

# Omakotitalon ilmatiiveyden varmistaminen

Äijälä Petri

Opinnäytetyö  
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka  
Insinööri (AMK)

2025

---

<b>Tekijä</b>	Petri Äijälä	Vuosi	2025
<b>Ohjaaja(t)</b>	Petri Kuisma		
<b>Toimeksiantaja</b>	Lasse Korkala		
<b>Työn nimi</b>	Omakotitalon ilmatiiveyden varmistaminen		
<b>Sivu- ja liitesivumäärä</b>	40 + 0		

---

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin ekovillalla eristettyä ja ilmansulkupaperilla varustettua puurunkoisen omakotitalon ilmatiiveyden varmistamista ja siihen liittyviä menetelmiä sekä rakenteellisia ratkaisuja. Ilmatiiveys on keskeinen tekijä rakennuksen energiatehokkuuden, asumismukavuuden ja rakenteiden pitkäikäisyyden kannalta. Huono ilmatiiveys voi johtaa energiahäviöihin, vedontunteeseen ja kosteusongelmiin, jotka heikentävät rakennuksen toimivuutta.

Työssä käytiin läpi ilmatiiveyden merkitystä rakennuksen suunnittelussa ja toteutuksessa, sekä esiteltiin tyypillisempiä vuotokohtia ja niiden ehkäisykeinoja. Tutkimusmenetelmänä käytettiin ilmatiiveysmittausta. Lisäksi tarkasteltiin tiivistysmateriaalien ja tekniikoiden soveltuvuutta eri rakennustyyppeihin.

Opinnäytetyön tuloksena kehitettiin käytännön suosituksia omakotitalojen ilmatiiveyden parantamiseen. Näihin kuuluivat mm. rakentamisvaiheessa suoritettavat tarkastukset ja laadunvarmistusmenetelmät. Lisäksi työssä korostettiin eriosapuolten välistä yhteistyötä ilmatiiveyden varmistamisessa.

Tämä työ tarjoaa arvokasta ja konkreettisia työkaluja omakotitalon rakentamista suunnitteleville kuluttajille. Työn tulokset tukevat energiatehokkaiden ja kestävien rakennusten toteutusta, mikä osaltaan edistää kansallisten ilmastotavoitteiden saavuttamista.

---

<b>Author</b>	Petri Äijälä	Year	2025
<b>Supervisor</b>	Petri Kuisma		
<b>Commissioned by</b>	Lasse Korkala		
<b>Subject of thesis</b>	Ensuring airtightness in a private house		
<b>Number of pages</b>	40 + 0		

---

In this thesis, the methods and structural solutions of a wood-framed detached house insulated with ecowool and equipped with air barrier paper were studied. Airtightness is a key factor in terms of a building's energy efficiency, living comfort and the longevity of its structures. Poor airtightness can lead to energy losses, draughts, and moisture problems that impair the functionality of the building.

The thesis reviewed the significance of airtightness in the design and implementation of a building, and presented more typical leaks and ways to prevent them. The research method used was airtightness measurement. In addition, the suitability of sealing materials and techniques for different building types was examined.

As a result of the thesis, practical recommendations were developed for improving the airtightness of detached houses. These included, among other things, inspections carried out during the construction phase and quality assurance methods. In addition, the work emphasized cooperation between different parties in ensuring airtightness.

This work provides valuable and concrete tools for consumers planning to build a detached house. The results of the work support the implementation of energy-efficient and sustainable buildings, which contributes to the achievement of national climate goals.

## SISÄLLYS

SISÄLLYS .....	4
KÄSITTEET .....	6
1 JOHDANTO .....	8
2 ILMATIIVEYDEN MERKITYS .....	9
2.1    Energiatehokkuus .....	9
2.2    Asumisviihtyvyyys ja sisäilmanlaatu .....	10
2.3    Lainsäätö ja rakennusmääräykset .....	10
2.4    Rakenteiden ilmatiiveys .....	11
3 ILMATIIVEYTEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT .....	12
3.1    Rakenteelliset tekijät .....	12
3.1.1    Runkomateriaali .....	12
3.1.2    Eristeet .....	13
3.1.3    Ikkunat ja ovet .....	13
3.2    Rakenteelliset liitokset ja saumojen tiivistys .....	15
3.3    Työmaan laadunvalvonta ja tarkastukset .....	16
4 ILMATIIVIYDEN MITTAAMINEN .....	18
4.1    Tiiviysmittaus .....	18
4.2    Lämpökamerakuvaus .....	20
4.3    Mittaustulosten raportointi .....	22
5 ILMATIIVIYDEN VARMISTAMINEN .....	23
5.1    Rakennusvaiheen ratkaisut .....	23
5.1.1    Tiivistysmateriaalit .....	23
5.1.2    Ilmastointiputkien läpivienti .....	23
5.1.3    Sähköjohtojen läpivienti .....	24
5.1.4    Karmien liitokset .....	25
5.1.5    Ilmansulkupaperin saumat .....	25
5.1.6    Savuhormin läpivienti .....	26
5.1.7    Ilmanvaihtokoneen läpivienti .....	27

6 PUURUNKOINEN OMAKOTITALO.....	28
6.1 Kohteen esittely .....	28
6.2 Mittauksissa käytetyt laitteet .....	29
6.3 Ennen mittausta suoritettavat toimenpiteet.....	31
6.4 Toteutettu mittaus ja havainnot.....	33
6.5 Mittaustulokset.....	34
6.5.1 Mittausraportti.....	36
7 POHDINTA .....	38
8 LÄHTEET .....	39

## KÄSITTEET

### **Ilmansulku**

Rakennusosan läpi kulkevaa haitallista ilmanvirtausta estävä kerros. Kerroksellisissa vaipparakenteissa rakenteen lämpimälle puolelle tarvitaan ilmansulun lisäksi aina riittävän vesihöyrytiivis höyrynsulku. Sama kerros voi toimia sekä ilman- että höyrynsulkuna. (RT 80-10974, 2.)

### **Ilmavuotoluku, $n_{50}$ [1/h]**

Ilmavuotoluku  $n_{50}$  kertoo, kuinka monta kertaa rakennuksen sisäilmatilavuus vaihtuu tunnin aikana rakenteiden vuotokohdista, kun rakennukseen luodaan 50 Pa:n ali tai ylipaine. Sisätilavuus lasketaan rakennuksen ulkovaipan sisäpintojen mukaan, välipohja ei lasketa ilmatilavuuteen. (Paloniitty 2012, 15.)

### **Ilmavuotoluku $q_{50}$ [ $m^3 / (h \cdot m^2)$ ]**

Ilmavuotoluku  $q_{50}$  kuvaa rakennusvaipan keskimääräistä vuotoilmavirtaa tunnissa, kun paine-ero on 50 Pa. Luku lasketaan suhteessa rakennusvaipan kokonaispinta-alaan, johon sisältyvät ulkoseinät aukkoineen sekä ylä- ja välipohja. (Paloniitty 2012, 15.)

### **Tiiviysmittaus**

Tiiviysmittauksessa määritetään rakennusvaipan ilmanvuotoluku  $q_{50}$ , joka kuvaa rakenteiden keskimääräistä vuotoilmaavirtaa tunnissa 50 Pascalin paine-erolla suhteessa rakennusvaipan pinta-alaan. (RT 14-11239, 6.)

### **Ulkovaippa**

Ulkovaippa tai vaippa tarkoittaa rakennuksen sisätiloista erottuvia rakennekerroksia ulkoilmasta. (Paloniitty 2012, 15.)

### **Rakennuksen vaipan ala**

Rakennuksen vaipan pinta-alaan sisältyvät ulkoseinät sekä ala- ja yläpohja laskettuna sisämittojen perusteella. (Paloniitty 2012, 15.)

**Diffuusio**

Rakennuksen sisä- ja ulkoilman välinen vesihöyryn pitoisuus ero. (Björkholtz 1997, 55).

**Konvektio**

Konvektiossa lämpö siirtyy nesteen tai kaasun virtauksen mukana. Konvektio voi olla joko pakotettua tai luonnollista. Pakotetussa konvektiossa virtaus syntyy ulkoisen voiman vaikutuksesta, kun taas luonnollinen konvektio johtuu lämpötilaerojen aiheuttamista tiheyseroista. Ilmavirtauksen kautta voi siirtyä merkittäviä määriä lämpöä esimerkiksi hataran yläpohjan kautta ulos. Tämä menetetty lämpö korvautuu ulkoa tulevalla ilmalla, joka on lämmitettävä ja lisää energiankulutusta. (Björkholtz 1997, 13.)

**Lämpökamera**

Lämpökamera toimii lämpösäteilyn vastaanottimena ja mittaamalla kohteen pinnalta lähtevän infrapunasäteilyn voimakkuuden. Kamera muuntaa säteilyn voimakkuuden lämpötilatiedoiksi, josta luodaan digitaalinen lämpökuva. (RT 14-11239, 6.)

## 1 JOHDANTO

Energiatehokkuus ja sisäilmanlaatu on noussut viimevuosina yhä merkittävämmäksi keskustelunaiheeksi rakennusalalla. Näiden tavoitteiden saavuttamisessa rakennuksen ilmatiiveydellä on keskeinen rooli. Omakotitalossa, jossa asumisviihtyvyys ja kustannustehokkuus ovat tärkeitä on ilmatiiveyden varmistaminen yksi tärkeimmistä keinoista parantaa energiatehokkuutta ja estää kosteuden aiheuttamia vaurioita.

Ilmatiiveyden hallinta liittyy läheisesti rakennusfysiikkaan ja vaikuttaa merkittävästi sekä lämmityskustannuksiin, että rakenteiden pitkäikäisyyteen. Vuotokohtien kautta kulkeva hallitsematon ilmavirtaus voi aiheuttaa lämpöhukkaa, kondensaatiota ja jopa homeongelmia, mikä lisää huolto- ja korjauskustannuksia. Hyvin suunnitellut ja ilmatiiviit rakenteet parantavat paitsi rakennuksen energiatehokkuutta, myös sisäilman laatua ja asumismukavuutta.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tarkastella omakotitalon ilmatiiveyden varmistamista rakennusvaiheessa. Työ keskittyy ilmatiiveyden mittaamiseen, siihen vaikuttaviin tekijöihin sekä parhaisiin käytäntöihin ilmatiiviiden rakenteiden saavuttamiseksi. Ilmatiiveyden varmistaminen vaatii huolellista suunnittelua, laadukkaita materiaaleja ja tarkkaa toteutusta.

Työssä selvitetään ilmatiiveyttä rakenteilla olevasta omakotitalosta, joka tulee yksityiselle omatoimirakentajalle. Ilmatiiveysmittaus tehdään rakennusvaiheen aikana, jotta voidaan tuloksien perusteella mahdollisesti paikata vuotokohtia helposti ja edullisesti.

## 2 ILMATIIVEYDEN MERKITYS

### 2.1 Energiatehokkuus

Euroopan unionin energiatehokkuudesta antama direktiivi (2012/27/EU, jolla vahvistetaan yhteisen kehityksen energiatehokkuuden edistämistä koskeville toimenpiteille (Perustelumuistio ympäristöministeriön asetukseen uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 2017, 5). Kansainvälisillä energiatehokkuus-sopimuksilla on merkittävä rooli sekä ympäristönsuojelussa, taloudellisessa, että terveydellisessä kehityksessä.

Rakennettaessa matala- tai passiivenergiataloa on välttämätöntä saavuttaa hyvä ilmanpitävyys. Tämä edellyttää paitsi huolellisesti suunniteltuja rakenteita myös tarkkaa toteutusta työmaalla. Erityisen alttiita ilmapuodoille ovat talon nurkat, seinien liitoskohdat ylä- ja alapohjaan, ikkunoiden karmien ja seinien väliset alueet sekä karmien ja ilmansulun yhtymäkohdat. Ilmanpitävyys on luotettavimmin tarkistettavissa mittaamalla se rakennusvaiheessa, kun ilmasulku on asennettu, mutta sisäverhouslevyt eivät ole vielä paikoillaan. Tässä vaiheessa ilmatiiveyttä on mahdollista parantaa ja mahdollisten parannustöiden jälkeen toistetaan varmuuden vuoksi. Energiatehokkaan talon ilmatiiveystavoitteen tulisi olla selkeästi alle  $1,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ , mikä tuo noin 20 %:n energiansäästön verrattuna oletusarvoon  $4,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ . (Energiatehokaskoti.fi 2024.)

Merkittävä osa rakennuksen energiankulutuksesta liittyy ilmanvaihtoon. Ilmanvaihdon tehtävänä on poistaa sisäilmasta hengityksen tuottamaa hiilidioksidia ja kosteutta sekä tuoda tilalle raikasta ulkoilmaa. Nykyisessä rakentamisessa ilmanvaihdon tärkeys on lisännyt koneellisen ilmanvaihdon ja lämmöntalteenoton suosiota. Nykyiset lämmöntalteenottokennot pystyvät hyödyntämään jopa 80 prosenttia poistoilman lämpöenergiasta tuloilman lämmittämiseen. (motiva.fi 2015, 38.)

Energiatehokkaat rakennukset koostuvat tiiviistä rakennuksen vaipasta ja tehokkaasta talotekniikasta. Rakennusvaipan tiiviys varmistaa, että lämpöhäviöt pysyvät minimissä ja samalla vähentää rakenteissa esiintyvien mikrobikasvustojen riskiä. (motiva.fi 2015, 39.)

## 2.2 Asumisviihtyvyyden ja sisäilmanlaatu

Rakennuksen energiatehokkuuteen vaikuttaa merkittävästi vaipan tiiviys ja sen varmistaminen. Tulevaisuudessa rakennuksia voidaan verrata termospulloihin, joissa tiivis rakenne energiatehokas koneellinen ilmanvaihto ylläpitää laadukasta sisäilmaa ja rakenteiden toimivuutta. (Paloniitty 2012, 7.)

Rakennuksen hyvä ilmanpitävyys vaikuttaa merkittävästi raikkaan sisäilman ja asumismukavuuden ylläpitämiseen. Tiivisvaipparakenne estää kylmän ilman pääsyn sisätiloihin, mikä ehkäisee vedon tunnetta asukkaiden keskuudessa. Lisäksi se vähentää rakenteista, maaperästä ja ulkoilmasta sisälle tunkeutuvia homeita, epäpuhtauksia ja haitallisia aineita. Jos rakennuksen vaipassa on vuoto-kohtia, sisäilman kosteus voi kulkeutua ilmavirtojen mukana kylmiin rakenteisiin, mikä kasvattaa kosteusvaurioiden riskiä. (sustera.fi 2021.)

## 2.3 Lainsäätö ja rakennusmääräykset

Suomessa ilmatiiveyteen liittyvät vaatimukset ja ohjeistukset sisältyvät ympäristöministeriön asetuksiin ja rakennusmääräyksiin. Niiden tavoitteena on varmistaa energiatehokkuus ja rakenteiden toimivuus.

Rakennuksen terveellisyydestä koskevat vaatimukset on säädetty maankäyttö- ja rakennuslain 117 c §: ssä. Tämän lainkohdan perusteella ympäristöministeriö on antanut asetuksen rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta (782/2017) eli niin sanottu kosteusasetus, joka astui voimaan 1.1.2018. Asetuksen tueksi on laadittu ohje, jossa käsitellään asetuksen sisältö yksityiskohtaisesti ja taustoitetaan sen määräyksiä. Rakennuksen kosteusteknisestä toimivuuden varmistaminen edellyttää lisäksi, että rakennusta käytetään ja ylläpidetään käyttötarkoituksen mukaisella tavalla. Rakennusvaipan liitosten sekä sisärakenteiden on varmistettava ilmanpitävyys ja höyrytiiveys siten, että vesihöyry ei pääse siirtymään rakenteisiin tavalla, joka haittaisi niiden kosteusteknistä toimivuutta. (Rakennusten kosteustekninen toimivuus 2020, 2, 12.)

Pääsuunnittelijan, rakennesuunnittelijan ja erityissuunnittelijan on vastattava suunnittelusta siten, että rakennus täyttää käyttötarkoitukseensa liittyvät kosteustekniset vaatimukset. Rakennuksen, rakenteiden ja sen osien on kestävä

suunnitellun teknisen käyttöikänsä ajan, sekä sisäiset, että ulkoiset kosteusrasitukset. Rakenteisiin tai sisäpinnoille ei saa kertyä kosteutta siinä määrin, että se aiheuttaisi vahinkoa rakennukselle tai terveyshaittoja rakennuksessa oleskeleville. (RT 103732 2024, 3.)

## 2.4 Rakenteiden ilmatiiveys

Ilmatiiviyys viittaa asiayhteyden mukaan rakenteen kykyyn estää veden, ilman ja vesihöyrynläpäisy. Monesti rakenteen tiiviyskäsite sekoitetaan ilmatiiviyteen tai rakenteen hengittävyteen, vaikka kyseessä ovat eri asiat. Rakenteen tiiveys liittyy vesihöyryn diffuusion eli vesihöyryn siirtymiseen molekyylitasolla rakenteen läpi. Ilmatiiviyys puolestaan kuvaa rakennusvaipan kykyä vastustaa ilman liikettä. Ilmatiiviyttä mitattaessa arvioidaan rakennuksen vaipan läpi kulkeutuvaa ilmavirtausta. Rakennusvaippa koostuu rakennuksen osista, jotka erottavat lämmitetyt sisätilat ulkoilmasta. Näihin kuuluvat muun muassa ikkuna- ja oviliitokset sekä erilaisten läpivientien ja hormien liittymät. (Paloniitty 2012, 12.)

Ilmavirtausta vaipan läpi aiheuttavat paine- ja lämpötilaerot rakennuksen sisä- ja ulkopuolen välillä. Luonnollinen konvektio johtuu lämpötilaerojen aiheuttamista ilman tiheyseroista. Pakotetussa konvektiossa ilma liikkuu ulkoisten paine-erojen vaikutuksesta, joita voivat aiheuttaa esimerkiksi savupiippuvaikutus, tuuli tai ilmanvaihtojärjestelmät. (Paloniitty 2012, 13.)

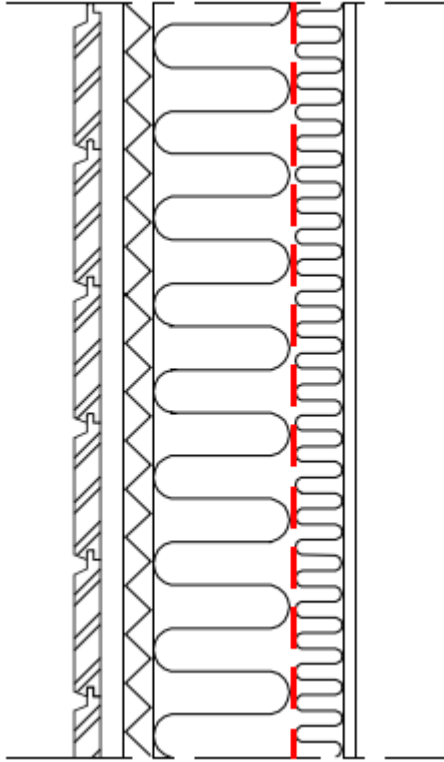
### 3 ILMATIIVEYTEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

#### 3.1 Rakenteelliset tekijät

##### 3.1.1 Runkomateriaali

Asuinrakennusten seinät ovat enimmäkseen puurakenteisia rankaseiniä. Ilmansulkukerros sijaitsee rakenteen sisäpinnan lähellä ja sen ensisijaisena tehtävänä on estää haitallinen ilman liike rakenteen läpi puolelta toiselle. Puurankaseinissä tarvitaan ilmansulkukerroksen lisäksi rakenteen sisäpinnassa aina riittävähöyrytiivis höyrynsulku. Usein sama kerros toimii sekä ilman- että höyrynsulkuna. Puurakenteisissa ilman- ja höyrynsulkukerros toteutetaan tavallisesti kalvomaisilla materiaaleilla, kuten muovikalvolla tai paperipohjaisilla ilmansulkukalvoilla, joilla on riittävä vesihöyrynvastus. (Aho & Korpi 2009, 12.)

Ilmansulkukalvo voidaan asentaa joko sisäpinnan levyn taakse tai lämmöneristeen sisäpuolelle siitä noin 50 mm etäisyydelle (kuva 1). Suositeltavaa on sijoittaa ilmansulkukalvo 50 mm etäisyydelle lämmöneristeen sisään sillä tämä parantaa rakenteen ilmanpitävyyttä, kun ilmansulkukalvo on paremmin suojassa, eivätkä esimerkiksi seinään lyödyt naulat aiheuta siihen reikiä. Lisäksi upotetut sähkörsiat ja levyn takana kulkevat sähköjohdot- ja putket voidaan asentaa rikkomatta ilmansulkukerrosta. (Aho & Korpi 2009, 12.)



Kuva 1. Ilmansulku asennettuna n. 50 mm etäisyydelle sisäpinnan taakse. (Aho & Korpi 2009, 13).

### 3.1.2 Eristeet

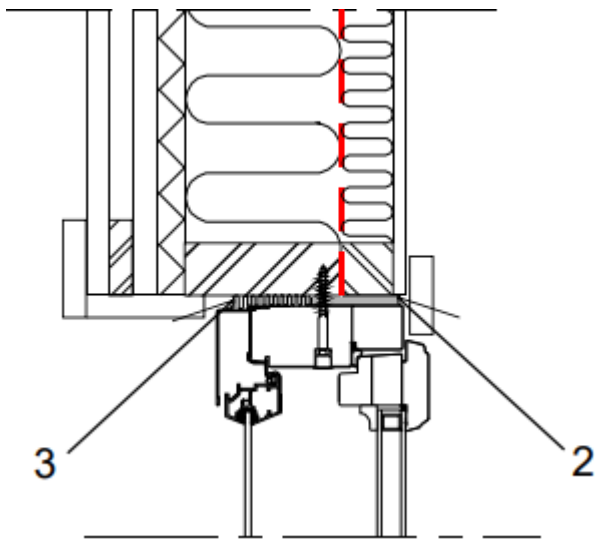
Lämmöneristeet asennetaan rakenteeseen niin, että ne täyttävät niille varatun tilan mahdollisimman tarkasti ja on tiiviisti ympäröiviin rakenteisiin ja materiaali-kerroksiin. Avohuokoisten eristeiden yhteydessä on ulkopintaan lisättävä tuulen-suoja, joka estää tuulen aiheuttamat haitalliset ilmavirtaukset. Massiivirakenteisessa vaipassa, kuten hirsi-, tiili- tai kevytbetonielementtirakenteessa, jossa erillistä lämmöneristekerosta ei ole, koko rakenne itsessään toimii ilmansulkuna edellyttäen, että kaikki sauma- ja liitoskohdat on tiivistetty. (RT 80-10974, 8.)

### 3.1.3 Ikkunat ja ovet

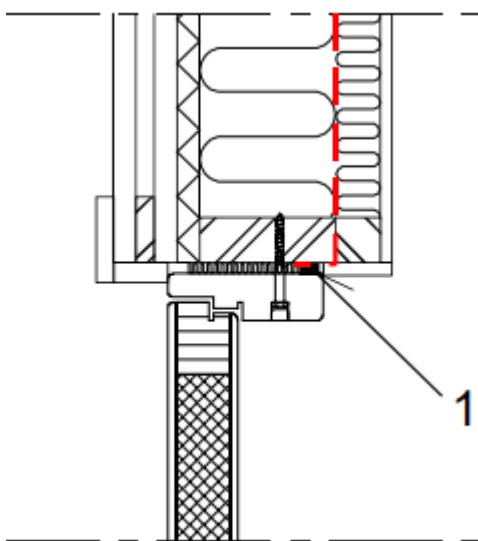
Ikkunoiden ja ovien tiivistämisessä voidaan käyttää mineraalivillaa ja polyuretaanivaahtoa (kuva 2). Vaahto levitetään sisäpinnan tasalle (2), mutta ei kuitenkaan

levitetä koko väliin, vaan ulkoreunaan jätetään tuuletusrako (3). Osan tiivistetila-  
lasta karmin ulkoreunassa voi myös täyttää mineraalivillalla. Jos ovi tiivistetään  
mineraalivillakaistalla (kuva 3), kuten kuvassa niin ilmanpitävyys toteutetaan  
elastisella kittauksella sisäpinnassa (1). (Aho & Korpi 2009, 81.)

Ikkunoiden ja ovien tiivistystyössä tarkkuus ja huolellisuus on ensiarvoisen tär-  
keää. Asennuksen yhteydessä tulee varmistaa karmien tiivisteiden kunto ja toi-  
mivuus. (Aho & Korpi 2009, 81.)



Kuva 2. Ikkunan tiivistäminen seinärakenteeseen. (Aho & Korpi 2009, 81).



Kuva 3. Oven tiivistäminen seinärakenteeseen. (Aho & Korpi 2009, 80).

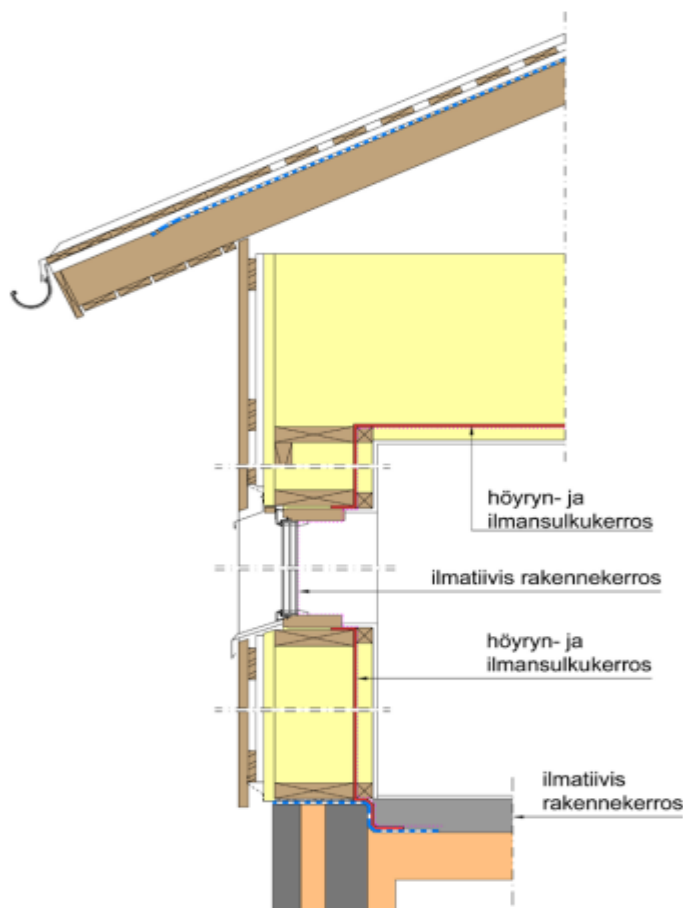
### 3.2 Rakenteelliset liitokset ja saumojen tiivistys

Rakennuksen ilmanpitävyys tulisi huomioida jo arkkitehtisuunnittelun vaiheessa. Suunnittelussa on vältettävä riskialttiita liitosratkaisuja, pyrittävä minimoimaan läpiviennin määrä ja suunniteltava niiden sijoituspaikat etukäteen ennakolta valmiiksi. Rakennusvaipan osat, niiden liitokset ja läpiviennit tulee suunnitella ja toteuttaa siten, että ne ovat ilmatiiviitä ja säilyttävät tiiviytensä myös rakennuksen vanhetessa esimerkiksi rakenteiden taipumien, muodonmuutosten tai materiaalien ikääntymisen vaikutuksesta. (RT 80-10974 2009, 7.)

Rakenteiden ja liitosten suunnittelussa ja toteutuksessa on aina otettava huomioon rakenteiden lämpö- ja kosteustekninen toiminta, sisäilmanlaatu sekä voimassa olevien palomääräysten vaatimukset. On tärkeää ymmärtää, että jopa pienet ilmavuodot rakenteiden läpi voivat aiheuttaa ongelmia, kuten radonin tai homeen pääsyn sisäilmaan maaperästä tai kosteuden siirtymisen rakenteisiin. (RT 80-10974 2009, 7.)

Rakennuksen ilmanpitävyys varmistetaan ilmansululla, joka sijoitetaan rakenteen lämpimälle puolelle lähelle sisäpintaa. Massiivisissa rakenteissa saumojen ja liitosten on oltava tiiviitä, jotta koko massiivirakenne voi toimia ilmansulkuna. Sisärakenteiden ja niiden liitosten tiiveys estää haitallista vesihöyryn konvektiovirtausta rakennuksen sisältä ulkovaippaan. (Rakennuksen kosteustekninen toimivuus 2020, 12.)

Höyrynsulkukerros muodostetaan rakenteen lämpimälle puolelle ja sen tehtävänä on estää vesihöyryn läpäisy. Tämä kerros muodostetaan yhtenäisestä ja tiiviistä materiaalista, jolla on riittävä vesihöyrynvastus. Kerroksellisissa rakenteissa höyrynsulkua voivat muodostaa kalvot, levyt tai kivipohjaiset materiaalit, jotka on asennettava huolellisesti niin, että niiden liitokset, saumat ja läpiviennit ovat täysin tiiviitä. (Rakennuksen kosteustekninen toimivuus 2020, 12.) Rakennuksen hyvä ilmanpitävyys edellyttää, että kaikki rakennusvaipan osat ja niiden liitokset ovat tiiviitä. (RT 80-10974, 8).



Kuva 4. Periaatekuva, joka esittää eri rakennusosien muodostaman höyryn- ja ilmansulkukerroksen, joka on tiivis myös liitoksistaan ja läpivienneiltään. (Rakennuksen kosteustekninen toimivuus 2020, 12).

### 3.3 Työmaan laadunvalvonta ja tarkastukset

Rakennushankkeen ryhtyvän vastuulla on varmistaa, että rakennus suunnitellaan ja toteutetaan voimassa olevien säädösten, määräysten ja myönnetyn luvan mukaisesti. Lisäksi rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava siitä, että hankkeessa toimivat suunnittelijat täyttävät kelpoisuusvaatimukset ja että kaikilla hankkeen osapuolilla on tehtäviensä vaativuuden mukainen asiantuntemus ja ammattitaito. (Rakentamislaki 2023/751 § 8: 91.)

Vastaavan työjohtajan tehtävänä on valvoa, että rakennustyö toteutetaan kokonaisuudessaan laadukkaasti ja asianmukaisesti. Hänen tulee varmistaa, että työ noudattaa rakennuslupaa, suunnitelmia, rakentamiseen liittyviä säädöksiä ja määräyksiä, sekä hyvää rakentamistapaa. (Rakentamislaki 2023/751 § 8: 97.)

Ilmanpitävyyden kannalta valvonnalla on keskeinen merkitys lopputuloksen saavuttamisessa. Paras tulos saavutetaan, kun mahdolliset toteutuksen puutteet korjataan heti ja tehokkaasti. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi siten, että useat eri henkilöt tarkastavat tilanteen omista näkökulmistaan. (Rakennustieto.fi 2010, 8.)

## 4 ILMATIIVIYDEN MITTAAMINEN

### 4.1 Tiiviysmittaus

Rakennuksen tiiviysmittaus on luotettava ja puolueeton tapa arvioida rakennuksen vaipan ilmanpitävyyden laatua. Mittaus on yksinkertainen, kustannustehokas ja antaa selkeän kuvan tutkittavan rakennuksen ilmapitävyyden tasosta. Omakotitalojen ja rivitaloaluoneistojen tiiviysmittaukset suorittavat aina henkilösertifioitu tiiviysmittaaja, joka käyttää kaupallisia tiiviysmittauslaitteita. (Paloniitty 2012, 86.)

Tiiviysmittauksessa mitataan rakennuksen tai sen vaipan osien ilmatiiviyttä käyttämällä niin sanottua paine-eromenetelmää. Tässä menetelmässä tutkittavaan tilaan luodaan paine-ero suhteessa ulkoilmaan. Paine-ero syntyy puhaltimen avulla, joka asennetaan ulko-oven tai ikkunan tuuletusaukon kohdalle. Vaihtoehtoisesti puhaltimena voi käyttää rakennuksen omaa ilmanvaihtolaitteistoa. (Paloniitty 2012, 29.)

Mittaus suoritetaan yleensä viidellä eri paine-erolla. Mittauksen aikana mitataan ilmamäärät, jotka tarvitaan paine-erojen ylläpitämiseen. Näiden mittausten perusteella laaditaan vuotoilmakäyrä, jonka avulla voidaan laskea 50 Pa:n paine-eroon vastaava ilmamäärä. Ilmavuotoluku  $n_{50}$  saadaan jakamalla ilmamäärä ( $Q$ ), joka tarvitaan 50 Pa:n paine-eron ylläpitämiseksi tunnin aikana, tutkittavan tilan sisäilmatilavuudella ( $V$ ). Tämän lisäksi ilmamäärä voidaan jakaa vaipan pinta-alalla ( $A$ ), jolloin saadaan ilmavuotoluku  $q_{50}$ . Ilmavuotoluku  $n_{50}$  ilmoitetaan yksikössä 1/h, mikä tarkoittaa vuotoa tunnissa. Ilmavuotoluku  $q_{50}$  puolestaan esitetään yksikössä [ $m^3 / (h m^2)$ ], joka kertoo vuotoilman määrän vaipan pinta-alaa kohden. (Paloniitty 2012, 29.)

$$n_{50} = Q_{50} / V \quad (1)$$

missä

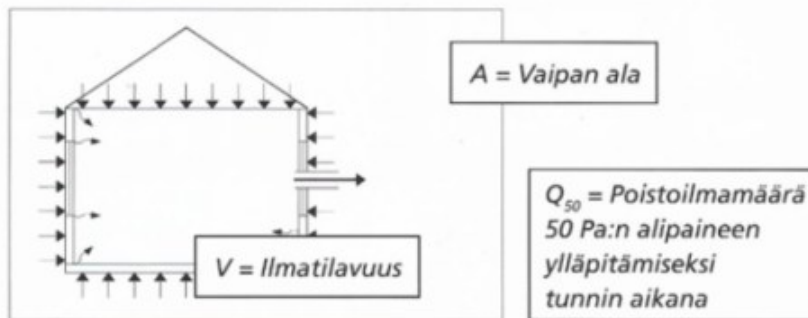
$n_{50}$	on	Ilmanvuotoluku 50 Pa paine-erolla [1/h]
$Q_{50}$	on	Ilmanilmanvirtaus 50 Pa paine-erolla [ $m^3/h$ ]
$V$	on	Mitattavan osan sisätalavuus $m^3$

$$q_{50} = Q_{50} / A \quad (2)$$

missä

$q_{50}$	on	Ilmanvuotoluku 50 Pa paine-erolla [ $\text{h} \cdot \text{m}^2$ ]
$Q_{50}$	on	Ilmanvirtaus 50 Pa paine-erolla [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]
$A$	on	Mitattavan osan ulkovaipan ala [ $\text{m}^2$ ]

Rakennuksen ilmantiivyyden mittaaminen painokoemenetelmällä on määritelty standardissa SFS-EN ISO 9972. Rakennusta mitattaessa on ilmanvaihtoa varten suunnitellut aukot, kuten tulo- ja poistokanavat, hormit ja tulisijat suljetaan huolellisesti tiivistämällä esimerkiksi teipillä tai muulla vastaavalla menetelmällä. Lisäksi ovet ja ikkunat on pidettävä suljettuina. (RT 80-10974 2010, 10.)



Kuva 5. periaate vaipan tiiviysmittauksesta. (Paloniitty 2012, 29)



Kuva 6. Painekoelaitteisto ulko-oveen asennettuna. (RT 80-10974, 13).

#### 4.2 Lämpökamerakuvaus

Rakenteiden lämpötekniistä toimivuutta voidaan arvioida sekä valmiissa rakennuksessa, että rakennustyön aikana hyödyntäen lämpökameraa ja useita muita toisiaan täydentäviä menetelmiä. Lämpökamerakuvaus mahdollistaa lämpövuotojen nopean paikantamisen rakenteita rikkomatta. Sen avulla voidaan havaita esimerkiksi eristyksen puutteita, ilmavuotoja, kylmäsiltoja sekä jossakin tapauksissa kosteusvaurioita. Lisäksi lämpökamerakuvauksella voidaan nopeasti määrittää suurten pintojen pintalämpötilajakauma.

Lämpökamerakuvauksen tavoitteena on arvioida rakennuksen ulkovaipan lämpötekniistä kuntoa ja lämmöneristyskerroksen toimivuutta osana kunnon- ja laadunvalvontaa. Lämpökameran avulla voidaan samalla kartoittaa myös muita rakennuksen ja rakenteiden toimivuuteen, olosuhteisiin sekä asumisviihtyvyyteen

vaikuttavia tekijöitä. Näitä ovat esimerkiksi ilman virtausreitit, rakenteiden fysikaalinen käyttäytyminen sekä kosteusvaurioita ja LVIS-laitteiden toimintaa tietyin edellytyksin.

Rakennusten lämpökuvauksessa käytettävän lämpökameran tulee olla sekä mittaava, tasapainotettu ja kuvantava mittalaite. Tämä tarkoittaa, että kamera tuottaa lämpökuvan kuvattavasta kohteesta ja esittää kohteen pintalämpötilajakauman. Rakennusten lämpökuvaajalta edellytetään asiantuntemusta sekä lämpökuvauksen, että rakennustekniikan alalta. Tämä osaaminen voidaan osoittaa VTT:n myöntämällä lämpökuvaajan henkilösertifikaatilla. (RT 14-11239 2016, 1, 2, 3.)

Lämpökuvauksen etuina ovat tarkat ja luotettavat tiedot vuotojen sijainnista, laadusta ja laajuudesta. Haittapuolena on kuitenkin se, että mittaustarkkuus voi kärsiä olosuhteiden vaikutuksesta. Esimerkiksi pienet lämpötilaerot voivat vaikeuttaa kuvien tulkintaa. (Paloniitty 2012, 58.)



Kuva 7. Ilmavuotojen paikannus lämpökameralla. (Paloniitty 2012, 59).

### 4.3 Mittaustulosten raportointi

Rakennuksen tiiviysmittauksesta tehdään vähintään mittauspöytäkirja, joka toimii tiiviystodistuksena esimerkiksi rakennusvalvontaa varten. Pöytäkirja sisältää vähintään seuraavat tiedot:

- Kansilehti: ilmavuotoluvun arvot  $q_{50}$  ja  $n_{50}$ , sekä energialuokka
- Mittauksen suorittajan yhteystiedot
- Mittausaika: Päivämäärä ja kellonaika
- Mittauskohteen tiedot:
  - kohteen nimi ja osoite
  - ilmantilavuus
  - vaipan pinta-ala
  - rakennuksen kokonaiskorkeus
  - rakennuksen laajuustietojen virheprosentti
  - mittauksen kattavuus
- Säättiedot: tuulen nopeus, puuska, suunta sekä ilmanpaine
- Sisälämpötila
- Käytetty laitteisto: Laitteiden tyyppi, malli ja sarjanumerot
- Lähtöpaine, loppupaine ja mittauspaineet ja ilmamäärät
- Laskettuvuotoilmavirta 50 Pa:n paine-erolla
- Vuotoilmakäyrä
- Lasketut ilmanvuotoluvun arvot  $q_{50}$  ja  $n_{50}$ . (Paloniitty 2012, 63.)

## 5 ILMATIIVIYDEN VARMISTAMINEN

### 5.1 Rakennusvaiheen ratkaisut

Työmaalla on tärkeää tiivistää kaikki saumat ja liitoskohdat huolellisesti sekä varmistaa, ettei lopputuloksen laatua heikennetä sähkö- ja LVI-asennuksen tai viimeistelytöiden aikana. Jopa vakioidussa rakentamistavassa, kuten tyyppitalotuo-tannossa voi syntyä huomaamattomia ilmavuotoja, jos läpivientien tiivistys sähkö- ja LVI-töiden yhteydessä tehdään puutteellisesti. Lisäksi on varmistettava, että ikkunat ja ovet asennetaan tarkasti suorakulmaisesti, jotta karmien tiivisteet painautuvat tasaisesti. (RT 80-10974, 7.)

#### 5.1.1 Tiivistysmateriaalit

Ilmansulkupaperi on hengittävä ilmatiivis materiaali, joka estää ilman liikkeen rakenteiden läpi. Ilmansulkupaperi on taipuisa materiaali, joka on helppo asentaa myös nurkkakohdissa. Sitä käytetään sisäseinissä ja katoissa ilmansulkuna.

Läpivientikaulus on suunniteltu erityisesti ilmanvaihto, keskusimurin ja sähköputkien läpivientien tiivistämiseen. Läpiviennissä on itseliimautuva laippaosaa, joka tekee kiinnittämisestä helppoa. Laipan suuri koko tiivistää suuremmatkin lävistysreiät ja viillot. Laippaosan pitävyys varmistetaan vielä tiivistysteipillä. Kaulus on joustava ja mukautuu hyvin ja tiiviisti läpivietävän putken ympärille.

Tiivistysteipit ja nauhat sopii hyvin saumojen tiivistämiseen. Teipit ja nauhat ovat voimakasliimaisia, verkkovahvistettuja ja joustava, joka tarttuu yleisimpiin rakennusmateriaaleihin. (ekovilla.com 2020.)

#### 5.1.2 Ilmastointiputkien läpivienti

Ilmanvaihtoputkien ja viemärinuuletusputken läpivientien tiivistämisessä käytettiin liimattavia läpivientikauluksia, jotka varmistettiin vielä tiivistysteipillä (kuva 8).



Kuva 8. Lämpivientikaulus ilmastointiputkessa.

### 5.1.3 Sähköjohtojen läpivienti

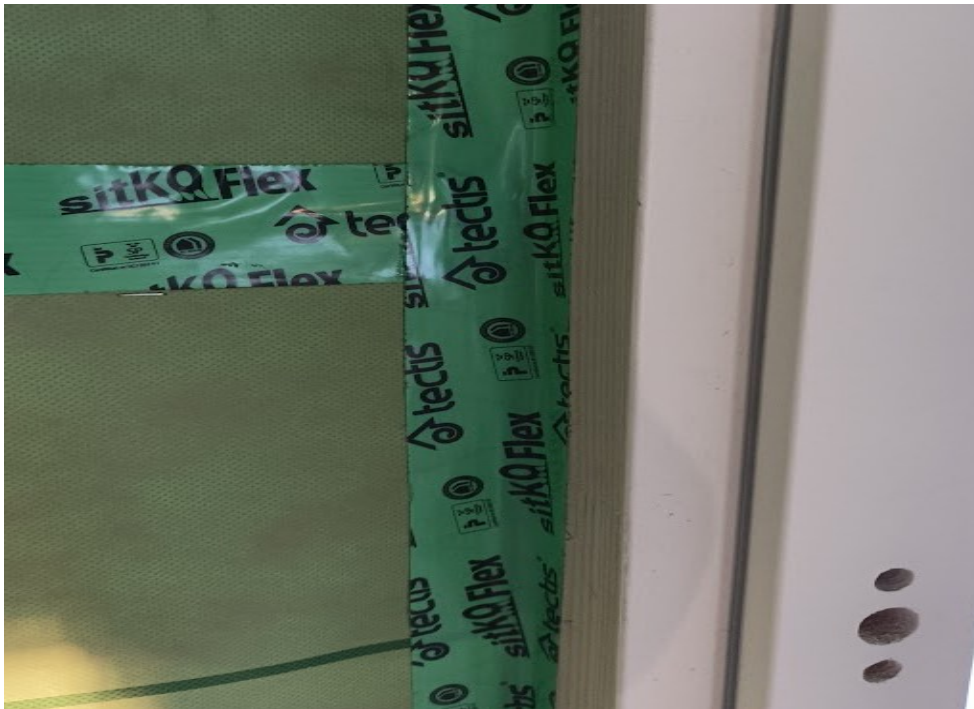
Sähköjohtojen läpivientien voimakasliimaista tectis-sitko tiivistysteippiä (kuva 9). Sähköjohtojen läpivientien tiivistämiseen on myös saatavana liimattavia läpivienti tiivisteitä.



Kuva 9. Sähköjohtojen läpivienti tiivistetty teipillä.

#### 5.1.4 Karmien liitokset

Karmien liitoskohtien tiivistäminen on yksi yleisimpiä ilmavuotokohtia. Ikkuna- ja ovikarmien liitokset liitettiin ilmansulkupaperiin Tectis-sitkoteipillä, jotta liitoksesta tulee pitävä. Ikkuna-aukot kierretään vielä koolauksella, johon tulee uretaanivahto väliin, näin ollen teippiliitos jää molemmin puolin uretaanivaahdon väliin.



Kuva 10. Ilmansulkupaperi liitettynä ikkunakarmin.

#### 5.1.5 Ilmansulkupaperin saumat

Ilmansulkupaperin saumojen teippaus on tärkeä osa rakennuksen ilmatiivyyden varmistamista. Saumojen teippauksessa käytettiin Tectis-sitko tiivistysteippiä (kuva 11). Ilmansulkupaperin tulee olla puhdas, kuiva ja pölytön.



Kuva 11. Ilmansulkuparin saumat tiivistetty teipillä.

#### 5.1.6 Savuhormin läpivienti

Savuhormin läpiviennin tiivistäminen on kriittinen ja herkkä kohta, koska siinä yhdistyy ilmantiiviys ja paloturvallisuus. Ilmansulkupaperia ei saa tuoda liian lähelle hormia. Savuhormin tiivistys on toteutettu siihen tarkoitettulla Tescon No 1 tiivistysteipillä (kuva 12).



Kuva 12. Hormin ja ilmansulkupaperin tiivistys Tescon No 1 tiivistysteipillä.

### 5.1.7 Ilmanvaihtokoneen läpivienti

Ilmanvaihtokoneen putkien läpivienneissä käytettiin koneen mukana tullutta valloxin asennuslevyä / läpivientilevyä (kuva 13), joka tiivistettiin ilmansulkupaperiin ja putkiin Tectis-sitkon tiivistysteipillä.



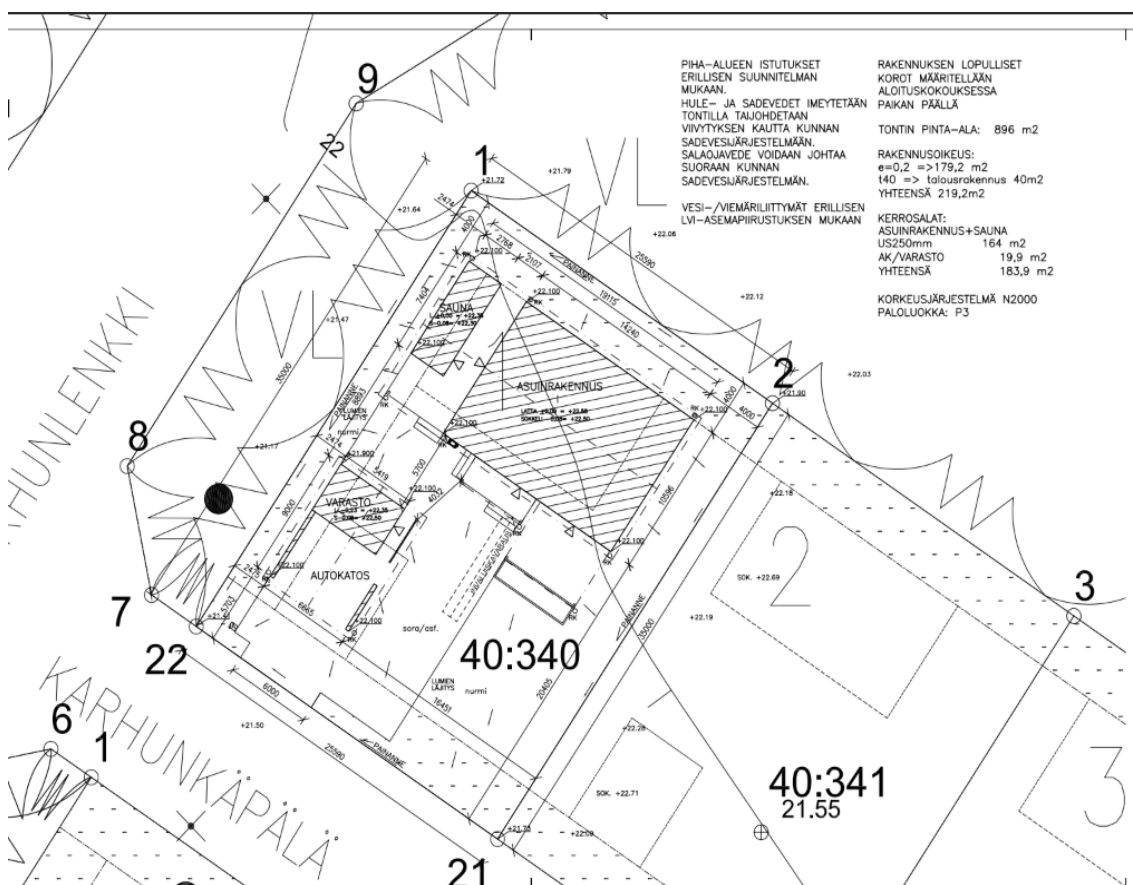
Kuva 13. Ilmanvaihtokoneen putket tiivistettynä.

## 6 PUURUNKOINEN OMAKOTITALO

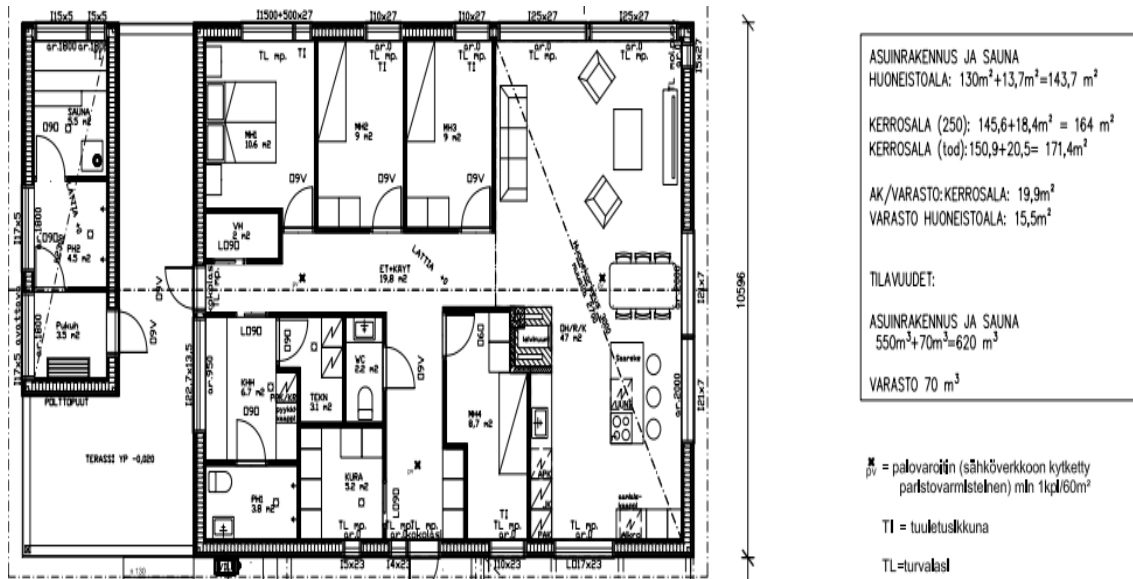
### 6.1 Kohteen esittely

Kohteena on rakenteilla oleva omakotitalo, joka sijaitsee Kempeleessä. Kohde on puurakenteinen yksikerroksinen ja harjakattoinen omakotitalo, johon kuuluu asuinrakennus ja sauna. Huoneistoala on  $130 \text{ m}^2 + 13,7 \text{ m}^2 = 143 \text{ m}^2$ , kerrosala on (250) on  $145,6 \text{ m}^2 + 18,4 \text{ m}^2 = 164 \text{ m}^2$  ja kerrosala (tod) on  $150,9 \text{ m}^2 + 20,5 \text{ m}^2 = 171,4 \text{ m}^2$ . Rakennuksessa on maanvarainen betonilaatta ja eristeenä 200 mm EPS eristettä. Seinissä on puhallettu 200 mm ekovilla + 50 mm ekovillalevy. Yläpohjassa on puhallettu 500 mm ekovillaa. Ilmasulkuna on käytetty ekovillan X5 ilmansulkupaperia.

Kohteessa on koneellinen ilmanvaihto lämmöntalteenotolla ja lämmitysjärjestelmänä on ilma-vesilämpöpumppu vesikiertoisella lattialämmityksellä.



Kuva 13. Asemakuva



Kuva 14. Pohjakuva

## 6.2 Mittauksissa käytetyt laitteet

Ilmatiiviysmittaukset tehdään tavallisesti kaupallisella ilmatiiviysmittauslaitteistolla, joista käytetään nimitystä Blower Door Systems, jotka on suunniteltu ja kalibroitu tätä tarkoitusta varten. Tällaisilla laitteilla saadaan merkittävästi tarkempia mittaustuloksia verrattuna siihen, että mittaus tehdään rakennuksen omalla ilmanvaihtojärjestelmällä. Suomessa käytetään ainakin neljän eri valmistajan tiiviysmittauslaitteita (taulukko 1), mikä tarjoaa mittaajalle vaihtoehtoja käyttötarkoituksen, ominaisuuksien ja ohjelmistojen suhteen. Mittauslaitteistoon kuuluu ilmamäärämittauksella varustettu puhallin ovi- tai ikkunakehikko ja siihen kiinnitettävä lakana, paine-eroyksikkö, ohjausyksikkö sekä tarvittavat paine-eroletkut ja virtajohdot. Vaikka mittaus on mahdollista toteuttaa pelkästään laitteiston avulla, mutta se on suunniteltu toimimaan tietokoneohjelman avulla. Ohjelma ohjaa mittausta automaattisesti, suorittaa tarvittavat laskelmat ja tuottaa lopuksi raportin. (Paloniitti 2012, 30.)

Taulukko 1. Mittalaitteet, valmistumaa ja käyttöalue. (Paloniitty 2012, 30).

<b>Merkki</b>	<b>Valmistusmaa</b>	<b>Käyttöalue m<sup>3</sup>/h (50 Pa) Min/Max</b>	
Retrotec 1000	USA/KANADA	8	9514
Retrotec Q4E	USA/KANADA	65	13592
Minneapolis	USA	19	7200
Wöhler	SAKSA	?	3000
Swema	RUOTSI	?	1120

Tässä kohteessa mittalaitteena käytettiin Lapin ammattikorkeakoulun ovi- tai ikkuna-aukkoon asennettavaa ilmamäärämittauksella varustettua Minneapolis DG700 Blower Door- tiiviysmittauslaitteistoa (kuva 14).

Minneapolis DG700 Blower Door-laitteisto sisältää:

- puhallin
- oviaukkoon asennettava kehikko ja kangas
- kuristusrenkaat A, B, C, D, E
- painemittauslaite
- paine-eroletkut
- tietokoneohjelma
- johtosarjat



Kuva 15. Minneapolis-tiivysmittauslaitteisto asennettuna oviaukkoon.

### 6.3 Ennen mittausta suoritettut toimenpiteet

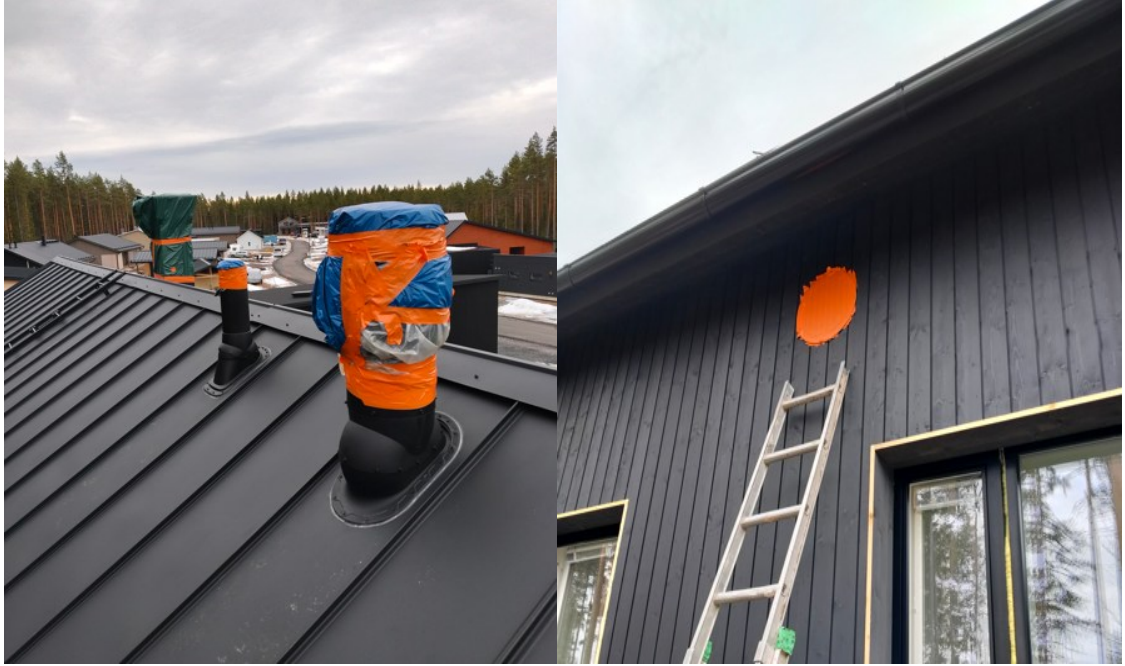
Ennen mittauksen aloittamista rakennuksen ilmantilavuus ja vaipanala laskettiin piirustuksista saatujen mittojen perusteella.

- lattia nettoala            134.1 m<sup>2</sup>
- katto nettoala            134.1 m<sup>2</sup>
- ulkoseinät nettoala    138.4 m<sup>2</sup>
- vaipan nettoala        406.6 m<sup>2</sup>
- tilavuus netto        377.8 m<sup>3</sup>

Rakennuksessa olevat vapaat ilmareitit, kuten tulisijan korvausilmaputki sekä ilmanvaihtokanavien päät tiivistettiin. Ilmanvaihtokoneen tulo- ja poistoilmakanavat sekä savuhormi suljettiin ulkopuolelta muovilla ja teipillä. Tulisijan ilmatiiveys varmistettiin vielä sisäpuolelta muovilla ja teipillä. Lattiakaivot täytettiin vedellä ja viemäriputkien päät teipattiin sekä viemärinuuletusputki katolla tiivistettiin muovilla ja teipillä.



Kuva 16. Tulisijan luukut varmistettu muovilla ja teipillä.



Kuva 17. Hormi, läpiviennit ja tuloilmaputki tiivistetty muovilla ja teipillä.

#### 6.4 Toteutettu mittaus ja havainnot

Ennen varsinaista puhallussarjaa mittausohjelmaan syötettiin ulkoilman (+8° C) ja sisäilman (+22° C) lämpötilat sekä ulkoilmanpaine (kuva 18) ja suoritettiin valitsevan pane-eron mittaus, jossa puhallinaukko peitettiin.

Tämän jälkeen aloitettiin alipaineinen mittaus, jossa puhallin poisti ilmaa rakennuksesta ja paine-eroa kasvatettiin vaihteittain. Ilmanvirtaus mitattiin viidellä eri paine-erolla, välillä 70 Pa – 30 Pa. Mittauksessa käytettiin B ja C kuristusrenkaita. Ohjelma luo mittauspisteet jokaisella mittaustasolla. Puhallussarjan jälkeen suoritettiin loppupaineen mittaus puhallinaukko suljettuna. Mittauksen päätteeksi puhallin käännettiin toisin päin, jolloin suoritettiin vastaava ylipainemittaus.

Kun mittaukset oli suoritettu kaikilla paine-eroilla ja ilmavirtaustulokset tallennettu, tietokoneohjelma mallinsi mittausraportin, jossa näkyy ilmavuotokäyrä ja ilmavuotoluvut  $n_{50}$  ja  $q_{50}$ . Ilmavuoto luku  $q_{50}$  on raportin mukaan 0.78, joka osoittaa rakennuksen täyttävän tiiviysmittaus luokituksen B (taulukko 2).



Kuva 18. Mittaushetkellä vallitseva sää.

## 6.5 Mittaustulokset

Ilmatiiviyden mittaamiseen käytettävä  $q_{50}$  arvo luokitellaan seuraavasti: Arvo, joka on enintään 0,6 täyttää passiivitalon tiiviysvaatimuksen. Arvo 0,7–1,0 luokitellaan kiitettäväksi, 1,1–1,5 erittäin hyväksi, 1,6–2,0 hyväksi, 2,1–3,0 tyydyttäväksi ja arvo 3,1–4,0 välttäväksi. Arvo 4 on rakennusmääräysten sallima enimmäistaso. Mikäli arvo on yli 4 katsotaan tiiviys heikoksi

Taulukko 2. Ilmatiiviysluokat

Ilmanvuotoluku Q <sub>50</sub>	Luokka	Tiiviys
<0,6	A	Passiivirakenne
0,7–1,0	B	Kiitettävä
1,1–1,5	C	Erittäin hyvä
1,6–2,0	D	Hyvä
2,1–3,0	E	Tyydyttävä
3,1–4,0	F	Välttävä
Yli 4,0	G	Heikko

## 6.5.1 Mittausraportti



**BlowerDoor GmbH**  
MessSysteme für Luftdichtheit

**BUILDING LEAKAGE TEST**

Date of Test: 2.4.2025 Test File: Kempele 14.4.2025

Technician:

Project Number:

Customer:

Building Address:

Test Results at 50 Pascals:	Depressurization	Pressurization	Average
q <sub>50</sub> : m <sup>3</sup> /h (Airflow)	328 (+/- 5.0 %)	304 (+/- 2.1 %)	316
n <sub>50</sub> : 1/h (Air Change Rate)	0.87	0.80	0.84
qF <sub>50</sub> : m <sup>3</sup> /(h·m <sup>2</sup> Floor Area)	2.45	2.27	2.36
qE <sub>50</sub> : m <sup>3</sup> /(h·m <sup>2</sup> Envelope Area)	0.81	0.75	0.78
<b>Leakage Areas:</b>			
ELA <sub>50</sub> : m <sup>2</sup>	0.0100 (+/- 2.1 %)	0.0093 (+/- 2.1 %)	0.0096
ELA <sub>F50</sub> : m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	0.0000747	0.0000691	0.0000719
ELA <sub>E50</sub> : m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	0.0000246	0.0000227	0.0000237
<b>Building Leakage Curve:</b>			
Air Flow Coefficient (C <sub>env</sub> ) m <sup>3</sup> /(h·Pa <sup>n</sup> )	16.2 (+/- 67.9 %)	11.8 (+/- 28.7 %)	
Air Leakage Coefficient (C <sub>L</sub> ) m <sup>3</sup> /(h·Pa <sup>n</sup> )	16.3 (+/- 67.9 %)	11.9 (+/- 28.7 %)	
Exponent (n)	0.767 (+/- 0.175)	0.828 (+/- 0.074)	
Coefficient of Determination (r <sup>2</sup> )	0.98479	0.99765	

Test Standard:

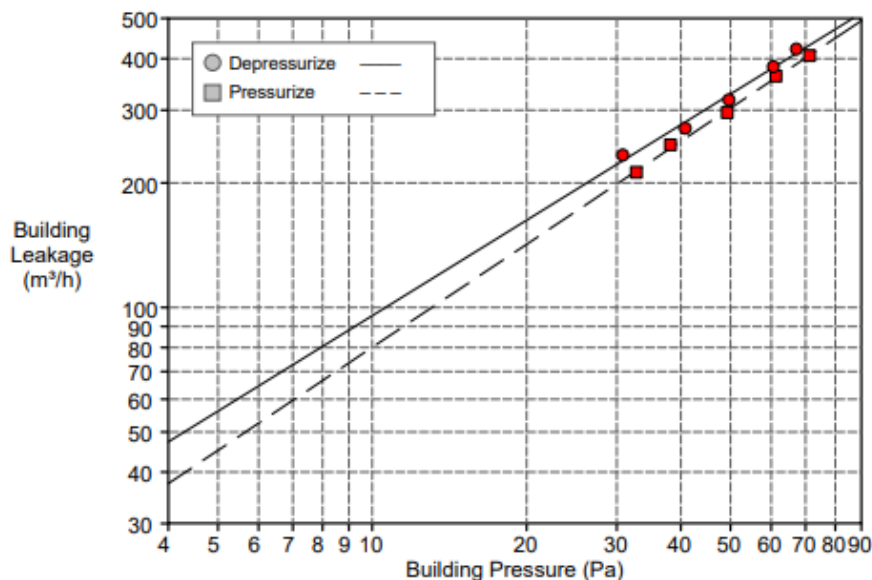
ISO 9972

Test Mode:

Depressurization and Pressurization

Type of Test Method:

Purpose of Test:



**BUILDING LEAKAGE TEST Page 2 of 5**

Date of Test: 2.4.2025 Test File: Kempele 14.4.2025

**Building Information**

Internal Volume, V (m <sup>3</sup> ) (according to ISO)	378
Net Floor Area, A <sub>F</sub> (m <sup>2</sup> ) (according to ISO)	134
Envelope Area, A <sub>E</sub> (m <sup>2</sup> ) (according to ISO)	407
Height (m)	
Uncertainty of Dimensions (%)	
Year of Construction	
Type of Heating	
Type of Air Conditioning	
Type of Ventilation	None
Building Wind Exposure	Highly Protected Building
Wind Class	Light Breeze

**Equipment Information**

Type	Manufacturer	Model	Serial Number	Custom Calibration Date
Fan	Energy Conservatory	Model 4 (230V)		-
Micromanometer	Energy Conservatory	DG700	12819	4.12.2008

**BUILDING LEAKAGE TEST Page 3 of 5**

Date of Test: 2.4.2025 Test File: Kempele 14.4.2025

**Depressurization Test 1:****Environmental Data**

Indoor Temperature (°C)	Outdoor Temperature (°C)	Barometric Pressure (Pa)
22.0	8.0	101325.0

**Pre-Test****Baseline Pressure Data****Post-Test**

$\Delta p_{0,1-}$	$\Delta p_{0,1+}$	$\Delta p_{0,1}$	$\Delta p_{0,2-}$	$\Delta p_{0,2+}$	$\Delta p_{0,2}$
-0.7	0.2	-0.6	-1.8	0.0	-1.8

**Data Points - Automated Test (TTE 5.1.8.4)**

Nominal Building Pressure (Pa)	Baseline adjusted Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow q <sub>r</sub> (m <sup>3</sup> /h)	Adjusted Flow q <sub>env</sub> (m <sup>3</sup> /h)	Adjusted Flow q <sub>L</sub> (m <sup>3</sup> /h)	% Error	Fan Configuration
-0.6	n/a	n/a					
-68.4	-67.2	29.3	437	418	422	2.5	Ring B
-61.8	-60.6	24.0	396	379	382	0.5	Ring B
-50.8	-49.6	244.7	329	315	318	-2.6	Ring C
-42.0	-40.8	180.1	281	269	271	-3.4	Ring C
-32.0	-30.8	135.0	242	232	234	3.2	Ring C
-1.8	n/a	n/a					

**Deviations from Standard ISO 9972 - Test Parameters**

- An interval between building pressures exceeds 10 Pa.
- The minimum pressure is not within +/- 3Pa of the greater of 10 Pa or (5 \* zero-flow pressure  $\Delta p_{01}$ ).

## 7 POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tarkastella puurunkoisen omakotitalon ilmatiivyyden varmistamista sekä ilmantiiveysmittauksen toteuttamista. Talossa käytettiin eristeenä puhallettavaa ekovillaa ja ilmansulkuna ekovillan X5 ilmansulkupaperia. Työn aikana kävi selväksi, että ilmatiivyyden hallinta on keskeinen osa laadukasta pientalorakentamista, sillä se vaikuttaa suoraan rakennuksen energiatehokkuuteen, sisäilman laatuun ja rakenteiden kosteusturvallisuuteen.

Rakennuksen hyvä ilmatiiviyys on keskeinen osa energiatehokasta ja terveellistä rakennusta. Ilmatiiviillä rakenteella voidaan vähentää hallitsemattomia ilmavuoja, jotka heikentävät lämmöneristystä, aiheuttavat vedon tunnetta sekä voivat johtaa kosteus- ja sisäilmaongelmiin. Hyvin suunniteltu ja toteutettu ilmatiiviyys parantaa rakennuksen energiatehokkuutta, asumismukavuutta sekä pitkän aikavälin kestävyttä.

Ilmatiiveyden varmistaminen edellyttää huolellisuutta jo suunnittelu- ja rakennusvaiheessa. Rakennusvaiheiden tiiveys, laatu sekä työntoteutus vaikuttavat merkittävästi lopputulokseen. Ilmatiiveysmittaus on keskeinen osa laadunvarmistamista, sillä sen avulla voidaan luotettavasti mitata rakenteiden ilmanpitävyyttä. Mittauksen avulla voidaan paitsi todentaa määräysten täyttyminen, myös paikantaa mahdolliset vuotokohdat ja ohjata korjaavat toimenpiteet oikeaan paikkaan.

Blower Door- menetelmällä tehtävä ilmatiiveysmittaus on vakiintunut ja luotettava menetelmä rakennusten ilmatiivyyden mittaamiseen. Oikein toteutettuna se tuottaa tarkkoja ja toistettavia tuloksia. Mittausprosessin huolellinen valmistelu, kuten ilmareittien tiivistäminen ja tarkat tilavuus laskelmat ovat edellytyksiä onnistuneelle mittaukselle.

Yhteenvedona voidaan todeta, että ilmansulkupaperilla varustetuissa omakotitalossa päästään myös hyviin ilmavuotolukemiin. Ilmatiiveysmittaus ei ole vain yksittäinen toimenpide rakentamisen lopussa vaan osa laajempaa kokonaisuutta, joka tukee kestävästä ja laadukasta rakentamista. Jatkossa ilmatiivyyden merkitys tulee korostumaan entisestään, kun rakennuksilta vaaditaan yhä parempaa energiatehokkuutta ja pienimpiä päästöjä.

## 8 LÄHTEET

Ympäristöministeriö, 2017. Perustelumuistio. Viitattu 7.1.2025 [https://ym.fi/documents/1410903/38439968/PM-I2017-19-12-D3-uusimisesta-A7F89254\\_6A5A\\_4738\\_BCF8\\_44D3CA8795D4-133736.pdf/dce23117-f08d-fcf6-5463-1b53d61e4e4f/PM-I2017-19-12-D3-uusimisesta-A7F89254\\_6A5A\\_4738\\_BCF8\\_44D3CA8795D4-133736.pdf?t=1603260256938](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/PM-I2017-19-12-D3-uusimisesta-A7F89254_6A5A_4738_BCF8_44D3CA8795D4-133736.pdf/dce23117-f08d-fcf6-5463-1b53d61e4e4f/PM-I2017-19-12-D3-uusimisesta-A7F89254_6A5A_4738_BCF8_44D3CA8795D4-133736.pdf?t=1603260256938)

Ympäristöministeriö, 2020. Rakennusten kosteustekninen toimivuus. Viitattu 16.1.2025 [https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Ohje\\_Rakennusten-kosteustekninen-toimivuus-2020-F3A686EA\\_E374\\_4983\\_A396\\_CC15D6830B7B-156354.pdf](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Ohje_Rakennusten-kosteustekninen-toimivuus-2020-F3A686EA_E374_4983_A396_CC15D6830B7B-156354.pdf)

Energiatehokas koti, 2024. Rakennuksen suunnittelu. Viitattu 7.1.2025 [https://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/rakennuksen\\_suunnittelu/ilmanpitiavyys](https://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/rakennuksen_suunnittelu/ilmanpitiavyys)

Sustera, 2021. Ilmatiivis koti on energiatehokas. Viitattu 14.1.2025 <https://sustera.fi/ajankohtaista/uutiset/ilmatiivis-koti-on-energiatehokas/#Ilmatiivis-koti-jajasen-hy%C3%B6dyt>

Ekovilla. Tiivistuotteet. Viitattu 23.1.2025 <https://ekovilla.com/tuotteet/ilmatiiivistuotteet/>

Finlex, 2023. Rakentamislaki. Viitattu 20.1.2025 <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2023/20230751?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=Rakennusty%C3%B6n%20valvonta#L7P87>

Rakennustieto, 2010. Rakennuksen tiiviys. Viitattu 20.1.2025 <https://tiedostot.rakennustieto.fi/rakentajain-kalenteri/RK100301.pdf>

Motiva, 2015. Rakentamisen energiatehokkuus ja olosuhdehallinta – rakennusfysiikka rakennustyömaille, luonnos. Viitattu 8.1.2025 [https://www.motiva.fi/files/10158/Rakentamisen\\_energiatehokkuus\\_ja\\_olosuhdehallinta\\_-\\_rakennusfysiikkaa\\_rakennustyomaille.pdf](https://www.motiva.fi/files/10158/Rakentamisen_energiatehokkuus_ja_olosuhdehallinta_-_rakennusfysiikkaa_rakennustyomaille.pdf)

Paloniitty, S. 2012. Rakennusten tiiviysmittaus. Helsinki: Suomen Rakennusmedia Oy. Viitattu 14.1.2025

RT 14-11239, 2016. Rakennuksen lämpökuvaus. Viitattu 22.1.2025 <https://kortistot-rakennustieto-fi.ez.lapinamk.fi/api/content/22064#page=1>

RT 103732, 2024. Rakennusten kosteustekninen toimivuus. Viitattu 14.1.2025 <https://kortistot-rakennustieto-fi.ez.lapinamk.fi/api/content/27578#page=1>

RT 80-10974, 2009. Teollisesti valmistettujen asuinrakennusten ilmanpitävyyden laadunvarmistusohje. Viitattu 16.1.2025 <https://kortistot-rakennustieto-fi.ez.lapinamk.fi/api/content/8632#page=1>

Aho, H & Korpi, M. 2009. Ilmanpitävien rakenteiden ja liitosten toteutus asuinrakennuksissa. Tampereen teknillinen yliopisto. Viitattu 28.1.2025 [https://researchportal.tuni.fi/files/2035152/ilmanpitavien\\_rakenteiden\\_ja\\_liitosten\\_toteutus\\_asuinrakennuksissa.pdf](https://researchportal.tuni.fi/files/2035152/ilmanpitavien_rakenteiden_ja_liitosten_toteutus_asuinrakennuksissa.pdf)

Björkholtz, D. 1997. Lämpö ja kosteus. Helsinki: Rakennustieto Oy. Viitattu 13.2.2025