

Jimmy Sobott

# Tiiveystarkastelut ja tiivistyskorjaukset toimisto- ja palvelurakennuksiin

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (ylempi AMK)

Korjausrakentaminen

Opinnäytetyö

14.11.2014

Tekijä(t) Otsikko  Sivumäärä Aika	Jimmy Sobott Tiiveystarkastelut ja tiivistyskorjaukset toimisto- ja palvelurakennuksiin. 64 sivua + 1 liitettä 14.11.2014
Tutkinto	insinööri (ylempi AMK)
Koulutusohjelma	Rakentamisen koulutusohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	Korjausrakentaminen
Ohjaaja(t)	Yliopettaja Hannu Hakkarainen Yksikönjohtaja Timo Palonkoski
<p>Työn tavoitteena oli laatia ohjeet, miten ennen tiivistyskorjausta tehtävät kuntotutkimukset on suoritettava ja miten tiivistyskorjaustyömaan laadunvarmistus on suoritettava, jotta saavutetaan tiivistyskorjauksen suunniteltu tavoite. Tutkimuksen pohjana käytettiin kehityshankeetta, joka tehtiin yhdessä Wise Group Finland Oy:n korjausrakentamisen yksikön ja Helsingin kaupungin kiinteistöviraston tilakeskuksen sekä HKR-Rakennuttaja:n sisäilma-asiantuntijaryhmän kanssa.</p> <p>Tutkimusta varten valittiin 11 kohdetta, joihin on tehty sisäpuolinen tiivistyskorjaus. Kohteiden lähtötietoihin tutustumisen jälkeen suoritettiin kiinteistökierrokset, joiden perusteella laadittiin tutkimussuunnitelma tehtäviin merkkiainekokeisiin ja rakenneavauksiin. Suoritettujen merkkiainekokeiden perusteella arvioitiin tiivistyskorjausten onnistumista sekä tämän hetkistä kuntoa. Tutkimuksessa selvitettiin, vaikuttaako merkkiainekokeiden tuloksiin se, kummalta puolelta tutkittavaa tilaa kaasu lasketaan rakenteeseen. Lisäksi tutkittiin, millainen vaikutus paine-erolla rakenteiden yli on merkkiainekokeiden tuloksiin. Tutkimuksen aikana tarkasteltiin merkkiaineena käytettyjen kaasujen ominaisuuksia ja niiden eroavaisuuksia.</p> <p>Tehtyjen merkkiainekokeiden perusteella ei yhdenkään kohteen tiivistyskorjaus ole onnistunut täysin suunnitellusti. Suurin syy epäonnistumiseen oli tiivistystyönaikainen laadunvarmistus ja siitä aiheutuneet työvirheet. Epäonnistumiseen johti osin myös merkittävästi puutteelliset tiivistyssuunnitelmat sekä se, ettei tiivistyssuunnitelmia ole laadittu lainkaan. Osa tiivistyskorjauksista on epäonnistunut myös työvirheiden vuoksi.</p> <p>Ennen tiivistyskorjauksia tulee selvittää syyt sisäilman laatuun vaikuttaviin tekijöihin, vaurioiden laajuus ja oikea korjaustapa. Tiivistyskorjaussuunnitelmat on laadittava kohdekohtaisesti ja niissä on huomioitava laadunvarmistus sekä tavoiteltava käyttöikä. Laadunvarmistuksena tehtävissä merkkiainekokeissa tulee huomioida sekä eri kaasujen väliset erot että suorituksen toteutukseen liittyvät seikat.</p>	
Avainsanat	merkkiainekoe, sisäilma, tiiveystarkastelut, tiivistyskorjaus

Author(s) Title Number of Pages Date	Jimmy Sobott Air tightness measurements and renovations to office and service buildings. 64 pages + 1 appendices 14 <sup>th</sup> of November 2014
Degree	Master's degree in Civil Engineering
Degree Programme	Master's degree Programme in Civil Engineering
Specialisation option	Renovation
Instructor(s)	Hannu Hakkarainen, Principal Lecturer Timo Palonkoski, Unit Director
<p>The purpose of this study is to draw up guidelines on how the condition survey prior to air tightness renovations must be executed and how quality assurance is carried out in order to achieve the required outcome for air tightness renovations. The study is based on a development project, which was carried out together with the Wise Group Finland Ltd renovation unit with City of Helsinki Real Estate Department and indoor air specialist of HKR-Rakennuttaja.</p> <p>For the study 11 properties were selected in which inner air tightness renovations have been made. After processing the documents followed by the site visits, research plans for tracer gas tests and investigating the structures of the openings were made. Based on completed tracer gas tests air tightness the success and current condition of the air tightness renovations were evaluated based on success as well as on current condition. The success of the air tightness renovations and their current condition were evaluated based on the completed tracer gas tests. The study examines the qualities and differences of two different tracer gases and their impact on the results when the tracer gas is fed into the structure either from the inside or from outside of the structure. In addition also the impact of the pressure difference over the structures in the tests was examined.</p> <p>Based on tracer gas tests, none of the air tightness renovations was completely successful as planned. The main reasons for the failure of the air tightness renovations were inadequate quality assurance and the resulting mistakes in execution. Insufficient air tightness renovation plans or the lack of any plans also affected the success of air tightness renovations.</p> <p>Prior to the air tightness renovations, the reasons affecting the indoor air quality should be investigated and the correct way to renovate the building should be assessed. Air tightness renovation plans must be prepared separately for each site taking quality assurance into consideration. The differences between the various gases as well as the implementation of the tracer gas tests should be taken into consideration when planning the quality control of air tightness renovations.</p>	
Keywords	tracer gas test, indoor air, air tightness renovations

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Kehityshankkeen tausta	1
1.2	Tutkimusongelma	2
1.3	Tutkimusmenetelmät	3
1.4	Tutkimuksen tavoitteet	4
2	Tiivistyskorjausten vaikutus sisäilmaan	5
2.1	Sisäilma ja sisäilmasto	6
2.2	Kosteusvaurioindikaattori	6
2.3	Paine-ero	7
3	Tiiveystarkastelut korjausrakentamisessa	8
3.1	Merkkiainekokeet	9
3.2	Merkkiainekokeissa käytetyt kaasut	10
3.3	Merkkiainekokeissa käytetyt kaasunilmaisimet	11
4	Tutkimuskohteet	12
4.1	Kohde A	14
4.1.1	Ennen tiivistyskorjausta tehdyt tutkimukset ja selvitykset sekä tiivistyskorjaus	14
4.1.2	Havainnot kiinteistökierröksellä	15
4.2	Kohde B	16
4.2.1	Ennen tiivistyskorjausta tehdyt tutkimukset ja selvitykset sekä tiivistyskorjaus	16
4.2.2	Havainnot kiinteistökierröksellä	18
4.3	Kohde C	18
4.3.1	Ennen tiivistyskorjausta tehdyt tutkimukset ja selvitykset sekä tiivistyskorjaus	19
4.3.2	Havainnot kiinteistökierröksellä	20
4.4	Kohde D	20
4.4.1	Ennen tiivistyskorjausta tehdyt tutkimukset ja selvitykset sekä tiivistyskorjaus	20
4.4.2	Havainnot kiinteistökierröksellä	23
4.5	Kohde E	23

4.5.1	Ennen tiivistyskorjausta tehdyt tutkimukset ja selvitykset sekä tiivistyskorjaus	23
4.5.2	Havainnot kiinteistökierroksella	24
4.6	Kohde F	24
4.6.1	Ennen tiivistyskorjausta tehdyt tutkimukset ja selvitykset sekä tiivistyskorjaus	25
4.6.2	Havainnot kiinteistökierroksella	27
4.7	Kohde G	27
4.7.1	Ennen tiivistyskorjausta tehdyt tutkimukset ja selvitykset sekä tiivistyskorjaus	28
4.7.2	Havainnot kiinteistökierroksella	29
4.8	Kohde H	29
4.8.1	Ennen tiivistyskorjausta tehdyt tutkimukset ja selvitykset sekä tiivistyskorjaus	30
4.8.2	Havainnot kiinteistökierroksella	31
4.9	Kohde I	31
4.9.1	Ennen tiivistyskorjausta tehdyt tutkimukset ja selvitykset sekä tiivistyskorjaus	32
4.9.2	Havainnot kiinteistökierroksella	33
4.10	Kohde J	33
4.10.1	Ennen tiivistyskorjausta tehdyt tutkimukset ja selvitykset sekä tiivistyskorjaus	34
4.10.2	Havainnot kiinteistökierroksella	35
4.11	Kohde K	36
4.11.1	Ennen tiivistyskorjausta tehdyt tutkimukset ja selvitykset sekä tiivistyskorjaus	36
4.11.2	Havainnot kiinteistökierroksella	37
4.12	Yhteenvedo tutkimuskohteista	37
5	Tutkimusten tulokset	40
5.1	Suoritettut merkkiainekokeet kohteittain	40
5.1.1	Kohde A	40
5.1.2	Kohde B	41
5.1.3	Kohde C	42
5.1.4	Kohde D	43
5.1.5	Kohde E	45
5.1.6	Kohde F	46
5.1.7	Kohde G	48
5.1.8	Kohde H	49
5.1.9	Kohde I	50
5.1.10	Kohde J	51

5.1.11 Kohde K	52
6 Yhteenveto	53
6.1 Tulosten tarkastelu	54
6.2 Käytettyjen kaasujen ja kaasunilmaisimien sekä menetelmien erot	56
7 Johtopäätökset	58
Lähteet	63
Liitteet	
Liite 1. Merkkiainekokeen suoritusohje	

## Termit ja käsitteet

### Ilmanpitävyys

Ilmanpitävyydellä tarkoitetaan rakenteen kykyä estää haitallinen ilmanvaihtuvuus rakenteen eri kerrosten läpi.

### Jälkiseuranta

Jälkiseurannalla varmistetaan ja seurataan kohteen korjausten onnistumista teknisillä tarkastuksilla. Jälkiseuranta käsittää teknisten ja aistinvaraisten tarkastusten lisäksi käyttäjien havaitsemat havainnot.

### Korjausrakentaminen

Korjausrakentaminen eli saneeraus tarkoittaa olemassa olevan rakennuksen tai muun rakennelman laajaa yhdellä kertaa tapahtuvaa korjaamista tai muuttamista.

### Kuntotutkimus

Kuntotutkimus tarkoittaa rakennuksen, rakenteiden tai kiinteistöön kuuluvien talotekniikan järjestelmien yksityiskohtaista tutkintaa korjaustarpeiden täsmentämiseksi. Kuntotutkimuksessa voidaan käyttää ainetta rikkovia menetelmiä.

### Laadunvarmistus

Laadunvarmistuksen tarkoituksena on varmistaa tiivistyskorjausten onnistuminen suunnitelmien ja tavoitteiden mukaisesti.

### Mallikorjaus

Mallikorjaus suoritetaan ennalta valittuun tilaan, jonka tarkoituksena on varmistaa käytettävien materiaalien soveltuvuus kohteeseen sekä oikeat työ- ja laadunvarmistusmenetelmät. Mallikorjaus tehdään vastaavissa olosuhteissa ja vastaavilla työmenetelmillä kuin varsinainen työ. Tilaajan tai tilaajan edustajan hyväksymää mallia käytetään vertailukohtana lopullista työtä hyväksyessä.

#### Merkkiainekoe

Merkkiainekokeella selvitetään mm. ilmavuotoja rakenteista sisäilmaan. Merkkiaineena toimivaa kaasua lasketaan rakenteeseen, kaasunilmaisimella etsitään vuotokohtia tutkittavasta tilasta.

#### NTP-tila

Kaasun normaalitilaksi (NTP-tila) on sovittu sellainen tila, jossa kaasun lämpötila on 0 °C (eli 273,15 K) ja paine 1013,25 hPa (= 1013,25 mbar).

#### Paine-ero

Rakennusvaipan tai rakenneosan eri puolilla vaikuttavien ilmanpaineiden erotus.

#### Tiivistyskorjaus

Tiivistyskorjauksella tarkoitetaan sisäpuolista korjausta, jolla estetään ilmavirtaukset ja niiden mukana kulkevien epäpuhtauksien pääsy rakenteesta sisäilmaan.



## 1 Johdanto

Sisäpuolisten tiivistyskorjausten suosio on kasvanut viime vuosina runsaasti. Tiivistyskorjauksen tarkoituksena on katkaista ilmavuodot rakenteista tai rakenteiden yli sisäilmaan. Tiivistyskorjauksia on tehty joko siirtävänä korjauksena tai varsinaisena korjaustoimenpiteenä yksittäin tai peruskorjauksen yhteydessä. Siirtävässä tiivistyskorjauksessa on tavoitteena varmistaa kohteen olosuhteet siten, että kohdetta voidaan käyttää ennen suoritettavaa peruskorjausta. Peruskorjauksessa korjataan kosteus- ja homevaurioitunut rakenne tai muutoin sisäilmaa heikentävät rakenteet tai järjestelmät. Tiivistyskorjauksen ollessa varsinainen korjaustoimenpide on tarkoituksena tiivistää vaurioituneet rakenteet siten, ettei ilmavuotoja vaurioituneista rakenteista pääse huonetiloihin. Tällöin jätetään vaurioitunut rakenne tai rakenneosia paikalleen. Peruskorjauksen yhteydessä tehtävän tiivistyskorjauksen tarkoitus on katkaista ilmavuodot rakenteista sisäilmaan, vaikka vaurioituneet rakenteet uusitaan.

Tiivistyskorjausmenetelmiin ja niiden laadunvarmistukseen liittyen ei alalla ole yhteneviä säännöksiä ja ohjeita, mikä lisää huomattavasti niiden epäonnistumisen mahdollisuutta. Myös ilmanvaihdon toimivuus vaikuttaa merkittävästi sisäilman laatuun ennen tiivistyskorjauksia ja niiden jälkeen. Ilmanvaihdon toimivuutta ei ole kuitenkaan välttämättä huomioitu lainkaan ennen tiivistyskorjausta tehdyissä kuntotutkimuksissa, eikä sitä ole välttämättä huomioitu korjaustavan valinnassa tai laadunvarmistuksessa. Tiivistyskorjauksen epäonnistuttua ilmavuodot jatkuvat rakenteista huonetiloihin ja sisäilmaan pääsee edelleen terveyshaittaa aiheuttavia mikrobeja ja/tai niiden hajoamis- ja aineenvaihduntatuotteita. (Valvira, 2014.) Ilmanvaihdon toimiessa väärin saattaa ongelma korostua moninkertaiseksi.

### 1.1 Kehityshankkeen tausta

Tutkimus perustuu kehityshankkeeseen, joka on toteutettu yhdessä Wise Group Finland Oy:n korjausrakentamisen yksikön ja Helsingin kaupungin kiinteistöviraston tilakeskuksen sekä HKR-Rakennuttaja:n sisäilma-asiantuntijaryhmän kanssa. Kehityshanke käsittelee tiiveystarkastelut ja tiivistyskorjaukset palvelurakennuksiin. Tilakeskus hallinnoi Helsingin kaupungin omistamia palvelu- ja toimitiloja. Tilakeskus vastaa eri vuosikymmeninä

rakennettujen kiinteistöjen ylläpidosta, korjauksista ja kehittämisestä. Tilakeskus pyrkii pitämään hallinnoimansa tilat toimivina, terveellisinä ja turvallisina niiden koko elinkaarensa ajan. HKR-Rakennuttaja on kaupungin ”sisäinen konsultti”, joka vastaa Helsingin infrastruktuurin sekä julkisten rakennusten rakennuttamisesta. HKR-Rakennuttajan sisäilma-asiantuntijaryhmän tehtävät ovat:

- kuntotutkimusten teettäminen konsulteilla sekä niiden tekeminen itse (esim. kosteus- ja rakenneteknisiä, LVIA-tekniisiä ja sisäilmasto-olosuhteita selvittäviä)
- kommentointi ja ohjaus hankkeen eri vaiheissa
- kosteuden- ja puhtaudenhallinnan ohjaus HKR:n kohteissa
- neuvonta ja koulutus
- facility-info, tiedonhallintajärjestelmä kohteittain
- Helsingin kaupungin sisäilmaryhmiin osallistuminen.

(Vähämäki, Peltola, Torikka-Jalkanen, 2014.)

Wise Group Finland Oy on rakennusalan asiantuntijapalveluja tuottava yritys, jonka päätoimialat ovat rakennesuunnittelu, talotekniikka, rakennuttaminen, korjausrakentaminen ja kansainväliset palvelut. Yrityksen liikevaihto oli vuonna 2013 n. 20,7 milj. € ja yrityksessä työskentelee tällä hetkellä lähes 300 henkilöä.

Kehityshankkeen kanssa rinnakkain tehdään myös toinen kehityshanke Helsingin kaupungin tilakeskukselle, josta laaditaan diplomityö (Aalto-yliopisto, Ville Tullila): Rakennusten sisäpuolisten tiivistyskorjausten suunnittelu.

## 1.2 Tutkimusongelma

Suomessa kosteus- ja homevaurioiden terveyteen liittyvät kustannukset vaihtelevat vuosittain välillä 23-953 miljoona euroa. Kustannukset koostuvat oireista, sairauksista, niiden tutkimisesta, työkyvyn menettämisestä ja työtehon sekä tuottavuuden laskusta. Kustannus ei pidä sisällään rakennusten korjausta, suunnittelua, rakennuttamista ja valvontaa. (Eduskunnan Tarkastusvaliokunta, 2012.)

Rakennuksen ulkoseinien, yläpohjan tai välipohjien eristetiloissa tai alapohjan ontelotilassa voi olla mikrobeja, jotka ilmavuotojen johdosta pääsevät sisäilmaan heikentäen sen laatua. Mikrobit ja niiden aineenvaihduntatuotteet sisäilmassa saattavat aiheuttaa

ihmisille terveyshaittaa, kuten esim. silmien, ihon ja hengitysteiden ärsytysoireita. Pitkäaikaisemmin altistuttuna voi esiintyä toistuvia hengitystieinfektioita tai pitkäaikaissairaus, esimerkiksi astma. (Valvira, 2014.)

Tiivistyskorjaus on ajatuksena lähtökohtaisesti hyvä, mutta niiden toteutusprosessi on puutteellinen, minkä vuoksi ne eivät läheskään aina onnistu tarkoitetulla tavalla. Tiivistyskorjauksiin liittyen ei ole tällä hetkellä ohjeita tai määräyksiä. Tiivistyskorjausprosessia silmällä pitäen ei oikeita laadunvarmistusmenetelmiä ole kuvattu, jolloin esiin nousee muun muassa seuraavia ongelmia:

- Kuntotutkimuksissa käytettävien menetelmien ja kuntotutkimusten tulosten tulkinta ei ole alalla vertailukelpoista.
- Tiivistyskorjausten tavoitteen ja tarkoituksen tarkastelua ei tehdä ennen korjausmenetelmän valintaa.
- Tiivistyskorjausmenetelmien ja materiaalien vertailukelpoisuus, puutteelliset työohjeet ja laatuvaatimukset aiheuttavat riskitekijöitä.
- Tiivistyskorjausten laadunvarmistuksesta ei ole yhteneviä käytäntöjä.
- Merkkiainekokeiden suoritukselle ei ole olemassa virallista standardia tai ohjetta.
- Rakennusmääräyksissä ja hyvää rakennustapaa kuvaavissa asiakirjoissa (RT, RIL) esiintyy puutteita tiiveyden osalta. Yksilöityjä vaatimuksia ei ole esitetty. Lähes kaikissa ohjeasiakirjoissa on detaljeissa esitetty ainoana tiivistystapana elastinen massaus.

### 1.3 Tutkimusmenetelmät

Kehityshankkeeseen valittiin yhdessä tilaajan kanssa 11 erilaista kohdetta, joihin on jo suoritettu sisäpuolinen tiivistyskorjaus. Kohteiden valinnassa oli olennaista, että suoritettut tiivistyskorjaukset ja niiden tarkoitus sekä suoritusajankohta eroavat jossain määrin toisistaan, ja kohteiden rakennusvuodet ja sen myötä rakenneratkaisut eroavat toisistaan. Tarkoituksena oli selvittää tehtyjen tiivistyskorjausten onnistuminen sekä niiden tämän hetkinen kunto. Kehityshankkeen yhteydessä suoritetaan myös kahdeksaan kohteeseen käyttäjäkysely, jonka tarkoituksena oli saada tietoa käyttäjiltä siitä, onko jo suoritettu korjaus onnistunut ja millainen on heidän mielestään sisäilman laatu tällä hetkellä.

Käytössä olleita lähtötietoja olivat kohteesta riippuen alkuperäiset piirustukset, tehtyjen tutkimusten ja selvitysten raportit, korjaussuunnitelmat ja aikaisemmin suoritettujen korjaustoimenpiteiden dokumentit. Lisäksi haastateltiin mahdollisuuksien mukaan tiivistyskorjauksen tehnyttä urakoitsijaa sekä kohteen huoltomiestä tai esim. kouluisäntää. Alkuperäisistä piirustuksista tarkasteltiin rakenneratkaisuja ja liittymiä. Kohteiden tutkimusten ja selvitysten raporteista tarkasteltiin oleellisimpia sisäilmaan vaikuttavia tekijöitä. Lisäksi arvioitiin, ovatko tehdyt tutkimukset ja selvitykset olleet riittävän laajasti tehty. Tutkimuksissa otetuista mikrobinäytetuloksista tarkasteltiin, mitä mikrobilajistoja rakenteissa oli ilmennyt ja vaikuttiko se tiivistyskorjaussuositukseen. Tiivistyskorjaussuunnitelmista arvioitiin niiden laatua ja sopivuutta kyseiseen kohteeseen.

Lähtötietojen läpikäymisen jälkeen suoritettiin kiinteistökierrokset ja kohdekohtaiset tarkastelut, joiden perusteella laadittiin tutkimussuunnitelmat merkkiainekokeiden ja rakeneavausten suoritusta varten. Kohdekohtaisia jatkotutkimuksia suoritettiin 10 kohteeseen.

Tutkimuksen aikana vertailtiin merkkiainekokeissa yleisemmin käytettyjen kaasujen eroavaisuuksia sekä merkkiainekokeiden suoritukseen liittyviä tekijöitä:

- Onko merkkiainekokeen lopputuloksen kannalta merkitystä lasketaanko kaasu rakenteeseen tutkittavan tilan puolelta vai sen ulkopuolelta?
- Vaikuttavatko tutkittavan tilan painesuhteet merkkiainekokeen lopputulokseen?
- Onko merkkiainekokeissa käytettävän kaasun ominaisuuksilla merkitystä merkkiainekokeiden tuloksiin?

#### 1.4 Tutkimuksen tavoitteet

Tutkimuksen tavoitteena on laatia ohjeet, miten tiivistyskorjausta edeltävät kuntotutkimukset ja merkkiainekokeet olisi suoritettava. Tavoitteena on myös selvittää, miten tiivistyskorjaustyömaa- ja vastaanottovaiheen laadunvarmistus on suoritettava, jotta tiivistyskorjaukset onnistuvat suunnitellusti sekä tarkoituksensa mukaisesti.

Molempien kehityshankkeiden tavoitteena on myös tuottaa Helsingin kaupungille työväline, jota voidaan hyödyntää tiivistyskorjausprosessissa. Työvälineen avulla voidaan tarkastella, onko suositeltavaa suorittaa tiivistyskorjaus, ja jos on niin millä menetelmällä.

Siinä huomioidaan rakenneratkaisut, rakenteelliset riskit, tehtävät kuntotutkimukset, korjaussuunnittelu, tiivistystyön toteutus ja työnaikainen valvonta sekä laadunvarmistus ja jälkiseuranta.

## **2 Tiivistyskorjausten vaikutus sisäilmaan**

Suomen rakentamismääräysten mukaan tulee rakennukset suunnitella ja rakentaa tiiviiksi energiataloudellisista syistä sekä käyttäjien ja rakenteiden vuoksi. Sisäilmassa oleva kosteus ei saa vahingoittaa rakennetta, eivätkä rakenteissa olevat epäpuhtaudet saa aiheuttaa terveyshaittaa käyttäjille. Rakentamismääräyksissä todetaan muun muassa, että uudiskohteissa on rakennus suunniteltava ja rakennettava tiiviiksi, jotta sisäilmassa ei esiinny haitallisissa määrin terveyteen ja viihtyvyyteen vaikuttavia tekijöitä, kuten mikrobeja tai hajuja. (RakMK D2, 2012.) Uudis- sekä korjausrakentamisessa tulee rakenteiden liittymien olla niin ilmanpitäviä, etteivät ne aiheuta merkittäviä haittoja käyttäjille ja rakenteille (RakMK C3, 2010). Edellä mainittujen lisäksi tulee kiinnittää erityistä huomiota rakenteiden läpivientien ja liittymien suunnitteluun sekä rakennustyön huolellisuuteen. Tarvittaessa tulee lisätä erillinen ilmansulku. (RakMK D3, 2012.) Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry ohjeissa mainitaan, että rakennukset tulee suunnitella mahdollisimman ilmatiiviiksi ja erityisesti ikkunaliittymiin tulee panostaa. Ilmavuodot ja niiden ansiosta kosteuden kulku rakenteisiin tulee minimoida. (RIL, 2011.)

Rakennusten kosteusvaurioista aiheutuneet haitat ovat lisääntyneet rakentamisen myötä. Rakennuksissa on kuitenkin aina ollut kosteusvaurioita ja hometta, mutta rakennusten huono tiiveys ei aikaisemmin tuonut ongelmia esiin nykyisessä laajuudessaan. Nykyisin voimassa olevat määräykset edellyttävät rakennusten olevan energiatehokkaita ja tiiviitä. Veden käyttötottumukset ovat muuttuneet ja esim. suihkujen yleistymisen rakennuksissa on lisännyt kosteusvaurioiden määrää. Myös huolimaton rakentaminen ja huoltotöiden laiminlyönti on kasvattanut kosteusvaurioiden määrää. (Hakkarainen, 2012.)

## 2.1 Sisäilma ja sisäilmasto

Sisäilma tarkoittaa rakennuksessa tai tilassa olevaa ilmaa, jota hengitetään (Tähtinen, 2014). Sisäilmassa saattaa olla kaasumaisia ja hiukkasmaisia epäpuhtauksia (Sisäilmayhdistys, 2014).

Sisäilmasto muodostuu sisäilman lämpötilasta, kosteudesta, ilmanvaihdosta, säteilystä (Radon) ja valaistuksesta (Sosiaali- ja terveysministeriö, 2003 sekä 2009). Sisäilman ja sisäilmaston laatuun vaikuttaa rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmä ja sen toimivuus ja oikea käyttö. Ilmanvaihdon tarkoituksena on poistaa sisäilmasta epäpuhtauksia ja varmistaa puhtaan korvausilman saanti (Sosiaali- ja terveysministeriö, 2009). Sisäilman laatu on hyvin tärkeää, koska ihminen viettää yli 90 % ajastaan sisätiloissa ja hengittää vuorokaudessa yli 35 kuutiota ilmaa, josta valtaosa on sisäilmaa. Sisäilman laatu vaikuttaa yhtenä suurena tekijänä ihmisen terveyteen. Rakennusten käyttötarkoitus voi vaikuttaa sisäilman kriteereihin. (Sisäilmayhdistys, 2014.)

## 2.2 Kosteusvaurioindikaattori

Mikrobeja ovat home- ja hiivasienet, virukset sekä bakteerit. Homeita esiintyy luonnossa maaperässä ja kasvimateriaalissa. (Hakkarainen, 2012.) Kosteusvaurioindikaattori on mikrobi, joka nimensä mukaisesti viittaa kosteusvaurioon. Jos otetussa näytteessä esiintyy kosteusvaurioindikaattoria, viittaa se yleensä siihen, että rakenteessa on tai on ollut kosteusvaurio. Terveessä rakennuksessa sitä ei yleensä esiinny. Kosteusvaurioindikaattorien esiintyminen rakennuksissa on yleensä merkki rakenteiden liiallisesta kostumisesta, ellei niiden esiintymiselle ole muuta syytä. (Sisäilmayhdistys, 2014.) Kosteusvaurioindikaattorimikrobit on listattu kuvassa 1.

Homesienten aineenvaihduntatuotteet, toksiinit, ovat ihmisen terveydelle kaikkien haitallisimpia. Toksiinit jäävät pinnoille, jolta ne voivat korjaustenkin jälkeen aiheuttaa terveyshaittaa, vaikka pinnat pestäisiin useaan kertaan. (Salkinoja-Salonen, 2013.)

 **Työterveyslaitos**

**KOSTEUSVAURIOINDIKAATTORIMIKROBIT**

© Työterveyslaitos  
Ympäristömikrobiologian laboratorio 19.2.2008

\*kosteusvaurioindikaattorimikrobi,  
°indikaattorimerkitys vielä avoin,  
\*\*mahdollinen toksinintuottaja

<i>Acremonium</i> *, **	<i>Absidia</i> °
<i>Aspergillus fumigatus</i> *, **	<i>Aspergillus flavus</i> °, **
<i>Aspergillus ochraceus</i> *, **	<i>Aspergillus niger</i> °, **
<i>Aspergillus penicillioides</i> / <i>A. restrictus</i> °	<i>Aspergillus ustus</i> °, **
<i>Aspergillus sydowii</i> *, **	<i>Aureobasidium</i> °
<i>Aspergillus terreus</i> *, **	basidiomykeetit°
<i>Aspergillus versicolor</i> *, **	<i>Botrytis</i> °
<i>Chaetomium</i> *, **	<i>Chrysonilia</i> °
<i>Engyodontium</i> °	<i>Chrysosporium</i> °
<i>Eurotium</i> °	<i>Mucor</i> °
<i>Exophiala</i> °	punaiset hiivat°
<i>Fusarium</i> *, **	<i>Rhinochrysiella</i> °
<i>Geomyces</i> °	<i>Rhizopus</i> °
<i>Memnoniella</i> *, **	
<i>Oldiodendron</i> °	
<i>Paecilomyces</i> *, **	
<i>Phialophora</i> °	
<i>Phoma</i> °	
<i>Scopulariopsis</i> °	
Sphaeropsidales°	
<i>Sporobolomyces</i> °	
<i>Stachybotrys</i> *, **	
<i>Streptomyces</i> *, **	
<i>Trichoderma</i> *, **	
<i>Tritirachium</i> °	
<i>Ulocladium</i> °	
<i>Wallemia</i> °	

**Työterveyslaitos**  
Reinartsementtie 4, PL 93, 70701 Kuopio, puh. 030 4741, faksi 030 474 7474, Y-tunnus 0225266-9, www.ttl.fi/kuopio

Kuva 1. Työterveyslaitoksen Ympäristöbiologian laboratorion listaus kosteusvaurioindikaattorimikrobeista.

### 2.3 Paine-ero

Painesuhteita eri tilojen ja rakenteiden välillä voidaan selvittää paine-eromittauksilla. Paine-eromittauksilla selvitetään myös rakennuksen sisä- ja ulkoilman välistä paine-eroa. Paine-eromittauksilla saadaan tietoa ilmavirtauksia aiheuttavien paine-erojen suuruuksista, jotka esim. merkkiainekokeissa vaikuttavat luonnollisesti merkkiainekaasun kulkusuuntaan epätiivetyshäiriöiden eli ilmanvuotoreittien läpi. Paine-eromittauksia voidaan tehdä hetkellisinä tai jatkuvina mittauksina. (Sisäilmayhdistys, 2014). Rakennuksen ulkovaipan yli tapahtuvaan ilmanpaine-eroon vaikuttavat ilmanvaihto, lämpötilaerot sekä

tuuli. Rakennuksen ulkovaipan yli tapahtuu ilmavirtausta konvektion vaikutuksesta, jolloin ilma virtaa suuremmasta paineesta pienemmän paineen suuntaan huokoisten materiaalien ja rakojen läpi. Ilmanvaihdon tehdessä huoneilman alipaineiseksi, pääsevät rakenteissa olevat epäpuhtaudet kulkeutumaan sisäilmaan. (Ympäristöministeriö, 1997.) Alapohjista voi liian suuren paine-eron vuoksi päästä radon-kaasua sisäilmaan (Rakennustieto Oy, 1999).

Päkkilä (2012) on tutkinut diplomityössään paine-eron vaikutusta sisäilmanäytteen mikrobipitoisuuteen. Tutkimuksessa otettiin normaalissa käyttötilanteessa, jolloin alipaine oli noin -6 Pa, sisäilmanäytteet, jonka jälkeen tila alipaineistettiin -10 Pa ja otettiin sisäilmanäytteet. Sama toistettiin -20 Pa alipaineessa. Tutkimuksen tuloksena oli, että mitä suurempi alipaine, sitä enemmän kosteusvaurioon viittaavia lajeja sisäilmanäytteissä havaittiin.

Airaksisen (2003) tutkimuksessa tutkittiin paine-eron vaikutusta ryömintätilallisen alapohjan ryömintätilasta kulkeutuvien mikrobien määrään sisäilmassa. Tutkimuksessa todettiin paine-erojen vaikuttavan enemmän puurakenteisen alapohjan läpi sisäilmaan kulkeutuvien mikrobien määrään kuin alapohjissa olevat reiät.

Rakovirtauslaskelmalla voidaan laskea kuinka paljon ilmaa kulkeutuu esim. rakenteiden liittymässä olevan raon kautta sisäilmaan. Laskentaan vaikuttaa rakennuksen tai tilan tilavuus, ilmanvaihto ja paine-erot. Rakenteissa tai esim. ryömintätilassa olevien mikrobien / homeitiöpitoisuuden määrä voidaan huomioida laskelmassa kun lasketaan niiden kulkeutumista sisäilmaan rakojen kautta. Lisäksi laskennassa tulee huomioida ilman dynaaminen viskositeetti ja rakenteen vahvuus sekä raon dimensiot. (Hakkarainen, 2012.)

### **3 Tiiveystarkastelut korjausrakentamisessa**

Tiivistyskorjausten tarkoituksena on katkaista ilmavirrat rakenteista sisäilmaan, ja sillä tavoin estää mahdollisten epäpuhtauksien kulkeutuminen sisäilmaan. Tiiveystarkasteluja tehdään korjausrakentamisessa kuntotutkimusten yhteydessä. Työmaa-aikana niitä tehdään laadunvarmistuksessa sekä korjaustoimenpiteiden edellyttämien osastointien toteutuksien tarkasteluissa, kuten esim. kosteus- ja homevauriokorjauksissa tai haitta-ainepurkutöissä.



Tiivistyskorjausta rakennusosan korjaustapana voidaan suositella siinä tapauksessa, jos rakenteiden uusiminen on hankalaa tai uusimiskustannukset nousevat kohtuuttomiksi. Lisäksi tiivistyskorjauksessa tulee varmistaa ilmanvaihdon toiminta ja korvausilman saanti. Tiivistysmenetelmänä on mainittu elastinen saumamassa. (Rakennustieto Oy, 1999.)

Tiiveystarkastuksilla tarkoitetaan tässä tutkimuksessa rakenteiden ja niiden liittymien tiiveyden tarkastelua. Tiiveystarkastuksella ei tarkoiteta rakenteen ilmanpitävyyden tarkastelua. Tällä hetkellä on korjausrakentamisessa käytössä kolme eri menetelmää, joilla yleisimmin tarkastellaan rakenteiden liittymien tiiveyttä ja niistä aiheutuvia ilmavirtoja: lämpökuvaus, merkkisavu ja merkkiainekoe.

Lämpökuvaus perustuu pintojen lämpötilojen mittaamiseen, pintojen lähettämään lämpösäteilyyn. Lämpökuvauksen onnistuminen edellyttää rakenteen yli paine-erojen lisäksi lämpötilaeron jotta vuotokohta erottuu. (Paloniitty, Kauppinen, 2011.) Lämpökuvaus ei tästä syystä sovellu ilmavuotojen tarkasteluun esim. eristetilasta sisäilmaan tai putkikaanalista sisäilmaan niin hyvin kuin merkkiainekoe.

Merkkisavuja tuotetaan mm. merkkisavukynillä tai merkkisavuampulleilla. Merkkisavuja käytetään ilmavirtausten suunnan tarkasteluihin. (Sisäilmayhdistys, 2014.) Merkkisavulla ei saada luotettavasti selville tapahtuuko ilmavuoto eristetilasta vai esim. ikkuna-karmin kautta suoraan ulkoilmasta. Tämän vuoksi merkkisavut eivät sovellu ilmavuotojen tarkasteluun niin hyvin kuin merkkiainekoe.

Merkkiainekokeilla tutkitaan mm. ilmavirtauksia rakenteista. Merkkiaineena toimivaa kaasua lasketaan haluttuun paikkaan rakenteeseen tai tilaan. Kaasunilmaisimella etsitään vuotokohtia tutkittavasta tilasta.

### 3.1 Merkkiainekokeet

Merkkiainekokeiden suosio on viime aikoina kasvanut ja merkkiainekokeita suorittavien tahojen määrä on lisääntynyt. Osalla tiivistyskorjauksia tekevistä urakoitsijoista on merkkiainekoelaitteisto, jota hyödynnetään tiivistyskorjausten suorituksen yhteydessä ennen ulkopuolista laadunvarmistusta.

Merkkiainekokeita hyödynnetään korjausrakentamisessa kuntotutkimuksissa sekä työmaa-aikana laadunvarmistuksessa ja korjaustoimenpiteiden edellyttämien osastointien toteutuksien tarkasteluissa, kuten esim. kosteus- ja homevauriokorjauksissa tai haitta-ainepurkutöissä. Merkkiainekokeita käytetään apuna mm. alapohjien, yläpohjien, välipohjien ja ulkoseinien kuntotutkimuksessa sekä putkikanaalien ja hormien tiiveystarkasteluissa. Merkkiainekokeita voidaan hyödyntää myös vesivuoto- sekä hajuhaittaselvityksissä.

Merkkiainekokeiden suorittamiseen ei ole standardeja tai yleistä ohjetta, ja asiaa on tutkittu suhteellisen vähän. Hintikan (2013) tutkimuksessa todetaan, että merkkiainekokeisiin sisältyy virhetulkintojen mahdollisuus. Etenkin, jos merkkiikaasu lasketaan tutkittavaan rakenteeseen tutkittavan tilan puolelta, kasvaa virhemahdollisuus. Mahdollisesti vuotavat kaasuliitokset merkkiainekoejärjestelmässä on huomioitava tulosten tulkinassa. Merkkiainekokeen suorittajan täytyy havaita ja huomioida joskus kaasun arvaamatonkin kulkeutuminen mittauksissa. Yleisesti voidaan todeta merkkiainekokeiden suorituksen edellyttävän monen tekniikan alan ymmärrystä ja rakenteiden toiminta- ja vauriomekanismin tuntemista.

### 3.2 Merkkiainekokeissa käytetyt kaasut

Merkkiainekokeessa käytettävä kaasuu toimii merkkiaineena. Yleisimmin käytettävät kaasut merkkiainekokeissa ovat typpi-vety (5,5 % H<sub>2</sub> + 94,5 % N<sub>2</sub>) sekä rikkiheksafluoridi (SF<sub>6</sub>).

Typpi-vetykaasu (5,5 % H<sub>2</sub> + 94,5 % N<sub>2</sub>) on kaasuseos, joka on kaksi kertaa ilmaa kevyempää NTP-tilassa ja ilma on typpi-vetykaasua tiheämpää. Typpi-vetykaasu pyrkii luonnostaan nousemaan ylöspäin. Kaasu on ihmiselle vaaratonta, jos se ei syrjäytä happea kokonaan. Kaasulla on syyttymisvaara. (AGA OY, 2013.)

Rikkiheksafluoridi (SF<sub>6</sub>) on kasvihuonekaasu, jota voi esiintyä luonnostaan ilmakehässä vain hyvin vähän ja ainoastaan ihmisten toiminnoista johtuen. Rikkiheksafluoridia käytetään sähkö- ja elektroniikkateollisuudessa eristeenä sekä puolijohteiden valmistuksessa. Sitä käytetään myös hapettumisenestoprosessissa magnesiumteollisuudessa. (Ilmastotieto, 2010). Rikkiheksafluoridia käytetään Yhdysvalloissa hiilikaivosten ilmastoinnin

suunnittelussa mm. tulipalo- ja rähähdystilanteiden simuloinnissa sekä evakuointisuunnittelussa. (US Department of the Interior, 1986.) Rikkiheksafluoridi on noin viisi kertaa ilmaa raskaampaa NTP-tilassa ja viisi kertaa ilmaa tiheämpää (AGA OY, 2013).

Kalkkilaastilla rapatuissa kohteissa tulee huomioida rikkiheksafluoridin käytössä, että rikin ja kalkin reaktio haittaa rappauksen säilyvyyttä. (Nordkalk). Rikkiheksafluoridi pyrkii luonnostaan laskeutumaan alaspäin. Kaasu on ihmiselle vaaratonta, jos se ei syrjäytä happea kokonaan. Rikkiheksafluoridi on huomattavasti kalliimpaa kuin typpi-vetyseos. Kaasulla on syttymisvaara.

### 3.3 Merkkiainekokeissa käytetyt kaasunilmaisimet

Merkkiainekokeessa käytettäville kaasuille on useita eri kaasunilmaisimia. Tässä tutkimuksessa käytetyt kaasunilmaisimet ovat Trotec ja Dräger.

Dräger-kaasunilmaisimien on paristokäyttöinen ja se tunnistaa rikkiheksafluoridin sekä ilokaasun. Se ei tunnista typpi-vetykaasua. Kaasunilmaisimien ei anna numeerista lukua, mutta se voidaan säätää tunnistamaan pienestä vuodosta aina suureen vuotoon. Mittausherkkyys on 0-885 ppm. Ilmaisimien kertoo havainnosta äänellä sekä valoilla.



Kuva 2. Kaasunilmaisimien, Dräger

Trotec-kaasunilmaisimien on akkukäyttöinen ja se tunnistaa typpi-vetykaasun. Se ei tunnista rikkiheksafluoridia. Kaasunilmaisimien kertoo havainnosta äänellä sekä se antaa numeerisen lukeman välillä 0-1000 ppm, mittaustarkkuus on 0,1 ppm.



Kuva 3. Kaasunilmaisim, Trotec

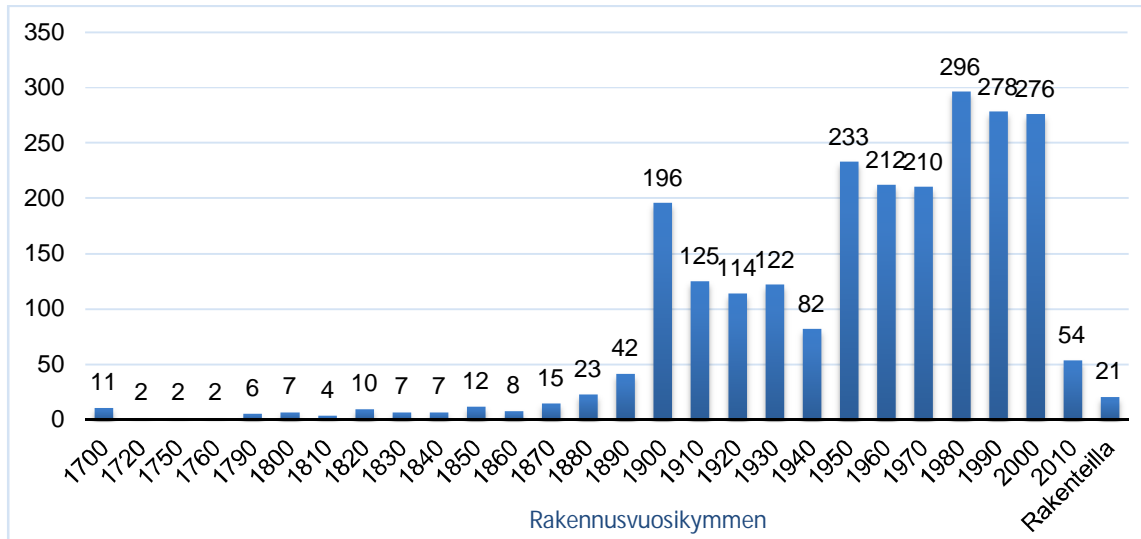
Muita alalla tunnettuja kaasunilmaisimia ovat mm. Sensistor XRS9012 ja Innova 1412, joita Hintikka (2013) vertaili tutkimuksessaan. Tutkimuksessa vertailtiin Sensistor XRS9012:ta, joka sisältää H21-mitta-anturin, jolla mitataan typpi-vetyä. Hintikan tutkimuksen mukaan Sensistor reagoi myös rikkiheksafluoridiin sekä ihmisen uloshengitysilmassa olevaan vetyyn, mikä voi vääristää mittaustuloksia huomattavasti. Innova 1412 -kaasuanalysaattori pystyy tunnistamaan miltei mitä tahansa kaasua, joka absorboi infra-punasäteilyä. Sitä käytettiin Hintikan tutkimuksessa rikkiheksafluoridin mittauksessa. Laite voi antaa virhelukemia, jos ilmassa on suuria määriä epäpuhtauksia, jotka tukkivat mittauskanavan. Myös suuri vesihöyrypitoisuus ilmassa voi häiritä mittauksia. Tutkimuksessa todettiin, että mittauspisteen vieressä tapahtuva parkkipaikan asfaltointi (suuri kaasumainen hiilivetyypitoisuus) saattaa aiheuttaa virhelukemia ja epäluotettavia mittaustuloksia. (Hintikka, 2013.)

#### 4 Tutkimuskohteet

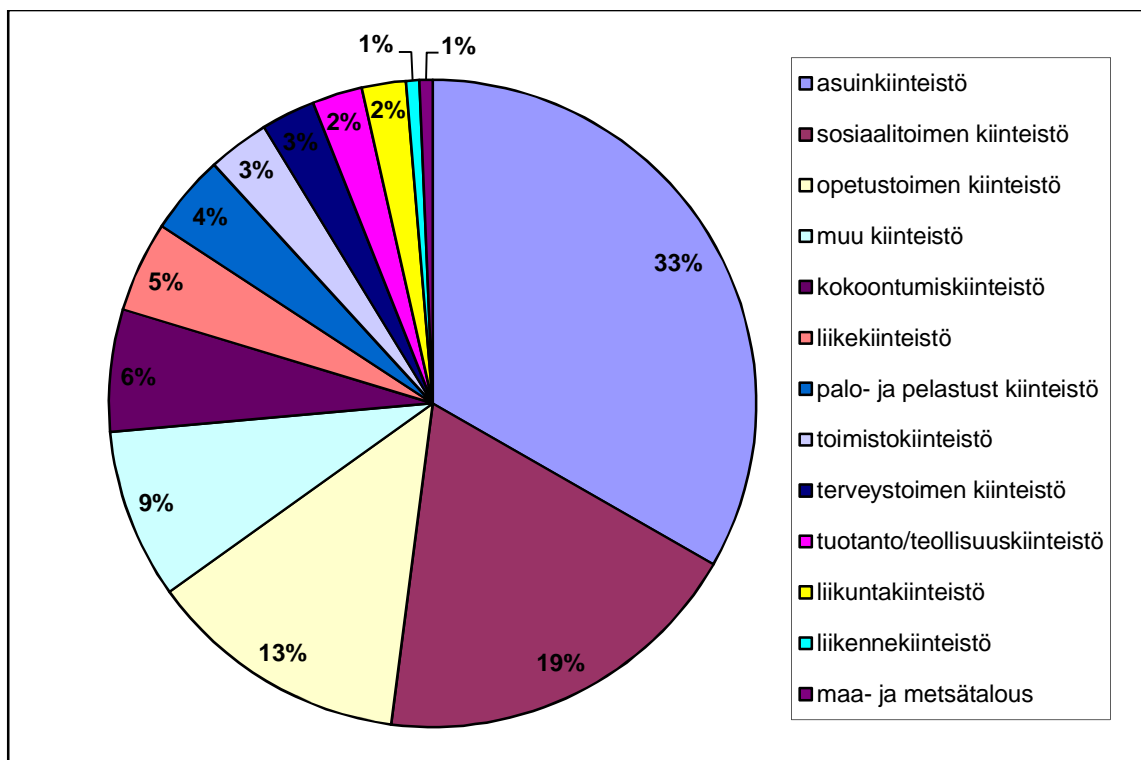
Opinnäytetyöhön valittiin yhteensä 11 kiinteistöä, joihin kaikkiin on tehty tiivistyskorjauksia tehtyjen kuntotutkimusten tai selvitysten toimenpide-ehtotusten perusteella.

Tutkimuskohteista yksi on monitoimikiinteistö, jossa on kolme eri toimijaa. Toimistokiinteistöjä on kolme, opetuskiinteistöjä on kolme, terveystoimen kiinteistöjä on kaksi, päiväkotia on yksi ja kokoontumiskiinteistöjä on yksi. Tällä hetkellä Helsingin kaupungilla on yhteensä 2377 kohdetta. Vanhimmat kiinteistöt on rakennettu 1700-luvun alussa ja

nuorimmat ovat vasta rakenteilla. 1950-luvun jälkeen on rakentaminen kasvanut huomattavasti. Kuvassa 4 on kuvattuna Helsingin kaupungin kiinteistöt rakennusvuosikymmenittäin ja kuvassa 5 käyttötarkoituksen mukaan. (Helsingin kaupunki, 2014.)



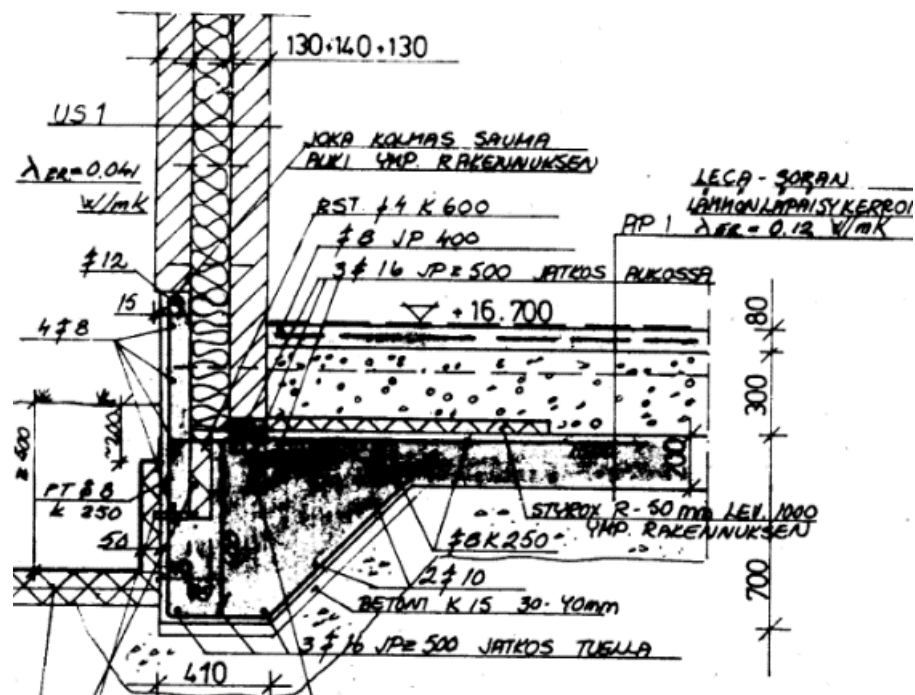
Kuva 4. Helsingin kaupungin kiinteistöjen lukumäärä rakennusvuosikymmenittäin.



Kuva 5. Helsingin kaupungin kiinteistöjen käyttötarkoituksijauma.

#### 4.1 Kohde A

Kohde A on yksikerroksinen päiväkotirakennus, joka on valmistunut vuonna 1982. Kohde käsittää yhden rakennuksen ja sen tilavuus on noin 3000 m<sup>3</sup> ja bruttoala on noin 700 m<sup>2</sup>. Ulkoseinärakenteena on tiili-villa-tiili ja alapohjana on maanvastainen reunavahvistettu teräsbetonilaatta (kuva 6). Vesikatteena on peltikate. Ilmanvaihtojärjestelmänä on koneellinen tulo- ja poistojärjestelmä.



Kuva 6. Leikkauspiirustus

##### 4.1.1 Ennen tiivistyskorjausta tehdyt tutkimukset ja selvitykset sekä tiivistyskorjaus

Kohteeseen on tehty rakennustekninen kosteus- ja homevaurioselvitys syksyllä 2011. Tutkimuksen tarkoituksena on ollut arvioida, onko rakennuksessa kosteusvaurioita, jotka voisivat aiheuttaa käyttäjille sisäilmaan viittaavaa oireilua. Tutkimuksessa on ilmennyt ulkoseinien eristetilassa mikrobikasvustoa. Mikrobikasvustoa on todettu valesokkelin eristenäytteissä sekä varsinaisen ulkoseinärakenteen eristenäytteissä. Kosteusvaurioihin viittaavina mikrobeina on havaittu mm. *Acremonium*, *A. Versicolor*, *A. Restrictus*, *Eurotium*, *Exophiala*, *Geomyces Pannorus*, *Phoma* ja *Streptomyces*. Tutkimuksen liitteenä

on ollut käyttäjäkysely, jonka mukaan käyttäjien mielestä kohteessa on ollut tunkkainen ilma sekä maakellarimaista hajua. Tutkimuksessa on suositeltu tiivistyskorjausta ja tarkastamaan tiivistyskorjauksen onnistumista merkkiainekokein, jotta rakennusta voidaan käyttää ennen suoritettavaa peruskorjausta. Ilmanvaihdon toimivuutta ei tutkittu.

Vuonna 2005 tehdyssä yhden päivän sisäilman hiilidioksidimittauksissa on todettu toisessa mitatussa huonetilassa hiilidioksidipitoisuuden kasvavan liian korkeaksi, pitoisuus ylitti 1500 ppm rajan. Tarkastuksessa on kehoitettu parantamaan huoneen ilmanvaihtoa, mutta sen toteutuksesta ei ole tietoa.

Tiiviskorjaus on tehty vuodenvaihteessa 2012–2013 ja sen tarkoituksena on ollut varmistaa kohteen olosuhteet ennen peruskorjausta. Tiivistyssuunnitelmia ei ole korjausta varten laadittu. Urakoitsijan kertoman mukaan on tiivistyskorjaus toteutettu tiivistysmassalla, materiaalina on käytetty Tremco sp 525 -elastista massaa. Tiivistyskorjaus on suoritettu lattian ja seinän rajakohtaan, ikkunoiden liitoksiin, pattereiden kannatuksiin sekä ikkunalautojen kiinnityksiin ja tiilimuurauksen halkeamiin. Tiivistyskorjauksen onnistumista on tarkasteltu merkkiainekokeilla, raporttia merkkiainekokeisiin liittyen ei ollut käytävissä.

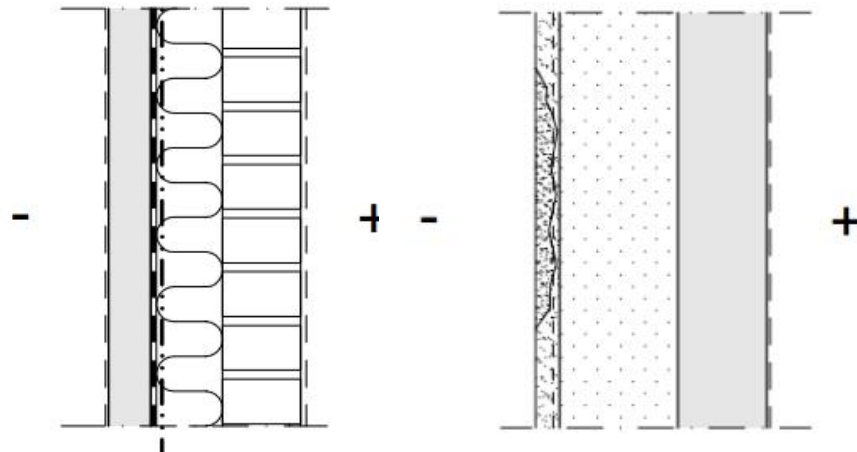
#### 4.1.2 Havainnot kiinteistökierroksella

Tiivistyskorjaus on toteutettu elastisella massalla ja se on asennettu ikkunoiden liitoskohtiin, pattereiden kannakkeisiin, ikkunalautojen kiinnitykseen ja tiilimuurauksen halkeamiin. Lattian ja seinän rajakohdan tiivistystä ei päästy jalkalistojen vuoksi tarkastamaan riittäväällä laajuudella. Tiivistyksiä on tehty myös ulkoseinän ja yläpohjan liitoksiin.

Osassa huonetiloja oli silminnähtävissä epätiivittä tiivistyksiä. Eteisen irronneen jalkalistan takaa havaittiin, ettei tiivistysmassaa ole asennettu lattian ja seinän rajakohtaan. Saman tilan ulko-oven ja tiilimuurauksen pystyliittymän kohdalta ei pellin liitoksia ole tiivistetty. Yhdessä huonetilassa on saumamassa asennettu jalkalistan ja seinän rajakohtaan näkyviin. Kaikkia tutkimuksessa tiivistettäväksi määritettyjä kohtia, kuten patterin kannatuksia ja tiilimuurauksen halkeamia ei ole tiivistetty.

## 4.2 Kohde B

Kohde B on osittain kaksikerroksinen koulurakennus, joka on valmistunut vuonna 1965. Kohde käsittää yhden rakennuksen ja sen tilavuus on noin 17000 m<sup>3</sup> ja bruttoala on noin 5000 m<sup>2</sup>. Ulkoseinärakenteena on tiili-villa-betoni sekä rappaus-kevytbetoni-betoni (kuva 7). Alapohjana on ryömintätalallinen teräsbetonialapohja. Vesikatteena on peltikate. Ilmanvaihtojärjestelmänä on koneellinen tulo- ja poistojärjestelmä.



Kuva 7. Vasemmalla on esitetty ulkoseinärakenne ikkunoiden alla ja oikealla ulkoseinärakenne ikkunauhojen välissä ja yläpuolella.

### 4.2.1 Ennen tiivistyskorjausta tehdyt tutkimukset ja selvitykset sekä tiivistyskorjaus

Kohteeseen on tehty rakenne- ja kosteustekninen kuntotutkimus peruskorjauksen hankesuunnittelua varten (kevät 2011). Kuntotutkimuksessa ulkoseinien ongelmiksi on todettu sisäkuoren ilmatiiviyspuutteet, joiden vuoksi rakennuksen alipaineisuuden vaikutuksesta seinärakenteissa olevat epäpuhtaudet voivat päästä sisäilmaan. Ulkoseinien lämmöneristeissä, mukaan lukien ikkunoiden rive-eristeet, on todettu vahvoja viitteitä mikrobivaurioista. Kosteusvaurioihin viittaavina mikrobeina on havaittu mm. *A. Sydowii*, *A. Versicolor*, *Engyodontium*, *Fusarium*, *Oidiodendron*, *Sphaeropsilades*, *Sporobolomyces*, *Streptomyces* ja *Ulocladium*. Kuntotutkimuksessa on suositeltu tiivistyskorjausta peruskorjauksen yhteydessä erillisten tiivistyskorjaussuunnitelmien mukaisesti ja tarkastamaan tiivistyksen onnistuminen merkkiainekokein. Ilmanvaihdon säätäminen on suositeltu tehtäväksi tiivistyskorjausten yhteydessä. Ennen peruskorjausta on suositeltu kattavaa LVI-kuntotutkimusta, sitä ei kuitenkaan ole käytössä olleiden lähtötietojen perusteella suoritettu.



Kohteeseen on tehty tiivistyskorjaus vuonna 2011 ja sen tarkoituksena on ollut varmistaa kohteen olosuhteet ennen peruskorjausta. Tehdystä tiivistyskorjauksesta löytyi hyvin vähän dokumentaatiota. Tiivistyskorjauksesta ei ole laadittu erillisiä suunnitelmia. Tiivistyskorjaukseen liittyen saatiin lisätietoa työn suorittaneelta urakoitsijalta. Hänen kertomansa mukaan tiivistyskorjaus tehtiin Tremco Tremseal LM25 -elastisella massalla. Tiivistyskorjaus on toteutettu seinien ja lattioiden rajakohtiin, ikkunoiden liitoksiin, patterikannakkeisiin sekä ikkunautoihin liittyen. Samassa yhteydessä on asennettu ryömintätilaan kaasutiiviit käyntiluukut. Alun perin on ollut tarkoitus poistaa ikkunoiden ja karmien välinen mikrobivaurioitunut rive-eriste ja korvata se uretaanivaahdolla ja asentaa listat takaisin. Korjausta ei kuitenkaan ole suoritettu siten, johtuen olemassa olevasta rakenteesta, ja koska korjauskustannus olisi ollut liian kallis ja itse työ olisi kestänyt liian kauan. Korjauksen laatua on kehitetty ja tarkasteltu merkkiainekokeilla ensin mallihuoneeseen ja sen jälkeen työn edetessä pistokoeluentoisesti. Merkkiainekokeissa on havaittu vuotoja seinän ja lattian rajakohdassa ja tämän jälkeen on päätetty tiivistää elastisella massalla myös kyseinen liittymä. Alun perin ei seinän ja lattian rajakohtaa ole pitänyt tiivistää. Laadunvarmistuksena suoritetuissa merkkiainekokeissa on käytetty ilmaa kevyempää kaasua ja se on laskettu rakenteisiin tutkittavan tilan puolelta.

Korjausten jälkeen on oireilu jatkunut ja keväällä 2012 luokkatiloihin on asennettu huonekohtaiset tulo- ja poistoilmakojeet. Rakennuksessa on aiemmin ollut pelkkä koneellinen poistoilmanvaihto, joka on aiheuttanut luokkatiloihin yli 10 Pa:n alipaineen. Luokkatilojen poistoilmaventtiilit on suljettu kokonaan tulo- ja poistoilmakojeiden asentamisen jälkeen, mutta koneellista poistoilmanvaihtoa on käytetty vuoden 2012 loppuun saakka, jotta käytävillä ja auloissa olisi ilmanvaihtoa. Huonekohtaiset tulo- ja poistoilmakojeet on asennettu siitä syystä, että luokkatilojen sisäilman ja ulkoilman paine-ero olisi tasan eikä luokkatiloissa olisi enää suurta alipainetta, joka aiheuttaa korvausilman kulkeutumisen sisäilmaan rakenteiden ilmapuotokohtien kautta.

Syksyllä 2012 koulun henkilökunnalla on esiintynyt sisäilmaan liitettyä oireilua. Erityisesti yhden luokan opettaja on kärsinyt hengitysoireista. Tämän jälkeen on tehty lisätutkimuksia kahteen luokkaan, joissa on todettu ilmapuotoreittejä lämmityspattereiden kiinnikkeiden ja ikkunautojen kannattimien pulttien kohdalta. Tutkimuksissa on todettu luokahuoneiden olevan alipaineisia ulkoilmaan nähden. Tutkimusten jälkeen on tiivistetty yllä mainitut kohdat sekä säädettiin poistoilmanvaihtoja siten, että kojeiden tuloilmavirrat ovat 10 % suuremmat kuin poistoilmavirrat. Paine-eromittaukset on uusittu ilmanvaihdon säätämisen jälkeen ja on todettu, etteivät muutokset ole halutun suuruisia. Tämän jälkeen

on pidetty henkilökunnalle tiedotustilaisuus ja samassa yhteydessä on tullut ilmi, että kaikki yksikerroksisessa siivessä työskentelevät opettajat kokivat sisäilmaan liitettyä oireilua. Tiedotustilaisuuden jälkeen on päätetty, että koulun poistoilmakoneet pysäytetään lukuun ottamatta suihku- ja wc-tiloja sekä terveydenhuollon tiloja, teknisen työn luokkaa, keittiötä ja ruokalaa ja liikuntasalia. Tämän jälkeen on sisäpuolen paine-erot saatu hyvin lähelle ulkoilmaa. Lisäksi on suositeltu tekemään tiivistyskorjaukset (lämmityspattereiden kiinnikkeet ja ikkunautojen kannattimien pultit) kaikkiin huonetiloihin (ja tarkastamaan tiivistys merkkiainekokein) sekä poistamaan säkkikangaspintaiset Haltex-levyt.

Keväällä 2013 päivätyn raportin mukaan on kahteen otteeseen alkuvuonna 2013 suoritettu mikrobinäytteenotto sisäilmasta 11 eri tilasta (molemmilla kerroilla) sekä ulkoseinien merkkiainekokeet. Merkkiainekokeessa on havaittu vuotoja jokaisessa mittauksessa, tosin vuodot eivät ole olleet kokonaisuutena suuria. Vuotoja on todettu ikkunalistojen osittain irronneista tiivistyskittauksista, muovisen jalkalistan liitoksista sekä pattereiden ja ikkunalaudan kiinnikkeistä. Ilmanäytteiden tulokset olivat normaalilla tasolla.

#### 4.2.2 Havainnot kiinteistökierröksellä

Tiivistyskorjaus on toteutettu elastisella massalla ja se on asennettu seinien ja lattioiden rajakohtiin, ikkunoiden liitoksiin, patterikannakkeiden sekä ikkunautojen kannattimien kiinnityksiin. Ainoastaan jalkalistojen kohdalla ei tiivistyskorjaus ole näkyvissä. Tiivistysmassaa on käytetty runsaasti ja pääosin ne vaikuttivat silmämääräisesti tarkasteltuna ehjältä. Kohteessa on muutamia yksittäisiä tiivistyksiä, jotka vaikuttavat siltä, että ne ovat käyttäjien toimesta vaurioituneet.

#### 4.3 Kohde C

Kohde C on kaksikerroksinen koulurakennus, joka on valmistunut vuonna 1978. Kohde käsittää yhden rakennuksen ja sen tilavuus on noin 24000 m<sup>3</sup> ja bruttoala on noin 6000 m<sup>2</sup>. Ulkoseinärakenteena on tiili-villa-tiili. Alapohjana on maanvastainen betonilattia. Vesikatteena on tasakattoinen kermikate. Ilmanvaihtojärjestelmänä on koneellinen tulo- ja poistojärjestelmä.

#### 4.3.1 Ennen tiivistyskorjausta tehdyt tutkimukset ja selvitykset sekä tiivistyskorjaus

Kohteeseen on tehty alkuvuonna 2008 kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus, joka käsitti myös ilmanvaihtojärjestelmän kuntotutkimuksen. Kuntotutkimuksen tavoitteena oli selvittää syyt käyttäjien oireiluun. Kuntotutkimuksen yhteydessä ei otettu mikrobinäytteitä. Kuntotutkimusraportissa on mainittu rakenteen sisällä lämmöneristekerroksessa ajoittain tapahtuvan mikrobikasvun olevan tyypillistä kaikille kerroksellisille ulkoseinärakenteille. Lisäksi on todettu, ettei lämmöneristekerroksen vähäisestä mikrobikasvusta ole haittaa rakenteelle, eikä rakennuksen käyttäjille, kun itiöt tai aineenvaihduntatuotteet eivät kulkeudu huonetiloihin. Itiöiden ja mikrobien aineenvaihduntatuotteiden kulkeutuminen huonetilaan voidaan estää rakenteen ilmapuotokehtien johdonmukaisesti toteutettulla tiivistämisellä. Tutkimuksessa on suositeltu sisäpuolista tiivistyskorjausta vedeneristeellä sekä ilmanvaihtokoneiden uusimista ja säätöä. Tiivistyskorjaus on tehty viiteen opetustilaan kesällä 2009. Tiivistyskorjauksesta ei laadittu suunnitelmia, vaikka kuntotutkimuksessa on niin määritetty. Tiivistyskorjauksen onnistumista on tarkasteltu kolmeen kertaan merkkiainekokeilla. Ensimmäisellä kerralla on havaittu ikkunoiden ympärillä ja alapohjan sekä ulkoseinän liitoksessa vuotoja. Toisella kerralla merkkiainekoe on tehty eri huonetilaan ja vuotoja havaittiin ikkunoiden ympärillä ja alapohjan sekä ulkoseinän liitoksessa vain vähän. Kolmannella kerralla ei ole havaittu vuotoja. Merkkiainekokeissa on käytetty ilmaa kevyempää kaasua. Ensimmäisessä kokeessa kaasu on laskettu rakenteisiin tutkittavan tilan puolelta ja kahdessa viimeisessä se on laskettu julkisivumuutauksen tuuletusrakojen kautta sekä tutkittavan tilan puolelta lattian läpi. Tutkittavaa tilaa ei ole alipaineistettu koneellisesti. Ensimmäisessä mittauksessa oli rakenteen yli mitattu paine-ero ollut ulkoilmaan nähden noin 2 Pa suurempi (ylipaineinen). Toisella ja kolmannella kerralla ei paine-eroa ole mitattu.

Alkuvuonna 2011 on tehty paine-eron seurantamittauksia neljässä eri luokkahuoneessa ja mittausten perusteella opetustilat olivat sekä ali- että ylipaineisia ulkoilmaan nähden. Mittausten perusteella tilat olivat olleet enemmän ali- kuin ylipaineisia. Pääsääntöisesti opetustilat olivat olleet alipaineisia ulkoilmaan nähden ilta- ja yöaikana, ts. normaalitoiminnan ulkopuolisena aikana, vaikkei rakennuksessa ollut yhtään ilmanvaihtokonetta käynnissä ilta- ja yöaikana.

Syksyllä 2011 on tehty muutama luokkatilaan sisäilmatekninen kuntotutkimus käyttäjien oireista johtuen. Tutkimuksen mukaan tutkituissa tiloissa on havaittu ilmapuotoja ulkoseinärakenteesta huonetiloihin ja huonetilat olivat alipaineisia. Ulkoseinien eristetilasta

otetuista materiaalinäytteistä on havaittu kosteusvaurioon viittaavia mikrobilajeja mm. *A. Versicolor*, *Chaetomium*, *Engyodontium*, ja *Streptomyces*. Suositeltuina toimenpiteinä on esitetty ulkoseinän sisäkuoren tiivistämistä kauttaaltaan liittymineen Ardex 8+9 -vedeneristeellä. Tilojen tulo- ja poistoilmamäärät on suositeltu tasapainotettaviksi. Tiivistyskorjausta varten on laadittu yhden sivun työseloste, jonka mukaan seinät tiivistetään kauttaaltaan kahteen kertaan Ardex 8+9 -vedeneristysjärjestelmällä. Pintamateriaaliksi on määritetty tasoite ja maalaus. Kaikki liittymät on määritetty tiivistettäväksi vedeneristuksen alta Tremco SP 525 elastisella saumamassalla, liittymien kohdalla käytetään vahvikekangasta. Laadunvarmistuksesta ei työselosteessa ole mainittu, eikä mahdollisesti suoritetuista merkkiainekokeista ole dokumentaatiota. Tiivistyskorjaus on tehty alkuvuonna 2012.

Tehtyjen tiivistyskorjausten tarkoituksena on ollut parantaa sisäilman olosuhteita ennen suunnitteilla olevaa peruskorjausta.

#### 4.3.2 Havainnot kiinteistökierröksellä

Tiivistyskorjatuissa huoneissa on tiilimuuratut sisäkuoret maalattu ja tasoitettu, mahdollinen vedeneriste on tasoitteen alla. Tiivistyskorjaus vaikutti pääosin tiiviiltä niiltä osin mitä se on näkyvissä. Sisäkuoren liittymissä havaittiin vahvistusnauhoja. Yhden vahvistusnauhan alla havaittiin ilmatasku.

#### 4.4 Kohde D

Kohde D on kolmekerroksinen opetusrakennus, joka on valmistunut vuonna 1955 ja se on peruskorjattu vuonna 1977. Kohde käsittää yhden rakennuksen ja sen tilavuus on noin 23000 m<sup>3</sup> ja bruttoala on noin 6000 m<sup>2</sup>. Ulkoseinärakenteena on tiili-villa/lastusementtilevy-tiili ja alapohjana on maanvastainen teräsbetoni-laatta. Rakennuksen tiilimuuratut väliseinät ulottuvat ulkoseinärakenteen ulkopinnan ulkopuolelle. Vesikatteenä on peltikate. Ilmanvaihtojärjestelmänä on koneellinen tulo- ja poistojärjestelmä.

##### 4.4.1 Ennen tiivistyskorjausta tehdyt tutkimukset ja selvitykset sekä tiivistyskorjaus

Kohteeseen on tehty kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus (syksyllä 2008) sekä ulkoseinien kuntotutkimus (keväänä 2009).

Tehdyissä kuntotutkimuksissa on ulkoseinän eristetilasta otetuissa mikrobinäytteissä todettu poikkeavaa mikrobikasvustoa, erityisesti heti ikkunan alta otetuista näytteistä. Muualta otetuissa näytteissä ei ole ollut poikkeavaa kasvua tai sitä oli vain hiukan. Kosteusvaurioon viittaavia mikrobeja oli mm. *A. Versicolor*, *Aureobasidium*, *Eurotium*, *Trichoderma*, *Sphaeropsidales* ja *Streptomyces*. Tutkimusten yhteydessä tehdyissä merkkiainekokeissa on havaittu sisäkuoressa ilmapuotoja, jotka mahdollistavat rakenteissa olevien epäpuhtauksien kulun sisäilmaan. Vuotokohtina olivat olleet mm. ikkunaliittymät, lattialiittymät, lämmityspattereiden kannattimien kiinnityskohdat, sähkökourujen kannattimien kiinnityskohdat, ikkunalautojen kannattimien kiinnityskohdat, ikkunapenkkiin liittymät seinään, sisäkuoren halkeamat, puhtaaksimuuratun seinän epätiiviyyskohdat, kuten puuttuvat saumat, halkeamat saumassa, kolot tiilessä sauman vieressä. Korjaustöiden menpiteinä on suositeltu julkisivujen sauma- ja tiilikorjausta sekä sisäkuoren tiivistys- ja pinnoitekorjausta. Ilmanvaihto on todettu tutkimuksessa riittämättömäksi ja suositeltiin sen uusimista nyky määräysten mukaiseksi.

Korjaustyöselostuksen mukaan (kevät 2012) on tiivistystyö suunniteltu tehtäväksi Ardex 8+9 -vedeneristysjärjestelmällä ja vahvistusnauhalla. Tiivistystyö on määritetty tutkimusten mukaisesti liittyimiin: ulkoseinän ja lattian liittymä, väliseinien ja lattian liittymä, ikkunaliittymät (ikkunat uusitaan tehtävässä peruskorjauksessa) sekä läpiviennit ja kiinnikkeet, kuten ikkunalaudat, patterikannakkeet, sähkökalusteet ja sähkökotelot. Myös seinien halkeamat suunniteltu korjattavan.

Lattian ja seinän tiivistyksessä on ulotettu (Ardex 8+9) vedeneriste 30 mm lattiapinnalle sekä seinäpinnalle. Ulkoseinien tiivistystyö on ulotettu vähintään 1 metrin matkalle väliseinille. Väliseinien osalta tiilimuuraus on tasoitettu (Weber Vetonit, Pintatasoite LR), vedeneristettyjä kohtia ei tasoideta. Ikkunoiden uusimisen jälkeen on tiivistetty ikkunakarmien ja ulkoseinän liittymät (Ardex 8+9) vedeneristeellä. Ikkunoiden alapuoliset osat on tiivistetty lattiaan saakka vedeneristeellä. Ikkunan yläpuolinen levyrakenne uusitaan eristeineen (ruiskutettava polyuretaanivaahdo). Levynä on käytetty kiviaineista levyä, esim. Master-levyä, joka vedeneristetään kattoon / välipohjaan saakka. Ikkunakarmien väliin jäävä pystysuuntainen rako on tiivistetty levyllä ja vedeneristetyksellä. Läpivientien tiivistys on suositeltu tehtäväksi elastisella massalla Tremseal 25 LM. Sähköjohdoissa ja koteloidissa on tiivistys määritetty tehtäväksi läpiviennin ympäriltä sekä suoja putken sisältä esim. sähkörasian sisällä. Halkeamien kohdalla on roilotettu noin 5 mm syvä ja leveä roilo ja roilon pohjalle on asennettu elastinen massa Tremseal 25 LM. Elastisen massan päälle on asennettu hienotasoinen (Weber Vetonit), vahvikenuha ja pintamaali.

Tiivistyskorjaussuunnitelmissa on määritetty tehtäväksi mallihuone, jonka mukaan tiivistyskorjaustyö tehdään. Mallihuoneeseen on määritetty tehtäväksi merkkiainekoe, jolla varmistetaan tiivistyksen onnistuminen. Merkkiainekokeiden suorituksesta ei ole annettu erillisiä ohjeita. Laadunvarmistussuunnitelmassa (kesä 2012) on määritetty laadunvalvonnasta siten, että rakennuttajan asettama valvoja tarkastaa tiivistystyön jokaisesta huoneesta, johon tehdään Ardex 8+9 -vedeneristetiivistyksiä. Merkkiainekoemenetelmistä ja niiden suorituksista ei ole ollut laadunvarmistussuunnitelmasta erillisiä ohjeita. Laadunvarmistussuunnitelmassa on määritetty jälkitarkastuksina kahden vuoden välein tarkastettavaksi tiivistystöiden pitkäaikaiskestävyys merkkiainekokeilla niissä tiloissa, joissa on tehty tiivistystyötä Ardex 8+9 -vedeneristeellä.

Tiivistyskorjaus on tehty peruskorjauksen yhteydessä, ja sen tarkoituksena on ollut toimia varsinaisena korjauksena, ulkoseinien eristeitä ja tiilimuurausta ei uusittu. Peruskorjauksen yhteydessä on uusittu ikkunat sekä ilmanvaihtojärjestelmä. Peruskorjaus on tehty vuosina 2011–2014.

Tiivistyskorjauksen yhteydessä on tehty merkkiainekokeita. Merkkiainekokeet on suoritettu ilmaa kevyemmällä kaasuseoksella ja kaasu on laskettu rakenteen eristetilaan tutkittavan tilan puolelta ulkoseinään lattiapinnan yläpuolelta. Saadun tiedon mukaan on merkkiainekokeita suoritettu useita eri vaiheissa ja tiloissa. Tätä tutkimusta tehtäessä oli käytettävissä kaksi merkkiainekoeraporttia, joista ensimmäinen oli tehty loppuvuonna 2011 ja toinen alkuvuonna 2013. Ensimmäisessä merkkiainekokeessa on tutkittu kahta mallihuonetta. Toinen huone oli ollut 5 Pa alipaineinen ulkoilmaan nähden, toiseen liittyen ei mitattu paine-eroa. Toisen huoneen ulkoseinäliittymien tiivistyksissä on havaittu melko paljon puutteita. Erityisesti ilmavuotoja on havaittu ikkunaseinän lattian ja seinän liittymistä. Toisesta huoneesta on havaittu ilmavuotoja ainoastaan lattian ja seinän liittymästä väliseinän kohdalla. Toinen merkkiainekoe on tehty kahdeksaan luokkatilaan ja siinä on tutkittu ikkunaliitoksia, ikkunan alapuolista seinärakennetta ja sen liitoksia, sekä väliseinään tehtyä tiivistystä. Merkkiainekokeessa on havaittu pääasiassa samantyyppisiä ilmavuotoja kuin aiemmin samaan kohteeseen tehdyissä merkkiainekokeissa. Merkkiainekokeiden ajaksi on luotu koneellinen alipaine, 10 Pa, tutkittavaan tilaan. Ilmavuotoja on havaittu ikkunoiden karmiliitoksissa, kiinnikkeisiin liittyen, tiilimuuratusta väliseinässä, sekä rapatun tauluseinän ja tiivistetyn väliseinän liitoskohdassa. Toimenpidesuosituksina on esitetty tiivistysten lisääminen / parantaminen kyseisissä kohdissa.

#### 4.4.2 Havainnot kiinteistökierröksellä

Tiivistyskorjaus ei ole näkyvässä, se on tehty pintarakenteiden alle, kuten suunnitelmissa on määritetty, pois lukien tiilimuuratut väliseinät. Ainoastaan väliseinien tiivistystapaa on muutettu alkuperäisistä suunnitelmista, se on toteutettu epoksinnoitteella noin metrin matkalle ulkoseinistä.

#### 4.5 Kohde E

Kohde E on kolmekerroksinen sairaalarakennus, joka on valmistunut vuonna 1985-1986. Sairaala käsittää useita eri rakennuksia, mutta tässä tutkimuksessa tarkastellaan vain yhtä rakennusta, johon on suoritettu tiivistyskorjaus. Rakennuksen tilavuus on noin 2200 m<sup>3</sup> ja bruttoala on noin 6500 m<sup>2</sup>. Ulkoseinärakenteena on betonisandwich-rakenne ja alapohjana on ryömintätilallinen ontelolaatta-alapohja. Vesikatteenä on peltikate. Ilmanvaihtojärjestelmänä on koneellinen tulo- ja poistojärjestelmä.

##### 4.5.1 Ennen tiivistyskorjausta tehdyt tutkimukset ja selvitykset sekä tiivistyskorjaus

Kohteeseen on tehty vuonna 2006 kosteustekninen riskikartoitus, jossa on suositeltu ryömintätilalle korjaustoimenpiteitä sekä tiivistyskorjauksia. Riskikartoituksessa ei ole otettu mikrobinäytteitä eikä huomioitu ilmanvaihtoa. Vuonna 2009 on ryömintätiloihin tehdyn kuntotutkimuksen ja merkkiainekokeen yhteydessä tutkittu ulkoseinien tiiveyttä ja toimenpiteinä on esitetty sisäpuolisia tiivistyskorjauksia liittymäkohtiin sekä ikkunoiden ympärille. Ryömintätilojen tiivistyskorjaussuunnitelmissa on esitetty alapohjan läpivientien tiivistykset tehtäväksi alapuolelta polyuretaanivaahdolla ja potilashuoneiden puolelta Ardex 8+9 -vedeneristejärjestelmällä tai Tremseal 25 LM -tiivistysmassalla tiivistettävän raon leveydestä riippuen. Ulkoseinien tiivistyskorjaukseen ei ole laadittu suunnitelmia. Alapohjan läpivientien tiivistyskorjaukset on tehty vuonna 2009. Tiivistyskorjaus on tehty vain alapohjarakenteen alapuolelta ja tiivistyksessä on käytetty Hilti Oy:n palokatkotuotteita. Tiivistyskorjausten laadunvarmistus on tehty merkkiainekokein jokaiseen läpivientiin liittyen, havaittujen vuotojen jälkeen on tehty uusi merkkiainekoe, kunnes tiivistykset olivat tiiviitä.

Ilmanvaihtotekninen kuntotutkimus on laadittu keväällä 2013. Kesällä 2013 tehdystä kuntotutkimuksessa on todettu, että ikkunoiden ympärille sisäpuolelle on asennettu elastinen massaus. Ulkoseinän tiiveyttä on tutkittu pistokoeluoontoisesti merkkiainekokeella. Ilmavuotoja on havaittu ikkunoiden ympärillä sekä alapohjan ja ulkoseinän liittymässä. Merkkiainekokeen aikana on sisäpuolella ollut noin 2 Pa alipaine ulkoilmaan nähden. Ulkoseinien lämmöneristeissä on havaittu kosteusvaurioihin viittaavina mikrobeina mm. *Acremonium*, *P. Variotii* ja *Streptomyces*. Tutkimuksen lähtötietojen mukaan on ulkoseinien eristetiloihin päässyt usein kosteutta vesikattovuotojen seurauksena. Tutkimuksessa on suositeltu tiivistämään kaikki liittymät ja ikkunoiden ympäristät ilmatiiviiksi sisäilman laadun parantamiseksi. Tiivistyskorjausta on suositeltu varsinaisena korjaustoimenpiteenä muiden rakenteellisten korjausten, kuten esim. vesikatteen uusimisen yhteydessä.

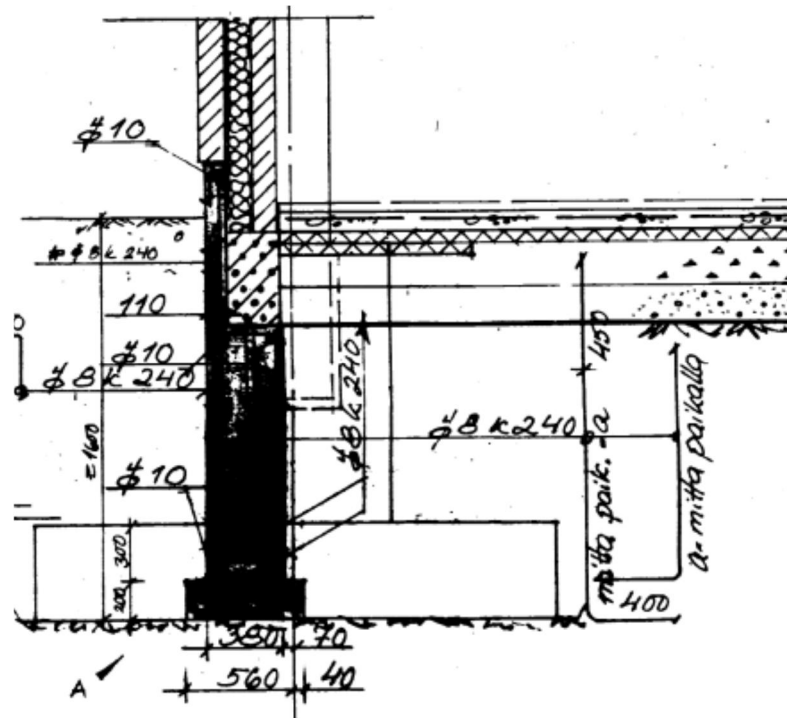
#### 4.5.2 Havainnot kiinteistökierröksellä

Vuoden 2013 kesällä tehdyn kuntotutkimuksen mukaisia suositeltuja korjaustoimenpiteitä ei ole tehty. Huonetiloissa eivät elastisella massalla tehdyt tiivistykset ole silmämääräisesti arvioituna kaikkialla täysin tiiviiltä ja ehjiä. Muovisten jalkalistojen kohdalla ei tiivistyskorjaus ole näkyvissä.

#### 4.6 Kohde F

Kohde F on kaksikerroksinen sairaalarakennus, joka on valmistunut vuonna 1983, peruskorjaus on suoritettu vuonna 2004. Kohde käsittää yhden rakennuksen ja sen tilavuus on noin 17000 m<sup>3</sup> ja bruttoala on noin 4500 m<sup>2</sup>. Ulkoseinärakenteena on tiili-villa-tiili (kuva 8). Alapohjana on ryömintätalallinen teräsbetonialapohja sekä osin maanvastainen betonilaatta. Vesikatteenä on tasakattoinen kermikate. Ilmanvaihtojärjestelmänä on koneellinen tulo- ja poistojärjestelmä sekä jäähdytysjärjestelmä.





Kuva 8. Perustusleikkaus maanvaraisesta alapohjasta

#### 4.6.1 Ennen tiivistyskorjausta tehdyt tutkimukset ja selvitykset sekä tiivistyskorjaus

Kohteeseen on tehty kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus (syksy 2007). Ulkoseinästä ja ulkoseinään liittyvistä rakenteista on otettu 16 kappaletta materiaalinäytteitä. Kosteusvaurioihin viittaavina mikrobeina on havaittu mm. *A. Restrictus*, *A. Versicolor*, *Acremonium* ja *Engyodontium*. Neljässä näytteessä on ollut käytössä olevan raja-arvon ylittävä määrä mikrobikasvustoa. Yhdessä näytteessä on lisäksi ollut raja-arvon verran mikrobikasvustoa. Ulkoseinien sisäkuoressa on todettu yleisesti ilmavuotoja. Alapohja on ollut pääosin ilmatiivis. Ilmavuotoja on todettu alapohjan läpi levyrakenteisten putkikoteloitten kautta. Suositeltuina toimenpiteinä on esitetty alapohjan ja ulkoseinän sisäpuolista tiivistyskorjausta sekä ilmanvaihtojärjestelmän tasapainottamista. Tiivistyskorjauksen tarkoituksena on ollut toimia pitkäaikaisena ja varsinaisena korjauksena.

Kohteeseen on tehty tiivistyskorjaus alkuvuonna 2009 ja sitä varten on laadittu tiivistyskorjaussuunnitelmat. Tiivistyskorjauksen onnistuminen on suunnitelmissa määritetty tarkastettavaksi merkkiainekokeilla. Niiden onnistumista tarkastettiin valvontakäynneillä kolmeen kertaan merkkiainekokein. Valvontamuistioissa ei ole mainittu käytettyä kaasua, kaasunilmaisimia, mahdollista koneellista alipaineistusta eikä kaasun laskukohtaa.

Viimeisessä muistiossa ei ole ilmoitettu paine-eroa. Valvontamuistioiden mukaan tiivistsissä on vain vähäisiä puutteita lähinnä ikkunoihin liittyen ja tiiveys parani merkkiainekoekoiden suorituksen myötä, kun havaittiin vuotokohtat. Tiivistyskorjaus on suunniteltu tehtäväksi kauttaaltaan Ardex 8+9 -vedeneristeellä. Nurkkakohdissa on suunniteltu käytettävän lisäksi vahvikkeena lasikuitukangasta. Lattian ja seinän rajakohta on suunniteltu tehtäväksi siten, että poistetaan muovimattoa noin 30 mm leveä kaista seinän viereltä ja vedeneristys tuodaan lattian päälle. Purettu muovimatto on suunniteltu korvattavan kahdella jalkalistalla. Kevyiden väliseinien kohdalla ulkoseinän tiivistäminen on suunniteltu jatkuvan väliseinän läpi. Väliseinien, jotka alkavat betonipilarista, kohdalla ulkoseinän tiivistäminen lopetetaan betonipilariin. Sisäkuoren ja betonipilarin liitos tehdään ilmatiiviksi. Myös ikkunakarmien tiivistys tehdään Ardex 8+9 -vedeneristysmassalla. Vedeneristys tuodaan 15 mm karmin päälle. Kahden ikkunan välisen rakenteen tiivistäminen on suunniteltu tehtäväksi polyeteenikalvolla, joka liimataan kaksipuolisella butyyliteipillä ikkunakarmin. Toisen kerroksen erkkerin ikkunoiden alapuolinen seinä on suunniteltu tiivistettäväksi polyeteenikalvolla, joka liimataan kaksipuolisella butyyliteipillä alumiinirunkoon. Höyrynsulun päälle on suunniteltu asennettavaksi kipsilevy, jonka reunat tiivistetään elastisella tiivistysmassalla alumiinirunkoon. Ikkunan karmirakenne on suunniteltu tiivistettäväksi sisäkuoreen solumuovinauhalla ja tiivistysmassalla. Myös muut havaitut ilmavuotokohtat on esitetty tiivistettäväksi elastisella tiivistysmassalla. Alumiinilaseinän alumiinirungon alajuoksun ja alapohjan rajakohtaa ei ollut esitetty tiivistettäväksi. Myöskään alumiinirungon keskinäisten liitosten tiivistämistä ei ollut esitetty. Muuratun väliseinän ja sisäkuoren liitoksen tiivistämistä ei ollut esitetty.

Keväällä 2012 on 13 huoneeseen tehty merkkiainekoe, jossa on havaittu pistemäisiä vuotokohtia, jotka sijaittivat pääosin ikkunoiden nurkissa ja ikkunoiden saranoiden kohdalla. Lisäksi on löydetty vuotokohtia sähkökotelon ja ikkunalaudan reunoilla. Merkkiainekoekoiden ajaksi on luotu koneellinen n. 5 Pa alipaineistus huonetiloihin. Toimenpidesuosituksina on esitetty kaikkien ikkunoiden sisäpuitteiden sekä huonetilan puolelta kaikkien ikkunoiden sisäpuitteen karmin liitoskohdan tiivistämistä. Lisäksi on esitetty kolmessa huonetilassa suurehkojen ilmavuotokohtien tiivistämistä sekä jatkotutkimuksina avaamaan sähkökotelon kansi ja selvittämään vuotokohtat tarkemmin.

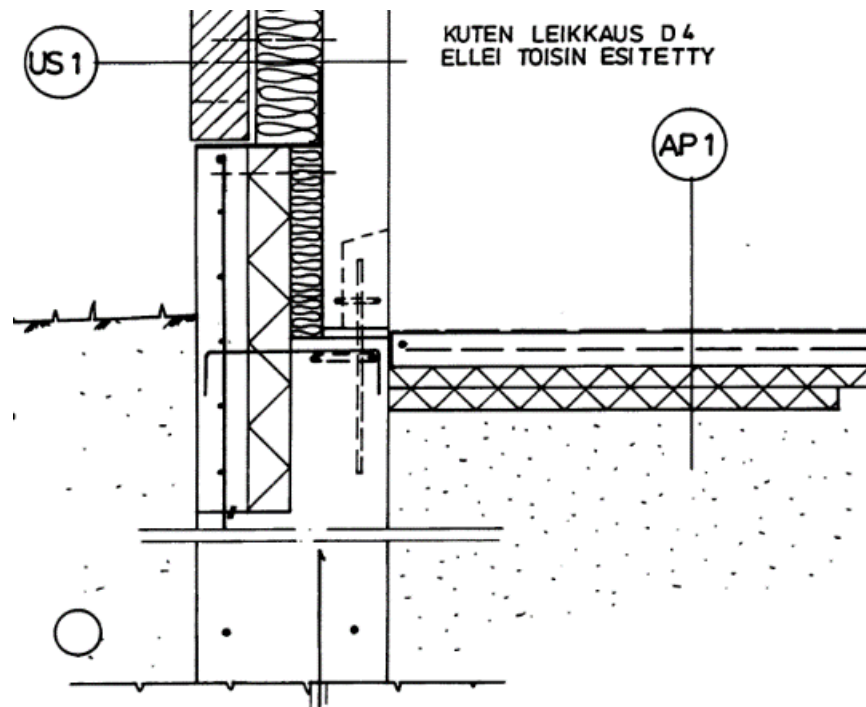
Kohteen toiminta on siirretty toisiin tiloihin ennen tiivistyskorjauksia.

#### 4.6.2 Havainnot kiinteistökierröksellä

Elastisilla massoilla tehtyt tiivistykset olivat lähes kaikkialla erittäin paksuja ja epäsiistejä. Elastisilla massoilla tehtyjä tiivistyksiä on liittymissä joihin ei tiivistyssuunnitelmissa niitä ole määritetty. Elastisia massaustiivistyksiä on sähkökoteloiden ja ikkunalautojen ympärillä. Tehtyjen saumojen perusteella voisi luulla, että tiivistyskorjauksen ensisijainen toteutustapa on ollut saumojen tiivistäminen elastisilla tiivistysmassoilla eikä sisäkuoren tiivistäminen kauttaaltaan vedeneristeellä. Alumiinilasiseinän alumiinirungon alajuoksun ja parketin rajakohta oli tiivistetty elastisella tiivistysmassalla. Muurattujen väliseinien ja sisäkuoren liittymät on tiivistetty vedeneristeellä ja vahvikekankaalla.

#### 4.7 Kohde G

Kohde G on kaksikerroksinen nuorisotalo, joka on valmistunut vuonna 1992. Kohde käsittää yhden rakennuksen ja sen tilavuus on noin 4000 m<sup>3</sup> ja bruttoala on noin 1000 m<sup>2</sup>. Ulkoseinärakenteena on tiili-villa-betoni (kuva 9). Alapohjana on pääosin maanvastainen betonilaatta ja yhdessä tilassa on ryömintätilallinen teräsbetonialapohja. Vesikatteena on tasakattoinen kermikate. Ilmanvaihtojärjestelmänä on koneellinen tulo- ja poistojärjestelmä.



Kuva 9. Leikkauspiirustus, maanvastainen alapohja.

#### 4.7.1 Ennen tiivistyskorjausta tehdyt tutkimukset ja selvitykset sekä tiivistyskorjaus

Kohteeseen on tehty kesällä 2009 ulkoseinien lämmöneristeiden mikrobitutkimus ja vesikatkon korjaustarveselvitys. Tutkimuksessa on todettu ulkoseinäeristeissä runsaasti poikkeavaa mikrobikasvua. Tutkimuksessa on otettu 46 näytettä ja yli puolessa on ollut poikkeavaa mikrobikasvustoa, näytteitä on otettu lämmöneristeen sisä- ja ulkopinnalta. Eristeen ulkopinnoilta otetuista näytteistä on ollut 87 % poikkeavaa kasvustoa ja sisäpinnasta otetuista näytteistä 22 % poikkeavaa kasvustoa. Merkkiainekokeiden mukaan eristetilasta on ollut ilmavuotoja sisäilmaan. Kosteusvaurioihin viittaavina mikrobeina on havaittu mm. *Acremonium*, *A. Fumigatus*, *A. Versicolor*, *A. Penicillioides*, *A. Ochraceus*, *Engyodontium*, *Eurotium* ja *Phoma*. Tutkimuksessa on suositeltu tiivistämään sisäkuori kauttaaltaan sekä säätämään ilmanvaihdon tulo- ja poistoilmanmäärät samansuuruisiksi. Tiivistyskorjauksen tarkoituksena on ollut toimia pitkäaikaisena ja varsinaisena korjauksena.

Syksyllä 2009 on kohteeseen laadittu tiivistyskorjaussuunnitelmat. Tiivistyskorjaus on suunniteltu tehtäväksi Ardex-tarranauhalla, Ardex 8+9 -vedeneristysjärjestelmällä sekä tiivistysmassalla. Ulkoseiniin ja alapohjiin / välipohjiin ja yläpohjiin liittyvät tiivistykset on suunniteltu tehtäväksi Ardex 8+9 -vedeneristysjärjestelmällä. Ikkunoiden tiivistykset on suunniteltu tehtäväksi Ardex-tarranauhalla ja elastisella massalla. Muut tavanomaisista liitoksista ja rakenteista poikkeavat liittymät on suunniteltu tiivistettäväksi Ardex-tarranauhalla sekä elastisella massalla. Tiivistyskorjaus on tehty alkuvuonna 2010.

Tehtyjen korjausten onnistumista on tutkittu merkkiainekokein kahteen kertaan. Tehdyistä merkkiainekoeraporteista ei ilmene, onko kaasua laskettu rakenteeseen ulko- vai sisäpuolelta. Työmaa-aikaisista valokuvista ilmenee, että kaasua on laskettu tutkittavan tilan puolelta rakenteeseen. Paine-eroa ei ole merkkiainekoeraportissa ilmoitettu. Kaasuna on käytetty ilmaa kevyempää typpi-vetyä. Ensimmäisellä kerralla on huomautettu liian ohuesta kalvonpaksuudesta vedeneristysmateriaalissa sekä havaittu ilmavuotoja lattia-seinäliitoksessa. Toisella kerralla on todettu kalvonpaksuuden olevan riittävä. Ulkoseinille tehtävissä lattian ja seinän liittymän tiivistyksissä on havaittavissa ilmavuotoja. Ilmavuotoja on havaittu väliseinien kohdalla. Lattia-seinäliittymän tiivistys ei jatku yhteinäisenä väliseinän kohdalla, jolloin väliseinän kohdalle ulkoseinän ja pintalaatan väliin jää ilmavuodon mahdollistava rako. Merkkiainekokeessa on suositeltu purkaa väliseinää, jotta tiivistystyö saadaan tehtyä ehjänä koko ulkoseinälle. Tiivistyskorjaussuunnitelmissa

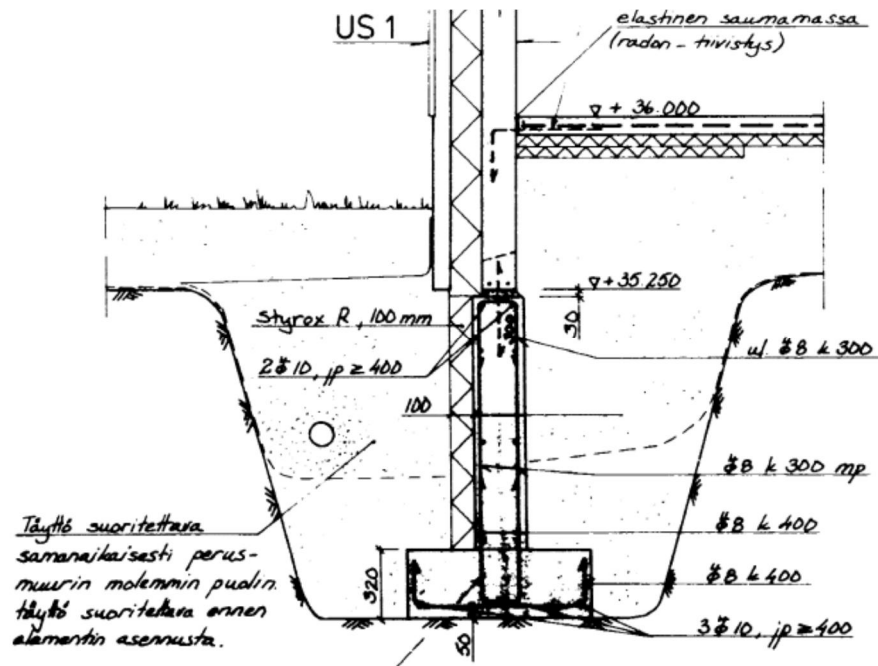
on määritetty väliseinien purkua, jotta tiivistys saadaan tehtyä ehjänä. Toisen merkkiainekokeen jälkeen on sovittu laadunvarmistuksena tehtäväksi lisää merkkiainekokeita tiivistystyön edetessä. Tämän jälkeen mahdollisesti tehdyistä merkkiainekokeista ei ole dokumentointia. Ilmanvaihdon mahdollisesta säätämisestä ei ole dokumentointia.

#### 4.7.2 Havainnot kiinteistökierröksellä

Tiivistyskorjaus on näkyvässä olevilta osin pääasiassa toteutettu tehtyjen tiivistyskorjaussuunnitelmien mukaisesti. Välipohjan alakerran puolelta sekä yläpohjan alapuolen liitospöydissä havaittiin poikittaissuuntaista halkeilua. Alaslasketun katon yläpuolelle ei ole tiivistyskorjauksia ulotettu. Musiikkihuoneiden lattian (välipohja) ja ulkoseinän tiivistys on edellyttänyt betonilattian purkua seinien viereltä. Tiivistys on suunniteltu ääneneristysvillan ja kantavan välipohjalaatan rajakohtaan Ardex-vedeneristysjärjestelmällä. Seinien vierustoilla on uudet muovimatot sekä suora sauma, jonka perusteella lattiaa on avattu.

#### 4.8 Kohde H

Kohde H on kolmekerroksinen toimistotalo, joka on valmistunut vuonna 1990. Kohde käsittää yhden rakennuksen ja sen tilavuus on noin 13000 m<sup>3</sup> ja bruttoala on noin 3500 m<sup>2</sup>. Ulkoseinärakenteena on betonisandwich-rakenne (kuva 10). Alapohjana on ryömintätilallinen ontelolaatta-alapohja sekä osin maanvastainen alapohja. Vesikatteena on bitumikermikate sekä suojakiveys. Ilmanvaihtojärjestelmänä on koneellinen tulo- ja poistojärjestelmä.



Kuva 10. Perustusleikkaus

#### 4.8.1 Ennen tiivistyskorjausta tehdyt tutkimukset ja selvitykset sekä tiivistyskorjaus

Kohteeseen on tehty sisäilma- ja kosteustekninen tutkimus syksyllä 2012 ja sitä on päivitetty alkuvuonna 2014. Ulkoseinän ja perusmuurin eristetilän materiaalinäytteistä on löytynyt mikrobivaurioita. Kosteusvaurioihin viittaavina mikrobeina on havaittu mm. *Acromonium*, *A. Penicillioides*, *Chaetomium*, *Exophiala* ja *Streptomyces*. Eristetilasta on todettu merkkiainekokeissa ilmavuotoja huonetiloihin. Vuoden 2012 tutkimuksen paineeromittauksen perusteella huonetilat ovat olleet alipaineisia. Ilmanvaihtojärjestelmä on tasapainotettu syksyllä 2013 ja sen myötä alipaineisuus on vähentynyt. Tutkimusten toimenpide-ehdotuksena on ollut tiivistyskorjaus ja sen jälkeen ilmapirtujen tarkastusmittaukset. Tutkimuksen mukaan on tiivistyskorjauksen onnistuminen testattava merkkiainekokeilla. Tiivistyskorjauksen tarkoituksena on ollut toimia pitkäaikaisena ja varsinaisena korjauksena.

Tiivistyskorjaussuunnitelmissa on tiivistykset esitetty tehtäväksi Ardex -tarranauhalla, Ardex 8+9 -vedeneristysjärjestelmällä ja elastisella massalla. Tiivistyssuunnitelmat on laadittu ainoastaan kahta eri mallihuonetta varten ja tiivistys on suunniteltu tehtäväksi vain ikkunoihin liittyen. Mallihuoneissa on ollut kahdenlaisia ikkunoita, toinen ikkunatyyppe ns. normaali ikkuna, joka on keskellä ulkoseinää, ja toinen ikkunatyyppe on korkea lattiaan

rajoittuva ikkuna. Lattian ja seinän, yläpohjan ja seinän sekä välipohjan ja ulkoseinän liittymää ei ole esitetty tiivistettäväksi.

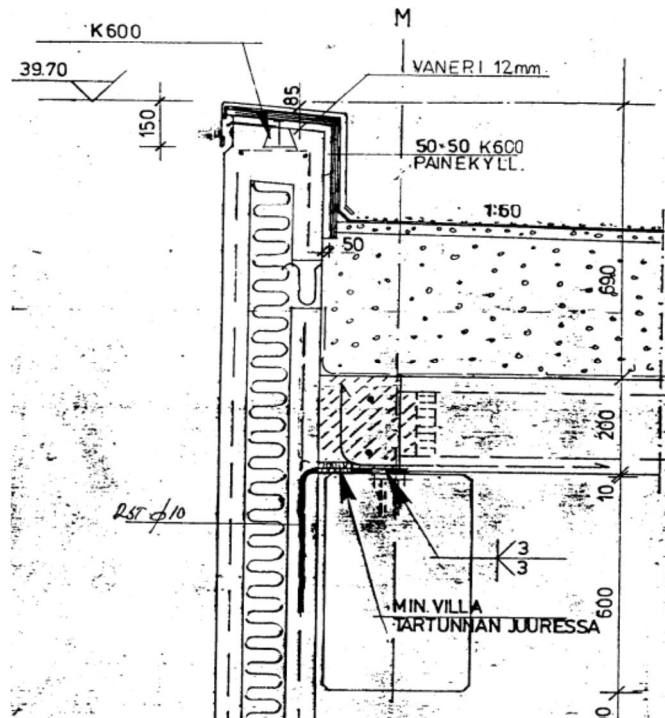
Kesällä 2013 on toiseen mallihuoneeseen tehty tiivistyskorjaus. Merkkiainekokeella on tutkittu ikkunan liitoksia sisäpuolelta ilmaa kevyemmällä typpi-vetykaasulla. Merkkiainekokeen aikana on huonetilassa ollut 10 Pa alipaine ulkoilmaan nähden. Merkkiainekoe on tehty ennen pintamateriaalien asennusta. Merkkiainekokeissa on havaittu yksittäisiä ilmapuotokohtia ikkuna- ja ulkoseinärakenteissa. Mallihuoneen tiivistyskorjausta ei ole jatkettu yhtenäisenä viereiseen huoneeseen ja siksi ikkunapenkin ja väliseinän liittymä vuotaa.

#### 4.8.2 Havainnot kiinteistökierröksellä

Tiivistyskorjatussa huoneessa oli tiivistetty ikkunaliittymiä, välipohjaliittymiä, yläpohjaliittymiä sekä kevytrakenteisen ulkoseinän (IV-kuilu) ja sandwich-elementtiseinän liitosta. Tiivistyssuunnitelmat käsittivät vain ikkunaliittymät. Tehdyt tiivistykset ovat pintarakenteiden peitossa. Lattian ja ulkoseinän peitelistat on kiinnitetty lyöntitulpin.

#### 4.9 Kohde I

Kohde I on seitsemänkerroksinen toimistorakennus, joka on valmistunut vuonna 1985. Kohde käsittää yhden rakennuksen ja sen tilavuus on noin 17000 m<sup>3</sup> ja bruttoala on noin 4000 m<sup>2</sup>. Ulkoseinärakenteena on betonisandwich-rakenne (kuva 11). Alapohjana on tuulettuva alapohja sekä maanvastainen betonilaatta väestönsuojan kohdalla. Vesikatteena on bitumikermikate. Ilmanvaihtojärjestelmänä on koneellinen tulo- ja poistojärjestelmä.



Kuva 11. Räystäisleikkaus

#### 4.9.1 Ennen tiivistyskorjausta tehdyt tutkimukset ja selvitykset sekä tiivistyskorjaus

Kohteeseen on tehty kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus kesällä 2009. Raportin mukaan on esiintynyt mikrobivaurioita rakennuksen ulkoseinäeristeissä, joista on todettu ilmayhteys merkkiainekokeilla sisäilmaan. Ulkoseinän ja perusmuurin eristetilan kosteusvaurioihin viittaavina mikrobeina on havaittu mm. *A. Fumigatus*, *A. Ochraceus*, *A. Versicolor*, *Paecilomyces*, *Sphaeropsidales*, *Stachybotrys*, *Streptomyces* ja *Ulocladium*. Ilmanvaihdon toimivuus ei ole ollut suunnitelmien mukainen, tuloilmamäärät ovat olleet noin 20 % liian pienet, mikä teki huonetiloista alipaineisia. Tutkimuksessa suositeltuina toimenpiteinä on esitetty mm. tiivistyskorjauksia ja ilmanvaihdon tasapainottamista. Tiivistyskorjauksen tarkoituksena on ollut toimia pitkäaikaisena ja varsinaisena korjauksena.

Tiivistyskorjaussuunnitelmissa (kesä 2010) on tiivistykset esitetty tehtäväksi eri menetelmillä riippuen tiivistettävästä liittymästä. Tiivistystyön suorittajalta on edellytetty materiaalivalmistajan antamaa koulutusta rakenteiden tiivistystyöhön. Ikkunoiden ja betonielementtiseinä sekä yleisesti betonirakenteiden liitoskohtien tiivistys on suunniteltu tehtäväksi Ardex 8+9 -vedeneristysjärjestelmällä. Ikkunoiden ja levyrakenteisten ulkoseinien (erkkerin kohdat) sekä ulkoseinien ja kotelorakenteiden tiivistys on suunniteltu tehtäväksi



kaksipuolisella butyyliiteipillä sekä höyrynsulkumuovilla ja osin elastisella massalla. Tiivistyssuunnitelmissa on määritetty tehtäväksi mallityö, jonka perustella kaikki tiivistykset tehdään. Mallikorjaus on suunniteltu tarkastettavaksi ensin silmämääräisesti, ja kun se on silmämääräisen arvioinnin mukaan toteutettu hyvin, tarkastetaan tiivistystyö merkkiainekokeella. Merkkiaineen suorituksen aikana tulee tilan oltava alipaineinen ja merkkiainekokeet tehdään ennen pinnoitustöitä. Tiivistyssuunnitelmissa ei ole määritetty, tehdäänkö merkkiainekoe ilmaa kevyemmällä vai painavammalla kaasulla. On kuitenkin määritetty, että tutkittavan tilan on pitänyt olla alipaineinen. Merkkiainekokeiden raportteja ei ollut käytettävissä. Kiinteistön omistajan kertoman mukaan merkkiainekokeita ei ole dokumentoitu, havaitut vuodot on korjattu heti.

Kohteeseen on tehty tiivistyskorjaus sekä ilmanvaihdon tasapainotus vuonna 2011. Samassa yhteydessä on suoritettu myös muita korjauksia, kuten vesikattojen ja terassien korjaus, ikkunaliittymien vaurioituneiden puurakenteiden uusiminen, levyrakenteisten ulkoseinien kosteusvaurioituneiden materiaalien poistaminen, vesivuodon vaurioittamien väliseinärakenteiden uusiminen 2. ja 3. kerroksessa ja väliseinissä olevien haltex-levyjen uusiminen.

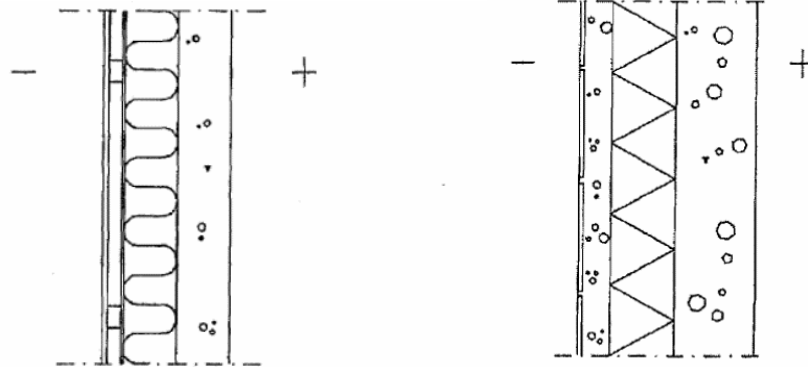
#### 4.9.2 Havainnot kiinteistökerroksella

Tiivistyskorjauksen lähtökohtana on ollut asentaa tiivistyskorjaus pintarakenteiden alle. Näkyviä elastisia massaustiivistyksiä ei havaittu. Ulkoseinien läheisyydessä olevat vaihdetut lattialaatat viittaavat tiivistettyihin ala-/välipohjan ja ulkoseinien liittymiin. Puuikkunat on tiivistetty ympäröivään ulkoseinärakenteeseen saumanauhalla ja vedeneristeellä. Saumanauha oli monin paikoin näkyvissä, myös vedeneriste oli paikoin näkyvissä. Metallikkunoiden rungon liitokset ympäröiviin rakenteisiin oli peitetty peltilistoilla, eikä tiivistys ollut näkyvissä.

#### 4.10 Kohde J

Kohde J on kahdeksankerroksinen toimistorakennus, joka on valmistunut vuonna 1965 ja sitä on laajennettu vuonna 1981. Peruskorjaus on tehty vuonna 2004. Kohde käsittää yhden rakennuksen ja sen tilavuus on noin 19000 m<sup>3</sup> ja bruttoala on noin 6000 m<sup>2</sup>. Rakennuksen julkisivun vanhalla osalla on ulkopuolinen lämmöneristys ja alumiinipeltiverhous (kuva 12). Uuden osan julkisivu on klinkkerilaattapintainen sandwich -elementti

(kuva 12). Alapohjana on tuulettuva alapohja. Vesikatteena on tasakattoinen bitumiker-  
mimate. Ilmanvaihtojärjestelmänä on koneellinen tulo- ja poistojärjestelmä sekä jäähdy-  
tys.



Kuva 12. Vasemmalla on esitetty vanhan osan ja oikealla laajennusosan ulkoseinärakenne.

#### 4.10.1 Ennen tiivistyskorjausta tehdyt tutkimukset ja selvitykset sekä tiivistyskorjaus

Kohteeseen on tehty kosteustekninen kuntotutkimus (2007-2008), joka on jaettu vanhaan osaan ja uuteen osaan. Vanha osa: Peltijulkisivun taakse on päässyt kosteutta. Tuulensuojana toimivat lujalevyt eivät ole olleet tiiviitä ja villat ovat olleet mustuneita. Ikkunankarmin tilkkeestä on löytynyt mikrobivaurio, jonka kosteusvaurioon viittaavana mikrobina on havaittu *Ulocladium*. Muista eristetilasta otetuista näytteistä ei ole löydetty viitearvoa ylittäviä mikrobipitoisuuksia. Sisäilmassa ei ole havaittu merkittäviä ongelmia mittausten ja haastatteluiden perusteella. Uusi osa: Betonielementeissä on havaittu kosteusteknisiä puutteita, kuten väärin asennettuja ikkunapeltejä. Elementin eristetilan materiaalinäytteistä ei ole havaittu mikrobikasvustoa. Ilmanäyteanalyysien (VVOC/VOC/MVOC) perusteella ei voida poissulkea mahdollisia mikrobivaurioita tai lattiamateriaaleista peräisin olevia epäpuhtauksia. Uuden osan tiloissa on käyttäjien mukaan oireiltu paljon. Ulkoseinien eristetilan mikrobivauriot voivat olla olleet paikallisia. Toimenpide-ehdotuksina on esitetty lisänäytteenottoa sekä ulkoseinien tiivistyskorjausta ulko- ja sisäpuolelle sekä vanhan osan ikkunatilkkeiden uusimista.

Syksyllä 2008 on otettu kaksi näytettä uudelta puolelta lattiasta mikrobimääritystä varten. Toisen näytteen tasoitteessa ja liimassa on todettu sädesieniä yli ohjearvon ja näytetulos on viitannut mikrobivaurioon. Toimenpide-ehdotuksena on esitetty kyseisen huoneen lattiamateriaalin uusimista ja vaurion laajuuden selvittämistä muissa tiloissa samoilla menetelmillä. Tämän jälkeen on otettu 21 huoneesta näytteet ja mikrobivaurioita on havaittu

kahdessa näytteessä. Toimenpide-ehdotuksina on esitetty sisäpuolisia tiivistyskorjauksia sekä vuonna 2008 suoritetun kosteusteknisen kuntotutkimuksen mukaisia korjaustoimenpiteitä julkisivuille.

Kohteeseen on tehty tiivistyskorjaus vuosina 2009-2010 ja sen tarkoituksena on ollut varmistaa kohteen olosuhteet ennen rankempaa korjausta. Tiivistyskorjaussuunnitelmissa on määritetty tiivistettäväksi ikkunaliittymät, ikkunoiden alapuoliset seinät, nousuhormien läpiviennit ja ulkoseinät kauttaaltaan. Lisäksi uuden osan muovimatot on suunniteltu uusittavaksi.

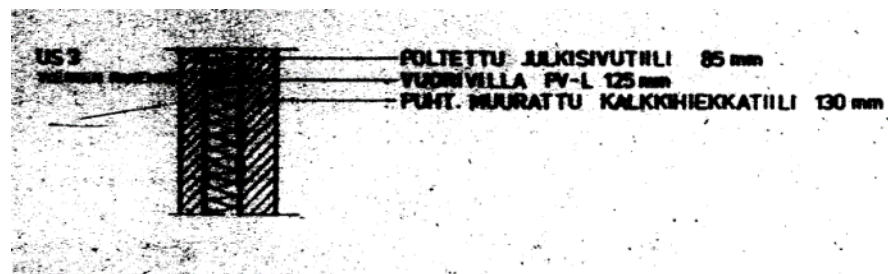
Lattian ja seinän sekä ikkunoiden liittymien sekä alapuolisten seinien tiivistys on esitetty tehtäväksi Ardex 8+9 -vedeneristeellä ja vahvikekankaalla. Ikkunan alapuolelta on suunniteltu tiivistettäväksi puurakenteinen seinä sähkökourun takaa vedeneristeellä. Puurakenteinen seinä on rakennettu käytöstä poistettujen tuuletusikkunoiden tilalle ja se on asennettu betoniseinän päälle. Betoniseinän pintaan on esitetty asennettavan huokoinen rappaus sekä vedeneriste ehjänä lattiaan saakka siten, että se ulottuu lattiapinnalle. Vedeneristyksen päälle on esitetty asennettavan uusi sisäverhouslevy. Pattereiden kannakkeet on suunniteltu kiinnitettäväksi levyn päälle lyöntitulpin ja kiinnikereiät on suunniteltu tiivistettäväksi Tremseal 25 LM -tiivistysmassalla ennen kannakkeiden kiinnittämistä. Nousuhormien tiivistys on suunniteltu tehtäväksi palonsuojamassalla. Laadunvarmistuksena on esitetty suoritettavan tiiveyden tarkastelu merkkiainekokeilla sen jälkeen kun osaston kaikki rakenteet on tiivistetty, mutta pintarakenteita ei ole asennettu. Merkkiainekoe on esitetty tehtäväksi siten, että ulkoseinän eristetilaan lasketaan kaasua, jota luonnossa ei esiinny, ja huonetilasta mitataan merkkiaineen määrää merkkiaineanalyysaattorilla. Merkkiainekokeessa käytettävää kaasua tai paine-eroa rakenteiden yli ei ole määritetty. Tiivistyskorjauksen yhteydessä on jokaiseen huoneeseen tehty merkkiainekokeet ilmaa kevyemmällä kaasulla. Kaasu laskettiin rakenteisiin tutkittavan tilan puolelta.

#### 4.10.2 Havainnot kiinteistökierröksellä

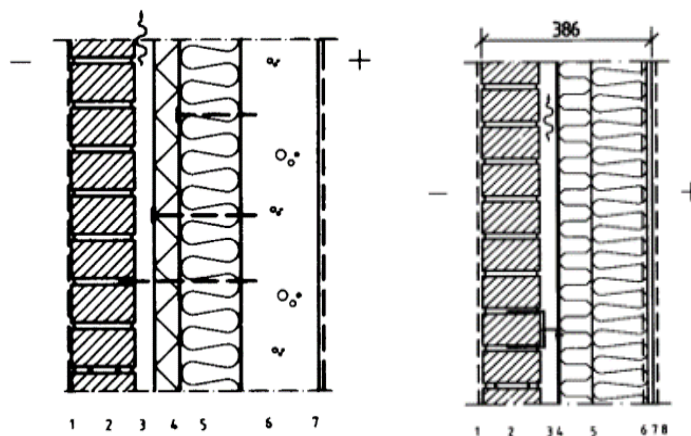
Vedeneristysmassalla tehdyt tiivistykset eivät olleet näkyvissä, kuten suunnitelmissa oli määritetty. Listoitukset ja niihin liittyvät elastisilla massoilla tehdyt tiivistykset olivat pääsääntöisesti tiiviin näköisiä. Pattereiden kannakkeita ei ollut kiinnitetty seinän verhouslevyn päälle, kuten suunnitelmissa oli esitetty, vaan ne lävistivät tiivistysten yhteydessä asennetun verhouslevyn. Nousuhormeissa oli näkyvissä runsaasti palonsuojamassaa.

#### 4.11 Kohde K

Kohde K on kaksikerroksinen monitoimirakennus, joka käsittää opetustilan, kokoontumistilan sekä päiväkodin. Vanhin osa rakennuksesta on valmistunut 1978, peruskorjaus ja laajennus on tehty vuonna 2003. Toinen laajennus on tehty vuonna 2009. Kohde käsittää yhden rakennuksen ja sen tilavuus on noin 46000 m<sup>3</sup> ja bruttoala on noin 10000 m<sup>2</sup>. Vanhalla osalla on ulkoseinärakenteena tiili-villa-tiili (kuva 13). Laajennusosalla on ohutrapattu tiiliverhoilu teräsbetonisella sisäkuorella (välissä tuuletusrako ja tuulensuojavilla sekä mineraalivilla) sekä termorankaseiniä (kuva 14). Vanhalla osalla on alapohjana tuulettuva alapohja, laajennusosalla on maanvastainen betonilaatta. Vesikatteena on bitumikermikate. Ilmanvaihtojärjestelmänä on koneellinen tulo- ja poistojärjestelmä.



Kuva 13. Ulkoseinärakenne, vanha osa



Kuva 14. Ulkoseinärakenteet, laajennusosa

##### 4.11.1 Ennen tiivistyskorjausta tehdyt tutkimukset ja selvitykset sekä tiivistyskorjaus

Kohteeseen on tehty kosteus- ja sisäilmateknisiä kuntotutkimuksia vuosina 2011 ja 2013. Kosteusvaurioihin viittaavina mikrobeina on havaittu mm. *Acremonium* ja *Phoma*.

Merkkiainekokeiden perusteella on rakenteista havaittu ilmavuotoja sisäilmaan. Tehtyjen kuntotutkimusten perusteella on suoritettu ulkoseinärakenteiden liittymien tiivistyskorjauksia ja ilmanvaihdon korjaus- sekä säätötoimenpiteitä. Ilmanvaihtojärjestelmän kuntotutkimus on tehty vuonna 2011, jossa on suositeltu järjestelmälle huolto-, säätö- ja korjaustoimenpiteitä.

Kohteeseen on tehty tiivistyskorjaus vuonna 2011, jonka tarkoituksena on ollut parantaa sisäilman olosuhteita. Tiivistyskorjaus on tehty elastisella massalla ja on tehty ikkuna-, välipohja- ja alapohjaliittymiin. Erillistä tiivistyskorjaussuunnitelmaa ei ole laadittu, ainoastaan periaate on määritetty vuonna 2011 tehdyissä selvityksissä. Materiaaleiksi on määritetty joko Sikaflex LM15 tai Tremco SP525 elastinen saumamassa. Laadunvarmistustoimenpiteinä on tiivistyksen onnistumista tarkasteltu merkkisavuin, tarkastelua ei ole dokumentoitu.

#### 4.11.2 Havainnot kiinteistökierroksella

Vanhalla osalla on silikonitiivistyksiä jalkalistan ja muovimaton välissä. Pilareiden ja sisäkuoren liittymiä on tiivistetty elastisella massalla. Tehdyt tiivistykset ovat yleisesti näkyvissä, eivätkä ne joka paikassa vaikuta tiiviiltä.

Laajennusosalla on silikonitiivistyksiä jalkalistan ja muovimaton välissä. Pilareiden ja sisäkuoren liittymiä on tiivistetty elastisella massalla ja osasta liittymiä puuttuu tiivistys kokonaan. Tehdyt tiivistykset ovat yleisesti näkyvissä ja eivät vaikuta olevan kaikkialla tiiviitä. Alakattojen yläpuolella on tiivistämättömiä liittymiä. Liittymissä on halkeamia. Elastisissa saumoissa on halkeamia ja osa tiivistyksistä on tehty silikonimassalla.

#### 4.12 Yhteenveto tutkimuskohteista

Ennen suoritettua tiivistyskorjausta on jokaisessa kohteessa tehty kuntotutkimus, mutta kaikissa kuntotutkimuksissa ei ole huomioitu ilmanvaihtoa. Tehdyissä kuntotutkimuksissa on valtaosassa käytetty ilmavuotojen selvityksessä apuna merkkiainekoemenetelmää, mutta kaikissa kuntotutkimuksissa, joissa on suositeltu tiivistyskorjausta, ei ole otettu mikrobinäytteitä. Kohteessa E on tehty ryömintätilan kuntotutkimus, jonka yhteydessä on tehty pistokoeluontoisesti merkkiainekokeita ulkoseiniin. Ulkoseinien havaittujen ilmavuotojen korjaamiseksi on suositeltu sisäpuolista tiivistyskorjausta, ottamatta

mikrobinäytteitä. Osaan kohteista ei ole laadittu erillisiä tiivistyskorjaussuunnitelmia. Tiivistyskorjaukset on suoritettu elastisella massalla tai vedeneristysjärjestelmällä tai molemmilla menetelmillä, kohteesta ja kohteen rakenteista riippuen. Osa suoritetuista tiivistyskorjauksista on suoritettu siirtävänä korjauksena ja osa varsinaisena korjauksena. Lähes kaikissa kohteissa on tiivistyskorjauksen onnistumista tarkasteltu merkkiainekokeilla, mutta niitä ei ole kaikissa kohteissa erikseen dokumentoitu. Kohteessa K on tehty laadunvarmistus merkkisavulla. Taulukossa 1 on esitetty yhteenveto tutkimuskohteittain.

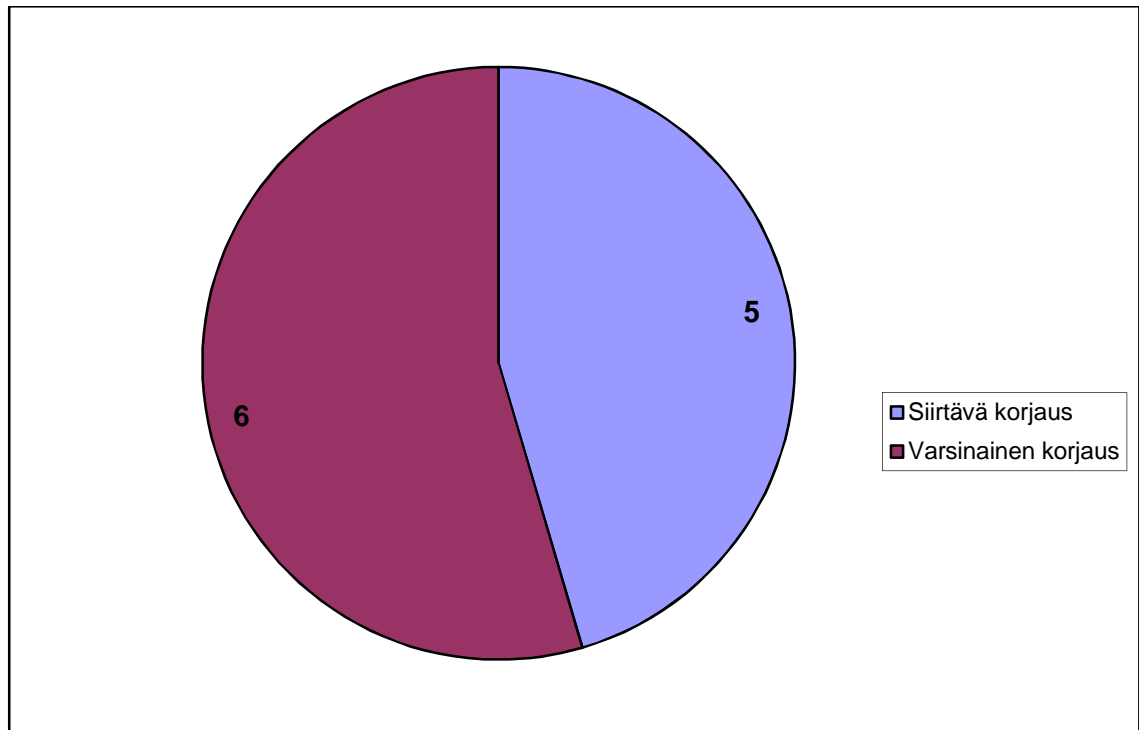
Taulukko 1. Yhteenveto kohteittain.

Toimenpiteet ja kohteet	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Onko suoritettu kuntotutkimus ennen tiivistyskorjausta?	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Onko kuntotutkimuksessa otettu mikrobinäytteitä?	X	X	*	X	**	X	X	X	X	X	X
Onko kuntotutkimuksessa tehty merkkiainekoe?		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Onko kuntotutkimuksessa huomioitu ilmanvaihto?		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Onko laadittu tiivistyssuunnitelmat?			***	X	X	X	X	X	X	X	
Onko tiivistyskorjaus tehty vedeneristeellä?			X	X	X	X	X	X	X	X	
Onko tiivistyskorjaus tehty elastisella massalla?	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Onko kyseessä siirtävä korjaus?	X	X	X							X	X
Onko kyseessä varsinainen korjaus?				X	X	X	X	X	X		
Onko tehty merkkiainekokeet laadunvarmistuksena?	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	

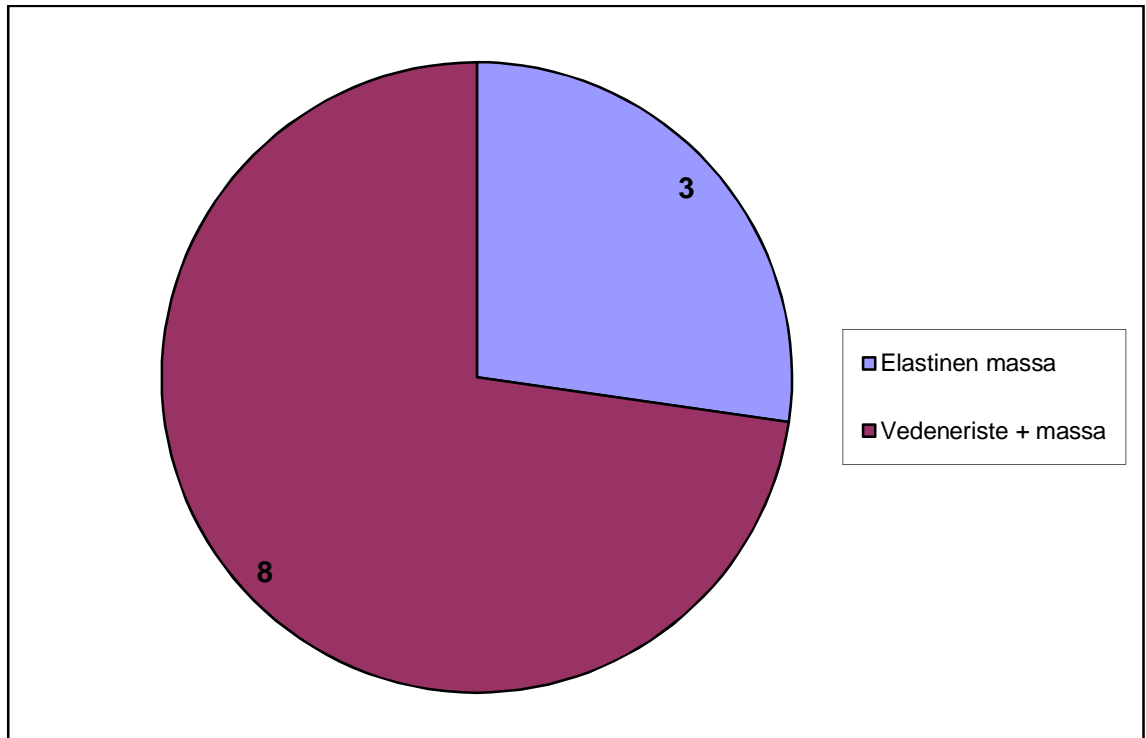
\* Ensimmäisessä kuntotutkimuksessa vuonna 2008 ei otettu näytteitä, vuonna 2011 tehdyssä on otettu.

\*\* Ulkoseinien tiivistyskorjausta on suositeltu ryömintätilan kuntotutkimusten yhteydessä, ulkoseiniin tehtyjen merkkiainekokeiden perusteella. Mikrobinäytteitä ei otettu vuoden 2006 riskikartoituksessa, vuoden 2013 kuntotutkimuksessa on otettu mikrobinäytteet.

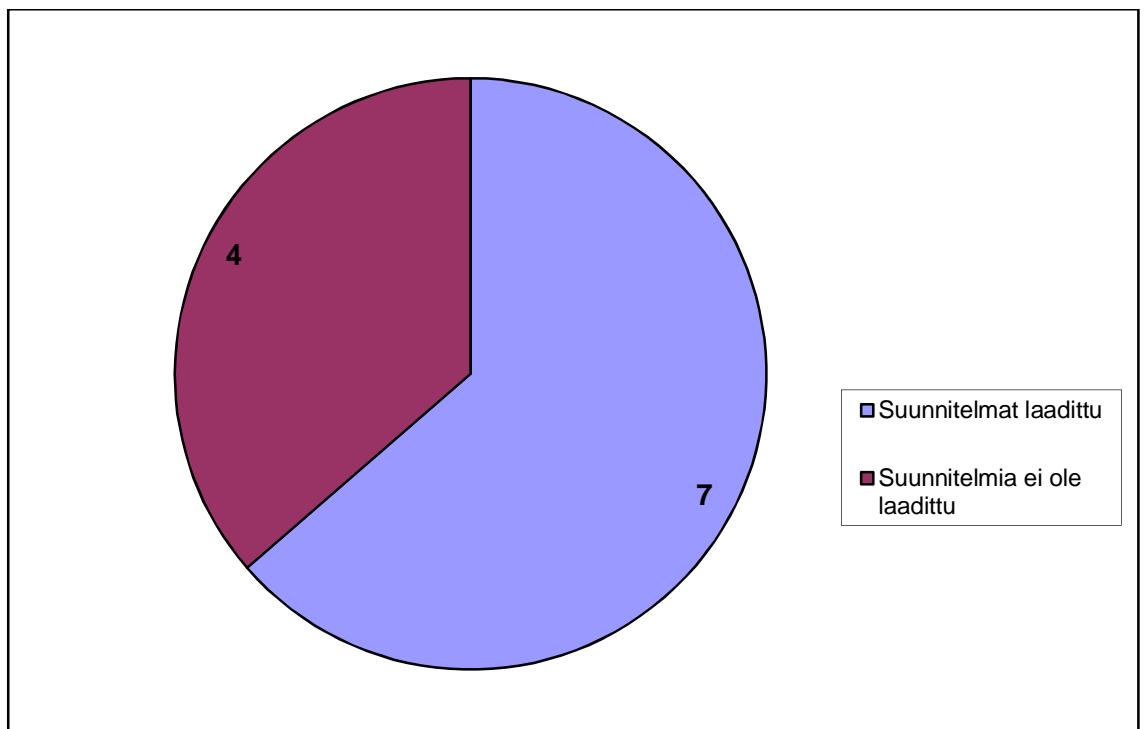
\*\*\* Ensimmäisessä tiivistyskorjauksessa ei ollut suunnitelmia, toisessa oli yhden sivun työseloste.



Kuva 15. Jakauma tiivistyskorjauksista, kuinka moni korjauksista on tehty siirtävänä korjauksena ja kuinka moni varsinaisena korjaustoimenpiteenä.



Kuva 16. Millä menetelmillä tiivistyskorjaukset on tehty.



Kuva 17. Kuinka monen kohteen tiivistyskorjausta varten on laadittu erilliset tiivistyskorjaussuunnitelmat.

## 5 Tutkimusten tulokset

### 5.1 Suoritetut merkkiainekokeet kohteittain

#### 5.1.1 Kohde A

Merkkiainekokeissa havaittiin epätiivelyskohtia tiivistyskorjatuissa ikkunoiden liittymissä, yläpohjan ja seinän liittymässä, seinien ja lattioiden liittymäkohdissa. Kolmessa huonetilassa olivat havaitut vuodot voimakkaita. Neljässä huonetilassa ei havaittu vuotoja lattian ja seinän rajakohdassa.

Vuotokohtaan tehdystä rakenneavauksesta todettiin, ettei elastista massaa ole asennettu yhtenäisesti muovimaton päälle ja muovimatto on osittain irti alustastaan. Toinen rakenneavaus tehtiin kohtaan, josta ei havaittu vuotoa. Rakenneavauksesta havaittiin, että elastinen massa on asennettu muovimaton päälle, joka on kiinni alustassaan ja se ulottuu yhtenäisenä seinäpinnalle. Eteisen tiilimuurauksen ja oven liitoksen pystypeltiiltä takaa ilmeni, ettei liitosta ole tiivistetty ja pellin alta on suora yhteys ulkoseinän eristetilaan.

Kiinteistökierröksellä havaittiin epätiiviltä vaikuttavia tiivistyksiä sekä kokonaan tiivistämättömiä liitoskohtia ja läpivientejä. Merkkiainekokeen perusteella ei tehty tiivistyskorjaus ole täysin onnistunut. Tiivistyskorjaus on toteutettu ilman tiivistyssuunnitelmia. Tiivistystyönaikaisia laadunvarmistustoimenpiteinä toimineita merkkiainekokeita ei ole dokumentoitu, joten niiden suoritukseen ja niiden vaikutuksesta tiivistyskorjauksen onnistumiseen ei voida ottaa kantaa. Tiivistyskorjauksen epäonnistuminen johtuu tiivistyssuunnitelmien puuttumisesta sekä työvirheistä.

Ilmanvaihtojärjestelmä oli merkkiainekokeiden alkaessa pois päältä, tutkimusten aikana se käynnistyi. Kenttätutkimusten perusteella ilmanvaihdon toimivuudessa on vaihtelua eikä se vaikuta täysin toimivalta. Tosin on huomioitava, että merkkiainekokeet suoritettiin kesällä, jolloin päiväkotie ei ollut normaalissa käytössä.





Kuva 18. Epätiivistä tiivistystyötä, alapohjan ja ulkoseinän liittymä.

### 5.1.2 Kohde B

Tiivistyskorjaus on tehty jokaiseen tilaan ja sen onnistumista ja laatua on tutkittu korjausten yhteydessä merkkiainekokein. Kaikissa tutkituissa tiloissa havaittiin merkkiainekokeissa vuotokohtia. Vuotoja havaittiin ulkoseinän ja alapohjan liitoskohdissa, ikkunoiden ja seinien liitoskohdissa sekä ikkunoiden alapuolella oleviin lautoihin liittyen. Lisäksi vuotoja havaittiin ulkoseinissä olevista tasoitekohdista sekä patterikiinnityksistä. Ryömintätilasta yläpuolisiin tiloihin havaittiin vuotoja pilareiden liitoskohdista. Rakeneavauksissa ilmeni, ettei tiivistystä ole asennettu jokaiseen alapohjan ja ulkoseinän liittymään. Tehdyt tiivistykset ovat ulkoseinän ja alapohjan liitosta lukuun ottamatta näkyvissä ja alttiina normaalille käytölle, kuten kiinteistökierröksellä todettiin. Kiinteistökierröksellä havaittiin myös yksittäisiä, käyttäjistä johtuvia epätiivitä tiivistyksiä.

Merkkiainekokeiden perusteella ei tehty tiivistyskorjaus ole täysin onnistunut. Tiivistyskorjaus on suoritettu ilman tiivistyssuunnitelmia. Tiivistyskorjauksen aikana suoritettujen merkkiainekokeiden on toteutettu virheellisesti. Merkkiainekokeissa on käytetty vain ilmaa kevyempää typpi-vetykaasua ja se on laskettu rakenteeseen tutkittavan tilan puolelta lattiapinnan yläpuolelta. Lisäksi osa havaituista vuotokohdista johtuu työvirheistä ja osa käyttäjistä.

Ilmanvaihto on saatujen tietojen mukaan säädetty siten, että paine-ero sisäpuolen ja ulkopuolen välillä on lähes sama, mikä vähentää ilmavirtoja epätiiviyden tiivistysten läpi. Merkkiainekokeiden aikana olivat luokkatilat hieman alipaineisia ulkoilmaan nähden tai paine-ero oli sama.



Kuva 19. Epätiivis tiivistys, ikkunan alapuolinen lauta.

### 5.1.3 Kohde C

Huonetilat ovat merkkiainekokeissa mitatun paine-eron mukaan ylipaineisia ulkoilmaan nähden (0...3 Pa). Merkkiainekokeissa ei havaittu vuotoja tiivistyskorjatuista liittymistä, ennen kuin luotiin koneellinen alipaine tutkittaviin tiloihin. Alipaineistuksen jälkeen havaittiin kaikissa tutkituissa tiloissa ilmavuotoja. Osa vuodoista oli vähäisiä yksittäisiä vuotoja ikkunoiden ja ulkoseinän liittymissä tai ikkunan karmiliitoksissa. Ilmavuotoja havaittiin myös alapohjan ja ulkoseinien liittymissä sekä välipohjan ja ulkoseinien liittymissä. Osa näistä vuodoista oli suuria ja laajoilla alueilla. Rakenneavauksen perusteella osa vuodoista johtuu peitelistöjen kiinnityksistä sekä ikkunoiden karmien ilmavuodoista. Peitelistat on kiinnitetty lattian ja seinän rajakohdassa lyöntitulpilla, jotka rikkovat tiivistykset. Aiemmin tehdyn merkkiainekokeen sisäpuolista kaasunsyöttöreikää ei ole tiivistetty, reiän kautta havaittiin vuoto. Merkkiainekokeiden perusteella ei tiivistyskorjaus ole täysin onnistunut. Tiivistyskorjausten epäonnistuminen johtuu tiivistyssuunnitelmien puuttumisesta sekä virheellisesti laadunvarmistuksena suoritetuista merkkiainekokeista.

Vuonna 2009 tehtyä tiivistyskorjausta on tarkastettu merkkiainekokeilla tiivistystyön yhteydessä kolmeen kertaan. Ensimmäisellä kerralla mitattiin huonetilan paine-ero rakenteen yli, joka oli ylipaineinen ulkoilmaan nähden. Tiloja ei kuitenkaan alipaineistettu merkkiainekokeiden ajaksi. Laadunvarmistuksena tehdyissä merkkiainekokeissa havaittiin kuitenkin vuotoja joita korjattiin. Viimeisellä kerralla ei merkkiainekokeessa havaittu vuotoja. Tehdyissä merkkiainekokeissa ei välttämättä havaittu kaikkia vuotoja, koska huonetiloja ei alipaineistettu merkkiainekokeiden ajaksi ja ne tehtiin vain typpi-vetykaasulla. Alkuvuonna 2011 tehtyjen paine-erojen seurantamittausten mukaan tilat ovat ilmanvaihtokoneiden ollessa käynnissä päiväsaikaan ylipaineisia ja ilta- ja yöaikaan ilmanvaihtokoneiden ollessa pois päältä alipaineisia. Tilan ollessa alipaineinen ja tiivistysten ollessa epätiivitä pääsee eristetilasta sisäilmaan mikrobipitoista ilmaa, joka heikentää sisäilman laatua. Alkuvuoden 2012 tiivistyskorjauksia varten on laadittu kevyt työselostus, muttei mahdollisesta laadunvarmistuksesta ole dokumentaatiota.



Kuva 20. Alapohjan ja ulkoseinän tiivistetty liitos, jonka listan kiinnitys on rikkonut.

#### 5.1.4 Kohde D

Tiivistyskorjausten yhteydessä keväällä 2013 tehdyissä merkkiainekokeissa oli luotu koneellisesti alipaine jokaiseen luokkahuoneeseen (10 Pa). Merkkiainekokeessa käytettiin ainoastaan ilmaa kevyempää kaasua ja kaasu laskettiin ulkoseinärakenteeseen tutkitta-

van tilan puolelta lattiapinnan yläpuolelta. Ilmaa kevyempi kaasu pyrkii luonnostaan nousemaan ylöspäin ja merkkiainekokeessa havaittiinkin vuotokohtia mm. ikkunoihin ja väliseiniin liittyen, alapohjaan liittyen ei havaittu vuotokohtia.

Tätä tutkimusten varten tehdyssä merkkiainekokeessa haluttiin nimenomaan tutkia alapohjan ja ulkoseinän liittymää, josta ei ole löytynyt vuotoja käytössä olleiden merkkiainekoeraporttien perusteella. Merkkiainekokeet tehtiin viiteen luokkahuoneeseen, joista yksi oli toiminut tiivistyskorjauksen mallikorjaushuoneena, kahteen muuhun luokkaan oli tehty merkkiainekoe keväällä 2013.

Tämän tutkimuksen yhteydessä tehdyissä merkkiainekokeissa havaittiin ilmapuotoja jokaisessa tutkitussa luokkahuoneessa. Kolmessa huoneessa havaittiin vuotoja ulkoseinän ja alapohjan liitoksessa. Pisimmillään vuotokohta oli yhden metrin levyinen. Lisäksi vuotoja havaittiin kiinnikkeissä (silmämääräisesti havaittava kolo), ikkunaliittymissä ja väliseinissä ja väliseinien läpivienneissä. Etenkin mallihuoneen viereisessä luokassa olivat havaitut vuodot laajoja ja voimakkaita. Mallihuoneessa ja toisessa luokassa, johon oli tehty merkkiainekoe tiivistyskorjausten yhteydessä, olivat havaitut vuodot hieman vähäisempiä. Kahdessa luokassa, joihin ei lähtötietojen mukaan ollut tehty merkkiainekokeita, olivat havaitut vuodot pienempiä ja vähäisempiä, eikä niissä huoneissa havaittu vuotoja ulkoseinän ja lattian liitoksessa. Tehty tiivistyskorjaus ei ole onnistunut johtuen työvirheistä sekä laadunvarmistuksesta. Rakennuksen runko ja liittymäkohdat asettavat omat haasteet tiivistyssuunnittelulle sekä tiivistystyölle. Väliseinät ulottuvat ulkoseinärakenteiden ulkopinnan ulkopuolelle.

Aikaisemmin tehdyt merkkiainekokeet on suoritettu puutteellisesti vain ilmaa kevyemmällä kaasulla laskemalla kaasu ulkoseinärakenteeseen tutkittavan tilan puolelta lattiapinnan yläpuolelta. Laadunvarmistussuunnitelmassa on määritetty jälkitarkastuksina kahden vuoden välein tarkastettavaksi tiivistystöiden pitkäaikaiskestävyys merkkiainekokeilla niissä huoneissa, joissa on tehty tiivistyskorjaus Ardex 8+9 -vedeneristeellä, merkkiainekokeiden suoritusmenetelmään ei ole otettu laadunvarmistusmenetelmässä kantaa.



Kuva 21. Ikkunalaudan kiinnikkeen juuressa oleva kolo, josta ilmeni vuoto.

#### 5.1.5 Kohde E

Tätä tutkimusta varten suoritettulla kiinteistökierröksellä havaittiin, ettei kesällä 2013 tehdyssä kuntotutkimuksessa suositeltuja tiivistyskorjauksia sekä muita korjaustoimenpiteitä ole suoritettu. Vuoden 2013 kuntotutkimuksessa todettiin merkkiainekokeissa epätiivelyskohtia tiivistyskorjattujen ikkunoiden ympärillä sekä alapohjan ja ulkoseinän liittymissä. Merkkiainekokeen yhteydessä oli mitattu hetkellinen paine-ero, jonka mukaan huonetila oli hieman alipaineinen. Kaasu oli laskettu ulkopuolelta rakenteeseen.

Tässä tutkimuksessa ei kohteeseen suoritettu merkkiainekokeita, koska vuoden 2013 kuntotutkimuksessa suositeltuja tiivistyskorjauksia ei ole suoritettu.



Kuva 22. Kiinteistökerroksella havaittu epätiivis tiivistys.

#### 5.1.6 Kohde F

Merkkiainekokeet tehtiin kahdeksaan huonetilaan ja jokaisessa huonetilassa havaittiin ilmavuotoja. Ilmavuotoja havaittiin ikkunoiden ja niiden liittymien lisäksi alapohjan ja ulkoseinien liittymissä, välipohjan ja ulkoseinien liittymissä, pilareiden liittymissä, väliseinien ja ulkoseinän liittymissä, väliseinän ja alapohjan liittymissä, aiemmin tehdyn merkkiainekokeen kaasunsyöttöreikien tiivistyksissä, patteriputkien läpivienneissä, patterikannakkeissa, sähkökoteloissa ja toisen kerroksen erkkerin ikkunaseinän jokaisessa liittymässä. Rakenneavauskohdista ilmeni, että tiivistyskorjaukset on toteutettu pääosin suunnitelmien mukaisesti. Yhden huonetilan ikkunattoman seinän palkin ja lattian välinen sisäkuori on jätetty tiivistämättä.

Alkuvuonna 2009 tehty tiivistyskorjaus ei ole onnistunut tai sen käyttöikä on huomattavasti heikentynyt viimeisen kahden vuoden aikana. Tiivistyskorjauksen epäonnistuminen johtuu laadunvarmistuksen puutteesta sekä siitä johtuvista työvirheistä. Tiivistyskorjaussuunnitelmissa on mainittu merkkiainekokeiden suorittamisesta tiivistystyön aikana, mutta merkkiainekokeen suoritukseen ei ole otettu kantaa. Suunnitelmissa ei ole määritetty, tuleeko merkkiainekokeet tehdä ilmaa kevyemmällä vai painavammalla kaasulla. Suunnitelmissa on määritetty, että merkkiainekokeet tulee tehdä ennen pintamateriaa-

lien asennusta, mutta ei ole määritetty, että merkkiainekoe tulee tehdä vielä pintamateriaalien asennuksen jälkeen. Tiivistyskorjausten aikana on suoritettu kolmeen kertaan merkkiainekokeet ja ne on dokumentoitu valvontamuistioihin hyvin lyhyesti. Muistioista ei ilmene käytettyä kaasua, kaasunilmaisinta, mahdollista koneellista alipaineistamista eikä kummalta puolelta rakennetta kaasu laskettiin rakenteeseen. Ilmavuotoja havaittiin lähinnä ikkunoihin liittyen ja tiivistysten tiiveys parani työn edetessä.

Keväällä 2012, kolme vuotta tiivistyskorjausten jälkeen tehdyssä merkkiainekokeessa ei ole pääasiassa havaittu kuin ikkunoihin liittyviä ilmavuotokohtia. Merkkiainekokeessa on kaasu laskettu ulkoseinärakenteeseen tutkittavan tilan puolelta yhdestä kohdasta ilmaa kevyemmällä kaasulla lattian yläpinnan yläpuolelta. Tätä tutkimusta varten tehdyssä merkkiainekokeessa laskettiin samanaikaisesti ilmaa kevyempää ja raskaampaa kaasua monesta eri syöttökohdasta ulkoseinärakenteeseen tutkittavan tilan ulkopuolelta. Merkkiainekokeissa havaittiin runsaasti eri vuotokohtia samoissa huoneissa, joihin on vuonna 2012 tehty merkkiainekoe. Vuonna 2012 tehty merkkiainekoe ei ole onnistunut tai tiivistyskorjauksen käyttöikä on heikentynyt huomattavasti.

Ilmanvaihtoon liittyvistä korjaustoimenpiteistä ei ole dokumentointia. Tätä tutkimusta varten tehdyn merkkiainekokeen mukaan ovat huonetilat hieman ylipaineisia ulkoilmaan nähden. Merkkiainekokeiden ajaksi luotiin tutkittaviin tiloihin koneellinen alipaine.



Kuva 23. Rakenneavauksen perusteella on ikkunaan liittyvä tiivistys tehty tiivistyskorjaussuunnitelmien mukaisesti.

### 5.1.7 Kohde G

Alapohjan ja ulkoseinien sekä välipohjien ja ulkoseinien tiivistyksiä ei ole kaikkialla tehty tiivistyssuunnitelmien mukaisesti. Niiltä osin, missä on alaslaskettu katto, on tiivistystyö päätetty alaslaskuun. Merkkiainekokeissa havaittiin ilmavuotoja alaslaskun yläpuolelta tiivistämättömistä liittymistä. Alapohjien ja ulkoseinien tiivistyksissä ei ole kaikkialla käytetty Ardex 8+9 -vedeneristettä, eikä tiivistyksiä ole tehty ehjinä väliseinien läpi, mikä edellyttäisi väliseinien osittaista purkua. Osassa liitoskohdista havaittiin vuotoja, lähinnä niiltä osin, missä ei ole tiivistystä toteutettu vedeneristysmenetelmällä. Välipohjien alapuoliset osat sekä yläpohjan liitokset on tehty suunnitelmien mukaisesti, ja ne ovat yleisesti tiiviitä, pois lukien kolme huonetilaa. Välipohjiin liittyen kiinteistökiirroksella havaitut halkeamat ovat vain pinnassa ja ne eivät ulotu tiivistyksen läpi. Ardex-tarranauhalla ja elastisella massalla tehdyt muut tavanomaisista liitoksista ja rakenteista poikkeavien liittymien tiivistykset oli tehty suunnitelmien mukaisesti. Merkkiainekokeiden perusteella tarranauha itsessään estää vuodot, mutta sen liitos-, jatkos- ja rajakohdat eivät. Tutkimusten perusteella edellä mainitut kohdat vuotavat etenkin, jos on liittymiä, joihin tulee kolmesta suunnasta tarranauha. Ilmavuotoja havaittiin myös useasta pistorasiasta sekä liikuntasalissa sähkökotelosta.

Havaitut vuotokohdat johtuvat pääosin siitä, ettei tiivistystyötä ole tehty suunnitelmien mukaisesti. Tosin tiivistyssuunnitelmista puuttuvat sähköläpiviennit ulkoseinistä sekä sähkökotelot. Laadunvarmistuksena suoritettujen merkkiainekokeiden on suoritettu kahtena eri kertana ja virheellisesti vain ilmaa kevyemmällä typpi-vetykaasulla. Jälkimmäisessä merkkiainekoeraportissa ilmenee, että on sovittu niiden suorituksesta jatkossakin. Dokumentaatiota / tietoa ei löydy mahdollisesti jatkossa suoritetuista merkkiainekokeista. Merkkiainekoeraportissa ei ilmene mahdollisesti mitattua paine-eroa, eikä onko kaasua laskettu rakenteeseen sisä- vai ulkopuolelta. Lähtötietoina olevista työmaa-aikaisista valokuvista ilmenee, että kaasua on laskettu tutkittavan tilan puolelta rakenteeseen. Havaitut vuodot ovat paikallisia ja osa todettiin vasta yli puolen tunnin viiveen jälkeen. Ilmanvaihtojärjestelmän toimivuudesta ei ole dokumentoitua tietoa.





Kuva 24. Alapohjan ja ulkoseinän vuotava liittymä. Tiivistystä ei ole tehty suunnitelmien mukaisesti, Ardex 8+9 -vedeneriste puuttuu.

#### 5.1.8 Kohde H

Tiivistyskorjaus on tehty yhteen huoneeseen, merkkiainekoe suoritettiin kyseiseen huoneeseen. Ilmavuotoja havaittiin ikkunoiden ympärillä, välipohjan ja ulkoseinän liitoksessa sekä yläpohjan ja ulkoseinän liitoksessa. Havaitut vuodot johtuvat työvirheistä ja tiivistyssuunnitelmien puutteellisuudesta. Tiivistyssuunnitelmat käsittävät ainoastaan ikkunaliittymät, välipohjan ja ulkoseinän sekä ulkoseinän ja yläpohjan tiivistystä ei ole suunnitelmissa esitetty. Ilmavuodot ovat osittain samoja kuin laadunvarmistuksena tehdyssä merkkiainekokeessa tiivistystyön aikana, jotka suoritettiin ilmaa kevyemmällä typpi-vetykaasulla. Nyt käytettiin ilmaa raskaampaa kaasua, ja se laskettiin rakenteeseen ulkopuolelta. Uusina ilmavuotoina verrattuna aikaisempaan merkkiainekokeeseen havaittiin ikkunoiden ympärillä olevat ilmavuodot sekä ulkoseinän ja välipohjan vuodot. Rakenneausten perusteella ikkunoiden ympärillä havaitut uudet ilmavuodot johtuvat pintamateriaalien asennuksista. Ikkunoiden peitelistat ovat symmetrisiä, eikä niiden toista takareunaa ole viistetty, mikä on halkaissut tiivistysnauhan peitelistan asennuksen yhteydessä. Jalkalistat on kiinnitetty lyöntitulpin, jotka rikkovat tiivistykset. Tehty tiivistystyö on kuitenkin saanut liittymät pääosin tiiviiksi, lukuun ottamatta mainittuja vuotoja.

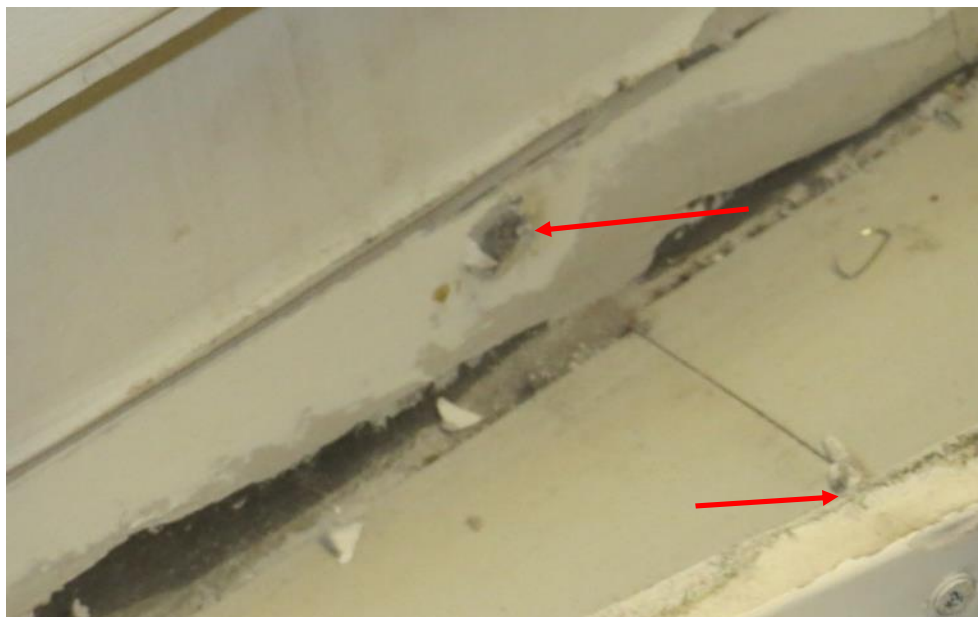


Kuva 25. Peitelistan rikkoma tiivistysnauha.

#### 5.1.9 Kohde I

Merkkiainekokeiden yhteydessä tehtyjen rakenneavausten perusteella on tiivistystyö tehty pääosin tiivistyssuunnitelmien mukaisesti. Ala- / välipohjien ja ulkoseinien liittymät on tiivistetty vedeneristeellä ja vahvistusnauhalla. Ikkunoiden liittymät ulkoseinään ja ikkunoiden välit on tiivistetty butyyliisaumanauhalla / -teipillä. Jalkalistojen kiinnitys on toteutettu lyöntitulpilla, jotka rikkovat tehdyn tiivistyskorjauksen. Tiivistyssuunnitelmissa on jalkalistojen kiinnitys esitetty tehtäväksi liimakiinnityksellä.

Merkkiainekokeiden perusteella ei tiivistyskorjaus ole onnistunut. Tiivistyskorjaus on osittain epäonnistunut työvirheiden vuoksi, sen epäonnistumiseen on voinut myös vaikuttaa laadunvarmistuksena tehdyt merkkiainekokeet. Merkkiainekokeita ei ole dokumentoitu, joten niiden suoritukseen ja niiden vaikutukseen tiivistyskorjauksen onnistumiseen ei voida ottaa kantaa. Nyt tehdyissä merkkiainekokeissa olivat huonetilat alipaineisia ulkoilmaan nähden, noin -6...-2 Pa. Kaikissa tutkituissa huonetiloissa havaittiin merkittäviä ilmapuotoja, jotka vaikuttavat sisäilman laatuun. Vuotokohtia havaittiin mm. tiivistyskorjaustuissa ikkunaliittymissä, alapohjan ja ulkoseinien liittymissä sekä välipohjan ja ulkoseinien liittymissä.



Kuva 26. Jalkalistan lyöntitulppakiinnitys rikkoo tehdyn tiivistyskorjauksen.

#### 5.1.10 Kohde J

Tiivistyskorjausten aikana on kohteeseen suoritettu merkkiainekokeita, joiden tulosten perusteella on tilaaja määrittänyt jokaiseen huoneeseen tehtäväksi merkkiainekokeet. Merkkiainekokeissa on käytetty ilmaa kevyempää kaasua ja se on laskettu rakenteisiin tutkittavan tilan puolelta. Merkkiainekokeissa on todettu tiivistysten olevan hyvällä tasolla ja on havaittu pistemäisiä vuotoja sekä yksittäisiä suurempia vuotoja, jotka on määritetty korjattavaksi. Lisäksi tutkimuksissa on havaittu, että tiivistyskorjausten jälkeen rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän tasapainottamista ja säätöä ei ole tehty suosituksista huolimatta. Noin kaksi vuotta korjausten jälkeen on tilaaja määrittänyt 14 huoneeseen tehtäväksi merkkiainekokeet käyttäjien oireiluista johtuen. Havaitut vuotokohdat vastasivat lähes täysin edellisen merkkiainekokeen tuloksia. Aikaisemmin havaittuja vuotokohtia ei ole tiivistetty.

Tätä tutkimusta varten suoritetuissa merkkiainekokeissa havaittiin kaikissa tutkituissa huonetiloissa ilmavuotoja. Ilmavuotoja havaittiin mm. sähkökourujen ympärillä, ulkoseinän ja välipohjan liittymässä sekä ikkunan liittymissä. Havaitut vuodot olivat pääosin samoissa liittymissä kuin vuodot, joita oli havaittu aiemmin tehdyissä merkkiainekokeissa. Lisäksi havaittiin vuotoja vanhoista sisäpuolisista kaasunsyöttöreistä. Rakenneavausten perusteella on tiivistystyö tehty suunnitelmien mukaisesti, tosin yhdessä kohdassa havaittiin tiivistyksen olevan irti alustastaan. Tätä tutkimusta tehdessä ei ollut käytössä

kaikkien suoritettujen merkkiainekokeiden liitteitä, joista ilmeni kaikkien huoneilojen vuotokohdat. Vertailua aiemmin tehtyjen ja tätä tutkimusta varten tehtyjen merkkiainekokeiden välisestä vuotokohdista ei voida sen vuoksi tehdä. Tiivistyskorjaus ei ole täysin onnistunut, aikaisemmin havaittuja vuotokohtia ei ole tiivistetty.



Kuva 27. Tiivistys on irti alustastaan.

#### 5.1.11 Kohde K

Tehty tiivistyskorjaus ei ole onnistunut, se on toteutettu ilman erillisiä tiivistyssuunnitelmia. Tiivistystyön onnistumista on tarkasteltu merkkisavulla, joita ei ole dokumentoitu. Tätä tutkimusta varten tehdyissä merkkiainekokeissa ilmeni vanhalla osalla vuotokohtia mm. ikkunaliittymissä, pilareiden ja ulkoseinän liitoksissa, alapohjan ja ulkoseinän liitoksissa sekä väliseinä- ja ulkoseinärakenteiden liitoksissa. Laajennusosalla esiintyi vuotokohtia yleisesti ikkunaliittymissä sekä alapohjan ja ulkoseinän liittymissä. Kaikkia tiivistettäviä liittymiä ei ole tiivistetty, kuten kiinteistökierröksellä havaittiin. Osa tiivistyksistä on tehty silikonimassalla. Vaikuttaa siltä, ettei tiivistyskorjauksen suorittaja ole täysin ymmärtänyt syytä miksi tiivistystyö tehdään.

## 6 Yhteenveto

Tutkimuskohteiden valinnan jälkeen perehdyttiin kohteiden lähtötietoihin, kuten tehtyihin kuntotutkimuksiin ja selvityksiin, alkuperäisiin piirustuksiin, tiivistyskorjaussuunnitelmiin sekä työmaan laadunvarmennuksena tehtyihin merkkiainekoeraportteihin. Osassa kohteista haastateltiin tiivistystyön tehnyttä urakoitsijaa. Lisäksi tarkasteltiin, onko rakenteissa havaituilla mikrobilajistoilla ollut siihen vaikutusta, suoritetaanko tiivistyskorjaus vai ei. Kaikkiin kohteisiin on suoritettu kuntotutkimus (selvitys, kartoitus), jonka perusteella on tiivistyskorjauksiin ryhdytty.

- Kohteen C ensimmäisessä, vuonna 2008 tehdyssä kuntotutkimuksessa ei ole otettu mikrobinäytteitä lainkaan ja ensimmäinen tiivistyskorjaus on suoritettu vuonna 2009. Vuonna 2011 tehdyssä kuntotutkimuksessa on otettu mikrobinäytteet, joiden perusteella on suositeltu tiivistyskorjausta, joka on tehty alkuvuonna 2012 kahteen luokkaan.
- Kohteen E vuonna 2006 tehdyssä riskikartoituksessa ei ole otettu lainkaan mikrobinäytteitä. Riskikartoituksessa on suositeltu ryömintätilan läpivientien tiivistämistä. Vuonna 2009 on tehty ryömintätilojen kuntotutkimus ja merkkiainekoe, jossa on tutkittu pistokoeluentoisesti ulkoseinien ilmapuotoja. Kuntotutkimuksessa on suositeltu ryömintätilan tiivistyskorjausta sekä ulkoseinien liittymien tiivistyskorjausta. Tiivistyskorjaus on tehty ryömintätiloihin vuonna 2009. Mikrobinäytteitä on otettu vuonna 2013 tehdyssä kuntotutkimuksessa.
- Kohteissa A ja E ei ole kuntotutkimuksissa huomioitu ilmanvaihtoa.
- Kohteessa K ei ole suoritettu tiivistyskorjausten yhteydessä merkkiainekokeita.
- Kohteessa K on tarkasteltu tiivistyskorjauksen laatua ja onnistumista merkkisavuun.

Lähtötietojen läpikäymisen jälkeen suoritettiin kiinteistökierrokset, joissa tarkasteltiin näkyvillä olevien tiivistysten kuntoa sekä määritettiin tehtävät jatkotutkimukset. Kahdeksan kohteen tiivistyskorjaus on toteutettu vedeneristeellä pintarakenteiden alle sekä elastisella massalla, näissä kohteissa ei kiinteistökierröksellä päästy tarkastamaan tiivistyksiä. Kohteissa A, B ja K on tiivistystyö tehty elastisella massalla liittymiin, jotka ovat pääosin näkyvissä.

- Kohteessa A havaittiin silmämääräisesti epätiiviiitä tiivistyksiä.

- Kohteen B tiivistykset vaikuttivat silmämääräisesti arvioituna tiiviiltä, pois lukien yksittäisiä käyttäjien vaurioittamia tiivistyksiä.
- Kohteen K tiivistykset eivät vaikuta kaikkialla silmämääräisesti tiiviiltä.

## 6.1 Tulosten tarkastelu

Tehtyjen merkkiainekokeiden perusteella on kaikkien kohteiden tiivistyskorjaus epäonnistunut. Kohteeseen E ei tehty merkkiainekokeita, koska suositeltuja tiivistyksiä ei ole tehty. Yhdeksän kohteen tiivistyskorjausten epäonnistuminen johtui työvirheistä. Osa työvirheistä johtui siitä, ettei tiivistyskorjaussuunnitelmia ole laadittu tai että suunnitelmissa oli merkittäviä puutteita. Myös laadunvarmistuskokeissa epäonnistuminen heijastuu työvirheisiin, koska on luultu, että tehty tiivistystyö on riittävän hyvällä tasolla.

Tiivistyskorjaukset ovat epäonnistuneet pääosin laadunvarmistuksena virheellisesti tehtyjen merkkiainekokeiden vuoksi ja niistä johtuvista työvirheistä sekä yleisesti työvirheistä. Yleisin syy merkkiainekokeiden epäonnistumiseen tiivistyskorjausten yhteydessä on se, että kaasu laskettiin ulkoseinärakenteeseen yhdestä reiästä tutkittavan tilan puolelta. Lisäksi on käytetty vain ilmaa kevyempää typpi-vetykaasua. Laskettaessa ilmaa kevyempää kaasua lattiapinnan yläpuolelta pyrkii se nousemaan ylöspäin, jolloin kaasunsyöttöreian alapuolella olevat liittymät jäävät tutkimatta, ainakin huoneiden reunoilla. Samoin laskemalla kaasu yhdestä kaasunsyöttöreistä läheltä lattiapintaa tai ikkunan alapuolelta ei kaasu kulkeudu esim. ulkoseinän ja välipohjan liittymään, etenkin jos huoneessa on ikkunoita.

Kohteiden A, E ja I tiivistystyönaikaisia merkkiainekokeita ei ole dokumentoitu, joten niiden vaikutukseen tiivistyskorjausten onnistumiseen ei voida suoranaisesti ottaa kantaa. Kohteessa G on käytössä kahden tiivistystyönaikaiset merkkiainekokeet, joissa on maininta, että jatkossa suoritetaan lisää merkkiainekokeita. Dokumentaatiota tai tietoa, onko niitä suoritettu, ei saatu. Kohteen K osalla tehtiin laadunvarmistuksena tiivistystyön tarkastelu merkkisavuilla, eikä niitä ole dokumentoitu. Osa kohteista epäonnistui, koska erillisiä tiivistyssuunnitelmia ei ole laadittu, ja osassa ne olivat puutteellisia.

Kohde J:n tiivistyskorjaukset epäonnistuivat, koska merkkiainekokeissa suositeltuja tiivistysten korjauksia ei ole tehty eikä laadunvarmistuksena tehdyissä merkkiainekokeissa

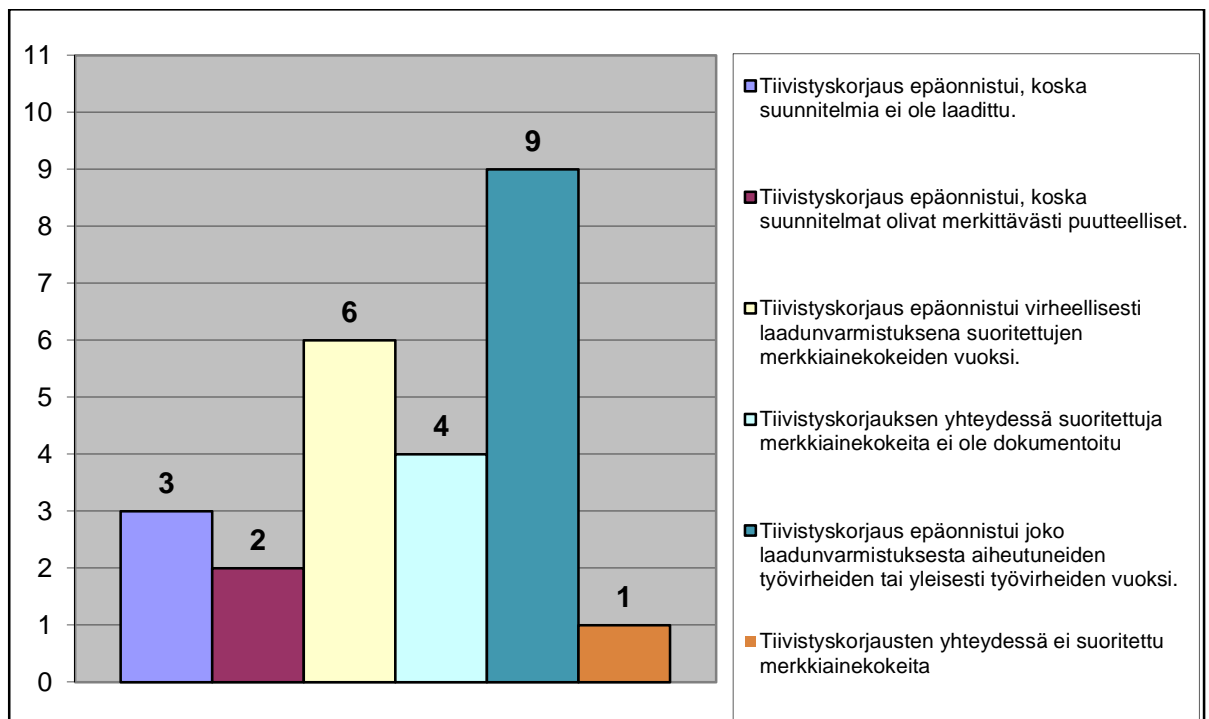
kaasua laskettu ulkopuolelta rakenteeseen. Taulukossa 2 on esitetty yhteenveto tutkimuskohteittain. Kuvassa on 28 on esitetty olennaisimmat syyt, miksi tiivistyskorjaukset ovat epäonnistuneet.

Taulukko 2. Yhteenveto kohteittain.

Epäonnistumisen syy ja kohteet	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Tiivistyskorjaus epäonnistui tai se ei ole täysin onnistunut.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Tiivistyskorjaus epäonnistui joko laadunvarmistuksesta aiheutuneiden tai yleisesti työvirheiden vuoksi.	X	X		X		X	X	X	X	X	X
Tiivistyskorjaus epäonnistui, koska suunnitelmia ei ole laadittu.	X	X									X
Tiivistyskorjaus epäonnistui, koska suunnitelmat ovat merkittävästi puutteelliset.			X			*	*	X	*		
Tiivistyskorjaus epäonnistui virheellisesti laadunvarmistuksena suoritettujen merkkiainekokeiden vuoksi.		X	X	X		X	X	X			
Tiivistyskorjauksen yhteydessä suoritettuja merkkiainekokeita ei ole dokumentoitu.	X				X		**		X		X
Tiivistyskorjausten yhteydessä ei suoritettu merkkiainekokeita.											X

\* Suunnitelmissa ei ole huomioitu sähköläpivientejä tai läpivientejä.

\*\* Vain kaksi ensimmäistä on dokumentoitu.



Kuva 28. Tiivistyskorjausten epäonnistumisen syyt.

Tiivistyssuunnitelmien puuttuminen tai niiden puutteellisuus on lähtökohtaisesti vaikeuttanut korjausten onnistumista. Suurin syy tiivistyskorjausten epäonnistumiseen on tapahtunut laadunvarmistuksessa ja niissä tehdyissä merkkiainekokeissa. Esimerkiksi kohteen C ensimmäisessä merkkiainekokeessa on mitattu huonetilan olevan ylipaineinen, mutta tilaa ei alipaineistettu koneellisesti. Kahdessa seuraavassa merkkiainekokeessa ei paine-eroa rakenteen yli mitattu, eikä huonetiloja alipaineistettu, ja tiivistystyö on todettu tiiviiksi. Korjausten jälkeen tehdyissä seurantamittauksissa on todettu huonetilojen olevan päivällä ylipaineisia ja ilmanvaihtokoneiden ollessa puolella teholla illalla ja viikonloppuisin ovat huonetilat alipaineisia. Laadunvarmistuksena tehdyt merkkiainekokeet on suoritettu päiväsaikaan huonetilojen ollessa ylipaineisia. Kohteissa B, D ja H merkkiainekokeet on suoritettu vain ilmaa kevyemmällä kaasulla. Kohteessa F käytetystä kaasusta ei ole tietoa. Kaasu on laskettu ulkoseinään huonetilan puolelta yhdestä kaasunlaskureiästä, jolloin kaikkia tiivistettyjä liittymiä ei ole saatu tutkituksi.

Kehityshankkeen yhteydessä toteutettuihin käyttäjäkyselyihin vastattiin viidestä kohteesta. Käyttäjäkyselyiden perusteella on korjausten jälkeinen tilanne kahdessa kohteessa parempi, kahdessa kohteessa lähes sama ja yhdessä kohteessa huonompi.

## 6.2 Käytettyjen kaasujen ja kaasunilmaisimien sekä menetelmien erot

Tässä tutkimuksessa käytettiin merkkiainekaasuina typpi-vetyä (5,5 % H<sub>2</sub> + 94,5 % N<sub>2</sub>) sekä rikkiheksafluoridia (SF<sub>6</sub>). Käytetyt kaasunilmaisimet ovat Trotec ja Dräger.

Tutkimuksen aikana havaittiin kaasujen ja kaasunilmaisimien välillä eroja. Typpi-vedyllä ja Trotec:lla havaitut vuotokohdat olivat usein kaasunlaskureiän yläpuolella ja vastavasti rikkiheksafluoridilla ja Drägerillä havaitut vuotokohdat olivat kaasunlaskureiän alapuolella. Typpi-vety kulkeutui nopeammin sivusuunnassa esim. jalkalistan tai sähkökotelon sisällä verrattuna rikkiheksafluoridiin.

Trotec-kaasunilmaisimien havaitsee sisäilmasta pienemmän pitoisuuden verrattuna Dräger-kaasunilmaisimeen. Havaittaessa suuren vuodon Trotec-kaasunilmaisimen kestää nollaantua huomattavan kauan. Nollaantumisen keston vuoksi merkkiainekokeiden suoritus hidastuu, etenkin jos tarkoituksena on havaita kaikki pienetkin vuotokohdat. Lisäksi Trotec-kaasunilmaisimien ei tunnista kaasua, jos kaasunilmaisimen kärki työnnetään samansuuruiseen tiiviiseen reikään. Dräger-kaasunilmaisimien voidaan säätää löytämään hyvinkin



pieni vuoto rakenteesta, vaikka sisäilmassa olisikin rikkiheksafluoridia. Dräger-kaasunilmaisoin nollaantuu nopeasti, mikä nopeuttaa merkkiainekokeiden suoritusta. Dräger-kaasunilmaisoin antaa väärän hälytyksen, jos kaasunilmaisimen kärjessä oleva siivilä tukkiintuu esim. pölystä tai jos ilmaisin asennetaan kohtisuoraan kiinni rakenteeseen.

Luotettavimmat tulokset merkkiainekokeissa saatiin laskemalla kaasu rakenteisiin rakenteen ulkopuolelta. Tämän tutkimuksen yhteydessä tehdyissä merkkiainekokeissa tutkittiin samoja tiloja laskemalla kaasu rakenteeseen rakenteen sisäpuolelta ja ulkopuolelta molemmilla kaasuilla. Ulkopuolelta laskettuna havaittiin huomattavasti enemmän vuotokohtia kuin sisältä laskettuna, vaikka kaasua laskettiin yhden reiän kautta. Laskemalla kaasu rakenteisiin ulkokautta ei ole niin suurta merkitystä, ovatko kaikki merkkiainekaasujärjestelmän liitokset täysin tiiviitä. Vuotokohtia havaittiin runsaasti enemmän samasta tilasta, jos kaasua laskettiin ulkokautta useammasta reiästä eri sijainneista (korkeus ja leveys). Lisäksi havaittiin, että luotettavimmat tulokset saadaan, kun kaasua lasketaan rakenteeseen tutkittavan liittymän läheltä. Jos tutkitaan ikkunan yläpuolista tiiveyttä, tulee kaasu laskea rakenteeseen ikkunan yläpuolelta eikä ikkunan alapuolelta. Sama pätee tutkittaessa esim. välipohjan liittymää: kaasu pitää laskea läheltä tutkittavaa liittymää rakenteisiin.

Myös tutkittavien rakenteiden yli vallitsevalla paine-erolla on selkeä vaikutus vuotokohtien havainnointiin. Tässä tutkimuksessa todettiin, ettei kaikkia vuotokohtia havaittu ennen koneellisesti luotua alipainetta rakenteen yli. Tässä tutkimuksessa tehdyissä merkkiainekokeissa havaittiin eniten vuotoja, kun kaasu laskettiin rakenteeseen ulkopuolelta ja käytettiin molempia kaasuja samanaikaisesti paine-eron ollessa noin 10 Pa (huonetila alipaineinen) rakenteen yli. Tutkimuksessa tehdyissä merkkiainekokeissa luotiin koneellisesti maksimissaan 15 Pa paine-ero.

Tämän tutkimuksen aikana suoritettiin runsaasti merkkiainekokeita myös muihin kohteisiin, jotka eivät sisällyneet tähän tutkimukseen. Ryömintätiloja tutkittaessa havaittiin eniten vuotoja, kun laskettiin typpi-vetykaasua useasta eri kohdasta samanaikaisesti ja ylipaineistettiin ryömintätila koneellisesti. Radon-järjestelmän toimivuutta saatiin luotettavimmin tutkittua typpi-vetykaasulla. Välipohjien ilmapuodot havaitaan luotettavimmin laskemalla kaasu tutkittavan tilan ulkopuolelta. Rikkiheksafluoridilla tehtäessä tulee kaasu laskea välipohjan yläpuolelta ja typpi-vedyllä tehtäessä tulee kaasu laskea välipohjan alapuolelta rakenteeseen. Rivipeltikattojen ja tasakattoisten bitumikermikattojen vuotokohtia voidaan paikallistaa merkkiainekaasuilla ylipaineistamalla koneellisesti yläpohja.

Typpi-vedyllä pystytään määrittämään salaojaverkoston olemassaolo, jos salaojakaivot sijaitsevat näkyvillä molemmilla puolilla rakennusta.

## 7 Johtopäätökset

Tiivistyskorjauksen tarkoituksena on katkaista ilmapuodot rakenteista tai rakenteiden yli sisäilmaan. Tiivistyskorjausten onnistuminen edellyttää kohdekohtaisesti oikeanlaista korjaussuunnittelua, työnaikaista valvontaa ja laadunvarmennusta. Ennen tiivistyskorjauksiin ryhtymistä on rakennuksen kunto tutkittava ja selvitettävä, onko tiivistyskorjaus oikea korjausmenetelmä ja missä laajuudessa ja millä menetelmillä se tulee tehdä.

Tutkimuksen tavoitteena oli laatia ohjeet, miten tiivistyskorjausta edeltävät kuntotutkimukset ja merkkiainekokeet olisi suoritettava sekä miten tiivistyskorjaustyömaa- ja vastaanottovaiheen laadunvarmistus on suoritettava, jotta tiivistyskorjaukset onnistuvat tarkoituksensa mukaisesti suunnitellusti. Lisäksi oli tavoitteena saada vastaukset seuraaviin kysymyksiin:

1. Onko merkkiainekokeissa käytettävän kaasun ominaisuuksilla merkitystä merkkiainekokeiden tuloksiin?
2. Onko merkkiainekokeiden tulosten kannalta merkitystä, lasketaanko kaasu rakenteeseen tutkittavan tilan puolelta vai sen ulkopuolelta?
3. Onko tutkittavan tilan painesuhteilla merkitystä merkkiainekokeiden tuloksiin?

Merkkiainekokeiden onnistuminen tiivistyskorjausten yhteydessä edellyttää tutkittavan tilan olevan alipaineinen rakenteen yli,  $-15 \dots -10$  Pa, johon merkkiainekaasua lasketaan. Paine-ero tulee aina mitata ennen merkkiainekokeiden aloittamista ja myös sen aikana. Tarvittaessa tulee luoda alipaine koneellisesti merkkiainekokeiden ajaksi. Tuulen voimakkuus ja suunta vaikuttaa rakennuksen painesuhteisiin, jonka vuoksi merkkiainekokeita ei suositella tehtäväksi tuulen nopeuden ollessa yli 6 m/s. Luotettavimmat tulokset saadaan, kun käytetään samanaikaisesti ilmaa kevyempää ja raskaampaa kaasua kuten typpi-vetyä ( $5,5 \% \text{H}_2 + 94,5 \% \text{N}_2$ ) ja rikkiheksafluoridia ( $\text{SF}_6$ ) ja lasketaan kaasu rakenteisiin monesta eri kohdista tutkittavan rakenteen ulkopuolelta. Ennen tiivistyskorjauksia tehdyissä tutkimuksissa otetuista mikrobinäytetuloksista tarkasteltiin, onko näytteissä havaituilla mikrobilajistoilla ollut vaikutusta jatkotoimenpide-ehdotuksiin. Mikrobilajistoilla ei todettu olevan ollut vaikutusta niihin, suositeltiinko tiivistyskorjausta vai ei. Mikrobin

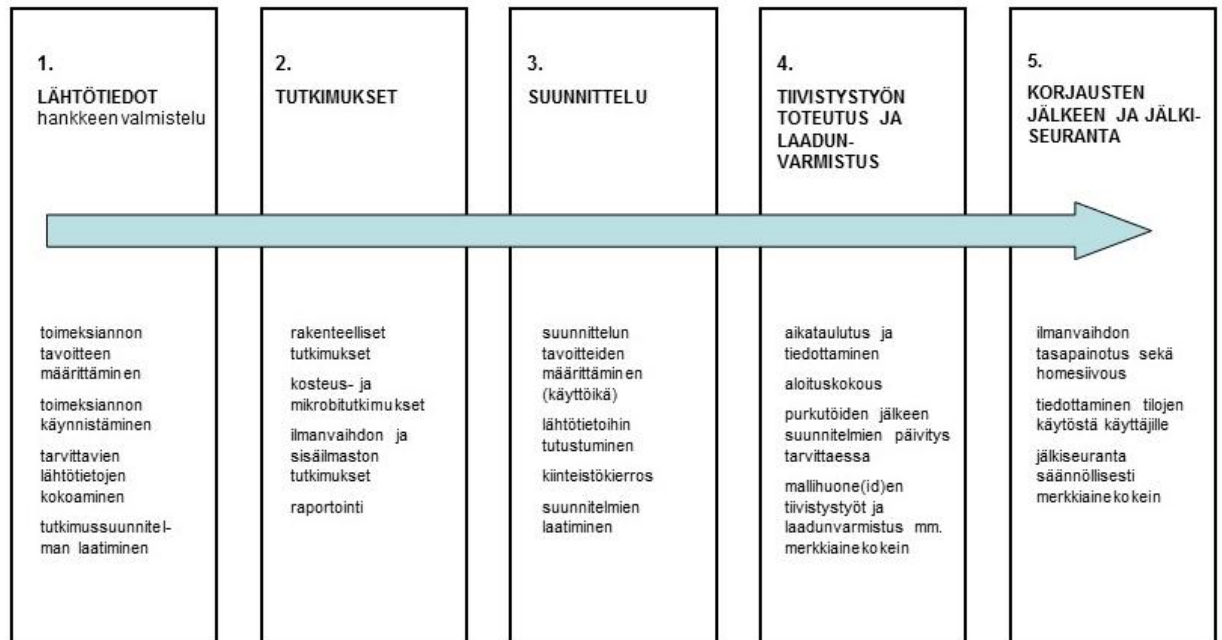
kulkeutumista ja rakenteissa olevien vaurioiden aiheuttamaa riskiä sisäilman laadun heikentymisestä voidaan arvioida rakovirtauslaskelmien avulla. Merkkiainekokeita suorittaessa on huomioitava kaasun ominaisuudet ja niiden vaikutus rakenteisiin ja turvallisuuteen. Tämän tutkimuksen aikana ei ehditty riittävästi tutkimaan kaasujen kemiallisia reaktioita. Vetykaasulla voi olla räjähdysvaara, jos typpi suodattuu kaasusta pois esim. kivivillan tai rappauksessa käytetyn hiekan johdosta. Talvikautena saattaa olla vaikeuksia saada rikkiheksafluoridi kaasumaisena rakenteeseen, johtuen ulkoilman lämpötilasta ja kaasujärjestelmän paineesta.

Tutkimuksen yhteydessä laadittiin merkkiainekokeiden suoritusohje (liitteenä 1) sekä prosessikuvaus tiivistyskorjauksista, jotka toimitetaan tilaajalle. Prosessikuvauksen prosessikaavio on esitetty tiivistetysti kuvassa 29. Ennen kuin ryhdytään tiivistyskorjauksiin, on varmistettava kuntotutkimuksella, että tiivistyskorjaus on oikea korjaustapa. On myös tarkennettava onko kyseessä siirtävä tai varsinainen korjaus. Kuntotutkimus on tehtävä riittävän laajasti ja oikeilla menetelmillä. Sen tarkoituksena on selvittää syyt sisäilman laatuun vaikuttaviin tekijöihin sekä määrittää vaurioiden laajuus ja oikeat korjausmenetelmät. Tiivistyskorjaus ei saa aiheuttaa riskiä rakenteiden vaurioitumiselle.

Tutkimuksessa tehtyjen havaintojen perusteella, voidaan todeta, että kuntotutkimuksessa tulisi huomioida seuraavat asiat:

- Kuntotutkimuksissa on suoritettava materiaalin mikrobianalyysit riittävässä laajuudessa, jotta saadaan selville vaurioiden laajuus.
- Tutkimusten yhteydessä on selvitettävä merkkiainekokein ilmavuodot rakenteista tai rakenteiden yli sisäilmaan huomioiden erilaiset rakennetyypit, liittymät ja läpiviennit.
- Merkkiainekokeet on tehtävä luotettavasti oikeilla menetelmillä ja oikeissa olosuhteissa ja laajuudessa.
- Tutkimuksissa on aina huomioitava ilmanvaihto ja sen toimivuus sekä toimintaajat
  - sisäilman seurantamittaukset (paine-ero, suhteellinen kosteus, lämpötila ja hiilidioksidi)
- Tutkimuksessa on määritettävä, miksi ja mihin liittymiin tiivistyskorjaus tulee tehdä.
- Jos tutkimus tehdään otantana, on selkeästi tuotava esiin ettei se käsitä kuin tietyt osat ja mikä on suositeltavien toimenpiteiden laajuus.

Jotta tiivistyskorjaukset onnistuvat, on lisäksi huomioitava kuntotutkimusten jälkeen tehtävä suunnittelu ja itse korjaustyö laadunvalvontoineen. Tiivistyskorjausten alussa tehdään mallikorjaustyö, joka tarkastetaan ja sen mukaisesti suoritetaan korjaus kokonaisuudessaan. Korjaustöiden jälkeen tehdään säännöllisesti jälkiseuranta.



Kuva 29. Prosessikaavio

- Tiivistyskorjaussuunnitelmien tulee olla laadukkaat sekä kohteeseen sopivat, ja niissä tulee määrittää laadunvarmistus ja jälkiseuranta.
- Tiivistystyön suorittajan tulee olla riittävän kokenut ja ymmärtää, miksi tiivistystyö tehdään (esim. vedeneristysertifikaatin omaava henkilö).
- Tiivistyskorjaustyön valvonta on vähintään yhtä tärkeää kuin tiivistyssuunnitelmien laatu.
- Työmaa-aikana tulee purkutöiden jälkeen tarkastaa, ovatko kaikki rakenteet ja liittymät lähtötietojen ja suunnitelmien mukaiset, suunnitelmat tulee päivittää mallitöiden yhteydessä.
- Laadunvarmistuksena tehtävät merkkiainekokeet tulee suorittaa aina ilmaa kevyemmällä typpi-vety-kaasulla (5,5 % H<sub>2</sub> + 94,5 % N<sub>2</sub>) sekä ilmaa raskaammalla rikkiheksafluoridilla (SF<sub>6</sub>) samanaikaisesti.
- Merkkiainekokeiden suorittajan on tunnettava käyttämiensä kaasunilmaisimien toiminta sekä mahdolliset väärät hälytykset ja poikkeamat.

- Merkkiainekokeiden suorittajan on tunnettava käyttämiensä kaasujen ominaisuudet ja käyttäytyminen.
- Tutkittavan tilan on oltava alipaineinen, -15...-10 Pa.
- Kaasu lasketaan rakenteisiin ulkokautta, 1-3 bar:n paineella noin 5 litraa per kaasunlaskureikä.
- Kaikki tiivistettäväksi määritettävät liittymät tulee tarkastaa.
- Mallihuoneen merkkiainekokeet tulee toistaa niin monta kertaa, että rakenteet ovat tiiviit.
- Tiivistyskorjaussuunnittelijan tulee olla läsnä mallihuoneen merkkiainekokeissa.
- Jokaiseen tiivistyskorjattavaan huoneeseen tehdään merkkiainekokeet laadunvarmistuksena, mallihuoneen tavoin.
- Merkkiainekokeet tulee suorittaa myös pintarakenteiden asennuksen jälkeen.
- Tiivistyskorjausten jälkeen tulee tasapainottaa ilmanvaihto sekä suorittaa home-siivous.
- Käyttäjiä tulee informoida tehdyistä tiivistyksistä ja tilojen käytöstä niiden osalta.
- Tiivistysten kuntoa tulee seurata säännöllisesti merkkiainekokein.

Kohteisiin tehdyissä merkkiainekokeissa todettiin jokaisessa kohteessa ilmavuotoja, eikä niiden perusteella ole yhdenkään kohteen tiivistyskorjaus täysin onnistunut. On kuitenkin huomioitava, että jokaisessa kohteessa on tilanne parempi nyt kuin ennen tiivistyskorjausta. Samaa todettiin viiden kohteen käyttäjäkyselystä. Toki on vastaajissa edelleen myös herkemmin oireilevia henkilöitä, joiden mielestä sisäilman laatu ei ole lainkaan parantunut.

Tässä tutkimuksessa ei otettu kantaa tiivistyskorjauksissa käytettyjen materiaalien käyttöikään ja niiden vaikutukseen tämän hetkiseen tiiveyteen. Tutkimuksen aikana tehtyjen yksittäisten rakenneavausten yhteydessä todettiin vuotokohdissa työvirheitä sekä pintamateriaalien asennuksen rikkomia tiivistyksiä. Niillä kohdin missä ei havaittu vuotoja oli tiivistystyö tehty pääosin suunnitelmien mukaisesti. Sen perusteella voidaan olettaa materiaalien olevan edelleen tiiviitä ja pystytään arvioimaan tiivistysmateriaalien käyttöikää.

Tässä tutkimuksessa selvitettiin, miten tiivistyskorjausta edeltävät kuntotutkimukset on suoritettava ja miten tiivistyskorjaustyömaa- ja vastaanottovaiheen laadunvarmistus on suoritettava. Samaan aikaan tehtävän diplomityön tarkoituksena on laatia tiivistyssuunnitteluohje sekä käsitellä tiivistyskorjausmateriaalien ja -menetelmien ominaisuuksia ja

elinkaarta, jonka vuoksi tässä tutkimuksessa vain sivuttiin niitä. Jatkotutkimuksina tulisi selvittää:

- miten mahdollinen ryömintätila (joko koneellisesti tai painovoimaisesti tuuletettu) tiivistyskorjatun huonetilan alapuolella vaikuttaa huonetilan sisäilmaan
- kuinka suuret raot ja epätiivit tiivistykset vaikuttavat merkittävästi sisäilman laatuun, huomioiden rakenteissa olevat mikrobit ja niiden määrät, esim. rakovirtauslaskelmin sekä näytteidenotoin
- merkkiainekokeen suoritukseen liittyen tulisi tutkia tarkemmin rakenteisiin lasketavan kaasun määrää ja painetta ja niiden vaikutusta tiivistysmateriaaleihin (paine-eron kiinnitystä heikentävä vaikutus, koneellisen alipaineistuksen johdosta)
- fysikaalinen tarkastelu
  - miten eri rakennusmateriaalit vaikuttavat kaasun kulkuun
  - käyttäytyvätkö mikrobien aineenvaihduntatuotteet yleisesti käytettyjen merkkiainekaasujen kanssa yhtäläisesti vai kulkeutuvatko ne joidenkin rakenteiden tai tiivistysmateriaalien läpi
  - tuulitunneleiden vaikutus rakenteisiin ja tiivistyskorjauksiin kaupunkiolosuhteissa
- merkkiainekokeissa käytettävien kaasujen ominaisuuksia ja kemiallisia reaktioita rakenteissa sekä
  - talvikaudella pakkasessa
  - kivivillan ja materiaalien jotka sisältävät hiekkaa typen suodattavaa vaikutusta

## Lähteet

AGA OY. 2013. Rikkiheksafluoridin käyttöturvallisuustiedote. Luettu 24.2.2014

AGA OY. 2013. Kaasuseos H<sub>2</sub> (<=5,5%) + N<sub>2</sub> käyttöturvallisuustiedote. Luettu 24.2.2014

Airaksinen, Miimu. 2003. Moisture and fungal spore transport in outdoor air-ventilated crawl spaces in a cold climate. Väitöskirja. Helsingin yliopisto.

Hakkarainen Hannu. 2012. Esitys, Korjausrakentamisen YAMK, Rakennusfysiikan erikoisopintojakso 8.11.2012.

Helsingin kaupunki, kiinteistövirasto tilakeskus. 2014. Tilastot kiinteistöistä. Sähköposti Pere-Sobott. Julkaisematon.

Hintikka Tuomas. 2013. Tiiveysmittaukset sisäilmastoteknisissä selvitystöissä. Ilmavuotoa osoittavat merkkiainelaitteistot. Insinööri. Metropolia ammattikorkeakoulu.

Ilmastotieto, Ari Jokimäki. 2010. Verkkodokumentti. <http://ilmastotieto.wordpress.com/2010/11/05/lammityspotentiaaaliltaan-voimakkain-kasvihuone-kaasu-on-lisaantynyt-rajusti/>. Luettu 4.6.2014.

Nordkalk, Kuusipuro Kari. Verkkodokumentti. [http://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CB4QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.nordkalk.fi%2Fstreamer.asp%3Fdo%3Dsave%26act%3DDDBDEB94F8C255248BB0C268BEF24F359%26id%3D463&ei=x7tRVI34KejcywPWzIHoCA&usg=AFQjCNGM\\_LfcaYS5tieWaCZcusM1ge1nTg&bvm=bv.78597519,d.bGQ](http://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CB4QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.nordkalk.fi%2Fstreamer.asp%3Fdo%3Dsave%26act%3DDDBDEB94F8C255248BB0C268BEF24F359%26id%3D463&ei=x7tRVI34KejcywPWzIHoCA&usg=AFQjCNGM_LfcaYS5tieWaCZcusM1ge1nTg&bvm=bv.78597519,d.bGQ). Luettu 30.10.2014

Paloniitty Sauli, Kauppinen Timo. 2006. Rakennusten lämpökuvaus. Rakennusteollisuuden Kustannus RTK OY.

Päkkilä Taneli. 2012. Mikrobin kulkeutuminen sisäilmaan paine-eron vaikutuksesta. Diplomityö. Aalto-yliopisto.

Rakennustieto Oy. 1999. RT 80-10712, Rakennuksen kosteus- ja mikrobivauriot.

RIL, 2011. RIL 250-2011 Kosteuden hallinta ja homevaurioiden estäminen. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Reijula Kari, Ahonen Guy, Alenius Harri, Holopainen Rauno, Lappalainen Sanna, Palomäki Eero, Reiman Marjut. 2012. Rakennusten kosteus- ja homeongelmat. Eduskunnan Tarkastusvaliokunnan julkaisu 1/2012.

Salkinoja-Salonen Mirja. 2013. Suomen Kuvalehti, verkkojulkaisu. <http://suomenkuva-lehti.fi/jutut/kotimaa/homemyrkyt-eivat-havia-pesemallakaan-ovatko-homesaneeraukset-hyodyttomia/>. Luettu 28.10.2014.

Sisäilmayhdistys. 2014. Verkkodokumentti. <http://www.sisailmayhdistys.fi/terveelliset-tilat-tietojarjestelma/kosteusvauriot/mikrobit/katsaus-mikrobeihin/>. Luettu 28.10.2014

Sisäilmayhdistys. 2014. Verkkodokumentti. <http://www.sisailmayhdistys.fi/terveelliset-tilat-tietojarjestelma/sisailmasto/perustietoa/>. Luettu 30.10.2014.

Sisäilmayhdistys. 2014. Verkkodokumentti. <http://www.sisailmayhdistys.fi/terveelliset-tilat-tietojarjestelma/ongelmien-tutkiminen/rakennustekniset-tutkimukset/ilmavirtaus-ja-paine-ero/>. Luettu 31.10.2014

Sosiaali- ja terveysministeriö. 2009. Asumisterveysopas. Pori: Ympäristö ja Terveyslehti.

Sosiaali- ja terveysministeriö. 2003. Asumisterveysohje 2003:1. Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät.

Suomen Rakentamismääräyskokoelma, osa D2, Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2012. Ympäristöministeriö, Helsinki.

Suomen Rakentamismääräyskokoelma, osa C3, Rakennusten lämmöneristys. Määräykset ja ohjeet 2010. Ympäristöministeriö, Helsinki.

Suomen Rakentamismääräyskokoelma, osa D3, Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2012. Ympäristöministeriö, Helsinki.

TTL. 1998. Rikkiheksafluoridin kansainvälinen kemikaalikortti <http://kappa.ttl.fi/kemikaalikortit/khtml/nfin0571.htm>. Luettu 24.2.2014

Tähtinen Katja. 2012. Tilaajan ohje sisäilmasto-ongelman selvittämiseen. YAMK opinäytetyö. Hämeen ammattikorkeakoulu HAMK.

US Department of the Interior. 1986. Verkkodokumentti. Evaluating ventilation parameters of three coal mine cobs, Pittsburgh. [http://www.osti.gov/energycitations/product.biblio.jsp?osti\\_id=6917060](http://www.osti.gov/energycitations/product.biblio.jsp?osti_id=6917060). Luettu 13.9.2014.

Valvira. 2014. Verkkodokumentti. [http://www.valvira.fi/ohjaus\\_ja\\_valvonta/terveyden-suojelu/asumisterveys/mikrobit](http://www.valvira.fi/ohjaus_ja_valvonta/terveyden-suojelu/asumisterveys/mikrobit). Luettu 30.9.2014.

Vähämäki Kari, Peltola Susanna, Torikka-Jalkanen Kirsi. 2014. Esitys, Tutkimuskonsulttien koulutus. HKR-Rakennuttaja. 1.10.2014.

Ympäristöministeriö. 1997. Ympäristöopas 28. Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimus. Tampere: Rakennustieto Oy.



## MERKKIAINEKOKEIDEN SUORITUSOHJE

### 1. YLEISTÄ OHJEESTA

Tämä ohje merkkiainekokeiden suorituksesta on laadittu yhteisessä kehityshankkeessa Helsingin kaupungin kiinteistöviraston tilakeskuksen sekä HKR-Rakennuttaja:n sisäilmasiantuntijaryhmän kanssa. Ohjeessa on huomioitu yleisimmin merkkiainekokeissa käytettävät kaasut, niiden ominaisuudet, hyödyt ja haitat.

Tämän ohjeen tarkoituksena on varmistaa, että tehtävissä merkkiainekokeissa saadaan luotettavat ja yleisesti vertailukelpoiset tulokset.

### 2. KAASUJEN EROAVAISUUDET

Yleisimmin merkkiainekokeissa käytettävät kaasut ovat ilmaa kevyempi typpi-vety (5,5 % H<sub>2</sub> + 94,5 % N<sub>2</sub>) sekä ilmaa raskaampi rikkiheksafluoridi (SF<sub>6</sub>). Molemmille kaasuille on eri kaasunilmaisimia, joilla on omat ominaisuutensa. Tutkijan on tunnettava käyttämänsä kaasunilmaisimen toiminta sekä mahdolliset väärät hälytykset ja olosuhteiden vaikutukset.

– Kaasujen eroja

- typpi-vety (5,5 % H<sub>2</sub> + 94,5 % N<sub>2</sub>)
  - 2 kertaa ilmaa kevyempää, pyrkii luonnostaan nousemaan ylöspäin
  - ilma on typpi-vetyä tiheämpää (NTP-tilassa)
  - kulkeutuu pidempiä matkoja rakenteiden tai pintarakenteiden, kuten esim. sähkökoteloiden tai jalkalistojen takana ja pääsee tunkeutumaan ahtaamista paikoista kuin rikkiheksafluoridi
  - syttymisvaara
  - räjähdysvaara, huomioitava typen mahdollinen suodattuminen (rakenteissa olevat materiaalit)
  - vaaraton kaasu ihmiselle jos ei syrjäytä happea kokonaan
- rikkiheksafluoridi (SF<sub>6</sub>)
  - yli 5 kertaa ilmaa painavampaa
  - yli 5 kertaa ilmaa tiheämpää (NTP-tilassa)
  - ylempänä ilmenevistä vuotokohdista kulkeutuva kaasu jää leijumaan ikkunalaudoille ja lattiapinnoille
  - huomioitava käyttökohteet (rikki reagoi kalkin kanssa kemiallisesti)
  - huomioitava, että pakkanen sekä järjestelmän paine voi vaikuttaa kaasun olomuotoihin
  - syttymisvaara
  - vaaraton kaasu ihmiselle jos ei syrjäytä happea kokonaan

### 3. OLOSUHTEET JA MUUT HUOMIOT MERKKIAINEKOKEIDEN SUORITUKSELLE

Tuulen voimakkuus ja puuskat vaikuttavat rakennuksen painesuhteisiin.

- Merkkiainekokeita ei tule suorittaa (tiivistyskorjausten laadunvarmistuksessa), jos tuulen nopeus on yli 6 m/s.
- Huomioitava mahdolliset tuulutunnelit kaupunkiolosuhteissa.

## 4. MERKKIAINEKOKEET TIIVISTYSKORJAUSTEN LAADUNVARMISTUKSENA

### 4.1 Ennen kenttätutkimuksia

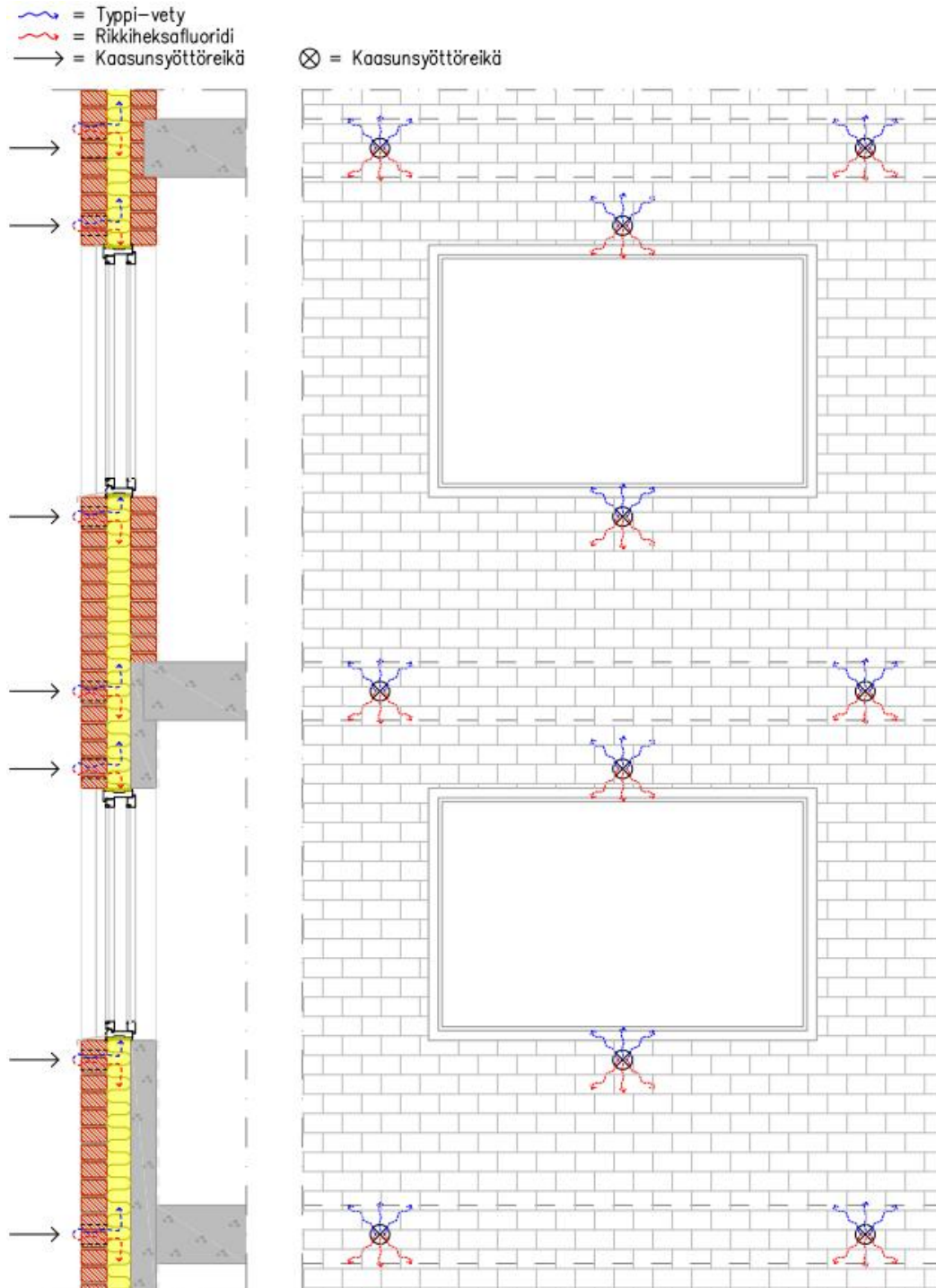
Ennen kenttätutkimuksia laaditaan tutkimussuunnitelma.

- Ennen tutkimussuunnitelman laatimista tulee tarkastaa tiivistyskorjauksen suunnitelmat.
- Ilmanvaihtojärjestelmä tulee olla tiedossa.
- Tiivistyskorjausten kannalta mahdolliset epäselvät asiat tulee selvittää tutkimussuunnitelman laatimisen yhteydessä.
- Tutkittavat huonetilat tulee määrittää viimeistään tutkimussuunnitelmassa.
  - Kaikki tiivistettäväksi suunnitellut liittymät tulee tarkastaa merkkiainekokein.
- Luotettavin lopputulos saavutetaan, kun merkkiainekokeet suoritetaan typpi-vedyllä sekä rikkiheksafluoridilla samanaikaisesti (samoista kaasunlaskurei'istä) laskemalla kaasu rakenteisiin tutkittavan tilan ulkopuolelta.
- Laaditaan tutkimussuunnitelma (jossa huomioidaan tiivistyssuunnitelmat ja ilmanvaihto), jossa määritetään
  - miten saadaan rakenteen yli riittävä alipaine tai ylipaine (ontelo-/ryömintätilat)
  - mihin tiloihin merkkiainekokeet suoritetaan
  - esitetään tiivistetyt liittymät ja rakenteet
    - kaasun laskukohta ja syvyys rakenteeseen
    - rakennetyyppi, varmistetaan kaasun kulku oikeaan paikkaan ja sen pysyminen rakenteissa
  - miten merkkiainekokeet suoritetaan
    - kohteen haasteet huomioiden kuten esim. nostimen käyttö
    - suuret ontelo- ja ryömintätilat, joihin kaasu lasketaan monesta eri kohdasta samanaikaisesti
  - kaikki mahdolliset liittymäkohdat tulee tutkia tutkittavasta tilasta joko yksitellen tai samanaikaisesti
    - samanaikaisesti tutkittaessa tulee käyttää useita kaasunlaskukohtia yhtäaikaisesti (kuva 1).

### 4.2 Toimenpiteet kohteessa ennen merkkiainekokeiden aloittamista

- Mitataan paine-ero tutkittavasta tilasta tutkittavan rakenteen yli. Paine-ero on huomioitava merkkiainekokeiden suorituksessa.
  - Mitataan ja kirjataan ylös sääolosuhteet.
    - Jos tuulen nopeus on yli 6 m/s, tulee merkkiainekokeet siirtää.
- Mikäli ei ole käytettävissä tutkittavan tilan huonekorttia tai valokuvaa, piirretään tutkittavan huonetilan seinäkuva paperille, johon merkitään
  - havaitut vuotokohdat (valokuvaus vuotokohdista)
  - kaasun laskureiät
  - silmämääräisesti havaittavat epätiivit kohdat kuten halkeamat tai tiivistykset välipohjissa, yläpohjissa, vesikatoissa ja pihakansissa havainnot pohjapiirustuksiin.

- Porataan rakenteeseen reiät kaasun laskemista varten kuvan 1 mukaisesti, tutkittavan tilan ulkopuolelta ja asennetaan kaasunlaskuputket tai -pistoolit rakenteeseen ja tiivistetään liitoskohdat kaasutiiviillä tiivisteellä.
  - Tiivistetään mahdolliset kaasun vuotokohdat rakenteesta ulospäin tai muihin tiloihin.
- Asetetaan kaasupullosta ja regulaattorista 1-3 bar:n paine letkuun (kaasua ei saa laskea rakenteisiin liian suurella paineella, myös letkukoko vaikuttaa paineeseen) ja laskeaan noin 5 litraa kaasuja rakenteeseen per kaasunlaskureikä.



Kuva 1. Periaate kaasunlaskureikien sijainnista, kun tutkitaan ikkunaliittymiä sekä ulkoseinän ja alapohjan/välipohjan/yläpohjan liittymiä.

### 4.3 Merkkiainekokeiden suoritus

- Merkkiainekokeen aikana tulee tutkittavan tilan painesuhteen olla tutkittavan rakenteen yli -15...-10 Pa, joka luodaan (tarvittaessa) koneellisesti.
  - Paine-eroa mitataan koko merkkiainekokeen ajan.
- Lasketaan molemmat kaasut rakenteisiin samanaikaisesti.
- Sisäpuolen tutkija aloittaa kartoittamisen järjestelmällisesti kaasun laskun jälkeen. Kartoitus tehdään kaikkiin liittyimiin, liitoskohtiin ja läpivienteihin (patterikiinnikkeet, sähkökotelot, pistorasiat yms. johdotukset ja putkitukset) tutkimussuunnitelman mukaisesti.
  - On huomioitava, etteivät vuodot välttämättä ilmene heti, välillä kestää useita minuutteja, jopa 30 minuuttia, ennen kaasun kulkeutumista sisäpuolelle.
  - Kaasunilmaisinta ei tule asettaa kohtisuoraan kiinni rakenteeseen, jotta minimoidaan väävät havainnot.
  - Mikäli vuotoja ei havaita
    - varmistetaan, että kaasua kulkeutuu rakenteeseen ja se pysyy siellä
    - varmistetaan paine-eron sekä tuuliolosuhteet
    - toistetaan merkkiainekoe.
- Vuotokohdat valokuvataan ja merkitään havainnekarttaan sekä vuotavaan rakenteeseen siten, että tiivistyskorjaus ei vaurioidu.
  - Mikäli merkkiainekokeissa ilmenee vuotoja, jotka edellyttävät lisäsuunnittelua, päivittää tiivistyskorjaussuunnittelija sen mukaisesti tiivistyssuunnitelmia.
  - Mallihuoneen tiiveystarkastuksessa tulee tiivistyskorjaussuunnittelijan olla paikalla joka kerta.
- Merkkiainekokeet tulee uusida niin monta kertaa kunnes rakenne on tiivis.
- Tiivistyskorjausten yhteydessä suoritetaan laadunvarmistustoimenpiteenä merkkiainekokeet jokaiseen huonetilaan.
- Merkkiainekokeet tulee suorittaa myös pintarakenteiden asentamisen jälkeen pistokoeluoontoisesti eri tiloihin mallihuoneen lisäksi.

### 4.4 Merkkiainekokeiden raportointi

- Raportoinnissa on esitettävä yleistiedoissa mikä on ollut tutkimuksen laajuus ja tuotava selkeästi esiin mikäli merkkiainekokeet on suoritettu otantana.
  - Tällöin myös yksilöitävä toimenpidesuositukset tarkasti (ei pelkästään havaittujen vuotojen korjausta)
- Raportin alussa on oltava lyhyt tiivistelmä sekä luettelo tarkasteltavista rakennetyypeistä.
- Merkkiainekokeen tekijän tulee raportissaan ottaa kantaa myös kohteen tiivistyssuunnitelmiin sekä määrittää, tuleeko suunnitelmia päivittää tehtyjen merkkiainekokeiden perusteella.
  - Tiivistyssuunnitelmissa tulee huomioida liittyvien rakenteiden kuten ikkunoiden kunto (mikäli niitä ei uusita) sekä purkutöissä mahdollisesti aiheutuvat vauriot.
  - Tiivistyssuunnitelmien tarkastuksessa tulee huomioida myös viimeistelevät työt, kuten listoitukset, ikkunalaudat ja verhotangot yms., jotka voivat aiheuttaa tehtyihin tiivistyksiin reikiä ja vuotokohtia.

- Viimeistelevät työt sekä pintarakenteiden asennus tulee huomioida merkkiainekoeraportissa.
  - Mikäli merkkiainekokeissa ilmenee vuotoja, jotka edellyttävät lisätiivistyksiä, tulee merkkiainekokeet uusiksi niiden korjaamisen jälkeen, tämä tuodaan esiin tarkastusraportissa.
- Laadunvarmistuksena tehtävien merkkiainekokeiden edellyttämät suunnitelmien muutokset tulee laatia tiivistyssuunnitelmien tekijältä ja ne tulee päivittää alkuperäisiin suunnitelmiin.

## 5. MERKKIAINEKOKKEET KUNTOTUTKIMUSTEN YHTEYDESSÄ

### 5.1 Ennen kenttätutkimuksia

Ennen kenttätutkimuksia on laadittu tutkimussuunnitelma, josta ilmenee yleisesti ottaen kaikki tehtävät tutkimukset, mittaukset ja tilat joihin ne tehdään. Merkkiainekokeet liittyvät tehtäviin tutkimuksiin ja myös ne on määritetty tutkimussuunnitelmassa. Yleensä merkkiainetutkimukset liittyvät rakenteiden ilmavuotojen selvittämiseen. Rakenteissa saattaa olla kosteus- ja mikrobivaurioita, joista mikrobin itiöt ja/tai aineenvaihduntatuotteet voivat kulkeutua sisäilmaan, mikäli rakenteessa on ilmavuotokohtia sisäilmaan ja painesuhteet mahdollistavat ilman kulkeutumisen rakenteesta sisäilmaan päin. Merkkiainekoe voidaan tehdä myös mm. putkikanaaliin tai ontelotiloihin.

- Tutkittavat rakenteet ja huonetilat tulee olla tiedossa ennen merkkiainekokeiden suoritusta tai ne on viimeistään selvitettävä tehtävien merkkiainekokeiden alkaessa.
- Ilmanvaihtojärjestelmä tulee olla tiedossa.
- Merkkiainekokeita voidaan hyödyntää myös seuraavissa kuntotutkimuksissa:
  - vesikaton kuntotutkimus
    - vuotokohdat ja niiden määrä
    - läpiviennit ja liittymät
  - pihakansien kuntotutkimus
    - vuotokohtien paikallistaminen
    - läpiviennit ja liittymät
  - vesivuotoselvitykset
    - erikoistapaukset
  - hormien kuntotutkimus
    - tiiveystarkastelu koko hormin matkalla.
- Määritetään, millä kaasulla merkkiainekoe tehdään ja mihin se on mahdollista laskea.
  - Ontelotiloissa tulee ontelotila hetkellisesti ylipaineistaa, mikäli ilmavuotoja ei havaita.
- Varmistetaan, että kaasut eivät vaurioita rakenteita (kpl 3).

### 5.2 Kenttätutkimukset

- Merkkiainekokeiden suorituksessa tulee aina mitata paine-ero sekä selvittää, onko ilmanvaihto päällä normaalisti.
- Merkkiainekokeet tulee suorittaa ensin rakennuksen ja huonetilan normaaleissa käyttötilanteissa ilmanvaihtojärjestelmän ollessa päällä normaalisti.

- Merkkiainekokeita ei suositella suoritettavan mahdollisesti samaan aikaan tehtävän IV-kuntotutkimuksen aikana.
- Tutkittavan tilan ovet ja ikkunat tulee pitää suljettuna.
- Merkkiainekokeet voidaan suorittaa vain yhdellä kaasulla, silloin suorituksessa on erityisesti huomioitava kaasun ominaisuudet sekä laskukohdat rakenteeseen, jotta jokainen liittymä tulee luotettavasti tarkastetuksi.
- Hetkellinen tutkittavan tilan koneellinen alipaineistus voidaan suorittaa merkkiainekokeiden lopuksi, jos ei ilmavuotoja havaittu tai jos tarkasteltava tila on ylipaineinen tai halutaan määrittää maksimitilanne ilmavuotojen osalta.
  - Alipaineistuksen aiheuttamat vuodot kirjataan siten, että ne voidaan raportointivaiheessa erotella.
  - Painesuhteet sekä sääolot kirjataan ylös sekä huomioidaan tutkimuksissa.
- Ontelotiloissa tulee suorittaa hetkellinen ontelotilan ylipaineistus ja merkkiainekaasuna tulee käyttää ilmaa kevyempää kaasua.

### 5.3 Merkkiainekokeiden raportointi

- Merkkiainekokeiden raportoinnissa käytetään kulloinkin voimassa olevaa tilaajan raportointiohjetta, jossa ilmenee
  - kohteen ja tilaajan yleiset tiedot
  - mitä suunnitelmia ja asiakirjoja on käytettävissä
  - käytettävät merkkiainekoelaitteistot sekä mittarit ja laitteet ja niiden (mahdollinen) kalibrointi
  - merkkiainekokeiden ajankohta sekä sääolosuhteet
  - havaitut ilmavuodot valokuvineen huonetiloittain eriteltyinä ja huonetilan mitattu paine-ero.
    - ilmanvuotokohdat piirretään puhtaaksi (esim. Autocad-ohjelmalla).
    - pystysuuntaiset ilmavuodot merkitään piirrettyihin naamakuviin tai valokuviin.
    - välipohjissa, yläpohjissa, vesikatoissa ja pihakansissa havainnot merkitään pohjapiirustuksiin.
- Mikäli merkkiainekokeet ovat vain yksi osa suurempaa tutkimusta, sisällytetään ne kuntotutkimuksen raporttiin tilaajan kanssa sovitun mukaisesti. (normaali käytäntö)
- Merkkiainekokeiden raportoinnissa tulee erotella ilmavuodot normaaleissa käyttötilanteissa sekä hetkellisen alipaineistuksen aikana, myös paine-erot rakenteen yli.