja lämpötilan kehittymistä huoneessa tarkastelujakson aikana. Ilman suhteellinen kosteus pysytteli vakaana koko testijakson ajan, maksimi vaihtelun ollessa vain 2%. Suhteellisen kosteuden ollessa alle 30%, ilma on melko kuivaa asuintilan ilmastokosteudeksi. Sisäilman

kuivuutta edisti ulkolämpötila, joka oli hieman pakkasen puolella. Mittausvirheen osuus  $\pm 1\%$  ei vaikuta tuloksiin merkittävästi.

Huoneilman lämpötiläkäyrässä esiintyy alussa noin asteen kohouma, mikä todennäköisesti johtuu siitä, että mittari ei ollut ehtinyt sopeutua huoneen lämpötilaan ennen testijakson aloittamista. Muuten huoneen lämpötila on pysytellyt vakaana testausjakson ajan, vaihteluvälin ollessa noin puolen asteen sisällä. Mittausvirheen osuus  $\pm 0,2\text{C}^\circ$  ei vaikuta tuloksiin merkittävästi.



KUVIO 9. Ilman suhteellinen kosteus ja lämpötila, ensimmäinen mittausjakso MH1

### Toinen mittaus

Toinen mittaus suoritettiin 24.1.2020-25.1.2020 välisenä yönä. Mittaus suoritettiin samasta huoneesta kuin edellinenkin tarkastelu. Huoneessa oleskeli kolme alakouluikäistä lasta. Huoneen ovi pidettiin mittauksen ajan pääosin suljettuna. Huoneen tuloilmavirtaa pienennettiin siten, että se oli testijakson ajan 8l/s. Tuloilma johdettiin huoneeseen kattoventtiilistä (EHKTS-125).

Hiilidioksidipitoisuus kasvoi toisessa mittauksessa verrattuna ensimmäiseen. Myös ilmankosteudessa on havaittavissa pientä kasvua verrattuna edelliseen mittaukseen. Ilmankosteuden kasvu ei kuitenkaan ole merkittävää. Huoneen lämpötila pysyi vakaana mittauksen ajan. Mittauksen perusteella huoneen sisäilman

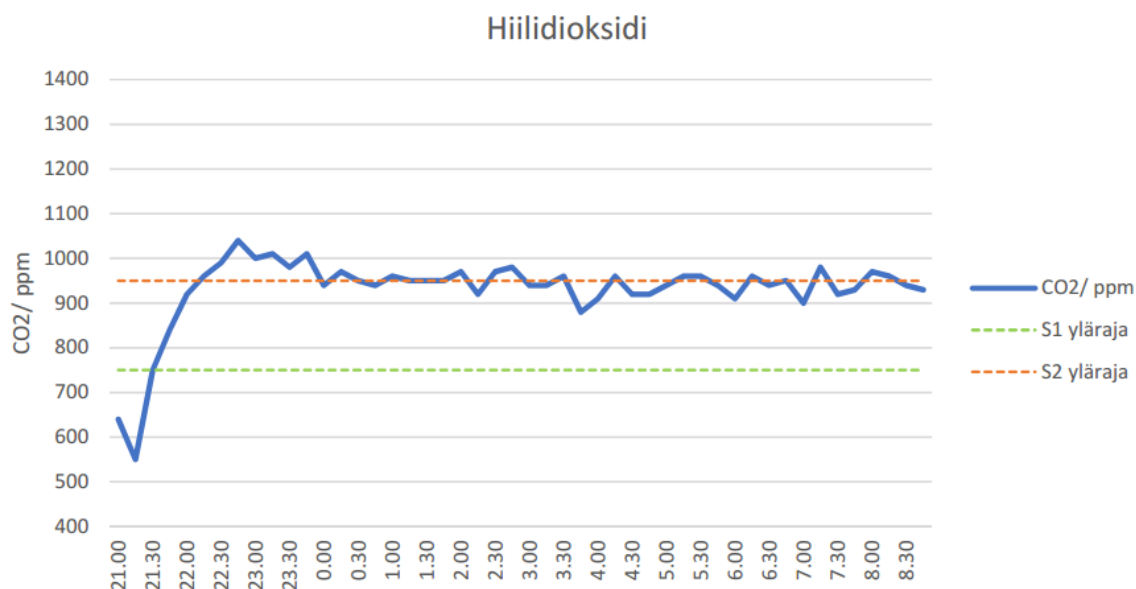
hiilidioksidipitoisuus, pudottaa sisäilmaluokituksen S3 luokkaan. Taulukossa 6 on esiteltyä mittauksen keskeiset tulokset. Koko tarkastelujakson mittausdata ja mittauspöytäkirja liitteessä 5.

#### TAULUKKO 6. Toisen mittauksen keskeiset tulokset MH1

(Mittausten virherajat  $CO_2 = \pm 3,5\%$ ,  $RH = \pm 1\%$ ,  $T = \pm 0,2C^\circ$ )

$CO_{2,max}$	1040 ppm	$T_{ulko, alk}$	-1,4 C°
$CO_{2,min}$	550 ppm	$T_{ulko, loppu}$	-0,8 C°
$CO_{2,ka}$	930 ppm	$Tausta_{CO_2}$	400 ppm
$RH_{maks}$	31 %	S1 yläraja	750 ppm
$RH_{min}$	27 %	S2 yläraja	950 ppm
$RH_{ka}$	29 %	Toimenpideraja	1550 ppm
$T_{maks}$	21,7 C°	$CO_{2,virhe,max} \pm$	36 ppm
$T_{min}$	21,3 C°	$RH_{virhe,max} \pm$	1 %
$T_{ka}$	21,5 C°	$T_{virhe,max} \pm$	0,2 C°

Kuviossa 10 esitetty huoneen hiilidioksiditason muutoksia mittausjakson aikana. Kuvioista on havaittavissa hiilidioksiditason nousu tarkastelujakson alussa. Aluksi hiilidioksiditaso kasvaa yli S2 sisäilmaluokituksen ylärajan. Mittausjakson edetessä hiilidioksidipitoisuus laskee tasaisesti testijakson loppuun asti. Mittauksen keskiarvo virherajoineen 930ppm  $\pm$ 36ppm asettuu S2 ylärajoille.



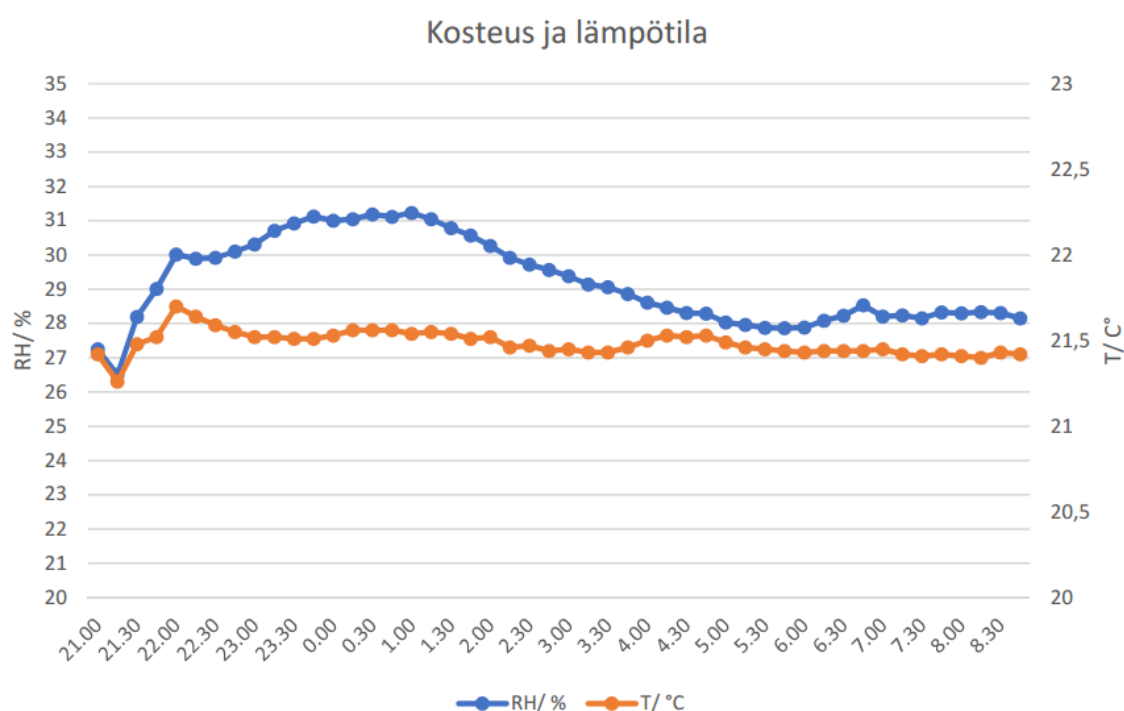
KUVIO 10. Hiilidioksidipitoisuus, toinen mittausjakso MH1

Kuviossa 11 on esitetty ilman suhteellisen kosteuden ja lämpötilan kehittymistä huoneessa tarkastelujakson aikana. Ilman suhteellinen kosteus pysytteli melko

vakaana testijakson ajan, vaihteluvälin ollessa 4%. Ilmankosteus oli hieman korkeampi kuin ensimmäisessä testijaksossa, mutta vaihtelu oli niin pientä, ettei siitä kannata tehdä merkitseviä päätelmiä. Mittausvirheen osuus  $\pm 1\%$  ei vaikuta tuloksiin merkittävästi.

Lämpötila on pysytellyt vakaana testausjakson ajan, vaihteluvälin ollessa noin puolen asteen sisällä.

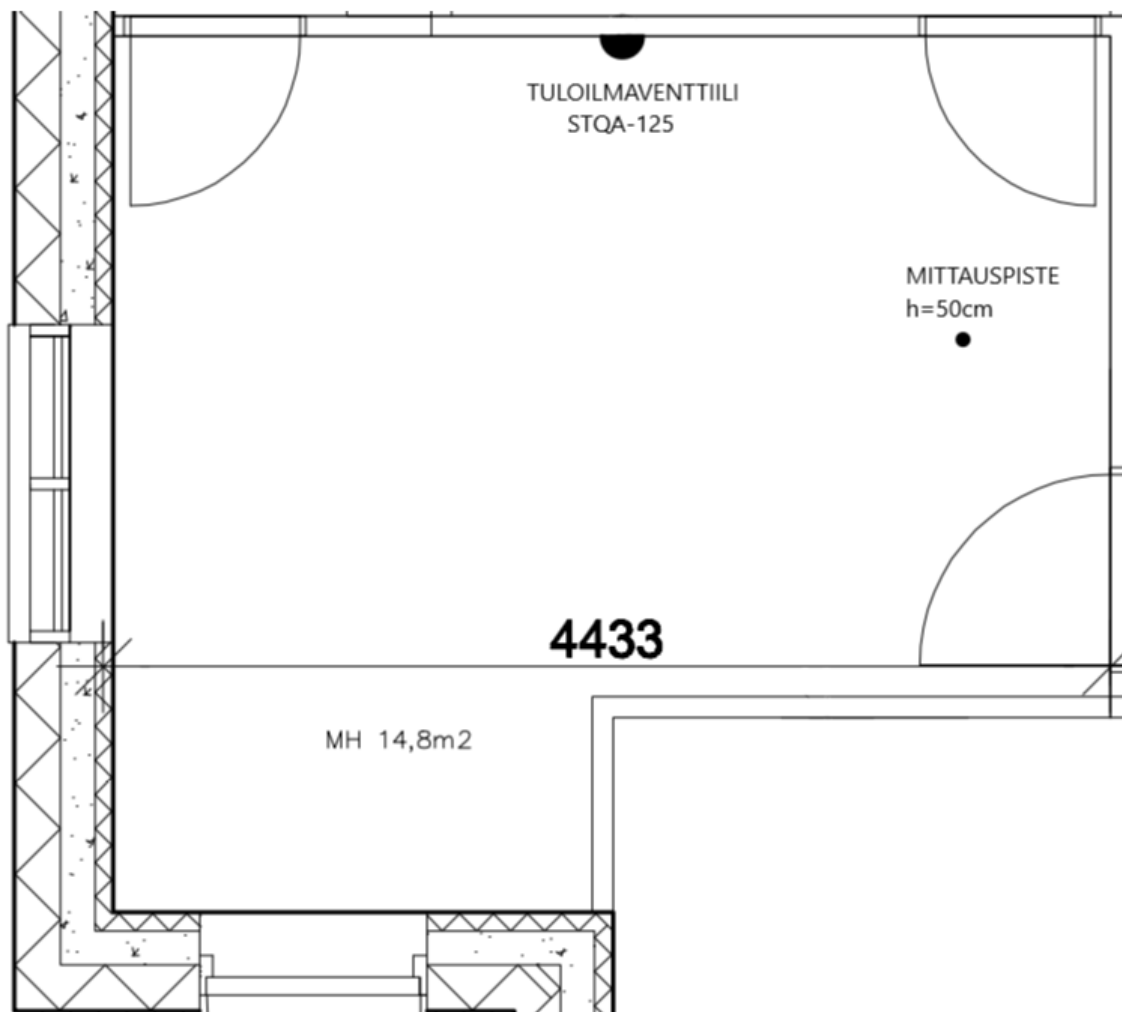
Mittausvirheen osuus  $\pm 0,2\text{C}^\circ$  ei vaikuta tuloksiin merkittävästi.



KUVIO 11. Ilman suhteellinen kosteus ja lämpötila, toinen mittausjakso MH1

### Kolmas mittaus

Kolmas mittaus suoritettiin 27.1.2020-28.1.2020 välisenä yönä. Mittaus suoritettiin huoneesta, jossa oleskeli kaksi aikuista. Huoneen ovi pidettiin mittauksen ajan pääosin suljettuna. Huoneen tuloilmavirta oli 20l/s ja se johdettiin huoneeseen seinäventtiilistä (STQA-125). Mittauksen kohteena ollut huone on kohtalaisen suuri 14,8m<sup>2</sup>. Huoneen pohjapiirustus, jossa tuloilmaventtiilin ja mittalaitteen sijoittelu kuviossa 12.



KUVIO 12. Pohjapiirustus ja tuloilmaventtiin ja mittauspisteen sijainti MH2

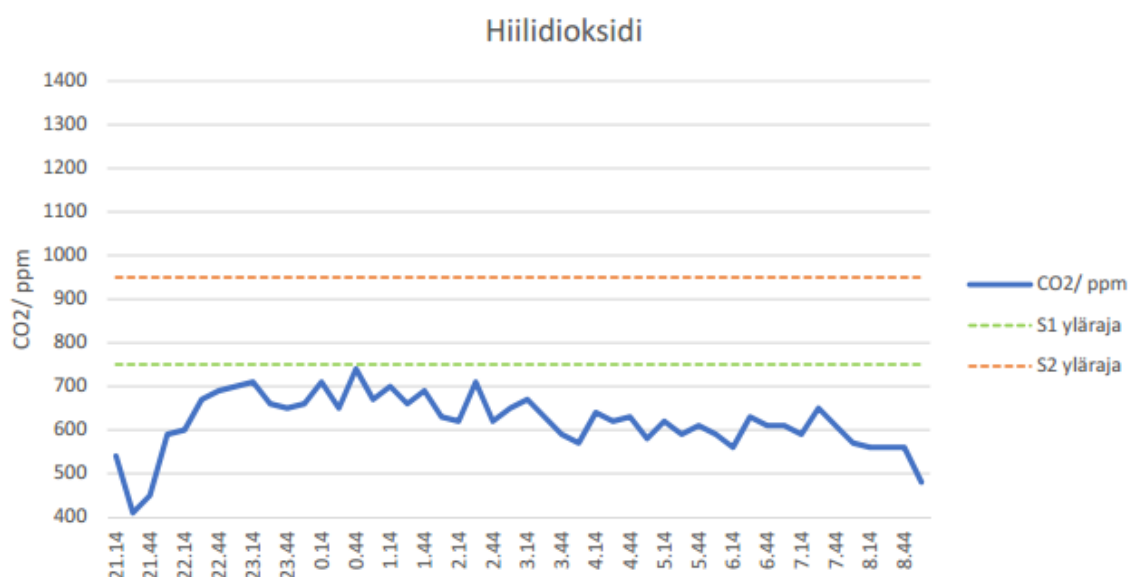
Mittauksen perusteella huoneen sisäilma asettuu hiilidioksidipitoisuuden, lämpötilan, ja kosteuden osalta S1 sisäilmaluokkaan. Taulukossa 7 esiteltynä mittauksen keskeiset tulokset. Koko tarkastelujakson mittausdata ja mittauspöytäkirja liitteessä 6.

### TAULUKKO 7. Kolmannen mittauksen keskeiset tulokset MH2

(Mittausten virherajat  $CO_2 = \pm 3,5\%$ ,  $RH = \pm 1\%$ ,  $T = \pm 0,2C^\circ$ )

$CO_{2,max}$	740 ppm	$T_{ulko, alkku}$	-1,3 C°
$CO_{2,min}$	410 ppm	$T_{ulko, loppu}$	0,1 C°
$CO_{2,ka}$	619 ppm	$Tausta_{CO_2}$	400 ppm
$RH_{maks}$	28 %	S1 yläraja	750 ppm
$RH_{min}$	26 %	S2 yläraja	950 ppm
$RH_{ka}$	28 %	Toimenpideraja	1550 ppm
$T_{maks}$	21,3 C°	$CO_{2,virhe,maks} \pm$	26 ppm
$T_{min}$	20,8 C°	$RH_{virhe,maks} \pm$	1 %
$T_{ka}$	21,2 C°	$T_{virhe,maks} \pm$	0,2 C°

Kuviossa 13 on esitetty huoneen hiilidioksiditason muutoksia mittausjakson aikana. Kuvioista on havaittavissa hiilidioksiditason nousu tarkastelujakson alussa. Hiilidioksiditaso ei saavuta S1 sisäilmaluokituksen ylärajaa. Mittausjakson edetessä hiilidioksiditaso laskee tasaisesti. Mittauksen loppuvaiheilla hiilidioksiditaso on laskenut lähes taustan tasolle, huoneen tyhjennettyä ihmisistä. Mittauksen keskiarvo virherajoihin  $619\text{ppm} \pm 26\text{ppm}$  asettuu S1 ylärajan 750ppm alapuolelle.



KUVIO 13. Hiilidioksidin taso, kolmas mittausjakso MH2

Kuviossa 14 on esitetty ilman suhteellisen kosteuden ja lämpötilan kehittymistä huoneessa tarkastelujakson aikana. Ilman suhteellinen kosteus pysytteli vakaana koko testijakson ajan, maksimi vaihtelun ollessa vain 2%. Suhteellisen kosteuden ollessa alle 30%. Mittausvirheen osuus  $\pm 1\%$  ei vaikuta tuloksiin merkitsevästi.

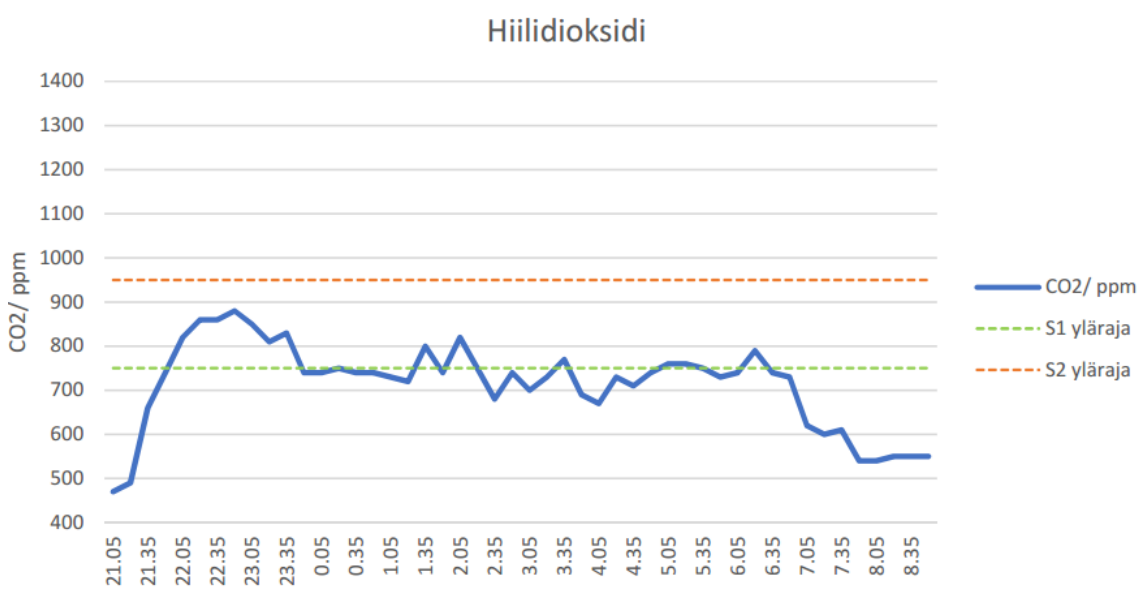


## TAULUKKO 8. Neljännen mittauksen keskeiset tulokset MH2

(Mittausten virherajat  $CO_2 = \pm 3,5\%$ ,  $RH = \pm 1\%$ ,  $T = \pm 0,2C^\circ$ )

$CO_{2,max}$	880 ppm	$T_{ulko,alku}$	1,1 C°
$CO_{2,min}$	470 ppm	$T_{ulko,loppu}$	0,1 C°
$CO_{2,ka}$	714 ppm	$Tausta_{CO_2}$	400 ppm
$RH_{maks}$	33 %	S1 yläraja	750 ppm
$RH_{min}$	29 %	S2 yläraja	950 ppm
$RH_{ka}$	31 %	Toimenpideraja	1550 ppm
$T_{maks}$	21,3 C°	$CO_{2,virhe,maks} \pm$	31 ppm
$T_{min}$	20,8 C°	$RH_{virhe,maks} \pm$	1 %
$T_{ka}$	21,1 C°	$T_{virhe,maks} \pm$	0,2 C°

Kuviossa 15 on esitetty huoneen hiilidioksiditason muutoksia mittausjakson aikana. Kuvioista on havaittavissa hiilidioksiditason nousu tarkastelujakson alussa. Hiilidioksiditason kasvu ei saavuta S2 sisäilmaluokituksen ylärajaa. Mittausjakson edetessä hiilidioksidipitoisuus ensin laskee noin 100ppm ja sen jälkeen pitoisuus vaihtelee S1 luokituksen ylärajoilla. Mittauksen keskiarvo virherajoineen 714ppm  $\pm$ 31ppm asettuu S2 sisäilmaluokkaan.

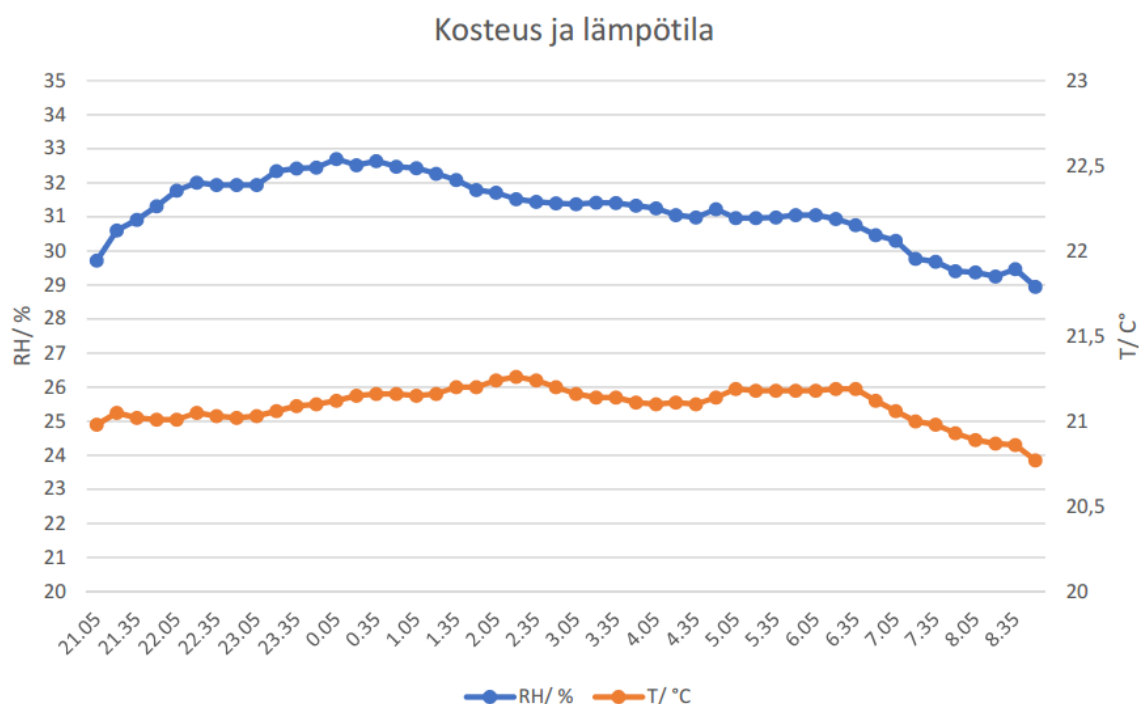


KUVIO 15. Hiilidioksidipitoisuus, neljäs mittausjakso MH2

Kuviossa 16 on esitetty ilman suhteellisen kosteuden ja lämpötilan kehittymistä huoneessa tarkastelujakson aikana. Ilman suhteellisen kosteuden maksimiarvo kasvoi 5%, vaihteluvälin ollessa 4% testijakson aikana. Ilman kosteuden keskiarvo kasvoi 4%. Mittausvirheen osuus  $\pm 1\%$  ei vaikuta tuloksiin merkittävästi.

Lämpötila on pysytellyt vakaana testausjakson ajan, vaihteluvälin ollessa noin puolen asteen sisällä. Lämpötilan keskiarvo oli 21,2C°.

Mittausvirheen osuus  $\pm 0,2C^\circ$  ei vaikuta tuloksiin merkittävästi.

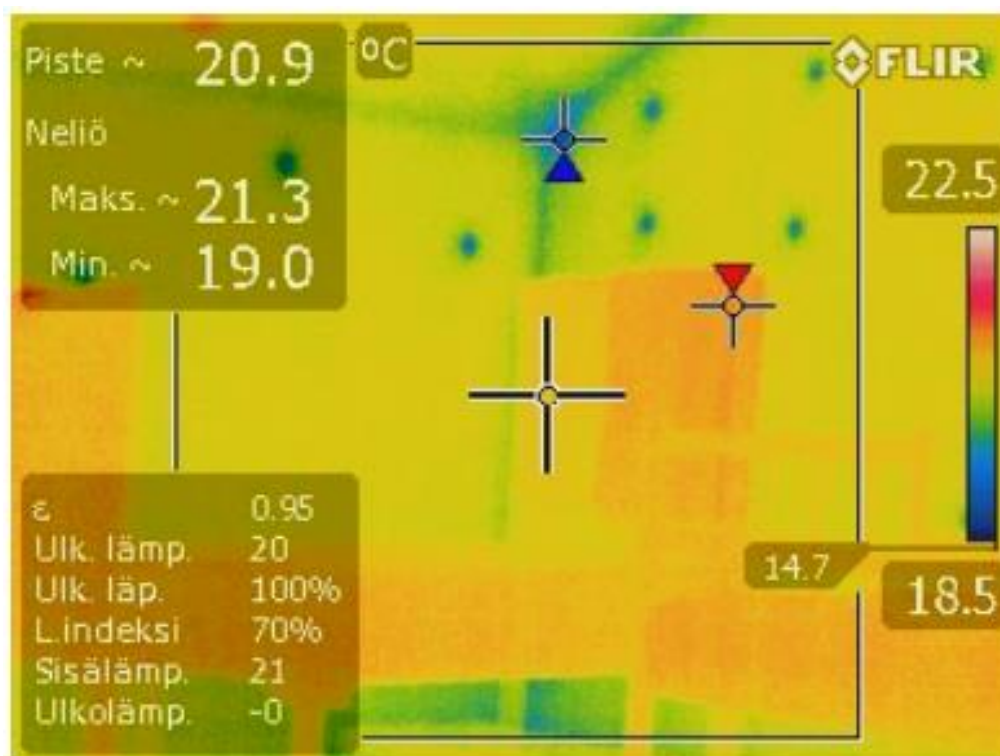


KUVIO 16. Ilman suhteellinen kosteus ja lämpötila, neljäs mittausjakso MH2

### 4.3 Lämpökamerahavainnointi

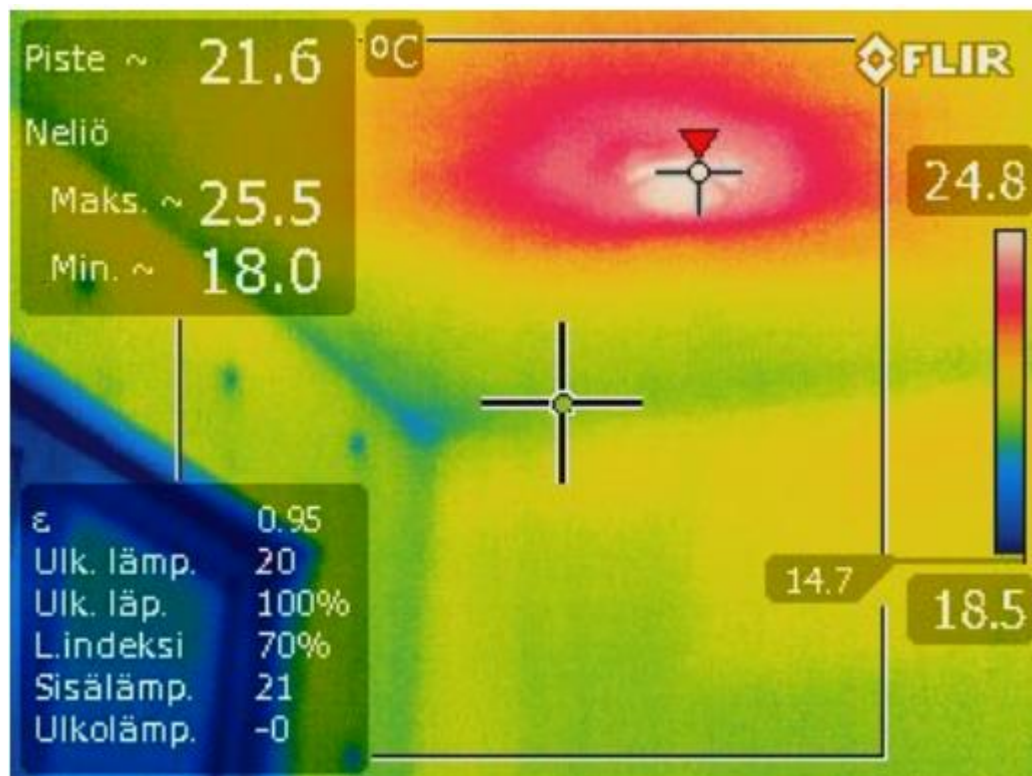
Ilmanlaadun mittaamisen lisäksi tiloja havainnoitiin lämpökameralla kuvaamalla. Huoneiden pintalämpötiloja mittaamalla, tutkittiin yläjakoisena toteutetun ilmalämmitysjärjestelmän lämmönjakautumista huonetiloissa. Kuvaamiseen käytettiin Flir E60 lämpökameraa. Ulkolämpötila oli kuvaushetkellä 0C° ja sisälämpötila 21C°. Olohuoneen muurattua tulisijaa lämmitettiin hetkeä ennen kuvausta.

Kuvassa 6 MH1:stä, erottuu sinisenä matalin huoneesta löydetty pintalämpötila. Huoneen matalin pintalämpötila sijaitsee seinien ja katon ulkokulmassa. Saman kulman lämpötila lattian tasossa oli noin 19,5C°. Muu ulkoseinistä ja katosta muodostuva ympäristö erottuu kuvassa tasaisena, noin 21 asteisena, lukuun ottamatta kiinnikkeitä, jotka erottuvat kuvassa sinisellä. Kuva 1 MH1, ulkokulma.



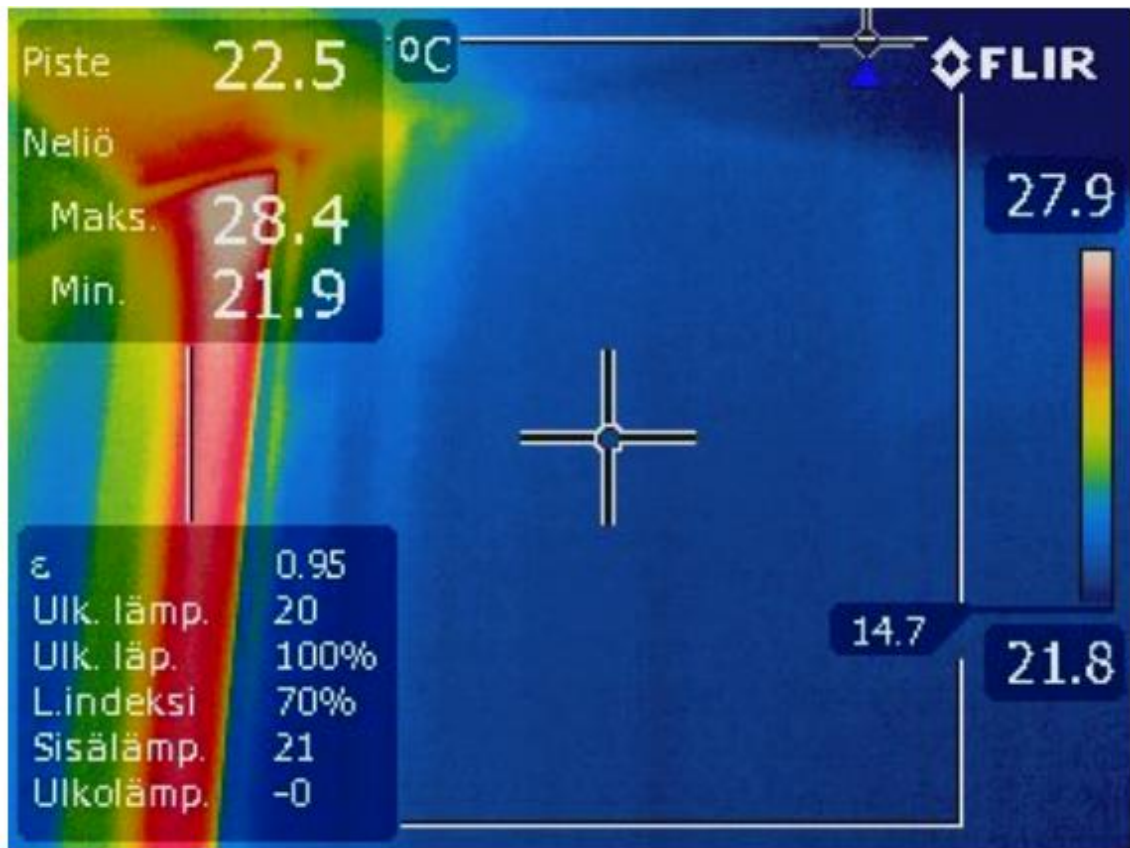
KUVA 6. MH1 ulkokulma

Samasta huoneesta otetussa kuvassa 7, tuloilmaventtiili erottuu punaisena. Tuloilman lämpötila oli kuvaushetkellä noin 25,5C°. Katon, ulko- ja sisäseinän kulma erottuu kuvassa sinisellä, noin 20 asteisena. Kuvassa vasemmalla alhaalla erottuu ikkuna muuta ympäristöä kylmempänä. Muu tausta erottuu kuvassa kohtalaisen tasaisena, noin 21 asteisena.



KUVA 7. MH1 tuloilmaventtiili

Rakennuksessa on korkea, toiseen kerrokseen ulottuva olohuone. Olohuoneessa on muurattu varaava takka, jonka vierestä kiertoilma johdetaan ilmalämmityskoneeseen. Olohuonetta kuvattiin lämpökameralla takan lämmittämisen jälkeen. Kuvassa 8 olohuoneesta, savupiippu erottuu punaisena muuta taustaa vasten. Piipun vieressä erottuu sisäväliseinä sinisellä, noin 22 asteisena. Olohuoneen pintalämpötiloissa ei ollut lämpökameralla havaittavissa korkealle tilalle tyypillistä lämpötilan kerrostumista.



KUVA 8. Olohuoneen seinää ja savupiippu

#### 4.4 Empiiriset havainnot

Asumiskokemuksissa korostuu asuintilojen tasalämpöisyys. Olohuoneeseen sijoitetun varaavan takan lämmitys tai ruuan laitto, eivät aiheuta paikallista tilojen yllilämpenemistä. Toisaalta välipäivät takan lämmityksessä, eivät erotu huoneiston lämpötilan laskuna. Ilmalämmitys reagoi nopeasti lämpötilan muutoksiin ja pitää halutun sisälämpötilan tarkasti. Tasalämpöinen lattialämmitys kosteissa tiloissa on toiminut ilmalämmitykseen kanssa yhteen moitteettomasti. Näistä tiloista ilmaa ei kierrätetä muualle asuntoon, vaan se poistetaan ilmanvaihto-osan kautta jäteilmänä ulos.

Kiertoilmakanavasta jätettiin äänenvaimennus pois, joten kiertoilman imuääni kuuluu olohuoneessa. Äänen voimakkuutta voisi aistinvaraisesti arvioituna verrata jääkaapin tai pakastimen äänenvoimakkuuteen. Kiertoilmakanavaan voi lisätä vaimentimen, jolloin ääni todennäköisesti heikkenee lähes kuulumattomiin.

Muuten äänitasoltaan ilmalämmitetty pientalo on vastannut normaalilla tulo- ja poistoilmanvaihdoilla varustettua asuntoa.

Suurempien tuloilmamäärien ansiosta, makuuhuoneissa on nukkumisen jäljiltä raikas tuoksu. Yleisissä tiloissa ei esiinny tuuletuksen tarvetta, vaikka tiloissa olisi yhtä aikaa useita henkilöitä. Tässä tilanteessa makuuhuoneet ovat tyypillisesti tyhjillään, joista saadaan kiertoilmaa yleisten tilojen käyttöön.

Asuintiloissa ei ole esiintynyt vedon tunnetta, vaikka tilojen tuloilmamääriä on kasvatettu joissakin tiloissa jopa kaksinkertaisiksi suhteessa alkuperäisen ilmanvaihtosuunnitelman tuloilmamääriin. Tuloilmaventtiilit vaihdettiin alkuperäisiä venttiilejä suuremmiksi, joten kasvanut ilmamäärä saadaan johdettua tiloihin tuloilman nopeutta kasvattamatta.

## 5 POHDINTA

Jotta mittauksiin olisi saatu tilastollista luotettavuutta, olisi mittauksia pitänyt suorittaa lukumääräisesti enemmän. Kaikissa mittaustapauksissa ulkoilma oli samantyyppinen lämpötilan ollessa hieman nollan alapuolella ja suhteellisen ilman kosteuden vaihdellessa 80-90% välillä. Lisäksi hiilidioksidimittauksen virhemarginaalilla ( $\pm 3,5\%$ ) on vaikutusta tuloksiin. Ulkoilman lämpötilojen ja kosteuden vaihteluilla olisi todennäköisesti ollut vaikutusta ainakin sisäilman kosteuteen ja mahdollisesti myös lämpötilaan.

Kuitenkin opinnäytetyön tuloksista voidaan päätellä, että ilmalämmitys on yhä toteutuskelpoinen lämmönjakojärjestelmä nykyaikaiseen pientaloon. Järjestelmän toteuttaminen ei vaadi oleellisia muutoksia talon rakenteisiin. Ilmalämmitysjärjestelmän vaatima tilantarve, ei poikkea olennaisesti nykyisin käytössä olevien tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmien vaatimasta tilantarpeesta. Pientalojen rakenteellinen kehitys on edistänyt järjestelmän toimintamahdollisuuksia, muun muassa eristemäärien kasvun aiheuttaman pienemmän lämmitystarpeen osalta.

Järjestelmän vaikutuksista sisäilman laatuun voidaan todeta, että kierrättämällä muista tiloista ilmaa makuuhuoneisiin saadaan ilmanlaatua parannettua ainakin hiilidioksidipitoisuuden osalta. Tämä voidaan saavuttaa siten, ettei rakennukseen johdettu ulkoilmavirta kasva ja täten lisää energian kulutusta. Toisaalta voidaan ajatella, että rakennuksen ulkoilmavirtaa voitaisiin pienentää ilmanlaadun siitä kärsimättä. Tällöin tarvittaisiin kuitenkin jatkuvaa sisäilman seurantaa, ettei sisäilman laatu lähde kosteuden kohoamisen, hiilidioksidipitoisuuden kasvun, tai jonkin muun sisäilmanlaatua heikentävän tekijän takia heikkenemään. Kiertoilman ansiosta ulkoilmavirtaa pienennettäessä yksittäiseen tilaan johdettava tuloilman määrä säilyisi kuitenkin korkeana. Kun kiertoilma otetaan esimerkiksi yö aikaan olohuoneesta, makuuhuoneisiin saadaan olohuoneessa hyödyntämättä jäänyttä tuloilmaa. Ulkoilmavirtaa pienennettäessä säästettäisiin ilmanvaihdon aiheuttamassa energiankulutuksessa.

Hiilidioksidipitoisuus mittauksissa yhdistävänä tekijänä voidaan havaita hiilidioksidipitoisuus tason kasvaminen mittausten alkuvaiheessa. Hiilidioksidipitoisuus

lähti kaikissa mittaustapauksissa laskuun testijakson edetessä. Tästä voidaan tehdä johtopäätös, että ilmanvaihdon mitoittava tilanne makuuhuoneissa on alkuilta ennen nukahtamista. Säädettyä ilmanvaihdon voimakkuutta esimerkiksi hiilidioksidimittarin ohjaamana voidaan saada säästöjä ja tehokkuutta aikaiseksi.

Sisäilman epäpuhtauspitoisuuksia voidaan tarkkailla, kun kiertoilmakone varustetaan hiilidioksidi- ja kosteusantureilla. Sisäilman lämpötilanvaihtelu ei lämmityskauden aikana tule ongelmaksi, ilmalämmityskoneen reagoiessa lämpötilan vaihteluihin herkästi. Lämmityskauden ulkopuolella ulkoilmavirtaa voidaan yllilämmön johtamiseksi ulos rakennuksesta kasvattaa, ilman ilmanvaihdon aiheuttamaa energiakulutuksen kasvua.

Lämpökuvauksessa ilmavirralla lämmitetyistä huoneista ei erotu merkittäviä lämpötilaeroja. Lämpötila on jakautunut tiloissa tasaisesti huoneen ala- ja yläosissa. Kiertoilman imukanava olohuoneen alareunassa, eliminoi korkeassa tilassa helposti esiintyvän lämpötilan kerrostumisen. Asunnon ylä- ja alakerran väliltä ei ollut havaittavissa lämpötilaeroa, kuvaushetkeä edeltävästä varaavan takan lämmittämisestä huolimatta.

Ilmalämmitys tarjoaa vielä runsaasti aiheita jatkotutkimusta varten. Näistä mielenkiintoisimpana olisi kirjallisuustutkimus kiertoilman mahdollisuuksista säästää rakennuksen lämmitysenergian kulutuksessa. VTT on jo 1980-luvulla tutkinut, että ilman kierrätys pienentää lämmönkulutusta noin 10 prosenttia. Kun huomioi sen aikakauden rakennusten lämmitystarpeen, olisi mielenkiintoista tietää millainen säästöpotentiaali olisi nykyaikaisessa rakennuksessa. Lisäksi lisätutkimuksen aihetta olisi ilmalämmitysjärjestelmän rakentamisen kustannusvaikutuksista, kun järjestelmä rakennetaan uuteen rakennukseen. Ilmalämmityskone on hie- man kalliimpi kuin vastaavan kokoluokan ilmanvaihtokone, mutta kustannussäästöjä voisi tulla esimerkiksi lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmien yhdistymisestä.

## LÄHTEET

Hietakangas, J. 2017. Lisälämmöneristämisestä. Korjausrakentaminen -opintojakson oppimateriaali. PDF-dokumentti. Tabula. Tampereen ammattikorkeakoulu.

Jokinen, L., Pessi, P., Laine, T. 2014. Ilmalämmitysjärjestelmä. Teoksessa Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. Tampere: Tammerprint.

Kouhia, I., Nieminen, J., Pulakka, S. 2010. VTT. Tutkimusraportti. Rakennuksen ulkovaipan korjaukset. Luettu 20.1.2020. <https://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2010/VTT-R-04017-10.pdf>

Markkanen, R. 1980. Teos: Ilmalämmitys. Helsinki: Rakentajain Kustannus Oy.

Motiva 2011. Pientalon lämmitysjärjestelmät. Helsinki. Luettu 20.1.2020. <http://www.motiva.fi/files/4970/PientalonLammitysjarjestelmat.pdf>

Pietiko oy. Swema Air 300 käyttöohje. Luettu 23.1.2020. <https://lampopumpput.info/foorumi/attachments/koh300v1-pdf.57499/>

RT 07-11299. Sisäilmastoluokitus 2018. RT-kortisto. Rakennustieto Oy

Sandberg, E., Ripatti, H. 2014. Ilmalämmitysjärjestelmä. Teoksessa Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. Tampere: Tammerprint, 117-118.

Sisäilmayhdistys. 2020. Sisäilmastoluokitus. Luettu 4.2.2020 <https://www.sisailmayhdistys.fi/Sisailmayhdistys/Sisailmastoluokitus>

STM. 2015. Asumisterveysasetus. Helsinki. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/>

THL 2019. Ympäristöterveys, sisäilma. Luettu 29.1.2020. <https://thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/sisailma>

Vallox. 2017. Vallox aito kotilämpö esite. Luettu 20.1.2020. [http://www.vallox.com/files/1822/Kotilampo\\_FIN\\_20171130\\_web.pdf](http://www.vallox.com/files/1822/Kotilampo_FIN_20171130_web.pdf)

Vallox. 2018. Vallox aito kotilämpö dokumentti D3681. Luettu 22.1.2020. [https://www.vallox.com/files/2086/Manual\\_Vallox\\_Aito\\_Kotilampo\\_FIN\\_20180418\\_PRINT.pdf](https://www.vallox.com/files/2086/Manual_Vallox_Aito_Kotilampo_FIN_20180418_PRINT.pdf)

Vallox. Vallox Oy. Historia. Luettu 14.1.2020. [https://www.vallox.com/vallox\\_oy](https://www.vallox.com/vallox_oy)

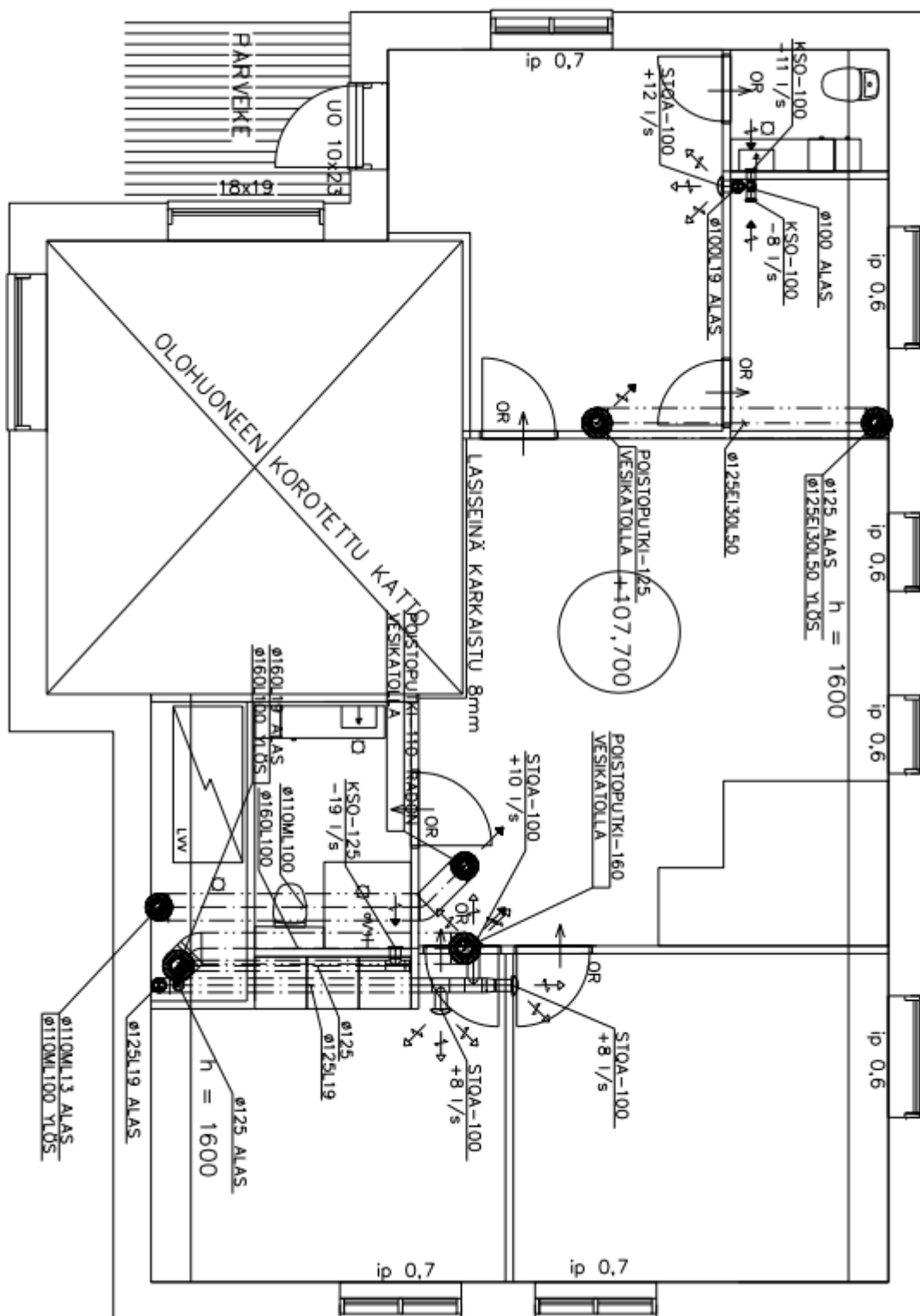
Vaisala 2008. User's guide Vaisala HUMICAP Hand-Held Carbon Dioxide Meter GM70. Helsinki: Vaisala Oyj, 60.

Vaisala 2007. User's guide Vaisala CARBOCAP Hand-Held Humidity and Temperature Meter HM70. Helsinki: Vaisala Oyj, 71-72.

YM. 2017. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. Helsinki. [https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto\\_ja\\_rakentaminen/Lainsaadanto\\_ja\\_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Terveellisyys](https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Terveellisyys)

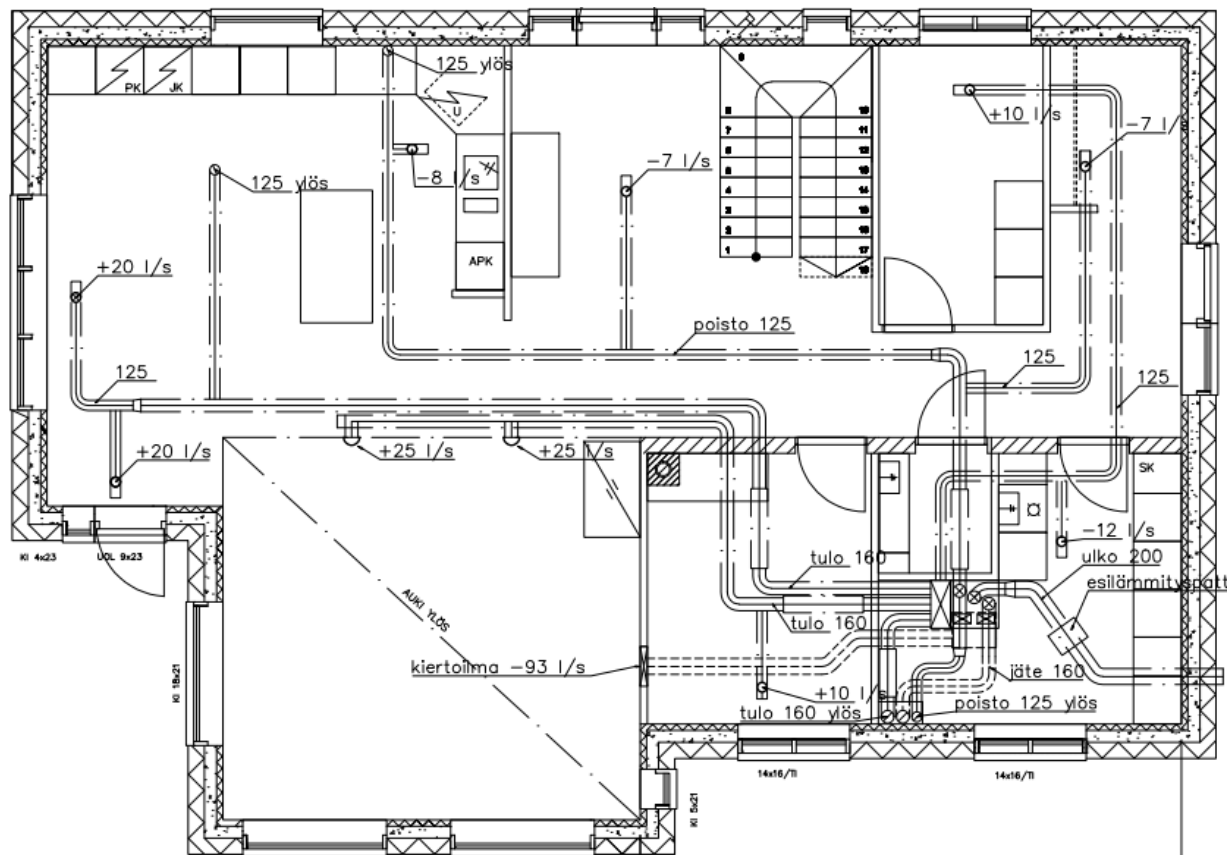


Liite 2. Ilmanvaihtosuunnitelma 2.krs

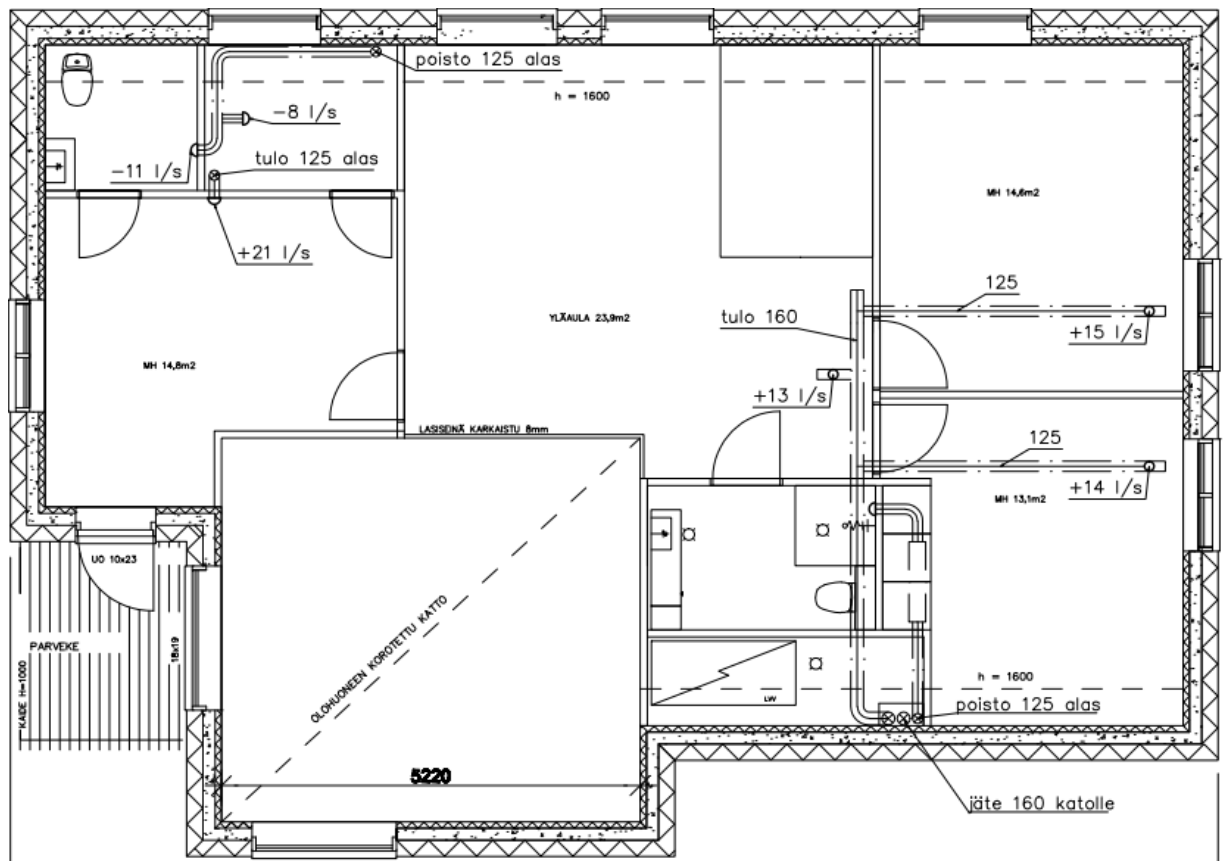


## Liite 3. Ilmalämmitykselle muokattu kanavisto

1 krs.



2 krs.



## Liite 4. MH1, Ensimmäisen mittauksen mittauspöytäkirja

**ILMANLAADUN MITTAUSPÖYTÄKIRJA**

Pvm: 23.1.2020-24.1.2020  
 Jakso: 21:00-9:00  
 Kesto: 12h  
 Tallennusväli: 15min  
 Mittaus 1: hiilidioksidi/ Vaisala GM70  
 Mittaus 2: kosteus/ Vaisala HMP76  
 Mittaus 3: lämpötila/ Vaisala HMP76

Henkilömäärä: 3  
 Tila: MH 1  
 Ilmanjako: Yläpuolinen/ katto  
 Venttiili: EHKTS-125  
 Ilmamäärä: 16 l/s

(Mittausten virherajat CO<sub>2</sub>= ± 3,5%, RH= ±1%, T= ±0,2C°)

CO <sub>2</sub> <sub>maks</sub>	950 ppm	T <sub>ulko, alku</sub>	0 C°
CO <sub>2</sub> <sub>min</sub>	490 ppm	T <sub>ulko, loppu</sub>	-3 C°
CO <sub>2</sub> <sub>ka</sub>	699 ppm	Tausta <sub>CO2</sub>	400 ppm
RH <sub>maks</sub>	28 %	S1 yläraja	750 ppm
RH <sub>min</sub>	26 %	S2 yläraja	950 ppm
RH <sub>ka</sub>	27 %	Toimenpideraja	1550 ppm
T <sub>maks</sub>	22,5 C°	CO <sub>2</sub> <sub>virhe,maks</sub> ±	33 ppm
T <sub>min</sub>	21,4 C°	RH <sub>virhe,maks</sub> ±	1 %
T <sub>ka</sub>	21,7 C°	T <sub>virhe,maks</sub> ±	0,2 C°

Aika	CO <sub>2</sub> / ppm	RH/ %	T/ °C
21:00	650	27,26	22,31
21:15	750	26,73	22,47
21:30	860	27,56	21,93
21:45	950	27,56	21,73
22:00	820	27,66	21,64
22:15	840	27,76	21,58
22:30	750	27,88	21,57
22:45	820	28,06	21,59
23:00	790	28,12	21,58
23:15	750	28,24	21,6
23:30	760	28,36	21,62
23:45	780	28,12	21,65
0:00	770	27,98	21,68
0:15	740	27,69	21,68
0:30	740	27,7	21,68
0:45	690	27,55	21,68
1:00	710	27,69	21,7
1:15	690	27,46	21,74
1:30	710	27,41	21,77
1:45	730	27,32	21,78
2:00	770	27,26	21,82
2:15	720	27,1	21,87
2:30	730	27,1	21,91
2:45	710	26,98	21,93
3:00	700	26,9	21,95

Aika	CO <sub>2</sub> / ppm	RH/ %	T/ °C
3:15	740	27,04	21,96
3:30	710	27,2	21,98
3:45	730	27,21	21,97
4:00	570	26,69	21,93
4:15	610	26,34	21,91
4:30	570	26,2	21,86
4:45	620	26,15	21,8
5:00	560	26,24	21,75
5:15	570	26,2	21,67
5:30	600	26,33	21,63
5:45	600	26,34	21,55
6:00	610	26,75	21,55
6:15	690	27,06	21,55
6:30	680	27,09	21,58
6:45	650	27,14	21,58
7:00	690	27,09	21,58
7:15	760	27,1	21,56
7:30	700	27,33	21,55
7:45	680	27,26	21,56
8:00	650	26,91	21,54
8:15	590	26,78	21,5
8:30	530	26,44	21,44
8:45	490	25,86	21,37

## Liite 5. MH1, Toisen mittauksen mittauspöytäkirja

**ILMANLAADUN MITTAUSPÖYTÄKIRJA**

Pvm:	24.1.2020-25.1.2020	Henkilömäärä:	3
Jakso:	21:00-9:00	Tila:	MH 1
Kesto:	12h	Ilmanjako:	Yläpuolinen/seinä
Tallennusväli:	15min	Venttiili:	EHKTS-125
Mittaus 1:	hiilidioksidi/ Vaisala GM70	Ilmamäärä:	8 l/s
Mittaus 2:	kosteus/ Vaisala HMP76		
Mittaus 3:	lämpötila/ Vaisala HMP76		

(Mittausten virherajat CO<sub>2</sub>= ± 3,5%, RH= ±1%, T= ±0,2°C)

CO <sub>2</sub> <sub>maks</sub>	1040 ppm	T <sub>ulko, alku</sub>	-1,4 C°
CO <sub>2</sub> <sub>min</sub>	550 ppm	T <sub>ulko, loppu</sub>	-0,8 C°
CO <sub>2</sub> <sub>ka</sub>	930 ppm	Tausta <sub>CO2</sub>	400 ppm
RH <sub>maks</sub>	31 %	S1 yläraja	750 ppm
RH <sub>min</sub>	27 %	S2 yläraja	950 ppm
RH <sub>ka</sub>	29 %	Toimenpideraja	1550 ppm
T <sub>maks</sub>	21,7 C°	CO <sub>2</sub> <sub>virhe,maks ±</sub>	36 ppm
T <sub>min</sub>	21,3 C°	RH <sub>virhe,maks ±</sub>	1 %
T <sub>ka</sub>	21,5 C°	T <sub>virhe,maks ±</sub>	0,2 C°

Aika	CO <sub>2</sub> / ppm	RH/ %	T/ °C
21:00	640	27,25	21,42
21:15	550	26,5	21,26
21:30	750	28,19	21,48
21:45	840	29,01	21,52
22:00	920	30,01	21,7
22:15	960	29,89	21,64
22:30	990	29,92	21,59
22:45	1040	30,1	21,55
23:00	1000	30,31	21,52
23:15	1010	30,71	21,52
23:30	980	30,92	21,51
23:45	1010	31,12	21,51
0:00	940	31	21,53
0:15	970	31,04	21,56
0:30	950	31,18	21,56
0:45	940	31,11	21,56
1:00	960	31,23	21,54
1:15	950	31,04	21,55
1:30	950	30,78	21,54
1:45	950	30,57	21,51
2:00	970	30,26	21,52
2:15	920	29,92	21,46
2:30	970	29,72	21,47
2:45	980	29,56	21,44
3:00	940	29,38	21,45

Aika	CO <sub>2</sub> / ppm	RH/ %	T/ °C
3:15	940	29,14	21,43
3:30	960	29,06	21,43
3:45	880	28,86	21,46
4:00	910	28,61	21,5
4:15	960	28,46	21,53
4:30	920	28,31	21,52
4:45	920	28,29	21,53
5:00	940	28,03	21,49
5:15	960	27,96	21,46
5:30	960	27,87	21,45
5:45	940	27,86	21,44
6:00	910	27,88	21,43
6:15	960	28,08	21,44
6:30	940	28,23	21,44
6:45	950	28,53	21,44
7:00	900	28,2	21,45
7:15	980	28,24	21,42
7:30	920	28,15	21,41
7:45	930	28,32	21,42
8:00	970	28,3	21,41
8:15	960	28,33	21,4
8:30	940	28,31	21,43
8:45	930	28,15	21,42

## Liite 6. MH2, Kolmannen mittauksen mittauspöytäkirja

## ILMANLAADUN MITTAUSPÖYTÄKIRJA

Pvm:	27.1.2020-28.1.2020	Henkilömäärä:	2
Jakso:	21:14-9:14	Tila:	MH 2
Kesto:	12h	Ilmanjako:	seinä
Tallennusväli:	15min	Venttiili:	STQA-125
Mittaus 1:	hiilidioksidi/ Vaisala GM70	Ilmamäärä:	20 l/s
Mittaus 2:	kosteus/ Vaisala HMP76		
Mittaus 3:	lämpötila/ Vaisala HMP76		

(Mittausten virherajat CO<sub>2</sub>= ± 3,5%, RH= ±1%, T= ±0,2C°)

CO <sub>2</sub> <sub>maks</sub>	740 ppm	T <sub>ulko, alku</sub>	-1,3 C°
CO <sub>2</sub> <sub>min</sub>	410 ppm	T <sub>ulko, loppu</sub>	0,1 C°
CO <sub>2</sub> <sub>ka</sub>	619 ppm	Tausta <sub>CO2</sub>	400 ppm
RH <sub>maks</sub>	28 %	S1 yläraja	750 ppm
RH <sub>min</sub>	26 %	S2 yläraja	950 ppm
RH <sub>ka</sub>	28 %	Toimenpideraja	1550 ppm
T <sub>maks</sub>	21,3 C°	CO <sub>2</sub> <sub>virhe,maks</sub> ±	26 ppm
T <sub>min</sub>	20,8 C°	RH <sub>virhe,maks</sub> ±	1 %
T <sub>ka</sub>	21,2 C°	T <sub>virhe,maks</sub> ±	0,2 C°

Aika	CO <sub>2</sub> / ppm	RH/ %	T/ °C
21:14	540	26,89	21,15
21:29	410	26,07	20,9
21:44	450	25,81	20,8
21:59	590	27,53	21,01
22:14	600	27,88	21,14
22:29	670	28,4	21,27
22:44	690	28,07	21,24
22:59	700	27,65	21,21
23:14	710	27,49	21,18
23:29	660	27,19	21,17
23:44	650	27,26	21,16
23:59	660	27,31	21,14
0:14	710	27,85	21,15
0:29	650	28,12	21,19
0:44	740	28,12	21,2
0:59	670	27,99	21,23
1:14	700	27,85	21,21
1:29	660	27,72	21,19
1:44	690	27,77	21,2
1:59	630	27,82	21,22
2:14	620	28	21,23
2:29	710	28,02	21,24
2:44	620	27,97	21,24
2:59	650	27,84	21,25
3:14	670	27,85	21,24

Aika	CO <sub>2</sub> / ppm	RH/ %	T/ °C
3:29	630	27,7	21,22
3:44	590	27,96	21,22
3:59	570	28,11	21,22
4:14	640	27,74	21,24
4:29	620	27,66	21,24
4:44	630	27,65	21,22
4:59	580	27,66	21,19
5:14	620	27,64	21,16
5:29	590	27,85	21,17
5:44	610	27,88	21,19
5:59	590	27,8	21,19
6:14	560	27,79	21,21
6:29	630	28,03	21,22
6:44	610	27,87	21,21
6:59	610	27,83	21,21
7:14	590	27,95	21,21
7:29	650	28,18	21,18
7:44	610	28,11	21,19
7:59	570	27,99	21,08
8:14	560	27,76	21,01
8:29	560	27,58	21
8:44	560	28,04	20,98
8:59	480	27,89	20,92

## Liite 7. MH2, Neljännen mittauksen mittauspöytäkirja

## ILMANLAADUN MITTAUSPÖYTÄKIRJA

Pvm:	27.1.2020-28.1.2020	Henkilömäärä:	2
Jakso:	21:05-9:05	Tila:	MH 2
Kesto:	12h	Ilmanjako:	seinä
Tallennusväli:	15min	Venttiili:	STQA-125
Mittaus 1:	hiilidioksidi/ Vaisala GM70	Ilmamäärä:	12 l/s
Mittaus 2:	kosteus/ Vaisala HMP76		
Mittaus 3:	lämpötila/ Vaisala HMP76		

(Mittausten virherajat CO<sub>2</sub>= ± 3,5%, RH= ±1%, T= ±0,2C°)

CO <sub>2</sub> <sub>maks</sub>	880 ppm	T <sub>ulko, alku</sub>	1,1 C°
CO <sub>2</sub> <sub>min</sub>	470 ppm	T <sub>ulko, loppu</sub>	0,1 C°
CO <sub>2</sub> <sub>ka</sub>	714 ppm	Tausta <sub>CO2</sub>	400 ppm
RH <sub>maks</sub>	33 %	S1 yläraja	750 ppm
RH <sub>min</sub>	29 %	S2 yläraja	950 ppm
RH <sub>ka</sub>	31 %	Toimenpideraja	1550 ppm
T <sub>maks</sub>	21,3 C°	CO <sub>2</sub> <sub>virhe,maks</sub> ±	31 ppm
T <sub>min</sub>	20,8 C°	RH <sub>virhe,maks</sub> ±	1 %
T <sub>ka</sub>	21,1 C°	T <sub>virhe,maks</sub> ±	0,2 C°

Aika	CO <sub>2</sub> / ppm	RH/ %	T/ °C
21:05	470	29,72	20,98
21:20	490	30,6	21,05
21:35	660	30,91	21,02
21:50	740	31,31	21,01
22:05	820	31,77	21,01
22:20	860	32,01	21,05
22:35	860	31,94	21,03
22:50	880	31,94	21,02
23:05	850	31,94	21,03
23:20	810	32,34	21,06
23:35	830	32,42	21,09
23:50	740	32,45	21,1
0:05	740	32,7	21,12
0:20	750	32,52	21,15
0:35	740	32,64	21,16
0:50	740	32,47	21,16
1:05	730	32,43	21,15
1:20	720	32,27	21,16
1:35	800	32,08	21,2
1:50	740	31,79	21,2
2:05	820	31,71	21,24
2:20	750	31,52	21,26
2:35	680	31,44	21,24
2:50	740	31,4	21,2
3:05	700	31,37	21,16

Aika	CO <sub>2</sub> / ppm	RH/ %	T/ °C
3:20	730	31,42	21,14
3:35	770	31,41	21,14
3:50	690	31,33	21,11
4:05	670	31,25	21,1
4:20	730	31,05	21,11
4:35	710	30,98	21,1
4:50	740	31,23	21,14
5:05	760	30,97	21,19
5:20	760	30,97	21,18
5:35	750	30,98	21,18
5:50	730	31,05	21,18
6:05	740	31,05	21,18
6:20	790	30,94	21,19
6:35	740	30,76	21,19
6:50	730	30,46	21,12
7:05	620	30,3	21,06
7:20	600	29,77	21
7:35	610	29,68	20,98
7:50	540	29,41	20,93
8:05	540	29,37	20,89
8:20	550	29,25	20,87
8:35	550	29,47	20,86
8:50	550	28,95	20,77