

Heini Lehto

ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMINEN PIENTALOSSA

ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMINEN PIENTALOSSA

Heini Lehto
Opinnäytetyö
Kevät 2015
Rakennustekniikan koulutusoh-
jelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma, Talonrakentaminen

Tekijä: Heini Lehto
Opinnäytetyön nimi: Energiatehokkuuden parantaminen pientalossa
Työn ohjaaja: Kimmo Illikainen
Työn valmistumislukukausi- ja vuosi: Kevät 2015
Sivumäärä: 51 + 3 liitettä

Vanhat, käytössä olevat rakennukset kuluttavat ison osan kaikesta tuotetusta energiasta, mutta niiden energiaterokkuutta on mahdollista parantaa tehokkailla korjaus- ja muutostöillä. Korjaushankkeeseen ryhdyttäessä on muistettava, että energiaterokkuusmääräykset koskevat nykyään myös luvanvaraista korjausrakentamista.

Opinnäytetyön tavoitteena oli tarkastella eri mahdollisuuksia parantaa vuonna 1987 valmistuneen omakotitalon energiaterokkuutta. Työssä laadittiin esimerkkejä korjausehdotuksista, jotka koskevat lisälämmöneristämistä yläpohjan osalta, ikkunoiden ja ovien vaihtoa sekä ilmanvaihtoa. Muutoksia vertailtiin tasaus- ja lämpöhäviölaskennalla.

Työssä etsittiin vaipan tiiveyteen liittyvät kohdetalon ongelmakohdat tiiviysmittauksen ja lämpökamerakuvauksen avulla. Talotekniikan nykytilanne selvitettiin tilaajan antamien lausuntojen perusteella. Käytännöllisiä parannusehdotuksia selvitettiin aiheeseen liittyvien eri lähteiden kautta. Suunnitelluista parannusehdotuksista tehtiin energiaterokkuuslaskelmia tasaus- ja lämpöhäviölaskennalla. Tuloksia vertailtiin keskenään ja tutkittiin, millaisella yhdistelmällä saataisiin parannettua rakennuksen energiaterokkuutta.

Laskennallisista tuloksista voidaan päätellä, että paras tulos saavutettaisiin lisäeristämällä kohteen suhteellisen laaja yläpohja ja vaihtamalla ikkunat ja ovet uusiin. Talon paremman sisäilman ja energiaterokkuuden vuoksi ilmanvaihdon koneellistaminen olisi myös suositeltavaa remontoinnin yhteydessä, mikäli se koetaan teknisesti ja taloudellisesti mahdolliseksi.

Asiasanat: Korjausrakentaminen, energiaterokkuus, lisäeristäminen

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Civil Engineering House Building and Renovation.

Author: Heini Lehto

Title of thesis: Improvement of Energy Efficiency in Detached House

Supervisor: Kimmo Illikainen

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2015

Number of pages: 51 + 3 appendices

The old buildings in use spend a large part of the produced energy, but it is possible to improve their energy efficiency with efficient repairs and alteration work. When starting a renovation project it must be remembered that the regulations of energy efficiency apply to the renovation which is subject to license.

The objective of the thesis was to examine different possibilities to improve the energy efficiency of a detached house which has been built in 1980s. In the thesis few examples of renovation proposals were drawn up.

The problem sections which are related to the tightness of the envelope of the house were looked for in the thesis. Tightness measuring and thermal imaging was used as help. The present situation of the house technique was clarified on the basis of the statement given by the subscriber. The improvement proposals were studied in order to familiarize with sources which are related to the subject. The calculations which describe energy efficiency were made from the planned improvement proposals. The results were compared and the best amendment was clarified.

The best result was achieved by adding new insulator to the whole roof are and changing the windows and doors. For achieving better indoor air it would be recommendable to change gravitational ventilation in to mechanical, if it is regarded as technically and economically possible.

Key words: energy efficient, renovation, heat insulator.

SISÄLLYS

ABSTRACT	4
1 JOHDANTO	7
2 RAKENNUSTEN ENERGIATEHOKKUUS	8
2.1 Pientalojen energian kulutus	8
2.2 Energiatehokkuuden parantaminen korjausrakentamisessa	9
2.3 Kolme vaihtoehtoista tapaa energiaterhokkuuden parantamiselle	10
3 KORJAUSRAKENTAMISEN OHJEISTUKSET RAKENNUSOSITTAIN	12
3.1 Ulkoseinät	13
3.2 Yläpohja	14
3.3 Ikkunat ja ovet	17
3.4 Lämmitysjärjestelmä	19
3.5 Ilmanvaihto	20
3.5.1 Painovoimainen ilmanvaihto	21
3.5.2 Koneellinen poistoilmanvaihto	22
3.5.3 Koneellinen tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmä lämmöntalteenotolla	24
4 KEINOT RAKENNUKSEN TILAN SELVITTÄMISEKSI	25
4.1 Rakennuksen Energialuokan määrittäminen	25
4.2 Lämpöhäviön tasauslaskelma	25
4.3 Tiiviysmittaus	28
4.4 Lämpökuvaus	30
5 OMAKOTITALO KARHULA	32
5.1 Vaipan rakenteet	33
5.2 Kohteessa käytetyt tutkimusmenetelmät	35
6 OMAKOTITALO KARHULAAN ESITETYT MUUTOKSET	38
6.1 Ikkunat ja ovet	38
6.2 Yläpohja	40
6.3 Lämmitysjärjestelmä	40

6.4 Ilmanvaihto	41
7 ENERGIATEHOKKUUDEN SELVITYS LASKENNALLISESTI	43
7.1 Lämmönjohtavuus arvojen vertailu	43
7.2 Lämpöhäviöt	45
8 YHTEENVETO	47
LÄHTEET	48
Liite 1 Vaipan lämpöhäviöt	
Liite 2 Lämpökuvausraportti 1	
Liite 3 Lämpökuvausraportti 2	

1 JOHDANTO

Jo olemassa olevan rakennuskannan energiankulutusta voidaan pienentää korjaamalla teknisesti huonokuntoisia rakenteita ja uusimalla talotekniikkaa talon tarpeiden mukaan. Energiatehokkuuden parantaminen pienentää vanhan rakennuksen käyttökustannuksia, nostaa rakennuksen arvoa ja lisää asumismukavuutta. Oikein tehdyt korjaustyöt lisäävät myös asumisterveyttä, koska rakenteiden läpi tapahtuvat ilmavuodot vähenevät ja näin ollen haitallisten mikrobin ja kylmän ilman kulkeutuminen sisätiloihin vähenee.

Tarkoin suunnitellulla korjausrakentamisella voidaan päästä hyvinkin suuriin säästöihin energiankulutuksessa. Jotta rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta olisi hyötyä pitkällä aikajänteellä, on tärkeää huomioida toimenpiteiden takaisinmaksuajat sekä todellinen hyöty käyttäjälle ja rakennukselle.

Tässä opinnäytetyössä pyritään etsimään tehokkaimmat ja käytännöllisimmät energiatehokkuuden parantamisratkaisut Ylikiimingissä sijaitsevaan vuonna 1987 valmistuneeseen omakotitaloon. Tavoitteena on löytää olemassa olevien säädösten mukaisia ratkaisuja, jotka ovat kohtuudella toteuttavissa eivätkä vaadi suuria ja toisaalta turhia rakennemuutoksia. Ratkaisuissa on otettava huomioon talon ikä ja rakenteiden sekä talotekniikan toimivuus ja muuntokelpoisuus.

Työssä perehdytään talon nykytilanteeseen käymällä läpi olemassa olevaa talotekniikkaa ja kartoittamalla talon vaipan tiiveyttä lämpökamerakuvauksella ja tiiviysmittauksella. Lämpökamerakuvauksella etsitään mahdolliset ilmavuotokohdat rakenteista. Talotekniikan osalta painotetaan ilmanvaihdon ja lämmitysjärjestelmän asemaa energiatehokkuutta mitattaessa. Lähtötilannekartoituksen jälkeen selvitetään, millaisin menetelmin energiatehokkuutta voitaisiin parantaa.

Energiantehokkuuden muutosta mitataan tasaus- sekä lämpöhäviölaskennalla. Laskentavaiheessa lähtötilanne on talon alkuperäinen kunto ja tähän lähdetään tekemään muutoksia ottamalla laskentaan mukaan jokin energiatehokkuutta parantava muutos tai korjaus.

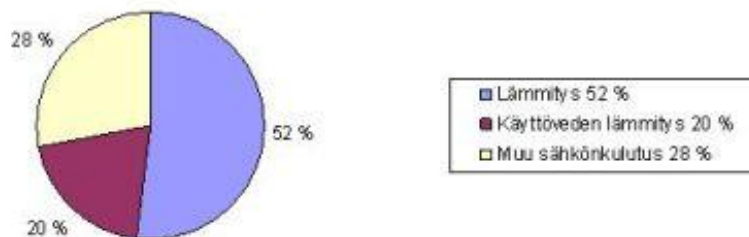
2 RAKENNUSTEN ENERGIATEHOKKUUS

Rakennuksiin saavutetaan hyvä energiatehokkuus oikeanlaisilla ja vaaditut ominaisuudet täyttävillä rakenne- ja laiteteknisillä ratkaisuilla. Usein on järkevää katsoa kokonaisuutta osaoptimoinnin sijaan. Esimerkiksi kiinteistön lämmitysenergiankulutus on mahdollista pienentää puoleen alkuperäisestä, kun kiinnitetään huomio pieniin, yksinkertaisiin ja edullisiin keinoihin. Näihin keinoihin talotekniikan osalta kuuluvat mm. ilmanvaihdon hallinta ja poistoilman lämmön hyödyntäminen sekä lämmityksen ja ilmanvaihdon tarpeenmukainen käyttö sekä ohjaus. Ihmislähtöisiä keinoja ovat vedenkulutuksen pienentäminen, rakentamisen hyvä suunnittelu ja huolellinen toteutus sekä sähkönkulutuksen minimoiminen. (Saari 1999.)

2.1 Pientalojen energian kulutus

Suomen kokonaisenergiankulutuksesta 40 prosenttia käytetään rakennusten vaatimaan energiantarpeeseen. Tästä energiamäärästä kulutetaan noin puolet kaikkien rakennusten lämmitykseen. Asuinrakennuksissa lämmitysenergian lisäksi energiaa kuluu lämpimän käyttöveden tuottamiseen ja kotitaloussähköön. (Kuva 1.) (Ilmalämpöpumppu pohjoisen kesässä ja talvessa. 2015.)

Suuntaa-antava omakotitalon energiankulutuksen jakauma



KUVA 1. Omakotitalon keskimääräinen energiankulutus (Ilmalämpöpumppu pohjoisen kesässä ja talvessa. 2015)

2.2 Energiatehokkuuden parantaminen korjausrakentamisessa

Energiatehokkuuskorjausten toteutettavuus teknisesti, taloudellisesti, ja toiminnallisesti tulee varmistaa toimenpiteiden suunnittelun yhteydessä. Kohteen tekniset vaatimukset, esimerkiksi kosteustekninen toimivuus ja rakenteiden lujuus, eivät saa heikentyä korjauksen yhteydessä. Energiataloutta ei koskaan ole tarpeellista lähteä parantamaan, mikäli se on uhka asumisterveydelle, -turvallisudelle ja -viihtyvyydelle. Toiminnallinen toteutettavuus tarkoittaa sitä, että korjauskohdetta voidaan käyttää samassa tarkoituksessa kuin ennen korjaustoimenpiteitä. Korjaushankkeen on oltava myös kustannustehokas. Rakennusosien kustannustehokkaan korjaamisen takaismaksuaika on enintään 30 vuotta, talotekniikan laitteiden osalta aikajänne on niiden elinkaaren vuoksi lyhempi. (Pylsy 2014, 20–22.)

Kannattavimmat korjaustoimet erityisesti lämmitysenergiansäästön kannalta ovat rakenteiden oikeaoppinen tiivistäminen ja yläpohjan yläpuolinen lisäeristäminen. Rakennuksen ikkunoiden, seinien ja katon läpi haihtuu ulkoilmaan yli puolet pientalon lämmitysenergiasta. (Kuva 2.) Lisälasiä asentaminen ikkunoihin, ulkoseinien ja ylä- sekä alapohjan sisäpuolinen lisäeristäminen kuuluu harvita tarkemmin tapauksesta riippuen. Usein alapohjan sekä ulkoseinien ulkopuolinen lisäeristäminen ovat kannattamattomia, joten ne on syytä jättää huomiotta talon energiatehokkuuden parantamista suunniteltaessa. (Kodin energiasäästöohjeita: Lämmitys. 2015.)



KUVA 2. Eri talo-osiin kuluva energiahukka (Kodin energiasäästöohjeita: Lämmitys. 2015)

Ilmanvaihdon ja lämpimän käyttöveden tuotto yhdessä aiheuttavat isoimman menoerän lämmitysenergian kulutuksessa. Energiaa valuu suoraan hukkaan joko viemäreiden kautta tai ilmanvaihtohormin läpi ulkoilmaan. Ilmanvaihdossa tapahtuva lämpöenergiarahka on 15 – 35 prosenttia ja tätä vielä kasvatetaan erillisillä tuuletusventtiileillä ja ilmanvaihtokoneilla, ellei niitä osata käyttää vaadittavan tarpeen mukaan. Lämpimän käyttöveden mukana viemäriin lasketaan niin ikään 15–20 prosenttia lämmitysenergiasta, joidenkin tutkimuksien mukaan jopa 30–40 prosenttia. Helpointa ja edullisinta energiansäästöä olisikin muuttaa omia käyttötottumuksiaan, esimerkiksi säästelemällä lämmintä käyttövettä ja säättämällä ilmanvaihto rakennuksen käytön mukaan. (Lahtinen 2014, 57–63.)

2.3 Kolme vaihtoehtoista tapaa energiatehokkuuden parantamiselle

Energiatehokkuuden toteutustapa on valittavissa kolmesta eri vaihtoehdoista. Ensimmäinen vaihtoehto on tarkastella rakennusta rakennusosakohtaisesti tai pelkkien teknisten järjestelmien kautta, jolloin noudatetaan ympäristöministeriön

asettamia minimivaatimuksia rakennusosan lämmönjohtavuudelle ja teknisille järjestelmille. Jos korjauskohteessa tehdään muutoksia rakennusosittain, voidaan hankkeen määräystenmukaisuus osoittaa lämpöhäviöiden tasauslaskennalla. Toisen tavan suunnittelun lähtökohtana on koko rakennuksen energiankulutuksen pienentäminen. Ympäristöministeriö on asettanut vaatimukset koskemaan rakennusten energiankulutusta neliometriä kohti rakennustyypeittäin. Esimerkiksi pientalojen energiankulutus pitää olla $\leq 180 \text{ kWh/m}^2$. Kolmannessa vaihtoehdossa rakennukselle asetetaan E-lukuvaatimus, joka määräytyy rakennusluokittain. (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä. 2013.)

3 KORJAUSRAKENTAMISEN OHJEISTUKSET RAKENNUS- OSITTAIN

Ympäristöministeriö on asettanut uudet minimivaatimukset korjausrakentamisen energiatehokkuudelle 1.6.2013. Niitä alettiin soveltaa myös muissa kuin viranomaisen käytössä olevissa rakennuksissa 1.9.2013. Ympäristöministeriön uudet vaatimukset vastaavat myös EU:n vuonna 2010 toimeenpanemaan energiatehokkuusdirektiiviin. (Pylsy 2014, 10–11.)

Rakennuksille on määritetty vertailulämpöhäviö, johon vertaillaan rakennuksen vaipan, vuotoilman ja ilmanvaihdon yhteenlaskettua todellista lämpöhäviötä. Määräystenmukaisuus on osoitettava tasauslaskelmalla, jossa käytetään rakennuksen koko- ja geometriatietoja. Tasauslaskenta ottaa huomioon rakennusosissa olevat säännölliset kylmäsillat. (D3 2011, 12.)

Rakennusosakohtaiset minimivaatimukset koskevat ulkoseinien, yläpohjan tai ikkunoiden ja ovien U-arvojen parantamista nykymääräysten tasolle (taulukko 1). Tämä tarkoittaa karkeasti lämmöneristeen lisäämistä ulkoseiniin sekä yläpohjaan ja ikkunoiden ja ovien uusimista. Rakennusosien uudet U-arvot ja niiden määräystenmukaisuus tulee osoittaa rakennusvalvontaviranomaiselle laskennallisesti Suomen rakentamismääräyskokoelman C4 (2012) mukaan. (Pylsy 2014, 26–43.)

TAULUKKO 1. Lämmönläpäisykertoimien vaatimukset korjauskohteissa

LÄMMÖNLÄPÄISYKERTOIMIEN VERTAILUARVOT LÄMPIMILLE TILOILLE	
SEINÄ	Alkuperäinen U * 0,5 tai enintään 0,17 W/(m ² K)
HIRSISEINÄ	0,40 W/(m ² K)
YLÄPOHJA JA ULKOILMAAN RAJOITTUVA ALAPOHJA	Alkuperäinen U * 0,5 tai enintään 0,09 W/(m ² K)
RYÖMINTÄTILAAN RAJOITTUVA ALAPOHJA	0,17 W/(m ² K)
MAATA VASTEN OLEVA RAKENNUSOSA	0,16 W/(m ² K)
IKKUNA, KATTOIKKUNA, OVI, KATTOVALOKUPU. SAVUNPOISTO- JA ULOKÄYNTILUUKKU	1,0 W/(m ² K)

Rakennuksen lämpöolot tulee voida ylläpitää lämmityskauden mitoittavilla ulkolämpötiloilla. Suomi on jaettu neljään säävyöhykkeeseen, joista jokaisella on eri mitoittava ulkoilman lämpötila. Lämmitystehontarve lasketaan jokaiselle rakennukselle erikseen, riippuen sen maantieteellisestä sijainnista. (D3 2012, 29.)

Ympäristöministeriön asettamia määräyksiä ja ohjeita tulee noudattaa, kun kyseessä on rakennuksen korjaaminen, käyttötarkoituksen muuttaminen tai rakennuksen teknisten järjestelmien uusiminen luvanvaraisesti. Yleisesti ottaen luvanvaraisia töitä ovat rakennuksen vaipan ja teknisten järjestelmien korjaus- ja muutostyöt. Luvanvaraisuus varmistetaan kunnan rakennusvalvontaviranomaiselta, sillä menettelyt vaihtelevat kunnittain. (Järvinen 2013.)

3.1 Ulkoseinät

Minimivaatimus rakennuksen ulkoseinien U-arvolle on 0,5 x seinän alkuperäinen U-arvo, kuitenkin enintään 0,17 W/(m²K). Jos rakennuksen käyttötarkoitus muuttuu, U-arvon on oltava 0,60 W/(m²K) tai parempi. (Ympäristöministeriön

asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä 2013.)

Ulkoseinien korjausta suunniteltaessa on ensin tutkittava korjattavan seinän kunto, jotta voidaan tehdä kohteeseen sopivat korjaussuunnitelmat ja ajoittaa korjaus oikeaan ajankohtaan. Suunnitelmissa otetaan huomioon rakenteen kosteustekninen toiminta, turvallisuus palotilanteessa ja ääneneristävyys sekä liittyvien rakennusosien soveltuvuus uuteen seinärakenteeseen. (Pyly 2014, 32–33.)

Lisälämmöneristäminen kasvattaa seinärakenteen paksuutta, jolloin tulee entistä tärkeämmäksi huomioida säävaikutukset rakenteeseen. Ilmastonmuutoksen johdosta sateita saadaan yhä enemmän ja näin ollen seinä joutuu useammin alttiiksi kosteusrasitukselle. Kuivumisaikojen lyhentyessä paksumpi ja paremmin eristetty seinärakenne ei välttämättä ehdi kuivua, jolloin olosuhteet homeen muodostumiselle ovat otolliset. (Ulkoseinän lisälämmöneristys. 2013.)

Ulkoseinän ulkopuoliseen lisälämmöneristämiseen ei ole syytä ryhtyä, mikäli ulkovooraus on hyvässä kunnossa. Julkisivusaneerauksen yhteydessä tehtävässä lisälämmöneristämisessä huolehditaan seinärakenteen hyvästä tuuletuksesta sekä lämmöneristekerroksen pinnalle tehtävästä tiiviistä tuulensuojakerroksesta. Sisäpuolinen lisäeristäminen alentaa seinän materiaalien lämpötilaa, jolloin kosteusvaurioriski kasvaa ja sateen jälkeinen kuivuminen hidastuu edelleen. Sisäpuolinen lisäeristäminen on kuitenkin mahdollista hyvällä suunnittelulla ja toteutuksella. (Ulkoseinän lisälämmöneristys. 2013.)

3.2 Yläpohja

Minimivaatimuksena yläpohjalle on alkuperäisen yläpohjan U-arvo $\times 0,5$, kuitenkin enintään $0,09 \text{ W}/(\text{m}^2/\text{K})$. Rakennuksen käyttötarkoituksen muuttuessa vaatimus on yläpohjan alkuperäinen U-arvo $\times 0,5$, kuitenkin parempi tai yhtä pieni kuin $0,60 \text{ W}/(\text{m}^2/\text{K})$. Tämä tarkoittaa karkeasti yläpohjan U-arvon puolittamista luvanvaraisissa hankkeissa. (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä. 2013.)

Alkuperäisen yläpohjan U-arvo lasketaan Suomen rakentamismääräyskokoelman C4 (2012) mukaisesti, mikäli rakennukseen liitettävissä asiakirjoissa esitetään tiedot rakenteista ja niiden eri rakennekerroksista. (Pylsy 2014, 39.)

Asiakirjojen puutteellisuudesta johtuen voidaan U-arvo määrittää ympäristöministeriön asettaman laskentaliitteen mukaisesti. Liitteessä on määritetty eri aikakausien rakennusten rakenteille U-arvot rakennusluvan vireilletulovuoden mukaan. Jotta minimitaso saadaan täytettyä, lisätään yläpohjaan mahdollisuuksien mukaan lämmöneristettä. Lisäeristekerroksen paksuudesta eri aikakausilla rakennetuille rakennuksille on esitetty suuntaa-antavia taulukoita, mutta käytännössä lisälämmöneristäminen on suunniteltava yksilöidysti kunkin korjauskohteen mukaan. (Taulukko 2.) Lämmöneristettä lisättäessä on huomioitava mm. tuuletuksen oikea toiminta, kosteuden tiivistyminen ja yläpohjan ilmatiiviys. (Yläpohjan lisälämmöneristys. 2015.)

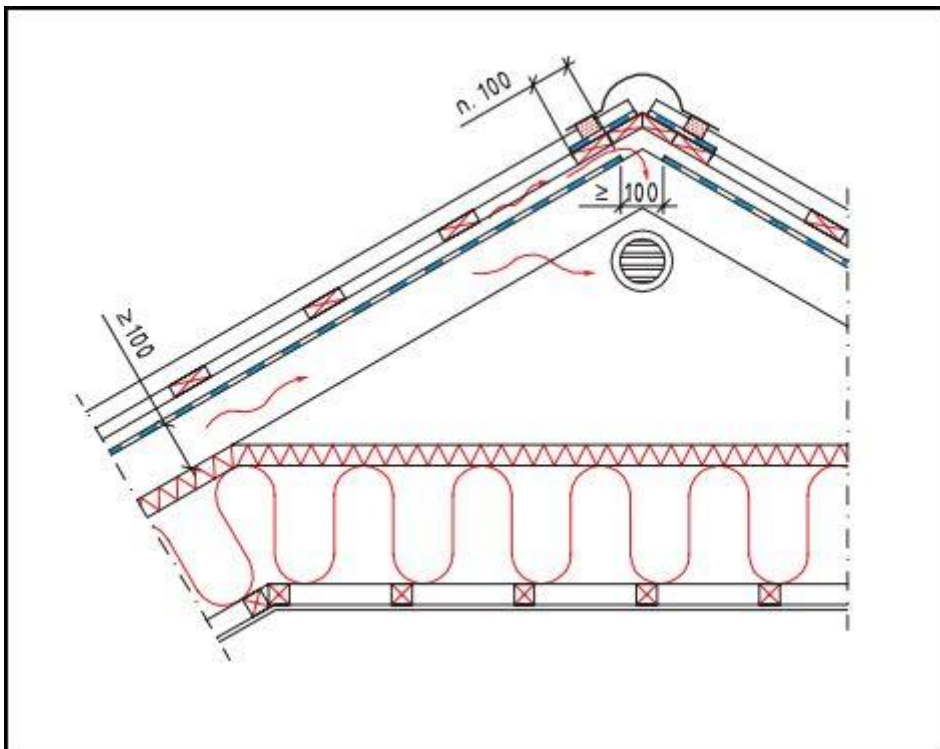
TAULUKKO 2. Yläpohjan lisäeristämisen vaatimukset vuoden 2012 tasolle pääsemiseksi (Yläpohjan lisälämmöneristys. 2015)

Vuosi tai vuosikymmen, jolloin talon yläpohja on eristetty.	Lämmönläpäisevyysarvo (U-arvo) [W/m ² K]	Tyypillinen lisälämmöneristeen paksuus, jotta päästään U-arvoon 0,09 (W/m ² K). Eristeen lämmönjohtavuus on 0,035 (W/mK) .[mm]
1940-luku	0,35	300
1950-luku	0,35	300
1962	0,41	300
1969	0,35	300
1974	0,35	300
1979	0,23	240
1985	0,22	240
2003	0,16	180
2008	0,15	160
2010	0,09	0
2012	0,09	0
2012 passiivitalo	0,06	

Yläpohjan lämmöneristeen lisääminen ei pelkän kustannusnäkökulman kannalta ole kannattavaa. Mitä suurempi lisäeristettävän vaipan alan suhde koko rakennuksen vaipan alaan on, sitä kannattavampi toimenpiteestä tulee. Pinta-alaltaan suurempi yläpohja vaikuttaa merkittävämmiin energiankulutukseen kuin pienempi yläpohja. Jos päädytään lisäämään yläpohjaan eristettä, täytyy tutkia pitääkö eriste lisätä vanhan eristeen ulko- vai sisäpuolelle. Ulkopuolinen lisäeristäminen on usein kosteusteknisesti toimivampi ratkaisu, jolla saadaan vanhan kattorakenteen lämpötilaa nostettua. Joissakin tapauksissa vanha höyrynsulku on vaurioitunut, asennuksessa on puutteita tai höyrynsulkua ei ole ollenkaan, jolloin sisäpuolista eristämistä on syytä harkita. Korjauksen yhteydessä tulee asentaa uusi höyrynsulku. Myös niissä tapauksissa joissa yläpohjan tila käy ahtaaksi, eriste voidaan asentaa sisäpuolelle. Ongelmana sisäpuolisessa

lisäeristämässä on veden kondensoituminen yläpohjaan, sillä yläpohjan rakenteiden lämpötila laskee ja tällöin sisätiloista vuotavan ilman mukana tuleva vesi tiivistyy rakenteisiin. (RT 83–11161. 2014, 2.)

Vesikaton suuntaisissa yläpohjissa on huolehdittava tilan tuuleutuksesta. Ohjeena on jättää harjalle vähintään 100 mm:n tuuletusrako. Harjalle voidaan jättää yläkolmio, jonka kautta tuuletus tapahtuu automaattisesti. (Kuva 3.) Ilman yläkolmiota tuuletuksen varmistamiseksi täytyy harjalle asentaa alipainetuuletin. (Toimivat katot. 2013.)



KUVA 3. Lappeen suuntaisen yläpohjan tuuletus (Toimivat katot. 2013)

3.3 Ikkunat ja ovet

Lämpimän tilan ikkunoiden ja ovien lämmönläpäisykertoimena käytetään vertailuarvoa $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2/\text{K})$ ja ikkunoiden yhteenlasketun pinta-alan vertailuarvo on 15 %. Rakennuksen vaipan lämpöhäviön vertailuarvoa laskettaessa yläpohjan ja ulkoilmaan rajoittuvan alapohjan lämmönläpäisykertoimena käytetään arvoa

0,09 W/(m²/K). (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä 2012, 13–14.)

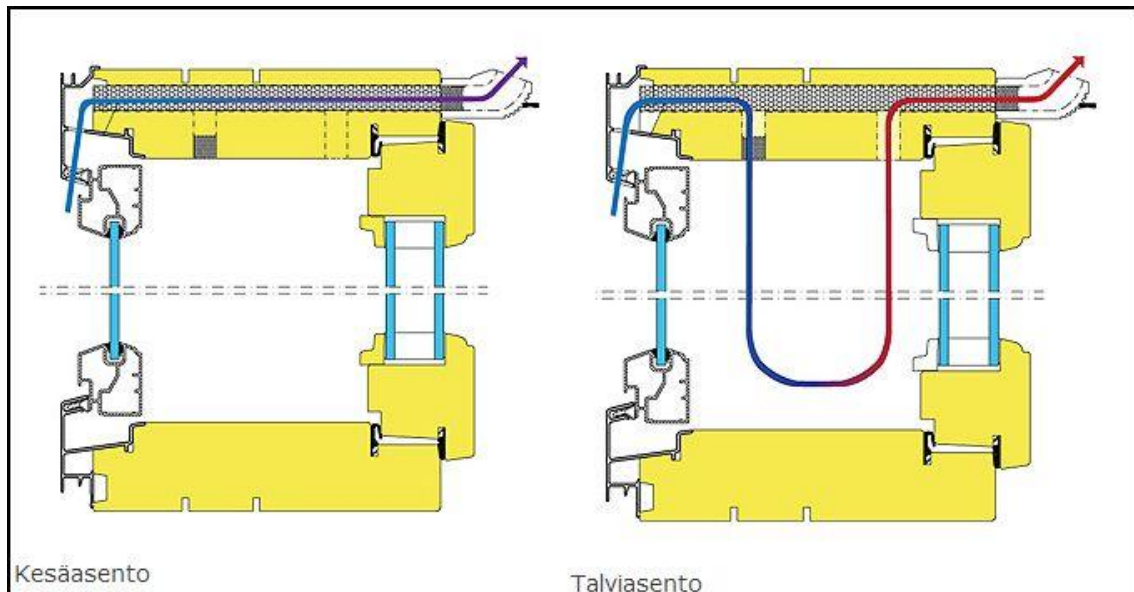
Määräysten mukaan ikkunoiden ja ovien uusiminen ei ole välttämätöntä, mikäli niiden korjaaminen on mahdollista. Jos ikkunat ja ovet uusitaan, niiden on vastattava uudisrakentamisen perustasoa. Koska uusiin ikkunoihin ja oviin saa luotettavan U-arvon valmistajalta, ei U-arvoa tarvitse osoittaa rakennusvalvontaviranomaiselle laskelmin. Muita huomioitavia seikkoja ikkunoita uusittaessa ovat asennustyön onnistuminen, korvausilman ratkaiseminen ja aurinkosuojaus.

Myös ilmanvaihdon on toimittava ikkunamuutosten jälkeen ja usein joudutaankin asentamaan korvausilmaventtiilit tai tuloilmaikkunat, ellei ilmanvaihtojärjestelmää ole suunniteltu muutettavan koneelliseksi tulo-poistoilmanvaihdoksi.

(Pylsy 2014, 34–36.)

Ikkunasaneerauksen yhteydessä tarkastelun kohteena on myös rakennuksen ilmanvaihto. Vanhoissa rakennuksissa korvausilman saanti on usein unohdettu kokonaan, jolloin ilmanvaihto toimii puutteellisesti. Jotta korvausilman saanti olisi taattua, tulisi ulkoseinissä olla tuloilmakanavat tai ikkunoissa tuuletusluukut. Jo olemassa oleviin ikkunoihin voidaan asentaa jälkikäteenkin niin sanottu rakoverventtiili, jonka kautta ilma johdetaan ikkunan uloimman puitteen alaosan kautta puitteiden väliin. Ilmamassa lämpiää ikkunan sisällä, jolloin se nousee ylöspäin ja poistuu huonetilaan ikkunan sisimmän puitteen aukon kautta. (Kuva 4.)

(Puhdas korvausilma rakoverventtiilillä. 2015.)



KUVA 4. Tuloilmaventtiilin toimintaperiaate (Puhdas korvausilma rakoveintiillillä. 2015)

Uusien ikkunoiden vaihtamiseen on haettava rakennuslupaa tai vähintään toimenpidelupa kunnan rakennusvalvonnasta, mikäli ikkunan paikka tai ulkomuoto muuttuu. Ennen ikkunaremonttiin ryhtymistä on tarkastettava esimerkiksi rakennuslupapaperustuksista, kohdistuuko joihinkin vaihdettaviin ikkunoihin paloturvallisuusvaatimuksia. Ikkunan avattavuus tulee myös huomioida, sillä jokaisessa huoneessa täytyy olla vähintään yksi avattava ikkuna mahdollista palotilannetta varten. Ikkunan avaamissuunta valitaan sen mukaan, missä kerroksessa se sijaitsee. Pohjakerroksen ikkunat voivat avautua ulospäin ja tätä ylempien kerrosten ikkunoiden kannattaa olla sisäänpäin aukeavia, jotta ikkunoiden peseminen olisi käytännöllisempää. (Ikkunoiden vaihtaminen. 2015.)

3.4 Lämmitysjärjestelmä

Lämmitysjärjestelmää muutettaessa on se mitoitettava vastaamaan laskennallista täyttä lämmitystehoa. Järjestelmää ei tarvitse lähteä uusimaan pelkästään energiatehokkuusmääräysten vuoksi. (Pylsy 2014, 55)

Lämmitysjärjestelmän vaihtoa on syytä harkita tarkoin, sillä ei ole olemassa juuri sitä oikeaa tapaa lämmittää taloa eikä vanhaan lämmönjakoon välttämättä voida liittää mitä tahansa järjestelmää. Taloon, jossa ei ole jo ennestään keskuslämmitystä, ei ehkä ole kannattavaa edes sellaista asentaa, sillä keskuslämmityksen jälkeensä asentaminen tulee kalliiksi ja asennus vaatii paljon työtä. Keskuslämmitys kuitenkin nostaa talon arvoa ja antaa enemmän vaihtoehtoja lämmitysjärjestelmän valintaan. (Pientalon lämmitysjärjestelmät. 2015, 5.)

Lämmitysjärjestelmän oikea mitoittaminen ja talossa olevien tulisijojen käytön laskeminen osaksi lämmitysjärjestelmää tulee asiakkaan ja LVI-suunnittelijan pohtia yhdessä. Usein valmiina olevaa tulisijaa ei korjauskohteissa lasketa osaksi lämmitysjärjestelmää vaan sitä pidetään niin sanottuna varalämmitysjärjestelmänä. Vaihtoehtona olisi kuitenkin alimitoittaa patteriverkosto, jolloin se takaisi rakennuksen peruslämmön ja tulisija toisi lisälämpöä kovimpien pakkasten aikaan. Jos esimerkiksi uusi maalämpöpumppu alimitoitettaisiin, voitaisiin sen kokoa pienentää, jonka seurauksena investointikustannukset olisivat alhaisemmat. Maalämpö tulee mitoittaa täyστεholle vain niissä tapauksissa, joissa se on rakennuksen päälämmitysjärjestelmänä. Yksinkertaistettuna, vanhan rakennuksen uunilämmitys voitaisiin pitää päälämmitysjärjestelmänä ja rinnalle voitaisiin ottaa osateholle mitoitettu lämmitysjärjestelmä. (Lahtinen 2014, 168–169.)

3.5 Ilmanvaihto

Ympäristöministeriö on asettanut seuraavat vaatimukset energiatehokkuudelle ilmanvaihdon osalta:

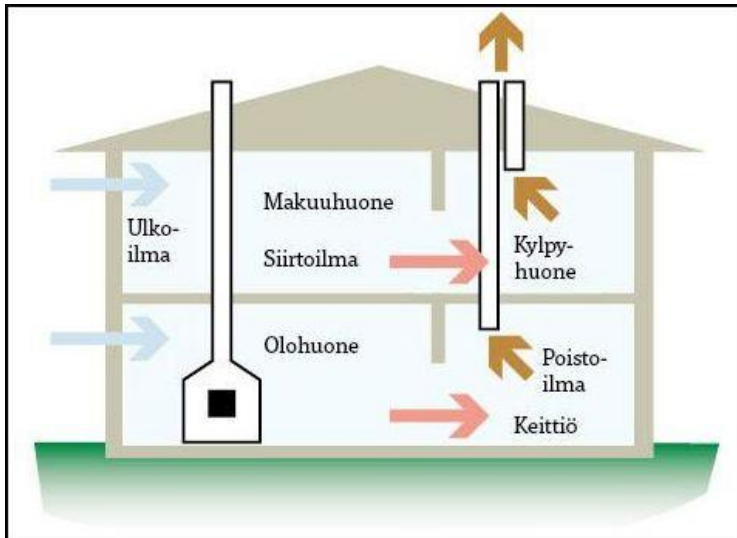
- Koneellisen tulo- ja poistoilmajärjestelmän ominaissähköteho voi olla enintään $2,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$.
- Mikäli rakennuksen sisäilmaston hallintaan tarvitaan tavanomaisesta poikkeavaa ilmanvaihtoa, saa ilmanvaihto järjestelmän ominaissähköteho olla suurempi kuin $2,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$.
- Ilmanvaihdon poistoilmasta talteenotettavan lämpömäärän on vastattava 45 prosenttia ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemasta lämpömäärästä.

(Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä. 2013.)

Ilmanvaihtojärjestelmän suunnittelussa tulee huomioida Suomen rakentamismääräyskokoelman osaa D2 (2012), kun painovoimainen ilmanvaihto muutetaan koneelliseksi poistoilmanvaihdoksi tai koneelliseksi tulo-poistoilmanvaihdoksi tai, kun koneellinen poistoilmanvaihto muutetaan koneelliseksi tulo-poistoilmanvaihdoksi. Määräyksiä noudatetaan vain niissä tapauksissa, joissa ilmanvaihtojärjestelmän tyyppiä vaihdetaan. Tapauksissa, joissa korjaustoimenpiteiden yhteydessä halutaan pitäytyä painovoimaisessa ilmanvaihdossa, ei edellä mainittuja määräyksiä tarvitse ottaa huomioon. Sama koskee myös muutoksia, joissa tehdään vain ilmanvaihtojärjestelmän huolto- ja kunnossapitotöitä. Tähän liittyy kuitenkin erillisiä säädöksiä, jolloin energiatehokkuusmääräyksiä joudutaan soveltamaan, mutta niihin ei ole syytä perehtyä tämän opinnäytetyön puitteissa. Usein ilmanvaihtojärjestelmän uusiminen toteutetaan siirtymällä koneelliseen lämmön talteenotolla varustettuun tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmään. Kohteissa, joissa on painovoimainen ilmanvaihto, voidaan myös harkita koneellista poistoilmanvaihtoa. (Pylsy 2014, 43-46.)

3.5.1 Painovoimainen ilmanvaihto

Painovoimainen ilmanvaihto on hyvin perinteinen vanhojen rakennusten ilmanvaihtojärjestelmä. Ilmanvaihto perustuu lämpötilaeroon sisä- ja ulkoilman välillä sekä tuulen vaikutukseen. Toimivuuden edellytyksenä ovat pystysuorat poistoilmakanavat, jotka sijaitsevat keittiössä ja märkätiloissa. Ulkoilmaa johdetaan kaikkiin huonetiloihin lukuun ottamatta wc-tiloja. (Kuva 5.) (RT 56-10591. 1995, 3.)



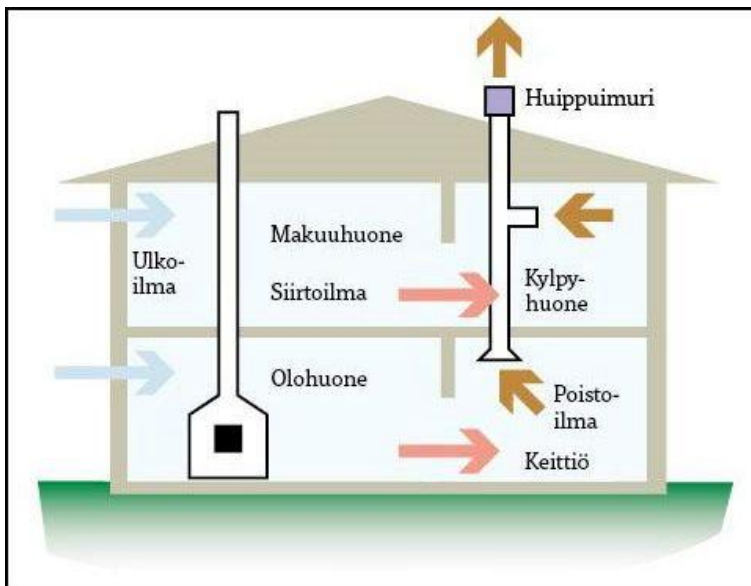
KUVA 5. Painovoimaisen ilmanvaihdon toiminta (Ilmanvaihtojärjestelmät. 2015)

Ennen kuin tehdään päätös siirtyä painovoimaisesta ilmanvaihdosta koneelliseen, on harkittava olemassa olevan ilmanvaihdon tehostamista. Tämä onnistuu usein helpoilla ja pienillä toimilla. Tuloilmareitit, venttiilit sekä niiden suodatimet tarkistetaan ja tutkitaan, onko joitakin tuloilmareittejä tukittu. Tuloilmareitit on saatettu tukkia tahattomasti ja tietämättä reitin oikeaa tarkoituserää esimerkiksi asentamalla kiintokalusteita aukkojen päälle tai tiivistämällä ikkunat liian tiiviiksi. Vanhat reitit avataan ja ikkunan karmin yläosaan voidaan tarvittaessa asentaa rakoventtiilit. Tulo- ja poistoilmahormit tulee nuohota aika ajoin, taloyhtiöitä koskevissa määräyksissä suositeltu aikajakso on kymmenen vuoden välein. Vedontunne voidaan poistaa asentamalla raitisilmaventtiileitä, jotka samalla tehostavat ulkoilman virtausta sisätiloihin. (Painovoimaisen ilmanvaihdon tehostaminen asuinkerrostalossa. 2015.)

3.5.2 Koneellinen poistoilmanvaihto

Koneellisessa poistoilmanvaihdossa rakennuksesta imetään ilmaa pois joko katolla sijaitsevan huippuimurin avulla tai ullakolla olevan puhaltimen kautta. Poistetun ilman tilalle virtaa ulkoilmaa rakennuksen vaipassa sijaitsevien tuloil-

maventtiileiden kautta. Venttiilit sijoitetaan kaikkiin huonetiloihin, lukuun ottamatta WC-tiloja. (Kuva 6.) (RT 56-10591. 1995, 4.)



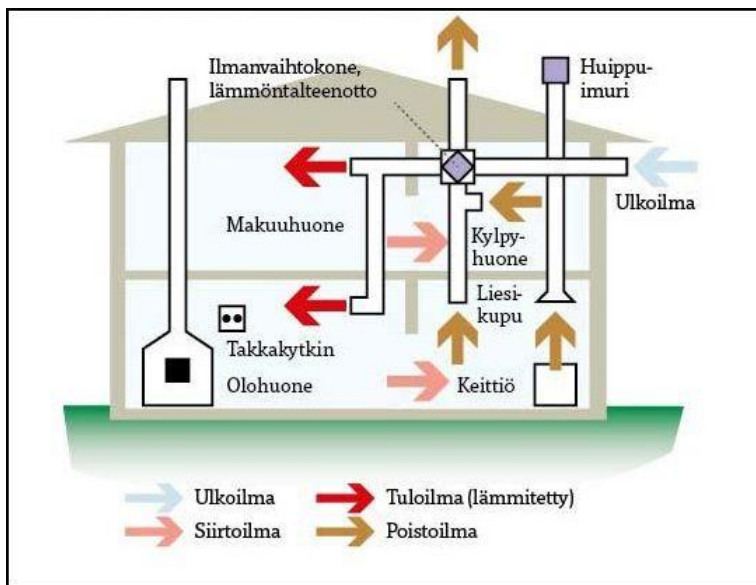
KUVA 6. Koneellisen poistoilmanvaihdon toimintaperiaate (Ilmanvaihtojärjestelmät. 2015)

Kohteissa, joissa on painovoimainen ilmanvaihto, voidaan olemassa olevaa ilmanvaihtohormia käyttää poistoilman kanavana. Hormin tiiviys on varmistettava erikseen painekokeella. Puhallin sijoitetaan kanavan yläpään vesikatolle vähimmäiskorkeuteen 0,9 m, länsisuomessa 0,7 m. Kanaviston tulee olla alipaineinen, jotta ilma virtaa haluttuun suuntaan. Alipaineisuus saadaan aikaan puhaltimien oikealla sijoittamisella. (RT 56-10591. 1995, 4.)

Poistoilmanvaihdon huonoja puolia ovat tuloilmavirtojen hallitsemattomuus ja tästä johtuva vedontunne vuoden kylmimpinä aikoina, sisään otettavan ulkoilman tehokas suodatus, ääneneristävyysvaatimuksen täytyminen sekä mikrobin kulkeutuminen sisäilmastoon. Ongelmia syntyy myös tilanteissa, joissa rakennuksessa tuuletetaan yhtä huonetta ikkunan kautta, jolloin paine-erot muissa tiloissa pienenevät ja ilmanvaihto heikkenee. (Energiatehokkaan pientalon ilmanvaihto-opas. 2015.)

3.5.3 Koneellinen tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmä lämmöntalteenotolla

Lämmöntalteenotolla varustetussa tulo-poistoilmanvaihdossa ulkoilma otetaan ilmanvaihtokoneelle talon varjoisalta puolelta. Tuloilmakanava sijoitetaan siten, että sisään otettava ilma on mahdollisimman puhdasta. Ulkoilma suodatetaan ennen sen kulkeutumista ilmanvaihtokoneeseen, jossa ilma on mahdollista esilämmittää ja edelleen hieno suodattaa. Lämpöä siirretään tuloilmaan lämmöntalteenoton kautta. (Kuva 7.) (Energiatehokkaan pientalon ilmanvaihto-opas. 2015.)



KUVA 7. Koneellisen tulo-poisto ilmanvaihdon toimintaperiaate (Ilmanvaihtojärjestelmät. 2015)

Painovoimaisen ilmanvaihdon muuttaminen koneelliseksi tulo-poistoilmanvaihdoksi suositellaan tehtäväksi suuremman peruskorjauksen yhteydessä. Ilmanvaihtokanaville on suunniteltava reitit ja vanhojen rakennusten ulkovaipan tiiviyttä on parannettava, sillä lämmöntalteenottolaitteesta saatava hyöty on parempi tiiviimmässä talossa. Tämä aiheuttaa suuria kustannuksia ja työläitä korjaustoimenpiteitä, jotka on suunniteltava etukäteen yhdessä talotekniikan asiantuntijan kanssa. (Ilmanvaihdossakin voi säästää energiaa. 2015.)

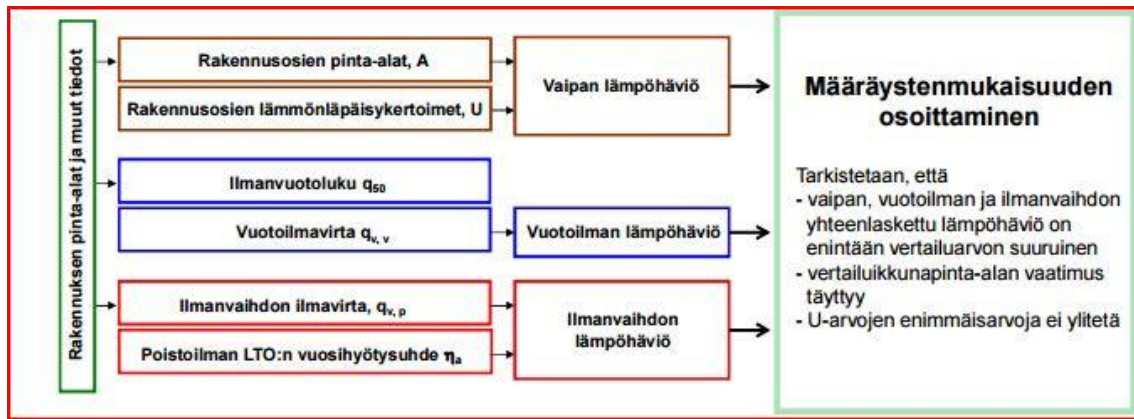
4 KEINOT RAKENNUKSEN TILAN SELVITTÄMISEKSI

4.1 Rakennuksen Energialuokan määrittäminen

Rakennuksen energialuokka eli E-luku voidaan määrittää laskennallisesti Suomen rakentamismääräyskokoelman D3 (2012) mukaisesti. E-luku on hyvä määrittää etenkin niissä tapauksissa, joissa korjaustoimenpiteiden tarkoituksena on parantaa rakennuksen kokonaisenergiankulutusta. Alkutilanteen E-lukua vertailaan suunniteltujen korjaustoimenpiteiden jälkeiseen arvoon, jonka oletetaan olevan esimerkiksi 15 % pienempi kuin lähtötilanteessa. Kokonaisenergiankulutuksessa huomioidaan energiamäärä, joka rakennuksessa kulutetaan vuotuisesti lämmitykseen, sähkölaitteisiin ja jäähdytykseen. Tämän lisäksi otetaan huomioon lämmitysenergian tuoton hyötysuhde, uusiutuvan energian rakennuskohtainen tuotto ja energiamuotojen kertoimet. E-lukua voidaan tarkastella myös pelkän energiankulutuksen kannalta. Tässä E-luku ei ota huomioon lämmitysenergian tuoton hyötysuhdetta, uusiutuvan energian rakennuskohtaista tuottoa tai energiamuotojen kertoimia. (Pylsy 2014, 74–75.)

4.2 Lämpöhäviön tasauslaskelma

Ympäristöministeriö on asettanut vaatimukset rakennuksen lämpöhäviöhäviölle. Vaatimuksen täyttyminen osoitetaan laskennallisesti. (Kuva 8.) Tasauslaskennassa huomioidaan rakennuksen vaipan, vuotoilman ja ilmanvaihdon yhteenlaskettu lämpöhäviö, joka saa olla enintään vertailuratkaisun mukainen. Vertailuarvot löytyvät Suomen rakentamismääräyskokoelman osasta D3, Rakennusten energiatehokkuus, luvusta 2.5.1. (Tasauslaskentaopas 2012. 2011, 10.)



KUVA 8. Tasauslaskennan kulku (Tasauslaskentaopas 2012. 2011)

Vaipan lämpöhäviö lasketaan kaavalla 1.

$$\Sigma H_{joht} = \Sigma(U_{ulkoseinä}A_{ulkoseinä}) + \Sigma(U_{yläpohja}A_{yläpohja}) + \Sigma(U_{alapohja}A_{alapohja}) + U_{ikkuna}A_{ikkuna} + U_{ovi}A_{ovi} \quad \text{KAAVA 1}$$

missä

ΣH_{joht} on rakennusosien yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö, [W/K]
 U rakennusosan lämmönläpäisykerroin, [W//m²K]
 A rakennusosan pinta-ala, [m²]

Vuotoilman lämpöhäviö lasketaan kaavalla 2.

$$H_{vuotoilma} = \rho_i c_{pi} q_{v,vuotoilma} \quad \text{KAAVA 2}$$

missä

$H_{vuotoilma}$ vuotoilman ominaislämpöhäviö, [W/K]
 ρ_i ilman tiheys, 1,2 [kg/m³]
 c_{pi} ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 Ws/(kgK)
 $q_{v,vuotoilma}$ vuotoilmavirta, [m³/s].

Vuotoilmavirta lasketaan kaavalla 3.

$$q_{v,vuotoilma} = \frac{q_{50}}{3600 \cdot x} A_{vaippa}$$

KAAVA 3

missä

$q_{v,vuotoilma}$	vuotoilmavirta, m ³ /s
q_{50}	rakennusvaiipan ilmanvuotoluku, m ³ /(h m ²)
A_{vaippa}	rakennusvaiipan pinta-ala, m ²
x	kerroin, joka on yksikerroksisille rakennuksille 35, kaksikerroksisille 24, kolme- ja nelikerroksisille 20 ja viisikerroksisille korkeimmille rakennuksille 15
3600	kerroin, joka muuttaa ilmavirran m ³ /h yksiköstä m ³ /s yksikköön.

Ilmanvaihdon lämpöhäviö lasketaan kaavalla 4.

$$H_{iv} = \rho_i c_{pi} q_{v,poisto} t_d t_v (1 - \eta_a)$$

KAAVA 4

missä

H_{iv}	ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö, W/K
ρ_i	ilman tiheys, 1,2 kg/m ³ U+03C4
C_{pi}	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 Ws/(kgK)
$q_{v,poisto}$	standardikäytön mukainen laskennallinen poistoilmavirta, m ³ /s
t_d	ilmanvaihtojärjestelmän viikoittainen käyntiaikasuhde, $\tau_w/7$, missä τ_w on käyntipäivien lukumäärä viikossa
η_a	ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton (LTO) vuosihyötysuhde, joka on lämmöntalteenottolaitteistolla vuodessa talteen otettavan ja hyödynnettävän energian suhde ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemaan energiaan, kun lämmöntalteenottoa ei ole.

Tasauslaskenta mahdollistaa poikkeamisen minimivaatimuksista, sillä tarkasteltaessa rakennusosakohtaisia energiatehokkuusvaatimuksia voidaan jotakin toista rakennusosaa parantaa selvästi alle minimitason, kun toinen rakennusosa ylittää vaaditun rajan. Tällä keinolla voidaan siis edelleen pysyä vaadituissa rajoissa, kun tarkastellaan rakennusta kokonaisuutena. Täytyy kuitenkin muistaa, että tasauslaskelmaan mukaan otettavat rakennusosat täytyy korjata samanaikaisesti yhden korjaushankkeen aikana, jotta edellä mainittu kompensatio olisi mahdollinen. Noudatettaessa minimivaatimuksia kaikissa rakennusosissa, ei tasauslaskelmaa tarvitse tehdä. (Pylsy 2014, 59-60.)

4.3 Tiiviysmittaus

Tiiviysmittauksen avulla voidaan mitata rakennuksen vaipparakenteiden ilmapiitävyttä ja sen todentaminen onkin tärkeä osa rakennuksen energiatehokkuutta määriteltäessä. Hyvällä ilmanpitävyydellä varmistetaan hallitsemattoman vuotoilman kulkeutumista rakenteisiin, sillä jos vaipparakenteeseen pääsee muodostumaan ilmanvuotoreittejä, saattaa sisäilman kosteus kulkeutua kylmiin rakenneseisiin. Tämän johdosta rakenteisiin syntyy kosteus- ja homevaurioita, jotka aiheuttavat myös asumisterveydellisiä haittoja. Toinen asumisterveyteen ja –viihtyvyyteen vaikuttava tekijä on ilmanvuotoreittien kautta kulkeutuva kylmä ilma, jonka rakennuksen käyttäjä tuntee vedontunteena ja pahimmassa tapauksessa tästä aiheutuu käyttäjälle terveystaharoja. (Paloniitty 2012, 20.)

Tiiviysmittaus suoritetaan aiheuttamalla paine-ero tutkittavaan tilaan paine-ero puhaltimella, joka asennetaan rakennuksen ovi- tai ikkuna-aukkoon. Mikäli rakennuksessa on koneellinen ilmanvaihtolaitteisto, voidaan paine-ero luoda myös sen avulla. Mittauksen aikana vaipan tiiviyyttä testataan usealla eri paine-erolla esimerkiksi seuraavilla arvoilla 60–50-40-30–20 Pa. Mittauksen aikana ohjelmisto muodostaa mittaussarjasta vuotoilmakäyrän, jonka avulla pystytään laskemaan 50 Pa:n paine-eroa vastaava ilmamäärä. Tulokseksi saadaan joko ilmanvuotoluku n_{50} tai q_{50} . (Paloniitty 2012, 29, 50-52.)

Ilmanvuotoluku n_{50} lasketaan kaavalla 5.

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

KAAVA 5

missä

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

Ilmanvuotoluku q_{50} lasketaan kaavalla 6.

$$q_{50} = \frac{Q_{50}}{A}$$

KAAVA 6

missä

n_{50} = rakennuksen ilmanvuotoluku 50 Pa paine-erolla [1/h]

Q_{50} = painekokeella mitattu ilmavirtaus 50 Pa paine-erolla [m^3/h]

A = rakennuksen/ mitattavan osan ulkovaipan ala [m^2]

Alipainemittauksen jälkeen puhallin käännetään siten, että sen on mahdollista aiheuttaa mitattavaan tilaan ylipaine, jolloin saadaan tehtyä myös ylipainemittaus samoilla paine-eroilla kuin alipainemittauksessakin. Molemmista mittauksista tehdään omat ilmanvuotokäyränsä ja lasketaan rakennukselle ilmanvuotoluku, joka saadaan ali- ja ylipainemittaus tulosten keskiarvosta. (Paloniitty 2012, 54.)

Tiiviysmittauksen yhteydessä suositellaan ilmanvuotojen paikannusta, joka tehdään etenkin silloin, kun rakennus ei saavuta vaadittavaa tiiviyttä. Ilmanvuotokohdat paikannetaan joko lämpökamerakuvauksella tai merkkisavulla. (Paloniitty 2012, 58.)

4.4 Lämpökuvaus

Useimmiten lämpökuvaukseen ryhdytään, kun halutaan paikantaa rakenteissa esiintyvät hallitsemattomat ilmavuodot. Ilmavuodot lisäävät oleellisesti rakennusten energiankulutusta, sillä ulkoilman vuotaessa rakenteiden läpi vetoisuuden tunne kasvaa, mikä puolestaan johtaa sisälämpötilan nostamiseen. (Lämpökuvaus korjausrakentamisen ja ylläpidon erikoisosajalta. 2015.)

Lämpökuvauksen tarkoituksena on määrittää rakennuksen ulkovaipan lämpötekninen kunto, lämmöneristyskerroksen toimivuus ja rakenteellinen tiiveys. Lämpökuvauksella voidaan myös selvittää mm. ilman virtausreittejä, rakenteiden fysikaalista toimintaa, kosteusvaurioita sekä LVIS-laitteiden toimintaa. (RT 14-10850. 2005, 2.)

Lämpökameran toiminta perustuu kuvauskohteen pinnasta lähtevän lämpösäteilyn mittaamiseen. Kamerassa oleva ilmaisin muuttaa lämpösäteilyvoimakkuuden lämpötilatiedoksi, josta muodostuu analysoitava lämpökuva. (Lämpökameran toiminta. 2015.)

Lämpökuvauksesta laaditaan tuloksiin perustuva lämpökuvausraportti ja siihen sisällytetään mittausraportti sekä tarkasteluja kohteen lämpöteknisestä kokonaisuudesta. Raportissa esitetään myös korjausluokitus ja korjausehdotukset, mikäli niihin on tarvetta. Raportissa lämpötilaskaala rajataan yhdenmukaiseksi, esimerkiksi 10–20 °C. Sisäpuolisten kuvien mittausraportissa alarajana käytetään pintalämpötilaindeksiä $TI = 61–70$ % vastaavaa lämpötilaa ja ylärajana sisälämpötilaa. (Paloniitty - Kauppinen 2006, 74.)

Sosiaali- ja terveysministeriö on määritellyt korjausluokitukset, jotka voidaan selvittää laskemalla rakenneosan lämpötilaindeksi (taulukko 3). Lämpötilaindeksillä arvioidaan rakennuksen vaipan lämpötekniistä toimivuutta. Tilanteessa, jossa lämpötilojen mittauksia ei voida tehdä vertailuolosuhteissa, lämpötila täytyy määrittää erikseen laskennallisesti. (RT 14-10850. 2005, 2.)

TAULUKKO 3. Lämpökuvasta lasketun lämpötilaindeksin mukaiset korjausluokitukset

KORJAUSLUOKITUKSET		
TI < 61 %	Pinnan lämpötila ei täytä sosiaali- ja terveysministeriön laatiman asumisterveysohjeen välttävää tasoa. Rakenteiden rakennusfysikaalinen toiminta heikkenee.	Korjattava
TI 61 - 65 %	Täyttää asumisterveysohjeen välttävän tason, mutta ei täytä hyvää tasoa	Korjaustarve harkittava
TI > 65 %	Täyttää asumisterveydelle asetetut hyvän tason vaatimukset, mutta tilan käyttötarkoitus huomioon ottaen voi olla riski kosteus- ja lämpöteknisessä toiminnassa. Tarkastetaan rakenteen kosteustekninen toiminta tai tehtävä muita lisätutkimuksia, esimerkiksi kosteus- tai tiiviysmittaus.	Lisätutkimuksia
TI > 70 %	Täyttää hyvän tason vaatimukset	Ei korjattavaa

Lämpötilaindeksi lasketaan kaavalla 7.

$$TI = \frac{T_{sp} - T_o}{T_i - T_o} * 100 [\%]$$

KAAVA 7

missä

TI = lämpötilaindeksi

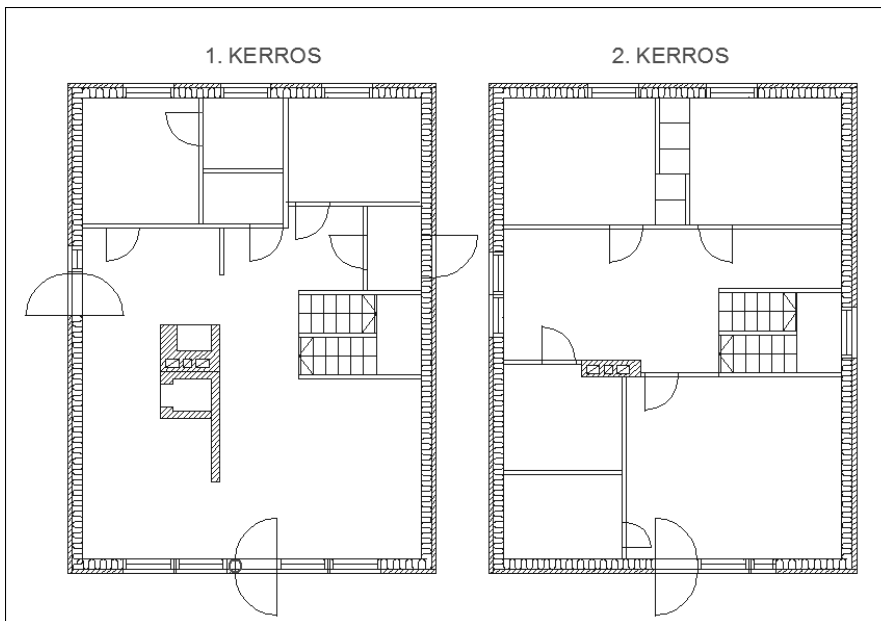
T_{sp} = sisäpinnan lämpötila °C

T_o = ulkoilman lämpötila °C

T_i = sisäilman lämpötila °C

5 OMAKOTITALO KARHULA

Työssä läpikäytävät energiatehokkuuden parantamiseen liittyvät korjaus- ja muutosehdotukset suunnitellaan tehtäviksi Ylikiimingissä sijaitsevaan vuonna 1987 valmistuneeseen 2-kerroksiseen omakotitaloon (kuva 9). Talo on ollut asuinkäytössä valmistumisajankohdastaan vuoteen 2010 saakka, minkä jälkeen taloa on alettu peruskorjaamaan eikä näin ollen ole ollut jatkuvassa käytössä. (Karvonen 2015.)



KUVA 9. Pelkistetyt pohjakuvat

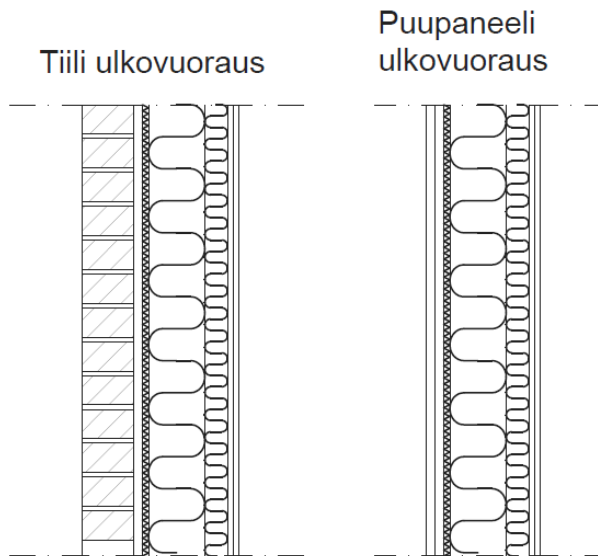
Seuraavassa on lueteltu talon laajuustiedot:

- bruttopinta-ala 201,8 m²
- rakennustilavuus 505,5 m³
- huoneistoala 140,3 m²
- ilmatilavuus 420 m³
- ulkoseinien pinta-ala 137,1 m²
- ikkuna pinta-ala 18,9 m²
- ulko-ovien pinta-ala 10,5 m².

Taloon on tehty pesuhuone- ja saunaremontti vuonna 2011. Kunnostuksen yhteydessä tiloihin on asennettu vedeneristys ja pesuhuoneen seiniin on lisätty lämmöneristettä 50 mm. Ensimmäisen kerroksen wc:ssä tapahtunut vesivuoto, joka levinnyt myös olohuoneen puolelle. Alue on kuivattu ja lattiapinnoite uusittu. Muutoin talo on alkuperäiskunnossaan. (Karvonen 2015.)

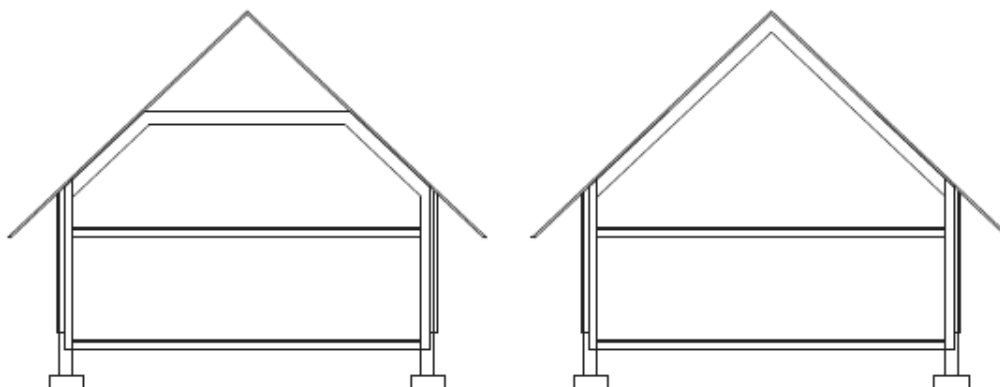
5.1 Vaipan rakenteet

Kohteesta on jäljellä ainoastaan pääpiirustukset vuodelta 1983. Piirustuksissa esitetään vain rakennuksen päämitat, julkisivuverhouksen materiaali sekä ulkoseinärakenteiden päämateriaalit. Tästä johtuen jouduttiin käyttämään muita keinoja käytettyjen rakennusmateriaalien ja niiden mittojen selvittämiseksi. Yhtenä keinona päädyttiin aukaisemaan rakennetta alakerran terassin oven karmin kohdalta. Tällä kohtaa julkisivumateriaalina on pystylomalaudoitus, joka jatkuu koko terassin alueella ja toisen kerroksen ulkoseinien verhouksena yläkolmiossa. Muilta osin talossa on tiiliverhous. Runkomateriaalina on käytetty puuta. Oletettavasti koko rakennuksen osalta runkopuun mitat ovat 48 x 125 mm ja koolauksen mitat 48 x 48 mm. Tässä opinnäytetyössä esitetyt rakenneleikkauskuvia voidaan pitää vain suuntaa-antavina, sillä virallisia mittoja rakennesista ei ole voitu selvittää alkuperäisistä pääpiirustuksista. (Kuva 10.)



KUVA 10. Rakenneleikkaukset ulkoseinistä

Kattotyyppi on jyrkkä harjakatto, jossa on alkuperäinen peltikate. Yläpohjaa ei voida käsitellä yhtenä kokonaisuutena, sillä se koostuu sekä suorista että lappeen muotoisista osista. Yläkerran makuuhuoneiden, wc:n sekä vaatehuoneen osalla yläpohja on jaettavissa vinoihin osiin, joiden välissä yläkolmio. Aulan osalla yläpohja on kokonaisuudessaan harjan muotoinen. (Kuva 11.)



KUVA 11. Rakennuksen leikkauskuvat

Yläpohjan lämmöneristepaksuutta tutkittiin yläkerran ison makuuhuoneen yläkolmion kohdalta. Siltä osin eristepaksuus oli 300 mm, eikä alkuperäisistä rakenneleikkauskuvista voida tarkoin päätellä muiden rakennusosien rakennemittoja. Tätä työtä varten tehdään oletus lämmöneristepaksuuden pysyvän muuttumattomana koko yläpohjarakenteen läpi. Yläkerran aulan ja makuuhuoneiden välisten seinien eristepaksuus ei ole luotettavasti tiedossa, sillä niiltä osin ei ole tehty leikkauskuvia eikä rakenteita ole päästy tutkimaan. Lämpökamerakuvausella kuitenkin saatiin vihjeitä rakenteen huonosta eristävydestä, kun kuvaa otettiin ulkoapäin ullakkotilasta.

Kohteessa on suora sähkölämmitys ja lisälämmityksenä käytetään varaavaa takkauunia. Lämmönjako toimii alakerrassa sähköpattereiden ja lattialämmityksen kautta pesu- ja takkahuoneessa, yläkerrassa käytössä on pelkästään huonekohtainen sähköpatterilämmitys. Käyttöveden lämmitykseen on käytössä sähkövastuksella toimiva tilavuudeltaan 300 litran vesivaraaja. Ilmanvaihto toimii painovoimaisena. Keittiössä liesikupu.

5.2 Kohteessa käytetyt tutkimusmenetelmät

Kiinteistön tilan selvittämiseen käytettiin tiiviysmittausta ja lämpökamerakuvausta, lisäksi tehtiin havaintoja silmämääräisesti ja kerättiin tiedot tilaajalta talotekniikan osalta.

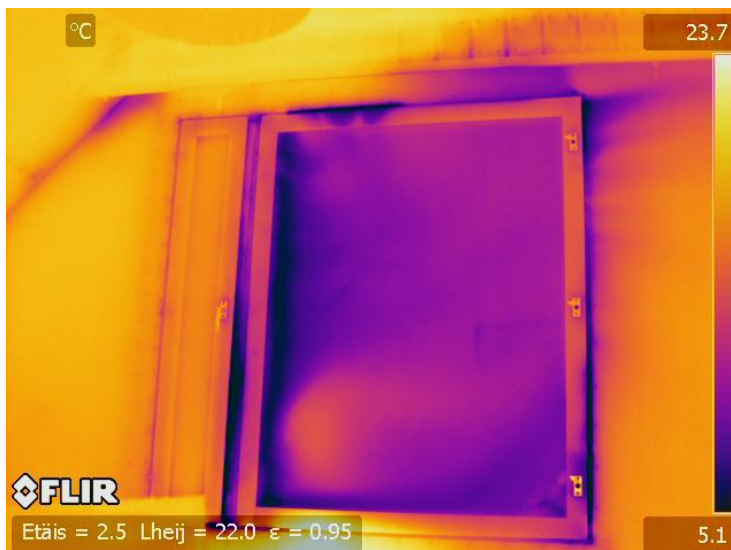
Lämpökamerakuvaus tehtiin kaksi kertaa. Ensimmäisellä kerralla kuvaus suoritettiin normaalissa käyttötilanteessa ja toisen kuvauksen aikana kohteeseen tehtiin tiiviysmittaus, jolloin sisätiloihin saatiin aikaan 50 Pa:n alipaine. Kuvauksesta laaditusta raportista selviävät eri rakennusosien lämpötilaerot valitulla alueella sekä lämpötila valitussa pisteessä kuvan alueella. Lämpötilaindeksi on laskettu jokaisella alueella valitulle pisteelle. Lämpötilaindeksien eri tasoille on määritetty prosentuaaliset luvut, jotka kertovat rakenneosan lämpöteknisestä toiminnasta. (Taulukko 4.)

TAULUKKO 4. Lämpötilaindeksit

LÄMPÖTILAINDEKSI		
RAKENNUSOSA	TASO	
	hyvä	välttävä
Seinät	≥ 87 %	≥ 81 %
lattia	≥ 97 %	≥ 87 %
liitoskohdat ja läpiviennit	≥ 65 %	≥ 61 %

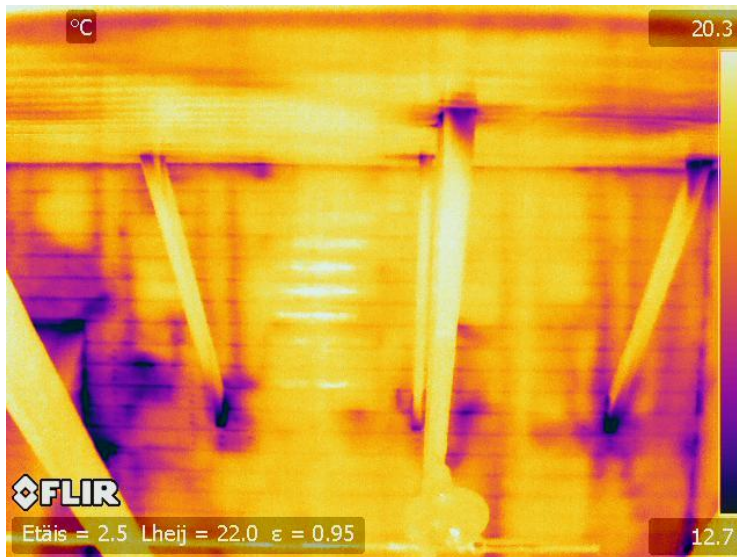
Tehtyjen tiiviysmittaus- ja lämpötutkimusten perusteella löydettiin kolme rakennusosa-aluetta, joita olisi kannattavaa lähteä korjaamaan tai muuttamaan remontin yhteydessä. Korjaustoimenpiteet koskevat ikkunoita, yläpohjaa ja talotekniikkaa.

Lämpökuvauksen yhteydessä huomattiin kohtalaista lämpötilojen muutosta ikkunoiden ja ovien kohdalla. Erityisesti ikkunoiden karmien ja seinän välisissä saumakohdissa lämpötilaero oli huomattava. Tämä oli havaittavissa kaikissa rakennuksen ikkunoissa. (Kuva 12.)



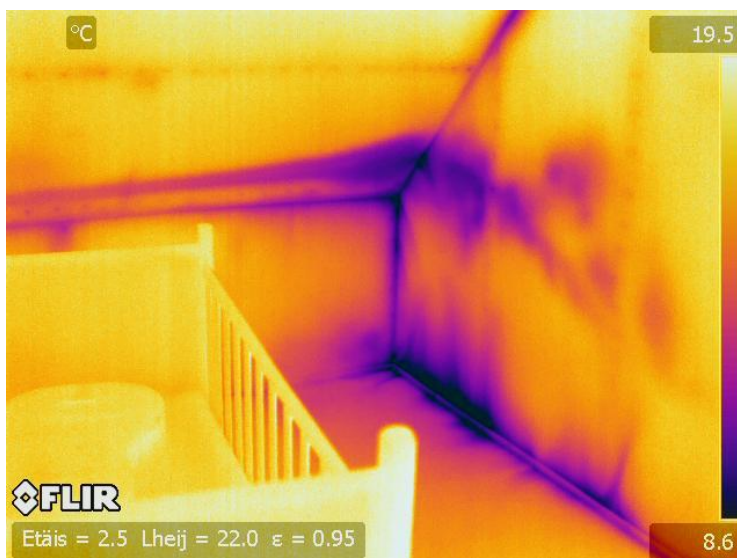
KUVA 12. Ikkunan lämpökuva

Myös yläpohjan läpivientien kohdalla sekä yläpohjan ja seinän liittymäkohdissa voidaan havaita pieniä lämpötilamuutoksia (kuva 13).



KUVA 13. Yläkerran aulan katon lämpökuva

Niin sanottujen kylmäsiltojen eli rakennuksen nurkkien alueella oli havaittavissa selvää lämpötilanmuutosta (kuva 14).



KUVA 14. Lämpökuva kylmäsiltojen kohdalta

6 OMAKOTITALO KARHULAAN ESITETYT MUUTOKSET

Kohteesta pyrittiin löytämään huomattavimmat energiatehokkuuteen vaikuttavat tekijät, joiden ominaisuuksia pystyttäisiin kohtuudella parantamaan. Parannusehdotukset ovat vain esimerkkejä siitä, miten tällaisessa kohteessa voitaisiin parantaa energiatehokkuuteen liittyviä asioita. Erilaisten muutosten vaikutusta haluttiin myös tutkia laskennallisin keinoin, jolloin saadaan vain suuntaa-antavia arvioita energiatehokkuudesta.

6.1 Ikkunat ja ovet

Selvityksen perusteella todettiin, että nykyisten ikkunoiden huonon tiiveyden ja korkean U-arvon (1,8 W/m²K kolmilasinen MSE-ikkuna) vuoksi olisi kannattavaa vaihtaa ikkunat kokonaan uusiin, energiatehokkaimpiin ikkunoihin. Tällä varmistutaan ikkunoiden paremmasta ja laadukkaammasta tiivistämisestä sekä niiden toimivuudesta jatkossa, kunhan ikkunoita muistetaan huoltaa sopivin väliajoin. Toisena vaihtoehtona olisi korjata vanhat ikkunat lasituksen, tiiveyden, puitteiden ja saranoiden osalta. Tällöin ikkunat säilyisivät rakennuksen hengen mukaisena, mutta korjaustyön aikana olisi varmistuttava toimenpiteen laadusta, jotta esimerkiksi tiivistäminen tehtäisiin oikein.

Kohteen uudeksi ikkunamalliksi valikoitui kolmilasinen Skaalan avattava Skandia Beeta FrostFree NFF0,8 –ikkuna, jonka materiaalina on puu-alumiini. Frost-Free-ominaisuus kertoo ikkunan uloimman lasin huurtumattomuudesta. Kyseisen malli valikoitui sen hyvän lämmönläpäisykertoimen vuoksi. (Taulukko 5.) Markkinoilla olisi ollut lämmönjohtavuudeltaan tätäkin parempia ikkunoita, mutta arvioitiin, että valitullakin ikkunalla saataisiin parannettua energiatehokkuutta. Lasituksen sisäpuitteessa kaksi lasinen SuperSpacer–eristyslaselementti, jonka välitilan kaasuna argon. Ikkunan karmileveys valitaan seinän paksuuden mukaan. Tässä tapauksessa valitaan karmisyvyudeksi 175 mm, jolloin ikkunan U-arvo on 0,79 W/m²K.

TAULUKKO 5. Skaala beeta FrostFree NFF0,8 -ikkunan tekniset arvot karmisyyksien mukaan

SKAALA-IKKUNAT				
Skandia Beeta FrostFree NFF0,8		karmisyyvyys [mm]		
		131	175	210
Lämmönläpäisykerroin	U [W/m ² K]	0,82	0,79	0,79
E-arvo	[kWh/m ²]	57	53	53
E-luokka		A+	A+	A+
Auringonsäteilyn kokonaisläpäisy	gw	0,4	0,4	0,4
Ilmanvuoto	L	0,3	0,3	0,3
Valon läpäisevyys	LT [%]	61	61	61

Mikäli ilmanvaihtoa ei lähdetä muuttamaan koneelliseksi tulo-poisto ilmanvaihdoksi, on huomioitava ikkunoiden kautta kulkevan korvausilman saanti. Tämä varmistetaan lisäämällä ikkunaan tuloilmaventtiilit. Venttiili voidaan asentaa sekä vanhaan että uuteen ikkunaan. Uusiksi ikkunoiksi kysyttiin suosituksia niin ikään Skaalan mallistosta. Suosituksena oli Beeta N ikkuna ja Biobe Thermoplus tuloilmaventtiili. Tällöin ikkunan U-arvo olisi 1,0 W/m²K.

Ulko-oveksi valittiin Skaalan mallistosta Beeta-luokan umpiulko-ovi, jonka U-arvo on < 0,8 W/m²K ja ovilevyn paksuus 62 mm. Muut ulko-ovet (3 kpl) ovat niin sanottuja ikkunaovia ja yhtenäisyyden vuoksi nekin päädyttiin valitsemaan Skaalan mallistosta. Ikkunaovien malli on ulospäin avautuva yksilehtinen puu-alumiini-ikkunaovi, joka on yhtenäinen Beeta-malliston suoristusarvojen ja rakenteen kanssa. Karmisyyvyys on sama kuin ikkunoissa (175 mm) ja lasiosa koostuu 3K-tuplaselektiivi ja argon eristyslaselementistä, joiden välissä on SuperSpacer-välilistat. Parvekeovien U-arvo on 0,89–1,0 W/m²K.

6.2 Yläpohja

Kohteen yläpohjan nykyinen U-arvo on määritetty laskennallisesti suuntaantavana. U-arvoksi saatiin $\sim 0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$. Minimivaatimus on $0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$ ja tähän arvoon päästäkseen yläpohjan lämmöneristekerroksen paksuutta olisi kasvatettava 520 mm:iin eristeen lämmönjohtavuuden ollessa $0,045 \text{ W/mK}$ (puhallusvilla). Jos käytetään eristettä, jonka lämmönjohtavuuden arvo on $0,037 \text{ W/mK}$, lämmöneristekerroksen paksuuden tulee olla 400 mm, edellyttäen vanhan eristekerroksen poistamista kokonaan. Nykyinen eristepaksuus on 300 mm ja, koska eristettä olisi lisättävä 100–220 mm, alentaisi se sisäpuolisena asentamisena huonekorkeutta merkittävästi. Paras tapa olisi tehdä lisäeristys ulkopuolisena, mutta siihen vaadittaisiin samaan aikaan tehtävä kattoremontti, joka olisi taloudellisesti suuri investointi eikä tässä tapauksessa kannattavaa.

Rakennuksen yläpohjan vaipan alan suhde koko rakennuksen vaipan alaan on suurempi kuin tavanomaisen yläpohjan omaavalla rakennuksella, jolloin yläpohjan eristämällä olisi suuri vaikutus energiatehokkuuteen. Tämän vuoksi laskelmissa tarkastellaan energiatehokkuuden muuttumista tilanteessa, jossa yläpohja olisi kokonaan lisälämmöneristetty.

6.3 Lämmitysjärjestelmä

Rakennuksen lämmitysmuoto on toimiva, mutta vanhanaikainen ja paljon energiaa kuluttava järjestelmä, jota olisi hyvä tehostaa sopivalla lisälämmitysjärjestelmällä tai korvata kokonaan suurimman osan vuodesta toimivalla järjestelmällä. Koska talossa ei ole valmiina keskuslämmitystä, ei järjestelmävaihtoehtoja jää kovinkaan montaa. Yksi vaihtoehto on asentaa taloon ilmalämpöpumppu, joka tuottaa avariin huonetiloihin lämpöä lauhimpina vuodenaikoina, kylmimpinä aikoina käyttöön otetaan myös sähköpatterit, jolloin ilmalämpöpumppu kykenee tuottamaan vain vähän lämpöä tai joissakin tapauksissa ei ollenkaan. Käytännössä ilmalämpöpumppu ei tuota lämpöä ulkolämpötilan laskiessa alle -20°C :een. Sähköpatterit toimivat huonekohtaisena lämmitysmuotona. Varaava takkaa kannattaa hyödyntää aina kun mahdollista. Lämmin käyttövesi joudutaan edelleen lämmittämään sähkövastuksella.

Vesi- tai ilmakiertoinen keskuslämmönjako voidaan tehdä esimerkiksi lattiasaaneerausyhteydessä. Muutoin toimenpiteen takaisinmaksu aika venyy turhan pitkäksi eikä näin ollen ole mielekäs vaihtoehto.

6.4 Ilmanvaihto

Kohteen painovoimainen ilmanvaihto olisi teknisesti yksinkertaisinta vaihtaa koneelliseen poistoilmanvaihtoon. Poistoilmanvaihto alkaa kuitenkin nykyään olla energiatehokkuuden parantamisen kannalta hyödytön, sillä se tuhlaa tarpeettomasti lämmitysenergiaa. Tällöin alhaisesta alkuinvestoinnista ei ole juurikaan hyötyä, kun lämmitysenergia tuo entistä enemmän kustannuksia. Poistoilmanvaihdon hyötysuhde sähkölämmitteisessä talossa onkin taloudellisesti lähes kannattamaton.

Toinen vaihtoehto olisi asentaa taloon lämmöntalteenotolla varustettu koneellinen tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmä, vaikkakin sen alkuinvestointi tulee kalliimmaksi ja sen tekninen toteutettavuus on haasteellinen. Tämä kuitenkin lisäisi talon arvoa tuntuvasti ja, jos tähän yhdistettäisiin vielä kustannustehokas sekä nykyaikainen lämmitysjärjestelmä, parantaisi se talon energiatehokkuutta huomattavasti.

Tulo-poistoilmanvaihtoon siirryttäessä talon tiiviyyttä parannetaan, jotta koneellisesta ilmanvaihdosta saatava hyöty olisi tarkoituksen mukainen. Yksinkertaisin ja taloudellisin keino parantaa rakennuksen tiiviyyttä on vaihtaa ikkunat ja ovet sekä tiivistää uusien ilmanvaihtokanavien läpimenot huolellisesti. Myös vanhojen läpimenojen ja painovoimaisen ilmanvaihdon toiminnan kannalta oleelliset vaipan aukot on syytä tarkastaa. Aukot peitetään, mikäli niistä on haittaa koneellisen ilmanvaihdon toiminnalle. Myös yläpohjan ja ulkoseinien parantaminen peruskorjauksen yhteydessä tehostaa ilmanvaihdon toimintaa.

Kanavien reititys ja ilmanvaihtokoneen valinta ja sijoitus suunnitellaan yhdessä talotekniikan asiantuntijan kanssa, jotta järjestelmä toimisi hallitusti ja tarkoituk-

sen mukaisesti. Ongelmaksi saattavat koitua kanavien asianmukainen ja talon rakenteisiin sopiva reititys, sillä kohteesta ei löydy varauksia koneelliselle ilmanvaihdolle. Kanavien vaatima tila saattaa olla vaikea löytää ja vaakavetojen teko etenkin toisen kerroksen osalla täytyy harkita tarkkaan, sillä vino katto aulan kohdalla asettaa esimerkiksi koteloinnille haasteita.

7 ENERGIATEHOKKUUDEN SELVITYS LASKENNALLISESTI

Energiatehokkuuden parantumista mitattiin vaiheittain tekemällä tasauslaskenta ja määrittelemällä vaipan lämpöhäviöt kuudella eri korjausmuutoksella. Tasauslaskennassa määriteltiin kaikkien rakennusosien pinta-alat ja U-arvot, huomioitiin ilmanvuotoluku, vuotoilmavirta ja ominaislämpöhäviö ennen ilmanvaihdon lisäämistä laskentaan. Viimeisenä tarkasteltiin vielä ilmanvaihdon aiheuttama muutos ominaislämpöhäviössä. Tällä voitiin kompensoida pelkän vaipan ominaislämpöhäviötä, mikäli suunnitteluratkaisu oli suurempi kuin laskentaohjelman antama vertailuratkaisu. Tavoitteena oli päästä kokonaistarkastelussa alle vertailuratkaisun.

Lämpöhäviön laskentaan lisättiin rakennuksen kylmäsiltojen ja tasauslaskennasta saadun vuotoilman vaikutus. Tuloksena saatiin vaipan lämpöhäviöt vuodessa kilowattitunteina, jotka on mahdollista muuttaa euromääräisiksi luvuiksi. Tätä lukua voidaan käyttää esimerkiksi kustannustarkasteluissa.

7.1 Lämmönjohtavuus arvojen vertailu

Taulukkoon on koottuna alkuperäisten rakenteiden ja muutettujen rakenteiden lämmönjohtavuudet. Uudet lämmönjohtavuudet on laskettu vain niille rakennusosille, joita on tämä opinnäytetyön puitteissa suunniteltu muutettavan. (Taulukko 6.)

TAULUKKO 6. Rakenteiden lämmönjohtavuudet

Rakenne	Lämmönjohtavuus U [W/m ² K]		
	Alkuperäinen	Muutoksen jälkeen	
	Käsin laskenta	A	B
Ulkoseinä (tiili)	0,229		
Ulkoseinä (puu paneeli)	0,233		
Yläpohja	0,169	0,09	0,09
Alapohja	0,233		
Ikkunat	1,8	0,79	

Talon rakenteiden U-arvot on laskettu käsin laskentamenetelmällä (taulukko 7).

TAULUKKO 7. Esimerkki U-arvon laskennasta

ULKOSEINÄ tiili verhous			
Materiaali	kerros-paksuus [m]	lämmönjohtavuus λ [W/Km]	R [W/m ² K]
lastulevy	0,013	0,13	0,1
lastulevy	0,013	0,13	0,1
höyrynsulku	0,00022		
eristevilla	0,05	0,05	1
eristevilla	0,125	0,05	2,5
tuulensuojavilla	0,013	0,05	0,26
ilmarako	0,02		
tiili	0,114	0,5	0,228
sisäpinnan pintavastus			0,13
ulkopinnan pintavastus			0,04
YHTEENSÄ			4,358
Rakenteen lämmönjohtavuus	U	W/m ² K	0,23

Rakenteen lämmönjohtavuuden arvo lasketaan kaavalla 8.

$$U = 1/R_T$$

KAAVA 8

missä

R_T rakennusosan kokonaislämmönvastus ympäristöstä ympäristöön

Rakennusosan kokonaislämmönvastus R_T

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 \dots + R_{se}$$

R_{si} Sisäpuolinen pintavastus

R_{se} Ulkopuolinen pintavastus

R_1 d_1 / λ_1 , jossa d_1 on ainekerroksen paksuus [m] ja λ_1 on ainekerroksen lämmönjohtavuus

7.2 Lämpöhäviöt

Lämpöhäviölaskennassa oli tarkoituksena selvittää kohteelle parhaiten toimiva ratkaisu kuudesta eri vaihtoehdosta. Ideana oli lisätä seuraavaan vaihtoehtoon energiatehokkuutta parantava muutos edellisten muutosten lisäksi, jotta nähdään, millä korjaustoimilla saadaan hyötyä ja milloin korjaustoimenpiteestä ei juuri ole taloudellista hyötyä. (Taulukko 8.)

TAULUKKO 8. Vaipan lämpöhäviöt valituilla ratkaisuilla

Ratkaisu- vaihtoehto	Ominaislämpöhäviö [W/K]		vaipan lämpöhäviöt [kWh/a]
	Vertailuratkaisu	Suunnitteluratkaisu	
1	96	138	181 813
2	96	103	135 892
3	142	187	235 394
4	142	144	184 458
5	142	135	172 505
6	142	126	161 102

Ratkaisuvaihtoehdot ovat seuraavat:

1. Ei muutoksia, lähtötilanne
2. Ikkunat ja ovet vaihdetaan
3. Painovoimainen ilmanvaihto vaihdetaan poistoilmanvaihtoon
4. Ilmanvaihto vaihdetaan tulo-poistoilmanvaihdoksi
5. Yläpohjaan lisätään lämmöneristettä kokonaisuudessaan
6. Teoreettinen tapaus, jossa parannetaan koko rakennuksen vaippa vastaan rakennusosille asetettuja vuoden 2012 vertailuarvoja.

Säätietoina laskennassa käytettiin Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D3 liitteen 2 säätietoja. Sisäpuolisena lämpötilana käytettiin arvoa 21 °C.

Jos energiatehokkuutta tarkastellaan pelkän vaipan lämpöhäviön kautta, havaitaan, että jo pelkällä ikkunoiden ja ovien vaihdolla saadaan noin 25 prosentin parannus vaipan lämpöhäviöön. Sen sijaan ilman rakenteiden lisäeristämistä pelkän huippumurin asentaminen tulee kalliiksi, sillä lämpöhäviöön saadaan jopa 30 prosentin korotus. Koneellinen tulo-poisto ilmanvaihto yhdessä yläpohjan lisäeristyksen kanssa alentaa lämpöhäviötä vain noin viisi prosenttia. Lämpöhäviötä parantaessa on oleellisinta varmistaa talon vaipan tiiviys, jonka jälkeen valitaan kohteeseen sopivat talotekniikkaratkaisut.

Ratkaisuvaihtoehtoja 1 ja 5 vertailtaessa keskenään huomataan yläpohjan lisäeristämällä olevan oleellisesti vaikutusta lämpöhäviöön, kun vuotoilmaa ei huomioida. Pelkän yläpohjan osalta saadaan 46,7 prosentin parannus ja koko vaipan osalta parannus on 31,4 prosenttia. Yläpohjan suurella pinta-alalla on tässä suuri merkitys.

8 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä selvitettiin vuonna 1987 valmistuneen omakotitalon energiatehokkuutta ja tarkasteltiin eri vaihtoehtoja sen parantamiseksi. Työssä keskityttiin tutkimaan vaipan lisälämmöneristämisen ja ilmanvaihdon nykyaikaistamisen vaikutuksia rakennuksen lämpöhäviöihin. Työn rajaamiseksi talon lämmitysjärjestelmää tutkittiin vain käymällä läpi eri vaihtoehtoja, jotka voisivat parantaa talon energiatehokkuutta ja arvoa.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin kartoitettua kohdetalon ongelma-alueet, joille esitettiin korjausehdotuksia. Korjausehdotukset koskivat yläpohjan lisälämmöneristämistä, ikkunoiden ja ovien uusimista sekä ilmanvaihdon muuttamista koneelliseksi. Työn edetessä tutkittiin näiden osa-alueiden vaikutusta energiatehokkuuden muuttumiseen. Suurin hyöty saadaan totta kai parantamalla koko talon rakennusosia yhtäaikaisesti, mutta lämpöhäviölaskennan tuloksista voidaan huomata jo pelkkien ikkunoiden uusimisen vaikutus koko rakennuksen tilanteeseen.

Rakennuksen vaipan tiivistäminen on tapauksesta riippumatta hyödyllistä, kunhan ilmanvaihdon toiminta otetaan huomioon. Koneelliseen tulo- ja poistoilmanvaihtoon siirryttäessä vaipan tiiveyden kohentaminen korostuu entisestään. Ilmanvaihtolaitteita vertailtaessa huomattiin koneen tekniikalla olevan suuri merkitys lämpöhäviölaskennan kannalta. Esimerkiksi talvitoiminnolla varustetut ilmanvaihtokoneet antoivat paremman vuosihyötysuhteen tasauslaskelmaan, mikä puolestaan parantaa myös lämpöhäviölaskennan tuloksia.

Työn edetessä havaittiin, että E-luvun tarkastelu ei sellaisenaan ole kovinkaan merkityksellistä korjauskohteissa. Luotettavasti tästä olisi voinut esittää vain tuloksia, jotka koskevat talotekniikassa tapahtuneiden muutosten vaikutuksia. E-luvun luotettavaa tulkintaa varten tarvittaisiin viralliset tiedot mm. rakennusosien U-arvoista, joita ei tässä tapauksessa pystytty tarkoin määrittämään koko rakennuksen osalta. Uudiskohteissa, joissa energiatodistus vaaditaan, on yksityiskohtaisten tietojen antaminen laskelmaan paljon helpompaa.

LÄHTEET

D3. 2011 Rakennusten energiatehokkuus, määräykset ja ohjeet 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Saatavissa:

http://www.ymparisto.fi/FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma

[FI/Maankaytto ja rakentaminen/Lainsaadanto ja ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma](http://www.ymparisto.fi/FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma). Hakupäivä 1.3.2015.

Energiatehokkaan pientalon ilmanvaihto-opas. 2015. Talotekniikka. Saatavissa:

http://talotekniikka.teknologiateollisuus.fi/sites/lvi-talotekniikka/files/file_attachments/Pientalon%20ilmanvaihto-opas.pdf. Hakupäivä 27.3.2015.

Ikkunoiden vaihtaminen. 2015. Puuinfo. Saatavissa:

<http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/info/puuinfo-julkaisut/ikkunoidenvaihtaminen.pdf>.

Hakupäivä 20.3.2015.

Ilmalämpöpumppu pohjoisen kesässä ja talvessa.

<http://ouluma.fi/2011/11/ilmalampopumppu-pohjoisen-kesassa-ja-talvessa/>. Hakupäivä 26.2.2015.

Ilmanvaihdossakin voi säästää energiaa. 2015. Korjaustieto. Saatavissa:

<http://www.korjaustieto.fi/pientalot/pientalojen-energiatehokkuus/tottumukset-ratkaisevat-energiakulutuksen/ilmanvaihdossakin-voi-saastaa-energiaa.html>.

Hakupäivä 27.3.2015.

Ilmanvaihto energiakorjaus. 2015. Oulun rakennusvalvonta 2015. Saatavissa:

http://www.energiakorjaus.info/pages/kortit/Pientalo_10_Ilmanvaihto_2013_02_01.pdf. Hakupäivä 25.3.2015.

Ilmanvaihto ja ilmanvaihtojärjestelmät. 1995. Rakennustieto. Saatavissa:
<https://www.rakennustieto.fi/bin/get/id/5quoZSPW8%3A%2447%2410591%2446%24pdf.0.0.5gunJ4yOi%3A%2447%24handlers%2447%24net%2447%24statics%2495%24download%2495%24pdf%2446%24stato.5gv06pzjY%3AC1-RT%2495%242715/10591.pdf>. Hakupäivä 27.3.2015

Ilmanvaihtojärjestelmät. 2015. Hengitysliitto. Saatavissa:
<http://www.hengitysliitto.fi/fi/sisailma/ilmanvaihto/ilmanvaihtojarjestelmat>. Hakupäivä 28.3.2015.

Järvinen, Eija 2013. Korjausrakentamiselle energiatehokkuusmääräykset. Saatavissa:
[http://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Julkaisut/Ymparistolehti/2013/Korjausrakentamiselle_energiatehokkuusma\(28165\)](http://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Julkaisut/Ymparistolehti/2013/Korjausrakentamiselle_energiatehokkuusma(28165)). Hakupäivä 7.4.2015.

Karvonen, Antti 2015. Opinnäytetyön tilaaja. Keskustelut joulukuu 2014.

Kauppinen – Paloniitty 2006. Rakennusten lämpökuvaus. Jyväskylä: Rakennusteollisuuden Kustannus RTK Oy.

Kodin energiasäästöohjeita: lämmitys. 2015. Valkeakosken energia. Saatavissa
<http://www.valkeakoskenenergia.fi/Vinkit/Kodinenergians%C3%A4%C3%A4st%C3%B6hjeita/L%C3%A4mmitys/tabid/2721/Default.aspx>. Hakupäivä 22.2.2015.

Lahtinen, Kati 2014. Viri ja Valkee Vanhan rakennuksen lämpö- ja energiatalous. Hämeenkyrö: Lunette rakennusperinnepalvelut.

Lämpökameran toiminta. 2015. Infradex. Saatavissa:
<http://www.infradex.com/kuinka.html>. Hakupäivä 22.2.2015.

Lämpökuvaus korjausrakentamisen ja ylläpidon erikoisosajalta. 2015. Talokeskus. Saatavissa:
<http://www.talokeskus.fi/yllapitopalvelut/energianhallinta/lampokuvaus/>. Hakupäivä 22.2.2015.

Painovoimaisen ilmanvaihdon tehostaminen asuinkerrostalossa. 2015 Rakennusperintö. Saatavissa:
http://www.rakennusperinto.fi/Hoito/Korjaus_artikkelit/fi_FI/Painovoimaisen_ilmanvaihdon_tehostaminen_asuinkerrostaloissa/. Hakupäivä 25.3.2015.

Pientalon lämmitysjärjestelmät, 5. 2015. Motiva. Saatavissa:
http://www.motiva.fi/files/2701/Pientalon_lammitysjarjestelmat.pdf. Hakupäivä 23.3.2015.

Puhdas korvausilma rakoventtiilillä. 2015. Allergia-apu. Saatavissa:
<http://www.allergia-apu.fi/palvelut/ilmanvaihto/rakoventtiili.html>. Hakupäivä 26.3.2015.

Pylsy, Petri 2014. Uudet energiatehokkuusmääräykset korjausrakentamisessa – Opas taloyhtiöille. Helsinki: Kiinteistöalan Kustannus Oy.

Rakennuksen lämpökuvaus 2005. Rakennustieto Oy. Saatavissa:
https://www.rakennustieto.fi/kortistot/tuotteet/RT_9112.html.stx. Hakupäivä 21.2.2015.

Saari, Mikko 1999. Energiatehokkaiden rakennusten suunnittelu. Saatavissa:
virtual.vtt.fi/virtual/proj6/environ2/rem/energiankulutus.doc. Hakupäivä 26.2.2015.

Tasauslaskentaopas 2012. Ympäristöministeriö. Saatavissa: http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma. Hakupäivä 10.4.2015.

Paloniitty, Pauli 2012. Rakennusten tiiviysmittaus. Tampere: Suomen rakennusmedia Oy.

Toimivan katot,84. 2013. Kattoliitto. Saatavissa:

http://www.kattoliitto.fi/files/504/Toimivat_Katot_2013_reduced_size_.pdf.

Hakupäivä 22.3.2015.

Ulkoseinän lisälämmöneristys. 2013. Oulun kaupunki. Saatavissa:

http://www.energiakorjaus.info/pages/kortit/Pientalo_6_Ulkoseina_2013_02_01.pdf. Hakupäivä 31.3.2015.

Yläpohjan lisälämmöneristys. 2015. Oulun rakennusvalvonta. Saatavissa:

http://www.energiakorjaus.info/pages/kortit/Pientalo_7_Ylapohja_2013_02_01.pdf. Hakupäivä 22.3.2015.

RT 83–11161. 2014. Yläpohjan lisälämmöneristäminen. Rakennustieto Oy.

Saatavissa:

<https://www.rakennustieto.fi/bin/get/id/5guoZSPW8%3A%2447%2411161%2446%24pdf.0.0.5gunJ4yOi%3A%2447%24handlers%2447%24net%2447%24statistics%2495%24download%2495%24pdf%2446%24stato.5gv06pzjY%3AC1-110394/11161.pdf>. Hakupäivä 22.3.2015.

Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä. 2013. Ympäristöministeriö. Saatavissa:

<http://www.finlex.fi/fi/viranomaiset/normi/700001/40799>. Hakupäivä 22.3.2015.

Vaipan lämpöhäviöt
Ratkaisuvaihtoehto 1 Rakennuksen lähtötilanne

Kuukausi	US		Ikkunat		Ovet		YP		AP Mv.		Kymäsiilat		Johtuminen yhteensä	Vuotoilma		Vaipan lämpöhäviöt yhteensä						
	U- arvo	ala	U- arvo	ala	U- arvo	ala	U- arvo	ala	U- arvo	ala	Konduktanssi	W/K		kWh/a	Tasauslaskelma		W/K	kWh/a				
													W/ m2K			m2			kWh/a	W/m2K	m2	kWh/a
1	0,23	137	658	1,8	18,9	710	1,8	10,5	395	0,169	107,8	380	0,233	87,3	186	10,1	210,89	2541	138	13622	16162,83269	
2	0,23	137	638	1,8	18,9	688	1,8	10,5	382	0,169	107,8	369	0,233	87,3	172	10,1	204,34	2454	138	13622	16076,32755	
3	0,23	137	556	1,8	18,9	600	1,8	10,5	333	0,169	107,8	321	0,233	87,3	141	10,1	178,16	2131	138	13622	15752,9923	
4	0,23	137	422	1,8	18,9	456	1,8	10,5	253	0,169	107,8	244	0,233	87,3	116	10,1	135,26	1626	138	13622	15248,01129	
5	0,23	137	277	1,8	18,9	299	1,8	10,5	166	0,169	107,8	160	0,233	87,3	61	10,1	88,718	1052	138	13622	14674,11551	
6	0,23	137	173	1,8	18,9	186	1,8	10,5	103	0,169	107,8	100	0,233	87,3	32	10,1	55,267	649	138	13622	14271,06529	
7	0,23	137	118	1,8	18,9	127	1,8	10,5	71	0,169	107,8	68	0,233	87,3	42	10,1	37,814	464	138	13622	14085,97809	
8	0,23	137	163	1,8	18,9	176	1,8	10,5	98	0,169	107,8	94	0,233	87,3	34	10,1	52,358	619	138	13622	14241,14461	
9	0,23	137	268	1,8	18,9	289	1,8	10,5	161	0,169	107,8	155	0,233	87,3	66	10,1	85,81	1024	138	13622	14646,45316	
10	0,23	137	384	1,8	18,9	414	1,8	10,5	230	0,169	107,8	222	0,233	87,3	105	10,1	122,9	1477	138	13622	15099,04855	
11	0,23	137	518	1,8	18,9	558	1,8	10,5	310	0,169	107,8	299	0,233	87,3	119	10,1	165,8	1970	138	13622	15592,44617	
12	0,23	137	611	1,8	18,9	659	1,8	10,5	366	0,169	107,8	353	0,233	87,3	156	10,1	195,62	2341	138	13622	15962,89608	
yht.			4786			5163			2869		2765				1230		1533	18346			163467	181813

2592000 kuukausi sekuntia

3600000 Joule/a = kWh/a

0,72

Vaipan lämpöhäviöt

Ratkaisuvaihtoehto 2

Uusien ikkunoiden ja ovien lämmönläpäisykerroin $U = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$

Kuukausi	US		Ikkunat		Ovet		YP		AP Mw.		Kylmäsiilat		Johdus- minen yhteen- sä	Vuotoilma		Vaipan lämpöhäviöt yhteensä		
	W/ m2K	m2	W/ m2K	m2	W/m2K	m2	W/m2K	m2	W/m2K	m2	W/K	kWh/a		kWh/a	Tasausk- elmasta		W/K	kWh/a
1	0,23	137	0,8	18,9	0,8	10,5	0,169	107,8	0,233	87,3	10,1	210,89	1927	103	10167	12094,04069		
2	0,23	137	0,8	18,9	0,8	10,5	0,169	107,8	0,233	87,3	10,1	204,34	1859	103	10167	12026,58675		
3	0,23	137	0,8	18,9	0,8	10,5	0,169	107,8	0,233	87,3	10,1	178,16	1612	103	10167	11779,3963		
4	0,23	137	0,8	18,9	0,8	10,5	0,169	107,8	0,233	87,3	10,1	135,26	1232	103	10167	11399,36649		
5	0,23	137	0,8	18,9	0,8	10,5	0,169	107,8	0,233	87,3	10,1	88,718	794	103	10167	10960,94591		
6	0,23	137	0,8	18,9	0,8	10,5	0,169	107,8	0,233	87,3	10,1	55,267	488	103	10167	10655,26849		
7	0,23	137	0,8	18,9	0,8	10,5	0,169	107,8	0,233	87,3	10,1	37,814	354	103	10167	10520,98449		
8	0,23	137	0,8	18,9	0,8	10,5	0,169	107,8	0,233	87,3	10,1	52,358	466	103	10167	10633,81501		
9	0,23	137	0,8	18,9	0,8	10,5	0,169	107,8	0,233	87,3	10,1	85,81	774	103	10167	10941,75076		
10	0,23	137	0,8	18,9	0,8	10,5	0,169	107,8	0,233	87,3	10,1	122,9	1119	103	10167	11286,38935		
11	0,23	137	0,8	18,9	0,8	10,5	0,169	107,8	0,233	87,3	10,1	165,8	1488	103	10167	11654,89577		
12	0,23	137	0,8	18,9	0,8	10,5	0,169	107,8	0,233	87,3	10,1	195,62	1771	103	10167	11938,55688		
yht		4786		2295		1275		2765		1230		1533	13884		122008	135892		

2592000 kuukausi sekuntia

3600000 Joule/a = kWh/a

0,72

Vaipan lämpöhäviöt

Painovoimainen ilmanvaihto muutettu poistoilmanvaihdoksi

Ratkaisuvaihtoehto 3

Kuukausi	US		Ikkunat		Ovet		YP		AP Mw.		Kylmäsiilat		Johtuminen yhteensä	Vuotoilma		Vaipan lämpöhäviöt yhteensä	
	U- arvo	ala	U- arvo	ala	U- arvo	ala	U- arvo	ala	U- arvo	ala	W/m ² K	m ²		W/K	kWh/a		W/K
1	0,23	137	0,8	18,9	0,8	10,5	0,169	107,8	0,233	87,3	10,1	210,89	1927	187	18459	20385,84869	
2	0,23	137	0,8	18,9	0,8	10,5	0,169	107,8	0,233	87,3	10,1	204,34	1859	187	18459	20318,39475	
3	0,23	137	0,8	18,9	0,8	10,5	0,169	107,8	0,233	87,3	10,1	178,16	1612	187	18459	20071,2043	
4	0,23	137	0,8	18,9	0,8	10,5	0,169	107,8	0,233	87,3	10,1	135,26	1232	187	18459	19691,17449	
5	0,23	137	0,8	18,9	0,8	10,5	0,169	107,8	0,233	87,3	10,1	88,718	794	187	18459	19252,75391	
6	0,23	137	0,8	18,9	0,8	10,5	0,169	107,8	0,233	87,3	10,1	55,267	488	187	18459	18947,07649	
7	0,23	137	0,8	18,9	0,8	10,5	0,169	107,8	0,233	87,3	10,1	37,814	354	187	18459	18812,79249	
8	0,23	137	0,8	18,9	0,8	10,5	0,169	107,8	0,233	87,3	10,1	52,358	466	187	18459	18925,62301	
9	0,23	137	0,8	18,9	0,8	10,5	0,169	107,8	0,233	87,3	10,1	85,81	774	187	18459	19233,55876	
10	0,23	137	0,8	18,9	0,8	10,5	0,169	107,8	0,233	87,3	10,1	122,9	1119	187	18459	19578,19735	
11	0,23	137	0,8	18,9	0,8	10,5	0,169	107,8	0,233	87,3	10,1	165,8	1488	187	18459	19946,70377	
12	0,23	137	0,8	18,9	0,8	10,5	0,169	107,8	0,233	87,3	10,1	195,62	1771	187	18459	20230,36488	
yht.																	235394
																	13884
																	1533
																	1230
																	2765
																	1275
																	2295
																	4786

2592000 kuukausi sekuntia

3600000 Joule/a = kWh/a

0,72

Vaipan lämpöhäviöt

Ratkaisuvaihtoehto 4

Painovoimainen ilmanvaihto muutettu lämmöntalteenotolla varustettuun tulo-poisilmanvaihdoksi

Kuukausi	US		Ikkunat		Ovet		YP		AP Mv.		Kylmäsiilat		Johtu- minen yhteen- sä	Vuotoilma		Vaipan lämpöhäviöt yhteensä		
	U- arvo	ala	U- arvo	ala	U- arvo	ala	U- arvo	ala	U- arvo	ala	W/K	kWh/a		W/K	kWh/a		W/K	kWh/a
1	0,23	137	0,8	18,9	0,8	10,5	0,169	107,8	0,233	87,3	10,1	210,89	1927	144	14215	16141,23269		
2	0,23	137	0,8	18,9	0,8	10,5	0,169	107,8	0,233	87,3	10,1	204,34	1859	144	14215	16073,77875		
3	0,23	137	0,8	18,9	0,8	10,5	0,169	107,8	0,233	87,3	10,1	178,16	1612	144	14215	15826,5883		
4	0,23	137	0,8	18,9	0,8	10,5	0,169	107,8	0,233	87,3	10,1	135,26	1232	144	14215	15446,55849		
5	0,23	137	0,8	18,9	0,8	10,5	0,169	107,8	0,233	87,3	10,1	88,718	794	144	14215	15008,13791		
6	0,23	137	0,8	18,9	0,8	10,5	0,169	107,8	0,233	87,3	10,1	55,267	488	144	14215	14702,46049		
7	0,23	137	0,8	18,9	0,8	10,5	0,169	107,8	0,233	87,3	10,1	37,814	354	144	14215	14568,17649		
8	0,23	137	0,8	18,9	0,8	10,5	0,169	107,8	0,233	87,3	10,1	52,358	466	144	14215	14681,00701		
9	0,23	137	0,8	18,9	0,8	10,5	0,169	107,8	0,233	87,3	10,1	85,81	774	144	14215	14988,94276		
10	0,23	137	0,8	18,9	0,8	10,5	0,169	107,8	0,233	87,3	10,1	122,9	1119	144	14215	15333,58135		
11	0,23	137	0,8	18,9	0,8	10,5	0,169	107,8	0,233	87,3	10,1	165,8	1488	144	14215	15702,08777		
12	0,23	137	0,8	18,9	0,8	10,5	0,169	107,8	0,233	87,3	10,1	195,62	1771	144	14215	15985,74888		
yht		4786		2295		1275		2765		1230		1533	13884		170574	184458		

2592000 kuukausi sekuntia

3600000 Joule/a = kWh/a

0,72

Vaipan lämpöhäviöt

Ratkaisuvaihtoehto 5 Painovoimainen ilmanvaihto muutettu lämmöntalteenotolla varustettuun tulo-poistoilmanvaihdoksi ja yläpohjassa lisälämmöneriste kerros.

Kuukausi	US		Ikkunat		Ovet		YP		AP Mv.		Kylmäsiilat		Johtu- minen yhteen- sä	Vuotoilma		Vaipan lämpöhäviöt yhteensä	
	U- arvo	ala	U- arvo	ala	U- arvo	ala	U- arvo	ala	U- arvo	ala	W/K	kWh/a		W/K	kWh/a		
	W/ m2K	m2	W/ m2K	m2	W/m2K	m2	W/m2K	m2	W/m2K	m2	W/K	kWh/a	W/K	kWh/a			
1	0,23	137	0,8	18,9	0,8	10,5	0,090	107,8	0,233	87,3	186	10,1	210,89	135	13326	15075,00644	
2	0,23	137	0,8	18,9	0,8	10,5	0,090	107,8	0,233	87,3	172	10,1	204,34	135	13326	15013,07099	
3	0,23	137	0,8	18,9	0,8	10,5	0,090	107,8	0,233	87,3	141	10,1	178,16	135	13326	14787,95453	
4	0,23	137	0,8	18,9	0,8	10,5	0,090	107,8	0,233	87,3	116	10,1	135,26	135	13326	14444,10154	
5	0,23	137	0,8	18,9	0,8	10,5	0,090	107,8	0,233	87,3	61	10,1	88,718	135	13326	14044,92361	
6	0,23	137	0,8	18,9	0,8	10,5	0,090	107,8	0,233	87,3	32	10,1	55,267	135	13326	13767,45184	
7	0,23	137	0,8	18,9	0,8	10,5	0,090	107,8	0,233	87,3	42	10,1	37,814	135	13326	13647,88384	
8	0,23	137	0,8	18,9	0,8	10,5	0,090	107,8	0,233	87,3	34	10,1	52,358	135	13326	13748,45103	
9	0,23	137	0,8	18,9	0,8	10,5	0,090	107,8	0,233	87,3	66	10,1	85,81	135	13326	14028,18112	
10	0,23	137	0,8	18,9	0,8	10,5	0,090	107,8	0,233	87,3	105	10,1	122,9	135	13326	14341,54822	
11	0,23	137	0,8	18,9	0,8	10,5	0,090	107,8	0,233	87,3	119	10,1	165,8	135	13326	14673,87783	
12	0,23	137	0,8	18,9	0,8	10,5	0,090	107,8	0,233	87,3	156	10,1	195,62	135	13326	14932,39912	
yht		4786		2295		1275		1473		1230		1533		12591		159913	172505

2592000 kuukausi sekuntia

3600000 Joule/a = kWh/a

0,72

Vaipan lämpöhäviöt

Ratkaisuvaihtoehto 6

Teoreettinen malli, jossa painovoimainen ilmanvaihto muutettu lämmöntalteenotolla varustettuun tulo-poistoilmanvaihdoksi ja kaikkien rakenneosien lämmönläpäisykerroimet muutettu vastaamaan vuoden 2012 vertailuarvoja.

Kuukausi	US		Ikkunat		Ovet		YP		AP Mv.		Kylmäsiilat Konduktanssi	Johtuminen yhteensä kWh/a	Vuotoilma		Vaipan lämpöhäviöt yhteensä						
	U-ارvo	ala	U-ارvo	ala	U-ارvo	ala	U-ارvo	ala	U-ارvo	ala			W/K	kWh/a		Tasauslaskelmasta	W/K kWh/a				
	W/m ² K	m ²	W/m ² K	m ²	W/m ² K	m ²	W/m ² K	m ²	W/m ² K	m ²	W/m ² K	kWh/a	W/K	kWh/a	W/K kWh/a						
	kWh/a	m ²	kWh/a	m ²	kWh/a	m ²	kWh/a	m ²	kWh/a	m ²	kWh/a	kWh/a	W/K	kWh/a	W/K kWh/a						
1	0,17	137	487	1	18,9	395	1	10,5	219	0,090	107,8	203	0,160	87,3	128	10,1	210,89	1642	126	12438	14079,36621
2	0,17	137	472	1	18,9	382	1	10,5	212	0,090	107,8	196	0,160	87,3	118	10,1	204,34	1585	126	12438	14023,15847
3	0,17	137	411	1	18,9	333	1	10,5	185	0,090	107,8	171	0,160	87,3	97	10,1	178,16	1376	126	12438	13813,8642
4	0,17	137	312	1	18,9	253	1	10,5	141	0,090	107,8	130	0,160	87,3	79	10,1	135,26	1050	126	12438	13488,08189
5	0,17	137	205	1	18,9	166	1	10,5	92	0,090	107,8	85	0,160	87,3	42	10,1	88,718	679	126	12438	13116,70988
6	0,17	137	128	1	18,9	103	1	10,5	57	0,090	107,8	53	0,160	87,3	22	10,1	55,267	419	126	12438	12856,26685
7	0,17	137	87	1	18,9	71	1	10,5	39	0,090	107,8	36	0,160	87,3	29	10,1	37,814	300	126	12438	12737,68816
8	0,17	137	121	1	18,9	98	1	10,5	54	0,090	107,8	50	0,160	87,3	24	10,1	52,358	399	126	12438	12837,14043
9	0,17	137	198	1	18,9	161	1	10,5	89	0,090	107,8	82	0,160	87,3	45	10,1	85,81	661	126	12438	13099,13425
10	0,17	137	284	1	18,9	230	1	10,5	128	0,090	107,8	118	0,160	87,3	72	10,1	122,9	954	126	12438	13391,82475
11	0,17	137	383	1	18,9	310	1	10,5	172	0,090	107,8	159	0,160	87,3	82	10,1	165,8	1272	126	12438	13709,69401
12	0,17	137	451	1	18,9	366	1	10,5	203	0,090	107,8	188	0,160	87,3	107	10,1	195,62	1512	126	12438	13949,52553
yht			3537			2869			1594		1473	845			845		1533	11850		149253	161102

2592000 kuukausi sekuntia

3600000 Joule/a = kWh/a

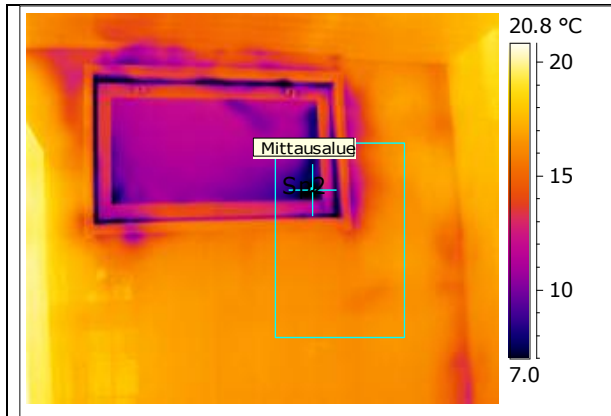
0,72

Kuvaspaikka: KPH ikkuna

Kuvaspivämäärä: 27.2.2015

Lämpökuva

KPH ikkuna



Nro. 1

Mittausparametrit

Mittauspisteen lämpötila	6.3 °C	Emissiivisyys (Lämpökuvasta)	0.95
Mittausalueen maksimi lämpötila	17.0 °C	Heijastuva lämpötila (lämpökuvasta)	22.0 °C
Mittausalueen minimi lämpötila	3.0 °C	Etäisyys (Lämpökuvasta)	3.0 m
		Kameratyyppi	ThermaCAM P660 West

Ulkoilman olosuhteet

Sisäilman olosuhteet

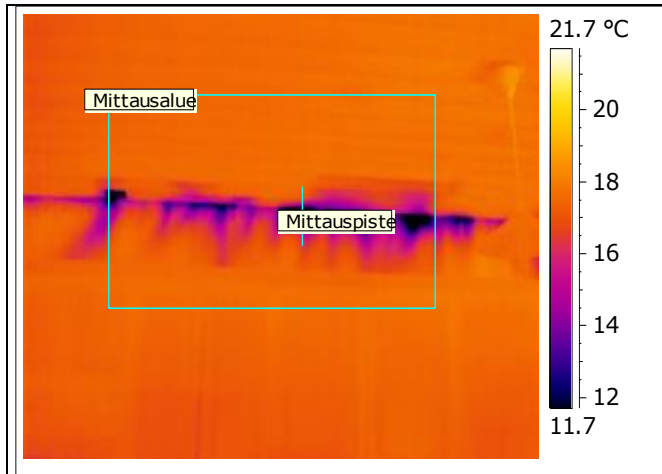
Tuulen nopeus/tuulen suunta	5 m/s	Sisäilman suhteellinen kosteus	32.0 %
Pilvisyys	Pilvistä	Sisäilman lämpötila (Ilman lämpötila lämpökuvasta)	21.0 °C
Ulkoilman lämpötila (vertailulämpö lämpökuvasta)	1.0 °C		

Kuvaspaikka: Keittiö

Kuvaspäivämäärä: 27.2.2015

Lämpökuva

Keittiö



Nro 2.

Mittausparametrit

Mittauspisteen lämpötila	10.8 °C	Emissiivisyys (Lämpökuvasta)	0.95
Mittausalueen maksimi lämpötila	18.0 °C	Heijastuva lämpötila (lämpökuvasta)	22.0 °C
Mittausalueen minimi lämpötila	6.7 °C	Etäisyys (Lämpökuvasta)	3.0 m
		Kameratyyppi	ThermaCAM P660 West

Ulkoilman olosuhteet

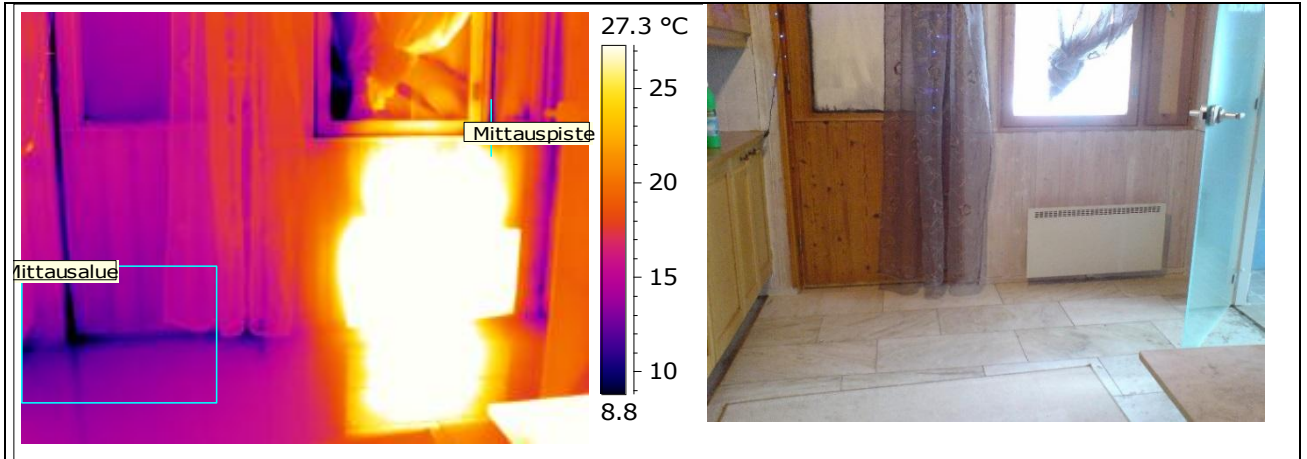
Sisäilman olosuhteet

Tuulen nopeus/tuulen suunta	5 m/s	Sisäilman suhteellinen kosteus	32.0 %
Pilvisyys	Pilvistä	Sisäilman lämpötila (Ilman lämpötila lämpökuvasta)	21.0 °C
Ulkoilman lämpötila (vertailulämpö lämpökuvasta)	1.0 °C		

Kommentit:

Kuvasuoritus tiiviysmittauksen yhteydessä 50 Pascalin alipaineessa.

Kuvauspaikka: Takkahuone	Kuvauspäivämäärä: 27.2.2015
---------------------------------	------------------------------------

Lämpökuva**Takkahuone**

Nro 3.		Mittausparametrit	
Mittauspisteen lämpötila	7.9 °C	Emissiivisyys (Lämpökuvasta)	0.95
Mittausalueen maksimi lämpötila	15.7 °C	Heijastuva lämpötila (lämpökuvasta)	22.0 °C
Mittausalueen minimi lämpötila	3.5 °C	Etäisyys (Lämpökuvasta)	3.0 m
		Kameratyyppi	ThermaCAM P660 West

Ulkoilman olosuhteet**Sisäilman olosuhteet**

Tuulen nopeus/tuulen suunta	5 m/s	Sisäilman suhteellinen kosteus	32.0 %
Pilvisyys	Pilvistä	Sisäilman lämpötila (Ilman lämpötila lämpökuvasta)	21.0 °C
Ulkoilman lämpötila (vertailulämpö lämpökuvasta)	1.0 °C		

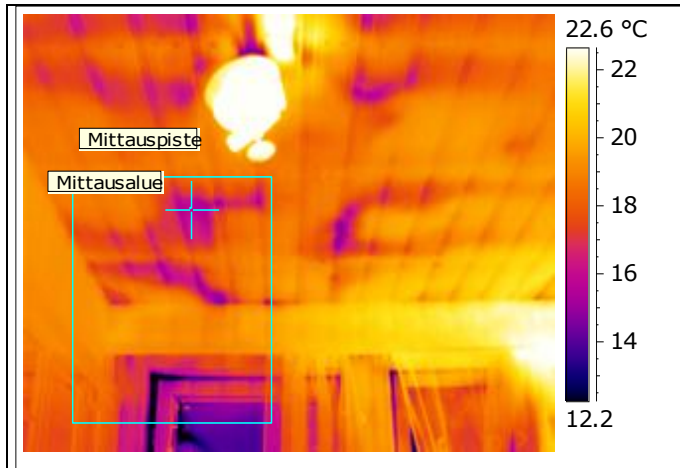
Kommentit:

Kuvaus suoritettu tiiviysmittauksen yhteydessä 50 Pascalin alipaineessa.

Kuvauspaikka: Takkahuone

Kuvauspäivämäärä: 27.2.2015

Lämpökuva



Takkahuone



Nro 1.

Mittausparametrit

Mittauspisteen lämpötila	15.9 °C	Emissiivisyys (Lämpökuvasta)	0.95
Mittausalueen maksimi lämpötila	20.6 °C	Heijastuva lämpötila (LHei lämpökuvasta)	22.0 °C
Mittausalueen minimi lämpötila	7.7 °C	Etäisyys (Lämpökuvasta)	3.0 m
		Kameratyyppi	ThermaCAM P660 West

Ulkoilman olosuhteet

Tuulen nopeus/tuulen suunta	5 m/s
Pilvisyys	Pilvistä
Ulkoilman lämpötila (vertailulämpö lämpökuvasta)	1.0 °C

Sisäilman olosuhteet

Sisäilman suhteellinen kosteus	32.0 %
Sisäilman lämpötila (Ilman lämpötila lämpökuvasta)	21.0 °C

Kommentit:

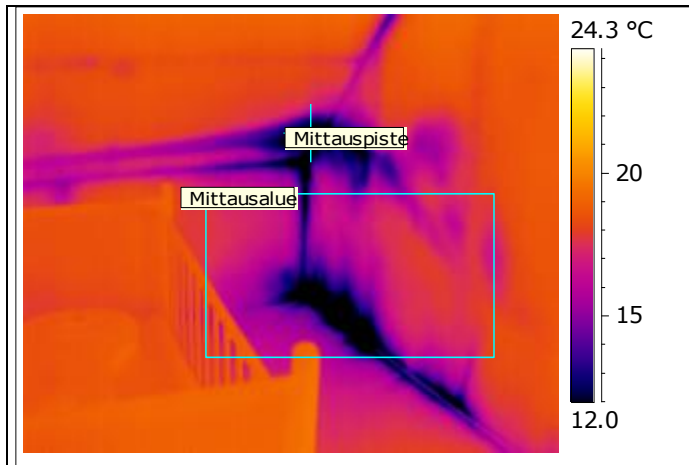
Kuvaus suoritettu tiiviysmittauksen yhteydessä 50 Pascalin alipaineessa.

Kuvaspaikka: Makuuhuone 1

Kuvaspäivämäärä: 27.2.2015

Lämpökuva

Lastenhuone



Nro 2.

Mittausparametrit

Mittauspisteen lämpötila	10.9 °C	Emissiivisyys (Lämpökuvasta)	0.95
Mittausalueen maksimi lämpötila	19.5 °C	Heijastuva lämpötila (lämpökuvasta)	22.0 °C
Mittausalueen minimi lämpötila	5.7 °C	Etäisyys (Lämpökuvasta)	3.0 m
		Kameratyyppi	ThermaCAM P660 West

Ulkoilman olosuhteet

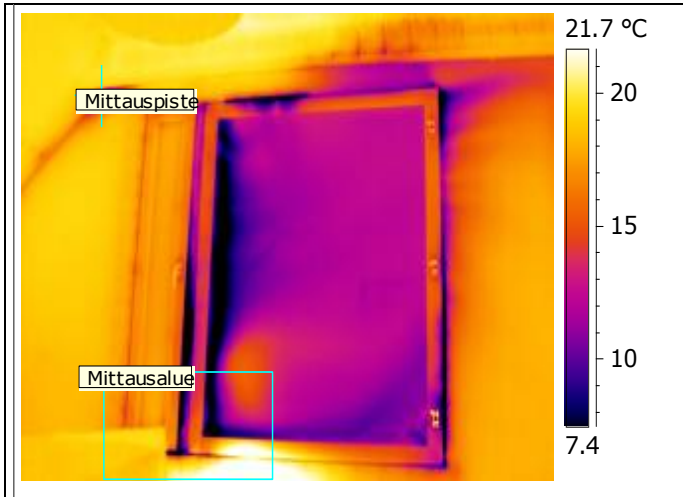
Sisäilman olosuhteet

Tuulen nopeus/tuulen suunta	5 m/s	Sisäilman suhteellinen kosteus	32.0 %
Pilvisyys	Pilvistä	Sisäilman lämpötila (Ilman lämpötila lämpökuvasta)	21.0 °C
Ulkoilman lämpötila (vertailulämpö lämpökuvasta)	1.0 °C		

Kommentit:

Kuvaus suoritettu tiiviysmittauksen yhteydessä 50 Pascalin alipaineessa.

Kuvauspaikka: Makuuhuone 1	Kuvauspäivämäärä: 27.2.2015
-----------------------------------	------------------------------------

Lämpökuva**Makuuhuone 1**

Nro 3.

Mittausparametrit

Mittauspisteen lämpötila	11.6 °C	Emissiivisyys (Lämpökuvasta)	0.95
Mittausalueen maksimi lämpötila	26.0 °C	Heijastuva lämpötila (lämpökuvasta)	22.0 °C
Mittausalueen minimi lämpötila	2.6 °C	Etäisyys (Lämpökuvasta)	3.0 m
		Kameratyyppi	ThermaCAM P660 West

Ulkoilman olosuhteet**Sisäilman olosuhteet**

Tuulen nopeus/tuulen suunta	5 m/s	Sisäilman suhteellinen kosteus	32.0 %
Pilvisyys	Pilvistä	Sisäilman lämpötila (Ilman lämpötila lämpökuvasta)	21.0 °C
Ulkoilman lämpötila (vertailulämpö lämpökuvasta)	1.0 °C		

Kommentit:

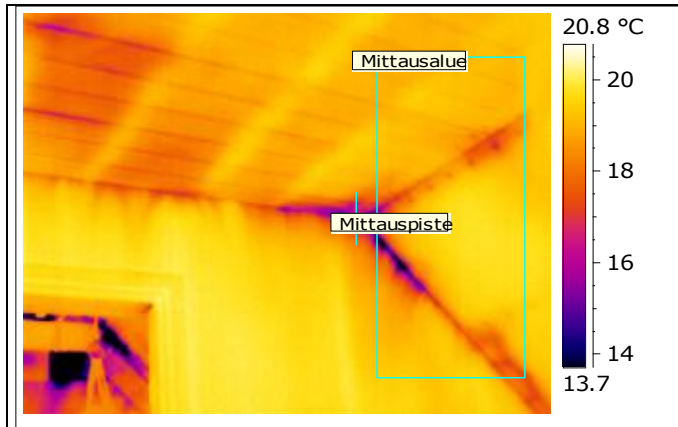
Kuvaus suoritettu tiiviysmittauksen yhteydessä 50 Pascalin alipaineessa.

Kuvaspaikka: Makuuhuone 1

Kuvauspäivämäärä: 27.2.2015

Lämpökuva

Makuuhuone 1



Nro 4.

Mittausparametrit

Mittauspisteen lämpötila	12.7 °C	Emissiivisyys (Lämpökuvasta)	0.95
Mittausalueen maksimi lämpötila	20.2 °C	Heijastuva lämpötila (lämpökuvasta)	22.0 °C
Mittausalueen minimi lämpötila	11.1 °C	Etäisyys (Lämpökuvasta)	3.0 m
		Kameratyyppi	ThermaCAM P660 West

Ulkoilman olosuhteet

Sisäilman olosuhteet

Tuulen nopeus/tuulen suunta	5 m/s	Sisäilman suhteellinen kosteus	32.0 %
Pilvisyys	Pilvistä	Sisäilman lämpötila (Ilman lämpötila lämpökuvasta)	21.0 °C
Ulkoilman lämpötila (vertailulämpö lämpökuvasta)	1.0 °C		

Kommentit:

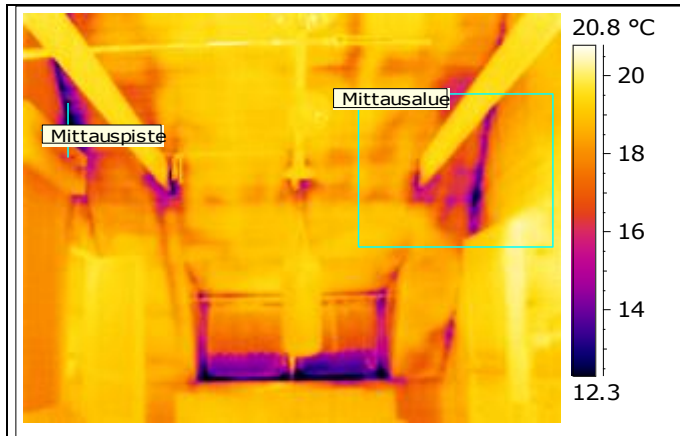
Kuvaus suoritettu tiiviysmittauksen yhteydessä 50 Pascalin alipaineessa.

Kuvaspaikka: 2 krs. aula

Kuvaspävämäärä: 27.2.2015

Lämpökuva

2 krs. aula



Nro 5.

Mittausparametrit

Mittauspisteen lämpötila	9.5 °C	Emissiivisyys (Lämpökuvasta)	0.95
Mittausalueen maksimi lämpötila	20.6 °C	Heijastuva lämpötila (lämpökuvasta)	22.0 °C
Mittausalueen minimi lämpötila	11.2 °C	Etäisyys (Lämpökuvasta)	3.0 m
		Kameratyyppi	ThermaCAM P660 West

Ulkoilman olosuhteet

Sisäilman olosuhteet

Tuulen nopeus/tuulen suunta	5 m/s	Sisäilman suhteellinen kosteus	32.0 %
Pilvisyys	Pilvistä	Sisäilman lämpötila (Ilman lämpötila lämpökuvasta)	21.0 °C
Ulkoilman lämpötila (vertailulämpö lämpökuvasta)	1.0 °C		

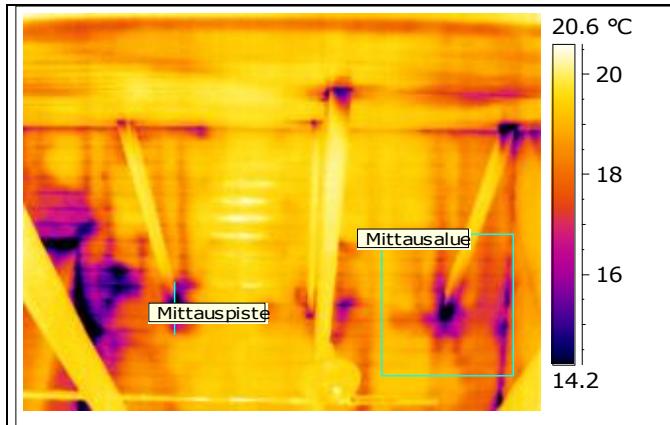
Kommentit:

Kuvaus suoritettu tiiviysmittauksen yhteydessä 50 Pascalin alipaineessa.

Kuvaspaikka: 2 krs. aula

Kuvaspävämäärä: 27.2.2015

Lämpökuva



Nro 6.

Mittauspisteen lämpötila	11.9 °C
Mittausalueen maksimi lämpötila	19.7 °C
Mittausalueen minimi lämpötila	8.8 °C

Lämpötilaindeksi



Mittausparametrit

Emissiivisyys (Lämpökuvasta)	0.95
Heijastuva lämpötila (lämpökuvasta)	22.0 °C
Etäisyys (Lämpökuvasta)	3.0 m
Kameratyyppi	ThermaCAM P660 West

Ulkoilman olosuhteet

Tuulen nopeus/tuulen suunta	5 m/s
Pilvisyys	Pilvistä
Ulkoilman lämpötila (vertailulämpö lämpökuvasta)	1.0 °C

Sisäilman olosuhteet

Sisäilman suhteellinen kosteus	32.0 %
Sisäilman lämpötila (Ilman lämpötila lämpökuvasta)	21.0 °C

Kommentit:

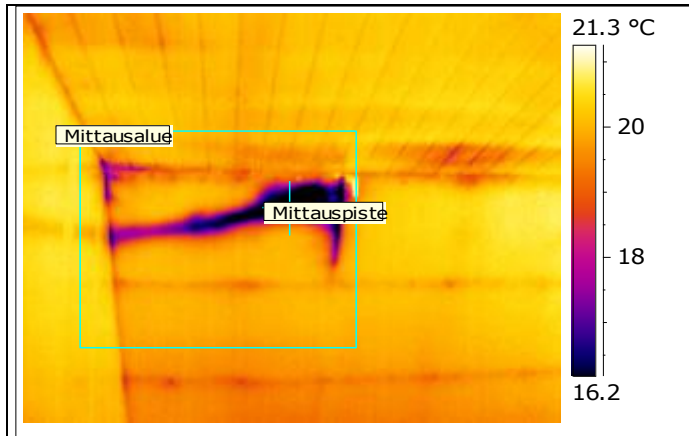
Kuvaus suoritettu tiiviysmittauksen yhteydessä 50 Pascalin alipaineessa.

Kuvaspaikka: Makuuhuone 3

Kuvaspäivämäärä: 27.2.2015

Lämpökuva

Makuuhuone 3



Nro 7.

Mittausparametrit

Mittauspisteen lämpötila	15.6 °C
Mittausalueen maksimi lämpötila	21.2 °C
Mittausalueen minimi lämpötila	14.4 °C

Emissiivisyys (Lämpökuvasta)	0.95
Heijastuva lämpötila (lämpökuvasta)	22.0 °C
Etäisyys (Lämpökuvasta)	3.0 m
Kameratyyppi	ThermaCAM P660 West

Ulkoilman olosuhteet

Sisäilman olosuhteet

Tuulen nopeus/tuulen suunta	5 m/s
Pilvisyys	Pilvistä
Ulkoilman lämpötila (vertailulämpö lämpökuvasta)	1.0 °C

Sisäilman suhteellinen kosteus	32.0 %
Sisäilman lämpötila (Ilman lämpötila lämpökuvasta)	21.0 °C

Kommentit:

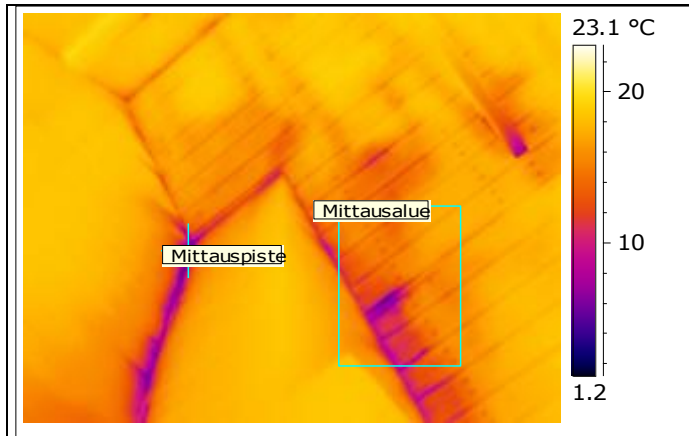
Kuvasuoritus suoritettu tiiviysmittauksen yhteydessä 50 Pascalin alipaineessa.

Kuvaspaikka: 2 krs. hormi

Kuvaspävämäärä: 27.2.2015

Lämpökuva

2 krs. hormi



Nro 8.

Mittausparametrit

Mittauspisteen lämpötila	4.0 °C
Mittausalueen maksimi lämpötila	18.5 °C
Mittausalueen minimi lämpötila	4.4 °C

Emissiivisyys (Lämpökuvasta)	0.95
Heijastuva lämpötila (lämpökuvasta)	22.0 °C
Etäisyys (Lämpökuvasta)	3.0 m
Kameratyyppi	ThermaCAM P660 West

Ulkoilman olosuhteet

Sisäilman olosuhteet

Tuulen nopeus/tuulen suunta	5 m/s	Sisäilman suhteellinen kosteus	32.0 %
Pilvisyys	Pilvistä	Sisäilman lämpötila (Ilman lämpötila lämpökuvasta)	21.0 °C
Ulkoilman lämpötila (vertailulämpö lämpökuvasta)	1.0 °C		

Kommentit:

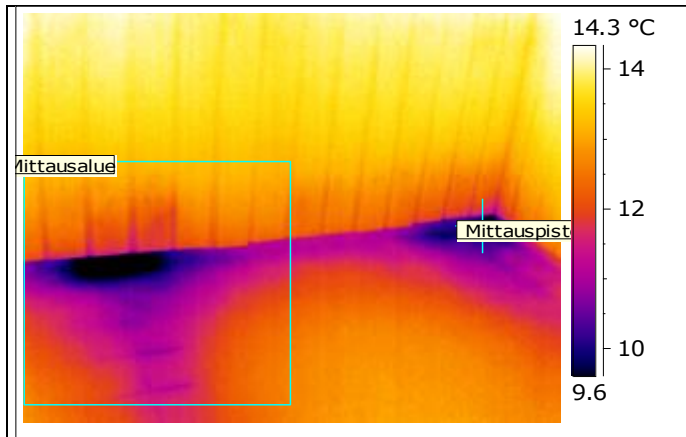
Kuvaus suoritettu tiiviysmittauksen yhteydessä 50 Pascalin alipaineessa.

Kuvaspaikka: Sauna

Kuvaspäivämäärä: 27.2.2015

Lämpökuva

Sauna



Nro 9.

Mittausparametrit

Mittauspisteen lämpötila	9.5 °C
Mittausalueen maksimi lämpötila	13.6 °C
Mittausalueen minimi lämpötila	8.4 °C

Emissiivisyys (Lämpökuvasta)	0.95
Heijastuva lämpötila (lämpökuvasta)	22.0 °C
Etäisyys (Lämpökuvasta)	3.0 m
Kameratyyppi	ThermaCAM P660 West

Ulkoilman olosuhteet

Sisäilman olosuhteet

Tuulen nopeus/tuulen suunta	5 m/s
Pilvisyys	Pilvistä
Ulkoilman lämpötila (vertailulämpö lämpökuvasta)	1.0 °C

Sisäilman suhteellinen kosteus	32.0 %
Sisäilman lämpötila (Ilman lämpötila lämpökuvasta)	21.0 °C

Kommentit:

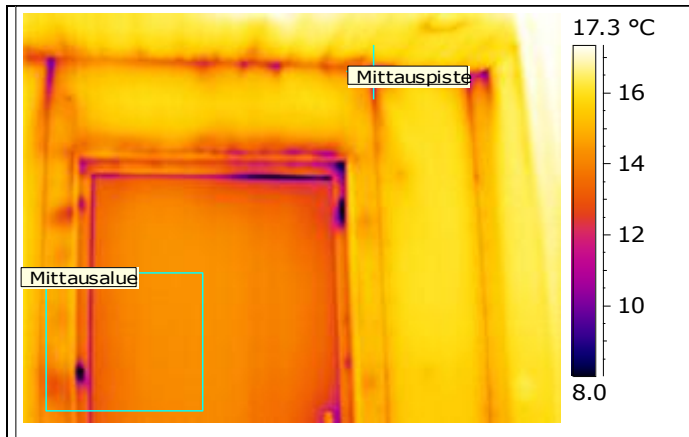
Kuvaus suoritettu tiiviysmittauksen yhteydessä 50 Pascalin alipaineessa.

Kuvaspaikka: Eteinen

Kuvauspäivämäärä: 27.2.2015

Lämpökuva

Eteinen



Nro 10.

Mittausparametrit

Mittauspisteen lämpötila	8.5 °C
Mittausalueen maksimi lämpötila	15.4 °C
Mittausalueen minimi lämpötila	5.1 °C

Emissiivisyys (Lämpökuvasta)	0.95
Heijastuva lämpötila (lämpökuvasta)	22.0 °C
Etäisyys (Lämpökuvasta)	3.0 m
Kameratyyppe	ThermaCAM P660 West

Ulkoilman olosuhteet

Sisäilman olosuhteet

Tuulen nopeus/tuulen suunta	5 m/s
Pilvisyys	Pilvistä
Ulkoilman lämpötila (vertailulämpö lämpökuvasta)	1.0 °C

Sisäilman suhteellinen kosteus	32.0 %
Sisäilman lämpötila (Ilman lämpötila lämpökuvasta)	21.0 °C

Kommentit:

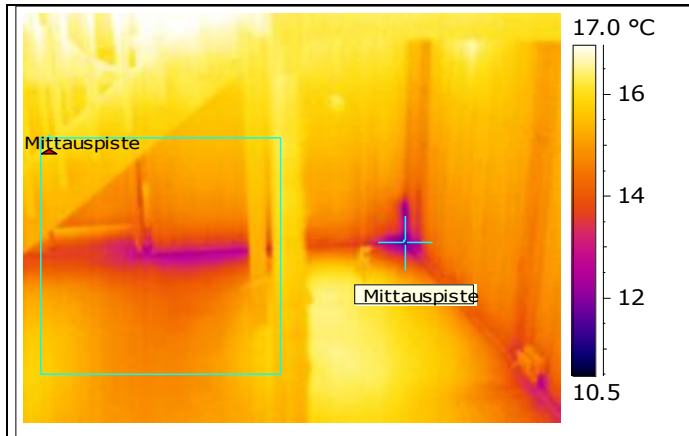
Kuvaus suoritettu tiiviysmittauksen yhteydessä 50 Pascalin alipaineessa.

Kuvaspaikka: Olohuone

Kuvaspävämäärä: 27.2.2015

Lämpökuva

Lämpötilaindeksi



Nro 11.

Mittausparametrit

Mittauspisteen lämpötila	11.4 °C
Mittausalueen maksimi lämpötila	16.5 °C
Mittausalueen minimi lämpötila	12.2 °C

Emissiivisyys (Lämpökuvasta)	0.95
Heijastuva lämpötila (lämpökuvasta)	22.0 °C
Etäisyys (Lämpökuvasta)	3.0 m
Kameratyyppi	ThermaCAM P660 West

Ulkoilman olosuhteet

Sisäilman olosuhteet

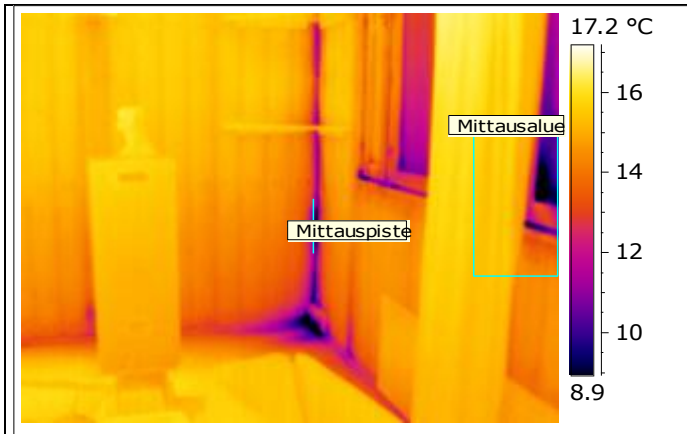
Tuulen nopeus/tuulen suunta	5 m/s
Pilvisyys	Pilvistä
Ulkoilman lämpötila (vertailulämpö lämpökuvasta)	1.0 °C

Sisäilman suhteellinen kosteus	32.0 %
Sisäilman lämpötila (Ilman lämpötila lämpökuvasta)	21.0 °C

Kommentit:

Kuvaus suoritettu tiiviysmittauksen yhteydessä 50 Pascalin alipaineessa.

Kuvauspaikka: Olohuone	Kuvauspäivämäärä: 27.2.2015
-------------------------------	------------------------------------

Lämpökuva**Olohuone**

Nro 12.

Mittausparametrit

Mittauspisteen lämpötila	9.7 °C
Mittausalueen maksimi lämpötila	16.0 °C
Mittausalueen minimi lämpötila	7.1 °C

Emissiivisyys (Lämpökuvasta)	0.95
Heijastuva lämpötila (LHei lämpökuvasta)	22.0 °C
Etäisyys (Lämpökuvasta)	3.0 m
Kameratyyppi	ThermaCAM P660 West

Ulkoilman olosuhteet**Sisäilman olosuhteet**

Tuulen nopeus/tuulen suunta	5 m/s
Pilvisyys	Pilvistä
Ulkoilman lämpötila (vertailulämpö lämpökuvasta)	1.0 °C

Sisäilman suhteellinen kosteus	32.0 %
Sisäilman lämpötila (Ilman lämpötila lämpökuvasta)	21.0 °C

Kommentit:

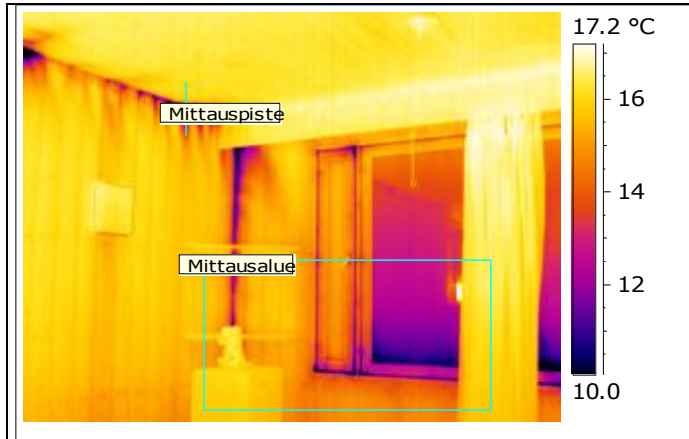
Kuvaus suoritettu tiiviysmittauksen yhteydessä 50 Pascalin alipaineessa.

Kuvaspaikka: Olohuone

Kuvaspivämäärä: 27.2.2015

Lämpökuva

Olohuone



Nro 13.

Mittausparametrit

Mittauspisteen lämpötila	5.9 °C
Mittausalueen maksimi lämpötila	21.8 °C
Mittausalueen minimi lämpötila	7.1 °C

Emissiivisyys (Lämpökuvasta)	0.95
Heijastuva lämpötila (lämpökuvasta)	22.0 °C
Etäisyys (Lämpökuvasta)	3.0 m
Kameratyyppi	ThermaCAM P660 West

Ulkoilman olosuhteet

Sisäilman olosuhteet

Tuulen nopeus/tuulen suunta	5 m/s
Pilvisyys	Pilvistä
Ulkoilman lämpötila (vertailulämpö lämpökuvasta)	1.0 °C

Sisäilman suhteellinen kosteus	32.0 %
Sisäilman lämpötila (Ilman lämpötila lämpökuvasta)	21.0 °C

Kommentit:

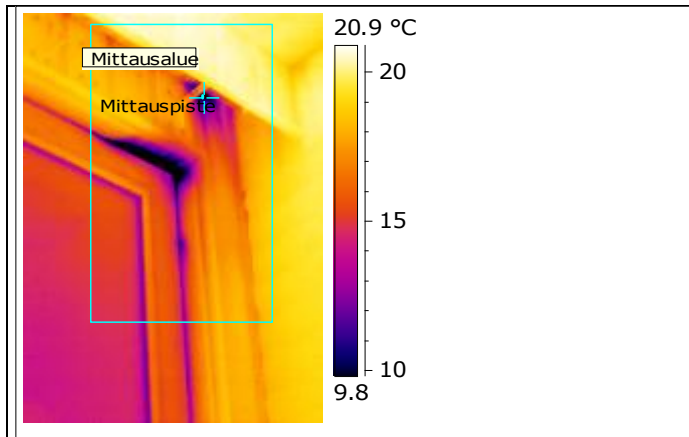
Kuvaus suoritettu tiiviysmittauksen yhteydessä 50 Pascalin alipaineessa.

Kuvaspaikka: Olohuone

Kuvaspäivämäärä: 4.2.2015

Lämpökuva

Lämpötilaindeksi



Nro 14.

$$TI = (T_{sp} - T_o) / (T_i - T_o) * 100 \text{ [%]}$$

TI = lämpötilaindeksi

T_{sp} = sisäpinnan lämpötilaT_o = ulkoilman lämpötilaT_i = sisäilman lämpötila

Mittauspisteen lämpötila	10.0 °C	Emissiivisyys (Lämpökuvasta)	0.95
Mittausalueen maksimi lämpötila	20.8 °C	Heijastuva lämpötila (lämpökuvasta)	22.0 °C
Mittausalueen minimi lämpötila	5.0 °C	Etäisyys (Lämpökuvasta)	2.7 m
Lämpötilaindeksi mitatun alueen minimilämpötilasta	49 %	Kameratyyppe	FLIR B400_ Western

Ulkoilman olosuhteet

Sisäilman olosuhteet

Tuulen nopeus/tuulen suunta	2.8 m/s	Sisäilman suhteellinen kosteus	30.0 %
Pilvisyys	Lähes pilvinen	Sisäilman lämpötila (Ilman lämpötila lämpökuvasta)	20.0 °C
Ulkoilman lämpötila (vertailulämpö lämpökuvasta)	-9.5		

Kommentit:

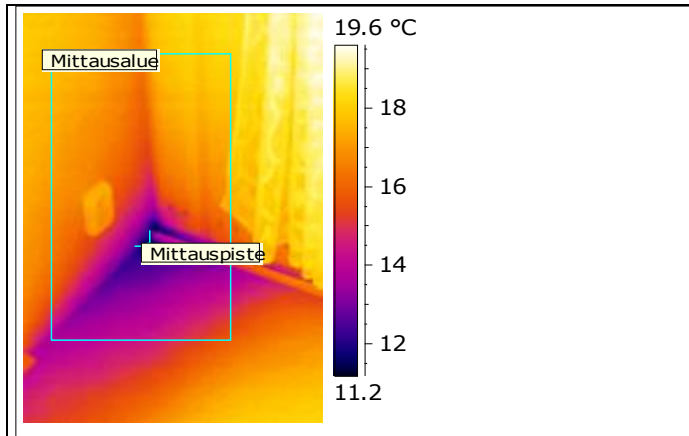
Ei täytä välttävää tasoa, heikentynyt rakenteiden rakennusfysikaalinen toiminta. Korjaustarve välttämätön.

Kuvaspaikka: Olohuone

Kuvaspävämäärä: 4.2.2015

Lämpökuva

Lämpötilaindeksi



Nro 15.

$$TI = (T_{sp} - T_o) / (T_i - T_o) * 100 \text{ [%]}$$

TI = lämpötilaindeksi

T_{sp} = sisäpinnan lämpötilaT_o = ulkoilman lämpötilaT_i = sisäilman lämpötila

Mittausparametrit

Mittauspisteen lämpötila	11.6 °C
Mittausalueen maksimi lämpötila	18.2 °C
Mittausalueen minimi lämpötila	11.1 °C
Lämpötilaindeksi mitatun alueen minimilämpötilasta	70%

Emissiivisyys (Lämpökuvasta)	0.95
Heijastuva lämpötila (lämpökuvasta)	22.0 °C
Etäisyys (Lämpökuvasta)	2.7 m
Kameratyyppi	FLIR B400_Western

Ulkoilman olosuhteet

Sisäilman olosuhteet

Tuulen nopeus/tuulen suunta	2.8 m/s	Sisäilman suhteellinen kosteus	30.0 %
Pilvisyys	Lähes pilvinen	Sisäilman lämpötila (Ilman lämpötila lämpökuvasta)	20.0 °C
Ulkoilman lämpötila (vertailulämpö lämpökuvasta)	-9.5		

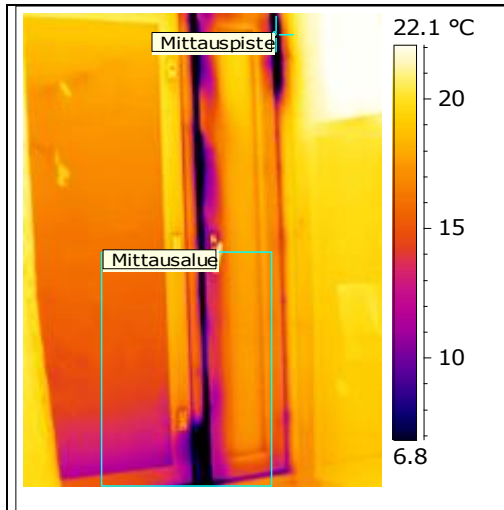
Kommentit:

Täyttää hyvän tason vaatimukset, ei korjaustoimenpiteitä.

Kuvaspaikka: Olohuone

Kuvauspäivämäärä: 4.2.2015

Lämpökuva



Nro 16.

Lämpötilaindeksi

$$TI = (T_{sp} - T_o) / (T_i - T_o) * 100 [\%]$$

TI = lämpötilaindeksi

T_{sp} = sisäpinnan lämpötilaT_o = ulkoilman lämpötilaT_i = sisäilman lämpötila

Mittausparametrit

Mittauspisteen lämpötila	2.1 °C	Emissiivisyys (Lämpökuvasta)	0.95
Mittausalueen maksimi lämpötila	24.0 °C	Heijastuva lämpötila (lämpökuvasta)	22.0 °C
Mittausalueen minimi lämpötila	-3.4 °C	Etäisyys (Lämpökuvasta)	2.7 m
Lämpötilaindeksi mitatun alueen minimilämpötilasta	20,7%	Kameratyyppi	FLIR B400_ Western

Ulkoilman olosuhteet

Sisäilman olosuhteet

Tuulen nopeus/tuulen suunta	2.8 m/s	Sisäilman suhteellinen kosteus	30.0 %
Pilvisyys	Lähes pilvinen	Sisäilman lämpötila (Ilman lämpötila lämpökuvasta)	20.0 °C
Ulkoilman lämpötila (vertailulämpö lämpökuvasta)	-9.5		

Kommentit:

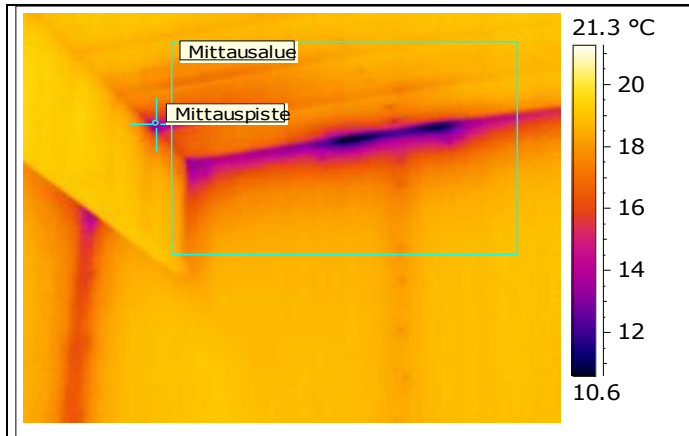
Ei täytä välttävää tasoa, heikentynyt rakenteiden rakennusfysikaalinen toiminta. Korjaustarve välttämätön.

Kuvaspaikka: Olohuone

Kuvaspivämäärä: 4.2.2015

Lämpokuva

Lämpötilaindeksi



$$TI = (T_{sp} - T_o) / (T_i - T_o) * 100 \text{ [%]}$$

TI = lämpötilaindeksi

T_{sp} = sisäpinnan lämpötilaT_o = ulkoilman lämpötilaT_i = sisäilman lämpötila

Nro 17.

Mittausparametrit

Mittauspisteen lämpötila	13.5 °C
Mittausalueen maksimi lämpötila	19.0 °C
Mittausalueen minimi lämpötila	9.9 °C
Lämpötilaindeksi mitatun alueen minimilämpötilasta	70 %

Emissiivisyys (Lämpökuvasta)	0.95
Heijastuva lämpötila (lämpökuvasta)	22.0 °C
Etäisyys (Lämpökuvasta)	2.7 m
Kameratyyppe	FLIR B400_ Western

Ulkoilman olosuhteet

Sisäilman olosuhteet

Tuulen nopeus/tuulen suunta	5 m/s
Pilvisyys	Lähes pilvinen
Ulkoilman lämpötila (vertailulämpö lämpökuvasta)	-9.5

Sisäilman suhteellinen kosteus	30.0 %
Sisäilman lämpötila (Ilman lämpötila lämpökuvasta)	20.0 °C

Kommentit:

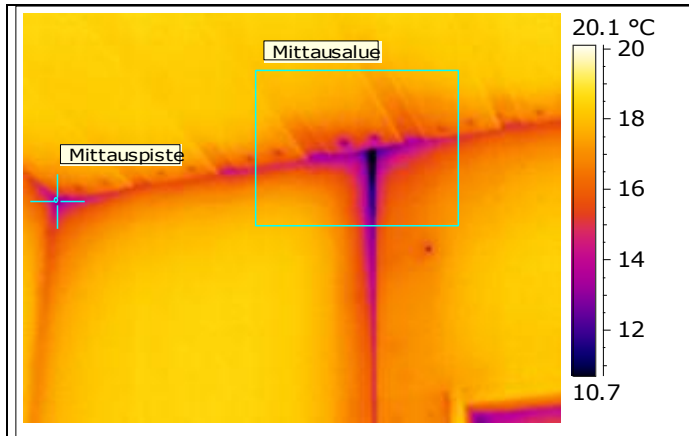
Täyttää hyvän tason vaatimukset, ei korjaustoimenpiteitä.

Kuvaspaikka: Eteinen

Kuvaspävämäärä: 4.2.2015

Lämpökuva

Lämpötilaindeksi



$$TI = (T_{sp} - T_o) / (T_i - T_o) * 100 \text{ [%]}$$

TI = lämpötilaindeksi

T_{sp} = sisäpinnan lämpötilaT_o = ulkoilman lämpötilaT_i = sisäilman lämpötila

Nro 18.

Mittausparametrit

Mittauspisteen lämpötila	12.8 °C
Mittausalueen maksimi lämpötila	18.2 °C
Mittausalueen minimi lämpötila	8.8 °C
Lämpötilaindeksi mitatun alueen minimilämpötilasta	62%

Emissiivisyys (Lämpökuvasta)	0.95
Heijastuva lämpötila (lämpökuvasta)	22.0 °C
Etäisyys (Lämpökuvasta)	2.7 m
Kameratyyppe	FLIR B400_ Western

Ulkoilman olosuhteet

Sisäilman olosuhteet

Tuulen nopeus/tuulen suunta	2.8 m/s
Pilvisyys	Lähes pilvinen
Ulkoilman lämpötila (vertailulämpö lämpökuvasta)	-9.5

Sisäilman suhteellinen kosteus	30.0 %
Sisäilman lämpötila (Ilman lämpötila lämpökuvasta)	20.0 °C

Kommentit:

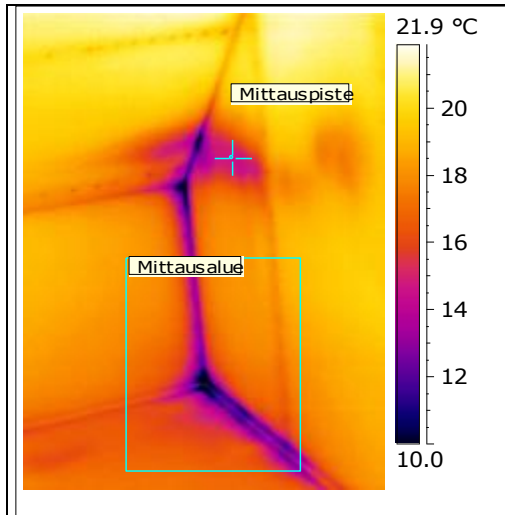
Täyttää välttävän tason, mutta ei hyvää tasoa. Lisätutkimukset ja korjaustarve harkittava.

Kuvauspaikka: makuuhuone 1

Kuvauspäivämäärä: 4.2.2015

Lämpökuva

Lämpötilaindeksi



Nro 19.

$$TI = (T_{sp} - T_o) / (T_i - T_o) * 100 \text{ [%]}$$

TI = lämpötilaindeksi

T_{sp} = sisäpinnan lämpötilaT_o = ulkoilman lämpötilaT_i = sisäilman lämpötila

Mittausparametrit

Mittauspisteen lämpötila	14.5 °C	Emissiivisyys (Lämpökuvasta)	0.95
Mittausalueen maksimi lämpötila	19.2 °C	Heijastuva lämpötila (lämpökuvasta)	22.0 °C
Mittausalueen minimi lämpötila	7.6 °C	Etäisyys (Lämpökuvasta)	2.7 m
Lämpötilaindeksi mitatun alueen minimilämpötilasta	58%	Kameratyyppi	FLIR B400_ Western

Ulkoilman olosuhteet

Sisäilman olosuhteet

Tuulen nopeus/tuulen suunta	5 m/s	Sisäilman suhteellinen kosteus	30.0 %
Pilvisyys	Lähes pilvinen	Sisäilman lämpötila (Ilman lämpötila lämpökuvasta)	20.0 °C
Ulkoilman lämpötila (vertailulämpö lämpökuvasta)	-9.5		

Kommentit:

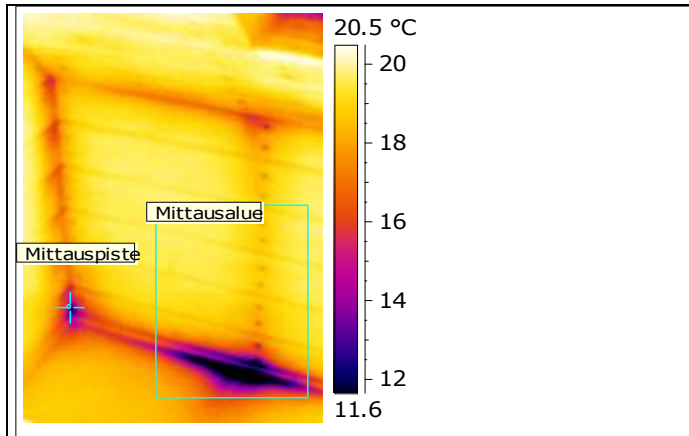
Nurkassa havaittavissa selvä lämpötilanmuutos. Ei täytä välttävää tasoa, heikentynyt rakenteiden rakennusfysikaalinen toiminta.

Kuvaspaikka: 2 krs. aula

Kuvaspäivämäärä: 4.2.2015

Lämpökuva

Lämpötilaindeksi



Nro 20.

$$TI = (T_{sp} - T_o) / (T_i - T_o) * 100 \text{ [%]}$$

TI = lämpötilaindeksi

T_{sp} = sisäpinnan lämpötilaT_o = ulkoilman lämpötilaT_i = sisäilman lämpötila

Mittausparametrit

Mittauspisteen lämpötila	12.5 °C	Emissiivisyys (Lämpökuvasta)	0.95
Mittausalueen maksimi lämpötila	19.9 °C	Heijastuva lämpötila (lämpökuvasta)	22.0 °C
Mittausalueen minimi lämpötila	5.9 °C	Etäisyys (Lämpökuvasta)	2.7 m
Lämpötilaindeksi mitatun alueen minimilämpötilasta	52,2%	Kameratyyppe	FLIR B400_ Western

Ulkoilman olosuhteet

Sisäilman olosuhteet

Tuulen nopeus/tuulen suunta	2.8 m/s	Sisäilman suhteellinen kosteus	30.0 %
Pilvisyys	Lähes pilvinen	Sisäilman lämpötila (Ilman lämpötila lämpökuvasta)	20.0 °C
Ulkoilman lämpötila (vertailulämpö lämpökuvasta)	-9.5		

Kommentit:

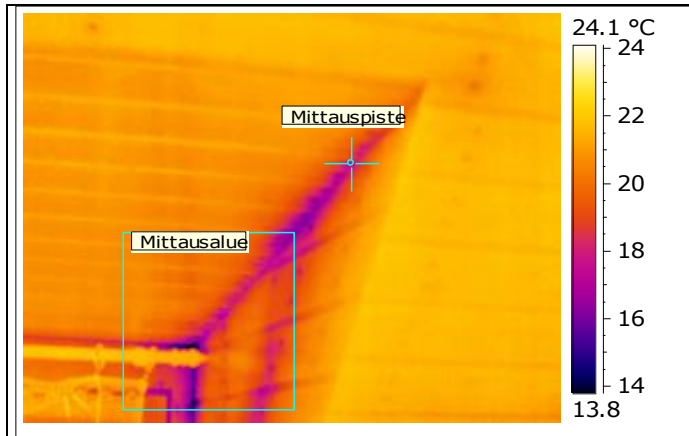
Välipohjan ja seinän liitoksen kohdalla havaittavissa selvä lämpötilan muutos. Ei täytä välttävää tasoa, heikentynyt rakenteiden rakennusfysikaalinen toiminta. Suositellaan lisätutkimuksia ja korjaustoimenpiteitä.

Kuvaspaikka: 2 krs. aula

Kuvaspävämäärä: 4.2.2015

Lämpökuva

Lämpötilaindeksi



$$TI = (T_{sp} - T_o) / (T_i - T_o) * 100 \text{ [%]}$$

TI = lämpötilaindeksi

T_{sp} = sisäpinnan lämpötilaT_o = ulkoilman lämpötilaT_i = sisäilman lämpötila

Nro 21.

Mittausparametrit

Mittauspisteen lämpötila	17.6 °C
Mittausalueen maksimi lämpötila	21.9 °C
Mittausalueen minimi lämpötila	13.0 °C
Lämpötilaindeksi mitatun alueen minimilämpötilasta	76,3%

Emissiivisyys (Lämpökuvasta)	0.95
Heijastuva lämpötila (lämpökuvasta)	22.0 °C
Etäisyys (Lämpökuvasta)	2.7 m
Kameratyyppi	FLIR B400_ Western

Ulkoilman olosuhteet

Sisäilman olosuhteet

Tuulen nopeus/tuulen suunta	2.8 m/s
Pilvisyys	Lähes pilvinen
Ulkoilman lämpötila (vertailulämpö lämpökuvasta)	-9.5

Sisäilman suhteellinen kosteus	30.0 %
Sisäilman lämpötila (Ilman lämpötila lämpökuvasta)	20.0 °C

Kommentit:

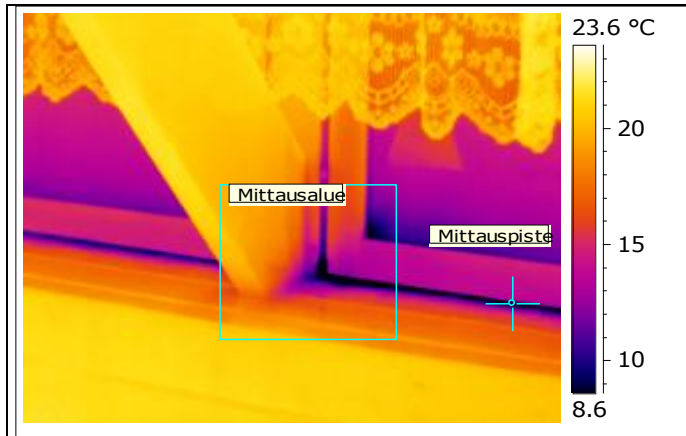
Täyttää hyvän tason vaatimukset, ei korjaustoimenpiteitä.

Kuvaspaikka: 2 krs. aula

Kuvaspäivämäärä: 4.2.2015

Lämpökuva

Lämpötilaindeksi



$$TI = (T_{sp} - T_o) / (T_i - T_o) * 100 [\%]$$

TI = lämpötilaindeksi

T_{sp} = sisäpinnan lämpötilaT_o = ulkoilman lämpötilaT_i = sisäilman lämpötila

Nro 22.

Mittausparametrit

Mittauspisteen lämpötila	9.0 °C
Mittausalueen maksimi lämpötila	20.8 °C
Mittausalueen minimi lämpötila	4.8 °C
Lämpötilaindeksi mitatun alueen minimilämpötilasta	48,5%

Emissiivisyys (Lämpökuvasta)	0.95
Heijastuva lämpötila (lämpökuvasta)	22.0 °C
Etäisyys (Lämpökuvasta)	2.7 m
Kameratyyppi	FLIR B400_ Western

Ulkoilman olosuhteet

Sisäilman olosuhteet

Tuulen nopeus/tuulen suunta	2.8 m/s
Pilvisyys	Lähes pilvinen
Ulkoilman lämpötila (vertailulämpö lämpökuvasta)	-9.5

Sisäilman suhteellinen kosteus	30.0 %
Sisäilman lämpötila (Ilman lämpötila lämpökuvasta)	20.0 °C

Kommentit:

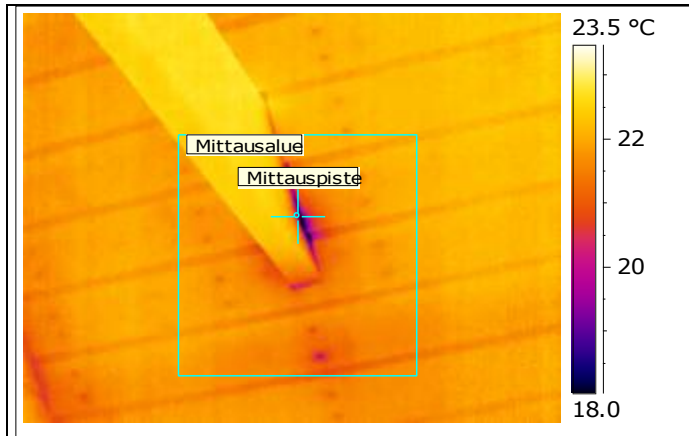
Ikkunoiden tiivistys heikko. Ei täytä välttävää tasoa, heikentynyt rakenteiden rakennusfysikaalinen toiminta. Korjaustoimenpiteenä suositellaan ikkunoiden vaihtoa tai niiden korjaamista siten, että tiiviys paranee..

Kuvaspaikka: 2 krs. aula

Kuvaspävämäärä: 4.2.2015

Lämpökuva

Lämpötilaindeksi



$$TI = (T_{sp} - T_o) / (T_i - T_o) * 100 [\%]$$

TI = lämpötilaindeksi

T_{sp} = sisäpinnan lämpötilaT_o = ulkoilman lämpötilaT_i = sisäilman lämpötila

Nro 23.

Mittausparametrit

Mittauspisteen lämpötila	18.8 °C
Mittausalueen maksimi lämpötila	22.8 °C
Mittausalueen minimi lämpötila	16.8 °C
Lämpötilaindeksi mitatun alueen minimilämpötilasta	84 %

Emissiivisyys (Lämpökuvasta)	0.95
Heijastuva lämpötila (lämpökuvasta)	22.0 °C
Etäisyys (Lämpökuvasta)	2.7 m
Kameratyyppe	FLIR B400_ Western

Ulkoilman olosuhteet

Sisäilman olosuhteet

Tuulen nopeus/tuulen suunta	2.8 m/s
Pilvisyys	Lähes pilvinen
Ulkoilman lämpötila (vertailulämpö lämpökuvasta)	-9.5

Sisäilman suhteellinen kosteus	30.0 %
Sisäilman lämpötila (Ilman lämpötila lämpökuvasta)	20.0 °C

Kommentit:

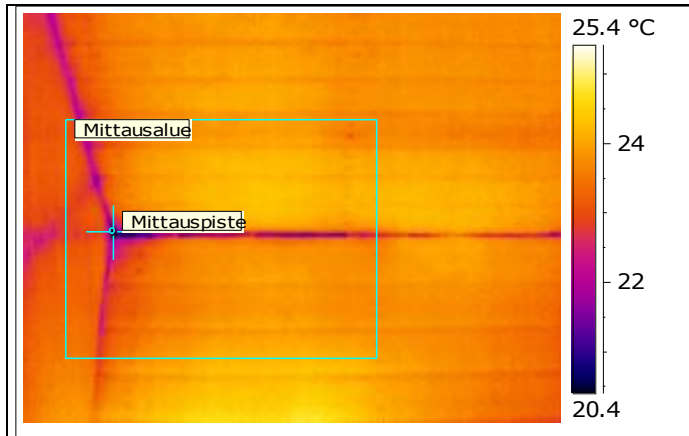
Täyttää hyvän tason vaatimukset, ei korjaustoimenpiteitä.

Kuvaspaikka: 2 krs. aula

Kuvaspävämäärä: 4.2.2015

Lämpökuva

Lämpötilaindeksi



Nro 24.

$$TI = (T_{sp} - T_o) / (T_i - T_o) * 100 \text{ [%]}$$

TI = lämpötilaindeksi

T_{sp} = sisäpinnan lämpötilaT_o = ulkoilman lämpötilaT_i = sisäilman lämpötila

Mittausparametrit

Mittauspisteen lämpötila	19.2 °C
Mittausalueen maksimi lämpötila	24.4 °C
Mittausalueen minimi lämpötila	18.9 °C
Lämpötilaindeksi mitatun alueen minimilämpötilasta	90 %

Emissiivisyys (Lämpökuvasta)	0.95
Heijastuva lämpötila (lämpökuvasta)	22.0 °C
Etäisyys (Lämpökuvasta)	2.7 m
Kameratyyppi	FLIR B400_ Western

Ulkoilman olosuhteet

Sisäilman olosuhteet

Tuulen nopeus/tuulen suunta	2.8 m/s
Pilvisyys	Lähes pilvinen
Ulkoilman lämpötila (vertailulämpö lämpökuvasta)	-9.5

Sisäilman suhteellinen kosteus	30.0 %
Sisäilman lämpötila (Ilman lämpötila lämpökuvasta)	20.0 °C

Kommentit:

Täyttää hyvän tason vaatimukset, ei korjaustoimenpiteitä.

