

Henri Tervo

**HÖYRYNSULUN TIIVISTÄMINEN JA TIIVISTYSTYÖN LAADUN-  
VARMISTUS**

# **HÖYRYNSULUN TIIVISTÄMINEN JA TIIVISTYSTYÖN LAADUN- VARMISTUS**

Henri Tervo

Opinnäytetyö

Kevät 2020

Rakennusalan työnjohdon

tutkinto-ohjelma

Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Rakennusalan työnjohdon tutkinto-ohjelma

---

Tekijä: Henri Tervo  
Opinnäytetyön nimi suomeksi: Höyrynsulun tiivistäminen ja tiivistystyön laadunvarmistus  
Työn ohjaaja: Matti Toppi  
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2020  
Sivumäärä: 30

---

Tässä opinnäytetyössä on perehdytty sisäilmakorjauksessa tehtävään höyrynsulun tiivistämiseen ja tiivistystyön laadunvarmistukseen.

Työssä perehdyttiin saatavilla olevaan sisäilmakorjausmateriaaliin sekä oikeaoppisiin asennusmenetelmiin. Tiivistystyö tehtiin näihin oppeihin perustuvan suunnitelman pohjalta. Kohteena on opetuskäytössä oleva kiinteistö, joka on valmistunut 2010-luvulla. Rakennuksen kaikissa puurakenteisissa ulkoseinissä oli todettu vaurioita ja sisäilmaan vaikuttavia haittatekijöitä. Nämä tutkimukset tukivat päätöstä tiivistyskorjauksen tekemisestä koko rakennukseen.

Tiivistystyö tehtiin rakennuksen puurakenteisten ulkoseinien höyrynsulun rakenneliittymiin. Tiivistysaineina käytettiin Ardex -vedeneristysjärjestelmään kuuluvia tuotteita. Ulkopuolinen valvoja sekä urakoitsijan työnjohtaja valvoivat tiivistystyön onnistumista. Lopullinen laadunvarmistus tehtiin merkkiainekokeilla. Tiivistystyöstä saadut onnistuneet tulokset kertovat työn hyvästä suunnittelusta, laadukkaasta työjärjestä sekä hyvästä valvonnasta.

---

Asiasanat: seinärakenteet, sisäilmanlaatu, rakennusterveys

## **ALKULAUSE**

Haluan kiittää työnantajaani, joka antoi minulle mahdollisuuden toimia työnjohtajana tässä opetuskäytössä olevan rakennuksen tiivistyskorjauksessa sekä samalla loi minulle mahdollisuuden tehdä työstä opinnäytetyöni.

9.3.2020

Henri Tervo

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ALKULAUSE	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	6
2 SISÄILMASTO	7
3 ILMANPITÄVYYYS	8
3.1 Ilmanpitävyyden merkitys ja suunnittelu	8
3.2 Höyrynsulku	9
3.2.1 Höyrynsulkukalvot	9
3.2.2 Höyrynsulku seinärakenteissa	10
3.3 Vaipan vuotokohtat	13
3.3.1 Puurakenteinen yläpohja ja ulkoseinä	14
3.3.2 Puurakenteinen ulkoseinä ja maanvastainen alapohja	15
4 ILMANVAIHDON VAIKUTUS SISÄILMASTOON	17
4.1 Paine-erot	17
4.2 Ilmanvaihdon jaksottaminen	17
5 KORJATTAVA KOHDE	18
5.1 Korjauksen syy	18
5.2 Korjaustyön laajuus	19
5.3 Tiivistettävät rakenneliittymät	19
5.4 Käytettävät tiivistysmenetelmät	20
5.5 Tiivistyskorjauksen ennakkotyöt	20
5.6 Korjattavien tilojen ulkoseinälinjan purku	21
5.7 Ulkoseinän höyrynsulku	21
5.8 Pintarakenteiden rakentaminen	23
6 LAADUNVARMISTUS	24
6.1 Merkkiainekokeet	24
6.2 Tutkimuksen tulokset	26
7 YHTEENVETO	27
LÄHTEET	28

# 1 JOHDANTO

Sisäilmaongelmat ovat yleistyneet viime vuosina merkittävästi. Sisäilmanlaatu vaikuttaa ihmisen terveyteen, viihtyvyyteen ja tuottavuuteen. Sisäilman tulisi olla raikasta ja huomaamatonta. Ihmisen kokemat oireet sisäilmassa ovat hyvin yksilöllisiä. Osa kokee sisäilman olevan raikasta ja hengittäväänsä helposti, normaalisti, kun taas toinen voi tuntea olonsa tukalaksi, oireilla ja jopa sairastua. (Sisäilmantekijät. 2008.)

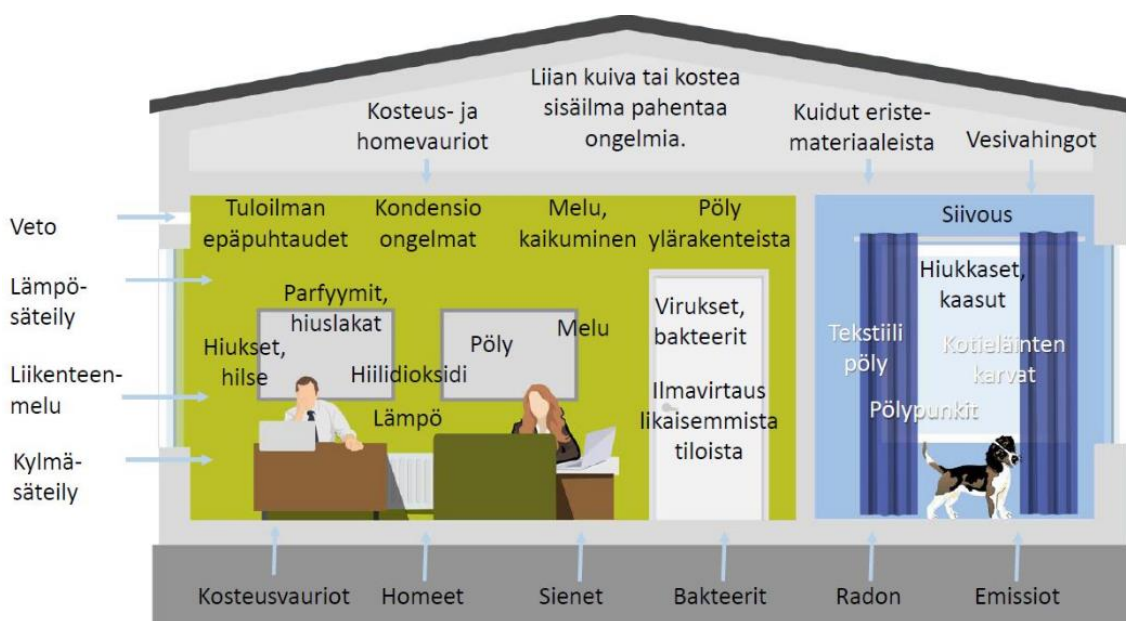
Sisäilmaongelman tutkiminen lähtee liikkeelle tarpeesta. Mikäli havaitaan oireilua, joka viittaa sisäilmaongelmaan, on syytä tehdä kuntotutkimus. Kuntotutkimuksen tavoitteena on selvittää rakennuksen todellinen kunto ja mahdollisten vaurioiden esiintyminen, laajuus, eteneminen ja vaurioaste. Kuntotutkimuksen perusteella tehdään johtopäätökset ja toimenpide-ehdotukset.

Tässä työssä on tarkoitus perehtyä erään pohjoissuomalaisessa kaupungissa sijaitsevan opetuskäytössä olevan kiinteistön sisäilmaongelmiin, tarkemmin sen puurunkoisten ulkoseinien höyrynsulun tiivistämiseen ja tiivistystyön laadunvarmistamiseen.

## 2 SISÄILMASTO

Yksi talonrakentamisen tavoitteista on viihtyisän ja terveellisen sisäilmaston aikaansaaminen. Hyvä sisäilma ei aiheuta rakennuksen tiloissa oleskeleville ihmisille allergia- tai ärsytysoireita. Sisäilman laatua kuvaavia tekijöitä, joita voidaan todentaa mittaamalla, ovat muun muassa ilmavirtaukset, sisäilmankosteus, lämpöolot sekä sisäilmassa olevat epäpuhtaudet. Epäpuhtauksista pahimpia allergian aiheuttajia ovat hengitysilman valkuaispitoiset pölyt, kuten siitepölyt, mikrobian osat, itiöt ja eläinpölyt. Sisäilman epäpuhtauksia voivat aiheuttaa myös rakennustarvikkeista haihtuvat orgaaniset yhdisteet sekä mikrobit, jotka vapautuvat homekasvustosta. Kuvassa 1 on koottu sisäilmaston kuormitustekijöitä. (RT 07-10564. 1995, 8.)

Sisäilma on laadullisesti hyvää, kun tilankäyttäjät ovat tyytyväisiä sisäilman laatuun sekä siihen, että se ei aiheuta terveydellistä haittaa. Tämä on käyttäjän kokemusta korostava määritelmä. Psykologiset tekijät ovat merkittäviä viihtyvyystekijöitä sisäilmasta puhuttaessa. (Terveelliset tilat. 2008.)



KUVA 1. Sisäilmaston kuormitustekijöitä (Jäävirta – Pitkänen 2019)

### **3 ILMANPITÄVYYS**

Rakennuksen vaipan ja tilojen välisten rakenteiden tulisi olla niin ilmapitäviä, että vuotokohtien lävitse tapahtuva ilmavirtaus ei aiheuta haittaa tilojen käyttäjille, rakennuksen energiatehokkuudelle tai rakenteille. Rakenteiden liitosten ja läpivientien suunnitteluun ja rakennustyön huolellisuuteen tulee kiinnittää erityistä huomiota. (D3 (2012).2011,10.)

#### **3.1 Ilmanpitävyyden merkitys ja suunnittelu**

Rakennusvaipan tiiveys määrittää rakennuksen tiiveyden. Rakennusvaipan tiiveys on välittömästi sekä välillisesti oleellisin osa, jolla on vaikutuksia rakennuksen ominaisuuksiin, kuten sisäilman laatuun ja rakennuksen toimivuuteen. Ilmanvuotojen estäminen ja sen vaikutus hallitsemattomaan energiatarpeeseen on yksi tiiveyden suorista vaikutuksista. Rakennuksen tiiveydellä varmistetaan rakennusfysikaalinen toimivuus kosteus- ja lämpötekniikan seikkojen osalta. Ilmanvuotojen mukana kulkeutuu kosteutta, joka synnyttää homeuodostumia. Rakennuksen sisäpuolinen ilmanvaihto aiheuttaa rakennuksen sisälle alipaineen, joka taas synnyttää ulkoa sisälle suuntautuvan ilmavirtauksen. Riittävällä tiiveydellä nämä ilmavirtaukset estetään ja säästytään epäpuhtauksilta sisäilmassa. (Sarja 2010, 386.)

Rakennuksen ilmanpitävyyden varmistamiseksi tarvitaan yksityiskohtainen huolellinen suunnittelu. Sekarakenteiden yhteensovittaminen rakennuksen ilmanpitävyyden kannalta osoittautuu usein ongelmaksi, koska riittäviä ohjeita oikeisiin ratkaisuihin ei ole. Rakennusosasta toiseen jatkuvan rakenteen ilmanpitävyys tulee suunnitella kokonaisuutena. Hyvin suunnitellut rakennedetaljit eivät yksinään johda ilmanpitävään ratkaisuun. Työnjohdolla ja työntekijällä tulee olla tieto siitä, minkä takia pyritään tekemään ilmanpitävä rakennus. Se motivoi heidät tekemään työn laadukkaasti. Työ suoritetaan tällöin riittävällä huolellisuudella. (Aho – Korpi 2009, 10–11.)



## 3.2 Höyrynsulku

Höyrynsulku on rakennekerros, jonka tehtävä on estää sisäilman vesihöyryn haitallinen siirtyminen diffuusiolla vaipparakenteeseen (Aho & Korpi 2009, 5). Höyrynsululla ja ilmansululla on ainekerroksena keskenään yksi merkittävä ja huomattava eroavaisuus. Höyrynsulku on ainekerros, jolla vesihöyrynvastus on riittävän suuri ja joka tämän ansiosta estää sisäilman vesihöyryndiffuusiovirtaukset rakenteisiin. Höyrynsulku rakenteessa toimii samalla myös ilmansulkuna. Vastaavasti ilmansulku on ainekerros, jonka vesihöyrynvastus on niin pieni, että sen ainekerros ei toimi höyrynsulkuna. (Lähdesmäki 2013, 9.)

Höyrynsulun käyttö on aina perusteltua, kun voidaan laskelmin osoittaa diffuusion seurauksena tapahtuva vesihöyryn tiivistyminen vaipparakenteisiin. Höyrynsulun läpiviennit, saumakohtat ja liittymät rakenteisiin on tehtävä huolellisesti, jotta höyrynsulusta saadaan riittävän tiivis. Suomen ilmastossa lämmöneristyksen lämpimän puolen vesihöyrynvastuksen tulisi olla vähintään viisinkertainen verrattuna kylmällä puolella olevan ainekerroksen höyrynvastukseen. Materiaalien kosteuskapasiteetin suuruudella on vaikutus rakenteen rakennusfysikaaliseen toimivuuteen. (Lähdesmäki 2013, 9.)

### 3.2.1 Höyrynsulkukalvot

Erilaiset kalvot, levyt tai rakenne itsessään voivat toimia höyrynsulkuna. Massiivinen betoniseinä toimii höyrynsulkuna, kun taas muurattu harkkoseinä ei ole riittävä höyrynsulku. Siveltävät pinnoitteet voivat toimia myös höyrynsulkuna. (Lähdesmäki 2013, 9.)

Höyrynsulkuina käytettävät rakennuskalvot ja -paperit voidaan käytännössä jakaa kahteen eri ryhmään. Ensimmäiseen ryhmään kuuluvat tuotteet, joiden diffuusiovastuskyky vaihtelee vallitsevan kosteuden mukaan. Tuotteet, joiden diffuusiovastus on riippumaton ympäristön olosuhteista, kuuluvat ryhmään kaksi. (Lähdesmäki 2013, 9.)

Höyrynsulkukalvoina käytetään pääsääntöisesti pehmeää polyteenikalvoa (PEL) joka on väriltään kirkas tai sävytetty (kuva 2). Kalvojen paksuus on 0,20 mm. Vesihöyryt tai valuva vesi eivät pääse kalvosta läpi. Muovikalvohöyrynsulkuna

tulee käyttää vain siihen tarkoitukseen valmistettua tuotetta, sillä vain tällä tavalla toimimalla täyttyvät vaaditut kosteustekniset ominaisuudet ja käyttöikävaatimukset. Kun käytetään tarkoituksen mukaista höyrynsulkukalvoa, on vesihöyrynläpäisevyys riippumaton ympäristön olosuhteista. Kasvatettaessa höyrynsulkukalvon kerrospaksuutta pienenee kalvon vesihöyrynläpäisevyys. (Lähdesmäki 2013, 9.)



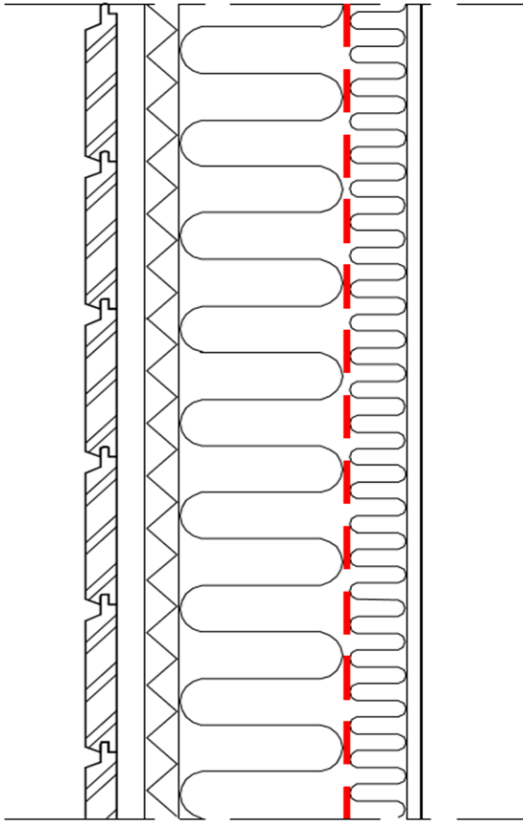
*KUVA 2. Höyrynsulkukalvo 0,2 mm (Höyrynsulkukalvo Rani RaniMoBar 0,2 mm 15x3,0m 30m<sup>2</sup>. 2019)*

### **3.2.2 Höyrynsulku seinärakenteissa**

Asuinrakennuksen rankaseinät ovat pääsääntöisesti puurakenteisia. Höyrynsulkukerros sijoitetaan yleensä lähelle rakenteen sisäpintaa. Höyrynsulkukalvo voidaan sijoittaa suoraan sisäpuolen sisäverhouksen taakse tai vaihtoehtoisesti noin 50 mm:n etäisyydelle sisäverhouksen pinnasta kohti seinärakenteen keskiosaa. (kuva 3.) Näistä kahdesta vaihtoehdosta jälkimmäinen on parempi, sillä tällä tavoin saavutetaan parempi ilmapitävyys. (Aho – Korpi 2009, 12.)

Höyrynsulkukalvo on 50 mm:n lisäkoolauksen takana suojassa eivätkä esimerkiksi seinään lyödyt naulat riko kalvoa. Sisäverhoukseen upotetut sähköasiat ja sähköputkitukset voidaan asentaa lisäkoolauksen sisään eivätkä ne tällöin riko höyrynsulkukalvoa. Mikäli höyrynsulun sisäpuolelle asennetaan eriste, tulee se asentaa vasta, kun suuret kosteusrasituksen aiheuttajat on jo tehty ja suurin osa rakennusaikaisesta kosteudesta on saatu poistumaan rakennuksesta. Suuria

kosteusrasituksen aiheuttajia on esimerkiksi teräsbetonilattian valu. Mikäli lisälämmöneriste asennetaan ennen suurten kosteusrasituksen aiheuttajia, on vaarana, että kosteus kondensoituu höyrynsulun sisäpintaan ja näin ollen turmelee lisälämmöneristeet. Kalvomaisen höyrynsulun upottaminen lämmöneristeiden sisään soveltuukin paremmin paikalla rakennettaviin kohteisiin kuin elementtirakenteisiin kohteisiin. Mikäli käytetään rakennetta, missä höyrynsulkukalvo asennetaan lämmöneristeiden sisään, tulee lämmöneristeiden paksuudesta  $\frac{3}{4}$  sijaita höyrynsulkukalvon ulkopuolella. (Aho – Korpi 2009, 12.)



*KUVA 3. Höyrynsulkukalvo sijoitettuna 50 mm:n lämmöneristeiden taakse (Aho – Korpi 2009, 14)*

Asennettaessa höyrynsulkukalvo suoraan sisäverhouksen taakse tulee varmistua siitä, että mahdolliset sähköasiat ja sähköputkitukset eivät riko höyrynsulkukalvoa. Erityisesti sähköasiat ovat erittäin haastavia ilmanpitävyyden kannalta,

sillä vaikka höyrinsulkukalvon ja sähkörasian liittymäpinta saataisiinkin ilmanpitäväksi, ei itse sähkörasian rakenne ole välttämättä ilmatiivis. (Aho – Korpi 2009, 13.)

Höyrinsulun jatkoskohdat aiheuttavat mahdollisen ilmanvuotokohdan seinärakenteessa. Suoralla seinän osuudella jatkoskohdat saadaan ilmanpitäviksi limitämällä vierekkäiset kalvot vähintään 150 mm ja sijoittamalla limitykset esimerkiksi runkotolpan ja sisäpuolisen pystykoolauksen väliin. Näin ollen limityskohta puristuu kahden puun väliin. Riittävä puristus saavutetaan ruuvikiinnityksellä ja tiheämmällä ruuvivälillä (k300). Naulaamalla suoritettulla kiinnityksellä ei saavuteta riittävää puristusta ja puun kuivuessa liitos löystyy. (Aho – Korpi 2009, 14.)

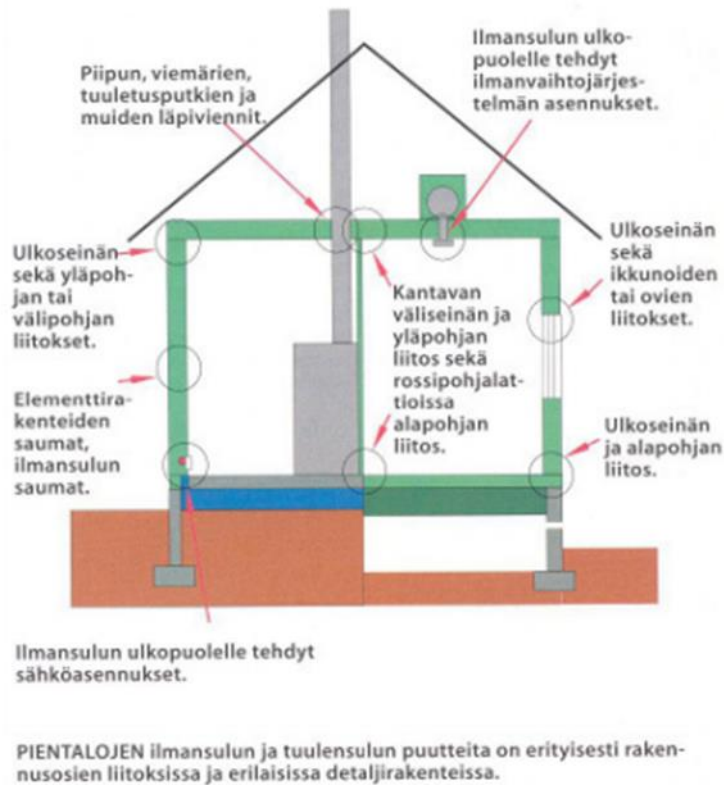
Jatkoskohta voidaan vaihtoehtoisesti myös teipata riittävän pitkäaikaiskestävyyden omaavalla ja tarkoituksenmukaisella teipillä toiseen jatkoskohtaan (kuva 4). Teipatut saumat voidaan tällöin jättää lyhemmälle limitykselle. Paras vaihtoehto varmistamaan riittävä ilmantiheys on sekä teipata limitykset ja puristaa ne kahden puun väliin ruuvikiinnityksin. Nurkissa höyrinsulun yhtenäisyys tulee varmistaa riittävällä jatkosleveydellä sekä puristuksella tai teippauksella tai molemmilla. Limitys tulee aina sijoittaa seinän puolelle ilmanpitävyyden varmistamiseksi. (Aho – Korpi 2009, 14.)



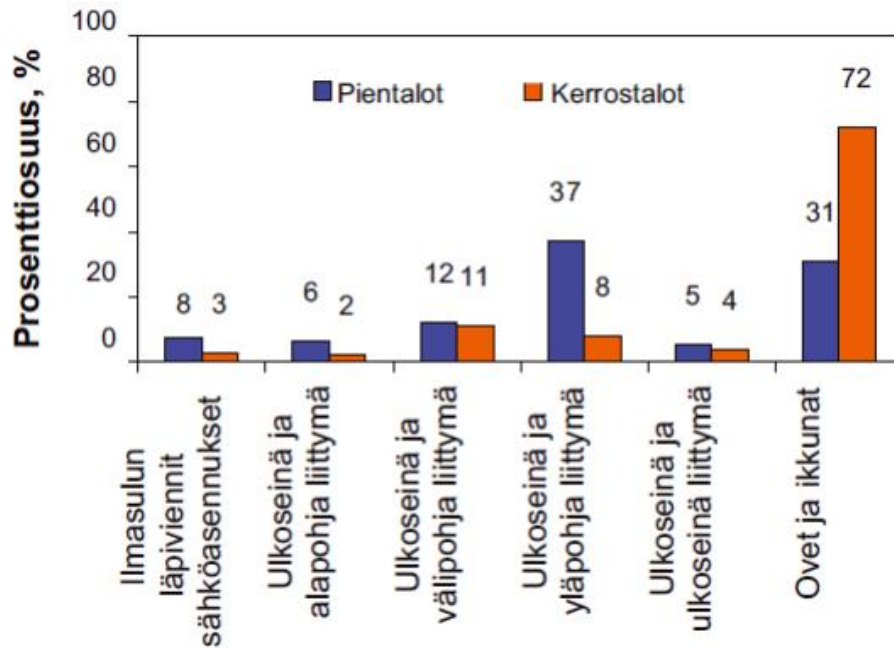
*KUVA 4. Tiivistysteippi Sitko Flex 50 mm x 25 m (Tiivistysteippi Sitko Flex 50mmx25m. 2019)*

### 3.3 Vaipan vuotokohdat

Puurakenteisissa ja kivirakenteisissa rakennuksissa ilmapuotokohdat ovat yleensä samoja, mitkä näkyvät kuvassa 5. Vuotokohdat ovat yleisesti rakenteiden liittymät, läpiviennit sekä ikkuna- ja oviaasennukset. Tampereen teknillisen yliopiston tekemän tutkimuksen mukaan 37 prosenttia ilmapuodoista todettiin tulevan yläpohjan ja ulkoseinän liitoksesta. 31 prosenttia ilmapuodoista paikallistettiin oviin ja ikkunoihin ja niiden liittymistä viereisiin rakenteisiin (kuva 6). Muita vuotokohtia olivat välipohjan sekä ulkoseinärakenteen liitokset, läpiviennit vaipan lävitse sekä alapohjan ja ulkoseinärakenteen liitoksesta. (Purtilo 2011, 14–15.)



KUVA 5. Yleiset ilmapuotokohdat pientaloissa (Purtilo 2011, 15)

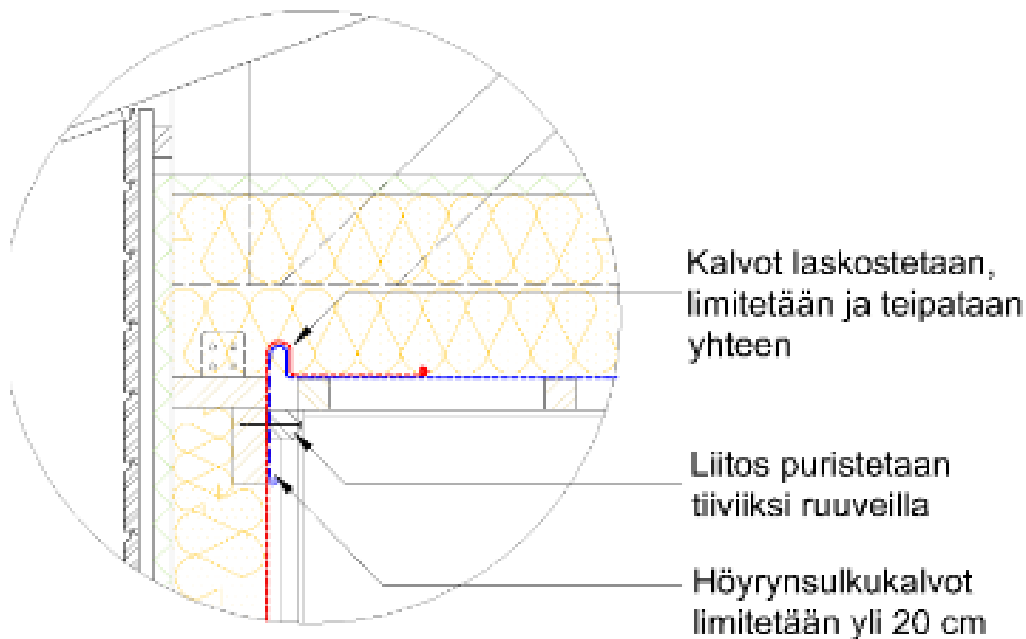


KUVA 6. Ilmavuotokohtien jakauma kerros- ja pientaloissa (Aho – Korpi 2008, 123)

### 3.3.1 Puurakenteinen yläpohja ja ulkoseinä

Puurakenteisen ulkoseinän ja yläpohjan rakenteen ilman - ja höyrynsulun pitävyyteen tulee kiinnittää erityistä huomiota. Näiden kahden rakenteen liitos on yksi suurin riskitekijä höyrynsulun ilmanpitävyydessä. (Aho – Korpi 2009, 41.)

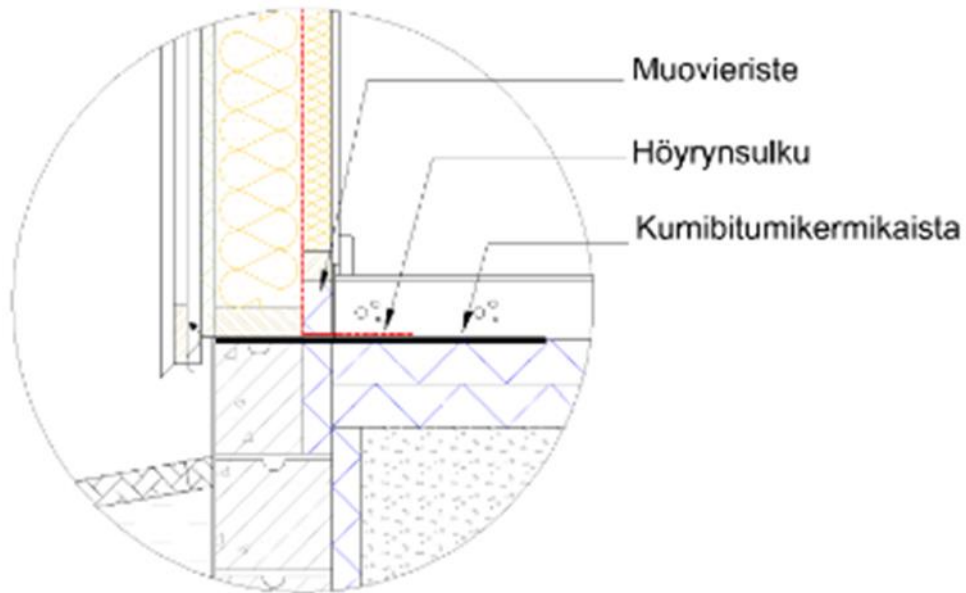
Kuva 7 havainnollistaa yläpohjan ja ulkoseinän höyrynsulun liitoksen. Yläpohjaan asennettava höyrynsulkukalvo tuodaan vähintään ulkoseinärakenteen ylimmän sisäverhouslevyä kannattelevan kiinnitysriman alapuolelle noin 200 mm: ä. Ulkoseinärakenteen ja yläpohjan höyrynsulkukalvo teipataan ja puristetaan tiiviiksi kiinnitysriman ja K 300-ruuvikiinnityksen avulla. Seinärakenteen höyrynsulkukalvo viedään yläpohjaan riittävän pitkälle lämmöneristeen alle. Kalvoa ei tule kierrittää nurkissa turhan kireälle, jotta mahdolliset sähköputket saadaan kulkemaan seinärakenteen asennusväliin yläpohjarakenteen asennusväliin. (Aho – Korpi 2009, 41.)



*KUVA 7. Yläpohjan- ulkoseinän höyrynsulkukalvon nurkkaliitos (Höyrynsulun liitokset - puutalot. 2019)*

### **3.3.2 Puurakenteinen ulkoseinä ja maanvastainen alapohja**

Kuvassa 8 on esitetty ulkoseinän ja maanvastaisen alapohjan höyrynsulun liitoskohta. Seinärakenne tehdään ennen laatan valua. Ulkoseinän höyrynsulkukalvo tuodaan ja taitetaan alajuoksupuun alta tulevan kumibitumikermin päälle. Kalvon yläpuolisten rakenteiden paino tiivistää seinärakenteen ja maanvastaisen alapohjan liitoksen. Seinän höyrynsulkukalvoa vasten asennetaan vähintään valettavan betonilaatan paksuinen muovieristelevykaista. Ulkoseinän höyrynsulun sisäpuolinen koolaus aloitetaan muovieristelevyn yläpuolelta. Ulkoseinässä höyrynsulun sisäpuolelle sijoitettava lisälämmöneriste tulee asentaa vasta, kun rakennusai- kainen kosteus on saatu poistumaan ja rakenteet riittävän kuiviksi. Käytettäessä joustavia kumibitumikermejä ei betonilaatan vähäisestä painumisesta ole haittaa liitoksen ilmanpitävyydelle. (Aho – Korpi 2009, 22.)



*KUVA 8. Maanvastaisen alapohjan ja ulkoseinän höyrynsulkukalvon nurkkaliitos (Höyrynsulun liitokset - puutalot. 2019)*



## **4 ILMANVAIHDON VAIKUTUS SISÄILMASTOON**

Rakennuksen hyvää sisäilmaa ylläpidetään toimivan ilmanvaihtojärjestelmän avulla. Toimivan ilmanvaihtojärjestelmän avulla tuodaan rakennukseen riittävästi raitista ilmaa hengitettäväksi, mutta myös poistetaan sieltä jo käytetty hiilidioksidipitoinen ilma. Ihmisistä ja eläimistä syntyvä epäpuhdas ja kostea ilma poistuu rakennuksesta poistoilman mukana. Kosteutta sisäilmaan muodostuu ihmisten aineenvaihdunnan ja toiminnan, kuten ruoanlaiton, saunomisen, suihkun ja pyykinpesun seurauksena. Lemmikkieläimet ja huonekasvit tuottavat sisäilmaan kosteutta. Liiallisen kosteuden poistaminen on tärkeä seikka, jolla estetään suotuisa kasvualusta homeille. (Ilmanvaihto. 2009.)

### **4.1 Paine-erot**

Ilmanvaihtojärjestelmä on mitoitettava siten, ettei rakenteisiin aiheudu sisä- ja ulospuhallusilmavirtaamien takia liiallista ylipainetta, joka voisi aiheuttaa pitkäaikaista kosteusrasitetta rakenteisiin. Liiallinen alipaine voi aiheuttaa epäpuhtauksien siirtymistä rakenteista sisäilmaan. Täten rakennuksen vaipan ja sisärakenteiden ilmanpitävyys tulee olla mitoitettu oikein. (Kuntien sisäilmaverkosto. 2019. 18.)

### **4.2 Ilmanvaihdon jaksottaminen**

Sisäilma suositus suosittaa ilmanvaihdon toteuttamista jaksottaisena ilmanvaihtona tai jatkuvana osatehona. Jaksottaisella ilmanvaihdolla tarkoitetaan sitä, kun ilmanvaihto käynnistetään ajoissa ennen tilojen käyttöä ja pidetään lisäksi käynnissä 1–2 tuntia tilojen käytön päättymisen jälkeen. Tilojen käytön ulkopuolisena aikana ilmanvaihtoa pyöritetään jatkuvalla osateholla, jolloin ilmanvirtoja piene-netään mitoitusilmavirtoihin nähden. Tämä aiheuttaa alentumaa kanavapaineissa ja ilma ei välttämättä jakaudu tasaisesti. (Sisäilmayhdistyksen Hyvä sisäilma -suositus 1 | 03-2019. 2019, 2.)

## 5 KORJATTAVA KOHDE

Kohteena on opetuskäytössä oleva kiinteistö, joka on valmistunut 2010-luvulla. Rakennus on betonirunkoinen ja alapohjarakenteena on maavarainen alapuolelta eristetty paikalla valettu teräsbetoni-laatta. Yläpohja- ja välipohjarakenteet ovat ontelolaattarakenteiset. Ei-kantavat ulkoseinät ovat puurunkoisia ja niiden eristeenä on puhallus- ja mineraalivilla. Kattomuotona on harja- ja pulpettikatto ja vesikatteena on bitumikermikate. Ilmanvaihto on toteutettu koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihdolla. (Tutkimusraportti. 2017.)

### 5.1 Korjauksen syy

Melko pian rakennuksen käyttöönoton jälkeen oli tiloissa koettu sisäilmaoireilua ja tiloissa työskennelleitä henkilöitä oli jouduttu siirtämään väistötiloihin. Käyttäjien terveysoireilu alkoi noin 3 kuukautta rakennuksen käyttöönoton jälkeen. Useat rakennuksen tiloista oli jouduttu käyttäjien oireilun takia pitämään poissa käytöstä ja osassa oli pyritty välttämään pitkäaikaista oleskelua. Tehdyissä oirekyselyissä oli havaittu voimakkaita viitteitä sisäilmaongelmasta. Rakennuksen tiloihin, rakenteisiin, sisäilmaan sekä ilmanvaihtoon oli tehty rakennuksen valmistuksen jälkeen useita tutkimuksia sekä näytteenottoja, joilla oireilujen syitä on pyritty selvittämään. (Tutkimusraportti. 2017.)

Tehtyjen tutkimusten perusteella asumisterveysasetuksessa esitetyt sisäilmanmittausten raja- ja toimenpidearvot haittatekijöille eivät ylittyneet, mutta käyttäjillä oli havaittu sisäilmaperäiseksi arvoitua oireilua. Yksittäistapauksissa mineraalikulut ylittivät laskeumanäytteessä raja-arvon. Tutkimuksissa oli havaittu poikkeavan korkeita rakennekosteuksia ala- ja yläpohjien betonirakenteissa. Tutkimuksissa oli havaittu myös puutteita ulkoseinä- ja alapohjarakenteiden sekä niiden liittymien ilmatiiveydessä. Puurakenteisen ulkoseinän alaohjauspuun alla oli todettu mikrobivaurioita. (Tutkimusraportti. 2017.)

## 5.2 Korjaustyön laajuus

Aiemmin tehtyjen tutkimusten perusteella oli todettu, että rakennuksen kaikissa puurakenteisissa ulkoseinissä oli vaurioita ja sisäilmaan vaikuttavia haittatekijöitä. Nämä tutkimukset tukivat päätöstä tiivistyskorjauksen tekemisestä koko rakennukseen. Rakennus oli opetuskäytössä koko korjaustyön ajan, joten käyttäjien kanssa tuli tarkoin suunnitella, mitkä osat otettiin ensin työn alle. Käyttäjien toiveita kuunnellen työt aloitettiin rakennuksessa sijaitsevan lisäsiiven toisesta kerroksesta. Opetustyön päätyttyä rakennuksessa aloitettiin työt myös siiven ensimmäisessä kerroksessa. Saatuaamme työt valmiiksi rakennuksen lisäsiivessä, juuri ennen opetustyön alkamista saimme luvan siirtyä rakennuksen muihin tiloihin. Tilat olivat laajuudeltaan huomattavasti pienempiä kuin lisäsiiven tilat, joten pystyimme tekemään tiivistyskorjausta yhtä aikaa opetustyön kanssa.

## 5.3 Tiivistettävät rakenneliittymät

Tiivistettävistä rakenneliittymistä oli laadittu rakennedetaljipiirustukset, joissa oli määritetty kussakin liittymässä käytettävä tiivistämismenetelmä. Rakennesuunnitelmien kokonaisuudesta oli esitetty myös rakennetyypeissä edellytettävät korjaustoimenpiteet sekä pohja- ja leikkauspiirustuksissa rakennetyyppien ja detailjien sijainnit.

Tiivistyskorjauksia kohteessa tehtiin seuraaviin rakenneliittymiin:

- alapohjanbetonilaatan yläpinnan liittymät ulkoseinän höyrynsulkuun
- alapohjan betonilaatan yläpinnan liittymät alapohjan lävistämiin pilareihin ja kantaviin betoniväliseiniin
- väli -ja yläpohjan reunapalkin alapinnan liittymät ulkoseinänhöyrynsulkuun
- välipohjan pintalaatan yläpinnan liittymät ulkoseinän höyrynsulkuun
- ulkoseinän liittymät pilareihin ja kantaviin betoniväliseiniin
- ikkunoiden karmien liittymät ulkoseinään.

## 5.4 Käytettävät tiivistysmenetelmät

Rakenneliittymien tiivistykset tehtiin liimattavia tiivistysnauhoja ja -kaistoja käyttäen. Nauhat liimattiin höyrynsulkumuoviin sekä kiinteään ikkunakarmirakenteseen tuotteen omalla tarralla ja betoniin tiivistys- ja vedeneristysmassalla. Tiivistystuotteiksi valikoitu aiempien hyvien kokemusten perusteella Ardex-tuoteperheen sisäilmakorjausjärjestelmä.

Kohteen tiivistyskorjauksissa käytettiin seuraavia Ardex-tuotteita:

- liimautuva tiivistysnauha Ardex STB 75 ja Ardex STB15
- Ardex-vahvistuskuitukangas
- tiivistys- ja eristysmassa Ardex 8+9
- pohjustusaine Ardex P 51.

## 5.5 Tiivistyskorjauksen ennakkotyöt

Ennen varsinaisen tiivistyskorjauksen aloitusta kohteeseen tehtiin ns. pilottivaihe, jossa kokeiltiin käytännössä suunniteltuja korjaustoimenpiteitä. Pilottikohteeksi valikoitui kaksi luokkatilaa rakennuksen 1. ja 2. kerroksesta.

Työ aloitettiin ympäröivien tilojen suojaamisella. Korjattaviin luokkatiloihin rakennettiin alipaine, jolla pidettiin korjaustyössä syntyvä rakennuspöly poissa opetusikätyössä olevista tiloista. Alipaine muodostettiin alipaineistajilla, jotka oli varustettu HEPA H13 -suodattimilla. Poistuva suodatettu ilma johdettiin ikkuna-aukosta ulkoilmaan. Koneellinen ilmanvaihto suljettiin luokkatiloista ja IV-kanavien pääte-laitteet tulpattiin tiiviiksi. Oviaukkoihin asennettiin tiiviiksi teipaten vetoketjulliset muovisuojaovet. Luokkien valaisimet jätettiin paikalleen, mutta ne suojattiin muovilla huolellisesti. Purkujätteen kuljetusta varten varattiin ja suojattiin riittävästi tilaa rakennuksen käytäviltä. Suojaus toteutettiin suojaseinillä, joissa oli puurimoista tehdyt rungot. Rungot päällystettiin rakennusmuovilla saumat teipaten. Lattioiden suojaus hoidettiin kovalevyillä, joilla estettiin lattioiden likaantuminen ja kuluminen korjaustyön ollessa käynnissä.

## **5.6 Korjattavien tilojen ulkoseinän linjan purku**

Tiivistyskorjauksen yhteydessä tehtiin myös lattian kuivatuksia. Luokkatilojen purku aloitettiin jalkalistojen sekä muovimaton purkamisella. Matto purettiin matonpoistokoneella. Maton poiston jälkeen mattoliima ja lattiatasoite poistettiin hionalla. Hionta tehtiin ennen ulkoseinän lisäkoolauksen purkamista, jotta säästettiin höyrynsulun vahingoittumiselta. Puurakenteisista ulkoseinistä purettiin kipsilevy, lisäkoolaus ja mineraalivilla. Varsinaisen purkutyön jälkeen tila puhdistettiin imuroimalla huolellisesti ja pyyhkimällä kostella liinalla irtopöly pois olemassa olevan höyrynsulun pinnalta. Näin menetelmällä varmistettiin kunnollinen ja pölytön tartuntapinta tulevalle työvaiheelle.

## **5.7 Ulkoseinän höyrynsulku**

Ulkoseinän pintarakenteiden alta löytynyt höyrynsulku oli osittain huonokuntoinen ja vaati osittaista höyrynsulun vaihtoa. Vaihto suoritettiin leikkaamalla rikkoutunut osa pois ja liittämällä se ympäröivään ehjään höyrynsulkuun. Uuden höyrynsulun saumat teipattiin huolellisesti Sitko-tiivistysteipillä niin, että jokaista saumakohtaa peitti kolme rinnakkaista teippikerrosta. Jatkokset pyrittiin mitoittamaan tulevien 48x48-koolauksien kohdalle, jossa niiden ilmanpitävyys pystyttiin varmistamaan puristusliitoksella.

Tiivistystyö alkoi Ardex P 51 -pohjusteen sivelyllä tiivistettävälle pinnalle. Pohjusteen annettiin kuivua valmistajan ohjeiden mukaan riittävä aika. Tiivistys rakenneliittymissä suoritettiin Ardex-tiivistysnauhalla. Nauhassa on valmiina hyvin tarttuva butyylimassa. Betonipinnoille siveltiin Ardex 8+9 -vedeneristemassa ja tiivistenauha painettiin märkään massaan. Seinän höyrynsulkuun tiivistenauha liimattiin nauhan omalla butyylimassalla. Tiivistenauha massattiin kokonaisuudessaan päältä 8+9-vedeneristeellä. (Kuva 9.)



*KUVA 9. Alapohjanbetonilaatan sekä kantavan pilarin rakenneliittymä tiivistettynä ulkoseinän höyrynsulkuun.*

Höyrynsulun tiivistys ikkunoiden karmeihin tehtiin samoin menetelmin kuin alapohjan rakenneliittymissä, mutta tiivistenauhan alle ei levitetty 8+9-vedeneristysmassaa. Nauha massattiin yläpuolelta kokonaisuudessaan vedeneristeellä. Kuvassa 10 on ikkunakarmin sekä höyrynsulkumuovin rakenneliittymän tiivistysnauha ilman tulevaa vedeneristemassausta.



*KUVA 10. Ikkunakarmin ja höyrynsulkumuovin liittymän tiivistys Ardex STB 75 -tiivistysnauhalla.*

### **5.8 Pintarakenteiden rakentaminen**

Pintarakenteet rakennettiin uudelleen samoin rakennekerroksin kuin puretut sillä erotuksella, että puukoolauksen ja höyrynsulun väliin asennettiin polyeteeni-nauha estämään höyrynsulun rikkoutumista. Rakennekerrokset olivat höyrynsulku, polyeteenin nauha, puukoolaus 48 x 48 mm, mineraalivilla 50 mm, EK-kipsilevy 13 mm, tasoite sekä pohja- ja pintamaalikerrokset. Puukoolauksien höyrynsulkua vasten tulevien pintojen nurkat viistettiin. Puukoolaukset kiinnitettiin ruuvi-kiinnikkeillä, jotta varmistettiin höyrynsulun liitoksien puristus. Lämpöpattereita ja sähkökouruja varten levytyksen taakse asennettiin laudat varmistamaan niiden riittävä ja kunnollinen kiinnitys.

## 6 LAADUNVARMISTUS

Kustakin tiivistettävästä rakenneliittymästä tehtiin työn alussa mallityöt tarkasteltavaksi. Mallitöiden tarkastuksen suorittivat yhteisesti rakennustöiden valvoja, rakennesuunnittelija sekä toteutuksesta vastuussa oleva työnjohtaja. Mallityön katselmoinnissa todettiin työsuoritteiden suunnitelmanmukaisuus ja tekninen onnistuminen visuaalisesti. Mallityövaiheessa pystyttiin suunnitelmissa määritetyjä tiivistysmenetelmiä vielä tarkentamaan. Visuaalisessa tarkastuksessa hyväksyttiin mallityösuoritteiden toteutusmenetelmä ja tällä laatu tasolla tiivistettiin kaksi luokkatilaa. Näissä tiloissa suoritettiin laadunvarmistustoimenpiteenä ennen pintarakenteiden asentamista ilmatiiviyn tarkastaminen merkkiainekokeella. Merkkiainekokeen avulla arvioitiin, oliko käytetyt menetelmät ja työn laatu taso riittävä ja voidaanko niitä soveltaen edetä korjaushankkeessa.

Mikäli merkkiainekokeet olisivat antaneet aiheutta, voitaisiin tässä vaiheessa vielä tarkentaa tiivistysmenetelmiä moitteettoman lopputuloksen saavuttamiseksi. Korjaushankkeen edetessä toteutettujen korjausten laatu tasoa pyrittiin aina arvioimaan vertaamalla niitä hyväksytyjen mallisuoritteiden laatu tasoon. Kaikki tiivistyskorjaukset tarkasteltiin työn edetessä hyväksi havaitulla tarkastusmenettelyllä, ennen kuin rakenteet jäivät pintarakenteiden alle piiloon. Rakennustyön edetessä tehtiin pistokoeluonteisesti myös merkkiainekokeita tehtyjen korjausten laadunvarmistustoimenpiteinä.

### 6.1 Merkkiainekokeet

Merkkiainekokeen tarkoituksena oli tarkistaa ulkoseinien höyrynsulun tiivistystöiden onnistuminen. Merkkiainetutkimuksen kohteena oli opettajanhuoneita, käytävätilaa ja pukutiloja. Kenttätutkimukset kohteessa suoritti ulkopuolisen konsulttitoimiston projekti-insinööri, jolla oli aiempaa kokemusta kyseisestä tutkimusmenetelmästä.

Tiloista tarkasteltiin ulkoseinärakenteiden liittymiä ylä- ja alapohjaan sekä ikkunoihin. Tutkittaviin tiloihin muodostettiin -12...-8 Pascalin alipaine ulkoilmaan nähden. Heittoa paine-eroihin aiheutti ulkona vallitseva tuulinen sää. Merkkiaineena käytettiin Formier 5 % -seoskaasua, jossa vedyn osuus oli 5 % ja typen 95



%. Havainnottava aine oli vety. Mittalaitteena käytettiin Trotec T 3000 -monitoimimittalaitetta ja Trotec TS 810 SDI -merkkikaasuanturia (kuva 11.)

Merkkiaine syötettiin ulkoseinärakenteeseen ulkokautta poistamalla julkisivuverhoiluna toiminutta keraamista laattaa (kuva 12). Tuulensuojalevynä toimineeseen kipsilevyyn porattiin pieni reikä, jota kautta merkkiaineseos johdettiin seinärakenteeseen.



*KUVA 11. Tiiveyden mittaus Trotec-mittalaitteistolla.*



*KUVA 12. Formier-seoskaasun johtaminen seinärakenteeseen.*

## **6.2 Tutkimuksen tulokset**

Tutkimuksesta selvisi yksiselitteisesti vuotokohtat. Vuotoalueet olivat pääosin höyrynsulunteippauksen heikosti kiinni olleet kohdat. Ardex-vedeneristysmassalla ja butyyliinauhalla tehdyt tiivistykset olivat pääasiallisesti onnistuneet, eikä vedeneristysmassauksessa ilmennyt vuotokohtia juurikaan.

## 7 YHTEENVETO

Sisäilmaongelmat ovat näinä päivinä erittäin paljon esillä. Varsinkin julkisten tilojen sisäilmaongelmat ovat enemmänkin sääntö kuin poikkeus. Se, mistä sisäilmaongelmat johtuvat, on monen tekijän summa. Syy voi olla rakennusurakoitsijan huolimattomuudessa, rakennuttajan asettamassa aikataulussa, puutteellisessa valvonnassa tai suunnittelussa. Höyrynsulun epätiivelyskohdat ovat yksi suurimmista sisäilmaongelmien aiheuttajista.

Tässä työssä perehdyin yhteen sisäilmakorjauksen merkittävimmistä työvaiheista: tiivistystyön suorittamiseen ja sen onnistumisen varmistamiseen. Korjattavassa kohteessa oli todettu puurakenteisissa ulkoseinissä vaurioita ja sisäilmaan vaikuttavia haittatekijöitä. Sisäilmatutkimukset tukivat päätöstä tiivistyskorjauksen tekemisestä koko rakennukseen.

Tiivistyskorjaukset aloitettiin tilojen suojauksilla sekä puurunkoisten ulkoseinä-rakenteiden purkamisilla. Ulkoseinä-rakenteita purettiin höyrynsulkuun asti. Purkutöiden päätyttyä tilat puhdistettiin huolellisesti, jotta tuleva tiivistystyö onnistuisi. Höyrynsuluntiivistystyö tehtiin tiivistämällä rakenneliittymät Ardex 8+9 -vedeneristysmassalla sekä butyyli nauhoilla. Tiivistystyötä valvoi ulkopuolinen valvoja sekä urakoitsijan työnjohto. Tiivistystyö tehtiin huolellisesti ja sen onnistuminen varmistettiin merkkiainekokein. Hyväksytyjen merkkiainekokeiden jälkeen oli lupa rakentaa puretut rakenteet takaisin.

Tiivistystyövaihe on erittäin tärkeä seikka tilan käyttäjien näkökulmasta katsottuna. Tekemällämme korjaustyöllä pyrittiin parantamaan tilojen käyttäjien viihtyvyyttä ja vaikuttamaan terveydellisiin seikkoihin. Nyt tehty korjaustyö voidaan mielestäni laskea onnistuneeksi, sillä epävirallisten haastattelujen mukaan tilan käyttäjät ovat olleet tyytyväisiä korjattuihin tiloihin eikä sisäilmaoireita ole ilmennyt. Tähän opinnäytetyöhön oli saatavissa riittävästi lähdemateriaalia, mikä kertoo siitä, että aihetta on tutkittu ja sitä pidetään myös yleisesti tärkeänä.

## LÄHTEET

Aho, Hanna. – Korpi, Minna 2008. Asuinrakennuksista ilmanpitäviä – uudesta ohjekirjasta apua suunnitteluun ja toteutukseen. Betoni vol. 78, nro 2. S. 123. Saatavissa <https://betoni.com/betonilehti/22008/#>. Hakupäivä 26.2.2020.

Aho, Hanna. – Korpi, Minna. (toim.) 2009. Ilmanpitävien rakenteiden ja liitosten toteutus asuinrakennuksissa. Tampere.

D3 (2012) 2011 Rakennusten energiatehokkuus 2012. Määräykset ja ohjeet 2012. D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö. Saatavissa: [https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto\\_ ja\\_rakentaminen/Lain-saadanto\\_ ja\\_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Energiatehokkuus](https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ ja_rakentaminen/Lain-saadanto_ ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Energiatehokkuus). Hakupäivä 30.9.2019.

Höyrynsulkukalvo Rani RaniMoBar 0,2 mm 15x3,0m 30m<sup>2</sup>. 2019. K-rauta. Saatavissa: <https://www.k-rauta.fi/rautakauppa/h%C3%B6yrynsulkukalvo-rani-ranimobar-0-2mm-1-5x3-0m-30m2> Hakupäivä 30.9.2019.

Höyrynsulun liitokset - puutalot. 2019. Rakentamisen kosteudenhallinta. Saatavissa: <http://www.kosteudenhallinta.fi/index.php/fi/rakenteet/yksityiskohdat/hoeyrynsulun-liitokset-puutalot>. Hakupäivä: 27.10.2019.

Ilmanvaihto. 2019. Hengityслиitto. Saatavissa <https://www.hengityслиitto.fi/fi/sisailma/ilmanvaihto>. Hakupäivä 30.9.2019.

Jäävirta, Tomi – Pitkänen, Ismo 2019. T550603-3002. Talotekniset järjestelmät. Kurssimateriaali, Moodle-oppimisympäristössä. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu, rakentamistekniikan osasto.

Kuntien sisäilmaverkosto. 2019. Julkisten palvelurakennusten ilmanvaihdon käytön yleisohje ja Julkisten palvelurakennusten ilmanvaihdon käytön yleisohjeen perustelumuuisto. Saatavissa: <https://www.sisailmayhdistys.fi/Julkaisut/Hyva-sisailma-suositukset>, linkki Kuntien sisäilmaverkoston palvelurakennusten ilmanvaihdon käytön ohje ja perustelumuuisto Hakupäivä 2.2.2020

Lähdesmäki, Kimmo 2013. Rakennusmateriaalien ja -tuotteiden rakennusfysikaaliset ominaisuudet. RIL 255-2013. Luku 9 Toimituksellinen kooste kommentointia varten. Saatavissa: [https://www.ril.fi/media/luku-9\\_rakennusmateriaalit\\_28062013.pdf](https://www.ril.fi/media/luku-9_rakennusmateriaalit_28062013.pdf). Hakupäivä 29.9.2019.

Purtilo, Jukka-Pekka 2011. Rakennuksen ilmapitävyyden laadunvarmistus työmaalla. Opinnäytetyö. Lappeenranta: Saimaan ammattikorkeakoulu, rakennustekniikan koulutusohjelma. Saatavissa: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/26087/Purtilo\\_Juha-Pekka.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/26087/Purtilo_Juha-Pekka.pdf?sequence=3&isAllowed=y) Hakupäivä: 27.10.2019

RT 07-10564. 1995. Rakennuksen sisäilmasto. Rakennustieto Oy. Saatavissa: <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2007-10564> (vaatii käyttäjälisenssin). Hakupäivä: 15.10.2019

Saarela, Hannu 2019. Sisäilmaongelman hoito. Opinnäytetyö. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu, elinkaari palveluiden johtaminen. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/170550/Opinn%C3%A4ytety%C3%B6%208.5.19%20Hannu%20Saarela.pdf?sequence=2&isAllowed=y> Hakupäivä: 27.10.2019

Sarja, Asko 2010. Rakennuksen tiiviys. Rakentajankalenteri 2010 vol. 94, S. 386. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK100301.pdf> Hakupäivä: 30.9.2019

Sisäilmantekijät. 2008. Sisäilmayhdistys ry, Saatavissa <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Sisailmasto/Sisailman-tekijat> Hakupäivä 30.9.2019.

Sisäilmayhdistyksen Hyvä sisäilma -suositus 1 | 03-2019. 2019 Sisäilmayhdistys ry. Saatavissa <https://www.sisailmayhdistys.fi/Julkaisut/Hyva-sisailma-suositukset>, linkki Suositus ilmanvaihdosta rakennuksen käyttöajan ulkopuolella. Hakupäivä 15.1.2020.

Terveelliset tilat. 2008. Sisäilmayhdistys ry, Saatavissa <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Sisailmasto/Perustietoa> Hakupäivä 30.9.2019.

Tiivistysteippi Sitko Flex 50mmx25m. 2019. K-rauta. Saatavissa:  
<https://www.k-rauta.fi/rautakauppa/tiivistysteippi-sitko-flex-50mmx25m> Haku-  
päivä 27.2.2020.

Tutkimusraportti. 2017. WSP. Julkaisematon raportti.