

**LAADUNVARMISTUS PIENTALOISSA LÄMPÖKUVAUKSEN JA
TIIVIYSMITTAUKSEN AVULLA**



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Visamäki, Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, rakennusmestarikoulutus

Kevät, 2019

Sami Kohtala

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, rakennusmestarikoulutus
Visamäki

Tekijä	Sami Kohtala	Vuosi 2019
Työn nimi	Laadunvarmistus pientaloissa lämpökuvauksen ja tiiviysmittauksen avulla	
Työn ohjaaja/t	Hannu Fagerlund, HAMK ja Jani Boström, Lehto Asunnot Oy	

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia mitä ovat rakennuksen lämpökamerakuvaus ja tiiviysmittaus sekä selvittää milloin ja miten mittauksia tehdään. Työssä tutkitaan myös rakennusten tyypillisimpiä vuotoilmareittejä. Tavoitteena oli laatia laadunvalvonnan tarkastuslomake tutkimustulosten perusteella.

Rakennusaikanakin laadunvalvonnan tarkasteleminen on tärkeää, eikä sitä tulisi unohtaa rakennusaikana. Tyypillisesti ilmatiiviysmittaus ja lämpökamerakuvaus suoritetaan vasta, kun rakennuksen sisäpinnat ovat jo valmiit. On huomattavasti työläämpää ja kustannuksellisesti kalliimpaa avata valmista rakennetta, mikäli rakenteessa virhe ilmenee.

Tiiviysmittauksesta saatu ilmanvuotoluku kertoo paljon rakennuksesta ja rakenteista sekä sillä on vaikutusta rakennuksen lämmitysenergiantarpeeseen. Rakennusvaipan tiiviydellä voidaan taata hyvä asumisviihtyvyys sekä varmistua, että rakennukseen ei pääse kulkeutumaan haitallisia epäpuhtauksia, kuten radonia ja mikrobeja.

Opinnäytetyön tuloksena laadittiin laadunvalvonnan tarkastuslomake sekä kerättiin tietoa tyypillisimmistä vuotokohdista rakennuksissa.

Avainsanat Ilmavuoto, laadunvalvonta, lämpökamera, tiiviysmittaus

Sivut 48 sivua, joista liitteitä 9 sivua

Degree Programme in Construction Management
 Visamäki

Author	Sami Kohtala	Year 2019
Subject	Quality assurance in small residential buildings with thermal imaging and air tightness measurement	
Supervisors	Hannu Fagerlund, HAMK & Jani Boström, Lehto Asunnot Oy	

ABSTRACT

The purpose of this Bachelor's thesis was to study and find out what the thermal imaging and the tightness measurement of the building are and to find out when and how the measurements are made. The thesis also investigates the most typical air leaks of buildings. The aim was to draw up an inspection form for quality control on the basis of the findings of the thesis.

Quality control is important even during construction and should not be forgotten. Typically, air tightness measurement and thermal imaging are only performed when the interior surfaces of the building have already been completed. It is much more laborious and costly to open a finished structure if an error occurs in the structure

The air leakage measured from the air tightness measurement tells a great deal about the building and the structures and it has an impact on the heating energy demand of the building. The tightness of the envelope can ensure good living comfort and ensure that no harmful impurities such as radon and microbes enter the building.

As a result of the thesis an inspection form for quality control was drawn up and information on the most typical leakage points in buildings was collected.

Keywords Air leak, quality control, thermal camera, tightness measurement

Pages 48 pages including appendices 9 pages

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
1.1	Opinnäytetyön taustat ja tavoitteet	6
1.2	Rakennusyhtiö Lehto Group.....	6
2	LÄMPÖKAMERAKUVAUS	7
2.1	Lämpökameran toimintaperiaate	8
2.2	Lämpökuvajaajan vaatimukset ja pätevyudet.....	10
2.3	Mittausolosuhteet.....	11
2.4	Rakennuksen lämpöolot ja virtausnopeus	12
2.5	Paine-erokorjaus lämpötilaindeksiin.....	14
2.6	Rakennuksen lämpökuvauus.....	16
2.7	Lämpökuvien tulkinta ja raportoitavat poikkeamat	18
2.8	Korjausluokitus.....	19
3	TIIVIYSMITTAUS	20
3.1	Tiivysmittaajan vaatimukset ja pätevyudet.....	22
3.2	Rakenteiden ilmatiivyyden merkitys.....	22
3.3	Mitä on rakenteiden ilmatiiviyys?.....	23
3.4	Mittausolosuhteet.....	25
3.5	Rakennuksen paine-erot	25
3.5.1	Tuulen aiheuttama paine-ero.....	26
3.5.2	Ilmanvaihtojärjestelmän aiheuttama paine-ero	27
3.5.3	Savupiippuvaikutuksen aiheuttama paine-ero	28
3.6	Paikantamisen menetelmät	29
3.7	Raportointi	29
4	TUTKIMUSTULOKSET	30
5	YHTEENVETO	32
5.1	Rakenteiden läpiviennit	33
5.2	Rakenneliitokset.....	33
5.3	Ikkuna- ja oviliitokset	34
6	POHDINTA.....	35
	LÄHTEET	37

Liitteet

Liite 1	Tutkitut kohteet
Liite 2	Ilmatiivyyden tarkastuslomake

Käsitteitä

Lämpökamera

Lämpökamera mittaa kuvattavan kohteen pinnasta lähtevää lämpösäteilyn voimakkuutta. Lämpökamerassa oleva ilmaisim muuttaa kuvattavasta kohteesta tullutta lämpösäteily - voimakkuutta lämpötilatiedoksi, josta muodostuu lämpökuva digitaalisesti reaaliajassa. (Paloniitty, Paloniitty & Haimilahti, 2015. s. 4)

Emissiivisyys, emissiokerroin

Emissiivisyys kuvaa kohteen pinnan kykyä lähettää lämpösäteilyä. Emissiivisyys kuvaa, paljonko kappaleen lähettämästä energiasta on kappaleen pinnasta lähtevää omaa energiaa. Materiaalien pinnan emissiivisyyttä kuvataan emissiokertoimella. (Paloniitty ym., 2015, s. 4)

Oleskeluvyöhyke

”Huonetilan osa, jonka alapinta rajoittuu lattiaan, yläpinta on 1,8 metrin korkeudella lattiasta ja sivupinnat ovat 0,6 metrin etäisyydellä seinistä tai vastaavista kiinteistä rakennusosista.” (Paloniitty ym., 2015, s. 5)

Huoneilman lämpötila

Huoneilman lämpötila mitattuna oleskeluvyöhykkeeltä noin 1,1 metrin korkeudelta lattia pinnasta. (Paloniitty ym., 2015, s. 4)

Tiiviysmittaus

Tiiviysmittauksella määritellään ulkovaipan ilmanvuotoluku q_{50} 50 Pa:n alipaineessa. Tiiviysmittauksen tekeminen kaikkiin rakennuksiin on tullut pakolliseksi 2010, joissa energiaselvityksen ilmanvuotoluvun suunnitteluarvona on käytetty pienempää tai yhtä suurta kuin 4. (Paloniitty, 2013 a, s. 14)

Ilmanvuotoluku q_{50} [$m^3(h\ m^2)$]

”Kuvataan rakennusvaipan keskimääräistä vuotoilmavirtaa tunnissa 50 Pa:n paine-erolla kokonaissämmittojen mukaan laskettua rakennusvaipan pinta-alaa kohden.” (Paloniitty, 2013 a, s. 15)

Ilmanvuotoluku n_{50} [1/h]

Tiiviysmittauksista saatu tulos, joka jätettiin pois 1.7.2012. ” n_{50} kertoo, montako kertaa rakennuksen ilmatilavuus vaihtuu tunnissa rakennusvaipan vuotoreittien kautta, kun rakennukseen on luotu koneellisesti 50 Pa:n ali- tai ylipaine.” (Paloniitty, 2013 a, s. 15)

Lämpötilaindeksi

Lämpötilaindeksillä tarkastellaan rakennuksen ulkovaipan lämpötekniistä toimivuutta. Lämpötilaindeksillä voidaan arvioida ja verrata rakennuksen vaipan pintalämpötiloja silloin, kun lämpötilojen mittauksia ei pystytä suorittamaan vakio-olosuhteissa. (Paloniitty ym., 2015, s. 4)

Normaali käyttötilanne

Tarkoittaa, että rakennuksessa vallitsevat olosuhteet ovat samanlaiset, kuin normaalistikin rakennusta käytettäessä ne ovat. Rakennuksessa on paine-eroa -0...-5 Pascalin välillä sekä lämpötila on minimissään +18°C. (Paloniitty ym., 2015, s. 5)

Ilmansulku

On ainekerros, jolla estetään haitalliset ilmavirtaukset rakenteen läpi puolelta toiselle. Sama ainekerros voi toimia myös höyryn- ja ilmansulkukerroksena. Kerroksellisissa rakenteissa tarvitaan aina höyrynsulkukerros, joka usein toimii myös ilmansulkukerroksena. (Aho & Korpi, 2009, s. 10)

Lämpöviihtyvyys

Lämpöviihtyvyyden alentumisesta aiheutuvat terveydelliset vaikutukset ovat jokaisella yksilöllisiä ja niihin vaikuttavat sisäilmaolosuhteet, ihmisen terveydentila, ikä, herkistyminen sekä altistumisaika. Lämpöviihtyvyyteen vaikuttaa myös ilmanvaihdon ja lämmitysjärjestelmän lisäksi rakennusvaipan ilmavuodot sekä pintojen alentuneet lämpötilat (Paloniitty ym., 2015, s. 5)

1 JOHDANTO

1.1 Opinnäytetyön taustat ja tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä pientalojen ilmatiivyyden varmistamiseen ja parantaa laadunvarmistustoimia rakennustyömailla. Ensimmäisessä vaiheessa opinnäytetyössä perehdytään lämpökamerakuvaukseen ja tiiviysmittaukseen, koska nämä ovat yleisimmät vuotokohtien havaitsemiseen käytetyt menetelmät rakennustyömailla. Tämän jälkeen on huomattavasti helpompi tutkia tiiviysmittausraportteja, sekä sen yhteydessä otettuja lämpökamerakuvia.

Seuraavassa vaiheessa opinnäytetyössä tutkitaan 159:n uudispientaloasunnon tiiviysmittaustuloksia, joista ilmenevät rakennuksen vuotokohtat. Näiden avulla työssä selvitettiin tuotantomme tyypillisimmät vuotoilmareitit rakennuksissa, joihin jatkossa tarvitsee rakentamisessa kiinnittää huomiota suunnittelun ja työmaatoteutuksen osalta. Jotta tulevissa kohteissa voitaisiin vähentää vuotokohtien määriä rakennuksissa ja saataisiin rakennuksista entistä ilmapitävämpiä, kehitettiin työmaalle käytettäväksi tarkastuslomake, jota täytetään työmaalla rakennusaikana laadunvarmistustoimena.

Opinnäytetyöni tuotan Lehto Asunnot Oy:lle, jonka työmaalla toimin vuonna 2018 kesän työnjohtoharjoittelijana. Harjoittelun jälkeen jatkoin töitä koulun ohella ja kirjoitin opinnäytetyötäni. Työmaahan, jossa olin työnjohtoharjoittelussa, kuului 31 rakennusta, 71 asuntoa, kolmella eri tontilla. Rakennukset olivat kolme- ja kaksi kerroksisia rivi-, pari- ja omakotitaloja.

1.2 Rakennusyhtiö Lehto Group

Lehto Group on suomalainen rakennusalan konserni, joka keskittyy toiminnassaan kehittämäänsä talousohjatun rakentamisen toimintamallin hyödyntämiseen. Talousohjatussa rakentamisessa toteutus ja suunnittelu on integroitu kustannushyötyjen saavuttamiseksi. (Lehto group, n.d.)

Lehdon palvelualueita ovat asunnot, toimitilat, hyvinvointitilat ja korjausrakentaminen. Lehto työllistää yhteensä n. 1 200 henkilöä ja liikevaihto vuonna 2017 oli 598 miljoonaa euroa. (Lehto group, n.d.)

Lehto Groupin liiketoiminnalla on lähes 40 vuoden historia. Konsernin vanhin tytäryhtiö Rakennuskartio Oy on toiminut rakennusalalla vuodesta 1976 ja Rakennusliike Lehto Oy yli 25 vuotta. Kehityskaariensa aikana nämä yhtiöt ovat kehittyneet yli rakennusalan syklien. Lehto Group syntyi vuonna 2008, kun sen edeltäjä Päätoimijakonserni perustettiin. Vuonna 2016 Päätoimijasta tuli Lehto Group. (Lehto group, n.d.)

2 LÄMPÖKAMERAKUVAUS

Lämpökuvaus on menetelmä, jolla arvioidaan rakennusten, rakenteiden ja rakennusmateriaalien toimivuutta, laatua sekä kuntoa rakenteita rikkomatta. Lämpökamerakuvausta voidaan käyttää tutkimusmenetelmänä uudisrakennusten laadunvalvontamittauksissa, sekä yhtä lailla se toimii myös vanhojen rakennusten kuntotutkimuksissa. Lämpökamera on laadunvarmistus menetelmänä nopeampi, kuin moni muu vuotokohtien paikantamiseen tarkoitettu laite, mutta lämpökameroiden hinnat alkavat tuhansista euroista. Hinnan nousuun vaikuttaa huomattavasti, kuinka suuri resoluutioinen lämpökamera on. Mitä suuremman resoluution lämpökamera omistaa, sitä paremmin voi pienetkin vuotokohtat huomata rakennuksesta. (Paloniitty ym., 2015, s. 3)

Lämpökuvaajalla sekä lämpökuvien tulkitsijalla tulee olla riittävästi tietoa ja tunteista rakenteiden ja rakennusfysiikan, sekä lämpökameran ja siihen liittyvien ohjelmistojen toiminnasta. Esimerkiksi tutkittaessa vuotokohtan suuruuden toteaminen sekä vuodon erottaminen kylmäsillasta on haastavaa ilman tietämystä ja pelkällä lämpökameralla. Lämpökuvauksen suoritukseen tuo haasteita rakennuksissa lisääntynyt energiatehokkuus, tämän johdosta ilmatiiviys ja lämmöneristyskyky rakennuksissa on kasvanut sekä rakennuksissa on nykyaikaiset monipuoliset talotekniset järjestelmät. Rakennuksien lämpökuvaajan tulee ymmärtää kokonaisuuksia rakenteiden ja järjestelmien yhteistoiminnassa. (Paloniitty ym., 2015, s. 3)

Lämpökameroita on ollut kaupallisesti saatavilla jo 1960-luvulta lähtien, mutta Suomessa, lämpökameroita on ruvettu käyttämään rakennuksien lämpökuvaamiseen 1970-luvun lopulta lähtien. Tähän aikaan lämpökamerat olivat vielä suuria ja painavia, joten lämpökamerakuvaus ei ollut niin yleistä kuin nykypäivänä. 1990-luvun lopulta lähtien lämpökameroiden kehityksessä on tapahtunut suuria muutoksia. Lämpökameroiden koko, paino, erottelukyky, kuvankäsittelyominaisuudet sekä hinta mahdollistavat, että nykyisin lämpökuvausta tehdään aikaisempaan verrattuna yleisimmin kuin ennen. (Paloniitty ym., 2015, s. 12)

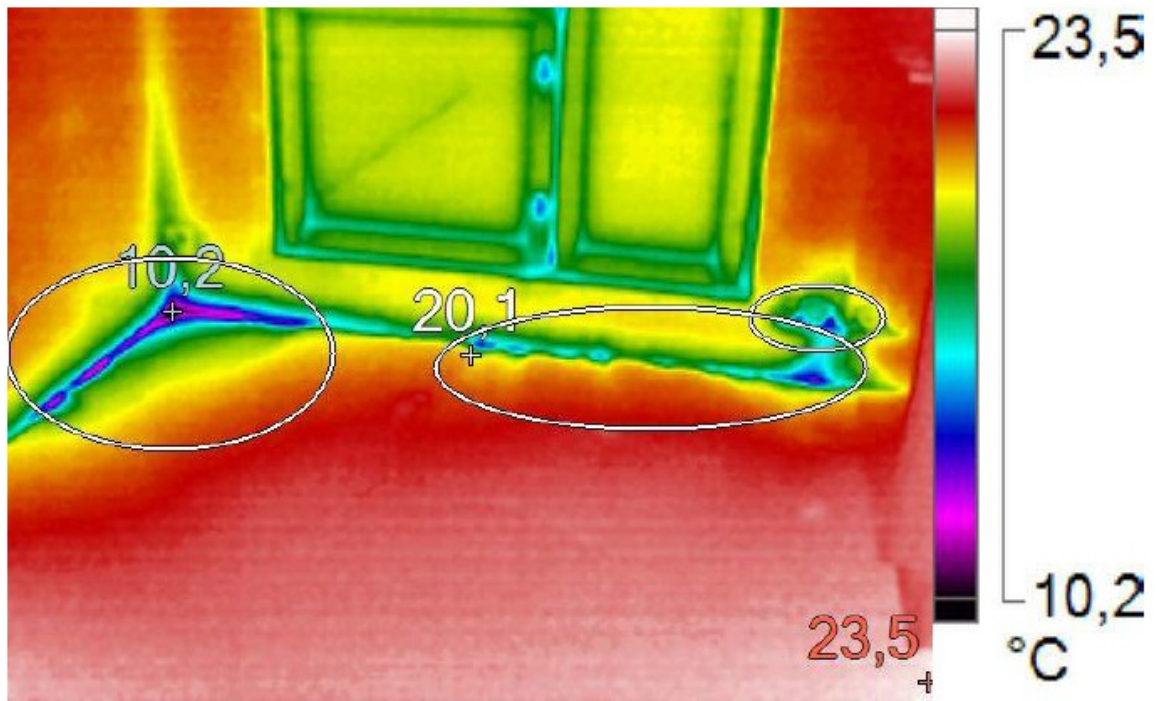
2.1 Lämpökameran toimintaperiaate

Lämpökameroiden toiminta perustuu kohteen pinnasta lähtevän lämpösäteilyn mittaamiseen. Lämpökameran ilmaisimien avulla muuttuu automaattisesti lämpösäteilyvoimakkuuden lämpötilatiedoksi ja tästä muodostetaan lämpökuvaa reaaliajassa. Laitetta, jolla mitataan lämpötilajakaumaa, kutsutaan lämpökameraksi (kuva 1). Kuvan, jonka lämpökamera näyttää kutsutaan lämpökuvaksi (kuva 2). Lämpökuvan yhteydessä otetaan myös näkyvän valon kuva (kuva 3) samasta kohtaa, kuin lämpökuvakin. Lämpökamera ilmoittaa rakennuksen tai rakennuksen osan pintalämpötilajakauman, joka perustuu kohteen lähettämään infrapuna säteilyyn. Rakennuksessa jokainen pinta lähettää infrapunasäteilyä, jonka voimakkuuteen ja määrään vaikuttavat kohteen pintalämpötila sekä pinnan ominaisuudet. (Kauppinen, 2012, s. 143)

Infrapunasäteilyn aallon pituus on väliltä 700 nm...1 mm, joka tarkoittaa, että infrapuna-alue on näkyvän valon aallonpituusalueen (400 nm – 780 nm) yläpuolella. Kohteen lähettämää infrapunasäteilyä kutsutaan emissiivisyydeksi, jota kuvataan emissiviteetillä ϵ . Kun sanotaan että $\epsilon=1$, tarkoitetaan silloin niin sanottua mustaa kappaletta, joka lähettää ja vastaanottaa kaiken infrapunasäteilyn. Täysin mustia kappaleita ei luonnosta löydy. Rakentamisessa käytettyjen materiaalien emissiviteetti on noin 0,9. Se tarkoittaa, että kohteen pinta voi lähettää 90 % säteilystä verrattuna samassa lämpötilassa olevaan mustaan kappaleeseen. Tällainen pinta heijastaa 10 % saapuneesta infrapunasäteilystä. (Kauppinen, 2012, s. 143)



Kuva 1. FLIR T6xx -Lämpökamera (Infradex Oy, n.d.)



Kuva 2. Esimerkki lämpökuvasta, jossa Pientä/kohtalaista ilmavuotoa. (Lehto group, n.d.)



Kuva 3. Esimerkki näkyvän valon kuvasta, joka otetaan lämpökuvan yhteydessä. (Lehto group, n.d.)

2.2 Lämpökuvaajan vaatimukset ja pätevyudet

Lämpökamerakuvauksia suorittavalta vaaditaan kokemusta ja ammattitaitoa. Kuvaajan tulee arvioida kohdetta kokonaisuutena ja huomioida sen lämpöteknistä toimivuutta, sekä tulokseen vaikuttavia tekijöitä. Lämpökuvauksen lopputulokset eivät aina ole selkeitä eikä niitä voida määrätä normeilla, täten lopullinen vastuu onnistumisesta jääkin lämpökuvaajalle. Tämän vuoksi kuvaajalta, että kuvan tulkitsijalta edellytetään kokemusta sekä rakennusfysiikasta, että kameran käytöstä ja sovellusohjelmien tuntemisesta. (Paloniitty ym., 2015, s. 15)

Rakennuksen lämpökuvaajan henkilösertifikaatin hakijalta edellytetään rakennusalan AMK -tutkintoa tai vastaavaa aiempaa tutkintoa, sekä riittävästi aiempaa kokemusta lämpökuvaustekniikasta ja lisäksi kansainvälisen Level 1 -tason koulutusta. Mikäli edellä mainitut vaatimukset eivät täyty, tulee hakijalla oltava vähintään rakennusalan tai LVISA-alan perustutkintoa ja vähintään kolmen vuoden työkokemusta rakennusalalta. (Rateko, n.d.)

Vuonna 2004 Rakennusteollisuus koulutuskeskus RATEKO aloitti järjestämään kiinteistökurssin pohjalta henkilösertifiointiin suuntaavaa rakennuksen lämpökuvaajan koulutusta. Tällä koulutuksella voidaan varmistaa lämpökuvaajien laadukas osaaminen, jotka suorittavat lämpökuvauspalveluja rakennusalalla sekä se, että kuvaajat osaavat suorittaa lämpökuvauksen oikein ja myös tulkita tuloksia oikein. Sertifiointin myöntää VTT. (Paloniitty ym., 2015, s. 15)

Koulutusjakso muodostuu kolmesta kahden päivän mittaisesta lähiopetusjaksosta, näihin sisältyy muun muassa teoriaopetusta, mittausharjoituksia ja välitehtäviä. Koulutuksen lopuksi osallistuja tekee raportin suorittamastaan lämpökuvauksesta ja tulosten tulkinnasta sekä tämän jälkeen osallistuu kirjalliseen kokeeseen. (Rateko, n.d.)

Lämpökamerakuvauksessa havaittujen poikkeamien tulkinta perustuu säädöksiin, Suomen säädöskokoelman osiin 1009/2017 sekä 1010/2017, näissä määritellään rakenteille sekä rakennuksille toiminnalliset vaatimukset. Rakennuksen terveydelliset ohjeet annetaan vuoden 2015 asumisterveysasetuksessa, jossa määritellään pintalämpötilojen ohjeelliset arvot. Lämpökuvien tulkinnan apuna käytetään myös Rakennustieto Oy:n ohjekorttia 05-10417, jossa määritellään tilojen huonelämpötiloja. (Paloniitty ym., 2015, s. 12)

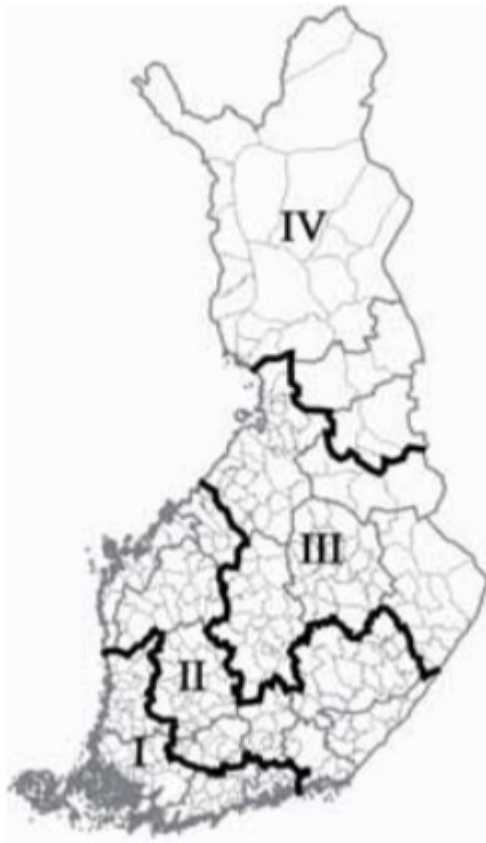
2.3 Mittausolosuhteet

Koska lämpökameroiden herkkyys sekä resoluutio on parantunut huomattavasti vuodesta 2005, kun on viimeksi laadittu ohje mittausolosuhteista. Tämän vuoksi uudistetuissa ohjeissa voidaan lämpötilaerovaatimuksia rakenteiden yli lieventää. Vuonna 2005 laaditussa ohjeessa vaaditaan, joko 15°C:n tai 3 / rakenteen U-arvon verran sisä- ja ulkolämpötilan välille lämpötilaeroa, jotta rakennuksen sisäpuolinen lämpökuvaus saadaan suoritettua normin mukaisesti. Tämä todellisuudessa tarkoittaisi sitä, että lämpökuvaukset jäisivät joinakin talvina lyhyeksi Suomen eteläosissa, koska lämpötilavaatimukset eivät täyttyisi. Ongelma alkaa ilmetä, kun nykyaikaisten talojen rakenteiden U-arvo on varsin hyvä. Esimerkiksi yläpohjan U-arvo vaatimus on nykymääräysten mukaan 0,09 W/(m² K). Tästä laskettuna vähimmäislämpötilaeroksi tulee 3/0,09 = 33°C. Sisälämpötilan tulisi tällöin olla 21°C ja ulkolämpötilan keskilämpötila pitäisi olla vuorokaudessa -12°C, täten lämpökuvaus tehtäisiin ohjeiden mukaisesti. (Paloniitty ym., 2015, s. 68)

Vuoden 2016 päivitettyissä lämpökuvauksen ohjeissa vähimmäislämpötilaerot ovat, ilmanvuotojen paikantamisessa tiiviysmittauksessa tehostetun alipaineen yhteydessä 5°C, rakennuksen laadunvalvontalämpökuvauksessa 15°C sekä rakennuksen laadunvalvontalämpökuvauksessa 10°C, kun käytössä olevan lämpökameran erotteluherkkyys on vähintään 0,03°C ja resoluutio vähintään 70 000 pikseliä. (Paloniitty ym., 2015, s. 68)

Tutkittaessa valmiiden rakenteiden tai rakennuksen lämpötekniistä toimivuutta, edellytetään sääolosuhteilta seuraavia asioita. Lämpökuvausta suoritettaessa ulkoilman lämpötila ei saa vaihdella enempää kuin ±5°C sekä sisälämpötila ei saa poiketa enempää kuin ±2°C lämpökuvauksen aloittamisajankohdasta. Kuvattavan rakennuksen sisällä tulee olla alipainetta -0...-5 Pascalia, mutta ei kuitenkaan enempää kuin -15 Pascalia. Ennen lämpökuvausta tulee varmistua tuulen nopeudesta esimerkiksi lähimmän sääaseman avulla, tuulen nopeus ei saa ylittää 10 m/s. Aurinkoisella säällä tulee varmistua, että aurinko ei olisi lämmittänyt lämpökuvattavaa kevyttä rakennetta (puurakenteiset rakenteet) edelliseen 12 tuntiin, eikä raskasta rakennetta (betoni-, tiili- ja siporex-rakenne) edelliseen 24 tuntiin, mikäli näin on ollut, tulee se mainita lämpökuvausraportissa ja kuvien tulkinnan yhteydessä tulee huomioda tästä mahdollisesti aiheutunut muutos pintalämpötilajakaumassa. Mikäli lämpökuvausta suoritettaessa tapahtuu sääoloissa poikkeuksia, tulee ne kirjata mitausraporttiin ja otettava huomioon tuloksia tulkittaessa. (Paloniitty ym., 2015, s. 68)

Kun suoritetaan valmiin rakennuksen tai sen rakenteiden lämpökuvausta ei sitä tule tehdä ulkolämpötilan ollessa alle paikkakunnan mitoitustilalämpötilan (kuva 4.), eikä tuulen nopeuden ollessa yli 10 m/s. Lämpökuvaus voidaan suorittaa ilman erittäin kylmiä olosuhteitakin, silloin voidaan käyttää lämpötilaindeksiä rakenteiden toimivuutta arvioidessa. Rakennuksen tulee olla tavanomaisessa käyttöä vastaavassa olosuhteessa lämmityksen ja ilmanvaihdon osalta sekä ikkunat kiinni. Rakennuksessa vallitsevan alipaineen tulee olla -0...-5 Pascalia ulkoilmaan nähden. (Paloniitty ym., 2015, s. 68)



Kuva 4. Sävyöhykkeet (Ympäristöministeriön asetus 1010/2017)

Mitoittavat ulkoilman lämpötilat eri sävyöhykkeillä ovat seuraavanlaiset:

- sävyöhykkeellä I mitoittava ulkoilman lämpötila on -26°C
- sävyöhykkeellä II mitoittava ulkoilman lämpötila on -29°C
- sävyöhykkeellä III mitoittava ulkoilman lämpötila on -32°C
- sävyöhykkeellä IIII mitoittava ulkoilman lämpötila on -38°C

2.4 Rakennuksen lämpöolot ja virtausnopeus

Vuonna 2015 on tullut voimaan uusi päivitetty sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista. Asetuksessa otetaan kantaa rakennuksessa vallitseviin lämpöoloihin sekä paine-eroihin, kun arvioidaan rakennuksen toimenpiderajoja.

Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksessa määritetään lämpötila ja ilman virtausnopeus:

”Huoneilman lämpötila voidaan mitata oleskeluvyöhykkeeltä sen mukaan, mikä on tarpeen terveyshaitan selvittämiseksi. Huoneilman lämpötila mitataan noin 1,1 metrin korkeudelta. Lämpötilojen tulee täyttää taulukon 1. mukaiset toimenpiderajat. Toimenpiderajoja sovelletaan asunnossa vai asuinhuoneiden lämpötilojen

terveellisyyden arviointiin. Lämpötilat eivät saa aiheuttaa 5 §:ssä tarkoitettua mikrobikasvun riskiä. Ilman virtausnopeus ei saa ylittää liitteessä 1 olevan vetokäyrän mukaista virtausnopeutta” (Asumisterveysasetus 8/2016 § 6.).

Taulukko 1. Lämpötilojen toimenpiderajat (Asumisterveysasetus 8/2016 § 6.)

	<i>Lämpötilojen toimenpiderajat</i>	<i>Lämpötilaindeksi TI</i>
<i>Asunossa</i>		
Huoneilman lämpötila lämmityskaudella	+ 18 °C – + 26 °C	
Huoneilman lämpötila lämmityskauden ulkopuolella	+ 18 °C – + 32 °C	
Seinäpinnan alin keskiarvolämpötila	+ 16 °C	81
Lattiapinnan alin keskiarvolämpötila	+ 18 °C	87
Alin pistemäinen pintalämpötila	+ 11 °C	61
<i>Palvelutaloissa, vanhainkodeissa, lasten päivähoitopaikoissa, oppilaitoksissa ja vastaavissa tiloissa</i>		
Huoneilman lämpötila lämmityskaudella	+ 20 °C – + 26 °C	
Huoneilman lämpötila lämmityskauden ulkopuolella lasten päivähoitopaikat, oppilaitokset ja muut vastaavat tilat	+ 20 °C – + 32 °C	
Huoneilman lämpötila lämmityskauden ulkopuolella, palvelutalot, vanhainkodit ja muut vastaavat tilat	+ 20 °C – + 30 °C	
Seinäpinnan alin keskiarvolämpötila	+ 16 °C	81
Lattiapinnan alin keskiarvolämpötila	+ 19 °C	92
Alin pistemäinen pintalämpötila	+ 11 °C	61

”Pintalämpötiloja arvioidaan lämpötilaindeksiä käyttämällä silloin, kun lämpötiloja ei voida mitata -5°C ±1°C: n ulkolämpötilassa ja +21°C ±1°C: n sisälämpötilassa. Lämpötilaindeksiä käytettäessä on rakennuksen alipaineisuus otettava huomioon, kun keskimääräinen alipaineisuus ylittää 5 Pascalia” (Asumisterveysasetus 8/2016 § 6.).

Lämpötilaindeksin laskentakaavassa: TI = Lämpötilaindeksi, (%), Tsp = Sisäpinnan lämpötila, (°C), Ti = Sisäilman lämpötila, (°C), To = Ulkoilman lämpötila, (°C). (Asumisterveysasetus 8/2016 § 6.).

$$TI = (Tsp - To)/(Ti - To) \times 100[\%]$$

2.5 Paine-erokorjaus lämpötilaindeksiin

Paine-eroilla on suoraan verrannollinen yhteys ilman liikkeeseen, joilla on vaikutusta ilmanvuotopaikan pintalämpötilaan. Lämpökuvausta suoritettaessa oleellista on, että rakennuksessa on normaalia käyttötilannetta vastaava painesuhde, tällöin rakennuksessa tulisi olla lievä alipaineisuus. Mikäli rakennuksessa todetaan alipaineisuutta yli -5 Pascalia tai ylipainetta, olisi syytä tarkastella ja ehdottaa rakennuksen käyttäjille mahdollista ilmanvaihdon tasapainottamista. Alipaineen ollessa yli -15 Pascalia ei vuodon aiheuttamaa pintalämpötilan muutosta voida enää hallita. Tällöin ilmanvaihdon tasapainotuksessa on vikaa ja tämän korjausta tulee harkita. Mikäli rakennuksessa on alipainetta enemmän kuin -5 Pascalia, lämpötilaindeksi voidaan laskea tulkitsemisen helpottamiseksi paine-eron huomioivalla kaavalla. (Paloniitty ym., 2015, s. 97)

”Paine-erokorjattu lämpötilaindeksi lasketaan siten, että jokainen Pascal alipainetta, joka ylittää -5 Pascalin alipaineen, vähentää lämpötilaindeksiä 0,5 %. Paineerokorjausta ei ole syytä tehdä, jos alipaine on suurempi kuin -15 Pascalia.” (Paloniitty ym., 2015, s. 98)

Paine-eron huomioivassa kaavassa: TI = Lämpötilaindeksi, (%), Tsp = Sisäpinnan lämpötila, (°C), Ti = Sisäilman lämpötila, (°C), To = Ulkoilman lämpötila, (°C), Pa^m = Mittattu vallitseva paine-ero. (Paloniitty ym., 2015, s. 98)

$$TI = (Tsp - To)/(Ti - To) \times 100[\%] + ((Pa^m + 5Pa)/2)$$

Kun rakennuksessa oleva paine-ero on suurempi kuin -15 Pascalia, on tutkittava, voitaisiinko ilmanvaihto säätää uudelleen. Mikäli ilmanvaihtoa ei pysty säätämään ja paine-ero rakennuksessa johtuu savupiippuilmion vaikutuksesta, tällöin ilmoitetaan lämpötilaindeksi paine-erokorjauksella -15 Pascalin mukaan. Jos rakennuksessa oleva paine-ero on suurempi kuin -30 Pascalia, ei lämpötilaindeksiä enää laskea eikä ilmoiteta. Alapuolella olevissa taulukoissa 2 ja 3 on esitetty miten paine-erokorjausta käytetään lämpötilaindeksin laskennassa, sekä sitä kautta tuloksien tulkinnan helpottamiseksi. (Paloniitty ym., 2015, s. 98)

Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeessa (8/2016 § 6) kerrotaan, mikäli alipaineen ollessa 6 - 15 Pascalin välillä, mitattuun pistemäiseen lämpötilaindeksiin lisätään 5 Pascalin ylittävään osuuteen 0,5 yksikköä/Pascali, joka löytyy taulukosta 2.

Taulukko 2. Rakennuksessa mitatun alipaineen vaikutus mitattuun pistemäiseen lämpötilaindeksiin. (Asumisterveysasetus 8/2016 § 6.)

Mitattu alipaine rakennuksessa (Pa)	Korjaus mitattuun pistemäiseen lämpötilaindeksiin
0 - 5	0
6	+ 0,5
7	+ 1,0
8	+ 1,5
9	+ 2,0
10	+ 2,5
11	+ 3,0
12	+ 3,5
13	+ 4,0
14	+ 4,5
15	+ 5,0

Taulukko 3. Lämpötilaindeksin laskeminen paine-erokorjauksella (Palo-
niitty ym., 2015, s. 99)

	Valmiit rakennukset
paine-ero Pa	Lämpötilaindeksin raja-arvo
Ylipaineinen	61
-0...-5 Pa	61
-6...15 Pa	$61\% + ((\text{paine-ero}) + (5\text{Pa}))/2$
-15... Pa	säädetään ilmanvaihto

2.6 Rakennuksen lämpökuvaus

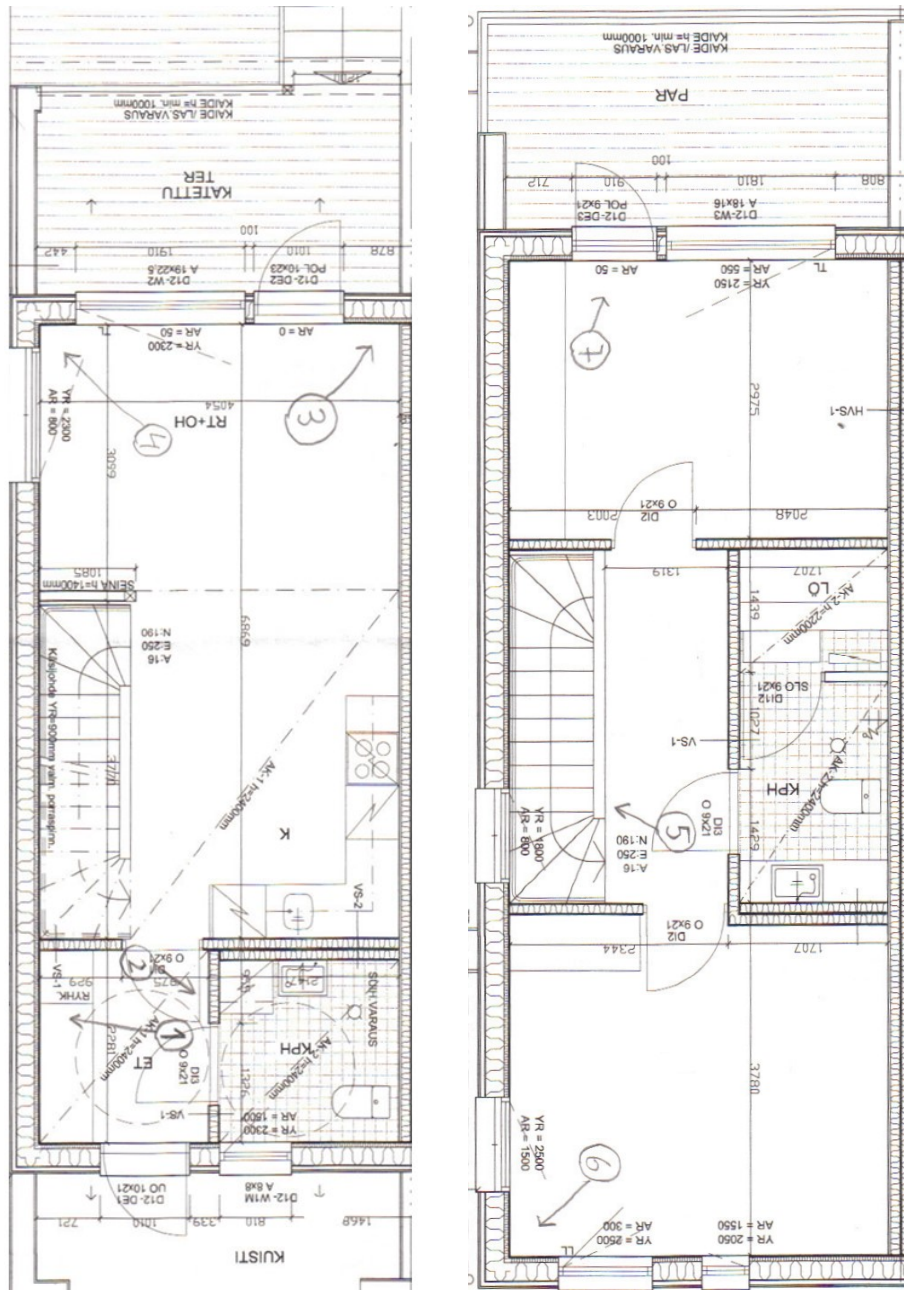
Mikäli lämpökuvaus tehdään rakennukseen, jossa on jo käyttäjät, tulee käyttäjille tiedottaa käyttäjätiedotteella kuvaukseen liittyvät tilan valmistelutoimenpiteet. Valmistelutoimenpiteet tulee tehdä 12 tuntia ennen lämpökuvausta. Käyttäjätiedotteessa tulee ilmoittaa päivämäärä ja kellonaika sekä kuvauksen arvioitu kesto, tarvittaessa myös varapäivä. Käyttäjiä tulee muistuttaa siirtämään irtokalusteet niiltä seiniltä mihin kuvaus halutaan tehdä siten, että seinän viereen jää vähintään metrin levyinen vapaa tila. Mikäli halutaan kuvata kiintokalusteiden sisäpuolelta, tulee kaappien olla tyhjä, sokkelilevyjen irti sekä ovien oltava auki 12 tunnin ajan ennen kuvauksen aloittamista. Ikkunaverhot tulee poistaa tai siirtää ikkunan keskelle 12 tuntia ennen kuvaus ajankohtaa. Ilmastoinnin ja lämmitysjärjestelmän tulee olla normaalissa käyttötilanteessa vähintään 24 tuntia ennen kuvauksen aloittamista. Kohteessamme lämpökuvaus tehtiin ennen käyttäjiä, joten näitä ohjeistuksia ei tarvinnut ottaa huomioon. (Paloniitty ym., 2015, s. 69)

Lämpökuvaajalla on omat velvollisuudet ennen toimenpidettä. Aina ennen lämpökuvauksen aloittamista tulee täyttää kenttätyölomake, johon tulee selvittää ulkoilman tiedot 12 - 24 tuntia ennen kuvauksen aloittamista. Näitä ovat ulkoilman lämpötila, tuulen voimakkuus sekä suunta ja auringosta aiheutuva lämpösäteily. Kenttätyölomakkeeseen merkitään kohteen tiedot, jotka koostuvat seuraavanlaisista tiedoista, ulkoilman lämpötila mittaaminen asteen tarkkuudella rakennuksen välitörmästä läheisyydestä kuvauksen alussa sekä lopussa, auringonpaisteen kuvauksen alussa ja lopussa, tuulen nopeus sekä suunta kuvauksen alussa yksikössä (m/s), sisäilman lämpötila asteen tarkkuudella mitattuna jokaisesta tutkittavasta tilasta sekä vallitseva painesuhde 1 Pascalin tarkkuudella rakennuksessa. Kuvaajalla tulee olla tiedossa sekä käytettävissä mittauksia ennen rakennuksen pohjapiirustukset ja rakennelikkaukset, joista ilmenevät runkotyyppi, alapohjarakenne ja yläpohjarakenne sekä tiedot rakennuksen ilmanvaihto- sekä lämmitysjärjestelmästä. Näiden tietojen pohjalta laaditaan suunnitelma siitä, miten ja missä järjestyksessä lämpökuvaus tullaan suorittamaan ja mistä se aloitetaan sekä mihin kuvauksessa keskitytään. (Paloniitty ym., 2015, s. 71)

Lämpökuvausta lähdeittäessä toteuttamaan, tulee olla perehtynyt rakennukseen sekä rakennuksen rakenteisiin, jotta lämpökuvien tulkinnan ja johtopäätökset voisi tehdä jo työmaalla ja tulkinnat olisivat oikeita. Lämpökuvaus kohdistetaan pääsääntöisesti rakennuksen tai asunnon ulkovaippaan, mutta mikäli toisin sovitaan, voidaan lämpökuvauksessa tutkia pelkästään vain tunnettuja rakenteiden ongelmakohtia. Lämpökuvauksessa tulee noudattaa säännöllisyyttä, jottei vaan mikään rakennuksen osista jäisi kuvaamatta. Lämpökuvaus suoritetaan esimerkiksi niin, että koko rakennus sekä jokainen tila kuvataan kierteen yhteen tiettyyn suuntaan. (RT 14-11239, 2016, s. 3)

Lämpökuvaus voidaan suorittaa joko rakennuksen ulko- tai sisäpuolelta. Ulkopuolista kuvausta rajoittavat rakenteissa olevat tuuletusraot, jotka estävät vuotokohlien paikannuksen. Pääosin lämpökuvaukset tehdään kuitenkin rakennuksen sisäpuolelta ulkovaippaa kuvaten, mutta myös muitakin rakennuksen pintoja voidaan kuvata, koska lämpökameralla on mahdollista havaita kosteusvaurioita, kantavien

rakenteiden liitoskohtia ja talotekniikka varusteiden ja – laitteiden kuntoa sekä toimivuutta. Mikäli rakennuksessa kuvattaessa löytyy poikkeamia, niin lämpökameralla otetaan kaksi kuvaa (lämpökuvaa ja näkyvän valon kuva), jotta lämpökuvaa voidaan tulkita ja raportoida myöhemminkin, näkyvän valon kuva antaa selvyuden kohteesta mistä kuva on ja täten sen pystyy helpommin paikantamaan. Poikkeamakohdat merkitään rakennuksen pohjapiirustuksiin numeroitain järjestyksessä, kuten kuvassa 5 on tehty. (RT 14-11239, 2016, s. 3)



Kuva 5. Lämpökamerakuvauksessa havaittujen poikkeamakohtien merkintä asunnon pohjakuvaan. (Lehto group, n.d.)

2.7 Lämpökuvien tulkinta ja raportoitavat poikkeamat

Lämpökuvauksen jälkeen suoritetaan kuvien tulkinta ja lämpökuvausraportin tekeminen, joka on rakennuksen lämpökuvaamisen tärkein vaihe. Lämpökuvaajan tulisi ymmärtää havaitsemiensa poikkeamien merkitys ja osata päätellä poikkeamien perusteella, mistä poikkeama johtuu vai onko poikkeama kuvattavalle rakenteelle tyyppillinen- tai rakennetekninen ominaisuus. (Paloniitty ym., 2015, s. 92)

Lämpökuvaajan tulee raportoida selkeästi havaitsemansa poikkeamat, joilla on merkittävää vaikutusta lämpöviihtyvyyteen, rakennuksen tai rakenteiden toimivuuteen, pitkäaikaiskestävyyteen tai rakenteiden vaurioitumiseen. Raportoinnin lisäksi tulee esittää tarpeen mukaan kehoitus niiden korjaamisesta tai mahdollisiin lisätutkimuksista. Lämpökuvausta suoritettaessa tallennetaan kaikki rakennuksen kohdat, joissa epäillään esiintyvän:

- Kosteusvaurio
- Eristevika (eristeen puuttuminen tai selkeä asennusvirhe)
- ilmapuoto rakenteisiin, joissa on vahva epäily kosteusvaurion syntyyn
- sisätiloihin tulevia ilmapuotoja, joista sisäilmaan epäillään tulevan epäpuhtauksia, kuten radonia ja mikrobeja
- kylmäsiltoja, joissa lämpötilaindeksi on alle 70 %
- ilmapuotoja, joissa lämpötilaindeksi on alle 70 %
- lattian tai seinän keskilämpötilan alenemista

Mikäli rakennuksesta löytyy joitakin muita tapauskohtaisia poikkeamia tai mitä tässä ei ole lueteltu, niin tulee ne silti, tallentaa sekä raportoida tapauskohtaisesti. Kuvattaessa otettujen kuvien tulosten tulkinnan helpottamiseksi voidaan laskea lämpötilaindeksi, kun tehdään rakennuksen sisäpuolinen lämpökuvaus. Kuvatuille poikkeamille, jotka jäävät alle sallitun toimenpiderajan (TI 61 %) niille tulee laatia kirjallinen raportti, jossa kerrotaan tilanteen vakavuudesta, seurauksista sekä mahdollisista tulevista korjaustoimenpiteistä. (Paloniitty ym., 2015, s. 94)

2.8 Korjausluokitus

Lämpökuvauksessa havaituille poikkeamille annetaan raportoinnissa korjausluokitus. Poikkeamat voidaan luokitella neljään eri korjausluokkaan, jotka näkyvät taulukossa 4. Korjausluokituksen avulla raportin lukija saa käsityksen poikkeaman vakavuudesta ja sen mahdollisista korjaustarpeista. Lämpökuvaajan on itse arvioitava mihin korjausluokkaa raportoitava poikkeama kuuluu, joten kuvaajalta odotetaan asiantuntemusta ja kokonaisuuksien hallintaa. Korjausluokitusta määrittäessä kuvaajan tulee olla varmistunut antamastaan korjausluokituksesta, ettei tällä aiheuteta turhia korjaustoimia ja riitatapauksia. (Paloniitty ym., 2015, s. 102)

Mittausraporttia laadittaessa lämpökuvien lämpötilaskaala asetetaan yhdenmukaiseksi jokaisessa kuvassa mikä on otettu samassa kohteessa esimerkiksi 10-20°C. Sisäpuolisissa kuvissa alarajana pidetään pintalämpötilaindeksiä $TI = 61\%$ vastaavaa lämpötilaa ja ylärajana on sisälämpötila tai sen yläpuolella olevaa pintalämpötilaa porrastettuna 5°C välein. (Paloniitty ym., 2015, s. 102)

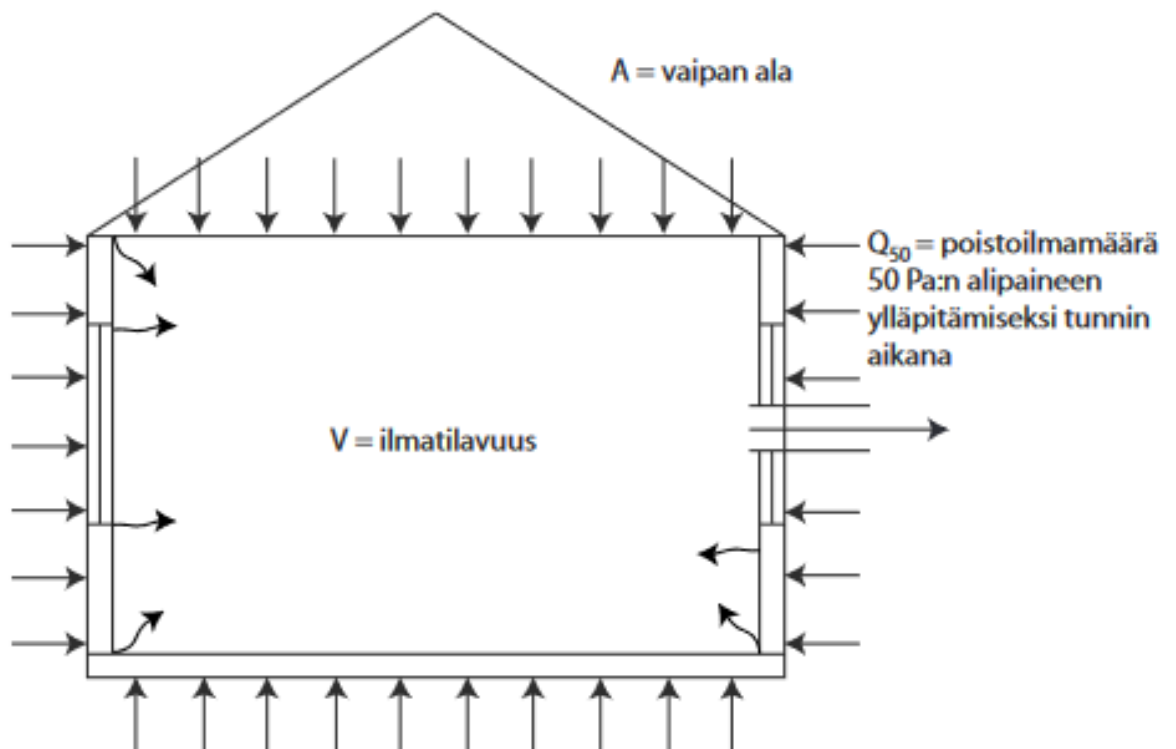
Taulukko 4. Raportoitavien poikkeamien korjausluokat (Paloniitty ym., 2015, s. 103)

Korjausluokka	Toimenpiteet	Lämpötilaindeksi
1	Korjaus on suositeltavaa. Rakenteessa on selkeä rakennusvirhe, eristevika, kosteusvaurio tai ilmavuoto	Lämpötilaindeksi yleisesti selkeästi alle 61 %
2	Korjaus on harkinnanvarainen. Rakenteessa on lievä vika	Lämpötilaindeksi on hyvin lähellä toimenpiderajaa tasossa 58-64 %
3	Lisätutkimustarve. Rakenteessa on poikkeama, joka vaatii lisätutkimuksia. Epäilään esim. epäpuhtauksien kulkeutumista.	
4	Ei korjaustarvetta. Rakenteessa on lieviä pintalämpötilapoikkeamia	Lämpötilaindeksi on selkeästi yli 64 %

3 TIIVIYSMITTAUS

Rakennuksen tiiviyyttä tutkittaessa käytetään yleensä painekoetta. Tiiviysmittauksessa tutkittavan rakennuksen tai huoneiston ilmanvaihtoventtiilit, hormit, viemärit ja muut rakennuksen vaippaan suunnitelmien mukaiset aukot suljetaan ja mahdollisesti tiivistetään, jotta voidaan tutkia ainoastaan rakennuksen vaipan ilmatiiviyyttä. Tiiviysmittauksen puhallin asennetaan tiiviisti rakennuksen ovi- tai ikkuna-aukkoon, tämän avulla rakennuksen sisä- ja ulkoilman välille luodaan haluttu paine-ero (kuva 6.). Määritetyn paine-eron ylläpitämiseksi tarvittava ilmavirtaus mitataan puhaltimen läpi virtaavasta ilmasta. 50 Pascalia paine-eron ylläpitämiseksi tunnin aikana tarvittava ilmamäärä m^3/h jaetaan tutkittavan rakennuksen sisätilavuudella m^3 , tästä saadaan tulokseksi yksi rakennuksen ilmanpitävyyden vertailuluvuista eli ilmanvuotoluku n_{50} 1/h. Tämä luku kertoo, kuinka monta kertaa rakennuksen ilmatilavuus vaihtuu tunnin aikana, kun paine-erona on 50 Pascalia. Mitä pienempi on rakennuksen ilmanvuotoluku n_{50} , sen ilmapitävämpi rakennus on. Ilmamäärä voidaan myös jakaa vaipan alalla m^2 , jolloin saadaan tulokseksi ilmanvuotoluku q_{50} $m^3/(h m^2)$. Tämä luku kertoo keskimääräisen ulkovaippaneliön läpi menevän vuotoilmavirran kuutioina tunnissa 50 Pascalia paine-erossa. (Aho & Korpi, 2009, s. 7)

Tiiviysmittaus tehdään pääsääntöisesti valmiiseen rakennukseen, koska valmis sisäpinta lisää rakennusvaipan ilmatiiviyyttä.



Kuva 6. Vaipan tiiviysmittauksen periaate. (Paloniitty, 2013 b, s. 157)

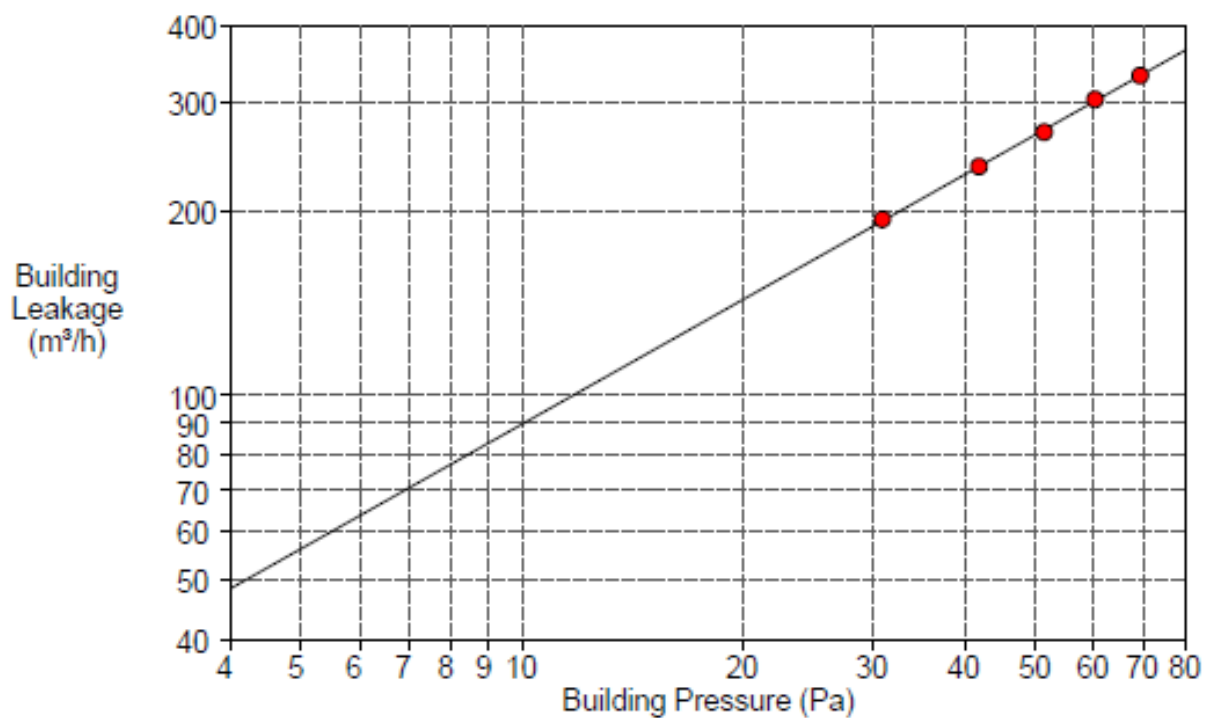
Ilmanvuotoluvun n_{50} laskentakaava, jossa: n_{50} = rakennuksen ilmanvuotoluku 50 Pa paine-erolla [1/h], Q_{50} = painekokeella mitattu ilmavirtaus 50 Pa paine-erolla [m^3/h], V = rakennuksen/ mitattavan osan sisätilavuus [m^3]. (Paloniitty, 2013 a, s. 29)

$$n_{50} = Q_{50} / V$$

Ilmanvuotoluvun q_{50} laskentakaava, jossa: q_{50} = rakennuksen ilmanvuotoluku 50 Pa paine-erolla [$m^3/(h m^2)$], Q_{50} = painekokeella mitattu ilmavirtaus 50 Pa paine-erolla [m^3/h], A = rakennuksen/ mitattavan osan sisätilavuus [m^3]. (Paloniitty, 2013 a, s. 29)

$$q_{50} = Q_{50} / A$$

Seuraavassa kuvassa 7 näkyy rakennuksen ilmanvuotokäyrä tiiviysmittauksen jälkeen. Kuvan tarkoitus on kertoa ilmamäärä suhteessa paine-eroon alipaineessa.



Kuva 7. Ilmanvuotokäyrä pientalossa, josta näkyy ilmamäärä suhteessa paine-eroon alipaineessa. (Lehto group, n.d.)

3.1 Tiiviysmittaajan vaatimukset ja pätevydet

Henkilösertifioituna tiiviysmittaajana toimivalta edellytetään osallistumista VTT Expert Services Oy:n hyväksymän koulutusorganisaation järjestämään koulutukseen, joka koostuu viiden (3 + 2) päivän valmentavasta koulutuksesta, kirjallisesta tentistä sekä näyttötyöstä todellisessa kohteessa ja sen raportoinnista. Saadakseen sertifiikaatin tulee hakijan lähettää hakemuslomake, jossa ilmenee hyväksytysti suoritettu kirjallinen koe ja näyttötyö. (Työtehoseura ry, n.d.)

Tiiviiden mittaajan sertifiikaatin hakijalta edellytetään rakennusalan AMK- tutkinto tai vastaava aiempi tutkinto sekä 1,5 vuoden työkokemus rakennusosalta, mutta mikäli koulutustaso ei riitä, on hakijalla oltava LVISA- tai rakennusalan perustutkinto ja kolmen vuoden työkokemus rakennusosalta. (Rateko, n.d.)

3.2 Rakenteiden ilmatiiviiden merkitys

Rakennuksen vaipparakenteiden ilmatiiviydellä on merkitystä moneen asiaan. Ilmatiiviydellä voidaan varmistaa vaipparakenteiden kosteustekninen toiminta. Nykyisissä rakennuksissa ovat entistä paremmin eristävät vaipparakenteet, joten hallitsemattoman vuotoilman kulkeutuminen rakenteisiin tulisi estää, tällöin vältytään rakenteiden kosteus- ja homevaurioriskeiltä. Mikäli vaipparakenteissa on vuotokohtia, tällöin sisäilman kosteus kulkeutuu ilmavirtausten mukana kylmiin vaipparakenteiden osiin ja saattaa aiheuttaa kosteusvaurioriskin. (Paloniitty, 2013 a, s. 7)

Rakennuksen tulee olla ilmanpitävä, jotta saavutetaan hyvä asumisviihtyvyys. Mikäli rakennus ei ole ilmanpitävä ja kylmä ulkoilma pääsee virtaamaan sisätiloihin, niin tästä aiheutuu vedon tunnetta, sekä pahimmillaan terveyshaittariskejä. Rakennuksen vaipan hyvän ilmanpitävyyden myötä sisäilmanlaatu paranee, sekä mahdollisten homeiden, epäpuhtauksien ja haitallisten aineiden kulkeutuminen rakenteista, maaperästä ja ulkoilmasta vähenee. Rakenteiden Ilmapitävyydellä on suuri merkitys kosteusteknisen toimivuuden kannalta, koska kostea sisäilma ei pääse kulkeutumaan konvektion avulla rakenteisiin ilmanvuotokohdista ja täten aiheuttamaan kosteusvauriota, eikä kylmä ulkoilmakaan pääse virtaamaan rakenteeseen ja jäädyttämään rakennetta niin, että materiaalikerroksien välisiin rajapintoihin kosteus alkaisi tiivistymään taikka homeelle tulisi kasvuun suotavat olosuhteet. (Paloniitty, 2013 a, s. 7)

Ilmanpitävyydellä on vaikutusta rakennuksen energiankulutuksen pienenemiseen. Jos rakennus on ilmanpitävä niin rakennuksessa oleva lämpö ei karkaa ilmavirtausten myötä ulos rakennuksen vaipan läpi eikä vastaavasti kylmää ilmaa tule sisälle vuotokohdista. Mikäli rakennuksessa on hallitsemattomia vuotokohtia, on niillä vaikutusta rakennuksen kokonaisenergiakulutukseen. Rakennuksen vuotoilmasta aiheutuu 15 - 30 % lämmitysenergiantarpeesta pientaloissa, joiden ilmanvuotoluku n_{50} on 4,0 1/h. Rakennuksien ilmanvuotoluku on yksinkertaisesti mitattava ja selkeä lukema, jolla voidaan verrata keskenään rakennuksia ja tämän avulla voidaan arvioida rakennuksen vaipan ilmatiiviyttä. (Aho & Korpi, 2009, s. 7)

Ilmanpitävässä rakennuksessa ilmanvaihto ja sisäilman laatu on paremmin hallinnassa, kuin rakennuksessa, jossa ulkovaipassa on hallitsemattomia vuotokohtia. Ilmatiiviissä rakennuksessa, jossa on koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä, sen toiminta on tehokkaampaa ja lämmöntalteenottolaitteistosta saatava hyöty on suurempi, koska ilma poistuu suunniteltujen reittien kautta eli ilmanvaihtojärjestelmien venttiilien kautta. Alapohjan ilmapitävyys on sisäilman laadun kannalta erityisen tärkeää, jotta voidaan välttyä maaperässä esiintyvien radonin ja mikrobien kulkeutumiselta vuotoilmakohtien kautta sisäilmaan. Ilmatiiviissä rakennuksessa ilmanvaihdon täytyy olla tasapainotettu ja riittävän tehokas rakennukseen, johon se on suunniteltu, koska ilma ei vaihdu lainkaan vuotoilmakotien kautta. (Aho & Korpi, 2009, s. 7)

3.3 Mitä on rakenteiden ilmatiiviys?

Kun puhutaan rakenteiden ilmatiiviydestä, tarkoitetaan silloin rakenteen vesi-, ilma- ja vesihöyrytiiviyttä. Ilmatiiviydellä mitataan rakenteen kykyä estää ilman liikettä rakenteiden läpi. Ilmatiiviyden mittauksessa siis mitataan rakennusvaipan läpi kulkeutuvaa ilmavirtaa. Ilma voi kuitenkin virrata vaippa rakenteiden lävitse tai vaipassa olevien aukkojen, kuten ikkunoiden tai ovien liitoskohdista vaippaan. (Paloniitty, 2013 a, s. 12)

Sisä- ja ulkopuolen väliset paine- ja lämpötilaerot aiheuttavat ilman liikettä eli konvektiota. Konvektion aiheuttaa, kun ilma liikkuu lämpötilaeroista johtuvien tiheuserojen vuoksi. Pakotetussa konvektiossa ilman virtaukset muodostuvat ulkopuolisesta voimasta aiheutuneiden paine-erojen vaikutuksesta. Pakotettua konvektiota voi aiheuttaa muun muassa savupiippuvaikutus, tuuli ja ilmanvaihtojärjestelmät. (Paloniitty, 2013 a, s. 13)

Rakennuksissa rakenteiden ilmatiiviys varmistetaan pääsääntöisesti erillisellä ilman-/höyrynsulkukerroksella, mutta jotkut rakenteet ovat tarpeeksi ilmatiiviitä ilman ilmansulkukerrosta. Rakennuksessa, jossa ulkovaippa on puurakenteinen, ilmatiiviys varmistetaan erillisellä kalvomaisella tai levymäinen ilman- ja höyrynsulkukerroksella, kun taas rakennuksessa, jonka ulkovaippa on harkkorakenteinen, ilmansulkukerrosena toimii tasoitekerros. Massiivisissa rakenteissa ei tarvita ilmansulkukerrosta välttämättä, niin kuin puurakenteisessa sekä harkkorakenteisessa. Rakenteiden liitoskohdissa tulee kuitenkin varmistua riittävästä ilmatiiviydestä. Toteutettu ilmansulkukerros tulisi toteuttaa yhdellä kerroksella sekä sen tulee jatkua yhtenäisenä koko rakennusvaipan ympäri, jolloin kaikkien eri rakenneosien ilmansulkukerros tulee liittyä sekä limittyä tiiviisti toisiinsa. Ilmansulkukerrosena toimivat materiaalit tulee suunnitella sekä toteuttaa niin, että ne kestävät koko rakennukselle suunnitellun käyttöiän. Ilmansulkukerrokseen rakennusaikana tehdyt reiät paikataan ilmansulkukerrokseen sopivalla materiaalilla. (Aho & Korpi, 2009, s. 10)

Rakennuksen tiivyydestä on määräyksiä Ympäristöministeriön asetuksessa, jossa säädetään vuotoilman lämpöhäviöiden laskemisesta sekä rakennuksen ilmapitävyydestä seuraavasti:

Pykälässä 25 § Rakennuksen vuotoilman lämpöhäviöiden laskeminen

”Rakennuksen vuotoilman lämpöhäviö on laskettava kaavalla:

$$H_{\text{vuotoilma}} = P_i C_{pi} q_{v \text{ vuotoilma}}$$

jossa:

$H_{\text{vuotoilma}}$ on vuotoilman lämpöhäviö, W/K

P_i on ilman tiheys, 1.2 kg/m^3

C_{pi} on ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 Ws/(kg K)

$q_{v \text{ vuotoilma}}$ on vuotoilmavirta m^3/s

lämpöhäviötä laskettaessa rakennuksen vaipan ilmanvuotoluvun vertailuarvona on käytettävä arvoa $2,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$

Rakennuksen suunnitteluratkaisun lämpöhäviötä laskettaessa on käytettävä suunnitteluarvoa rakennuksen vaipan ilmanvuotoluvun arvona. Jos ilmapitävyyden suunnitteluarvon toteutumista ei osoiteta mittaamalla tai teolliseen talonrakennuksen laadunvarmistusmenettelyllä, on käytettävä rakennuksen vaipan ilmanvuotoluvun arvoa $4,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ ” (Suomen säädöskokoelma 1010/2017).

Pykälässä 27 § Rakennuksen ilmapitävyys

”Rakennuksen vaipan ilmanvuotoluku q_{50} voi olla enintään $4 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$. Ilmanvuotoluku voi ylittää arvon $4 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$. Jos rakennuksen käytön vaatimat rakenteelliset ratkaisut sitä edellyttävät” (Suomen säädöskokoelma 1010/2017).

Kumotussa vanhassa D3 Suomen rakentamismääräyskokoelmassa sanotaan seuraavasti kohdassa 2.3.1

”Sekä rakennusvaipan, että tilojen välisten rakenteiden tulee olla niin ilmapitäviä, että vuotokohtien läpi tapahtuvat ilmavirtaukset eivät aiheuta merkittäviä haittoja rakennuksen käyttäjille, rakenteille tai rakennuksen energiatehokkuudelle. Erityistä huomiota tulee kiinnittää rakenteiden liitosten ja läpivientien suunnitteluun sekä rakennustyön huolellisuuteen. Rakenteisiin on tarvittaessa tehtävä erillinen ilman-sulku” (Suomen rakentamismääräyskokoelma D3/2011).

3.4 Mittausolosuhteet

Mittausolosuhteet ovat tärkeä huomioida tiiviysmittausta tehdessä, jotta saadaan täysin luotettavat tulokset. Luotettavaan tiiviysmittaukseen vaaditaan riittävän vaakaat paine-ero-olosuhteet. Standardin SFS EN 13829 mukaan koetta ei saa suorittaa, mikäli tuulen nopeus ylittyy 6 m/s tai arvon 3 Boforiasteikolla, tällöin mittaus-tuloksista ei tule luotettavia tuloksia. Lisäksi standardissa kerrotaan, että tiiviysmit-tausta ei pitäisi suorittaa, mikäli sisä- ja ulkolämpötilojen erotus kerrottuna raken-nuksen korkeudella ylittää arvon 500 m°C, muuten savupiippuilmio vaikutuksella on liian suuri vaikutus saataviin arvoihin. (Paloniitty, 2013 a, s. 37)

Ennen tiiviysmittausta tulee mitata ulkoilman lämpötila mitattavan kohteen välittö-mästä läheisyydestä, sisäilman lämpötila tilasta, johon puhallinlaitteisto on asetettu sekä todeta tuulen suunta ja voimakkuus mitattavan kohteen läheisyydestä. Lisäksi kirjata ulkoilman paine lähimmän sääaseman antamien tietojen perusteella. Nämä vaatimukset koskevat, kun tehdään normaalia tiiviysmittausta 50 Pascalin alipai-neessa, mutta tiiviysmittaus voidaan tehdä pienemmällä paine-erolla, jolloin mit-taukset tarvitsevat tehdä ainakin vähintään kolmella eri paine-erolla. Tällöin olosuh-devaatimukset ovat seuraavanlaiset, kun saavutettava paine-ero on 30 Pascalia, tu-lee tuulen nopeuden oltava alle 3 m/s ja ulkoilman lämpötila yli 0°C tai kun saavu-tettava paine-ero on 20 Pascalia, tulee tuulen nopeuden oltava alle 1 m/s ja ulkoil-man lämpötila yli 15°C. (Paloniitty, 2013 a, s. 38)

3.5 Rakennuksen paine-erot

Rakennuksien ilmanvuodoista puhuttaessa tarkoitetaan sisä- ja ulkopuolten välis-ten paine-eroista aiheutuvaa ilman virtausta vaipan läpi eli konvektiota. Paine-eroja aiheutuu esimerkiksi ilmanvaihtolaitteista, tuulesta, tulisijojen käytöstä sekä läm-pötilaeroista. (Aho & Korpi, 2009, s. 7)

Maapallon ympärillä on niin sanottu ilmakehän paine, jota kutsutaan ilmanpai-neeksi. Ilmanpaine riippuu sääilmiöistä sekä sen mittauskorkeudesta. Ilmakehän paine maan pinnalla on 1 Bar eli 100 000 Pascalia. Ilmanpaine muodostuu kuivan ilman tiheydestä, kun taas tiheys riippuu ilman lämpötilasta sekä vesihöyryn osapai-neesta. (Paloniitty, 2013 a, s. 8)

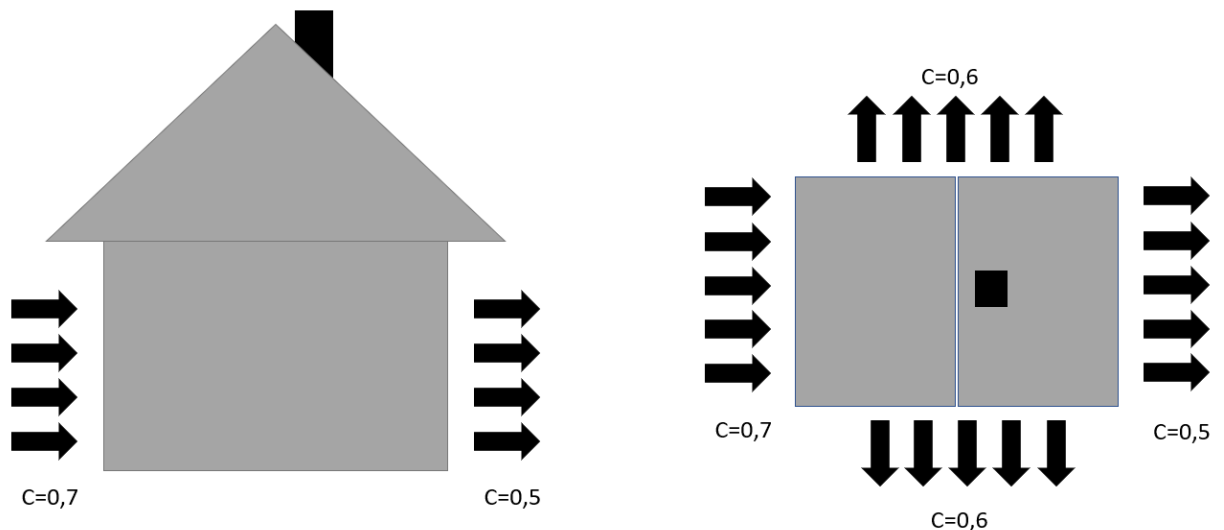
On täysin normaalia, että toimivassa rakennuksessa sisäilman ja ulkoilman välillä on paine-eroja. Nykyiset uudisrakennukset varustetaan ilmanvaihtojärjestelmillä, jotka säädetään poistamaan enemmän, kuin tuottamaan ilmaa, tällöin rakennuksesta tu-lee lievästi alipaineinen ulkoilmaan nähden. Suositeltava paine-ero on vähemmän kuin 10 Pascalia. Rakennukset pidetään ilmanvaihtojärjestelmän avulla alipainei-sina, jottei lämpimän sisäilman sisältämä vesihöyry pääse virtaamaan mahdollisten vuotokohtien läpi ja jäähtyessään tiivistymään rakenteisiin. Paine-erot rakennuk-sissa muodostuvat tuulesta, ilmanvaihtojärjestelmästä ja savupiippuvaikutuksesta. (Paloniitty, 2013 a, s. 8)

3.5.1 Tuulen aiheuttama paine-ero

Rakennuksen paine-eroihin vaikuttavat rakennuksen sijainti, muoto ja koko sekä tuulen voimakkuus ja suunta. Myös rakennuksen korkeus ja suojaisuus vaikuttavat, joko korostaen tai alentaen paine-eroja. Jos rakennus on tuulelta suojaisessa paikassa, tuuli ei aiheuta suurempia paine-eroja, mikäli rakennus on avoimella alueella, tulee huomioida tuulen vaikutus paine-eroihin. Rakennuksiin vaikuttavaa tuulen aiheuttamaa painetta on vaikea määrittää tarkasti. Kuvassa 8 kuvataan pelkistetyt rakennuksen muotokertoimia. (Paloniitty, 2013 a, s. 10)

Tuulesta yleisesti aiheutuvaa painetta voidaan arvioida Bernoullin yhtälöllä, jossa: c = rakennuksen muodosta ja tuulen suunnasta riippuva vakio, ρ = ulkoilman tiheys [kg/m^3], v = tuulen nopeus [m/s]. (Paloniitty, 2013 a, s. 10)

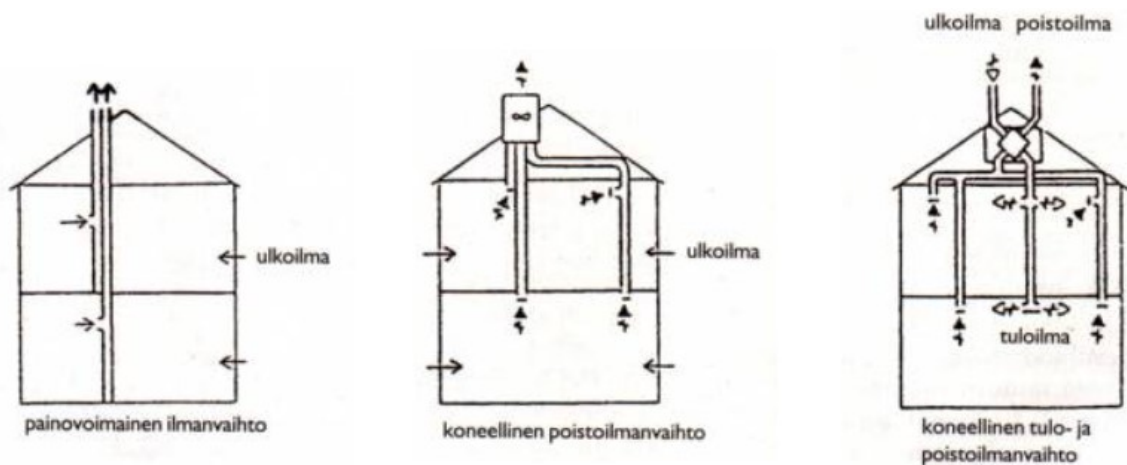
$$p = c \times 0,5 \times \rho v^2$$



Kuva 8. Pelkistetyt rakenteen muotokertoimet C. (Paloniitty, 2013 a, s. 11)

3.5.2 Ilmanvaihtojärjestelmän aiheuttama paine-ero

Ilmanvaihto voidaan toteuttaa rakennuksissa kahdella tavalla, joko painovoimaisena tai koneellisen poisto- tai koneellinen poisto- ja tuloilmanvaihdolla. Painovoimainen ilmanvaihto toimii savupiippuilmion tavoin, jossa rakennuksen alaosa vaipan rakojen tai tuloilmaventtiilien kautta tuleva kylmä ilma lämpenee ja nousee ylöspäin lämmittessään. Lopulta lämmennyt ilma poistuu poistoventtiileistä ulkoilmaan. Painovoimainen ilmanvaihto toimii parhaiten mitä suuremmat lämpötilaerot ovat sisä- ja ulkoilman välillä. Tuuli auttaa paine-eron syntyemisessä ja parantaa ilmanvaihtuvuutta. Vanhemmissa rakennuksissa ilmanvaihto on yleensä painovoimainen, joihin on lisätty jälkepäin esimerkiksi WC- ja märkätiloihin poistoilmaventtiileihin puhaltimet, jotka puhaltavat jäteilman pois ja täten aiheuttavat lievää alipainetta rakennukseen. Koneellinen poistoilmanvaihto puhaltaa jäteilman pois rakennuksesta ja tuloilma on järjestetty tuuletusventtiilien kautta. Koneellinen poisto- ja tuloilmanvaihto hoitaa poistoilman lisäksi tuloilman koneellisesti eikä tällöin ole tuuletusventtiileitä. Koneellisella poisto- ja tuloilmanvaihdolla pystytään lämmittämään, jäähdyttämään ja puhdistamaan rakennukseen tulevaa ilmaa. Tähän on mahdollisuus yhdistää lämmön talteenottojärjestelmä, joka perustuu poistoilmassa olevan lämmön talteen ottoon ennen ulos puhallusta. Koneellisen ilmanvaihtojärjestelmän ansiosta saadaan rakennukseen lievä alipaine, joka on suositeltavaa olla 0-10 Pa. Painovoimaisella ilmanvaihtojärjestelmällä ei saada tasaista alipainetta koko rakennukseen, koska painovoimaisessa ilmanvaihdossa rakennuksen alaosassa on lievä alipaine ja rakennuksen yläosassa ylipaine. (Paloniitty, 2013 a, s. 11)



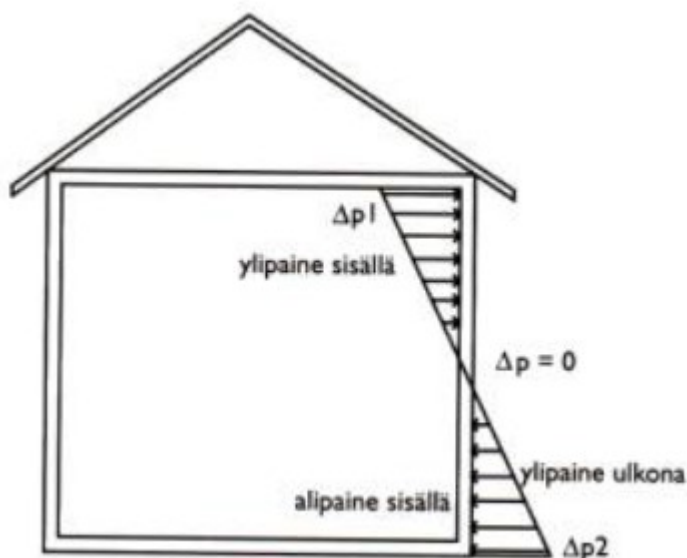
Kuva 9. Erilaisten ilmanvaihtojärjestelmien toimintaperiaatteet. (Sisäilmäyhdistys ry, 2008)

3.5.3 Savupiippuvaikutuksen aiheuttama paine-ero

Savupiippuilmiö tarkoittaa ilmiötä, jossa lämmennyt, tiheydeltään pienentynyt huoneilma nousee ylöspäin ja aiheuttaa rakennuksen yläosaan ylipainetta. Yksinkertaisuudessaan kylmä ilma virtaa sisään rakennuksen alaosaan tuloilmaventtiileistä ja lämmin ilma virtaa ulos poistoilmaventtiileistä rakennuksen yläosista. Jäähdytettäessä huoneilmaa toimii päinvastoin, viilennyt ilma painuu alaspäin ja aiheuttaa painetta rakennuksen alaosiin. Savupiippuilmiöön vaikuttaa rakennuksen korkeus sekä ulko- ja sisäpuolen väliset lämpötilaerot. Kun rakennus on alaosaan alipaineinen ja yläosaan ylipaineinen, on näiden painekenttien välissä jossakin kohtaa neutraaliakseli. Neutraaliakselilla paine vastaa ulkoilman painetta. Neutraaliakselin sijainti riippuu rakennuksen tiivyydestä ja vuotokohdista. Mikäli vuotokohdat sijaitsevat rakennuksen yläosissa niin tällöin neutraaliakseli sijaitsee rakennuksen yläosissa ja rakennuksen alaosassa on entistä suurempi alipaine. Jos vuotokohdat sijaitsevat vastaavasti rakenteiden alaosissa, on yläosassa suurempi ylipaine. (Paloniitty, 2013 a, s. 9)

Savupiippuilmiölle on olemassa kaava, jolla sen suuruus voidaan laskea. kaavassa $\Delta t = t_{\text{sisäilma}} - t_{\text{ulkoilma}}$ (°C), h = etäisyys neutraaliakselista. (Paloniitty, 2013 a, s. 9)

$$\Delta p = 0,043 \times \Delta t \times h$$



Kuva 10. Lämpötilaeroista aiheutuva painejakauma savupiippuvaikutuksen johdosta. (Sisäilmäyhdistys ry, 2008)

3.6 Paikantamisen menetelmät

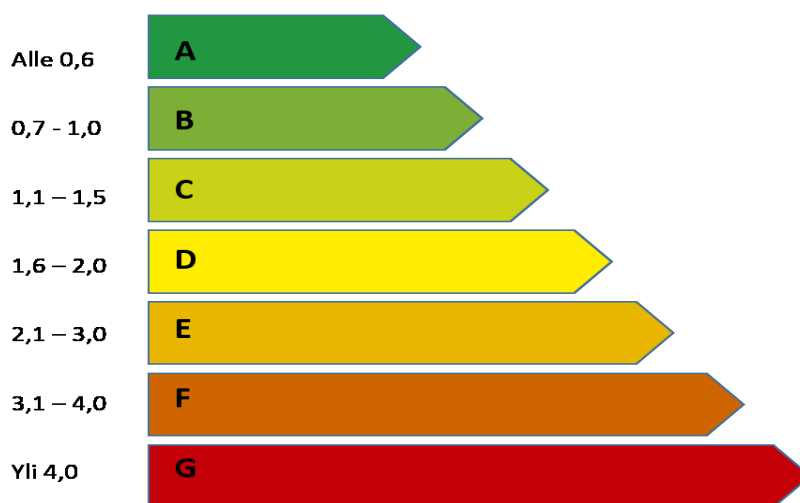
Tiivysmittauksen yhteydessä on suositeltavaa tehdä aina rakennuksessa ilmavuotokohtien paikannus. Vuotojen paikantamisen periaatteena on, että rakennukseen luodaan alipaine ulkoilmaan nähden. Rakennuksen ilmavuodot voidaan paikantaa merkkisavuilla, ilmavirtausmittauksilla ja lämpökameralla, tällöin rakennuksessa tarvitsee vallita noin 10-50 Pascalin alipaine. Alipainetta suositellaan olevan vähintään 10 Pascalia/asuinkerros, tällöin savupiippuvaikutuksen aiheuttama ylipaine saadaan kumottua. Tiivysmittauksen yhteydessä ilmavuotojen paikannukseen ei voida käyttää lämpötilaindeksiä, koska rakennus ei ole normaalissa käyttötilanteessa. (Paloniitty, 2013 a, s. 58)

Tiivysmittauksen suorittajan tulee paikantaa suurimmat ja merkittävimmät ilmavuodot, jotta voidaan varmistua, että tutkitaan ainoastaan rakennuksen vaipan ilmatiiviyttä, eikä suunniteltujen aukkojen kautta tapahtuvaa ilmavuotoa. Varsinaisten ilmavuotojen paikannus ja raportointi tehdään, mikäli tilaajan kanssa on sovittu. (Paloniitty, 2013 a, s. 58)

3.7 Raportointi

Tiivysmittauksen tuloksista luodaan aina vähintään mittausdokumentti, jolla voidaan todistaa rakennusvalvonnalle rakennuksen ilmatiiviyys. Tätä dokumenttia kutsutaan tiivysmittauspöytäkirjaksi. Tiivysmittausraportissa ilmoitetaan rakennuksen ilmatiiviyysluokka, jota kuvataan kuvan 11 mukaisella kuvaajalla. Tiivysmittauksesta voidaan tehdä myös laajempi tiivysmittausraportti, mikäli asiakkaan kanssa näin sovitaan. Tiivysmittausraportti on kirjallinen tutkimusraportti kohteesta. Tiivysmittauksen yhteydessä voidaan tehdä myös ilmavuotojen paikannus, mikäli asiakkaan kanssa näin sovitaan, tällöin ilmanvuotopaikat raportoidaan laajempaan tiivysmittausraporttiin erikseen esimerkiksi lämpökuvauksmittausraportin sekä pohjapiirustuksen kanssa, johon merkitään vuotokohdan sijainti rakennuksessa kuten kuvassa 5. (Paloniitty, 2013 a, s. 63)

Ilmatiivisyysluokitus



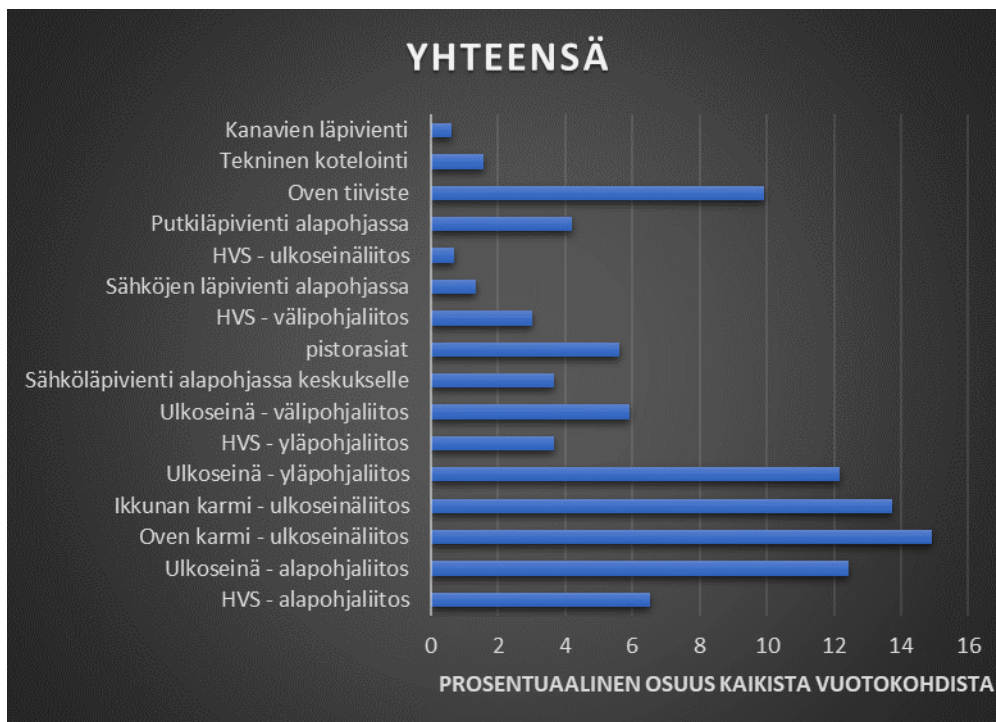
Kuva 11. Ilmatiivisyysluokitus

4 TUTKIMUSTULOKSET

Opinnäytetyössä tutkitaan tuotannosta valmistuneiden kohteiden ilmatiiviysmittauksia, tarkemmin ottaen vuotokohtaraportteja, joista ilmenevät tiiviysmittauksen yhteydessä havaitut vuotokohdat. Tutkimuksessa käytettiin 159:stä valmistuneesta uudispientaloasunnosta saatuja tuloksia. Vuotokohtaraporteista saadut tiedot kerättiin Excel-ohjelmaan, jonka jälkeen niistä muodostettiin taulukoita. Kun taulukossa vuotokohtien määrät järjestetään osuiksi kaikista löydetystä vuotokohdista, havaitaan vuotokohdista 15 % koostuvan oven karmin ja ulkoseinänliitoksesta, 13 % ikkunan karmin ja ulkoseinänliitoksesta, 12 % ulkoseinän-alapohjaliitoksesta ja niin edelleen. Vuotokohtien määrät eivät huomioi vuotokohtien suuruuksia, joten varsinaisesti merkittävä vuotokohtaa ei voida sanoa täysin tämän tutkimuksen perusteella, mutta näitä tuloksia vertailemalla keskenään voidaan havaita mitkä ovat tyypillisimmin esiintyneitä ongelmakohtia rakennuksissa ja joihin pitäisi kiinnittää jatkossa lisää huomiota suunnittelussa sekä erityisesti työmaalla.

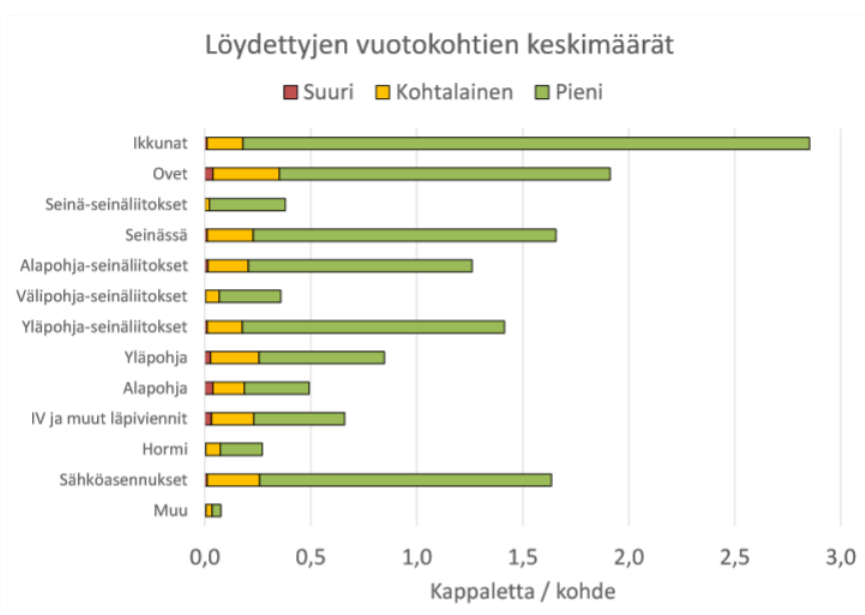
Tiiviysmittauksen yhteydessä havaitut vuotokohdat ovat lämpökameralla löydettyjä vuotokohtia, joita on voitu lisäksi havainnoida käsin tunnustelemalla. Lämpötilaeroista johtuen kylmänä vuodenaikana mittauksissa löydetään lievemmätkin vuodot, joten vuotokohtien määrät ovat suuntaa antavia, koska mittauksia ei ole aina voitu suorittaa samankaltaisissa olosuhteissa. Aivan pienimpiä vuotoja ei raportoida vuotokohtaraporteissa. Esimerkiksi ikkunan tiivisteiden nurkasta tuleva hyvin pieni vuoto tai pieni niitinreikä höyrönsulussa lukeutuvat pienimpiin vuotoihin, mutta näistä kuitenkin mainitaan, mikäli ne ovat toistuvia rakennuksessa.

Kuvassa 12 on koottu kaikista 159:stä tutkitusta uudispientaloasunnosta eli yhdeksästä kohteesta (liite 1.) havaitut vuotokohdat yhteen taulukkoon, jotta tutkimustulosten tarkasteleminen olisi helpompaa. Tutkittavista kohteista löydetty vuotokohdat on luokiteltu tyyppiluokkiin, kuten kuvasta 12 ilmenee. Tutkimuksessa käytetyt kohteet ovat vuosina 2016 – 2018 valmistuneita kohteita. Tutkimuksen kohteena olleista uudispientaloasunnoista löytyi keskimäärin 8,2 kappaletta vuotokohtia yhtä uudispientaloasuntoa kohden. Kuvassa 12 ”prosentuaalinen osuus kaikista vuotokohdista” tarkoittaa, että esimerkiksi oven karmin ja ulkoseinän liitoksen osuus on 15 % löydetystä 8,2 vuotokohdasta eli yhdestä tutkitusta asunnosta on löytynyt keskimäärin 1,4 ilmapuotokohtaa oven karmin ja ulkoseinän liitoksesta.



Kuva 12. Tutkittujen kohteiden havaitut vuotokohtat yhteensä.

Kuvassa 13 on Vertia Oy:n tekemä samankaltainen tutkimus pientalojen osalta, jossa vuotokohtat ovat luokiteltu tyyppi- ja suuruusluokkiin. Vertia Oy:n tutkimuksessa uudispientaloasunnoista vuotokohtia löytyi keskimäärin 13,8 kappaletta. Merkittävimmät yksittäiset vuotokohtat tässä tutkimuksessa olivat sähköläpiviennistä, seinä – alapohjaliitoksen tiivistyksissä ja oven tiivisteissä. Tutkimus on tehty vuonna 2015 ja tutkimuksessa on käytetty vuosina 2012–2015 tehtyjä tiiviysmittauksia ja vuotokohtien paikannuksia. Tutkimuksessa uusien pientalojen otos oli 1 214 kappaletta. (Vertia Oy, 2016)



Kuva 13. Ilmanvuotokohtat pientaloissa. (Vertia Oy, 2016)

5 YHTEENVETO

Tutkimuksessa mukana olleet rakennukset ovat kaksi- ja kolmikerroksisia pientaloja, joiden ulkoseinärakenne on puu- ja/tai betonielementeistä ja alapohjarakenne on maanvarainen tai tuulettuva. Rakennuksissa vaippa muodostuu monista eri rakenneosista, tämän vuoksi jokaisella liitoskohdalla sekä materiaalilla on aina riski ilmavuotoihin. Tutkituissa rakennuksissa havaittuja ongelmakohtia, jotka vaikuttavat ilmatiivyyteen ovat rakenteiden liitokset, kulmat sekä saumat. Tutkimuksessa havaittiin myös, että ovien ja ikkunoiden liitokset rakennusrunkoon ovat ongelmallisia ja saattavat aiheuttaa kohtalaisia ilmavuotoja. Jotta ilmavuodoilta vältyttäisiin, niin ilmansulkukerroksen tulisi jatkua yhtenäisenä koko rakennusvaipan ympäri, jolloin jokaisen rakenneosan ilmansulkujen tulee tiiviisti liittyä sekä limittyä toisiinsa. Täysin tiivistä rakennusta ei pystytä toteuttamaan, sillä jokaisesta rakennuksesta löytyy vuotoilmareittejä, mutta asiantuntija tutkiessaan rakennusta tekee päätöksen, ovatko ne sisäilman laadun kannalta merkittäviä. Ilmatiiviyksmittauksessa ilmenneitä vuotokohtia korjataan yleensä tiiviyksmittauksen yhteydessä sekä sen jälkeen, jolloin rakennuksen tiiviyks paranee entisestään paremmaksi.

Kuvasta 12 pystytään toteamaan, että ilmatiivyyden varmistamiseksi tulee jatkossa työmaalla kiinnittää huomiota erityisesti ulkoseinä – alapohjaliitokseen ja ulkoseinä – yläpohjaliitokseen sekä ikkunoiden ja ovien liitoksissa rakennusrunkoon, jotta tulevien kohteiden osalta pystytään pienentämään ilmavuotokohtien määriä, sekä parantamaan rakentamisen laatua entisestään. Oven tiivisteet on hyvä tarkastaa asennuksen yhteydessä, sillä ilmavuotoja tiivisteiden kautta oli lähes jokaisessa tarkasteltavassa kohteessa. Jatkossa myös alapohjan läpivienteihin on kiinnitettävä huomiota varsinkin viemäreiden, vesijohtojen sekä sähkökeskukselle tulevan varausputken oikeanlaiseen ja toimivaan tiivistämiseen.

Vaikka havaitut ilmavuodot olisivatkin pieniä sekä pistemäisiä, niin niistä saattaa aiheutua vedon tunnetta rakennuksen käyttäjille ja tämän vuoksi vaikuttaa alentavasti lämpöviihtyvyyteen. Eikä pelkkä lämpöviihtyvyyden alentuminen ole ainut ongelma, vaan vuotokohdilla on vaikutusta myös rakenteiden kosteustekniseen toimintaan. Tämän vuoksi rakenteisiin piiloon jäävien liitoskohtien ilmapitävyyden varmistaminen on erittäin tärkeä huomioida.

Vuotokohtien välttämiseksi rakentamisen laadunvarmistus tulee aloittaa ilmatiivyyden osalta jo suunnitteluvaiheessa ennen rakentamisen aloitusta ja laadunvarmistuksen tulisi jatkua kokonaan rakennusvaiheen loppuun saakka. Hyvin toteutetulla suunnittelulla ja urakoitsijoiden kanssa solmittavilla sopimuksilla voitaisiin jatkossa vaikuttaa paljon ilmatiiviin rakennuksen valmistamiseen. Tämän edellytyksenä suunnitelmien tulisi olla pitkälti valmiit rakennustöitä aloittaessa, jolloin työtä tekevän ei tarvitsisi työvaihetta suorittaessaan pohtia kaikkia pieniä yksityiskohtia erikseen, että kuinka ne tulisi toteuttaa.

Hankintavaiheessa urakoitsijoiden kanssa laadituissa sopimuksissa tulisi määrittää selkeästi rajat sekä tavoitteet halutun/vaaditun ilmatiiviyden osalta, sekä ilmetiiviyden merkitystä tulisi painottaa selkeästi sopimuksessa. Sopimuksia laadittaessa hankintahenkilökunnalla tulisi olla jo tiedossa mitä materiaaleja käytetään ja kenen vastuulle jäävät tarvittavat tiivistykset.

Laadunvarmistuksen takaamiseksi työmaalla rakennusvaiheessa työnjohtaja, valvoja sekä rakennesuunnittelija tarkastaisivat, että rakenteet ja niiden liitokset sekä läpiviennit ovat toteutettu suunnitelmien ja ohjeiden mukaisesti. Tarkastukset tulee tehdä läpivientien sekä rakenteiden liitoksien osalta ennen pintarakenteiden asennusta.

Tiiviysmittaajan mukaan alapohjien läpivienneistä aiheutuu noin 80 % ilmavuodoista pientaloissa. Alapohjien valmisteluissa jää helposti huomioimatta läpivientien suunnitelmien mukainen tiivistäminen, koska lattiat pyritään saamaan nopeasti valettua valmiiksi.

5.1 Rakenteiden läpiviennit

Rakennuksen alapohjan, ulkoseinän ja yläpohjan sähkö- ja putkiläpivienneistä tulisi tehdä tarkemmat detajli-tason suunnitelmat, jotta läpiviennin liitoksesta rakenteeseen saataisiin suunnitelmien mukainen sekä ilmatiivis rakenne. Sähkörasioille tulevien sähköputkien päät tulisi kitata ilmavuotojen välttämiseksi sekä sähkökeskukseen tuleva varausputki tulisi tukkia ennen seinärakenteen sulkemista. Läpivientien määrät rakennuksessa tulee minimoida mahdollisuuksien mukaisesti, jotta höyrynsulkukerrosta ei lävistettäisiin tarpeettomasti.

5.2 Rakenneliitokset

Ulkoseinän ja yläpohjanliitoksen vuotokohtat olivat pääsääntöisesti vuotoluokitukseltaan pieniä sekä vuotokohtat sijaitsivat rakennusvaipan nurkka-alueilla. Mahdollisena virheenä rakenteiden liitoksessa on ollut vähäinen höyrynsulkumuovien limitys tai saumojen teippauksen puutteita. Ulkoseinän ja yläpohjanliitoksissa olevien vuotokohtien kautta rakenteisiin saattaa virrata sekä tiivistyä kosteutta johtuen rakennuksen yläosissa vallitsevasta ylipaineesta, tästä saattaa aiheutua mahdollisesti kosteusvaurioita.

Ulkoseinän ja alapohjanliitoksen vuotokohtat olivat vuotoluokitukseltaan pieniä/kohtalaisia. Tyypillisimmät vuotokohtat olivat rakennusvaipan nurkka-alueilla, joissakin määrin vuotokohtia ilmeni myös suorilla seinälinjoilla. Mahdollisena virheenä rakenteiden liitoksessa on ollut höyrynsulkumuovien asentaminen betonilaatan alapuolelle ehjänä tai betonilaatan ja ulkoseinän välisen sauman kittaus. Ulkoseinän ja alapohjaliitoksissa olevien ilmavuotokohtien kautta rakennukseen saattaa virrata haitallisia aineita sisäilmaan, tämä johtuu rakennuksen alaosissa vallitsevasta alipaineesta.

Ulkoseinän ja välipohjaliitoksen vuotokohtat olivat pääsääntöisesti vuotoluokitukseltaan pieniä sekä vuotokohtat sijaitsivat rakennusvaipan suorilla seinälinjoilla sekä nurkka-alueilla. Ulkoseinän ja välipohjaliitoksen vuotokohdan aiheuttaa mahdollisesti elementtien välinen liitos, jossa kylmäsillan katkaisevana kerroksena toimiva solumuovikaista (puu- ja betonielementti liitos) tai mineraalivillakaista (puuelementtien liitos) on asennettu epäkeskeisesti tai epätasaiselle alustalle. Vuotokohdan voi aiheuttaa myös eristekaistan huonosti toteutettu jatkoskohta.

5.3 Ikkuna- ja oviliitokset

Ikkunoista aiheutuneet ilmavuodot olivat pääsääntöisesti vuotoluokitukseltaan pieniä ilmavuotoja. Eniten ilmanvuotokohtia oli ikkunan karmin ja seinän välisestä tiivistyksestä. Ilmavuotoja ilmeni myös ikkunoiden tiivisteistä sekä ikkunaheloituksesta vähäisissä määrin.

Ovista aiheutuneet ilmavuodot kohteesta riippuen olivat vuotoluokitukseltaan pieniä/kohtalaisia. Eniten ilmavuotokohtia ilmeni oven karmin ja ulkoseinän liitoksessa sekä kynnyksen alta. Muita vuotokohtia ilmeni ovien tiivisteissä, jotka olivat joissakin kohteissa luokiteltu jopa suuriksi ilmavuodoiksi.

Ikkunoiden- sekä ovien karmien liitoksesta rakennusrunkoon aiheutuvat ilmavuodot johtuvat mahdollisesti karmien yli pursuavien uretaanisaumojen leikkaamisesta, jonka jälkeen uretaani menettää tiiviytensä. Syynä voi olla myös huonosti asennettu eristekerros asennuskiilojen kohdalla. Karmin liitoksesta rakennusrunkoon saataisiin varmempi sekä tiiviimpi, kun uretaanivaahdotusta ei tehtäisi yhdellä kerralla vaan sen sijaan esimerkiksi kahtena tai kolmena pursotus kertana. Ikkunoiden sekä ovien tiivisteiden vuoto voi johtua, mikäli ikkunaa taikka ovea ei ole asennettu suoraan kulmaan, jolloin karmin tiivisteet eivät ota kaikista kohdista tasaisesti kiinni ikkunoiden ja ovien reunoihin.

6 POHDINTA

Tavoitteena opinnäytetyössäni oli perehtyä teoriassa sekä käytännössä mittauskohteessa, kuinka rakennuksen tiiviysmittaus sekä sen yhteydessä tehtävä vuotokohtien paikannus lämpökuvauksen avulla toteutetaan. Kun olin seurannut, kuinka tiiviysmittaus ja sen yhteydessä tehtävä lämpökamerakuvaus tapahtuvat, oli helppompaa siirtyä tutkimaan valmistuneiden kohteiden tiiviysmittausraportteja ja niistä luotuja vuotokohtaraportteja. Näiden avulla tutkin, mitkä ovat pientaloissa tyypillisimpiä vuotokohtia. Raporttien pohjalta muodostettiin Excelillä taulukoita, joista ilmenevät pientalojen yleisimmät vuotokohtat. Jotta tästä tutkimuksesta saataisiin hyötyä työmaalle ja jatkossa pystyttäisiin vähentämään vuotokohtien määrää pientaloissa, niin suunnittelin työmaalle käytettäväksi tarkastuslomakkeen (liite 2.), jota täytetään työmaalla rakennusaikana laadunvarmistustoimena.

Tarkastuslomakkeessa tarkastettavien kohtien järjestys vastaa rakentamisen työvaiheita, jotta tarkastuslomakkeen käyttö olisi helpompaa. Tarkastuslomakkeessa on huomioitu erilaiset rakenneratkaisut, esimerkiksi, onko rakennuksessa maanvarainen- vai ryömintätalallinen alapohja tai onko ulkoseinärakenne puu- vai betonielementistä. Tarkastuslomaketta täytetään työmaalla rakennusvaiheiden valmistuttua.

Tarkastuslomakkeen käyttöä helpottaisi työmaalla esimerkiksi tabletti tai muu vastaava laite, jolloin ei tarvitsisi työmaalla yrittää kirjata muistiinpanoja ja etsiä sopivaa paikkaa lomakkeen täyttämiseen. Hyvänä puolena olisi myös, että lomake säilyisi tallessa ja olisi helposti löydettävissä. Tarkastuslomakkeen täytön jälkeen se olisi tulostettavissa ja tekstiosuus olisi selkeämpi verrattuna käsin täytettyyn.

Mielestäni tiiviysmittaukset voisi suorittaa kaksivaiheisena, jotta rakennuksista saadaan ilmapitävämpiä ja mahdolliset korjaukset saataisiin tehtyä ennen lopullisia pintoja. Usein työmaalla ei kuitenkaan kaksivaiheista tiiviysmittausta pystytä toteuttamaan aikataulun puolesta. Kaksivaiheinen tiiviysmittaus toimisi kuitenkin seuraavanlaisesti. Ensimmäinen tiiviysmittaus tehtäisiin jo rakennusvaiheessa ennen kuin pintarakenteet olisivat valmiit, mutta rakennuksen vaippaan olisi tehty jo tarvittavat tiivistykset. Tällöin mahdolliset vuotokohtat havaittaisiin ajoissa ja näiden korjaaminen ei olisi niin työlästä sekä kallista. Toinen ilmatiiviysmittaus suoritettaisiin, kun rakennus on valmis. Tällöin rakennuksesta mitattaisiin lopullinen ilmanvuotoluku.

Tiiviysmittaus ja vuotopaikkojen paikannus kustantaa noin 200 euroa/asunto, kun mitataan kaikki kohteessa olevat asunnot. Mikäli tiiviysmittaus tehtäisiin kaksivaiheisena, olisi se kustannuksellisesti tuplasti kalliimpaa. Tämän vuoksi lämpökameran avulla ilmatiiviuden laadunvarmistus olisi kannattavampaa. Tämä edellyttää kuitenkin lämpökameran käytön opastusta käyttäjille.

Lämpökamerakuvaus on laadunvarmistusmenetelmänä helpompi sekä nopeampi verrattuna tiiviysmittaukseen sen helppokäyttöisyyden vuoksi. Lämpökameralla voi tutkia rakennusta tai pelkästään tiettyä rakennetta ilman erillistä raporttia.

Lämpökameraa voi hyödyntää myös moneen muuhun työmaalla, muun muassa sähköjohtojen paikannukseen, lattialämmityskaapeleiden paikannukseen sekä rakenteiden kosteuden paikannukseen.

Tulevien kohteiden osalla näitä tutkimustuloksia voidaan hyödyntää esimerkiksi suunnitelmien laajuuden parantamiseksi. Tutkimustulokset olisi hyvä jakaa työmaille työnjohtajien käyttöön, jolloin jokaisella olisi tietoa minkä takia laadunvarmistusta tarvitaan.

Opinnäytetyötä tehdessä olen oppinut ymmärtämään, mitä merkitystä rakennuksen ilmatiiviydellä on rakennuksen toiminnan kannalta. Tämän työn jälkeen ymmärrän myös, mitkä kohdat rakennuksissa ovat riskialttiita vuotokohdille sekä jatkossa tulen suosimaan tarkastuslomakkeen käyttöä työmaillamme.

Opinnäytetyöhöni oli paljon saatavilla lähdemateriaalia ja teoriaa muun muassa aiheisiin kuuluvissa kirjoissa sekä internetissä, mutta laatimani tarkastuslomake täytyi itse suunnitella ja toteuttaa. Suurimpia haasteita opinnäytetyössäni oli saada tarkastuslomakkeesta luotua rakenteeltaan selkeä sekä järkevä, jotta tästä olisi hyötyä jatkossakin tulevilla rakennustyömailla.

Omasta mielestäni opinnäytetyölleni asetetut tavoitteet täyttyivät kaikin puolin, mutta tutkimuksesta olisin voinut tehdä hieman laajemman tutkimuksen, josta ilmenisivät vuotokohtien suuruudet. Taulukoissa olevat prosentuaaliset luvut olisi voinut muuttaa esimerkiksi kappaletta/kohde, jolloin taulukon tulkitseminen olisi selkeämpää. Jatkossa opinnäytetyöstäni voisi olla apua työmaillemme. Työssäni olevan teoriaosuuden avulla, työmaalla toimivat toimihenkilöt voisivat suorittaa rakennusaikaista laadunvalvontaa työmailla lämpökameran avulla ilman, että siitä tarvitsisi tehdä virallista lämpökuvausraporttia.

LÄHTEET

Aho, H. & Korpi, M. (2009). Ilmanpitävien rakenteiden ja liitosten toteutus asuinrakennuksissa. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. Rakennustekniikka. Tutkimusraportti 141. Haettu 3.9.2018 osoitteesta

<https://docplayer.fi/2935941-Ilmanpitavien-rakenteiden-ja-liitosten-toteutus-asuinrakennuksissa.html>

Asumisterveysasetus 8/2016. Haettu 8.10.2018 osoitteesta

<https://www.valvira.fi/documents/14444/261239/Asumisterveysasetuksen+soveltamisohje/ac8d5e16-97be-456c-9c9c-ce8560f2092e>

Infradex Oy. (n.d.) Haettu 18.9.2018 osoitteesta

www.infradex.com

Kauppinen, T. (2012). *E-kirjassa Rakentajain kalenteri 2012, Rakennusten lämpökuvaukset*, 143. Haettu 18.9.2018 osoitteesta

https://www.rakennustieto.fi/material/attachments/5e3SsSOet/67teY-VrHk/RK_12_e_kirjamalli_kevyt.pdf

Lehto group. (n.d.). Lehto lyhyesti. Haettu 15.2.2019 osoitteesta <https://lehto.fi/>

Lehto group. (n.d.) Esimerkki lämpökuvasta, jossa Pientä/kohtalaista ilmavuotoa.

Lehto group. (n.d.) Esimerkki näkyvän valon kuvasta, joka otetaan lämpökuvan yhteydessä.

Lehto group. (n.d.) Ilmanvuotokäyrä pientalossa, josta näkyy ilmamäärä suhteessa paine-eroon alipaineessa.

Lehto group. (n.d.) Lämpökamerakuvauksessa havaittujen poikkeamakohtien merkintä asunnon pohjakuvaan.

Paloniitty, S., Paloniitty, J. & Haimilahti, J. (2015). *Lämpökuvaukset rakentamisessa*. Helsinki: Rakennustieto

Paloniitty, S. (2013 a). *Rakennusten tiiviysmittaus*. Helsinki: Suomen Rakennusmedia Oy

Paloniitty, S. (2013 b). *E-kirjassa Rakentajain kalenteri 2013, Rakennusten tiiveysmittaus*, 157. Haettu 4.9.2018 osoitteesta

https://www.rakennustieto.fi/material/attachments/5ee-pYeUKR/6HC794vtr/RK_13_e_kirjamalli_kevyt.pdf

Rateko. (n.d.) Rakennusten lämpökuvaaja. Haettu 29.9.2018 osoitteesta <https://www.rakennusteollisuus.fi/RATEKO/Koulutusohjelmat/Henkilösertifiointi/Rakennusten-lampokuvaajan-henkilösertifiointiin-valmentava-koulutus/>

Rateko. (n.d.) Rakennusten tiiviidenmittaaja. Haettu 26.11.2018 osoitteesta <https://www.rakennusteollisuus.fi/RATEKO/Koulutusohjelmat/Henkilösertifiointi/Rakennusten-tiiviidenmittaajan-henkilösertifiointiin-valmentava-koulutus/>

RT 14-11239 (2016). Rakennuksen lämpökuvaus. Rakennustieto Oy. Haettu 28.9.2018 osoitteesta <https://kortistot-rakennustieto-fi.ezproxy.hamk.fi/resource/juha/content/22064#page=1>

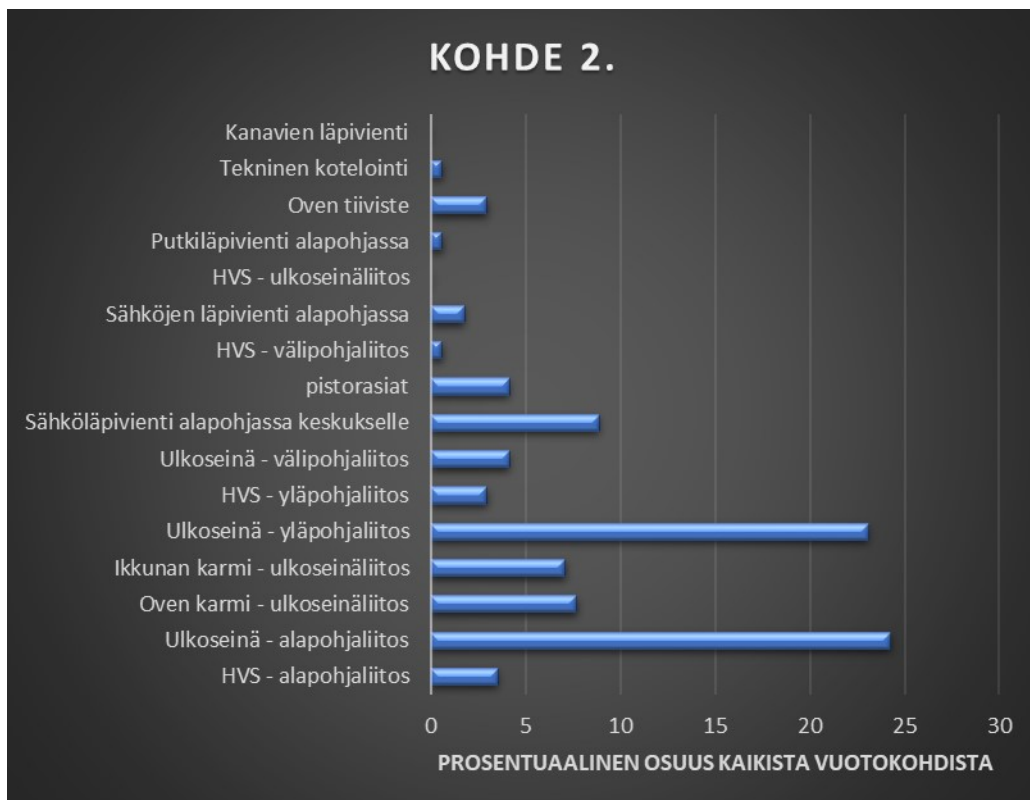
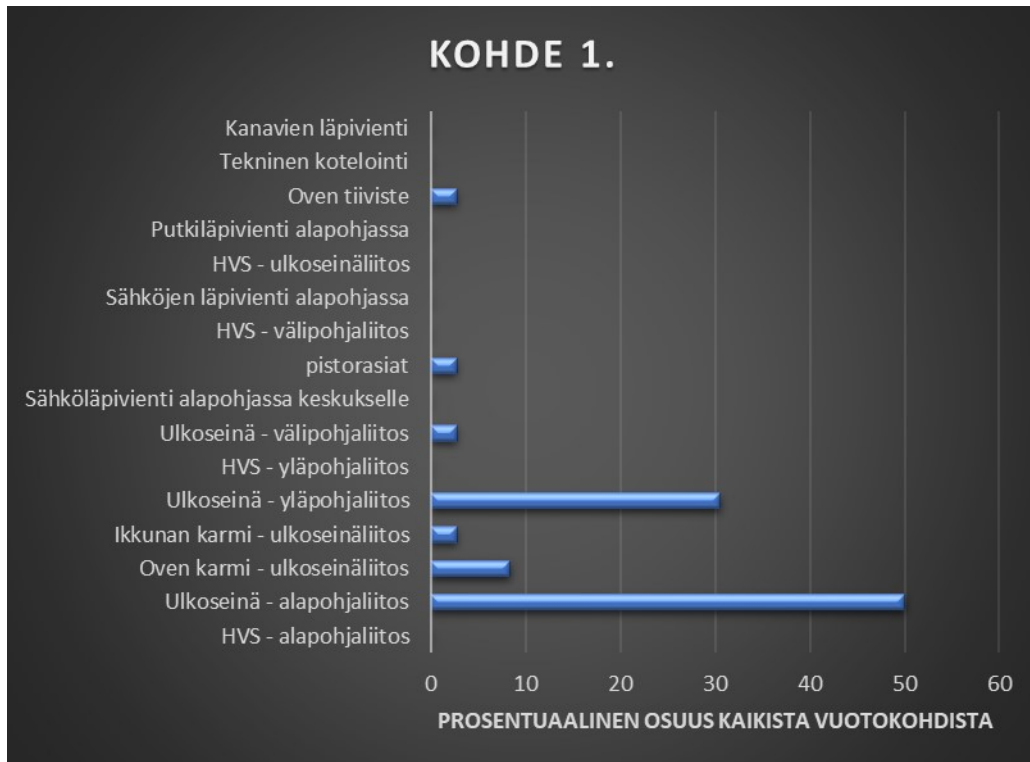
Sisäilmayhdistys ry. (2018). Ilmavirtaukset rakennuksessa. Haettu 11.10.2018 osoitteesta: <http://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Kosteustekninen-toiminta/Ilmavirtaukset-rakennuksessa>

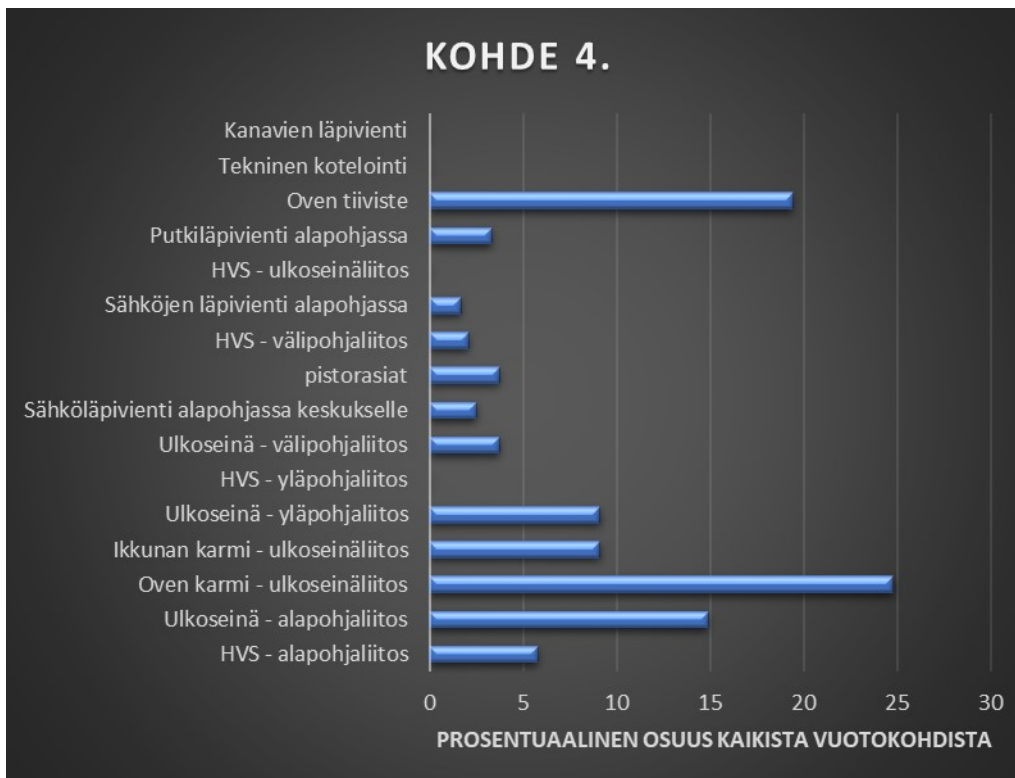
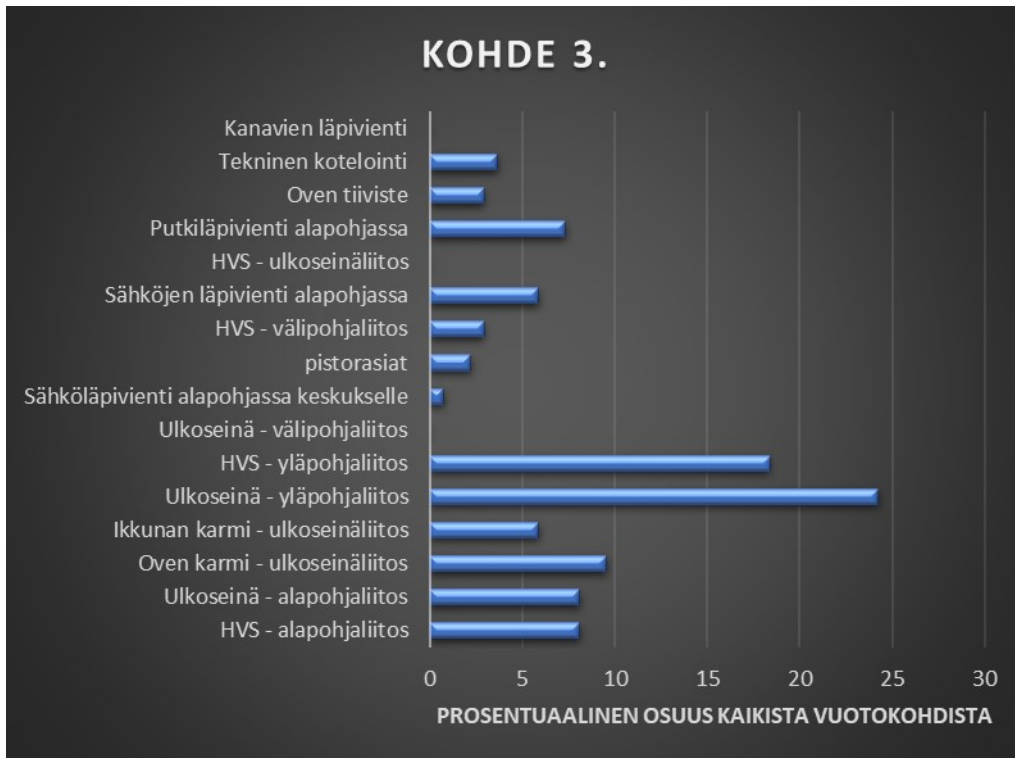
Suomen rakentamismääräyskokoelma D3/2011. Haettu 8.10.2018 osoitteesta https://www.finlex.fi/data/normit/37188/D3-2012_Suomi.pdf

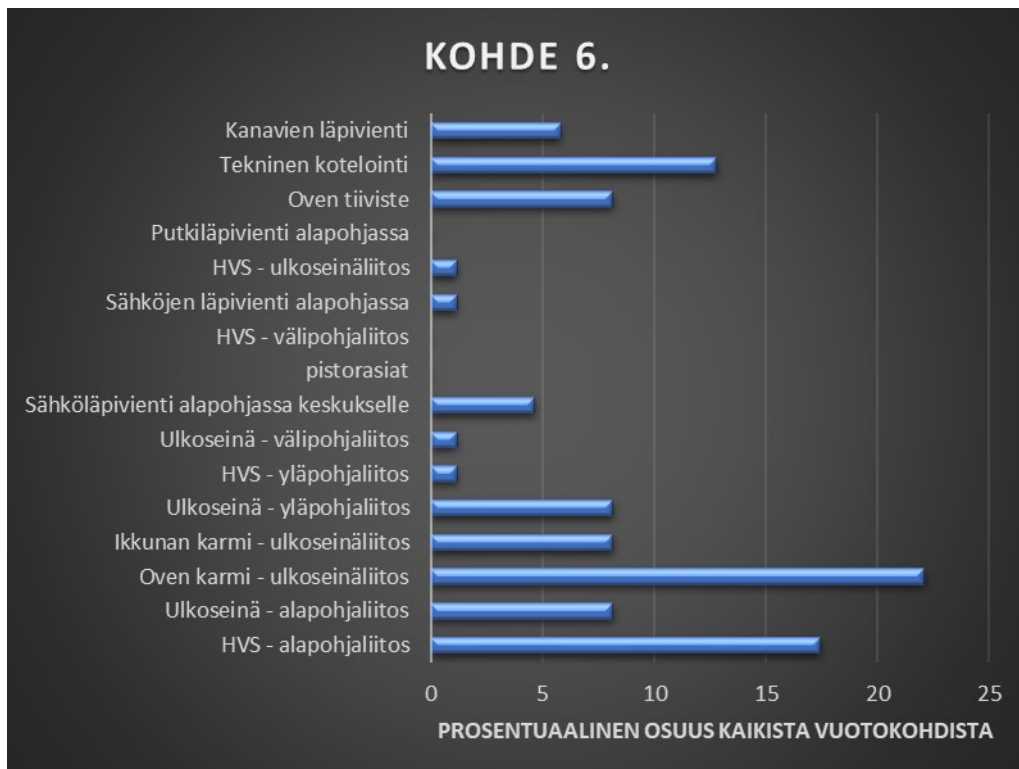
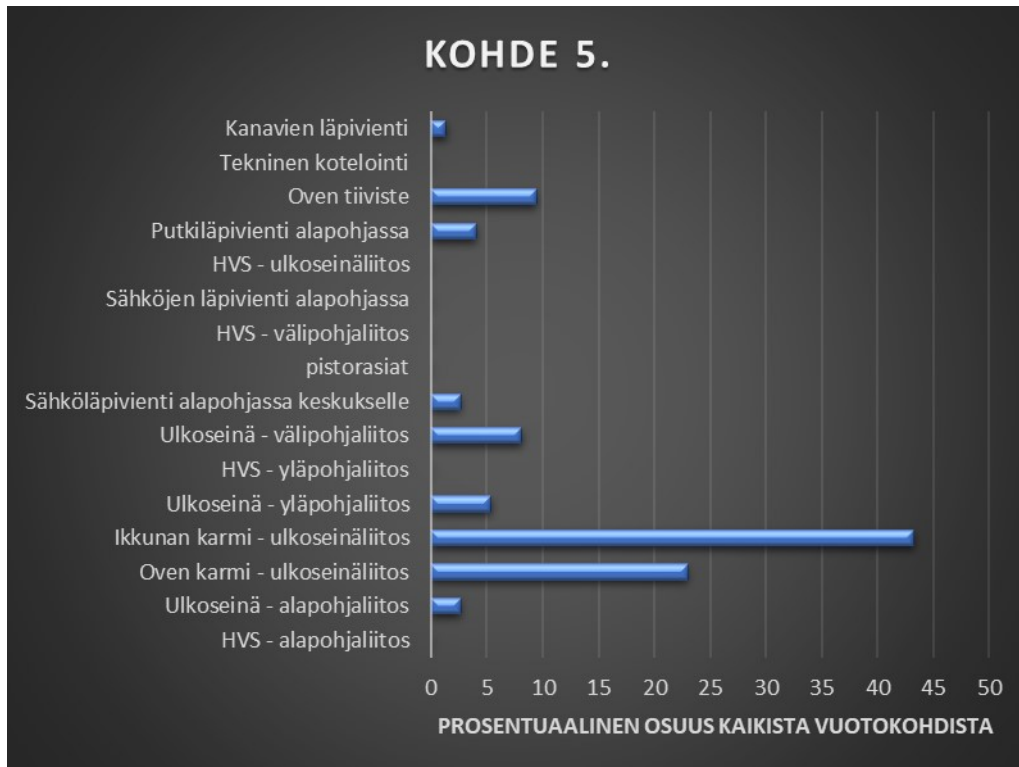
Työteho-seura ry. (n.d.). Rakennusten tiiviidenmittaaja henkilösertifikaatti. Haettu 26.11.2018 osoitteesta <https://www.koulutus.fi/koulutukset/tts/rakennusten-tiiviidenmittaajan-henkilösertifikaatti-662142>

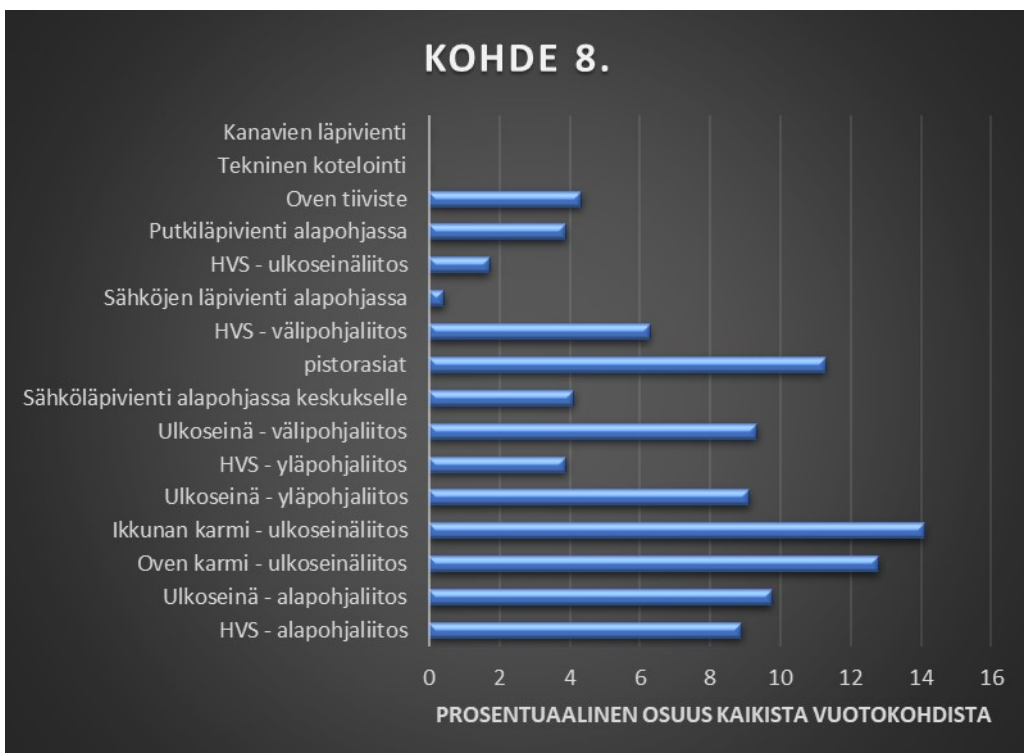
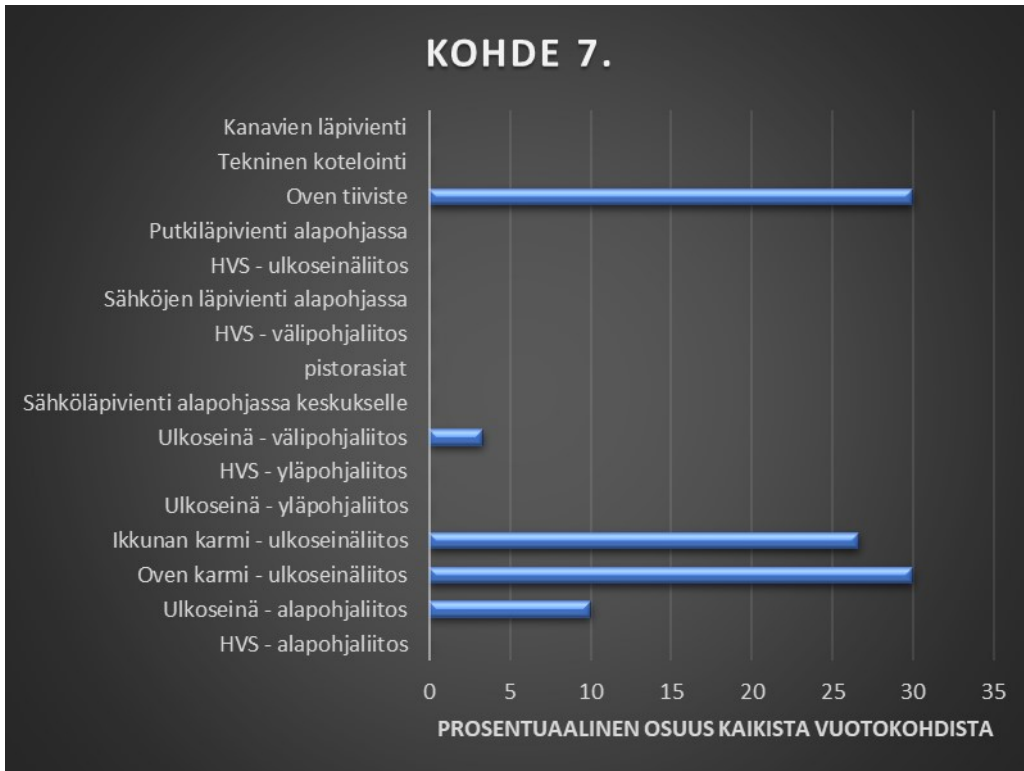
Vertia Oy. (2016). Ilmatiiveys ja vuotokohdat uusissa rakennuksissa 1/2016. Haettu 19.1.2019 osoitteesta <https://docplayer.fi/24841727-Ilmatiiveys-ja-vuotokohdat-uusissa-rakennuksissa-1-2016.html>

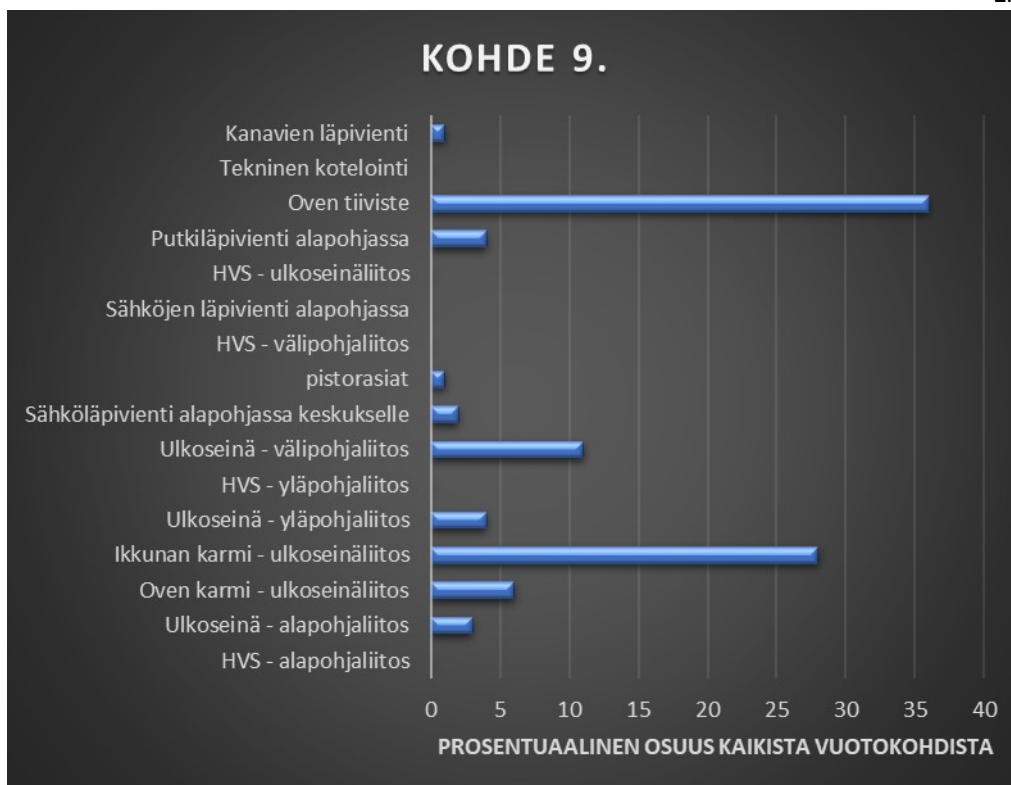
Ympäristöministeriön asetus 1010/2017. Haettu 8.10.2018 osoitteesta http://www.ym.fi/fi-Fi/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Energiatehokkuus











**ILMATIIVEYDEN TARKASTUSLOMAKE**

Tätä tarkastusmuistiota täytetään rakennustyön aikana, jokaisen asunnon osalta ja kirjataan havaitut virheet tai puutteet, jotka tulee korjata ilmatiiviuden takaamiseksi liitoskohdissa. Mikäli liitos tai läpivienti on suunnitelmien mukaisesti toteutettu, on se hyväksytty.

Asennetun ilmanpitävän kerroksen täytyy jatkua yhtenäisenä koko vaipparakenteessa tiiviisti toisiinsa limittyen. Erityistä huolellisuutta on kiinnitettävä rakenteiden kriittisiin osiin, jotka ovat ulkoseinä – alapohjaliitos, ulkoseinä – yläpohjaliitos sekä ikkunoiden ja ovien liitokset rakennuksen runkoon. Erityistä huolellisuutta on kiinnitettävä alapohjan läpivienteihin. Kaikkien rakenneosien tiivistäminen on tehtävä suunnitelmien mukaisesti muussa tapauksessa hyväksyttävä suunnittelijalla.

Työnumero: _____

Työmaa: _____

Laatija: _____

ILMATIIVEYDEN TARKASTUSLOMAKE

<i>Rakenneosa</i>	<i>Tarkasteltavat kohdat</i>	<i>X</i>	<i>Tarkastettu: Päivämäärä ja kuittaus</i>
<i>Maanvarainen- alapohja</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Maanvaraisen alapohjan ja perusmuurin liitos suunnitelmien mukainen. - Ulkoseinän ilman- ja höyrynsulku ulotetaan alapohjalaatan alapinnan tasolle. - Lämmöneristeen ja perusmuurin liittymässä kumibitumikermi (suunnitelmien mukainen radonkaista) - Kumibitumikermi hitsataan tai liimataan sokkeliin ja taitetaan lämmöneristeen päälle minimi leveys 150 + 150mm - Laatan ja seinärakenteen liitoksessa on irrotuskaista. - Laatan ja seinärakenteen liitos on kitattu elastisella saumamassalla 		
<i>Ryömintätalallinen- alapohja</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Ryömintätalallisen alapohjan ja perusmuurin liitos suunnitelmien mukainen. - Ontelolaattojen juotosvalut ja muut suunnitelmien mukaiset tiivistykset on tehty. - Ulkoseinän ilman- ja höyrynsulku ulotetaan pintalaatan alapinnan tasolle. - Pintalaatan ja seinärakenteen liitoksessa on irrotuskaista. - Pintalaatan ja seinärakenteen liitos on kitattu elastisella saumamassalla 		
<i>Alapohjien läpiviennit</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Läpiviennit ovat toteutettu suunnitelmien mukaisesti - Eristekerroksessa läpiviennin tiivistäminen saumavaahdolla - Läpiviennit tiivistetty laattavalussa saumanauhalla ja kittaamalla - Läpiviennit tiivistetty laattavalussa valamalla ja kittaamalla - Sähkövaraus putket on tiivistetty väliaikaisesti vaahdottamalla tai teippaamalla esim. sähkökaapin varausputki 		

Betonelementti- ulkoseinät	<ul style="list-style-type: none"> - Betonelementtien liitokset ja muut suunnitelmien mukaiset tiivistykset on tehty. - Elementti saumoissa uretaanipurstotus - Elementti saumoissa pystysaumapumppaus tai juotosvalu - Elementtien ulkopuoliset saumat valmiit 	
Puuelementti- ulkoseinät	<ul style="list-style-type: none"> - Puuelementtien liitokset suunnitelmien mukaisesti tehty. - Alaohjauspuun alla on huopakaista + solukumi - Puuelementtien saumoihin asennettu eristekaista suunnitelmien mukaisesti - Ulkoseinän höyrysulku ulotetaan alapohjalaatan alapinnan tasolle. - Höyrysulkukerros on asennettu suunnitelmien mukaisesti - Kalvomainen höyrysulkukerros on yhtenäinen ja kiertää koko rakennusvaipan - Höyrysulun liitoskohtien limitys on minimissään 200mm - Höyrysulun saumat ja liitokset on teipattu sekä jatkos kohtiin tehty paineliitos - Höyrysulkua asennettaessa syntyneet reiät on paikattu 	
Ikkunat	<ul style="list-style-type: none"> - Ikkunat on asennettu suunnitelmien mukaisesti - Ikkunan ja seinärungon välinen rako on tilkitty tarkoituksen mukaisella saumavaahdolla - Saumavaahto on ehjä, eikä sitä ole leikattu. - Ikkunan ja seinärungon välinen rako on tilkitty tarkoituksen mukaisella mineraalivillalla - Karmin ja seinärungon välinen rako on kitattu tai teipattu sisäpuolelta. - Ikkunat ovat asennettu suoraan kulmaan. 	

ILMATIIVEYDEN TARKASTUSLOMAKE

ovet	<ul style="list-style-type: none"> - Ovet on asennettu suunnitelmien mukaisesti - Oven ja seinärungon välinen rako on tilkitty tarkoituksen mukaisella saumavaahdolla - Saumavaahto on ehjä, eikä sitä ole leikattu. - Oven ja seinärungon välinen rako on tilkitty tarkoituksen mukaisella mineraalivillalla - Karmin ja seinärungon välinen rako on kitattu tai teipattu sisäpuolelta. - Ovet ovat asennettu suoraan kulmaan. 	
Läpiviennit seinissä ja yläpohjassa	<ul style="list-style-type: none"> - Putkien ja ilmanvaihtokanavien lävistäessä höyrynsulkukalvon on käytetty suunnitelmien mukaisia laipallisia läpivientikappaleita - Sähköläpiviennissä on käytetty suunnitelmien mukaisia laipallisia läpivientikappaleita - Sähkövarauseräputket on tiivistetty väliaikaisesti vaahdottamalla tai teippaamalla - Palokatkot suunnitelmien mukaiset. 	
Väliohjat	<ul style="list-style-type: none"> - Väliohjarakenne ja tehdyt tiivistykset on toteutettu suunnitelmien mukaisesti - Höyrynsulku jatkuu yhtenäisenä ulkoseinällä eikä katkea väliohjan liitos kohdalla. 	
Huoneistojen välinen seinä	<ul style="list-style-type: none"> - Huoneistojen väliset seinät on toteutettu suunnitelmien mukaisesti - Alaohjauspuun alla on huopakaista + solukumi - Höyrynsulku kulkee yhtenäisenä yläpohjassa huoneistojen väliseinän päältä 	
Yläpohja	<ul style="list-style-type: none"> - Yläpohjarakenne on toteutettu suunnitelmien mukaan ja höyrynsulkukerros on yhtenäinen eikä tiivistämättömiä läpivientejä ole - Höyrynsulun saumat ja liitokset on teipattu sekä jatkos kohtiin tehty paineliitos - Höyrynsulkua asennettaessa syntyneet reiät on paikattu - Yläpohjan eristemateriaali ei kuormita höyrynsulkua tarpeettomasti. - Yläpohjan höyrynsulku on limitetty seinäelementin höyrynsulun kanssa 	