

Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Sami Mäkinen

# Tiiviin pientalon ilmanvaihdon toiminta

Metropolia Ammattikorkeakoulu  
Rakennusmestari, LVI (AMK)  
Rakennusalan työnjohto  
Opinnäytetyö  
26.4.2021

Tekijä Otsikko	Sami Mäkinen Tiiviin pientalon ilmanvaihdon toiminta
Sivumäärä Aika	41 sivua + 10 liitettä 26.4.2021
Tutkinto	rakennusmestari, LVI (AMK)
Tutkinto-ohjelma	rakennusalan työnjohto
Ammatillinen pääaine	LVI-tekniikka
Ohjaajat	lehtori Jyrki Viranko DI Lari Eskola
<p>Tässä opinnäytetyössä on tarkoituksena käydä läpi tiiviin pientalon ilmanvaihdon toiminnan kokonaisuutta ja erilaisia toimintaratkaisuja. Opinnäytetyön tavoitteena oli tarkastella esimerkkikohteiden ilmanvaihdon ratkaisuja ja toimintaa tämän hetken määräyksiä noudattamalla. Opinnäytetyön aihe on ajankohtainen, ja aihetta ei ole käsitelty aikaisemmin tällä laajuudella.</p> <p>Opinnäytetyössä perehdyttiin ilmanvaihdon asetuksiin ja määräyksiin, internetaineistoihin, ilmanvaihtoalan kirjallisuuteen, laitevalmistajan tuotteisiin ja haastateltiin alan asiantuntijoita. Näin saatiin kattavasti tietoa opinnäytetyön toteutukseen.</p> <p>Opinnäytetyössä tutkittiin Itä-Helsingissä vuonna 2021 alkuvuodesta valmistunut paritalo. Opinnäytetyöhön on kerätty tietoa ja materiaalia koko työmaaprojektin aikana. Opinnäytetyötä varten tehtiin erilaisia mittauksia, joilla saimme tietoa tiiviin pientalon ilmanvaihdon toiminnasta erilaisissa käyttö tai ongelmatilanteissa. Projektissa tutustuttiin tarkasti voimassa oleviin asetuksiin ja määräyksiin, jotta saatiin hyvä käsitys ohjeista. Tämä antaa ilmanvaihdon suunnittelijalle ohjeet, joiden mukaan suunnitelmat toteutetaan. Opinnäytetyön tarkoituksena on antaa selkeämpää käsitystä kokonaisuudesta ja minkälaisia asioita on huomioitava uuden tiiviin pientalon ilmanvaihdon toiminnassa.</p> <p>Lopuksi todettiin, että tiiviiden pientalojen ilmanvaihdon toiminta on hyvällä tasolla, kun vain noudatetaan annettuja ohjeita ja määräyksiä. Hyvän sisäilman laatu on parantunut paljon uudenlaisten toimintamallien myötä. Ilmanvaihto on tasapainoisempaa ja helpommin hallittavissa. Ilmanvaihtokoneiden tekniikka on lisääntynyt paljon ja antaa uusia haasteita järjestelmän toiminnasta. Suurimman haasteen kokonaisuuden toimintaan tekee erilispoistot. Niiden yhdistäminen ilmanvaihdon toimintaan ja kokonaisuuden hallintaan on haastavaa. Nämä asiat lisäävät korvausilman tarvetta tiiviissä pientaloissa.</p>	
Avainsanat	koneellinen ilmanvaihto, ilmavirrat, tiivis pientalo, paine-ero, ilmanvaihdon mittaus ja säätö, tasapainotus, suhteellinen säätö, korvausilma

Author Title	Sami Mäkinen Ventilation in Air-tight Detached Houses
Number of Pages Date	41 pages + 10 appendices 26 April 2021
Degree	Bachelor of Construction Management
Degree Programme	Construction Site Management
Professional Major	HVAC Engineering
Instructors	Jyrki Viranko, Senior Lecturer Lari Eskola, Master of Science (technology)
<p>The purpose of the thesis was to study the overall ventilation performance of air-tight detached houses. The aim was to observe ventilation solutions in selected locations, adhering to current regulations. Furthermore, the final year project was to give a clear overview on what to consider when designing the ventilation for a new air-tight detached house.</p> <p>For the thesis, information of the ventilation regulations, appliances, and the ventilation market were sought in printed and web-based sources. Furthermore, interviews were conducted with experts in the field. A new semi-detached house in Eastern Helsinki was used as a case building. Studied on site gave information on the operations of ventilation in different modes and problem situations.</p> <p>The thesis concluded that the operations of air-tight detached houses are at a good level, when the regulations are followed, new operating models have improved the indoor air quality and the ventilation is more balanced and easier to control. Furthermore, it was established that the increased amount of technology in ventilation appliances poses new challenges to system usage. To combine separated exhaust air with operations of ventilation and management of the system, which increases the need for replacement air, was seen to be the most challenging matter.</p>	
Keywords	mechanical ventilation, airflow, air-tight detached house, pressure difference, ventilation measurement and adjustment, balancing, proportional method of balancing, replacement air

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Ilmanvaihdon asetukset ja määräykset	2
2.1	Suomen Säädöskokoelma 1009/2017	2
2.2	Sisäilmasto ja ilmanvaihto-opas	2
2.3	Energiatehokkaan pientalon ilmanvaihto-opas	4
2.4	Sisäilmaluokitus 2018	4
3	Ilmanvaihdon suunnittelu	6
4	Tiiviin pientalon ilmanvaihdon toiminta	8
4.1	Rakennuksen tiiveys	8
4.1.1	Rakennuksen tiiveysmittaukset	8
4.1.2	Mahdolliset vuotokohdat rakennuksessa	9
4.2	Ilmanvaihtokoneen toiminta	11
4.2.1	Kotona-, poissa- ja tehostustilan toiminta	11
4.2.2	Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon toiminta	13
4.3	Liesituulettimen kompensointi	13
4.3.1	Liesituulettimen ohjaustoiminto	13
4.3.2	Paine-erokytkimen toiminta	14
4.4	Aktiivihiihisiuodattimella toimiva liesituuletin	16
4.4.1	Aktiivihiihisiuodattimen toiminta	16
4.4.2	Ilmamäärät keittiö tilassa	17
4.5	Takka	18
4.5.1	Takan toiminta tiiviissä pientalossa	18
4.5.2	Ilmanvaihdon takkatoiminto	19
4.5.3	Savupellin tiiveys	20
4.6	Keskuspölynimurin vaikutus tiiviissä pientalossa	21
4.7	Korvausilmaventtiilit	21
5	Mittaus ja säätö	22

5.1	Painesuhteet pientalossa	22
5.2	Pientalon suhteellinen säätö	23
5.3	Vaipanylimittaus	26
5.4	Automaatio	27
5.5	Mittauspöytäkirja	28
5.6	SFP-luku	28
6	Esimerkkikohteiden esittely	30
6.1	Paritalon ilmanvaihto, osa A	30
6.2	Paritalon ilmanvaihto osa B	33
7	Päätelmät	36
8	Suosituksset	38
9	Yhteenveto	39
	Lähteet	40
	Liitteet	
	Liite 1. Ilmanvaihdon pohjapiirustus, ensimmäinen kerros osa A	
	Liite 2. Ilmanvaihdon pohjapiirustus, ensimmäinen kerros osa B	
	Liite 3. 3D-ilmanvaihtosuunnitelma, ensimmäinen kerros osat A ja B	
	Liite 4. Leikkauskuva A-A, ensimmäinen kerros	
	Liite 5. Ilmanvaihdon pohjapiirustus, kellarikerros osa A	
	Liite 6. Ilmanvaihdon pohjapiirustus, kellarikerros osa B	
	Liite 7. 3D-ilmanvaihtosuunnitelma, kellarikerros osat A ja B	
	Liite 8. Leikkauskuva A-A, kellari	
	Liite 9. Mittauspöytäkirja osa A	
	Liite 10. Mittauspöytäkirja osa B	

## Lyhenteet

CO<sub>2</sub> Hiilidioksidi

EC-moottori *Electronically Commutated*. Elektronisesti kommutoitu puhallin, joka muuttaa vaihtovirran tasavirraksi, jotta se pystyy ohjaamaan puhallinnopeutta säätämällä moottorin saamaa virran määrää.

IV Ilmanvaihto

l/s Litraa sekunnissa. Ilman virtauksen määrä.

Pa *Pascal*. Paineen yksikkö.

ppm *Parts Per Million*. Promillen ja prosenttien ja kaltainen suhdeyksikkö, joka ilmaisee miten monta miljoonasosaa jokin asia on jostakin. 10 000 ppm = 1 %.

q50 Ilmanvuotoluku. Jotta tiedetään kuinka monta kuutiota ilmaa vuotaa ulkovaipan läpi yhden neliömetrin tunnissa, silloin kun paine-ero on 50 Pascalia.

SFP *Specific Fan Power*. Tarkoittaa ominaissähkötehoa eli sähköverkosta otettua tehoa, jotta saadaan yksi ilmakuutio kuljetettua rakennuksen läpi sekunnissa kW/m<sup>3</sup>/s. Lasketaan teho jaettuna ilmavirralla.

## 1 Johdanto

Opinnäytetyössä tarkastellaan tiiviin pientalon ilmanvaihdon toimintaa erilaisissa käyttötilanteissa. Tavoitteena oli tarkastella, minkälaisia haasteita ja ongelmakohtia on ilmanvaihdon toiminnassa ja miten ne vaikuttavat hyvän sisäilman laadun saavuttamiseen. Uusien asetusten, määräysten ja oppaiden vaikutus tiiviiden pientalojen ilmanvaihdon toimintaan tarkasteltiin opinnäytetyössä tarkasti ja selvitettiin, minkälaisia asioita pitää ottaa huomioon ilmanvaihtoa suunniteltaessa.

Tässä opinnäytetyössä esitellään kahden uuden tiiviin pientalon ilmanvaihtojärjestelmän toimintaa. Opinnäytetyössä keskityttiin tarkastelemaan esimerkki kohteiden ilmanvaihdon ratkaisuiden toiminnan kokonaisuutta ja haasteita käyttö tilanteissa. Esimerkkikohteissa tehtiin erilaisia ilmanvaihdon toimintaan liittyviä mittauksia, jotta saataisiin tarkempaa tietoa ilmanvaihdon kokonaisuuden toiminnasta. Sääolosuhteiden vaikutus huomiointiin mittaustuloksissa.

Tiiviiden pientalojen tiiveys on parantunut paljon viime vuosien aikana. Tämä vaikuttaa ilmanvaihtojärjestelmän toimintaan ja siihen, minkälaisia ongelmia tilanteita tulee vastaan koneellisen ilmanvaihdontoinnassa. Ilmanvaihdon suunnittelu on muuttunut oleellisesti uusien asetusten ja määräysten myötä. Opinnäytetyössä tarkastellaan koneellisen ilmanvaihdon tasapainontointia sekä sisä- ja ulkoilman paine-erojen vaikutusta tiiviin pientalon erilaisissa käyttötilanteissa.

Normaalin koneellisen ilmanvaihdon lisäksi opinnäytetyössä tarkasteltiin muiden erilliskojeiden vaikutusta ilmanvaihdontointiin sekä rakennuksen paine-erojen vaikutusta erilaisissa käyttötilanteissa. Liesituulettimien toimintaa tarkasteltiin erityisen tarkasti, koska niiden ilmamäärät ovat suuria käyttötilanteessa ja vaikuttavat paljon tiiviin pientalon paine-eroihin. Takan toiminta tarvitsee toimiakseen riittävän määrän palamisilmaa ja on mietittävä, kuinka korvausilmaa saadaan tuotua rakennukseen riittävästi. Keskuspölynimurin käyttö lisää alipaineisuutta rakennuksessa käytönaikana ja kysymys on, kuinka saadaan ilmanvaihto pysymään hallittuna käytön aikana.

## 2 Ilmanvaihdon asetukset ja määräykset

### 2.1 Suomen Säädöskokoelma 1009/2017

Ilmanvaihdon on toteutettava terveellinen, turvallinen ja viihtyisä sisäilman laatu oleskelutiloissa. Ilmanvaihtojärjestelmän on tuotava rakennukseen riittävä ulkoilmavirta ja poistettava sisäilmasta terveydelle haitallisia aineita, liiallista kosteutta, viihtyisyyttä haittaavia hajuja sekä ihmisestä, rakennustuotteista ja toiminnasta sisäilmaan aiheutuvia epäpuhtauksia. [1, s. 4.]

Suomen Säädöskokoelman on laatinut ympäristöministeriö. Uudessa kokoelmassa on ohjeistuksia ja määräyksiä uuden rakennuksen ilmanvaihdon ja sisäilmaston suunnittelusta ja rakentamisesta. Uudet määräykset otettiin käyttöön 2018 vuoden alusta, ja ne koskevat kaikkia uusia pientalojen rakennusprojekteja. Suomen säädöskokoelma antaa hyvät ja selkeät ohjeet pää-, erityis- ja rakennussuunnittelijalle terveen talon rakentamiseen. Uudet asetukset 2018 korvaavat vanhan D2:n määräykset.

Käyttöaikainen ulkoilmavirraksi on mitoitettava vähintään 6 dm<sup>3</sup>/s henkilöä kohti. Koko rakennuksen ulkoilmavirraksi mitoitetaan vähintään 0,35 (dm<sup>3</sup>/s) /m<sup>2</sup> lattian pinta-alaa kohden käyttöaikana. Tämä on siis minimitaso eli S3-luokkaa, ja aina voidaan tehdä suunnitelmat paremmin. [1, s. 4.]

### 2.2 Sisäilmasto ja ilmanvaihto-opas

Sisäilmasto ja ilmanvaihto-opas [2] koostuu kokonaisuudessaan opastavista teksteistä, jotka on tehty yhteistyössä alan toimijoiden kanssa ympäristöministeriön sisäilmasto ja ilmanvaihto -asetuksen soveltamisen tueksi. Yksittäiset ohjeet on järjestetty asetuksen pykälien mukaisesti alakohtiin. Varsinaiset asetustekstit on kopioitu asetuksesta. Opasta täydentää kokoelma esimerkkejä, jotka täydentyvät ajan kuluessa. [2, s. 1.]

Sisäilmasto ja ilmanvaihto-opas löytyy Talotekniikkainfo-sivustolta. Se on otettu käyttöön 30.1.2018. Talotekniikkainfo on sidoksissa Suomen Säädöskokoelmaan. Sisäilmasto ja ilmanvaihto-oppaasta löytyy asetus- ja opastavateksti. [2, s. 2.]



Tavanomaisten rakennuksen raitis- ja jätepuhallusilmavirrat suunnitellaan uusien ohjeiden yhtä suuriksi. Tiiviin pientalon tilakohtaiset tulo- ja poistoilmavirrat voivat olla eri suuriset (esim. makuuhuoneiden tuloilmat johdetaan siirtoilmana likaisiin- sekä kosteisiin- tiloihin), mutta koko ilmanvaihtojärjestelmän tulo- ja poistoilman kokonaisilmavirrat tulee olla yhtä suuret keskenään. [2, s. 18.]

Rakennuksen tilat missä saattaa olla merkittäviä sisäisiä kosteuskuormia, esimerkiksi asuinhuoneistotoihin. Tärkeää on rakennus suunnitella 2–5 Pascalia alipaineiseksi ulkoilmaan nähden, jotta sisäilman kosteus ei pääse siirtymään rakenteisiin. [2, s. 18.]

Lukujen alussa on asetusteksti, joka on aina velvoittava ohje. Ne on merkitty oppaaseen vasemmalla laidassa olevalla paksulla pysty viivalla. Opastavat tekstit ovat aina asetustekstin alapuolella. Opastava tekstit on kirjoitettu yleisellä tasolla, ja ne eivät ole velvoittavia, jotta voidaan toteuttaa asetuksessa esitettyjen määräysten ja vaatimusten tasoa noudattamalla niitä oikein [2, s. 1]. On tärkeää muistaa myös, että toteutustapoja on muitakin, kuin oppaassa olevia. Näillä muillakin toteutustavoilla päästään määräysten mukaisiin vaatimustasoihin.

Rakennuksen kosteuskuormat täytyy huomioida ilmanvaihdon tulo- ja poistoilman virtojen säädöissä. Pelkkä ilmanvaihdon tasapainoon mittaaminen ei riitä hyvä kokonaisuuden saavuttamiseksi. Rakennuksen alipaineisuus pitää varmistaa vaipanylimittauksella, jotta voidaan varmistaa rakennuksen oikeanlaisen ilmanvaihdon tasapainon. Vaipanylimittauksella tarkoitetaan rakennuksen sisä- ja ulkoilman välistä paine-eroa. Tämä tarkoittaa hetkellistä mittaustulosta, joka kertoo paine-eron rakennuksessa mittaushetkellä. Jos vaipanylimittaus näyttää rakennusta ylipaineiseksi, on painesuhteet korjattava oikeanlaisiksi. Säädön korjaustoimenpiteeksi on suositeltavaa lisätä poistoilman määrää, jotta tuloilman määrä pysyisi suunnitellussa. Ilmanvaihtojärjestelmän tehtävänä on ylläpitää suunnitelmassa esitetyt ilmavirrat rakennuksessa. Oikein säädetty ilmanvaihto ja oikeanlaiset painesuhteet varmistavat järjestelmän toiminnan.

### 2.3 Energiatehokkaan pientalon ilmanvaihto-opas

Energiatehokkaassa pientalon ilmanvaihto-oppaassa [3] esitellään perusteita ja ratkaisuja laadukkaan ilmanvaihtojärjestelmän saavuttamiseksi nykyaikaisessa, energiatehokkaassa ja ilmanpitävissä tiiviissä pientalossa. Ilmanvaihdolla on tärkeä rooli hyvän sisäilmaston saavuttamiseksi ja energiatehokkaassa uudisrakentamisessa. [3, s. 1.]

Energiatehokkaan pientalon ilmanvaihto-opas käsittelee laajasti pientalojen ilmanvaihdon haasteita ja antaa hyviä ohjeita. Opas on valmistunut vuonna 2014. Toteutukseen on panostettu kunnolla ja ilmanvaihdon toimintaa on tarkasteltu laajasti.

Energiatehokkaan pientalon oppaassa tarkastellaan rakennuksen paine-erojen hallintaa parantuneen vaipan ilmanpitävyyden vuoksi. Erillispoistojen käyttö pientaloissa on otettava paremmin huomioon ilman tasapainon saavuttamiseksi. Liian suuri alipaineisuus rakennuksessa saattaa tuoda ongelmia ja hajuja rakennukseen. Näiden asioiden huomioiminen on tuotu esille tässä oppaassa. Keittiön liesituulettimen tai liesikuvun toteutuksille on annettu vaihtoehtoja hyvän toiminnan kannalta. Lisäksi on esitetty ratkaisuja keskuspölynimurin ja tulisijan toiminnan varmistamiseksi. Korvausilman tarve on otettava huomioon, kun katsotaan kokonaisuutta ja rakennuksessa on erilaisia erillispoistoja. Ilmanvaihtokoneiden ohjaustoiminnot ovat parantuneet paljon ja antavat lisämahdollisuuksia rakennuksen tasapainon säilyttämiseksi. [3, s. 2.]

### 2.4 Sisäilmaluokitus 2018

Sisäilmaluokitus 2018 on tehty käytettäväksi rakennus- ja taloteknisen suunnittelun ja urakoinnin sekä rakennustarviketeollisuuden apuna, silloin kun rakennetaan huomattavasti viihtyisämpiä ja entistäkin terveellisempiä rakennuksia [4, s. 1].

Rakentamisen tärkeimpiä tavoitteita on hyvän sisäilmaston saavuttaminen. Sisäilmaston laatuun vaikuttavia tekijöitä ovat käytettävät materiaalit rakennuksessa, rakentamisen laatu, ilmanvaihto- ja ilmastointilaitteet, lämmityslaitteet ja niiden toiminta [4, s. 2].

Sisäilmaluokitus 2018 on rakennettu laatuluokkiin, joita on kolme luokkaa. Luokat ovat S1, S2 ja S3 [kuva 1]. Nämä luokat kertovat tavoitetason sisäilmastolle. S1 sisäilmaluokassa päästään parhaimpaan tasoon, mikä on käyttäjätyytyväisin. S1 sisäilmaluokkaa kuvaillaan yksilölliseksi sisäilmastoksi. Tällöin sisäilmanlaatu on erittäin hyvä. Hajuhaittoja ei esiinny. Lämpöolosuhteet ovat viihtyisiä ja vedontunnetta ei ole. S2-sisäilmaluokista kuvaillaan hyväksi sisäilmastoksi [kuva 2]. Myös tässä luokassa sisäilmanlaatu on hyvää ja häiritseviä hajuhaittoja ei esiinny. Lämpöolosuhteet ovat hyviä. Vetoa ei yleensä esiinny, mutta lämpiminä kesäpäivinä lämpöolosuhteet saattavat nousta yli mukavuustason. Viimeisenä on sisäilmaluokka S3, jota sanotaan tyydyttäväksi sisäilmastoksi [kuva 3]. Tällöin sisäilman laatu ja lämpöolot saavuttavat vain asetetut vähimmäisvaatimukset. [4, s. 5.]

S1-luokka, ulkoilmavirta = 0,5 dm<sup>3</sup>/s, lattia-m<sup>2</sup> ja lisäksi 10 dm<sup>3</sup>/s, henkilö.

S2-luokka, ulkoilmavirta = 0,35 dm<sup>3</sup>/s, lattia-m<sup>2</sup> ja lisäksi 7 dm<sup>3</sup>/s, henkilö.

S3-luokka, ulkoilmavirta = 0,35 dm<sup>3</sup>/s, lattia-m<sup>2</sup> tai vähintään 6 dm<sup>3</sup>/s, henkilö.

Kuva 1. Sisäilmaluokituksen mukaan ulkoilmavirtojen ilmamäärät [4, s. 15].

	S1	S2	S3
Hiilidioksidipitoisuus* [ppm]	< 350	< 550	< 800
Radonpitoisuus [Bq/m <sup>3</sup> ]	< 100	< 100	< 200
PM <sub>2,5</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	< 10	< 10	< 25
PM <sub>2,5</sub> sisällä/ulkona	< 0,5	< 0,7	–
Ilman suhteellinen kosteus [% RH]	–	–	–
Olosuhteiden pysyvyys [% käyttäjästä]			
toimi- ja opetustilat	90 %	90 %	–
asunnot	90 %	80 %	–

Kuva 2. Sisäympäristön laadun tavoitearvot [4, s. 7].

Käyttötilanne	Yksikkö	S1	S2	S3
Normaali käyttö <sup>1)</sup>	dm <sup>3</sup> /s,hlö	10	8	6
Tehostustilanne, asuntokohtainen suurennusmahdollisuus <sup>2)</sup>	%	30	30	30
Käyttäjän ulkopuolinen perusilmanvaihto <sup>1,3)</sup>	dm <sup>3</sup> /s,m <sup>2</sup>	0,2	0,2	0,15

<sup>1)</sup> Ilmavirrat mitataan esimerkiksi kiinteitä mittauselimä, mittausanturia, anemometritorvea tai pussimenetelmää käyttäen standardin SFS EN 12599 mukaisesti.

<sup>2)</sup> Ilmavirtoja on voitava suurentaa tilapäisesti syntyvien epäpuhtauksien poistamiseksi. Asunnon ilmanvaihtoa on suositeltavaa tehostaa kokonaisuudessaan ja suunnata tehostus pesuhuoneisiin ja WC-tiloihin ja/tai liesikupuun.

<sup>3)</sup> Normaalin käyttäjän ulkopuolella on rakennuksessa oltava minimi-ilmanvaihto, jonka avulla poistetaan rakennuksesta peräisin olevia epäpuhtauksia. Tätä käyttäjän ulkopuolista minimi-ilmanvaihtoa saa asunnoissa käyttää vain pitkäkestoisten (yli 1 vrk) poissaolojen aikana edellyttäen, että esim. märkätilat eivät jää kosteiksi.

Kuva 3. Ulkoilmavirtojen mitoitusarvot asuintiloissa (oleskelu- ja makuuhuoneet) [4, s. 17].

### 3 Ilmanvaihdon suunnittelu

Erityissuunnittelijan on mitoitettava ilmanvaihtojärjestelmä siten, että oleskelutiloihin voidaan johtaa terveellisen, turvallisen ja viihtyisän sisäilman laadun edellyttämä ulkoilmavirta. Oleskelutilojen ulkoilmavirraksi on mitoitettava vähintään 6 dm<sup>3</sup>/s henkilöä kohti suunniteltuna käyttöaikana, jos tilan käyttötarkoituksesta ei aiheudu lisäilmavirran tarvetta. Koko rakennuksen ulkoilmavirraksi on mitoitettava kuitenkin vähintään 0,35(dm<sup>3</sup>/s)/m<sup>2</sup> lattian pinta-alaa kohden suunniteltuna käyttöaikana, jos rakennuksen tilan käyttötarkoituksen erityisluonteesta ei aiheudu lisäilmavirran tarvetta. Asuinhuoneiston ulkoilmavirraksi on mitoitettava kuitenkin vähintään 18 dm<sup>3</sup>/s. [1, s. 4.]

Asuinhuoneiston ilmavirtojen ohjaus on suunniteltava niin, että tulo- ja poistoilmavirtoja voi ohjata joko rakennus- tai asuinkohtaisesti siten, että niitä voidaan tehostaa vähintään 30 prosenttia suuremmaksi kuin suunnitellun käyttäjänilmavirrat. Jos ilmanvaihtoa voi ohjata asuntokohtaisesti, asuinhuoneiston tulo- ja poistoilmavirtoja voidaan pienentää enintään 60 prosenttia suunnitellun käyttäjän ilmavirroista. [1, s. 4.]

Erityissuunnittelijan on suunniteltava ilmansuodatuksen taso ulkoilman laadun ja sisäilman laadulle asetettujen tavoitteiden perusteella. Erityissuunnittelijan on ilmanvaihtojärjestelmää valitessaan otettava huomioon järjestelmän soveltuvuus tarvittavaan suodatuksen tasoon. [1, s. 5.]

Erityissuunnittelijan on suunniteltava tulisijan ja erillispoistojen käytön vaatima lisäulkoilmavirran saanti siten, että rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmä toimii hallitusti ja rakennuksen tai huonetilojen painesuhteet eivät muutu haitallisesti [1, s. 8].

Pientalon ilmanvaihdon suunnittelu lähtee liikkeelle asuntoa käyttävien asukkaiden määrästä ja tarpeista. Rakennuksen koko ja huoneiden määrä vaikuttaa myös suunnitteluun. Ilmavirtojen mitoitus aloitetaan huonekohtaisten tulo- ja poistoilmavirtojen suunnittelulla asetusten mukaan. Kanaviston oikeanlainen mitoitus varmistaa järjestelmän toiminnan. Yleisimmät ongelmat ilmanvaihtojärjestelmässä johtuu väärin mitoitetusta kanavistosta. Kanavistot ja päätelaitteet tulisivat mitoittaa ilmanvaihtokoneen maksimi-ilmamäärien mukaisesti [kuva 4]. Tällöin järjestelmään jää tehostusvaraa ilman ääniongelmia. Ilmanvaihtokone on mitoittettava toimimaan siten, että tehoa jää myös tehostustoiminnolle. Kun huonekohtaiset ilmavirrat on saatu suunniteltua, tulee tarkistaa tulo- ja poistoilmavirtojen riittävä tasapainotus. Jos ilmavirrat eivät ole tasapainossa, niin ilmavirrat hienosäädetään tarvittaessa. Lopuksi varmistetaan, että ilmanvaihtokerroin määrä toteutuu, mikä on 0,5 kertaa tunnissa. Tämä tarkoittaa sitä, että koko rakennuksen ilmamäärän on vaihduttava kahden tunnin aikana. [3, s. 8.]

Kanavan halkaisija	Tehostamaton ilmavirta päätelaitteessa	Tehostamaton ilmavirta-alue	Tehostettu ilmavirta
mm	dm <sup>3</sup> /s/päätelaite	dm <sup>3</sup> /s	dm <sup>3</sup> /s
100 mm 1)	(6)	(6 - 12)	(18)
125 mm	12	12 - 24	36
160 mm	20	20 - 40	60
200 mm	30	30 - 60	100
250 mm	50	50 - 100	200

1) 100 mm kanavien käyttö tulisi rajoittaa virtaus- ja äänitekniikan toimivuuden varmistamiseksi vain pieniin ilmavirtoihin, kuten esimerkiksi vaatehuoneiden ja pienten varastojen poistoilmavirrat. Esimerkiksi makuuhuoneissa suositellaan aina vähintään 125 mm:n tuloilmakanavia.

Kuva 4. Energiatehokkaan tiiviin pientalon suositellut enimmäisilmavirrat ja niitä vastaavat kanavakoot [3, s. 39].

Pientalon ilmanvaihdon ilmamäärät mitoittetaan uusien asetusten mukaan tasapainoon. Tuloilmaa on yhtä paljon, kun poistoilmaa. Alipaineisuutta tulee, kun tuloilmasuodatin likaantuu nopeammin kuin poistoilmasuodatin. Erillispoistojen toiminta vaikuttaa ilmanvaihdon tasapainoon merkittävästi, ja se pitää huomioida kokonaisuutta suunniteltaessa. Pientalon erillispoistoja ovat liesituuletin, takka ja keskuspölynimuri. Nämä tuovat rakennukseen lisää alipaineisuutta. Haastavin tilanne syntyy silloin, kun kaikki ovat yhtä aikaa päällä. [3, s.13.]

## 4 Tiiviin pientalon ilmanvaihdon toiminta

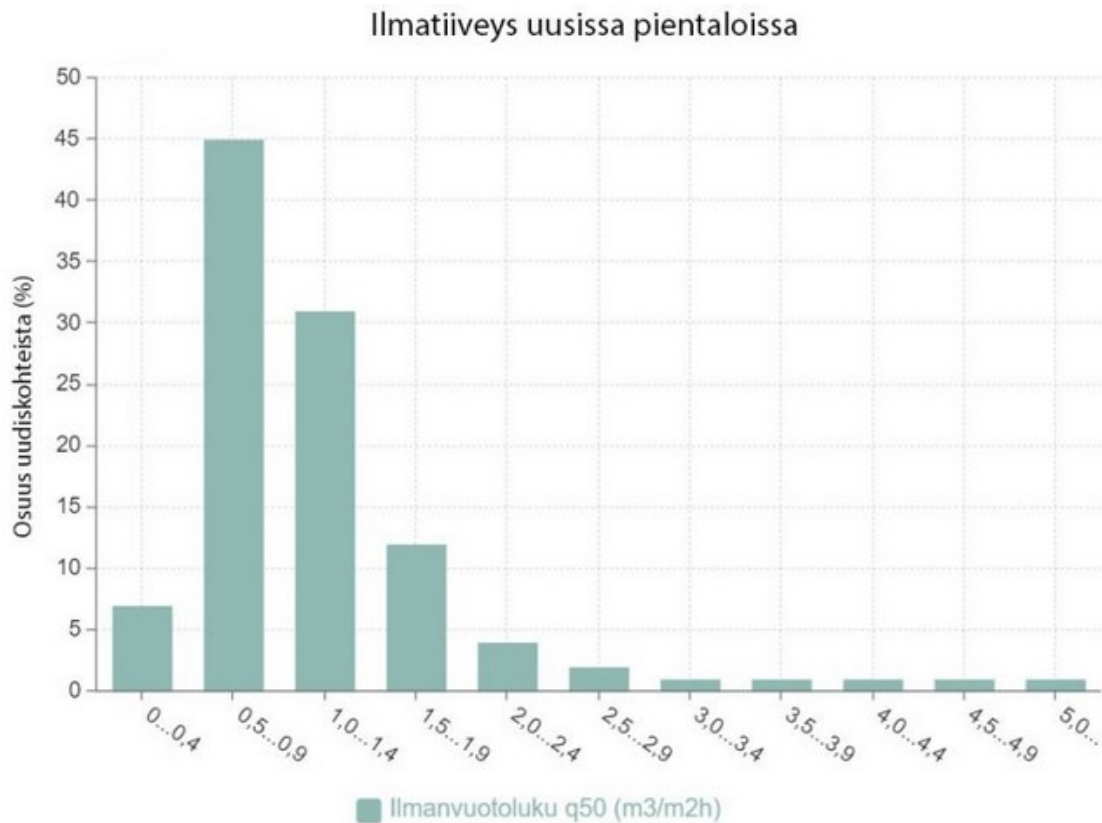
### 4.1 Rakennuksen tiiveys

#### 4.1.1 Rakennuksen tiiveysmittaukset

Erityissuunnittelijan on suunniteltava rakennuksen ulko- ja ulospuhallusilmavirrat siten, ettei rakenteisiin aiheudu ylipaineen vuoksi rakenteita vaurioittavaa pitkäaikaista kosteusrasitusta eikä alipaineen vuoksi epäpuhtauksien siirtymistä sisäilmaan [kuva 5]. Pääsuunnittelijan, erityissuunnittelijan ja rakennussuunnittelijan on tehtäviensä mukaisesti suunniteltava rakennuksen vaipan ja sisärakenteiden ilmanpitävyys ja hormivaikutuksen hallinta siten, että edellytykset ilmanvaihdon toiminnalle voidaan varmistaa ja vältetään rakenteissa olevien epäpuhtauksien, maaperässä olevien epäpuhtauksien ja radonin siirtymistä sisäilmaan ja vältetään kosteuden siirtymistä rakenteisiin. [1, s. 8.]

Tiiviin pientalon ilmanvuotokohdat aiheuttavat rakennukseen lisäenergiankulutusta, mikä voi vaikuttaa merkittävästi asumiskustannuksiin. Kosteus voi tiivistyä rakenteisiin, ja tämä voi aiheuttaa rakenteiden homehtumisen. Ilmanvuotokohdat voivat vaikuttaa myös vetoisuuteen sekä pölynmäärään rakennuksessa. Alapohjan vuotokohdista voi rakennukseen siirtyä radonkaasuja, mitkä ovat ihmisille haitallisia. Rakennuksen ilmatiiveysmittaukset tehdään painekoemenetelmällä [5, s. 2.]

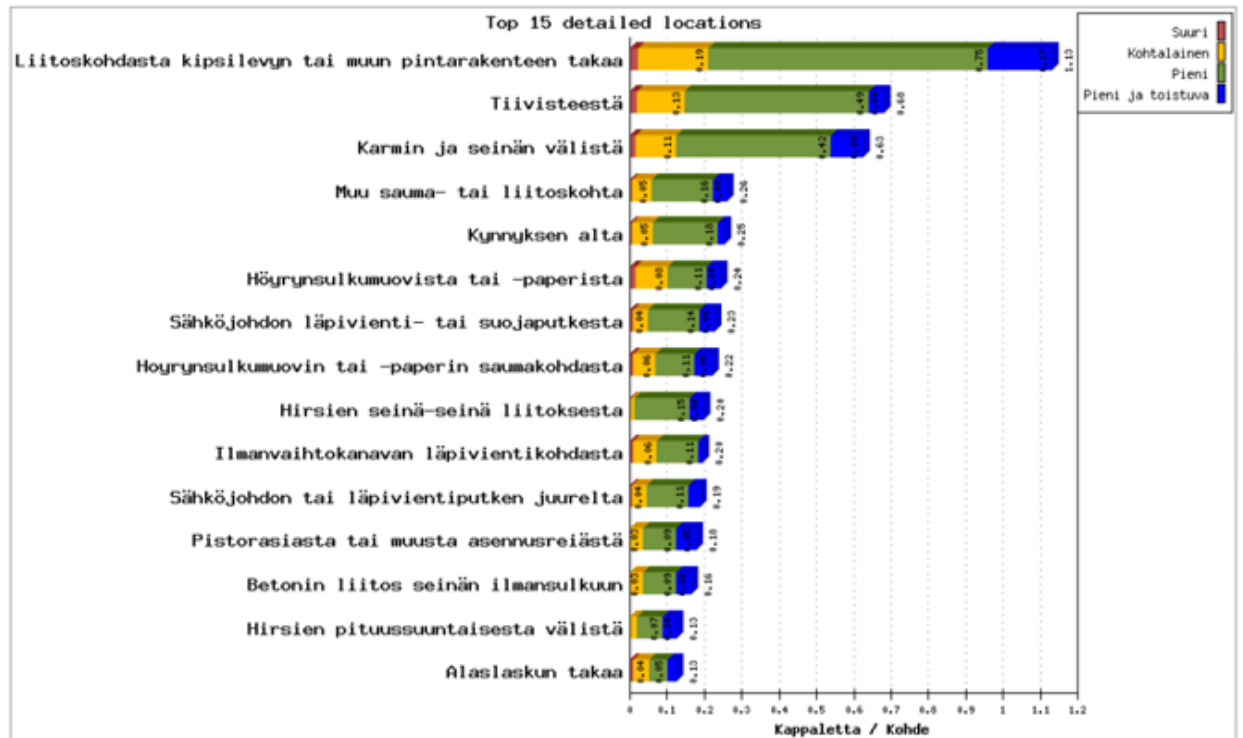
Kun rakennus on alipaineistettu painekoemenetelmällä, voidaan vuotokohtia paikantaa erilaisilla menetelmillä. Lämpökameralla voidaan kuvata rakennuksen sisällä ja havaita vuotokohtia lämpötilaeroilla. Tämä vaatii tietynlaiset sääolosuhteet sisä- ja ulkolämpötilaeroa. Käsin tunnustelemalla voidaan löytää ilmanvuotokohtia. Ilmavirtausmittauksilla saadaan myös tarkempaa tietoa ilmanvuotokohdista. Ilmavirtausmittaukset suoritetaan kuumalanka- tai siipipyöranemometrillä ja niillä pystytään mittaamaan virtauksen nopeutta ja lämpötilaa. Merkkisavukokeilla voidaan paikallistaa rakennuksen ilmavuotokoh- tia, joko ali- tai ylipaineistamalla rakennus. Vuodot löytyvät sieltä, mistä savua siirtyy sisä- tai ulkotilaan. Merkkiainetutkimuksella rakennuksen tilaan tai rakenteeseen laite- taan kaasuseosta, joka toimii merkkiaineena. Sitä voidaan syöttää rakenteeseen ja sen jälkeen voidaan mitata huoneen ilmatilasta. Käsianturi paikantaa vuodon sijainnin ti- lassa. [5, s. 32.]



Kuva 5. Pientalon tiiveysmittauksen tuloksena saadaan ilmanvuotoluku q50 rakennuksen tiiveydestä. Ilmanvuotoluku kertoo pientalon vuotoilmamäärän suhteutettuna rakennusväipan pinta-alaan. Mitä pienempi ilmanvuotoluku on, sitä parempi on ilmantiiveys rakennuksessa. Ilmantiiveys mitattu 2014–2018 vuonna valmistuneissa pientaloissa [6].

#### 4.1.2 Mahdolliset vuotokohdat rakennuksessa

Uusien tiiviiden pientalojen yleisimmät ilmanvuotokohdat ovat ikkunoissa, mutta niiden vuodot ovat pieniä [kuva 6]. Suurimmat vuotokohdat löytyvät ovista ja niiden tiivisteiden sekä karmin välistä. Kohtalaisia vuotokohtia löytyi sähköasennuksista, yläpohjasta, alapohjasta, ilmanvaihtواسennuksista, yläpohjan seinäliitoksista ja seinien vuodot. [5, s. 70.]



Kuva 6. Top 15, uusien tiiviiden pientalojen tarkennetut vuotopaikat rakennuksessa [6].

Rakennuksen tiiveysmittauksissa suurimpia ongelmakohtia ovat ulko-ovet. Tiiveysmittauksia tehdään yleensä rakennuksessa, kun rakennus on vielä keskeneräinen. Ulko-ovia ei ole vielä säädetty kohdilleen, ja tiivisteiden välistä tulee vuotoja mitattaessa. Ikkunoissa ei samaa ongelmaa ilmene, koska ne ovat säädetty asennusvaiheessa lopulliseen asentoon. Ulko-ovet voivat olla myös tiiveysmittausvaiheessa väliaikaisia, ja ne eivät täytä normaalin ulko-oven vaatimuksia tiiveydeltään. Suuria ilmavuotoja löytyy myös ikkunoiden ja ulko-ovien karmin ja seinän välistä. Nämä kohdat tiivistetään yleensä uretaanivaahdolla, ja monissa mittauksissa suurimmat vuotokohdat löytyvät juuri rakennuksen tältä osa-alueelta. Rakennusten LVIS-järjestelmien läpivienneissä on myös paljon vuotokohtia. Rakennuksen tekniseen tilaan tulee paljon läpivientejä rakenteiden läpi, ja näiden tiivistäminen jää usein tekemättä huolella. [7.]

Nykyinen ilmanvuotoluku raja-arvo on 4 l/h, joka on tämän päivän tiiviissä pientaloissa aivan liian paljon [kuva 7]. Nykyään ilmanvuotoluku raja-arvo pitäisi olla paljon



alhaisempi, esimerkiksi 2,5–3 l/h, koska uudet pientalot ovat entistä tiiviimpiä. Hyvään ilmanvuotolukuun päästään, kun ollaan alle 2 l/h. Kiitettävä taso on taas, kun päästään ilmanvuotolukuun alle 1 l/h. Matalat pientalot ovat nykyään todella tiiviitä, ja vuotoja on kohtuullisesti rakennuksessa. Korkeissa pientaloissa haasteeksi muodostuu rakennuksen korkeus, ja tämän vuoksi rakennuksen vuotojen määrä kasvaa. [7.]

Ilmatiiveysluokitus

Hyvä ilmatiiveys		ilmanvuotoluku q50
A	Alle 0,6	Alle 0,6
B	0,7 – 1,0	0,7 – 1,0
C	1,1 – 1,5	1,1 – 1,5
D	1,6 – 2,0	1,6 – 2,0
E	2,1 – 3,0	2,1 – 3,0
F	3,1 – 4,0	3,1 – 4,0
G	Yli 4,1	Yli 4,1
Huono ilmatiiveys		

Kuva 7. Ilmatiiveysluokitustaulukko, yleisesti käytössä tiiveysmittaajilla [Kuva Sami Mäkinen].

## 4.2 Ilmanvaihtokoneen toiminta

### 4.2.1 Kotona-, poissa- ja tehostustilan toiminta

Kotona-tila on tarkoitettu käytettäväksi normaali asumisessa. Tällä tarkoitetaan rakennuksen tarpeiden mukaan mitoitettua ilmanvaihtoa. Ilmamäärät ovat silloin samat kuin suunnitellut ilmamäärät. Hyvin mitoitettun ja suunnitellun ilmanvaihtokone toimii noin 50–60%:n teholla. Tällöin ilmanvaihtokone toimii energiatehokkaasti, ja säätövaraa jää tehostukselle. [3, s. 20.]

Tehostus-tilaa käytetään silloin kun ihmisiä on enemmän kuin normaalioloissa. Myös kosteus- ja hiilidioksidikuorman kasvaessa on hyvä tehostaa ilmanvaihtoa. Joihinkin ilmanvaihtokoneisiin voidaan hankkia lisäksi anturit, jotka mittaavat kosteuden sekä hiilidioksidin määrää ja tehostavat tarvittaessa automaattisesti ilmanvaihtoa. Kaikissa ilmanvaihtokoneissa ei löydy tätä toimintoa. Tehostus-tila säädetään noin 30 % suuremmaksi

kuin kotona-tila [3, s. 20]. Tehostus-tila voidaan laittaa päälle myös ohjauspaneelista, ja sille on määritetty aika, kuinka kauan se yleensä on toiminnassa yhtäjaksoisesti [kuva 8]. Yleensä tehostusaika on määritelty 30 minuutiksi. Aikaa voidaan jatkaa helposti asetuksia muuttamalla.

Poissa-tilaa käytetään silloin, kun rakennuksessa ei ole asukkaita tai ollaan pidempään poissa kotoa. Tällöin riittää vähäisempikin ilmanvaihto rakennuksessa. Poissa-tila säädetään yleensä noin 30–60 % pienemmäksi kuin kotona-tila. Ilmanvaihdon suunnittelija yleensä ilmoittaa suunnitelmissa, kuinka paljon poissa-tilan prosenttiluku on. Poissa-tilan prosenttilukuun vaikuttaa myös, millä teholla kotona-tila saadaan säädettyä. Poissa-tilassa voidaan käyttää myös alhaisempaa tuloilman lämpötilaa [3, s. 20]. Tällöin saadaan jälkilämmityspatterin tehoa laskettua matalammalle, minkä vaikuttaa sähkönkulutukseen. Myös aktiivinen jäähdytys on syytä ottaa pois käytöstä poissa-tilassa. Poissa-tila laitetaan päälle tai pois ohjauspaneelista [kuva 8] tai on tehty valmiiksi aikaohjelma, jota ilmanvaihtokone noudattaa.



Kuva 8. Enervent eAir Ohjauspaneeli kosketusnäytöllä [7].

#### 4.2.2 Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon toiminta

Ilmavirtojen säätötyöt tehdään yleisen käyttötilanteen mukaisella kotona-tilan tehostamattomalla ilmavirralla. Säätölaitteiden asetukset tehdään huomioiden eri vuodenaikoihin vaikuttavia olosuhteita vastaavia käyttötilanteita. Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon ollessa kyseessä, on ilmavirtojen mittaukset tehtävä suunnittelijan määrittämässä eri käyttötilanteissa. [2, s. 56.]

Rakennuksen tilan kosteus- ja hiilidioksidipitoisuudet on tärkeää pitää ilmanvaihtokoneen ohjauspaneelista asetettujen raja-arvojen alapuolella. Ilmanvaihtokoneen sisäiset ja ulkoiset kosteuslähettimet ohjaavat puhaltimia kosteuden noustessa riittävästi rakennuksessa. [8.]

Tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla tarkoitetaan järjestelmää, joka ohjaa ilmanvaihdon toimintaa mittaamalla sisäilman kosteutta ja hiilidioksidipitoisuutta automaattisesti. Tällaisen järjestelmän toiminta varmistaa riittävän ilmanvaihdon toiminnan ja viihtyvyyttä asunnossa. Kosteuspitoisuus nousee aina kun saunotaan, peseydytään tai pyykkiä kuivataan. Kosteusanturin tunnistaessa riittävän kosteuden määrän ilmanvaihtokone laittaa tehostustilan päälle automaattisesti, jotta kosteus saadaan johdettua pois rakennuksesta hallitusti. Kun hiilidioksidin määrä nousee rakennuksessa, tämä voi aiheuttaa ihmisille päänsärkyä ja väsymystä. Hiilidioksidianturi tarkkailee sisäilman hiilidioksidin määrää ja lisää tarvittaessa ilmanvaihdon määrää, jotta laadukas sisäilma säilyy rakennuksessa. Aikaohjelmalla voidaan luoda omia myös tehostusjaksoja, jos tiedetään, milloin esimerkiksi perhe viettää yhteistä aikaa. [3, s. 20.]

#### 4.3 Liesituulettimen kompensointi

##### 4.3.1 Liesituulettimen ohjaustoiminto

Korvausilman voidaan tuoda rakennukseen erillisellä tuloilmalaitteella tai ohjaamalla tiiviin pientalon ilmanvaihtokoneen kautta tuloilmavirtaa riittävästi suuremmaksi kuin poistoilmavirtaa. Vaipan paine-eron on pysyttävä hallittuna ja pysyttävä hyväksytyjen arvojen sisällä. Tuloilmavirtaa on lisättävä riittävästi, jotta se vastaa liesikuvun poistoilmavirtaa. Erillispoistopuhaltimesta on hyvä olla tarvittava ohjaustoiminto

korvausilmajärjestelmään. Jos ilmavirtojen suhdetta muutetaan erityisen paljon ilmanvaihtokoneesta, saattaa pakkasilla jäätyminen eston toiminta häiriintyä lämmöntalteenotossa. Tässä ratkaisussa lämmöntalteenoton jäätymisvaara voi rajoittaa liesikuvussa käytettävää poistoilmavirran toimintaa. [3, s. 24.]

Energiatehokkaan ja tiiviin pientalon rakennuksen vaipan paine-erojen hallinta edellyttää, jotta erillispoistojen korvausilmat tuotaisiin koneellisesti rakennukseen. Näin saadaan ilmavirrat pysymään aina riittävästi tasapainossa, eikä suurta paine-eroa synny rakennukseen. [3, s. 24.]

Liesituulettimen aiheuttama alipaine vaikuttaa merkittävästi ilmanvaihdon tasapainoon ja vaarana on korvausilman ottaminen seinien, lattian ja ikkunoiden vuotokohdista. Tämän seurauksena rakennukseen voi tulla terveydelle haitallisia aineita, kuten radonkaasuja, mikrobeja ja homeitiöitä. Tiiviiden pientalojen korvaisilmaa ei saada riittävästi rakennuksen vuoto kohdista, vaan paine-erot nousevat liian suuriksi rakennuksen sisällä. Tämä vaikuttaa ilmanvaihdon toimintaan merkittävästi. Uudet rakentamismääräykset edellyttävät ottamaan huomioon korvausilman tarve ilmanvaihdon toiminnassa. Pientalon ilmanvaihtokoneet on suunniteltu niin, että voidaan ottaa huomioon liesituulettimen kompensointi. On tärkeää huomioida ilmanvaihdon kokonaisuuden toiminta ja varmistaa laitteiden oikeanlainen käyttö.

#### 4.3.2 Paine-erokytkimen toiminta

Paine-erokytkimen [kuva 9] tehtävänä on valvoa paine-eroja liesituulettimen poistoilmakanavasta ja huonetilan välillä. Kun liesituuletin laitetaan päälle, paine-eron paine muuttuu kanavassa. Kun paine-ero nousee poistoilmakanavassa yli asetetun asetusarvon, kytkeytyy indikointitoiminto päälle ja antaa kärkitiedon ilmanvaihtokoneelle. Ilmanvaihtokoneelle on annettu säätöarvot liesituulettimen käynnistyessä. Ilmanvaihtokone reagoi kärkitietoon ja käynnistää liesituulettimen kompensointiasetuksen käyttöön, mikä lisää tuloilman määrää rakennuksessa. Hyvin suunniteltu ja säädetty ilmanvaihtojärjestelmä pitää rakennuksen ilmamäärät tasapainossa. Tällainen järjestelmä soveltuu kaikkiin pientaloihin, joissa on liesituuletin ja ilmanvaihtokone varustettuna liesituulettimen kompensointitoiminnolla. [9.]



Kuva 9. Produl CPS 330, paine-erokytkin 20–330 Pa [9].

Paine-erokytkin asennetaan liesituulettimesta lähtevään poistoilmakanavaan perhospellin yläpuolelle [kuva 10]. Paine-erokytkimen mukana tulee mittausliitin osa, mikä asennetaan kanavaan kiinni kahdella ruuvilla. Mittausliittimessä on kohta paineletkulle, joka kytketään paine-erokytkimeen. Kun paine-eroa mitataan puhaltimen jälkeen, asennetaan paineletkun toinen pää paine-erokytkimen plus-mittausliittimeen. Jos taas paine-eroa mitataan ennen puhallinta, silloin asennetaan paineletku paine-erokytkimen miinus-mittausliittimeen. Näin paine-ero kytkin saa tiedon paineen muuttumisesta oikein ja antaa kärkitiedon Ilmanvaihtokoneelle. Kärkitieto kulkeutuu sähköisesti johtoa pitkin ilmanvaihtokoneelle.



Kuva 10. Paine-erokytkin Produl CPS 330, jonka mittausliitin on asennettu kanavaan [kuva Sami Mäkinen].

#### 4.4 Aktiivihiiisuodattimella toimiva liesituuletin

##### 4.4.1 Aktiivihiihi liesituulettimen toiminta

Aktiivihiihitoiminnolla valmistettu liesituuletin toimii omalla moottorilla, joka ei puhalla keittön ruuanlaiton yhteydessä tulevaa ilmaa suoraan ulos, vaan palauttaa sen puhdistettuna takaisin huoneilmaan [kuva 11]. Korvausilmaa ei tarvita, koska alipainetta ei synny rakennukseen ja ilmanvaihdon tasapaino säilyy normaalina. Tämä vaikuttaa myös ilmanvaihtokoneen toimintaan, kun kompensointia ei tarvita. Ilmanvaihtokoneelle ei tarvitse viedä kärkeä tietoa ja ilmanvaihtokone toimii aivan normaalin asumistilanteen mukaan. Kun ruuanlaittoilma puhalletaan takaisin huonetilaan aktiivihiiisuodattimen kautta, tulee ilman mukana myös kosteutta. Kosteuden on päästävä poistumaan tilasta esteettömästi, jotta siitä ei aiheudu ongelmia katon tai kalusteiden rakenteille. [10, s. 20.]



Kuva 11. BORA Pure induktiokeittotaso ja integroitu keittotason höyrynpisto kiertoilmalla [kuva Sami Mäkinen].

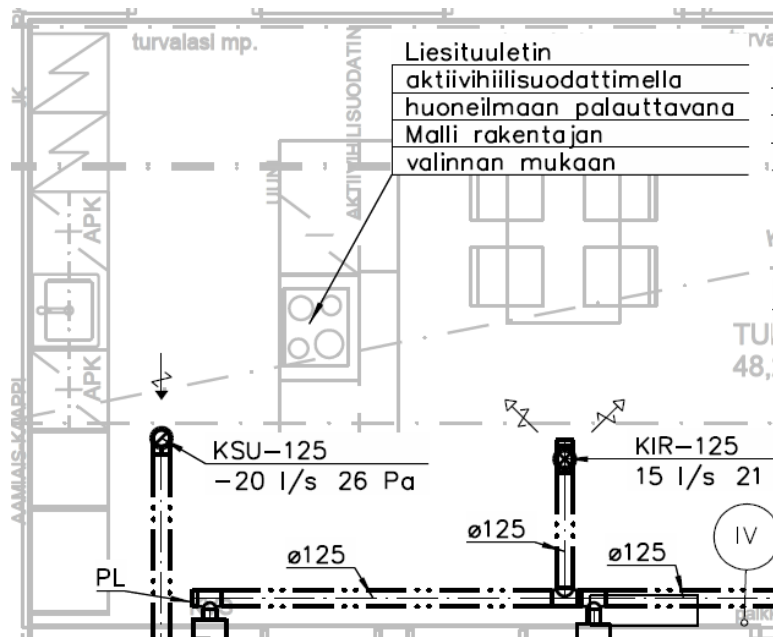
Asennusta helpottaa, kun poistoilmakanavistoa ei tarvitse suunnitella ja viedä ulos asti. Kanavistojen paloeristykset ja kondensoitumisriskit jäävät pois. Ongelmia voi syntyä

myös, jos aktiivihiihisiuodatinta ei vaihdeta riittävän usein ja se tukkeutuu liikaa. Silloin imuteho heikkenee ja ruuanlaitosta tulevat käryt levittäytyvät asuntoon. Suodattimen vaihtoväli on noin 180 käyttötuntia, mikä on keskimäärin noin 3–6 kuukautta [11]. Vaihdeettavat suodattimet ovat kalliita, ja vaihtoväli saattaa olla 1–4 kertaa vuodessa. Lisäksi aktiivihiihi suodatinmallista löytyy rasvasuodatin ja sitä on myös pestävä säännöllisesti, jotta liesituuletin toimii normaalisti. Rasvasuodattimen voi pestä astianpesukoneessa tai sen voi pestä käsin miedolla pesuaineella. Rasvasuodatin estää rasvansiirtymisen sisäilmaan ja järjestelmän osiin. Aktiivihiihisiuodattimella varustettuja liesituuletinmalleja on pöytätasoon, seinään tai katoon asennettavaksi [11]. Lisäksi kulutusta nostaa keittiön yleispoiston ilmamäärän nostaminen suuremmaksi.

#### 4.4.2 Ilmamäärät keittiö tilassa

Keittiön poistoilmavirta on normaalisti 8 l/s. Kun liesikuvun ilmavirran tehostusta voidaan ohjata tila- tai asuntokohtaisesti, muussa tapauksessa on liesikuvun ohjearvo 20 l/s keittiötilan yleispoistossa. [12, s. 25.] Tätä ohjeistusta ei ole uusissa määräyksissä.

Ilmanvaihtosuunnitelmissa pitää huomioida keittiötilan ilmamäärät, jos pientalossa käytetään aktiivihiihisiuodattimella varustettua liesituuletinta. Silloin keittiön yleispoiston ilmamäärä pitää olla suurempi kuin normaalisti. Tällöin mitoitetaan keittiön normaaliksi poistoilmamääräksi –20 l/s [kuva 12]. Yleensä keittiötilan yleispoisto on mitoitettu –8 l/s, mutta tämä ei riitä poistamaan kosteutta riittävästi keittiötilasta. Kosteus saattaa levitä muualle asuntoon ja poistuu muita poistoilmareittejä pitkin pois rakennuksesta. Pientalon ilmanvaihtokoneella voidaan säätää poissa- ja tehostustilan ilmamäärää keittiön yleispoistossa -10... -32 l/s. Nämä säädöt ovat vain väliaikaisia tarpeiden mukaan.



Kuva 12. Esimerkki keittiötilan ilmanvaihdonsuunnitelmasta [kuva Sami Mäkinen].

## 4.5 Takka

### 4.5.1 Takan toiminta tiiviissä pientalossa

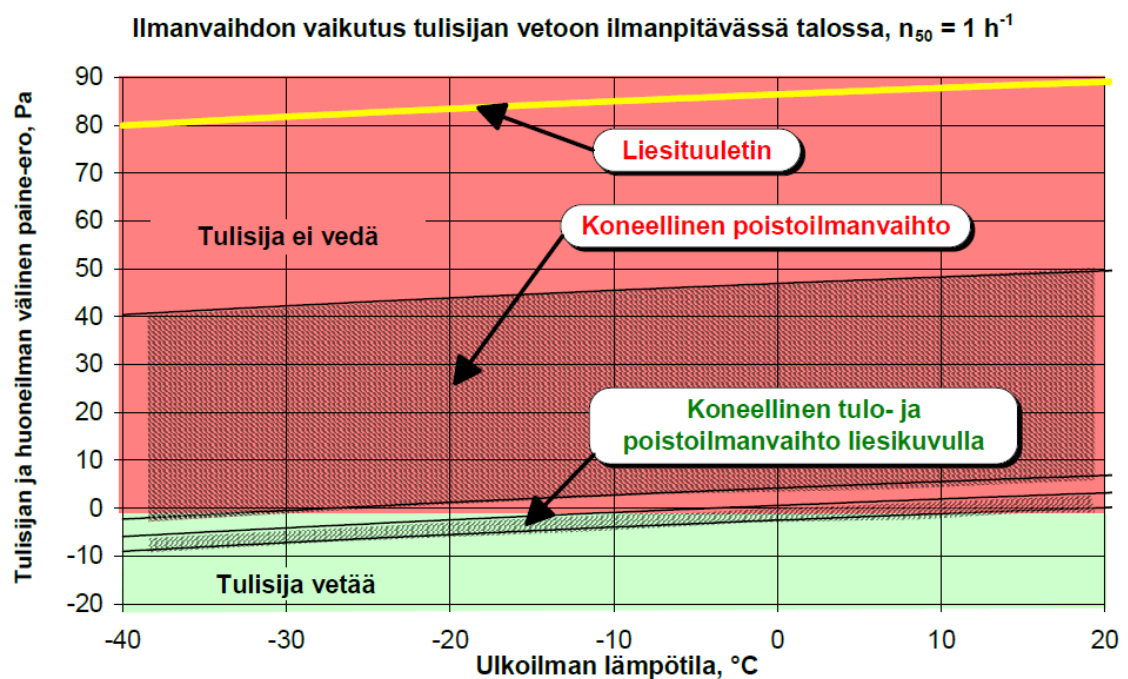
Erityissuunnittelijan on suunniteltava tulisijan ja erillispoistojen käytön vaatima lisäulkoilmavirran saanti siten, että rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmä toimii hallitusti ja rakennuksen tai huonetilojen paineet eivät muutu haitallisesti. [1, s. 8.]

Tulisijoissa palamisilmaa voidaan tuoda suoraan tulisijan alle ulkoa, mikä on tehokas tapa pienentää korvausilmanmäärään tarvetta, ulkoseinään sijoitettavan ulkoilmaventtiilin tai muulla soveltuvalla tavalla. Palamisilman johtamisesta tulisijan alle noudatetaan takanvalmistajan ohjeita. [2, s. 47.]

Jotta tulisija toimisi moitteettomasti rakennuksen sisällä, alipaineisuutta ei tulisi olla liian paljon ulkoilmaan verrattuna. Tällöin tulisija toimii hyvin ja palamisilmaa saataisiin riittävä määrä rakennukseen. Tulisijan palamisilma olisi hyvä tuoda rakennukseen ensisijaisesti ilmanvaihdosta riippumatta. Erillispoistot on toteutettava niin, ettei ilmanvaihto lisää rakennukseen alipaineisuutta ja ettei se vaikeuta tulisijan toimintaa. [3, s. 24.]



Takan ja nykyaikaisen tiiviin pientalon yhteistoiminnassa on paljon haasteita. Takka tarvitsee palamisilmaa 17–25 l/s toimiakseen hyvin [3, s. 26]. Vanhoissa pientaloissa korvausilma on saatu rakennuksen vaipan monista vuoto kohdista. Nykyaikaiset tiiviit pientalot on rakennettu niin tiiviiksi, ettei korvausilmaa vuoda rakenteiden kautta sisäilmaan ja tarvittavaa palamisilmaa ei saada rakennukseen tarpeeksi. Takan palamisilmaa varten tarvitaan korvausilmaa riittävästi, jotta voidaan varmistaa takan toiminta myös poikkeus tilanteissa. Takan korvausilma ei voi olla riippuvainen esimerkiksi pelkästään ilmanvaihdosta tai savuhormin poistomurista [kuva 13]. Korvausilmaa voidaan tuoda takalle seinään asennettavalla korvausilmaventtiilillä tai takan sisään rakennettavalla korvausilmaventtiilillä. Tärkeää on huomioida riittävä korvausilman määrä, ja sijaintiin tulisi olla samassa tilassa takan kanssa.



Kuva 13. Kun tiiviissä pientalossa on tasapainossa oleva koneellinen tulo- ja poistoilmavaihtojärjestelmä, tulisija toimii hyvin. Erilliset poistoilmaratkaisut heikentävät merkittävästi tulisijan toimintaa ilman toimivia korvausilma ratkaisuja. [3, s. 28.]

#### 4.5.2 Ilmanvaihdon takkatoiminto

Ilmanvaihtokoneiden takkatoiminto ei ole tarkoitettu takan palamisilman sisälle tuomiin, vaan syyttämiseksi, ja siksi takkakytkimen toiminta-aika on rajoitettu [2, s. 47].

Tulisijan savuhormin vedon toiminnan varmistamiseksi on hyvänä ratkaisuna ilmanvaihtokoneiden takkakytkin toiminto. Takkakytkimellä saadaan rakennukseen tilapäinen ylipaine, joka varmistaa sytytysvaiheessa horminvedon toiminnan pois rakennuksesta. Yleensä takkakytkintoiminto on ohjattu toimimaan 15 minuutin ajan. [3, s. 24.]

Takkakytkimellä voidaan varmistaa savuhormin veto sytytysvaiheessa. Laitevalmistajilla on erilaisia toimintatapoja takkakytkimen toiminnoille. Kun käytetään takkakytkintä, ei pidetä ikkunoita tai ovia auki, jotta takkakytkimen tuoma ylipaine ei poistu sytytysvaiheessa ja tarvittava ylipaine pysyy rakennuksessa. Kovilla pakkasilla takkakytkimen käyttö saattaa tuoda lämmöntalteenotolle jäätymisriskin, koska tuloilmaa on suurempi määrä kuin poistoilmaa, mutta lyhytaikaisesti käytettäessä riski jäätymiselle on pienempi mahdollisuus. [3, s. 25.]

#### 4.5.3 Savupellin tiiveys

Savupiipun on oltava sulkupellillä varustettu, jos siihen kytketty tulisija ei ole kaasutulisija tai tulisija, jossa on jatkuva polttoaineen syöttö. Jos savupiippuun liitetyssä tulisijassa tai sen liitinhormissa tai yhdyshormissa on sulkupelti, savupiippu voi olla sulkupellillävarustamaton. Sulkupellin on oltava vaihdettavissa tai sen käyttöään on oltava sama kuin savupiipulla. Tulisijassa syntyvien häkäkaasujen on päästävä poistumaan savupiipun kautta ulkoilmaan myös tilanteessa, jossa sulkupelti on suljettu tulisijan käytön jälkeen. Savuhormi ei saa toimia sisäilman tuloilmareittinä. [13, s. 4.]

Savuhormin kautta ei saa rakennukseen tulla korvausilmaa, jotta savupiipun kautta ei kulkeudu hengitysilmaan epäpuhtauksia. Jos sulkupellissä on 3 %:n häkävuotovara on huolehdittava, ettei se toimi korvausilman tuojana. Takana luukkujen on tällöin oltava kaasutiiviit, jotta savuhormin häkävuotovara toimisi oikein. Suunnittelussa on tärkeää ottaa huomioon tulisijan tarvitsema palamisilma. Palamisilma voidaan tuoda suoraan takana sisään lattian alta tulevalle korvausilmalle tai piipun sisällä tulevalle suljetulla järjestelmällä. Näissä ratkaisuissa on tärkeää noudattaa takana valmistajien antamia ohjeita. Ilmanvaihto suunnitellaan uusissa tiiviissä pientaloissa tasapainoon, ja tämä helpottaa takana toimintaa aikaisemman alipaineisen ilmanvaihdon suunnittelun toimintaan verrattuna. Ilmanvaihdon tasapaino ei kuitenkaan pelkästään takana toimintaa, vaan takana tarvitsee riittävän määrän palamisilmaa toimiakseen hyvin.

#### 4.6 Keskuspölynimurin vaikutus tiiviissä pientalossa

Keskuspölynimurin tarvitseman korvausilman saamiseksi voidaan käyttäjää ohjeistaa avaamaan tuuletusikkuna tai kytkemään takkakytkin päälle imuroinnin käytön ajaksi. Suunnittelija laatii käyttöoppaan rakennuksen LVI-laitteiden yhteiskäytöstä eri tilanteissa. [2, s. 47.]

Keskuspölynimuria käyttö viikkotasolla on todella lyhytaikaista, ja keskuspölynimuri aiheuttaa käytön aikana paine-eroihin ongelmia vain erittäin tiiviissä pientaloissa. Jos korvausilmaa ei tule riittävästi rakennukseen, asukkaita voidaan ohjeistaa avaamaan tarvittaessa tuuletusikkunaa avaamaan tai takkakytkimen voi kytkeä päälle imuroinnin ajaksi. [3, s. 12.]

Tiiviissä pientalossa keskuspölynimurin vaikutus vaipan paine-eroon rakennuksessa on ilmavirran pienuuden takia huomattavasti pienempi, kun muiden rakennuksen erillispoistojen ilmavirtojen vaikutus. Ratkaisukeinot ovat kuitenkin samanlaiset kuin erillispoistojen ratkaisut. Ilmanvaihtosuunnittelijan olisi suositeltavaa suunnitella keskuspölynimurin korvausilman ilmamäärän tarve samoilla ohjeistuksilla ja keinoilla, kuin erillispoistojen korvausilmatarpeet suositellaan tehtäväksi tiiviissä pientaloissa. [3, s. 24.]

Yhtenä ratkaisuna on käyttää paine-erolähetintä keskuspölynimurin alipaineisuuden tunnistamiseen. Paine-erolähetin antaa kärkitiedon ilmanvaihtokoneelle, ja ilmanvaihtokone lisää tuloilmamäärää, jotta ilmanvaihdon tasapaino säilyy rakennuksessa. Tätä aihetta ei käsitellä tässä opinnäytetyössä enempää, koska esimerkkikohteissa ei ole keskuspölynimurijärjestelmiä. Tätä aihetta olisi hyvä käsitellä lisää ja tutkia tarkemmin seuraavassa opinnäytetyössä.

#### 4.7 Korvausilmaventtiilit

Ulkoilmaa ei saa ottaa ilmanlaatua heikentävän rakenteen tai rakennusosan kautta tai ulkoilman laatua pilaavien lähteiden läheisyydestä. Ulkoilmalaitteiden kautta ei saa päästä ilmanvaihtojärjestelmään siinä määrin lunta tai sadevettä, että se aiheuttaisi vahinkoa järjestelmälle tai ilman laadulle tai haittaisi järjestelmän toimintaa. [1, s. 5.]

Erilaisilla korvausilmaratkaisuluilla on mahdollista pienentää hieman paine-eroa rakennuksessa. Tämä on kuitenkin koneellista ilmanvaihtoa selvästi huonompi vaihtoehto. Haasteeksi saattaa muodostua ulkoilmasta otettavan korvausilman suodatus ja esilämmitys. Korvausilman määräksi suunniteltaisiin erillispoiston ilmavirtaa vastaavaksi ilmamääräksi, ja painehäviö saisi olla enintään 5 Pa. Painehäviön ollessa paljon suurempi kuin enimmäismäärä tulisi korvausilmaventtiilien olla suljettavissa tiiviisti tai itsestään sulkeutuva toiminto. Korvausilman toiminta ei saa heikentää merkittävästi ulkovaipan ääneneristävyyttä. [3, s. 23.]

## 5 Mittaus ja säätö

### 5.1 Painesuhteet pientalossa

Ilmanvaihdon on toteutettava terveellinen, turvallinen ja viihtyisä sisäilman laatu oleskelutiloissa. Ilmanvaihtojärjestelmän on tuotava rakennukseen riittävä ulkoilmavirta ja poistettava sisäilmasta terveydelle haitallisia aineita, liiallista kosteutta, viihtyisyyttä haittaavia hajuja sekä ihmisistä, rakennustuotteista ja toiminnasta sisäilmaan aiheutuvia epäpuhtauksia. [1, s. 4.]

Rakennuksen ilmanjaon ja poiston on oltava sellainen, että ilma virtaa koko oleskeluyöhykkeelle välttämättä epävihtyisyyttä aiheuttavaa ilmanliikettä lukuun ottamatta tehostetun ilmanvaihdon tarvetta ja että huonetilassa syntyvät epäpuhtaudet poistuvat tehokkaasti. Ilman on virrattava rakennuksessa sisäilmaltaan puhtaammista tiloista epäpuhtaampiin tiloihin päin, sekä kuivista tiloista kosteisiin tiloihin päin. Näin saadaan epäpuhtaudet ja kosteudet johdettua hallitusti pois rakennuksesta. [1, s. 6.]

Rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava siitä, että ilmanvaihtojärjestelmän ilma virrat on mitattu ja säädetty, ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho on määritetty ja ilmanvaihtojärjestelmä on saatettu toimimaan suunnitelman mukaisesti ennen rakennuksen käyttöönottoa. Rakennuksen ja sen ilmanvaihtojärjestelmän on oltava puhtas ennen ilmavirtojen mittausta ja säätöä sekä ennen järjestelmän käyttöönottoa. Rakennusvaiheen vastuuhenkilön on tehtävä merkintä rakennustyön tarkastusasiakirjaan ilmanvaihtojärjestelmän suunnitelmanmukaisuudesta. [1, s. 9.]

Ilmanvaihtojärjestelmän tarkoituksena on ylläpitää ilmavirrat, jotka on esitetty ilmanvaihtojärjestelmän suunnitelmissa [kuva 14]. Tärkeää on ottaa huomioon, että tulo- ja poistoilmavirrat ovat tasapainossa toisiinsa nähden. Tällöin rakennukselle ei aiheudu ilmanvaihtojärjestelmän kautta vaipan yli haitallisia paine-erojen muutoksia kumpaankaan suuntaan. [2, s. 16.]

Rakennuksen tiloissa saattaa olla merkittäviä sisäisiä kosteuskuormia esimerkiksi asuinhuoneistoihin. Tärkeää on suunnitella rakennus 2–5 Pa alipaineiseksi ulkoilmaan nähden, jotta sisäilman kosteus ei pääse siirtymään rakenteisiin. [2, s. 18.]



Kuva 14. Paine-erimittari Pressovac PHM-V1, jolla mitataan venttiilistä paine-eroa [14].

Tärkeää on käyttää oikeanlaisia mittausvälineitä pientalon ilmanvaihtoa mitattaessa. Paine-eron mittaaminen on oikeatapa tehdä näitä pientalon mittaus- ja säätötöitä. Muut ilmanvaihtojärjestelmän mittaukset on tarkoitettu ensisijaisesti tarkastusmittauksiin, ei niinkään säätötyön tekemiseen.

## 5.2 Pientalon suhteellinen säätö

Opinnäytetyöhön soveltuvaa materiaali ei ole tehty pientalon suhteellisesta säädöstä, jota voisi käyttää hyödyksi opinnäytetyössä. Pientalon suhteellista säätöä olisi hyvä

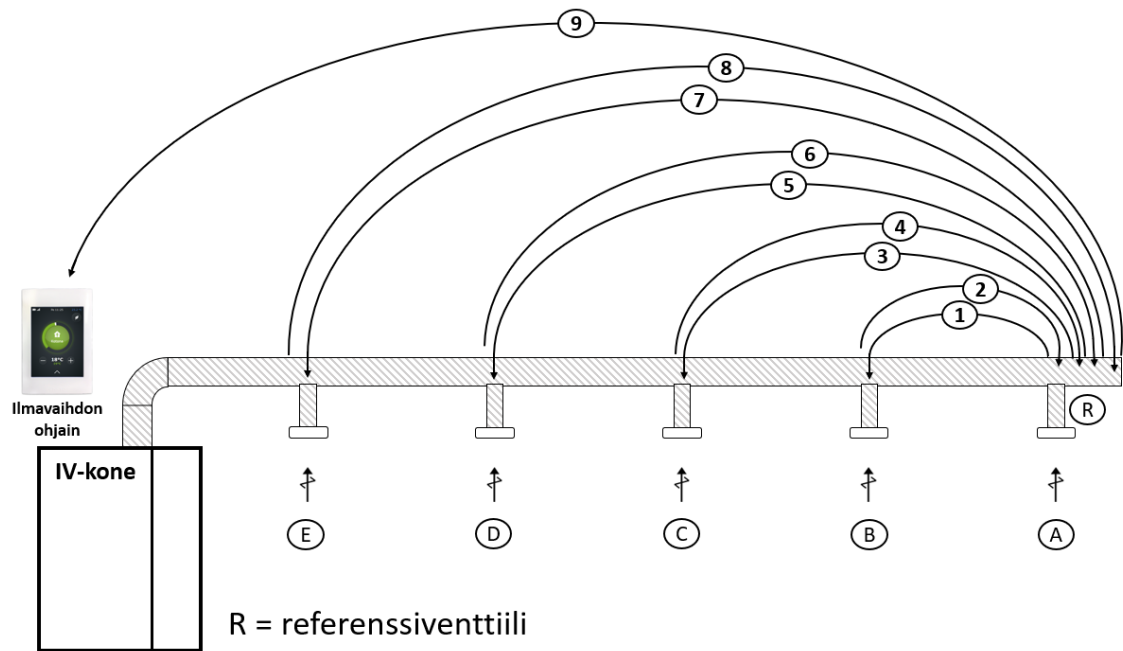
käsitellä lisää seuraavassa opinnäytetyössä. Tässä opinnäytetyössä hyödynnetään omaa osaamista, kokemusta ja ammattitaitoa materiaalin laadintaan.

Pientalon suhteellisen säädön tavoitteena on saada ilmanvaihtojärjestelmä toimimaan mahdollisimman energiatehokkaasti. Tämä on mahdollista saada toteutettua oikein tehdyllä suhteellisen säädön työllä. Ilmanvaihtokoneen tulisi käydä mahdollisimman pienellä puhallin tehoilla, ja Ilmanvaihtventtiilit olisivat mahdollisimman auki asennossa. On tärkeää myös huomioida, että venttiilien painetaso säilyy yli 10 pascalin yläpuolella kotona ja tehostustilassa. Poissa-tilassa paineet voivat olla alle 10 pascalia. Jos painetaso on alle 10 pascalia kotona-tilassa, tulee lisätä koneen tehoa riittävästi. Uudet pientalon ilmanvaihtokoneet on suunniteltu käyttämään EC-moottoreita puhaltimissaan, ja tämä mahdollistaa suhteellisen säädön toteuttamisen.

Pientalon suhteellista säätöä aloitettaessa on työn helpottamiseksi tehtävä venttiileille esisäätö. Esisäätöarvo saadaan, kun tiedetään haluttu ilmamäärä venttiilille ja mitataan venttiilistä paine-ero. Tämän jälkeen lasketaan haluttu ilmamäärä, joka jaetaan neliöjuuri mitatusta paineesta. Tulokseksi saadaan venttiilin k-arvo, josta voidaan katsoa säätöoppaasta venttiilin avausasento. Näin saadaan venttiileille esisäätöarvot, ja ne ovat jo lähellä oikeaa säätöasentoa.

Pientalon suhteellinen säätö aloitetaan etsimällä referenssiventtiili tulo- ja poistoilmajärjestelmästä. Ensin säädetään poistoilmapuoli ja sen jälkeen tuloilmapuoli. Referenssiventtiili tarkoittaa linjan heikointa venttiiliä. Referenssiventtiili säädetään aina venttiilivalmistajan ohjeistamaan suurimpaan avausasentoon. Linjan heikoin venttiili löydetään, kun lasketaan mitattu ilmamäärä jaettuna vaaditulla ilmamäärällä kertaa sata. Tulokseksi saadaan prosenttiluku. Linjaston pienimmän prosenttiluvun saanut venttiili on referenssiventtiili. Kaikkia venttiileitä ei tarvitse mitata, vaan vertailuun voidaan ottaa kahdesta kolmeen venttiiliä, jos on epävarmuutta oikeasta referenssiventtiilistä. Linjan heikoin venttiili on yleensä kauimmainen venttiili tai se, josta löytyy suurin ilmamäärä. Kokemuksen myötä linjan heikoin venttiili löytyy ilmanvaihtosuunnitelmaa katsoessa. Jos valitset vahingossa väärän venttiilin referenssiventtiiliksi, huomaat sen säätöä tehdessä, että ilmamäärä ei riitä venttiiliin. Työ joudutaan aloittamaan alusta ja vaihtamaan referenssiventtiili siihen venttiiliin, mihin ilmamäärä ei riittänyt.

Kun referenssiventtiili (A) on löytynyt, voidaan varsinainen säätötyö aloittaa [kuva 15]. Ensimmäiseksi mitataan referenssiventtiilin (A) ilmamäärä ja jaetaan referenssiventtiilin suunnitelulla ilmamäärällä. Tulokseksi saadaan desimaaliluku, joka kerrotaan seuraavan venttiilin (B) suunnitellulla ilmamäärällä. Tulokseksi saadaan venttiilin (B) haettava ilmamäärä. Tämän jälkeen vaiheessa (1) säädetään venttiilin (B) edellisen lasketun tuloksen ilmamäärää vastaavaksi. Seuraavaksi vaiheessa (2) palataan takaisin tarkastamaan referenssiventtiilin (A) muutos. Muuttunut ilmamäärä tarkastetaan ja lasketaan uusi arvo referenssiventtiilille (A). Tulokseksi uusi desimaaliluku, joka kerrotaan venttiilin (C) suunnitelulla ilmamäärällä. Tulokseksi saadaan venttiilin (C) haettava ilmamäärä. Tämän jälkeen vaiheessa (3) säädetään venttiilin (C) edellisen lasketun tuloksen ilmamäärää vastaavaksi. Seuraavaksi vaiheessa (4) palataan takaisin tarkastamaan referenssiventtiili (A) muutos. Muuttunut ilmamäärä tarkastetaan ja lasketaan uusi arvo referenssiventtiilille (A). Tulokseksi saadaan uusi desimaaliluku, joka kerrotaan venttiilin (D) suunnitelulla ilmamäärällä. Tulokseksi saadaan venttiilin (D) haettava ilmamäärä. Tämän jälkeen vaiheessa (5) säädetään venttiilin (D) edellisen lasketun tuloksen ilmamäärää vastaavaksi. Seuraavaksi vaiheessa (6) palataan takaisin tarkastamaan referenssiventtiili (A) muutos. Muuttunut ilmamäärä tarkastetaan ja lasketaan uusi arvo referenssiventtiilille (A). Tulokseksi uusi desimaaliluku, joka kerrotaan venttiilin (E) suunnitelulla ilmamäärällä. Tulokseksi saadaan venttiilin (E) haettava ilmamäärä. Tämän jälkeen vaiheessa (7) säädetään venttiilin (E) edellisen lasketun tuloksen ilmamäärää vastaavaksi. Tämän jälkeen kaikki venttiilit on säädetty samaan suhteeseen. Vielä palataan vaiheessa (8) takaisin referenssiventtiilille (A) ja tarkastetaan, minkälainen ilmamäärä venttiilillä on tällä hetkellä. Paine-eromittari jätetään referenssiventtiiliin (A) paikoilleen ja seuraavaksi vaiheessa (9) ilmanvaihdon ohjaimelta säädetään moottorin nopeus niin, että referenssiventtiilin (A) ilmamäärä säätyy suunniteltuun ilmamäärään. Muut venttiilit myös muuttuvat suhteessa suunniteltuihin ilmamääriin. Lopuksi tarkastetaan ilmamäärät vielä kaikista venttiileistä ja tehdään mittauspöytäkirja ja lukitaan venttiili oikeaan säätöasentoon.



Kuva 15. Pientalon ilmanvaihdon poistoilmalinjan suhteellinen säätö, esimerkki suorituksesta [kuva Sami Mäkinen].

### 5.3 Vaipanylimittaus

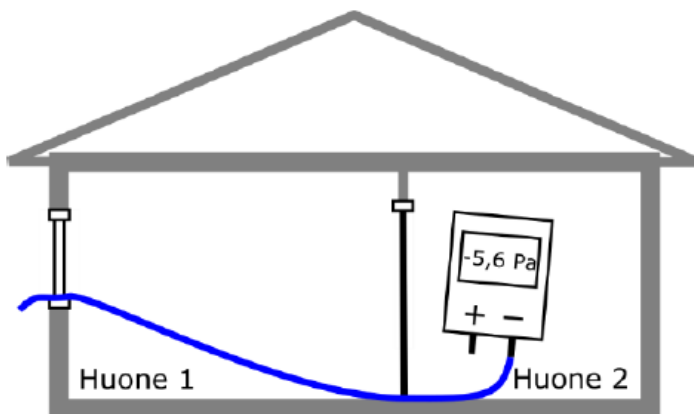
Tulo- ja poistoilmavirrat ovat tärkeä olla tiiviissä pientalossa keskenään tasapainossa, jotta rakennukselle ei aiheudu ilmanvaihdon kautta vaipan yli haitallisia paine-eromuuksia kumpaakaan suuntaan [2, s. 16].

Rakennusten sisä- ja ulkoilman välistä paine-eromittausta ei ole aina mitattu säännöllisesti. Paine-eromittauksia on yleensä tehty vasta, kun on ilmennyt sisäilmaongelmia rakennuksessa. Selkeää ohjeistusta ei ole ollut aiheesta aikaisemmin. [15, s. 3.]

Vaipanylimittauksella tarkoitetaan sisä- ja ulkoilman välistä paine-eron mittausta. Vaipanylimittauksella tarkistetaan painesuhteet rakennuksesta käyttötilanteessa [kuva 16]. Mittaustuloksiin vaikuttavat sääolosuhteet, ulkolämpötilat, tuuli ja sen suunta. Myös rakennuksen yleiseen käyttöön vaikuttaa se, kuinka paljon avataan ikkunoita ja ovia. [15, s. 12.]



Hetkellisellä paine-eromittauksella määritetään mitattavan sisätilan ja ulkoilman välinen paine-eromittaus. Hetkellinen mittaus antaa tulokseksi kulloisenkin tilanteen paine-erosta. Mikäli paine-eromittauksista saadaan suurta vaihtelua mittaustuloksista, on syytä tehdä tarkemmat mittaukset seurantamittauksena. [15, s. 23.]



Kuva 16. Paine-eron mittauksessa voidaan mittaus suorittaa myös toisen huonetilan kautta mitattavaan tilaan [15, s. 24].

Vaipan yli paine-eromittauksessa käytetään kuparikapilaariputkea tai ohutta pneumatiikkaputkea. Mittaletkun toinen pää liitetään paine-eromittarin miinusliittimeen, ja plusliitin jää huonetilassa tyhjäksi. Tällöin mittaustulos on positiivinen, ja kertoo tilan olevan yli-paineinen ulkoilmaan verrattuna ja negatiivinen mittaustulos kertoo tilan olevan alipaineinen ulkoilmaan verrattuna. [15, s. 24.]

#### 5.4 Automaatio

Silloin kun tiiviissä pientalossa on liesikuvun käytöstä, kosteiden tilojen toiminnasta ja kosteuden tilojen poistoilman käytöstä aiheutuvia ilmanvaihdon tehostustarpeita tunnistava automatiikkajärjestelmä, voidaan poistoilmanpuhalluksen toiminnan arvioinnissa käyttää virtausnopeuden arvona tehostustilan ilmavirtojen määrää [2, s. 35].

Ilmavirtasäätöisessä ilmanvaihtojärjestelmässä erillispoistojen tarvitsevaa korvausilmaa saadaan rakennukseen säätämällä tiiviin pientalon tuloilmavirtaa suuremmalle tai yleispoiston ilmavirtaa pienemmälle. Uusissa järjestelmissä erillispoistoille on annettu

nimellinen ilmavirta, ja ilmanvaihdon automaatiojärjestelmä muuttaa tilan tulo- tai yleispoistoilman ilmamääriä riittävän korvausilman saamiseksi. [15, s. 22.]

### 5.5 Mittauspöytäkirja

Ilmamäärien mittauksista laaditaan aina pöytäkirjat, joissa esitetään tarvittavat mittauslaitteet, suunnitelman mukaiset ja mitatut ilmamäärät, päätelaitteen mallit, venttiilien säätöasennot sekä painehäviöt [liite 9 & 10]. Sääolosuhteet kirjataan myös mittauspöytäkirjaan esimerkiksi: ilman kosteus, ulkolämpötila, tuulen suunta ja tuulen nopeus sekä ilmanpaine. Pöytäkirjaan on myös merkittävä mittausta valvovan henkilön eli rakennusvaiheen vastuuhenkilön tarkastusvarmennus, ja tarkastusasiakirjaan on tehtävä siitä merkintä. [2, s. 56.]

Pöytäkirjoihin on lisättävä huomioita sisätiloista ja niihin kohdistuvista ilmamäärämittauksista ja arvioista, huoneen melutasot, ilman liikkeet ja lämpötilat. Ilmanvaihtojärjestelmien tuottamat äänitasot on aina mitattava ilmamäärämittausten yhteydessä. [2, s. 56.]

### 5.6 SFP-luku

ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteholla ( $\text{kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ ) tarkoitetaan rakennuksen koko ilmanvaihtojärjestelmän kaikkien puhaltimien ja niihin liittyvien taajuusmuuttajien ja muiden tehonsäätölaitteiden yhteenlaskettua sähköverkosta ottamaa sähkötehoa jaettuna ilmanvaihtojärjestelmän suunnitellun käyttöajan ulospuhallusilmavirralla tai ulkoilmavirralla sen mukaisesti, kumpi näistä on suurempi. [1, s. 1.]

Ominaissähköteho tulisi mitata vakioilmavirtaisen ilmanvaihtojärjestelmän ollessa käyttöajan tehostamattomilla ilmavirroilla [2, s. 56].

Rakennuksen sähkötöiden vastuuhenkilö mittaa ilmavaihtokoneen ottaman virta-arvon ja antaa tiedon ilmanvaihtotöiden vastuuhenkilölle. Ilmanvaihdon vastuuhenkilö laskee annetuilla tiedoilla ilmavaihtokoneen ominaissähkötehon ja antaa tiedot ilmanvaihtotöiden valvojalle tai suunnittelijalle tarkastettavaksi ominaissähkötehon luvun oikeellisuuden. [2, s. 57.]

Rakennuksen koneellisen ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho [kuva 17] selvitetään seuraavalla tavalla. Jos rakennuksessa on koneellinen ilmanvaihtojärjestelmä, voi koneellisen tulo- ja poistoilmajärjestelmän ominaissähköteho olla enintään 1,8 kW/(m<sup>3</sup>/s) ja koneellisen poistoilmajärjestelmän ominaissähköteho enintään 0,9 kW/(m<sup>3</sup>/s). Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho voi ylittää edellä mainitut arvot rakennuksen käyttötarkoituksen mukaisen sisäilmaston niin edellyttäessä. [16.]

Hyvä sähkötehokkuus		Ominaissähköteho	kW/(m <sup>3</sup> /s)
A			Alle 1,0
B			1,0 – 1,5
C		Määräystaso = 1,8	1,5 – 2,0
D			2,0 – 2,5
E			2,5 – 3,0
F			3,0 – 3,5
G			3,5 – 4,0
H			4,0 – 4,5
I			Yli 4,5
Huono sähkötehokkuus			

Kuva 17. Ominaissähkötehon energiamerkinnän voi kuvata myös näin [kuva Sami Mäkinen].

## 6 Esimerkkikohteiden esittely

### 6.1 Paritalon ilmanvaihto, osa A

Taulukko 1. A osan yleiset tiedot.

Rakennuksen valmistumisvuosi	2021 tammikuu
Asuinpinta-ala	208 m <sup>2</sup>
Asuinkuutiot	745 m <sup>3</sup>
Kerrokset	2 kpl
Rakennuksen tiiveys	qE <sub>50</sub> = 0,46 m <sup>3</sup> / (h m <sup>2</sup> )
Ilmanvaihtokone	Enervent Pandion
Ilmamäärät kotona	Tulo +88,4 l/s poisto -91,5 l/s
Puhallinnopeus kotona	Tulo 60 % poisto 52 %
Puhallinnopeus poissa	Tulo 30 % poisto 22 %
Puhallinnopeus tehostus	Tulo 90 % poisto 82 %
Liesituuletin aktiivihiihisiuodattimella	Kierrättää palautusilman sisäilmaan
Takka kellarikerros	1 kpl
Takka 1. kerros	1 kpl
Korvausilmaventtiili kellarikerros	100 Ø 1 kpl
Korvausilmaventtiili 1. kerros	100 Ø 1 kpl
Vaipanylimittaus	-1,5 Pa, +0,6 Pa ja -1,9 Pa
SFP-luku	1,022 kW/(m <sup>3</sup> /s)

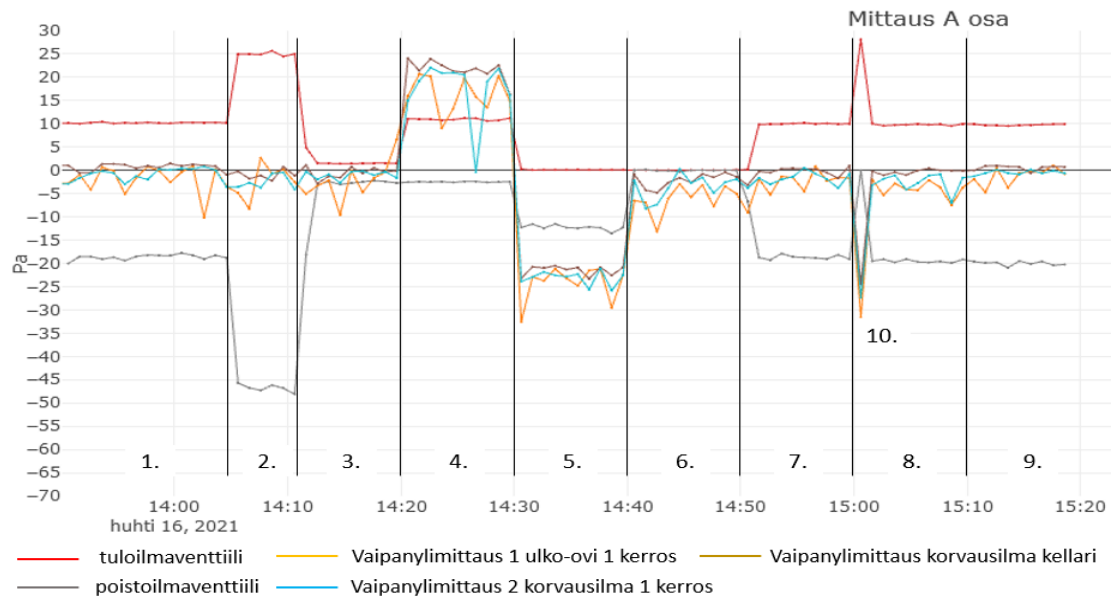
Paritalokohteen A-osan ilmanvaihtoventtiilien mittaus suoritettiin paine-eromittamalla suhteellista säätöä hyväksi käyttämällä. Näin saatiin mitattua järjestelmä tarkasti ja nopeasti. Venttiilien mittaukseen ja säätöön käytettiin Pressovac-paine-eromittaria [taulukko 2]. Pressovac-paine-eromittarin etuja on sisään rakennettu tietokanta venttiilien k-arvoista. Tämä nopeuttaa työtä ja laskutehtäviä tulee vähemmän. Vaipanylimittauksessa käytettiin Swema-paine-eromittaria, jolla saadaan tarkka mittaustulos vaipanylimittauksen paine-eroista. Vaipanylimittauksessa noudatettiin rakennuksen paine-erojen mittaushjeita [15]. [Taulukko 2] Liesituulettimen ilmamäärää ei olisi tarvinnut mitata, koska liesituuletin toimi aktiivihiihisiuodattimen kautta ja palautus ilma kierrätettiin takaisin huonetilaan. Tästä ei syntynyt rakennukseen alipainetta. Mittaus kuitenkin tehtiin siipipyörä-anemometrillä imutehon litramäärien ja ilmannopeuden selvittämiseksi. Mittauksissa käytimme mittalaitteita TC Compact ja Kimo LV 110. Mittaus suoritettiin kahdella mittalaitteella, koska TC Compactin kalibroitipäivämäärä oli umpeutunut ja haluttiin

varmistua mittausten oikeanlaisesta tuloksesta. Miran-loggerijärjestelmällä mitattiin tiiviin pientalon painesuhteita rakennuksesta. [Taulukko 2] Mittaustuloksilla voidaan tarkastella ilmanvaihdon toimintaa ja painesuhteiden muutoksia erilaisissa käyttötarkoituksissa [kuva 18]. Rakennuksen tiiveys on todella hyvä. Tiiveysluokka mitattiin arvolla 0,46 m<sup>3</sup>/(h m<sup>2</sup>), ja tämä on kiitettävää tasoa [taulukko 1].

Taulukko 2. Mittauslaitteet

Käytetyt mittalaitteet	Mitattavat kohteet	Kalibrointi päivä-määrä
Pressovac PHM-V1, paine-eromittari	venttiilien mittaus ja säätö	16.2.2021
SwemaMan 8, paine-eromittari	vaipanylimittaus	2.2.2021
TC Compact, siipipyöräänemometri	liesituulettimen mittaus	15.9.2017
Kimo LV110, siipipyöräänemometri	liesituulettimen mittaus	26.1.2021
Miran DLS, loggerijärjestelmä	talon ilmanvaihdon toiminnan mittaus	

Rakennuksesta mitattiin loggerijärjestelmällä paine-erojen muuttumista erilaisissa käyttötilanteissa [kuva 18]. Mittauspisteitä oli mitattavana viisi. Tulo- ja poistoilmaventtiileistä mitattiin loggereilla referenssiventtiilien paine-erojen muutosta. Vaipanylimittauspisteitä oli mitattavana kolme. Vaipanylimittauksia tehtiin pohjoispuolen etuoven välistä ensimmäisestä kerroksesta sekä eteläpuolen korvaus-ilmaventtiin kautta. Lisäksi eteläpuolen kellarikerroksesta mitattiin myös korvaus-ilmaventtiin kautta vaipanylimittaus. Näin saatiin laajasti mittaustietoa rakennuksen paine-eroista erilaisissa käyttötilanteista. Korvausilmaventtiilien kohdat tiivistettiin mittausten ajaksi, jotta voitiin tarkastella, mitä tapahtuu erilaisissa käyttötilanteissa, kun pientalo on tiivis. Viimeiseksi mitattiin vielä korvausilmaventtiilit auki-asennossa. Mittauksissa käytettiin 13 viikkoa vanhoja suodattimia ja lopuksi tehtiin vielä mittaus uusilla puhtailla suodattimilla. [Taulukko 3.]



Kuva 18. Miran DLS-loggerijärjestelmän grafinen taulukko A-osan paine-eromittauksista rakennuksessa erilaisissa toimintatilanteissa [kuva Sami Mäkinen].

Taulukko 3. Mittaustulokset

No:	Toiminto	Selostus	IV koneen teho tulo/poisto
1	kotona-tila	Tulo- ja poistoventtiilien paine-erot hyvällä tasolla. Vaipanylimitaustulokset hyvällä tasolla. Tuuli vaikutti vaipanylimittaukseen. Tuulta noin 5 m/s.	60%/52%
2	tehostustila	Tulo- ja poistoventtiilien paine-erot hyvällä tasolla. Vaipanylimitaustulokset hyvällä tasolla. Tehostustila toimii hyvin.	90%/82%
3	poissa-tila	Tulo- ja poistoventtiilien paine-erot hyvällä tasolla. Poissa-tila toimii hyvin vaipanylimittaustulokset hyvällä tasolla.	30%/22%
4	tuloilma päällä, poistoilma pois	Poistoilmapuoli tukossa/tulpattu. Vaipanylimittaus paine-erot nousevat yli 20 pascalia, joka on liikaa.	60%/52%
5	tuloilma pois, poistoilma päällä	Tuloilmapuoli tukossa/tulpattu. Vaipanylimittaus paine-erot laskevat alle -25 pascalia, joka on liian paljon.	60%/52%
6	IV-kone pois päältä	Vaipanylimittausten paine-erot ovat kuitenkin alipaineisia n. -6 pascalia +6 °C:n lämpötilassa.	0%/0%
7	kotona-tila uudet suodattimet	Tulo- ja poistoventtiilien paine-erot hyvällä tasolla. Vaipanylimitaustulokset hyvällä tasolla. Uudet suodattimet vaikuttavat kuitenkin alussa hieman tukkoisemmilta kuin käytetyt suodattimet. Paine-erot ovat noin 2-3 % heikommät, kuin 13 viikkoa vanhemmilla suodattimilla.	60%/52%
8	kotona-tila vanhat suodattimet	Tulo- ja poistoventtiilien paine-erot hyvällä tasolla. Vaipanylimitaustulokset hyvällä tasolla.	60%/52%
9	korvausilmat auki	Ei merkittävää muutosta toimintaan, kun on aktiivihiilisuo-dattimella toimiva liesituuletin.	60%/52%
10	Ilmanvaihtokoneen ovi auki	Ilmanvaihtokoneen ovi avattiin, kun se oli päällä.	60%/52%

## 6.2 Paritalon ilmanvaihto osa B

Taulukko 4. B osan yleiset tiedot.

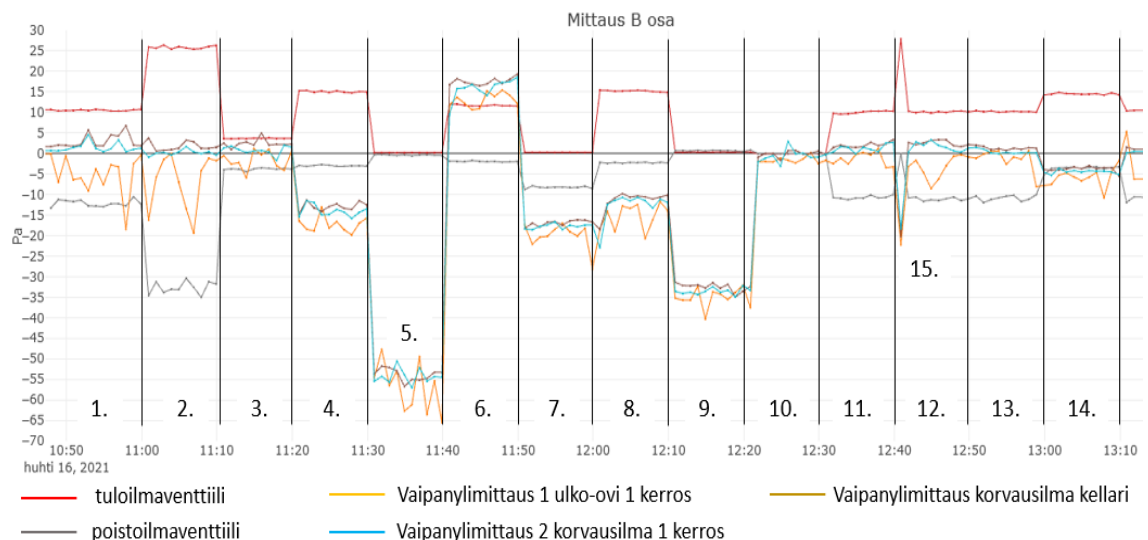
Rakennuksen valmistumisvuosi	2021 tammikuu
Asuinpinta-ala	208 m <sup>2</sup>
Asuinkuutiot	745 m <sup>3</sup>
Kerrokset	2 kpl
Ilmanvaihtokone	Enervent Pandion
Rakennuksen tiiveys	qE <sub>50</sub> = 0,44 m <sup>3</sup> / (h m <sup>2</sup> )
Ilmamäärät kotona	Tulo +91,4 l/s poisto -93,5 l/s
Puhallinnopeus kotona	Tulo 60 % poisto 49 %
Puhallinnopeus poissa	Tulo 30 % poisto 19 %
Puhallinnopeus tehostus	Tulo 90 % poisto 79 %
Liesituulettimen kompensointi	Tulo +120 l/s poisto -123 l/s
Takka kellarikerros	ei ole
Takka 1. kerros	1 kpl
Korvausilmaventtiili kellarikerros	100 Ø 1 kpl
Korvausilmaventtiili 1. kerros	100 Ø 1 kpl
Vaipanylimittaus	-2,3 Pa, -1,6 Pa ja -0,5 Pa
SFP-luku	1,022 kW/(m <sup>3</sup> /s)

Paritalokohteen B-osan ilmanvaihdon mittaukset suoritettiin samoilla mittausvälineillä ja mittaustavoilla kuin A-osan mittaukset [taulukko 5]. Poikkeuksena oli liesituulettimen toiminta. B-osan liesituuletin poistaa ruoanlaitosta tulevat käryt suoraan ulos katon kautta ulkoilmaan. Tämä erillispoistojärjestelmä lisää alipaineisuutta rakennuksessa ja tämä on huomioitu ilmanvaihtokoneen liesituulettimen kompensointitoiminnolla. Tuloilmaa lisätään, jotta sopiva tasapaino säilyy ilmanvaihdossa. Rakennusentiiveys on todella hyvä. Tiiveysluokka mitattiin arvolla 0,44 m<sup>3</sup>/ (h m<sup>2</sup>), ja tämä on kiitettävä taso. [Taulukko 4.]

Taulukko 5. Mittauslaitteet

Käytetyt mittalaitteet	Mitattavat kohteet	Kalibrointi päivämäärä
Pressovac PHM-V1, paine-eromittari	venttiilien mittaus ja säätö	16.2.2021
SwemaMan 8, paine-eromittari	vaipanylimittaus	2.2.2021
TC Compact, siipipyöräänemometri	liesituulettimen mittaus	15.9.2017
Kimo LV110, siipipyöräänemometri	liesituulettimen mittaus	26.1.2021
Miran DLS, loggerijärjestelmä	talon ilmanvaihdon toiminnan mittaus	

Rakennuksesta mitattiin loggerijärjestelmällä paine-erojen muuttumista erilaisissa käyttötilanteissa [kuva 19]. Mittauspisteitä oli mitattavana viisi. Tulo- ja poistoilmaventtiileistä mitattiin loggereilla referenssiventtiilien paine-erojen muutosta. Vaipanylimittauspisteitä oli mitattavana kolme. Vaipanylimittauksia tehtiin pohjoispuolen etuoven välistä ensimmäisestä kerroksesta sekä eteläpuolen korvaus-ilmaventtiilin kautta. Lisäksi eteläpuolen kellarikerroksesta mitattiin myös korvaus-ilmaventtiilin kautta vaipanylimittaus. Näin saatiin laajasti mittaustietoa rakennuksen paine-eroista erilaisissa käyttötilanteista. Korvausilmaventtiilien kohdat tiivistettiin mittauksen ajaksi, jotta voitiin tarkastella, mitä tapahtuu erilaisissa käyttötilanteissa, kun pientalo on tiivis. Viimeiseksi mitattiin vielä korvausilmaventtiilit auki-asennossa. Mittauksissa käytettiin 13 viikkoa vanhoja suodattimia ja lopuksi tehtiin vielä mittaus uusilla puhtailla suodattimilla. Liesituulettimen kompensoinnin mittaaminen lisäsi paljon mitattavia toimintoja ja rakennusta tarkasteltiin erilaisesta näkökulmasta. [Taulukko 6.]



Kuva 19. Miran DLS-loggerijärjestelmän graafinen taulukko B-osan paine-eromittauksista rakennuksessa erilaisissa toimintatilanteissa [kuva Sami Mäkinen].



Taulukko 6. Mittaustulokset

No:	Toiminto	Selostus	IV koneen teho tulo/poisto
1	kotona-tila	Tulo- ja poistoventtiilien paine-erot hyvällä tasolla. Vaipanylimittaustulokset hyvällä tasolla. Tuuli vaikutti vaipanylimittaukseen. Tuulta noin 5 m/s. Korvausilmaventtiilit ovat kiinni.	60%/49%
2	tehostustila	Tulo- ja poistoventtiilien paine-erot hyvällä tasolla. Vaipanylimittaustulokset hyvällä tasolla. Tehostustila toimii hyvin. Korvausilmaventtiilit ovat kiinni.	90%/79%
3	poissa-tila	Tulo- ja poistoventtiilien paine-erot hyvällä tasolla. Poissa-tila toimii hyvin Vaipanylimittaustulokset hyvällä tasolla.	41%/30%
4	liesituuletin päällä + kompensointi	Tuloilma noin 15 pascalia. Poistoilma noin -3 pascalia. Vaipanylimittaus keskiarvo kolmesta mittauspaikasta -16 pascalia alipaineinen, joka on liikaa. Korvausilmaventtiilit ovat kiinni.	65%/30%
5	liesituuletin ja poistoilma päällä, tuloilma pois	Tuloilmapuoli tukossa/tulpattu. Poistoilmaa paljon ja alipaineisuutta noin -60 pascalia. Tämä alipaineisuus on todella huonotilanne rakennukselle, joka on liian paljon. Pahin tilanne mitä voi olla. Korvausilmaventtiilit ovat kiinni.	60%/49%
6	tuloilma päällä, poistoilma ja liesituuletin pois päältä	Poistoilmapuoli tukossa/tulpattu. Vaipanylimittaus paine-erot nousevat yli 17 pascalia, joka on liikaa. Korvausilmaventtiilit ovat kiinni.	60%/49%
7	poistoilma päällä, tuloilma ja liesituuletin pois päältä	Tuloilmapuoli tukossa/tulpattu. Poistoilma n. -9 pascalia. Vaipanylimittaus paine-erot laskevat alle -18 pascalia, joka on liian paljon. Korvausilmat ovat kiinni.	60%/49%
8	tuloilma + liesituuletin päällä, poistoilma pois päältä	Poistoilmapuoli tukossa/tulpattu. Tuloilma noin +15 pascalia. Vaipanylimittaus paine-erot nousevat yli -13 pascalia, mikä on liikaa. Korvausilmat ovat kiinni.	60%/49%
9	liesituuletin päällä, tulo- ja poistoilma kiinni	Vaipanylimittausten paine-erot ovat kuitenkin alipaineisia n. -33 pascalia. Tämä on liian suuri alipaineisuus. Korvausilmaventtiilit ovat kiinni.	0%/0%
10	IV kone pois päältä	Vaipanylimittausten paine-erot ovat kuitenkin alipaineisia n. -3 pascalia +8 °C:n ulkolämpötilassa.	0%/0%
11	kotona-tila uudet suodattimet	Tulo- ja poistoventtiilien paine-erot hyvällä tasolla. Vaipanylimittaustulokset hyvällä tasolla. Uudet suodattimet vaikuttavat kuitenkin alussa hieman tukkoisemmilta kuin käytetyt suodattimet. Paine-ero on noin 2-3% heikommalla, kuin 13 viikkoa vanhemmat suodattimet.	60%/49%
12	kotona-tila vanhat suodattimet	Tulo- ja poistoventtiilien paine-erot hyvällä tasolla. Vaipanylimittaustulokset hyvällä tasolla.	60%/49%
13	korvausilmat auki	Ei merkittävää muutosta toimintaan, mutta vaipanylimittaus tasaantuu entisestään.	60%/49%
14	liesituuletin päällä + kompensointi	Tuloilma n. 15 pascalia. Poistoilma n. -4 pascalia. Vaipanylimittaus keskiarvo kolmesta mittauspaikasta -4 Pascalia alipaineinen, mikä on hyvä määrä. Korvausilmaventtiilit ovat auki ja tämä vaikuttaa kompensoinnin tasapainoon	60%/49%
15	ilmanvaihtokoneen ovi auki	Ilmanvaihtokoneen ovi avattiin, kun se oli päällä.	60%/49%

## 7 Päätelmät

Esimerkkikohteiden normaalin ilmanvaihdon mittaus- ja säätötyöt pystyttiin suorittamaan kiitettävällä tasolla, kun käytettiin oikeanlaisia mittauslaitteita ja mittaustyöt suoritettiin ilmanvaihtosuunnitelmien mukaisesti. Rakennukset mitattiin paine-eromittaamalla ja suhteellista säätöä hyväksi käyttämällä. Uusissa asetuksissa ja määräyksissä käytetään kuvausta paine-erolla mittaaminen, ja tätä mittaamistapaa tulisi käyttää mittaamenetelmänä tiiviissä pientaloissa. Muita mittausmenetelmiä tulisi käyttää vain tarkastusmittaamiseen, tai jos paine-eromittaaminen ei onnistu kohteessa jollain osa-alueella. Esimerkkikohteiden ilmamäärät oli suunniteltu tasapainoon, ja ilmapvirrat olivat riittävät hyvän lopputuloksen saavuttamiseksi. Lisäksi ilmanvaihtokoneiden puhallinnopeudet saatiin säädettyä hyvällä tasolla ilmamäärien kanssa. Rakennuksen painesuhteet olivat myös erinomaiset, ja korvausilmaventtiilien ansioista vaipanylimittaukset pysyivät hyvin hallittuina. Mittausvaiheessa testasimme, mitä tapahtuu, kun korvausilmaventtiilit tukittaisiin. Vaipanylimittausten paine-erot nousivat merkittävästi rakennuksessa, ja alipaineisuutta syntyi reilusti rakennukseen.

Esimerkkikohteiden vaipanylimittauksella varmistettiin vielä hetkellinen ilmanvaihdon tasapainotilanne. Tähän mittaustulokseen vaikuttaa huomattavasti sääolosuhteet. Tuulen vaikutus on näistä suurin, eli se, miltä puolelta mittausta suoritetaan tuulisella säällä. Apuna vaipanylimittauksessa käytettiin paineentasauspurkkia, jolla voidaan kompensoida tuulen vaikutusta. Tätä asiaa olisi hyvä tutkia enemmän seuraavassa opinnäytetyössä. Mittaustulokseen vaikuttavat myös vuodenajat ja ilmanpaine. Hetkellisellä mittauksella saadaan vain hetkellinen tulos, ja kuitenkin pitäisi saada tietoa koko vuoden ajalta. Vaipanylimittaamista olisi hyvä seurata kokoaikaisesti, jotta saataisiin tarkempaa tietoa ilmanvaihdon toiminnasta vuositasolla.

Esimerkkikohteiden rakennusten tiiveydet olivat kiitettävällä tasolla, ja näin pystyttiin estämään epäpuhtauksien ja korvausilman kulkeutuminen rakenteiden läpi sisätiloihin. Lämpövuotoja ei myöskään pääse syntymään samalla tavalla, kuin vanhoissa rakennuksissa. Esimerkkikohteiden rakennuksen tiiveys varmistettiin rakennuksen tiiveysmittauksilla, jotta saatiin esiin vuotokohdat rakennuksen vaipasta ja pystyttiin korjaamaan ne ajoissa. Näin saatiin varmistettua rakennusten tiiveys, ja vuotojen määrä oli vähäinen.

Uudet ilmanvaihtokoneet mahdollistavat tarkan mittauksen ja säädön esimerkkikohteissa. EC-moottoreilla ilmanvaihdon säätötyöt saatiin suoritettua ominaan tulo- ja poistupuolella. Näin saatiin molemmille puolille omat puhallinnopeudet ja säädöstä saatiin tarkempi lopputulos. EC-moottorien ansiosta saatiin ilmamääriensäädöt mitattua 1 %:n tarkkuudella moottorin pyörimisnopeudelle. Tämä mahdollisti suhteellisen säädön käytön ilmanvaihtoa mitattaessa. Mittaustulokset saatiin tarkasti mitattua ja venttiilit säädettiin samaan suhteeseen toistensa kanssa ja näin saatiin poissa- ja tehostustila helposti säädettyä oikein. Venttiilien säädön yhteydessä huomioitiin myös, että valmistajien antama 10 pascalin minimipaine toteutuu, koska ja uusilla ilmanvaihtokoneilla päästiin joissakin venttiileissä tämän minimipaineen alapuolelle. Tämä asia huomioitiin mittauksia tehdessä, jotta saatiin riittävä paine säilytettyä järjestelmässä.

Esimerkkikohteiden erillispoistojen vaikutus ilmanvaihdon toimintaan oli suuri, ja tämä oli tärkeää ottaa huomioon ilmavaihdon kokonaisuudessa. Liesituuletin ja sen poistama ilmamäärä rakennuksesta saattaa vaihdella suuresti liesituulettimen puhaltimen tai huippuimurin tehon takia. Esimerkkikohteen toisesta ilmanvaihtojärjestelmässä oli liesituuletin, jonka ilmamäärä oli noin 40 l/s. Tällainen ilmamäärä voitiin säätää tasapainoon ilmanvaihtokoneen liesituulettimenkompensoinnin avulla. Joissain kohteissa saattaa liesituulettimen poistama ilmamäärä olla 70–100 l/s, ja tähän ilmamäärään ei voida enää hyödyntää kokonaan ilmanvaihtokoneen toimintaa, vaan joudutaan miettimään joitain muita korvausilma vaihtoehtoja myös.

Esimerkkikohteiden takan toiminnalle täytyi taata riittävä palamisilma ja korvausilma-venttiilit olivat suunniteltu ja asennettu seinille rakennuksissa. Kun korvausilma tulee seinästä, sen pitää olla samassa tilassa takan kanssa ja mahdollisimman lähellä takkaa. Korvausilma-venttiiliin on oltava riittävän suuri, jotta palamisilma riittää takan oikein toimimiseen. Tärkeää oli myös huomioida, ettei takan piipun kautta pääse korvausilmaa kulkeutumaan rakennukseen ja ettei hengitysilmaan pääse epäpuhtauksia. Tähän vaikuttaa savupellin häkäreikä ja takan luukkujen tiiveys. Näistä saisi olla vielä selkeämpiä ohjeita olemassa.

Esimerkkikohteissa suoritettiin myös mittauksia ääriolosuhteista. Esimerkiksi ilmanvaihtokoneen tukkeutuminen tai toisen puhaltimen sammuminen se miten vaikuttaa painesuhteisiin rakennuksessa. Paine-erot nousivat tuloilman poissa ollessa ja kaikkien

poistoilmojen päällä ollessa pahimmillaan yli 60 pascalin alipaineeseen, kun korvausilmaventtiilit olivat tukittuna. Liesituulettimenkompensoinnin päällä ollessa ja korvausilmojen kiinniollessa paine-erot nousivat noin 16 pascalin alipaineeseen. Kun korvausilmaventtiilit avattiin, putosi paine-erot 4 pascaliin. Esimerkkikohteiden vaipanylimittaukset olivat hyvällä tasolla normaali oloissa, kun korvausilmaventtiilit olivat auki-asennossa. Tällöin paine-erot olivat esimerkkikohteissa vaipanylimittauksissa +5...–10 Pa välillä. Ongelmia voi ilmetä, kun korvausilmaventtiilit ovat kiinni-asennossa ja paine-erot nousevat liian suuriksi rakennuksessa. Tällöin vuotoja voi syntyä uusista paikoista rakennuksesta. Esimerkiksi ulko-ovien tiivisteet voivat alkaa vuotamaan ja pitämään ääntä.

## 8 Suositukset

Korvausilman tarve on tärkeää huomioida hyvän paine-eron saavuttamiseksi rakennuksessa. Pitäisikö korvausilman oltava ohjattavissa erilaisissa käyttötilanteissa? Korvausilma voisi olla moottorilla varustettu ja olisi käytössä esimerkiksi, kun erillispoistot ovat käytössä. Tämän opinnäytetyön tutkimuksen perusteella tulisi korvausilmaa käyttää normaalin ilmanvaihdon kanssa tiiviin pientalon hyvän painesuhteen saavuttamiseksi. Tähän korvausilman riittävyteen tarvitaan vielä lisää jatkotutkimuksia, jotta voidaan todeta korvausilman tarpeellisuus ja minkälaisiin paikkoihin korvausilmaventtileitä pitäisi sijoittaa rakennuksessa.

Vaipanylimittaus tulisi suorittaa aina vähintään kahdelta julkisivulta, jotta tuuli- tai sääolosuhteiden vaikutus saataisiin huomioitua. Vaipanylimittaukset tulisi suorittaa aina kun rakennuksessa tehdään mittaus- ja säätötöitä.

Ilmanvaihtokoneiden säännöllinen huolto ja suodattimien vaihto. Asuinpaikan mukaan tämä tehdään 2–4 kertaa vuodessa, jotta saataisiin paine-erot pysymään rakennuksessa hyvällä tasolla.

Mittaus- ja säätötyöt on parasta teettää ilmanvaihdon säätötyön asiantuntijalla. Ilmanvaihdon säätötyöt tulisi suorittaa paine-eromittaamalla, ja muita mittaustapoja tulisi käyttää tarkastusmittaamiseen tai vasta siinä vaiheessa, jos paine-eromittaaminen ei onnistu.

Uusista asetuksista ja määräyksistä puuttuu keittiön yleispoiston ilmanvaihdon ohjeistus erilaisissa käyttötilanteissa. Tämä olisi hyvä saada, jotta se selkeyttäisi asiaa. Vanhasta D2/2012:sta saadaan tiedot keittiön yleispoiston suunnittelusta.

Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon käyttö uusissa pientaloissa olisi hyvä ottaa käyttöön. Uudet ilmanvaihtokoneet mahdollistavat tarpeenmukaisen ilmanvaihdon käytön. Hiilidioksidi antureilla pystyttäisiin lisäämään ilmanvaihdon määrää automaattisesti esimerkiksi yöaikaan, kun ihmiset ovat pitkään samassa tilassa ja hiilidioksidin määrä voi kasvaa yli sallitun rajan. Tähän vaikuttaa erityisesti, jos nukutaan ovi kiinni. Oviraon tulisi olla riittävän kokoinen, jotta ilmavirta pääsee liikkumaan esteettömästi puhtaista tiloista likaisiintiloihin päin. Kosteusanturilla voitaisiin automaattisesti kuivattaa esimerkiksi suihkutiloja. Kosteusanturi tunnistaisi liiallisen kosteuden ja lisäisi koneelta tehoa, jotta kosteus saataisiin poistettua rakennuksesta nopeammin ja hallitusti. Tätä toimintoa käytetään liian vähän uusissa tiiviissä pientaloissa, vaikka siihen olisi hyvä mahdollisuus.

## 9 Yhteenveto

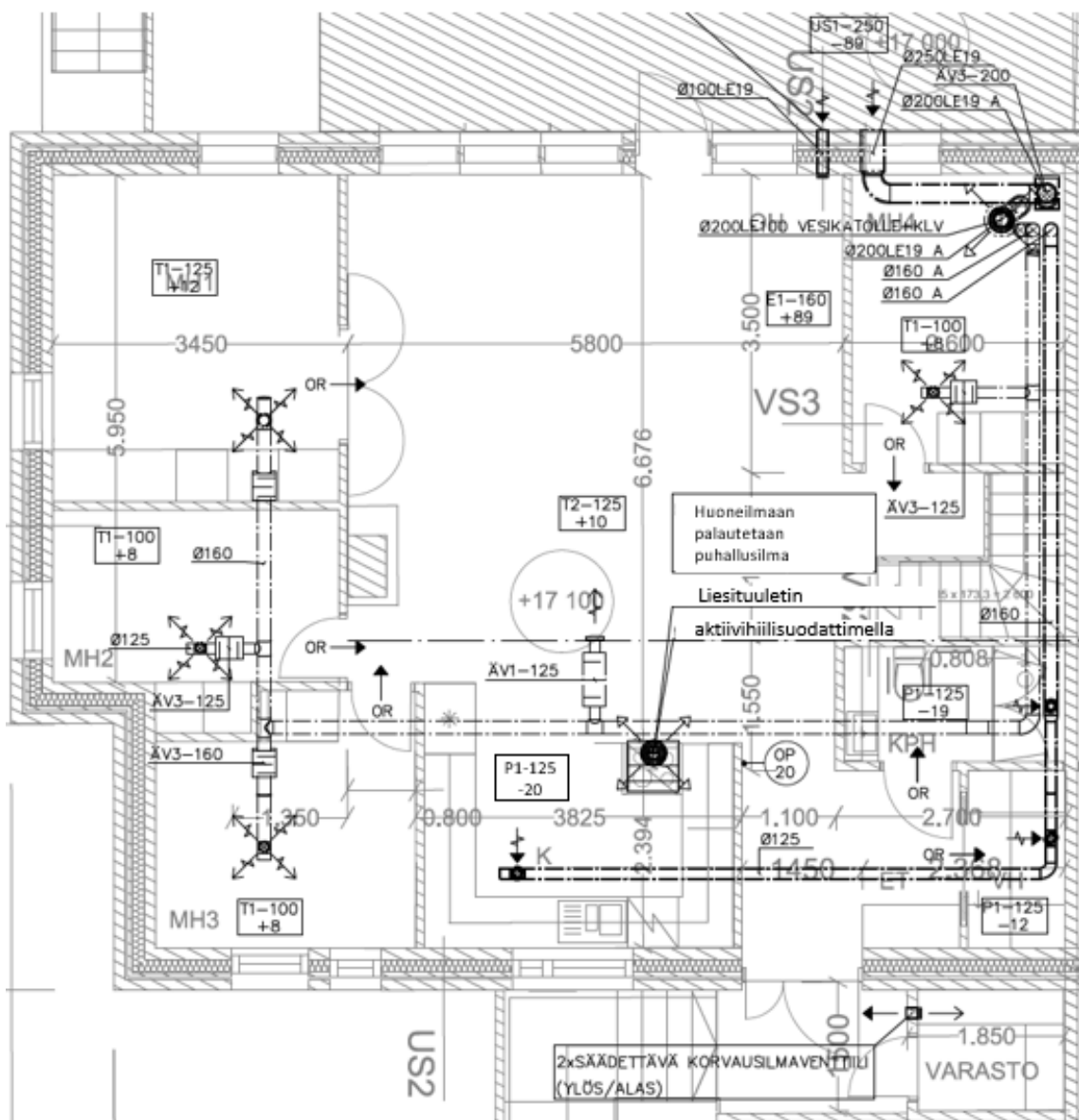
Tiiviiden pientalojen ilmanvaihdon toiminta on uusien asetusten ja määräysten sekä ilmanvaihdon suunnittelun osalta hyvällä tasolla. Annettujen ohjeiden ja suunnitelmien noudattaminen antaa hyvät lähtökohdat laadukkaan ilmanvaihtojärjestelmän toteuttamiseen. Näillä uusilla toimintatavoilla ilmanvaihto on helpommin hallittavissa, ja kokonaisuus on tasapainoisempaa. Suurimmat haasteet ovat kuitenkin tiiviissä pientaloissa ilmanvaihdon toiminnan kokonaisuuden kannalta erillispoistot ja niiden tarpeisiin riittävä korvausilman määrä. Tässä opinnäytetyössä havaittiin koemittauksilla korvausilman tarpeellisuus erillispoistojen erilaisissa käyttötilanteissa. Oikein mitoitettuna ilmanvaihtokoneen kompensointi riittää pitämään tiiviin pientalon painesuhteet hallinnassa, mutta jos erillispoistojen ilmamäärät ylittävät tietyn rajan, täytyy miettiä lisäksi muita korvausilmaratkaisuja. Erillispoistojen yhdistäminen ilmanvaihdon kanssa ja oikeanlaisen tasapainon löytäminen kokonaisuuden hallintaan on haastavaa.

## Lähteet

- 1 Suomen säädöskokoelma 1009/2017. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. Ympäristöministeriö. <<https://ym.fi/rakentamismaaraykset>>. Päivitetty 27.12.2017. Luettu 16.2.2021.
- 2 Sisäilmasto ja ilmanvaihto-opas. 2018. Verkkoaineisto. Talotekniikkainfo. <<https://www.talotekniikkainfo.fi/sisailmasto-ja-ilmanvaihto-opas>>. Päivitetty 10.6.2020. Luettu 18.2.2021.
- 3 Energiatohokkaan pientalon ilmanvaihto-opas. 2014. Verkkoaineisto. Rakennustuoteteollisuus RTT ry. VTT-S-04674-14. <[https://www.talteka.fi/sites/default/files/file\\_attachments/pientalon\\_ilmanvaihto-opas.pdf](https://www.talteka.fi/sites/default/files/file_attachments/pientalon_ilmanvaihto-opas.pdf)>. Päivitetty 28.8.2014. Luettu 17.2.2021.
- 4 Sisäilmaluokitus 2018. 2018. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. RT 07-11299. Helsinki. Rakennustieto Oy.
- 5 Jussila, Heikki. 2015. Ilmantiiveys ja vuotokohdat pientalossa. Helsinki. Diplomitö. Aalto-yliopisto, insinööritieteiden korkeakoulu. Aaltodoc-tietokanta.
- 6 Ilmanvuotoluku. 2021. Verkkoaineisto. Vertia Oy. <<https://vertia.fi/tiiveysmitaus/ilmanvuotoluku/>>. Luettu 29.3.2021.
- 7 Jussila, Heikki. 2021. Tutkimusjohtaja. Vertia Oy. Helsinki. Haastattelu 14.4.2021.
- 8 Enervent eAir ohjauspaneeli kosketusnäytöllä. 2021. Verkkoaineisto. Enervent Zehnder Oy. <<https://www.enervent.fi/control/>>. Luettu 10.3.2021.
- 9 Paine-erolähetin. 2021. Verkkoaineisto. Pro dual Oy. <[https://www.pro-dual.com/fi/shop/by\\_paineero/sku-1240100](https://www.pro-dual.com/fi/shop/by_paineero/sku-1240100)>. Luettu 15.3.2021.
- 10 Björkroth, Marko & Eskola, Lari. 2020. Asuinrakennusten ilmanvaihdon suunnitteluohje. Verkkoaineisto. A-Insinöörit Oy. <[https://www.buildup.eu/sites/default/files/content/asuinrakennusten\\_suunnitteluohje\\_paivitys\\_2020-08-07.pdf](https://www.buildup.eu/sites/default/files/content/asuinrakennusten_suunnitteluohje_paivitys_2020-08-07.pdf)>. Päivitetty 8.7.2020. Luettu 25.2.2021.
- 11 BORA Pure-induktiokaittotasoa ja integroitukaittotasoa höyrypoisto kiertoil-malla. 2021. Verkkoaineisto. Savo Design & Technic Oy. <[https://www.bora.com/fileadmin/downloads/220\\_manual\\_fi\\_fi12672.pdf](https://www.bora.com/fileadmin/downloads/220_manual_fi_fi12672.pdf)>. Luettu 15.3.2021.

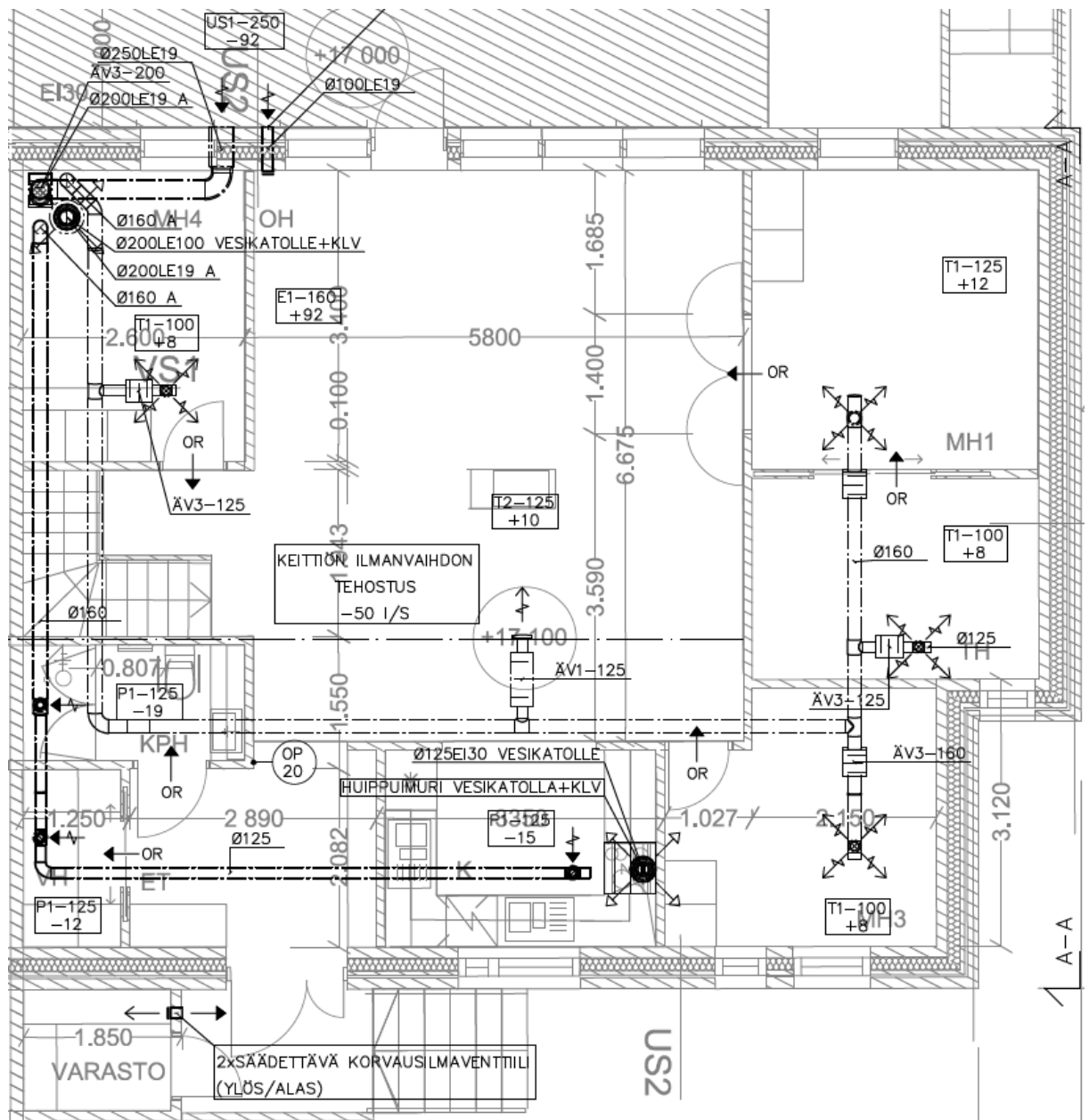
- 12 Rakennuksen sisäilmasto ja ilmanvaihto. 2012. Suomen rakentamismääräyskoelma, osa D2. Helsinki. Ympäristöministeriö. Luettu 17.3.2021.
- 13 Suomen säädöskokoelma 745/2017. Savupiippujen rakenteista ja paloturvallisuudesta.
- 14 PHM-V1 paine-eromittari. 2021. Verkkoaineisto. Pressovac Oy Ltd. < <http://www.pressovac.fi/catalogue/venttiilinsaatomittari-phm-v1/>>. Luettu 23.3.2021.
- 15 Björkroth, Marko & Eskola, Lari. 2019. Rakennusten paine-erojen mittausohje-projektin loppuraportti. Verkkoaineisto. A-Insinöörit Oy. < [https://www.talotekniikkainfo.fi/sites/default/files/rakennusten\\_paine-erojen\\_mittausohje\\_2019-10-11.pdf](https://www.talotekniikkainfo.fi/sites/default/files/rakennusten_paine-erojen_mittausohje_2019-10-11.pdf)>. Päivitetty 14.10.2019. Luettu 21.2.2021.
- 16 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. 1151/2016.

Liite 1. Ilmanvaihdon pohjapiirustus ensimmäinen kerros osa A

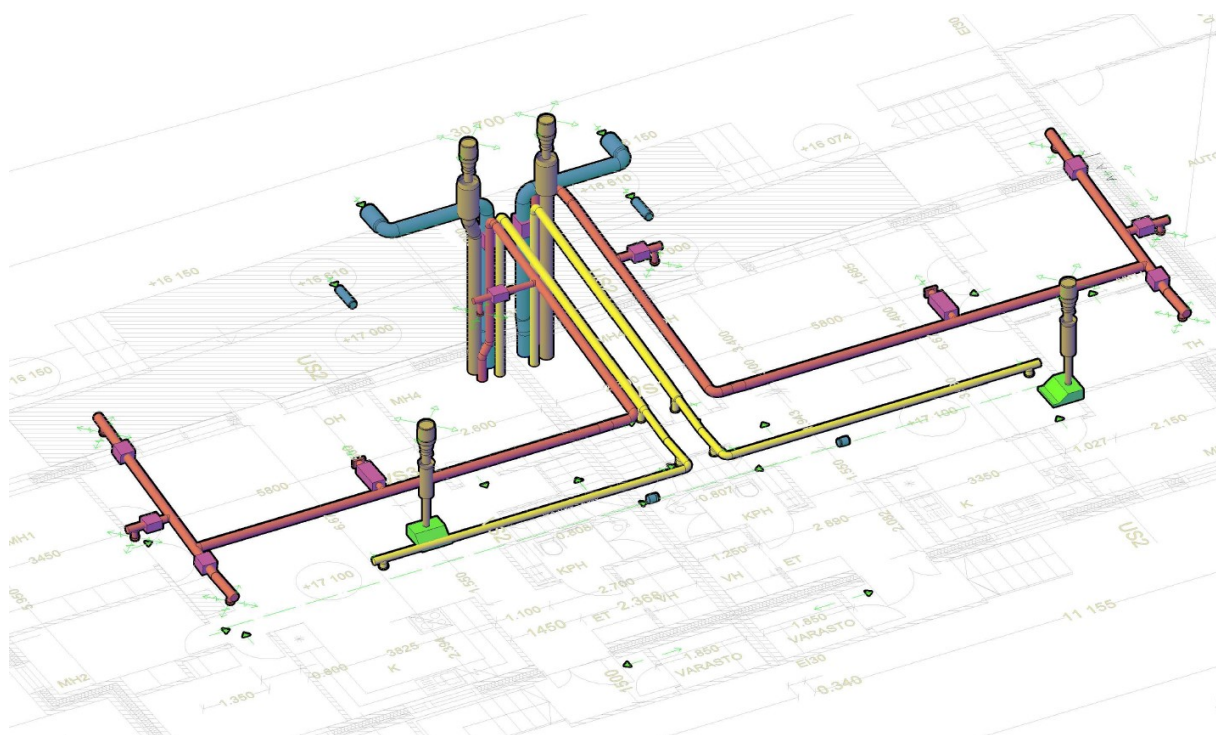




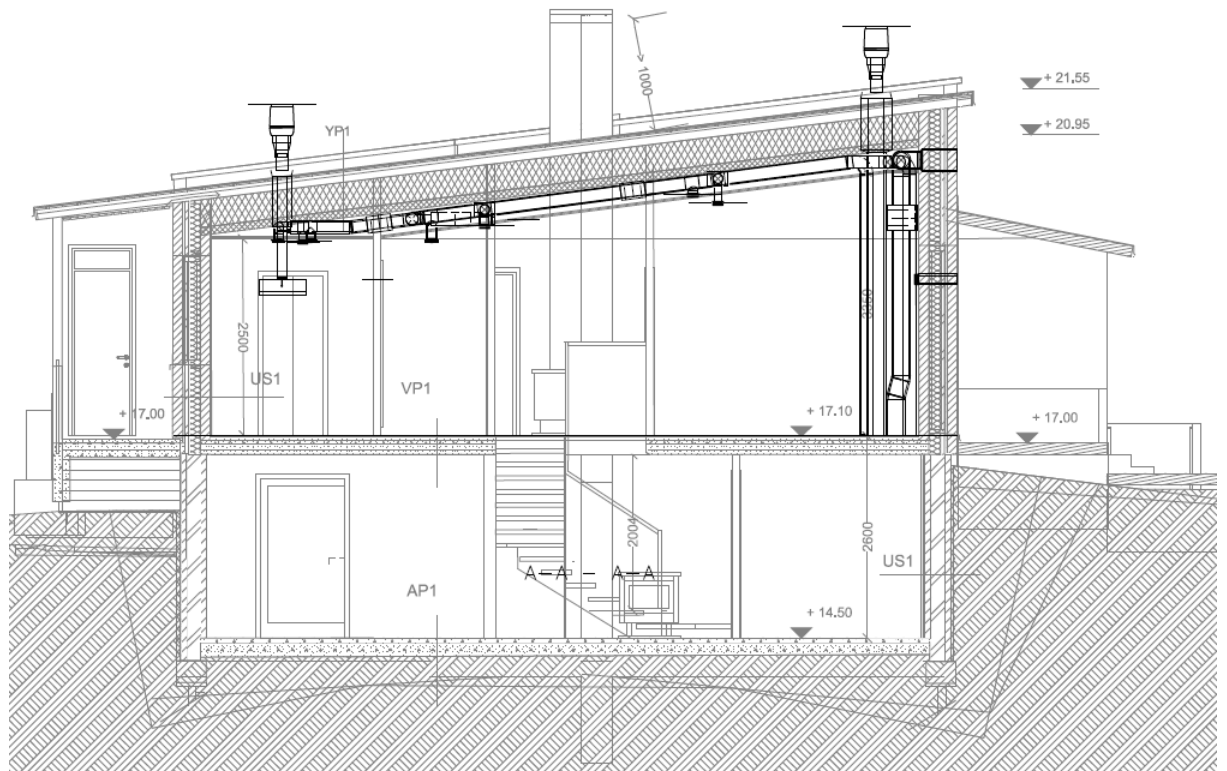
## Liite 2. Ilmanvaihdon pohjapiirustus ensimmäinen kerros osa B



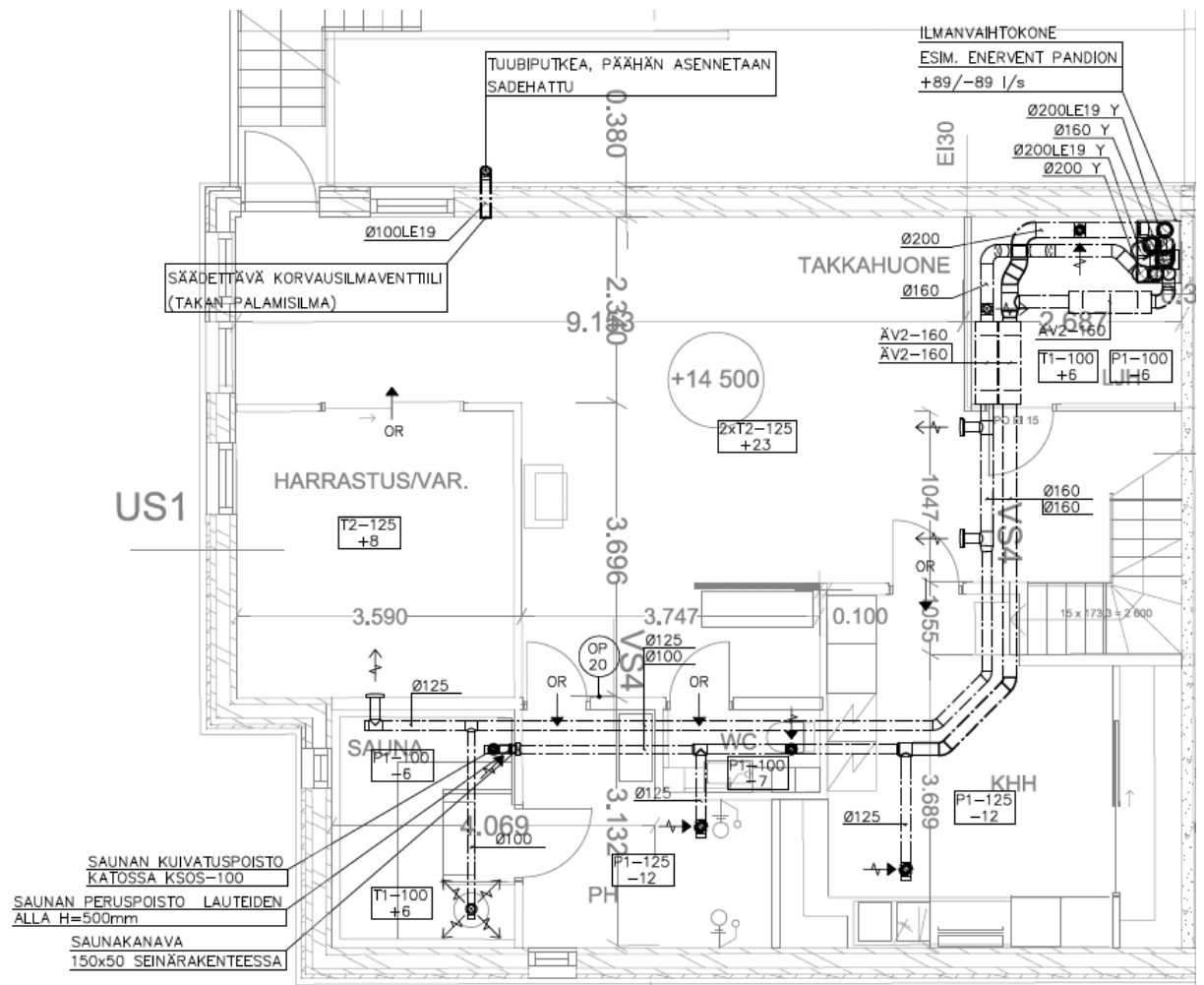
### Liite 3. 3D-ilmanvaihtosuunnitelma, ensimmäinen kerros osat A ja B



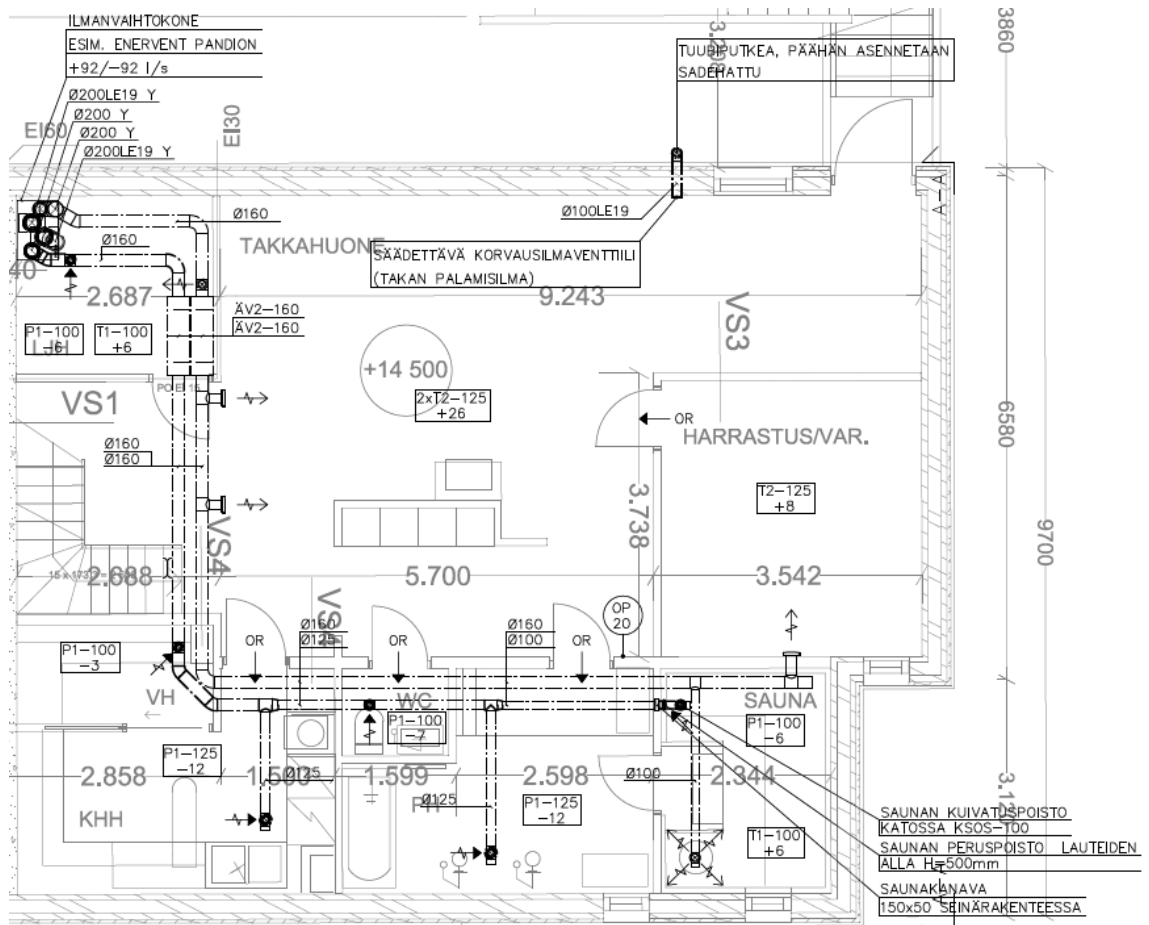
## Liite 4. Leikkauskuva A-A, ensimmäinen kerros



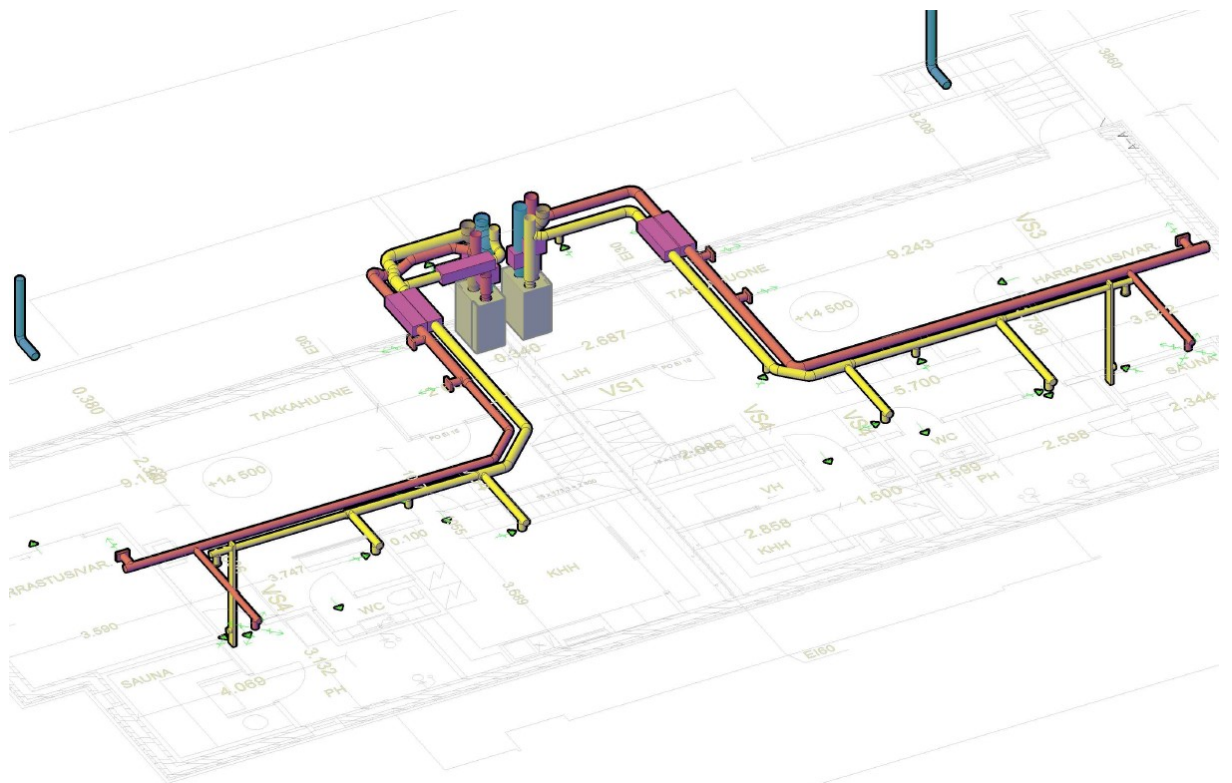
## Liite 5. Ilmanvaihdon pohjapiirustus, kellarikerros osa A



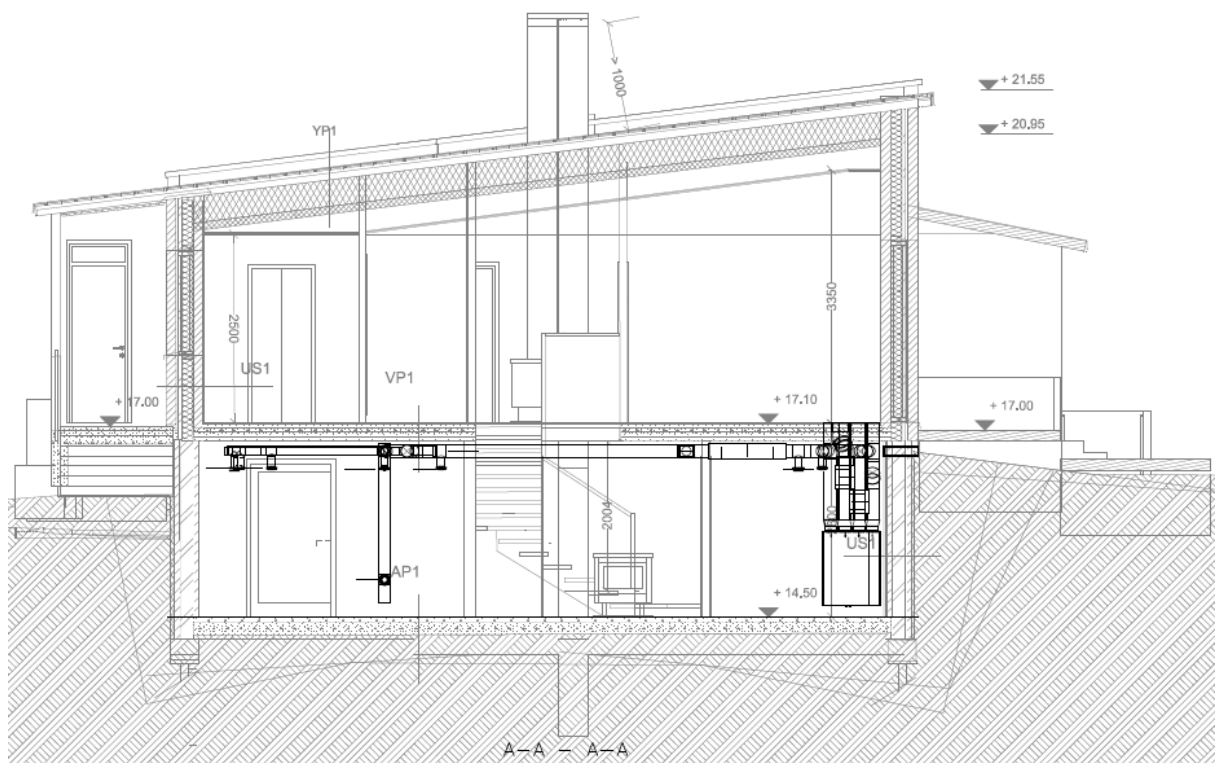
## Liite 6. Ilmanvaihdon pohjapiirustus, kellarikerros osa B



**Liite 7. 3D-ilmanvaihtosuunnitelma, kellarikerros osat A ja B**



## Liite 8. Leikkauskuva A-A, kellarikerros



## Liite 9. Mittauspöytäkirja, osa A

## PIENTALON ILMAMÄÄRÄMITTAUSPÖYTÄKIRJA

Osoite : Osa A

Päivämäärä: 2.4.2021

TILA		POISTOILMA							
Nro.	huone	Venttiili	Koko	Suunn. qv (l/s)	Todettu qv (l/s)	Mitattu pm (Pa)	Säätöas. a (mm)	k-arvo	%
1	Sauna A	KSU	100	-6	-6,0	17,5	-5	1,42	100,0
2	Sauna Y	KSU-S	100	-	tuuletus	-	Kiinni	-	-
3	PH	KSU	125	-14	-14,6	25,8	2	2,87	104,3
4	WC	KSU	100	-7	-7,3	23,4	-4	1,51	104,3
5	KHH	KSU	125	-10	-10,0	24,0	-4	2,04	100,0
6	VH A	KSU	100	-4	-4,3	26,0	-12	0,85	107,5
7	LJK	KSU	100	-6	-6,5	22,1	-5	1,40	108,3
8	KPH	KSU	125	-15	-15,0	27,0	0	2,88	100,0
9	VH Y	KSU	125	-8	-7,9	22,4	-9	1,66	98,8
10	Keittiö R	KSU	125	-20	-19,9	21,8	10	4,27	99,5
	LJK säätöpelti	DIRU	100				1,5		
Yhteensä		Poisto		-89	-91,5	102,8	%		

TILA		TULOILMA							
Nro.	huone	Venttiili	Koko	Suunn. qv (l/s)	Todettu qv (l/s)	Mitattu pm (Pa)	Säätöas. a (mm)	k-arvo	%
1	Sauna	KIR	100	6	6,0	10,6	5	1,84	100,0
2	Harrastustila	SHH	125	8	8,2	10,7	9	2,50	102,5
3	Takkahuone 1	SHH	125	11	10,9	12,7	11	3,05	99,1
4	Takkahuone 2	KIR	125	12	12,1	11,3	13	3,60	100,8
5	LJK	KIR	100	6	5,9	10,3	6	1,84	98,3
6	MH 4	KIR	100	8	8,0	14,4	6	2,11	100,0
7	MH 3	KIR	100	8	8,3	10,4	7	2,56	103,8
8	TH	KIR	100	8	8,0	10,0	7	2,56	100,0
9	MH 1	KIR	125	12	12,4	9,5	8	4,03	103,3
10	OH R	SHH	125	10	9,9	10,4	11	3,05	99,0
	LJK säätöpelti	DIRU	100				1,7		
Yhteensä		Tulo		89	89,7	100,8	%		

Mittari:	Pressovac PHM-V1	Mittaja, nimi :	Sami Mäkinen			
Kalibrointi päivä:	2.7.2020	Puh.nro. :				
		Allekirjoitus :				
Puhallinnopeudet:						
TULO:	Kotona	60 % Poissa	90 % Tehostus	30 %		
POISTO:	Kotona	52 % Poissa	82 % Tehostus	22 %		
Vaipanylmittaus:	1	-1,5 Pa	2	+0,6 Pa	3	-1,9 Pa
Huomautettavaa:	R = Referenssi venttiili					



## Liite 9. Mittauspöytäkirja, osa B

## PIENTALON ILMAMÄÄRÄMITTAUSPÖYTÄKIRJA

Osoite : Osa B

Päivämäärä: 2.1.2021

TILA		POISTOILMA							
Nro.	huone	Venttiili	Koko	Suunn. qv (l/s)	Todettu qv (l/s)	Mitattu pm (Pa)	Säätöas. a (mm)	k-arvo	%
1	Sauna A	KSU	100	-6	-6,2	9,1	2	2,07	103,3
2	Sauna Y	KSU-S	100	0	tuuletus				
3	PH R	KSU	125	-15	-15,1	14,8	10	3,91	100,7
4	WC	KSU	100	-7	-7,2	16,1	-1	1,80	102,9
5	KHH	KSU	125	-12	-12,1	19,5	1	2,73	100,8
6	VH A	KSU	100	-3	-3,3	18,9	-13	0,76	110,0
7	LJK	KSU	100	-6	-6,0	13,9	-3	1,61	100,0
8	KPH	KSU	125	-19	-19,1	21,6	8	3,93	100,5
9	VH Y	KSU	125	-9	-9,3	17,9	-5	2,20	103,3
10	Keittiö	KSU	125	-15	-15,2	18,1	6	3,58	101,3
	LJK säätöpelti	DIRU	100				1,7		
Yhteensä		Poisto		-92	-93,5	101,6	%		

TILA		TULOILMA							
Nro.	huone	Venttiili	Koko	Suunn. qv (l/s)	Todettu qv (l/s)	Mitattu pm (Pa)	Säätöas. a (mm)	k-arvo	%
1	Sauna	KIR	100	6	6,0	15,0	4	1,56	100,0
2	Harrastustila	SHH	125	8	7,9	14,6	7	2,05	98,8
3	Takkahuone 1	SHH	125	13	12,7	14,7	12	3,30	97,7
4	Takkahuone 2	KIR	125	13	12,9	15,3	12	3,30	99,2
5	LJK	KIR	100	6	6,2	11,9	5	1,84	103,3
6	MH 4	KIR	100	8	8,0	18,7	5	1,84	100,0
7	MH 3	KIR	100	8	7,6	12,7	6	2,11	95,0
8	TH	KIR	100	8	8,1	10,1	7	2,56	101,3
9	MH 1	KIR	125	12	11,8	11,2	7	3,56	98,3
10	OH R	SHH	125	10	10,2	11,2	11	3,05	102,0
	LJK säätöpelti	DIRU	100				1,7		
Yhteensä		Tulo		92	91,4	99,3	%		

Mittari:	Pressovac PHM-V1	Mittaja, nimi :	Sami Mäkinen
Kalibrointi päivä:	10.3.2020	Puh.nro. :	
		Allekirjoitus :	
Puhallinnopeudet:			
TULO:	Kotona	60 % Poissa	90 % Tehostus
POISTO:	Kotona	49 % Poissa	79 % Tehostus
41 % Takka	-%		
30 % Takka	-%		
Vaipanylimittaus:	1	-2,3 Pa	2
	Etuovi		Takaovi
			-0,5 Pa
Huomautettavaa: R = Referenssi venttiili			
Sääolosuhteet:	Lämpötila:	-1 °C	Tuuli: 4 m/s