



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

ILMATIIVEYDEN PARANTAMINEN KOR- JAUSRAKENTAMISESSA

Juho Ilmari

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2016
Rakennustekniikka
Talonrakennustekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Talonrakennustekniikka

ILMARI JUHO:

Ilmatiiveyden parantaminen korjausrakentamisessa

Opinnäytetyö 28 sivua, joista liitteitä 0 sivua
Huhtikuu 2016

Suomen vanhan rakennuskannan ja kiristyvien energiamääräysten tähden täytyy rakennusten ilmatiiveyteen kiinnittää huomiota. Kiinteistöä myytäessä sen lämmitysenergian tarve tulee usein esille. Lisälämmöneristystä lisättäessä tiiveyskorjaus on aina kannattava toimenpide. Ilmatiiveys vaikuttaa erityisesti rakennuksen energiataseeseen, mutta myös parantaa sisäilmaa. Varsinkin julkisissa rakennuksissa on todettu olevan paljon sisäilmaongelmia ja niitä on ryhdytty korjaamaan kiireellisesti.

Tämän työn tarkoituksena on kertoa tiiveyskorjauksen tarkoituksesta ja sen toteuttamistavoista. Käytettyjen menetelmien tulee soveltua kohteeseen, joten perinpohjainen tutkimustyö on perusteltua. Ilmanvaihtojärjestelmän oikea käyttö vaikuttaa rakenteiden toimintaan ja sillä voidaan varmistaa hyvän sisäilman lähtökohdat. Toisaalta puutteellisella ilmanvaihdolla ja väärällä käytöllä voidaan korostaa rakennuksen ilmavuotoja. Tiiveyskorjaukset on aina suunniteltava erikseen, koska jokainen kohde on erilailla rakennettu. Eri rakenteisiin sopivia menetelmiä on monia, ja työssä on selostettu niistä yleisimmin käytettyjä.

Työn onnistumisen varmistamiseksi tulee valmiille rakennukselle suorittaa tarkoituksenmukainen tiiveysmittaus. Mittauksen laajuus ja menetelmä riippuu kohteesta ja sille annetuista ilmatiiveydellisistä tavoitteista. Korjauksen aikaisia mittauksia voidaan tehdä laadunvarmistamiseksi, mutta loppulinen mittaus tehdään lopulliselle työlle, jotta saadaan tarkin mahdollinen tulos käyttötilanteesta. Työssä on esitetty muutama yleisimmin käytetty tiiveyden toteutamismenetelmä.

Asiasanat: ilmatiiveys, korjausrakentaminen

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Construction Engineering
Option of Building construction

ILMARI JUHO:
Improvement of airtightness in renovation

Bachelor's thesis 28 pages, appendices 0 pages
April 2016

Due to old age of buildings in Finland and continuously tightening regulations of energy consumption, the importance of airtightness in buildings has grown in the last decade. Especially when selling the house, the amount of energy needed to heat the house is commonly inquired. When adding more insulation to structures it is wise to improve airtightness at the same time. While airtightness affects the energy performance certificate, it also improves the air quality in the house as well. Especially in public buildings there have been problems with the air quality recently and they are being fixed in a hurry.

The purpose of this thesis is to go through the basics of improving airtightness and to explain a few solutions. Proper use of air conditioning allows the structures to work as designed. Inadequate air conditioning on the other hand can emphasize poor structures and air leakage. Renovations where airtightness will be improved must always be designed with good knowledge and sufficient information about the specific building. Even buildings that look similar can be built in a different way. There are many ways to improve airtightness and in this thesis some of those methods are presented.

To ensure the successful renovation must airtightness to be measured. The accuracy and the measurement method depends on the object and pursued airtightness. For the sake of quality control the measuring can be performed during the construction but the final measuring must be done of the finished product. This way the results give the highest possible accuracy of the final state of the renovations. In this thesis some of the most used methods to measure airtightness are presented.

Key words: airtightness, renovation

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	KORJAUKSEN TAVOITTEET	6
	2.1 Terveys.....	6
	2.2 Energian kulutus	6
3	ILMANVAIHDON MERKITYS.....	8
	3.1 Painovoimainen ilmanvaihto	8
	3.2 Koneellinen ilmanvaihto.....	9
	3.3 Korvausilma.....	10
4	ERI RAKENTEIDEN JA RAKENNUSOSIEN TIIVISTÄMINEN	12
	4.1 Yläpohja.....	12
	4.1.1 Höyrynsulkukalvo.....	12
	4.1.2 Höyrynsulkulevy	13
	4.1.3 Eristemassa.....	13
	4.2 Alapohja.....	14
	4.2.1 Maanvarainen alapohja	14
	4.2.2 Tuulettuva alapohja.....	15
	4.3 Ulkoseinä	15
	4.3.1 Puurakenteinen seinä.....	16
	4.3.2 Betonielementti	16
	4.3.3 Pilari-palkkirunko	17
	4.3.4 Ulkoseinän ja välipohjan liittymä	18
	4.4 Ikkunat ja ovet	18
	4.5 Liikuntasaumot ja muut erikoiskohteet.....	19
5	ILMATHIVEYDEN TOTEAMINEN	21
	5.1 Blower Door Systems	21
	5.2 Merkkiainekoe	23
	5.3 Lämpökuvaus.....	25
6	POHDINTA.....	26
	LÄHTEET.....	27

1 JOHDANTO

Asukkaiden ja rakennuksen käyttäjien terveyden lähtökohtana on hyvä sisäilma. Ilman laatu onkin ensimmäisiä asioita joihin kiinnittyy huomio rakennukseen saavuttaessa. Hyvä sisäilma tarkoittaa hajutonta ja puhdasta ilmaa, eikä se sisällä epäpuhtauksia, kuten tupakansavua tai homeitiöitä. Tyypillisimpiä oireita huonosta sisäilmasta ovat nuha, tukkoisuus ja päänsärky. Erityisesti julkisissa rakennuksissa on todettu viime aikoina paljon ilma- ja homeongelmia ja näitä on korjattu mm. tiivistämällä rakenteita, jotta korvausilman tulo olisi hallittua. Rakennuksen hyvä ilmatiiveys estää ilmavuodot rakennukseen ja näin parantaa sisäilman laatua huomattavasti. Ilmavuotojen vähentyessä myös vedon tunne vähenee.

Nykyisten energiavaatimusten tähden kiinnitetään erityistä huomiota rakennuksen tiiveyteen. Energiatodistukseen kirjataan rakennuksen ilmatiiveysluku, joka kertoo vuotoilmanmäärän suhteutettuna rakennusvaipan pinta-alaan. Mikäli todistuksessa halutaan käyttää pienempää lukua kuin 4, täytyy rakennukselle tehdä tiiveysmittaus. Tiiveysmituista pientaloista jopa 50 %:ssa ilmanvuotoluku on alle 1,0.

Mielenkiinto aiheeseen on herännyt omien töiden ja mediassakin esillä olleiden tapausten kautta. Tällä työllä ei ole ulkoista tilaajaa, vaan se on tehty omasta mielenkiinnosta aiheeseen. Työ on rajattu tyypillisimpiin rakenteisiin, joita tulee vastaan lähinnä pientaloissa, mutta myös suuremmissa rakennuksissa. Opinnäytetyön tavoitteena on käydä läpi rakennuksen ilmatiiveyden merkitystä ja yksinkertaisesti esittää eri tapojen sen parantamiseen. Tarkoituksena on tehdä sellainen työ, josta saa peruskäsityksen ilmatiiveyden parantamisen merkityksestä korjausrakentamisessa. Tutkimusmenetelminä on käytetty oman kokemuksen lisäksi kirjallisuusselvityksiä ja haastatteluja.

2 KORJAUKSEN TAVOITTEET

2.1 Terveys

Epätiiviestä rakenteista pääsee sisäilmaan paljon epäpuhtauksia kuten pakokaasuja, tupakansavua sekä pölyä. Nämä voivat aiheuttaa rakennuksen käyttäjille oireita. Tyypillisiä oireita ovat nenän kutiaminen ja tukkoisuus sekä silmien ärsyntyminen. Epäpuhtauksien vaikutukset ovat hyvin yksilöllisiä, osa käyttäjistä ei välttämättä oireile ollenkaan, kun taas osalle rakennuksessa oleminen voi olla erittäin tuskaista.

Suurin osa terveyshaitoista jää pelkästään oireilun tasolle. Varsinaisten sairauksien yhdistäminen sisäilman laatuun on vaikeaa. Astmaa sairastavilla on kuitenkin pienempi kynnyksellä huonossa sisäilmassa kuin muilla. Pahimmassa tapauksessa sisäilmaan päässeet home- ja kosteusvauriot voivat laukaista jopa uusia astmatapauksia. Limakalvoja ärsyttävät epäpuhtaudet, kuten kosteusvaurioiden aiheuttamat epäpuhtaudet, voivat kasvattaa mahdollisuutta sairastua hengitystieinfektioihin. (Työterveyslaitos, 2014).

Radon on terveydelle haitallinen kaasu. Se on hajuton ja näkymätön radioaktiivinen jalo-kaasu jota on mahdoton havaita muuten kuin mittaamalla. Suomessa radon aiheuttaa vuosittain noin 300 keuhkosityöpää (Säteilyturvakeskus, 2011). Suurin osa sisäilmaan tulevasta radonista tulee rakennuksen alapuolisesta maaperästä. Varsinkin maanvaraisista alapohjasta suunniteltaessa se on otettava erikseen huomioon. Betonin kuivuessa se kutistuu ja siitä syntyy laatan reuna-alueille rakoja, joista radon pääsee sisälle rakennukseen. Säteilyturvakeskus on määrittänyt rakennuksille sallitut enimmäisarvot.

2.2 Energian kulutus

Rakennuksen hyvä ilmatiiveys vähentää lämmityskustannuksia. Koska rakenteiden läpi virtaava ilma on usein viileämpää kuin tavoiteltu sisäilma ja tällöin joudutaan lämmittämään entistä enemmän. Passiivitalon lämmitysenergian tarve on tiiveyserojen takia laskennallisesti 25 % pienempi kuin normitalon vuoden 2008 tiiveystason mukaan (Sarja, 2010). Taulukossa 1 näkyy miten ilmanvuotoluku vaikuttaa laskennalliseen lämmitysenergian ominaistarpeeseen.

TAULUKKO 1. Tiiveyden vaikutus lämmitysenergian tarpeeseen (Sarja, 2010)

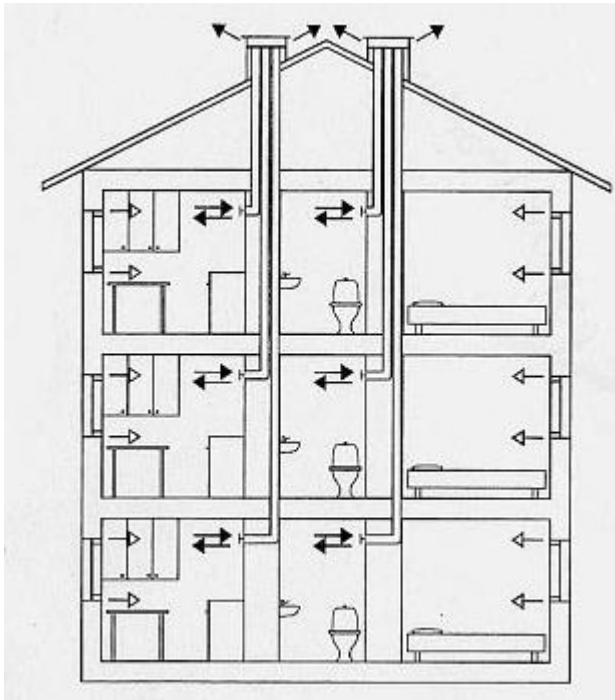
Energiatehokkuusluokka	Tilojen lämmitysenergian laskettu ominaistarve (Jyväskylä) <i>kWh/m²a</i>	Tiiviysvaatimus: Ilmanvuotoluku n_{50} (1/h)
Normitalo 2010	80 - 100	< 2
Matalaenergiatalo	26 - 50	< 0,8
Passiivitalo	15 – 25	< 0,6

TTY:n ja TKK:n tekemässä tutkimuksessa tutkittiin kivirakenteisten ja puurakenteisten pientalon ilmanvuotolukuja ja niiden tulosten pohjalta on todettu, että kivirakenteiset talot olivat huomattavasti tiiviimpiä. Kivirakenteisen pientalon lämmityskustannukset olivat jopa 10 % pienemmät tiiveyden vaikutuksesta. (Kivirakennuksen tiiveys).

3 ILMANVAIHDON MERKITYS

3.1 Painovoimainen ilmanvaihto

Ilmanvaihdon toiminta perustuu paine-eroihin. Painovoimaisessa ilmanvaihdossa paine-ero saadaan aikaan lämpötilaeron ja tuulen yhteisvaikutuksella. Tällöin ei tarvita erillisiä ilmanvaihtokoneita ja säästetään investointikuluissa. Tuloilma otetaan erillisistä venttiileistä, mutta osa ilmasta tulee suoraan rakenteiden läpi eli korvausilman hallittu saaminen on erittäin ongelmallinen tekijä. Perinteisesti ikkunan karmin yläreunaan on jätetty tiivistämätön kohta jotta korvausilma kulkisi sitä kautta. Poistoilma johdetaan yleensä hallitusti pois rakennuksen yläosasta (kuva 1).



KUVA 1. Painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaperiaate (Taloyhtiö)

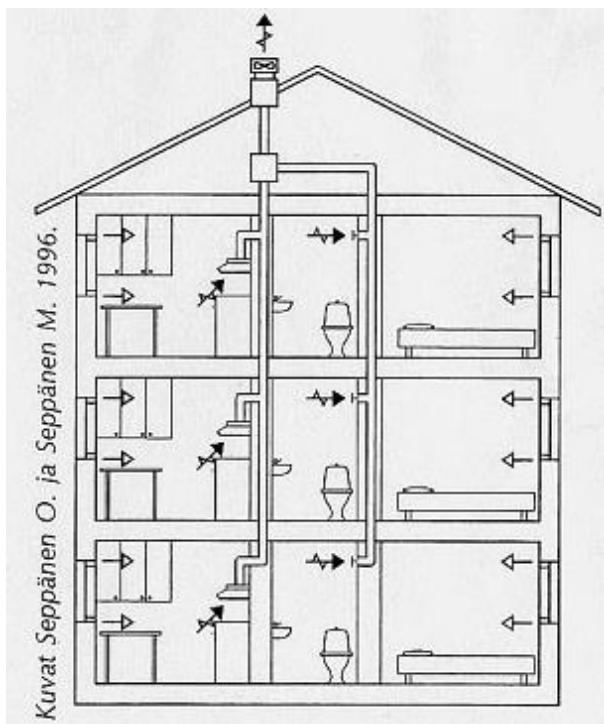
Rakennukset ovat yleensä lievästi alipaineisia ulkoilmaan nähden myös kosteusfysiikan takia. Sillä pyritään siihen, että ilma kulkisi ulkoa sisälle päin, jottei seinän sisään pääsevä lämmin sisäilma tiivistyisi. Korkeissa rakennuksissa tapahtuu myös nk. hormivaikutusta, jolloin lämmin sisäilma nousee ylös ja aiheuttaa rakennuksen alaosaan alipaineen. Vastaavasti rakennuksen yläosaan syntyy ylipaine joka painaa lämmintä sisäilmaa rakenteen

läpi ulkoilmaan aiheuttaen vaaran tiivistymiselle. Painovoimaisessa ilmanvaihdossa alipaineen hallitseminen on vaikeaa ja usein rakennus onkin liian alipaineinen. Korvausilmaventtiilit ovat tällöin alimitoitettuja ja korvausilma revitään rakenteiden läpi.

Rakenteen läpi otettava ilma on aina riski kun mietitään sisäilman laatua. Yleensä seinärakenteet ovat vaikeasti tutkittavia eikä tiedetä missä kunnossa ne ovat. Epätiivissä kohdassa virtaa ilman lisäksi kosteutta, joka saattaa aiheuttaa kosteus- ja homevaurioita lämmöneristeesen. Ilma kulkee helpointa reittiä ja jos se pääsee alapohjan kautta sisäilmaan, on riski että radon tai kosteus pääsee rakennukseen. Rakennusaikana alapohjan alle on saattanut jäädä rakennusjätettä tai muuta orgaanista materiaalia, joka saattaa aiheuttaa home- ja hajuongelmia.

3.2 Koneellinen ilmanvaihto

Koneellisessa ilmanvaihdossa paine-ero saadaan aikaiseksi puhaltimilla. Tästä on kahta eri ratkaisua, eli koneellinen poistoilmanvaihto ja koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto. Koneellisessa poistoilmanvaihdossa korvausilma otetaan samalla periaatteella kuin painovoimaisessa ilmanvaihdossa, venttiileistä ja rakenteiden läpi. Poistoilma imetään puhaltimen avulla pois rakennuksesta (kuva 2).



KUVA 2. Poistokoneellisen ilmanvaihdon toimintaperiaate (Taloyhtiö)

Koneellisessa tulo- ja poistoilmanvaihdossa korvausilma tuodaan kanavan kautta ulkoilmasta ja poistoilma imetään puhaltimella pois. Sisäilman laadun ja miellyttävien sisäolosuhteiden kannalta paras ilmanvaihtoratkaisu rakennuksessa on koneellinen tuloilma- ja poistoilmajärjestelmä yhdistettynä tehokkaaseen lämmöntalteenottoon. Tämä on myös energian kulutuksen kannalta tehokkain ratkaisu. Koneellisella tuloilmakoneella varustetussa rakennuksessa varmistutaan, ettei korvausilmaa oteta rakenteiden läpi. Tärkeää on kuitenkin suunnitella ja mitoittaa ilmanvaihto siten, että se on riittävä ja sijoitettu oikein.

3.3 Korvausilma

Ilmanvaihdon avulla ei välttämättä aina saada riittävästi korvausilmaa rakennukseen. Rakennusta tiivistäessä ja energiatehokkuutta parannettaessa, on hallittu korvausilma erittäin tärkeää. Markkinoilla on erilaisia korvausilmaratkaisuja joita voidaan asentaa rakennukseen jälkikäteen. Yksinkertaisin ratkaisu on rakoventtiili, joka asennetaan ikkunan yhteyteen. Ikkunan tilkerakoon tehdään ohjeen mukainen reitti ilmalle, sekä asennetaan sisä- ja ulkoyksiköt (kuva 3). Rakoventtiilejä on saatavilla erikokoisia ja erilaisilla ominaisuuksilla varustettuja. Näiden venttiilien kautta saatava korvausilma on suhteellisen pieni ja isommissa tiloissa niitä täytyy asentaa jokaiseen ikkunaan.



KUVA 3. Rakoventtiilin ulkoyksikkö

Toimivampi vaihtoehto on isompikokoinen, ulkoseinään asennettava korvausilmaventtiili. Sisäpuolen lautasta pyörittämällä voidaan säätää saatavan korvausilman määrää. Tämän tyyppisiä korvausilmaventtiilejä on myös saatavilla erilaisilla ominaisuuksilla, kuten termostaateilla ja erilaisilla suodattimilla.

4 ERI RAKENTEIDEN JA RAKENNUSOSIEN TIIVISTÄMINEN

4.1 Yläpohja

Vanhojen rakennusten yläpohjien ilman- ja höyrinsulut ovat usein ongelmallisia kohtia. Yläpohjassa on paljon läpivientejä, jotka on vaikea tehdä ilmatiiviiksi. Jopa kolmasosa koko rakennuksen ilmavuodoista voi tapahtua yläpohjan ja ulkoseinien kautta (Tiiveyskorjaus, 2013).

Ilmanvaihtojärjestelmästä riippuen ilmavuodot voivat olla joko ulkoa sisälle tai sisältä ulospäin. Painovoimaisella ilmanvaihdolla lämmin sisäilma usein nousee rakennuksen yläosaan ja aiheuttaa sen, että ilma vuotaa sisältä ulospäin. Näitä vuotoja voidaan tutkia lämpökameralla.

4.1.1 Höyrinsulkukalvo

Vanhempien rakennusten höyrinsulku on yleensä toteutettu höyrinsulkumuovilla. Sillä saadaan kalvo joka estää kosteuden siirtymisen sisätilasta eristetilaan. Materiaalina käytetään 0,2 mm vahvuista PE-muovia ja nykyaikaistenkin höyrinsulkumuovien käyttöikä on 50 vuotta (Isover, 2015), eli se ei ole ikuinen rakenne. Korjauksen yhteydessä tulee kiinnittää huomiota vanhan höyrinsulkumuovin kuntoon ja materiaaliin.

Rakennuksen vanhaa höyrinsulkumuovia voidaan käyttää, mikäli se on vielä hyvässä kunnossa, eli se ei saa olla liiaksi haurastunut ja sen pitää kestää taittamista. Kaikki liittymät pitää käydä läpi ja varmistaa, että ne ovat kunnossa. Vuotokohdat ja reiät voidaan paikata höyrinsulkuteipillä, mutta teipin ja muovin yhteensopivuus tulee tarkastaa ennen korjauksia. Teippien liimapinnat saattavat syövyttää vähän haurastuneen muovin hyvin nopeasti jos ne eivät sovellu käytettäväksi toistensa kanssa.

Puurunkoisissa taloissa höyrinsulun toteuttaminen läpivientien kohdalla tulisi aina tehdä siihen tarkoitetuilla läpivientikappaleilla, jotka teipataan ympäröivään höyrinsulkumuoviin. Useasti tässä oikaistaan ja leikataan höyrinsulkumuoviin reikä läpiviennin kohdalle, mutta siitä on erittäin vaikea tehdä oikean kokoinen ja ilmatiivis.

4.1.2 Höyrinsulkulevy

Nykyään voidaan höyrinsulku toteuttaa myös ns. höyrinsulkulevyillä. Ne ovat höyrinsulkukalvolla pinnoitettuja eristelevyjä. Samalla saadaan siis pientä lisäeristämistä rakenteeseen. Yleisin paksuus levyllä on 30 – 50 mm. Riippuen valmistajasta, mutta toisin kuin höyrinsulkumuovi, levyt tiivistetään polyuretaanivaahdolla, joka paisuu hieman ruiskutuksen jälkeen varmistaen näin erittäin tiiviin liitoksen. Esimerkiksi Isoverin levyt kiinnitetään vain naulaamalla rimat levyjen päälle.

Korjauksen yhteydessä vanha höyrinsulku tulisi poistaa, jotta rakenne toimisi mahdollisimman hyvin ja oikein. Levyjen asennus tehdään valmistajan ohjeiden mukaan. Saumat ja läpiviennit vaahdotetaan huolellisesti. Lisäksi saumat kannattaa teipata muodonmuutosta kestäväällä teipillä, jotta vältetään ilmavuodoilta jos sauma repeää esimerkiksi yläpohjan muodonmuutoksesta johtuen.

4.1.3 Eristemassa

Puurakenteisissa rakennuksissa käytetään höyrinsulkumuovia tai -levyä, mutta kivirakenteisissa rakennuksissa se ei ole järkevä vaihtoehto. Kivirakenteinen yläpohja on usein itsestään jo hyvinkin ilmatiivis. Esimerkiksi ontelolaattojen betoni on ilmanpitävää, mutta laattojen väliset saumat ovat haasteellisia. Vaikka saumat valetaan saumabetonilla, tulee niihin yleensä aina pieniä halkeamia muodonmuutosten takia.

Ontelolaattojen saumojen yläpuolelle voidaan hitsata bitumikermistä kaistat jotka estävät ilmavuotojen syntymisen. Korjausrakentamisessa tämä ei läheskään aina ole mahdollista. Viime aikoina onkin ruvettu käyttämään vedeneristysmassoja saumojen ilmatiiveyksien parantamisessa. Vedeneristysmassa asennetaan sisäpuolelta laatan alapintaan, joten se jää korjauksen jälkeen näkyviin. Esteettisistä syistä tämä menetelmä vaatii lasketun alakaton.

Massan tulee olla kutistumatonta ja sen kiinnittyminen ontelolaattaan tulee olla täydellinen. Laatan alapinnan tulee olla tasainen ja puhdas. Tarvittaessa betoni hiotaan ja poistetaan pölystä tiivistettävältä kohdalta. Kun vedeneristysmassaa käytetään huokoisilla pinnoilla, kuten betonilla, on aina käytettävä pohjustusainetta. Tämä varmistaa massan kiin-

nittymisen alustaan. Ardexin 8+9 –vedeneristysmassaa käytetään paljon sisäilmakorjauksien yhteydessä varmistamaan rakenteiden ilmatiiveyttä. Se on 2-komponenttinen sementtipohjainen vedeneristysmassa. (Ardex, 2014).

4.2 Alapohja

4.2.1 Maanvarainen alapohja

Alapohjan ilmapuotojen kautta sisäilmaan pääsee epäpuhtauksien lisäksi radonia. Yleisesti ottaen maanvaraisen alapohjan betonilaatta on itsestään ilmatiivis. Tarvittaessa kuitenkin halkeamat ja laajemmat alueet voidaan käsitellä esimerkiksi Ardexin EP 2000 höyrynsululla. Se on 2-komponenttinen epoksihartsipohjainen höyrynsulku, jonka on todettu toimivan tehokkaasti muun muassa radonin torjuntaan maanvaraisissa alapohjissa (Vahnen, 2010).

Suurin ongelma maanvaraisessa alapohjassa on laatan reunojen tiiveys (kuva 4). Suurilla laatoilla korostuu betonin kuivumisen aiheuttamat raot. Rakennusvaiheessa tulisi olla asennettu bitumikermikaistat sokkelin ja lattiaeristeen väliin, mutta jos näin ei ole toimittu, on sitä mahdoton tehdä enää jälkikäteen. Tällöin voidaan käyttää samaa vedeneristysmassamenetelmää kuin yläpohjassa. Vedeneriste tulee betonilaatan päälle ja nostetaan seinän höyrynsulkua vasten, jolloin ilmatiivis rakenne jatkuu yhtenäisenä.



KUVA 4. Maanvaraisen laatan ja väliseinän liitos

Maanvaraisissa alapohjissa tulee ottaa huomioon väliseinät ja pilarit, jotka lävistävät alapohjan. Ne ovat erittäin mahdollisia ilmavuotojen kohtia jotka saattavat jäädä helposti huomioimatta. Kaikki väliseinät kannattaa tarkastaa ja tutkia ovatko ne laatan päällä vai lävistävätkö ne sen. Yleensä kivirakenteiset väliseinät pitää tiivistää ympäriinsä vedeneristysmassalla. Tämä varmistaa sen, ettei laatan ja seinän välisistä raoista pääse epäpuhtauksia.

4.2.2 Tuulettuva alapohja

Puurakenteisessa tuulettuvassa alapohjassa tulisi olla yhtenäinen höyrinsulku joka liittyy riittävän tiiviisti ympäröivien rakenteiden, kuten seinien, höyrinsulkuun. Tässä voidaan käyttää höyrinsulkumuovin lisäksi höyrinsulkulevyjä. Kuten muissakin rakenteissa, höyrinsulun tulee olla rakenteen lämpimällä puolella. Tämä tarkoittaa sitä, ettei höyrinsulku voida asentaa ryömintätilasta vaan sen paikka on palkkien lämpimällä puolella.

Läpiviennit tulee tehdä samalla menetelmällä kuin yläpohjassakin, asianmukaisilla läpivientikappaleilla ja riittävän tiiviisti. Vesijohtojen juurien tiivistäminen voidaan tehdä pastamaisella vedeneristysmassalla, joka pursotetaan johtojen väliin. Höyrinsulun liittyminen seinärakenteeseen varmistetaan esimerkiksi höyrinsulkumuovikaistalla. Myös riittävä tuulettuminen vähentää mahdollisuutta ilman pyrkimisestä sisätiloihin.

4.3 Ulkoseinä

Ulkoseinä on hankala ilmatiiveyden kannalta, koska siinä on usein paljon aukkoja, kuten ikkunoita ja ovia. Lisäksi ulkoseinän osuus koko rakennuksen vaipasta on erittäin suuri, joten siihen on kiinnitettävä erityistä huomiota. Ilma kulkee helpointa reittiä, joten jo valmiiksi tiiviissä rakennuksissa tulee uudenlaisia ongelmia, kuten lämpöpattereiden kanakkeet, sähköasiat ja postiluukut. Näissä tapauksissa ilmatiiveyden tavoitteet tulee olla asetettuna ja harvoin täysin ilmatiiviiseen rakenteeseen pyritäänkään.

4.3.1 Puurakenteinen seinä

Puurakenteisissa ulkoseinissä käytetään yleensä höyrynsulkumuovia tai kuten yläpohjassa, höyrynsulkulevyä. Lisäksi seinän ulkopintaan asennetaan tuulensuojalevy, jos käytetään kevyttä ulkoverhousta. Sen tarkoitus on vähentää ilmavirtauksia eristetilassa. Höyrynsulku sijoitetaan rakenteeseen siten, että vähintään 75 % lämmöneristeestä on höyrynsulun ulkopuolella (RIL 107-2012, 76). Höyrynsulkumuovin riittävä limitys ja huolellinen teippaaminen ovat oleelliset asiat tiiveyttä parannettaessa. Rakennuksen nurkat ovat myös haasteellinen paikka. Ne ovat yleensä ulkoseinän kylmimmät kohdat, koska nurkkapilarit vähentävät lämmöneristeen määrää, lisäksi tuulensuoja on ulkonurkassa hankalampi toteuttaa. Koko rakennuksen höyrynsulku tulee olla yhtenäinen eli yläpohjan höyrynsulku pitää liittyä tiiviistä ulkoseinän höyrynsulkuun.

4.3.2 Betonielementti

Betonielementtien liitokset tulee aina saumata hyvin, jotta niistä saadaan mahdollisimman ilmatiiviit. Yleensä ulkoseinäelementit juotetaan betonilla, mutta siinä on se riski, että niihin jää pieniä rakoja joista ilma pääsee kulkemaan läpi. Sen lisäksi pienet liikkeet rakennuksessa saattaa aiheuttaa halkeamia saumoihin. Elementit tulee aina saumata elastisella saumamassalla, jolla saadaan sekä ilma- että sadevesitiiviit saumat. Korjausten yhteydessä saumat voidaan lisäksi tiivistää samalla vedeneristemenetelmällä kuin kohdassa 4.1 on mainittu yläpohjan osalta. Betoni itsessään on yleensä niin tiivistä, että sitä ei ole tarvetta yrittää tiivistää. Kuitenkin kaikki läpiviennit, kuten sähköasiat ja venttiilit on käytävä läpi ja tiivistettävä esimerkiksi vedeneristysmassalla.

Kivirakenteisen ulkoseinän ja puurakenteisen yläpohjan tiivistäminen onnistuu samaisella vedeneristysmenetelmällä. Tällöin yläpohjan höyrynsulku limitetään seinän päälle ja saumataan vahvikenauhalla sekä vedeneristeellä. Perinteiseen höyrynsulkuteippiin verrattuna tämä ratkaisu on varmempi, koska vedeneriste tarttuu paremmin huokoiseen betoniseinään kuin höyrynsulkuteippi.

4.3.3 Pilari-palkkirunko

Julkisissa rakennuksissa on paljon käytetty pilari-palkkirunkoa kantavana rakenteena. Pilarien ja palkkien väliset kentät tehdään yleensä tiili-villa-tiili -rakenteena. Tällaisesta seinästä on vaikea tehdä ilmatiivistä, koska saumalaasti on hyvin huokoista ja lopputulos riippuu paljon muurarista. Kentän ilmatiiveyttä voidaan parantaa pinnoittamalla tiilipinta esimerkiksi tiiviillä tasoitteella ja maalaamalla. Suurimmat halkeamat kannattaa kuitenkin tiivistää esimerkiksi vedeneristysmassalla.

Kenttien ja pilarien sekä palkkien liittymät voidaan tiivistää samalla vedeneristysmassalla kuin muutkin kivirakenteiset seinät (kuva 5). Tällöin kaikkien pintojen tulee olla ehdottoman puhtaat ja ne tulee käsitellä pohjustusaineella. Kaikki kentät tulee tiivistää ympäriinsä, jotta saadaan paras mahdollinen lopputulos. Vaakasaumat kannattaa tasoittaa vedeneristysmassalla, jotta pystysauman pohja olisi tasainen ja ilmatiivis sauma olisi mahdollista toteuttaa.



KUVA 5. Pilarin ja tiilikentän liitos

4.3.4 Ulkoseinän ja välipohjan liittymä

Puurakenteisen välipohjan ja ulkoseinän liittymä on usein hankala toteuttaa ilmatiiviisti. Yleensä välipohjan palkit viedään muovikalvon läpi, jolloin muoviin joudutaan leikkaamaan useita reikiä. Yksi vaihtoehto on tukea palkit höyrinsulun sisäpuolelle kiinnitettyyn vaakapuuhun. Tällöin höyrinsulku saadaan jatkumaan yhtenäisenä välipohjan ohi, eikä reikiä tarvitse teipata jälkikäteen. Toinen vaihtoehto on myös höyrinsulkulevyn käyttäminen, jolloin saumat vaahdotetaan uretaanivaahdolla tiiviiksi. Kivirakenteisessa talossa voidaan menetellä samalla tavalla kuin yläpohjan kanssa. Saumojen tiivistäminen vedeneristysmassalla on varma tapa saada rakenne ilmatiiviiksi.

4.4 Ikkunat ja ovet

Ikkunoiden ja ovien tiivistäminen vähentää hallitsematonta ilmapuotoa ja siten vähentää vedon tunnetta. Sisälämpötilaa voidaan siis laskea ilman, että viihtyisyys kärsii. Suurimmat energiasäästöt saadaan, kun ikkunat ja ovet vaihdetaan kokonaan, mutta harvoin se on tarpeellista. Varsinkin suhteellisin uusissa rakennuksissa ikkuna- ja ovirakenteet ovat hyvässä kunnossa, mutta tiivisteet ovat kuluneet käytössä. Pelkkä tiivisteiden vaihto maksaa vain pienen osan verrattuna uusimiseen. Ikkunoiden kohdalla lämmitysenergian tarve voi pienentyä jopa 15 % pelkällä tiivisteiden vaihtamisella. Kestävimmät tiivisteet valmistetaan silikonista ja EPDM-massivikumista, ja niiden käyttöikä voi olla jopa 10 - 15 vuotta. (Ikkunakorjaus, 2014). Ikkunoiden ja ovien tiivistämisen yhteydessä tulee aina tarkistaa ilmanvaihdon riittävyys, koska uusien, tiiviiden, ikkunoiden kautta ei saada aiempaan tapaan korvausilmaa. Ikkunakarmeihin voidaankin asentaa karmiventtiilejä korvausilman varmistamiseksi.

Karmien liittyminen rakennuksen runkoon on myös oltava ilmatiivis. Asennuksen yhteydessä asennusvälit tulisi tilkitä esimerkiksi uretaanivaahdolla. Tiivistyskorjauksen yhteydessä karmiliittymät voidaan tiivistää erilaisilla teipeillä ja tiivistemassoilla. Sama vedeneristemenetelmä kuin muissakin rakenteissa toimii karmien tiivistämisessä (kuva 6). Tällöin karmien ja seinärakenteen rako tulee täyttää avoimuokoisella lämmöneristeellä, esimerkiksi mineraalivillalla, jotta tilkeväli pääsee kuivumaan ulospäin (RIL 107-2012, 84). Eristemassalla saadaan erittäin ilmatiiviit liitokset, mutta listoituksen kanssa täytyy olla

huolellinen. Tiivistettyä liitosta ei saa missään nimessä puhkaista esimerkiksi naulaamalla listat paikalleen, vaan ne tulee kiinnittää esimerkiksi liimamassalla.



KUVA 6. Ikkunan karmiliitosten tiivistäminen

4.5 Liikuntasaumot ja muut erikoiskohteet

Liikuntasaumot tulisi tiivistää ympäriinsä, koko rakennuksen läpi. Ulkoseinän liikuntasauvojen tiivistäminen ei välttämättä riitä, sillä välipohjan kohdalta sauma jää auki. Tämä voidaan tehdä vedeneristemassalla ja vahvikenauhalla, joka on kutistumatonta. Saumoihin tulee kuitenkin jäädä liikuntavara, jotta sauma ei repeä rakennuksen liikkeistä. Liikuntasaumot pyritään tällä menetelmällä eristämään sisäilmasta, mutta ilma kiertää kuitenkin sauman sisällä.

Tässä työssä on moneen kertaan otettu esille läpivientien tiivistämisen merkitys. Ne ovat usein haasteellisia kohtia, mutta ne tulee tiivistää parhaalla mahdollisella tavalla. Eristemassaa pystyy pursottamaan esimerkiksi sähköjohtojen läpivienteihin (kuva 7). Höyrynsulkumuoville on tarjolla erilaisia läpivientikappaleita erikokoisille läpivienneille, esimerkiksi ilmanvaihtokanaville. Niitä tulisi käyttää, eikä yrittää itse leikellä höyrynsulusta sopivan kokoisia kappaleita. Ilmatiiveyttä mitatessa huomataan heti jos läpivienti on huonosti tehty, ja ne voivatkin olla hankalia korjata jälkikäteen.



KUVA 7. Sähköjohtojen läpivienti seinärakenteessa

Postiluukut ovat muuten jo tiiviin rakennuksen riesoja. Kun korvausilmaa ei saada mistään muualta, pyrkii ilma tulemaan postiluukusta sisään. Tähän vaikuttaa myös porrashuoneen korkeus ja missä kerroksessa asunto sijaitsee. Toinen ongelmakohta saattaa syntyä lämpöpattereiden kohdalla, kun kannakkeet ovat propattu sisimmän kuoren läpi. Tiivistemassan lisääminen porausreikiin ennen kannakkeiden kiinnitystä on hyvä keino välttää nämä pienet ilmavuodot.

5 ILMATIIVEYDEN TOTEAMINEN

Rakennuksen ilmatiiveyttä mitataan ilmanvuotoluvuilla q_{50} ja n_{50} . Vuoden 2012 jälkeen käyttöön otettu q_{50} -ilmanvuotoluku kuvaa keskimääräistä vuotoilmavirtaa tunnissa 50 Pa:n ali- tai ylipaine-erolla kokonaissisämittojen mukaan laskettua rakennusvaipan pinta-alaa kohden [$\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$]. Aiemmin käytetty, vieläkin käytössä oleva, n_{50} -ilmanvuotoluku kertoo, montako kertaa rakennuksen ilmatilavuus vaihtuu tunnissa rakennusvaipan vuoreittien kautta [$1/\text{h}$]. (Paloniitty, 2013).

Suomen rakennusmääräyskokoelman osassa D3 2012 todetaan, että rakennusvaipan ilmanvuotoluku q_{50} saa olla enintään 4 ($\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$). Se saa kuitenkin ylittää tämän arvon, mikäli rakennuksen käytön vaatimat rakenteelliset ratkaisut huonontavat merkittävästi ilmanpitävyyttä (Suomen rakentamismääräys kokoelma D3 2012, 10). Energiatodistuksessa ilmoitetaan rakennuksen mitattu ilmanvuotoluku, mutta jos sitä ei jostain syystä mitata, käytetään todistuksessa arvoa 4 ($\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$).

5.1 Blower Door Systems

Blower Door Systems nimeä käytetään kun puhutaan paine-eroon perustuvasta tiiveysmittauksesta. Nimi tulee menetelmän oviaukkoon asennettavasta puhaltimesta, jolla saadaan aikaiseksi paine-ero rakennukseen (kuva 8). Tällä menetelmällä saadaan rakennukselle ilmanvuotoluku. Mittaajalla tulee olla koulutus laitteen käytöstä ja tulosten lukemisesta. Mittaus tehdään aina valmiiseen rakennukseen, mutta rakennusaikana voidaan mittauksia tehdä laadunvarmistuksen kannalta. Tiiveysmittauksesta tehdään aina vähintään tiiveysmittauspöytäkirja, joka sisältää muun muassa mittauskohteen ja käytetyn laitteiston tiedot.



KUVA 8. Tiiveysmittauskalustoa (Paloniitty Oy)

Ilmanvuotoluvun mittaamiseen on kehitetty tietokoneohjelmia, jotka antavat lähtötietojen perusteella mittaustulokset. Tiiveysmittaus aloitetaan tukkimalla kaikki ilmanvaihdon aukot, tulisijat ja hormit. Tässä käytetään siihen tarkoitettuja kumipalloja, joilla tukitaan kanavat yleensä rakennuksen ulkopuolelta. Tällöin nähdään myös kanavien ja koneiden ilmapuodot. Viemäreiden osalta varmistutaan, että vesilukoissa on vettä.

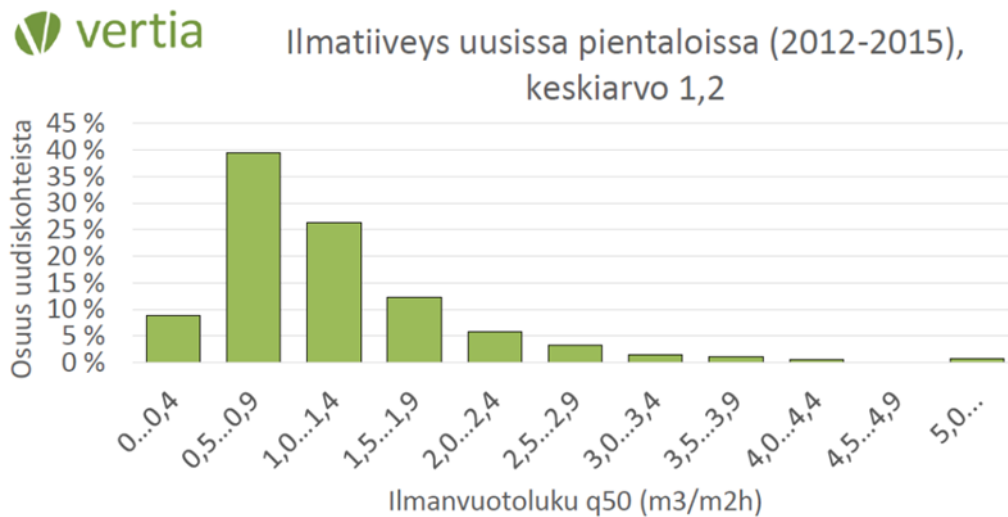
Mittauskohta tulisi pyrkiä sijoittamaan korkeussuunnassa rakennuksen ilmatilavuuden neutraaliakselille, eli noin puoleen väliin. Se tulisi myös sijoittaa rakennuksen tuulelta suojaisimmalle sivustalle, koska tuuli voi vaikuttaa mittaustuloksiin. Mittaus tulisikin suorittaa tyynellä kelillä, tuulen nopeuden ollessa alle 6 m/s. Lämpötilalle ei ole suurta merkitystä mittauksen suorittamiseen tai tulosten tarkkuuteen.

Mittaus tehdään usealla paine-erolla, yleensä vähintään viidellä. Tyypillisimpiä ovat 30, 40, 50, 60 ja 70 Pascalin paine-erot ulko- ja sisäilmassa. Sarjan pienin paine-ero tulee kuitenkin olla vähintään 50 Pa. (Paloniitty, 2013). Puhaltimella luodaan sekä ali- että ylipaine, joista saadaan omat ilmanvuotokäyrät. Ilmanvuotoluku on niiden tulosten keskiarvo. Pientaloissa pidetään välitiet auki, jolloin ilma pääsee liikkumaan luonnollisesti rakennuksen sisällä. Kerrostaloja mitatessa huoneistojen ulko-ovet pidetään auki.

Laitteiston valmistajasta riippuen puhaltimessa on erikokoisia renkaita, joilla hallitaan ilman virtausta puhaltimen läpi. Tiiviimmissä rakennuksissa käytetään rengasta, jossa on

pieni reikä keskellä. Mittauksessa voidaan käyttää lisäksi merkkisavua, jotta pystytään silmämääräisesti toteamaan vuotokohtia. (Oravasaari, 2016).

Energiatodistukseen tarvittava ilmatiiveysluku q_{50} saadaan tällä menetelmällä. Lähes jopa puolet mitatuista uusista pientaloista saavuttaa alle $0,9 \text{ (m}^3\text{/(h}\cdot\text{m}^2\text{))}$ (kuva 9). Keskiarvon ollessa $1,2 \text{ (m}^3\text{/(h}\cdot\text{m}^2\text{))}$. (Vertia, 2015).



KUVA 9. Ilmatiiveys uusissa pientaloissa (Vertia, 2015)

5.2 Merkkiainekoe

Merkkiainekokeita käytetään varsinkin työnaikaiseen laadunvalvontaan sekä sisäilmaongelmien selvittämisessä ja korjaussuunnittelun lähtökohtana. Niitä tekeviä yrityksiä on vähän, eikä mittausmenetelmä ole aina tarkoin mahdollinen. Sillä saadaan kuitenkin selville sellaisia ilmavuotoja, joita muilla menetelmillä ei saa. Periaatteena se toimii siten, että rakenteen eristetilaan syötetään merkkiainetta rakenteeseen sisä- tai ulkopuolelta ja sen annetaan levitä hetken aikaan. Merkkiaine on näkymätöntä kaasua eli sitä ei voi nähdä silmällä, vaan sen havaitsemiseen käytetään merkkiaineanalysaattoria (kuva 10). Se havaitsee pienetkin ilmavuodot rakenteessa ja ilmoittaa niistä äänimerkillä. Merkkiaineanalysaattorin tehoa voidaan muuttaa, jolloin ilmavuodon voimakkuutta voidaan paremmin arvioida. Yleisimmin käytetyt kaasut merkkiainekokeissa ovat typpi-vety-seos ja rikkiheksafluoridi. (RT 14-11197 2015, 3-4)



KUVA 10. Merkkiaineen havainnointi merkkiaineanalysaattorilla

Menetelmässä on paljon epävarmuuksia. Ulkopuolelta kaasua syötettäessä pitää varmistua, ettei kaasu pääse leviämään hallitsemattomasti ulkopuolisiin rakennusmateriaaleihin. Usein ei kuitenkaan ole mahdollista syöttää kaasua rakenteen ulkopuolelta, vaan sisäpuolelta porataan reikä eristetilaan. Tällöin merkkiaine syötetään tiiviin kerroksen läpi kaasua jakavaan materiaaliin. Mitattavan tilan täytyy olla riittävän alipaineinen, jotta kaasu pääsee leviämään koko tarkasteltavalle alueelle. Koska merkkiaine on näkymätöntä, vaatii se mittauksen tekijältä huolellisuutta. Jokainen mahdollinen ilmavuotokohta on tutkittava erikseen ja dokumentoitava. Kokemuksen myötä mittaaja pystyy arvioimaan missä ilmavuodot saattavat sijaita, mutta rakenteelliset vauriot saattavat vaikuttaa merkkiaineen leviämiseen. Merkkiainekokeen suorittajalla tulee olla vähintään rakennusalan teknikkotasoon koulutus ja hänen tulee ymmärtää rakennusfysiikkaa. Varsinaista sertifikaattia ei vielä vaadita mittaajalta. (RT 14-11197 2015, 3).

Laadunvalvonnassa merkkiainekokeet ovat hyvin käytännöllisiä. Suuressa kohteessa jossa on useita samanlaisia huoneita, voidaan merkkiainekoe tehdä yhteen mallihuoneeseen. Tällöin saadaan käsitys siitä onko tiivistysmenetelmä soveltuva ja työmenetelmät

oikeat. Merkkiainekokeista tehdään mittausraportti jossa esitetään muun muassa kokeiden tavoitteet, kokeen olosuhteet ja havainnot. Valokuvat jokaisesta huomattavasta ilmavuodosta helpottavat jatkotoimenpiteitä suunnitellessa.

5.3 Lämpökuvaus

Lämpökuvausta käytetään tiiveysmittauksessa apuvälineenä, eikä sillä pelkästään pystytä tarkasti toteamaan ilmavuotoja rakenteissa. Talvella, kun ulkolämpötila on huomattavasti kylmempää kuin sisällä, voidaan tarkastella mitkä kohdat rakennuksesta ovat kylmempiä kuin muut. Tämä antaa useasti viitteitä mahdollisista ilmavuodoista. Kuvien tulkitseminen onkin haastavaa ja vaatii kuvaajalta kokemusta laitteiston käytöstä. VTT Expert Services Oy kouluttaa ja pätevoittää rakennusten lämpökuvaajia.

Tiiveysmittauksen yhteydessä voidaan käyttää lämpökameraa helpottamaan ilmavuotoja. Merkkiainekokeiden tavoin, lämpökuvaus soveltuu hyvin työnaikaiseen laadunvalvontaan. Sillä saadaan selville mahdollisten kylmäsiltojen lisäksi mahdollisia ilmavuotoja. Kuvien tulkintaan liittyy lämpötilaindeksi, jonka avulla kuvia voidaan vertailla keskenään kun kuvaolosuhteet vaihtelee.

6 POHDINTA

Tiiveyskorjauksen lähtökohtana tulee aina olla riittävä perehtyminen kohteeseen ja asianmukainen suunnittelu. Jokainen kohde tulisi käydä paikanpäällä toteamassa ja tehdä riittävät rakenneavaukset, jotta suunnittelu voidaan tehdä riittävän tiedon pohjalta. Oikeiden menetelmien ja materiaalien valinta on kohteesta riippuvaa. Eri vuosikymmenillä, ja jopa vuosina, rakentaminen on ollut hiukan erilaista ja suositut rakentamisratkaisut vaihdelleet. Vanhoista rakennekuvista voidaan tutkia mitä on alun perin suunniteltu, mutta niiden toteutuminen sellaisenaan ei ole koskaan varmaa.

Tavoitteet ovat tärkeä osa tiiveyden parantamista. Harvoissa tilanteissa täysin ilmatiivis rakennus on tarkoituksen mukaista tai järkevää. Tärkeämpää onkin vuotoilman reittien paikallistaminen ja hallitseminen. Erityisesti sisäilmaongelmallisissa rakennuksissa hallitsemattomat ilmavuodot riskirakenteiden läpi ovat vaarallisia. Energiatohokkuutta haettaessa rakennuksen vaipan suuret vuotoalueet ovat tärkeämpiä tiivistää, kuin pienet liitokset ikkunan ja ulkoseinän saumoissa.

Rakennuksen tiiveyden toteaminen on luonnollista korjauksen jälkeen, mutta sitä voidaan käyttää myös rakennusaika laadun valvontaan. Sillä saadaan tietoa työn onnistumisesta ja tiivistysmenetelmien toimivuudesta. Rakennuksen käyttäjälle työn onnistuminen on erityisen tärkeää, mutta tulevaisuuden kannalta se on tärkeää myös rakentajille, koska tiiveyskorjauksia tehdään nykyään paljon ja niiden onnistumisia on paljon kritisoitu mediassa. Referenssikohteita on yllättävän vähän sisäilmaongelmien yhteydessä tehdyistä korjauksista, joka ehkä riippuu kohteiden luonteesta. Tiiveyden merkityksestä energian kulutukseen on tehty paljon positiivisia tutkimuksia ja havaintoja.

Tiiveyskorjaus ei aina ole suora tie onneen. Epäpuhtaudet pääsevät rakennuksen sisäilmaan ilmavuotojen kautta, mutta niiden lähde tulisi aina selvittää. Tiiveyden parantaminen onkin usein sisäilmaongelmien yhteydessä pelkkä käyttöä turvaava toimenpide ja perusteellisempi rakenteiden korjaus on usein tulossa myöhemmin. Tiiveyskorjaus on usein nopea toimenpide, jolla saadaan hiukan lisää aikaa rakennukselle. Esimerkiksi koulujen tiiveyskorjaukset voidaan usein suorittaa oppilaiden kesäloman aikana, mutta peruskorjauksen ajaksi heille on löydettävä uudet tilat.

LÄHTEET

Ardex.Sisäilmakorjausjärjestelmä. 1.10.2014. Luettu 21.3.2016.

<http://www.ardex.fi/tuotteet/vedeneristys/ardex-89/>

Ikkunakorjaus. 2014. Oulun rakennusvalvonta. Tekninen kortti 4. Luettu 8.3.2016.

http://www.energiakorjaus.info/wp-content/uploads/2014/10/Pientalo_4_Ikkunakorjaus_2014_10_14.pdf

Isover. Vapoblock. Tuoteseloste. 2015. Luettu 18.4.2016.

<http://www.isover.fi/tuoteseloste/5309/isover-vapoblock-hoyrynsulku.pdf>

Kivirakennuksen tiiveys. Betoni. Luettu 18.4.2016.

<http://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/ominaisuudet-ja-edut/kivirakennuksen-tiiveys/>

Oravasaari, J. 15.4.2016. Tiiveysmittauskalusto. Luento. Tampereen ammattikorkeakoulu. Tampere.

Paloniitty Oy. Tiiveysmittaus. Mittausohje. Luettu 19.4.2016

<http://www.paloniitty.fi/page.php?sivu=18>

Paloniitty, S. 2013. Rakennusten tiiveysmittaus. Luettu 8.3.2016.

http://paloniitty.fi/files/RTM%20Paloniitty_Rakennusten%20tiiveysmittaus%20artikkeli.pdf

RT 14-11197. Rakenteiden ilmatiiveyden tarkastelu merkkiainekokein. Rakennustietosäätiö. 2015.

Sarja, A. 2010. Rakennuksen tiiveys. Rakentajain kalenteri. Luettu 8.3.2016.

<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK100301.pdf>

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2012. RIL 107-2012. Rakennusten vedeneristys- ja kosteudeneristysohjeet. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Suomen rakentamismääräyskokoelma D3. Rakennusten energiatehokkuus. 30.3.2011. Luettu 8.3.2016

Säteilyturvakeskus. Sisäilman radon. 2011. Luettu 10.3.2016.

<http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2014120249922>

Taloyhtiö. Talotekniikka. Ilmanvaihdon toimintaperiaate. Luettu 8.3.2016.

<http://www.taloyhtio.net/talotekniikka/iv/toiminta/>

Tiiveys korjaus. 2013. Oulun rakennusvalvonta. Tekninen kortti 9. Luettu 8.3.2016.

http://www.energiakorjaus.info/wp-content/uploads/2013/08/Pientalo_9_Tiiveyskorjaus_2013_02_01.pdf

Työterveyslaitos. Sisäilma ja sisäympäristö. Terveydelliset tekijät. Luettu 10.3.2016.
http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/sisailma_ja_sisaymparisto/terveydelliset_tekijat/sivut/default.aspx

Vahanen Oy. Ardex EP 2000 haitta-aineiden läpäisevyystutkimus. Tutkimusselostus. Luettu 21.3.2016.

<http://www.ardex.fi/wp-content/uploads/2012/08/Ardex-EP-2000-1%C3%A4p%C3%A4isevyystutkimus.pdf>

Vertia. Ilmatiiveys ja vuotokohdat uusissa rakennuksissa. Raportti. Luettu 8.3.2016.

<http://vertia.fi/wp-content/uploads/2016/03/Ilmatiiveys-ja-vuotokohdat-uusissa-rakennuksissa-2015-4.pdf>