

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU  
Talotekniikan koulutusohjelma

Henri Utriainen

YLIPAINESTUS KORJAAVANA TOIMENPITEENÄ SISÄILMAONGELMIA  
SISÄLTÄVÄSSÄ KIIINTEISTÖSSÄ

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2018



**OPINNÄYTETYÖ**  
**Toukokuu 2018**  
**Talotekniikan koulutusohjelma**

Karjalankatu 3  
80200 JOENSUU  
+358 13 260 600

**Tekijä**  
Henri Utriainen

**Nimeke**  
Ylipaineistus korjaavana toimenpiteenä sisäilmaongelmia sisältävässä kiinteistössä

**Toimeksiantaja**  
Sisäilmatalo Kärki Oy

**Tiivistelmä**

Suomalaisessa rakennuskannassa on viime vuosina havaittu paljon sisäilmaongelmia ja niistä keskustellaan kiivaasti esimerkiksi mediassa. Monet ongelmat voidaan korjata ilman koko rakennuksen purkamista, mutta joskus ainoana vaihtoehtona on kiinteistön purkaminen, jotta sisäilmaongelmista päästään varmasti eroon. Purkaminen johtaa uuden kiinteistön rakentamiseen tai uusien tilojen etsimiseen. Päätökset eivät tapahdu hetkessä ja tuovat kustannuksia. Näiden seikkojen takia sairaisissa tiloissa joudutaan oleskelemaan ja kärsimään sisäilmaongelmista, kun odotellaan pääsyä terveisiin tiloihin.

Opinnäytetyön tehtävänä oli tutkia, voitaisiinko kiinteistön käyttäjien oireita helpottaa ylipaineistamalla rakennuksen sisäilmaongelmaiset tilat silloin, kun rakennuksen tiloja ei kannata korjata. Ylipaineistuksen tavoitteena on kääntää mikrobivaurioituneista rakennusmateriaaleista siirtyvät epäpuhtaat vuotoilmavirrat rakennusmateriaaleista ulkoilmaan päin ja näin helpottaa sisäilmaoireita. Opinnäytetyön tietoperustassa on esitetty keskeisiä sisäilmaan vaikuttavia seikkoja ja niiden yhteyttä sisäilmaongelmiin. Lisäksi käsitellään painesuhteisiin vaikuttavia tekijöitä, jotka vaikuttavat ylipaineistuksen toimivuuteen ja tulosten tulkintaan.

Tutkimuskohteena oli ylipaineistettu terveyskeskus, jossa ylipaineistuksen toimivuutta tutkittiin hetkellisillä ja pitkäaikaisilla paine-eron mittauksilla sekä merkkiainekokeilla. Tuloksista voidaan päätellä, että ylipaineistuksella ei ollut tässä kohteessa vielä haluttua vaikutusta opinnäytetyön aikana. Tutkimusten perusteella havaittiin, että epätiivit rakenteet aiheuttavat rakennuksessa painevaihteluita, eikä ylipaineen määrässä päästy luotettavalle tasolle.

**Kieli**  
suomi

Sivuja 100  
Liitteet 1  
Liitesivumäärä 8

**Asiasanat**

sisäilmaongelmat, mikrobivaurio, ylipaineistus, painesuhteet



**THESIS**  
**May 2018**  
**Degree Programme in Building**  
**Services Engineering**

Karjalankatu 3  
80200 JOENSUU  
+358 13 260 600

Author (s)  
Henri Utriainen

Title  
Positive Pressure as a Repair Measure in Building with Indoor Air Quality Problems  
Commissioned by  
Sisäilmatalo Kärki Oy

#### Abstract

Indoor air quality problems in Finland have been increasing in the recent years and they are a subject of fierce discussion in media. Many problems can be fixed without heavy renovations of the building. However, sometimes the only option is to demolish the building and build a new one or seek for other work spaces. These decisions can take time and the costs are hard to manage beforehand. Meanwhile the users of the sick building will suffer from the air quality problems.

In this thesis I will find out if it is possible to reduce indoor air quality problems by using positive pressure in the building when it is not possible to repair indoor air quality problems. The purpose of this measure is to change the direction of air flows from the damaged building material. The impurities will then ventilate to the outside air. The thesis will give reader a basic knowledge of indoor air quality and how different things will affect it. The thesis will also discuss how different conditions will affect pressure ratio, so a correct conclusion can be made from the measurements.

The research subject was positively pressurized health center. Functionality of the positive pressure was tested with momentary and long-term differential pressure measurements together with tracer compound tests. Pressurizing was done by increasing supply air flows. The results indicate that positive pressurizing did not give desired results during thesis period. The research in the health center show that gaps in the structures will result into pressure variations and amount of positive pressure is not enough to relief indoor air quality problems.

Language  
Finnish

Pages 100  
Appendices 1  
Pages of Appendices 8

#### Keywords

indoor air problems, microbe damage, positive pressure, pressure ratio,

# Sisältö

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 1      | Johdanto.....  | 6  |
| 2      | Sisäilmaoireet ja sisäilman laatua heikentävät tekijät.....    | 8  |
| 3      | Sisäilmasto ja siihen liittyvä lainsäädäntö.....               | 9  |
| 3.1    | Lämpöolot.....   | 11 |
| 3.2    | Ilman liike ja veto .....                                      | 16 |
| 3.3    | Ilman laatu .....  | 20 |
| 4      | Mikrobivauriot .....   | 22 |
| 5      | Paine-ero.....   | 24 |
| 5.1    | Savupiippuvaikutus.....  | 25 |
| 5.2    | Tuuli.....   | 29 |
| 5.3    | Ilmanvaihtojärjestelmä .....                                   | 30 |
| 5.4    | Rakennuksen ilmatiiveys .....                                  | 33 |
| 6      | Suomalaiset terveystekijät .....                               | 36 |
| 6.1    | Rakennusvuosi .....  | 37 |
| 6.2    | Rakennustapa ja materiaalit .....                              | 38 |
| 6.3    | Muut rakenneratkaisut .....                                    | 42 |
| 7      | Tutkimuskohde.....   | 43 |
| 7.1    | Ongelmat .....   | 44 |
| 7.2    | Oireet.....  | 45 |
| 7.3    | Ratkaisu ylipaineistuksesta.....                               | 47 |
| 8      | Ylipaineistuksen toteutus.....                                 | 48 |
| 9      | Tutkimukset .....  | 53 |
| 9.1    | Hetkelliset paine-eromittaukset.....                           | 54 |
| 9.2    | Hetkellisten paine-eromittausten tulokset .....                | 57 |
| 9.3    | Merkitsevien aineiden ja paine-eron pitkäaikaisseuranta .....  | 59 |
| 9.3.1  | Merkitsevien aineiden periaate .....                           | 60 |
| 9.3.2  | Pitkäaikaismittausten periaate .....                           | 64 |
| 10     | Mittaustulokset .....  | 67 |
| 10.1   | Merkitsevien aineiden tulokset.....                            | 67 |
| 10.1.1 | Merkitsevien aineiden: Hammashoitola.....                      | 67 |
| 10.1.2 | Merkitsevien aineiden: Laboratorio- ja näytteenottotilat ..... | 69 |
| 10.1.3 | Merkitsevien aineiden: Sairaanhoidajan työhuone.....           | 73 |
| 10.1.4 | Johtopäätökset merkitsevien aineiden kokeista.....             | 76 |

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 10.2   | Paine-eromittauksien tulokset.....                           | 77 |
| 10.2.1 | Paine-eromittaukset: Hammashoitola.....                      | 77 |
| 10.2.2 | Paine-eromittaukset: Laboratorio- ja näytteenottotilat ..... | 80 |
| 10.2.3 | Paine-eromittaukset: Sairaanhoidajan työhuone .....          | 83 |
| 10.2.4 | Johtopäätökset paine-eromittauksista .....                   | 84 |
| 10.3   | Ylimääräinen merkkiainekoe hammashoitolassa .....            | 85 |
| 11     | Yhteenveto tuloksista ja korjausehdotukset.....              | 91 |
| 12     | Pohdinta .....   | 95 |
|        | Lähdeluettelo .....  | 99 |

## Liitteet

Liite 1 Paine-eron pitkäaikaismittauksien tulokset

# 1 Johdanto

Suomalaisessa rakennuskannassa on havaittu kuluvan vuosikymmenen aikana runsaasti sisäilmaongelmia. Sisäilmaongelmat voivat johtua esimerkiksi virheistä, joita on tehty rakennusaikana tai rakennuksen kunnossapitoa laiminlyömällä. Riippumatta syystä, monessa tapauksessa edessä ovat joko korjaukset tai pahimmassa tapauksessa kokonaisen rakennuksen purkaminen ja rakentaminen kokonaan uudelleen. Ongelmana on kuitenkin se, miten ongelmallisessa kiinteistössä voidaan toimia korjausten tai uuden rakennuksen rakentamisen ajan. Parhaan ratkaisun kartoittamisessa ja päätöksenteossa kuluu aikaa eikä tilojen toimintaa usein voi keskeyttää. Haasteita tuovat myös kustannukset, joihin ei välttämättä ole juuri sillä hetkellä varaa tai varauduttu etukäteen. Samalla tilojen käyttäjät kärsivät, kun ratkaisua odotetaan.

Sisäilmatalo Kärki Oy tarjosi opinnäytetyötä liittyen sisäilmaongelmaisen kiinteistön ylipaineistukseen. Sisäilmatalo Kärjen rooli ylipaineistushankkeessa oli erilaisilla mittauksilla tehtävä ylipaineistuksen laadunhallinta ja toimivuuden seuranta. Perimmäinen selvityksen kohde on, voidaanko kiinteistön tilojen ylipaineistusta käyttää korjaavana toimenpiteenä, kun sisäilmaongelmat ovat jo niin pahat, että vaihtoehtona on käytännössä vain uusien tilojen rakentaminen tulevaisuudessa. Tarkoituksena on kääntää epätiivisissä rakennuksissa olevat vuotoilmavirrat epäpuhtaista rakennusmateriaaleista ulkoilmaan päin ja näin ehkäistä niistä johtuvia sisäilmahaittoja. Samalla tutkitaan haasteita ja ongelmia mitä ylipaineistukseen voi liittyä, jotta ne voitaisiin huomioida tulevissa hankkeissa.

Opinnäytetyön alussa käsitellään sisäilmaoireita ja niihin vaikuttavia tekijöitä sisäilmaston ja lainsäädännön näkökulmasta. Tarkastelua tehdään lähinnä talotekniikan näkökulmasta eli lähinnä ilmanvaihdon, mutta hieman myös lämmityksen näkökulmasta. Lisäksi käsitellään mikrobivauriot ja niiden vaikutus sisäilmaan, koska ylipaineistuksella pyritään estämään juuri mikrobivaurioituneiden rakennusmateriaalien epäpuhtauksien pääsyä sisäilmaan. Ennen tutkimuskohteeseen siirtymistä, käydään läpi vielä keskeisenä asiana rakennuksen painesuhteet, jotta

voimme ymmärtää ja arvioida ylipaineistuksen toimivuutta mittaustulosten pohjalta myöhemmin.

Esimerkkikohteena ollutta terveystalokeskusta käsitellään aluksi suomalaisen terveystalokeskusrakentamisen näkökulmasta siihen saatavilla olleista tilastoista. Tilastoista voidaan havaita, että suomalaiset terveystalokeskukset on rakennettu hyvin samoihin aikoihin ja varsin samalla tavalla. Tilastoista havaitaan myös, että esimerkkikohteet edustaa rakennusratkaisuiltaan ja ajankohdaltaan yleisintä terveystalokeskustyyppiä. Sen avulla voidaan päätellä, että nyt saaduista tuloksista ja tästä opinnäytetyöstä voi olla apua myös tulevaisuudessa, jos terveystalokeskusten ylipaineistuksia harkitaan. Lisäksi käydään läpi hankkeen kulkua, tehtyjä toimenpiteitä ja ylipaineistukseen johtaneita syitä.

Lopuksi siirrytään tutkimaan ylipaineistuksen toimivuutta. Aluksi käydään läpi paine-eron lyhytaikaiset mittaukset, jotka tehtiin ylipaineistuksen alkamisen jälkeen. Lyhytaikaisilla mittauksilla haluttiin selvittää mahdollisia ongelmaitiloja tuleville pitkäaikaismittauksille, tutkia ylipaineistuksen yleistä toimivuutta koko rakennuksessa. Lisäksi haluttiin keskustella käyttäjien kanssa ylipaineistuksesta ja onko sillä ollut vaikutusta oireisiin. Myöhemmin tehtiin merkkiainekokeita ja paine-eron pitkäaikaisseuranta pahiten oireilevien käyttäjien tiloissa. Niiden tavoitteena oli selvittää, kääntyvätkö vuotoilmavirrat rakenteista ulospäin ylipaineen vaikutuksesta. Lopputuloksissa ja päätelmissä tehdään lopuksi johtopäätökset ylipaineistuksen toimivuudesta ja tulosten hyödynnettävyydestä.

## 2 Sisäilmaoireet ja sisäilman laatua heikentävät tekijät

Suomalaisessa rakennuskannassa esiintyy melko usein sisäilmaongelmia, jotka johtuvat kosteus- ja mikrobivaurioista. Sisäilmaongelmat voivat johtua kuitenkin myös monesta muusta syystä, jotka eivät ole yhteydessä kosteus- ja mikrobivaurioihin. Tällaisia ovat esimerkiksi liian kuiva ilma, vetohaitat tai esimerkiksi liian korkealle säädetty sisäilman lämpötila. Lisäksi sisäilmaongelmia voivat aiheuttaa pölyiset tilat tai erilaisista materiaaleista, tavalla tai toisella irtoavat, kemialliset tai hiukkasmaiset päästöt. Yleensä sisäilmaongelmia ei aiheuta vain jokin edellä mainituista vaan monen eri ongelman yhdistelmä. (Pitkäranta, 2016, 14.)

Sisäilmaoireisiin liittyy keskeisenä käsitteenä ns. ”sairas rakennus” – oireyhtymä eli Sick Building Syndrome, SBS. Sairas rakennus - oireyhtymä liitetään sellaisiin rakennuksiin, joissa esiintyy erilaisia sisäilmaongelmiin liittyviä oireita. Nämä oireet esiintyvät niissä tiloissa, joissa arvellaan olevan sisäilmaongelmia ja ne häviävät tai helpottavat, kun tiloista poistutaan. Tällaisia oireita ovat

- erilaiset ärsytysoireet, kuten kurkun-, silmien-, nenän ärsytys
  - limakalvojen ja ihon kuivuminen, sekä ihottumat
  - väsymys
  - päänsärky
  - lisääntyneet ylähengitysteiden infektiot
  - yskä
  - kuorsaus
  - hengityksen vinkuminen
  - pahoinvointi
  - huimaus
- (Sisäilmayhdistys ry. 2008, Sisäilmaoireet.)

Seuraavissa luvuissa käsitellään sisäilmaoireisiin vaikuttavia seikkoja sisäilman ja mikrobivaurioiden näkökulmasta. Tarkoituksena on esitellä keskeistä talotekniikkaan liittyvää lainsäädäntöä ja talotekniikkaan liittyviä erilaisia tilanteita, jotka voivat aiheuttaa sisäilmaoireita.



### 3 Sisäilmasto ja siihen liittyvä lainsäädäntö

Kun tarkastellaan rakennuksen edellytyksiä toimia sille asetetussa tehtävässään, tulee sen sisäympäristön vastata sille asetettuja vaatimuksia, jotka käyttötarkoitus asettaa. Kun sisäympäristö vastaa rakennuksen käyttötarkoitusta, voidaan siellä toimia tehokkaasti ja terveellisesti. Sisäympäristöllä tarkoitetaan siis rakennuksen sisäolosuhteita ja se koostuu:

- Rakennuksesta
- Sisäilmastosta
- Akustiikasta
- Valaistuksesta

(Sandberg, 2016, 14.)

Sisäilmastoa pidetään merkittävimpänä osatekijänä rakennuksen viihtyvyyteen ja tärkeimpänä sisäympäristön osasena, joskin tänä päivänä myös muut osa-alueet ovat saaneet lisää huomiota rakennuksen suunnittelussa. Sisäilmastolla tarkoitetaan kaikkea sitä, mikä vaikuttaa rakennuksessa hengittämäämme ilmaan ja sen laatuun. Se pitää sisällään kaikki sisäilmaan vaikuttavat fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät. Talotekniikan näkökulmasta sisäilmastoon kuuluu perinteisesti sen lämpötila eli tilan lämpöolot. Lämpöoloja hallitaan kiinteistön lämmitysjärjestelmällä. Toinen vähintään yhtä tärkeä osatekijä toimivassa sisäilmastossa on ilmanvaihto ja ilman liike, johon liittyy vetoisuuden tunne. Lisäksi sisäilmastoon liittyy keskeisesti ilman laatu eli ilmassa olevat epäpuhtaudet ja niiden pitoisuudet. (Sandberg, 2016, 37.)

Suomen rakentamismääräyskokoelma sisältää määräykset uuden rakennuksen vaatimuksista. Sen osa, ympäristöministeriön asetus 1009/2017 – ”Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta”, sisältää määräykset, joita tulee ilmanvaihdon ja sisäilmaston suunnittelun osalta noudattaa. Ne ovat velvoittavia. Sisäilman laatu on asetuksessa määritelty niin että sisäilmassa ei saa esiintyä terveydelle haitallisessa määrin hiukkasmaisia

epäpuhtauksia, fysikaalisia, kemiallisia tai mikrobiologisia tekijöitä eikä viihtyisyyttä jatkuvasti heikentäviä hajuja. Lisäksi määrätään hetkellisen hiilidioksidi pitoisuuden enimmäismäärä ulkoilmaan nähden, joka on enintään  $1450 \text{ mg/m}^3$  ( $800 \text{ ppm}$ ) suurempi kuin ulkoilmassa vallitseva pitoisuus. (1009/2017, § 5.)

Ilmanvaihdon mitoitus tapahtuu ympäristöministeriön asetuksen mukaan ulkoilmavirtojen avulla. Ulkoilmavirralla tarkoitetaan ilmanvaihdon kautta ulkoa sisälle hallitusti johdettua ilmaa. Lähtökohtana on, että oleskelutilojen ulkoilmavirraksi on mitoitettava vähintään  $6 \text{ dm}^3/\text{s}$  henkilöä kohden käyttöaikana. Tilan käyttötarkoituksesta voi kuitenkin aiheutua lisäilmavirran tarvetta, joka on otettava huomioon ilmanvaihdon suunnittelussa. Henkilömääräisen mitoituksen lisäksi, huomioon on otettava koko rakennus. Koko rakennuksen ulkoilmavirroiksi on suunniteltava yhteensä vähintään  $0,35 \text{ (dm}^3/\text{s) /m}^2$ , ellei tiloissa ole jälleen erityisiä tilatyyppejä, jotka vaativat enemmän ulkoilmavirtoja. Asuinhuoneiston ulkoilmavirta on vielä täsmennetty  $18 \text{ dm}^3:\text{n/s}$  vähimmäistasolle. (1009/2017, § 9.)

Suomen rakentamiskokoelman määräykset ovat minimitaso mihin rakentamisessa tulee päästä. Tästä syystä, kun on ryhdytty rakentamaan yhä terveellisimpiä ja laadukkaampia rakennuksia, on tullut tarpeelliseksi luokitella rakennuksia sisäilmaluokkiin. Tähän tarpeeseen on laadittu Sisäilmaluokitus 2008-ohje. Siinä määritellään tavoitearvot kolmelle eri sisäilmastoluokalle. Luokat ovat:

**S1:** Yksilöllinen sisäilmasto – Tilan sisäilman laatu on erittäin hyvä eikä tiloissa ole havaittavia hajuja. Sisäilmaan yhteydessä olevissa tiloissa tai rakenteissa ei ole ilman laatua heikentäviä vaurioita tai epäpuhtauslähteitä. Lämpöolot ovat viihtyisät eikä vetoa tai yllämpenemistä esiinny. Tilan käyttäjä pystyy yksilöllisesti hallitsemaan lämpöoloja. Tiloissa on niiden käyttötarkoituksen mukaiset, erittäin hyvät ääniolosuhteet ja hyviä valaistusolosuhteita tukemassa yksilöllisesti säädettävä valaistus.

**S2:** Hyvä sisäilmasto - Tilan sisäilman laatu on hyvä eikä tiloissa ole häiritseviä hajuja. Sisäilmaan yhteydessä olevissa tiloissa tai rakenteissa ei ole ilman laatua heikentäviä vaurioita tai epäpuhtauslähteitä. Lämpöolot ovat hyvät. Vetoa ei yleensä esiinny, mutta yllämpeneminen on mahdollista kesäpäivinä. Tiloissa on niiden käyttötarkoituksen mukaiset hyvät ääni- ja valaistusolosuhteet.

**S3:** Tyydyttävä sisäilmasto - Tilan sisäilman laatu ja lämpöolot sekä valaistus- ja ääniolosuhteet täyttävät rakentamismääräysten vähimmäisvaatimukset.

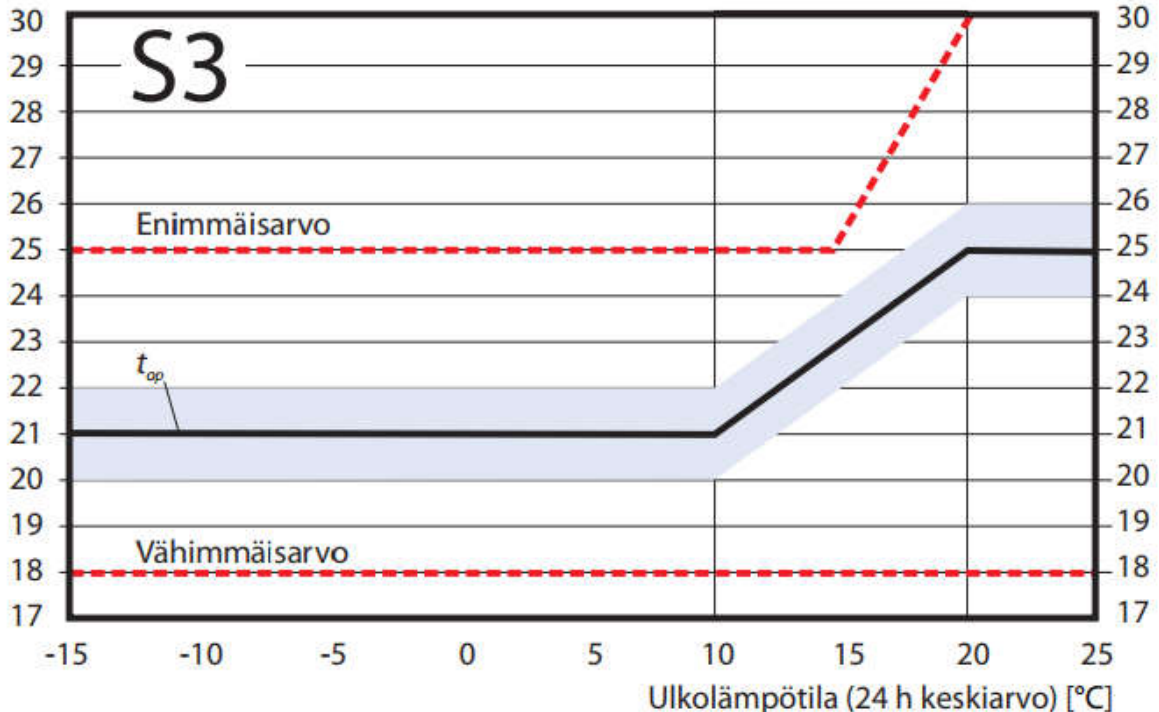
(Sisäilmaluokitus 2008, 4.)

Sisäilmastoluokituksesta on tulossa vuoden 2018 aikana uusi versio, joka vastaa rakentamismääräyskokoelman uudistuksessa tullessiin muutoksiin.

### 3.1 Lämpöolot

Ympäristöministeriön asetus 1009/2017 määrää talotekniikan suunnittelijalle huonelämpötilojen suunnitteluarvot. Tarkoituksena on, että rakennuksen huonelämpötilan on oltava suunniteltuna käytönaikana viihtyisä ja sitä eivät saa heikentää ilman liike, lämpösäteily, lämpötilan vaihtelu, lämpötilaerot tai pintalämpötilat. Uuden rakennuksen lämmityskauden suunnitteluarvona on käytettävä 21 celsiusasteen lämpötilaa. Huonelämpötilan hallinnan suunnittelussa lämpötila voi vaihdella 20 – 25 celsiusasteen haarukassa lämmityskaudella ja 20 – 27 celsiusasteen välillä lämmityskauden ulkopuolella. Näistä arvoista voidaan poiketa vain poikkeustapauksissa. (1009/2017, § 4.)

Operatiivinen lämpötila oleskeluvyöhykkeellä [°C]



Kuva 1. Sisäilmaluokitus 2008:n S3-luokan mukainen lämpötilan tavoitearvo eri ulkolämpötilojen aikana. Tummennettu alue kuvaa tavoitealuetta, jossa on huomioitu sallittu poikkeama. (Kuva: Sisäilmaluokitus 2008, 6.)

Sisäilmaluokitus 2008:n mukaisia luokkia tarkasteltaessa havaitaan, että S3-luokassa operatiivinen lämpötila saa lämmityskaudella vaihdella 25 celsiusasteen ja 18 celsiusasteen välillä (kuva 1). Tavoitearvo S3-luokassa 21 celsiusastetta, mutta siinäkin sallitaan  $\pm 1$  celsiusasteen poikkeama. Lämmityskauden ulkopuolella tavoitearvo vaihtelee 21 – 25 celsiusasteen välillä. (Sisäilmaluokitus 2008, 5.)

Ihmisten kokemat sisäilmaoireet lisääntyvät nopeasti mitä korkeampi lämpötila tiloissa on. Erilaisten tutkimusten perusteella on havaittu, että paras sisäilmaston lämpötila on noin 21 celsiusasteessa normaalina ajanjaksona, jolloin lämpötiloja voidaan hallita. Ihmiset ovat yksilöitä, eikä kaikki lämpötilat sovi koko väestölle, mutta 21 celsiusastetta pidetään yleisesti kaikkein sopivimpana. Silloin suurin osa kokee lämpötilan sopivaksi ja tiloissa on miellyttävä oleskella. Kesällä, kun lämpötilat väistämättä kasvavat, eikä niitä voida niin helposti hallita kuin muina

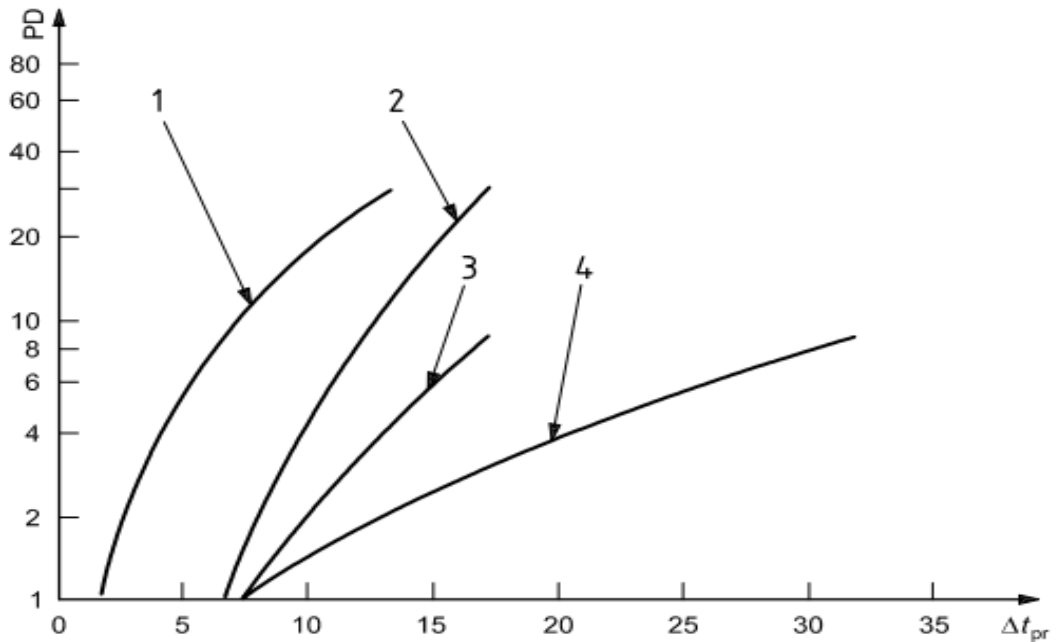
vuoden aikoina, voidaan tavoitearvona käyttää esimerkiksi 25 celsiusastetta. (Sandberg, 2016, 41 ja 46.)

Lämpöolot ovat vain harvoin täysin samanlaiset tilojen eri osissa ja eri käyttöaikoina. Vaihtelua aiheuttavat sään ja vuodenajan lisäksi rakennuksen erilaiset kuormitukset, kuten erilaisten laitteiden ja henkilöiden aiheuttamien lämpökuormien vaihtelut. Lisäksi erilaiset lämmityksen tai jäähdytyksen ohjaustavat aiheuttavat vaihtelua eri aikoina. Myös ikkunoiden läheisyys aiheuttaa ilman ja pintojen välisiä lämpötilaeroja. Kun lämpöolot vaihtelevat, puhutaan lämpötilaolojen epäsymmetriasta. Toimisto- tai muussa istumatyössä työskentelevien ihmisten lämpöoloja on tutkittu ja tutkimuksissa on havaittu epäsymmetrian aiheuttajat optimilämpötilassa. Ne on esitetty taulukossa 1. (Sandberg, 2016, 57.)

Taulukko 1. Epäsymmetristen lämpöolosuhteiden havaittavuus. Vertailukohtana tasaiset, vedottomat lämpöolot optimilämpötilassa. (Sandberg, 2016, 51.)

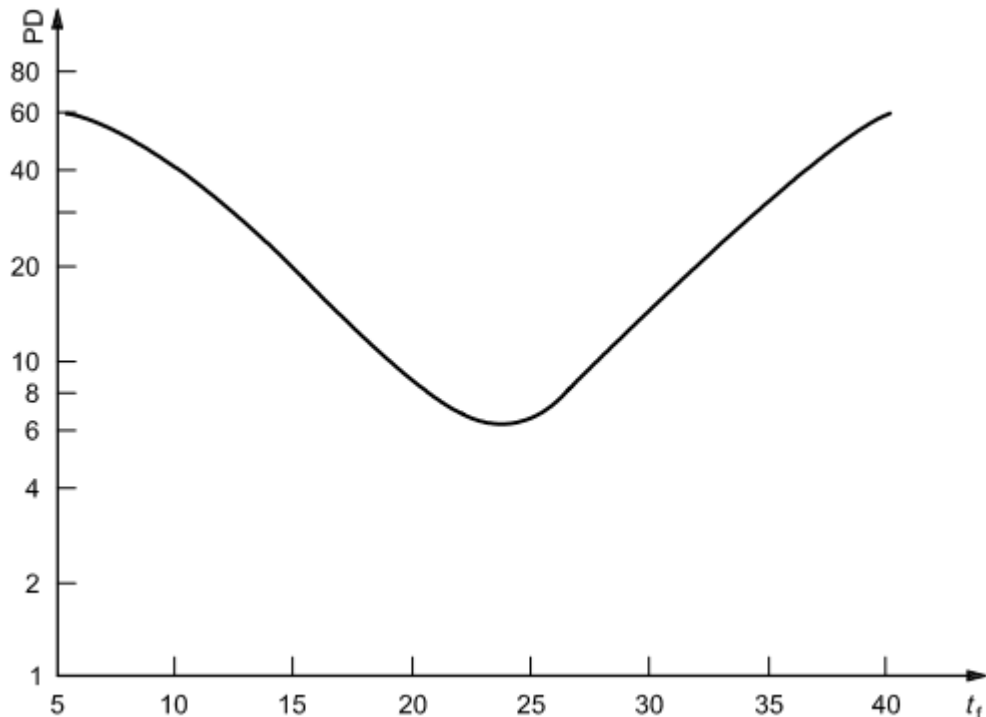
| Epäsymmetrian aiheuttaja | Epäsymmetrian määrä, joka tarvitaan että 50 % henkilöistä havaitsee sen |
|--------------------------|---|
| Ilmasuihku niskaan       | 0,2 m/s   |
| Säteilyepäsymmetria      |   |
| Lämmitetty katto         | 7,5 K   |
| Jäähdytetty katto        | 4K  |
| Kylmä ikkuna tai seinä   | 5 K   |
| Lämmin seinä             | 6 K   |

Taulukosta 1 nähdään, että kylmän ikkunan lämpötilan erotessa huonetilan optimilämpötilasta 5-astetta (K, Kelvin), niin 50 % tiloissa oleskelevista henkilöistä havaitsee sen lämpösäteilyssä esiintyvän epäsymmetrian. Tyytymättömiä on kuitenkin olosuhteisiin huomattavasti vähemmän, koska vaikka olosuhteen pystyy havaitsemaan, ei se kaikista tunnu häiritsevälle.



Kuva 2. Tyytymättömien osuuden kasvu eri lämpöoloissa. SFS-standardin 7730 kuva, jossa epätyytyväisten (PD) osuus on kuvattu pystyakselilla ja säteilylämpötilan epäsymmetria ( $\Delta t_{pr}$ ) vaaka-akselilla. Kuvajat, 1) lämmin katto 2) kylmä seinä 3) kylmä katto 4) lämmin seinä.

Taulukkoa paremmin tyytymättömien osuutta erilaisten pintojen läheisyydessä voidaan havainnoida SFS-standardin 7730 kuvasta (kuva 2). Lämmitetty katto ja kylmät seinät eli käytännössä ikkunat aiheuttavat eniten haittaa ja epäsymmetrian ei tarvitse olla kovinkaan suuri, jotta tyytymättömien määrässä päästään kestämättömälle tasolle. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että esimerkiksi kattoon kiinnitetty säteilylämmitin aiheuttaa tilaan helposti pystysuuntaisen lämpötilaeron, josta seuraa suuri lämpötilaero pään ja niskan välille. Lisäksi se aiheuttaa epämiellyttävän kuumaa tunnetta tilan yläosiin, jolloin huoneen olosuhteet koetaan epämiellyttäväksi sisään tultaessa. Huomattavasti vähemmän tyytymättömiä esiintyy, kun katto on kylmempi tai seinä on lämmin. Esimerkiksi tästä syystä nykyään suositetaan kattolämmityksen sijaan esimerkiksi lattialämmitystä. (Sandberg, 2016, 51.)



Kuva 3. Lattian kylmyyden ja lämpimyden vaikutus epätyytyväisten osuuksiin. Epätyytyväisten (PD) osuus on kuvattu pystyakselilla lattian lämpötila ( $t_t$ ) vaaka-akselilla. (SFS-EN ISO 7730, 8.)

Myös lattian lämpötilalla on vaikutusta tilojen viihtyisyyteen. SFS-standardin 7730 kuvasta 3 havaitaan, että optimilämpötila lattian lämpötilalle on eri tutkimusten perusteella noin 24 celsiusastetta. Silloin tyytymättömien osuus on vain noin 7 %. Lattian kylmyys tai kuumuus vaikuttavat molemmat saman suuntaisesti ja epätyytyväisten osuus kasvaa nopeasti mitä kylmemmäksi tai kuumemmaksi lattian lämpötila pääsee. (SFS-EN ISO 7730, 8.)

Kylmä lattia aiheuttaa jalkojen viilenemistä, jota voidaan torjua käyttämällä kenkiä tai paksuja sukkiä. Liian kuuma lattia sen sijaan voi aiheuttaa jalkojen kuumenemista ja näin ollen lisätä epävihtyisyyttä. Yleisesti ottaen lattian lämpötilaa on helppo hallita uusissa rakennuksissa, ellei rakennuksen eristyksessä ole selviä puutteita tai jos sen alapuolella ei ole huomattavan kylmää tilaa, joka voisi aiheuttaa kylmyyttä lattiapintaan. (Seppänen, 2007, 18-19.)

Edellä mainittujen seikkojen lisäksi lämpötilalla voi olla myös muunlaisia haittavaikutuksia. Liian suuri lämpötila lisää esimerkiksi ihmisen tuottamia

emissiopäästöjä ja lisäksi monet materiaalit voivat tuottaa lisää haitallisia materiaalipäästöjä. Ilman lämpötilan noustessa myös ilman kuivuuden tunne ja tunkkaisuus lisääntyvät. Liian alhainen lämpötila sen sijaan aiheuttaa vetohaittoja ja kylmyyden tunnetta, joita käsitellään tarkemmin seuraavassa kappaleessa. Alhainen lämpötila heikentää myös sorminäppäryyttä, jolloin työteho toimistossa laskee. Edellä mainittuja vaikutuksia voi esiintyä jo muutaman lämpötila-asteen vaihteluissa ylös tai alaspäin. Suomalaisessa Tuottava toimisto 2005-hankkeessa esimerkiksi havaittiin, että korkeissa lämpötiloissa työteho laskee noin 2 % astetta kohden. (Sandberg, 2016, 42.)

### **3.2 Ilman liike ja veto**

Ilman liike on lämpöolojen tapaan merkittävä osa toimivan sisäilmaston luomisessa. Ilmanvaihdoilla tuotavan ilman oikea nopeus ja lämpötila ovat perusedellytys sille, että tiloissa voidaan oleskella miellyttävissä olosuhteissa, ilman vetoa. Veto johtuu siitä, kun ihmisestä siirtyy kehon tuottamaa lämpöenergiaa ilmaan. Ihmisen kynnys tunkea vetoa on yksilöllinen ja siihen vaikuttaa ihmisen lämpöaistimus eli ihmisen tunne siitä, kuinka kylmältä tai lämpimältä ilma kulloinkin tuntuu. Kuten tietyn lämpötilan sopivuus, myös lämpöaistimus on yksilöllinen eli osa ihmisistä voi tunkea vetoa myös lämpöaistimukseltaan neutraalille ihmiselle sopivassa tilassa. Nopea ilman liike ja ilman alhainen lämpötila kuitenkin tehostavat vedon tunteen havaittavuutta. Lisäksi vedon tunteen havaitsemiseen vaikuttaa aiemmin käsitellyt lämpöolot. (Sandberg, 2016, 47.)

Ilman liikkeestä johtuvaa vedon tunnetta ei yleensä tunne, kun ilman nopeus on matala ja sen lämpötila on neutraali. Ilman keskinopeuden kasvaessa kuitenkin lämmönsiirtyminen nopeutuu ja tällöin seurauksena on lisääntynyt vedon tunne. Lisäksi vedontunteeseen vaikuttaa kuinka nopeasti ilmavirtauksen nopeus vaihtelee, jolloin puhutaan turbulenssiasteesta. Myös ihmisen sen hetkinen olotila vaikuttaa vedon tunteeseen. Kylmissään olevalle ihmiselle voi pienikin kylmän ilman liike tuntua erittäin epämiellyttävälle tai toisaalta lämmin ilmavirta voi tuntua



miellyttävälle. Herkin alue vedon tunteelle on pää, erityisesti niskan alue. (Sandberg, 2016, 47-48.)

Vedon tunteen vaikutusta ihmisten tyytyväisyyteen voidaan arvioida niin sanotulla "vetokriteerillä" (DR, Draft Rating). Kun tunnetaan ilmavirran lämpötila, sen turbulenssiaste ja keskinopeus, voidaan Draft Rating laskea kaavalla 1.

$$DR = (3,7 * v * Tu + 3,14)(34 - Ti)(v - 0,05)^{0,62} \quad (1)$$

(Sandberg, 2016, 49.)

Kaavassa:

$DR$  = "vetokriteeri", tyytymättömien osuus [%]

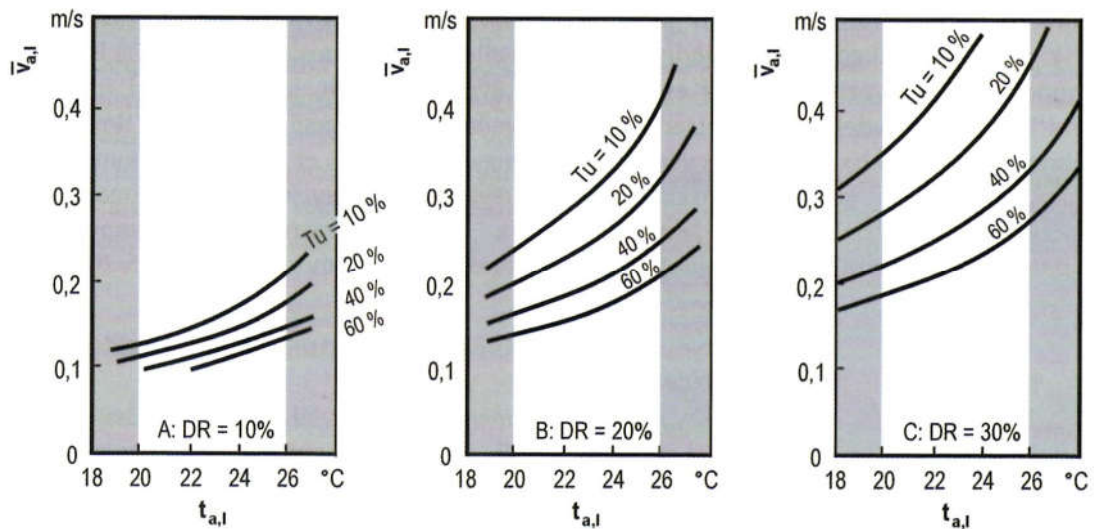
$Ti$  = ilmavirtauksen lämpötila [C°]

$Tu$  = ilmavirtauksen turbulenssiaste eli nopeuden keskihajonnan suhde keskinopeuteen [%]

$v$  = ilman keskinopeus [m/s]

Pelkkä kaava ei juuri havainnollista asiaa, mutta siitä on johdettu valmiita taulukoita (taulukko 2) erilaisille tyytymättömien osuuksille, kun on käytetty suurinta sallittua ilman keskinopeutta ja ilmavirtauksen lämpötilaa.

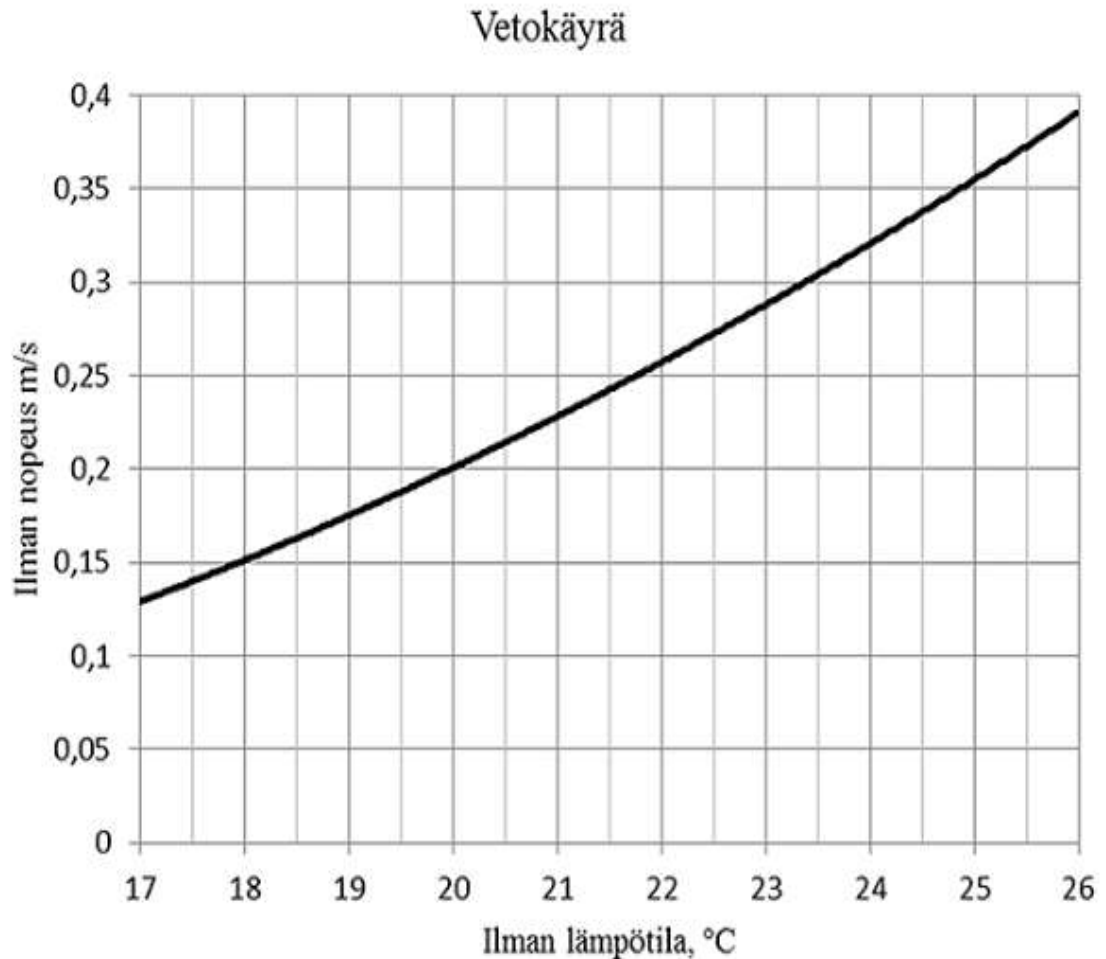
Taulukko 2. Suurin sallittu ilman keskimääräinen liikenopeus ilmavirran lämpötilan ja turbulenssiasteen funktiona eri tyytymättömien osuuksilla laskettuna. Kuva perustuu standardiin SFS-EN ISO 7730, Lämpötilojen ergonomia. (Kuva: Sandberg, 2016, 49.)



Taulukosta 2 havaitaan, että liikkuvan ilman vaikutus vedon tunteeseen on suuri. Korkeamassa lämpötilassa tyytymättömien osuus pienenee ja alhaisemmassa lämpötilassa tyytymättömien osuus kasvaa eli käytännössä kylmää ilmaa puhallettaessa ilmavirran tulisi olla paljon hitaampi, että vetohaittaa ei tulisi.

Tästä syystä, ilman liikenopeuteen eri lämpötiloissa on otettu kantaa myös lainsäädännössä ja erityisesti lakeja täsmentävissä asetuksissa. Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksessa 545/2015, "Asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista", annetaan ilman virtausnopeudelle enimmäismääriä sen eri lämpötiloissa. Pykälän 6 mukaan näitä nopeuksia ei saa ylittää. Nämä nopeudet on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksessa esitetyt ilman nopeudet eri lämpötiloissa, joita ei saa ylittää. (545/2015)



Koska vetohaitat ovat yksilöllisiä kunkin ihmisen ominaisuuksista riippuen, tulisi myös vedosta valittavien ihmisten ongelmat ratkaista yksilöllisesti. Tämä tapahtuu arvioimalla kyseisen henkilön vetoaistimukseen vaikuttavat tekijät ja arvioida mahdolliset toimenpiteet sen avulla. Huonetilan lämpötila, vaatetus, yksilöllinen tuntemus ja erityisesti ilmasuihkun suunta sekä nopeus työpisteeseen, ovat arvioitavia seikkoja. Lisäksi tulee ottaa huomioon lämpöolojen epätasaisuus, kylmien pintojen säteily ja mahdolliset konvektiovirtaukset. (Sandberg, 2016, 49.)

### 3.3 Ilman laatu

Vedon ja lämpöolojen lisäksi sisäilmaan vaikuttaa myös tiloissa hengitettävän ilman laatu. Keskeisimpänä laadun mittarina sisäilmalle on hiilidioksidi. Hiilidioksidia tulee huoneilmaan eniten ihmisen hengityksen kautta ja hiilidioksidipitoisuuden avulla voidaan arvioida ilmanvaihdon toimivuutta suhteessa siellä oleskeleviin ihmisiin. Hiilidioksidipitoisuuksien ollessa korkeita, voidaan olettaa myös muiden ihmisperäisten epäpuhtauksien, kuten metaanin ja aldehydien olevan korkealla. Hiilidioksidia on huomattavasti helpompi mitata kuin monia muita epäpuhtauksia, joten sille on annettu myös erilaisia rajoja lainsäätäjän toimesta. (Sandberg, 2016, 63.)

Aiemmin mainitussa ympäristöministeriön asetuksessa 1009/2017, määrättiin että hetkellisen hiilidioksidipitoisuuden määrä ulkoilmaan nähden on enintään  $1450 \text{ mg/m}^3$  (800 ppm) suurempi kuin ulkoilman hiilidioksidipitoisuus, kun puhutaan uudisrakennuksista (1009/2017, § 5). Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksessa 545/2015 sisäilman hiilidioksidipitoisuuden toimenpideraja katsotaan ylityneeksi, jos pitoisuus on  $2100 \text{ mg/m}^3$  (1150 ppm). Tällöin ilmanvaihtuvuus suhteessa esimerkiksi tiloissa työskentelevien ihmisten määrään ei ole riittävä ja sitä tulisi näin ollen tehostaa, jotta työskentelylle säilyisivät otolliset olosuhteet (545/2015, § 8). Sisäilmaluokituksen tavoitearvot eri hiilidioksidipitoisuuksille ovat S3-luokassa 1200 ppm, S2-luokassa 900 ppm ja S1-luokassa 750 ppm. (Sisäilmaluokitus 2008, 6.)

Myös maaperästä sisäilmaan pääsevä radon voi vaikuttaa sisäilmanlaatuun. Radon mainitaan ympäristöministeriön asetuksen 1009 pykälässä 21. Siinä mainitaan, että pääsuunnittelijan, erityissuunnittelijan ja rakennussuunnittelijan on tehtäviensä mukaisesti suunniteltava rakennuksen vaipan ja sisä rakenteiden 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. (1009/2017, § 5.)

Ohjearvoja radonin määrälle ei enää asetuksessa esitetä. Vanhassa rakentamismääräyksen osassa, D2 – Sisäilmasto ja ilmanvaihto, annettiin sisäilman radonin ohjearvoksi 200 Bq:ta/m<sup>3</sup>. Tähän pohjautuu myös Sisäilmaluokitus 2008:n luokitus, jonka mukaan S3-luokassa radonpitoisuus ei saa ylittää 200 Bq:a/m<sup>3</sup>. S1- ja S2- luokissa raja-arvona käytetään 100 Bq:ta/m<sup>3</sup>. (Sisäilmaluokitus 2008, 6.)

Lisäksi sisäilman laatuun vaikuttavat sisäilmassa leijailevat pölyt, hiukkaset ja kuidut. Korkeissa pitoisuuksissa ne saattavat aiheuttaa tilojen käyttäjille sisäilmaoireita. Pölylähteet voidaan jakaa kahteen luokkaan niiden hiukkaskoon mukaan. PM<sub>10</sub>-luokassa, eli hengitettävässä, karkeassa hiukkaskoossa esiintyviä epäpuhtauslähteitä ovat esimerkiksi erilaisista rakennusmateriaaleista olevat betoni- tai kipsipöly. Lisäksi erilaiset lämmön- tai ääneneristeistä irronneet mineraalivillakuidut ja ulkoa tullut katupöly voidaan lukea tähän luokkaan. Toinen luokka on pienhiukkaset eli PM<sub>2,5</sub>-luokka. Niiden lähteet ovat pääasiassa ulkoisia eli ne pääsevät sisäilmaan ulkoilmasta. Pienhiukkaslähteitä ovat esimerkiksi liikenne ja paikallinen puun pienpoltto. (Pitkäranta, 2016, 65.)

Ympäristöministeriön asetuksen 1009 mukaan rakennuksessa ei saa esiintyä haitallisessa määrin hiukkasmaisia epäpuhtauksia (1009/2017, § 5). Määrät on uudistetusta asetuksesta riisuttu pois, mutta vanhassa rakentamismääräyskoelman osassa D2 ne olivat PM<sub>10</sub>-luokassa 50 µg/m<sup>3</sup> ja PM<sub>2,5</sub>-luokassa 25 µg/m<sup>3</sup>, kun mittaustapana on 24 tunnin mittaus. Samat arvot on annettu myös sosiaali- ja terveysministeriön asetuksessa 545/2015 (545/2015, § 19).

Myös mikrobivauriot ja niistä sisäilmaan eri reittejä pitkin siirtyvät mikrobit vaikuttavat hengittämämme sisäilman laatuun. Niiden vaikutusta sisäilman laatuun esitellään seuraavassa luvussa.

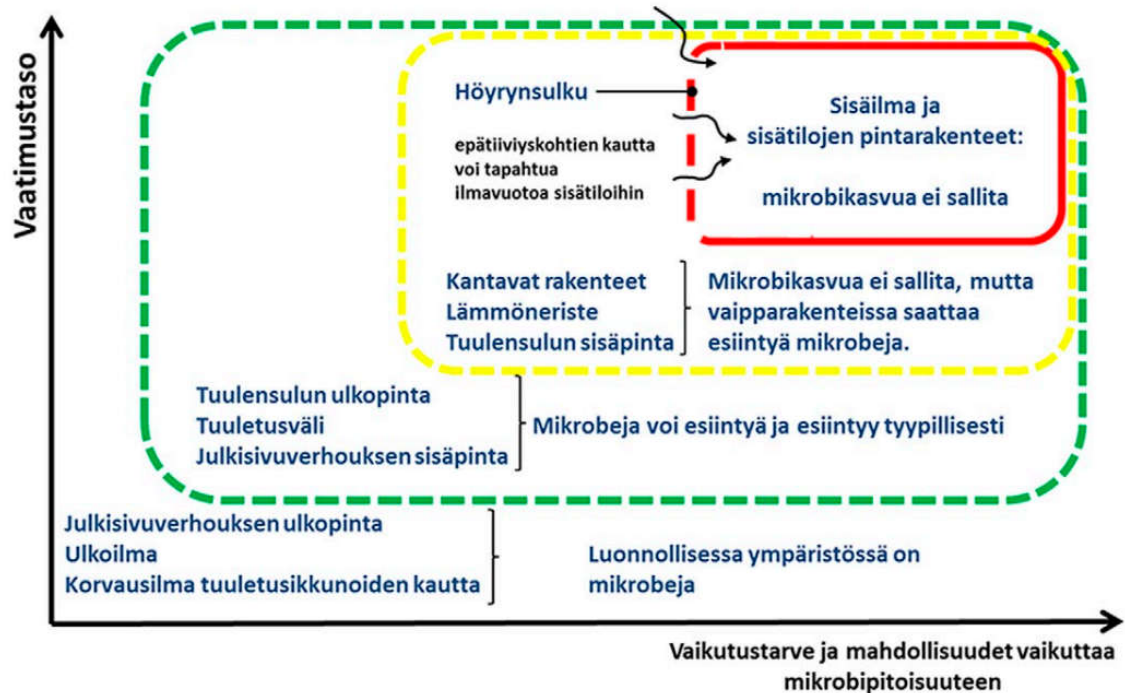
## 4 Mikrobivauriot

Mikrobit ovat osa normaalia elinympäristöä ja niitä on kaikkialla ympärillämme, varsinkin ulkona. Haitalliseksi mikrobit ja mahdolliseksi terveyshaitan aiheuttajaksi ne kuitenkin muuttuvat silloin, kun ne alkavat kasvaa rakennuksissamme. Mikrobeilla tarkoitetaan sisäilmaongelmista puhuttaessa käytännössä erilaisia home- ja hiivasieniä sekä sädesieniä. (Pitkäranta, 2016, 127.)

Mikrobit tarvitsevat kasvaakseen ennen kaikkea otolliset olosuhteet eli tarpeeksi kosteutta, lämpöä ja ravinteita. Mikrobikasvuston kasvun esteenä terveessä rakennuksessa on käytännössä aina kosteus, koska terveessä rakennuksessa mikrobit eivät ole tarpeeksi kosteassa ympäristössä kasvaakseen. Lämpöä ja ravinteita on sen sijaan aina saatavissa. Lämpötila on rakennuksessa suotuisa mikrobikasvustolle ja ravinteita jotkin mikrobit voivat saada jopa pinnoille päätyneestä pölystä. Siksi mikrobivaurio syntyy usein jonkinlaisen kosteusvaurion tai vahingon seurauksena. (Pitkäranta, 2016, 130.)

Mikrobivaurioituneet rakennusmateriaalit aiheuttavat terveyshaittoja monella eri tavalla. Mikrobivaurioituneesta materiaalista sisäilmaan voi siirtyä erilaisia hiukkasia, kuten mikrobeja, itiöitä tai rihmaston kappaleita. Monet itiöt ja mikrobit ovat kooltaan hyvin pieniä, 2-120 µm. Pieni koko mahdollistaa sen, että ne leviävät helposti ilmassa ja pääsevät sitä kautta siirtymään ihmisen limakalvoille ja hengitysteille. (Sisäilmayhdistys ry. 2008, Mikrobien terveyshaitat)

Lisäksi vaurioituneesta rakennusmateriaalista voi siirtyä huoneilmaan mikrobien aineenvaihduntatuotteita, kuten VOC-päästöjä ja toksiineja. Edellä mainitut orgaaniset yhdisteet eli Volatile Organic Compounds, VOC-yhdisteet ärsyttävät limakalvoja. Jotkin mikrobit tuottavat toksiineja, jotka ovat käytännöllisesti katsoen myrkkijä. Ne aiheuttavat erilaisia ärsytysoireita silmissä, ihossa ja hengitysteissä. (Sisäilmayhdistys ry. 2008, Mikrobien terveyshaitat)



Kuva 4. Mikrobien esiintyminen ja niiden vaikutuksen arviointi on osa mikrobikasvuston haitallisuuden arviointia. (Kuva: Pitkäranta, 2016, 147.)

Sisäilmaongelmaisessa kohteessa mikrobikasvuston määrän ja sen sijainnin arviointi on keskeistä, kun mietitään, millainen vaikutus mikrobeilla on käyttäjien kokemiin sisäilmahaittoihin (kuva 4). Lähtökohtaisesti pyritään siihen, että sisäilmaan ilmayhteydessä olevissa rakenteissa ei sallita mikrobikasvustoa. Jos mikrobikasvusto osoittautuu niin vähäiseksi, että siitä ei ole haittaa, se ei välttämättä aiheuta tarvetta korjauksille. Vaikuttavuuden arvioinnissa keskeiset seikat ja selvittävät asiat ovat

- mikrobikasvuston runsaus ja laajuus
- vaurioituneen rakenteen sijainti
- ilmayhteydet vaurioituneesta rakenteesta sisäilmaan
- rakennuksen painesuhteet
- tilojen ilmanvaihdon riittävyys
- mikrobilajiston laji ja mitä se aiheuttaa
- kasvualustana toimivan rakennusmateriaalin selvittäminen ja sen määrä

(Pitkäranta, 2016, 142.)

## 5 Paine-ero

Kun puhutaan rakennuksen painesuhteista ja siitä onko rakennus yli- vai alipaineinen, on tärkeää ymmärtää mitä paine-erot ylipäättään tarkoittavat. Paineella tarkoitetaan SI-järjestelmässä kohtisuorasti pinta-alaan vaikuttavaa voimaa eli kuinka monen newtonin voima neliömetrille kohdistuu. Sen yksikkö on pascal (Pa). Pascalin lisäksi käytetään yksikkönä myös baareja (Bar), joka vastaa 100 000 pascalia. Sisäilmastoon liittyvissä sovelluksissa mittayksikkönä on kuitenkin aina pascalit, koska talon paine-erot ovat yleensä maksimissaan joitakin kymmeniä pascaleita. (Paloniitty, 2012, 8.)

Ilmanvaihdon sovelluksissa puhutaan usein paineen lisäksi myös paine-erosta. Sillä tarkoitetaan kahden erilaisen paineen välistä eroa. Rakennuksen painesuhteella tarkoitetaan yleensä ulkoilman ja sisäilman välistä paine-eroa. Myös tilojen välisiä paine-eroja voidaan tutkia mittaamalla paine-eroa tilojen välillä. Suomessa rakennukset on vuosien saatossa rakennettu lievästi alipaineisiksi. Tällä on pyritty estämään kostean sisäilman pääsy rakennuksesta ulospäin. Alipaineisuudella pyritään siihen, että kaikki kostea sisäilma siirtyy hallitusti poistoilmakanavia pitkin ulos. Hallitsemattomasti eristeiseen seinään tai muuhun rakenteeseen ylipaineen vaikutuksesta päätyvä kostea sisäilma voi aiheuttaa kosteusongelman jäähtyessään ja samalla tiivistyen seinän sisällä vedeksi. Kosteus aiheuttaa riskin kosteusvaurion syntymiselle ja edesauttaa mikrobivaurion syntymistä. (Paloniitty, 2012, 8.)

Huomioitavaa paine-eroja tarkasteltaessa on havaita, että paine-erot eivät ole vakiot vaan ne vaihtelevat erilaisten muutosten seurauksena. Paine-ero rakennuksessa syntyy useamman eri tekijän yhteisvaikutuksesta:

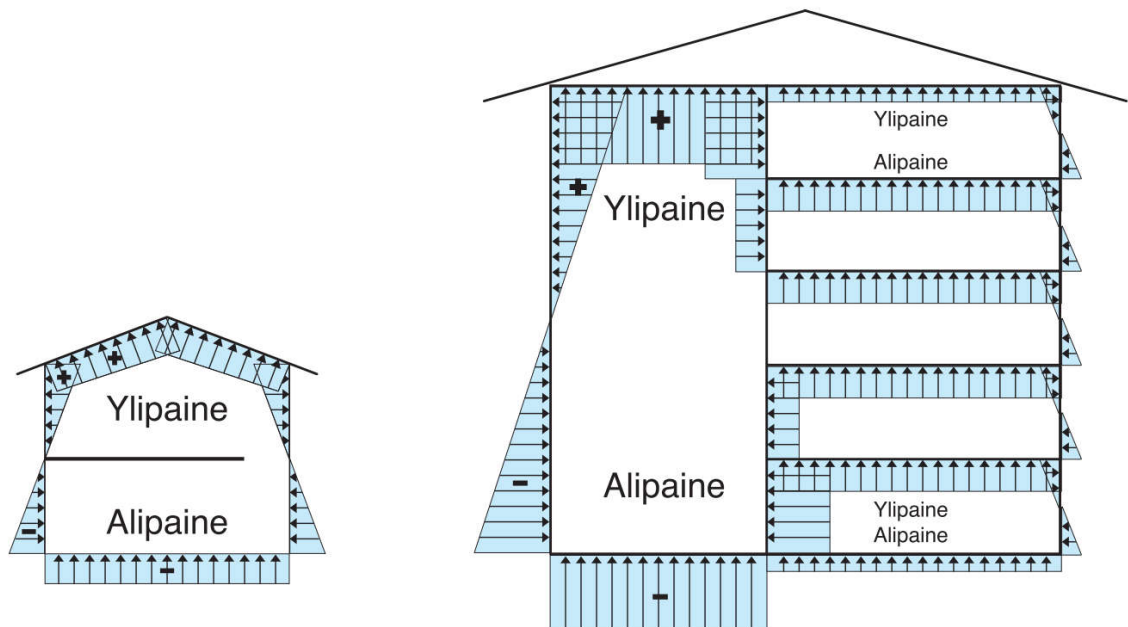
- Savupiippuvaikutuksesta
- Tuulesta
- Rakennuksen ilmatiiveydestä
- Ilmanvaihtojärjestelmästä

(Paloniitty, 2012, 9-13.)



## 5.1 Savupiippuvaikutus

Savupiippuvaikutuksella tarkoitetaan, kun tiheydeltään pienempi kuuma ilma nousee rakennuksen yläosiin. Samalla kylmempi ja tiheämpi ilma laskeutuu rakennuksen alaosiin. Rakennukseen syntyy näin paine-ero ulkoilmaan nähden, joka vaihtelee rakennuksen eri korkeuksilla (kuva 5). Rakennuksen alaosissa vaikuttaa sisäilman ja ulkoilman välillä tällöin alipaine ja yläosissa ylipaine. Tästä johtuu, että ulkoilma pyrkii paine-eron vaikutuksesta virtaamaan rakennukseen sisään sen alaosista ja samalla sisäilma pyrkii virtaamaan ulospäin rakennuksen yläosista. (Paloniitty, 2012, 9.)



Kuva 5. Savupiippuvaikutus johtuu lämpötilaeroista rakennuksen ulkovaipan yli. Painesuhteiden neutraaliakseli sijaitsee ilmayhteydessä olevien tilojen keskikohdassa, jos vaipan ilmapuotokohdat ovat tasaisesti jakautuneet. (Kuva: Kattoliitto ry, 2013, 10.)

Savupiippuilmiö voi aiheuttaa ongelmia rakennuksen toiminnalle varsinkin silloin, jos rakennuksen tiiveys on puutteellinen. Tiiveyspuutteet aiheuttavat sen, että savupiippuilmiöstä johtuvia vuotoilmavirtoja ei voida hallita luotettavasti. Toisaalta tätä ilmiötä voidaan hyödyntää esimerkiksi painovoimaisessa ilmanvaihdossa. Kylmä ja puhdas tuloilma siirtyy ulkoa sisälle tuloilmaventtiileistä ja lämmin sisäilma siirtyy ulos poistoilmaventtiileistä. Mitä korkeampi rakennus ja siinä oleva

yhtenäinen ilmatila on, sitä korkeampi paine-ero rakennuksen ylä- ja alaosan välillä vallitsee. Lisäksi savupiippuilmioon vaikuttaa paljon myös ulkoilman lämpötila. Mitä kylmempi ulkoilman lämpötila on, sitä voimakkaammin savupiippuilmio vaikuttaa. (Paloniitty, 2012, 9.)

Esimerkin muodossa paine-eroa voidaan tarkastella ilmanpaineiden tiheyserojen avulla kaavalla 2.

$$\Delta p(h) = \left( \frac{T_{sisä} - T_{ulko}}{T_{ulko}} \right) \rho_{sisä} * g * h \quad (2)$$

(Sandberg, 2016, 114.)

Kaavassa:

$\Delta p(h)$  = tiheyseroista syntyvä paine-ero [Pa]

$\rho$  = ilman tiheys [kg/m<sup>3</sup>]

$g$  = maan vetovoima [m/s], 9,81 m/s<sup>2</sup>

$h$  = tarkasteltava korkeusero

$T$  = ilman absoluuttinen lämpötila [K]

Esimerkkilasku: Kaksikerroksisessa pientalossa ulkoilma-aukon ja jäteilma-aukon korkeusero on 4 metriä. Talvella ulkolämpötila on - 15° C:ta. Sisällä lämpötila on + 21° C:ta. Sisäilman tiheys on 1,20 kg/m<sup>3</sup> Paine-ero aukkojen välillä on:

$$\Delta p(h) = \left( \frac{294,15 \text{ K} - 258,15 \text{ K}}{258,15 \text{ K}} \right) * 1,20 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 4 \text{ m} \approx 6,6 \text{ pascalia}$$

Kesällä ulkoilman lämpötila on yöllä + 5° C:ta. Paine-ero on tällöin:

$$\Delta p(h) = \left( \frac{294,15 \text{ K} - 278,15 \text{ K}}{278,15 \text{ K}} \right) * 1,20 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 4 \text{ m} \approx 2,7 \text{ pascalia}$$

Päivällä lämpötila nousee edelleen + 18° C:en. Paine-ero on tällöin:

$$\Delta p(h) = \left( \frac{294,15 \text{ K} - 291,15 \text{ K}}{291,15 \text{ K}} \right) * 1,20 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 4 \text{ m} \approx 0.50 \text{ pascalia}$$

Paine-eroa voidaan kuvata myös etäisyydellä rakennuksen painesuhteiden neutraaliakselista kaavalla 3.

$$\Delta p = 0,043 * \Delta t * h \quad (3)$$

(Björkholtz 1997, 77.)

Kaavassa:

$\Delta p$  = paine-ero [Pa]

$\Delta t$  = lämpötila ero ulkoilman ja sisäilman välillä (°C)

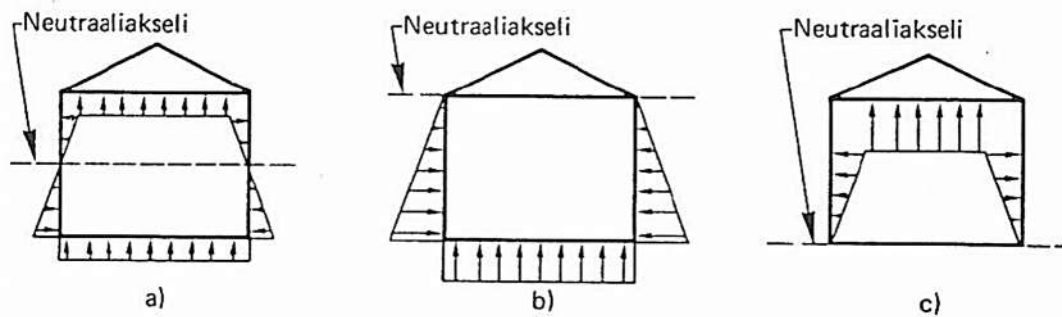
$h$  = etäisyys neutraaliakselista

Esimerkkilasku: Kolmekerroksisessa talon porraskäytävässä neutraaliakseli sijoittuu porrastilan keskikohtalle. Porraskäytävä on 9 metriä korkea. Ulkona on – 20 ° C:ta pakkasta ja sisällä + 20 ° C:ta lämmintä. Yläpohjan kohdalla paine-ero ulkoilmaan nähden on:

$$\Delta p = 0,043 * (20 \text{ °C} + 20 \text{ °C}) * \frac{9}{2} \text{ m} = 7.74 \text{ pascalia}$$

Alapohjaan etäisyys on sama, mutta negatiivinen, jolloin:

$$\Delta p = 0,043 * (20 \text{ °C} + 20 \text{ °C}) * \frac{-9}{2} \text{ m} = -7.74 \text{ pascalia}$$



Kuva 6. Neutraaliakseli ei aina sijaitse keskellä rakennusta.  
(Kuva: Björkholtz 1997, 77.)

Neutraaliakseli ei aina sijaitse rakennuksen keskikohdassa vaan siihen vaikuttaa eri vaipan osien tiiveys. Kuvassa 6 on esitetty neutraaliakselin sijainti kolmella eri tavalla:

- A. Vaipan epätiiveys on jakautunut tasaisesti sen eri osien välillä
- B. Epätiivit rakenteet ovat keskittyneet rakennuksen yläosiin
- C. Epätiivit rakenteet sijaitsevat rakennuksen alaosissa

Savupiippuvaikutuksella on merkittävä vaikutus kondenssiriskin syntymiseen rakenteessa. Kondenssilla tarkoitetaan tässä yhteydessä sitä, kun rakenteen epätiiviestä kohdista pääsee virtaamaan lämmintä sisäilmaa ulospäin ja ilman sisältämä vesi tiivistyy jäähtyessään vedeksi rakenteessa. Tästä voi seurata kosteusvaurio rakenteeseen ja sen seurauksena mikrobivaurio. Savupiippuvaikutuksella on yhdessä epätiivien rakenteiden kanssa merkittävä rooli tässä riskissä, koska savupiippuvaikutuksen vaikutus kasvaa kovilla pakkasilla, jolloin rakennuksen yläosiin syntyy ylipaineen vaikutuksesta suurempi ilmavirtaus ulkoilmaan päin. Pakkasen vaikutuksesta rakenteet ovat kylmempiä, joka vielä lisää kondenssin vaaraa.

(Björkholtz 1997, 77.)

## 5.2 Tuuli

Savupiippuvaikutuksen lisäksi rakennuksen paine-eroon vaikuttaa voimakkaasti tuuli. Tuulen vaikutus ja sen voimakkuus riippuvat luonnollisesti paljon sen nopeudesta. Nopeuden lisäksi rakennuksen muodot, korkeus ja sijainti vaikuttavat tuulen vaikutukseen. Korkealla kukkulalla sijaitsevaan rakennukseen kohdistuu erilaiset tuuliolot, kuin suojaisassa metsässä sijaitsevaan rakennukseen.

Bernoulin yhtälöllä (kaava 4) pystytään arvioimaan tuulen aiheuttamaa paine-eroa yleisellä tasolla.

$$\rho = c * \frac{1}{2} * \rho * v^2 \quad (4)$$

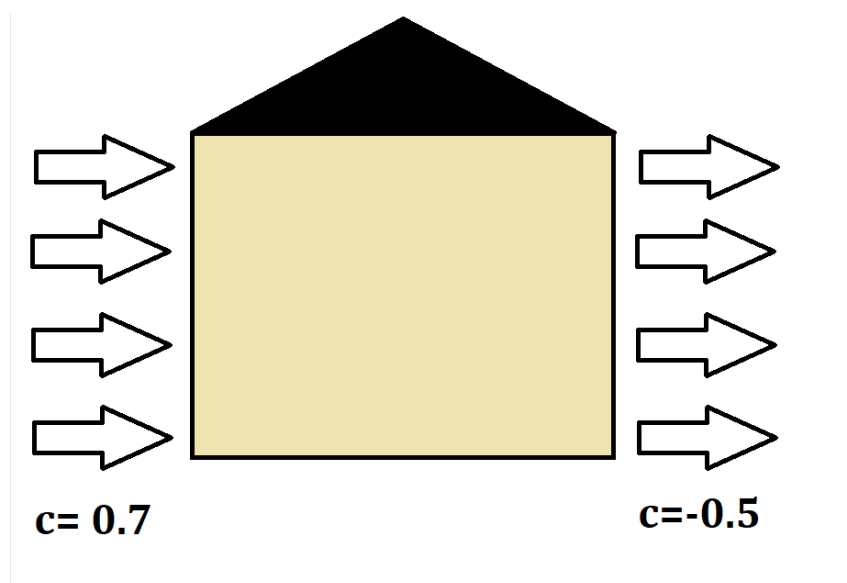
(Paloniitty, 2012, 11.)

Kaavassa:

$c$  = rakennuksen muodosta ja tuulen suunnasta riippuva vakio eli muotokerroin

$\rho$  = ulkoilman tiheys [ $\text{kg/m}^3$ ]

$v$  = tuulen nopeus [m/s]



Kuva 7. Hyvin pelkistetyn rakennuksen muotokertoimet tuulensuunnasta riippuen. (Muotokertoimien lähde: Paloniitty, 2012, 11.)

Esimerkki:

Ulkoilman tiheyden ollessa  $1,3 \text{ kg/m}^3$  rakennukseen puhaltaa  $5 \text{ m/s}$  nopeudella tuuli. Muotokertoimet  $0,7$  tuulen puoleiselle seinälle ja  $-0,5$  tuulen vastaiselle seinälle saadaan kuvasta 7.

Tuulenpuoleiseen seinään tuuli vaikuttaa:

$$\rho = 0,7 * \frac{1}{2} * 1,3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 5^2 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 11,4 \text{ pascalin paine}$$

Tuulenpuoleisen seinän vastakkaisella puolella vaikuttaa:

$$\rho = -0,5 * \frac{1}{2} * 1,3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 5^2 \frac{\text{m}}{\text{s}} = -8,1 \text{ pascalin paine}$$

Yksinkertaisesta laskelmasta voidaan havaita, että tuulenpuoleisella seinällä vaikuttaa ylipaine ja toisella puolella alipaine. Todellisuudessa tuulenvaikutuksen arviointi on esimerkkiä huomattavasti monimutkaisempaa, johtuen esimerkiksi tuulen puuskittaisuudesta, pyörteilystä, suunnasta ja rakennuksen monimutkaisesta muodosta. (Paloniitty, 2012, 10-11.)

### 5.3 Ilmanvaihtojärjestelmä

Ilmanvaihtojärjestelmä vaikuttaa rakennuksen painesuhteisiin tiloihin tuotavien ilmapurkauksien avulla. Tiloihin tuodaan puhdasta, uutta, sisäilmaa ja likaista ilmaa vietään tiloista pois poistoilmana. Tällöin olosuhteet ihmisen oleskelulle tai työskentelylle pysyvät suotuisina eli sisäilma on hajutonta, turvallista, terveellistä ja siinä ei saa olla haitallisessa määrin epäpuhtauksia. Onkin tärkeää huolehtia ilmanvaihdon toimivuudesta jo silloin, kun kohdetta suunnitellaan ja rakennetaan sekä myös silloin, kun rakennuksen ilmanvaihtolaitteistot vaativat huoltoa. Rakennusaikaisella valvonnalla ja huolellisella suunnittelulla luodaan edellytykset toimivalle ilmanvaihdolle, mutta ilmanvaihtolaitteistoista tulee pitää huolta myös niiden elinkaaren aikana esimerkiksi kanavien nuohouksella ja suodattimien vaihdolla. (Seppänen, 2007, 163.)

Hyvän ilmanvaihdon ominaisuuksia ovat mm:

- Ilma tuodaan puhtaisiin tiloihin ja poistetaan likaisista. Tämä tarkoittaa sitä, että esimerkiksi asuinhuoneistossa puhdas ilma tuodaan makuuhuoneeseen ja poisto tapahtuu WC-tiloista.
- Tuloilma liikkuu tilassa niin että se sekoittuu huoneilmaan. Tästä syystä esimerkiksi tulo- ja poistoilmalaitteita ei tulisi sijoittaa vierekkäin.
- Huoneilma on lievästi alipaineinen eli käytännössä poistoilmavirta rakennuksesta on hieman suurempi kuin tuloilmavirta. Tällä estetään kosteuden siirtyminen rakenteisiin.
- Ilmanvaihdon tulee olla myöskin helposti säädettävä, jotta alipaineisuus voidaan luotettavasti säätää.
- Ilmanvaihdon tulee olla energiatehokasta.
- Äänettömyys, vedottomuus ja hajuttomuus. Ideaalitulanteessa ilmanvaihto toimii niin hyvin, että käyttäjä ei kiinnitä siihen mitään huomiota.

(Seppänen, 2007, 165.)

Aikaisemmat paine-eroon vaikuttavat tekijät ovat olleet olosuhteisiin liittyviä. Ilmanvaihtojärjestelmä on kuitenkin kaikkein tärkein osa paine-eroa tutkittaessa, koska se on sellainen asia, johon voidaan rakennuksen suunnittelussa vaikuttaa eniten. Kuten aikaisemmin todettiin, Suomessa ilmanvaihtojärjestelmät on vuosien saatossa pyritty tekemään aina alipaineisiksi kosteusongelmien välttämiseksi. Alipaineisuuden määrä on ulkoilmaan nähden yleensä 0-10 pascalia käytönaikaisessa tilanteessa, joka toteutetaan niin että ilmanvaihtojärjestelmä säädetään poistamaan aavistuksen enemmän ilmaa kuin mitä tiloihin tuodaan. Rakennuksen tiiveys on edellytys alipaineen saavuttamiselle ja ilmanvaihdon toimivuudelle. (Paloniitty, 2012, 12.)

Nykyisin käytetään yleensä koneellista tulo- ja poistoilmanvaihtoa, jolloin painesuhteiden hallinta onnistuu ilmanvaihdon avulla luotettavasti. Aikaisemmin käytettiin painovoimasta ilmanvaihtoa, jonka toiminta perustui savupiippuilmioon ja näin ollen oli hyvin altis erilaisille säätilan muutoksille. Myöhemmin siirryttiin käyttämään koneellista poistoilmanvaihtoa, jonka ongelmana oli poistoilmanvaihdon vaatiman korvausilman saaminen tiloihin hallitusti ja myös liiallinen alipaineisuus. Sosiaali- ja terveysministeriön Asumisterveysohjeen (2003), soveltamisopissa Asumisterveysopas (Aurola R. ja Välikylä T., 2009) on esitetty tavoitteellisia arvoja eri ilmanvaihtojärjestelmien painesuhteille (taulukko 4).

Taulukko 4. Tavoitteellisia paine-eroja eri ilmanvaihtotyypeillä varustetuissa rakennuksissa (Asumisterveysopas 2009)

| Ilmanvaihtotapa  | Paine-ero   | Huomautuksia                                    |
|--|---|---|
| <b>Painovoimainen ilmanvaihto</b>                                  | 0... -5 Pa ulkoilmaan<br>± 0 Pa porraskäytävään   | Paine-erot vaihtelevat voimakkaasti sään mukaan |
| <b>Koneellinen poistoilmanvaihto</b>                               | -5... -20 Pa ulkoilmaan<br>± 0 Pa porraskäytävään | Paine-erot vaihtelevat sään mukaan              |
| <b>Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto, ilmanvaihtolämmitys</b> | 0... -2 Pa ulkoilmaan<br>± 0 Pa porraskäytävään   | Paine-erot vaihtelevat sään mukaan              |



## 5.4 Rakennuksen ilmatiiveys

Rakennuksen ilmatiiveydellä tarkoitetaan käytännössä sitä, kuinka hyvin rakennuksen vaippa vastustaa ilman liikettä. Rakennuksen vaipalla tarkoitetaan rakennuksen osia, jotka erottavat sen kylmästä ulkoilmasta. Vaippaan kuuluvat yläpohja, alapohja ja ulkoseinät. Ilma voi virrata näiden rakenneosien läpi joko suoraan tai niissä olevien rakojen tai reikien läpi. Painesuhteisiin ilmatiiveydellä on ilmanvaihdon kanssa tärkeä osa, koska huonosti tiivistetyssä rakennuksessa ilma tulee sisään tuloilmakanavien sijaan näistä rakennuksen epätiiviestä osista.

Hyvällä ilmatiiveydellä varustetussa rakennuksessa lämpö ei karkaa huoneti-loista ulos, eikä myöskään kylmä ulkoilma tule sisään. Se vaikuttaa siis energia-tehokkuuteen. Ilmatiiveyden varmistamiseksi uudisrakennukset varustetaan tiiviillä rakennekerroksella rakennuksen sisäseinän läheisyydessä. Yleensä tämä rakennekerros on muovikalvo, joka toimii samalla myös höyrynsulkuna.

Energiatehokkuuden ja kosteudenhallinnan lisäksi laadukkaalla ilmatiiveydellä saavutetaan hyvä viihtyvyys rakennuksessa. Vaipan hyvä ilmanpitävyys parantaa sisäilman laatua, koska epäpuhdas ulkoilma ei pääse suoraan rakenteen läpi sisään ja tuo sieltä mukanaan mahdollisia epäpuhtauksia. Talvella vuotokohtien läpi tuleva ilma on myös kylmempää ja voi aiheuttaa esimerkiksi vetohaittoja. (Paloniitty, 2012, 8. ja 20.)

Epätiivien rakenteiden kautta siirtyviä ilmavirtoja voidaan arvioida esimerkiksi kaavalla 5.

$$Q = 0,8 * A * \sqrt{\Delta p} \quad (5)$$

(Paloniitty, 2012, 20.)

Kaavassa:

$Q$  = ilmavirtauksen määrä [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

$A$  = aukon tai reiän pinta-ala [ $\text{m}^2$ ]

$\Delta p$  = paine-ero rakenneosan yli [Pa]

Kaava 5. soveltuu kuvaamaan ilmavirtausta ohuiden rakennekerrosten läpi, jolloin vuotokohta on pistemäinen ja ilmavirtaus on turbulenttinen.

Esimerkki:

Höyrynsulkumuovissa on 15 kappaletta 10 millimetriä leveitä ja 10 millimetriä pitkiä aukkoja, jonka läpi tapahtuu hallitsematonta ilmavuotoa. Paine-ero rakennusosan yli on 10 pascalia.

$$Q = 0,8 * (15 * (0,01m)^2) * \sqrt{10 Pa} = 0,003795 m^3/s$$

Muutetaan tulos vielä litroihin sekunnissa, jolloin vastaukseksi saadaan 3,8 dm<sup>3</sup>/s eli 3,8 l/s. (Paloniitty, 2012, 7.)

Tuloksesta havaitaan, että varsin pienien rakojen läpi virtaa huomattava ilmavirta, jolla voi olla vaikutusta esimerkiksi energiatehokkuuteen ja sisäilman laatuun varsinkin silloin, jos rakenteessa on todettu mikrobivaurioita.

Uusien rakennusten vuotoilmamäärät tarkistetaan tekemällä rakennuksen vaipalle tiiveysmittaus, jolla selvitetään koko rakennuksen ilmanvuotoluku eli q50-luku. Ympäristöministeriön asetus 1010/2017 – ”Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta” määrää että uuden rakennuksen ilmanvuotoluvun on oltava enintään 4,0 m<sup>3</sup>:a / (h m<sup>2</sup>). Tämän ilmanvuotoluvun voi ylittää ainoastaan siinä tapauksessa, jos rakennuksen rakenteelliset ratkaisut sitä edellyttävät. Tämä vuotoilmamäärää käytetään myös rakennuksen energiankulutuksen laskennassa, ellei rakennuksen ilmanpitävyyttä ole varmistettu tiiveysmittauksella. (1010/2017, § 27 ja § 17.)

Tosiallinen rakennuksen ilmanvuotoluku on kuitenkin huomattavasti tätä pienempi, koska energiatehokkuuden vaatimustasoa ei muuten saavuteta. Pykälässä 33 mainitaan että energiatehokkuudelle asetetut vaatimukset rakenteelliselle energiatehokkuudelle voidaan osoittaa, kun rakennuksen ilmavuotoluku on  $0,6 \text{ m}^3\text{:ta} / (\text{h m}^2)$  ja muut siinä mainitut ehdot täyttyvät. (1010/2017, § 33)

Käytännössä tiiviysmittaus toteutetaan paine-eromenetelmällä niin, että tutkittavaan tilaan aiheutetaan alipaine ulkoilmaan nähden. Alipaine tuotetaan mittauksen ajaksi tilaan siihen tarkoitukseen kalibroidulla puhaltimella. Paine-eron määrä on mittauksessa 50 pascalin tasossa. Paine-eron lisäksi tulee mitata myös puhaltimen tuottamaa ilmavirtaa, joka vaaditaan paine-eron tuottamiseen. Ilmavirran, paine-eron ja rakennuksen vaipan sisätilavuuden avulla ilmanvuotoluku voidaan laskea luotettavasti. (Paloniitty, 2012, 29.)

## 6 Suomalaiset terveyskeskukset

Suomalaiset terveyskeskukset ja terveydenhuolto ovat tällä hetkellä murroksessa, kun Suomessa mietitään, miten sosiaali- ja terveydenhuoltopalvelut tulevaisuudessa järjestellään. Osa nykyisin käytetyistä palvelupisteistä voi jäädä uudistuksen jälkeen tarpeettomiksi tai niiden käyttötarkoitus voi oleellisesti muuttua. Koska opinnäytetyön tutkimuskohteena on terveysasema, on hyvä käsitellä tässä yhteydessä myös, miten terveyskeskuksia on Suomessa yleensä rakennettu. Näin esimerkkikohteessa tehdyistä mittauksista voi olla apua myös muihin yliopistushankkeisiin, erityisesti terveyskeskuksissa.

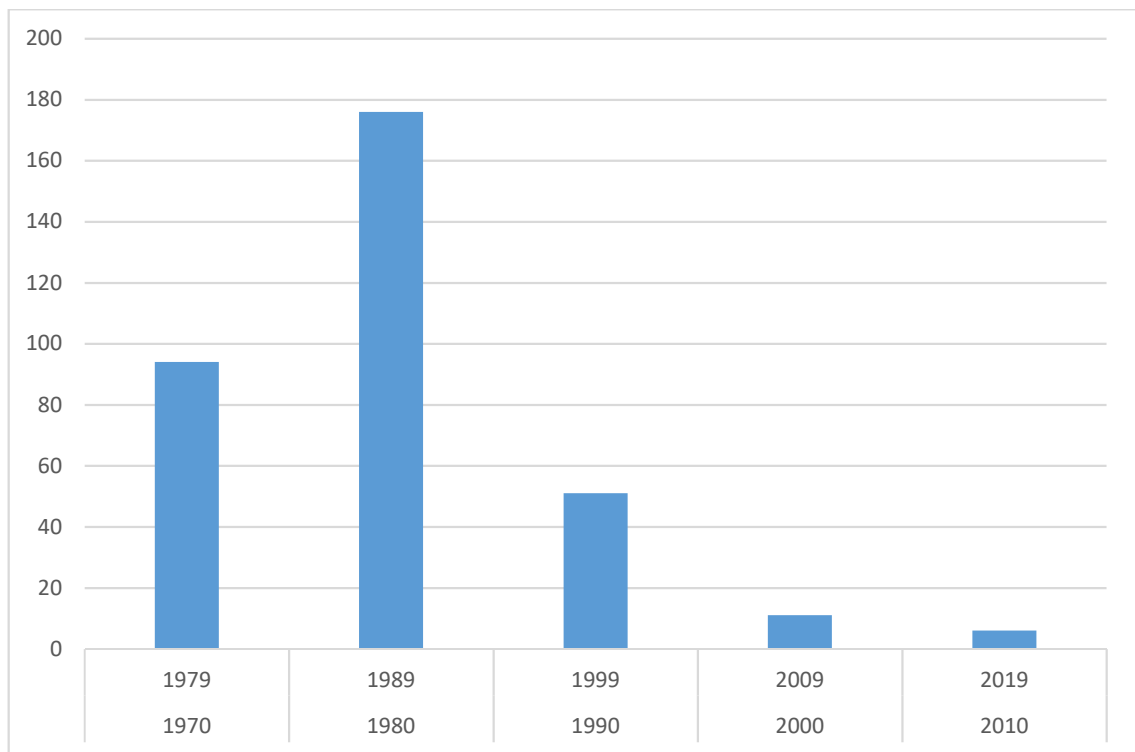
Apuna tämän vertailun tekemiseen käytin arkkitehti Sanna Ihatsun, Terveyttä kaikille – terveyskeskukset 1970-luvulta 1990-luvulle (2014) – tutkimusjulkaisua, joka on osa Museoviraston terveydenhuoltorakentamiseen keskittyvää TEHO-hanketta. Julkaisun lopussa olevat Väestökeskuksen rakennus- ja huonerekisterin (RHR) aineistot antavat vertailuaineistoa, jonka pohjalta vertailin terveyskeskusten rakennusvuosia, rakennustapaa, kerroslukua ja rakennusmateriaalia.

Huomattava on, että aineisto on vuodelta 2014, joten osa tiedoista voi olla muuttunut, esimerkiksi uusia terveyskeskuksia on rakennettu vanhojen tilalle. Terveyskeskusrakennuksia on aineistossa kuitenkin 338 kappaletta, joten muutamat epätarkkuudet eivät juuri vaikuta kokonaisuuden tarkasteluun ja antavat mahdollisuuden tehdä vertailua esimerkkikohteen ja muissa terveyskeskuksissa käytettyjen ratkaisujen välillä. Lisäksi esimerkiksi kerrosluku ei välttämättä pidä täysin paikkaansa kaikissa rakennuksissa, koska esimerkiksi yksikerroksisen rakennuksen katolla voi olla pieni tila esimerkiksi ilmanvaihtokonehuoneelle, jolloin aineistossa rakennus on joissain tällaisissa tapauksissa merkitty kaksikerroksiseksi. (Ihatsu, 2014, 7.)

## 6.1 Rakennusvuosi

Suomalaiset terveyskeskukset on rakennettu pääasiassa 1970-1980-lukujen aikana, kuten voimme havaita taulukosta 5. Vuonna 1972 voimaan tullut kansanterveyslaki siirsi vastuuta terveydenhuollosta yhä enemmän kunnille tai kuntaliitoille. Tämä johti siihen, että pienissäkin kunnissa jouduttiin miettimään terveydenhuollon järjestämistä ja rakentamaan kuntaan tai kuntaliiton alueelle terveyskeskus. Erityisesti tämä kosketti harvaan asuttuja, Pohjois- ja Itä-Suomen alueita, joiden terveyspalveluiden järjestämisessä oli puutteita ja niiden saataavuus ylipäätään oli heikkoa. (Ihatsu, 2014, 10-11.)

Taulukko 5. Terveyskeskusten rakentamisvuodet

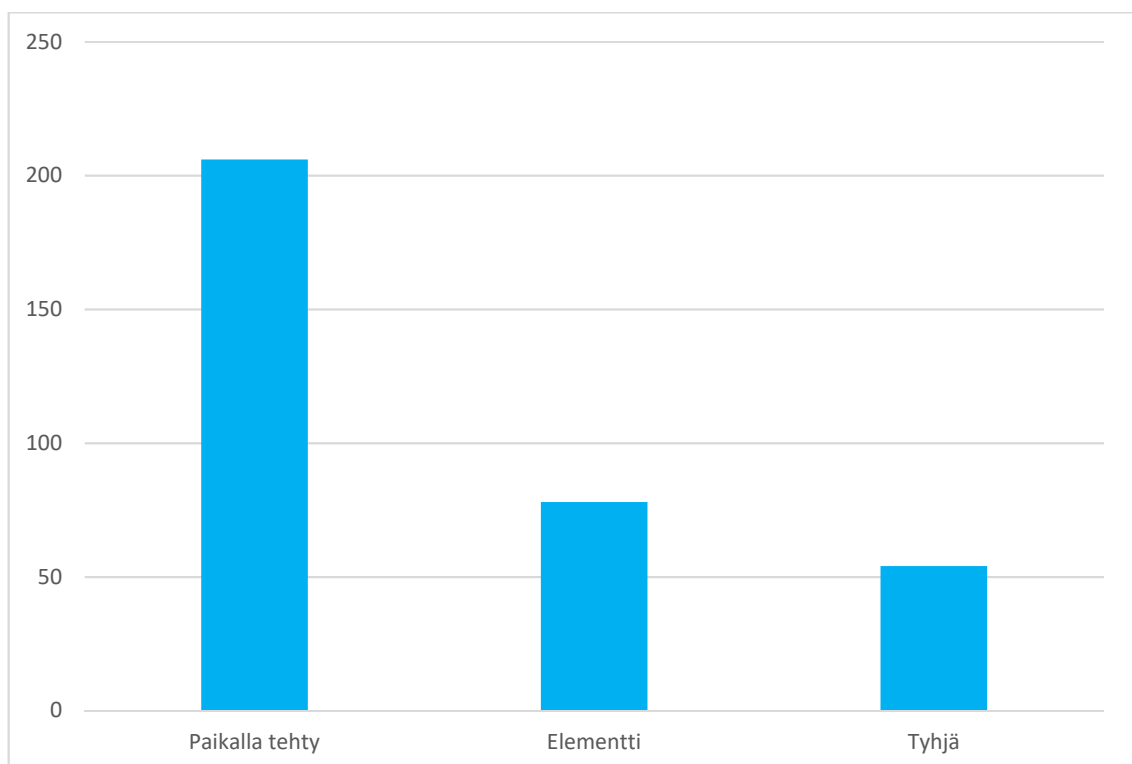


## 6.2 Rakennustapa ja materiaalit

Paikalla tehdyt kantavat rakenteet ovat yleisimmin käytetty terveyskeskusten rakennetyyppi (taulukko 6). Terveyskeskusrakentamisen kertaluontoisuus ja niiden yksilöllisyys selittävät paikalla tehtyjen kantavien rakenteiden, kuten paikallavalojen, puisten runkojen ja tiilimuurauksien suuren määrän. 1970-luvulla paikalla rakentaminen oli erityisen yleistä, koska paikalla rakentamista käytettiin muutenkin paljon. (Ihatsu, 2014, 33.)

Tyhjä tarkoittaa tässä ja seuraavissa kaavioissa sitä, että tietoa ei aineistossa ollut, joten se tulee ottaa huomioon tilastoa tutkittaessa.

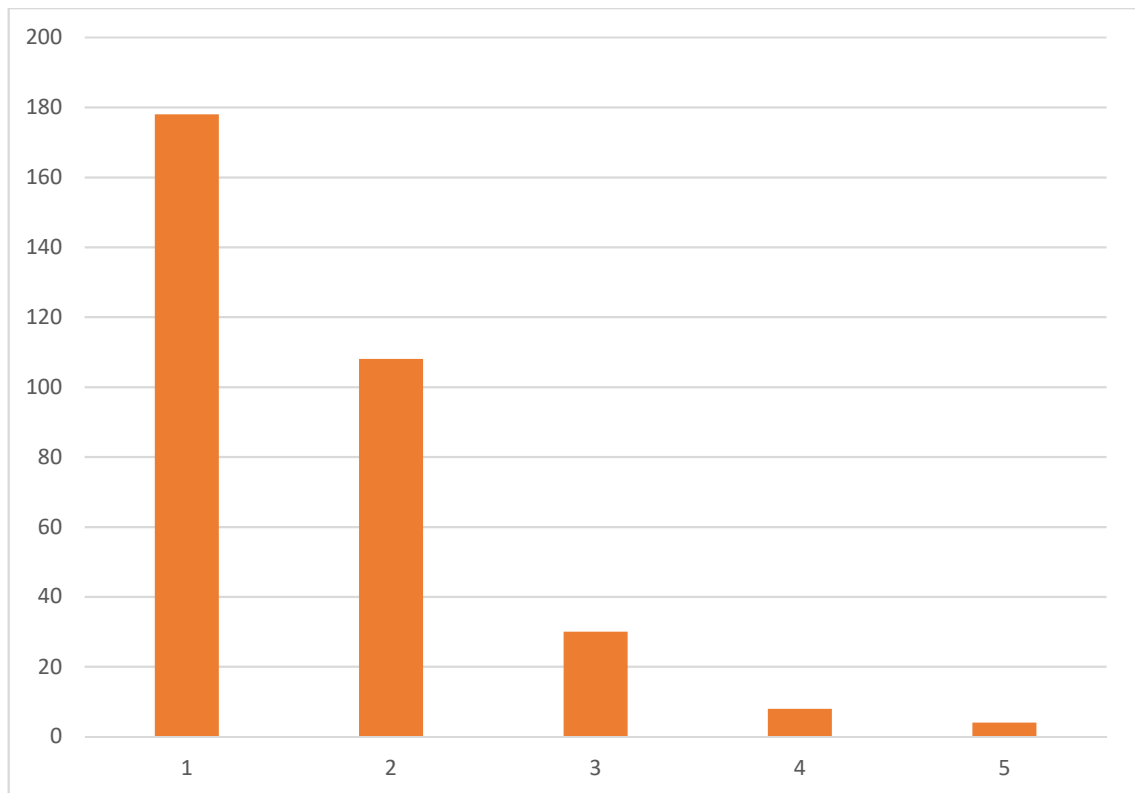
Taulukko 6. Terveyskeskusien kantavien rakenteiden rakennustapa



Valtaosa terveyskeskuksista on aineiston perusteella yksikerroksisia (taulukko 7), mutta myös korkeampia terveyskeskuksia on rakennettu, joskin epätarkkuudet kerrosten merkinnöissä voivat vaikuttaa tilaston tulkintaan.

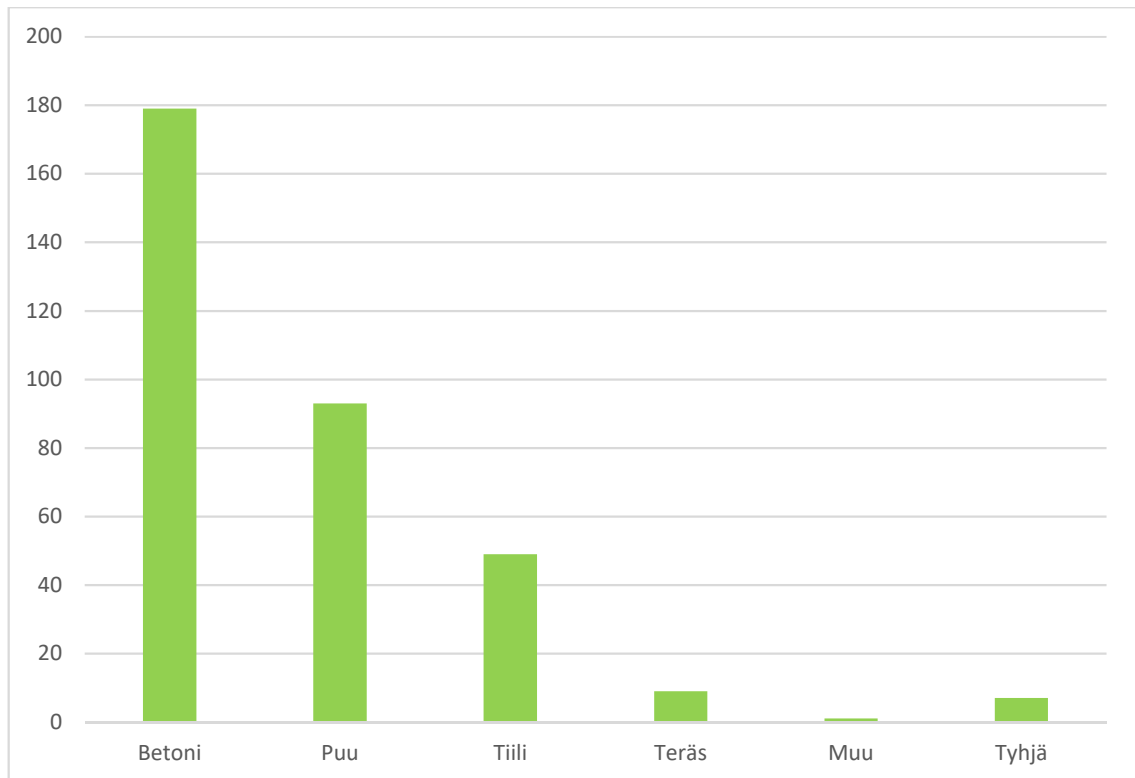
Yksikerroksisten terveyskeskusten suosiota selittää syvärunkoisen rakentamisen suosion nousu, joka on seurausta teräsbetonirakentamisen, koneellisen ilmanvaihdon ja valaistusjärjestelmien kehittymisestä. (Ihatsu, 2014, 38.)

Taulukko 7. Kerroksien lukumäärä



Terveyskeskusten pääasiallisena rakennusmateriaalina eli kantavissa rakenteissa on käytetty pääasiassa betonia (taulukko 8). Myös puurakenteet ovat olleet menneinä vuosikymmeninä yleisiä terveyskeskusrakennuksissa, koska ne ovat olleet edullisia ja tyypillisen terveyskeskusrakennuksen on saanut rakentaa nykyisen E30-paloluokituksen mukaisilla kantavilla rakenteilla. Tämä tarkoittaa, että terveyskeskuksen kantavat seinärakenteet on voitu tehdä myös puusta varsin joustavasti. (Ihatsu, 2014, 33-34.)

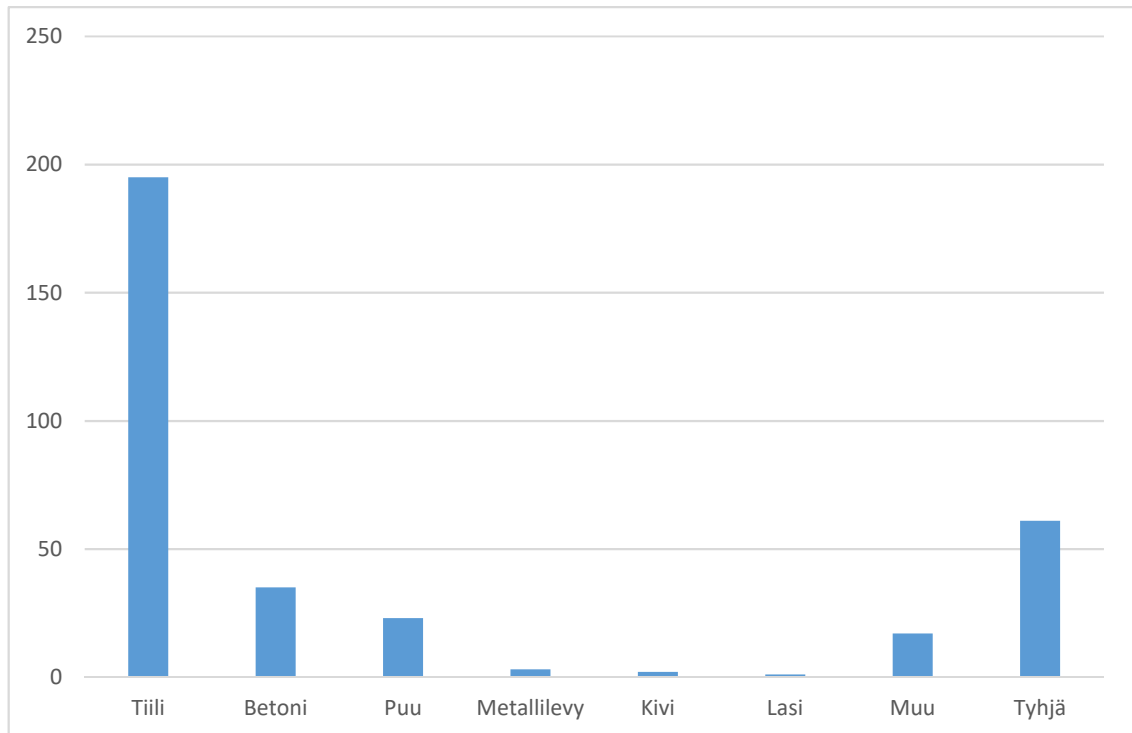
Taulukko 8. Kantavien rakenteiden rakennusmateriaali





Tiili on ylivoimaisesti eniten käytetty julkisivumateriaali (taulukko 9). Tiileksi luotellaan aineistossa esimerkiksi poltettu savitiili, kalkki-hiekka-tiili ja betonielemeenttiin tehty tiililaattapinta. Betoni ja puu ovat myös käytettyjä julkisivumateriaaleja, mutta jäävät selvästi jälkeen tiilelle. (Ihatsu, 2014, 34.)

Taulukko 9. Terveyskeskusten julkisivuissa käytetyt rakennusmateriaalit.



Kun tarkastellaan koko aineistoa, havaitaan että kaikista tyypillisin terveyskeskusrakennus on:

- Kantavat rakenteet betonisina, joko elementteinä tai paikallaan valuna
- Julkisivuverhoilu tiilestä
- Yksi tai kaksi kerrosta
- Rakennus ajankohtana 1980 – luku

Julkisivultaan tiilisiä rakennuksia, joiden kantavat rakenteet on tehty betonista, on aineistossa yhteensä 104 kappaletta, joka edustaa noin 31 prosenttia koko aineistosta. Tämä on selkeästi suurin ryhmä.

Tiiliverhoiltuja, mutta puurakenteisia terveyskeskuksia on aineistossa 51 kpl (n. 15 %). Tiiliverhoiltuja ja kantavilta rakenteiltaan tiilisiä rakennuksia oli 31 kpl (n. 9 %). Betonisia niin julkisivultaan, kuin kantavilta rakenteiltaan on 32 kpl (n. 9.5 %). Viimeinen selkeästi havaittava rakennustapa on kokonaan puusta rakennettu terveyskeskus, joita oli aineistossa 17 kpl (n. 5 %).

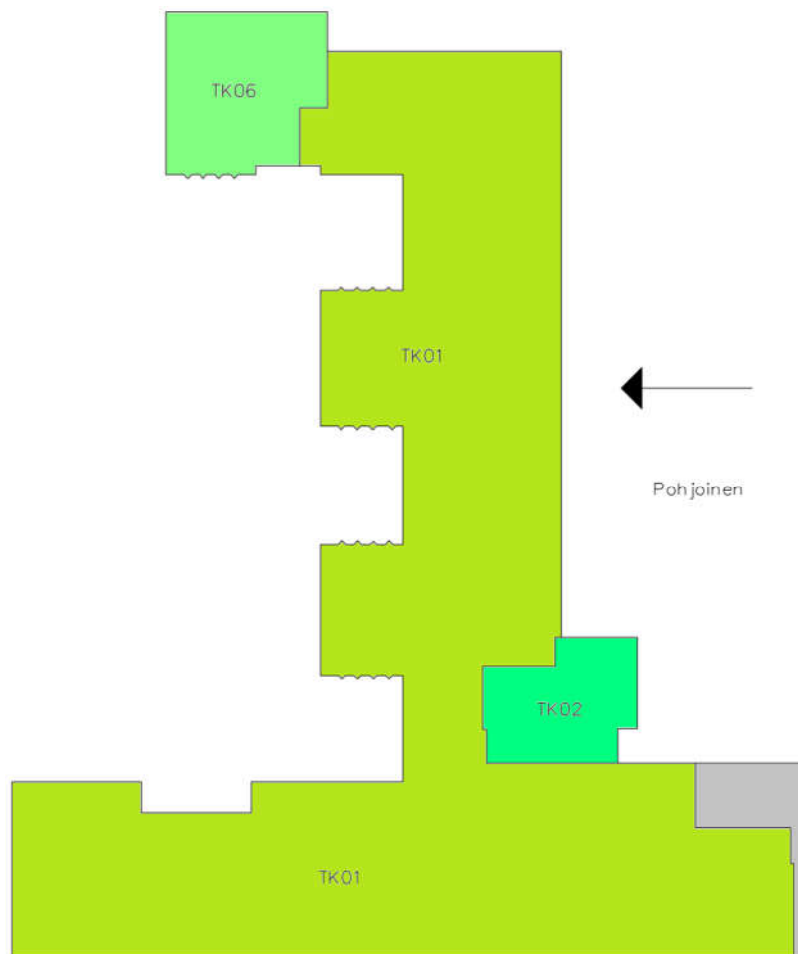
Huomattavaa on, että aineistossa julkisivun materiaali puuttuu 61 kappaleelta terveyskeskuksia, joten todelliset osuudet ovat erilaiset. Esimerkiksi tiiliverhoillon, betonirakenteisen terveyskeskuksen osuus nousee noin 38 prosenttiin, kun kokonaisuudesta vähennetään tiedoiltaan puutteelliset kohteet. Tällöin voidaan puhua jo varsin merkittävästä määrästä rakennustavaltaan samanlaisia rakennuksia.

### **6.3 Muut rakenneratkaisut**

Terveyttä kaikille – julkaisussa on lisäksi tutkittu tarkemmin terveysasemien arkkitehtuuria 50 eri kohteessa. Vertailu keskittyy ensisijaisesti arkkitehtuurin vertailuun. Siinä on kuitenkin tuotu esille näissä kohteissa käytetty kattorakenne. Viidestäkymmenestä kohteesta 39 on toteutettu tasakattoisena ja 11 harjakattoisena tai jonain muuna kattotyyppinä. Tämän vertailun pohjalta voidaan sanoa, että tasakatto on tyypillisin kattotyyppi terveyskeskusrakentamisessa 70 ja 80 – luvuilla, jonka aikaisista rakennuksista vertailu oli tehty.

## 7 Tutkimuskohde

Tutkimuskohde on 80-luvulla paikalla rakennettu terveyskeskus, jota on myöhemmin laajennettu ja se sijaitsee Pohjois-Karjalan alueella. Rakennuksen ulkoseinärakenne on pääasiassa tiili-villa-tilli rakenne. Rakennus on osittain kaksikerroksinen, pääosa rakennuksesta sijaitsee maanpinnan yläpuolella, mutta joitakin tiloja on myös kellaritiloissa. Vesikattorakenteena on tasakatto. Ilmanvaihto on toteutettu koneellisella ilmanvaihdolla ja ilmanvaihtokonehuone on sijoitettu rakennuksen katolle. Ilmanvaihtokoneita ylipaineistusalueella on kolme (kuva 8). Alapohjana rakennuksessa on käytetty maanvaraista betonilaattaa.



Kuva 8. Yksinkertaistettu kuva terveystakeskuksen ylipaineistusalueesta ensimmäisen kerroksen osalta. Kuvassa esitetty tuloilmakoneiden palvelualueet eri värein.

Aikaisemmassa luvussa tehtyjen johtopäätösten perusteella voidaan osoittaa, että tutkimuskohde edustaa tyypillisintä terveyskeskuksen rakennustyyppiä niin rakennusajankohdaltaan kuin rakentamistavoiltaan. Se soveltuukin näin ollen hyvin ylipaineistuksen tutkimuskohteeksi, koska tällöin tuloksista voi olla apua myös muissa saman tyyppisissä terveyskeskuksissa, joita tilaston perusteella on paljon. Jokainen rakennus ja niissä olevat ongelmat ovat kuitenkin yksilöitä, eikä yleispäteviä johtopäätöksiä yhden rakennuksen perusteella voi tehdä kokonaisuutensa. Nyt esille tulevia seikkoja voidaan kuitenkin käyttää apuna tulevilla hankkeilla ja pohtia terveyskeskuksen soveltuvuutta ylipaineistuskohdeksi.

## 7.1 Ongelmat

Rakennuksessa on havaittu paljon erilaisia ongelmia, joiden takia rakennukseen on päässyt syntymään mikrobivaurioita. Pääasialliset ongelmat rakennuksen huonoon kuntoon on se, että ilmanvaihtojärjestelmä toiminta on ollut rakennuksessa puutteellista. Ilmanvaihdon on arveltu olleen pitkään liiallisesti alipaineinen, joka on myötävaikuttanut sisäilmaongelmien syntyyn. Lisäksi ongelmana ovat olleet tämän aikaiselle rakennukselle tyypilliset kosteusongelmat seinä- ja sokkeli-rakenteissa. Myös maaperän kosteuden nousu on tässä kohteessa ollut ongelma. Ongelmista on seurannut kohonneita kosteuspitoisuuksia jotka ovat aiheuttaneet mikrobivaurioita rakennuksen eri osiin, erityisesti alapohjaan ja seinärakenteiden alaosiin.

Sisäilmaongelmia on yritetty hillitä korjaavilla toimenpiteillä. Eniten oireilevien käyttäjien tiloissa on tehty esimerkiksi materiaalinvaihtoja, kuten lattiapinnan uusimista. Lisäksi rakennuksen tiiveyttä, joka on ollut huono, on yritetty parantaa tekemällä tiiviyskorjauksia. Ilmanvuotokohtia on yritetty tiivistää, jotta epäpuhtaudet eivät pääsisi siirtymään seinärakenteesta sisäilmaan. Joidenkin tilojen lattioita on kapseloitu ja betonilattian kohonneita kosteuspitoisuuksia on yritetty hillitä rakentamalla haihdutuskaistoja muovimaton tilalle.

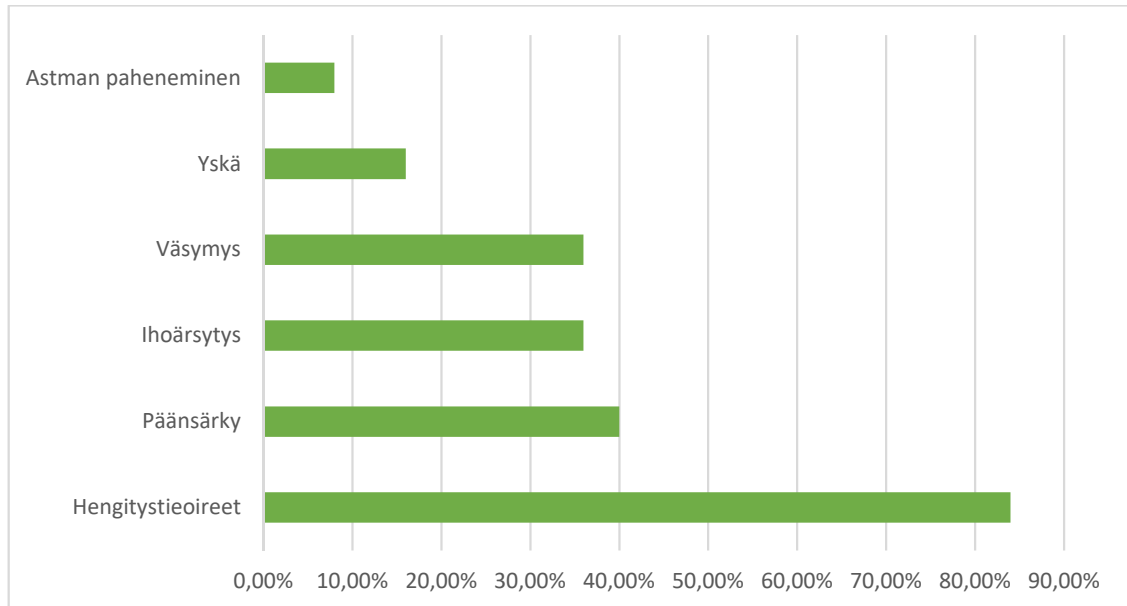
## 7.2 Oireet

Varsinaiset sisäilmaongelmat johtuvat rakennuksessa siitä, että epätiividen rakenteiden läpi pääsee kosteusvaurioituneiden rakennusmateriaalien mikrobiperäisiä epäpuhtauksia. Eli käytännössä alipaineinen ilmanvaihto vetää epäpuhtauksia esimerkiksi vaurioituneesta seinärakenteesta tai alapohjasta tilaan. Nämä epäpuhtaudet sen jälkeen aiheuttavat oireita tilojen käyttäjillä.

Tilojen käyttäjät ovat kokeneet tiloissa tyypillisiä sisäilmaongelmaisiin kiinteistöihin liittyviä oireita, joita on lueteltu tarkemmin sisäilmaoireita käsittelevässä luvussa. Oireet osille tilojen käyttäjistä ovat tulleet niin pahoiksi, että he eivät ole pystyneet jatkamaan työskentelyä tiloissa. Työterveyshuolto on suositellut heidän siirtämistään toisiin tiloihin.

Muutama kuukausi ylipaineistuksen toimintaan saamisen jälkeen tehtiin pieni-muotoinen oirekartoitus ongelmatilojen etsimiseksi. Varsin vapaamuotoisesta oirekartoituksesta, jossa käyttäjät merkitsivät kärsimiään oireita rakennuksen pohjakuviin, selvisi että lähes kaikki vastanneet kärsivät joistakin sisäilmaoireista edelleen. Vastanneista 12 % oli oireettomia, loput 88 % kärsivät jostain sisäilmaoireesta tai useammasta.

Taulukko 10. Oireiden esiintyminen oirekyselyssä. Kokonaismäärä sisältää myös oireettomat henkilöt.



Taulukosta 10 voidaan havaita, että lähes kaikki tiloissa työskentelevät henkilöt ovat kärsineet jostain oireesta. Kaikista vastanneista hengitystieoireista, kuten nenän tai kurkun ärsytyksestä, on kärsinyt 84 % vastanneista eli lähes jokainen vastannut. Lisäksi monet ilmoittivat kärsivänsä väsymyksestä, ihoärsytyksestä ja päänsärystä.

Huomioitavaa tätä epävirallista kartoitusta tarkasteltaessa on, että se ei edusta oikeaa sisäilmakartoitusta, koska se ei ole toteutettu virallisten kyselylomakkeiden eikä ohjeiden tai periaatteiden mukaan vaan on lähinnä tarkoitettu ylipaineistuksen laadunhallinnan vuoksi tehtävien tutkimusten avuksi ja selvittämään mahdollisia ongelmatiljoja. Se ei myöskään kuvaa alkutilannetta ennen ylipaineistusta, joten sen perusteella ei voida arvioida hankkeessa onnistumista. Lisäksi tämän luontoiseen kyselyyn vastaavat suurimmaksi osaksi vain ne joilla oireita on, vaikka muutama oireeton olikin vastannut. Kysely toimii kuitenkin hyvänä taustatietona opinnäytetyön lukijalle.

### 7.3 Ratkaisu ylipaineistuksesta

Vuonna 2017 tehtiin terveysasemaan ratkaisu, jonka mukaan tilat ylipaineistetaan ilmanvaihdon avulla. Ennen ylipaineistusta oli ajateltu, että rakennus peruskorjataan sisäongelmien poistamiseksi. Hankkeesta kuitenkin luovuttiin, koska kustannukset olisivat karanneet liian korkeaksi. Riskianalyysin perusteella ei ollut varmuutta siitä, että rakennuksen sisäilmaongelmat poistuisivat kokonaan. Lisäksi ei ollut vielä täyttä varmuutta siitä millaista käyttöä rakennukselle tulevaisuudessa on, koska meneillä olevat muutokset terveydenhuollon organisaatiossa saattavat vaikuttaa terveysasemien käyttöön ja sijaintiin lähitulevaisuudessa. Liikojen epävarmuustekijöiden johdosta päädyttiin ylipaineistukseen korjaavana toimenpiteenä.

Ylipaineistushankkeeseen ryhdyttiin usean eri kiinteistön jatkosta päättäneen tahon yhteisellä päätöksellä ja se nähtiin parhaana toimenpiteenä tässä tilanteessa. Ylipaineistus valittiin sen takia että näin tiloihin saataisiin paremmat edellytyksen työskentelylle siksi aikaa, että saadaan selvyys jatkossa tehtäville ratkaisuille. Ylipaineistus vaikutti ongelmiin nähden hyvältä ratkaisulta. Ylipaineistuksen kestoksi määriteltiin kolme vuotta, jonka jälkeen rakennus tai ainakin ylipaineistettu osa, korvattaisiin kokonaan uudella.

## 8 Ylipaineistuksen toteutus

Ylipaineistuksella tarkoitetaan tässä yhteydessä sitä, että tiloihin tuodaan ilmanvaihtokoneilla enemmän ilmaa kuin sieltä viedään pois. Tällöin tiloihin puhallettava ylimääräinen tuloilma muodostaa sisä- ja ulkoilman välille ylipaineen. Ylipaineistuksen keskeisimpänä pyrkimyksenä sisäilmaongelmaisessa kiinteistössä on kääntää rakennuksen vuotoilmareiteistä tulevat ilmavirrat rakenteesta ulospäin, eikä sisäilmaan päin, kuten ne normaalissa ilmanvaihdon tilassa ovat. Ilman ylipaineistusta, ilmapuotokohdista tulevat epäpuhtaudet mikrobivaurioituneista rakennusmateriaaleista aiheuttavat sisäilmaongelmia tilojen käyttäjille.

Ylipaineistuksen ongelmana on, että samalla kun vuotoilmareittien ilmavirrat kääntyvät sisäilmasta rakenteeseen päin, siirtyy ilmavirtojen mukana myös esimerkiksi ihmisistä sisäilmaan siirtynyttä kosteutta. Tämä kosteus siirtyy ylipaineen vaikutuksesta rakennusmateriaaleihin ja voi edistää siellä jo olevien mikrobivaurioiden olosuhteita ja pahentaa vaurioita. Ylipaineistus sopiikin vain jo erittäin vaurioituneen rakennuksen hetkelliseksi pelastuskeinoksi ennen kuin rakennus puretaan kokonaan uuden tieltä tai peruskorjataan käytännössä kokonaan.

Esimerkkikohteen ylipaineistus ei koske koko rakennusta eikä kaikkia tiloja, vaan niitä joissa ongelmia eniten on. Ylipaineistuksen palvelualueita on yhteensä kolme, joita palvelee kolme eri ilmanvaihtokonetta. Ilmanvaihtokoneet ovat ylipaineistusalueilla varustettu lämmöntalteenotolla, joka on toteutettu levylämmönsiirtimellä.

Ylipaineistus toteutettiin insinööritoimiston suunnitelmien pohjalta ja toteutuksesta vastasi sähkö- ja automaatiourakoitsija aliurakoitsijoineen. Pääpiirteissään toteutusperiaatteena oli, että tilat pidetään koko ajan ylipaineisena, eikä esimerkiksi yöllä tai muuten käytönajan ulkopuolella ilmanvaihtoon tehdä mitään muutoksia, vaan koneet käyvät koko ajan samalla teholla. Suunnittelussa ylipaineen



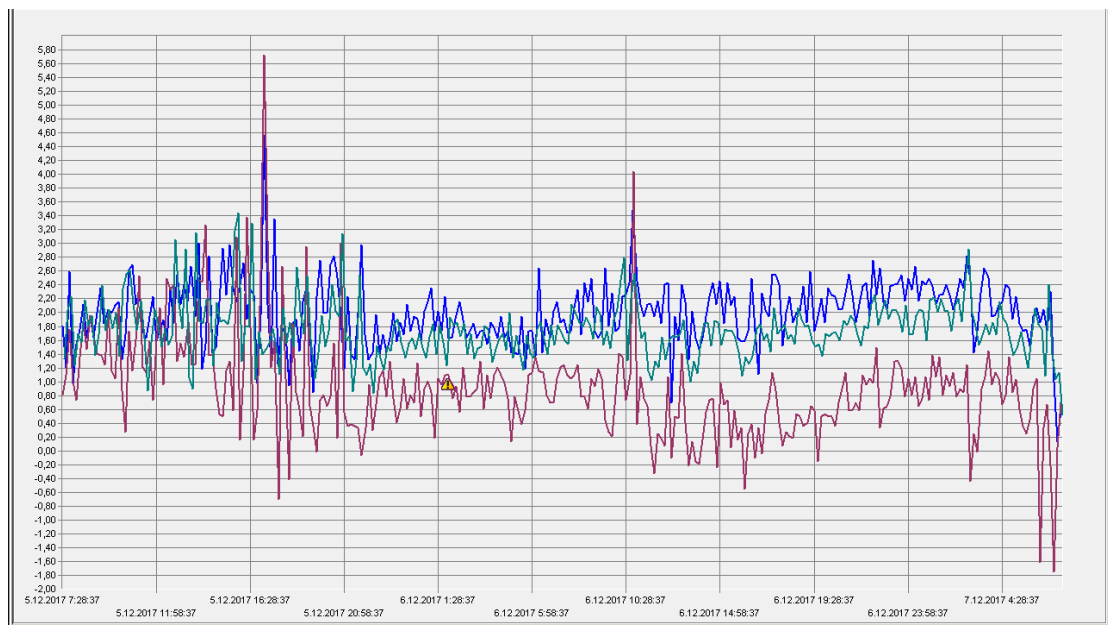
asetusarvoksi suhteessa ulkoilmaan sovittiin 5 pascalia. Automatiikka säätää ilmanvaihtokoneiden puhaltimien pyörimisnopeutta sellaiseksi, että valittu ylipaineen asetusarvo toteutuu.



Kuva 9. Käytävälle asennettiin paine-eromittareita, joiden tarkoituksena oli antaa käyttäjille tietoa järjestelmän toiminnasta. Kuvaushetkellä sisäilman ja ulkoilman paine-ero on kuvassa +2,6 pascalia tuloilmakone yhden vaikutusalueella olevassa mittarissa.

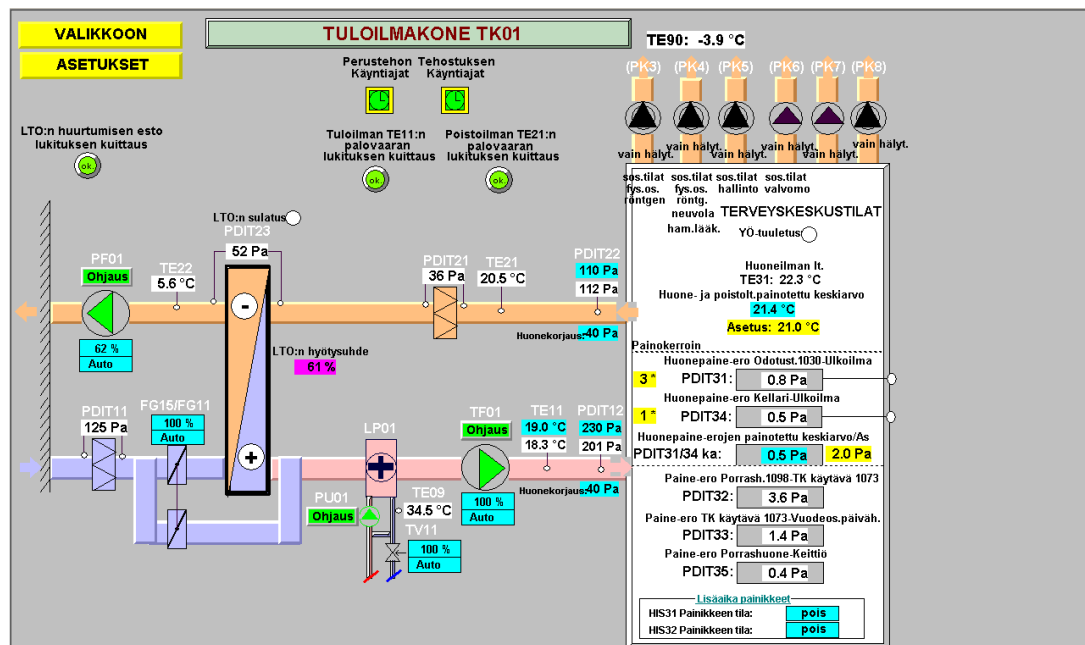
Ylipaineen määrää mitataan paine-eromittareilla. Osa paine-eromittareista toteutettiin niin että kiinteistön käyttäjät voivat itse havainnoida paine-eroa mittarin näytöltä (kuva 9). Näin luodaan hyvän olon tunnetta myös tilojen käyttäjille, koska he voivat havaita järjestelmän olevan toiminnassa. Toisaalta mittarit voivat aiheuttaa myös hämmennystä, jos käyttäjä ei ymmärrä paine-eron hetkellisiä vaihteluita jolloin mittari voi näyttää hetkellisesti alipainetta.

Osa ylipaineistetuista tiloista sijaitsi myös vierekkäin sellaisten tilojen kanssa joita ei ollut tarkoitus ylipaineistaa. Tiloihin kulkevat käytävät oli osastoitu metallisilla palo-ovilla, jotka tiivistettiin tarvittaessa niin, ettei ilma pääse liikkumaan ylipaineistetuista tiloista normaaleihin tiloihin hallitsemattomasti. Tiivistäminen tapahtui kumi-tiivistein jolloin ylipaine painaa ovea tiivistettä vasten eikä ilma näin liiku ilman että ovea avataan.



Kuva 10. Paine-eron vaihtelua voi tarkastella kuvaajan muodossa automaatiojärjestelmästä.

Jos ilmanvaihto menee pitkäksi aikaa alipaineiseksi, tapahtuu hälytys kiinteistöhuollolle. Koska ylipaineistuksen määrä voi hetkellisesti heitellä huomattavasti, johtuen esimerkiksi tuulesta tai ovien aukaisemisesta tuli ylipaineistukseen seurantaan toteuttaa sellaiset hälytykset, että pieni vaihtelu ylipaineen määrässä ei aiheuta hälytystä. Hälytys tapahtuu vasta silloin kun mittauksen arvo menee pidemmäksi ajaksi alle hälytysrajan eli alipaineen puolelle. Painesuhteita voi seurata myös kiinteistöautomaatiojärjestelmästä eri mittauspisteiltä, kuten kuvassa 10 on esitetty.



Kuva 11. Tuloilmakoneen, TK01:sen, ohjausikkuna automaatiojärjestelmästä. Kuvassa näkyy ylipaineen asetusarvo, +2,0 pascalia.

Lyhykäisyydessään toimenpiteet eri ilmanvaihtokoneille olivat suunnitelmissa seuraavat:

- TK01, kenttälaitteita, kuten paine-eromittareita lisättiin ja tehtiin ohjelmalliset muutokset säätöön (kuva 11), joka tapahtuu sisä- ja ulkoilman paineeron avulla.
- TK02, ilmanvaihtokoneeseen lisättiin tulo- sekä poistopuolelle taajuusmuuttajat, jotta pyörimisnopeutta voidaan säätää portaattomasti. Lisäksi lisättiin kenttälaitteet ja ohjelmalliset muutokset samoin kuin TK01:ssä
- TK06, kenttälaitteet paine-eromittaukseen ulko- ja sisäilman välillä asennettiin. Painesuhteet säädettiin ylipaineiseksi päätelaitteiden avulla. Erillistä säätöä ei tähän ilmanvaihtokoneeseen tullut.
- Lisäksi TK04 ja TK08 koneille, jotka eivät kuuluneet ylipaineistuksen piiriin, tehtiin paine-eromittaukseen perustavat säädöt. Tarvittavat kenttälaitteet lisättiin ja ohjelmalliset muutokset tehtiin. Tilat säädettiin neutraaliksi tai erittäin lievästi alipaineiseksi.

Varsinaisessa asennustyössä ja automaatio-ohjelman muutoksissa kului noin viikko yhteensä. Säättötyö sen sijaan oli varsin haasteellinen, koska tiloja ei aluksi saatu ylipaineiseksi, vaikka tuloilmapuhallin pyöri täydellä teholla. Ongelma ratkaistiin kuristamalla poistoilmanvaihdon ja likaisten kohdepoistojen määrää. Tällöin tuloilmanvaihto suhteessa poistoilmanvaihtoon saatiin riittävän suureksi ja rakennuksen tilat olivat kokonaisuutena tarkasteltuna ylipaineiset. Poistoilmanvaihdon määrää ei kuitenkaan tiputettu niin paljon että siitä olisi suuria vaikutuksia tilojen toimivuudelle, maksimissaan noin 20 % alkuperäisistä säätöarvoista ja il-mavirroista.

## 9 Tutkimukset

Sisäilmatalo Kärki Oy suoritti ylipaineistuksen laadunvarmistamiseksi tutkimuskohteessa erilaisia laadunvarmistusmittauksia. Mittauksilla haluttiin selvittää, toteutuuko ylipaineistukselle asetetut tavoitteet eli käytännössä kääntyvätkö epäpuhtaista ja mikrobivaurioituneista rakennusmateriaaleista tulevat vuotoilmavirrat rakenteesta pois päin. Varsinaisiin laadunvarmistusmittauksiin kuuluivat merkkiainekokeet, paine-eron pitkäaikaisseuranta ja ilmamikrobinäytteet. Ilmamikrobinäytteitä ei tässä opinnäytetyössä käsitellä tarkasti, vaan tarkastelu rajoittuu merkkiainekokeisiin ja painesuhteiden mittauksiin, koska ne ovat kokonaan opinnäytetyön tekijän tekemiä. Lisäksi laadunvarmistusmittauksiin kuulumattomana tehtiin hetkellisiä paine-eromittauksia, kun ylipaineistus oli saatu toimimaan.

Ilmamikrobinäytteistä voidaan kuitenkin todeta sen verran, että niitä otettiin viidestä eri tilasta, joista 3 kappaletta otettiin suurimman ilmanvaihtokoneen, TK01:sen, alueelta. Loput kaksi otettiin kahden muun ilmanvaihtokoneen vaikutusalueilta. Ilmamikrobinäytteissä ei havaittu viitteitä poikkeavista mikrobimääristä tai lajistoista ja sisäilmaolosuhteet ilmamikrobinäytteiden osalta todettiin hyviksi. Ilmamikrobinäytteiden osalta todettakoon, että todettu pitoisuus voi olla pieni, vaikka mikrobikasvustoa esiintyisikin, koska se kertoo vain näytteenottoajankohdan aikaisen tilanteen.

## 9.1 Hetkelliset paine-eromittaukset

Hetkellisiä mittauksia ylipaineistuksen toimivuudesta tehtiin 21. ja 22.11. Hetkellisellä paine-eromittauksella voidaan saada selville hetkellinen paine-ero tilasta toiseen. Se ei kuitenkaan sovi kovin pitkälle menevien johtopäätösten tekemiseen, koska painesuhteet voivat heitellä hetkellisesti voimakkaasti, esimerkiksi tuulen ja ovien aukaisemisen takia. Tällä tavalla voidaan kuitenkin nopeasti tarkistaa paine-ero ja tehdä lisätutkimuksia, jos paine-ero ei ole haluttu.

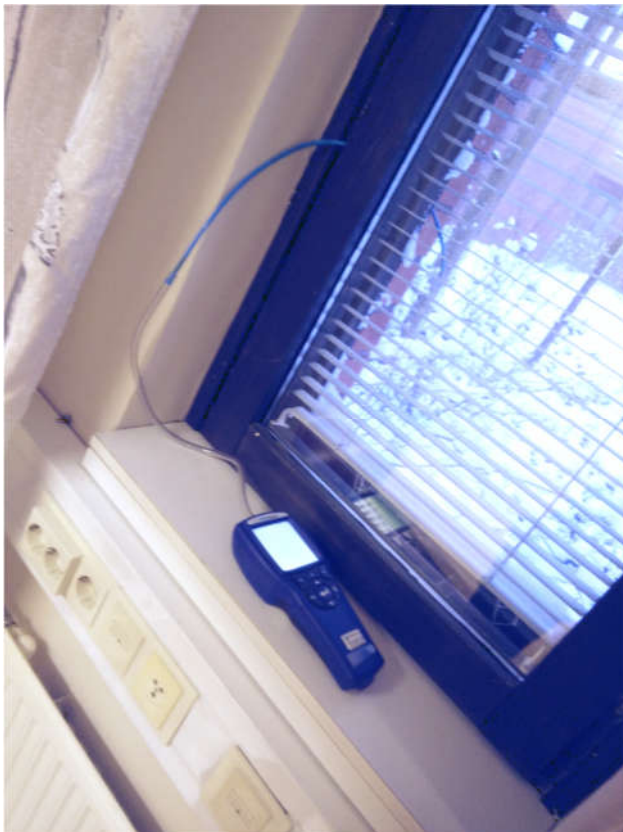
Tässä tapauksessa hetkellisillä paine-eromittauksilla selvitettiin mahdollisia ongelmatiloja myöhemmin tehtyjä pitkäaikaismittauksia ja merkkiainekokeita varten. Lisäksi voitiin kerätä materiaalia opinnäytetyön tueksi. Samalla keskusteltiin tilojen käyttäjien kanssa heidän kokemistaan oireista henkilökohtaisesti ja tälläkin tavalla saada selville heikosti toimivia tiloja. Samalla mittaja tulee myös itse kokeneeksi tilojen sisäilman laadun ja voi havaita mahdollisia puutteita ylipaineistuksen toiminnassa.



Kuva 12. Mittauksissa käytetty TSI TC9565 – mittalaite.

Mittaukset tehtiin mittaamalla tutkittavien kohteiden paine-eroa joko suoraan ulkoilman ja sisäilman välillä tai eri ylipaineistettujen tilojen välillä. Mittaukset tehtiin TSI TC9565 – mittalaitteella, joka on esitetty kuvassa 12. Se on tarkoitettu juuri tämänkaltaiseen ilmanvaihdon ilmavirtojen ja paine-erojen mittaukseen. Mittausletkuna käytettiin ulosviennissä sinistä paineletkua, joka kestää mittaamista ovista ja ikkunoista painumatta kasaan (kuva 13). Läpinäkyvällä letkulla paineletku yhdistettiin mittalaitteen mittayhteeseen. Liitos oli tarpeeksi tiivis ilman erillistä tiivistämistä. Toiseen mittayhteeseen letkua ei tarvitse asettaa.

Kutakin mittauksia tehtäessä tarkastettiin, että letku ei puristu kasaan ja ilma pääsee liikkumaan letkun sisällä vapaasti. Tämän voi testata käytännössä esimerkiksi imemällä ilmaa letkun läpi, jolloin voi tuntea ilman liikkuvan. Näin mittaus onnistuu luotettavasti. Huomioitavaa mittauksia tehdessä ilman liikkumisen lisäksi on se, että mittaus suoritetaan aina samalta korkeudelta ja mittalaitteen tulisi olla samalla korkeudella mittaletkun pään kanssa. Tällöin mittauksien tulokset ovat vertailukelpoisia ja mittauksissa ei ole korkeudesta johtuvaa paine-eron vaihtelua.



Kuva 13. Mittausperiaate, kuvan ottamisen ajaksi mittari on laskettu ikkunalaudalle.

Mittaukset toteutettiin pääasiassa mittaamalla suljetun tuuletusikkunan läpi, josta paine-eron mittaus onnistuu rakenteita rikkomatta sopivalta korkeudelta. Lisäksi mitattiin tilojen painesuhteita käytäviin nähden käyttäen hyväksi suljettuja ovia tai toisiin tiloihin väliovien kautta, kuten kuvassa 14.

Yhteensä mittauksia tehtiin:

- 26 kappaletta eri tiloja, kaikilta vaikutusalueilta ja molemmista kerroksista
- Jokaisesta tilasta mitattiin mahdollisuuksien mukaan myös paine-ero käytävään ja paine-ero tiloja rajoittavista väliovista
- 6 kappaletta ulko-ovia



Kuva 14. Mittaus tiloja jakavan välioven osalta. Tila oli alipaineinen (-5 pascalia) viereiseen tilaan nähden runsaan poistoilmanvaihdon takia.



## 9.2 Hetkellisten paine-eromittausten tulokset

Ennakkokaavailuissa hankalin alue ylipaineen kannalta oli suurin, tuloilmakone yhden, vaikutusalue. Suurten vaikutusalueiden hankaluutena on saada ilmanvaihtojärjestelmän päätelaitteet säädettyä niin että varsinkin pitkien kanavavetojen tai haarojen päihin riittää riittävästi ilmaa. Pääasiassa säätötyössä oli onnistuttu kuitenkin hyvin, sillä tilat olivat suurimmaksi osaksi ylipaineiset, mutta myös joitakin puutteita havaittiin.

TK01-alueella havaittiin hammashoitolan tiloissa alipainetta, joka vaihteli näissä tiloissa ulkoilmaan nähden (-3 ja -5 pascalin välillä). Tiloissa työskennelleet työntekijät totesivat, että ilma on tunkkainen ja haittaa työntekoa, koska hoitotyössään he joutuvat pitämään jatkuvasti naaman edessä kasvosuojaa. Tämä voi lisätä ilmanvaihdon puutteellisuudesta johtuvia tuntemuksia.

TK01:n alueella havaittiin myös tarpeettoman suuria ylipaineita, koska tuloilmavirratt olivat suuria. Näitä tuloilmavirtoja kuristamalla ilmaa riittäisi paremmin muuallekin tasaisemman ylipaineen saavuttamiseksi. Pitkän eteläsivun tiloissa ylipainetta oli liikaa lähes kaikissa tiloissa, joita mitattiin (5-14 pascalia). Käytävään nähden mitattiin tiloista myös reiluhko ylipaine, joka vaihteli eri tilojen välillä 6 - 12 pascalin haarukassa. Lisäksi yhdessä päätyhuoneessa mitattiin peräti 16 pascalin ylipaine. Viereisissä tiloissa painesuhteet olivat ylipaineiset, mutta normaalit.

Lisäksi mitattiin paine-eroja myös TK01:sen vaikutusalueelle kuuluvasta kellari-kerroksesta. Alakerrassa ei ollut käyttäjien mukaan kovin paljon toimintaa, ainoastaan taukotila ja kaksi toimistoa, jossa toisessa oli työntekijä joka päivä. Tämä tila oli ylipaineinen. Taukotila oli hieman alipaineinen, mutta se saattoi johtua mitaushetkellä vallinneesta kovasta tuulesta.

TK02-alueella toimii välinehuolto, jossa olevat laitteet tuottavat tiloihin huomattavan lämpökuorman. Kuumuudesta huolimatta tiloissa oli ylipainetta normaalisti. Vaikutusalueella oli myös ensiaputila, joka oli myös ylipaineinen.

TK06-alueella havaittiin, että yksi toimistohuone oli muista poiketen voimakkaasti alipaineinen mittaushetkellä. (-8 pascalia ulkoilmaan nähden, -5 pascalia viereiseen tilaan). Lisäksi tilan käyttäjät raportoivat, että ulkoilman hajut, pääasiassa tupakanhaju, tulevat sisään.

Työntekijöiden kanssa keskusteltaessa saatiin käsitys, että ongelmia oli varsin tasapuolisesti ympäri ylipaineistusaluetta. Suurin osa mainitsi normaalien sisäilmaoireiden lisäksi erittäin kuivan sisäilman, joka oli havaittavissa myös mittauspäivinä. Suurin osa mainitsi, että ylipaineistuksesta ei ole ollut vielä tässä vaiheessa juurikaan hyötyä, osalla oireet olivat jopa pahentuneet. Oireettomia sattui jututettavaksi muutama ja he eivät olleet havainneet muutosta huonompaan tai parempaan.

Myöhemmin selvisi, että säätötyö ilmanvaihdon osalta oli TK01:n alueella vielä hieman kesken, pääasiassa hammashoitolan alueella. Huoltomiehen mukaan ison ilmanvaihtoalueen säätö oli ollut haasteellista, ja ilmamäärät olivat hankala saada riittämään joka tilaan. Huoltomiehen tekemien mittauspöytäkirjojen mukaan poistoilmanvaihtoa oli kuristettu noin 20 % verrattuna alkuperäiseen ilmanvaihdon mitoitukseen. Tuloilmamäärä oli pyritty pitämään mitoituksen mukaisena. Tiloista löytyi yksi säätöpelti, joka oli jäänyt kiinni, todennäköisesti ilmanvaihdon nuohouksen yhteydessä. Myöhemmässä palaverissa kerrottiin, että säätöpellin korjauksella oli ollut myönteinen vaikutus tilan ilman laatuun. Mitatut ja havaitut puutteet ilmoitettiin Sisäilmatalo Kärjen toimesta kunnan kiinteistöhuollolle mahdollisia toimenpiteitä varten ja säätötyötä helpottamaan.

Mittauksia tehtäessä havainnoitiin, että joissakin tiloissa pidettiin käytäväovia auki. Tällöin ilmanvaihto ei toimi välttämättä halutulla tavalla, koska huoneeseen puhallettava tuloilma ei muodosta tilaan ylipainetta vaan ilma pääsee virtaamaan vapaasti käytävälle. Sama koskee myös ikkunoita, mutta niiden avaamisen vaikutus on vielä suurempi suoran ulkoyhteyden takia. Ikkunoiden avaamisesta ja niiden avulla tuulettamista annettiin ohjeistus, että tuulettamista ei enää tehtäisi.

### 9.3 Merkkiainekokeet ja paine-eron pitkäaikaisseuranta

Tiloja, joissa oireita oli, selvitettiin pyytämällä rakennuksessa työskenteleviä kirjoittamaan oireitaan rakennuksen pohjakuviin. Näin mittauksia ja tutkimuksia pystyttiin viemään sinne, missä oireista kärsittiin. Apuna käytettiin lisäksi aikaisemmin tehtyjä hetkellisiä paine-eromittauksia ja ilmamikrobinäytteistä saatuja tuloksia. Mittaustavoiksi oli valittu merkkiainekokeet ja paine-eron pitkäaikaisseuranta.

Merkkiainekokeilla ja paine-eron pitkäaikaismittauksella voidaan selvittää ylipaineen vaikutusta rakennuksen painesuhteisiin ja siinä esiintyvien ilmavirtojen suuntiin. Mikäli rakenteet eivät ole tarpeeksi tiiviit, eikä ylipaineistuksen aiheuttama ilmavirran suunnan kääntyminen vaikuta tarpeeksi mikrobivaurioituneista rakennusmateriaalista ulospäin, ei ylipaineistuksella saavuteta haluttua hyötyä. Tästä syystä merkkiainekokeet ja paine-eron pitkäaikaisseuranta ovat erityisen tärkeitä mittauksia ylipaineistuksen laadunvarmistuksessa ja hankkeessa onnistumisen arvioinnissa.

Kuten mikrobivaurioita käsittelevässä luvussa esitettiin, mikrobikasvuston sijainnilla on suuri vaikutus niiden vaikutuksen arvioinnissa. Mitä lähempänä sisäkerroksia mikrobivauriot sijaitsevat, sitä suurempi todennäköisyys mikrobeilla on päästä sisäilmaan ja aiheuttaa ongelmia. Rakennusvaipan ulkokerroksissa olevilla ongelmilla ei useinkaan ole vaikutusta sisäilmaan, koska mikrobit ovat lähempänä ulkoilmaa ja niiden aiheuttamat epäpuhtaudet siirtyvät suurimmaksi osaksi ulkoilmaan tuulen vaikutuksesta. Ongelmia voi tällaisessakin tapauksessa tulla, mikäli rakennuksen rakenteet eivät ole tiiviit tai rakennuksen painesuhteet ovat huomattavan alipaineiset. Ulkoseinärakenteen alaosien ja alapohjan mikrobivauriot ovat mikrobikasvuston sijainnin kannalta haasteellisimpia, koska rakennuksen painesuhteista johtuen nämä rakennuksen osat ovat muita rakenneosia alipaineisempia. (Pitkäranta, 2016, 143.)

Esimerkkikohteessakin käytetyt betoniset rakenteet, kuten alapohja, ovat yleisesti ajateltuna varsin tiiviitä ja ne voidaan myös tiivistää niin tiiviiksi, että niiden

alapuolella olevista mikrobivaurioista ei ole juurikaan haittaa. Ongelmia kuitenkin tulee, kun betonissa on halkeamia, epätiiviyttä rakenneliittymiä, läpivientejä tai lii-kuntasauvoja, joiden vaikutus tiiveyteen on tapauskohtaista. Rapatut tai maala-tut tiiliseinät, joita tässä terveystieteessä on käytetty, ovat myös kokemusten mukaan melko tiiviitä, mutta näissäkin rakenteissa jokainen edellä mainittu epä-jatkuvuuskohta lisää epätiivyyttä ja mikrobien kulkeutumisen riskiä. (Pitkäranta, 2016, 143-144.)

### 9.3.1 Merkkiainekokeiden periaate

Merkkiainekokeilla pyritään selvittämään rakenteiden ilmanvuotoreitit käyttämällä hyväksi merkkiainekaasua, jota syötetään tutkittavan rakenteen sisälle. Tätä merkkiainetta pyritään sen jälkeen havaitsemaan tarkoitukseen soveltuvalla mit-talaitteella ilmavuotoreittien todentamiseksi. Ilmavuotoreitillä tarkoitetaan sel-laista rakenteen kohtaa, jossa tapahtuu epäsuotuisa ilmavirtaus rakenteesta huo-neeseen, joka johtuu rakenteen huonosta tiiveydestä. Tyypillisiä ilmavuotoreittejä ovat esimerkiksi:

- Ikkunan ja seinän liitos
- Alapohjan ja seinän liitos
- Pistemäiset ilmavuodot esimerkiksi ruuvien tekemistä aukoista tai put-kien/sähköjohtojen läpivienneistä

Merkkiainekokeet toteutettiin RT-kortin 14-11197, *Rakennusten ilmatiiviyden tar-kastelu merkkiainekokein*, mukaisesti. Toisin kuin RT-kortissa, tilat tutkittiin käy-tönaikaisessa tilanteessa ylipaineistettuna, koska tarkoituksena ei ollut selvittää ilmavuotoreittejä alipaineisessa tilanteessa vaan tarkastaa esiintyykö rakennuk-sessa edelleen ilmavuotoa ylipaineistuksesta huolimatta.

Ylipaineistuskohteessa haluttiin selvittää merkkiainekokeella, kääntyvätkö raken-nuksessa havaitut vuotoilmareitit rakenteesta ulospäin ylipaineen vaikutuksesta. Merkkiainekokeissa merkkiaineen tulisi siis siirtyä tutkittavasta

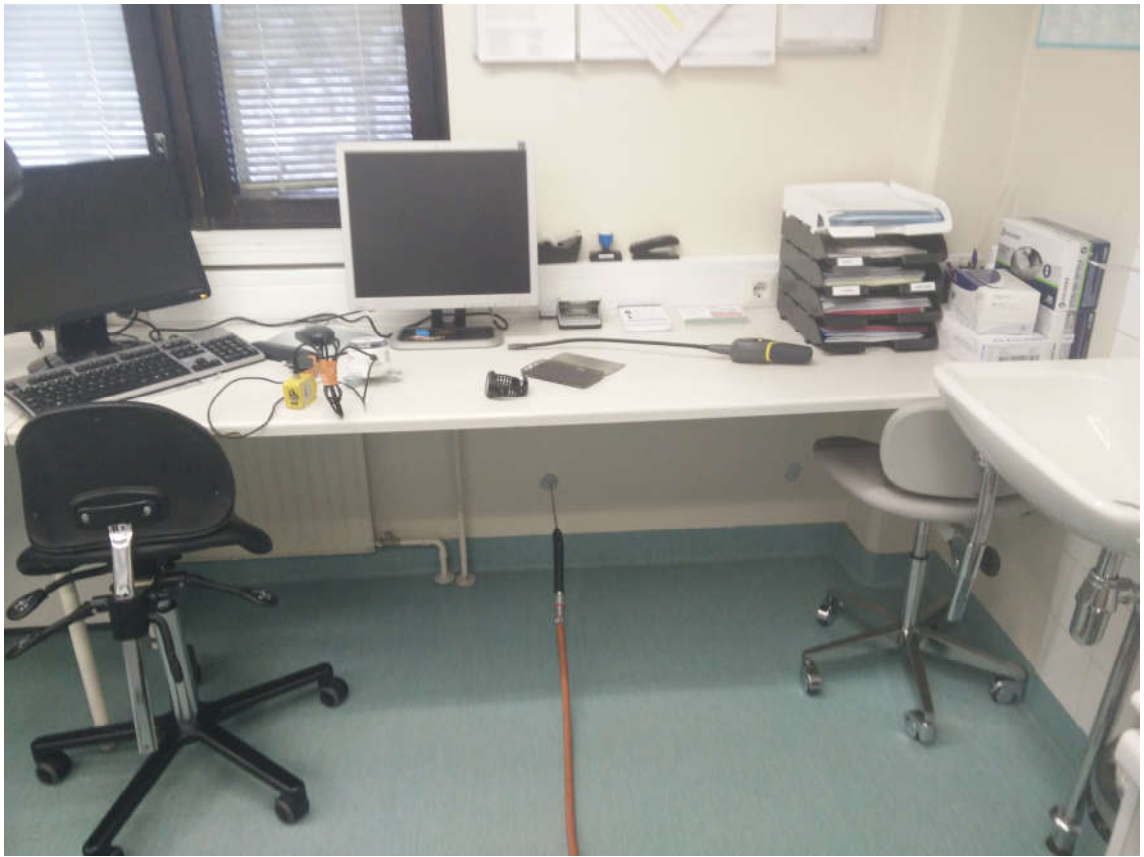
rakennemateriaalista pois päin sisäilmasta eikä sen tulisi näkyä suurina määrinä rakennuksen sisätiloista tehdyissä mittauksista, jos ylipaine vaikuttaa halutulla tavalla.



Kuva 15. Merkkiainekokeen tekemiseen tarvittava laitteisto.

Laitteet:

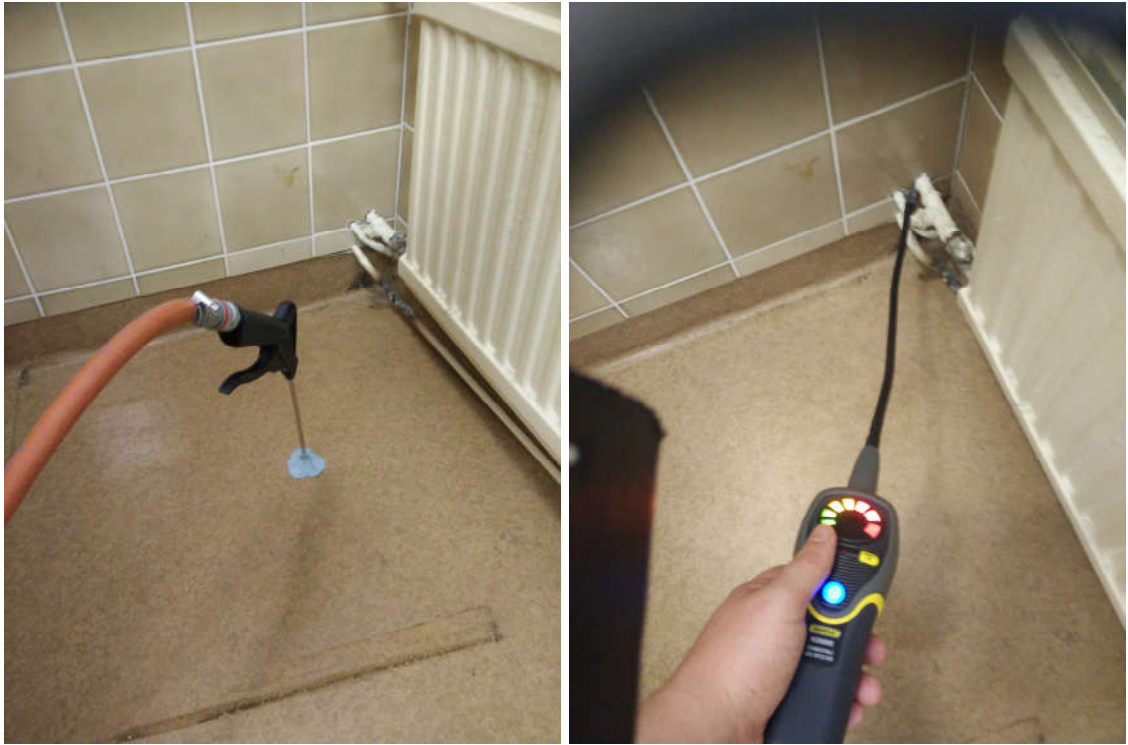
- Pullollinen Formier 5-kaasua, typpi-vety seos, 5 % vetyä ja 95 % typpeä
- Kaasupulloon kytketty virtaussäädin kaasun virtauksen säätämiseksi n. 8 l/s tasolle.
- Merkkiaine-analysaattori vuotoilmareittien havaitsemiseen, General NGD8800
- Paine-eromittari, tässä tapauksesta käytettiin pitkäaikaisseurantaan tarkoitettuja mittareita.



Kuva 16. Merkkiaineen syöttöletku on asetettu ja tiivistetty seinään porattuun reikään

On tärkeää selvittää ja havainnoida, miten tiloja käytetään, jotta mittaukset toteutetaan käytönaikaisessa tilanteessa. Esimerkiksi mitä ovia pidetään auki ja kiinni silloin, kun tiloissa toimitaan, jotta mittausten aikana voidaan toimia samalla tavalla. Painesuhteet voivat tutkittavassa tilassa vaihdella huomattavasti esimerkiksi silloin, kun käytävän ovi jää auki, jolloin mittaus ei kuvasta käytönaikaista tilannetta.

Ulkoseinän mittausta varten ulkoseinään porattiin reikä eristekerrokseen asti iskuporakoneella. Tämä periaate on esitetty kuvassa 16. Alapohjan merkkiainekeksessä tehtiin reikä maanvaraisen betonilaatan läpi (kuva 17). Merkkiaineen syöttöletku työnnettiin reikään ja se tiivistettiin huolellisesti, jotta merkkiaine ei pääse vuotamaan hallitsemattomasti huonetilaan tehdystä reiästä. Reikään syötettiin merkkiainekeksua aluksi varovasti, jotta voitiin testata tehdyn liitoksen tiiveys vuotojen varalta. Sen jälkeen aloitettiin varsinainen mittaus



Kuva 17. Alapohjan merkkiainekokeessa mittauspiste valittiin huoneen kulmasta. Näin nähdään tutkittavan tilan vuotoilmareittejä monipuolisesti eri rakenneosista. Viereisessä kuvassa nähdään merkkiaineen havaitsemiseen käytetty laite hälyttämässä havaittua vuotoilmareittiä

Varsinainen mittaus toteutettiin kahdessa osassa. Ensimmäinen merkkiaineen syöttö tehtiin noin kahden minuutin mittauksena, jotta saadaan selville suorat ilmayhteydet, joista merkkiaine voidaan havaita pienelläkin määrällä. Sen jälkeen mittausta jatkettiin vielä neljä minuuttia, jotta saatiin selville myös kauempana olleet vuotoilmareitit. Mittaukset tutkittavasta tilasta aloitettiin aina alapohjasta, jos sellaista mitattiin.

Merkkiaineen havaitsemiseen käytetyssä laitteessa käytettiin kaasun havaitsemiseksi alinta havaitsemistasetta, koska korkeammalla asetuksella laite hälyttää turhankin usein. Korkeita merkkiainepitoisuuksia havaitessaan laite ilmoittaa havainnon asteikon punaisessa päässä ja ilmoittaa äänimerkillä. Matalammat pitoisuudet näkyvät keltaisella. Kuvassa 17 merkkiainetta on havaittu patteriputkien läpivientien kohdalta, kun sitä syötettiin alapohjaan.

### 9.3.2 Pitkäaikaismittausten periaate

Yhtä aikaa merkkiainekokeiden kanssa suoritettiin paine-eron pitkäaikaisseuranta, jolla haluttiin varmistua siitä, että tilat pysyvät ylipaineisina myös pitkällä aikavälillä. Ilmanvaihdon automatiikan kautta saatavan mittaustiedon ja hetkellisten paine-eron mittausten perusteellaan voitiin olettaa, että rakennus on pääpiirteisään ylipaineinen, mutta ylipaineisuuden toimivuutta on tutkittava myös pitkäaikaisseurannalla varsinkin niissä tiloissa, joissa on sisäilmaoireita ylipaineisuudesta huolimatta. Tällöin voidaan varmistua siitä, että huonetila on myös näissä tapauksissa ylipaineinen pitkällä aikavälillä.



Kuva 18. Paine-eron pitkäaikaismittari asennettuna ikkunaan. Hetkellinen paine-ero näkyy näytössä.





Kuva 19. Paine-eron mittaamisen tarvittava laitteisto.

Paine-eron pitkäaikaisseurantaan käytetyt mittalaitteet:

- Dwyer Magnesense paine-eron mittalaite
- TinyTag – tallentava tiedonkeräin (kuva 20)
- TinyTag Explorer – ohjelmisto mittausdatan analysointiin ja tuomiseen tietokoneelle.

Paine-eron pitkäaikaisseuranta tapahtuu asentamalla mittalaite tutkittavaan kohteeseen rakennuksessa, esimerkiksi kuvassa 18 esitetyllä tavalla. Mittaus tapahtuu käytännössä samalla tavalla kuin hetkellisissäkin mittauksissa, mutta erona on tietojen tallennus muistiin jatkokäsittelyä varten. Mittalaitteena tutkimuksissa käytettiin ilmanvaihtojärjestelmissäkin käytettyä normaalia 24 voltin paine-eromittaria. Paine-eromittarilta mittaustieto siirtyy jänniteviestinä tallentavalle tiedonkeräimelle, johon mittaustieto tallentuu esiasetetuin aikaväleihin. Tietoja voidaan jälkikäteen analysoida siihen käyttöön tarkoitetulla ohjelmistolla tai viedä halutessaan taulukkolaskelmaohjelmaan.



Kuva 20. Tallentava tiedonkeräin seuraa mittalaitteelta tulevaa jänniteviestiä joka sisältää mittaustiedon. Tieto tallentuu laitteeseen ja tuloksia voidaan jälkikäteen analysoida tietokoneella.

## 10 Mittaustulokset

Seuraavissa luvuissa on esitelty laadunvarmistusmittausten tuloksia. Aluksi käydään läpi merkkiainekokeiden tulokset jokaisessa tutkitussa tilassa erikseen. Sen jälkeen tutkitaan paine-eron pitkäaikaisseurannan tuloksia samoissa tiloissa. Tulokset etenevät aikajärjestyksessä vanhimmasta uusimpaan. Yksi merkkiainekoe tehtiin toisen kerran ja sen tuloksia on esitetty viimeisenä, erillään muista merkkiainekokeista.

### 10.1 Merkkiainekokeiden tulokset

#### 10.1.1 Merkkiainekokeet: Hammashoitola

Ensimmäiseksi mittauskohteeksi valikoitui hammashoitola (kuva 21). Hammashoitolan tiloissa merkkiainekoe toteutettiin kaasuttamalla pelkkää ulkoseinää, koska hammashoitolan alla on ylipaineistettu kellaritila, eikä välipohjan merkkiainekokeelle ollut tarvetta.



Kuva 21. Mitattava hammashoitolan tila sisältä ja ulkoa

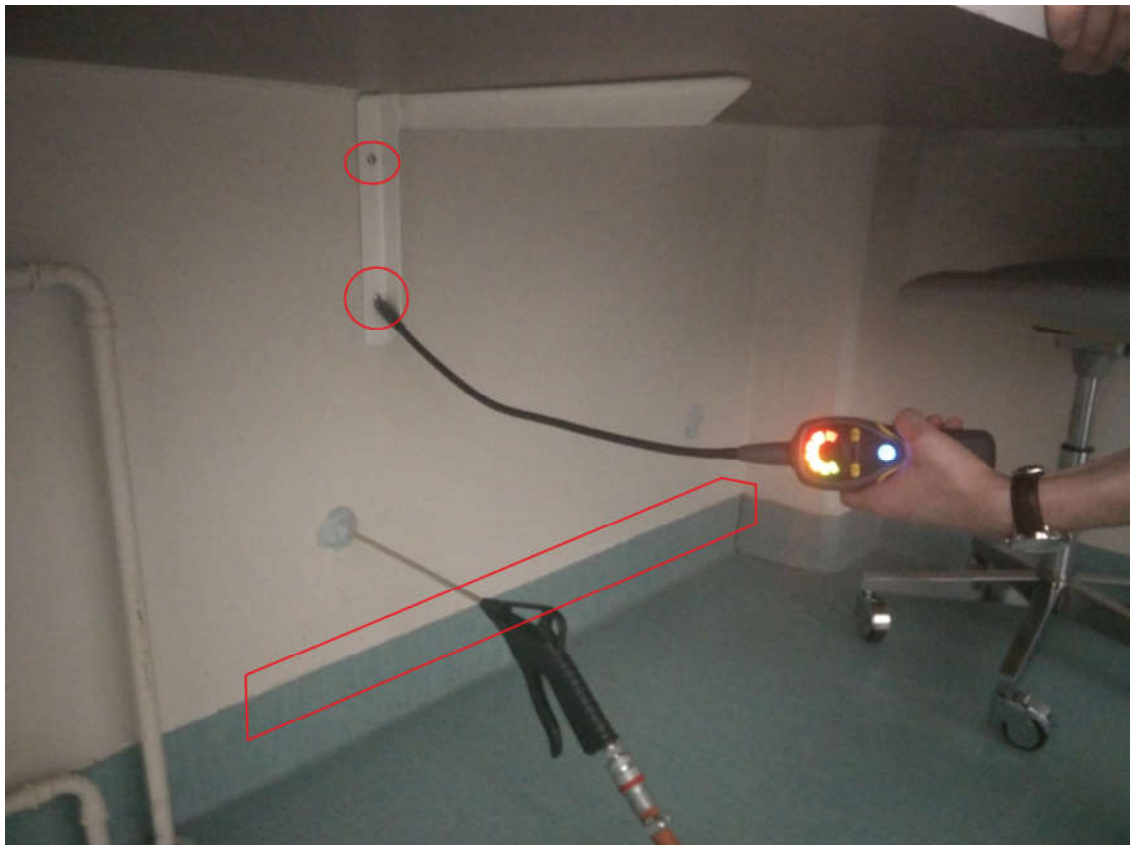
Mittausaika 22.3.2018 klo 15:00

Säätila mittaushetkellä: Lievä pakkanen, n. - 3 C°

Paine-ero mittaushetkellä: n. 2 pascalin ylipaine, vaihteluväli 1-5 pascalia

Lyhyessä merkkinaineen syöttämisessä ei havaittu vuotoreittejä. Neljän minuutin merkkiaineen syöttämisen ja odottelemisen jälkeen suoritettiin uusi mittaus. Tässä mittauksessa havaittiin ilmavuotoreitit muovimaton ja seinärakenteen välistä ja pöytäkanakkeiden ruuvireistä. Ikkunan ja seinän liitoksessa, patteriputkien läpiviennissä tai sähköjohtokourussa ei havaittu ilmavuotoreittejä, vain merkityillä alueella, jotka on esitetty kuvassa 22.

Tila oli mittaushetkellä ylipaineinen ulkoilmaan nähden (noin +5 pascalia), joka todettiin ikkunaan asennetulla paine-eromittarilla. Tuuli ei vaikuttanut mittaustulokseen.



Kuva 22. Kuvaan merkitty punaisella havaitut ilmavuotoreitit.

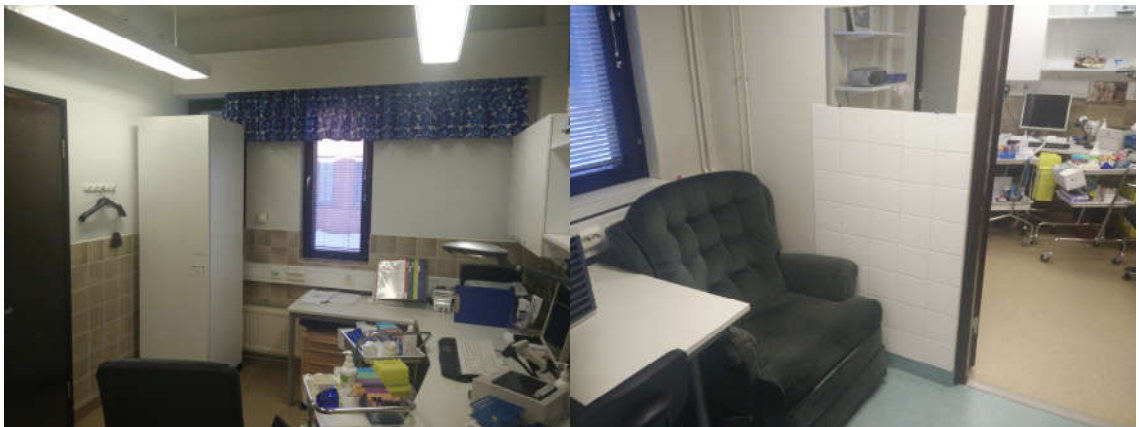
Mittauksesta voidaan todeta, että rakenteessa esiintyy ilmavuotoreitti seinärakenteesta lattiarakenteen ja muovimaton väliin. Merkkiaineekaasu kulkeutui eristetilasta seinärakenteen ja lattiarakenteen epätiivisiin liitoksen kautta muovimaton alle, josta se pääsi nousemaan seinän ja muovimaton välistä huonetilaan. Lisäksi

vuotoilmareitti havaittiin tasoitekerroksen läpäisevistä pöytälevyn kannakeruuveista.

Mittauksen jälkeen samasta reiästä mitattiin paine-ero ylipaineisuuden varmistamiseksi ja mittari näytti hieman pienempää ylipaineisuutta kuin ikkunasta mitattaessa. (noin + 3 - 4 pascalia).

### 10.1.2 Merkkiainekokeet: Laboratorio- ja näytteenottotilat

Hammashoitolan jälkeen merkkiainekoe tehtiin laboratorio- ja näytteenottotiloissa. Laboratorio- ja näytteenottotilat koostuivat kolmen eri tilan ryhmästä, koska tiloissa oli väliovia, joita ei pidetty kiinni. Merkkiainekoe tehtiin ensimmäisenä alapohjaan ja sen jälkeen merkkiainekoetta jatkettiin toisen tilan puolelta ulkoseinästä. Tilat erottava väliseinä näkyy kuvassa 23.



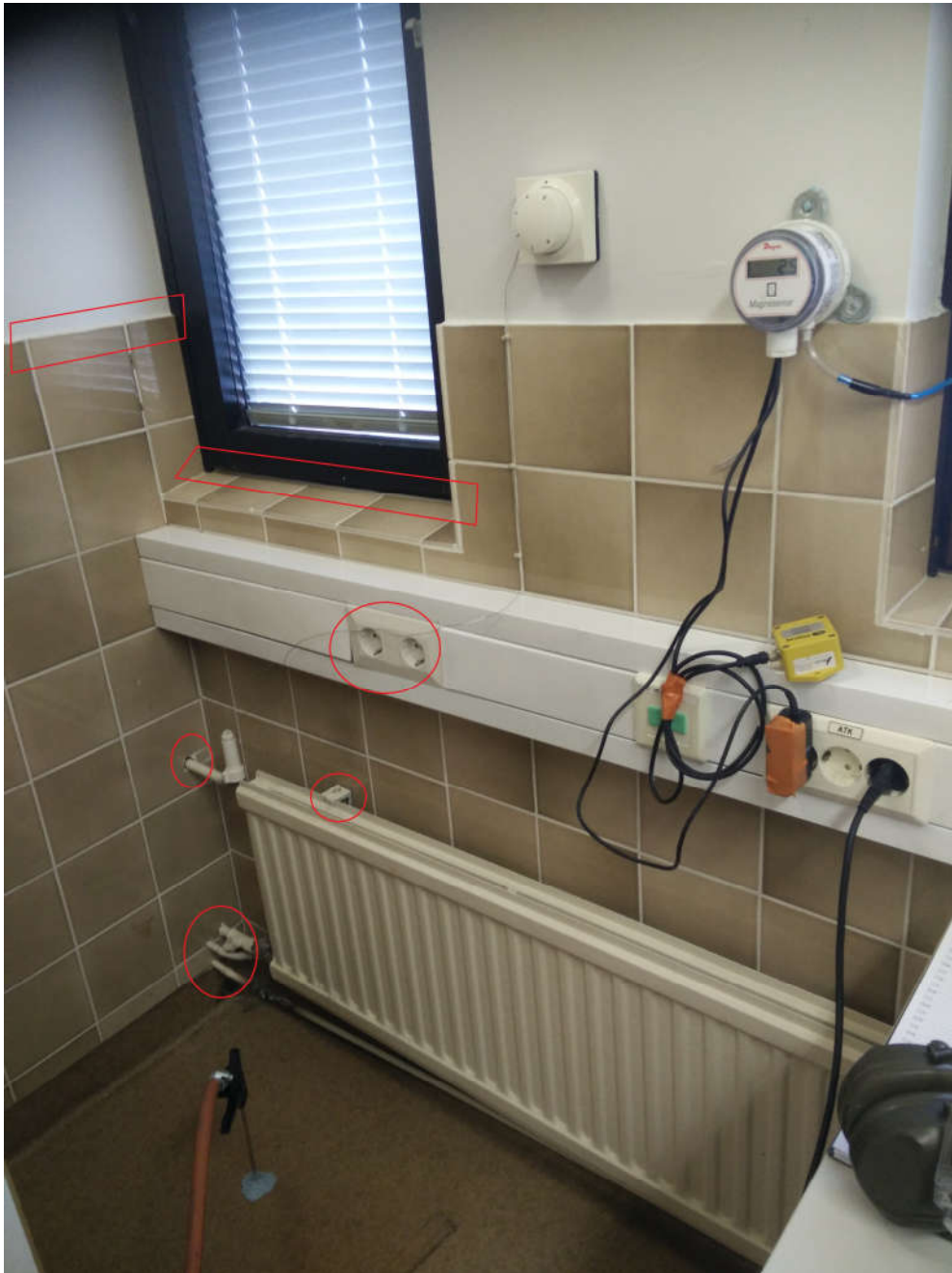
Kuva 23. Mitattava tila. Vasemman puoleisessa kuvassa olevan korkean kaapin alta suoritettiin alapohjan merkkiainekoe ja seinän merkkiainekoe suoritettiin oikean puoleisessa kuvassa näkyvän nojatuolin takaa ulkoseinärakenteesta.

Mittausaika: 6.4 Klo 15:00

Säätila: Aurinkoista, + 4 C°

Paine-ero mittaushetkellä: Jo ennen mittauksen aloittamista havaittiin, että tilassa oleva vetokaappi aiheuttaa tilaan alipaineen. Alipaineen määrä oli noin -4 - 5 pascalia seinärakenteesta ja -2 pascalia alapohjasta. Vetokaappia ei sammutettu,

koska silloin mittaus kuvastaa käytön aikaista tilannetta jolloin vetokaappi on koko ajan päällä. Vetokaapin vaikutuksesta on kerrottu paine-eron pitkäaikaisseurannan tulosten yhteydessä.



Kuva 24. Alapohjan merkkiainekokeessa havaitut vuotoilmareitit

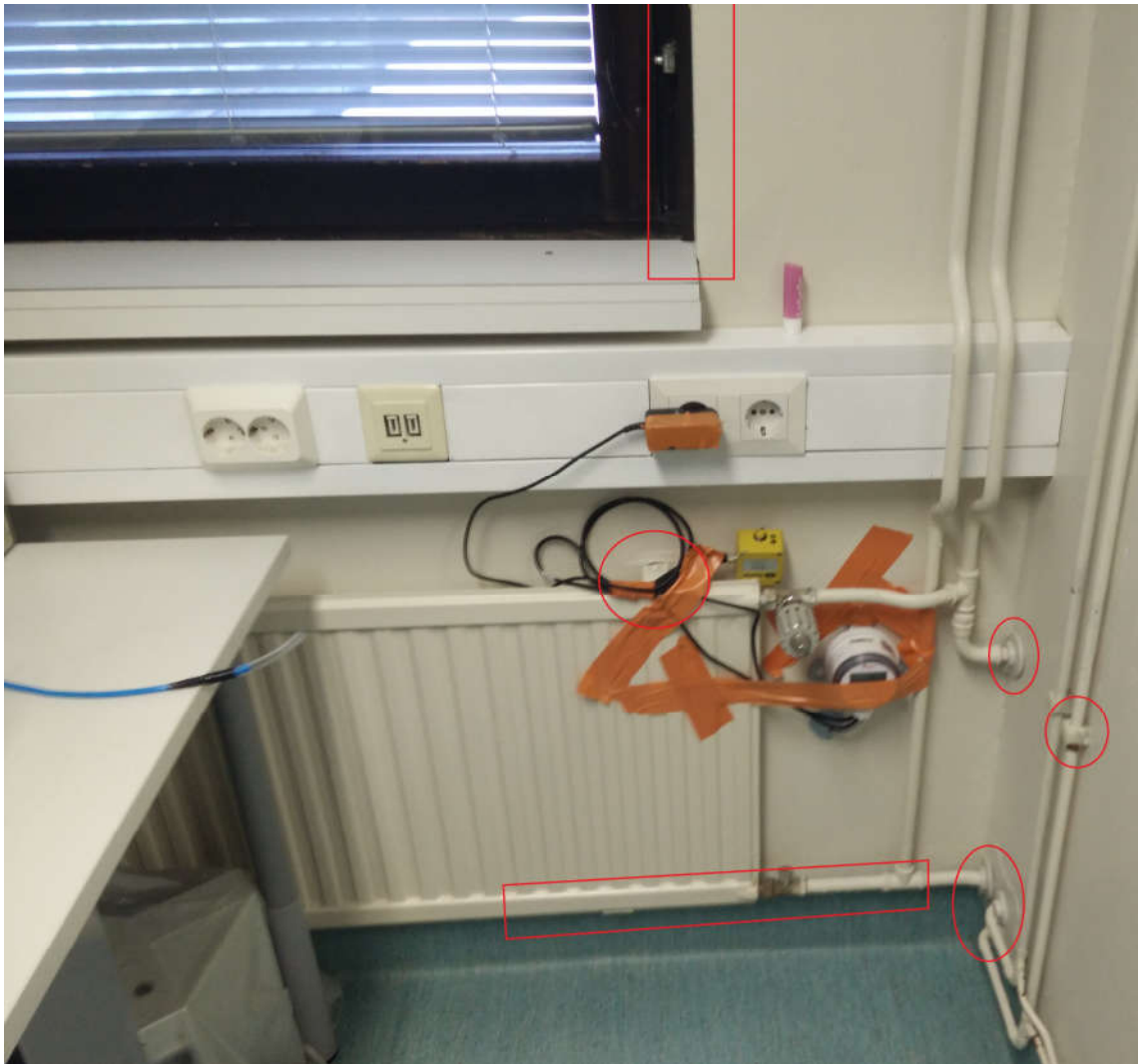
Alapohjan merkkiainekokeen osalta havaittiin, että alapohjarakenteesta on ilmayhteys ulkoseinä- ja väliseinärakenteeseen, kuten kuvaan 24 merkityistä vuotokohdista voimme päätellä. Ilmavuotoa havaittiin erityisesti tiivistämättömästä patteriputkien läpiviennistä väliseinässä heti mittauksen aloittamisen jälkeen.

Lisäksi havaittiin ilmavuotoa ikkunan ja seinän liitoskohdasta ja seinän laatoituksen haljenneesta silikonitiivisteestä. Ilmavuotoa havaittiin myös patteriputkien kannakkeiden kohdalla sekä pistorasioista, mutta ei kuitenkaan johtokourusta tai sen kiinnityksestä.

Alapohjan merkkiainekokeen jälkeen siirryttiin tekemään merkkiainekoetta ulkoseinärakenteeseen. Alapohjaan tehdyn merkkiainekokeen kaasujäämät näkyivät ulkoseinärakenteeseen poratussa reiässä (kuva 25), joka vahvistaa ilmayhteyden olemassa olon alapohjarakenteesta ulkoseinärakenteisiin. Tästä syystä kaasun haihtumista odoteltiin niin pitkään, että alapohjarakenteeseen syötetty merkkiainekaasu haihtui pois.



Kuva 25. Alapohjaan syötetty merkkiaine näkyy ulkoseinärakenteeseen poratussa reiässä. Alapohjan ja ulkoseinän välillä on siis varmulla ilmayhteys.



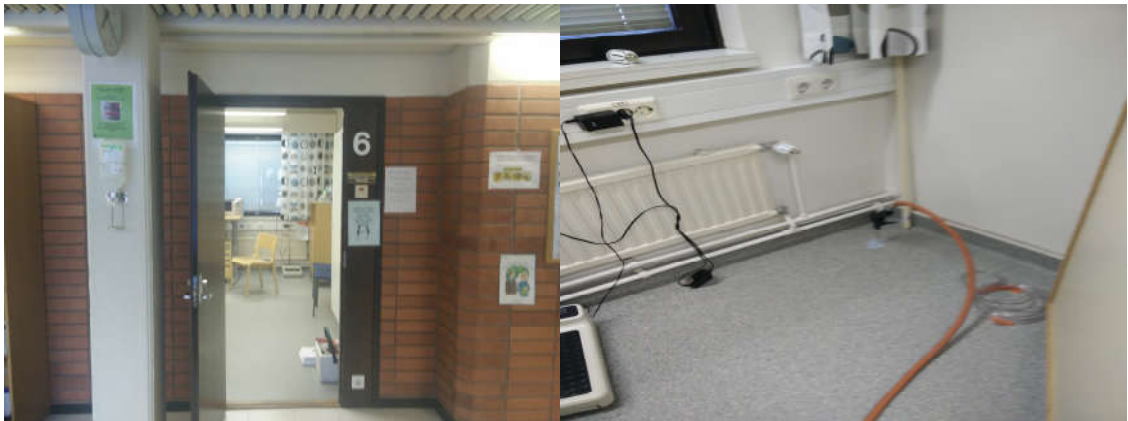
Kuva 26. Ulkoseinän merkkiainekokeen vuotoilmareitit. Kuvassa on asennettu paine-eron mittalaite mittaamaan paine-eroa merkkiainekokeen jälkeen.

Kun kaasu oli haihtunut kokonaan niin että mittalaitteella ei enää havaittu vuotoja mistään, alettiin syöttämään kaasua ulkoseinärakenteeseen. Ulkoseinärakenteen merkkiainekokeessa havaittiin samat patteriputkien läpivientien vuotoilmareitit kuin alapohjankin osalta (kuva 26). Vuotoilmareitti havaittiin myös muovimaton ja ulkoseinärakenteen välistä. Lisäksi havaittiin vuotoilmareitti ikkunan ja seinän liitoskohdasta, patterin kannakkeiden ja patteriputkien kannakkeiden kohdalta.



### 10.1.3 Merkkiainekokeet: Sairaanhoitajan työhuone

Viimeisenä merkkiainekokeita tehtiin sairaanhoitajan työhuoneessa. Näytteenottilojen tapaan, tässäkin tilassa tehtiin merkkiainekokeet sekä alapohjasta että ulkoseinästä. Alapohjan merkkiainekoe tehtiin ensin. Mitattava tila on esitetty kuvassa 27.



Kuva 27. Mitattava tila ja mittauskohta. Oikealla näkyy merkkiaineen syöttöreikä alapohjaan.

Mittausaika: 6.4 Klo 16:00

Säätila: Aurinkoista, + 4 C°

Paine-ero mittaushetkellä: Paine-ero ulkoilmaan nähden oli ikkunasta mitattuna reilusti ylipaineen puolella, noin 3 - 4 pascalia, koko mittauksen ajan.



Kuva 28. Alapohjan merkkiainekokeessa havaitut vuotoilmareitit

Alapohjan osalta havaittiin vuotoilmareitti ulkoseinärakenteen ja ylös nostetun muovimaton välistä. Ilmavuoto johtuu muovimaton rakoilleesta liimauksesta ja sitä esiintyi paikoitellen kuvaan 28 merkityllä alueella. Myös väliseinän puolella havaittiin ilmavuotoa muovimaton ja lattialistan välistä, mutta listan ja väliseinän paremmin tiivistetystä rajapinnasta vuotoa ei esiintynyt. Lisäksi havaittiin voimakasta vuotoa patteriputkien tiivistämättömästä läpiviennistä ja pistemäistä ilma- vuotoa patterin kannakkeiden ja patteriputkien kannakkeiden kohdalta.



Kuva 29. Ulkoseinärakenteen merkkiainekokeessa havaittu vuotokohta

Ulkoseinärakenteen merkkiainekokeessa (kuva 29) havaittiin uutena vuotokoh-  
tana ikkunan ja ulkoseinärakenteen liitoskohta. Lisäksi jo alapohjan merkkiai-  
nekokeen aikana havaitut patterikannakkeiden ja patteriputkien kannakkeiden  
vuotoilmareitit näkyivät selvemmin, kun kaasua syötettiin ulkoseinään.

#### 10.1.4 Johtopäätökset merkkiainekokeista

Ylipaineen määrää seurattiin mittausten aikana ja se oli vetokaapillista tilaa lukuun ottamatta yli +2 Pa mittausten ajan. Laboratoriotiloissa ollut vetokaappi aiheutti yhteen mitatuista tiloista alipaineen, mutta muutoin olosuhteet mittausten aikana olivat ylipaineiset. Ylipaineesta huolimatta, kaikissa tutkituissa tiloissa havaittiin vuotoilmareittejä, joita pitkin vuotoilmavirrat voivat tuoda epäpuhtauksia sisäilmaan ja näin ollen aiheuttaa oireita tilojen käyttäjille.

Merkkiainekokeiden pohjalta voidaan arvioida, että vuotoilmareittien suunta ei ole kääntynyt halutulla tavalla rakenteista pois päin. Tätä tukee se, että kaikissa mitatuissa tiloissa tulokset ovat yhteneväisiä. Kaikille tutkituille tiloille yhteiset vuotoilmareitit olivat

- Muovimaton ja ulko-/väliseinän vuotoilmareitti
- Patteriläpivientien vuotoilmareitit väliseinärakenteissa
- Tiiviin tasoitekerroksen läpäisevät ruuvit esimerkiksi patterikannakkeissa
- Ikkunan ja seinän liitoskohta

Alapohjan merkkiainekokeessa havaittiin, että alapohjarakenteesta on suora ilmayhteys ulkoseinä- ja väliseinärakenteisiin. Patteriläpivientien ja kannakkeiden sekä muovimaton alta havaittu, selkeä ja nopeasti mittalaitteilla näkyvä, ilma vuoto antaa viitteitä tähän suuntaan. Suurimmat yksittäiset vuotokohdat (patteriläpiviennit) tuntuvat myös aistinvaraisesti, kun kämmenselkään tuntuu vuodon kohdalla vetoa. Muovimatto on paikoitellen huonosti kiinnitetty, erityisesti hammashoitolan ja laboratorion tiloissa. Muovimatto irtoa seinästä paikoitellen jopa sormenpäillä kevyesti vetämällä. Huonon muovimaton kiinnityksen ja suoran ilmayhteyden takia vuotoilmavirta pääsee helposti sisäilmaan. Myöhemmin saatujen paine-eron pitkäaikaisseuranta mittausten perusteella voidaan päätellä, että alapohja on huoneilmaan nähden alipaineinen ja tämä yhdessä epätiiviyden rakennusosien kanssa aiheuttaa ylipaineesta huolimatta riskin sisäilmaoireille altistumiselle.

## 10.2 Paine-eromittauksien tulokset

Kunakin paine-eromittauksen kohdalla on esitetty mittaustulokset taulukkona ja mielenkiintoisimmat havainnot kuvina. Mittaustulokset paine-eron pitkäaikaisseurannasta löytyvät kokonaisuudessaan opinnäytetyön liitteenä (liite 1).

### 10.2.1 Paine-eromittaukset: Hammashoitola

Merkkiainekokeiden yhteydessä aloitettiin ensimmäiset paine-eron pitkäaikaismittaukset ja ne kestivät noin kaksi viikkoa. Mittarit asetettiin neljään eri hammashoitolan tilaan. Pitkäaikaismittaus toteutettiin niin että kolme paine-eromittaria mittasi tuuletusikkunasta ja yksi paine-ero mittari mittasi paine-eroa ulkoseinän villatilasta sisäilmaan nähden.

Mittausaika 22.3-5.4



Kuva 30. Mittalaitteet asennettu ikkunaan ja pöydän alle tilassa 1.

Tilat 3 ja 2 ovat yhteydessä toisiinsa väliovien kautta ja näiden tilojen välissä on huoltotila. Huoltotilassa on poistoilmanvaihtoa, joka tulee tulosten tulkinnassa ottaa huomioon. Tilassa 1 mitattiin paine-eroa ulkoilman ja sisäilman välillä ikkunasta ja lisäksi sisäilman ja eristetilan välillä (kuva 30). Näin nähdään, onko seinän alaosassa alipainetta huonetilaan nähden. Mittaus oli helppo toteuttaa käyttämällä hyväksi samaan aikaan porattua merkkiaineen syöttöreikää. Tässä tilassa ei ole kulkuoven lisäksi muita tulokseen vaikuttavia ovia.

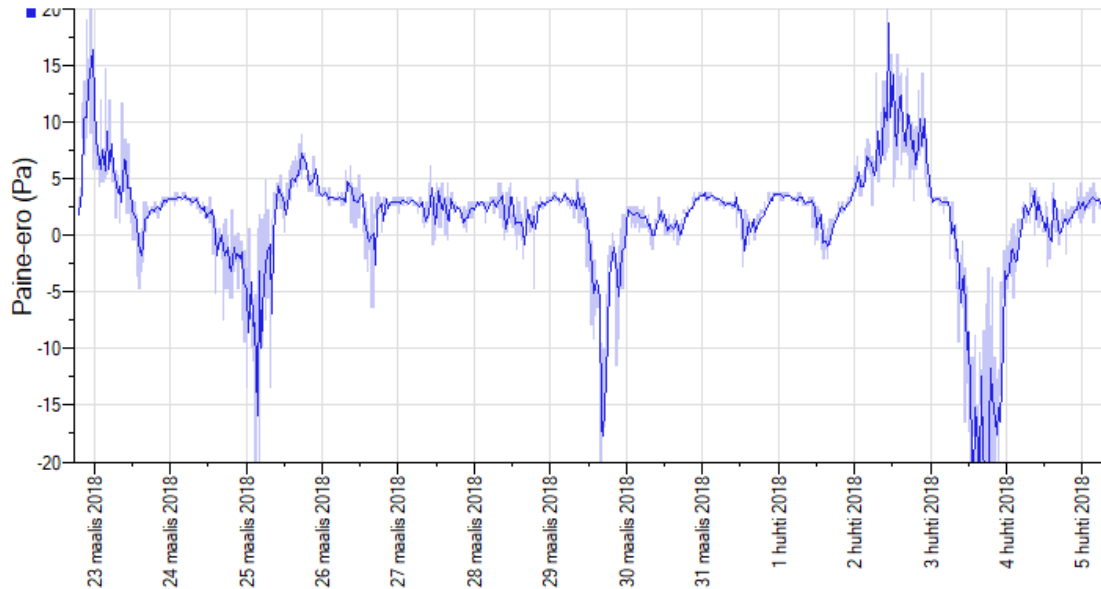
Taulukko 11. Hammashoitolan mittaustulokset. Taulukossa on esitetty paine-eromittausten minimi, maksimi sekä keskiarvo (Pa, pascal) mitausjaksolla.

| Tila           | Min   | Max  | Av  | Johtopäätös                                       |
|----------------|-------|------|-----|---|
| Tila 3, ikkuna | -41,4 | 34,3 | 1,6 | Sisäilma on ylipaineinen ulkoilmaan nähden        |
| Tila 2, ikkuna | -16,3 | 19,4 | 1,3 | Sisäilma on ylipaineinen ulkoilmaan nähden        |
| Tila 1, ikkuna | -24,1 | 17,8 | 5,9 | Sisäilma on ylipaineinen ulkoilmaan nähden        |
| Tila 1, seinä  | -14,7 | 10,0 | 5,9 | Sisäilma on ylipaineinen seinärakenteeseen nähden |

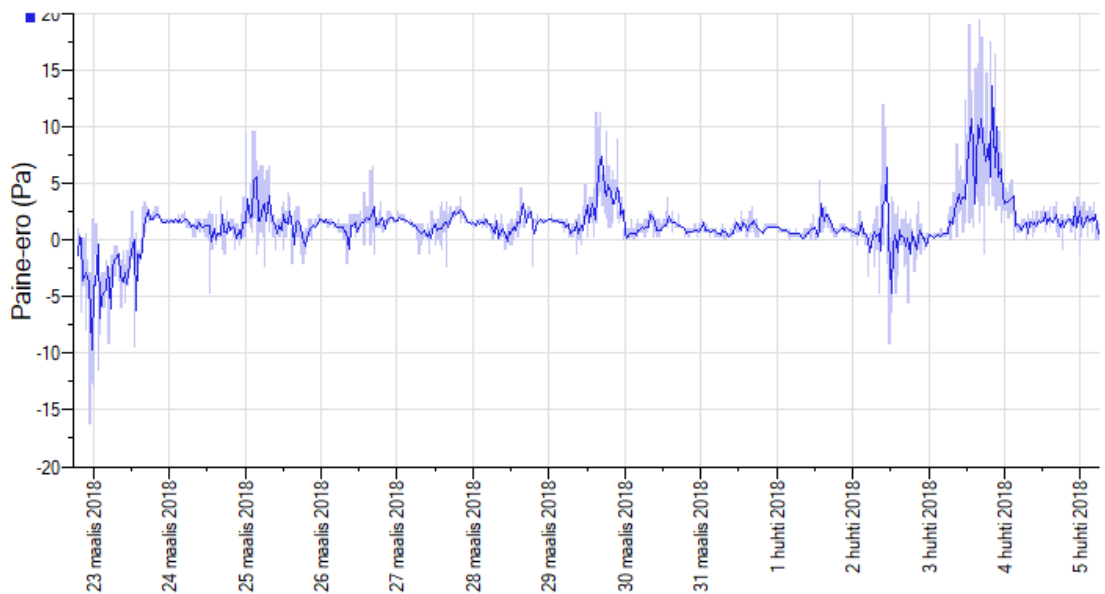
Hammashoitolan mittaustuloksissa (taulukko 11) esiintyy suuria minimi ja maksimi arvojen eroja, joka johtuu hetkellisistä tuulenpuuskista mittaushetkellä. Tilan 1 kohdalla nähdään ikkunamittauksen ja seinän sisältä tehdyn mittauksen ero, joka näkyy pienempinä minimi ja maksimi arvoina, keskiarvon pysyessä täysin samana. Ero johtuu juurikin tuulen hetkellisestä vaikutuksesta. Seinän alaosa vaikuttaa olevan ylipaineinen yhtä paljon kuin ikkunastakin mitatessa, joten tuulen vaikutus jää ainoaksi eroksi mittauspisteiden välillä. Korkeudella ei tässä tapauksessa ollut vaikutusta.

Tiloissa 3 ja 2 on kulkuyhteys väliovien kautta, joka näkyy mittaustuloksissa paine-eron vaihteluina tilojen välillä (kuvat 31 ja 32). Toisessa tilassa ylipaineen määrä on ollut joinain päivinä suurempi kuin toisina ja tilanne on voinut kääntyä päinvastaiseksi jonain muuna päivänä. Tilojen välillä olevissa huoltotiloissa on poistoilmanvaihtoa, joten todennäköisesti syy painevaihteluihin löytyy siitä, että

ovet ovat eri tavalla auki eri päivinä. Joinakin päivinä on myös havaittavissa voimakkaita sään vaihteluita, työaikojen ulkopuolella, jotka ovat aiheuttaneet alipainetta.



Kuva 31. Hammashoitolan tiloissa painesuhteet menevät ristiin. Tässä tilanne tilassa numero 3.



Kuva 32. Viereinen tila 2. Painesuhteet vaikuttavan olevan toiseen tilaan verrattaessa pääasiassa vastakkaiset, kun voimakkaita vaihteluita esiintyy.

## 10.2.2 Paine-eromittaukset: Laboratorio- ja näytteenottotilat

Mittausaika: 6.4-16.4

Hammashoitolan pitkäaikaismittausten päätyttyä, jatkettiin paine-eron seuranta laboratorio- ja näytteenottotiloissa. Kuten merkkiainekokeen tulosten yhteydessä todettiin, koostuu tämä tila kolmen erillisen huoneen muodostamasta ryhmästä, koska tilat erottavat väliovet ovat aina auki. Tämä ei siis käytännössä aiheuta tulosten tulkintaan haasteita, vaikka tilat ovat periaatteessa erillään, väliseinän erottaessa tilat. Tulokset on kuitenkin selvyyden vuoksi erotettu erikseen, tila 1 ja tila 2.

Paine-eron pitkäaikaismittauksissa käytettiin hyväksi merkkiainekokeissa porattuja valmiita reikiä. Alapohjan ja sisäilman välinen paine-eron seuranta toteutettiin tilasta 1 ja väliseinän toiselta puolelta mitattiin ulkoseinän eristetilän ja sisäilman välistä paine-eroa tilasta 2.



Kuva 33. Alipaineisuuden aiheuttava vetokaappi

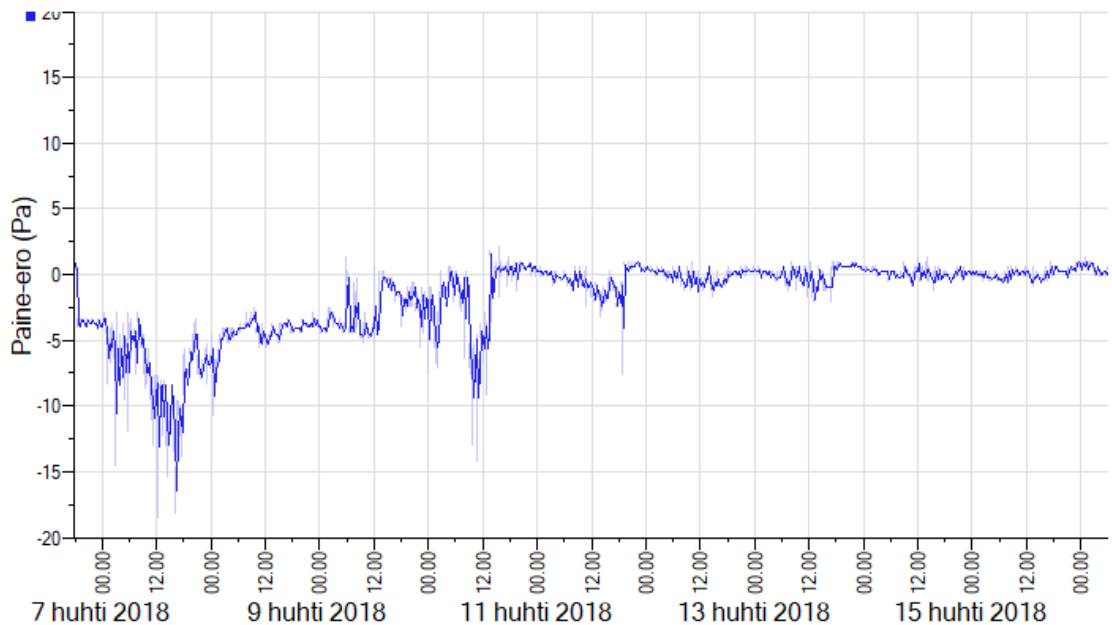


Ennen paine-eron seurantaan tehdyn merkkiainekokeen aikana havaittiin, että tilaryhmässä on käytössä jatkuvasti vetokaappi, joka aiheuttaa tiloihin voimakkaan alipaineen. Vetokaappi, joka näkyy kuvassa 33, ei ollut päällä aikaisemmin tehtyjen hetkellisten mittausten aikana, joten vetokaapin käytöstä johtuvaa alipaineisuutta ei silloin vielä havaittu. Vetokaappia ei sammutettu, vaikka alipaineisuus huomattiin, koska haluttiin nähdä kuinka paljon se vaikuttaa tuloksiin myös pitkällä aikavälillä. Perjantai-iltana asennetut mittarit jätettiin mittaamaan viikonlopun yli vetokaappi päällä.

Taulukko 12. Laboratorion- ja näytteenottotilojen mittaustulokset. Taulukossa on esitetty paine-eromittausten minimi, maksimi sekä keskiarvo (Pa, pascal) mittausjaksolla.

| Tila             | Min   | Max | Av   | Johtopäätös                                       |
|------------------|-------|-----|------|---|
| Tila 1, alapohja | -6,5  | 1,0 | -0,4 | Sisäilma on alipaineinen alapohjaan nähden        |
| Tila 2, seinä    | -18.6 | 2,2 | -1.9 | Sisäilma on alipaineinen seinärakenteeseen nähden |

Taulukosta 12 voidaan todeta, että tilat olivat alipaineisia, vaikka mittausajanjakson aikana vetokaapin käyttöä muutettiin niin että se sammutettiin yöksi. Vetokaapin käyttö on mittaustulosten perusteella muutenkin vähennetty tai kaapin ilmapirtaa säädetty, koska tuloksissa ei näy vetokaapin käytöstä johtuvia piikkejä päivän aikana.



Kuva 34. Ulkoseinän ja sisäilman paine-ero. Kuvassa nähdään vetokaapin huomattava vaikutus painesuhteisiin viikonlopun aikana (7-8.4). Vetokaapin käyttöä on muutettu myöhemmin viikolla, koska painesuhteissa ei enää näy piikkejä.

Tilan 2 ulkoseinästä tehdyssä mittauksessa havaittiin, että erityisesti vetokaappi päällä tilan sisäilma on alipaineinen seinärakenteeseen nähden. Kuvasta 34 vetokaapin vaikutus on selvästi nähtävissä. Tilanne ei täysin korjaannu pelkällä vetokaapin sammuttamisella ja tila on silloinkin ajoittain alipaineinen. Tilaryhmän ylipaineistus ei ole nykyisellään siis riittävä.

Tilan 1 alapohjamittauksessa vetokaapin vaikutus näkyy samaan tapaan kuin seinärakenteenkin osalta, mutta lievempänä. Alapohja on lähes tasapainotilassa, kun vetokaappi on poissa päältä, joten ylipaineistus ei ole alapohjankaan osalta riittävä tässä tilaryhmässä.

### 10.2.3 Paine-eromittaukset: Sairaanhoidajan työhuone

Mittausaika: 6.4-16.4

Paine-eron pitkäaikaisseuranta tehtiin näyttötilojen kanssa samaan aikaan myös sairaanhoidajan työhuoneessa. Tässäkin tilassa hyödynnettiin paine-eron mittaamiseen merkkiainekokeessa tehtyjä reikiä. Alapohjan osalta mitattiin paine-eroa alapohjan ja sisäilman välillä. Toinen mittaus tehtiin ulkoseinärakenteen eristetilan ja sisäilman välillä.

Taulukko 13. Sairaanhoidajan työhuoneen mittaustulokset. Taulukossa on esitetty paine-eromittausten minimi, maksimi sekä keskiarvo (Pa, Pascal) mittausjaksolla.

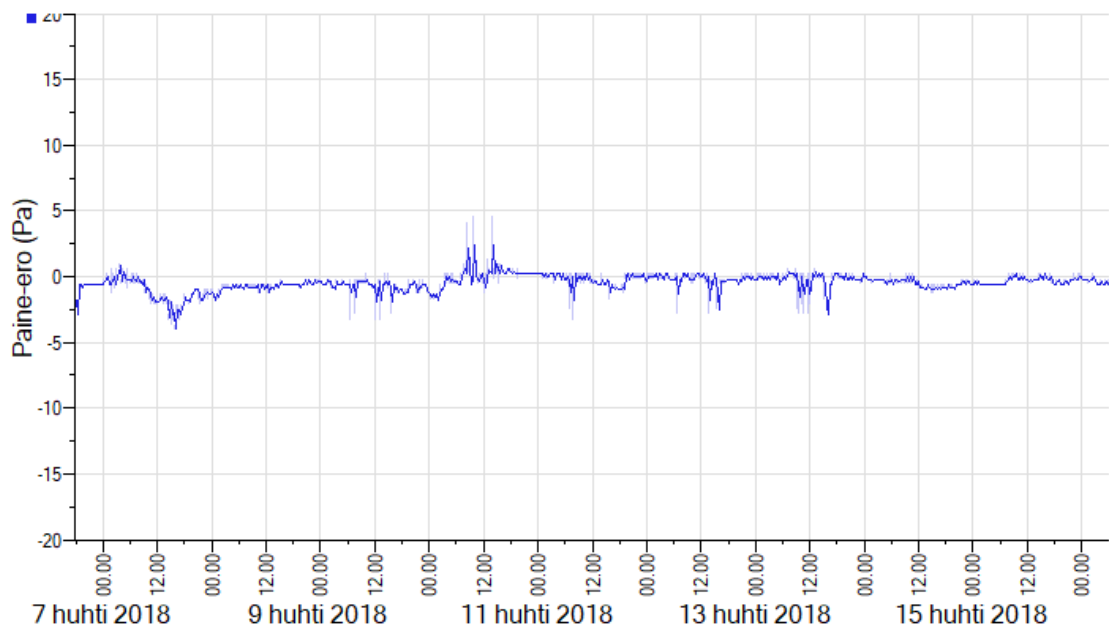
| Tila             | Min   | Max | Av   | Johtopäätös                                       |
|------------------|-------|-----|------|---|
| Tila 1, alapohja | -4,1  | 4,5 | -0,5 | Sisäilma on alipaineinen alapohjaan nähden        |
| Tila 1, seinä    | -10,8 | 8,8 | 3,1  | Sisäilma on ylipaineinen seinärakenteeseen nähden |

Taulukosta 13 nähdään, että tilassa ylipaineisuus ulkoilmaan (seinämittaus) nähden on tarpeeksi suuri suurimman osan ajasta, mutta myös säätilan, tuulen tai ovien avaamisesta johtuvia hetkellisiä painesuhteiden vaihteluita esiintyy. Suurin osa vaihteluista ilmenee iltapäivällä n. klo 12:00 jälkeen, joka viittaisi lähinnä ovien avaamisesta syntyvään painevaihteluun.

Sisäilman ylipaineisuus alapohjaan nähden ei sen sijaan toteudu, koska sisäilma on alipaineinen alapohjaan nähden suurimman osan ajasta. Vuotoilman siirtymistä esimerkiksi merkkiainekokeen aikana havaituista reistä voidaan pitää todennäköisenä.

#### 10.2.4 Johtopäätökset paine-eromittauksista

Tuloksista havaitaan, että erityisesti alapohjamittauksista (kuva 35) esiintyy pitkäaikaista ja jatkuvaa alipaineisuutta, joka johtuu normaalista rakennuksen painevaihtelusta eri korkeuksilla (ns. savupiippuilmio) sekä rakennuksen epätiiveydestä varsinkin alapohjan osalta. Tämä tukee merkkiainekokeissa tehtyjä havaintoja siitä, että alapohjan merkkiainekokeissa havaitut vuotoilmareitit voivat siirtää alapohjassa todettuja epäpuhtauksia sisäilmaan ylipaineisuudesta huolimatta, koska ilman virtaussuunta ei ole kääntynyt sisäilman ja alapohjan välillä ylipaineiseksi.

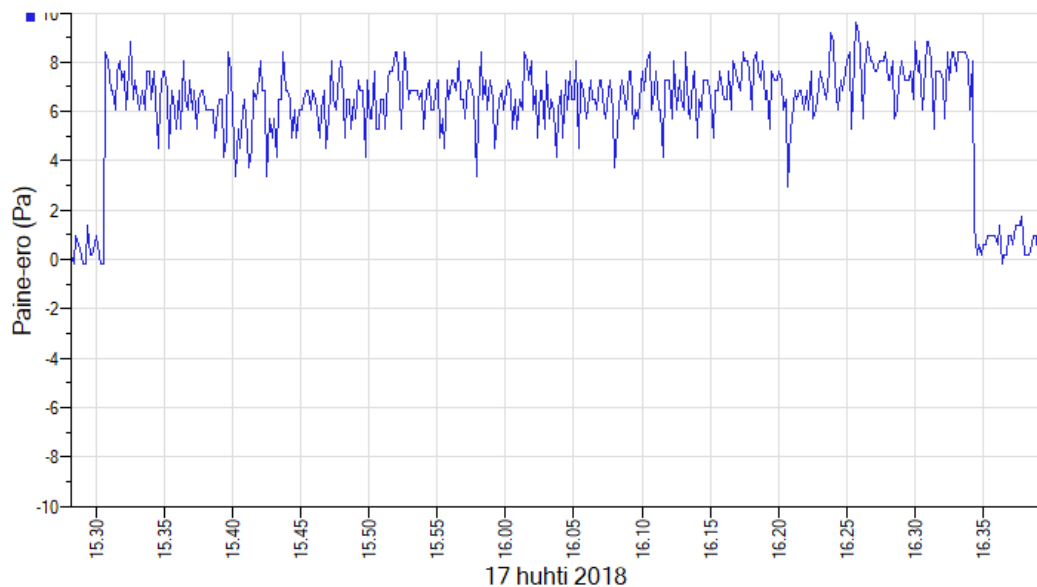


Kuva 35. Alapohjan paine-eromittauksen tuloksia sairaanhoitajan tilassa. Alipainetta esiintyy erityisesti sunnuntaina 8.4. Sunnuntaina tiloja ei käytetty, joten paine-ero johtuu säästä. Muovimaton tiivistämisellä tilanne voi parantua.

Seinärakenteet vaikuttavat pitkäaikaisissa mittauksissa pääosin ylipaineisilta sisäilmaan nähden. Seinärakenteen osalta kaikissa tiloissa havaitaan kuitenkin myös hetkellisiä vaihteluita, jotka saavat huoneilman alipaineiseksi. Tämä johtuu pääasiassa tiloihin tullessa ja sieltä poistuttaessa, sekä kovan tuulen tai muun sääilmiön aikana. Se voi aiheuttaa hetkellisiä epäpuhtaita vuotoilmavirtoja rakenteista huoneilmaan havaituista vuotoilmakohdista.



Mittaus päätetään uusia tiistaina 19.4 ja sitä päätettiin kokeilla niin että merkkiainetta syötettiin rakenteeseen niin hitaasti kuin virtaussäätimellä oli suinkin mahdollista. Virtaus saatiin kuristettua noin 1-2 l/min tasolle, jolloin virtausnopeus on niin pieni, että sen ei pitäisi vaikuttaa painesuhteisiin rakenteen sisällä. Lisäksi seinän eristetilän ja sisäilman sekä ulkoilman ja sisäilman välille asennettiin paine-eron mittaavat mittalaitteet. Mittalaitteet asetettiin mittaamaan paine-eroa sekunnin välein koko mittauksen ajan, jolloin voidaan verrata, tapahtuuko rakenteen painesuhteissa merkkiainekaasun vaikutuksesta muutosta (kuva 36).



Kuva 37. Seinärakenteen eristetilän ja sisäilman väliltä mitattu paine-ero

Kuvasta 37 nähdään, että mittauksen aikana seinärakenteen ja sisäilma välillä ei tapahdu paine-erossa normaalin heilunnan lisäksi minkäänlaista muutosta. Ennen mittauksen aloittamista ovi on ollut auki, kun tavaroita viedään tilaan ja sen aikana ylipaineen määrä on tippunut 8 pascalin tasosta lähes nolliin hetkellisesti. Tästä syystä paineen annettiin tasaantua rauhallisesti ennen mittauksen aloittamista, jotta tästä hetkellisestä paineen muutoksesta johtuva muutos voidaan sulkea pois virhelähteenä.

Mittaus aloitettiin klo 15:45 ja merkkiainekaasua syötettiin kahden minuutin ajan eli noin neljän litran määrä ulkoseinärakenteeseen. Merkkiainetta havaittiin kaasun syöttämisen jälkeen ulkoseinärakenteen ja muovimatton välistä samaan

tapaan kuin aikaisemmin tehdyssä merkkiainekokeessa (kuva 38). Merkkiainekokeen perusteella huonetilaan oli siis edelleen ilmavuotoa, vaikka ylipaineisuuden määrä mittaushetkellä oli reilusti suurempi kuin oli suunniteltu eli 4 - 9 pascalin välillä. Suoraan ulkoilmasta sisäilmaan tehdyssä paine-eromittauksessa saatiin samanlainen mittaustulos kuin seinärakenteessakin, eikä rakenteen sisällä esiinny poikkeavaa painesuhdetta mittauksen aikana. Lisäksi sää oli mittaushetkellä tuuleton, joskin kevyttä sadetta alkoi tulla mittauksen loppuvaiheessa. Lämpötila oli noin + 6 C°:ta, joten säätila ei vaikuttanut tuloksiin. Hammashoitolan alla on ylipaineistettu kellaritila, joka oli aikaisemmissa hetkellisissä mittauksissa todettu ylipaineiseksi, mutta ylipaineisuuden määrä oli kellaritiloissa hieman lievempi.

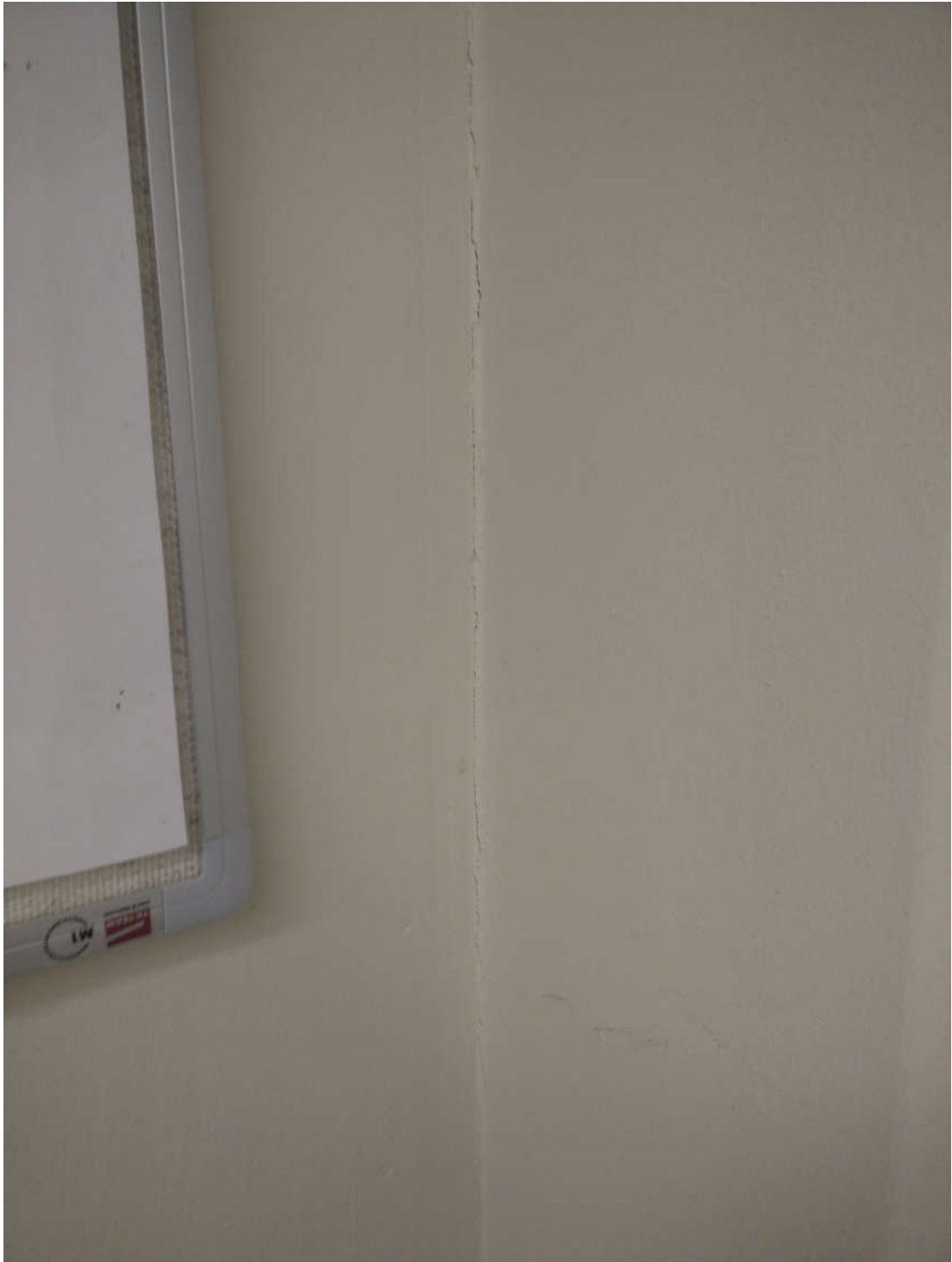


Kuva 38. Vuotoa havaittiin runsaasta ylipaineisuudesta huolimatta. Mittalaitteessa paine-ero seinän eristetilan ja sisäilman välillä 6,3 pascalia.

Kahden minuutin merkkiaineekaasuttamisen jälkeen pidettiin varttitunnin tauko, jolloin vuotokohtia etsittiin ja merkkiaineekaasun annettiin levitä. Merkkiaineekasua oli rakenteessa vain neljä litraa, mutta silti kaasu ei tuntunut tuulettuvan pois rakenteista. Runsaasta ylipaineisuudesta huolimatta kaasu pysytteli ulkoseinärakenteessa ja levisi rakenteessa niin, että sitä pystyi havaitsemaan aiemmin havaitun lattian ja muovimaton liitoskohdan lisäksi myös patterikannakkeiden kiinnitysruuvien kohdalta. Nämä olivat kaksi kohtaa, jotka havaittiin aikaisemmassa merkkiainetutkimuksessa.

Koska merkkiainetta pääsi huonetilaan jo näin pienillä määrillä, päätettiin kaasua syöttää rakenteeseen lisää. Klo 16:10 syötettiin kaasua rakenteeseen kahdeksan minuutin ajan, jolloin merkkiainetta on rakenteessa edellinen mittaus huomioiden yhteensä 20 litraa. Nyt havaittiin uusia ilmavuotoreittejä aikaisempien lisäksi. Vuotoa havaittiin nyt ikkunan ja ulkoseinärakenteen liitoskohdasta sekä huoneen kulmassa olevan pilarin kulmasta rakoilleesta tasoitteesta, joka on esitetty kuvassa 39. Lisäksi havaittiin vuotoilmareitti sähköjohtokourun päästä. Muovimaton ja seinän liitoskohdan vuotoilmareitti levisi kaasun lisääntyessä myös viereiselle seinustalle eli kuvassa näkyvän pilarin toiselle puolelle. Vuotokohdat on esitetty kokonaisuudessaan kuvassa 40.





Kuva 39. Pilarin ja ulkoseinän liitoksessa olevassa tasoitekerroksessa näkyy halkeama, mistä pääsi pidemmässä kaasutuksessa merkkiainetta sisäilmaan

Kaasun haihtumista odoteltiin, mutta sitä ei näyttänyt tapahtuvan kovin nopeasti. 2 minuutin merkkiainekokeen tapaan, kaasu ei tuntunut haihtuvan vajaan puolen tunnin odottelun aikana juuri minnekään. Ainoastaan ulkoseinärakenteessa olleet vuokohdat haihtuivat sillä tavalla, että mittalaite ei enää reagoinut niihin niin herkästi. Muovimaton ja ulkoseinän liitoskohdan vuotoilmareitistä tullut merkkiaine pysyi kuitenkin havaittavissa odottelun loppuun asti.

Ylimääräinen merkkiainekoe ei vastannut kysymykseen siitä, miksi merkkiaine tulee ylipaineesta huolimatta huoneilmaan päin rakenteista. Ylimääräisen merkkiainekokeen jälkeen ajateltiin, että voisiko merkkiaineen näkyminen johtua huoneilman ja merkkiainekaasun erilaisesta osapaine-erosta tai merkkiainekaasun muista ominaisuuksista. Merkkiainekaasun käyttö ylipaineisen kiinteistön vuotoilmareittien tarkastelussa vaikuttaa kuitenkin vaativan lisätutkimusta.



Kuva 40. Uusitussa merkkiainekokeessa havaittuja uusia vuotokohtia

## 11 Yhteenveto tuloksista ja korjausehdotukset

Terveysaseman ylipaineistus ei mitattujen tilojen perusteella toimi täysin suunnitellulla tavalla pelkästään nyt tehdyillä toimenpiteillä. Sisäilmatalo Kärki Oy suosittelee tekemään kiinteistöön vielä korjaavia toimenpiteitä. Pääasiallinen toimenpide-ehdotus ylipaineistuksen toimivuuden parantamiseksi olisi merkkiainekokeissa havaittujen vuotoilmareittien tiivistäminen. Lisäksi tuloilmavaihtoa voitaisiin kasvattaa edelleen, jotta ylipaineistus alapohjan osalta toteutuisi paremmin.



Kuva 41. Muovimaton ja ulko-/väliseinärakenteiden tiiveys oli paikoitellen hyvinkin puutteellinen. Kuvan muovimatto lähti irti sormenpäällä kevyesti vetämällä.

Merkkiainekokeissa havaittiin kohtuullisen paljon erilaisia vuotoilmareittejä, joista ylipaineistuksen toimivuuden kannalta merkittävin vuotoilmareitti oli lattian muovimaton ja ulko/väliseinärakenteen liitoskohta. Tämä johtuu siitä, että huonetilan havaittiin olevan paine-eron pitkäaikaismittauksissa alipainen alapohjaan nähden ja näin ollen epäpuhtauksien siirtyminen vuotoilmavirtojen avulla huoneilmaan on mahdollista. Muovimaton liimaus repsotti paikoitellen selvästi, kuten esimerkiksi kuvan 41 tilanteesta voi todeta. Muovimatto oli rakoillut ja ei ollut enää vuosien paikalla olonsa jälkeen tiivis. Toimenpide-ehdotukseksi annettiin, että muovimaton tiiveyttä parannettaisiin liimalla tai tiivistämällä muovimatto uudelleen esimerkiksi liimatiivistemassalla sen reuna-alueilta. Tämä on varsin helppo toteuttaa, ainakin tutkituissa tiloissa, joissa muovimatto oli ylös vedetty ja liimattu tasoitetun seinäpinnoitteen päälle. Samalla voitaisiin tiivistää vuotoilmareitti patteriputkien läpivientien kohdalla, josta havaittiin myös merkittävää ilmavuotoa alapohjan kautta (kuva 42).



Kuva 42. Patteriputkien läpiviennit tulisi tiivistää paremmin, koska alapohjasta on ilmayhteys väliseinärakenteisiin ja läpivienneistä havaittiin runsaasti ilmavuotoa.

Lisäksi ehdotettiin, että tilojen tuloilmavirtoja voitaisiin kasvattaa entisestään. Ehdotuksen perusteluna oli, että tuloilmavirtoja kasvattamalla ylipaineisuuden määrää saataisiin kasvatettua ja sen avulla saataisiin lisättyä alapohjan ja huonetilan välistä paine-eroa, joka nyt jäi parhaimmassakin tapauksessa vain lähelle nollassa. Haasteena ilmavirtojen kasvattamisessa on, että ilmanvaihtokoneet ovat hyvin lähellä maksimitheoa jo nyt, joten tehon kasvattamisessa voi tulla raja vastaan, eikä siinä onnistuta.

Toinen vaihtoehto on kuristaa poistoilmanvaihtoa lisää, mutta se ei käytännössä enää ole järkevää, koska poistoilmanvaihtoa kuristettiin ylipaineistuksen käyttöönoton aikana noin 20 % verran aikanaan suunnitelluista asetusarvoista. Lisäkuristamisella saatettaisiin heikentää työntekijöiden olosuhteita liikaa, koska poistoilmanvaihtoa liikaa heikentämällä esimerkiksi hiilidioksidipitoisuudet ja tilojen lämpötilat kasvavat liian suuriksi, vaikka rakennus on epätiivis ja epätiivis rakenne toimittaisi poistoilmanvaihdon virkaa ainakin joltain osin.

Ylipaineistuksen toimivuutta voitaisiin lisätä myös alipaineistamalla maanvaraisen alapohjalaatan alaosa erillisillä poistomureilla. Periaatteena on, että alapohja muuttuu alipaineiseksi huonetilaan nähden ja ilmavirran suunta kääntyy huonetilasta alapohjaan päin, koska alapohjasta imetään ilmaa siihen tarkoitukseen asennetuilla poistopuhaltimilla. Haasteena tässä toimenpiteessä on se, että imu-reita jouduttaisiin asentamaan paljon, koska alapohja on pääosin maanvarainen ja ilmaa ei näin ollen saada poistettua kovin suurelta alueelta, koska se ei pääse vapaasti liikkumaan tiiviissä materiaalissa. Alapohjalaatan alle asennetun imurin teho riippuu täysin siitä, kuinka hyvin ilma pääsee sen alla olevassa materiaalissa liikkumaan. Esimerkiksi ryömintätilaiseen alapohjaan, tällainen korjaus olisi helppo toteuttaa. Tämän toimenpide-ehdotuksen toteutusta voitaisiin harkita siinä vaiheessa, jos aikaisemmin mainituilla toimenpide-ehdotuksilla ei päästä ylipaineistuksen määrässä riittävälle tasolle. Erillisten alipaineistusimureiden asennus on myös kallis ja työläs ratkaisu kun otetaan huomioon rakennuksen jäljellä oleva lyhyt elinkaari.

Laboratorio- ja näytteenottotilaryhmän alueella oleva vetokaappi aiheuttaa tilaan jatkuvan alipaineen, jos sitä käytetään koko ajan. Sen käyttöä tulisi jatkaa vain tarvittaessa ja riittävästä korvausilman saannista tulisi huolehtia esimerkiksi avaamalla ikkunaa sen käytön ajaksi. Vetokaappiin tullaan asentamaan aikakello tai vastaava laite jolloin vetokaappi ei voi jäädä päälle liian pitkäksi aikaa.

Lisäksi kiinteistöön ajateltiin tehtävän muita muutoksia, joita ei korjausehdotuksissa tuotu esille. Näillä pyritään ehkäisemään liian korkeita lämpötiloja ja hapen puutteen tunnetta, joita osa työntekijöistä on ylipaineistuksen aikana kokenut. Ilmanvaihtokoneen tuloilman lämpötilan asetusarvoa ajateltiin laskea puolella asteella, 17,5 celsiusasteesta 17,0 celsiusasteeseen. Lisäksi muutetaan sisäilman lämpötila 21 celsiusasteesta 20 celsiusasteeseen. Varsinkin kun siirrytään kohti kesää ja korkeampia ulkolämpötiloja, nämä muutokset voivat vaikuttaa myönteisesti sisäilman laatuun.

## 12 Pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, toimiiko ylipaineistus korjaavana toimenpiteenä sisäilmaongelmaisessa kiinteistössä. Tutkimuskohteessa tehdyistä tutkimuksista saaduista tuloksista voidaan päätellä, että ylipaineistushankkeissa on riskitekijöitä, joiden seurauksena ylipaineistuksella ei saada haluttuja tuloksia.

Ensimmäinen riskitekijä liittyy maanvaraiseen alapohjaan. Sisäilmaa ei saada maanvaraiseen alapohjaan nähden ylipaineiseksi, koska savupiippuvaikutus yhdessä epätiivien rakenteiden kanssa ei riitä tuottamaan tiloihin tarpeeksi suurta ylipainetta, kun tarkastellaan alapohjaa. Sisäilman ja seinärakenteiden osalta ylipaine vaikuttaa pääosin toimivalta.

Toinen riskitekijä liittyy terveystieteeseen ylipaineistuskohdeena. Terveystieteessä on erilaisia tilatyyppejä, joiden käyttötavat voivat poiketa huomattavasti toisistaan ja aiheuttaa muutoksia ylipaineisuuteen. Vetokaapillinen laboratoriotila ja hammashoitola ovat tästä hyviä esimerkkejä, joissa tilojen erilaiset käyttötilanteet vaikuttavat painesuhteisiin. Erilaiset tilatyypit vaativat paljon mittauksia, jotta ongelmat ylipaineistuksen toimivuudessa saadaan selville. Lisäksi terveystieteessä tilat ovat keskenään varsin tiiviitä, jolloin ilmanvaihdon päätelaitteiden huolellinen säätö jokaisessa tilassa on tärkeää tasaisen ylipaineen saavuttamiseksi. Vaikka terveystieteerakennus vaikuttaisi kokonaisuutena ylipaineiselta, ei voida olettaa, että huoneet olisivat ylipaineisia ilman jokaisessa tilassa tehtäviä mittauksia.

Kolmantena riskitekijänä voidaan mainita se, että käyttäjät voivat tuulettaa tilojaan joko ikkunasta tai pitämällä ovia auki. Tällöin ilmanvaihto ja ylipaineistus ei välttämättä toimi halutulla tavalla. Varsinkin ikkunoita avaamalla ylipaineistuksella saatava hyöty menetetään, kun ylipaine karkaa ikkunasta ulos. Tuuletusta tapahtui myös sen jälkeen, kun käyttäjiä oli ohjeistettu pitämään ikkunat suljettuna.

Riskitekijöitä sisältyy lisäksi rakennuksen tiiveyteen. Epätiivis rakennus ei sovi ylipaineistukseen kovin hyvin, koska ensinnäkään ylipaineistukselle asetettua tasoa ei välttämättä edes saavuteta ilman poistoilmanvaihdon kuristamista. Toiseksi, epätiivit rakenteet altistavat rakennuksen ulko-olosuhteista johtuville painesuhteiden vaihteluille, lähinnä tuulelle. Vaikka rakennus olisi pääasiassa ylipaineinen, voi kovalla tuulella syntyä voimakkaita painevaihteluita, jotka aiheuttavat epäpuhtauksien siirtymisen vaurioituneista rakenteista sisäilmaan. Tämä korostuu epätiivissä rakennuksessa, kuten tutkimuskohde, ja on havaittavissa paine-eron pitkäaikaismittausten tuloksista.

Hankkeen positiivisina puolina voidaan mainita, että ilmanvaihdon säätö paine-erolähtimien ja taajuusmuuttajien avulla vaikuttaa toimivan hyvin. Yöpakkasten aikana ei esiinny pitkäaikaismittausten aikana lämpötilaeroista johtuvia painesuhteiden muutoksia. Lämpötilan muutokset tapahtuvat hitaasti, joten automaatiojärjestelmä pystyy reagoimaan tämänkaltaisiin hitaisiin muutoksiin hyvin. Positiivista palautetta saivat myös tilojen käytäville asennutetut paine-eromittarit, joita käyttäjät pystyivät itse seuraamaan.

Mittaukset ja menetelmät olivat hyvin kohteeseen sopivia. Erityisesti aluksi tehty paine-erojen hetkellinen mittaus antoi osviittaa tulevasta ja auttoi kartoittamaan mahdollisia ongelmatiloja varsin vähällä vaivalla. Paine-eron pitkäaikaisseuranta antoi myös hyvän kuvan eri tilojen painesuhteista ja niihin vaikuttavista tekijöistä. Merkkiainetutkimukset sopivat hyvin vuotokohtien tarkasteluun, joita voidaan tiivistää ylipaineen vaikutuksen parantamiseksi. Merkkiainekokeissa kuitenkin havaittiin, että ylipaine ei estä merkkiaineen pääsyä rakenteista sisäilmaan. Opinäytetyön aikana ei saatu selvyttä, mistä merkkiaineen siirtyminen johtui ja se aiheuttaa epävarmuustekijän merkkiainekokeiden tekemiselle, kun tutkitaan ylipaineistuskohteita. Tämä seikka tulisi tutkia tarkemmin.

Kohteessa tehdään kevään aikana virallinen sisäilmakysely eli Örebro, johon kaikki työntekijät on velvoitettu vastaamaan. Se voisi antaa enemmän tietoa siitä saavutettiinko sisäilmaston olosuhteissa käyttäjien mielestä parannusta



verrattuna lähtötilanteeseen. Tämän opinnäytetyön tekohetkellä tuloksia ei kuitenkaan vielä ollut käytössä, joten oireiden näkökulmasta onnistumista ei voida arvioida. Opinnäytetyön tekijän omien havaintojen ja keskustelujen työntekijöiden perusteella olosuhteissa ei kuitenkaan ollut merkittävää parannusta ylipaineen vaikutuksesta. Lisäksi tilojen käyttäjien esimiesten tekemät kyselyt viittaisivat samaan suuntaan. Ne jotka oireilivat ennen ylipaineistusta, oireilevat edelleen samalla tavalla. Tämä, yhdistettynä mittaustuloksiin ei tee ylipaineistuksesta kovin houkuttelevaa ratkaisua esimerkkikohteen tyyliisessä rakennuksessa. Tutkimuksia ylipaineistuskohteessa jatketaan opinnäytetyön tekemisen jälkeenkin. Tarkoituksena on tutkia vielä ainakin tilojen hiilidioksidipitoisuuksia.

Jos havaittaisiin että sisäilmaoireet ovat selkeästi vähentyneet ylipaineen vaikutuksesta, voitaisiin ajatella, että ylipaineistuksella on saavutettu hyötyä. Koska tarkkoja tietoja ei kuitenkaan ole käytettävissä, on ylipaineisuuden hyötyjen arviointi sen kaikista tärkeimmän seikan eli käyttäjien kokemusten perusteella mahdotonta. Kysymykseen siitä, voidaanko ylipaineistettua kiinteistöä käyttää, kun odotellaan uusia tiloja, ei voi täysin vastata, koska emme tiedä onko käyttäjien oireet varmasti lieventyneet. Nyt tarkastelua voidaankin tehdä lähinnä aiemmin lueteltujen ylipaineistukseen vaikuttavien teknisten seikkojen näkökulmasta.

Vaikka ylipaineistus ei tässä tapauksessa ole vielä tuonut toivottua lopputulosta teknisessä mielessä, ei ylipaineistusta kannata täysin hylätä. Erilaisessa kiinteistössä, jossa esimerkiksi tilat eivät eroa toisistaan niin paljon, alapohja on ryömintätilainen ja rakennus on tiiviimpi, voidaan saavuttaa ylipaineistuksella parempia lopputuloksia. Ylipaineistuksen käytettävyyttä tuleekin arvioida jatkossa vielä enemmän tapauskohtaisesti. Se voi sopia hetkelliseksi korjaavaksi toimenpiteeksi, jos tilat ja rakennus sopivat ylipaineistushankkeeseen.

Lisäksi on vielä syytä täsmentää, että ylipaineistus on todellakin väliaikainen korjaustoimenpide, eikä sitä kannata käyttää sellaisessa tilanteessa jossa rakennus on vielä korjauskelpoinen ilman suuria investointeja. Ylipaineistus lisää rakenteiden kosteusrasitusta ja edesauttaa uusien kosteusvaurioiden syntymistä rakenteissa. Lisäksi jo olemassa olevien mikrobivaurioiden olosuhteet rakenteissa

voivat ylipaineistuksen aikana parantua, jolloin myös mikrobivauriot laajenevat. Pitkällä aikavälillä ylipaineistus näin ollen voi aiheuttaa enemmän haittaa kuin hyötyä. Parhaiten se toimii hetkellisenä korjaavana toimenpiteenä sisäilmaongelmaisessa kiinteistössä silloin, kun odotellaan suuria korjaavia toimenpiteitä, joilla rakennuksessa ilmenneet ongelmat korjataan tai kiinteistö korvataan kokonaan uudella.

## 13 Lähdeluettelo

- Björkholtz, D. 1997. Lämpö ja Kosteus – Rakennusfysiikka, Vantaa: Rakennustieto Oy.
- Ihatsu, S. 2014. Terveyttä kaikille – terveyskeskukset 1970-luvulta 1990-luvulle, Vihti: Casaco Studio Oy.
- Kattoliitto Ry. 2013. Toimivat katot 2013. Helsinki: Kattoliitto Ry.
- Paloniitty, S. 2013. Rakennusten tiiviysmittaus, Espoo: Suomen Rakennusmedia Oy.
- Pitkäranta, M. 2016. Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus, Helsinki: Ympäristöministeriö.
- Rakennustieto Oy. 2009. Sisäilmaluokitus 2008 - Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset RT 07-10946, Espoo: Rakennustieto Oy.
- Sandberg, E. 2016. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät – Ilmastointitekniikka Osa 1, Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy.
- Seppänen, O. ja Seppänen, M. 2007. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka, Jyväskylä: SIY Sisäilmatieto Oy.
- SFS-EN ISO 7730, 2006. Ergonomics of the thermal environment. Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria, Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- Sisäilmayhdistys ry. 2008. Sisäilmaoireet. Sisäilmayhdistys ry.  
<http://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Terveysvaikutukset/Sisailmaoireet> 11.5.2018.
- Sisäilmayhdistys ry. 2008 Mikrobien terveyshaitat. Sisäilmayhdistys ry.  
<http://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Terveysvaikutukset/Mikrobien-terveyshaitat> 11.5.2018.

Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista 545/2015.

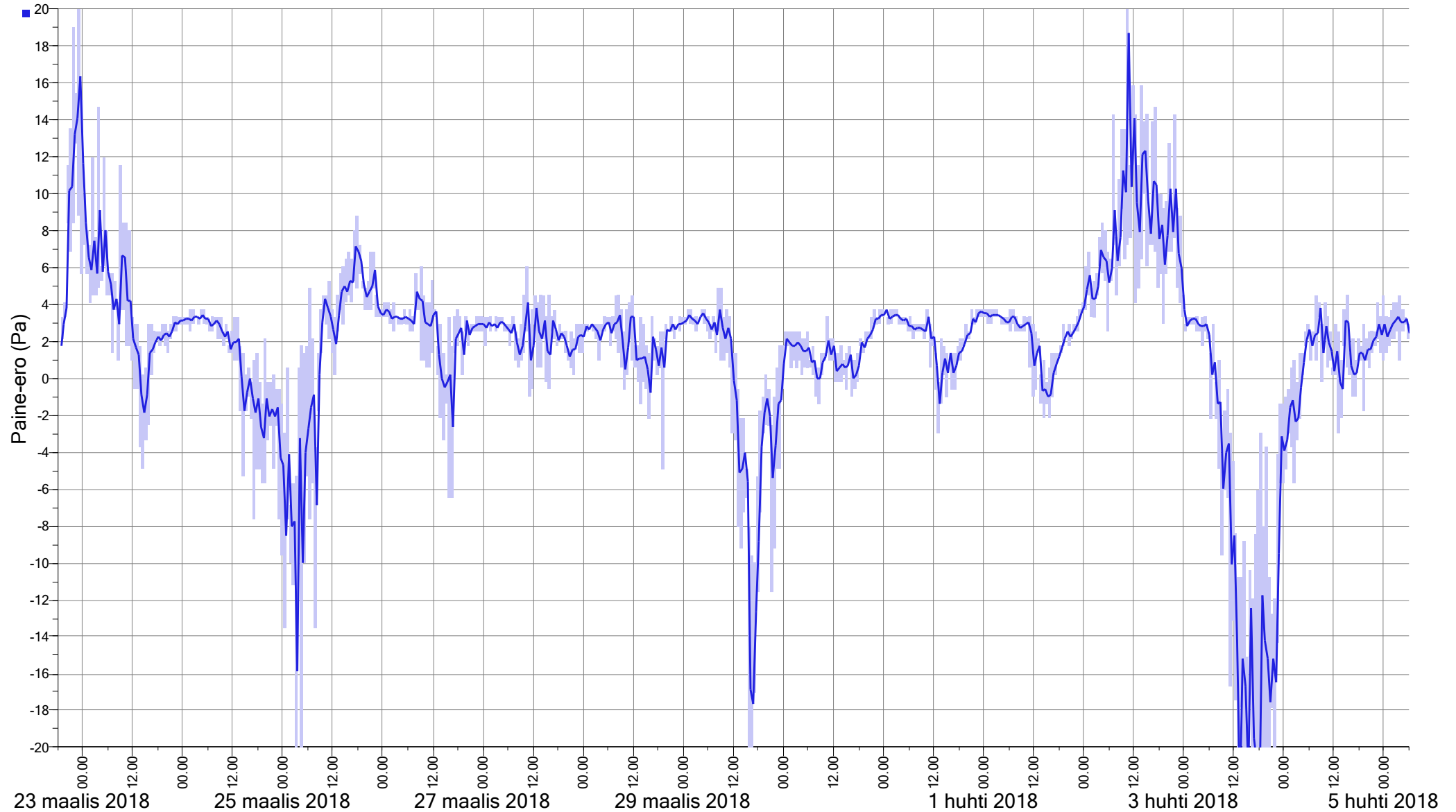
Välikylä, T. 2009. Asumisterveysopas, Tapio Välikylä, Pori: Suomen Ympäristö- ja Terveysalan Kustannus Oy.

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017.

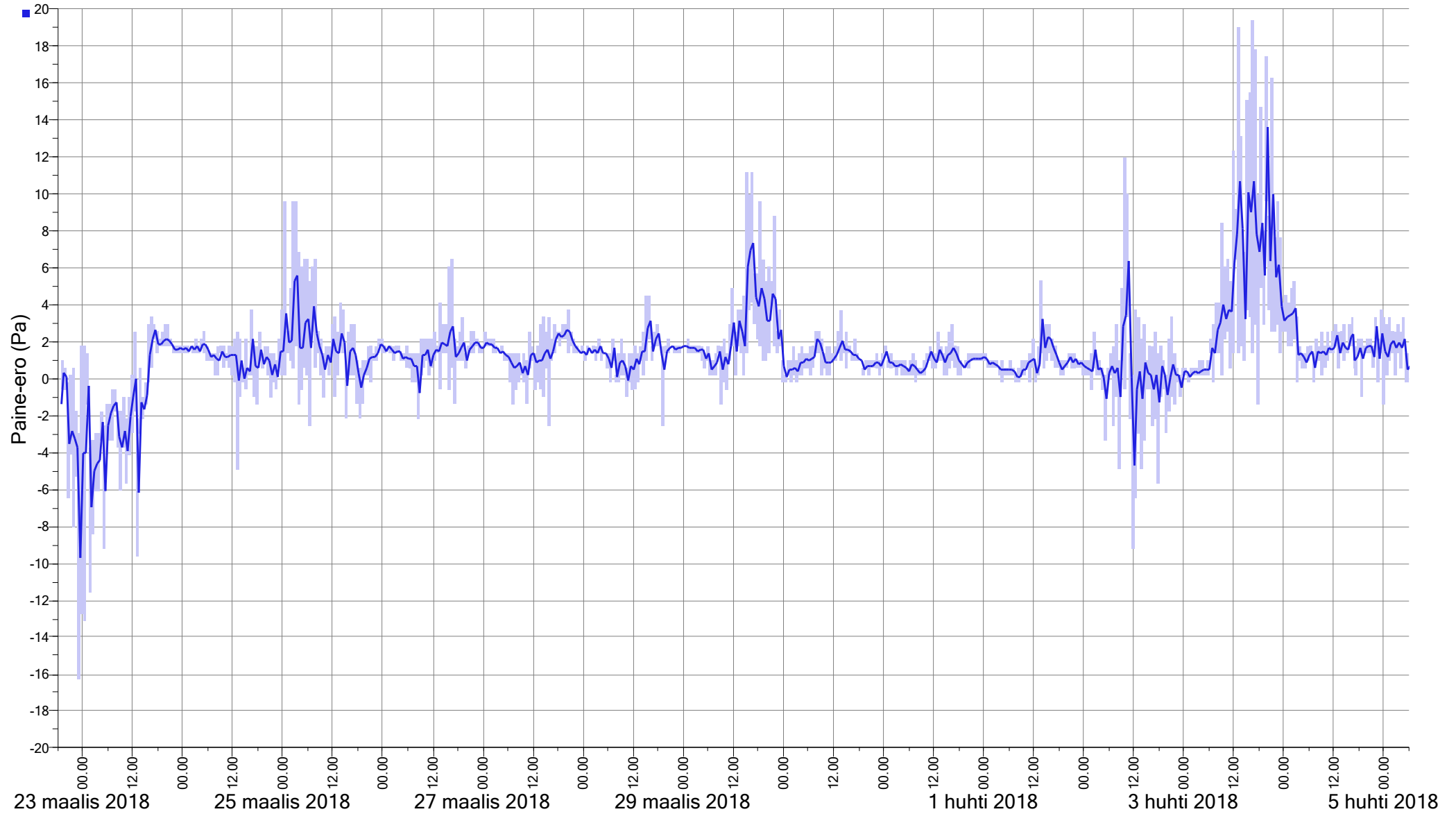
Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 1009/2017.

Ympäristöministeriö, Lausuntoversio 3/2018, Kosteus- ja mikrobivaurioituneiden rakenteiden korjausopas

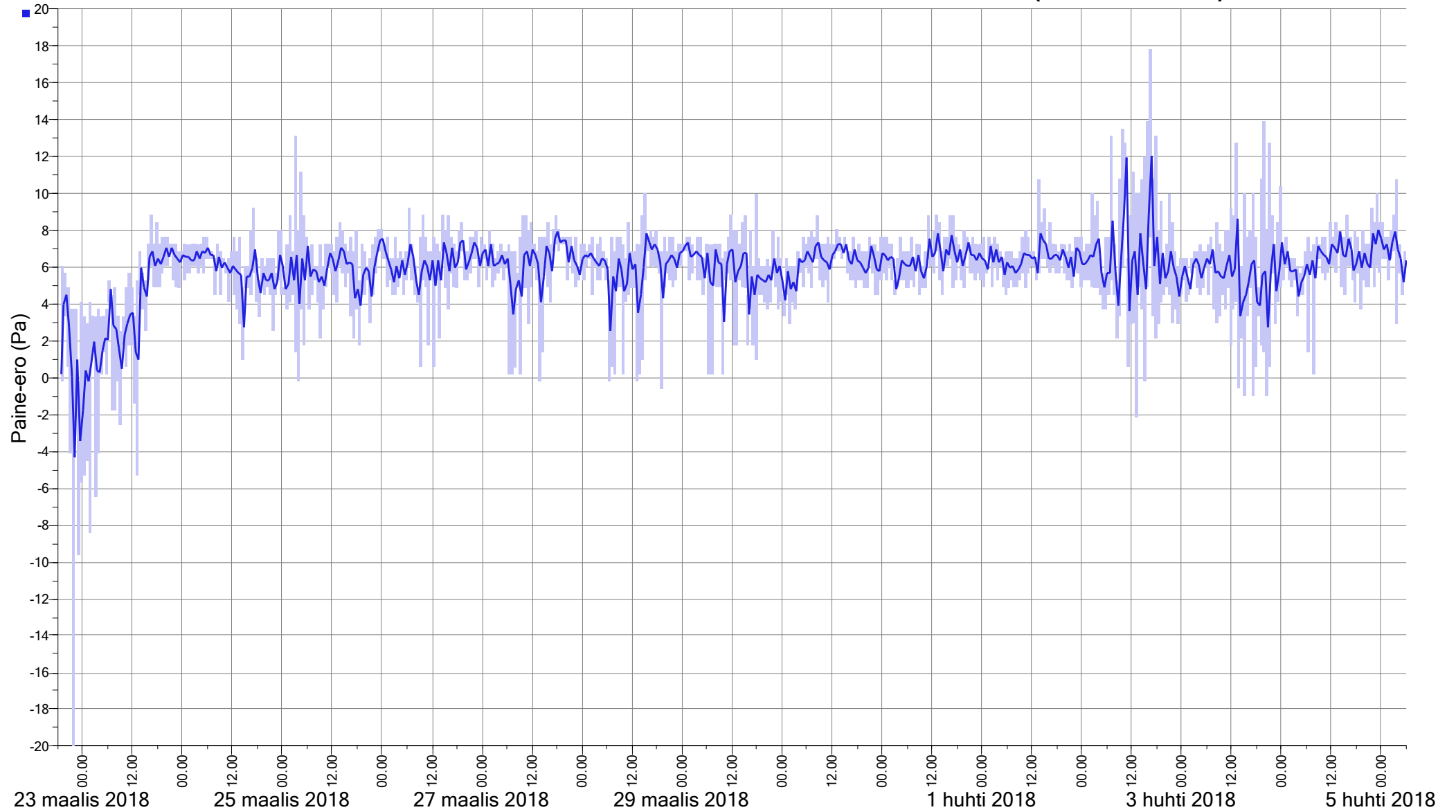
# Paine-eromittaus, Hammahoitola, Tila 1 (sisä-ulko)



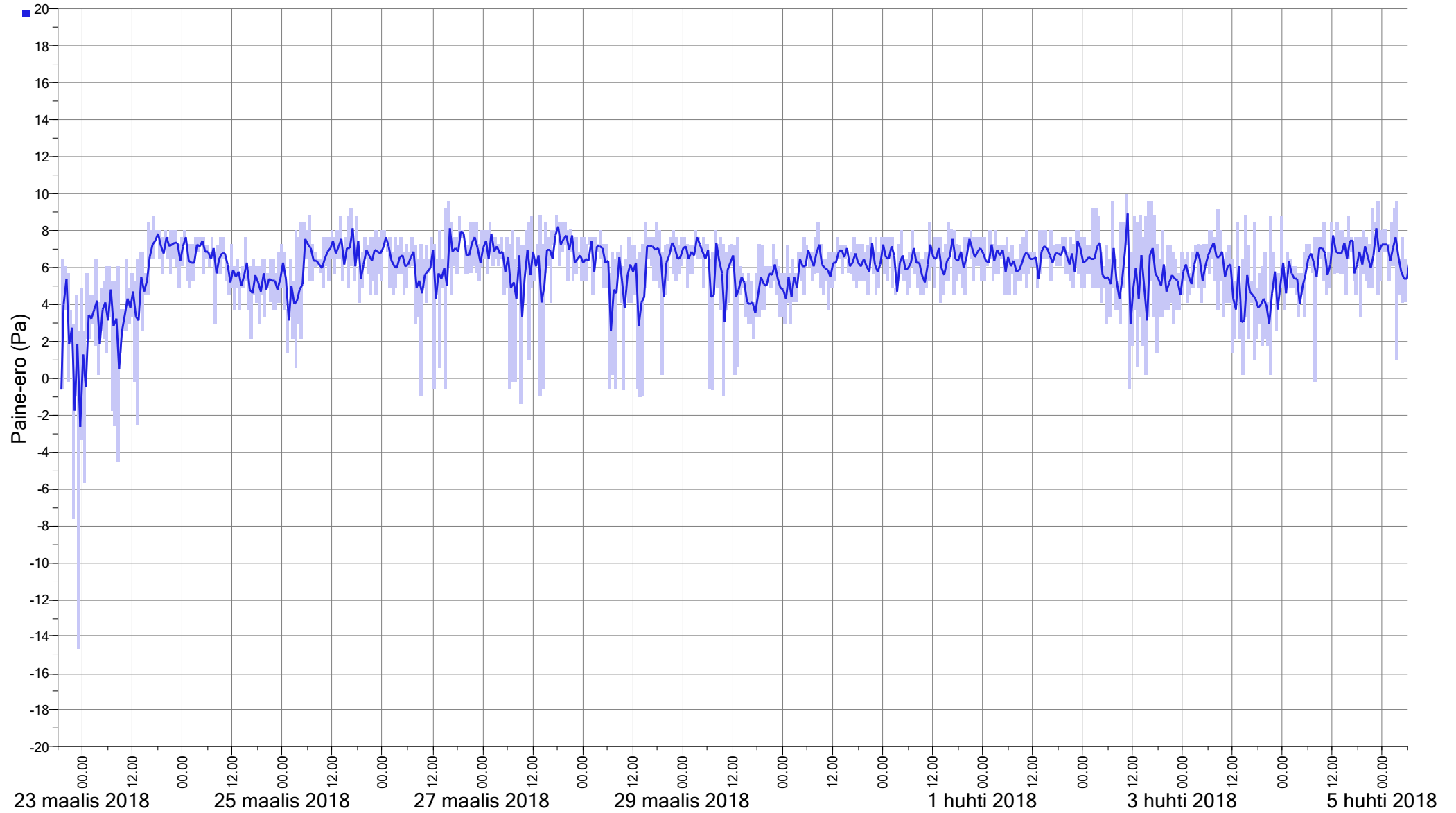
# Paine-eromittaus, Hammahoitola, Tila 2 (sisä-ulko)



## Paine-eromittaus, Hammahoitola, Tila 3 (sisä-ulko)

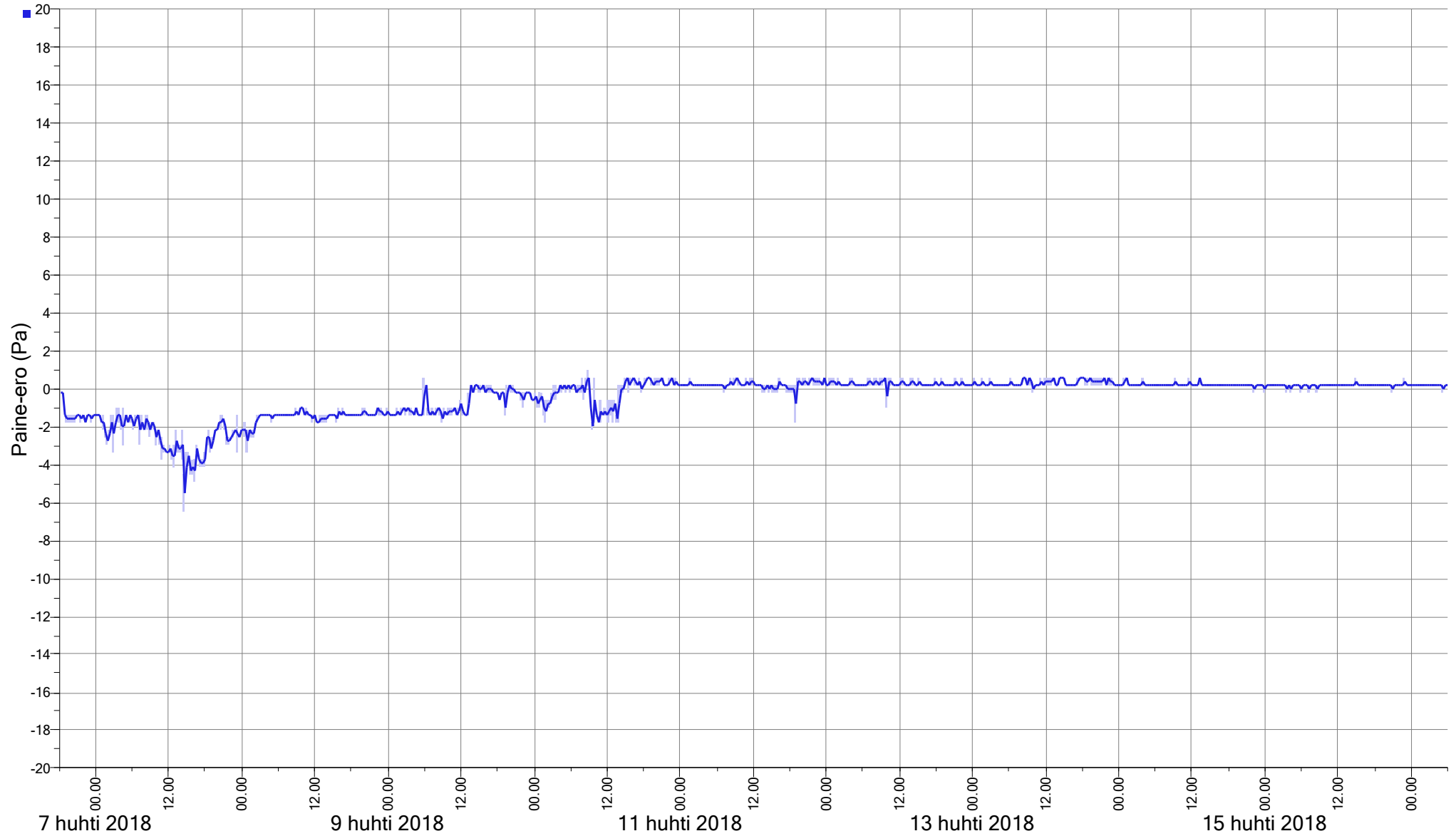


## Paine-eromittaus, Hammahoitola, Tila 3 (eristetila-sisä)

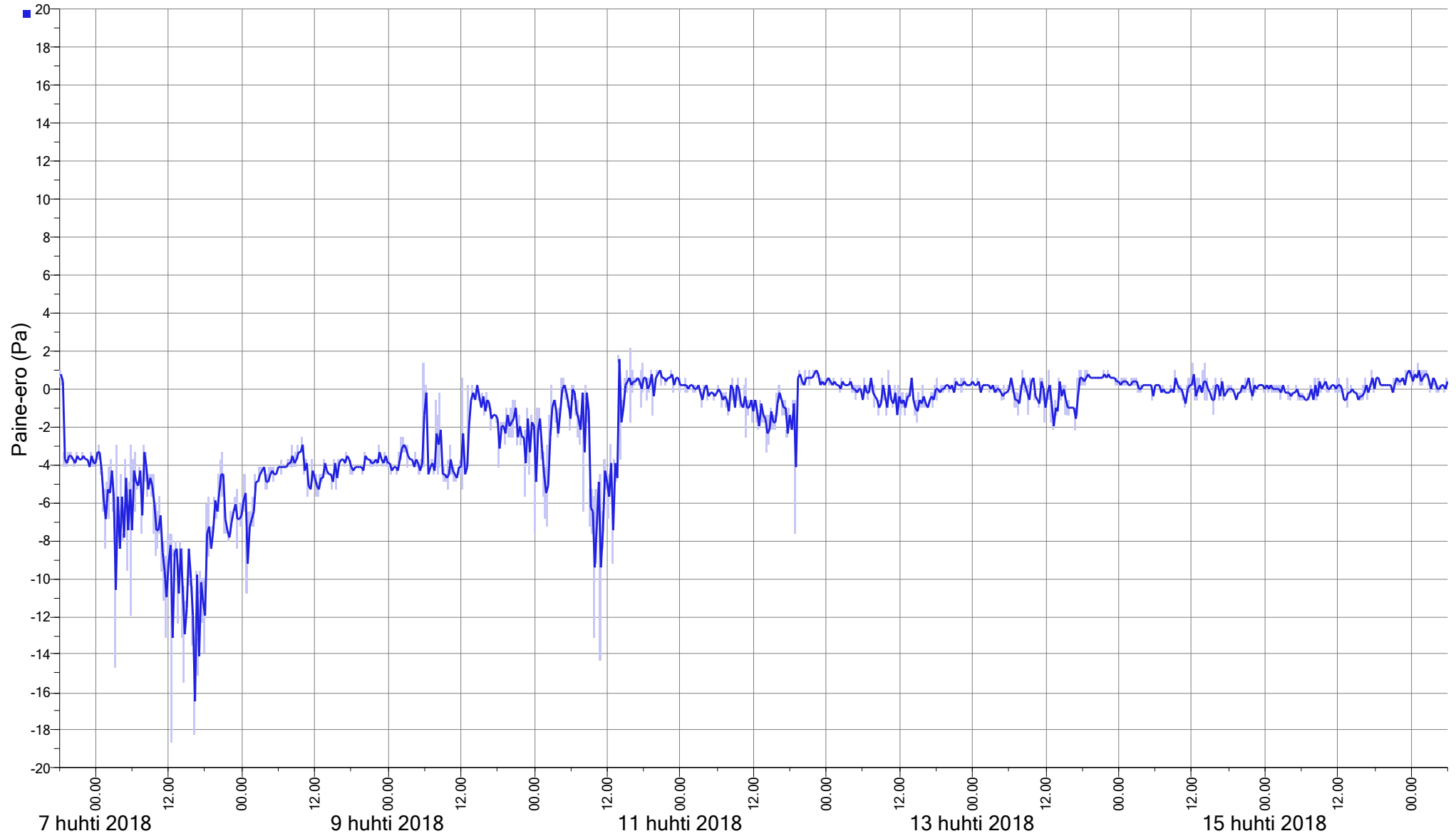




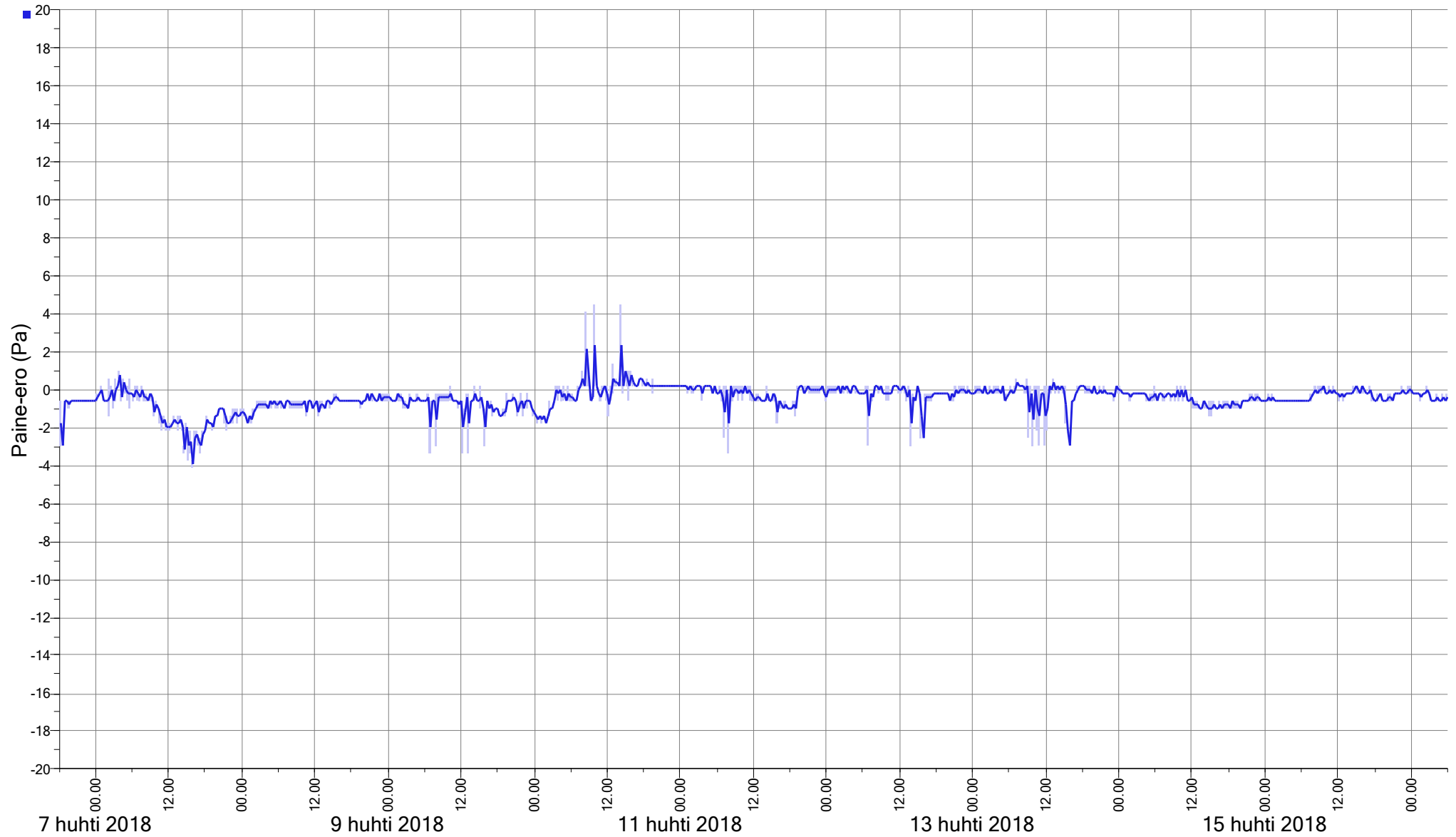
# Paine-eromittaus, Laboratorio, Tila 1 (alapohja-sisä)



# Paine-eromittaus, Laboratorio, Tila 2 (eristetila-sisä)



# Paine-eromittaus, Sairaanhoidaja, Tila 1 (alapohja-sisä)



# Paine-eromittaus, Sairaanhoidaja, Tila 1 (ulkoseinä-sisä)

