

Erno Immonen

Sisäilmaongelmien korjaus pienurakassa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Rakennusmestari (AMK)

Rakennusalan työnjohto

Mestarityö

15.11.2015

Tekijä(t) Otsikko	Erno Immonen Sisäilmaongelmien korjaus pienurakassa
Sivumäärä Aika	39 sivua + 1 liite 15.11.2015
Tutkinto	Rakennusmestari (AMK)
Koulutusohjelma	Rakennusalan työnjohto
Suuntautumisvaihtoehto	Talonrakennustekniikka
Ohjaaja(t)	Lehtori Riikka Jääskeläinen Laatu- ja ympäristövastaava Joonas Saikkonen
<p>Opinnäytetyön aiheena oli sisäilmaongelmien korjaus pienurakassa. Työ tehtiin NCC Rakennuksen KRE-yksikölle, joka keskittyy elinkaaritoimintaan ja pieniin korjausurakoihin. Työn tavoitteena oli laatia työnjohdolle työohje sisäilmakorjaustyömaille sekä laadunvarmistusmenetelmä tiivistyskorjauksiin.</p> <p>Kirjallisuutta ja artikkeleita lukemalla työssä selvitettiin yleisimmät sisäilmaongelmien aiheuttajat. Työssä keskityttiin rakennusmateriaaleihin, ilmanvaihtoon ja ilmatiiveyteen sisäilmaongelmien aiheuttajina.</p> <p>Ilmavuotoja tarkasteltiin tarkemmin kuin muita sisäilmaongelmien aiheuttajia, sillä suuri osa nopeista sisäilmakorjauksista tehdään ilmavuotoja tiivistämällä. Työssä selvitettiin yleisimmät ilmavuotojen tiivistysratkaisut ja rakenteet, joihin niitä voidaan käyttää. Tämän lisäksi työssä esitetään muita toimenpiteitä, joita lyhyen sisäilmakorjausurakan aikana pystytään tekemään.</p> <p>Opinnäytetyön avulla pystyttiin luomaan laadunvarmistusmenettely NCC Rakennuksen KRE-yksikön työmaille sekä työohje lyhytkestoisiin sisäilmakorjauksiin.</p>	
Avainsanat	Sisäilmaongelma, ilmatiiveys, korjaus

Author(s) Title	Erno Immonen Improving the Quality of Indoor Air in Short Term Projects
Number of Pages Date	39 pages + 1 appendix 15 November 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Construction Site Management
Specialisation option	Construction Engineering
Instructor(s)	Riikka Jääskeläinen, Senior Lecturer Joonas Saikkonen, Quality and Environment Manager
<p>The topic of this Bachelor's thesis examines renovating buildings that suffer from poor quality of indoor air in short term projects. The thesis was made for the department of life cycle and renovating services of NCC Rakennus Oy. The objective of the thesis was to create a manual for renovating buildings suffering from poor quality of indoor air and to create a quality control tool for air permeability repairs.</p> <p>Topic-related literature was studied and the typical causes of poor indoor air quality were clarified. The thesis focused on construction materials, ventilation and air permeability as possible causes of indoor air problems.</p> <p>Air permeability was examined more closely than the other causes of bad indoor air quality because during short renovation projects most of the renovations to improve air quality are made by sealing the routes for air flow to the building. This thesis examined the structures susceptible for air flow and the most common solutions for sealing the routes. In addition the thesis suggests other solutions for improving the quality of indoor air.</p> <p>With the help of this thesis a quality control tool and a guidebook for construction site managers were created to help with renovating buildings suffering from low quality indoor air.</p>	
Keywords	Indoor air problems, air permeability, renovating

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Sisäilmaongelmat	2
2.1	Sisäilma	2
2.2	Sisäilmaongelmien yleisyys	3
2.3	Sisäilmaongelmien aiheuttajat	4
2.4	Ilmavuodot	9
2.5	Ilmanvaihto	13
3	Sisäilmaongelman todentaminen	17
3.1	Lähtöselvitys	17
3.2	Käyttäjäkyselyt	17
3.3	Homevaurion paikannus	17
3.4	Ilmavuotojen paikantaminen	18
3.5	Ilmanvaihdon toimintatarkastus	20
3.6	Sisäilman laadun arviointi	21
4	Korjaustoimenpiteet	22
4.1	Sisäilmakorjauskohde	22
4.2	Tiivistysratkaisujen vertailu	25
4.3	Tiivistysratkaisut	26
4.4	Muut toimenpiteet	33
5	Uusi työohje työnjohtajalle	35
6	Tulokset	36
7	Lopuksi	37
	Lähteet	38

Liite 1. Tarkastuskortti pohjatöille ja butyyliinauha-asennuksille

1 Johdanto

Työturvallisuuslaki määrää, että työpaikalla tulee olla riittävästi kelpollista hengitysilmaa ja että työpaikan ilmanvaihdon tulee olla riittävän tehokas ja tarkoituksen mukainen. Myös koulutusta koskevan lainsäädännön ja päivähoitolain mukaan oppilaille ja lapsille tulee turvata terveellinen ja turvallinen oppimisympäristö. Julkisten rakennusten sisäilmaongelmat ovat herättäneet paljon keskustelua, ja niihin on tehty enenevässä määrin sisäilmakorjauksia.

Tämä opinnäytetyö tehdään KRE-yksikölle, joka on NCC Rakennus Oy:n korjausrakentamisen yksikkö, joka keskittyy pieniin korjaushankkeisiin ja ylläpitoon. Toimenkuvaan kuuluvat mm. toimistomuutokset, myymälätilojen muutokset, ylläpitotyöt, erilaiset julkisten tilojen remontit ja sisäilmakorjaukset. Opinnäytetyö keskittyy KRE-yksikön toteuttamiin julkisten tilojen pieniin remonteihin ja sisäilmakorjauksiin.

Kouluihin ja päiväkoteihin tehtävät remontit ja sisäilmakorjaukset joudutaan toteuttamaan lähes aina loma-aikana. Ennen koulujen kesälomien alkua toukokuun lopulla saattaa yllättäen tulla useita tarjouspyyntöjä sisäilmakorjauskohteista, joiden pitäisi alkaa viikon tai kahden päästä. Tämän kaltaiset kohteet aloitetaan rivakasti, ja yleensä niiden pitää myös olla valmiina koulujen alkamiseen mennessä.

Nopeasta aloituksesta huolimatta sisäilmaongelmalle pitää löytää kestävä ratkaisu, jota ei tarvitse korjata vuoden tai kahden kuluttua uudestaan. Opinnäytetyön tavoitteena on laatia työnjohdolle sisäilmakorjauskohteisiin tuotantoprosessit yhtenäistävä työohje, joka ottaa huomioon olemassa olevat suunnitelmat, materiaalien soveltuvuudet, hankkeiden lähtötiedot ja kestävä ratkaisun varmistamisen.

Työohjeen laatimiseen käytetään alan kirjallisuutta, työntekijöiden, suunnittelijoiden ja työnjohtajien haastatteluja sekä jo toteutuneiden sisäilmakorjaushankkeiden tuotantotiedostoja. Vertailemalla aiempien hankkeiden tietoja ja suunnitteluratkaisuja voidaan lyhytkestoisiin sisäilmakorjauskohteisiin luoda yhtenäinen tuotannon apuväline. Työohje tehdään Word-ohjelmistolla, ja se sisältää uuden laadunvarmistusmenettelyn lyhytkestoiselle työmaalle.

2 Sisäilmaongelmat

2.1 Sisäilma

Rakentamisen yksi tärkeimmistä tavoitteista on hyvä sisäilmasto. Sen laatuun vaikuttavat lämmitys-, ilmanvaihto- ja ilmastointilaitteet, rakennustekniikka, rakennustöiden suorittaminen ja käytetyt materiaalit. Tämän lisäksi rakennuksen käytöllä, kunnossapidolla ja päivittäisillä huoltotoimilla on suuri vaikutus rakennuksen sisäilman laatuun. (Ratu 437-T 2008: 2.)

Sisäilmayhdistys ry:n, Rakennustietosäätiö RTS:n, Suomen Arkkitehtiliitto SAFA ry:n, Asunto-, toimitila- ja rakennuttajaliitto RAKLI ry:n ja Sunnittelu ja konsulttitoimistojen liitto SKOL ry:n laatima Sisäilmastoluokitus 2008 määrittelee sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. Sisäilmastoluokitus on määritelty sisäilman tasolle kolme eri laatuluokkaa: S1, S2 ja S3, missä S1 on sisäilmaltaan paras. (Ratu 437-T 2008:2.) Ohessa Sisäilmastoluokitus 2008:n määritelmät kullekin luokalle:

S1: Yksilöllinen sisäilmasto

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

S2: Hyvä sisäilmasto

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

S3: Tyydyttävä sisäilmasto

Tilan sisäilman laatu ja lämpöolot sekä valaistus- ja ääniolosuhteet täyttävät rakentamismääräysten vähimmäisvaatimukset. (Ratu 437-T 2008: 7.)

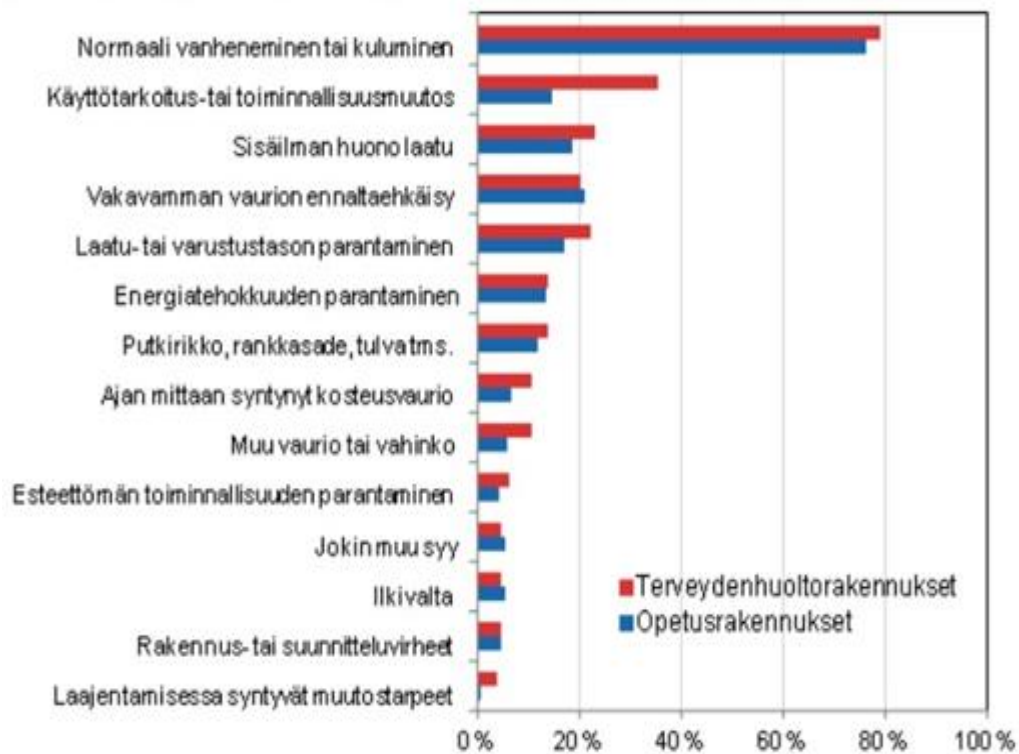
2.2 Sisäilmaongelmien yleisyys

Ihmiset viettävät suuren osan elämästään sisätiloissa, joten asuin- sekä työympäristön sisäilman pitäisi olla hyvän laatuista. Siltikin noin 750 000 suomalaista altistuu päivittäin huonolle sisäilmalle. Vaikka Kosteus- ja hometalkoot -toimenpideohjelma on käynnistetty, on Suomen rakennuskannassa noin 30–50 miljardin euron korjausvelka. (Sosiaali- ja terveysministeriön tulevaisuuskatsaus 2014: 21.)

Sisäilman laatuun alettiin kunnolla kiinnittää huomiota 1980-luvulla, kun työvoima siirtyi yhä enenevässä määrin tuotannosta toimintoihin. 1980- ja 1990-luvuilla pahimpina sisäilmaongelmina pidettiin formaldehydejä sekä asbestia (Palomäki 2009: 5). Formaldehydiä pääsi sisäilmaan vanhoista lastulevyrakenteista, joissa formaldehydiä käytettiin niiden liima-aineissa. Asbestia taas käytettiin mm. putkien lämmöneristeenä sekä erilaisissa laatoissa, levyissä ja tasotteissa (Asbesti 2015). Nykyään asbestin käyttö on kielletty kokonaan, mutta vanhoissa rakennuksissa sitä on vielä olemassa. Tämän takia asbestia sisältävien rakennusosien purkutöitä saavat suorittaa vain asbestin käsittelyyn pätevyyden hankkineet urakoitsijat.

2000-luvulla valtioneuvosto käynnisti kosteus- ja hometalkoot nimisen toimintaohjelman, jonka avulla tuodaan työkaluja eri toimijoiden käyttöön rakennusten ilmanlaadun parantamiseksi (Kosteus ja hometalkoot). Toimintaohjelman tavoitteena on aloittaa suomalaisen rakennuskannan kosteus- ja homevaurioiden tervehtyttäminen. Kosteus- ja hometalkoiden viimeinen vuosi on 2015, mutta tarkoitus on kuitenkin jatkaa koulutusta ja viestintää (Valtakunnalliset kosteus ja hometalkoot 2015). Etenkin kuntapäätäjien tietoa kosteus- ja homeongelmista pyritään lisäämään, sillä kosteus- ja homevaurioita on suhteellisesti eniten kuntien omistamissa rakennuksissa (Kukkonen 2015).

Vuonna 2013 julkisia opetusrakennuksia korjattiin 810 miljoonan euron edestä ja terveydenhuollon rakennuksia 290 miljoonalla eurolla. Julkisten terveydenhuolto- ja opetusrakennusten omistajille tehdyn kyselyn mukaan (Kuva 1.) n. 20 % kyseisiin rakennuksiin tehdyistä korjauksista johtui sisäilman huonosta laadusta. (Korjausrakentaminen 2013 2014: 6.)



Kuva 1. Terveystalorakennusten ja opetusrakennusten korjauksiin johtaneet syyt, prosentiosuus kyselyyn vastanneista kiinteistöjen omistajista (Korjausrakentaminen 2013. 2014: 6).

Julkishallinnon toimenpiteistä huolimatta rakennusten sisäilmaongelmien arvioidaan yleistyneen viime vuosien aikana. Nämä ongelmat ovat monimuotoisia, sillä sisäilmaan vaikuttavat rakennusmateriaalit, vauriot rakenteissa, rakenteiden ikä ja kunto sekä LVI-tekniikan toiminta ja käyttötavat. (Asikainen & Peltola 2011: 54.) Seuraavat alaluvut käsittelevät sisäilmaongelmien yleisimpiä aiheuttajia ja oireita, joita sisäilmaongelmat aiheuttavat

2.3 Sisäilmaongelmien aiheuttajat

Sisäilmaongelmia aiheuttavat ilman epäpuhtaudet, jotka liittyvät rakennus- tai sisustusmateriaaleihin, ovat leijuva pöly, asbesti, homeet, mineraalivillat, formaldehydi ja muut orgaaniset kaasut. (Seppänen & Seppänen 2010: 25–35.)

Leijuva pöly

Pölyä kertyy kiinteistöihin paperitavarasta, sisustustekstiileistä ja pintaverhouslevyistä. Koulu- ja opetusrakennuksissa myös liitutaulut ja taulusienet ovat leijuivan pölyn lähde (Seppänen & Seppänen 2010: 25). Kiinteistöissä remonttityöt lisäävät väliaikaisesti leijuivan pölyn määrää, joten rakennustyö suoritetaan tavoiteltavan puhtausluokan P1 tai P2 vaatimusten mukaisesti. Varsinkin luovutusvaiheen puhtaus on käyttäjälle erittäin tärkeää, sillä se on käyttäjän ensimmäinen kosketus uuteen tilaan, joten pölyiset pinnat antavat huonon kuvan sisäilmakorjausten onnistumisesta.

P1-puhtausluokan (Taulukko 1.) mukaan tilojen tulee luovutusvaiheessa olla niin puhtaat, että tilat voidaan ottaa välittömästi käyttöön vastaanoton jälkeen. P1-puhtausluokan mukaan rakennuksen tulee myös olla puhdas ennen ilmanvaihdon päätelaitteiden suojausten poistamista. Pinnoilla ei tällöin saa olla hienojakoista irtolikaa, kuten puu-, betoni- tai kipsipölyä. Tiloissa ei myöskään saa enää säilyttää materiaaleja tai jätteitä. Tässä vaiheessa pintojen suojamuovit on poistettu ja tiloissa voidaan tehdä vain pölyttömiä töitä, kuten paikkamaalausta tai laitteiden säätöä ja viritystä. P2-puhtausluokka vastaa taas normaalia hyvän rakentamistavan mukaista käytäntöä, eikä sille ole asetettu minkäänlaisia raja-arvoja. (Ratu 437-T 2008:11.)

Taulukko 1. P1 puhtausluokan määrittelemät suurimmat sallitut pöykertymät (Ratu 437-T 2008: 11.)

Tarkastusajankohta	Arvioitavat pinnat	Pöykertymä %
Ennen ilmanvaihdon toimintakokeita	<ul style="list-style-type: none"> • Alakaton yläpuoli • Pinnat yli 180cm • Pinnat alle 180cm 	<ul style="list-style-type: none"> • 5 %
Ennen rakennuksen luovutusta	<ul style="list-style-type: none"> • Pinnat yli 180cm • Pinnat alle 180cm 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 %
	<ul style="list-style-type: none"> • Lattiapinnat 	<ul style="list-style-type: none"> • 3 %

P2 puhtausluokka vastaa normaalia hyvän rakentamistavan mukaista käytäntöä (Ratu 437-T 2008: 11).

Pölyisissä tiloissa työskentely tai jatkuva oleskelu voi aiheuttaa monenlaisia haittoja yleisestä viihtymättömyydestä aina syöpään asti. Yleisimpiä pölyn aiheuttamia haittoja ovat allergiset vaikutukset kuten nuha, ihottuma ja astman oireilu. (Pölyn aiheuttamat haitat 2004.)

Asbesti

Asbesti on rakennusmateriaali, jota on käytetty useissa 1950–1980-luvuilla rakennetuissa kiinteistöissä. Asbestilla tarkoitetaan kuitumaista silikaattimineraalia, jota

käytettiin rakentamisessa mm. putkieristeissä, ruiskutettuna eristeenä, tasoitteissa, kiinnityslaasteissa, liimoissa, rakennuslevyissä, muovimatoissa, saumauslaasteissa, kaakeleissa ja erilaisissa palokatkomassoissa. (Asbesti 2015.)

Asbesti ei ole sinänsä vaarallista rakenteisiin sidottuna, mutta pölytessään silmälle näkymättömät asbestikuidut kulkeutuvat hengityksen mukana keuhkoihin ja aiheuttavat mm. keuhkosityöpää ja asbestikeuhkoa. Asbestin käyttö kiellettiin Suomessa vuonna 1994 ja EU:n alueella vuonna 2005. (Asbesti. 2015.)

Monet sisäilmaongelmista kärsivät kiinteistöt ovat niin vanhoja, että niissä on käytetty myös asbestia sisältäviä rakennusmateriaaleja. Näissä korjauskohteissa pitääkin ottaa huomioon, että ennen vuotta 1988 valmistuneisiin rakennuksiin joihin suunnitellaan rakenteisiin kohdistuvia korjaus- tai purkutöitä, on kiinteistön omistajan tai rakennuttajan tehtävä asbestikartoitus. (Valtioneuvoston asetus 318/2006 § 18.)

Homeet

Homekasvuston syynä on aina kosteusvaurio, jonka taustalla voi olla riskejä sisältävät suunnitteluratkaisut, puutteet työmaan kosteudenhallinnassa, rakennustyön aikaiset virheet ja kunnossapidon laiminlyönnit sekä rakenteiden luonnollinen kuluminen (Rakennusten kosteus- ja homeongelmat 2012: 11). Homekasvustolle otollisimpia ovat tilat, jossa on runsaasti kosteutta tai, jonne kosteus tiivistyy. Siksi homeetta esiintyy usein kylpyhuoneissa, alapohjassa ja höyrynsulkumuovin läheisyydessä. Kosteuden lisäksi näille esiintymispaikoille yhteistä on huono tuuletus. (Ojala 2013: 23-25.)

Kosteusvaurioituneesta rakennuksesta voidaan löytää home- ja hiivasieniä sisäilmasta, pinnoilta ja vaurioituneista materiaaleista. Homekasvustosta riippuen homeelle altistuminen voi aiheuttaa allergista nuhaa, astmaa, hengenahdistusta, kuivaa yskää ja kuumetta (Ojala 2013: 16).

Mineraalivillat

Mineraalivilloja käytetään rakentamisessa lämmön- ja ääneneristeenä. Mineraalivillat ovat teollisia mineraalikuituja, joista voidaan kutoa lankoja ja kankaita. Näistä taas kootaan rakentamisessa käytetyt eristelevyt. Villapöly ärsyttää silmiä ja hengitysteitä,

mutta Suomessa käytettäviä lasivilla- ja kivivillakuituja ei ole luokiteltu syöpävaarallisiksi. (Seppänen & Seppänen 2010: 31.)

Opetusrakennuksissa mineraalivilloille altistuminen voi olla päivittäistä, jos akustointilevyinä on käytetty kaikilta reunoilta pinnoittamattomia akustolevyjä tai rakenteissa on merkittäviä ilmavuotoja, jolloin alipaine voi imeä yläpohjan, väliseinien ja ulkoseinien eristetilojen epäpuhtauksia ja villapölyä huonetilaan.

Formaldehydi

Formaldehydi on kemikaali, jota käytetään mm. liima-aineiden ja pintakäsittelyaineiden valmistukseen. Sitä on myös lastulevyissä, laminaateissa, erilaisissa päällysteissä, lakoissa ja tekstiileissä. Materiaalien formaldehydipäästöt ovat riippuvaisia lämpötilasta ja kosteudesta, joten sisäilman pitoisuudet kasvavat sisäilman kosteuden lisääntyessä. (Seppänen & Seppänen 2010: 34.)

Formaldehydin haittojen ehkäisemiseksi tulisi rakennuksen suunnitteluvaiheessa kiinnittää huomiota rakennus- ja sisustusmateriaalien valintaan sekä niiden käsittelyyn. Tiettyjä materiaaleja, kuten luokittelemattomia lastulevyjä tai ureaformaldehydivaahoja tulisi käyttää mahdollisimman vähän haittojen minimoimiseksi. (Seppänen & Seppänen 2010: 34.)

Formaldehydille altistuminen voi aiheuttaa silmän sidekalvojen ja ylähengitysteiden limakalvojen ärsytystä, sillä formaldehydi imeytyy helposti limakalvoihin. Formaldehydille altistumisen oireita voivat olla jatkuva yskä, nenän tukkoisuus, nuha ja silmien kirvely. (Seppänen & Seppänen 2010: 34.)

Muut orgaaniset kaasut

Sisäilmassa on aina erilaisia orgaanisia epäpuhtauksia, jotka ovat peräisin rakennus- ja sisustusmateriaaleista. Nämä yhdisteet on luokiteltu höyrystymispisteen mukaan Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka -kirjassa seuraavasti:

Taulukko 2. Erilaisten sisäilman orgaanisten epäpuhtauksien kiehumispisteet ja lyhenteet (Seppänen & Seppänen 2010: 35).

	kiehumispiste, °C	lyhenne
Erittäin helposti haihtuvat (very volatile organic compounds)	0–100	VVOC
Haihtuvat (volatile organic compounds)	100–240	VOC
Osittain haihtuvat (semivolatile organic compounds)	240–380	SVOC
Hiukkasiin sitoutuneet (particulate organic matter)	yli 380	POM

Uudisrakennusten sairasrakennusoireiden yleistymisen katsotaan suurelta osin johtuvan haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuuksista sisäilmassa. Tätä pitoisuutta mitataan haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (Taulukko 2.) kokonaispitoisuutena TVOC (total volatile organic compounds). Näiden yhdisteiden kokonaispitoisuuden raja-arvoksi sisäilmassa annetaan $0,2\text{mg}/\text{m}^3$. (Seppänen & Seppänen 2010: 35.)

2.4 Ilmavuodot

Rakennuksen hyvän ilmatiiveyden saavuttaminen on tärkeää monesta syystä. Liian suuri ilmavuoto vaikuttaa rakennuksen energian kulutukseen. Lisäksi ilmavuodot saattavat heikentää rakennuksen ulkovaipan kosteusteknistä toimimista. Ilmavuodot

voivat myös heikentää ilmanvaihtojärjestelmien toimintaa, lämpöolosuhteita, sisäilman laatua sekä rakenteiden palonkestävyyttä. (Vinha ym 2009: 31.) Hyvällä ilmatiiveydellä voidaan tehokkaasti ehkäistä epäpuhtauksien, haitallisten aineiden ja homeiden kulkeutuminen rakennusvaipan rakenteista ja maaperästä rakennuksen sisäilmaan. Ilmatiivis vaipparakenne myös vähentää rakennuksen käyttäjien kokemaa vedon tunnetta sekä helpottaa ilmanvaihdon säätämistä ja tavoiteltujen painesuhteiden saavuttamista.

Ilmavuotoa voidaan mitata luvuilla n_{50} (1/h) ja q_{50} ($m^3/(h \cdot m^2)$). Ilmavuotoluku n_{50} kertoo kuinka monta kertaa rakennuksen ilmatilavuus vaihtuu tunnissa rakennusvaipan vuotoreittien kautta, kun rakennukseen aiheutetaan 50 Pascalin ali- tai ylipaine. Q_{50} -luvulla taas kuvataan rakennusvaipan keskimääräistä vuotoilmavirtaa tunnissa 50 Pascalin paine-erolla kokonaissisämittojen mukaan laskettua rakennusvaipan pinta-alaa kohden. (Koski & Kivimäki 2012: 156.) Suomen rakentamismääräyskokoelma antaa ilmavuotoluvuille ohjeavot uudisrakentamista varten, mutta vanhoja rakennuksia korjattaessa määritellään arvot tapauskohtaisesti. Pienissä sisäilmakorjauskohteissa ei suunnitelmissa ole välttämättä edes mainittu ilmavuotolukuja.

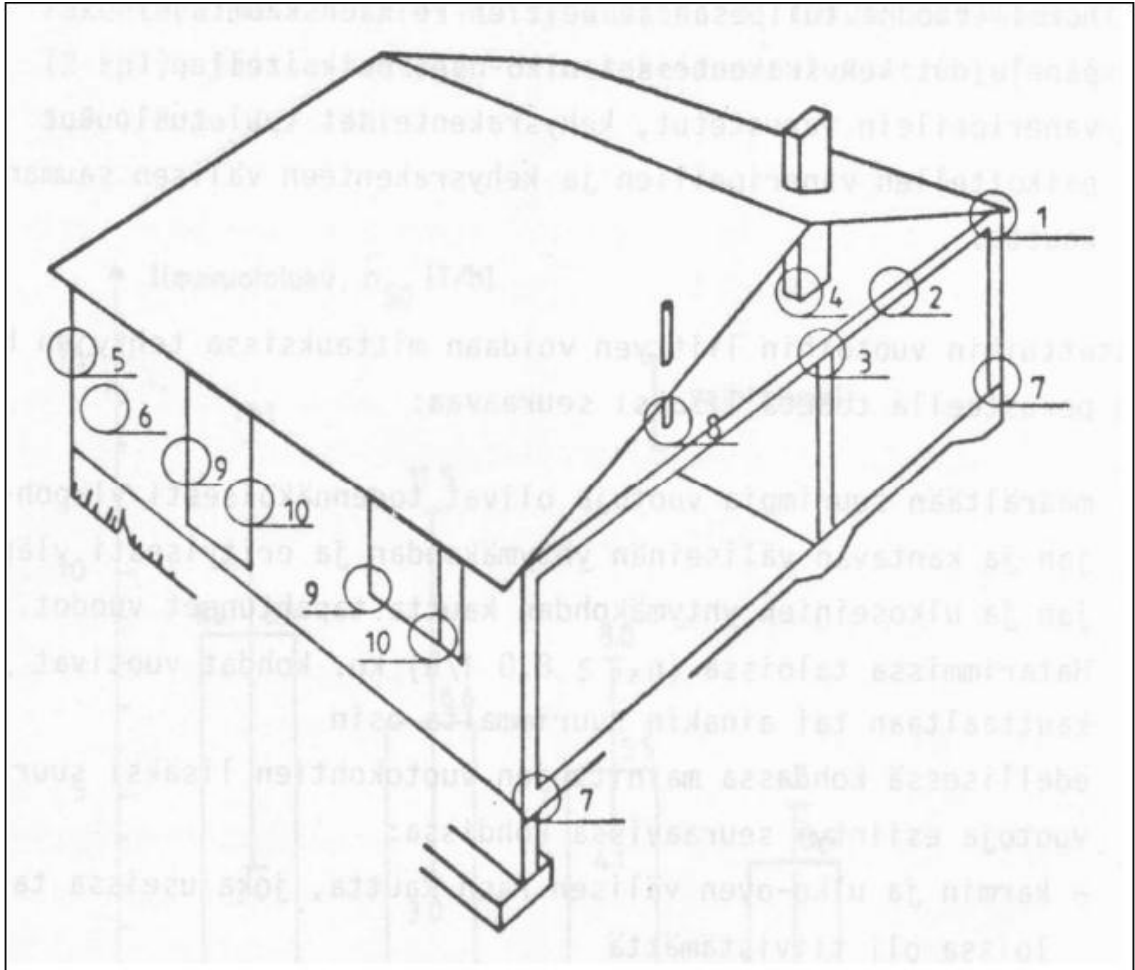
Suomen rakentamismääräyskokoelman osa C3 määrittelee rakennuksen riittävän ilman pitävyyden seuraavasti:

Sekä rakennuksen vaipan että tilojen välisten rakenteiden tulee olla niin ilmanpitäviä, että vuotokohtien läpi tapahtuvat ilmavirtaukset eivät aiheuta merkittäviä haittoja rakennuksen käyttäjille tai rakenteille ja rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmä voi toimia suunnitellusti. Erityistä huomiota tulee kiinnittää rakenteiden liitosten ja läpivientien suunnitteluun sekä rakennustyön huolellisuuteen. Rakenteisiin on tarvittaessa tehtävä erillinen ilmansulku. (Rakennusten lämmöneristys 2010.)

Erityistä huomiota on rakennusmääräyskokoelman mukaan kiinnitettävä ikkunoiden sekä ovien ja ympäröivien rakenteiden liitoksiin, joiden tulee olla ilmapitäviä. Oven karmin ja puitteen ilmatiiveyden saavuttamiseksi on käytettävä tarvikkeita, jotka kestävät käytössä esiintyvät rasitukset vaurioitumatta ja aiheuttamatta vaurioita ympäröiville rakenteille. (Rakennusten lämmöneristys 2010.)

Viime aikoina NCC Rakennus Oy:n KRE-yksikkö on saanut toteutettavaksi useita, lyhyt kestoisia sisäilmakorjausurakoita vanhoihin 1960–1980-luvuilla rakennettuihin kouluihin ja päiväkoteihin. Usein sisäilmakorjausten syyksi on annettu rakennuksen riittämätön tiiveys. Väärin säädetyin ilmanvaihdon ja riittämättömän ilmatiiveyden vuoksi näiden

rakennusten sisäilmaan saattoi päätyä epäpuhtauksia yläpohjan eristetilasta, alapohjasta, seinärakenteista, sähköläpiviennistä sekä ikkunoiden karmien ja seinien välisistä liitoksista. Kuvassa 2. on esitetty yleisimmät ilmavuotojen sijainnit rakennuksen vaipassa.



Kuva 2. Yleisimmät ilmavuotokohtat rakennuksen vaipassa (Vinha ym. 2009: 41).

Ulkoseinien ja yläpohjan välinen liitos on usein myös ilmavuotokohta, jonka kautta huonetilojen sisäilmaan kulkeutuu epäpuhtauksia ulkoa ja yläpohjan eristetilasta. (Kuva 2. Kohta 1.)

Yläpohja paikoitellen esim. ontelolaattojen saumat voivat vuotaa tai kipsilevyjen saumakohtat vanhoissa rakennuksissa. Näiden lisäksi yläpohjan ilmavuotokohtia ovat mm. sähköputkien läpiviennit ja puutteellinen höyrynsulku tai höyrynsulun huono limitys. (Kuva 2. Kohta 2.)

Yläpohjan ja kantavan väliseinän liitoksen kautta ilma pääsee usein vuotamaan viereisestä tilasta tai yläpohjan eristetilasta. (Kuva 2. Kohta 3.)

Hormin ja yläpohjan välinen liitos toimii usein ilmavuotona, mutta koulu- ja päiväkotirakennuksissa näitä ei yleensä ole. (Kuva 2. Kohta 4.)

Ulkoseinänurkissa ilmenee ilmavuotoja varsinkin vanhoissa tiilirakenteisissa taloissa. Nurkan laasti sauma on usein haljennut iän myötä, jonka kautta ilma pääsee vuotamaan. (Kuva 2. Kohta 5.)

Ulkoseinissä on useita ilmavuotokohtia. Ilmavuotoja esiintyy sähköputkien läpivienneissä, elementtien välisissä saumoissa tai tiilimuurauksen saumojen halkeamista. Myös patterikannakkeiden rei'issä saattaa esiintyä ilmavuotoja. (Kuva 2. Kohta 6.)

Ulkoseinän ja alapohjan välisestä liittymästä voi olla suora yhteys ryömintätilaan tai maata vasten. (Kuva 2. Kohta 7.) Vanhoissa rakennuksissa ryömintätilaan on jätetty usein orgaanista materiaalia kuten muottilaudoituksia, jotka edesauttavat lahotessaan mikrobien lisääntymistä ryömintätilassa. Tällöin ulkoseinän ja alapohjan välisestä ilmavuotokohdasta alapohjan alustilan epäpuhtaudet pääsevät sisäilmaan. Ryömintätila on myös kosteusoloiltaan otollinen mikrobien kasvupaikka, jos sen tuuletus on puutteellinen, sillä ryömintätilan suhteellinen kosteus on aina korkea, jos ryömintätila on merkittävästi kylmempi kuin ulkoilma. (Asikainen & Peltola. 2011: 12.)

Ilmanvaihtokanavien läpiviennit ovat huonosti tiivistettyinä ilmavuotokohtia. (Kuva 2. Kohta 8.)

Ulkoseinien ja karmien väliset liitokset ovat yleisiä ilmavuotokohtia ja NCC Rakennuksen KRE:n toteuttamissa sisäilmakorjauskohteissa on aina jouduttu tiivistämään ikkunankarmien ja ulkoseinän väliset liitokset. (Kuva 2. Kohta 9.)

Ikkunoiden karmit ja puitteet mahdollistavat vanhoissa rakennuksissa vuotoilman pääsyn sisätiloihin. Varsinkin karmin yläpuun ja pystypuun välinen liitos on monesti vuotanut vanhoissa koulurakennuksissa. Ikkunoiden huonot tiivisteet tai vääränlainen sulkeutuminen mahdollistavat myös ilmavuodot. (Kuva 2. Kohta 10.)

Rakennusten ilmatiiveyteen on energiavaatimusten myötä alettu kiinnittää huomiota enenevässä määrin. Siltikin vielä nykyään ilmatiiviistä rakennuksista käytetään negatiivisessa sävyssä nimitystä pullotalo. Pullotalojen sisäilmaongelmat mielletään ilmatiiviyden aiheuttamiksi ongelmiksi, vaikka tosiasiallisesti ilmanvaihto on suurin syytä sisäilmaongelmiin tiiviissä rakennuksissa. Ilmanvaihto pitäisi säätää siten, että puhdasta sisäilmaa tulee sisään vain kanavien kautta, eikä hallitsemattomia ilmapuotoja pääse syntymään liiallisen alipaineen johdosta. (Kumpi on terveellisempi hengittävä vai pullotalo 2014.)

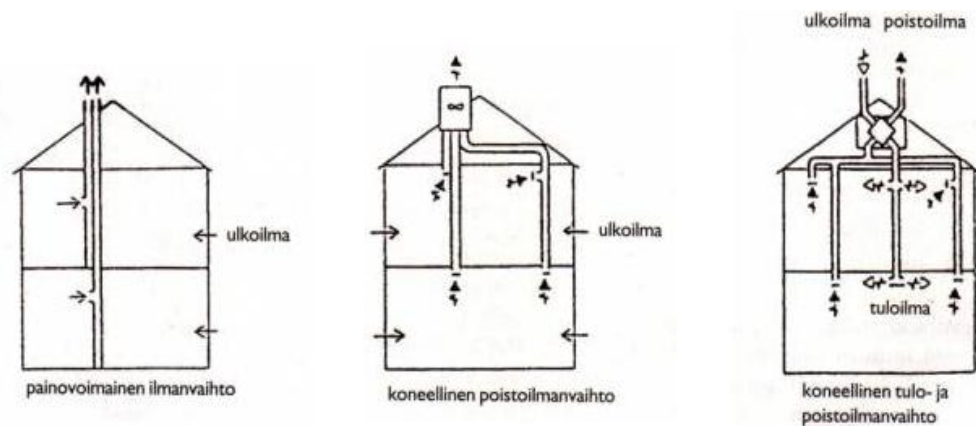
Pelkille lyhytkestoisille tiivistyskorjauksille on esitetty myös kritiikkiä. Kosteus- ja hometalkoiden entisen vetäjän Juhani Pirisen mielestä kosteusvaurioituneita rakenteita ei pitäisi jättää rakennuksen sisälle, kun ollaan jo tekemässä korjauksia kohteessa. Pirisen mielestä edullisena pikakorjauksena lanseerattu tiivistyskorjaus tuo vain muutaman vuoden helpotuksen rakennuksen sisäilmaongelmiin, mutta 50 vuoden käyttöikää tavoiteltaessa ei voida luottaa vain tiivistyskorjauksiin. (Vantaalla vain yksi 26:sta hometalon tiivistyskorjauksesta onnistui 2015.)

Useat tiivistyskorjauksissa käytetyt materiaalit ovat markkinoilla suhteellisen uusia, joten niiden käyttöä ei ole paljoakaan konkreettisia kokemuksia. Kosteus- ja hometalkoot toimenpideohjelman mukaan tiivistyskorjausten elinkaari on ollut enintään viisi vuotta (Aatsalo 2014: 4). Tiivistyskorjaukset ovat vaativia korjauksia, eikä niitä pitäisi tehdä ilman tutkimuksia, suunnittelua ja kunnollista valvontaa. Senaatti-kiinteistöjen investointijohtaja Jukka Riikosen mielestä tiivistyskorjauksia tehdessä pitäisi rakennusfysikaalisen toimivuuden analysointi tehdä alkuperäiselle rakenteelle ja suunnitteluratkaisulle. (Aatsalo 2014: 4). Vaarana on, että huolimattomilla korjauksilla aiheutetaan ainoastaan lisää ongelmia.

2.5 Ilmanvaihto

Ilmanvaihdon tarkoituksena on poistaa tiloista likainen ilma ja tuoda niihin puhdasta ilmaa. Ilmanvaihdon pitää olla tarpeeksi tehokas tiloissa syntyvien epäpuhtauksien poistamiseen. Ilmanvaihto on joko painovoimainen tai koneellinen. Painovoimaisella ilmanvaihdolla toimivat rakennukset ovat vanhoja, ja niissä ilma liikkuu tuulen ja sisä- ja ulkoilman lämpötilaerojen vaikutuksesta. Lämmin, kevyempi ilma poistuu rakennuksesta hormeja pitkin ja viileämpi ulkoilma tulee korvausilmaventtiileistä sisälle.

Koneellisessa ilmanvaihdossa tulo- ja poistoilman määristä vastaa erillinen ilmanvaihtokone. Kuvassa 3. on esitetty eri ilmanvaihtoratkaisuiden toimintaperiaatteet.



Kuva 3. Ilmanvaihdon toimintaperiaatteet (<http://www.sisailmayhdistys.fi/terveelliset-tilat-tietojarjestelma/kosteusvauriot/kosteustekninen-toiminta/ilmavirtaukset-rakennuksessa/>).

Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 mukaan ilmanvaihtojärjestelmä on suunniteltava ja rakennettava rakennuksen suunnitellun käyttötarkoituksen ja käytön perusteella siten, että se luo omalta osaltaan edellytykset tavanomaisissa sääoloissa ja käyttötilanteissa terveelliselle, turvalliselle ja viihtyisälle sisäilmastolle. Ilmanvaihtojärjestelmä tulisi myös suunnitella siten, että se oikein käytettynä ja huollettuna kestää koko suunnitellun käyttöiän. (Suomen rakentamismääräyskokoelma D2 2010: 9.)

Edellä referoitu ympäristöministeriön asetus rakennusten sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta on tullut voimaan vuonna 2012. NCC:n KRE-yksikön tekemät sisäilmakorjaukset kohdistuvat yleensä 1960–1980-luvuilla rakennettuihin opetusrakennuksiin, joissa ilmanvaihtokone on vanhentunut tai kunnossapito on ollut puutteellista. Näissä kohteissa ilmanvaihto luokkaa kohden mitoitettu on pienemmälle oppilasmäärälle kuin nykyään. Tiivistyskorjauksien yhteydessä olisikin syytä ainakin säätää ilmanvaihtoa, jos vain mahdollista.

Ilmanvaihdolla on suuri vaikutus sisäilman laatuun. Tunkkainen ja seisova sisäilma on merkki siitä, ettei ilmanvaihto toimi suunnitellusti. Usein vanhoissa julkisissa rakennuksissa, kuten virastoissa ja kouluissa, ilmanvaihto sammutetaan yöksi ja viikonlopuksi energian säästämiseksi, sillä niissä ei ole uudempia ilmanvaihtokoneita, joiden automatiikka hoitaisi ilmanvaihdon, kun rakennus on tyhjiällä. Ilmanvaihdon

sammuttaminen kokonaan luo tunteen tunkkaisesta sisäilmasta seuraavana aamuna, minkä osa käyttäjistä voi kokea sisäilmaongelmaksi. (Seppänen & Seppänen 2010: 176.)

Ilmanvaihtolaitteiden puhtaus on merkittävä tekijä tilojen käyttäjien kokeman sisäilman laadun kannalta. Lisäksi ilmanvaihtojärjestelmään kertyvä lika voi aiheuttaa sisäilmaongelmia ja pienentää ilmavirtoja suunnitelluista. Ilmanvaihtokoneiden suodattimet tulisi vaihtaa säännöllisin väliajoin, jottei pöly pääse tukkimaan niitä. Poistoilmaventtiilit pitäisi myös puhdistaa vuosittain, jotta poisto vetäisi kunnolla. Riittämätön poistoilmavirta voi ilmetä tiloissa pahana hajuna. (Seppänen & Seppänen 2010: 177.)

Ilmanvaihtokanavien puhtaudella edistetään kiinteistön hyvinvointia ja turvallisuutta. Tuloilmakanavien epäpuhtaudet heikentävät sisäilman laatua. Tuloilmakanaviin kertynyt pöly leviää kaikkiin tiloihin, jos kanavia ei puhdisteta. Poistoilmakanaviin kertyvä pöly ja epäpuhtaudet ovat taas riski paloteknisesti, sillä tulipalon levitessä kertynyt pöly saattaa syttyä palamaan. Varsinkin pölyäviä korjaustöitä tehdessä tulee varmistua siitä, ettei rakennustöiden aiheuttama pöly pääse likaamaan kanavia. Kanavat tulisi puhdistaa ainakin kymmenen vuoden välein. (Ilmanvaihdon vaikutus 2008.)

Vanhoissa ilmanvaihtokoneissa äänenvaimentimissa on käytetty mineraalivilla, josta voi päästä kuituja tuloilman mukana sisäilmaan. Ongelmien välttämiseksi äänenvaimentimien villat olisi syytä vaihtaa pinnoitetuksi villaksi, jotta kuidut eivät leviä sisäilmaan.

Korjattujen koulurakennusten ilmanvaihtoa voidaan parantaa säätämällä painesuhteita. Korjausten yhteydessä rakenteisiin voi jäädä epäpuhtauksia, ja nopeissa tiivistyskorjauksissa pyritään sulkemaan epäpuhtaudet pois sisäilmasta. Oikeilla painesuhteilla ja tiiviillä rakenteilla estetään epäpuhtauksien päätyminen sisäilmaan. Optimaalisessa tilanteessa ilmanvaihto säädettäisiin täysin tasapainoiseksi, mutta vanhoilla ilmanvaihtokoneilla ei aina päästä tavoiteltuihin poisto- ja tuloilmamääriin. Ylipaineista ilmanvaihtoa, jossa tuloilmavirrat ovat suurempia kuin poistoilmavirrat, voidaan käyttää ainoastaan kivirakenteisissa koulurakennuksissa, joiden ilmatiiveys on varmistettu. Muuten kostea ja lämmin poistuva sisäilma voi aiheuttaa kosteusvaurioita rakenteisiin tiivistyessään. (Asikainen & Peltola 2010: 60.)

Koulurakennusten ilmanvaihtoa pystytään parantamaan vanhoissakin rakennuksissa opetustilakohtaisella ilmanvaihdolla. Eräässä sisäilmaongelmista kärsivässä alakoulussa lisättiin yksi uusi ilmanvaihtokone kolmea opetustilaa kohden, sillä vanhan koneen ilmamäärät eivät riittäneet nykyisille oppilasmäärille. Koneiden automatiikka sisälsi automaattisen lämpötilan säädön, luokkakohtaiset hiilidioksidianturit ja aikaperusteisen tehon säädön. Lisäksi ilmanvaihtokoneita alettiin pitää päällä kellon ympäri. Uusien koneiden myötä tulo- ja poistoilmavirrat pystyttiin säätämään luokkatiloissa tarkasti määriteltyjä ilmavirtoja vastaaviksi.

3 Sisäilmaongelman todentaminen

3.1 Lähtöselvitys

Lähtöselvityksessä julkisen rakennuksen omistaja eli usein kunta tekee sisäilmaongelmasta kärsivästä rakennuksesta teknisen arvioinnin. Teknisessä arvioinnissa pyritään selvittämään kohteen riskirakenteet ja ilmanvaihtojärjestelmän teknisen tason sisäilman laadun kannalta. Arvioijan on varmistettava, että piirustukset vastaavat todellisuutta, sillä vanhoissa rakennuksissa kaikkea ei ole toteutettu suunnitelmien mukaan. (Asikainen & Peltola 2010: 15.)

Riskirakenteiden arvioinnin jälkeen pyritään selvittämään, mitkä niistä voivat johtaa kosteusvaurioihin ja sisäilmaongelmiin sekä mitkä niistä ovat toimineet oikein. Lähtöselvityksen perusteella tilan omistaja tilaa kuntotutkimukset. (Asikainen & Peltola 2010: 15.)

3.2 Käyttäjäkyselyt

Käyttäjäkysely on syytä tehdä, jos teknisen riskiarvion perusteella ei löydy selkeää syytä mahdolliselle sisäilmaongelmalle. Kyselyn avulla pyritään selvittämään minkälaisia oireita kiinteistön käyttäjillä esiintyy ja missä tiloissa käyttäjät, jotka saavat eniten oireita työskentelevät. Näin voidaan paikantaa tilat, missä ainakin on syytä epäillä sisäilmaongelmaa. Käyttäjiltä saadaan myös tietoa näkyvästi vaurioituneista rakenteista ja teknisen riskiarvion perusteella voidaan määritellä, onko vauriokohteissa käytetty riskirakenteita. Käyttäjäkyselyä voidaan käyttää myös korjaustoimien onnistumisen indikaattorina. Uudella kyselyllä sisäilmakorjauksen jälkeen saadaan selville, onko oireilu vähentynyt kaikilla vai ovatko jotkut tilat vieläkin ongelmallisia. (Asikainen & Peltola 2010: 15.)

3.3 Homevaurion paikannus

Terveydensuojelulaissa terveyshaitalla tarkoitetaan ihmisessä todettavaa sairautta, muuta terveydenhäiriötä tai sellaisen tekijän tai olosuhteen esiintymistä, joka voi vähentää väestön tai yksilön elinympäristön terveellisyyttä (Työsuojelulaki 1 §).

Sisäilmaongelmaa voidaan pitää tämän määritelmän tekijänä tai olosuhteena, joka voi vähentää väestön tai yksilön elinympäristön terveyttä.

Homevaurion aiheuttamat sisäilmaongelmat voidaan todeta helposti, jos rakenteissa on silmin havaittavissa homekasvustoa. Sisäilmaongelman todentamisesta tulee haastavaa, kun pinnoilla ei ole havaittavissa minkäänlaisia ulkoisia merkkejä homeesta ja mikrobikasvustot ovat rakenteiden sisällä. (Terveyshaitan toteaminen 2015.)

Silmämääraisten havaintojen puuttuessa mutta oireilua aiheuttavassa rakennuksessa voidaan tehdä mikrobiologisia määrittämyksiä rakenteissa olevan mikrobikasvun tai mikrobien kulkeutumisen todentamiseksi. Mikrobimääriä voidaan mitata rakennusmateriaaleista ja sisäilmasta. Ennen näytteen ottamista on hyvä käydä läpi rakennuksen kosteusvaurioille alttiit rakenteet. Tällöin näytteenotto pystytään kohdistamaan tarkasti mahdollisesti mikrobivaurioituneille rakenteille. (Terveyshaitan toteaminen 2015.)

Terveyden ja hyvinvoinnin laitos suosittelee näytteen ottamista rakennusmateriaaleista silloin, kun mikrobikasvuston epäillään olevan huokoisessa tai helposti irtoavassa materiaalissa, kuten eristeissä tai kipsilevyn pinnalla. Pintakosteusmittaus on suositeltavaa tehdä silloin, kun silmämääräisellä tarkastelulla havaitaan kosteuden aiheuttamia jälkiä rakenteissa. Suoraan sisäilmasta otettavia näytteitä tarvitaan vasta sitten, jos vaurioitunutta kohtaa tai mikrobikasvustoa ei löydetä, mutta sisäilman haju tai tilan käyttäjien kokemat oireet viittaavat mikrobikasvustoon rakennuksessa. (Terveyshaitan toteaminen 2015.)

3.4 Ilmavuotojen paikantaminen

Rakennuksen tai huonetilan ilmatiiveyttä voidaan mitata painekokeella. Koe suoritetaan siihen tarkoitettulla laitteistolla, kuten kuvan 4. mukaisella BlowerDoor - tiiveydentestauslaitteistolla. Tiiveyttä mitataan tuottamalla tutkittavan rakennuksen tai rakennuksen osan ja ulkoilman välille 50 Pa:n paine-ero, jonka jälkeen mitataan paineeron säilyttämiseksi tarvittava ilmavirta. Mittaukselta varten kaikki tutkittavan tilan aukot rakennuksen vaipassa suljetaan tiiviisti. Mittauksen tuloksena saadaan tutkittavan tilan vuotoilmavirta. (EN-SFS 13829.)

$$n_{50} = \frac{q_{50}}{V}$$

jossa n_{50} = ilmavuotoluku [1/h]

q_{50} = vuotoilmavirta 50 pa paine-erolla [$\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$]

V = mitattavan tilan ilmatilavuus [m^3]



Kuva 4. Painekekeessa käytettävä mittauslaitteisto. (Ilmatiiveyden mittaaminen.)

Painekekeella saadaan selville rakennuksen tai erikseen tarkasteltavan tilan ilmatiiveys, mutta sisäilmaongelman korjaamisen kannalta yhtä tärkeää on löytää ilmavuotoreitit, joiden kautta epäpuhtauksia pääsee tilojen sisäilmaan. Vuotokohtat voidaan paikantaa lämpökuvauksella tai merkkiainekokeilla. Lämpökuvauksen huonona puolena on, että parhaan tuloksen saamiseksi kuvaus pitää suorittaa silloin,

kun sisä- ja ulkoilman välillä on tarpeeksi suuri lämpötilaero eli käytännössä talvella. (EN-SFS 13829.)

Merkkiainekoetta voidaan käyttää rakennuksen kuntotutkimuksessa sekä rakennusaikaiseen laadunvarmistukseen. Työmaalla merkkiainekokeita suorittaa yleensä tilaajan valtuuttama asiantuntijataho, mutta myös osalla tiivistyskorjauksia tekevistä urakoitsijoista on merkkiainekoelaitteisto, jolla voidaan varmistaa tiivistyskorjausten laatu ennen ulkopuolisen tahon suorittamaa koetta. (Sobott 2014: 10-12.)

Samoin kuin painekokeessa myös merkkiainekokeessa tarkasteltava tila alipaineistetaan kuvan 4. mukaisella puhaltimella. Ennen tätä tarkasteltavan tilan rakenteiden sisään vapautetaan merkkiainekaasua, joko typpivetykaasua tai rikkiheksafluoridia. Mittausvirheiden välttämiseksi merkkiainekaasu tulee laskea tutkittavaan rakenteeseen tilan ulkopuolella eli esimerkiksi ulkoseinän ilmapuotoja tutkittaessa lasketaan merkkikaasu rakenteeseen ulkoseinän tuuletusaukoista. (Sobott 2014: 10–12.)

Ilmapuotoreittejä etsitään kaasunilmaisimilla, kun kaasu on laskettu rakenteisiin ja tutkittava tila on alipaineistettu. Kaasunilmaisimella tarkastellaan mahdollisia vuotoreittejä esim. kuvan 2. mukaisista paikoista. Kaasunilmaisin antaa äänimerkin, kun se havaitsee kaasuvuodon sekä ilmaisimesta riippuen antaa mittausarvon välillä 0–1 000 ppm eli partikkelia miljoonassa. Tämä menetelmä sopii hyvin laadunvarmistukseen juuri tiivistyskorjausten jälkeen, mutta ennen pintarakenteiden valmistumista, sillä kaasunilmaisimen antaessa äänimerkin voidaan huonosti toimiva tiivistys vielä korjata helposti. (Sobott 2014: 10–12.)

3.5 Ilmanvaihdon toimintatarkastus

Ilmanvaihdon toimintatarkastuksella saadaan selville ilmanvaihtojärjestelmien yleinen kunto, puhtaus ja tekninen taso. Tarkastuksessa käydään läpi ilmanvaihtokoneiden puhaltimet, suodattimet, äänenvaimentimet sekä ilmanvaihtokoneiden yleinen kunto ja puhtaus. Ilmavirtoja on suotavaa tarkistaa niissä tiloissa, joissa käyttäjät ovat kokeneet sisäilmaongelman aiheuttamia oireita. Kanaviston tarkastus- ja puhdistusluukuista tarkistetaan silmämääräisesti ja kädellä pyyhkäisemällä tuloilmakanavien puhtaus.

Ilmanvaihtokoneen päätelaitteen äänenvaimennusmateriaalien kunto on tarkastettava, sillä rikkoontuneista äänenvaimennusmateriaaleista voi irrota kuituja. Ilmanvaihdon tasapainoisuutta arvioidaan ja tarvittaessa ilmanvaihdon toimintatarkastus voi sisältää hiilidioksidipitoisuuksien mittauksia. Ilmanvaihdon toimintatarkastuksella saadaan indikaatio siitä, ovatko mahdolliset sisäilmaongelman aiheuttamat oireet ilmanvaihdosta johtuvia vai onko vika vain rakenteissa. (Asikainen & Seppänen 2010: 18–19.)

3.6 Sisäilman laadun arviointi

Sisäilmaongelmaa voidaan havainnoida myös aistinvaraisesti ilmanvaihtojärjestelmän toimintatarkastuksen yhteydessä. Sisäilman laadun arvioinnissa etsitään mahdollisia pahoja hajuja ja niiden lähteitä. Arvioinnissa etsitään viemärinhajua, homeenhajua, ruokalan hajuja tai jonkin materiaalin hajua. Oikein toimivassa rakennuksissa ei pitäisi esiintyä selvästi havaittavia hajuja. Arvioinnin yhteydessä voidaan myös tarkastella pintojen pölyisyyttä, jotta siivouksen taso saadaan selville. Yleinen tunkkaisuus, jolle ei voida osoittaa tarkkaa lähdettä, voi olla merkki sisäilmaongelmasta ja tulee ottaa huomioon sisäilman laadun arviointia tehdessä. (Asikainen & Seppänen 2010: 18–19.)

4 Korjaustoimenpiteet

4.1 Sisäilmakorjauskohde

Tässä opinnäytetyön luvussa käydään läpi toimenpiteet, joilla pyritään parantamaan koulurakennusten ilman laatua lyhytkestoisessa sisäilmakorjausurakassa. Urakoiden keskeisiä toimenpiteitä ovat ilmatiiivistykset, minkä takia opinnäytetyössä käydään yleisimmät käytettävissä olevat ratkaisut läpi eri rakennedetailien tiivistykseen. Menetelmiä varten tutkittiin rakennsuunnittelijan tekemiä tiivistysdetaljeja ja monen kohteen perusteella valittiin tutkittavaksi työssä esitellyt menetelmät.

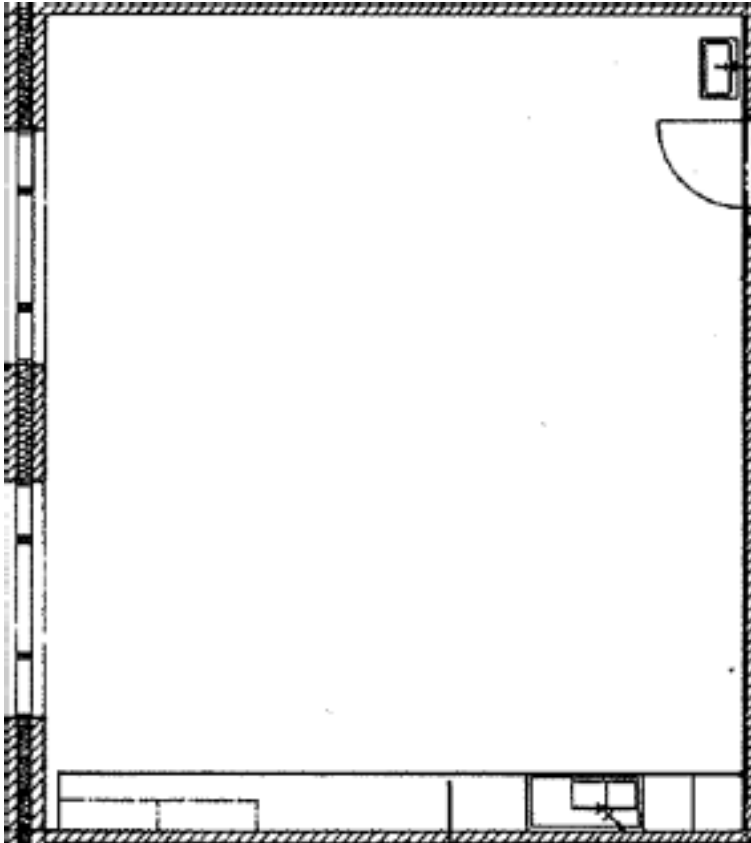
Tyypillinen NCC Rakennuksen KRE-yksikön toteuttama sisäilmakorjaushanke on n. kaksi kuukautta kestävä tiivistyskorjaus koulujen kesäloman aikana. Kohde on usein 1970–1980-luvulla rakennettu opetusrakennus. Opinnäytetyön esimerkki kohteena käytetään vuonna 1980 rakennettua yksikerroksista koulurakennusta, jossa on vanha tulo- ja poistoilmasta vastaava ilmastointikone. Tilaaja on tehnyt kuntoarvion ja suunnitelmat sisäilmaongelman korjaamiseksi. Koulun henkilökunta on kokenut huonosta sisäilmasta johtuvia oireita ympäri koulua. Aiemmin kohteessa on tehty vesikattoremontti sääsuojan alla. Remontin aikana ilmastointikone on ollut toiminnassa, ja yläpohjassa on liikuttu villojen päällä sekä sahattu moottorisahalla. Kaikki irronnut puupöly ja villakuidut ovat päässeet ilmanvaihtokanaviin ja sitä myöten luokkatilojen sisäilmaan.

Vesikattoremontin jälkeen koulussa ilmeni pahaa oireilua, jonka johdosta ilmastointikanavisto puhdistettiin, suodattimet vaihdettiin ja tiloissa tehtiin P1-luokan pölyttömäksi siivous. Huonosta sisäilmasta johtunut oireilu ei kuitenkaan loppunut näiden toimenpiteiden myötä, joten kouluun päätettiin tehdä tiivistyskorjauksia sekä ilmanvaihdon tehostamista uusilla luokkakohtaisilla ilmanvaihtokojeilla.

NCC Rakennuksen KRE-yksiköllä on kesäisin useita saman kaltaisia korjauksia käynnissä yhtä aikaa. Lisäksi kohteissa käytetään samankaltaisissa rakenteissa erilaisia tiivistysmenetelmiä ja materiaaleja, riippuen kohteen suunnittelijasta. Tässä opinnäytetyön luvussa perehdytään näihin menetelmiin ja materiaaleihin, jotta voidaan luoda työnjohtajalle ohje tiivistyskorjauksiin. Ohjeessa käydään läpi eri

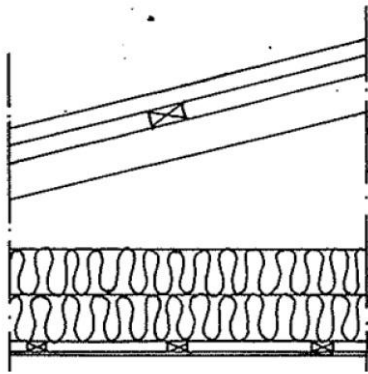
tiivistysmenetelmien ominaisuudet, käytettävät materiaalit ja tiivistyskorjausten laadunvarmistus.

Ohessa on liitetty pohjakuva ja vaipan rakennekuvat vuonna 1980 rakennetun koulun luokkahuoneesta, joka tiivistettiin kauttaaltaan. Malliluokassa käytettyjä tiivistämisratkaisuja vertaillaan muihin käytettävissä oleviin ratkaisuihin sekä käydään läpi muut toimenpiteet lyhytkestoisessa sisäilmaongelman korjausurakassa.



Kuva 5. Pohjakuva luokasta, johon tehtyjä tiivistyskorjauksia käytetään työohjeen laatimiseen. (Arkkitehtitoimisto Perko & Rautamäki Ky 1981.)

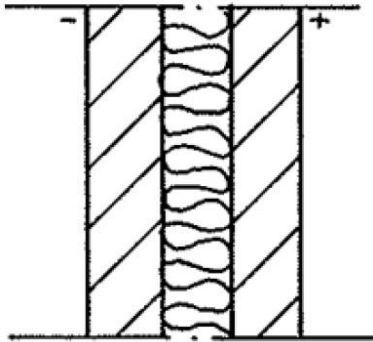
Kuvan 5. mukainen luokka valittiin opinnäytetyön malliluokaksi, sillä siinä on tiivistettävänä useita rakenteita ja rakenneliitoksia sekä siinä käytetään monia erilaisia tiivistysratkaisuja.



YLÄPOHJA

- peltikate
- ruoteet
- kattotuolit
- ilmatila
- kannattajat 50x150
- mineraalivilla 250 mm
- höyrynsulku
- koolaus 38x50mm
- kipsilevy 13mm

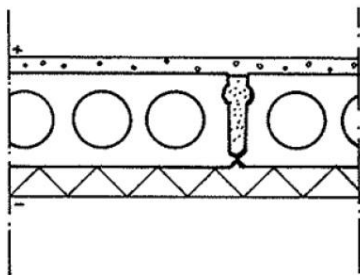
Kuva 6. Tiivistettävän luokkahuoneen yläpohjarakenne. (Arkkitehtitoimisto Perko & Rautamäki Ky 1981.)



ULKOSEINÄ

- poltettu savitiili 130mm
- mineraalivilla 125mm
- kalkkiahiekkatiili 130mm

Kuva 7. Tiivistettävän luokkahuoneen yläpohjarakenne. (Arkkitehtitoimisto Perko & Rautamäki Ky 1981.)



ALAPOHJA

- hovilaatta
- pintabetoni < 50mm
- ontelolaatta 265mm
- EPS-levy 100mm

Kuva 8. Tiivistettävän luokkahuoneen yläpohjarakenne. (Arkkitehtitoimisto Perko & Rautamäki Ky 1981.)

4.2 Tiivistysratkaisujen vertailu

Yleisimmät tiivistysratkaisut KRE-yksikön sisäilmakorjaustyömailla ovat butyyliisaumanauha, epoksinnoitteet, Ardex 8+9 -vedeneristemassa, TKR-pinnoite ja Blowerproof Liquid brush. Selvästi eniten käytetty näistä on butyylinauha, jota käytetään kaikissa sisäilmakorjauskohteissa. Vähiten taas käytetään epoksia tai Blowerproofia, joka on uusi tuote markkinoilla. Kaikille tiivistysratkaisuilla on oma käyttötarkoitus ja ne soveltuvat erilaisten rakenteiden tiivistykseen.

Ohessa on karkeasti laadittu taulukko tiivistysratkaisujen soveltuvuudesta eri rakenteisiin työmaakyselyiden perusteella. Taulukossa 3. on merkitty rastilla, jos tiivistysratkaisu sopii hyvin rakenteen tiivistykseen ja viivalla, jos tiivistysmenetelmää ei pystytä käyttämään tiivistämiseen, ilman työmäärän tai kustannusten kasvua.

Taulukko 3. Tiivistysratkaisujen soveltuvuus erilaisiin rakenteisiin työmaakyselyjen ja työmaiden sisäilmakorjaussuunnitelmien perusteella.

	Butyyli- auha	Epoksi	Ardex 8+9	TKR	Blowerpro- of
Lattian ja seinän välinen liitos	X	X	X	X	X
Katon ja seinän välinen liitos	X	-	X	X	X
Ikkunakarmien ja seinän välinen liitos	X	-	X	X	-
Yläpohjan tiivistys	X	-	-	X	X
Alapohjan tiivistys	-	X	-	X	-
Ulkoseinän tiivistys	-	-	-	X	X
Läpivientien tiivistys	-	-	X	-	X
Liikuntasaumot	X	-	X	X	X

4.3 Tiivistysratkaisut

Yleisimpiä tiivistysmateriaaleja ovat erilaiset muovi- ja epoksinnoitteet, vedeneristysmassat sekä joustavat teipit ja vahvikekankaat. Tiivistysmateriaalit tulevat usein rakenteiden liitoksiin, joten niiden tulee kestää rakenteiden lämpö- ja kosteusoloista johtuvat muodonmuutokset. Kaikille tiivistysmenetelmille yhteistä on pohjatöiden tärkeys, sillä kestävä tiivistyskorjaus vaatii materiaaleille hyvän tartunnan alustaansa.

Butyylinauha

Kaasutiivis itseliimautuva butyyli on yleisin tiivistysmenetelmä rakenteiden liitoksia sekä liikunta- ja puskusaumoja tiivistettäessä. Erityisen hyvin butyylinauha soveltuu ikkunan ja kuvan 7. mukaisen seinän välisen liitoksen tiivistämiseen sillä butyylinauha ei valu eikä sotke, joten ikkunat pysyvät puhtaana butyylinauhalla tiivistettäessä. Butyylinauhaa voidaan käyttää yksin tai sitä voidaan käyttää yhdessä muiden tiivistysmateriaalien kanssa. Butyylinauhan asennuksessa tärkeintä on hyvät pohjatyöt, jotta nauha tarttuu alustaansa. (Materiaali-info 2015.)

Tiivistystöissä käytetään yleensä joko Codex BST 75- tai Ardex BST 75-butylinauhoja. Nauhat soveltuvat lähes kaikille rakennusmateriaaleille esim. sileiden, tiiviiden tasoite- ja betonipintojen päälle, kipsitasotteiden päälle, kipsi- ja rakennuslevyjen päälle, keraamisten laattojen päälle, puu-, muovi- ja metallipinnoille, kaikille liimaa kestäville pinnoille sekä ikkuna- ja ovikarmeihin. (Materiaali-info 2015.)

Rakenteiden liitosten tiivistäminen butyylinauhalla alkaa alustan kunnostuksella. Alustan kunnostus ulotetaan seinällä 50 mm ja lattiassa 10 mm butyylinauhaa leveämmälle alueelle. Tiivistyskohdasta riippuen poistetaan jalkalistat lattiarajasta, kattolistat seinien ja katon liitoskohdista vuorilistat ikkunoiden ympäriltä. Alustasta poistetaan tapetit ja kaikki muut pinnoitteet kuin hyvin kiinni olevat maalit. Liimajäämät, kitit ja pinnasta koholla olevat epätasaisuudet poistetaan. (Materiaali-info 2015.)

Ikkunakarmit hiotaan karheaksi ja imuroidaan sekä pyyhitään nihkeällä rätillä. Jos ikkunoiden eristeet ovat puutteelliset kaivetaan vanha uretaani pois puukolla ja pursotetaan uusi tilalle, joka leikataan karmin tasoon. Näin saadaan ikkunan karmin ja seinän välisestä raosta tasainen, johon butyylinauha liimautuu tehokkaasti. (Materiaali-info 2015.)

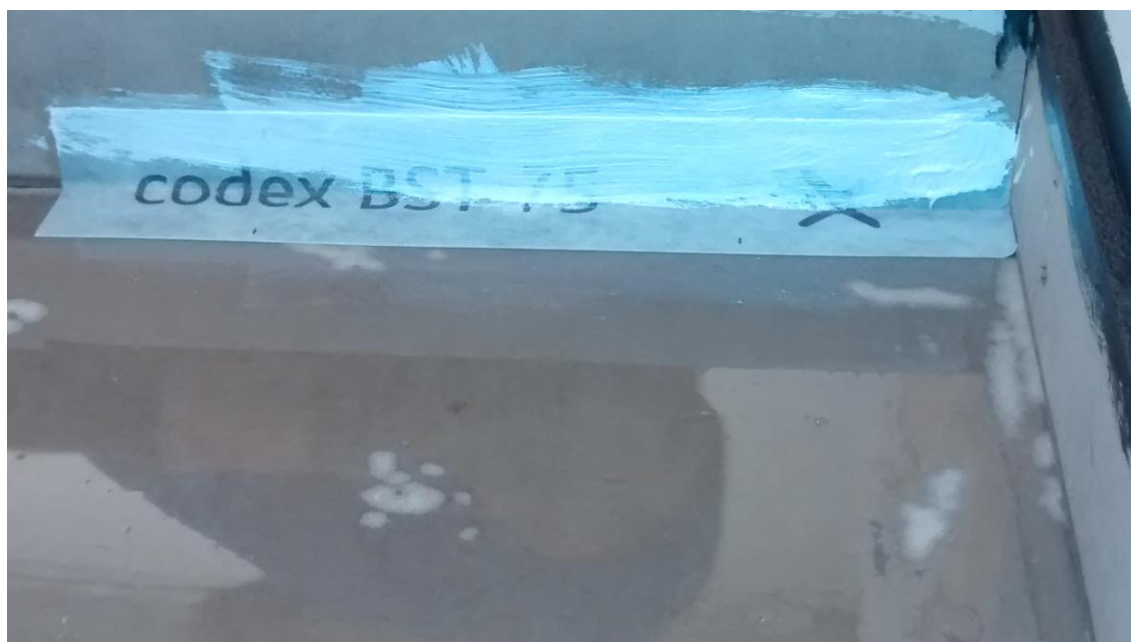
Seinä- ja lattiapinta puhdistetaan hiomalla pinnat kauttaaltaan. Lattiapinnoilta hiotaan pinnasta riippuen vaha, lika, sementtiliima ja muut kohoumat. Pinnat myös imuroidaan ja pyyhitään nihkeällä rätillä. Hionnan ja puhdistuksen jälkeen alustassa olevat kolot ja porareivät täytetään korjauslaastilla. Puhtaaksimuuratuilla kuvan 7. tiiliseinillä tasoitetaan koko seinän ala- ja yläosat toiseen muuraussaumaan saakka lattiasta ja katosta katsoen. Tämän varmistetaan vielä, ettei pinnoille jää pölyä, minkä jälkeen levitetään tartuntapohjustin 5 mm butyylinauhaa leveämmälle alueelle. Alustan pohjatöillä varmistetaan butyylinauhan hyvä ja kestävä tartunta alustaan. (Materiaali-info 2015.)



Kuva 9. Kahden ikkunan karmin välinen tiivistys butyylinauhaa käyttäen sekä ikkunoiden ja seinän välinen tiivistys.

Butyylinauha on itsestään liimautuva, ja siinä on valmistajasta riippuen joko kaksiosainen tai yksiosainen suojapaperi. Kaksiosaisella suojapaperilla varustettu butyylinauha on helpompi asentaa, mikä ehkäisee virheitä asennustyössä ja näin parantaa tiivistyskorjausten toimivuutta. Nauha asennetaan poistamalla ensiksi pieni osa toisesta suojapaperista ja painetaan nauha kiinni alustaan. Alkutartunnan jälkeen poistetaan toinen suojapaperi hitaasti, samalla painaen teippiä kiinni alustaan. Toinen suojapaperi on koko ajan paikallaan, kunnes ensimmäinen puoli nauhasta on liimattu kauttaaltaan alustaan. (Materiaali-info 2015.)

Ennen toisen suojapaperin poistamista varmistetaan, ettei butyylinauhaan jäänyt ryppyjä ja telataan nauha saumatelalla kolme kertaa tarttuvuuden varmistamiseksi. Tämän jälkeen toinen suojapaperi otetaan hitaasti irti samalla nauhaa painaen siten, ettei nauhaan tule ryppyjä eikä nurkka jää pyöreäksi. Butyylinauhatiivistys viimeistellään telaamalla toinenkin puoli kolme kertaa saumatelalla. Tiivistysnauha pitää asentaa kerralla alustaansa, sillä kuivunut nauha ei enää tartu myöhemmin. Nauhaa ei saa painaa kiinni lastalla tai millään muullakaan terävällä, ettei tiivistys vaurioidu.



Kuva 10. Malli lattian ja seinän välisestä tiivistyksestä käyttäen Codex BST 75-butylinauhaa.

Epoksit

Epoksinnoitteet sopivat parhaiten lattioiden (Kuva 8.) tiivistämiseen, mutta myös lattia- ja seinän väliseen tiivistykseen, jos lattian raja on huonossa kunnossa tai erittäin kostea. Epoksia voidaan käyttää betonilaatoilla sekä pinnan lujittamiseen huokoisilla tai vaurioituneilla alustoilla. (Materiaali-info 2015.)

Epoksilla voidaan kaikista tehokkaimmin kapseloida betoniseen alapohjaan imeytyneet haitta-aineet samalla, kun lattiasta tehdään ilmatiivis. Epoksipohjustimia voidaan käyttää yhdessä butyyliinauhoiden kanssa siten, että lattia käsitellään kerran epoksilla, minkä jälkeen asennetaan tiivistenauha seinän ja lattian väliseen liitokseen. Tämän jälkeen lattia käsitellään toisen kerran epoksilla. Kuvassa 10. Codex–nauhan alla on käytetty Uzin PE 460-epoksipohjustinta, joka on M1-luokiteltu. (Materiaali-info 2015.)

Myös epoksipohjustimia käytettäessä alustan kunnostus on tärkeässä roolissa, kun tavoitellaan tiivistyksille pitkää käyttöikää. Alustasta tulee poistaa kaikki tartuntaa heikentävät aineet kuten lika, öljy ja rasva. Lisäksi kaikki pehmeät tai huonosti alustassa kiinni olevat kerrokset tulee poistaa. Varsinkin sementtiliima pilaa epoksinnoituksen, jos sitä hiota pois. Lattian halkeamat ja kolot tulee myös täyttää tarpeeksi kestävällä tasoitteella ennen epoksipohjustusta. (Materiaali-info 2015.)

Ardex 8+9

Ardex 8+9 on kaksikomponenttinen kaasutiivis vedeneristemassa, jolla on M1-luokitus ja jota voidaan käyttää myös sisäilmakorjauksissa ilmavuotojen tiivistykseen. Ardex 8+9 sopii hyvin käytettäväksi yhdessä butyyliinauhan kanssa, tällöin nauhan alle levitetään ensin yksi kerros Ardex 8+9 -vedeneristemassaa, jonka jälkeen asennetaan butyyliinauha. Butyyliinauhan päälle tulee vielä toinen kerros veden eristettä, jolla varmistetaan kestävä tiivistys ratkaisu. (Ardex 8+9.)

Ardex 8+9 soveltuu erinomaisesti sellaisiin paikkoihin, joihin epoksia tai butyyliinauhaa on hankala laittaa, kuten seinillä ja katoissa (Kuva 11.) olevien läpiviennin tiivistykseen. Myös lattialäpiviennit ovat nopeasti tiivistettävissä vedeneristemassaa käyttäen.



Kuva 11. Yläpohjan läpivienti on tiivistetty Ardex 8+9 -vedeneristemassalla.

Ardex 8+9 -vedeneristemassat sopivat parhaiten piiloon jääviin rakenteisiin, sillä mustan värin yli joutuu maalaamaan useasti ja eräässä kohteessa huomattiin, että paljas kerros Ardex 8+9 -massaa alkaa hapertumaan ajan kuluessa, mikä rikkoo ilmatiiviin kerroksen.

TKR

TKR-peruspinnointe on kaksikomponenttinen elastomeeripinnoite, joka soveltuu ilmavuototiivistyksiin ja haitta-aineiden hallintaan. TKR-pinnoitetta voidaan käyttää betoni-, kipsi-, puu- ja teräspinnoille. Pinnoitteella voidaan tiivistää seinän ja lattian, seinän ja katon sekä ikkunan ja seinän välisiä liitoksia. Sillä voidaan myös kapseloida

kokonaisia kattoja sekä lattioita. Parhaiten TKR sopii juuri kattojen (Kuva 6.) ja lattioiden (Kuva 8.) tiivistykseen. (Ilmavuototiivistys. 2014.)

TKR-pinnoitteen etuna on se, että peruspinnoitteen päälle tulee kaksi kerrosta TKR hyytelöä, joka tekee siitä valmiin kulutus pinnan useilla eri väri vaihtoehdoilla. Toisaalta kaksikomponenttinen peruspinnoite, jonka päälle tulee vielä kaksi kerrosta jäykkää hyytelöä on hitaampi ratkaisu pienten tiivistysten tekemiseen kuin esimerkiksi butyylinauha. TKR-pinnoitteelle on tehty haitta-aineiden läpäisevyytutkimus sekä se on M1-luokiteltu. (Ilmavuototiivistys 2014.)

Kuten muidenkin tiivistysmenetelmien myös TKR-pinnoituksen onnistumisen kannalta tärkein työvaihe on alustan pohjatyöt. Pinnoitettavalta alustalta tulee poistaa vanhat maalit ja liimat hiomalla. Kohoumat ja halkeamien irtaines poistetaan, jonka jälkeen halkeamat voidaan täyttää liimatiivistemassalla. Lopuksi pölyt imuroidaan ja pinta pyyhitään nihkeällä rätillä. TKR-pinnoite ja hyytelöt voidaan telata alustaan. Ruiskuttaminen on hankalaa TKR:llä, sillä työskentelyaika on melko lyhyt vain noin 25 minuuttia.

Blowerproof Liquid

Blowerproof Liquid on Suomessa melko uusi rakenteiden tiivistämiseen käytettävä materiaali. Blowerproof Liquid on vesiohenteinen, nestemäinen, kovettuessaan elastinen pinnoite, joka kestää myös kosteutta. Tuote on polymeeripohjainen pinnoite, jota voidaan levittää telalla, siveltimellä tai ruiskuttamalla. Kuivuessaan se muodostaa ilmatiiviin joustavan kalvon. (Materiaali-info 2015.)

Blowerproof Liquid on vasta saanut M1-luokituksen Suomessa, joten sen käyttö on ollut vielä vähäistä kuntien omistamissa opetusrakennuksissa. Blowerproof Liquid kuitenkin sopii tiivistyskäyttöön, kun tiivistettäviä tiloja on useita ja aikataulu on tiukka. Tällöin tiivistettävät luokahuoneet voidaan ruiskuttaa nopeasti. Erityisen hyvin tämä menetelmä sopii puhtaaksi muurattujen seinien (Kuva 7.) tiivistämiseen. Vaihtoehtona pahasti halkeilleen tiiliseinän tiivistämiselle on ylitasoitus kuituvahvisteisella tasoitteella, jota ennen halkeamat teipataan butyylinauhalla. Ruiskuttamalla seinät Blowerproofilla säästetään aikaa, kun tiivistettäviä seiniä on tarpeeksi monta. (Materiaali-info 2015)

Ruiskutuksen lisäksi pensselillä levitettävä kuituvahvistettu Blowerproof Liquid Brush sopii hyvin pienempien ilmapuoreittien tukkimiseen esimerkiksi merkkiainekokeen yhteydessä. Blowerproofia on saatavilla kahdessa eri värissä. Valkoinen väri sopii hyvin hankaliin paikkoihin, joissa on paljon pieniä koloja, sillä valkoisesta väristä näkee ovatko kaikki pienetkin reiät peittyneet. Sininen väri, joka muuttuu kuivessaan mustaksi, sopii piiloon jääviin rakenteisiin ja siitä huomaa ilman koskettamista, milloin ilmatiivis kerros on kuiva ja valmis pinnoitettavaksi. (Materiaali-info 2015.)

Tuote sopii käytettäväksi yhdessä butyyli nauhan kanssa nurkkien, rakenteiden liitosten ja halkeamien tiivistykseen. Blowerproofilla on hyvä tartunta erilaisiin rakennusmateriaaleihin, mutta silti tämän tiivistysmenetelmän käyttö vaatii hyvät pohjatyöt. Epätasaiset alustat hiotaan ja kolot täytetään tasoitteella ennen Blowerproofin käyttöä. Pölyt imuroidaan ja alusta pyyhitään nihkeällä rätillä. Ennen tiivistyksen asentamista alusta sivellään primerillä. Yhdessä butyyli nauhan kanssa levitetään alustaan ensin yksi kerros Blowerproofia, jonka kuivuttua asennetaan butyyli nauha. Tämän jälkeen tiivis kerros varmistetaan toisella kerroksella Blowerproof Liquid Brushia. (Materiaali-info 2015.)

4.4 Muut toimenpiteet

KRE:n toteuttamien sisäilmakorjauskohteiden työskentelyaika on noin kaksi kuukautta. Tämän takia urakat keskittyvät ilmatiivistykseen, mutta muillakin toimenpiteillä voidaan vaikuttaa koulujen sisäilman laatuun.

Sisäilmakorjauksen onnistumisen kannalta pelkkä ilmatiiveyden parantaminen ei riitä, kaikki havaitut sisäilmaongelmien mahdolliset aiheuttajat pitää pyrkiä poistamaan rakenteista.

Vanhoissa koulurakennuksissa näkee heti luokkatiloihin astuessa useita hengitysteitä ärsyttäviä hiukkasia ja kuituja päästäviä materiaaleja. Pellavakuiduista tehdyt ilmoitustaulut, vanhat pölyiset liitutaulet ja taulusienet sekä pinnoittamattomat akustointilevyt keräävät pölyä ja päästävät sisäilmaan kuituja. Urakan yhteydessä mainitut materiaalit poistamalla voidaan vaikuttaa sisäilman laatuun, ja uudistunut ilme luokkahuoneissa luo käyttäjille paremman vaikutelman sisäilmakorjauksen

onnistumisesta. Monet koulut ovat siirtyneet jo pois liitutauluista, joten niiden pois heittäminen remontin aikana ei aiheuta suuria kustannuksia.

Pelkillä rakenteiden liitosten ja saumojen tiivistämisellä voidaan saada tilasta ilmatiivis, mutta käyttäjät eivät tätä välttämättä huomaa, sillä kaikki ko. tiivistykset jäävät piiloon listojen alle. Seinäpintojen huoltomaalauksella saadaan luokkatiloihin uusi ilme ja käyttäjä huomaa, että tiloille on tehty jotain. Tämä voi vaikuttaa käyttäjien kokemukseen sisäilmakorjausten onnistumisesta alitajuntaisesti.

Lyhytkestoisten sisäilmakorjaus urakoiden aikana ei ennätetä uusimaan koko koulun kiintokalustusta, vaikka usein vanhojen lastulevykalusteiden sokkelit ovat turvonneet kosteudesta, joka aiheutuu liiasta veden käytöstä siivouksen yhteydessä. Kostuneet kalustesokkelit ja kalusteiden aluset ovat otollinen paikka mikrobikasvustolle. Kustannustehokas vaihtoehto kalusteiden vaihtamiselle on vain kostuneiden sokkeleiden vaihto muovisiin jalkoihin. Näin päästään eroon mahdollisista mikrobikasvustoista sekä siivous helpottuu, koska myös kalusteiden alta päästään siivoamaan. Aikataulullisesti toimenpide ei hidasta töitä, sillä kalusteet pitää ottaa irti seinustoilta muutenkin tiivistyskorjausten tieltä.

Sisäilmaongelman hallinnan kannalta tulee lyhytkestoisen urakan aikana vähintään tasapainottaa ilmanvaihto. Myös suodattimet kannattaa vaihtaa sekä tilojen poistoventtiilit puhdistaa. Parhaassa tapauksessa lyhytkestoisen sisäilmakorjausurakan aikana voidaan asentaa luokkiin erilliset, luokkakohtaiset ilmanvaihtokojeet.

Usein vanhoissa koulurakennuksissa on jonkinlainen ryömintätila, jonka tuuletus on vajavainen, tilassa on orgaanista materiaalia tai siellä käytetty sepeli on mikrobivaurioitunutta. Alapohjan tiivistäminen estää mikrobien pääsyn huonetiloihin, mutta vaurioituneet materiaalit tulee aina poistaa ryömintätilasta. Ryömintätilaan johtavien luukkujen vaihtaminen kaasutiiviisiin luukkuihin auttaa myös sisäilmaongelman hallinnassa.

5 Uusi työohje työnjohtajalle

Opinnäytetyön tavoitteena oli laatia työohje ja laadunvarmistusmenettely KRE:n lyhytkestoisia sisäilmakorjausurakoita varten. Näiden perustana käytettiin aiemmin toteutetuissa projekteissa havaittuja ongelmakohtia sekä keskusteluja suunnittelijoiden, työmaahenkilöiden ja tilaajapuolen kanssa. Työohjetta alettiin luomaan, koska KRE:n toteuttamat sisäilmakorjausurakat alkavat usein lyhyellä varoitusajalla ja niitä saattaa käynnistyä useita yhtä aikaa.

Työohje sopii etenkin työnjohtajille, jotka eivät ole aiemmin olleet toteuttamassa, sillä sen avulla he saavat nopeasti käsityksen, minkä takia sisäilmaongelmakorjauksia tehdään ja millä menetelmillä voidaan lyhyessä ajassa parantaa opetusrakennuksen sisäilman laatua. Työohje sisältää myös työntekijälle tarkoitetun laadunvarmistusmenettelyn, jossa työntekijä kuittaa työt tehdyksi menettelyn ohjeen mukaan.

Työohje alkaa sisäilmakorjauskohteen hankesuunnitteluvaiheen selostamisella, vaikka urakoitsija ei aina siihen osallistukaan. Ohjeessa selvitetään lyhyesti, mistä korjaukset johtuvat ja kuinka sisäilmakorjaushanke lähtee etenemään. Ohjeessa selostetaan myös eri tiivistysmenetelmät ja niiden käyttö eri rakenteissa.

Ohjeeseen mukaan tuleva laadunvarmistusmenettely keskittyy tiivistyskorjausten pohjatöiden sekä tiivistysnauha-asennusten laadun varmistamiseen, sillä ne ovat tiivistyskorjausten kriittisimmät osa-alueet. Lisäksi ohjeessa painotetaan tilojen osastoinnin ja alipaineistuksen merkitystä, koska hyvällä pölyhallinnalla estetään mahdollisesti mikrobeja sisältävän pölyn leviäminen muihin tiloihin työturvallisuuden edistämisen lisäksi.

Ohjeeseen valittiin mukaan myös loppusiivous, dokumentointi ja havainnointi. Pintarakenteita purettaessa voidaan löytää aiemmin havaitsemattomia kosteusvaurioita, jotka tulee välittömästi dokumentoida ja viedä tieto eteenpäin tilaajalle. Sisäilmakorjauskohteissa dokumentointi on suuressa roolissa tiivistyskorjausten onnistumisen kannalta. Kaikkien tehtyjen tiivistysten ilmapitävyys tulee varmistaa merkkiainekokein, jotka dokumentoidaan. Näin osoitetaan tilaajalle, että korjaustoimenpiteet ovat onnistuneet. Sisäilmakorjauskohteissa ilmanlaatu on ollut

aiemmin huono, joten korjausten onnistumisen kannalta tulee siivous tehdä tarkasti, monesti P1-luokan mukaan, ettei remontissa syntynyt pöly aiheuta oireilua käyttäjille.

6 Tulokset

Opinnäytetyön tuloksena syntyi laadunvarmistusmenettely, jota tullaan käyttämään tulevissa sisäilmakorjaus urakoissa varmistamaan ilmatiiveyskorjauksien onnistuminen. Laadunvarmistusmenettely kohdistettiin eri tiivistysratkaisujen pohjatöihin ja butyyliinahan asennuksiin, sillä ne ovat usein epäonnistuneiden tiiveyskorjausten suurimmat puutteet. Tarkastuskortissa on avattu töiden laatuvaatimuksia ja töiden etenemisen seuraamiseksi mukana on eri työvaiheet, jotka työntekijä kuittaa tehdyksi. Laadunvarmistusmenettelyssä haluttiin tuoda laatuvaatimukset selvästi työntekijälle, joka myös kuittaa itse työt tarkastettavaksi. Kolmiportaisella tarkastuksella, johon kuuluu työntekijä, työnjohtaja ja valvoja, varmistetaan ilmatiiveyskorjausten pitävyys.

Laadunvarmistusmenettelyn lisäksi opinnäytetyön tuloksena luotiin työohje sisäilmaongelmakohteesta työnjohtajalle. Kaikki tavoitteet työohjeen tekemisessä eivät täyttyneet, sillä esimerkiksi työ- ja tarkastusaikataulupohja jäi laatimatta. Ohje onkin enemmän opinnäytetyön teoriaosion kertausta. Ohjeessa käydään läpi sisäilmaongelmien havaitseminen, mahdolliset aiheuttajat ja korjaustoimenpiteet. Ohje sisältää kuitenkin yleistä asiaa työmaakäytännöistä ja muista tehtävistä.

Laadunvarmistusmenettelyä ja ohjetta ei ole päästy käyttämään vielä työmaalla, mutta seuraavassa lyhytkestoisessa sisäilmakorjauskohteessa pyritään käyttämään opinnäytetyön tuloksia hyödyksi.

7 Lopuksi

Opinnäytetyössä tutkittiin sisäilmaongelmien aiheuttajia sekä käytiin läpi tapoja, joilla voidaan toteuttaa sisäilmakorjaus koulurakennuksissa lyhyessä ajassa niin, ettei koulun tarvitse olla kiinni kesken lukuvuoden. Työn alussa käytiin läpi, kuinka yleisiä sisäilmaongelmat ovat ja kuinka suuri kansanterveydellinen vaikutus huonolla sisäilmaongelmalla on. Opinnäytetyössä onnistuttiin löytämään useita rakennusmateriaaleja, jotka saattavat aiheuttaa sisäilmaongelmia sekä toimenpiteitä, joilla pystytään ehkäisemään näistä materiaaleista johtuvaa sisäilman laadun heikkenemistä.

Opinnäytetyössä keskityttiin suurimmaksi osaksi ilmapuotojen tiivistyskorjauksien selittämiseen, sillä ilmatiiveyskorjaukset ovat yleisin tapa toteuttaa lyhytkestoisia sisäilmakorjausrakenteita. Tiivistyskorjauksia varten opinnäytetyössä käytiin läpi erilaisia tiivistettäviä rakenteita sekä menetelmät, joilla niitä tiivistetään.

Opinnäytetyössä selvitettiin myös ilmanvaihdon vaikutusta koulujen sisäilmaongelmaan. Todettiin, että ilmanvaihto on usein puutteellisesti huollettua ja teknologia on vanhentunutta. Ilmanvaihdon tehostamista varten käytiin läpi toimenpiteitä, vaikka opinnäytetyö ei suoranaisesti LVI-tekniikkaan liity.

Opinnäytetyön tuloksien pohjalta saatiin tehtyä työnjohtajalle työohje sekä laadunvarmistusmenettely pohjatöille ja butyyliinauha-asennuksille. Jatkossa työohjetta voisi kehittää eteenpäin isommillekin korjaustyömaille. Ilmatiiveystarkastelua voitaisiin käyttää hyväksi jopa uudisrakennuspuolella. Työohjetta voisi jatkossa syventää ja siihen voidaan laatia aikataulupohja nopeille sisäilmakorjauksille. Sisäilmaongelmien korjausten lisääntyessä olisi syytä harkita merkkiainekoelaitteiston hankkimista yrityksen toteuttavalle organisaatiolle.

Lähteet

Aatsalo, Johanna. Tiivistyskorjauksen elinkaari on ehkä vain viisi vuotta. Rakennuslehti 10.10.2014. Verkkodokumentti <<http://www.digipaper.fi/rakennuslehti/125323/index.php?pgnumb=4>>. Luettu 23.10.2015.

Asbesti. 2015. Verkkodokumentti. Työsuojeluhallinnon verkkopalvelu. <<http://www.tyosuojelu.fi/tyoolot/rakennusala/asbesti>>. 16.10.2015 Luettu 13.9.2015.

Asikainen, Vesa & Peltola, Susanna. 2011. Sisäilmaongelmaisten koulurakennusten korjaaminen. 3. painos. Sastamala: Opetushallitus.

Ardex 8+9. Ardex Oy. Verkkodokumentti. <<http://www.ardex.fi/wp-content/uploads/2015/10/ARDEX-8-9.pdf>>. Luettu 12.9.2015.

Arkkitehtitoimisto Perko & Rautamäki Ky. 1981. Esimerkkikohteen arkkitehtipiirustukset

EN-SFS 13829. 2000. Thermal performance of buildings. Determination of air permeability of buildings. Fan pressurization method. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

Hyvinvointi on toimintakykyä ja osallisuutta. 2014. Sosiaali- ja terveysministeriö. Verkkodokumentti. <http://fi.opasnet.org/fi_wiki/images/f/f3/STM_julk_2014_13_tulevaisuuskatsaus_verkko.pdf>. Luettu 9.9.2015.

Ilmatiiveyden mittaaminen. Verkkodokumentti. Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy. <<http://www.isover.fi/ratkaisut/uudisrakentaminen/ilmatiivis-rakentaminen/ilmatiiviyden-mittaaminen>>. Luettu 10.10.2015.

Ilmanvaihdon vaikutus. 2008. Verkkodokumentti. Sisäilmayhdistys ry. <<http://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Sisailmasto/Ilmanvaihdon-vaikutus>>. Luettu 15.10.2015.

Ilmavirtaukset rakennuksessa. 2008 Verkkodokumentti. Sisäilmayhdistys ry. <<http://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Kosteustekninen-toiminta/Ilmavirtaukset-rakennuksessa>>. Luettu 15.10.2015.

Ilmavuototiivistys. 2014. Verkkodokumentti. TKR Marketing oy. <<http://www.tkr.fi/tuotteet/ilmavuototiivistys>>. Luettu 1.11.2015.

Korjausrakentaminen 2013. Verkkodokumentti. Tilastokeskus. <https://www.tilastokeskus.fi/til/kora/2013/02/kora_2013_02_2014-11-07_fi.pdf>. Luettu 10.9.2015.

Koski, Hannu & Kivimäki, Christian. 2012. Rakentamisen tuotantotekniikka- E-kirja. Rakennustieto Oy.

Kosteus ja homealkoot. Verkkodokumentti. Ympäristöministeriö.
<korjaustieto.fi/viranomaistieto/strategiat-ja-ohjelmat/kosteus-ja-hometalkoot.html>.
Luettu 1.9.2015.

Kukkonen, Esko. Ministeri Pia Viitanen Oulussa: Ennakoiva korjausrakentaminen on tärkeää. Verkkodokumentti. Sisäilmayhdistys.
<<http://www.sisailmauutiset.fi/?p=1531#more-1531>>. Luettu 2.9.2015.

Kumpi on terveellisempi, hengittävä vai pullotalo. 2014. Video. Rakennuslehti.
<<http://www.rakennuslehti.fi/2014/10/kumpi-on-terveellisempi-hengittava-vai-pullotalo/>>. Luettu 9.10.2015.

Materiaali-info. Betton Oy. Koulutustilaisuus. 30.10.2015.

Ojala, Kari. 2013. Talon ilman hometta. Riika: Into Kustannus Oy.

Palomäki, Eero. Rakennuksen kunto ja sisäilma. 2009. Verkkodokumentti. Työterveyslaitos.
<<https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10250/8172/Rakennuksenkuntojasisailma.pdf?sequence=2>>. Luettu 3.9.2015.

Pölyn aiheuttamat haitat. 2004. Verkkodokumentti. VTT.
<http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/polyverkko/kpl_1_4.htm>. Luettu 15.9.2015.

Rakennuksen lämmöneristys. 2010. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa C3. Helsinki: ympäristöministeriö

Rakennusten kosteus- ja homeongelmat. 1/2012. Verkkodokumentti. Eduskunnan tarkastusvaliokunnan julkaisu.
<https://www.eduskunta.fi/FI/tietoeduskunnasta/julkaisut/Documents/trvj_1+2012.pdf>.
. Luettu 27.9.2015.

Ratu 437-T. Sisäilmastoluokitus 2008. Sisäympäristön tavoitearvot, suunniteluohjeet ja tuotevaatimukset. 2009. Sisäilmastoyhdistys ry.

Seppänen, Olli & Seppänen, Matti. 2010. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka. Porvoo: SIY Sisäilmatieto Oy.

Sobott, Jimmy. 2014. Tiiveystarkastelut ja tiivistyskorjaukset toimisto- ja palvelurakennuksiin. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö, Insinööri (Ylempi AMK).

Terveydensuojelulaki 19.8.1994/763.

Terveyshaitan toteaminen. Päivitetty 17.6.2015. Verkkodokumentti. Terveden ja hyvinvoinnin laitos. <<https://www.thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/sisailma/hometalo-ja-kosteusvaurio/terveyshaitan-toteaminen>>. Luettu 20.10.2015.

Vantaalla vain yksi 26:sta hometalon tiivistyskorjauksesta onnistui. 9.10.2015. Verkoartikkeli. Rakennuslehti. <<http://www.rakennuslehti.fi/2015/10/vantaalla-vain-yksi-26sta-hometalon-tiivistyskorjauksesta-onnistui/>>. Luettu 14.10.2015.

Valtakunnalliset kosteus- ja hometalkoot. 2015. Talotekniikka lehti. <<http://talotekniikka-lehti.fi/2015/05/12/valtakunnalliset-kosteus-ja-hometalkoot/>>. Luettu 1.9.2015.

Valtioneuvoston asetus 318/2006.

Vinha, Juha, Korpi, Minna, Kalamees, Targo, Jokisalo, Juha, Eskola, Lauri, Paljonen, Jari, Kurnitski, Jarek, Aho, Hanna, Salminen, Mikko, Salminen Kati & Keto, Matias. 2009. Asuinrakennusten ilmanpitävyys, sisäilmasto ja energiatalous. Tampere: Tampereen Teknillinen Yliopisto, Rakennustekniikan laitos, Rakennetekniikka.

Tarkastuskortti butyyliinaiha asennukseen ja tiivistysratkaisujen pohjatöille

Uusi laadunvarmistumenetelmä NCC Rakennuksen KRE yksikön sisäilmakorjaustyömaille. Tarkastuskortti sisältää laatuvaatimukset ja tarkastettavat työvaiheet tiivistyskorjausten alustan kunnostukseen ja butyyliinaihan asennukseen.

Työmaa:	Päivämäärä:
Työnumero:	Työnjohtaja:

Huone / Tila:

POHJATÖIDEN TARKASTUS TIIVISTYSKORJAJUKSIIN

Ennen tiivistystöiden aloittamista tulee pohjatyöt tehdä huolella ja hyväksyttää valvojalla. Seuraavat asiat tulee ottaa huomioon pohjatöitä tehtäessä.

Ennen pohjatöitä:

- Tila on pölysuojattu osastoimalla ja alipaineistamalla ja tilassa on jäteastia
- Tilaan jäävät kalusteet ja tavarat on suojattu
- Pintarakenteet on purettu tiivistettäviltä alueilta

Pohjatöiden laatuvaatimukset

- Tiivistysnauhan alustan kunnostus ulotetaan seinällä 50mm ja lattialla 10mm nauhaa leveämmälle alueelle
- Alustasta poistetaan kaikki muut pinnoitteet paitsi hyvin kiinni olevat maalit
- Liimajäämät, kitit, vaha ja kaikki muut pinnasta koholla olevat epätasaisuudet poistetaan
- Puupinnat hiotaan karheaksi
- Tiilisaumat, halkeamat ja kolot tasoitetaan määrättyllä tasoitteella
- Pinnat imuroidaan ja pyyhitään nihkeällä rätillä pölystä
- Pölyttömyys tarkastetaan mustalla mikrokuitukäsineellä. Harmaat jäämät käsineessä ovat pölyn merkki!

Työvaiheet

Tila on suojattu ja alipaineistettu	<input type="checkbox"/>	Pintarakenteet purettu	<input type="checkbox"/>
Alustan epätasaisuudet poistettu	<input type="checkbox"/>	Tiilisaumat, halkeamat ja kolot tasoitettu	<input type="checkbox"/>
Alustojen pinnat hiottu karheaksi	<input type="checkbox"/>	Alusta on imuroitu ja pölyt pyyhitty	<input type="checkbox"/>

Korjattavaa (Työnjohto / Valvoja):	Korjaustapa	Korjattu (pvm)

Työntekijä kuittaa pohjatyöt tarkastettavaksi	Allekirjoitus, nimenselvennys ja päivämäärä
Työnjohtaja kuittaa tarkastettuaan pohjatyöt	Allekirjoitus, nimenselvennys ja päivämäärä
Suunnittelija tai valvoja hyväksyy pohjatyöt	Allekirjoitus, nimenselvennys ja päivämäärä

CODEX BST BUTYYLINAUHAN ASENNUSTARKASTUS

Tiivistysnauhan asennuksen laatuvaatimukset

- Nauhan suojapaperi on ehjä ja paikallaan ennen töiden aloitusta
- Primer on levitetty n. 5mm tiivistysnauhaa leveämmälle alueelle
- Nauhan limityksessä noudatetaan nauhan merkkiviivoja
- Nauha liimataan alustaan yhdellä kertaa, kuivunut nauha ei enää tartu
- Nauha telataan alustaan saumatelalla 3 kertaa
- Asennetussa nauhassa ei saa olla reikiä eikä rypyjä
- Katto ja lattianurkissa nauhojen päät asennetaan päällekkäin, niitä ei leikata muotoon

Työvaiheet:

Primer on levitetty alustaan	<input type="checkbox"/>	Ikkunakarmien ja seinän liitos tiivistetty	<input type="checkbox"/>
Lattian ja seinän liitos tiivistetty	<input type="checkbox"/>	Ulkoseinänurkat on tiivistetty	<input type="checkbox"/>
Yläpohjan ja seinien liitos tiivistetty	<input type="checkbox"/>	Seinän halkeamat on tiivistetty	<input type="checkbox"/>
Liikuntasaumat on tiivistetty	<input type="checkbox"/>		

Korjattavaa (Työnjohto / Valvoja):	Korjaustapa	Korjattu (pvm)

Työntekijä kuittaa työt tehdyksi	Allekirjoitus, nimenselvennys ja päivämäärä
Työnjohtaja kuittaa tarkastettuaan työt	Allekirjoitus, nimenselvennys ja päivämäärä
Valvoja hyväksyy tiivistykset	Allekirjoitus, nimenselvennys ja päivämäärä