

Jyrki Sundelin

TIIVEYDEN MERKITYS ENERGIA TEHOKKUUDEN
PARANTAMISESSA

Rakennustekniikan koulutusohjelma
2014

TIIVEYDEN MERKITYS ENERGIAITEHOKKUUDEN PARANTAMISESSA

Sundelin, Jyrki
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Toukokuu 2014
Ohjaaja: Heinonen, Jarkko
Sivumäärä: 25
Liitteitä:4

Asiasanat: ilmatiiviysmittaus, lämpökuvaus, ilmanvuoto, energiatehokkuus

Opinnäytetyön tavoitteena oli mitata omakotitalon ilmatiiviys ja tutkia menetelmiä, miten pientalon energiatehokkuutta voi parantaa. Ilmatiiviys kuvaa rakenteen kykyä vastustaa ilman liikkumista rakenteen läpi. Mittaus perustuu SFS-EN 13829 standardiin, jonka Suomen Standardisoimisliitto on julkaissut. Ilmatiiviysmittaus ja lämpökamerakuvaus ovat keskeisiä tapoja rakennusten laatutason mittauksessa.

Ilmatiiviysmittaus suoritettiin kevytbetonirakenteisessa omakotitalossa, joka on rakennettu 1970-luvun lopulla. Ilmatiiviysmittauksessa luotiin rakennukseen 50 Pa:n paine-ero sisä- ja ulkoilman välillä. Lämpökameramittaus suoritettiin paikallistamaan mahdollisia lämpövuotoja ja rakenteellisia virheitä rakennusvaipassa.

E-luku tarkoittaa rakennuksen laskennallista vuosittaista ostoenergian kulutusta, energiamuotojen kertoimilla painotettuna. Tässä opinnäytetyössä tutkittiin myös ilmatiiviyden vaikutusta E-lukuun. Tutkimus osoitti, että ilmatiiviysmittauksen tuloksella, kohteena olevan rakennuksen energiatehokkuusluokka nousi luokasta D luokkaan C, verrattuna laskemiseen taulukkoarvoilla.

IMPACT OF AIR TIGHTNESS ON IMPROVING ENERGY EFFICIENCY

Sundelin, Jyrki

Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Construction engineering

May 2014

Supervisor: Heinonen, Jarkko

Number of pages: 25

Appendices: 4

Keywords: air tightness, thermographic survey, air leakage, energy efficiency

The purpose of this Bachelor's thesis was to measure air tightness of a detached house and to learn about the methods how to improve energy efficiency. Air tightness describes the structure's ability to resist air movement through the structure. The measurement is based on the standard SFS-EN 13829 by Finnish Standards Association. Air tightness test and thermographic survey are essential tools to observe the quality control of building.

The measurement was performed in a house, which has been built in the late 70's. The house is built of aerated concrete. The air tightness measurement provides a 50 Pa under and excess pressure difference between the inner and outer spaces. The thermographic survey was made to locate possible air leaks and construction defects in buildings shell structures.

E-value means the calculated annual use of delivered energy in the building, weighted by the energy carrier factors. The influence of the air tightness to the E-value was inspected in this thesis. The results showed that with the air tightness measurement the energy efficiency rate raised from class D to class C, compared with calculating with the tabular value.

SISÄLLYS

SANASTO/MÄÄRITELMÄT	5
1 JOHDANTO	7
2 LÄHTÖTIEDOT	8
2.1 Rakennus- ja energiamääräykset	8
2.2 Olemassa olevan rakennuksen energiatehokkuuden parantaminen	8
2.2.1 Rakennusosakohtaiset vaatimukset	9
2.2.2 Rakennusluokkakohtainen energiankulutusvaatimus pientalolle.....	9
2.2.3 E-lukuvaatimus pientalolle.....	10
2.3 Rakennusvaipan ilmanvuotoluku.....	10
3 ILMATIIVIYSMITTAUS.....	11
3.1 Yleistä ilmatiivysmittauksesta	11
3.2 Tiiviyden vaikutus energiankulutukseen	12
3.3 Tiivysmittausluokitus	13
3.4 Mittalaitteet.....	14
3.5 Mittausolosuhteet.....	16
3.6 Mittauksen valmistelu ja suorittaminen	16
4 LÄMPÖKUVAUS	17
4.1 Yleistä lämpökuvauksesta.....	17
4.2 Mittauslaitteistot ja apuvälineet	18
4.3 Mittauksen valmistelu ja suorittaminen	18
4.4 Lämpökuvien tulkinta	18
5 KORJATTU LÄMMÖNLÄPÄISYKERROIN (U_C)	20
6 ENERGIATODISTUS	21
7 KORJAUSEHDOTUKSET.....	22
8 POHDINTA.....	23
LÄHTEET.....	24
LIITTEET	

SANASTO/MÄÄRITELMÄT

Emissiivisyys, emissiokerroin

Emissiivisyys kuvaa kuinka suuri osa kohteen lähettämästä energiasta on pinnasta lähtevää omaa energiaa. Lämpökuvauksissa materiaalien emissiivisyysluku ilmoitetaan desimaalilukuna ja se vaihtelee arvojen 0-1 välissä. Mittausraportissa on esitettävä käytetty emissiivisyys. (RT 14–10850 2005, 2.)

Ilmanpitävyys, ilmatiiveys

Ilmanpitävyys kertoo rakenteen kyvystä estää haitallinen ilmavirtaus rakenteen eri kerrosten läpi (Paloniitty 2012, 15).

Ilmansulku

Ilmansululla tarkoitetaan rakennusosan ainekerrosta, joka estää haitallisen ilmavirtauksen rakennusosan läpi puolelta toiselle (RT 80-10974. 2009, 2).

Ilmanvuotoluku, q_{50} [m³/h m²]

Ilmanvuotoluvulla q_{50} kuvataan rakennusvaipan keskimääräistä vuotoilmavirtaa tunnissa 50 Pa paine-erolla rakennuksen kokonaissisämittojen mukaan laskettua rakennusvaipan pinta-alaa kohden. Rakennusvaipan ala käsittää ulkoseinien pinta-alan aukotuksineen sekä ala- ja yläpohjan pinta-alan. (Suomen RakMK D3 2011,4.)

Ilmanvuotoluku, n_{50} [1/h]

Ilmanvuotoluku kertoo, kuinka monta kertaa rakennuksen ilmatilavuus vaihtuu tunnin aikana rakennusvaipan vuotoreittien kautta 50 Pa:n paine-erossa (RT 80-10974. 2009, 2).

Lämpökamera

Lämpökamera on lämpösäteilyn vastaanotin, joka mittaa kuvauskohteen pinnasta lähtevän lämpösäteilyn voimakkuutta. Lämpökamera muuttaa kohteen lämpösäteilyvoimakkuuden lämpötilatiedoksi, josta muodostetaan lämpökuva digitaalisesti. (Paloniitty & Kauppinen 2006, 9.)

Lämpökuvaus

Lämpökuvaus on toimenpide, jossa määritetään pinnan lämpötilajakauma, kuvataan mittaamalla pinnan infrapunasäteily sekä tulkitaan lämpökuva (RT 14–10850 2005, 2).

Painekoe

Rakennuksen ilmanpitävyyden mittaamiseen kehitetty koe, jossa rakennukseen luodaan yli- tai alipaine. Kokeella voidaan tutkia rakennuksen vaipan ilmanpitävyyttä. (Paloniitty 2012, 14.)

Rakennuksen vaippa

Rakennuksen vaippa käsittää rakennekerrokset, jotka erottavat sisätilat ulkoilmasta, maaperästä tai muusta lämmittämättömästä tilasta (Paloniitty 2012, 15).

Sisätilavuus, V [m^3]

Sisätilavuudella tarkoitetaan rakennuksen vaipan rajaamaa sisäpuolista tilavuutta, josta vähennetään välipohjien tilavuus (Paloniitty 2012, 15).

Tiiviysmittaus

Rakennuksen ulkovaipan ilmavuotolukujen n_{50} tai q_{50} määrittäminen mittauksessa, jossa aiheutetaan rakennukseen 50 Pa paine-ero (Paloniitty 2012, 14-15).

Vaipan ala

Sisämittojen mukaan laskettu pinta-ala, johon lasketaan ulkoseinät aukotuksineen sekä ala- ja yläpohja (Paloniitty 2012, 15).

1 JOHDANTO

Maankäyttö- ja rakennuslaki 5.2.1999/132 ohjaa 117g § energiatehokkuutta rakentamisessa. ”Energiatehokkuutta on parannettava rakennuksen tämän lain mukaan rakennus- tai toimenpideluvanvaraisen korjaus- ja muutostyön tai rakennuksen käyttö-tarkoituksen muutoksen yhteydessä, jos se on teknisesti, toiminnallisesti ja taloudellisesti toteutettavissa” (Finlex 2012).

Ympäristöministeriön 1.9.2013 voimaan tulleella asetuksella 4/13 esitetään vaihtoehtot, joilla olemassa olevan rakennuksen energiatehokkuutta voidaan parantaa. Siinä on erilaisille rakennustyypeille määritelty omat vaatimukset energiankulutukselle ja E-luvulle. Voimassa olevat energiamääräykset tarkastelevat kokonaisvaltaisesti energiankulutusta ja korostavat ilmatiiveyden vaikutusta energiatehokkaassa rakentamisessa. Ilmatiiviysmittaus ja lämpökuvaus ovat tärkeitä laadunvalvontamuotoja rakennusten ilmavuotojen paikantamisessa.

Energiatodistusten säännökset ovat muuttumassa. Energiatodistuslaki velvoittaa 1.7.2017 alkaen laatimaan energiatodistuksen myös ennen vuotta 1980 valmistuneille pientaloille myynnin ja vuokraamisen yhteydessä. (Finlex 50 2013.)

Opinnäytetyössä tarkastellaan millä menetelmillä 1970-luvun lopulla rakennetun kevytbetonirakenteisen pientalon E-lukua voidaan parantaa rakennusosien muutoksilla ja etsitään menetelmiä, joilla voidaan saattaa rakennus täyttämään Suomen Rakentamismääräyskokoelman D3 2012 voimassa olevat energiatehokkuusmääräykset. Rakennukseen tehdään tiiviysmittaus ja lämpökamerakuvaus, jotta saadaan kartoitettua mahdolliset vuotokohdat. Mittauksen tarkoituksena on myös selvittää kuinka suuri vaikutus ilmavuotoluvulla on tuloksiin ja sitä kautta koko tutkimuksen lopputulokseen. Energiatodistuslaki ei vielä velvoita laatimaan tutkimuskohteena olevaan rakennukseen energiatodistusta. Energiatodistus haluttiin laatia rakennukseen tulevien korjaussuunnitelmien tueksi ja auttamaan eri vaihtoehtojen punnitsemisessa energiatehokkuuden parantamiseksi.

2 LÄHTÖTIEDOT

2.1 Rakennus- ja energiamääräykset

Rakentamismääräyskokoelmassa sekä standardeissa on määrätty ja ohjeistettu rakennusten ilmanpitävyydestä sekä energiatehokkuudesta.

Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D3 sisältää määräyksiä ja ohjeita rakennusten energiatehokkuudesta kokonaiskulutuksen kannalta. Yhtenä osa-alueena on rakennuksen ilmanpitävyys.

”Sekä rakennusvaipan että tilojen välisten rakenteiden tulee olla niin ilmanpitäviä, 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 ilmansulku.” (Suomen RakMK D3 2011, 10.)

2.2 Olemassa olevan rakennuksen energiatehokkuuden parantaminen

”Ympäristöministeriön asetuksessa ”Rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä” annetaan kolme eri vaihtoehtoa, joilla voidaan osoittaa korjaus- tai muutostöiden vaatimustenmukaisuus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisen osalta. Vaihtoehtoina on

1. parantaa rakennusosien lämmöneristävyyttä.
2. pienentää rakennuksen laskennallista energiankulutusta alle rakennusluokkakohdaisesti asetetun kiinteän raja-arvon. Laskennassa voidaan soveltaa uudisrakentamisen laskentaan tarkoitettuja ohjeita. Laskenta tehdään standardikäytöllä. Energiakulutuksen raja-arvot on asetettu laskennallisena vuotuisena energiankulutuksena lämmitettyä nettoala kohden ($\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$).
3. parantaa rakennuksen vuotuista laskennallista kokonaisenergian kulutusta. Rakennusluokkakohdaiset raja-arvot on annettu suhteellisena muutoksena alkuperäisen rakennuksen tai jos rakennuksen käyttötarkoitusta on muutettu, niin viimeisimmän muutoksen yhteydessä tehtyjen muutosten mukaisen rakennuksen laskennalliseen kokonaisenergiakulutukseen verrattuna. Laskennassa voidaan soveltaa samoja las-

kentävälineitä ja ohjeita kuin uudisrakentamisessa. Kokonaisenergiakulutuksen raja-arvot on asetettu vuotuisena laskennallisena kokonaisenergiankulutuksena lämmitettyä netto-ala kohden ($\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$). Energiamuodon kertoimista on säädetty erikseen valtioneuvoston asetuksella ja ne ovat samat kuin uudisrakentamisessa.

Teknisten järjestelmien peruskorjauksessa, uudistamisessa ja uusimisessa olisi täytettävä asetuksessa annetut raja-arvot riippumatta valitusta vaihtoehdosta 1-3.

Tilojen kesäaikaisen sisälämpöolosuhteet eivät saa heiketä korjausten ja uusimisien johdosta. Tilojen kesäaikaisen yllämpenemisen estäminen passiivisilla keinoilla voidaan laskea hyödyksi tilojen jäähdytysenergiantarvetta pienentävänä tekijänä, kun suunnitellaan rakennuksen energiatehokkuuden parantamista.” (Ympäristöministeriö 2013, 1.)

2.2.1 Rakennusosakohtaiset vaatimukset

”Kun rakennuksen energiatehokkuuden parantamisen suunnittelu ja toteutus tapahtuu rakennusosakohtaisesti, on noudatettava seuraavia vaatimuksia;

- 1) Ulkoseinä: Alkuperäinen U-arvo $\times 0,5$, kuitenkin enintään $0,17 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$. Rakennuksen käyttötarkoituksen muutoksen yhteydessä alkuperäinen U-arvo $\times 0,5$, kuitenkin $0,60 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ tai parempi.
- 2) Yläpohja: Alkuperäinen U-arvo $\times 0,5$, kuitenkin enintään $0,09 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$. Rakennuksen käyttötarkoituksen muutoksen yhteydessä alkuperäinen U-arvo $\times 0,5$, kuitenkin $0,60 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ tai parempi.
- 3) Alapohja: Energiatehokkuutta parannetaan mahdollisuuksien mukaan.
- 4) Uusien ikkunoiden ja ulko-ovien U-arvon on oltava $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ tai parempi. Vanhoja ikkunoita ja ulko-ovia korjattaessa on lämmönpitävyyttä parannettava mahdollisuuksien mukaan.” (Edilex 2013, 2.)

2.2.2 Rakennusluokkakohtainen energiankulutusvaatimus pientalolle

”Kun rakennuksen energiatehokkuuden parantamisen suunnittelu ja toteutus tapahtuu rakennuksen standardikäyttöön perustuvaa energiankulutusta pienentämällä, on rakennusluokittain noudatettava seuraavia energiankulutuksen vaatimuksia:

Pien-, rivi- ja ketjutalo $\leq 180 \text{ kWh}/\text{m}^2$.” (Edilex 2013, 3.)

Rakennusvaipan ilmanvuotoluku (q_{50}) voidaan laskea rakennuksen ilmanvuotoluvusta n_{50} kaavan (1) mukaan

$$q_{50} = \frac{n_{50}}{A_{\text{vaippa}}} V \quad (1)$$

jossa

ilmanvuotoluku q_{50} , m/(h m²)

ilmanvuotoluku n_{50} , 1/h

V rakennuksen sisätilavuus, m³

A_{vaippa} rakennuksen vaipan ala, m²

(Finlex 176 2013, 9.)

3 ILMATIIVIYSMITTAUS

3.1 Yleistä ilmatiiviysmittauksesta

”Ilmatiiviydellä tarkoitetaan asiayhteydestä riippuen rakenteen vesi-, ilma- ja vesihöyrytiiviyttä. Usein rakenteen tiiviys-käsite sekoitetaan rakenteen ilmatiiviyteen eli sen hengittävyys tai epähengittävyys. Rakenteen tiiviydellä ei kuitenkaan tarkoiteta rakenteen ilmatiiviyttä, vaan vesihöyryn diffuusiota eli vesihöyryn kulkeutumista molekyylitasolla rakenteen läpi. Ilmatiiviys taas mittaa rakenteen kykyä vastustaa ilman liikettä rakenteen läpi.” (Paloniitty 2012, 12.)

Standardissa SFS-EN 13829 on esitetty rakennuksen ilmanpitävyyden mittaaminen painekoemenetelmällä (Suomen RakMK 2011, 11).

Rakennuksen tiiviys eli ilmanpitävyys mitataan tiiviysmittaukseen tarkoitetulla laitteistolla aiheuttamalla tutkittavaan tilaan 50Pa:n paine-ero ulkoilmaan nähden. Paine-ero on mahdollista saada aikaan myös talon omalla ilmanvaihtolaitteistolla. Rakennuksen vaipan ilmapuodot voidaan paikantaa tiiviysmittauksen avulla. Tiiviysmittaus on luotettava ja puolueeton menetelmä tarkastella rakennuksen vaipan ilmanpitävyyt-

tä. Tapaa käytetään ilmanpitävyyden osoittamiseksi uudisrakennusten laadunvalvontamittauksissa sekä käytössä olevien rakennusten korjaustarpeen kartoittamisen yhteydessä. (Paloniitty 2012, 16.)

3.2 Tiiviynen vaikutus energiankulutukseen

Suomen Rakennusmääräyskokoelman osassa D3 2012 esitetään kaavat, joita tarvitaan rakenteiden kautta kulkeutuvan vuotoilman lämmitykseen tarvittavan energian laskemiseen (Kaavat 2, 3 ja 4). Pohjatietoina tarvitaan rakennuksen ilmanvuotoluku q_{50} (kaava 1), vaipan ala, paikkakunnan lämmöntarveluku/astepäiväluku ja tarkastelujakson pituus. X-kerroin perustuu käytännön mittaustuloksiin. Sillä muunnetaan tulos vastaamaan normaalia käyttötilanteen paine-eron ilmavuotomäärää.

Vuotoilman lämmitykseen tarvittava energia lasketaan kaavan (2) mukaan

$$Q_{\text{vuotoilma}} = H_{\text{vuotoilma}} (T_s - T_u) \Delta t / 1000 \quad (2)$$

jossa

$Q_{\text{vuotoilma}}$	vuotoilman lämmitykseen tarvittava energia, kWh
$H_{\text{vuotoilma}}$	vuotoilman ominaislämpöhäviö, W/K
T_s	sisäilman lämpötila, °C
T_u	ulkoilman lämpötila, °C
Δt	ajanjakson pituus, h
1000	kerroin, jolla suoritetaan muunnos kilowattitunneiksi

Vuotoilman ominaislämpöhäviö lasketaan kaavan (3) mukaan

$$H_{\text{vuotoilma}} = \rho_i \times C_{pi} \times q_{v,\text{vuotoilma}} \quad (3)$$

jossa

$H_{\text{vuotoilma}}$	vuotoilman ominaislämpöhäviö, W/K
ρ_i	ilman tiheys, 1,2 kg/m ³
C_{pi}	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 Ws/(kgK)
$q_{v,\text{vuotoilma}}$	vuotoilmavirta m ³ /s

Vuotoilman vuotoilmavirta lasketaan kaavan (4) mukaan

$$q_{v,vuotoilma} \text{ (m}^3 \text{ / s)} = (q_{50} / (3600 \times X)) \times A_{vaippa} \quad (4)$$

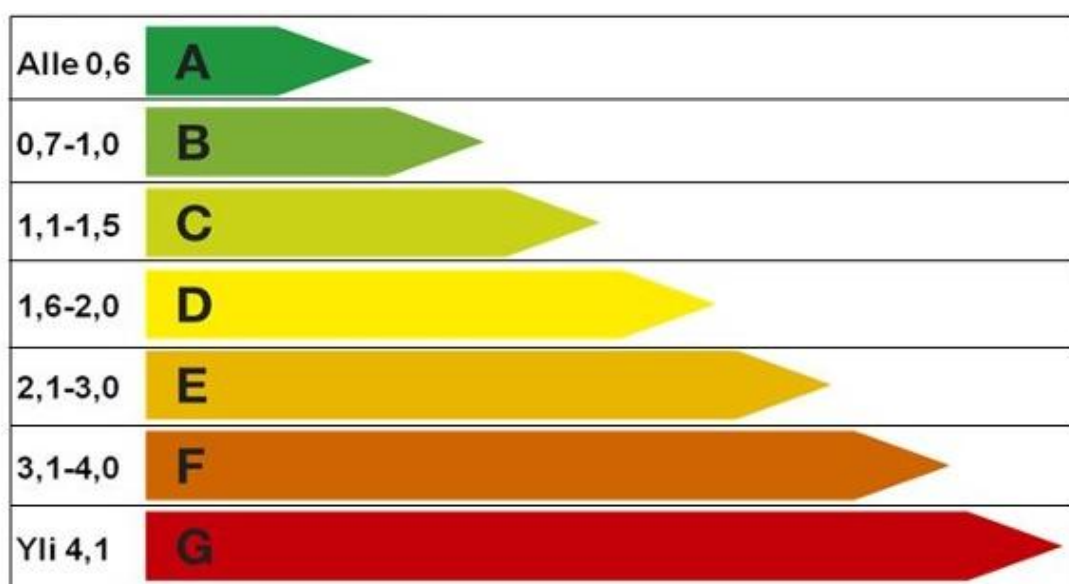
X-kerroin:

1-kerroksinen	35
2-kerroksinen	24
3-4 kerroksinen	20
5 ja sitä korkeammille	15

(Paloniitty 2012,18.)

3.3 Tiiviysmittausluokitus

Rakennuksen tiiveydellä on vaikutus mm. energiankulutukseen, rakenteiden kosteustekniseen toimintaan, asumisviihtyvyyteen sekä vuotoilman mukana tulevien epäpuhtauksien määrään. Ilmatiiviysmittauksella selvitetään rakennuksen ilmanvuotoluokku q_{50} ja tulosten perusteella talot luokitellaan tasoihin A-G (Kuva 1).



Kuva 1 Tiiviysmittausluokitus (Rakennusterveys 2009.)

3.4 Mittalaitteet

”Mittalaitteisiin kuuluvat aina ilmamäärämittauksella varustettu puhallin, ovi- tai ikkuna-asennuskehikko ja lakana (Kuva 2), paine-eromittausyksikkö, ohjausyksikkö sekä paine-eroletkut ja virtajohdot. Mittaus voidaan tehdä pelkillä laitteistoilla, mutta ne on suunniteltu toimivaksi tietokoneohjelman avulla. Ohjelma ohjaa automaattisesti mittausa, tekee tarvittavat laskelmat ja luo mittausraportin. Jokaisella laitteistovalmistajalla on oma tietokoneohjelma ja raportointitapa.” (Paloniitty 2012, 30.)



Kuva 2 Ilmatiiviysmittauslaitteisto asennettu oviaukkoon

”Tiiviysmittauksessa tarvitaan tiiviysmittauskaluston lisäksi seuraavia välineitä ja laitteita:

- Etäisyysmittalaite, jolla voidaan mitata rakennuksen vaipanala ja -tilavuus
- Lämpömittari, jolla voidaan mitata sekä ulko- että sisälämpötila
- Teippiä ja muovia, jolla voidaan sulkea ilmatiiveysmittausta häiritsevät aukot.
- Kannettava tietokone ja painekoeohjelma, johon syötetään painekokeeseen ja n50-luvun määrittämiseen tarvittavat tiedot (mm. lämpötilaolosuhteet ja rakennuksen koko, joiden avulla ohjelma korjaa ilmavirtaukset ja ilmoittaa suoraan tulokset.) Ohjelma ohjaa keskusyksikön kautta myös puhallinta, piirtää painekokeesta diagrammina (vuotoilma/paine-ero) ja laskee n50-luvun.
- Lämpökamera, jolla voidaan paikantaa painekokeen jälkeen alipaineessa rakennuksen sisäpuolelta ilmavuotopaikat (Kuva 3).
- Savukone, jolla voidaan paikantaa painekokeen jälkeen rakennuksen sisäpuolelta ilmavuotopaikat.
- Tikkaat, joilla voi mahdollisesti kiivetä katolle tai käyttää apuna tukittaessa sisäkatossa olevia ilmanvaihtoventtiilejä.” (Paloniitty 2012, 34.)



Kuva 3 Lämpökamera Fluke T15

3.5 Mittausolosuhteet

Ilmatiiviysmittauksen tekeminen vaatii riittävän vakaan paine-ero-olosuhteen luotettavan lopputuloksen varmistamiseksi. Standardissa SFS EN 13829 kehoitetaan, että tuulen nopeuden ylittäessä 6m/s tai arvon 3 Beaufortin asteikolla, olemasta suorittamatta koetta, koska tällöin mittaustulokset eivät ole täysin luotettavia Standardissa on myös suositus, ettei mittausta pitäisi suorittaa, mikäli ulko- ja sisälämpötilojen erotus kerrottuna rakennuksen korkeudella ylittää arvon 500 m°C, koska savupiippuilmion vaikutus mittaustuloksiin on liian suuri. (Paloniitty 2012, 37.)

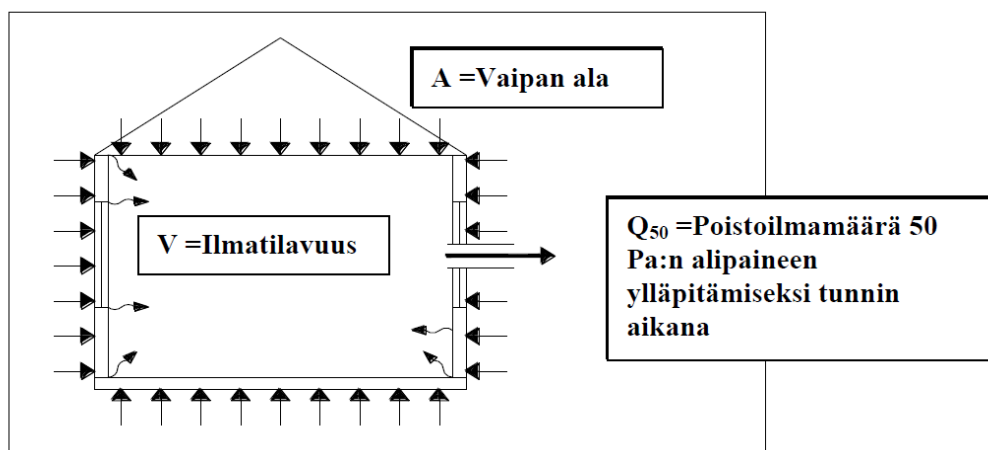
3.6 Mittauksen valmistelu ja suorittaminen

Ilmatiiviysmittaus suoritettiin 17.12.2013 kevytbetonirakenteisessa pientalossa, joka on rakennettu 1970-luvun lopulla. Rakennuksessa on pääoven lisäksi 2 ulko-ovea. Toiseen niistä asennettiin ilmatiiviysmittauslaitteisto. Ennen ilmatiiviysmittausta rakennuksen kaikki aukot suljettiin, tiivistettiin teipeillä tai käyttämällä tiivistyksiin tarkoitettuja kumipalloja (Kuva 4). Kaikki väliovet avattiin, jotta ilma pääsisi kulkemaan esteettä asunnon sisällä. Tiivistämällä varmistettiin, ettei paineistetussa rakennuksessa kulkenut vuotoilmaa viemäreiden, liesituulettimen, tulisijan, ilmanvaihtokanavien tai vesi- ja viemäriiliittymien kautta.



Kuva 4 Tiivistyspallo poistoilmahormissa

Koe suoritettiin kaksivaiheisena. Ensimmäisessä osassa rakennus alipaineistettiin 50 Pa:n ulkoilmaan nähden. Toisessa osassa rakennukseen luotiin 50 Pa:n ylipaine ulkoilmaan nähden. Rakennuksen ollessa alipaineistettuna, suoritettiin lämpökuvaus. Mittaustuloksena ilmanvuotoluvuksi saatiin q_{50} 3.2. Tiiviysmittausraportti on esitetty liitteessä 1.



Kuva 5 Vaipan tiiviysmittauksen periaate (Liite 1).

4 LÄMPÖKUVAUS

4.1 Yleistä lämpökuvauksesta

Lämpökuvauksella voidaan rakenteita rikkomatta tutkia rakennuksen lämpövuotokohdat. Kuvauksessa rakennuksen pinnan lämpötilajakauma määritetään ja pinnan infrapunasäteily mitataan. Tuloksena saadut lämpökuvat tulkitaan. Kuvauksen tarkoituksena on tutkia mm. ulkovaipan lämpötekniinen kunto ja rakenteellinen tiiviys. (RT 14-10850 2005, 1-2.)

Lämpökuvauksen tulosten tulkinnassa noudatetaan viranomaisen määrittämiä vaatimuksia. Kuvaajan on aina raportoitava havaituista poikkeamista, jotka vaikuttavat olennaisesti rakennuksen tai rakenteiden toimivuuteen tai pitkäaikaiskestävyyteen. Kuvaustulosten perusteella kuvaaja esittää puutteiden korjaamista tai lisätutkimuksia. (RT 14-10850 2005, 5.)

4.2 Mittauslaitteistot ja apuvälineet

Rakennusten lämpökuvauksissa käytettävän lämpökameran pitää olla mittaava ja tasapainoitettu. Sen on myös oltava kuvantava mittalaite. Sillä voidaan mitata suoraan pintalämpötiloja ja laite muodostaa tuloksista lämpökuvan, joka esittää kohteen pintalämpötilajakauman. Tasapainoitettun laitteen rungon lämpötilavaihtelut eivät vaikuta mittaustulokseen. Lämpökamerassa tulee myös olla kuvien tallennusmahdollisuus tulosten jälkikäsitteilyä, analysointia ja raportointia varten. Lisäksi tarvitaan kalibroitu lämpötilan mittari, suhteellisen kosteuden mittari ja elektroninen paine-eromittari. (RT 14-10850 2005, 3.)

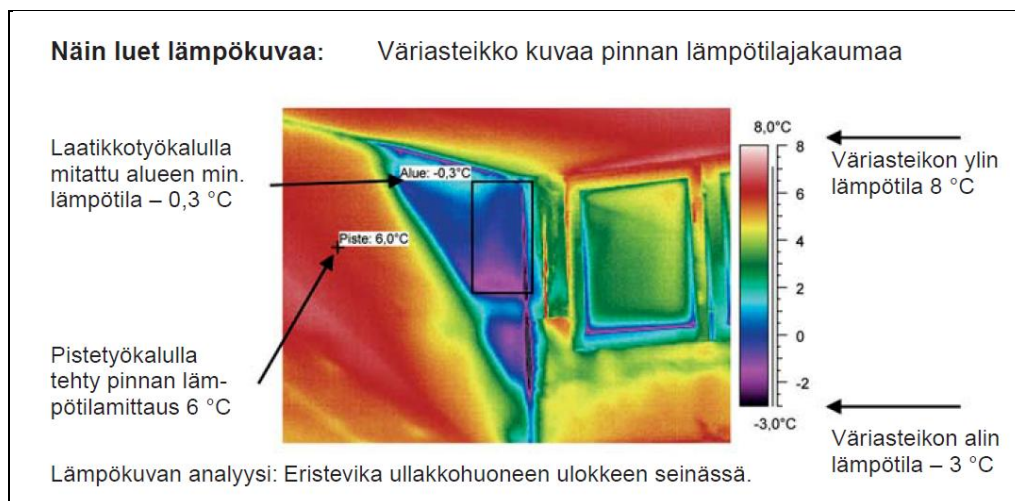
4.3 Mittauksen valmistelu ja suorittaminen

Ulkoilman olosuhteet, kuten lämpötila, tuulen suunta ja voimakkuus sekä pilvisyys määritetään kohteessa ennen ja jälkeen mittauksen. Kuvausta edeltävien 1-2 vrk olosuhdetietojen avulla voidaan päätellä olosuhteiden vaikutuksista rakenteisiin. (RT 10850 2005, 3.)

Kuvattavan tilan irtokalusteet siirretään ulkoseiniltä sekä ikkunaverhot poistetaan tai siirretään ikkunan keskelle. Ennen kuvausta olosuhdetiedot ja kohteen tiedot kirjataan kenttätöylomakkeeseen. Lämpökuvaus tehdään pääsääntöisesti asunnon sisäpuolelta ja koko ulkovaippa lämpökuvataan. (RT 14-10850 2005, 3-4.)

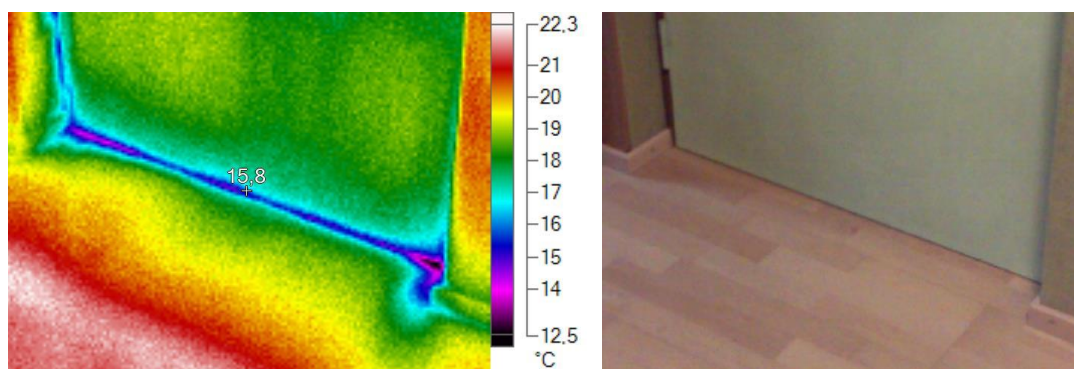
4.4 Lämpökuvien tulkinta

Lämpökuvassa väriasteikko kuvaa pinnan lämpötilajakaumaa. Väripalkki ja lämpötila-asteikko lämpökuvan oikeassa reunassa esittää lämpökuvassa esiintyvien värien ja pintalämpötilan välisen yhteyden. (RT 14-10850 2005, 5.)

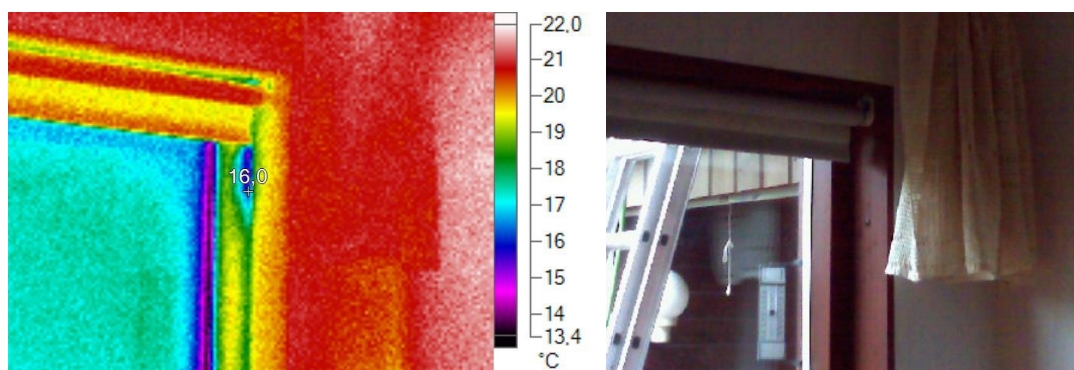


Kuva 6 Lämpökuvauksen tulkintaan liittyvät seikat ja vaatimukset (RT14-10850 2005, 5).

Opinnäytetyön kohteena olevan rakennuksen lämpökuvausraportti on esitetty liitteessä 2.



Kuva 7 Terassin oven tiivistevuoto (Liite 2)



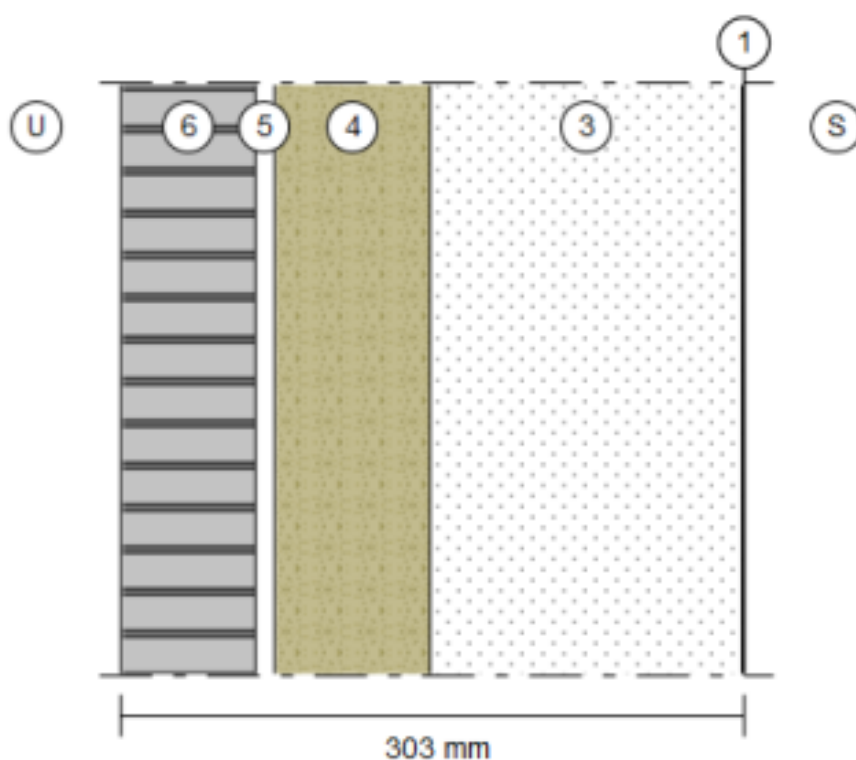
Kuva 8 Ilmavuoto ikkunan karmin ja rungon välistä (Liite 2)

5 KORJATTU LÄMMÖNLÄPÄISYKERROIN (U_c)

Korjatulla lämmönläpäisykertoimella (U_c) tarkoitetaan rakenneosan lopullista U -arvoa, jota käytetään lämpöhäviöiden laskennassa (RakMk C4 2012,4).

Opinnäytetyössä rakennusosien ja rakenteiden korjatun lämmönläpäisykertoimen (U_c) laskenta perustui menetelmään, joka esitetään Rakentamismääräyskokoelman valmisteilla olevassa osassa C4 Lämmöneristys, luonnos 16.3.2012.

U_c -arvon laskentaan tiedot saatiin leikkauksista ja varmistuksilla kohteessa. Tässä työssä laskentavälineinä käytettiin Laskentapalvelut.fi - sivuston laskentasovelluksia.



Kuva 9 Leikkauskuva ulkoseinärakenteesta

Taulukko 2 Ulkoseinän materiaalikerrokset kuvassa 9

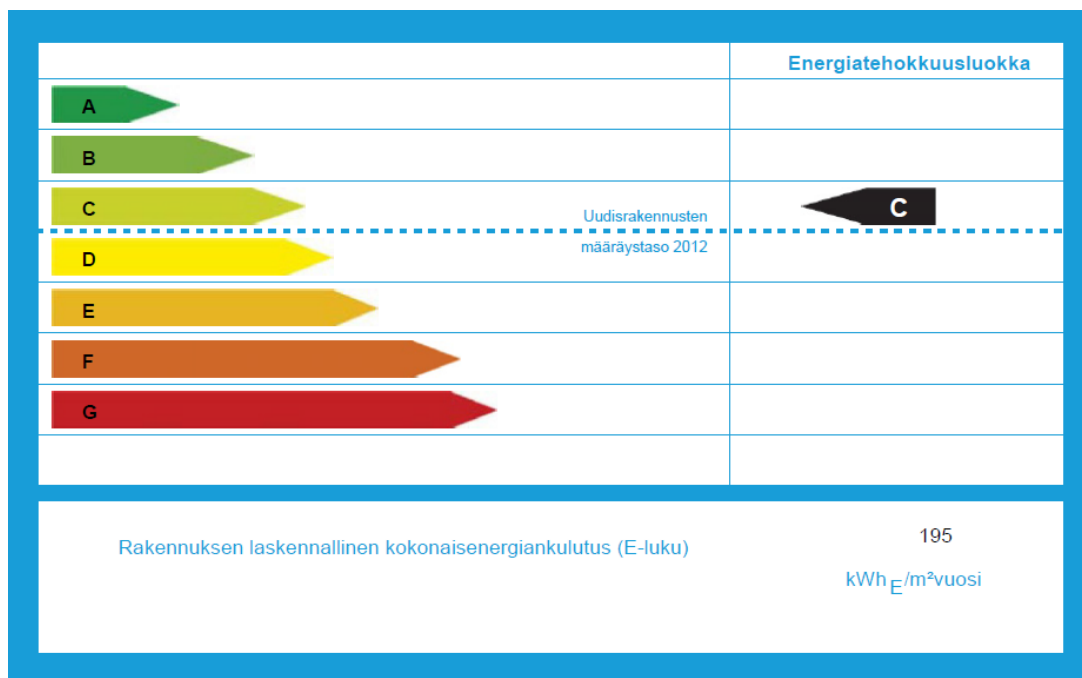
Kerros	Paksuus (mm)	Materiaali:
1.	0.50	Vinyylitapetti
2.	2.00	Tasoite
3.	150.00	Siporex-harkko
4.	75.00	Mineraalivilla
5.	10.00	Ilmarako
6.	65.00	Kahi-Lohkotiili

Rakenteen lämmönläpäisykertoimen voidaan käyttää taulukkoarvoja tai laskea ottamalla huomioon rakenteesta poistettujen tai siihen lisättyjen materiaalien ominaisuudet (Finlex 176 2013,2-3).

Opinnäytetyön kohteena olevan rakennuksen tiiliverhoillulle ulkoseinälle laskettu U_c -arvo oli $0.04 \text{ W/m}^2\text{K}$ suurempi kuin ilman korjaustekijöitä laskettu arvo. Ulkoseinärakenteessa käytetyt alumiiniset tiilisiteet heikentävät huomattavasti laskennallista U -arvoa.

6 ENERGIA TODISTUS

Energiatodistus on työkalu rakennusten energiatehokkuuden vertailuun ja parantamiseen. Se sisältää luotettavaa tietoa rakennuksen energiatehokkuudesta ja siinä ilmoitetaan laskennallinen ostoenergian kulutus. Toteutunut ostoenergian kulutus on ilmoitettava, jos tieto on käytettävissä. Tutkimuksessa kohteena olevaan pientaloon laadittiin www.laskentapalvelut.fi -palvelussa olemassa olevan rakennuksen energiatodistus (Liite 3).



Kuva 10 Energiatodistuksen energiatehokkuusluokat ja laskentatulokset (Liite 3).

7 KORJAUSEHDOTUKSET

Laskennassa saatujen tulosten perusteella voidaan todeta, että opinnäytetyön kohteena olleen rakennuksen ulko-ovien ja ikkunoiden tiivistäminen pienentäisi hallitsematonta ilmavuotoa sekä lisäisi asumismukavuutta ja toisi säästöä parantuneen energiatehokkuuden kautta. Ulko-ovien ja ikkunoiden uusiminen toisi säästöä ostoenergian määrään laskelmien mukaan n. 10%, mutta korkean hankintahinnan vuoksi vaihtoa on mahdoton perustella energiatehokkuuden kannalta. Laskelmien mukaan lisäämällä yläpohjaan esimerkiksi 300 mm puhallusvillaa, saavutetaan n. 10% säästö laskennallisessa energiankulutuksessa. Yläpohjan lisäeristys nykymääräysten mukaiseksi on helposti toteutettavissa ja se on kustannuksiltaan muita vaihtoehtoja huomattavasti edullisempi. Ennen yläpohjan lisäeristystä on huomioitava, että yläpohjan tuuletus on määräysten mukainen lisäeristyksen jälkeenkin.

8 POHDINTA

Opinnäytetyön tarkoituksena oli suorittaa kevytbetonirakenteisen pientalon ilmatii-
viysmittaus ja kartoittaa mahdolliset ilmavuodot, sekä tutkia hallitsemattoman ilma-
vuodon vaikutusta energiataloudellisesta näkökulmasta. Tiiviysmittauksen yhteydes-
sä kohteessa käytettiin lämpökameraa ilmavuotojen paikallistamiseksi.

Mittaus onnistui odotusten mukaisesti. Mittaustuloksena saatu ilmanvuotoluku q_{50}
3.2 oli pienempi kuin määräysten mukainen E-luvun laskennassa kyseisenä aikakau-
tena rakennetuille pientaloille käytettävä taulukkoarvo. Ympäristöministeriön asetuk-
sen 176/2013 liitteen 1 mukaista taulukkoarvoa n_{50} 6.0 (Taulukko 1) käyttämällä E-
luvuksi olisi tullut $201 \text{ kWh}_E/\text{m}^2\text{vuosi}$. Rakennus olisi luokiteltu D-luokkaan. Pa-
remman ilmanvuotoluvun johdosta E-luvuksi muodostui $195 \text{ kWh}_E/\text{m}^2\text{vuosi}$, joten
laskennassa päästiin C-luokkaan, mikä on hyvä tulos vuoden 1976 rakennusmääräys-
ten mukaan rakennetulle talolle. Mittaustulosten perusteella laskettu hallitsemattomien
ilmavuotojen kautta kulkeutuvan vuotoilman laskennallinen lämmitysenergian tarve on
 1139 kWh/v (Liite 4).

Rakennuksen tiiveyden parantuessa korjaustoimenpiteiden myötä pitää korvausilmaa
johtaa hallitusti korvausilmaventtiileiden kautta. Tällöin energiakulutuksen säästöä ei
synny, mutta hallitulla korvausilman tulolla estetään epäpuhtauksien siirtyminen ra-
kenteista sisäilmaan sekä vähennetään rakennevaurioiden syntymisen riskiä. Ener-
giamääräysten ja rakennusfysiikan tunteminen on tärkeää kun suunnitellaan raken-
nuksen korjaus- ja muutostöitä. Tämän tutkimuksen tulosten perusteella on helpompi
suunnitella tulevia korjaustoimenpiteitä.

LÄHTEET

D.O.F.tech Oy:n ja Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy:n www-sivut. Viitattu 24.5.2014. www.laskentapalvelut.fi

Edilexin www-sivut 2013. YMa 4/2013 Rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä. Saatavissa: www.edilex.fi/rakentamismaaraykset

Finlexin www-sivut. 2012. Maankäyttö- ja rakennuslaki 117g § Energiatehokkuus. Saatavissa: www.finlex.fi/

Finlexin www-sivut 2013. Laki rakennuksen energiatodistuksesta 50/2013. Saatavissa: www.finlex.fi/

Finlexin www-sivut. 2013. Liite ”Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta” 176/2013. Saatavissa: www.finlex.fi/

Ilmatieteenlaitoksen www-sivut. 2014. Viitattu 19.5.2014. <http://ilmatieteenlaitos.fi/>

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

Paloniitty, S. & Kauppinen, T. 2011. Rakennusten lämpökuvaus. Helsinki: Rakennusteollisuuden Kustannus RTK Oy.

Rakennusterveys. 2009. Viitattu 18.5.2014. <http://www.rakennusterveys.com/>

RT 14-10850. Rakennuksen lämpökuvaus. 2005. Helsinki: Rakennustieto.

RT 80-10974. Teollisesti valmistettujen asuinrakennusten ilmanpitävyyden laadunvarmistusohje. 2009. Helsinki: Rakennustieto.

Suomen RakMk C4, 2012. Lämmöneristys. Ohjeet 2012. Luonnos. Helsinki: Ympäristöministeriö, Asunto ja rakennusosasto.

Suomen RakMK D3. 2011. Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2012. Helsinki ympäristöministeriö, Asunto ja rakennusosasto. <http://www.ymparisto.fi>.

Ympäristöministeriön www-sivut. 2013. Viitattu 18.5.2014/Ympäristöministeriö. Laskentaliite ympäristöministeriön asetuksen ”rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä” Saatavissa: <http://www.ym.fi/download/noname/%7BE6B413C1-DAB5-4433-9D0F-F4C81AC6EF00%7D/31398>

LIITTEET

LIITE 1 Tiiviysmittausraportti ja tiiviysmittauspöytäkirja, 19 sivua

LIITE 2 Lämpökuvausraportti, 46 sivua

LIITE 3 Energiatodistus, 10 sivua

LIITE 4 Vuotoilman lämmitysenergian tarvelaskelma, 2 sivua

(Liitteet sisältävät luottamuksellista tietoa)