



TEKNIikka JA LIIKENNE

Rakennustekniikka

Rakennetekniikka

INSINÖÖRITYÖ

**VUODEN 2010 ENERGIATEHOKKUUSMÄÄRÄYSTEN MUKAINEN
RAKENNUSTAPAKÄSIKIRJA**

**Työn tekijä: Kai Nordberg
Työn ohjaaja: Jouni Kalliomäki
Työn ohjaaja: Ari Kangasniemi**

Työ hyväksytty: ____ . ____ . 2010

**Jouni Kalliomäki
lehtori**



ALKULAUSE

Tämä insinööriö tehtiin Mittakodit Oy:lle. Kiitokset työn ohjauksesta yrityksen edustajille Ari Kangasniemelle ja Mauri Siljamäelle sekä Metropolia Ammattikorkeakoulun lehtorille Jouni Kalliomäelle.

Helsingissä 27.04.2010

Kai Nordberg

TIIVISTELMÄ

Työn tekijä: Kai Nordberg	
Työn nimi: Vuoden 2010 energiatehokkuusmääräysten mukainen rakennustapakäsikirja	
Päivämäärä: 27.04.2010	Sivumäärä: 79 s. + 7 liitettä
Koulutusohjelma: Rakennustekniikka	Suuntautumisvaihtoehto: Rakennetekniikka
Työn ohjaaja: lehtori Jouni Kalliomäki Työn ohjaaja: toimitusjohtaja Ari Kangasniemi	
<p>Tämä insinöörityö tehtiin Mittakodit Oy:lle. Yritys on lähinnä rivitaloja perustajaurakoiva rakennusliike. Työn alkuperäisenä tavoitteena oli toteuttaa rakennustapakäsikirja, josta selviäisi yrityksen toimintatavat sekä tuotantoon valikoituneet rakennustavat ja materiaalit. Toisaalta myös vuoden 2010 alussa voimaan astuneiden energiatehokkuusmääräysten vaikutus yrityksen käyttämiin rakenteisiin haluttiin selvittää. Nämä kaksi asiaa pyritäänkin nivoamaan tässä työssä yhteen keskittymällä energiatehokkuusmääräysten vaikutusten tutkimisessa rakenteellisiin seikkoihin kuten ilmatiiviin rakennusvaipan toteuttamiseen ja toisaalta muodostamalla erillisen liitteen eli rakennustapakäsikirjan runko uusien energiatehokkaampien vaipparakenteiden toteuttamiseen perustuen. Rakennusfysikaalisiin tekijöihin ei vaipan lämmöneristävyttä lukuun ottamatta oteta tarkempaa kantaa.</p> <p>Työ aloitettiin perehtymällä energiatehokkuutta ohjaaviin määräyksiin ja ohjeisiin. Ohjeiden perusteella laskettiin esimerkkirakennukselle energiankulutus uusien minimimääräysten mukaisilla rakenteilla. Esimerkkirakennukselle laadittiin lisäksi energiatehokkuuslukuja kustannustehokkaasti parantavia ehdotuksia vaipparakenteiden johtumishäviöiden, ilmanvaihdon lämmöntalteenoton sekä ilmatiiviyden osalta. Vaipan ilmatiiviyys todettiin energiankulutuksen kannalta yhdeksi oleellisimmista seikoista ja toisaalta yleisesti tiedossa on, ettei ilmatiiviyden toteuttaminen ole suuri lisäkustannuserä. Työssä esitelläänkin ratkaisuja ja ehdotuksia ilmatiiviiden vaipparakenteiden toteuttamiseen esimerkkirakennuksen avulla. Uusien energiatehokkaampien rakenneratkaisujen selvittäminen loi perustan rakennustapakäsikirjan toteuttamiselle.</p> <p>Insinöörityön tuloksena syntyi selvitys yrityksen esimerkkirakennuksen toteuttamiseen uusien energiatehokkuusmääräysten mukaisesti sekä ehdotuksia energiatehokkuusluvun parantamiseksi. Projekti kokonaisuudessaan tuotti yrityksen käyttöön selkeän rakennustapakäsikirjan, jossa esitellään esimerkkirakennuksen toteutuksen avulla yrityksen rakennusprosessin eteneminen rakennustapojen sekä käytettävien materiaalien ja esimerkiksi kiinnikkeiden osalta.</p>	
Avainsanat: energiatehokkuus, U-arvo, energiatehokkuusluku, ilmatiiviyys, rakennustapa	

ABSTRACT

Name: Kai Nordberg	
Title: Handbook of construction methods in accordance with the energy efficiency regulations in 2010	
Date: 27 April 2010	Number of pages: 79 p. + 7 appendices
Department: Civil Engineering	Study Programme: Structural Engineering
Instructor: Jouni Kalliomäki, Senior Lecturer	
Supervisor: Ari Kangasniemi, Managing Director	

This graduate study was done for Mittakodit Oy, a contractor mainly concentrated on building terraced houses. The original objective of this study was to create a handbook where all the operational principles, construction methods as well as the materials used by this company are presented. At the same time the new regulations of energy efficiency taken effect at the beginning of 2010 influence the structures used in the production and these changes were needed to clarify. These two main subjects were connected with each other by concentrating on structural matters e.g. air-tightness when clarifying the influences of new regulations in energy efficiency and on the other hand the framework of the separated handbook consists of instructions of how to realize these energy efficient envelope structures in practise. More detailed research in building physics was not done except for the thermal insulation.

The study was started by getting acquainted with the regulations and the guidelines that relate to the energy efficiency of the buildings. The energy consumption of the model building was estimated according to the structures designed in accordance with the new energy efficiency regulations. In addition to these some cost-efficient suggestions of how to improve the energy efficiency value were researched. This part of the research was done by focusing on heat recovery of ventilation, air-tightness and energy losses through envelope structures. In this research the air-tightness of all the envelope structures was found essential when decreasing the energy consumption of buildings. On the other hand it is a well-known fact, that improving the air-tightness doesn't cause any bigger additional costs. Suggestions for realizing air-tightness structure solutions are presented in this study by using the structures in the model building as an example. Researching new energy efficient structures created the basis for assembling the handbook of construction methods.

As a result of this graduate study a clarification for realizing the model building according to the energy efficiency regulations valid in 2010 was made. Solutions that improve the energy efficiency value were also proposed in this study. The project in its entirety created a handbook for the construction firm, where the building process as well as materials and fastenings are presented by using the progress of the model building as a frame.

Keywords: energy efficiency, U-value, energy efficiency value, air-tightness, method of construction

SISÄLLYS

ALKULAUSE

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	1
1.1	Taustaa	1
1.2	Tutkimusongelma ja työn tavoite	2
1.3	Tutkimuksen rajaus ja toteutustapa	3
2	RAKENTAMISEN ENERGIATEHOKKUUS	4
2.1	Taustaa	4
2.2	Matalan energiankulutuksen toteuttaminen	4
2.2.1	<i>Suomen rakentamismääräyskokoelmalla ohjattavat energiankulutukseen vaikuttavat tekijät</i>	4
2.2.2	<i>Muut rakennuksen energiankulutukseen vaikuttavat tekijät</i>	6
2.2.3	<i>Energiatehokkaan rakentamisen hyödyt ja haitat</i>	7
2.3	Energiaselvitys ja energiatodistus	8
2.3.1	<i>Energiatodistus suurissa asuinrakennuksissa ja energiaselvitys</i>	9
2.3.2	<i>Tasauslaskelma</i>	11
2.4	Arvio tulevaisuuden tiukentuvista energiamääräyksistä ja niiden vaikutuksista	11
3	VUODEN 2010 ENERGIATEHOKKUUSMÄÄRÄYKSET TÄYTTÄVÄT RATKAISUT	12
3.1	Esimerkkirakennus	12
3.2	U-arvon laskenta	14
3.3	Vaipparakenteet	17
3.3.1	<i>Ulkoseinä</i>	17
3.3.2	<i>Yläpohja</i>	19
3.3.3	<i>Alapohja</i>	20
3.3.4	<i>Ikkunat</i>	20
3.3.5	<i>Ovet</i>	21
3.4	Ilmatiiviys	21
3.5	Ilmanvaihto ja lämmöntalteenotto	22
3.6	Puolilämpimät tilat	22
3.6.1	<i>Ulkoseinä</i>	23
3.6.2	<i>Yläpohja</i>	24

3.6.3	<i>Alapohja</i>	24
3.6.4	<i>Ikkunat ja ovet</i>	25
3.6.5	<i>Ilmatiiviys</i>	25
3.7	Lämpöhäviöiden laskenta ja määräystenmukaisuuden osoittaminen	25
3.8	Energiankulutus	27
3.8.1	<i>Lämpöhäviöenergiat</i>	27
3.8.2	<i>Vuotoilman tarvitsema energia</i>	28
3.8.3	<i>Ilmanvaihdon lämpöhäviöenergia</i>	30
3.8.4	<i>Käyttöveden lämmitystarve</i>	31
3.8.5	<i>Lämmitysjärjestelmien häviöenergiat</i>	31
3.8.6	<i>Laitesähkönkulutus</i>	32
3.8.7	<i>Lämpökuormat ja rakennuksen hyödynnetty lämpökuormaenergia</i>	32
3.8.8	<i>Rakennuksen energiatehokkuusluku</i>	35
4	TAPOJA RAKENNUKSEN ENERGIATEHOKKUUSLUVUN PARANTAMISEKSI	36
4.1	Vaipparakenteet	37
4.1.1	<i>Ulkoseinä</i>	37
4.1.2	<i>Yläpohja</i>	38
4.1.3	<i>Alapohja</i>	38
4.1.4	<i>Ovet ja ikkunat</i>	39
4.2	Vaipparakenteiden eristävyiden parantamisen vaikutus	39
4.3	Ilmatiiviys	40
4.4	Ilmanvaihto ja lämmöntalteenotto	41
4.5	Yhteisvaikutus energiatehokkuuslukuun	42
5	ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMISEN VAIKUTUKSET	45
5.1	Vaipparakenteiden paksuuntumisen vaikutukset rakenteellisesti	45
5.2	Ilmatiiviuden merkitys ja vaikutus	47
5.3	Muita vaikutuksia	48
6	RAKENNERATKAISUT ILMATIIVIYDEN VARMISTAMISEKSI	50
6.1	Ilmavuodot ja -tiiviys yleisesti	50
6.1.1	<i>Höyrynsulkumuovien yhtenäisyys</i>	51
6.1.2	<i>Rakenteiden liittymät</i>	53
6.2	Ilmanvuotokohtien paikallistaminen	56
6.3	Ilmatiiviuden toteuttaminen esimerkkirakennuksessa	57
6.3.1	<i>Perusperiaatteet</i>	57
6.3.2	<i>Höyrynsulun jatkokset</i>	58
6.3.3	<i>Höyrynsulkumuovien liitokset vaipparakenteiden nurkissa</i>	59
6.3.4	<i>Höyrynsulkumuovien liitokset muihin rakenteisiin</i>	62
6.3.5	<i>Ikkunoiden ja ovien liitokset</i>	66
6.3.6	<i>Läpiviennit</i>	67
7	RAKENNUSTAPAKÄSIKIRJA	69
7.1	Yleistä	69
7.2	Rakennustapakäsikirjan rakenne ja sisältö	70

8	YHTEENVETO	70
8.1	Energiatehokkuusosa	71
8.2	Yhteenveto rakennustapakäsikirjan toteuttamisesta	74
	VIITELUETTELO	76

LIITTEET

LIITE 1	Esimerkkirakennuksen ulkoseinärakenteen U-arvon korjaustekijän laskenta
LIITE 2	Esimerkkirakennuksen alapohjarakenteen U-arvon korjaustekijän laskenta
LIITE 3	Esimerkkirakennuksen puolilämpimien tilojen ulkoseinärakenteen U-arvon korjaustekijän laskenta
LIITE 4	Esimerkkirakennuksen puolilämpimien tilojen yläpohjarakenteen U-arvon korjaustekijän laskenta
LIITE 5	Esimerkkirakennuksen puolilämpimien tilojen alapohjarakenteen U-arvon korjaustekijän laskenta
LIITE 6	Tasauslaskelma luvussa 3 esitettyjen ratkaisujen määräystenmukaisuuden osoittamiseksi
LIITE 7	Rakennustapakäsikirja (luottamuksellinen)

1 JOHDANTO

1.1 Taustaa

Tämä insinööriyö on saanut alkunsa Mittakodit Oy:n aloitteesta ja halusta tarkistaa sekä kehittää rakennustapojansa. Mittakodit Oy on Etelä-Suomessa toimiva vuonna 2005 perustettu rakennusalan yritys, joka perustajaurakoi omakotitaloja, paritaloja sekä erityisesti rivitaloja lähinnä pääkaupunkiseudulla. Toiminnan ensimmäisinä vuosina rakennettavien kohteiden koot ja tyypit vaihtelivat esimerkiksi kerrosluvun sekä pohjaratkaisujen osalta, mutta viimeisimmissä kohteissa rivitalojen pohjaratkaisut, huoneistokoot, kerrosluku sekä arkkitehti- ja rakennesuunnitelmat on yhtenäistetty ja toiminnan lähtökohtana onkin pyrkiä kiinnittämään erityistä huomiota tonttiin ja sen sijaintiin, jotta nämä yhtenäistetyt ratkaisut ja suunnitelmat soveltuisivat mahdollisimman muuttumattomina rakennettavalle tontille. Näin ollen tuotannosta saadaan sujuvaa ja kustannustehokasta, sillä valmiisiin arkkitehti- ja rakennesuunnitelmiin tehdään työmaakohtaisesti vain tarpeelliset muutokset, joita esimerkiksi eri tonttien välillä vaihtelevat maanpinnan muodot ja korkotasot aiheuttavat.

Työtä tehdään toistaiseksi suhteellisen pienellä henkilöstöllä, mutta mahdolliseen toiminnan kasvuun halutaan varautua. Työmaiden työvaiheista valtaosa toteutetaan omalla työntekijäryhmällä. Aliurakoinnilla tehdään vain erityistyöt, kuten sähkö-, LVI-, muuraus-, maalaus-, laatoitus- ja kattotyöt sekä yläpohjien eristäminen. Tämän koetaankin olleen avain työmaan sujuvaan etenemiseen, sillä omille työntekijöille on muodostunut selvä käsitys yrityksen toimintatavoista. Käytettävät rakennustavat halutaan kuitenkin yhtenäistää niin sanotuksi rakennustapakäsikirjaksi, josta rakennusprojektin eri osapuolet voivat tarkistaa Mittakodit Oy:n tuotannossa käytettävät rakennustavat.

Perustajaurakointi eli gryndaus on luonteeltaan toimintaa, jossa rakennusliike perustaa asunto- tai kiinteistöosakeyhtiön. Näiden perustamiensa yhtiöiden kanssa yritys solmii urakkasopimukset rakennushankkeen toteuttamiseksi sekä myy huoneistojen hallintaan oikeuttavat osakkeet huoneistojen tai tilojen lopulliselle ostajalle eli asiakkaalle. [13.] Muun muassa asiakkaiden yhä parempi valveutuneisuus ja tietämys asuntokauppaa tehtäessä luo ra-

kennusliikkeelle tilanteita, joissa omassa tuotannossa käytettyjen rakenneratkaisujen ja rakennustapojen taustoja tulee perustella asiakkaalle. Mittakodit Oy onkin todennut tarpeen tällaiselle asiakirjalle.

1.2 Tutkimusongelma ja työn tavoite

Rakennustapakäsikirjassa tarkoituksena on yhdenmukaistaa rakennustavat sekä varmistaa rakennesuunnittelun ja toteutuksen yhteensopivuus. Tavoitteena on rakennusprojektin kokonaishallinnan helpottuminen ja yrityksen toiminnan selkeyttäminen edelleen. Yrityksen tuotantoon valikoituneet rakennustavat, rakenneratkaisut ja muut yksityiskohdat tarkastetaan ja niistä pyritään kehittämään optimaaliset. Käsikirjaa hyödyntävät niin rakennesuunnittelija, työmaan työnjohto kuin yrityksen johtokin esimerkiksi asuntoja myytäessä, joten käsikirjan rakenne pyritään toteuttamaan nämä seikat huomioiden.

Varsinaisen tutkimuksen kohteeksi ja tämän työn keskeiseksi teemaksi otettiin vuoden 2010 alusta kiristyneet rakennusten energiatehokkuusmääräykset, jotka tulevat ajankohtaisiksi myös Mittakodit Oy:n seuraavassa kohteessa. Tässä työssä pyritään löytämään Suomen rakentamismääräyskokoelman uusittujen osien C3, D2 ja D3 vaatimukset täyttävät ratkaisut sekä tutkimaan niiden vaikutuksia rakenteellisesti. Lisäksi energiankulutuksen kannalta oleelliseksi asiaksi todettuun rakennusvaipan ilmanpitävyyden parantamiseen etsitään rakenteellisia ratkaisuja esimerkkirakennuksen avulla.

Rakennusten energiatehokkuutta mittaavalla energiatodistuksella on kasvava merkitys perustajaurakoitsijalle asuntoja myytäessä. Asunnon myyntiarvoa voidaan parantaa esimerkiksi rakennusten energiatehokkuuslukua parantamalla. Toisaalta rakennuskustannusten hallitseminen on perustajaurakoitsijalle olennaista. Näin ollen tässä työssä tutkitaan esimerkkirakennuksen avulla myös energiatehokkuusluokan kustannustehokkaita parantamiskeinoja kyseisessä tuotannossa.

Työ jakaantuu kahteen eri osioon. Varsinaisessa insinööriyössä esitetään ratkaisut kiristyvien lämmöneristysmääräysten toteuttamiseen sekä ehdotuksia esimerkkirakennuksen energiatehokkuusluokan parantamiseksi. Lisäksi tutkitaan energiatehokkuuden parantamisen vaikutuksia ja ilmanpitävän rakennusvaipan toteuttamista. Tämän osion tuloksena hyväksi todetut ja käyttöön valitut rakenneratkaisut siirretään erilliseen rakennustapakäsikirjaan,

jonka ensisijaisena tavoitteena on kuvata eri rakennusvaiheiden käytännön toteutus, rakennustavat sekä käytettävät materiaalit, kiinnikkeet ja työvälineet.

1.3 Tutkimuksen rajaus ja toteutustapa

Työ toteutetaan ensimmäiseksi selvittämällä kiristyvien energiatehokkuusmääräysten tausta ja teoria. Näiden pohjalta esitetään rakenteet ja ratkaisut, jotka täyttävät vähintään vuoden 2010 Suomen rakentamismääräyskokoelman osien C3, D2 ja D3 vaatimukset. Minimiratkaisut määräytyvät vaipparakenteille laskettavien U-arvojen, ilmanvuotoluvun sekä ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen mukaan. Ratkaisuja kompensoidaan lisäksi niin kutsutuin tasauslaskelmin riittävän pienen kokonaislämpöhäviön saavuttamiseksi ja lisäksi lasketaan minimirakenteiden mukainen rakennuksen energiankulutus. Energiatehokkuusluvun eli ET-luvun parantamisen tutkimisen perustana käytetään yrityksen viimeisintä kohdetta eli esimerkkirakennusta. Lämpöenergiaa hukkaavien kohtien osuuksia tutkitaan ja lasketaan kustannustehokkaiden parantamiskeinojen vaikutuksia ET-lukuun. Parantamista tutkitaan vain rakennusvaipan johtumishäviöiden, ilmavuotojen sekä ilmanvaihdon osalta eikä muita energiatehokkuuslukuun vähemmän vaikuttavia tekijöitä huomioida niiden vähäisen parantamispotentiaalin vuoksi. Kaikki energiankulutuslaskelmat sekä ilmanpitävyyden toteuttamisen tutkiminen tehdään esimerkkirakennuksen avulla, joten tuloksia ja ratkaisuja ei voida välttämättä yleistää.

Rakennustapakäsikirjan runko on hahmoteltu yhdessä yrityksen johdon kanssa läpikäyden nyt käytettävät rakennustavat koko rakennusprosessissa. Näitä tapoja on analysoitu sen jälkeen tarkastellen valikoitujen rakennustapojen taustaa ja perusteita. Lähtökohtana on työmaatoteutuksen helppous ja yksinkertaisuus, johon perusteet on saatu yrityksen henkilöstöltä.

Työn ulkopuolelle on rajattu vuonna 2012 edelleen kiristyvät lämmöneristysmääräykset sekä rakennusprojektin muutostyöt. Uusien lämmöneristysvaatimusten mukaisten rakenteiden pohjana on esimerkkirakennuksen alkuperäiset rakenteet. Näin ollen tutkittavana ovatkin yrityksen ammattilaisten toiveiden mukaiset ratkaisut, jotka toteutuksen helppoudellaan sopivat yrityksen tuotantoon aiheuttaen mahdollisimman vähäisiä rakenteellisia muutoksia. Tässä työssä ei siis tutkita kaikkia mahdollisia vaipparakenteita ja

vertailla niitä. Toisaalta myöskään rakennusfysikaalisiin tekijöihin kuten kosteustekniseen käyttäytymiseen ei tarkemmin oteta kantaa rakenteiden lämmöneristävyyttä lukuun ottamatta. Myös ilmanvaihdon toiminnan tarkempi analysointi jätetään työn ulkopuolelle.

2 RAKENTAMISEN ENERGIATEHOKKUUS

2.1 Taustaa

Ilmasto maapallolla on muuttumassa. Planeettamme keskilämpötila on kohonnut jo 0,74 astetta viimeisimmän sadan vuoden kuluessa. Lämpeneminen johtuu suurelta osin kasvihuoneilmästä, jota voimistaa ihmisten tuottaman hiilidioksidin ja muiden kasvihuonekaasujen määrä ilmakehässä. [1.]

Ilmastonmuutoksen täydellinen pysäyttäminen lienee mahdotonta. Sitä on mahdollista kuitenkin hidastaa niin paljon, etteivät ympäristölle ja ihmisille siitä aiheutuvat vahingot muodostu ylitsepääsemättömiksi. Asiantuntijoiden lausuntojen mukaan maapallon keskilämpötilan nousu tulisikin tämän vuoksi rajata 2 °C:seen. [1.]

Koska Suomessa rakennusten kuluttaman energian osuus on noin 40 % ja osuus kasvihuonepäästöistäkin noin 30 %, on rakentamisen energiatehokkuudella suuri merkitys ilmaston lämpenemisen hidastamisessa. Vuoden 2010 alusta voimaan astuneet uudet rakentamismääräykset perustuvat Euroopan Unionin ilmasto- ja energiapolitiikan sitoumuksiin kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi sekä energiatehokkuuden parantamiseksi. Uusien määräysten mukainen tiukennus on noin 30 % vuoden 2007 tasoon verrattuna. Rakennusten energiatehokkuutta säätelevät rakentamismääräykset tulevat kiristymään edelleen vuonna 2012, jolloin vaikutuksen arvioidaan olevan noin 20 %. [2; 4, s. 87.]

2.2 Matalan energiankulutuksen toteuttaminen

2.2.1 Suomen rakentamismääräyskokoelmalla ohjattavat energiankulutukseen vaikuttavat tekijät

Minimimääräysten mukaisen rakennuksen energiankulutus riippuu lähinnä niissä tapahtuvien lämpöhäviöiden suuruudesta. Rakennuksen lämpöhäviöt muodostuvat sen vaipan johtumisen, ilmanvaihdon sekä vuotoilman yhteenlasketusta kokonaisuudesta. [4, s. 55, 93.] Suomen rakentamismääräysko-

koelman määräyksillä ohjataan erikseen näitä tekijöitä pienen energiankulutuksen saavuttamiseksi.

Taulukossa 1 on esitetty Suomen rakentamismääräyskokoelman mukaisia U-arvoja sekä muita rakennusten energiatehokkuuteen vaikuttavia vertailuarvoja.

Taulukko 1. Suomen rakentamismääräyskokoelman mukaiset U-arvot [W/m^2K] sekä muut rakennusten energiatehokkuuteen vaikuttavat vertailuarvot vuosina 2007 ja 2010 sekä arvio tulevasta [32, s. 7; 3, s. 22; 11, s. 11; 16].

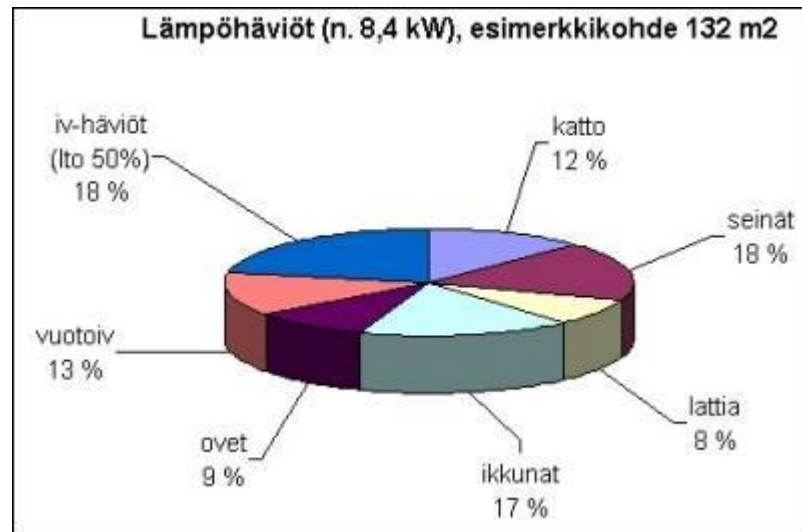
Rakenneosa	SRakMK 2007	SRakMK 2010	SRakMK 2012*
Ulkoseinä	0,24	0,17	0,14
Yläpohja	0,15	0,09	0,08
Tuuletettu alapohja	0,19	0,17	0,14
Maanvarainen alapohja	0,24	0,16	0,13
Ovi	1,4	1,0	0,8
Ikkuna	1,4	1,0	0,8
Ilmanvuotoluku (n_{50})	4	2	1,6
LTO:n vuosihyötysuhde	30 %	45 %	55 %

*Arvioitu 20 %:n kiristys vuoden 2010 määräyksiin verrattuna

Taulukosta huomataan, että suurin prosentuaalinen muutos määräyksissä vuosien 2007 ja 2010 välillä on tapahtunut lämmöntalteenottolaitteiston vaaditussa vuosihyötysuhteessa, jossa tiukennusta on 50 % sekä toisaalta yläpohjan U-arvossa, jossa pienennystä on 40 %. Ulkoseinän, ikkunoiden sekä ulko-ovien U-arvoihin vaikutus on noin 29 % ja alapohjissa kiristys on joko 11 % tai 33 % riippuen alapohjan tyypistä. Kuvassa 1 on esitetty viitteellisesti erään pientalon lämpöhäviöiden jakautuminen, joka osaltaan selittää eri osaluokkien erilaisia tiukennuksia. U-arvojen tiukentamisen myötä on huomiotava myös niiden niin sanottu sekundaariset vaikutukset. Esimerkiksi maanvaraisen alapohjan lämmöneristystä parannettaessa huomattava on, että tällöin perustuksia sulana pitävä lämpöhäviö pienenee ja routaeristyksen tarve kasvaa [4, s.152].

Matalan energiakulutuksen saavuttamiseksi minimoida tulee myös niin sanottu vaipparakenteiden kylmäsiilat [4, s. 150 - 151]. Rakentamismääräyskokoelman osa C3 sallii periaatteessa kylmäsiilat, jos niistä ei aiheudu kosteusteknistä haittaa [19, s. 19]. Esimerkiksi puurunkoisessa seinärakenteessa voidaan kuitenkin käyttää I-profiiloitua seinärunkoa, niin sanottua ristiinkoola-

usta tai muuta vastaavaa ratkaisua rungon kautta tapahtuvan lämmön johtumisen pienentämiseksi.



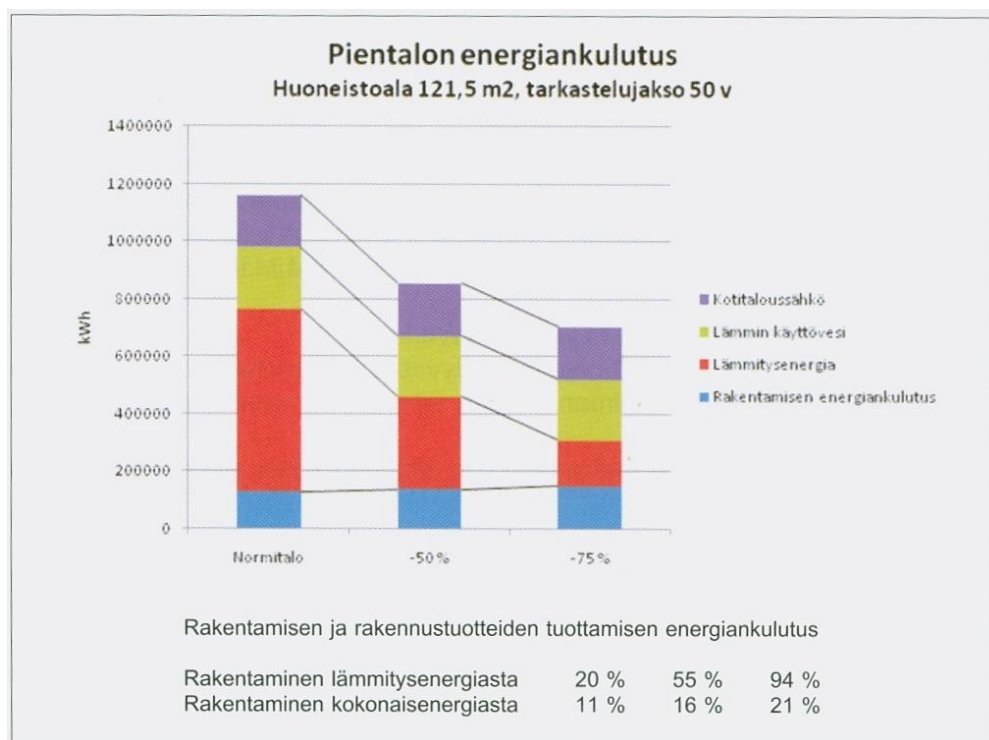
Kuva 1. Esimerkki 132 m²:n pientalon lämpöhäviöiden jakautumisesta [5].

2.2.2 Muut rakennuksen energiankulutukseen vaikuttavat tekijät

Vaikka rakennusten energiankulutus muodostuukin toistaiseksi pääosin vain johtumishäviöiden, ilmanvaihdon sekä vuotoilman muodostamasta kokonaisuudesta, on hyvä muistaa, että lopulliseen energiankulutukseen vaikuttaa muitakin oleellisia tekijöitä. Kaikessa rakentamisessa tulee huomioida rakennusten koko sen elinkaaren aikana tuottamat kasvihuonekaasut ilmastonmuutoksen hidastamisen onnistumiseksi. [4, s. 51 - 64.]

Arkkitehtisuunnittelu on matalan energiankulutuksen saavuttamiseksi hyvin olennaista. Kaikki alkaa jo tontin valinnasta sekä talon sijoittelusta tontilla. Huomioida tulee myös rakennusten muoto ja tilan käyttö, ikkunoiden koot ja suuntaus, lasituksen laatu ja ominaisuudet, tuuletusikkunat, aurinkosuojaus mahdollisen jäädytyksen minimoimiseksi sekä materiaalivalinnat. [4, s. 51 - 54.]

Kun rakennuksen käytön aikaista energiankulutusta pienennetään, kasvaa rakentamiseen ja rakennusmateriaaleihin kuluvan energian suhteellinen osuus. Kuva 2 osoittaa, että esimerkiksi tulevaisuuden passiivitaloissa rakentamisen energiankulutus ja lämmitysenergian kulutus ovat suuruudeltaan samaa tasoa.



Kuva 2. Kiinteistön rakentamisen sekä käytön aikainen (kotitaloussähkö, lämmin käyttövesi, tilojen lämmitys) energiankulutus normitalossa (vuosien 1985-2003 rakentamismääräyskokoelman mukaan rakennettu talo), matalaenergiatalossa (-50 %) ja passiivitalossa (-75 %) [4, s.93].

Toisaalta rakennusten ja asumisen kuluttamaan kokonaisenergiamäärään vaikuttaa suuresti myös ihmisten käyttöveden ja kotitaloussähkön kulutustottumukset [4, s. 63, 93]. Lopulliset kasvihuonekaasupäästöt määräytyvät kuitenkin sähkön sekä lämmitysenergian tuotantotavan mukaan.

Hyvin lämmöneristetyssä talossa tarpeelliseksi saattaa tulla myös kesäaikainen jäähdytys. Tämän tarvetta voidaan vähentää muun muassa laadukkaalla arkkitehtisuunnittelulla. [4, s. 54.]

Tässä insinööriyössä keskitytään kuitenkin rakennuksen vaipan johtumishäviöiden, ilmanvaihdon sekä vaipan ilmatiiviyden lämpöhäviöiden tarkasteluun tavoitteena vuoden 2010 energiatehokkuusmääräykset täyttävä rakennus ja energiatehokkuusluvun kustannustehokas parantaminen esimerkkirakennuksessa.

2.2.3 Energiatehokkaan rakentamisen hyödyt ja haitat

Seuraavassa on lueteltu energiatehokkaamman rakentamisen hyötyjä:

- Energiankulutuksen pienenemisen myötä siihen kuluva rahamäärä pienenee.
- Hyvä sisäilmasto. Sen säätö- ja hallinnan helppous.
- Lämmitystehontarpeen pienentyessä lämmityslaitteet pienentyvät ja yksinkertaistuvat tai poistuvat jopa kokonaan. Investointikustannusten pieneneminen tältä osin.
- Ääneneristys ja akustiikka paranevat [7].

Energiatehokkaan rakentamisen haittoja ovat:

- Rakentamisen aikaiset kustannukset suurenevat muutaman prosentin, kun verrataan vuosien 2007 ja 2010 määräyksien mukaisesti rakennettuja rakennuksia [6]. Investointi maksaa itsensä takaisin pienempinä käyttökustannuksina.
- Puutteellisesta suunnittelusta tai huonolaatuisesta työsuorituksista lisääntyvät ilmapuodot ja kosteusriskit [24, s. 5].

2.3 Energiaselvitys ja energiatodistus

Laissa on määritelty rakennuksen energiatodistuksesta sekä määritelty sitä koskevat yleiset asiat. Ympäristöministeriön asetus on tehty täydentämään sitä. [14.]

Rakennusten energiatodistus on kehitetty rakennusten energiatehokkuuksien arviointiin ja vertailuun muiden vastaavanlaisten rakennusten välillä. Rakennuksen tarvitsema vuotuinen energiamäärä jaetaan rakennuksen bruttopinta-alalla ja tulosta (ET-luku = kWh/brm²/vuosi) arvioidaan asteikolla A-G. Rakennuksen käyttöön tarvittavan energiamäärän mittaamisessa tai laskennassa on huomioitava rakennuksen lämpöominaisuudet, lämmityslaitteet sekä lämpimän veden jakelun, ilmanvaihdon, ilmastointilaitteiden sekä muissa kuin asuinrakennuksissa myös kiinteän valaistusjärjestelmän energiantarve. Rakennuksen käyttötarkoitus vaikuttaa energiatehokkuutta ilmaisevaan asteikkoon, sillä kullakin käyttötarkoituserhmällä on oma asteikkonsa. Ympäristöministeriön asetuksella säädetään rakennusten ryhmittelyn mukaiset energiatodistuksessa käytettävät asteikot. Energiatodistusten sekä niissä käytettävien asteikkojen jako tapahtuu pieniin asuinrakennuksiin, muihin eli suuriin

rakennuksiin sekä osana isännöitsijäntodistusta annettavan todistuksen as-teikkoon. Rakennuksen energiatodistus voidaan toteuttaa neljällä eri tavalla eli rakennuslupamenettelyn tai energiakatselmuksen yhteydessä, osana isännöitsijäntodistusta tai erillisenä todistuksena ja sen voimassaoloaika vaihtelee 4:stä 10:een vuoteen. [8; 10.]

Energiatodistusvaatimus ei kuitenkaan koske ehdottomasti kaikkia rakennuksia. Tällaisia tapauksia voivat olla esimerkiksi loma-asunnot, pienet alle 50 m²:n rakennukset, niin sanotut väliaikaiset rakennukset, vähäisen energiantarpeen teollisuus- ym. rakennukset, kirkot ja suojellut rakennukset. [8.]

Laissa on määrätty velvollisuus asettaa energiatodistus nähtävillä myynti- ja vuokraustilanteessa [8]. Energiatodistuksen tavoitteena onkin saada rakennuksen energiatehokkuus merkittäväksi tekijäksi osto- tai vuokraustilanteessa. Näin kuluttajia voidaan informoida rakennuksen tulevasta käyttökustannuksista sekä ohjata tekemään energiaa säästäviä valintoja. Myös kiinteistöjen omistajat saadaan tällä tavoin kiinnittämään huomiota energiankulutukseen ja sitä kautta pienemmät kasvihuonepäästöt ovat mahdollisia. [9.] Näiden seikkojen vuoksi myös Mittakodit Oy pyrkii parantamaan rakentamiensa ja myymiensä rivitalokiinteistöjensä ET-lukua ja sitä kautta parantamaan huoneistojen myyntiarvoa. Luvussa 3 esitettyjen minimimääräysten mukaisien ratkaisujen lisäksi luvussa 4 tutkitaankin rakennuksen ET-luvun pienentämistä kustannustehokkaasti Mittakodit Oy:n tuotannossa.

2.3.1 *Energiatodistus suurissa asuinrakennuksissa ja energiaselvitys*

Mittakodit Oy:n rivitaloille sovelletaan niin sanottua muille rakennuksille suunnattua energiatodistusta. Se soveltuu yleisesti yli kuuden asunnon asuinkiinteistöille ja palvelukiinteistöille. Energiatodistus on ollut pakollinen, kun rakennuslupaa on haettu 1.1.2008 jälkeen. Uudisrakennukselle energiatodistus annetaan rakennuslupamenettelyn yhteydessä tarkemman energiaselvityksen osana. Energiaselvityksen todenmukaisuus tulee varmentaa käyttöönottotarkastuksen yhteydessä. Energiaselvityksen ja -todistuksen antaa pääsuunnittelija ja sen voimassaoloaika on neljä vuotta. Energiaselvityksestä ilmenee yleensä ainakin rakennusten lämpöhäviöiden määräystenmukaisuus, ilmanvaihtojärjestelmän sähköteho, rakennuksen lämmitysteho, arvio kesäajan huonelämpötilasta, jäähdytysteho sekä energiankulutus. Lisäksi siihen sisältyy energiatodistus. Energiatodistuksesta ilmenee energialuokituksen ja energiatehokkuusluvun lisäksi perustiedot rakennuksesta, todis-

tuksen voimassaoloaika sekä lähtötiedot laskentaa varten, sillä kyseinen energiatodistus perustuu laskennalliseen energiankulutukseen. [10; 11, s. 13.]

Energiaselvityksen ja -todistuksen laskennan perustana on Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D5 [15].

ENERGIATODISTUS																													
Rakennus																													
Rakennustyyppi:	Asuinkerrostalo	Valmistumisvuosi:	1959																										
Osoite:	Hauhontie 1200 Hauho	Rakennustunnus:	123-456-7-89 B 001																										
Energiatodistus on annettu																													
<input type="checkbox"/>	rakennuslupamenettelyn yhteydessä ja perustuu laskennalliseen kulutukseen																												
<input type="checkbox"/>	energiakatselmuksen yhteydessä ja perustuu toteutuneeseen kulutukseen																												
<input checked="" type="checkbox"/>	erillisen tarkastuksen yhteydessä ja perustuu toteutuneeseen kulutukseen																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th>ET-luku</th> <th>Vähän kuluttava</th> <th>Rakennuksen ET-luokka</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>- 100</td> <td>A</td> <td></td> </tr> <tr> <td>101 - 120</td> <td>B</td> <td></td> </tr> <tr> <td>121 - 140</td> <td>C</td> <td></td> </tr> <tr> <td>141 - 180</td> <td>D</td> <td></td> </tr> <tr> <td>181 - 230</td> <td>E</td> <td>E</td> </tr> <tr> <td>231 - 280</td> <td>F</td> <td></td> </tr> <tr> <td>281 -</td> <td>G</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;"><i>Paljon kuluttava</i></td> </tr> </tbody> </table>			ET-luku	Vähän kuluttava	Rakennuksen ET-luokka	- 100	A		101 - 120	B		121 - 140	C		141 - 180	D		181 - 230	E	E	231 - 280	F		281 -	G		<i>Paljon kuluttava</i>		
ET-luku	Vähän kuluttava	Rakennuksen ET-luokka																											
- 100	A																												
101 - 120	B																												
121 - 140	C																												
141 - 180	D																												
181 - 230	E	E																											
231 - 280	F																												
281 -	G																												
<i>Paljon kuluttava</i>																													
Rakennuksen energiatehokkuusluku (ET-luku, kWh/brm ² /vuosi):		218																											
Energiatehokkuusluvun luokitteluasteikko:		Suuret asuinrakennukset																											
Todistuksen antaja:		Todistuksen tilaaja:																											
Eero Energia-Asiantuntija		Matti Meikäläinen																											
Allekirjoitus:																													
Todistuksen antamispäivä:		Viimeinen voimassaolopäivä:																											
1.1.2008		31.12.2017																											

Kuva 3. Esimerkki suurien asuinrakennuksien (yli kuusi asuntoa) energiatodistuksesta. Kuvasta selviää myös energiatehokkuusluokittelun A-G arvot. [12.]

2.3.2 Tasauslaskelma

Osana energiaselvitystä olevalla rakennuksen lämpöhäviöiden tasauslaskennalla osoitetaan, että rakennusten lämpöhäviöille asetetut vaatimukset täyttyvät. Laskelmassa huomioidaan vaipan, ilmavuotojen ja ilmanvaihdon lämpöhäviöt. Jonkin osatekijän suurempi lämpöhäviö edellyttää vastaavasti lämpöhäviöiden pienentämistä toisen osatekijän kohdalla. [19, s. 9.]

Kun tasauslaskelmalla osoitetaan, että rakennuksen vaipan, vuotoilman ja ilmanvaihdon yhteenlaskettu lämpöhäviö on enintään vertailuratkaisun suuruinen, on rakentamismääräyskokoelman osan D3 asettama vaatimus täytetty [19, s. 9]. Laskennassa käytetään suunnitellun rakennuksen koko- ja geometriatietoja. Vaipan pinta-alat määritetään kokonaissisämittojen mukaan. [11, s. 10.]

Jotta tasauslaskelma olisi määräysten mukainen, tulee rakennusosien yhteenlaskettu pinta-ala olla sama sekä vertailu- että suunnitteluratkaisussa. Valoaukon pinta-ala tulee olla asuinhuoneissa vähintään 10 % lattiapinta-alasta. Lisäksi laskennassa vertailuratkaisun ikkunapinta-ala on 15 % maanpäällisestä kerrostasosalasta, mutta ei kuitenkaan enempää kuin 50 % julkisivujen pinta-alasta. Vaipan lämpöhäviöitä on puolestaan rajoitettu niin, että kullekin rakennusosan U-arvolle on asetettu tietty enimmäisarvo, jota ei saa ylittää. Lisäksi rakennuksen vaipan osien suunnittelu- ja vertailuratkaisun johtumisesta aiheutuvien ominaislämpöhäviöiden suhde saa olla korkeintaan 1,3. [19, s. 11.]

Tässä työssä esitettävässä tasauslaskelmassa on käytetty ympäristöministeriön julkaisemaa Excel-pohjaista D3 Tasauslaskin 2010 (versio helmikuu 2009) -laskinta. Se on saatavilla ympäristöministeriön Internet-sivuilla. Rakennuksen koko- ja geometriatiedot saadaan esimerkkirakennuksen tietojen perusteella. Laskentakaavat lämpöhäviöiden laskentaan on esitetty tämän työn luvuissa 3.8.1 - 3.8.3.

2.4 Arvio tulevaisuuden tiukentuvista energiamääräyksistä ja niiden vaikutuksista

Ympäristöministeriön tavoitteena on energiatehokkuusmääräysten kiristys edelleen 20 %:lla vuonna 2012. Rakennusten U-arvovaatimuksista on tarkoitus pitää silloinkin periaatteessa kiinni, vaikka yksittäisen rakennuksen energiankulutuksen tarkastelusta siirrytään niin sanottuun kokonaisenergiatar-

kasteluun. Luvun 2.2.1 taulukossa 1 on esitetty arviot U-arvoista vuodelle 2012. Kokonaisenergiatarkastelun perusteena on eri energiamuodoille määritettävät primäärienergiakertoimet. Tällöin pelkän rakennuksen energiankulutuksen sijaan rajoitettaisiin kasvihuonekaasupäästöjä. Käytäntöön sovellettuina nämä määräykset sallisivat esimerkiksi puulla lämpiävään taloon U-arvoiltaan heikommät rakenteet kuin sähkölämmitteisessä ratkaisussa. [16.]

3 VUODEN 2010 ENERGIATEHOKKUUSMÄÄRÄYKSET TÄYTTÄVÄT RATKAISUT

3.1 Esimerkkirakennus

Energiatehokkaampaan rakentamiseen siirryttäessä on lähtökohtana yrityksen nykyisin käyttämien rakenteiden kehittäminen tavoitteena mahdollisimman kevyet rakenteelliset muutokset ja pienet lisäkustannukset vuosien 2007 - 2009 tasoon verrattuna. Tavoitteena ovat toteutuksen helppous sekä samojen materiaalien käyttö ja niinpä uudet rakenneratkaisut pohjautuvatkin ensisijaisesti Mittakodit Oy:n johdon toiveisiin ja lausuntoihin. Tarkoituksena on vuoden 2010 energiatehokkuusvaatimukset täyttävä kokonaisuus, jonka määräystenmukaisuus on esitetty tasauslaskelmassa luvussa 3.7.

Tämän insinööriyön tarkastelussa esimerkkikohteena on Espooseen rakennettava rivitalokokonaisuus, jonka perustus-, sokkeli- ja alapohjarakenteet ovat betonirakenteisia ja muut runkorakenteet puurakenteisia. Julkisivun pääasiallisena verhouksena on paikalla muurattu tiili, jota täydentävät paikalliset puuverhoukset. Katemateriaalina on betonikattotiili. Arkkitehti- ja rakennepiirustusten sekä tiettyjen energiankulutustilastojen perusteella esimerkkirakennuksesta on saatavilla seuraavissa kappaleissa esitettyjä tietoja, joita käytetään tämän työn muissa luvuissa tehtävissä tarkasteluissa.

Kohteen kolme erillistä rakennusta muodostavat taloyhtiön, jossa on yhteensä 10 yksikerroksista huoneistoa ja vastaavasti kuusi erilaista pohjaratkaisua, joiden huoneistoalat ovat 62 m², 71 m², 95 m², 109 m², 131 m² ja 150 m². Lisäksi rakennuskokonaisuuteen kuuluvat asuntokohtaiset puolilämpimät pihavarastot, väestönsuoja, jätekatos, autokatos sekä erillinen tekninen tila. Taulukossa 2 on lisäksi lueteltu muita laajuustietoja.

Taulukko 2. Esimerkkirakennuksen laajuustietoja.

Huoneistoala yhteensä	1043 m ²
Bruttopinta-ala	1209 brm ²
Lämpimien tilojen ilmatilavuus	3273 m ³
Puolilämpimien tilojen ilmatilavuus	63,2 m ³
Julkisivun pinta-ala	915,89 m ²
Maanpäällinen kerrostasoala	1174,8 m ²
Keskimääräinen kerroskorkeus	3,35 m
Keskimääräinen huonekorkeus	2,9 m

Vuoden 2007 määräysten mukaisessa ulkoseinärakenteessa on ollut sisältä ulospäin lueteltuna kipsilevy 13 mm, höyrynsulkumuovi 0,2 mm, kantava puurunko 48 mm * 173 mm k600 + mineraalivilla 175 mm, tuulensuojalevy 25 mm, ilmarako 35 mm ja julkisivutiili 85 mm.

Alapohjarakenteena on ollut sisältä ulospäin lueteltuna pintabetonilaatta 80 mm, EPS-eriste 100 mm + 100 mm ja kantavana rakenteena ontelolaatta 200 mm.

Yläpohjarakenne sisältä ulospäin lueteltuna on vastaavasti ollut kipsilevy 13 mm, harvalaudoitus 22 mm * 100 mm k300, höyrynsulkumuovi 0,2 mm ja kattoristikot k900 + puhallusvilla 350 mm (painumavaroineen 400 mm).

Näiden vuosina 2007 - 2009 käytössä olleiden rakenteiden pääasialliset U-arvot sekä vaipan pinta-alat on esitetty taulukossa 3. Esimerkkirakennuksen alkuperäisenä ilmanvuotolukuna on ollut laskennallinen arvo $n_{50} = 4$ 1/h ja lämpimien tilojen huoneistokohtaisten ilmanvaihdon lämmöntalteenottolaitteistojen keskimääräinen vuosihyötysuhde on ollut 50 %.

Taulukko 3. Esimerkkirakennuksen alkuperäisten vaipparakenteiden U-arvot ja pinta-alat.

Lämpimät tilat			Puolilämpimät tilat		
Rakenne	U-arvo [W/m ² K]	pinta-ala [m ²]	Rakenne	U-arvo [W/m ² K]	pinta-ala [m ²]
Ulkoseinä	0,18	613,1	Ulkoseinä	0,25	44,1
Alapohja	0,2	1055,8	Alapohja	0,35	29,7
Yläpohja	0,12	1055,8	Yläpohja	0,18	29,7
Ikkunat	1,2	200,9	Ikkunat	1,2	0,5
Ovet	1,4	55,2	Ovet	1,4	2,1
		yht. 2980,79			yht. 106,1

Lisäksi kohteesta tiedetään joitakin vaipparakenteiden lämmöneristävyyksistä riippumattomia energiankulutuksia sekä rakennuksessa syntyvät lämpökuormat, joita aiheutuu henkilöistä, tilojen ja veden lämmitysjärjestelmistä, sähkölaitteista sekä auringosta ja ne vaihtelevat kuukausittain.

Taulukko 4. Esimerkkirakennuksen tilastoituja energiankulutuksia sekä lämpökuormien arvot kuukausittain.

Energiankulutuksia [kWh]						
Käyttöveden lämmityksen tarvitsema lämpöenergia	47 906 kWh					
Käyttöveden lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergia	18 124 kWh					
Tilojen lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergia	25 378 kWh					
Laitesähköenergiankulutus	60 450 kWh					
Jäähdytysenergia	0 kWh					
Lämpökuormat [kWh]						
Kuukausi	Tam	Hel	Maa	Huh	Tou	Kes
Lämpökuormat yht.	9897	10290	11229	12687	9431	8613
Kuukausi	Hei	Elo	Syy	Lok	Mar	Jou
Lämpökuormat yht.	8579	8339	8410	9895	9619	9714

Esimerkkirakennuksen lämmönlähteenä on kaukolämpö, jonka yleisesti käytetty hyötysuhde on 1,0. Lämmönjako toteutetaan vesikiertoisella lattialämmityksellä, jonka menoveden lämpötila on 40 °C ja paluueden 35 °C. Sisäilman lämpötilaksi on määritetty 21 °C.

Ilman tulisi vaihtua huoneistoissa jatkuvasti noin 0,5 1/h [38, s. 25]. Näin olleen ilmanvaihdon poistoilmavirrat vaihtelevat huoneistojen koon mukaan 0,030 m³/s ja 0,070 m³/s välillä. Tässä työssä ilmanvaihtoa tarkastellessa käytetään poistoilmavirtana huoneistojen yhteenlaskettua poistoilmavirtaa 0,492 m³/s ja toisaalta tuloilmavirtana 0,445 m³/s. Ilmanvaihtokoneessa tai tuloilmakanavassa olevan tuloilman lämpötilan asetusarvo jälkilämmityspatterin jälkeen on yleensä 15 - 18 °C [38, s. 24]. Tässä työssä arvona käytetään 18 °C:tta.

3.2 U-arvon laskenta

U-arvon laskenta tehdään Suomen rakentamismääräyskokoelman osan C4 mukaisesti. Siinä määritellään U-arvo seuraavasti:

Lämmönläpäisykerroin (U), W/m^2K . Lämmönläpäisykerroin ilmoittaa lämpövirran tiheyden, joka jatkuvuustilassa läpäisee rakennusosan, kun lämpötilaero rakennusosan eri puolilla olevien ympäristöjen välillä on yksikön suuruinen. [18, s. 3.]

U -arvo voidaan laskea käyttämällä CE-merkinnöin varustetuille rakennusaineille EN-standardien mukaisia lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoja, EN-standardeissa ilmoitettuja taulukoituja lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoja, SRakMK:n C4:ssä esitettyjä lämmönjohtavuuden (λ_n) arvoja tai muulla hyväksyttävällä tavalla määritettyjä rakennusosien lämmönjohtavuuksien suunnitteluarvoja. [18, s. 4.]

Tässä työssä rakennusosien U -arvot lasketaan ensisijaisesti käyttäen materiaalivalmistajien ilmoittamia lämmönjohtavuuksia (λ_d), $W/(mK)$. Mikäli valmistajien arvoja ei ole saatavilla, rakennusmateriaaleille käytettävät lämmönjohtavuuden arvot saadaan Suomen rakentamismääräyskokoelman osasta C4, johon ne on taulukoitu normaalisisinä lämmönjohtavuuksina (λ_n), $W/(mK)$. Kun U -arvon laskennassa käytetään lambda design -arvoja, joissa ei ole huomioitu ilmavirtausten vaikutusta, arvioidaan tämä vaikutus erikseen ja otetaan huomioon rakennusosan lämmönläpäisykertoimeen tehtävänä lisäyksenä. [18, s. 8 - 9.] Tässä työssä kyseinen lisäys lasketaan eristevalmistaja Isoverin Internet-sivuilta saatavalla Excel-laskimella EN ISO 6946 -standardin mukaisesti [21].

Lämmönläpäisykerroin (U) määritetään seuraavien kaavojen avulla [18, s. 5]:

$$U = \frac{1}{R_T}$$

R_T on rakennusosan kokonaislämmönvastus ympäristöstä ympäristöön.

Kun rakennusosan ainekerrokset ovat tasa-aineisia ja lämpö siirtyy ainekerrokseen nähden kohtisuoraan, lasketaan rakennusosan kokonaislämmönvastus R_T seuraavasti:

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_m + R_g + R_b + R_{q1} + R_{q2} + \dots + R_{qn} + R_{se}$$

$$R_1 = \frac{d_1}{\lambda_1}, R_2 = \frac{d_2}{\lambda_2}, R_m = \frac{d_m}{\lambda_m}$$

d_1, d_2, \dots, d_m	ainekerroksen 1, 2,... m paksuus, [m]
$\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$	ainekerroksen 1, 2,..., m lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo, [W/(mK)]
R_g	rakennusosassa olevan ilmakerroksen lämmönvastus
R_b	maan lämmönvastus
$R_{q1}, R_{q2}, \dots, R_{qn}$	ohuen ainekerroksen 1, 2,..., n lämmönvastus, [m ² K/W]
$R_{si}+R_{se}$	sisä- ja ulkopuolisen pintavastuksen summa.

Sisä- ja ulkopuolisinä pintavastuksina R_{si} ja R_{se} käytetään seuraavia arvoja [18, s. 16]:

- Mikäli lämpövirran suunta on ylöspäin, käytetään $R_{si} = 0,10 \text{ m}^2\text{K/W}$ ja $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$.
- Mikäli lämpövirran suunta on alaspäin, käytetään $R_{si} = 0,17 \text{ m}^2\text{K/W}$ ja $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$.
- Mikäli lämpövirran suunta on vaakasuoraan, käytetään $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ ja $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Mikäli rakennusosa on epätasa-aineinen niin, että siinä on pintojen suuntaisia ainekerroksia, joissa on rinnakkain lämmönvastukseltaan erilaisia osia, lasketaan epätasa-aineisen ainekerroksen j lämmönjohtavuus R_j . Tällöin käytetään osien pinta-alojen ja lämmönvastuksien suhdetta. Tämä kaava pätee mikäli vierekkäisten aineiden lämmönjohtavuudet poikkeavat toisistaan vähemmän kuin viisinkertaisesti (esimerkiksi puurunkoinen villaeristetty seinä) [18, s. 5]:

$$\frac{1}{R_j} = \frac{f_a}{R_{aj}} + \frac{f_b}{R_{bj}} + \dots + \frac{f_n}{R_{nj}}$$

f_a, f_b, \dots, f_n	epätasa-ainekerroksessa j olevan tasa-aineisen osa-alueen a, b, \dots, n suhteellinen osuus ainekerroksen kokonaispinta-alasta
$R_{aj}, R_{bj}, \dots, R_{nj}$	epätasa-aineisessa kerroksessa j olevan tasa-aineisen osa-alueen a, b, \dots, n lämmönvastus, jossa $R_{aj}=d_j/\lambda_{aj}, R_{jb}=d_j/\lambda_{bj}, \dots, R_{jn}=d_j/\lambda_{nj}$

$\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$

ainekerroksen 1, 2, ..., n lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo.

3.3 Vaipparakenteet

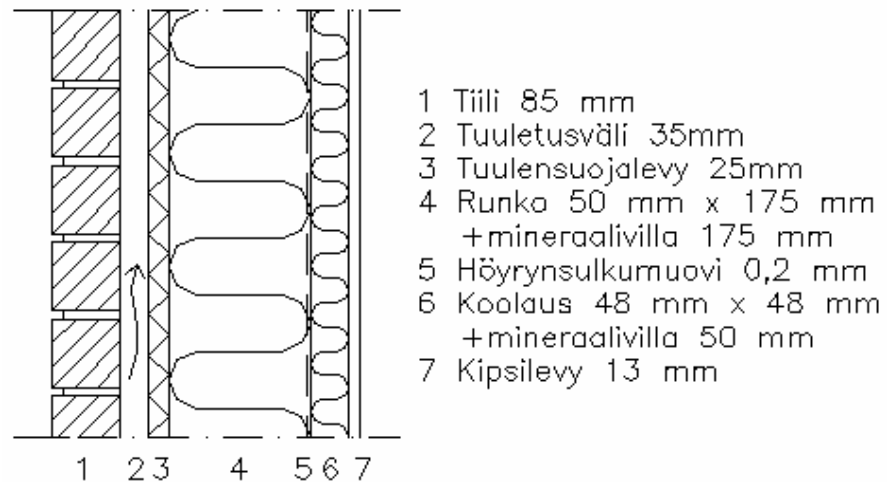
U-arvojen laskennassa käytettävät lämmönjohtavuuksien λ tai lämmönvastuksien R arvot on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. U-arvojen laskennassa tarvittavia materiaaliarvoja [18, s. 10 - 17; 22; 26; 34, s. 30; 23].

Rakennusmateriaali tai -tuote	λ_n [W/mK]
rakennuslevy	0,13
tuulensuojalevy	0,055
puu	0,12
selluvilla	0,041
betoni	1,7
	λ_d [W/mK]
Isover KL 35 -mineraalivillaeriste	0,035
EPS 100 Lattia	0,036
Thermisol Platina Lattia (EPS)	0,031
	R [m ² K/W]
ontelolaatta 200 mm	0,29
höyrynsulkumuovi 0,2 mm	0,02
kipsilevy 13 mm	0,06

3.3.1 Ulkoseinä

Luvun 2.2.1 mukaisesti tasauslaskelmassa käytetään seinän lämmönläpäisykertoimen vertailuarvona $U = 0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$ laskettaessa rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuutta rakentamismääräyskokoelman osan D3 mukaan. Suunnitellaan uusi seinärakenne ensisijaisesti vertailuarvoa vastaavaksi. Rakenne on tällöin kuvan 4 mukainen.



Kuva 4. Rakentamismääräyskokoelman osan C3 (2010) määräykset täyttävä ulkoseinärakenne lämpimille tiloille.

U-arvon laskennassa ei huomioida julkisivumuurausta eikä ilmarakoa. Rakenteelle saadaan U-arvo taulukossa 6 esitetyn laskentamenettelyn mukaisesti, kun huomioidaan puurungon heikompi lämmöneristävyys rakennusmateriaalien prosentuaalisten osuuksien suhteessa. Kaikissa tämän työn laskelmissa on oletettu, että puuta on seinärakenteissa runkotolppajaon k600 mukaisesti 8,3 %. Käytännössä kuitenkin puuta on seinärakenteessa esimerkiksi ylä- ja alajuoksujen, ikkunanylityspalkkien sekä ikkuna-aukon ylä- ja alapuiden muodossa enemmän, arviolta ainakin noin 10 %.

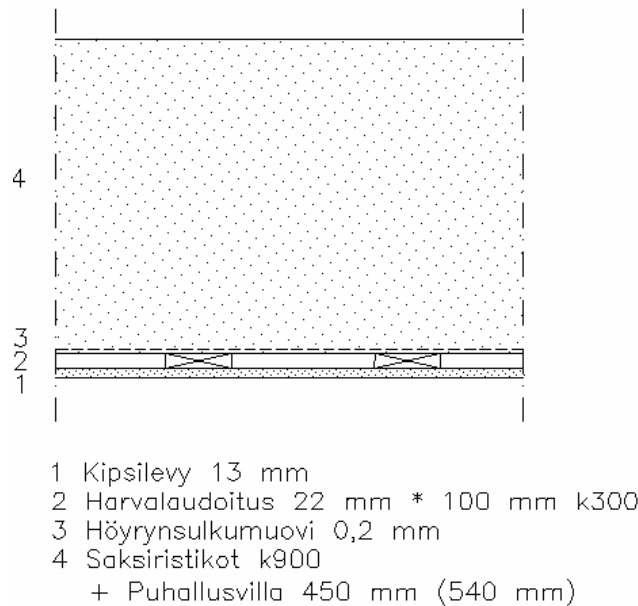
Taulukko 6. Ulkoseinän U-arvon laskenta.

Rakennekerros	Aine	d [m]	λ_d [W/mK]	λ_n [W/mK]	R [m ² K/W]	%-osuus	R_i [m ² K/W]
R_{si}					0,13		
kipsilevy					0,06		
puurunko + mineraalivilla	puu	0,05		0,12	0,417	8,3	
	mineraalivilla	0,05	0,035		1,429	91,7	
							1,189
höyrynsulkumuovi 0,2 mm					0,02		
puurunko + mineraalivilla	puu	0,175		0,12	1,458	8,3	
	mineraalivilla	0,175	0,035		5	91,7	
							4,167
tuulensuojalevy		0,025		0,055	0,455		
R_{se}					0,04		
					R_T		
					6,061		
U-arvo ilman korjaustekijää: $U = 1 / R_T = 0,165$ W/m ² K							

Kun U-arvon korjaustekijät huomioidaan liitteen 1 mukaisesti, saadaan lopulliseksi ulkoseinän suunnitteluarvoksi $U = 0,17$ W/m²K.

3.3.2 Yläpohja

Luvun 2.2.1 taulukosta nähdään, että tasauslaskelmassa yläpohjan lämmönläpäisykertoimen vertailuarvona käytetään $U = 0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$ laskettaessa rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuutta rakentamismääräyskoelman osan D3 mukaisesti. Yläpohjan perusrakenne pysyy entisen kaltaisena eli kattokannattajina ovat saksiristikot k900. Parempi U-arvo saavutetaan puhallusvillan paksuutta kasvattamalla kuvan 5 mukaisesti.



Kuva 5. Lämpimien tilojen yläpohjarakenne, jonka U-arvo täyttää vuoden 2010 lämmöneristysmääräykset.

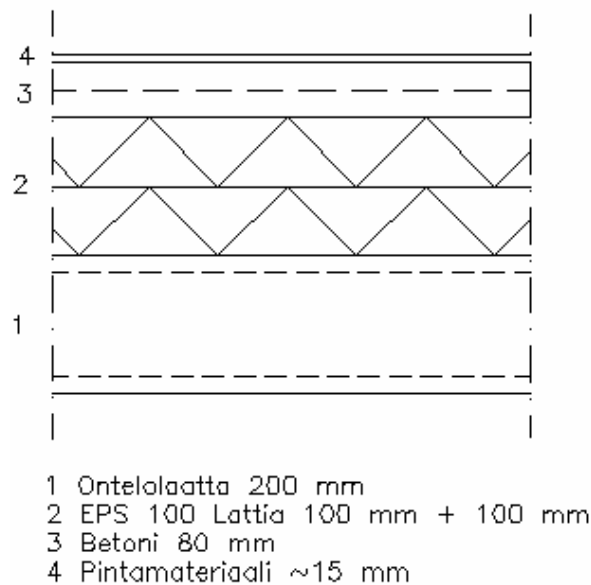
Puhallusvilla asennetaan saksiristikoiden väliin siten, ettei puisten ristikoiden parempi lämmönjohtavuus vaikuta merkittävään heikentävästi yläpohjarakenteen U-arvoon. Edellisessä luvussa esitettyä U-arvon laskentamenettelyä käyttäen saadaan suunnitteluarvoksi $U = 1 / R_T = 0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Kaikkien lämmönjohtavuuksien arvot ovat normaalina lämmönjohtavuuksina (λ_n), $\text{W}/(\text{mK})$, joten erillistä U-arvon korjausta ei tarvitse tehdä [18, s. 8].

Selluvillan tiheys on noin 30 kg/m^3 . Huomioitava on, että vapaassa puhalluksessa esimerkiksi kattoristikoiden väliin tulee tuotteeseen tyyppihyväksynnän mukaisesti asentaa 20 %:n painumavara. [33.] Käytännössä tämä tarkoittaa silloin 540 mm:n eristevillakerrosta, jonka tulee mahtua yläpohjaan.

3.3.3 Alapohja

Alapohjan lämmönläpäisykertoimen vertailuarvona käytetään $U = 0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$ laskettaessa rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuutta rakentamismääräyskokoelman osan D3 mukaisesti. Kyseinen U-arvo saavutetaan kuvan 6 mukaisella rakenteella. Lattian sisäpuolista pintamateriaalia ei huomioida U-arvon laskennassa. Rakenteessa ei ole U-arvon laskentaan vaikuttavia epätasa-aineisia rakennekerroksia. Märkätilojen kohdilla eristepaksuus on 50 mm pienempi, mikä ei kuitenkaan vaikuta U-arvoon kuin muutaman kymmenyksen.



Kuva 6. Alapohjarakenne lämpimille tiloille. Rakenteen U-arvo täyttää rakentamismääräyskokoelman osan C3 (2010) määräykset.

U-arvo ilman korjaustekijöitä on $U = 1 / R_T = 0,164 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Kun U-arvon korjaustekijät huomioidaan liitteen 2 mukaisesti, saadaan lopulliseksi alapohjan suunnitteluarvoksi $U = 0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$.

3.3.4 Ikkunat

Luvun 2.2.1 taulukosta nähdään, että tasauslaskelmassa ikkunoiden lämmönläpäisykertoimen vertailuarvona käytetään $U = 1,00 \text{ W/m}^2\text{K}$ laskettaessa rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuutta rakentamismääräyskokoelman osan D3 mukaisesti.

Ikkunaksi valitaan kyseisen U-arvon täyttävä ikkuna. Esimerkiksi Eskopuu MS1E 170 mm 1.0 rst tai vastaava, jonka U-arvo on $U = 1,00 \text{ W/m}^2\text{K}$ [28].

3.3.5 Ovet

Vastaavasti ovien lämmönläpäisykertoimen vertailuarvona käytetään $U = 1,00 \text{ W/m}^2\text{K}$ laskettaessa rakennuksen vaipan lämpöhäviön määräystenmukaisuutta rakentamismääräyskokoelman osan D3 mukaisesti.

Kyseisen U-arvon täyttää esimerkiksi Kaskipuu Oy:n ”1,0-ovi” tai vastaava, jonka U-arvo on $U = 1,00 \text{ W/m}^2\text{K}$ [29]. Yrityksen rakentamissa rivitalokoh-teissa käytetään ulko-ovina ja parvekkeen ovina kahta eri ovityyppiä. Näiden U-arvot poikkeavat toisistaan, mutta tässä luvussa kaikkia ovia käsitellään samanlaisina ja niille käytetään kyseistä keskimääräistä U-arvoa.

3.4 Ilmatiiviys

Rakennuksen vertailulämpöhäviötä laskettaessa vuotoilmakertoimen arvo $n_{\text{vuotoilma}} = 0,08 \text{ 1/h}$, joka vastaa ilmanvuotolukua $n_{50} = 2,0 \text{ 1/h}$ [11, s. 11]. Vuotoilmakerroin ilmoittaa suhteessa rakennuksen ilmatilavuuteen ilmamäärän, joka yhden kerran tunnissa virtaa rakennusvaipan läpi. Ilmanvuotoluku taas ilmoittaa suhteessa rakennuksen ilmatilavuuteen ilmamäärän, joka yhden kerran tunnissa virtaa rakennusvaipan läpi paine-eron sisä- ja ulkoilman välillä ollessa 50 Pa.

Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D3 määrää ilmanvuotoluvusta seuraavaa:

Jos ilmanpitävyyttä ei osoiteta mittaamalla tai muulla menettelyllä, käytetään rakennuksen suunnitteluratkaisun lämpöhäviön laskennassa rakennuksen vuotoilmakertoimen arvoa $n_{\text{vuotoilma}} = 0,16 \text{ 1/h}$, mikä vastaa ilmanvuotolukua $n_{50} = 4,0 \text{ 1/h}$. Tätä pienempää arvoa voidaan käyttää, jos ilmanpitävyys osoitetaan mittaamalla tai muulla menettelyllä. [11, s. 11.]

Ympäristöministeriön julkaisema Tasauslaskentaopas 2007 määrittelee ilmanpitävyyden mittaamisen tai osoittamisen muulla menetelmällä. Jälkikäteen tehdyillä ilmanvuotomittauksilla saatua ilmanvuotolukua voidaan käyttää sellaisenaan energiaselvityksen tasauslaskelmassa. Muuna menettelynä voi olla esimerkiksi teollisen talonvalmistuksen laadunvarmistusmenettely, jolla tasauslaskelmissa käytettävä ilmanpitävyys voidaan luotettavasti arvioida ennalta. [19, s. 21 - 22.]

Normaalitapauksessa rakennuslupavaiheessa tehtävässä energiaselvityksessä tulee kuitenkin käyttää ilmanvuotolukuna $n_{50} = 4,0 \text{ 1/h}$. Mikäli ilmanpi-

tävyys osoitetaan kohteen valmistuttua paremmaksi, voidaan vaikutus huomioida siis sellaisenaan energiatodistuksen päivityksessä.

3.5 Ilmanvaihto ja lämmöntalteenotto

Vertailulämpöhäviötä laskettaessa käytetään ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteena arvoa 45 % [11, s. 12].

Vaipan U-arvot täyttävät sinällään Suomen rakentamismääräyskokoelman osan C3 arvot. Rakennuslupavaiheessa tehtävässä energiaselvityksessä joudutaan ilmanvuotolukuna käyttämään kaksinkertaista arvoa vertailuarvoon nähden. Tämä johtaa siihen, että kokonaislämpöhäviötä joudutaan alustavasti kompensoimaan, jolloin ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen tarvittava arvo määräytyy tasauslaskelmasta, mikäli muihin tekijöihin ei tehdä muutoksia. Vuosihyötysuhteen tulee olla riittävän suuri, jotta rakennuksen kokonaislämpöhäviö jää vertailulämpöhäviön alle.

Tasauslaskelmaa tutkimalla ja kokeilemalla huomataan, että tässä laskentatapauksessa lämmöntalteenottolaitteistojen keskimääräisen vuosihyötysuhteen tulee olla vähintään 65 %. Huomioitava on, että ilmanvaihtolaitteen korkealle vuosihyötysuhteelle (yli 30 %) on esitettävä lisäselvitys [19, s. 11].

Markkinoilla on eri toimintaperiaatteella toimivia ilmanvaihtokoneita. Koneessa oleva lämmönsiirrin voi toimia lähtökohtaisesti neljällä eri tavalla. Se voi olla niin sanottu nestekiertoinen, ristivirtalevy-, vastavirtalevy- tai regeneratiivinen lämmönsiirrin. Eri tyyppien vuosihyötysuhteet vaihtelevat suuresti niin, että nestekiertoisilla on pienin ja regeneratiivisilla lämmönsiirtimillä suurin hyötysuhde. Saavuttaakseen tässä laskentatapauksessa vaaditun 65 %:n vuosihyötysuhteen, tulisikin ilmanvaihtokoneen todennäköisesti olla toimintaperiaatteeltaan regeneratiivinen eli pyörivällä lämmönsiirtimellä toimiva. [38, s. 23.]

3.6 Puolilämpimät tilat

Alla on lueteltu puolilämpimien tilojen vaipparakenteiden U-arvojen vertailuarvot vuonna 2010. Esimerkkirakennuksen varastoina toimiville puolilämpimille tiloille ei ole asetettu LTO-vaatimusta.

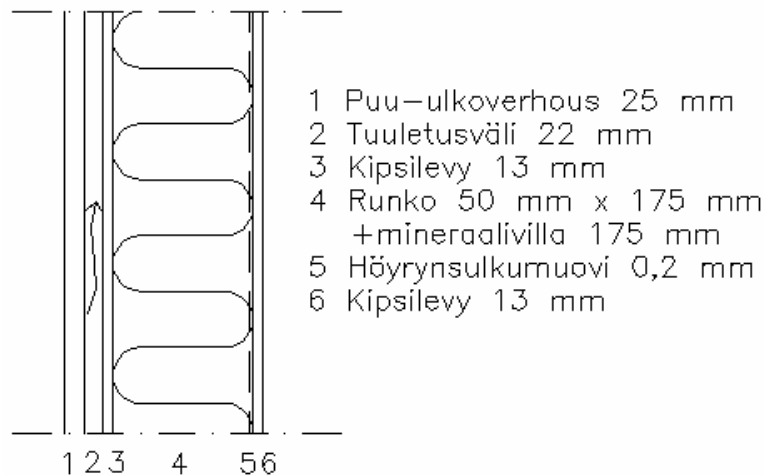
Taulukko 7. Suomen rakentamismääräyskokoelman mukaiset U-arvot [W/m^2K] sekä ilmanvuotoluvun [$1/h$] vertailuarvo puolilämpimille tiloille vuonna 2010 [32, s. 7; 11, s. 11].

Rakenneosa	SRakMK 2010
Ulkoseinä	0,26
Yläpohja	0,14
Tuuletettu alapohja	0,26
Maanvarainen alapohja	0,24
Ovi	1,4
Ikkuna	1,4
Ilmanvuotoluku (n_{50})	2

Seuraavissa luvuissa on laskettu esimerkkirakennuksen puolilämpimille tiloille Suomen rakentamismääräyskokoelman mukaan vaipparakenteiden U-arvot, joiden muodostama kokonaisuus tasauslaskelmassa on määräysten mukainen.

3.6.1 Ulkoseinä

Puolilämpimien varastojen uuden seinärakenteen rakenne on kuvan 7 mukainen.



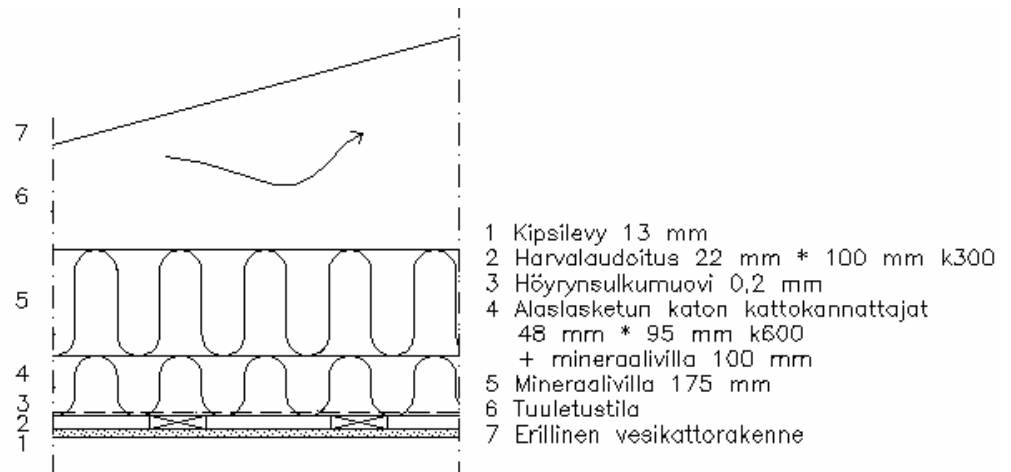
Kuva 7. Puolilämpimien tilojen seinärakenne, jonka U-arvo täyttää Suomen rakentamismääräyskokoelman osan C3 määräykset vuonna 2010.

U-arvon laskennassa ei huomioida puu-ulkoverhoista eikä ilmarakoa. Puurungon ja mineraalivillakerroksen muodostama epätasa-aineisen rakenteen kerroksen lämmönjohtavuus lasketaan materiaalien pinta-alojen suhteessa, jolloin lämmönläpäisykerroin $U = 1 / R_T = 0,223 W/m^2K$.

Kun U-arvon korjaustekijät huomioidaan liitteen 3 mukaisesti, saadaan lopulliseksi ulkoseinän arvoksi $U = 0,23 \text{ W/m}^2\text{K}$.

3.6.2 Yläpohja

Puolilämpimien tilojen yläpohjan eristys tehdään alasasketun katon päälle, jolloin sen rakenne on kuvan 8 mukainen.



Kuva 8. Puolilämpimien varastotilojen yläpohjan rakenne, jonka U-arvo täyttää Suomen rakentamismääräyskokoelman osan C3 määräykset vuonna 2010.

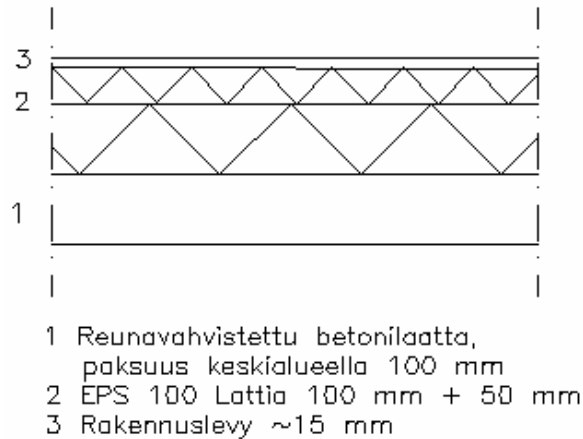
U-arvon laskennassa ei huomioida vesikatetta eikä tuuletusväliä. Rakenteelle saadaan todenmukainen U-arvo, kun lämmöneristystä kannattelevien kattopalkkien heikompi lämmöneristävyys huomioidaan pinta-alojen suhteessa kyseisen rakennekerroksen lämmönjohtavuutta laskettaessa.

$$U = 1 / R_T = 0,129 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Kun U-arvon korjaustekijät huomioidaan liitteen 4 mukaisesti, saadaan lopulliseksi yläpohjan arvoksi $U = 0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$.

3.6.3 Alapohja

Puolilämpimien varastotilojen alapohja tehdään maanvaraisena. Sen rakenne on kuvan 9 mukainen.



Kuva 9. Puolilämpimien tilojen alapohjarakenne, jonka U -arvo on Suomen rakentamismääräyskokoelman vuoden 2010 määräysten mukainen.

Rakenteessa ei ole epätasa-aineisia rakennekerroksia. $U = 1 / R_T = 0,220$ W/m^2K .

Kun U -arvon korjaustekijät huomioidaan liitteen 5 mukaisesti, saadaan lopulliseksi alapohjan arvoksi $U = 0,23$ W/m^2K .

3.6.4 Ikkunat ja ovet

Ikkunoiksi valitaan alkuperäisessäkin esimerkkirakennuksessa käytetty ikkunatyyppi, jonka U -arvo $U = 1,20$ W/m^2K ja ulko-oviksi U -arvoltaan $1,00$ W/m^2K oleva tuote. Nämä arvot ovat sinällään vertailuarvojakin parempia.

3.6.5 Ilmatiiviys

Energiaselvitystä ja tasauslaskelmaa tehtäessä ilmanvuotolukuna puolilämpimien tilojen suunnitteluratkaisussa käytetään myös laskennallista arvoa $n_{50} = 4,0$ $1/h$ Suomen rakentamismääräyskokoelman mukaisesti.

3.7 Lämpöhäviöiden laskenta ja määräystenmukaisuuden osoittaminen

Luvuissa 3.3 - 3.6 esitettyjen rakenteiden määräystenmukaisuus osoitetaan ympäristöministeriön Internet-sivuilta saatavalla Excel-pohjaisella tasauslaskimella. Sen täyttäminen tehdään ympäristöministeriön julkaiseman Tasauslaskentaopas 2007 mukaisesti.

Laskenta tehdään rakennuksen laajuustietojen eli eri osien mittoihin, pinta-alojen ja tilavuuksien avulla. Esimerkkirakennuksen energiatehokkuutta parannettaessa nämä parametrit pysyvät käytännössä ennallaan.

Rakennuskohde	Esimerkkirakennus, 1-kerroksinen rivitalo, yht. 10 huoneistoa
Rakennuslupatunnus	
Rakennustyyppi	Suuret asuinrakennukset
Pääsuunnittelija	
Tasauslaskelman tekijä	Kai Nordberg
Päiväys	12.2.2010
Tulos: Suunnitteluratkaisu	TÄYTTÄÄ VAATIMUKSET

Rakennuksen laajuustiedot

Rakennustilavuus	4 630 rak-m ³
Maanpäälliset kerrostasoalet yhteensä	1 175 m ²
Kerroskorkeus	3,4 m
Huonekorkeus	2,9 m
Ilmatilavuus, V, lämpimät tilat	3 273 m ³
Ilmatilavuus, V, puoliämpimät tilat	63 m ³

Laskentatuloksia

Julkisivun pinta-ala on 916 m²
 Ikkunapinta-ala on 17 % maanpäällisestä kerrostasoaalasta
 Ikkunapinta-ala on 22 % julkisivun pinta-alasta
 Lämpöhäviö on 99 % vertailutasosta (lämpimät tilat)
 Lämpöhäviö on 97 % vertailutasosta (puoliämpimät tilat)

Perustiedot	Pinta-alat, m ² [A]		U-arvot, W/(m ² K) [U]			Lämpöhäviöiden tasaus	
	Vertailu-arvo	Suunnittelu-arvo	Vertailu-arvo	Enimmäisarvo	Suunnittelu-arvo	Vertailuratkaisu	Suunnittelu-ratkaisu
RAKENNUSOSAT							
Lämpimät tilat							
Ulkoseinä	638	613	0,17	0,60	0,17	108,5	104,2
Hirsiseinä			0,40	0,60		-	-
Yläpohja	1 056	1 056	0,09	0,60	0,09	95,0	95,0
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,09	0,60		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) ¹⁾	1 056		0,17	0,60	0,17	143,6	143,6
Alapohja (maanvastainen)			0,16	0,60		-	-
Muu maanvastainen rakennusosa			0,16	0,60		-	-
Ikkunat	175,8	200,9	1,00	1,80	1,00	175,8	200,9
Ulko-ovet	55,2		1,00	-	1,00	55,2	55,2
Kattoikkunat			1,00	1,80		-	-
Lämpimät tilat yhteensä	2 981	2 981				578,1	598,9
Puoliämpimät tilat							
Ulkoseinä	44	44	0,26	0,60	0,23	11,5	10,1
Hirsiseinä			0,60	0,60		-	-
Yläpohja	30	30	0,14	0,60	0,14	4,2	4,2
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,14	0,60		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) ¹⁾			0,26	0,60		-	-
Alapohja (maanvastainen)	30		0,24	0,60	0,23	7,1	6,8
Muu maanvastainen rakennusosa			0,24	0,60		-	-
Ikkunat	0,4	0,5	1,40	2,80	1,20	0,6	0,6
Ulko-ovet	2,1		1,40	-	1,00	2,9	2,1
Kattoikkunat			1,40	2,80		-	-
Puoliämpimät tilat yhteensä	106	106				26,3	23,8
VAIPAN ILMAVUODOT							
	Ilmanvuotoluku, 1/h [n ₅₀]		Vuotoilmavirta, m ³ /s [q _{v,v} = n ₅₀ /25 x V/3600]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{v,uoitoilma} = 1200 x q _{v,v}]		
	Vertailu-arvo	Suunnittelu-arvo	Vertailu-arvo	Suunnittelu-arvo	Vertailuratkaisu	Suunnittelu-ratkaisu	
Vuotoilma							
Lämpimät tilat	2,0	4,0	0,0727	0,1455	87,3	174,6	
Puoliämpimät tilat	2,0	4,0	0,0014	0,0028	1,7	3,4	
ILMANVAIHTO							
	Poistoilmavirta, m ³ /s [q _{v,p}]		LTO:n vuosihyötysuhde, % [η _a]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _v = 1200 x q _{v,p} x (1-η _a)]		
	Vertailu-arvo	Suunnittelu-arvo	Vertailu-arvo	Suunnittelu-arvo	Vertailuratkaisu	Suunnittelu-ratkaisu	
Hallittu ilmanvaihto							
Lämpimät tilat	0,492		45	65	324,7	206,6	
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-	-	
Puoliämpimät tilat			45		-	-	
Puoliämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-	-	
Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus							
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä					990	980	
Puoliämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä					28	27	

Kuva 10. Tasauslaskelma luvuissa 3.3 - 3.6 esitettyjen ratkaisujen määräystenmukaisuuden osoittamiseksi. Laskelma kokonaisuudessaan esitetty liitteessä 6.

Tulos täyttää ennalta asetetut minimitalo-vaatimukset. Rakennuksen suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on kokonaisuudessaan vertailulämpöhäviötä pienempi, eli rakennus on näillä muuttujilla Suomen rakentamismääräyskoelman vuoden 2010 energiatehokkuusmääräysten mukainen.

3.8 Energiankulutus

Rakennuksen energiankulutus lasketaan Suomen rakentamismääräyskoelman osan D5 laskentakaavojen mukaisesti. Rakennuksen energiankulutukseen vaikuttaa pääasiallisesti rakennuksen tilojen lämpöhäviöenergiat eli vaipan lämmöneristävyys, rakenteiden ilmatiiviys sekä ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde. Lisäksi myös käyttöveden lämmitys, laitesähkö, lämmitysjärjestelmien lämpöhäviöenergia, mahdollinen jäähdytys ja rakennuksen niin kutsuttu hyödynnetty lämpöenergia ovat osa rakennuksen energiankulutusta. [38, s. 2.]

Nämä laskelmat perustuvat esimerkkirakennuksen laajuustietoihin. Rakenteina käytetään luvuissa 3.3 - 3.6 esitettyjä ratkaisuja.

Laskentamenetelmässä energiankulutus lasketaan kuukausittain käyttäen kuukauden keskimääräisiä arvoja ja vuosikulutus saadaan kuukausikulutusten summana. Energiankulutus lasketaan vaiheittain. Ensin lämpöhäviöenergiat, sitten käyttöveden lämmitystarve, lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergiat, laitesähköenergiankulutus, lämpökuormat, lämmitysenergiankulutus sekä lopuksi rakennuksen energiankulutus ja ostoenergiankulutus. [38, s. 9 - 10.] Tässä laskelmassa on oletettu, ettei tarkasteltu esimerkkirakennus tarvitse jäähdytystä.

3.8.1 Lämpöhäviöenergiat

Rakenteiden läpi johtuva energia lasketaan kaavoilla [38, s. 18]:

$$Q_{\text{joht}} = \sum H_{\text{joht}} * (T_s - T_u) * \Delta T / 1000$$

$$\sum H_{\text{joht}} = \sum (U_{\text{ulkoseinä}} * A_{\text{ulkoseinä}}) + \sum (U_{\text{yläpohja}} * A_{\text{yläpohja}}) + \sum (U_{\text{alapohja}} * A_{\text{alapohja}}) + \sum (U_{\text{ikkuna}} * A_{\text{ikkuna}}) + \sum (U_{\text{ovi}} * A_{\text{ovi}})$$

U = vaipparakenteen U -arvo, [W/m²K]

A = vaipparakenteen pinta-ala, [m²]

T_s = sisälämpötila, [°C]

T_u = kuukauden keskilämpötila, [°C]

ΔT = kuukauden pituus, [h]

Sisälämpötila pidetään rakennuksessa vakiona eli 21 °C:ssa. Puolilämpimien tilojen määritelmään nojaten käytetään kyseisille tiloille nyt varmalla puolella olevaa sisälämpötilan arvoa 17 °C tarkempien tietojen puuttuessa [32, s. 3]. Ulkolämpötilojen keskimääräiset arvot ovat kuukausien normaaleja keskilämpötiloja Jyväskylässä. Tuuletustilaan rajoittuvan alapohjan osalta ulko- ja sisäilman lämpötilaerona käytetään 20 % pienempää arvoa ja toisaalta puolilämpimien tilojen maanvaraisen alapohjan alapuolisen maan lämpötilana eli kyseisen rakenteen ulkopuolisena lämpötilana voidaan käyttää arvoa $T_u + 5$ °C. [38, s. 19, 59.] Huomion arvoista on, että eri lämpötilat on laskelmissa huomioitu, vaikka energiankulutuslaskentataulukoihin on havainnollistamisen vuoksi kuitenkin merkitty vain määräävät sisä- ja ulkolämpötilat.

Taulukko 8. Rakennuksen eri vaipparakenneosien läpi johtumalla kulkeutuva lämpöenergia. Rakenteiden läpi johtuvan energian arvot sisältävät sekä lämpimien että puolilämpimien tilojen häviöenergiat.

Kuukausi	Kuukauden pituus ΔT	Ulkolämpötila T_u	Sisälämpötila T_s	Ulkoseinä	Yläpohja	Alapohja	Ikkinat	Ovet	Rakenteiden läpi johtuva energia yht. Q_{joht}
	[h]	[°C]	[°C]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Tammikuu	744	-10,6	21	2659	2319	3491	4734	1341	14544
Helmikuu	672	-12,2	21	2524	2202	3315	4493	1273	13806
Maaliskuu	744	-2,58	21	1976	1728	2593	3532	999	10828
Huhtikuu	720	0,2	21	1684	1473	2208	3015	852	9233
Toukokuu	744	10,3	21	880	777	1152	1602	450	4861
Kesäkuu	720	14,9	21	473	424	616	883	246	2642
Heinäkuu	744	15	21	480	430	626	898	250	2684
Elokuu	744	14,8	21	497	445	648	928	258	2776
Syyskuu	720	7,97	21	1044	918	1367	1888	532	5749
Lokakuu	744	1,73	21	1610	1410	2111	2886	815	8831
Marraskuu	720	-0,59	21	1749	1530	2294	3130	885	9587
Joulukuu	744	-6,9	21	2344	2046	3077	4180	1183	12830
Koko vuosi	8760	2,67	21	17920	15702	23497	32168	9082	98370

Rakennuksen vaipan läpi johtumalla siirtyy vuodessa kokonaisuudessaan 98 370 kWh lämpöenergiaa.

3.8.2 Vuotoilman tarvitsema energia

Rakenteiden läpi vuotavan ilmamäärän tarvitsema energia lasketaan erikseen lämpimille ja puolilämpimille tiloille seuraavilla kaavoilla [38, s. 20 - 21]:

$$Q_{\text{vuotoilma}} = H_{\text{vuotoilma}} * (T_s - T_u) * \Delta T / 1000$$

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

$$\rho_i = \text{ilman tiheys } 1,2 \text{ kg/m}^3$$

$$c_{pi} = \text{Ilman ominaislämpökapasiteetti } 1000 \text{ Ws/kgK}$$

$$n_{50} = 4 \text{ 1/h}$$

$$n_{\text{vuotoilma}} = n_{50} / 25 = 4 \text{ 1/h} / 25 = 0,16 \text{ 1/h}$$

$$q_{v,\text{vuotoilma}} = n_{\text{vuotoilma}} * (V/3600) = 0,16 \text{ 1/h} * (3273 \text{ m}^3 / 3600) = 0,145 \text{ m}^3/\text{s},$$

jossa V = lämpimien tilojen ilmatilavuus

$$q_{v,\text{vuotoilma}} = n_{\text{vuotoilma}} * (V/3600) = 0,16 \text{ 1/h} * (63,2 \text{ m}^3 / 3600) = 0,00281 \text{ m}^3/\text{s},$$

jossa puolestaan V = puolilämpimien tilojen ilmatilavuus

$$H_{\text{vuotoilma, lämpimät tilat}} = 1,2 \text{ kg/m}^3 * 0,145 \text{ m}^3/\text{s} * 1000 \text{ Ws/kgK} = 174,0 \text{ W/K}$$

$$H_{\text{vuotoilma, PL-tilat}} = 1,2 \text{ kg/m}^3 * 0,00281 \text{ m}^3/\text{s} * 1000 \text{ Ws/kgK} = 3,37 \text{ W/K}$$

Taulukko 9. Vuotoilman tarvitsema energia kuukausittain. Taulukoidut $Q_{\text{vuotoilma}}$:n arvot sisältävät sekä lämpimien että puolilämpimien tilojen häviöenergiat.

Kuukausi	Kuukauden pituus ΔT	Ulkolämpötila T_u	Sisälämpötila T_s	$Q_{\text{vuotoilma}}$
	[h]	[°C]	[°C]	[kWh]
Tammikuu	744	-10,6	21	4160
Helmikuu	672	-12,2	21	3948
Maaliskuu	744	-2,58	21	3102
Huhtikuu	720	0,2	21	2647
Toukokuu	744	10,3	21	1402
Kesäkuu	720	14,9	21	769
Heinäkuu	744	15	21	782
Elokuu	744	14,8	21	808
Syyskuu	720	7,97	21	1654
Lokakuu	744	1,73	21	2533
Marraskuu	720	-0,59	21	2748
Joulukuu	744	-6,9	21	3672
Koko vuosi	8760	2,67	21	28224

Vuotoilman tarvitsema energia on 28 224 kWh/vuosi.

3.8.3 Ilmanvaihdon lämpöhäviöenergia

Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia Q_{iv} lasketaan kaavoilla [38, s. 22]:

$$Q_{iv} = \sum (H_{iv}(T_s - T_u) * \Delta T) / 1000$$

$$H_{iv} = \rho_i C_{pi} q_{v,poisto} t_{dr} t_v (1 - \eta_a)$$

$$q_{v, poisto} = \text{poistoilmavirta, m}^3/\text{s}$$

t_d = ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde, h/24h

t_v = ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhde, vrk/7 vrk

r = muuntokerroin, joka ottaa huomioon ilmanvaihtolaitoksen vuorokautisen käyntiajan

η_a = lämmöntalteenottolaitteiston vuosihyötysuhde

Energiankulutuksen laskenta kohdistuu asuinrakennukseen, jolloin ilmanvaihtolaitteisto suunnitellaan toimimaan koko ajan. Tästä johtuen termit t_d sekä t_v ovat suuruudeltaan 1,0. Kerroin $r = 1,0$ ympärivuotisessa käytössä [38, s. 25]. Laskettavana on kymmenen huoneiston rakennus, jossa on kymmenen asuntokohtaista ilmanvaihtolaitteistoa. Yksinkertaistamisen vuoksi laskelmissa oletetaan kaikille laitteistoille sama vuosihyötysuhde 65 %. Poistoilmavirta $q_{v, poisto}$ on huoneistojen poistoilmavirtojen summa 0,492 m³/s.

$$\text{Tällöin } H_{iv} = \rho_i C_{pi} q_{v,poisto} t_{dr} t_v (1 - \eta_a) = 206,64 \text{ W/K}$$

ja ilman lämmöntalteenottolaitteistoa $H_{iv, ei LTO:ta} = \rho_i C_{pi} q_{v,poisto} t_{dr} t_v = 590,4 \text{ W/K}$

Taulukko 10. Ilmanvaihdon tarvitsema energia kuukausittain.

Kuukausi	Kuukauden pituus ΔT	Ulkolämpötila T_u	Sisälämpötila T_s	Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia ilman LTO:a	LTO:lla talteennettu energia	Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia Q_{iv}
	[h]	[°C]	[°C]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Tammikuu	744	-10,6	21	13881	9022	4858
Helmikuu	672	-12,2	21	13172	8562	4610
Maaliskuu	744	-2,58	21	10358	6733	3625
Huhtikuu	720	0,2	21	8842	5747	3095
Toukokuu	744	10,3	21	4700	3055	1645
Kesäkuu	720	14,9	21	908	0	908
Heinäkuu	744	15	21	922	0	922
Elokuu	744	14,8	21	953	0	953
Syyskuu	720	7,97	21	5539	3600	1939
Lokakuu	744	1,73	21	8464	5502	2963
Marraskuu	720	-0,59	21	9178	5965	3212
Joulukuu	744	-6,9	21	12255	7966	4289
Koko vuosi	8760	2,67	21	89172	56153	33019

Ilmanvaihdon lämpöhäviöenergia on 33 019 kWh/vuosi.

3.8.4 Käyttöveden lämmitystarve

Energiatehokkuusluvun laskennan perustana olevien rakennettavien kohteiden huoneistojen koot, lukumäärä sekä kohteiden pinta-alat on vakioitu yrityksen tuotannossa. Näin ollen käyttöveden lämmitystarve pysyy samana yrityksen kaikissa rakennettavissa kohteissa, sillä lämmitystarpeeseen vaikuttavat asukkaiden henkilömäärä sekä lämpimän ja kylmän käyttöveden lämpötilat [38, s. 26].

Käyttöveden lämmityksen tarvitseman lämpöenergian suuruutena käytetään edelleen siten esimerkkirakennuksen arvoa 47 906 kWh/vuosi. Huoneisto-kohtaisella vesimittauksella on kuitenkin todennäköisesti alentava vaikutus asukkaiden vedenkulutustottumuksiin, joten todellisiin kulutuksiin perustavassa energiankulutus seurannassa voidaan saada esimerkkirakennukselle alhaisempiakin energiankulutuksia käyttöveden osalta.

3.8.5 Lämmitysjärjestelmien häviöenergiat

Lämmitysjärjestelmien häviöenergiat muodostuvat käyttöveden lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergiasta sekä tilojen lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergiasta. Tilojen energiahäviön suuruuteen puolestaan vaikuttavat

lämmitysjärjestelmän kehitys-, jakelu-, luovutus-, säätö- sekä varaajahäviöt ja käyttöveden energiahäviöihin kehitys-, kierto- sekä mahdolliset varaajahäviöt. [38, s. 28 - 31.]

Tässä työssä keskitytään vaipan johtumishäviöiden, ilmavuotojen ja lämmöntalteenoton vaikutuksiin energiankulutuksessa, eikä lämmitysjärjestelmiin oteta tarkemmin kantaa. Rakennuksen tilojen lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergiana käytetään siis esimerkkirakennuksen tietojen perusteella arvoa 25 378 kWh/vuosi. Käyttöveden lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergian suuruus puolestaan on 18 124 kWh/vuosi.

3.8.6 Laitesähkönkulutus

Laitesähkönkulutukseen lasketaan rakennuksen laitteiden sähköenergian kulutus ilman lämmitykseen tai jäähdytykseen käytettyä sähköä. Yksinkertaisin tapa sähköenergiankulutuksen laskemiseen on arvioida ominaissähköenergiankulutusarvoja rakennustyypeittäin. Kokonaiskulutukseen vaikuttavat valaistusjärjestelmiin, ilmanvaihtojärjestelmään sekä muihin laitteisiin kuluva energia. Rivitaloissa laitteiden sähkönkulutus on 50 kWh/brm²/vuosi. [38, s.33.] Kun huomioidaan tarkasteltavan rakennuksen bruttopinta-ala 1209 m², saadaan kiinteistön/laitteiden vuotuiseksi sähköenergiankulutukseksi 60 450 kWh.

Olennaista on huomata, että mikäli kiinteistössä olevien laitteiden sähkönkulutukset on määritetty tarkemmin, voidaan niitä käyttää kokonaisarvon 50 kWh/brm²/vuosi sijasta [38, s. 34]. Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 tarkemman laskentamenetelmän mukaan laskettu sähköenergiankulutus voi näin ollen jäädä selvästi alle arvon 60 450 kWh/vuosi, sillä kyseinen arvo on varman puolella oleva arvio tarkempien tietojen, kuten valaistusjärjestelmien tehojen puuttuessa [39].

3.8.7 Lämpökuormat ja rakennuksen hyödynnetty lämpökuormaenergia

Ilmanvaihtokoneen jälkilämmityspatteri

Kun lasketaan erikseen ilmanvaihtokoneessa tai tuloilmakanavassa olevan tuloilman jälkilämmityspatterin lämmitysenergiankulutus $Q_{\text{lämmitys, tuloilmapatteri}}$, lasketaan se alla olevilla kaavoilla [38, s. 24]:

$$Q_{\text{lämmitys, tuloilmapatteri}} = \rho_i c_{p,i} q_{v,tulo} t_d f t_v (T_{tulo} - T_u - \eta_{t,a} (T_s - T_u)) \Delta t / 1000$$

$$q_{v,tulo} = \text{rakennuksen tuloilmavirta } m^3/s = 0,445 m^3/s$$

T_{tulo} = tuloilman lämpötilan asetusarvo jälkilämmityspatterin jälkeen,

(yleensä 15 ... 18 °C), käytetään arvoa 18 °C

$$\eta_{t,a} = \eta_a / R$$

$$R = \text{tuloilmavirran suhde poistoilmavirtaan} = 0,445 m^3/s / 0,492 m^3/s = 0,90$$

$$\eta_{t,a} = \eta_a / R = 0,65 / 0,90 = 0,72$$

Mikäli ulkolämpötila on korkeampi kuin tuloilman lämpötilan asetusarvo tai lämmöntalteenotto kykenee nostamaan tuloilman lämpötilan korkeammaksi kuin tuloilman lämpötilan asetusarvo, on $Q_{\text{lämmitys, tuloilmapatteri}}$ negatiivinen. Tällöin tuloilman jälkilämmityspatterin energiankulutuksena käytetään arvoa 0 kWh. [38, s. 24.]

Taulukko 11. Ilmanvaihtokoneen jälkilämmityspatterin energiankulutus kuukausittain.

Kuukausi	Kuukauden pituus ΔT [h]	Ulkolämpötila T_u [°C]	Sisälämpötila T_s [°C]	$Q_{\text{lämmitys, tuloilmapatteri}}$ [kWh]
Tammikuu	744	-10,6	21	2323
Helmikuu	672	-12,2	21	2259
Maaliskuu	744	-2,58	21	1431
Huhtikuu	720	0,2	21	1086
Toukokuu	744	10,3	21	-2
Kesäkuu	720	14,9	21	-497
Heinäkuu	744	15	21	-524
Elokuu	744	14,8	21	-502
Syyskuu	720	7,97	21	249
Lokakuu	744	1,73	21	952
Marraskuu	720	-0,59	21	1171
Joulukuu	744	-6,9	21	1912
Koko vuosi	8760	2,67	21	

Lämpökuorma

Rakennukseen kohdistuva lämpökuorma koostuu kokonaisuudesta, johon vaikuttavat henkilöiden luovuttama lämpöenergia, tilan ja veden lämmityslaitteista vapautuva lämpö, valaistuksesta sekä muista sähkölaitteista vapautu-

va energia ja ikkunoiden kautta säteilevä auringon tuottama lämpö [38, s. 39]:

$$Q_{\text{lämpökuorma}} = Q_{\text{henk}} + Q_{\text{lämmitys, kuorma}} + Q_{\text{lkv, kuorma}} + Q_{\text{sähkö}} + Q_{\text{aurinko}}$$

Luvussa 3.1 esitettyjä lämpökuormien määriä voidaan käyttää tämän työn energiankulutuslaskelmassa. Nämä lämpökuormien arvot pätevät kuitenkin vain kyseisessä laskentatapauksessa, jolloin lämpökuormat ovat yhteensä 116 704 kWh/vuosi. Esimerkiksi ikkunoiden läpi säteilevää auringon lämpöenergiaa voidaan pienentää tarvittaessa niin sanotuilla auringonsuojalaseilla [40]. Tämä olisi tarpeellista erittäin alhaiseen energiankulutukseen tähtäävissä rakennuksissa, joissa niin sanotun ylikuumenemisen vaara on olemassa [41].

Hyödynnettävä lämpökuorma

Lämpöenergia, joka rakennuksessa voidaan hyödyntää, lasketaan joka kuukaudelle erikseen alla olevilla kaavoilla [38, s. 47 - 49]:

$$Q_{\text{sis.lämpö}} = \eta_{\text{lämpö}} * Q_{\text{lämpökuorma}}$$

$\eta_{\text{lämpö}}$ = lämpökuormien hyödyntämisaste kuukausittain

$$\eta_{\text{lämpö}} = (1 - \gamma^a) / (1 - \gamma^{a+1})$$

mikäli $\gamma > 1,0$ on $\eta_{\text{lämpö}} = a / (a+1)$

$$\gamma = Q_{\text{lämpökuorma}} / Q_{\text{lämpöhäviö}}$$

$$a = 1 + (\tau / 15)$$

$$\tau = C_{\text{rak}} / H$$

$$H = (Q_{\text{lämpöhäviö}} / ((T_s - T_u) \Delta t)) * 1000$$

$Q_{\text{lämpöhäviö}}$ = rakennuksen lämpöhäviöenergia yhteensä

Δt = kuukauden pituus, h

$$C_{\text{rak}} = 70 \text{ Wh}/(\text{brm}^2\text{K}) = 70 \text{ Wh}/(\text{brm}^2\text{K}) * 1209 \text{ brm}^2 = 84630 \text{ Wh/K}$$

Taulukko 12. Rakennuksessa hyödynnettävät lämpökuormat.

Kuukausi	Rakennuksen lämpöhäviöenergia yht. A [kWh]	Tuloilman jälkilämmityspatteri B [kWh]	Lämpöhäviöenergia ilman jälkilämmityspatteria C=A-B [kWh]	Lämpökuormat yhteensä D [kWh]	Lämpökuormaenergian suhde lämpöhäviöenergiaan γ D/C	Rakennuksen ominaislämpöhäviö [W/K]	Aika vakio τ h	Lämpökuormien lämpöenergian hyödyntämisaste $\eta_{\text{lämpö}}$
Tammikuu	23562	2323	21239	9897	0.466	903	94	0.998
Helmikuu	22364	2259	20105	10290	0.512	901	94	0.996
Maaliskuu	17555	1431	16124	11229	0.696	919	92	0.976
Huhtikuu	14975	1086	13889	12687	0.913	927	91	0.912
Toukokuu	7908	0	7908	9431	1.193	993	85	0.870
Kesäkuu	4319	0	4319	8613	1.994	983	86	0.870
Heinäkuu	4388	0	4388	8579	1.955	983	86	0.870
Elokuu	4537	0	4537	8339	1.838	984	86	0.870
Syyskuu	9342	249	9093	8410	0.925	969	87	0.904
Lokakuu	14327	952	13375	9895	0.740	933	91	0.966
Marraskuu	15547	1171	14376	9619	0.669	925	92	0.980
Joulukuu	20791	1912	18879	9714	0.515	909	93	0.996
Koko vuosi	159615	11383	148232	116703				0,934

Lämpökuormista voidaan vuosittain hyödyntää keskimäärin 93,4 %.

3.8.8 Rakennuksen energiatehokkuusluku

Rakennuksen energiankulutuksen jakauma ja kokonaisenergiankulutus on esitetty taulukossa 13. Vertailupaikkakuntana on Jyväskylä, sillä uudisrakennuksen energiankulutuksen laskennassa käytetään SRakMK D5 Liite 1 säävyöhyke III (Jyväskylä-Luonetjärvi) mukaisia säätietoja [38, s.56].

Esimerkkirakennuksen lämmöntuottolaitteena on kaukolämpö, jolloin sen vuosihyötysuhde on 1,0. Lisäksi sähköntuotto- ja muuntolaitteen vuosihyötysuhde on 1,0. Tällöin ostoenergiankulutus on samansuuruinen kuin kokonaisenergiankulutus [38, s. 13 - 15]. Laskelmassa katsotaan, ettei rakennus tarvitse jäähdytystä.

Taulukko 13. Esimerkkirakennuksen energiankulutus vuoden 2010 energiatehokkuusmääräysten mukaisilla minimiratkaisuilla.

Rakennuksen energiankulutus vertailupaikkakunnalla	[kWh]
Käyttöveden lämmityksen tarvitsema energia	47 906
Käyttöveden lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergia	18 124
Rakennuksen vaipan lämpöhäviöenergia	98 370
Vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia	28 224
Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia	33 019
Tilojen lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergia	25 378
Rakennuksen hyödynnetty lämpökuormaenergia	$0,934 * (-116\ 703) = -109\ 001$
Kiinteistön/laitteiden sähköenergia	60 450
Jäähdytysenergia	0
Yhteensä	202 470

Kun rakennuksen energiankulutus jaetaan rakennuksen bruttopinta-alalla, saadaan rakennuksen energiatehokkuusluku.

$$202\ 470\ \text{kWh/vuosi} / 1209\ \text{brm}^2 = 168\ \text{kWh/brm}^2/\text{vuosi}$$

Energiatehokkuusluokittelun mukaisesti rakennus kuuluisi näillä rakenteilla ja muuttujilla luokkaan D. Esimerkkirakennus täyttää tasauslaskelman mukaisesti energiataloudeltaan Suomen rakentamismääräyskokoelman minimimääräykset ja se onkin näin ollen energiatehokkuusluokittelultaan normaalia keskitasoa. Asuntojen myyntitilanteessa kyseisen tason energiatodistus ei kuitenkaan välttämättä nosta asunnon myyntiarvoa.

Tässä laskelmassa on laskettu vain rakennuksen energiankulutus. Laskelmaa ei voida suoraan käyttää rakennuslupamenettelyssä vaadittavana energiaselvityksenä, sillä energiankulutuksen lisäksi selvityksessä tulee esittää myös ilmanvaihdon sähköteho sekä rakennuksen lämmitysteho.

4 TAPOJA RAKENNUKSEN ENERGIATEHOKKUUSLUVUN PARANTAMISEKSI

Tässä luvussa tutkitaan tapoja Mittakodit Oy:n rivitalotuotannon rakennusten energiatehokkuusluvun parantamiseksi. Perustajaurakoitsijan tavoitteena on järkevin kustannuksin saavuttaa energialuokituksessa taso, joka asuntoja myytäessä lisäisi asuntojen myyntiarvoa. Tutkittava esimerkkirakennus on arkkitehtuuriltaan ja laajuuksiltaan identtinen kuin luvussa 3.1 esitetty.

Kokonaisenergiankulutus on taulukon 13 mukaisesti kaikkien tekijöiden summa, joten kaikkien osa-alueiden parantaminen mahdollisuuksien mu-

kaan on tärkeää. Samainen taulukko osoittaa kuitenkin, että johtumishäviöiden, ilmavuotojen sekä ilmanvaihdon muodostama osuus on energiankulutuksesta noin 52 %. Tässä luvussa tarkastellaankin näiden kolmen tekijän kustannustehokkaita sekä helposti toteutettavia parantamiskeinoja ja vaikutuksia energiatehokkuuslukuun yrityksen luomien reunaehtojen mukaisesti. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että tutkittavana ei ole suuria rakenteiden muutoksia vaativia toimenpiteitä. Toisaalta tarkastelussa ei huomioida puoli-lämpimien tilojen parantamista. Realistiseksi tavoitteeksi asetetaan energiatehokkuusluokan nostaminen luokasta D luokkaan C tai B. Tiedot parantamiskeinojen kustannuksista materiaalien osalta saadaan suoraan yrityksen johdolta eli tietolähteistä, jotka perustuvat aikaisempiin kustannustietoihin. Työmenekit on puolestaan laskettu Rakennusteollisuus RT ry:n julkaiseman *Rakennustöiden menekit 2006* mukaan.

Hyväksi vertailupohjaksi otetaan arviot vuoden 2012 mukaisista U-arvoista ja muista rakennuksien vertailuarvoista, jotka on esitetty luvussa 2.2.1. Taulukosta 14 selviää myös ohjeelliset ja suuntaa antavat tavoitearvot niin sanotussa passiivirakentamisessa.

Taulukko 14. Passiivirakentamisen suuntaa-antavat tavoitearvot vaipparakenteille [43].

Rakenneosa	U-arvo [W/m ² K]
Ulkoseinä	0,07 - 0,10
Alapohja	0,08 - 0,10
Yläpohja	0,06 - 0,09
Ikkuna	0,70 - 0,90
Ulko-ovi	0,40 - 0,70
Ilmanvuotoluku n_{50} [1/h]	0,6

4.1 Vaipparakenteet

4.1.1 Ulkoseinä

Seinärakennevaihtoehto, jossa luvussa 3.3.1 esitettyyn rakenteeseen lisätäisiin vielä yksi ristiinkoolattu 50 mm:n mineraalivillakerros sen kantavine rakenteineen, parantaa energiakulutuskäytettävää ulkoseinärakenteen suunniteltua U-arvoa lukemaan 0,15 W/m²K, kun arvo lasketaan kyseisessä luvussa esitettyä laskentatapaa käyttäen.

Lisätyötä tämä aiheuttaa puurungon teon osalta $0,17 \text{ tth/m}^2$ sekä lisäeristyskerroksen asentamisen osalta $0,064 \text{ tth/m}^2$ [45, s. 78, 96]. Esimerkkirakennuksen ulkoseinän kokonaispinta-ala on $613,1 \text{ m}^2$, joten lisätyötunteja tulee $143,5 \text{ h}$. Kun keskimääräisinä palkka- ja sosiaalikuluna käytetään 35 €/h , saadaan lisäkustannuksiksi työsuorituksen osalta 5021 € [46]. Kun ristiinkoolauksena on $48 \text{ mm} * 48 \text{ mm}$ k600, puutavaran menekki on noin 1022 m . Kyseisen puutavaran arvonlisäveroton hinta on noin $0,75 \text{ €/m}$, joten lisäkustannus on 767 € . Toisaalta 50 mm paksun mineraalivillalevyn hinta on $1,79 \text{ €/m}^2$, joten lisäkustannuksia tulee 1097 € . Kokonaiskustannukset materiaalien osalta ovat siis 1864 € . [44.]

4.1.2 Yläpohja

Yläpohjan U-arvon parantamista entisestään arvosta $0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$ ei tässä työssä käsitellä. Kyseinen arvo on jo passiivirakentamisen määritelmässikin hyvä ja toisaalta entisestään paksummat yläpohjan eristyskerrokset aiheuttaisivat tarkasteltavissa rakenteissa huomattavia muutoksia, jotka tällä hetkellä haluttiin minimoida.

4.1.3 Alapohja

Luvussa 3.3.3 esitetyn alapohjarakenteen U-arvo on $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$. Tutkitaan eristävydeltään parannetun alapohjarakenteen vaikutusta energiatehokkuuslukuun. Mikäli eristyskerrosta kasvatetaan samalla eristelevyllä toteutettuna 250 mm :iin muun rakenteen pysyessä ennallaan, saadaan alapohjan U-arvoksi $0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$, kun arvo lasketaan kyseisessä luvussa esitettyä laskentatapaa käyttäen. Tämä aiheuttaa yhden ylimääräisen eristelevykerroksen asentamisen, minkä työmenekki on $0,042 \text{ tth/m}^2$ [45, s. 96]. Alapohjan pinta-ala oli $1055,8 \text{ m}^2$, joten lisätyötä tulisi noin 44 h ja lisäkustannuksia noin 1552 € [46]. Arvonlisäveroton hinta EPS Lattia $100 - 50 \text{ mm}$ -tuotteelle on noin $1,8 \text{ €/m}^2$ ja menekki $1055,8 \text{ m}^2$, joten materiaalikustannus olisi 1900 € [44]. Lisäkustannuksia kokonaisuudessaan alapohjan osalta tulisi siis 3452 € . Thermisol Platina -eristeellä päästäisiin ohuempiin rakennekerrokseen sen paremman lämmöneristävyyden vuoksi. 250 mm :n normaali EPS-eristyskerros vastaisi noin 200 mm :n eristystä Thermisol Platinalla, kun rakenteen U-arvoja lasketaan kohdassa 3.3.3 esitetyllä tavalla.

4.1.4 Ovet ja ikkunat

Ikkunoiden eristävyysparantamisessa tutkitaan tuotetta, jonka U-arvo on 0,85 W/m²K. Kustannuslisä verrattuna ikkunaan, jonka U = 1,0 W/m²K, on 35 €/m² [44]. Tutkittavassa kohteessa ikkunapinta-alaa on 200,9 m², joten kustannuslisä kokonaisuudessaan olisi 7031,5 €.

Ulko-ovien parantamisessa kohteena ovat sekä umpirakenteiset ulko-ovet että ikkunalliset terassien ovet. Kohteen kymmenen ulko-oven U-arvon parantaminen arvoon 0,58 W/m²K tuo lisäkustannuksia 10 * 100 € = 600 € ja 16 terassioven U-arvon parantaminen arvoon 0,75 W/m²K lisäkustannuksia 16 * 60 € = 960 € [44]. Energiankulutuslaskelmassa käytettävä keskimääräinen U-arvo on tällöin 0,68 W/m²K ja kustannustarkastelussa lisäkustannus 1560 €.

4.2 Vaipparakenteiden eristävyysparantamisen vaikutus

Kun lasketaan luvussa 4.1 esitetyillä ratkaisuilla rakennuksen vaipparakenteiden läpi kulkeutuva lämpöenergia, saadaan vuotuisesti arvoksi 84 723 kWh.

Taulukko 15. Vaipparakenteiden läpi johtumalla siirtyvä lämpöenergia, kun rakenteiden lämmöneristävyys on entisestään parannettu.

Kuukausi	Kuukauden pituus ΔT	Ulkolämpötila T _u	Sisälämpötila T _s	Ulkoseinä	Yläpohja	Alapohja	Ikkunat	Ovet	Rakenteiden läpi johtuva energia yht. Q _{joht}
	[h]	[°C]	[°C]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Tammikuu	744	-10.6	21	2370	2319	2895	4026	926	12536
Helmikuu	672	-12.2	21	2251	2202	2749	3820	879	11901
Maaliskuu	744	-2.58	21	1761	1728	2149	3004	689	9330
Huhtikuu	720	0.2	21	1500	1473	1829	2564	588	7954
Toukokuu	744	10.3	21	783	777	950	1362	309	4181
Kesäkuu	720	14.9	21	419	424	505	751	168	2267
Heinäkuu	744	15	21	426	430	513	763	171	2302
Elokuu	744	14.8	21	441	445	531	789	177	2382
Syyskuu	720	7.97	21	929	918	1129	1605	366	4948
Lokakuu	744	1.73	21	1434	1410	1748	2454	562	7607
Marraskuu	720	-0.59	21	1558	1530	1900	2661	610	8259
Joulukuu	744	-6.9	21	2089	2046	2551	3554	816	11057
Koko vuosi	8760	2,67	21	15961	15702	19448	27353	6260	84723

Luvun 3.8.1 mukaisten minimirakenteiden mukaan laskettu rakennusvaipan läpi tapahtuva johtumishäviö oli kokonaisuudessaan 98 370 kWh/vuosi, joten energiankulutuksen pieneneminen on 13 647 kWh/vuosi eli noin 14 %. Vaipparakenteiden eristävyysparantamisen hinta olisi yhteensä 18 929 €.

4.3 Ilmatiivisyys

Tutkitaan energiankulutuksen pienentymistä siinä tapauksessa, että hyvällä yksityiskohtien suunnittelulla ja huolellisella työsuorituksella saavutettaisiin passiivirakentamistason mukainen ilmanvuotoluku $n_{50} = 0,6$ 1/h. Tämä tavoitetaso on puurunkoisella rakennuksella täysin mahdollinen, mistä osoituksena on esimerkiksi Valkeakosken asuntomessuille 2009 valmistunut Paroc Lupaus -passiivitalo, jonka ilmanvuotoluvuksi n_{50} on mittauksin todennettu 0,28 1/h [47].

Huolellinen suunnittelu ja työsuoritus eivät juuri tuo lisäkustannuksia rakennusprosessin aikana [24, s. 14]. Jotta energiankulutuslaskelmassa voidaan käyttää arvoa $n_{50} = 4,0$ 1/h parempaa lukemaa, tulee ilmanpitävyys siis todentaa erillisellä ilmanpitävyyssmittauksella. Hinta mittaukselle vaihtelee noin 550 €n ja 2000 €n välillä [48; 17].

Kun $n_{50} = 0,6$ 1/h, ovat ominaislämpöhäviöt

$$H_{\text{vuotoilma, lämpimät tilat}} = 1,2 \text{ kg/m}^3 * 0,0218 \text{ m}^3/\text{s} * 1000 \text{ Ws/kgK} = 26,18 \text{ W/K ja}$$

$$H_{\text{vuotoilma, PL-tilat}} = 1,2 \text{ kg/m}^3 * 0,000421 \text{ m}^3/\text{s} * 1000 \text{ Ws/kgK} = 0,50 \text{ W/K.}$$

Taulukko 16. Vuotoilman tarvitsema energia, kun $n_{50} = 0,6$ 1/h.

Kuukausi	Kuukauden pituus ΔT	Ulkolämpötila T_u	Sisälämpötila T_s	$Q_{\text{vuotoilma}}$
	[h]	[°C]	[°C]	[kWh]
Tammikuu	744	-10,6	21	626
Helmikuu	672	-12,2	21	594
Maaliskuu	744	-2,58	21	467
Huhtikuu	720	0,2	21	398
Toukokuu	744	10,3	21	211
Kesäkuu	720	14,9	21	116
Heinäkuu	744	15	21	118
Elokuu	744	14,8	21	122
Syyskuu	720	7,97	21	249
Lokakuu	744	1,73	21	381
Marraskuu	720	-0,59	21	413
Joulukuu	744	-6,9	21	552
Koko vuosi	8760	2,67	21	4246

Vuodessa lämpöenergiaa häviää vuotoilmana 4246 kWh, joka on vain 15 % ilmanvuotoluvun $n_{50} = 4,0$ 1/h mukaan lasketusta energiankulutuksesta.

4.4 Ilmanvaihto ja lämmöntalteenotto

Kymmenen huoneiston yhteenlaskettu poistoilmavirta on 0,492 m³/s ja rakennuksen tuloilmavirta on 0,445 m³/s. Tuloilmavirrat vaihtelevat huoneistoitain 0,030 - 0,070 m³/s. Ilmanvaihdon lämmöntalteenotolla voidaan halutesa parantaa energiatehokkuuslukua helposti ilman suuria rakenteellisia muutoksia. Kehittyneen tekniikan ansiosta markkinoilla onkin ilmanvaihtokoneita, joissa on jopa 80 %:n vuosihyötysuhde. Niille viidelle huoneistolle, joiden koot ovat 62 - 95 m², valitaan esimerkkilaskelmassa tuloilmavirtamäärien perusteella ilmanvaihtokoneeksi Enervent Pingvin 85 EC. Sen vuosihyötysuhde on 76,4 % ja arvonlisäveroton kappalehinta 1714 € [36]. Pinta-alaltaan 109 - 150 m²:n huoneistojen ilmvaihtokoneeksi tässä esimerkkilaskelmassa valitaan samoin perustein Enervent Pingvin 120. Sen vuosihyötysuhde on 75,2 % ja arvonlisäveroton kappalehinta 1845 € [35]. Tällöin energiatehokkuusluvun laskennassa käytetään huoneistojen keskimääräisenä vuosihyötysuhteena arvoa 75,8 %. Poistoilmavirta pysyy arvossa 0,492 m³/s. Ilmanvaihtolaitteistojen kustannukset olisivat nyt kokonaisuudessaan 17 795 €. Arvonlisäverottomat kustannukset nykyisille ilmanvaihtolaitteistoille ovat 10 kpl * 1170 € = 11 700 € [46], joten lisäkustannuksia tulisi tässä tapauksessa 6095 €

Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia Q_{iv} saadaan seuraavasti:

$$\text{Nyt } H_{iv} = \rho_i c_{pi} q_{v,poisto} t_d r t_v (1 - \eta_a) = 142,9 \text{ W/K}$$

$$H_{iv, \text{ei LTO:ta}} = \rho_i c_{pi} q_{v,poisto} t_d r t_v = 590,4 \text{ W/K}$$

$$Q_{iv} = \sum (H_{iv} (T_s - T_u) * \Delta T) / 1000$$

Taulukko 17. Ilmanvaihdon tarvitsema energia kuukausittain, kun ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdetta on parannettu arvoon 75,8 %.

Kuukausi	Kuukauden pituus ΔT	Ulkolämpötila T_u	Sisälämpötila T_s	Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia ilman LTO:a	LTO:lla talteen otettu energia	Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia Q_{iv}
	[h]	[°C]	[°C]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Tammikuu	744	-10,6	21	13881	10521	3360
Helmikuu	672	-12,2	21	13172	9984	3188
Maaliskuu	744	-2,58	21	10358	7851	2507
Huhtikuu	720	0,2	21	8842	6702	2140
Toukokuu	744	10,3	21	4700	3562	1138
Kesäkuu	720	14,9	21	628	0	628
Heinäkuu	744	15	21	638	0	638
Elokuu	744	14,8	21	659	0	659
Syyskuu	720	7,97	21	5539	4198	1341
Lokakuu	744	1,73	21	8464	6416	2049
Marraskuu	720	-0,59	21	9178	6956	2221
Joulukuu	744	-6,9	21	12255	9289	2966
Koko vuosi	8760	2,67	21	88313	65479	22834

Vuotuinen ilmanvaihdon lämpöenergiankulutus olisi nyt 22 834 kWh arvon 33 019 kWh sijaan, joten energiankulutus pienenesi tämän osa-alueen kohdalla 31 %.

4.5 Yhteisvaikutus energiatehokkuuslukuun

Kun rakennuksen ilmanvaihtoon, vuotoilmaan ja vaipan johtumishäviöihin kuluvan energian määrä pienenee, muuttuu myös rakennuksessa hyödynnettävien lämpökuormien suuruus.

Taulukossa 18 on laskettu rakennuksessa hyödynnettävät lämpökuormat, kun kokonaislämpöhäviöenergia on pienentynyt luvuissa 4.2 - 4.4 esitetyillä tavoilla.

Taulukko 18. Rakennuksessa hyödynnettävät lämpökuormat.

Kuukausi	Rakennuksen lämpöhäviöenergia yht. A	Tuloilman jälkilämmityspatteri B	Lämpöhäviö energia ilman tuloilman jälkilämmityspatteria C=A-B	Lämpökuormat yhteensä D	Lämpökuormaenergian suhde lämpöhäviöenergiaan γ D/C	Rakennuksen ominaislämpöhäviö	Aika vakio τ	Lämpökuormien lämpöenergian hyödyntämisaste $\eta_{\text{lämpö}}$
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	-	[W/K]	h	
Tammikuu	16522	2323	14199	9897	0.697	604	140	0.993
Helmikuu	15683	2259	13424	10290	0.767	602	141	0.984
Maaliskuu	12304	1431	10873	11229	1.033	620	137	0.895
Huhtikuu	10492	1086	9406	12687	1.349	628	135	0.909
Toukokuu	5530	0	5530	9431	1.705	695	122	0.901
Kesäkuu	3011	0	3011	8613	2.861	686	123	0.902
Heinäkuu	3058	0	3058	8579	2.805	685	124	0.902
Elokuu	3163	0	3163	8339	2.636	686	123	0.902
Syyskuu	6538	249	6289	8410	1.337	670	126	0.904
Lokakuu	10037	952	9085	9895	1.089	634	134	0.908
Marraskuu	10893	1171	9722	9619	0.989	625	135	0.914
Joulukuu	14575	1912	12663	9714	0.767	610	139	0.984
Koko vuosi	111806	11383	100423	116703				0,925

Muut rakennuksen energiankulutukseen vaikuttavat tekijät eli käyttöveden lämmityksen tarvitsema energia, käyttöveden ja tilan lämmitysjärjestelmien lämpöhäviöenergiat sekä laitesähkönkulutus pysyvät ennallaan, joten rakennuksen uusi energiankulutus voidaan nyt laskea.

Rakennuksen energiankulutus tässä laskentatapauksessa on 155 711 kWh/vuosi, kuten taulukko 19 osoittaa.

Taulukko 19. Rakennuksen energiankulutus.

Rakennuksen energiankulutus vertailupaikkakunnalla	[kWh]
Käyttöveden lämmityksen tarvitsema energia	47 906
Käyttöveden lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergia	18 124
Rakennuksen vaipan lämpöhäviöenergia	84 723
Vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia	4 246
Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia	22 834
Tilojen lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergia	25 378
Rakennuksen hyödynnetty lämpökuormaenergia	$0,925 \cdot (-116\,703) = -107\,950$
Kiinteistön/laitteiden sähköenergia	60 450
Jäähdytysenergia	0
Yhteensä	155 711

Kun kokonaisenergiankulutus jaetaan rakennuksen bruttopinta-alalla 1209 m², saadaan energiatehokkuusluvuksi 129 kWh/brm²/vuosi. Rakennuksen ET-luokka olisi tällöin C, joka sinällään täyttää energialuokan parantamiselle asetetut tavoitteet. Kokonaiskustannukset energiankulutuksen pienentämi-

selle kyseiseen arvoon arvosta 168 kWh/brm²/vuosi olisivat arviolta 27 024 €, jotka lankeaisivat kokonaisuudessaan perustajaurakoitsijan maksettaviksi. Kun lisäkustannukset jaetaan esimerkkirakennuksen huoneistoalalla 1043 m², huomataan kustannusten olevan vain noin 26 €/m². Ainakin tämän verran pitäisi siis asuntojen hintaa myytävää neliometriä kohden pystyä nostamaan lisäkulujen kattamiseksi.

Energiatehokkuusluokan B yläraja on 120 kWh/brm²/vuosi, mikä tarkoittaisi kokonaisenergiankulutuksena 145 080 kWh/vuosi. Mikäli haluttaisiin saavuttaa kyseinen taso, tulisi pienennystä tehdä siis jostakin kohdasta vielä arviolta 10 631 kWh/vuosi. Koska ilmatiiviyden ja ilmanvaihdon lämmöntalteenoton parantaminen on toteutettu jo lähes maksimaalisiksi, jäisi ensisijaiseksi vaihtoehdoksi vaipparakenteiden eristävyysparantaminen. Kun verrataan nyt suunniteltuja U-arvoja uudelleen passiivirakentamisen suuntaa antaviin tavoitearvoihin, huomataan suurinta parantamispotentiaalia olevan edelleen alapohjan ja ulkoseinän U-arvoissa. Näiden arvojen parantaminen passiivirakentamisen tasoon nostaisi energiatehokkuusluokan tasoon B, kun lämpöhäviöt laskettaisiin uudelleen luvun 3.8.1 laskentamenettelyn mukaan. Tämä tarkoittaisi käytännössä kuitenkin ulkoseinään noin 450 mm:n mineraalivillakerrosta sekä erillistä tuulensuojakerrosta [47]. Toisaalta vastaavasti alapohjaan vaadittaisiin noin 300 mm EPS-eristyskerrosta [49].

Nämä laskelmat pohjautuvat uudisrakennuksien osalta aina laskennallisiin energiankulutuksiin. Mikäli kohteen energiankulutusta seurataan käytännössä ja energiankulutusta mitataan pohjautuen todellisiin kulutuksiin voivat energiankulutuslukemat poiketa esimerkiksi laitesähkönkulutuksen ja käyttöveden osalta riippuen muun muassa kulutustottumuksista ja sähkölaitteiden tehoista.

Energiatehokkuusluokan nostaminen luokasta D luokkaan C ei tässä vaiheessa ole kustannuksiltaan kuitenkaan yrityksen kannalta järkevää eikä siten vielä ajankohtaista, sillä vaatimukset eivät sitä edellytä. Ehdotukset rakennusten energiatehokkuusluvun pienentämiseksi antavat kuitenkin viitteitä tulevaisuudesta, kiristyväthän rakennusten energiatehokkuusmääräykset edelleen lähitulevaisuudessa, jolloin toimenpiteet tulevat ajankohtaisiksi. Luvuissa 3.3 - 3.6 esitetyt rakenteet ja ratkaisut täyttävät jo kuitenkin vuoden 2010 energiatehokkuusmääräykset ja näin ollen jäljempänä tässä työssä

käsitelläänkin kyseisiä ratkaisuja tarkasteltaessa rakenteellisia muutoksia ja ilmatiiviyyden parantamista.

5 ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMISEN VAIKUTUKSET

Tässä osiossa tarkastellaan luvuissa 3.3 - 3.6 esitettyjen uusien vuoden 2010 energiatehokkuusmääräysten mukaisten ratkaisujen vaikutusta ensisijaisesti rakenteellisesti Mittakodit Oy:n tuotannossa. Vertailukohtana ovat vuosien 2007 - 2009 määräysten mukaan toteutettujen rivitalokohteiden rakenteet ja rakennepiirustukset. Lähtökohta on, että asuntojen pohjaratkaisut huoneistoaloihin sekä muu arkkitehtuuri pysyvät muuttumattomina. Myös muita energiatehokkaassa rakentamisessa huomioitavia asioita on nostettu esille.

5.1 Vaipparakenteiden paksuuntumisen vaikutukset rakenteellisesti

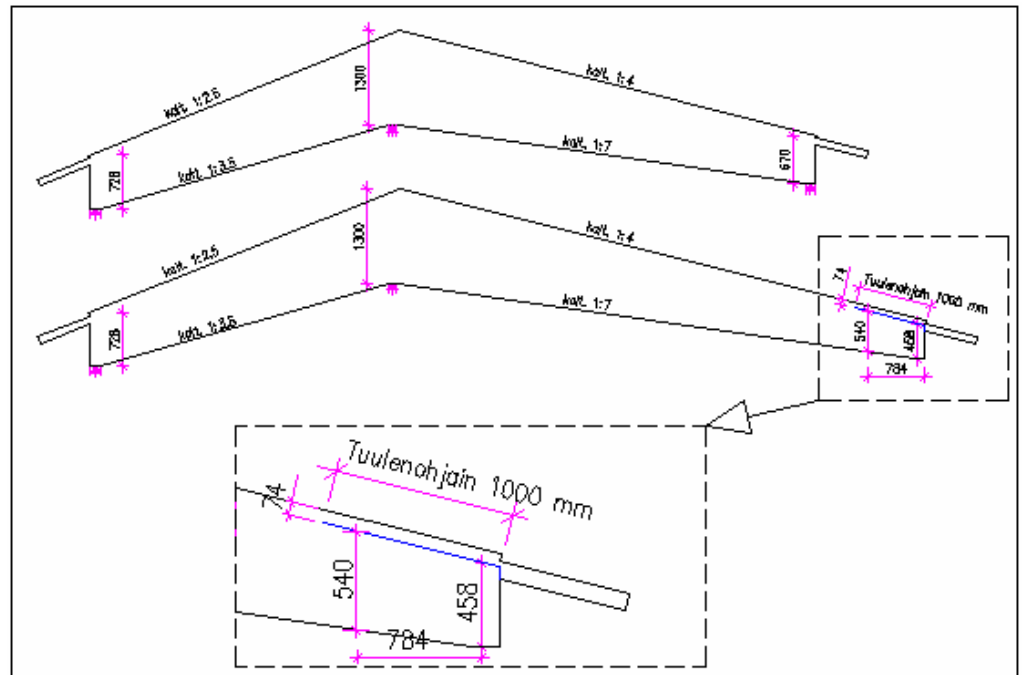
Toistaiseksi alapohjan rakenne ja paksuus pysyvät muuttumattomina, joten se ei sinällään aiheuta muutoksia rakennepiirustuksiin.

Yläpohjan puhallusvillan paksuus painumavaroineen asennettaessa kasvaa 540 mm:iin. Puhallusvillan asentaminen ainoastaan harvalaudoituksen 22 mm * 100 mm k300 varaan on kyseenalaista etenkin kun eristeen paino kasvaa entisestään kerroksen paksuuntumisen myötä.

Yläpohjan kantavien saksiristikoiden vapaat korkeudet eristykselle tuulenohjaimien asentamisen jälkeen ovat noin 458 - 1300 mm. Näin ollen osaan yläpohjaa saataisiin mahtumaan vain 450 mm puhallusvillaa ja painuman jälkeen paksuus on 380 mm. Tämä vaatii ensisijaisesti siis kattoristikoiden korkeuden lisäämistä räystäillä muun muassa asennusteknisistä syistä, mikä puolestaan muuttaa hieman rakennuksen arkkitehtuuria.

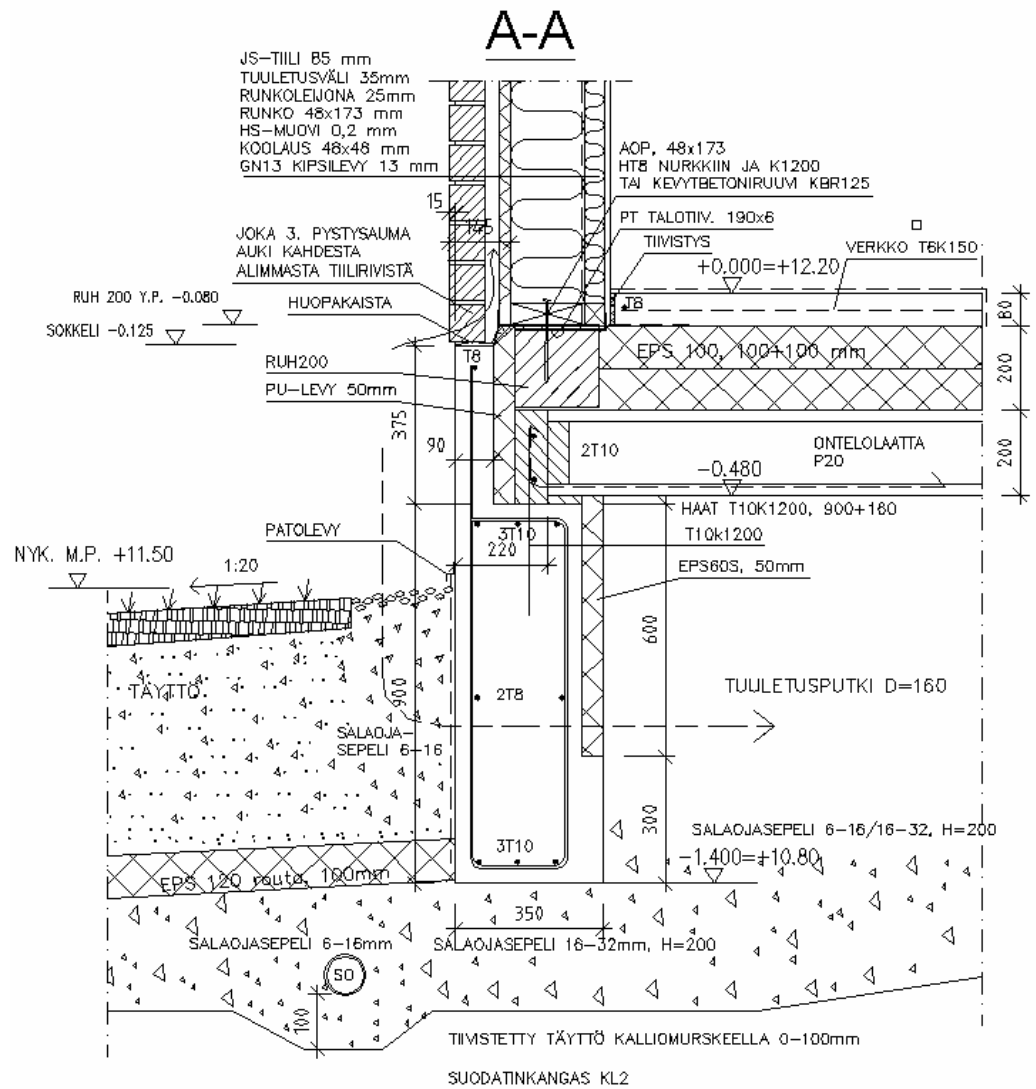
Toisaalta osittainen ohuempi eristyskerros ei välttämättä vaikuta suuresti yläpohjan U-arvoon. Kuten kuvasta 11 huomataan, olisi eristyskerros ohuempi vain 784 mm:n leveydellä. Yhteensä tällaisia kohtia yläpohjassa on 41 metrin matkalla eli pinta-ala, jolla on heikompi U-arvo, on $0,784 \text{ m} * 41 \text{ m} = 32,1 \text{ m}^2$. U-arvo 380 mm:n suunnittelupaksuudella on $0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$, kun vastaavasti yläpohjan kokonaisala on $1055,8 \text{ m}^2$ ja U-arvo normaalisti $0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$. Keskimääräiseksi U-arvoksi saadaan tällöin edelleen noin $0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$, joten periaatteessa suuria rakenteellisia muutoksia ei tarvittaisi,

vaan yläpohjan puhallusvillaa asennettaisiin ohuimmassa kohdassa vain hieman vähemmän.



Kuva 11. Rakennuksessa käytettävien kattoristikoiden muodot ja eristyskerroksen kannalta oleelliset dimensiot.

Ulkoseinärakenne paksuntuu eristyskerroksen lisäämisen myötä 48 mm. Jotta asuntojen huoneistoalat pysyisivät ennallaan, tulee rakennuksen ulkomittoja kasvattaa joka suuntaan 48 mm. Näin ollen rakennuksen bruttopinta-ala kasvaa. Kattoristikoiden pituudet kasvavat tämän myötä myös 48 mm molemmista päistä, jotta ne saadaan ulotettua riittävästi tuilleen. Suurin vaikutus ulkoseinärakenteen paksuuntumisella on alapohjan ja ulkoseinän liittymään. Olennaisin muutos on ontelolaattojen pituuksien kasvaminen $2 * 48 \text{ mm} = 96 \text{ mm}$. Toisaalta ulkoseinän alasidepuun alapuoliseksi kevytsoraharkoksi valitaan nyt 200 mm leveä harkko. Myös alasidepuun ja harkon välissä käytettävän solukumieristeen leveys kasvaa ja nyt on käytettävä 250 mm leveätä tuotetta. Uusi detalji on esitetty kuvassa 12.



Kuva 12. Alapohjan, sokkelirakenteen ja ulkoseinän liittämä esimerkkirakennuksessa.

Lisäksi julkisivujen mittojen muuttuessa, joudutaan julkisivutiilimuurauksen jaottelu miettimään uudelleen uusiin mittoihin sopiviksi.

5.2 Ilmatiivyyden merkitys ja vaikutus

Kuten luvun 4.3 taulukko 16 osoittaa, on rakennuksen vaipan ilmatiivyyden parantamisella huomattava vaikutus rakennuksen energiankulutukseen. Tiivyyden parantaminen onkin yksinkertainen, tehokas ja halpa tapa kulutuksen pienentämiseen.

Rakennuksen ulkovaipan heikolla ilmanpitävyydellä on vuotoilman lämpöhäviöiden lisäksi monia muita suoria sekä sekundäärisiä vaikutuksia rakennuksen energiankulutukseen ja rakenteiden toimintaan. Se heikentää läm-

möneristysten toimintaa, viilentää rakenteiden pintoja ja heikentää suunnittelun ilmanvaihdon toimintaa. Asumisviihtyvyys laskee sekä vedon tunne lisääntyy usein näiden asioiden seurauksena. Mikäli siinä tapauksessa tilannetta yritetään korjata sisäilman lämpötilan nostamisella, lisää se edelleen energiankulutusta, sillä yhden asteen sisäilman lämpötilan nostaminen lisää lämmitysenergian menekkiä noin 5 %. [27, s. 10.]

Toisaalta hyvällä ilmanpitävyydellä vähennetään kosteuden virtausta rakenteisiin ja ehkäistään sitä kautta kosteusvaurioita. Tämä on tutkimusten mukaan osoittautunut hyvin eristettyjen vaipparakenteiden kosteusteknisen toimivuuden kannalta erittäin olennaiseksi. Lisäksi tiiviin ulkovaipan ansiosta erilaisten epäpuhtauksien kuten homeiden ja radonin virtaus sisäilmaan vähenee. [37, s. 5; 24, s.12.]

Voidaankin todeta, että hyvällä ilmanpitävyydellä on vain positiivisia vaikutuksia. Tärkeää on kuitenkin muistaa, että rakenteiden toiminnan kannalta huolellisesti suunnitellun tulo- ja poistoilmanvaihdon merkitys on avainasemassa. [24, s. 12 - 13.]

Hyvä ilmatiiviyys voidaan saavuttaa oikein suunniteltujen yksityiskohtien ja liitosten, mutta ennen kaikkea huolellisen työsuorituksen avulla. Tavoitellun ilmanvuotoluvun $n_{50} = 0,6$ 1/h saavuttaminen edellyttää muutoksia alkuperäisiin käytössä olleisiin rakennustapoihin ja detaljeihin. Ilmanpitävyyttä parantavia rakenneratkaisuja onkin esitelty tarkemmin luvussa 6. Työn laatua ja sen merkitystä ilmanpitävyyteen on vaikeampi mitata ja arvioida, siksi muun muassa työnaikaisella laadunvarmistuksella on oleellinen merkitys hyvän lopputuloksen saavuttamiseksi. Jokaisesta erilaisesta liitostyyppistä ja läpiviennistä tulisikin tehdä esimerkkiasennus, jonka kohteen rakennesuunnittelija, LVI-suunnittelija ja kohteen valvoja tarkastavat korjaten mahdolliset puutteet. [4, s. 166 - 168.]

5.3 Muita vaikutuksia

Rakenteiden lämmöneristävyttä parannettaessa on ensiarvoisen tärkeää tarkistaa rakenteiden kosteustekninen toiminta. Rakennusfysikaalinen tarkastelu on aina välttämätöntä riittävän kuivumiskyvyn varmistamiseksi. [4, s. 217.] Esimerkiksi lisäeristettäessä tuuletettua yläpohjaa tulee riittävästä tuuletuksesta huolehtia, sillä lisäeristäminen laskee tuuletustilan lämpötilaa ja nostaa sen suhteellista kosteutta. Tämän seurauksena rakenteen kosteus-

tekninen toiminta heikkenee, mikä johtaa homeen kasvun ja kosteuden kondensoitumisriskin lisääntymiseen tuuletustilassa. Lisäksi rakenteiden sisäinen konvektio eli ilmavirta lisääntyy lämmöneristekerrosten paksuuntuessa. [24, s. 17, 24 - 25.] Yhtenä sekundäärivaikutuksena alapohjaa mahdollisesti lisäeristettäessä on vaikutus perustusten routasuojaukseen. Alapohjasta maahan siirtyvä lämpömäärä pienenee, jolloin perustusten routasuojauksen ulottuvuutta ja paksuutta tulee kasvattaa. [4, s. 152.] Tämän opinnäytetyön laajuuteen eivät kyseisten aihealueiden tarkemmat tarkastelut kuitenkaan sisälly.

Matalan energiankulutuksen saavuttamiseksi on kylmäsiltojen minimointi olennaista. Niiden suhteellinen vaikutus lämpöhäviöihin kasvaa, kun lämmöneristävyttä parannetaan. Kylmäsiltojen aiheuttavat paikallisia pintalämpötilojen alentumisia ja alentavat näin asumisviihtyvyyttä. Alentuneet pintalämpötilat heikentävät myös rakenteiden toimintaa, sillä kosteuden tiivistyminen ja homeenmuodostumisen riski kasvaa. Puurunkorankaisen ulkoseinän U-arvoa laskettaessa on puun vaikutus eristävyteen heikentävänä tekijänä huomioitu. Ikkunoiden pielet ja seinien nurkat tulee kuitenkin suunnitella huolellisesti kylmäsiltojen minimoimiseksi. Tämä vaikuttaakin usein vaipparakenteissa olevien aukotusten kuten ikkuna- ja oviaukkojen sijoitteluun. Suunnittelussa tulisikin pyrkiä runkorankarakenteen moduulimittojen käyttämiseen aukotusten sijoittelussa ja ikkunakokojen valitsemisessa ylimääräisten kylmäsiltojen vähentämisen vuoksi. [4, s. 150.]

Mikäli ikkunoiden lasiosien U-arvoa alennetaan alle arvon 0,7, saattaa ikkunoihin etenkin syysaamuisin muodostua huurretta. Tämä on sinällään vaarantonta, sillä huurre haihtuu ajallaan pois. Esteettiset asiat on kuitenkin syytä huomioida ikkunoiden kokonais-U-arvoa mahdollisesti alennettaessa kyseiseen tasoon. Edelleen tätä paremman U-arvon saavuttaminen edellyttää jo ikkunapuitteen lämmöneristystä eli lämpökatkoa. [4, s. 150.]

Rakennuksen vaipan paksuimmat lämmöneristekerrokset aiheuttavat muutoksia myös rakennuksen arkkitehtuuriin, vaikka huoneistoalat säilytetäänkin ennallaan. Ikkunoiden ja ovien sijainti paksussa seinärakenteessa vaikuttaa väistämättä rakennuksen ilmeeseen. Ehdotuksia ikkunan asentamisesta esimerkkirakennuksen puurunkoon on esitetty tämän työn luvussa 6.3.5.

Ilmanvaihdon lämmöntalteenottolaitteistojen vuosihyötysuhteen parantaminen ei rakenteellisesti vaikuta esimerkkirakennukseen, sillä parempi hyötysuhde ei vaikuta juurikaan laitteistojen kokoon ja ne voidaankin sijoittaa huoneistokohtaisesti alkuperäisiin paikkoihin. Huomioitava on kuitenkin erityyppisten ilmanvaihtokoneiden erilaiset toimintaperiaatteet, sillä ilmanvaihtokoneen toimintaperiaatteesta riippuen vaihtelevat niiden vuosihyötysuhteet suuresti [38, s. 23].

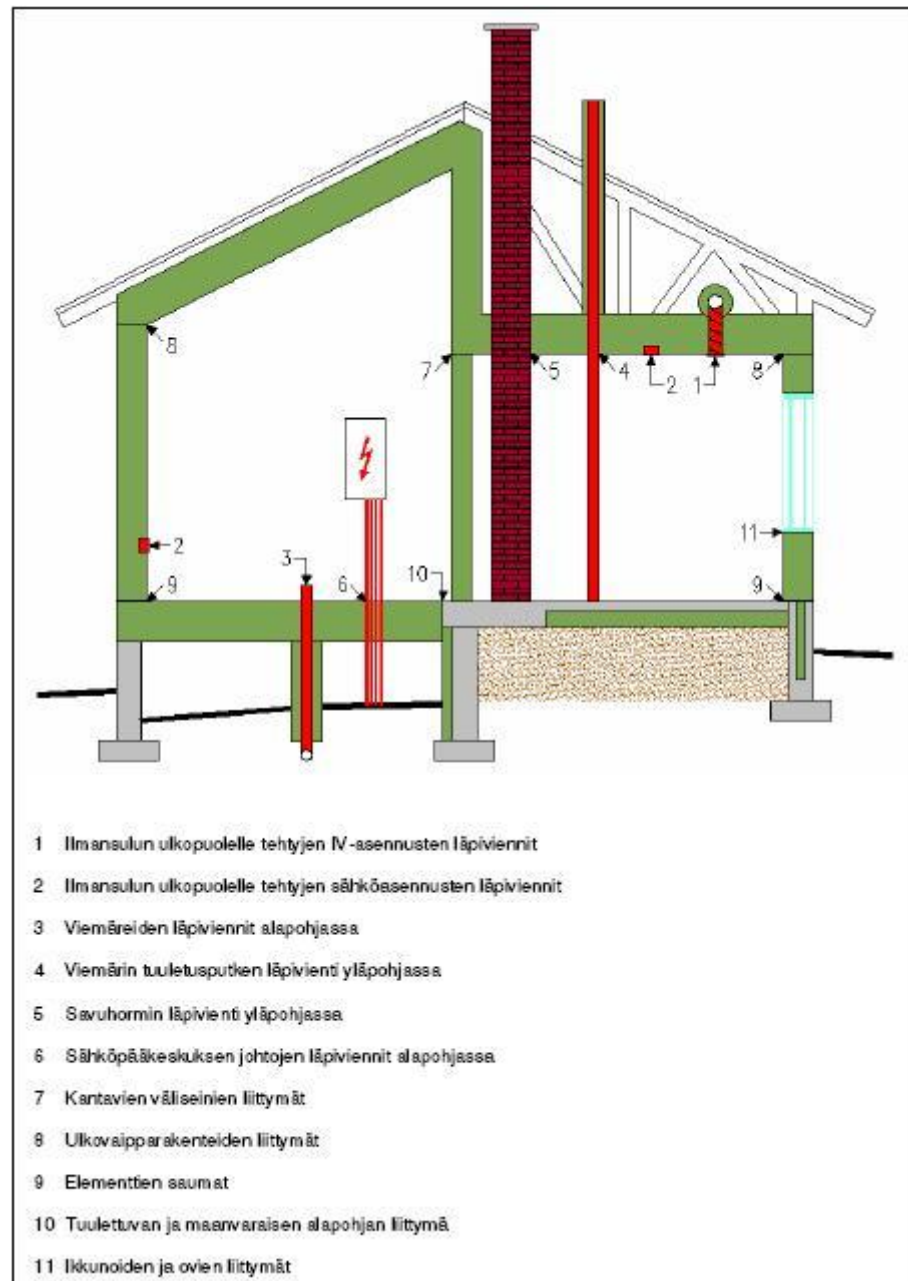
6 RAKENNERATKAISUT ILMATIIVYDEN VARMISTAMISEKSI

Tässä luvussa tutkitaan ilmatiiviin ulkovaipan toteuttamista Mittakodit Oy:n tuotannossa. Lähtökohtana ovat yrityksen esimerkkirakennuksen rakennepiirustukset ja toisaalta tämän työn luvuissa 3.3 - 3.6 esitetyt vuoden 2010 energiatehokkuusmääräysten mukaiset vaipparakenteet. Tavoite on muokata jo käytössä olleet detaljit paksumpien lämmöneristekerrosten kanssa yhteensopiviksi niin, että parempaan ja tavoiteltuun ilmatiiviyteen $n_{50} = 0,6$ 1/h olisi edellytyksiä päästä.

Huomattava on, ettei laskennallisesti voida osoittaa kuinka paljon kunkin detaljin muuttaminen itsessään vaikuttaa lopulliseen energiankulutukseen. Jäljempänä esitetyt ehdotukset pohjautuvatkin yleisesti ilmatiiviyden kannalta tärkeiksi havaittuihin yksityiskohtiin huomioiden yrityksen tuotannon mahdolliset erityispiirteet sekä työmaatoteutuksen. Kokonaisarvio ilmanpitävemmän ulkovaipan toimivuudesta tehdään erikseen ilmatiiviysmittauksella, jossa sisä- ja ulkoilman välille synnytetään tavallisimmin 50 Pa paine-ero ja mitataan rakennuksen sisältä ulos vuotava ilmamäärä. Esimerkkirakennuksen tapauksessa mittaus tehdään huoneistokohtaisesti, sillä jokainen asunto on oma ilmatiivis osastonsa.

6.1 Ilmavuodot ja -tiiviyys yleisesti

Ilmavuodoille tyypillisimpiä kohtia on esitetty kuvassa 13.



Kuva 13. Tyypillisiä ilmanvuotokohtia pientalossa [27, s. 13].

6.1.1 Höyrynsulkumuovin yhtenäisyys

Puurunkoisissa rakennuksissa ilmatiivyyden perustana on yleensä ilman- ja höyrynsulkuna toimiva polyeteenikalvo tai ilmansulkuna toimiva rakennuspaperi. Kyseisen ilmansulkukerroksen toimivuuteen vaikuttavat monet tekijät, mutta ennen kaikkea ilmansulkukerroksen tulee saumakohtineen olla yhtenäinen. Kerroksen ilmanläpäisevyyden olisi oltava alle $1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{m}^2\text{sPa}$. Lähtökohtana onkin höyrynsulun sijoittaminen koolauksella tuetun noin esimerkiksi 50 mm:n paksuisen lämmöneristekerroksen ulkopuolelle, jolloin sisin lämmöneristekerros kuivuu sisäänpäin. Tämä etäisyys ei saa kuitenkaan

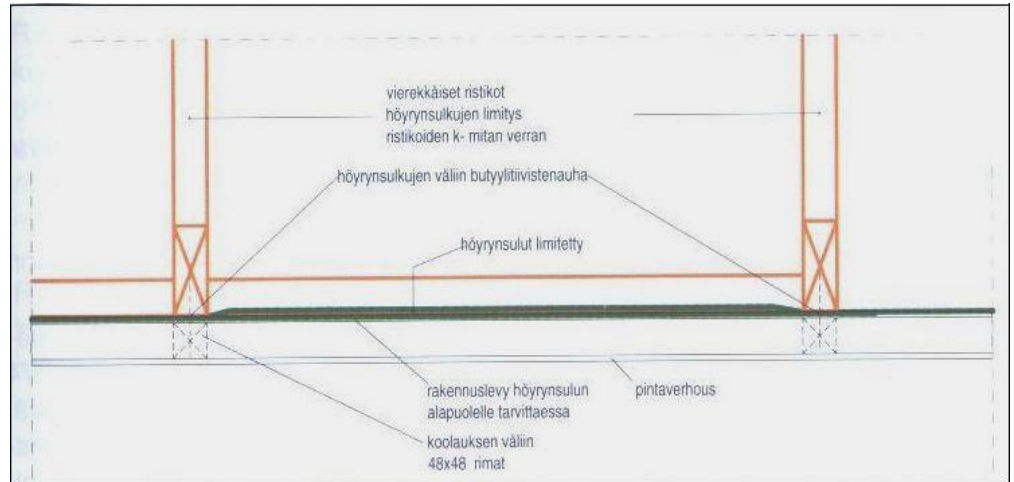
olla enempää kuin $\frac{1}{4}$ koko eristekerroksen paksuudesta, tosin rakenteen tarkka kosteustekninen toiminta tulee tarkistaa kohteittain. Tällä rakennustavalla vältetään sähköasennusten, johtojen ja naulausten lävistyksiä ilmansulkukerroksen läpi, kuten toisaalta myös sähköpistorasioiden ja -johtojen sijoittamisella väliseiniin. Vaihtoehtoisesti esimerkiksi tekemällä sähköasennukset pinta-asennuksina vältetään ilmansulun puhkomiselta. [4, s. 153 - 154, 279.]

Ilman- ja höyrynsulkukalvon saumat tulee tehdä kahden jäykän kappaleen väliin ja kalvot tulee limittää riittävästi. Vapaaksi jäävät saumat irtoavat pitkällä aikavälillä ja ilmansulun toimivuus heikentyy. Saumat tulee lisäksi tiivistää. Kun käytetään ilmansulkuna polyeteenikalvoa, soveltuvat tiivistämiseen parhaiten butyylikuminauhut sekä akrylaatti- tai luonnonkumiliimat. Ilmansulun liittyminen kivirakenteisiin kuten rivitaloissa huoneistojen välisiin seiniin ja hormirakenteisiin on haasteellista ja sen toteuttamiseen onkin syytä kiinnittää erityistä huomiota. [4, s. 154, 278.]



Kuva 14. Ilman- ja höyrynsulun tiivistäminen puristusliitoksella ja kittauksella. Rakenteesta puuttuu vielä osin liitoksen yhteenpuristava koolaus [4, s. 154].

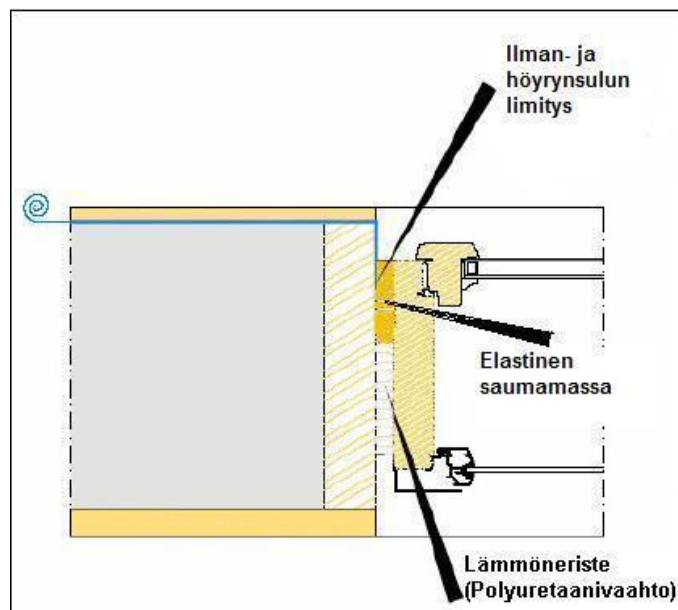
Kuvassa 15 on puolestaan esitetty eräs tapa höyrynsulkumuovin limittämisestä yläpohjassa.



Kuva 15. Esimerkki höyrynsulun limityksestä yläpohjassa [4, s. 153].

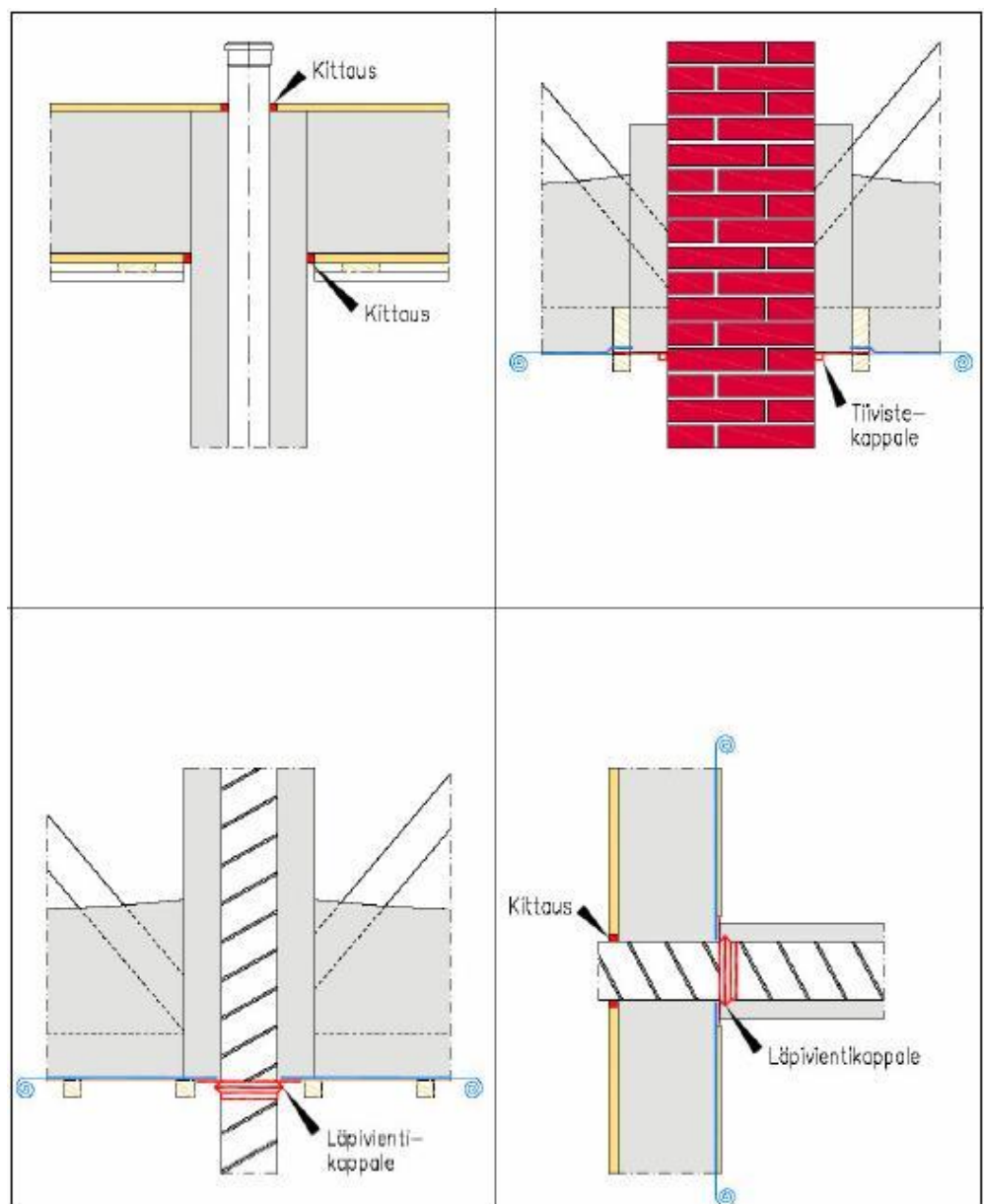
6.1.2 Rakenteiden liittymät

Tyypillisesti ilmavuotoja esiintyy etenkin ikkunoiden, ovien ja ulkovaipan liitoksissa. Nämä liitokset tiivistetään huolellisesti ja lisäksi sisäpuolen ilmansulku liitetään karmirakenteisiin äärimmäisen tiiviisti, jolloin puristettu saumaus ei riitä, vaan liitos täytyy lisäksi tiivistää. Lämmöneristeenä voi liitoksessa olla esimerkiksi polyuretaanivaaho, mutta lisäksi vaaditaan elastinen saumamassa kuvan 16 mukaisesti tai ikkunasaumojen tiivistämiseen suunniteltu tiivistyskangas. Onnistuneen tiivistämisen saavuttamiseksi molempien pintojen tulee olla kuivia ja pölyttömiä sekä lämpötilan yli 0 °C. [27, s. 16; 4, s. 149, 167.]



Kuva 16. Periaatekuva ikkunan ja höyrynsulun liittymisestä puurunkorakenteeseen [lähde 27, s. 16 mukailen].

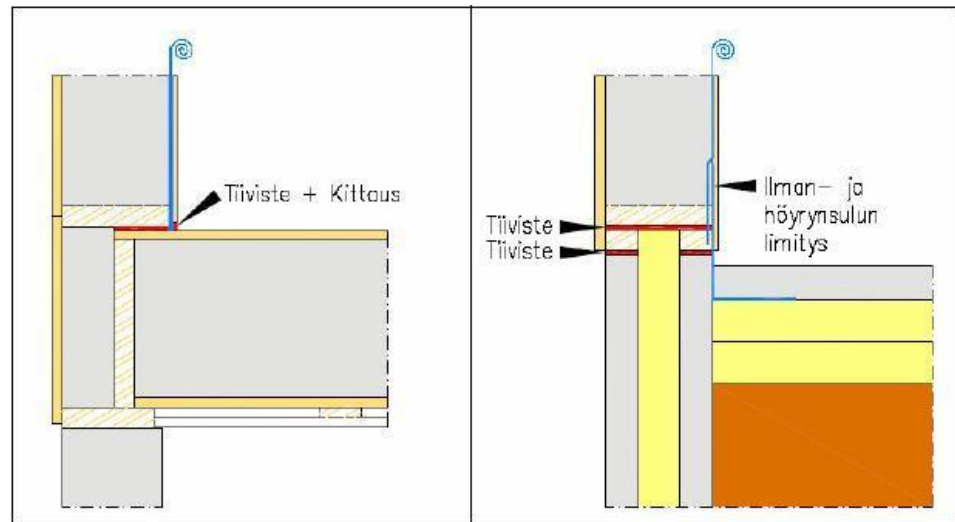
Ideaalitalanteessa ilmanvaihtokanavat sijoitetaan kokonaan ilmanpitävän kerroksen sisäpuolelle esimerkiksi alakaton suojaan tai koteloituina. Vain tulo- ja poistoilmakanavat viedään ilmansulun läpi huolellisesti tiivistäen. Muita mahdollisia läpivientejä voivat olla esimerkiksi viemärin tuuletusputki, mutta kokonaisuudessaan läpivientien määrä tulee kuitenkin minimoida. Välttämättömien ilmansulun puhkaisevien läpivientien tiivistyksessä tulee käyttää erilisiä läpivientikappaleita. Lisäksi tulee varmistaa, että käytettävät tiivistyskappaleet ja -materiaalit ovat riittävän pitkäikäisiä, vähintään rakennuksen käyttöiän kestäviä. [4, s. 153 - 155.] Kuvassa 17 on esitetty periaatteellisia läpivientien tiivistystapoja.



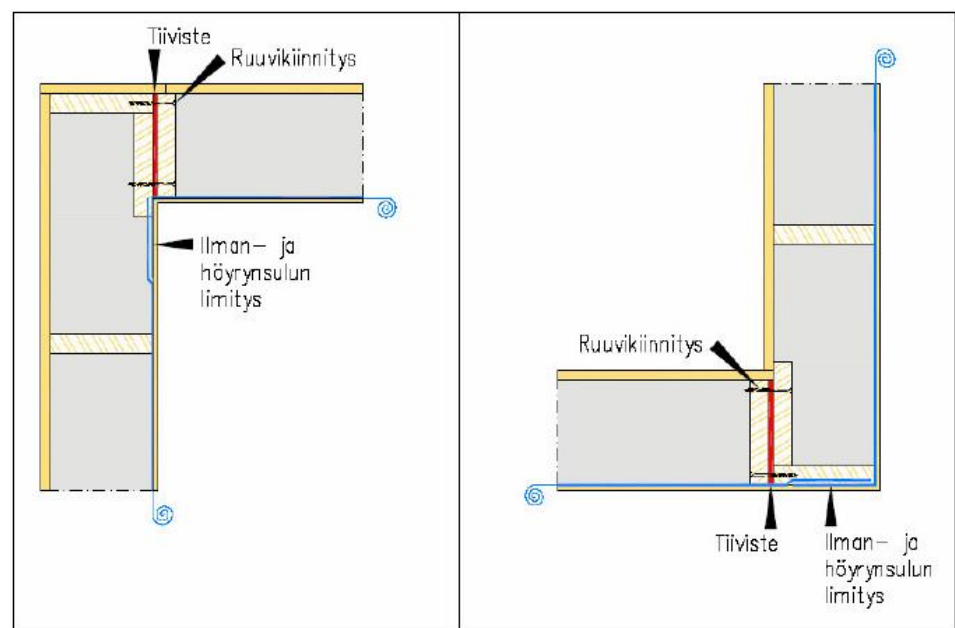
Kuva 17. Periaatekuva läpivientien toteuttamisesta ilmanpitävästi [27, s. 17].

Lisäksi eri ulkovaipparakenteiden liittymäkohdissa, ulkoseinien nurkissa, kantavien väliseinien ja yläpohjien liittymissä sekä välipohjien ja ulkoseinien liittymissä höyrynsulun limitys tiivistyksineen on oleellista. Toisaalta viemäreiden sekä sähköpääkeskuksen johtojen läpiviennit betonirakenteisen alapohjan läpi tulee tiivistää huolella. [4, s. 274 - 279.]

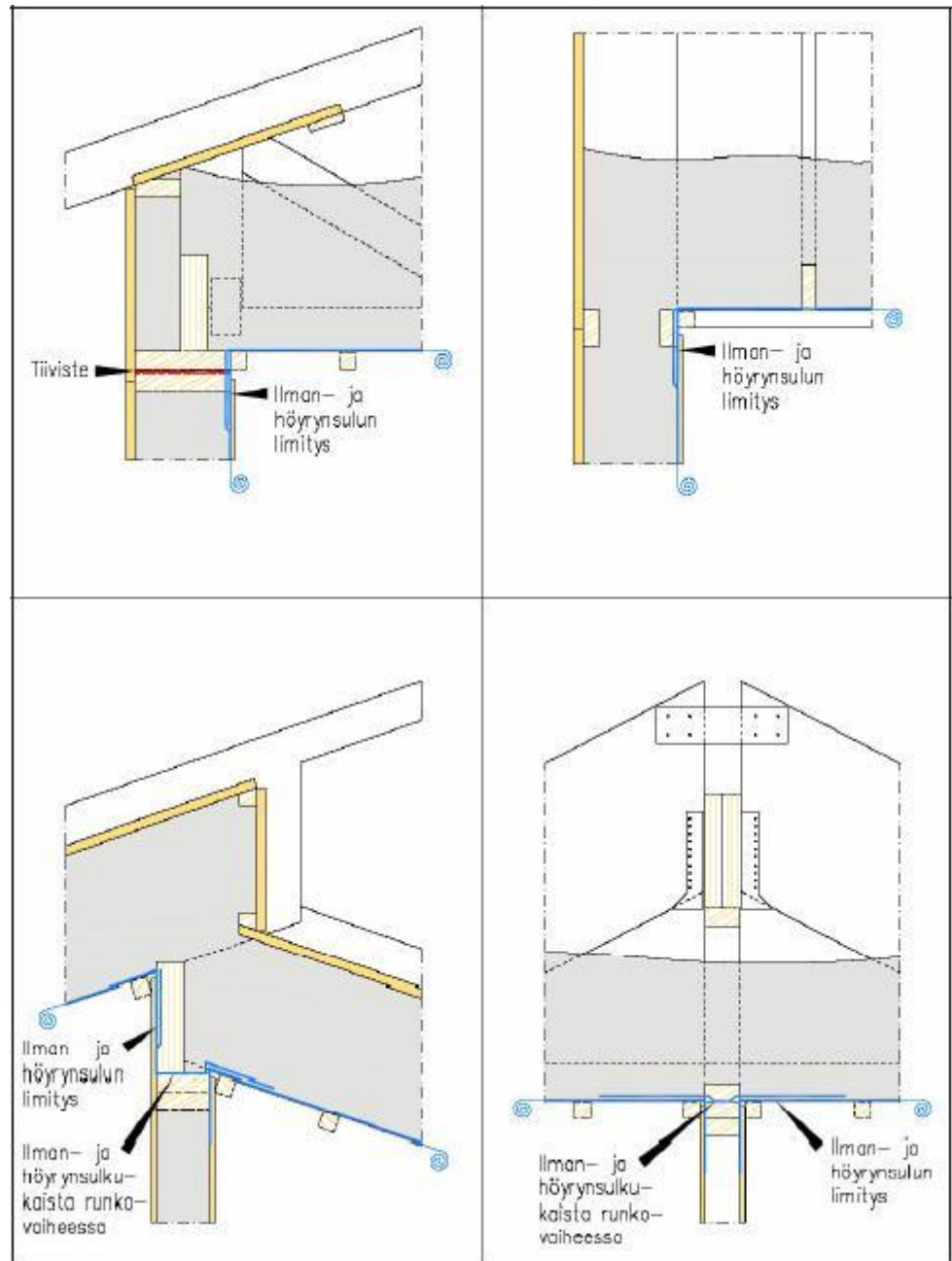
Kuvissa 18, 19 ja 20 on esitetty periaatteellisia tapoja ilmanpitävyyden toteuttamiseksi rakennuksen vaipan eri osissa.



Kuva 18. Esimerkkejä ilmanpitävyyden toteuttamisesta alapohjaliittymissä [lähde 27, s. 14 mukailleen].



Kuva 19. Esimerkkejä ilmanpitävyyden toteuttamisesta nurkkaliittymissä [lähde 27, s. 16 mukailleen].



Kuva 20. Esimerkkejä ilmansulun toteuttamisesta yläpohjaliittymissä [27, s. 15].

6.2 Ilmanvuotokohtien paikallistaminen

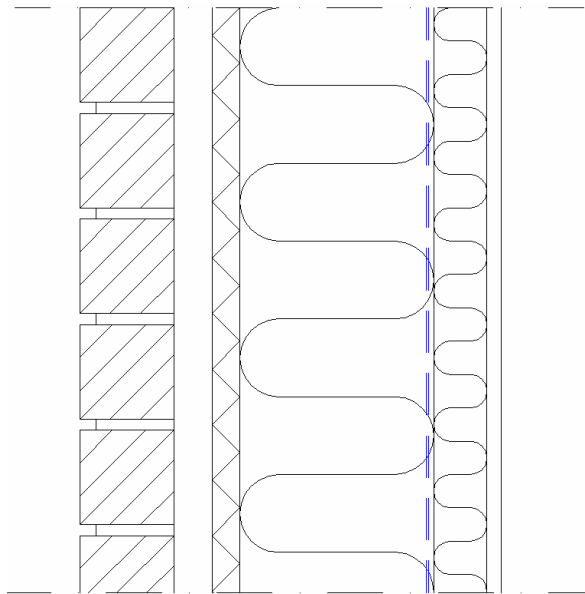
Rakennuksessa olevia ilmavuotoja voidaan tarvittaessa paikallistaa. Karkean arvion antaa silmäääräinen tarkastelu edellisessä luvussa esitettyihin tyypillisimpiin ilmanvuotokohtiin. Merkkisavututkimuksessa tutkittavan kohteen läheisyyteen lasketaan värillistä savua, joka ilmavirtojen mukana siirtyy ilmentäen mahdollisia vuotokohtia. Merkkiainetutkimuksella voidaan osoittaa pieniä pintarakenteiden takana olevia vuotokohtia. Siinä rakenteen sisään

päästetään erillistä merkkikaasua, joka sisäpuolelta ilmapuotokohtien läpi mahdollisesti kulkeutuessaan voidaan tunnistaa sähköisellä analysaattorilaitteella. [20, s. 227 - 231.] Tavallisin keino rakennusvaipan ilmanpitävyyden tutkimiseen lienee lämpökamerakuvaus, jossa mitataan rakenteiden pinnan infrapunasäteilyä. Kuvaus paljastaa eristysvirheet, kylmäsilat ja vuotokohtat kuvassa ilmenevien lämpötilajakaumien perusteella. [4, s. 168 - 169.]

6.3 Ilmatiivyyden toteuttaminen esimerkkirakennuksessa

6.3.1 Peruseriaatteet

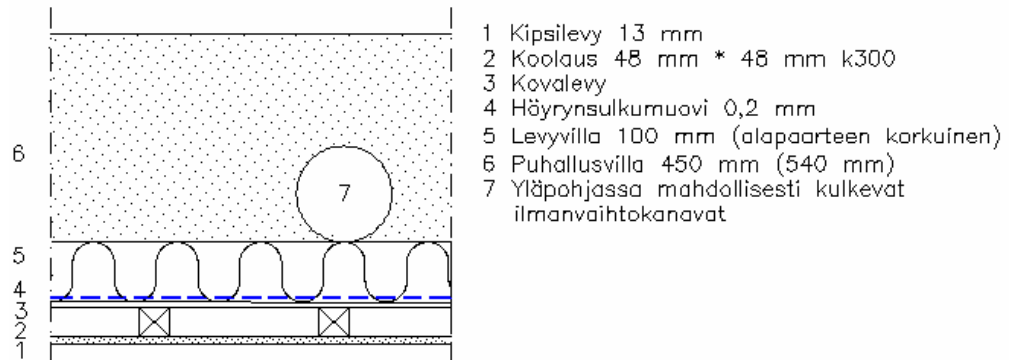
Lähtökohta hyvän ilmanpitävyyden saavuttamiseksi yrityksen tuotannossa eli esimerkkirakennuksessa on seinärakenteen toteuttaminen kuvan 21 mukaisesti. Siinä höyrynsulkumuovi on yhden mineraalivillakerroksen ulkopuolella, jolloin muovin puhkominen minimoidaan, kun sähköasennukset ja -johdot vietään sisimmän mineraalivillakerroksen sisässä. Lisäksi muovin saumat saadaan aina kahden jäykän kappaleen väliin.



Kuva 21. Ulkoseinä. Rakenne sisältä ulospäin on: kipsilevy 13 mm, ristiinkoolaus + mineraalivilla 48 mm, höyrynsulkumuovi 0,2 mm, kantava rakenne + mineraalivilla 175 mm, tuulensuojalevy 25 mm, ilmarako 35 mm ja moduulitiili 85 mm.

Jotta yläpohjarakenteesta saadaan myös mahdollisimman ilmatiivis, on sähköasennusten tekeminen erillisen koolauksen sisäpuolelle olennaista. Ehdotus yläpohjan toteuttamisesta on esitetty kuvassa 22. Rakenteella on muitakin etuja. Rakenteessa oleva kovalevy tai muu rakennuslevy tukee raskasta eristekerrosta estäen sen epätasaisia painumia. Mikäli alimmainen eristeker-

ros toteutetaan levyvillalla, saadaan rakennusvaiheessa lämmitys päälle, vaikka yläpohjan lopullista eristystä ei olisikaan vielä tehty. Toisaalta levyvilla ei painu mahdollisten ilmavaihtokanavien alla, jolloin lämmöneristeen toimintaa heikentäviä eristeen sisäisiä ilmavirtauksia ei pääse syntymään.



Kuva 22. Yläpohjarakenne, jossa sähköasennukset voidaan sijoittaa höyrynsulkumuovin sisäpuolelle.

Alapohja, jossa kantavien ontelolaattojen päällä on EPS-eristyskerros ja sen päällä pintabetonilaatta, on ilmatiivis rakenne. Ilmatiiviyden takaa yhtenäinen 80 mm:n pintalaatta, vaikka ontelolaattojen saumojen halkeilu aiheuttaisikin muuhun rakenteeseen ilmavuotoja, eikä ontelolaattojen saumojen erillistä tiivistämistä näin tarvita. [31, s. 2.]

6.3.2 Höyrynsulun jatkokset

Höyrynsulun mahdolliset pystyjatkokset suoralla seinäosuudella tehdään aina runkotolppien kohdille. Muovikalvon limityksen oltava 300 mm. Muovikalvon alustava kiinnitys voidaan tehdä nitojalla. Rakennuksien päätyseinille syntyy myös höyrynsulkumuovin vaakajatkoksia suuren huonekorkeuden johdosta, jolloin jatkoskohtien taakse on tehtävä erillinen vaakakoolaus esimerkiksi 48 mm * 48 mm tiiviin sauman takaamiseksi.

Koolauksien kohdille, kahden höyrynsulkumuovin väliin asennetaan koko sauman matkalle butyylikuminauha tai jatkuvana norona elastinen kitti. Tämän jälkeen lisäkoolaus 48 mm * 48 mm kiinnitetään kantavan runkotolpan päälle, jolloin höyrynsulun sauma jää kahden jäykän kerroksen väliin. Lisäkoolausta asennettaessa on varmistuttava sen tasaisesta kiinnityksestä ja painumisesta alapuolista runkorakennetta vasten.

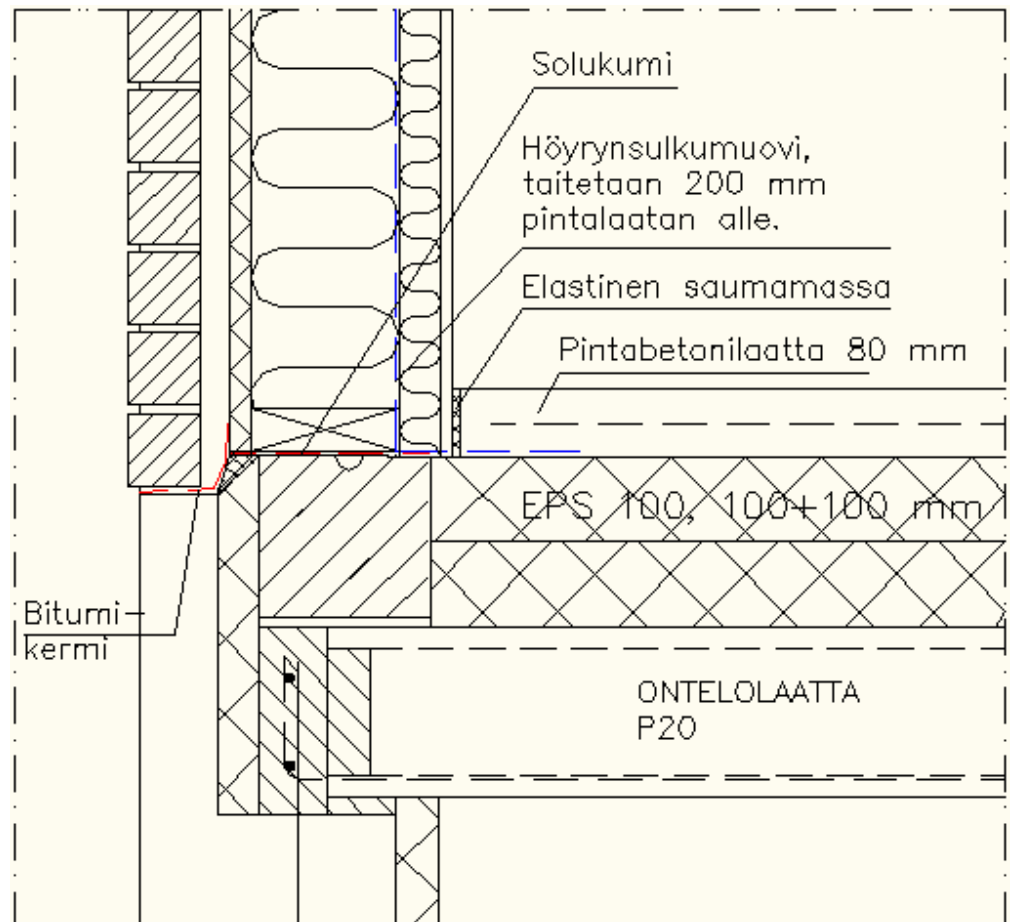
Yläpohjan höyrynsulun jatkoksissa noudatetaan periaatteessa tämän työn kuvan 15 ohjeistusta. Höyrynsulkumuovin jatkokset on siis toteutettava kat-

toristikoiden kohdilla. Limityksenä nyt kattoristikkojaon k900 mukaisesti 900 mm. Yläpohjan harvalaudoitus tai koolaus k300 on poikittainen kattoristikoihin nähden, jolloin vastaavasti poikittain kyseisien koolauksien väleihin muovin saumojen kohdille tulee asentaa kattoristikoiden suuntaiset puut esimerkiksi 48 mm * 48 mm pituus 252 mm. Työteknisesti helpompaa lienee butyylikumiitiivistenauhan käyttö höyrynsulun tiivistyksessä, sillä saumaa ei pystytä yhdellä kertaa viimeistelemään aina ulkoseinän ja katon liittymästä kantavan väliseinän liittymään saakka. Mikäli höyrynsulkumuovi asennetaan toisessa suunnassa, sattuisivat muovin limitykset osittain tyhjän päälle. Jotta muovin sauma saataisiin tässäkin tapauksessa kahden jäykän kappaleen väliin, tulee sauma tehdä koolauksen päälle sen suuntaisesti. Lisäksi kattoristikoiden väleihin poikittain tulee kiinnittää jäykkä sahatavara esimerkiksi 48 mm * 48 mm, jolloin höyrynsulkumuovin sauma tiivistetään näiden kahden puun väliin.

6.3.3 Höyrynsulkumuovin liitokset vaipparakenteiden nurkissa

Ulkoseinärakenteen ja alapohjan liitos

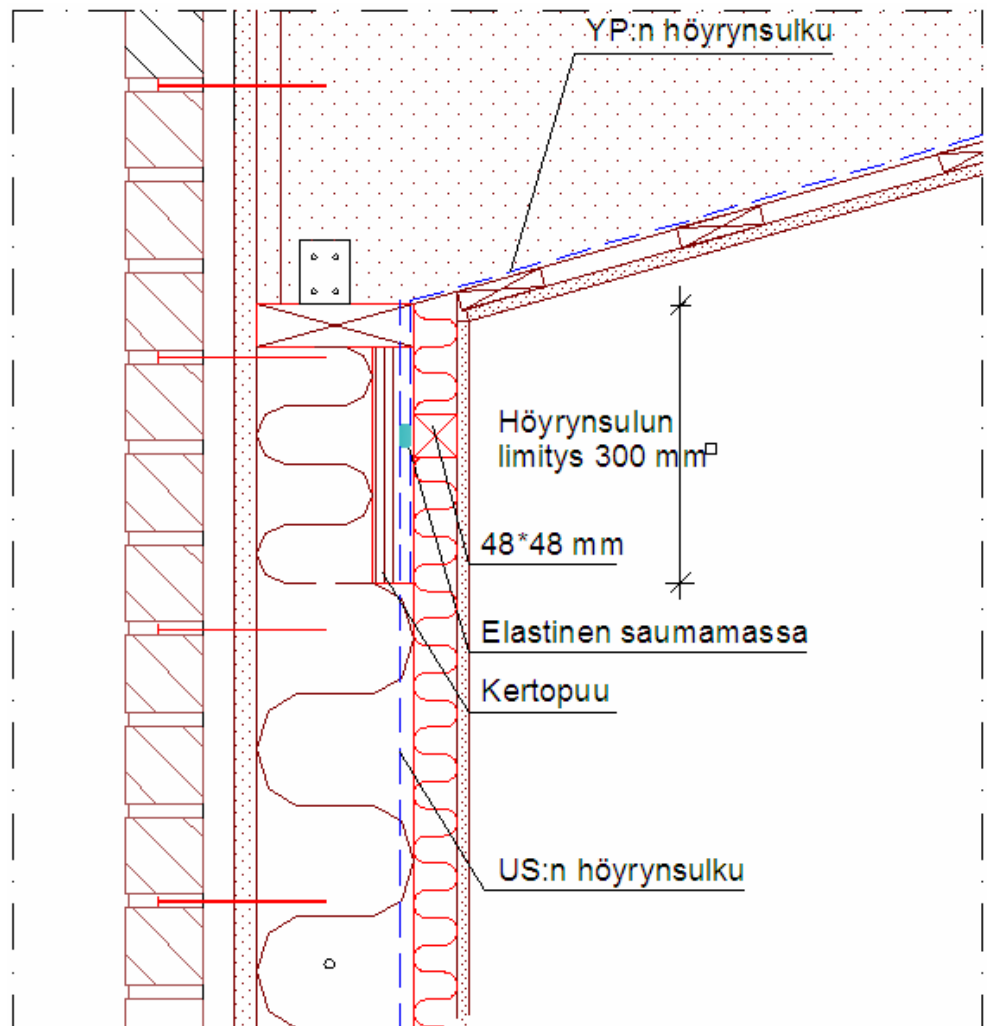
Jotta ulkoseinän höyrynsulkumuovi liittyisi tiiviisti betonirakenteeseen alapohjaan, tulee höyrynsulku taittaa pintabetonilaatan alle ennen sen valamista. Valuvaiheessa ei seinän sisäverhouslevyä ole vielä asennettu, vaan seinärakenteen sisimmän koolauksen ja pintalaatan väliin laitetaan valun ajaksi sahatavara 22 mm * 100 mm. Betonirakenteisen pintalaatan ja kipsilevyn väli tiivistetään lisäksi elastisella saumamassalla tiiviyden varmistamiseksi kuvan 23 mukaisesti.



Kuva 23. Alapohjan ja ulkoseinän liitos.

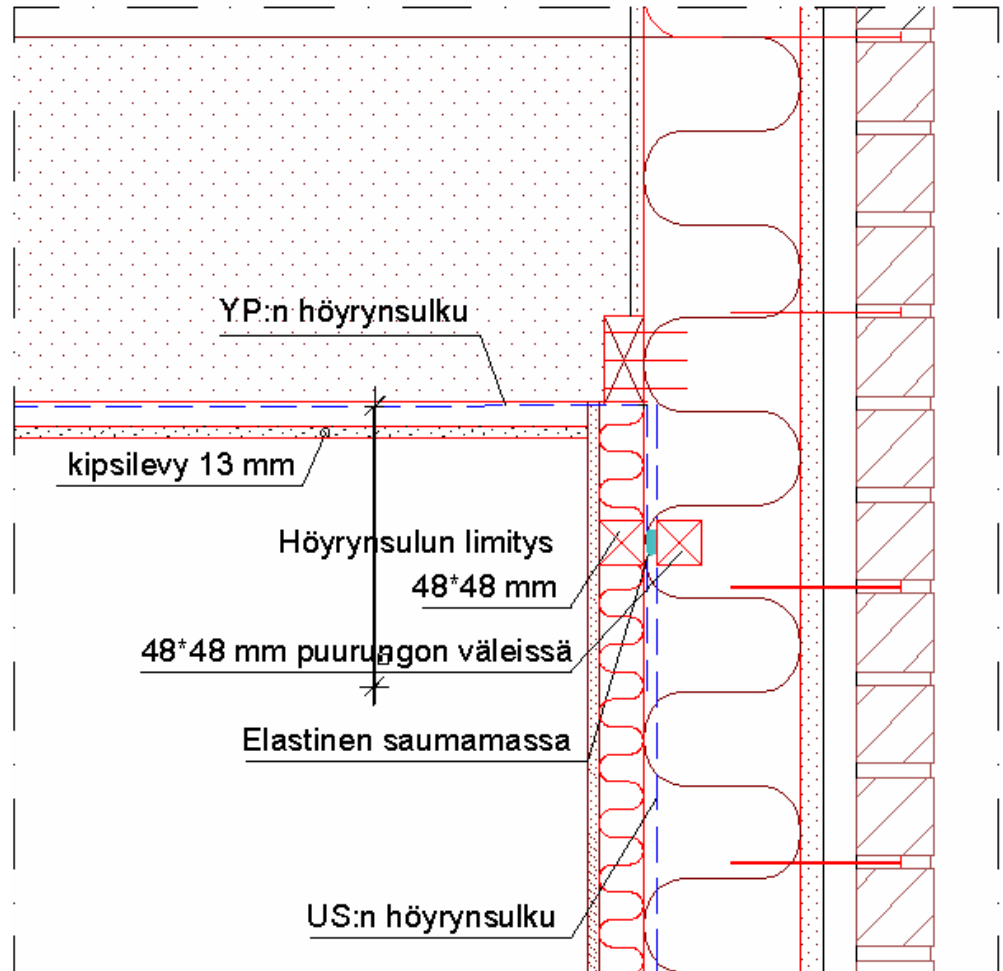
Ulkoseinän ja yläpohjan liitos

Puurakenteisen ulkoseinän ja yläpohjan liittymäkohdissa höyrynsulun tiivistämisessä sovelletaan normaalia jatkossauman tekniikkaa. Rakennuksen pitkillä sivuilla yläpohjan höyrynsulkumuovi tiivistetään ulkoseinän höyrynsulkumuovin kanssa ulkoseinässä olevan kertopuun ja koolauksen väliin kuvan 24 esittämällä tavalla.



Kuva 24. Höyrynsulkumuovien limitys ja tiivistäminen yläpohjan ja ulkoseinän liitoksessa.

Myös rakennuksien päädyissä yläpohjan ja ulkoseinän höyrynsulkumuovit limitetään kuvan 25 mukaisesti. Koska höyrynsulkujen vaakalimitys on nyt osittain pehmeän mineraalivillan päällä, tulee kantavan rungon 48 mm * 175 mm väleihin asentaa lisäkoolaus vaakaan, jotta höyrynsulun liitos saadaan jälleen kahden jäykän kappaleen väliin.

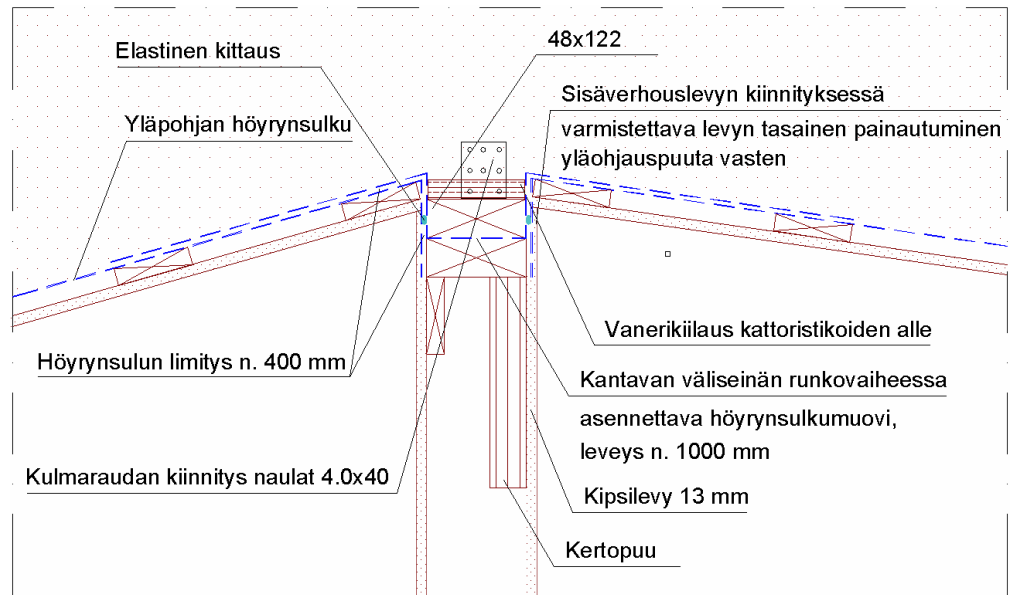


Kuva 25. Höyrynsulkumuovien liitos rakennuksen päädyissä ulkoseinän ja yläpohjan liittymässä.

6.3.4 Höyrynsulkumuovien liitokset muihin rakenteisiin

Höyrynsulkumuovien liittyminen kantavaan väliseinään

Runkovaiheessa kantavaa väliseinää tehtäessä, asennetaan noin 1000 mm leveä höyrynsulkumuovikaistale keskeisesti ylimmän yläohjauspuun alle. Näin ollen vältetään kattoristikoiden kulmarauodoilla asennettaessa muun muassa muovin repeämistä. Yläpohjan höyrynsulkumuovi limitetään kuvan 26 mukaisesti ja muovien välinen elastinen kittausta tehdään ainakin yläohjauspuun kohdalle, jolloin sisäverhoukseen painaa muovien liitoksen tiiviiksi. Rakenteeseen on mahdollista sijoittaa myös toinen tiivistysauma yläpohjan harvalaudituksen päälle. Tällöin kattoristikoiden väleihin harvalaudituksen suuntaisesti tulee asentaa toinen riittävän jäykkä sahatavara liitosta yhteenpuristavan voiman aikaansaamiseksi.

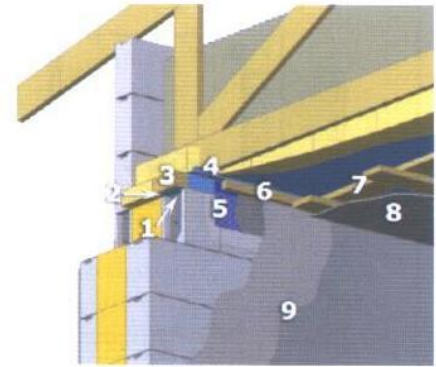


Kuva 26. Ehdotus höyrynsulkumuovien liittymisestä kantavaan väliseinään.

Höyrynsulkumuovien ja betonivaluharkkorakenteen liittymä

Kuvassa 27 on esitetty periaatteellinen tapa yläpohjan höyrynsulun liittymisestä kivirakenteiseen seinään. Liitoksessa tulee käyttää erikoisvalmisteista PV-liitoskangasta. Kankaassa on erillinen teippiraita, johon höyrynsulkumuovi tarttuu pitävästi. Toisaalta seinää tasoitettaessa kankaan toinen osa eli integroitu lasikuituverkko toimii tasoitteen tartuntapintana ja jää tasoitetöiden yhteydessä pohjatasoitteen sisään varmistaen ilmatiiviin liitoksen. [42.]

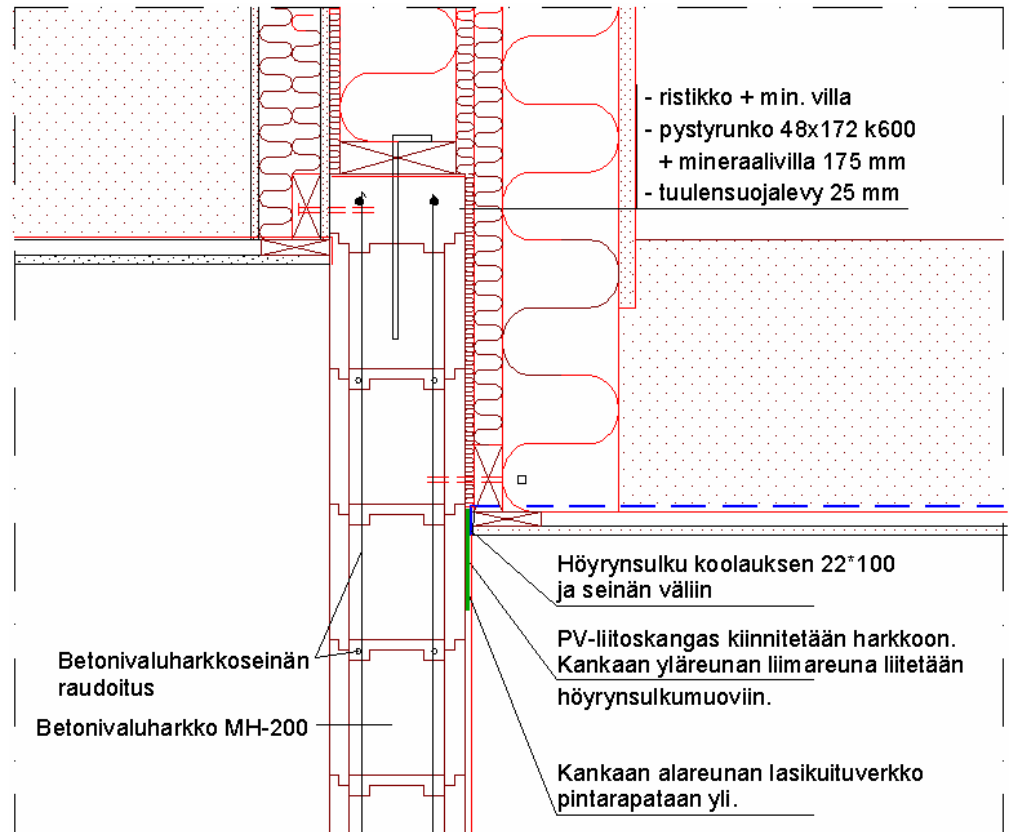
Katon höyrynsulun liitos ulkoseinään sivuseinillä – Puuyläpohja



- 1 Palkkiharkon yläpinta oikaistaan tarvittaessa.
- 2 Yläjuoksun ja seinän väliin asennetaan tiivistyskaista (esim. polyeteenikaista).
- 3 Yläjuoksu kiinnitetään RST-kierretangoin k600 ja kiristetään. Asennetaan kattokannattajat.
- 4 Höyrynsulku 0,2 mm (PEL E 200, SFS 4225) laskostetaan ja taitetaan yläjuoksua vasten noin 50 mm:n leveydeltä ja kiinnitetään alustavasti nitojalla k10...k150.
- 5 PV-liitoskankaan liimareuna painetaan höyrynsulun pystytaitosta vasten. Verkko-osuus liitoskankaasta kiinnitetään tasoitemassalla ja lastalla painaen seinää vasten.
- 6 Liitoskankaan ja muovin päälle asennetaan rima 44*44 mm, kiinnitys ruuvein R3.5*60 k300. Liitoksessa on huolehdittava siitä, että rima puristuu tasaisesti yläjuoksua vasten.
- 7 Ristiinkoolaus asennetaan rakennetyypin mukaan.
- 8 Katon verhous rakennetyypin mukaan.
- 9 — Seinä tasoitetaan harkkovalmistajan ohjeiden mukaan.

Kuva 27. Periaatteellinen työohje puurakenteisen yläpohjan ja kivirakenteisen seinän liitoksesta ilmanpitävästi [4, s. 278].

Mittakodit Oy:n tuotantoon sovellettuna yläpohjan ja huoneistojen välisen betonivaluharkkoseinän liitos on kuvan 28 mukainen.



Kuva 28. Höyrynsulun liittyminen kivirakenteeseen erillistä liitoskangasta käyttäen.

Samaista liitoskangasta käytetään samaa asennusperiaatetta soveltaen myös puurunkoisen seinärakenteen ja betonivaluharkkorakenteen pystysaumoissa sekä mahdollisten tulisijojen kivirakenteisten hormien ja yläpohjan höyrynsulkumuovin tiivistyksessä. Lisäksi tulee muistaa, että muurattujen ilmaläpäisevien harkkoseinien rakenteen ilmanpitävyys perustuu pintakäsittelyyn kuten slammaukseen, sillä harkot itsessään tai niiden väliset saumat eivät välttämättä ole riittävän ilmanpitäviä. Myös halkeamat aiheuttavat ilmavuotoja rakenteeseen. Huoneistojen välisien seinien molemmat pinnat tuleekin käsitellä rappaamalla, tasoittamalla tai levyttämällä. [31, s. 1.]

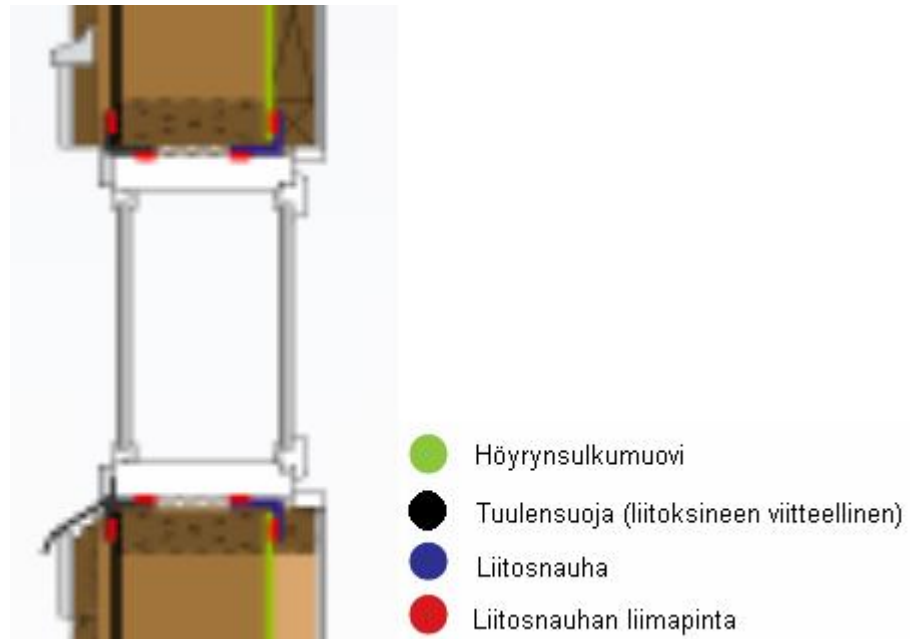


Kuva 29. Betonivaluharkkoseinän ja puurunkoisen seinän pystysaumaliitos ennen lopullista höyrynsulkumuovin tiivistämistä.

6.3.5 Ikkunoiden ja ovien liitokset

Seinärakenteessa olevien ovien ja ikkunoiden karmeihin liittyvän höyrynsulkumuovin liittämisessä sovelletaan kuvan 16 mukaista periaatetta. Siinä ulkoseinän höyrynsulkumuovi taitetaan ikkunan karmin ja puurungon väliin ja muovi tiivistetään karmin ja rungon väliin elastisella saumamassalla.

Työteknisesti helpompi ratkaisu lienee erillisen liitosnauhan käyttö. Nauha asennetaan karmiin ennen karmin asentamista paikoilleen painamalla nauhan liimapinta tiiviisti karmin ulkokehän sisäreunaan. Ikkuna asennetaan paikoilleen ja liitosnauhan toinen sivu liimataan höyrynsulkumuovia vasten voimakkaasti hiertäen. [42.] Tällöin liitosnauha varmistaa tiiviiden, jolloin karmin ja rungon väliin eristeeksi riittää lämmöneristeenä toimiva polyuretaanivaaho.



Kuva 30. Vaihtoehtoratkaisu hörynsulkumuovin liittämistä ikkunan tai oven karmiin erillistä liitosnauhaa käyttäen. Ikkunan liittymisperiaate ulkoreunastaan tuulensuojaan ja ulkoverhoukseen on viitteellinen. [lähdettä 42 mukailen.]

6.3.6 Läpiviennit

Läpiviennit yläpohjassa ja ulkoseinässä

Väistämättömät vaipparakenteen hörynsulun läpiviennit, kuten ulkovalojen sähköputket, ilmastointiputket, savuhormit, keskusimurin putkitukset sekä viemäreiden tuuletusputket tulee tiivistää hörynsulkuun erillisillä läpivientikappaleilla. Tähän tarkoitukseen soveltuu esimerkiksi Visux-putki. Tuotteessa on hörynsulkumuoviin itseliimautuva laippaosa, joka tiivistää viillot, joita syntyy putkitusten asennuksessa. Tiivisteiden kaulus on joustava muotoutuen läpivietävän putken ympärille. Läpivientikappaletta voidaan käyttää putkille, joiden halkaisija on 5 - 160 mm. Tuotteen kaulusosaan leikataan putken kokoa pienempi reikä, jotta läpivienti tiivistyy kunnolla. Hörynsulkumuovi tulee puhdistaa liasta, pölystä ja rasvasta, jotta laippa liimautuu kunnolla muoviin. Kauluksen tiiviyys varmistetaan lisäksi rakennusteipillä. [30.]



Kuva 31. Ilmastointiputken läpivienti höyrynsulkumuovissa [30].

Mikäli läpivienti tehdään koko ulkoseinärakenteen läpi, on läpiviennin tiiviys tuulensuojalevyyn toteutettava lisäksi huolellisesti esimerkiksi polyuretaanivaahdolla, jotta lämmöneristeen eristyskyky ei paikallisesti alene.

Läpiviennit alapohjan betonirakenteen läpi

Alapohjan pintabetonilaatta on yleisesti riittävän ilmanpitävän ontelolaattarakenteisen alapohjan tae. Sen lävistävien putkitusten kohdat ovat kuitenkin alttiita ilmavuodoille. Alapohjan lävistävät esimerkiksi viemäreiden tuuletusputket tiivistetään EPS-eristyskerroksessa polyuretaanilla. Läpiviennin tiiviys sen juuressa halutaan erityisesti varmistaa pintabetonilaatan kohdalla, joten tiivistäminen putken ja betonin välillä varmistetaan elastisella kitillä. [31, s. 2.]



Kuva 32. Putken läpivienti alapohjan läpi. Ensin reikä ontelolaatassa (vas.), sitten EPS-eristyskerros 200 mm (oik.). Kuvasarjasta puuttuu vielä pintabetonilaatta 80 mm.

7 RAKENNUSTAPAKÄSIKIRJA

7.1 Yleistä

Rakennustapakäsikirja on teos, joka kuvaa Mittakodit Oy:n rakentamisprosessin riittävän yksityiskohtaisesti oleellisine työvaiheineen sekä käytettävine materiaaleineen ja työvälineineen. Siinä esitellään yrityksen esimerkkirakennuksen perusasiat aina perustustöistä sisätilojen viimeistelytöihin tavoitteena rakennustapojen selkeyttäminen ja yhtenäistäminen. Asiakirjassa ei oteta kantaa kaikkiin mahdollisiin rakennustapoihin, vaan mukaan on valikoitunut kohtia, jotka sujuvan työmaatoteutuksen kannalta on katsottu olennaisiksi.

Tuotannon työntekijöille kirja antaa selvän kokonaiskuvan yrityksen toimintatavoista ja käytössä olevista rakenneratkaisuista sekä esittelee tarvittaessa perusteet joillekin rakennustavoille. Toisaalta kirja esittelee yrityksen tuotantoon valikoituneet materiaalit ja esimerkiksi kiinnikkeet, jolloin rakennesuunnittelija pystyy ilmoittamaan suunnitelmissaan juuri oikeat materiaalien sekä kiinnikkeiden tyypit ja lukumäärät, mikä puolestaan vähentää epäselvyyksiä suunnittelijoiden ja työmaan välillä. Rakennustapakäsikirja ei kuitenkaan anna valmiita rakennelaskelmia tai rakennesuunnitelmia, mutta se ohjaa rakennusprojektin kulkua haluttuun suuntaan.

Yrityksen rivitalotuotanto pohjautuu kyseiseen rakennustapakäsikirjaan. Käsi-asiakirjassa esitettyjen ratkaisujen oikeellisuutta onkin tarkasteltu. Ratkaisut täyttävät tarvittavilta osilta Suomessa rakentamista säätelevät ohjeistukset ja määräykset. Kuitenkin ensisijainen kriteeri kutakin työtappaa valittaessa on ollut työmaatoteutuksen helppous ja yksinkertaisuus sekä soveltuvuus yrityksen tuotantoon kustannustehokkaasti. Lopulliset lausunnot näistä seikoista on saatu yrityksen henkilöstöltä.

Perustavana työmenetelmänä rakennustapakäsikirjaa koottaessa on ollut käytössä olleiden toiminta- ja rakennustapojen läpikäynti yhdessä yrityksen kanssa, jotta rakennustapakäsikirjasta saadaan mahdollisimman hyvin todellisia ratkaisuja vastaava. Lopullinen rakennustapakäsikirja pyrkii pohjautumaan tämän insinööriyön luvussa 3 esitettyihin vuoden 2010 energiatehokkuusvaatimukset täyttäviin vaipparakenteisiin selostaen niiden käytännön toteuttamiseen perustuen esimerkkirakennuksen rakennusprosessin.

7.2 Rakennustapakäsikirjan rakenne ja sisältö

Käsikirjan rakenne muodostettiin aikajanaksi, joka alkaa perustusten toteuttamisesta ja päättyy sisävaiheen viimeistelytöihin sekä pihatöihin. Joidenkin työvaiheiden päällekkäisyydestä johtuen on tekstiin jouduttu toisaalla lisäämään lukujen välisiä viitteitä ja lisäksi joidenkin työvaiheiden ajoitusta on selitetty. Näin ollen kirja on todenmukaisen projektin tavoin etenevä opas, jota on luonteva lukea. Tässä projektilla tarkoitetaan rakennushanketta rakennusliikkeen näkökulmasta eli käytännön rakentamistöiden aloittamisen ja lopputarkastuksen välistä ajanjaksoa. Käsikirja on jaoteltu viiteen päälukuun, jotka ovat:

1. Perustukset ja alapohja
2. Seinärakenteet ja yläpohja
3. Julkisivutyöt
4. Sisätyöt
5. Pihatyöt.

Luvut on jaoteltu rakennusvaiheittain pienempiin kokonaisuuksiin, jotka puolestaan on pyritty jaottelemaan materiaalien ja työn kulun osalta erikseen. Lisäksi omiksi osikseen rakennusvaiheittain pyrittiin erottelemaan toisaalta rakennesuunnittelua ja toisaalta työmaatoteutusta sekä laadunvarmistusta koskevat asiat. Työn kulkua selostavaa tekstiä on lisäksi havainnollistettu olennaisista kohdista valokuvien sekä rakennedetaljein.

Asiakirjan rakenne on muodoltaan sellainen, että se on helposti päivitettävissä ja muokattavissa esimerkiksi tulevaisuudessa edelleen kiristyvien energiatehokkuusmääräysten aiheuttamien muutosten myötä. Käsikirjan asiasisältöä todennäköisesti tullaankin päivittämään käytännön ja kokemuksen mukanaan tuomien ajatusten pohjalta.

Rakennustapakäsikirja on tämän insinööriyön liitteenä 7.

8 YHTEENVETO

Tämä opinnäytetyö jakaantui selkeästi kahden eri osion tekemiseen eli työn alkuperäisenä lähtökohtana olleen rakennustapakäsikirjan toteuttamiseen ja

toisaalta työn varsinaiseen tutkimukseen eli energiatehokkuusosioon. Nämä kaksi asiaa pyrittiinkin nivoamaan yhteen keskittymällä energiatehokkuusosiossa rakenteellisiin seikkoihin sekä pyrkimällä muodostamaan rakennustapakäsikirjan runko energiatehokkaiden rakenteiden toteuttamiseen pohjautuen.

8.1 Energiatehokkuusosa

Tämän opinnäytetyön tutkimusosiossa selvitettiin uudistuotannossa olevan esimerkkirivitalon rakenteiden päivittämistä vuoden 2010 alussa voimaan astuneiden energiatehokkuusvaatimusten mukaisiksi sekä tutkittiin energiatehokkuusluvun parantamista kustannustehokkaasti minimimääräyksiäkin paremmaksi. Odotetaanhan energiankulutusta ohjaavien määräyksien kiristyvän lähivuosina vielä lisää. Opinnäytetyössä keskityttiin myös energiatehokkuuden parantamisen vaikutuksiin sekä ilmatiiviin rakennusvaipan toteuttamiseen.

Rakennuksen energiatehokkuuteen voidaan vaikuttaa lähinnä lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmillä, rakenne- ja ikkunatyypeillä sekä rakennuksen tiiviydellä. Suunniteltaessa vuoden 2010 energiatehokkuusmääräysten mukaisia minimiratkaisuja, jäi esimerkkirakennuksen kokonaislämpöhäviö tasauslaskelmassa vertailulämpöhäviötä pienemmäksi suhteellisin pienin toimenpitein. Tavoitetta voidaankin pitää tältä osin saavutettuna. Suurin muutos vaipparakenteissa toteutettiin ulkoseinän, ikkunoiden ja ovien sekä yläpohjan lämmöneristävyksiä parantamalla. Mikäli vaipan ilmanvuotolukuun ei vaikuta eli ilmanvuotoluku $n_{50} = 4 \text{ 1/h}$, vaaditaan ilmanvaihdon lämmöntalteenottolaitteistoilta 65 %:n vuosihötysudetta, kun tasauslaskelmaa tehdään laskennallisilla arvoilla. Toisaalta paremmin ilmanpitävän vaipan toteuttamisen tuoma etu pienempinä lämpöhäviöinä voidaan päivittää energiaselvitykseen, jos rakennuksessa tehdään ilmanpitävyysmittaus.

Esimerkkirakennuksen vaipparakenteiden eristävyysien parantamisessa kriteerinä olivat mahdollisimman pienet rakenteelliset muutokset, joten eristävydeltään paremmat rakenteet haluttiin toteuttaa vanhoja rakenteita mukaillen ja samoja materiaaleja käyttäen. Tutkittaessa energiatehokkuusluvun parantamista minimiratkaisuakin paremmaksi, syntyykin suurin säästöpotentiaali vaipan ilmatiiviydestä ja ilmanvaihdon lämmöntalteenotosta, joita kus-

tannustehokkaasti parantamalla esimerkkirakennuksen ET-lukua saatiin pienennettyä 28 kWh/brm²/vuosi.

Taulukko 20. Vaipparakenteiden eristepaksuuksien ja U-arvojen, ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen sekä ilmanpitävyyden kehitys eri vuosina. Vaipparakenteen tyyppin jälkeen on ilmoitettu kyseisessä rakenteessa käytettävä eristetyyppi ja yläpohjan eristepaksuuksien kohdilla suluissa on paksuus painumavaroineen.

Vuosi (ET-luku)	2007 - 2009 (ET-luku = 193)	2010 -> (ET-luku = 168)	2010 -> (ET-luku = 129)
US (Isover KL 35)	175 mm	225 mm	275 mm
AP (EPS Lattia 100)	200 mm	200 mm	250 mm
YP (selluvilla)	330 (400) mm	450 (540) mm	450 (540) mm
Ikkunoiden U-arvo	1,20 W/m ² K	1,0 W/m ² K	0,85 W/m ² K
Ulko-ovien keskimääräinen U-arvo	1,40 W/m ² K	1,0 W/m ² K	0,58 W/m ² K
Ilmanvaihtokoneiden keskimääräinen vuosihyötysuhde	50 %	65 %	75,80 %
Ilmanvuotoluku n ₅₀	4 1/h	≤ 4 1/h	0,6 1/h

Kun siis halutaan parantaa rakennuksen ET-lukua entisestään, ovat yksinkertaisimmat keinot ilmanpitävyyden ja ilmanvaihdon parantaminen. Esimerkkirakennuksen ET-lukua saatiin nostettua uusien minimimääräysten mukaisesta luokasta D luokkaan C 27 024 €:n lisäkustannuksin, jolloin rakennuksen vuosittainen energiankulutus pienenee 202 470 kWh:sta 155 711 kWh:iin eli 46 759 kWh. Tavoitteen saavuttaminen vaatii kustannusten lisäksi myös huolellista suunnittelua ja työsuoritusta ilmanpitävän ulkovaipan toteuttamisen onnistumiseksi. Energiatehokkuuslukua voidaan mahdollisesti saada pienemmäksi myös laitesähkönkulutuksen laskentamenettelyä tarkentamalla. 27 024 €:n lisäkustannusten takaisinmaksuaika on noin 13 vuotta, kun kaukolämmön energiamaksun hinta on 45,38 €/MWh [50]. Huomion arvoista kuitenkin on, että rakennusliikkeen maksettavaksi jäävät rakennuksen investointikustannukset ja rakennuksen käytön aikaisista pienemmistä energialaskuista hyötyvät asunnon ostajat, joten asuntojen parempi energiatehokkuusluku tulisi pystyä hyödyntämään asuntojen myyntiarvon nostamisessa kannattavan liiketoiminnan takaamiseksi. Energiatehokkuusluvun parantaminen mainitulla tavalla vaatisikin sen, että jokaisesta myytävästä huoneistoneeliömetristä saisi myyntitilanteessa noin 26 € korkeamman hinnan.

Taulukko 21. Energiatohokkuusluvun parantamiskeinojen vaikutuksia ja kustannuksia eriteltyinä.

Rakennuksen ET-luvun parantaminen arvosta 168 kWh/brm ² /vuosi arvoon 129 kWh/brm ² /vuosi		
Muutettu ratkaisu	Kustannus	ET-luvun muutos (kok.energian muutos)
Ilmanvuotoluku 4,0 l/h -> 0,6 l/h	≥ 2000 €	-20 kWh/brm ² /vuosi (-23 978 kWh/vuosi)
LTO:n vuosihyötysuhde 65 % -> 75,8 %	6 095 €	-8,4 kWh/brm ² /vuosi (-10 185 kWh/vuosi)
Ulkoseinän eristepaksuus 225 mm -> 275 mm	6 885 €	-11,3 kWh/brm ² /vuosi (-13 647 kWh/vuosi)
Alapohjan eristepaksuus 200 mm -> 250 mm	3 452 €	(vaipparakenteet yhteensä)
Ikkunoiden U-arvo 1,0 W/m ² K -> 0,85 W/m ² K	7 031,50 €	
Ulko-ovien U-arvo 1,0 W/m ² K -> 0,58 W/m ² K	1 560 €	
	yht. 27 024 €	yht. n. -39 kWh/brm ² /vuosi
Lisäksi lämpökuormien hyödyntämisaste muuttuu 93,4 % -> 92,5 %		

Energiatohokkuuden parantamisen vaikutuksia esimerkkirakennuksen toteuttamiseen on kirjattu taulukkoon 22.

Taulukko 22. Kun siirrytään vuosien 2007 - 2009 energiatohokkuusmääräysten mukaisista ratkaisuista vuoden 2010 minimimääräysten mukaisiin ratkaisuihin, huomioitava on muun muassa alla olevaan taulukkoon kirjattuja asioita.

Muutos (2007 - 2009) -> 2010	Huomioitavia asioita
Ulkoseinärakenteen paksuuntuminen	-Ylimääräisen eristekerroksen asentaminen -Ikkunoiden ja ovien sijainti seinärakenteessa -Rakennuksen bruttopinta-alan kasvaminen -Saksiristikoiden pituus muuttuu -Ontelolaattojen pituus muuttuu -Liittymä alapohjaan muuttuu -Julkisivutiilimuurauksen jaottelu muuttuu
Yläpohjarakenteen eristekerroksen paksuuntuminen	-Saksiristikoiden korkeus muuttuu -Eristekerroksen painon kasvaminen ja sen kannattelemisen
Ilmatiivyyden parantaminen	-Höyrynsulun sijainti muuttuu -Höyrynsulkumuovien liitokset -Huolelliseen suunnitteluun panostettava -Huolellinen työsuoritus olennaista
Ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen parantaminen	-Huomioitava lämmönsiirtimen tyyppi, jotta tarvittava vuosihyötysuhde on mahdollinen

Rakennusvaipan hyvällä ilmatiivyydellä on monia positiivisia vaikutuksia alhaisen energiankulutuksen lisäksi. Se muun muassa pienentää rakenteiden kosteusvaurioriskejä. Energiatohokkaiden rakenteiden rakennusfysikaalinen toiminta tulee tarkistaa tapauskohtaisesti. Oikein toimiva tulo- ja poistoilmanvaihto on oleellinen osa rakennuksen kokonaistoimintaa. Hyvin ilmanpitävää ulkovaippaa suunniteltaessa ja toteutettaessa tulee huomiota kiinnittää höy-

rynsulun yhtenäisyyteen ja sen saumoihin, ikkunoiden- ja ovien liitoksiin, höyrynsulun liitoksiin muihin rakenteisiin ja vaipparakenteiden nurkissa sekä läpivientien tiivistämiseen. Rakenneratkaisut ovat kuitenkin toteutettavissa esimerkkirakennukseen suhteellisen pienillä muutoksilla.

Tässä insinööriyössä tehdyt laskelmat eivät suoraan ole muutettavissa energiaselvitykseksi, sillä kyseisestä asiakirjasta tulee lisäksi ilmetä myös rakennuksen lämmitysteho ja ilmanvaihdon sähköteho. Laskelmat ovat kuitenkin merkityksellisiä yritykselle, osoittavathan ne ensisijaisesti käyttöön sovellettavien rakenteiden määräystenmukaisuuden sekä selkeitä keinoja energiatehokkuusluvun parantamiseksi. Verrattaessa näitä tuloksia aikaisempiin tietoihin, voidaan huomata kehitystä tapahtuneen. Esimerkkirakennuksen ET-luokka on ollut vuosina 2007 - 2009 tasoa E ja nyt tavoitettiin ainakin luokat D ja C. Tulevaisuudessa parannusta on odotettavissa edelleen.

Työssä esitetyt rakenneratkaisut on mietitty erityisesti esimerkkirakennukseen sopiviksi, eikä niitä välttämättä voida suoraan yleistää kaikkiin rivitalokohteisiin parhaiksi mahdollisiksi. Ratkaisuja on toki muitakin, vaikka esimerkiksi yleisesti ilmavuodoille alttiit paikat toistuvat lähes kaikessa rakentamisessa. Tässä työssä esitetyillä vaipparakenteilla ja ET-luvun parantamiskeinoilla on toivottu merkitys, kun energiankulutuslaskennassa tarkastellaan esimerkkirakennusta, mutta esimerkiksi rakennuksen geometriatietojen muuttuessa vaikutus voi olla toisenlainen. Tutkimusmenetelmä sinällään oli suhteellisen tarkka, joskin tutkimuksen aikana yleisellä tasolla huomattiin, että energiankulutuslaskelmat voidaan toisinaan tehdä osittain omien toivomustensa mukaisiksi. Tutkimusmenetelmää voisi kehittää ainakin ottamalla tarkasteluun useampia vaipparakeneratkaisuja ja tarkastella sekä vertailla niiden vaikutuksia energiatehokkuuslukuun, mutta kuten aiemmin todettiin, rajattiin tämä työn ulkopuolelle jo lähtökohtia pohdittaessa.

8.2 Yhteenveto rakennustapakäsikirjan toteuttamisesta

Rakennustapakäsikirjan keskeisenä tarkoituksena oli koota Mittakodit Oy:n tuotannon toimintatavat kompaktiksi asiakirjaksi, jossa kronologisesti esimerkkirakennuksen toteuttamisen avulla esitellään tuotannon työvaiheet, rakennustavat sekä käytettävät materiaalit, kiinnikkeet ja työvälaineet. Kirjan tarkoituksena oli palvella monipuolisesti rakennusprojektin eri osapuolia ja yhtenäistää rakennesuunnittelua ja toteutusta.

Tuloksena syntyi asiakirja, jossa esitellään yrityksen toimintatapoja. Rakennustapakäsikirjan rakenne pyrittiin alun perin tekemään uusien energiatehokkaampien rakenteiden toteuttamisen selittämiseen perustuen. Asiakirja jäi kuitenkin osin erilliseksi liitteeksi, jossa ei niinkään näy vuoden 2010 energiatehokkuusmääräysten mukaisten rakenteiden merkitys. Alun perin lisäksi tavoitteena ollutta rakenneratkaisujen kehittämistä ei pystytty tämän projektin puitteissa kokonaan toteuttamaan, joten rakennustapakäsikirja jäi tietyiltä kohdin nykyisten käytäntöjen kuvailemiseksi. Toisaalta tämän insinööriyön luvussa 6 esitetyissä rakenneratkaisuissa on juuri pyritty kehittämään esimerkkirakennuksen rakenneratkaisuja ilmatiiviimmiksi, mutta silti kaikkien ratkaisujen tarkistamiseen ei rakennustapakäsikirjan kokoamisen yhteydessä kyetty paneutumaan aiheen laajuuden vuoksi. Tavoitteena oli kuitenkin luoda käsikirjalle sellainen rakenne, jota on helppo myöhemminkin päivittää ja siinä tehtävässä onnistuttiin.

Yritys totesi rakennustapakäsikirjasta olevan aluksi hyötyä ainakin rakennesuunnittelijalle. Suunnittelutyössä kirjaa voidaankin hyödyntää esimerkiksi tarkistamalla asiakirjasta kyseisessä tuotannossa käytettävät kiinnikkeet ja materiaalit, jolloin suunnitelmissa tulee ilmoitettua aina oikea tuote, jolloin puolestaan epäselvyydet tuotannon ja suunnittelun välillä vähenevät.

Rakennustapakäsikirjaa voisi kehittää edelleen, sillä nykyisellään kirja ei anna minkäänlaisia rakennesuunnitelmia. Nyt asiakirjassa esitetään esimerkiksi kiinnikkeiden tyypit, mutta kiinnikevälien laskeminen jää rakennesuunnittelijan tehtäväksi. Rakennustapakäsikirjaan voisikin tehdä alustavia rakennesuunnitelmia ja taulukoita, joista eri muuttujilla käytettävät kiinnikevälit ilmenisivät. On kuitenkin muistettava, että kaikista ratkaisuista lopulta vastaa kunkin kohteen päärakennesuunnittelija.

Koska yrityksen tuotanto on yhtenäistetty tietyn tyyppirivitaloratkaisun rakentamiseen, voidaan tällaisen rakennustapakäsikirjan ratkaisuja käyttää yrityksen tuotannossa työmaasta toiseen. Ratkaisut pätevät kuitenkin vain esimerkkirakennukseen, jonka työmaatoteutuksen ehdoilla esitetyt ratkaisut ovat valikoituneet. Rakenne- ja toteutusratkaisuja on aina monia erilaisia, joten tulokset eivät ole yleistettävissä välttämättä kaikkeen rakentamiseen.

VIITELUETTELO

- [1] Ympäristöministeriö, *Ympäristön tila, ilmastonmuutos* [verkkodokumentti, viitattu 17.01.2010]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=322153&lan=fi>
- [2] Ympäristöministeriö, *Energiatehokkuutta parantavat rakentamismääräykset annettu* [verkkodokumentti, viitattu 17.01.2010]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=308006&lan=fi>
- [3] Suomen rakentamismääräyskokoelma osa *D2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, Määräykset ja ohjeet 2010*. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto.
- [4] RIL 249-2009 *Matalaenergiarakentaminen. Asuinrakennukset*. Helsinki. Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry.
- [5] Sähkölämmitysfoorumi, *Lämmitysjärjestelmän suunnittelu ja toteutus* [verkkodokumentti, viitattu 19.01.2010]. Saatavissa: <http://www.sahkolammitysfoorumi.com/suunnittelu3.html>
- [6] Kotitehdas, *Messutalot mukana ilmastotalkoissa* [www-sivu, viitattu 19.01.2010]. Saatavissa: http://www.kotitehdas.fi/ohjeet_artikkelit/artikkelit/11-Messutalot-mukana-ilmastotalkoissa/
- [7] VTT, *Future home asuntolaboratorio* [verkkodokumentti, viitattu 20.01.2010]. Saatavissa: <http://virtual.vtt.fi/virtual/proj6/yki4/asuntolab.pdf>
- [8] Laki rakennuksen energiatodistuksesta 13.4.2007/487
- [9] Motiva, *Etua energiatehokkuudesta* [www-sivu, viitattu 20.01.2010]. Saatavissa: <http://energiatodistus.motiva.fi/mika-on-energiatodistus/etuaenergiatehokkuudesta/>
- [10] Motiva, *Energiatodistus* [www-sivu, viitattu 20.01.2010]. Saatavissa: <http://energiatodistus.motiva.fi/energiatodistukset/muuttrakennukset/>
- [11] Suomen rakentamismääräyskokoelma osa *D3 Rakennusten energiatehokkuus, Määräykset ja ohjeet 2010*. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto.
- [12] Motiva, *Esimerkki täytetystä muiden rakennusten energiatodistuslomakkeesta* [verkkodokumentti, viitattu 20.01.2010]. Saatavissa: <http://energiatodistus.motiva.fi/energiatodistukset/muuttrakennukset/>
- [13] Työ- ja elinkeinoministeriö, Kirjanpitolautakunta, *Perustajaurakointiin liittyvät kirjanpidolliset kysymykset* [www-sivu, viitattu 21.01.2010]. Saatavissa: <http://ktm.elinar.fi/ktm/fin/kirjanpi.nsf/717602942eb71ebdc22570210049e02b/868e02cb1616f1cbc2256793001efb44?OpenDocument>
- [14] Ympäristöministeriö, *Rakennusten energiatehokkuutta koskeva lainsäädäntö* [www-sivu, viitattu 22.01.2010]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=234059&lan=fi&clan=fi>

- [15] Ympäristöministeriö, *Suomen rakentamismääräyskokoelma* [www-sivu, viitattu 22.01.2010]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=321569&lan=fi>
- [16] Mölsä Seppo, *Energiamääräykset kiristyivät 30 prosentilla*. Rakennuslehti nro 2 (2010), s. 12 - 13.
- [17] Rakennuslehti, *Parocin passiivitalossa on Suomen paras ilmatiiviyys* [www-sivu, viitattu 14.02.2010]. <http://www.rakennuslehti.fi/uutiset/lehtiarkisto/17682.html>
- [18] Suomen rakentamismääräyskokoelma osa C4 *Lämmöneristys, Ohjeet 2003*. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto.
- [19] Ympäristöministeriö, *Tasauslaskentaopas 2007* [verkkodokumentti, viitattu 28.01.2010]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=80008&lan=fi>
- [20] Asikainen, Vesa (toim.) – Peltola, Susanna (toim.), *Sisäilmaongelmaisten koulurakennusten korjaaminen*. Vammala: Vammalan Kirjapaino Oy. 2008.
- [21] Isover, *Korjaustermin delta U laskenta* [www-sivu, viitattu 28.01.2010]. Saatavissa: <http://www.isover.fi/fi/Suunnittelu/Rakentamisen+suunnitteluohjelmat/Korjauskertoimen+delta+U+laskenta/>
- [22] Isover, *Isover KL 35* [www-sivu, viitattu 28.01.2010]. Saatavissa: <http://www.isover.fi/fi/Tuotesivu/?intProductCategoryID=52&intProductID=18666>
- [23] Knauf, *Rakennuslevyjen tekniset tiedot* [www-sivu, viitattu 28.01.2010]. Saatavissa: http://rakennusjarjestelmat.knauf.fi/products/boards/gypsum/technical_facts.html
- [24] Vinha, Juha, ym. *Matalaenergiarakenteiden toimivuus*. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto. TTY Tutkimusselostus N:o 1706. 2008.
- [25] Termex, *Tyyppihyväksyntäpäätös* [verkkodokumentti, viitattu 29.01.2010]. Saatavissa: http://www.termex.fi/images/sein%C3%A4_2009_tyyppihyv%C3%A4ksynt%C3%A4.pdf
- [26] Thermisol, *Lattia- ja alapohjaeristeiden tärkeimmät ominaisuudet* [verkkodokumentti, viitattu 29.01.2010]. Saatavissa: <http://thermisol.okia.ee/static/files/9.247.ThermiSol%20EPS-eristeiden%20tekniset%20tiedot.pdf>
- [27] Puuinfo Oy, *Energiaa säästävä pientalo, Suunnitteluohje matalaenergiarakentamiseen* [verkkodokumentti, viitattu 18.02.2010]. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/search/node/Energiaa%20s%C3%A4st%C3%A4v%C3%A4%20pientalo>
- [28] Eskopuu, *Eskopuun ikkunat U-arvot* [verkkodokumentti, viitattu 04.02.2010]. Saatavissa: http://www.eskopuu.fi/common/Eskopuun_ikkunat_U-arvot_virallinen.pdf

- [29] Kaskipuu, *Thermo-ovi* [www-sivu, viitattu 04.02.2010]. Saatavissa: <http://www.kaskipuu.fi/index.php/thermo-ovi.html>
- [30] RT-tuotekortti L-35877 *Visux-höyryn- ja ilmansulun läpiviennit, Visux-aluskatteen läpiviennit. Pohjolan Talovaruste Oy.* [viitattu 23.02.2010]. Saatavissa: <http://www.visux.com/>
- [31] Kivitaloinfo, *Ilmanpitävien rakenteiden ja liitosten suunnittelu kivitalossa.* [verkkodokumentti, viitattu 23.02.2010]. Saatavissa: http://www.kivitaloinfo.fi/uploads/files/pdf/kivitaloinfo_ilmanpitavien_rakenteiden_ja_liitosten_toteutus_kivitalossa.pdf
- [32] Suomen rakentamismääräyskokoelma osa C3 *Rakennusten lämmöneristys, Määräykset 2010.* Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto.
- [33] Suomen Selluvilla-Eriste Oy, *Asennus* [www-sivu, viitattu 04.02.2010]. Saatavissa: <http://www.selluvilla.net/?cat=10>
- [34] Parma Oy, *ParmaParel-ontelolaattojen suunnitteluohje* [verkkodokumentti, viitattu 04.02.2010]. Saatavissa: <http://www.parma.fi/fi/Ammattirakentajalle/Suunnittelu/>
- [35] Enervent Oy, *Energy optimizer* [www-sivu, viitattu 18.02.2010]. Saatavissa: http://www.enervent.fi/fan_info_page.asp?menuid=20106&langid=1&countryid=100&modelid=1&fanid=2&supply_airflow=46&exhaust_airflow=51&supply_pressure=66&exhaust_pressure=66&controlid=1&heatingid=1&coolingid=1
- [36] Enervent Oy, *Energy optimizer* [www-sivu, viitattu 18.02.2010]. Saatavissa: http://www.enervent.fi/fan_info_page.asp?menuid=20106&langid=1&countryid=100&modelid=1&fanid=1&supply_airflow=27&exhaust_airflow=30&supply_pressure=51&exhaust_pressure=51&controlid=1&heatingid=1&coolingid=1
- [37] VTT. *Lausunto energiatehokkuuden parantamisen vaikutuksista rakenteiden kosteustekniseen toimivuuteen.* Tutkimusselostus N:o VTT-S-10816-08. 2008.
- [38] Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D5 *Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta, Ohjeet 2007.* Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto.
- [39] Puhelinkeskustelu. Kai Nordberg ja Hannu Partanen, FinnEnergia Oy. 26.01.2010.
- [40] Lasiluoto Oy, *Lasiopas* [www-sivu, viitattu 11.02.2010]. Saatavissa: <http://www.lasiluoto.fi/lasiopas.html>
- [41] Helsingin kaupunki, Rakennusvalvontavirasto, *Miten toteutetaan energiatehokas ja ympäristöä säästävä talo?* [www-sivu, viitattu 11.02.2010]. Saatavissa: http://www.hel.fi/wps/portal/Rakennusvalvontavirasto/Artikkeli?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/rakw/fi/Rakentaminen%20ja%20luvut/Energiatehokas%20Helsinki/Uudisrakentaminen
- [42] Tiivistalo, *Erikoistiivisteet* [www-sivu, viitattu 22.02.2010]. Saatavissa: <http://www.tiivistalo.fi/ohjeet/default.asp?sivu=erikoistiivisteet&otsikko=CONTEGA%20PV&tunnus=84>

- [43] Paroc Passiivitalo, *Rakennesuunnittelijan opas* [www-sivu, viitattu 14.02.2010]. Saatavissa: <http://www.energiaviisastalo.fi/?cat=Rakennesuunnittelijan+opas>
- [44] Keskustelu. Kai Nordberg ja toimitusjohtaja Ari Kangasniemi, Mittakodit Oy. 05.02.2010.
- [45] Mäki Tarja - Koskenvesa Anssi. *Rakennustöiden menakit 2006. Ratu*. Tampere: Rakennusteollisuus RT ry ja Rakennustietosäätiö RTS. 2005.
- [46] Puhelinkeskustelu. Kai Nordberg ja toimitusjohtaja Ari Kangasniemi, Mittakodit Oy. 15.02.2010.
- [47] Paroc Passiivitalo, *Paroc Lupaus* [www-sivu, viitattu 14.02.2010]. Saatavissa: <http://www.energiaviisastalo.fi/?cat=Pilottikohteet&id=101>
- [48] Tampereen ammattikorkeakoulu, *Rakennuslaboratorio* [verkkodokumentti, viitattu 14.02.2010]. Saatavissa: [http://www.tamkadmissions.fi/cms/hakumm.nsf/lupGraphics/Hinnasto2009.pdf/\\$file/Hinnasto2009.pdf](http://www.tamkadmissions.fi/cms/hakumm.nsf/lupGraphics/Hinnasto2009.pdf/$file/Hinnasto2009.pdf)
- [49] Thermisol, *Rakennekuvat* [verkkodokumentti, viitattu 09.03.2010]. Saatavissa: http://www.thermisol.fi/static/files/194.ThermiSol_2.7.pdf
- [50] Fortum, *Kaukolämpöhinnasto* [verkkodokumentti, viitattu 18.03.2010]. Saatavissa: http://www.fortum.com/gallery/Heat/Internet/Kaukolampohinnasto_Espoo_01012010_.pdf

Korjaustermin ΔU laskenta

Versio 1.1.0 (10.07.2009)

Kohde = Esimerkkirakennus
 Rakenneosa = Ulkoseinä
 Laskija = Kai Nordberg

Korjaustermi ΔU ja korjattu lämmönläpäisykerroin:

$U = 0,1650$ W/m²K (= rakenteen korjaamaton U-arvo)
 $\Delta U = 0,0081$ W/m²K (= $\Delta U_g + \Delta U_r + \Delta U_t$)
 $U_c = 0,17$ W/m²K (= $U + \Delta U$, korjattu lämmönläpäisykerroin)

Ilmarakojen korjaustekijä (EN ISO 6946, liite D kohta D.2):

Korjaustaso = 1; Eristys sisältää ilmarakojä, jotka eivät heikennä rakenteen eristävyttä oleellisesti (esim. puurunko koko eristyksen matkalla).

$R_v/R_{T,h} = 0,90$ - $R_{T,h}$ = Rakenteen lämmönvastus eristyksen kohdalta
 R_i = Ilmarakojä sisältävän eristyskerroksen lämmönvastus

$\Delta U'' = 0,01$ W/m²K Ilmarakojen korjaustekijän korjauskerroin

$\Delta U_g = 0,0081$ W/m²K (= $\Delta U'' \cdot (R_v/R_{T,h})^2$, Ilmarakojen korjaustekijä)

Mekaanisten kiinnikkeiden korjaustekijä (EN ISO 6946, liite D kohta D.3):

Ei mekaanisia kiinnikkeitä

$R_v/R_{T,h} = 1,00$ - R_i = Kiinnikkeitä sisältävän eristyskerroksen lämmönvastus
 $R_{T,h}$ = Rakenteen lämmönvastus eristyksen kohdalta

$d_0 = 180$ mm Kiinnikkeen lävistävän eristekerroksen kokonaispaksuus

$\theta = 0$ ° Kiinnikkeen kulma (0° = kohtisuoraan)

$d_1 = 180$ mm Kiinnikkeen pituus (voi olla > d_0 , esim. vino kiinnike)

$\alpha = 0,80$ - (= $0,8 \cdot d_1/d_0$), kerroin

$\lambda_r = 17$ W/mK Kiinnikkeiden lämmönjohtavuus

$n_r = 4$ kpl/m² Kiinnikkeiden lukumäärä per neliö

$d = 4,0$ mm Kiinnikkeiden halkaisija

$A_r = 12,57$ mm² Kiinnikkeiden pinta-ala $A_r = \pi(d/2)^2$

$\Delta U_f = 0,0000$ W/m²K (= $\alpha \cdot \lambda_r \cdot n_r \cdot A_r/d_0 \cdot (R_v/R_{T,h})^2$, Mekaanisten kiinnikkeiden korjaustekijä)

Käännettyjen kattojen korjaustekijä (EN ISO 6946, liite D kohta D.4):

Ei ole käännetty kattorakenne

$R_v/R_T = 1,00$ - R_i = Vedeneristeen yläpuolella olevan rakenteen lämmönvastus
 R_T = Koko rakenteen lämmönvastus

$p = 1,57$ mm/vrk Paikkakuntakohtainen sademääräindeksi lämmityskaudella

$f \cdot X = 0,010$ - Pintarakenteesta ja eristyksestä johtuva kerroin

$\Delta U_t = 0,0000$ W/m²K (= $p \cdot f \cdot X \cdot (R_v/R_T)^2$), Käännettyjen kattojen korjaustekijä

Korjaustermin ΔU laskenta

Versio 1.1.0 (10.07.2009)

Kohde = Esimerkkirakennus
 Rakenneosa = Alapohja
 Laskija = Kai Nordberg

Korjaustermi ΔU ja korjattu lämmönläpäisykerroin:

$$\begin{aligned}
 U &= 0,1640 \text{ W/m}^2\text{K} && (= \text{rakenteen korjaamaton } U\text{-arvo}) \\
 \Delta U &= 0,0083 \text{ W/m}^2\text{K} && (= \Delta U_g + \Delta U_r + \Delta U_s) \\
 U_c &= 0,17 \text{ W/m}^2\text{K} && (= U + \Delta U, \text{ korjattu lämmönläpäisykerroin})
 \end{aligned}$$

Ilmarakojen korjaustekijä (EN ISO 6946, liite D kohta D.2):

Korjaustaso = 1; Eristys sisältää ilmarakoja, jotka eivät heikennä rakenteen eristävyttä oleellisesti (esim. puurunko koko eristyksen matkalla).

$$\begin{aligned}
 R_i/R_{T,h} &= 0,91 && R_{T,h} = \text{Rakenteen lämmönvastus eristyksen kohdalta} \\
 &&& R_i = \text{Ilmarakojen sisältävän eristyskerroksen lämmönvastus} \\
 \Delta U'' &= 0,01 \text{ W/m}^2\text{K} && \text{Ilmarakojen korjaustekijän korjauskerroin} \\
 \Delta U_g &= 0,0083 \text{ W/m}^2\text{K} && (= \Delta U'' \cdot (R_i/R_{T,h})^2, \text{ Ilmarakojen korjaustekijä})
 \end{aligned}$$

Mekaanisten kiinnikkeiden korjaustekijä (EN ISO 6946, liite D kohta D.3):

Ei mekaanisia kiinnikkeitä

$$\begin{aligned}
 R_i/R_{T,h} &= 1,00 && R_i = \text{Kiinnikkeitä sisältävän eristyskerroksen lämmönvastus} \\
 &&& R_{T,h} = \text{Rakenteen lämmönvastus eristyksen kohdalta} \\
 d_0 &= 180 \text{ mm} && \text{Kiinnikkeen lävistävän eristekerroksen kokonaispaksuus} \\
 \theta &= 0^\circ && \text{Kiinnikkeen kulma } (0^\circ = \text{kohtisuoraan}) \\
 d_1 &= 180 \text{ mm} && \text{Kiinnikkeen pituus (voi olla } > d_0, \text{ esim. vino kiinnike)} \\
 \alpha &= 0,80 && (= 0,8 \cdot d_1/d_0), \text{ kerroin} \\
 \lambda_r &= 17 \text{ W/mK} && \text{Kiinnikkeiden lämmönjohtavuus} \\
 n_r &= 4 \text{ kpl/m}^2 && \text{Kiinnikkeiden lukumäärä per neliö} \\
 d &= 4,0 \text{ mm} && \text{Kiinnikkeiden halkaisija} \\
 A_r &= 12,57 \text{ mm}^2 && \text{Kiinnikkeiden pinta-ala} \quad A_r = \pi(d/2)^2 \\
 \Delta U_f &= 0,0000 \text{ W/m}^2\text{K} && (= \alpha \cdot \lambda_r \cdot n_r \cdot A_r/d_0 \cdot (R_i/R_{T,h})^2, \text{ Mekaanisten kiinnikkeiden korjaustekijä})
 \end{aligned}$$

Käännettyjen kattojen korjaustekijä (EN ISO 6946, liite D kohta D.4):

Ei ole käännetty kattorakenne

$$\begin{aligned}
 R_i/R_T &= 1,00 && R_i = \text{Vedeneristeen yläpuolella olevan rakenteen lämmönvastus} \\
 &&& R_T = \text{Koko rakenteen lämmönvastus} \\
 p &= 1,57 \text{ mm/vrk} && \text{Paikkakuntakohtainen sademääräindeksi lämmityskaudella} \\
 f \cdot X &= 0,010 && \text{Pintarakenteesta ja eristyksestä johtuva kerroin} \\
 \Delta U_r &= 0,0000 \text{ W/m}^2\text{K} && (= p \cdot f \cdot X \cdot (R_i/R_T)^2), \text{ Käännettyjen kattojen korjaustekijä}
 \end{aligned}$$

Korjaustermin ΔU laskenta

Versio 1.1.0 (10.07.2009)

Kohde = Esimerkkirakennus
 Rakenneosa = Ulkoseinä Puolilämpimät tilat
 Laskija = Kai Nordberg

Korjaustermi ΔU ja korjattu lämmönläpäisykerroin:

$U = 0,2230 \text{ W/m}^2\text{K}$ (= rakenteen korjaamaton U-arvo)
 $\Delta U = 0,0089 \text{ W/m}^2\text{K}$ (= $\Delta U_g + \Delta U_r + \Delta U_t$)
 $U_c = 0,23 \text{ W/m}^2\text{K}$ (= $U + \Delta U$, korjattu lämmönläpäisykerroin)

Ilmarakojen korjaustekijä (EN ISO 6946, liite D kohta D.2):

Korjaustaso = 1; Eristys sisältää ilmarakoja, jotka eivät heikennä rakenteen eristävyttä oleellisesti (esim. puurunko koko eristyksen matkalla).

$R_v/R_{T,h} = 0,94$ - $R_{T,h}$ = Rakenteen lämmönvastus eristyksen kohdalta
 R_1 = Ilmarakoja sisältävän eristyskerroksen lämmönvastus
 $\Delta U'' = 0,01 \text{ W/m}^2\text{K}$ Ilmarakojen korjaustekijän korjauskerroin
 $\Delta U_g = 0,0089 \text{ W/m}^2\text{K}$ (= $\Delta U'' \cdot (R_v/R_{T,h})^2$, Ilmarakojen korjaustekijä)

Mekaanisten kiinnikkeiden korjaustekijä (EN ISO 6946, liite D kohta D.3):

Ei mekaanisia kiinnikkeitä

$R_v/R_{T,h} = 1,00$ - R_1 = Kiinnikkeitä sisältävän eristyskerroksen lämmönvastus
 $R_{T,h}$ = Rakenteen lämmönvastus eristyksen kohdalta
 $d_0 = 180 \text{ mm}$ Kiinnikkeen lävistävän eristekerroksen kokonaispaksuus
 $\theta = 0^\circ$ Kiinnikkeen kulma (0° = kohtisuoraan)
 $d_1 = 180 \text{ mm}$ Kiinnikkeen pituus (voi olla $> d_0$, esim. vino kiinnike)
 $\alpha = 0,80$ - (= $0,8 \cdot d_1/d_0$), kerroin
 $\lambda_r = 17 \text{ W/mK}$ Kiinnikkeiden lämmönjohtavuus
 $n_r = 4 \text{ kpl/m}^2$ Kiinnikkeiden lukumäärä per neliö
 $d = 4,0 \text{ mm}$ Kiinnikkeiden halkaisija
 $A_r = 12,57 \text{ mm}^2$ Kiinnikkeiden pinta-ala $A_r = \pi(d/2)^2$
 $\Delta U_f = 0,0000 \text{ W/m}^2\text{K}$ (= $\alpha \cdot \lambda_r \cdot n_r \cdot A_r/d_0 \cdot (R_v/R_{T,h})^2$, Mekaanisten kiinnikkeiden korjaustekijä)

Käännettyjen kattojen korjaustekijä (EN ISO 6946, liite D kohta D.4):

Ei ole käännetty kattorakenne

$R_v/R_T = 1,00$ - R_1 = Vedeneristeen yläpuolella olevan rakenteen lämmönvastus
 R_T = Koko rakenteen lämmönvastus
 $p = 1,57 \text{ mm/vrk}$ Paikkakuntakohtainen sademääräindeksi lämmityskaudella
 $f \cdot X = 0,010$ - Pintarakenteesta ja eristysestä johtuva kerroin
 $\Delta U_r = 0,0000 \text{ W/m}^2\text{K}$ (= $p \cdot f \cdot X \cdot (R_v/R_T)^2$), Käännettyjen kattojen korjaustekijä

Korjaustermin ΔU laskenta

Versio 1.1.0 (10.07.2009)

Kohde = Esimerkkirakennus
 Rakenneosa = Yläpohja Puolilämpimät tilat
 Laskija = Kai Nordberg

Korjaustermi ΔU ja korjattu lämmönläpäisykerroin:

$U = 0,1290$ W/m²K (= rakenteen korjaamaton U-arvo)
 $\Delta U = 0,0091$ W/m²K (= $\Delta U_0 + \Delta U_r + \Delta U_i$)
 $U_c = 0,14$ W/m²K (= $U + \Delta U$, korjattu lämmönläpäisykerroin)

Ilmarakojen korjaustekijä (EN ISO 6946, liite D kohta D.2):

Korjaustaso = 1; Eristys sisältää ilmarakoja, jotka eivät heikennä rakenteen eristävyttä oleellisesti (esim. puurunko koko eristyksen matkalla).

$R_v/R_{T,h} = 0,95$ - $R_{T,h}$ = Rakenteen lämmönvastus eristyksen kohdalta
 R_1 = Ilmarakojen sisältävän eristyskerroksen lämmönvastus
 $\Delta U'' = 0,01$ W/m²K Ilmarakojen korjaustekijän korjauskerroin
 $\Delta U_g = 0,0091$ W/m²K (= $\Delta U'' \cdot (R_v/R_{T,h})^2$, Ilmarakojen korjaustekijä)

Mekaanisten kiinnikkeiden korjaustekijä (EN ISO 6946, liite D kohta D.3):

Ei mekaanisia kiinnikkeitä

$R_v/R_{T,h} = 1,00$ - R_1 = Kiinnikkeitä sisältävän eristyskerroksen lämmönvastus
 $R_{T,h}$ = Rakenteen lämmönvastus eristyksen kohdalta
 $d_0 = 180$ mm Kiinnikkeen lävistävän eristekerroksen kokonaispaksuus
 $\theta = 0$ ° Kiinnikkeen kulma (0° = kohtisuoraan)
 $d_1 = 180$ mm Kiinnikkeen pituus (voi olla > d_0 , esim. vino kiinnike)
 $\alpha = 0,80$ - (= $0,8 \cdot d_1/d_0'$), kerroin
 $\lambda_r = 17$ W/mK Kiinnikkeiden lämmönjohtavuus
 $n_r = 4$ kpl/m² Kiinnikkeiden lukumäärä per neliö
 $d = 4,0$ mm Kiinnikkeiden halkaisija
 $A_r = 12,57$ mm² Kiinnikkeiden pinta-ala $A_r = \pi(d/2)^2$
 $\Delta U_f = 0,0000$ W/m²K (= $\alpha \cdot \lambda_r \cdot n_r \cdot A_r/d_0 \cdot (R_v/R_{T,h})^2$, Mekaanisten kiinnikkeiden korjaustekijä)

Käännettyjen kattojen korjaustekijä (EN ISO 6946, liite D kohta D.4):

Ei ole käännetty kattorakenne

$R_v/R_T = 1,00$ - R_1 = Vedeneristeen yläpuolella olevan rakenteen lämmönvastus
 R_T = Koko rakenteen lämmönvastus
 $p = 1,57$ mm/vrk Paikkakuntakohtainen sademääräindeksi lämmityskaudella
 $f \cdot X = 0,010$ - Pintarakenteesta ja eristyksestä johtuva kerroin
 $\Delta U_r = 0,0000$ W/m²K (= $p \cdot f \cdot X \cdot (R_v/R_T)^2$), Käännettyjen kattojen korjaustekijä

Korjaustermin ΔU laskenta

Versio 1.1.0 (10.07.2009)

Kohde = Esimerkkirakennus
 Rakenneosa = Alapohja_Puolilämpimät tilat
 Laskija = Kai Nordberg

Korjaustermi ΔU ja korjattu lämmönläpäisykerroin:

$U = 0,2200$ W/m²K (= rakenteen korjaamaton U-arvo)
 $\Delta U = 0,0084$ W/m²K (= $\Delta U_0 + \Delta U_r + \Delta U_f$)
 $U_c = 0,23$ W/m²K (= $U + \Delta U$, korjattu lämmönläpäisykerroin)

Ilmarakojen korjaustekijä (EN ISO 6946, liite D kohta D.2):

Korjaustaso = 1; Eristys sisältää ilmarakojia, jotka eivät heikennä rakenteen eristävyyttä oleellisesti (esim. puurunko koko eristyksen matkalla).

$R_v/R_{T,h} = 0,92$ - $R_{T,h}$ = Rakenteen lämmönvastus eristyksen kohdalta
 R_1 = Ilmarakojia sisältävän eristyskerroksen lämmönvastus
 $\Delta U'' = 0,01$ W/m²K Ilmarakojen korjaustekijän korjauskerroin
 $\Delta U_g = 0,0084$ W/m²K (= $\Delta U'' \cdot (R_v/R_{T,h})^2$, Ilmarakojen korjaustekijä)

Mekaanisten kiinnikkeiden korjaustekijä (EN ISO 6946, liite D kohta D.3):

Ei mekaanisia kiinnikkeitä

$R_v/R_{T,h} = 1,00$ - R_1 = Kiinnikkeitä sisältävän eristyskerroksen lämmönvastus
 $R_{T,h}$ = Rakenteen lämmönvastus eristyksen kohdalta
 $d_0 = 180$ mm Kiinnikkeen lävistävän eristekerroksen kokonaispaksuus
 $\theta = 0$ ° Kiinnikkeen kulma (0° = kohtisuoraan)
 $d_1 = 180$ mm Kiinnikkeen pituus (voi olla > d_0 , esim. vino kiinnike)
 $\alpha = 0,80$ - (= $0,8 \cdot d_1/d_0$), kerroin
 $\lambda_r = 17$ W/mK Kiinnikkeiden lämmönjohtavuus
 $n_r = 4$ kpl/m² Kiinnikkeiden lukumäärä per neliö
 $d = 4,0$ mm Kiinnikkeiden halkaisija
 $A_r = 12,57$ mm² Kiinnikkeiden pinta-ala $A_r = \pi(d/2)^2$
 $\Delta U_f = 0,0000$ W/m²K (= $\alpha \cdot \lambda_r \cdot n_r \cdot A_r/d_0 \cdot (R_v/R_{T,h})^2$, Mekaanisten kiinnikkeiden korjaustekijä)

Käännettyjen kattojen korjaustekijä (EN ISO 6946, liite D kohta D.4):

Ei ole käännetty kattorakenne

$R_v/R_T = 1,00$ - R_1 = Vedeneristeen yläpuolella olevan rakenteen lämmönvastus
 R_T = Koko rakenteen lämmönvastus
 $p = 1,57$ mm/vrk Paikkakuntakohtainen sademääräindeksi lämmityskaudella
 $f \cdot X = 0,010$ - Pintarakenteesta ja eristysestä johtuva kerroin
 $\Delta U_r = 0,0000$ W/m²K (= $p \cdot f \cdot X \cdot (R_v/R_T)^2$), Käännettyjen kattojen korjaustekijä

Rakennuksen lämpöhäviön tasauslaskelma, D3-2010 (voimassa 1.1.2010 alkaen)

Rakennuskohde	Esimerkkirakennus, 1-kerroksinen rivitalo, yht. 10 huoneistoa
Rakennuslupatunnus	
Rakennustyyppi	Suuret asuinrakennukset
Pääsuunnittelija	
Tasauslaskelman tekijä	Kai Nordberg
Päiväys	12.2.2010
Tulos: Suunnitteluratkaisu	TÄYTTÄÄ VAATIMUKSET

Rakennuksen laajuustiedot

Rakennustilavuus	4 630 rak-m ³
Maanpäälliset kerrostasot yhteensä	1 175 m ²
Kerroskorkeus	3,4 m
Huonekorkeus	2,9 m
Ilmatilavuus, V, lämpimät tilat	3 273 m ³
Ilmatilavuus, V, puoliämpimät tilat	63 m ³

Laskentatuloksia

Julkisivun pinta-ala on 916 m²
 Ikkunapinta-ala on 17 % maanpäällisestä kerrostasosta
 Ikkunapinta-ala on 22 % julkisivun pinta-alasta
 Lämpöhäviö on 99 % vertailutasosta (lämpimät tilat)
 Lämpöhäviö on 97 % vertailutasosta (puoliämpimät tilat)

Perustiedot	Pinta-alat, m ² [A]		U-arvot, W/(m ² K) [U]			Lämpöhäviöiden tasaus		
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Enimmäis- arvo	Suunnittelu- arvo	Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{per} = A x U]	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
RAKENNUSOSAT								
Lämpimät tilat								
Ulkoseinä	638	613	0,17	0,60	0,17	108,5	104,2	
Hirsiseinä			0,40	0,60		-	-	
Yläpohja	1 056	1 056	0,09	0,60	0,09	95,0	95,0	
Alapohja (ulkolmaan rajoittuva)			0,09	0,60		-	-	
Alapohja (ryömintätään rajoittuva) ¹⁾	1 056		0,17	0,60	0,17	143,6	143,6	
Alapohja (maanvastainen)			0,16	0,60		-	-	
Muu maanvastainen rakennusosa			0,16	0,60		-	-	
Ikkunat	175,8	200,9	1,00	1,80	1,00	175,8	200,9	
Uiko-ovet	55,2		1,00	-	1,00	55,2	55,2	
Kattoikkunat			1,00	1,80		-	-	
Lämpimät tilat yhteensä	2 981	2 981				578,1	598,9	
Puoliämpimät tilat								
Ulkoseinä	44	44	0,26	0,60	0,23	11,5	10,1	
Hirsiseinä			0,60	0,60		-	-	
Yläpohja	30	30	0,14	0,60	0,14	4,2	4,2	
Alapohja (ulkolmaan rajoittuva)			0,14	0,60		-	-	
Alapohja (ryömintätään rajoittuva) ¹⁾			0,26	0,60		-	-	
Alapohja (maanvastainen)	30		0,24	0,60	0,23	7,1	6,8	
Muu maanvastainen rakennusosa			0,24	0,60		-	-	
Ikkunat	0,4	0,5	1,40	2,80	1,20	0,6	0,6	
Uiko-ovet	2,1		1,40	-	1,00	2,9	2,1	
Kattoikkunat			1,40	2,80		-	-	
Puoliämpimät tilat yhteensä	106	106				26,3	23,8	
VAIPAN ILMAVUODOT								
	Ilmanvuotoluku, 1/h [n ₅₀]		Vuotoilmavirta, m ³ /s [q _{v, v} = n ₅₀ / 25 x V / 3600]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{vuotoilma} = 1200 x q _{v, v}]			
Vuotoilma	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu		
Lämpimät tilat	2,0	4,0	0,0727	0,1455	67,3	174,6		
Puoliämpimät tilat	2,0	4,0	0,0014	0,0028	1,7	3,4		
ILMANVAIHTO								
	Poltoilmavirta, m ³ /s [q _{v, p}]		LTO:n vuosihyötysuhde, % [η _a]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{iv} = 1200 x q _{v, p} x (1-η _a)]			
Hallittu ilmanvaihto	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu		
Lämpimät tilat	0,492		45	65	324,7	206,6		
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-	-		
Puoliämpimät tilat			45		-	-		
Puoliämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-	-		
Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus								
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä					590	580		
Puoliämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä					28	27		

© Ympäristöministeriö, Tasauslaskelma 2010 (versio helmikuu 2009)

¹⁾ Ryömintätään rajoittuvan alapohjan lämpöhäviö kerrotaan luvulla 0,8 rakentamismääräyköiden osan D3 mukaisesti.

Tällä tavalla otetaan huomioon ryömintätään ilman ulkolmaa korkeampi vuotoinen keskilämpötila.

Ryömintätään tuuletusaukkojen määrä on enintään 8 promillea alapohjan pinta-alasta.

Rakennuksen lämpöhäviön tasauslaskelma, D3-2010 (voimassa 1.1.2010 alkaen)

Rakennuskohde	Esimerkkirakennus, 1-kerroksinen rivitalo, yht. 10 huoneistoa
Rakennuslupatunnus	

Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden tarkistuslista			
Pinta-alat (osa C3)			
Vertailuikkunapinta-ala on 15 % yhteenlasketuista maanpäällisistä kerrostasooaloista, mutta kuitenkin enintään 50 % julkisivujen pinta-alasta	kyllä	ei	
	V		
Rakennusosien yhteenlaskettu pinta-ala sama molemmissa ratkaisuissa			
- lämpimissä tiloissa	V		
- puolilämpimissä tiloissa	V		
Rakennusosien U-arvot ja vaipan lämpöhäviö (osa C3)			
U-arvot ovat enintään enimmäisarvojen suuruisia	kyllä	ei	
	V		
Vaipan suunnittelu- ja vertailuratkaisun ominaislämpöhäviön suhde on enintään 1,3			Enimmäisarvo Toteutunut arvo
- lämpimissä tiloissa	V		1,3 1,04
- puolilämpimissä tiloissa	V		1,3 0,91
Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus (D3)			
Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään vertailuratkaisun suuruinen	kyllä	ei	Vertailu- Suunnittelu- arvo arvo
- lämpimissä tiloissa	V		990 W/K 980 W/K
- puolilämpimissä tiloissa	V		28 W/K 27 W/K
Tarkistuslistan yhteenveto			
Suunnitteluratkaisu täyttää lämpöhäviövaatimukset	kyllä	ei	
	V		

© Ympäristöministeriö, Tasauslaskin 2010 (versio helmikuu 2009)

Lisäselvitykset	
Rakennuksen vuotoilma (osa D3)	
Jos lämpöhäviölaskelmissa vaipan ilmanvuotoluvun n_{eg} suunnittelu-arvo on alle 4 l/h, ilmanpitävyydestä on esitettävä selvitys	
Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) hyötysuhde (osa D2)	
Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittämisestä on esitettävä selvitys	

Matalaenergiarakennuksen lämpöhäviötaso (osa D3)			
Kun suunnitellaan matalaenergiarakennusta, tulisi rakennuksen laskennallisen lämpöhäviön olla enintään 85 % rakennukselle määritetystä vertailulämpöhäviöstä. Tällöin vertailulämpöhäviön laskennassa käytetään hirsiseinille lämmönläpäisykertoimen vertailuarvoa 0,17 W/m ² K lämpimissä tiloissa ja 0,26 W/m ² K puolilämpimissä tiloissa.			
Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään 85 % vertailuratkaisun ominaislämpöhäviöstä	kyllä	ei	85 % vertailu- Suunnittelu- arvo arvo
- lämpimissä tiloissa		X	842 W/K 980 W/K
- puolilämpimissä tiloissa		X	24 W/K 27 W/K
Suunnitteluratkaisu vastaa matalaenergiarakennuksen lämpöhäviötasoa		X	