



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Esa Iivari

# Lämpöhäviölaskelma sähköenergian suunnitteluun omakotitalossa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikka

Insinöörityö

10.02.2023

Tekijä Otsikko	Esa Iivari Lämpöhäviölaskelma sähköenergian suunnitteluun omakotitalossa
Sivumäärä Aika	34 sivua, 12 sivua liitettä 14.10.2021
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine	sähkötekniikka
Ohjaaja	lehtori Osmo Massinen, DI sähkövoimatekniikka
<p>Sähkösuunnittelussa on hyvä kiinnittää enenevässä määrin huomiota rakennusten lämpöhäviöiden laskentaan. Tämä korostuu nykypäivänä, kun pyritään energian säästöihin myös lämpöratkaisujen sähkösuunnittelussa. Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä omakotitalon lämpöhäviöiden laskentaan malli esimerkkilaskelman avulla. Lämpöhäviöiden laskentamallissa otettiin huomioon Suomen rakentamismääräyskokoelman määräyksiä.</p> <p>Laskentamallissa seinärakenteen osan paksuus jaettiin valitulla lämmönjohtavuuden <math>\lambda</math>-arvolla ja saatiin tulokseksi seinämän osan lämmönvastus. Osavastukset laskettiin yhteen ja näin saatiin seinän kokonaislämmönvastus M.</p> <p>Rakenteen lämmönläpäisykerroin ns. U-arvo laskettiin jokaiselle rakennuksen seinämälle. Ovien ja ikkunoiden U-arvot saatiin ao. valmistajien tuoteluetteloista. Tehtaan on täytynyt testauttaa ovien ja ikkunoiden U-arvot VTT:llä.</p> <p>Edellä mainitulla tavalla seinärakenteista lasketut U-arvot, pinta-alat ja lämpötilaerot syötettiin työstettävän mallin Excel-taulukkoon, joka oli ohjelmoitu. Laskelma antoi lopputuloksena rakennuksen kokonaislämpöhäviön, jota voidaan sen jälkeen käyttää sähkölämmityksen mitoituksessa.</p> <p>Työn tuloksena saatiin rakennuksen eri huoneiden lämpöhäviöiden tehot. Työn merkitys on se, että lämpöhäviön laskija oppii selvittämään rakennuksen lämpöhäviöiden suuruuden.</p>	
Avainsanat	U-arvo, $\lambda$ -Lambda, johtumishäviö, lämpöhäviö

Author Title	Esa Iivari Heat Loss Calculation for Electrical Engineers
Number of Pages Date	34 pages 14 10 2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical and Automation Engineering
Professional Major	Electrical Power Engineering
Instructors	Osmo Massinen, Senior Lecturer
<p>In electrical design, it is good to pay increasing attention to the calculation of heat losses in buildings. This is emphasised today in the aim of saving energy also in the electrical design of heat solutions. The aim of this thesis was to make a model for calculating heat losses in a detached house using an example calculation. The calculation model for heat losses took into account the provisions of the Finnish Building Regulations Collection.</p> <p>In the calculation model, the thickness of the wall structure part was divided by the selected <math>\lambda</math>-value of thermal conductivity and resulted in the heat resistance of the wall part. The part resistors were added together to obtain the total heat resistance <math>M</math> of the wall.</p> <p>The heat pass factor of the structure in the so-for-use factor is the so-on-fly factor. The <math>U</math>-value was calculated for each wall in the building. <math>U</math>-values for doors and windows were obtained from manufacturers' product catalogs. The factory must have tested the <math>U</math>-values of the doors and windows with VTT.</p> <p>As mentioned above, <math>U</math>-values, areas, and temperature differences calculated from wall structures were entered into the Excel table of the model to be worked on, which was programmed. The calculation resulted in the total heat loss of the building, which can then be used to dimension electrical heating.</p> <p>As a result of the work, the heat loss effects of the different rooms of the building were obtained. The importance of the work is that the heat loss calculator learns to find out the magnitude of the building's</p>	
Keywords:	$U$ -value, $\lambda$ -Lambda, conduction loss, heat loss

## Sisällys

1 Johdanto	1
2 Laskentojen taustaa	2
3 Määritelmät ja merkinnät	2
4 Rakennusaineiden ja tarvikkeiden lämmönjohtavuudet	3
5 Lämmönvastuksia	4
6 Ikkunan, oven ja tuuletusluukun lämmönläpäisykerroin	10
7 Ohjeita energian säästämiseksi	12
7.1 Lämmönläpäisykertoimen U laskeminen	13
7.2 Suojaaminen tuulta vastaan	15
7.3 Vesihöyryn diffundoitumisen estäminen	15
7.4 Eristeiden asennus	15
8 Vanhojen rakenteiden U-arvot	16
9 Laskentaesimerkkejä	17
10 Ulkolämpötilan mitoitusarvot ja säävyöhykkeet	20
11 Yhteenveto	21
Lähteet	22
Liite 1. Lambda-arvot	23
Liite 2. Laskentaesimerkkejä omakotitalosta	29

## 1 Johdanto

Opinnäytetyön tavoitteena on esittää lämpöhäviöiden laskentamalli kiinteistöjen sähkölämmityksen suunnitteluun. Rakennusten lämpöhäviölaskelmien osaamisen tarve tulee lisääntymään omakotitaloissa ja paritaloissa pyrittäessä minimoimaan energian kulutusta.

Tavoitteeseen päästään valitsemalla  $\lambda$ -arvot, laskemalla lämmön vastukset, U-arvot ja kertomalla ne huonemitoilla.

Lopputulokseen päästään harjoittelemalla erilaisten tilojen mallilaskentaa hyväksi käyttäen. Laskentaa voi tehdä Excel taulukkolaskentaohjelmalla, ohjelmoiden kerto-, jako- ja summaustaidoilla. Mallilaskelma on tehty esimerkkiomakotitalon pohjaan ympäristöministeriön rakentamismääräykset ja ohjeet huomioiden.

Opinnäytetyön tarkoituksena on myös tutustua uusimpiin eristysmateriaaleihin. Niillä on eristävyyskannalta suotuisa merkitys. Työssä esitellään vanhojen rakenteiden U-arvoja eri vuosikymmeniltä.

## 2 Laskentojen taustaa

Kylmä vuodenaika asettaa erityisvaatimuksia jatkuvassa käytössä oleville lämmitettäville tiloille. Lämmitettävää tilaa rajoittavien ulkoilmaa tai kylmää tilaa vasten olevien rakennusosien tulee olla lämpöteknisiltä ominaisuuksiltaan, kuten eristävyydeltään ja tiiveydeltään sellaisia, että sisätilassa voidaan saavuttaa sen käyttötarkoituksen vaatimat lämpöolosuhteet. Tällöin ei myöskään synny haitallista kosteuden tiivistymistä pintoihin. (1.)

Erityisen lämmintä tilaa rajoittavien rakenneosien (esim. seinän) on oltava lämpötekniseltä ominaisuuksiltaan sellaisia, ettei viereisissä huonetiloissa eikä niiden rakenteissa synny esimerkiksi kosteushaittoja. Sama koskee myös jäähdytettyä tilaa rajoittavia rakenteita. (2.)

Asuinhuoneeseen verrattavalla tilalla tarkoitetaan rakentamismääräyksissä tilaa, jonka käyttö edellyttää terveellisyyden ja oleskelumukavuuden kannalta asumiseen verrattavia olosuhteita. Tällainen tila on muun muassa majoitushuone, sairaalan potilashuone, päivähoitolaitos sekä pitkäaikaiseen istumatyöhön, sekä siihen verrattavaan toimintaan tarkoitettu tila kuten luokkahuone ja toimisto. Mainituissa tiloissa lämpövaatimukset vaihtelevat jonkin verran verrattuna asuinkäyttöön tarkoitettuihin tiloihin. (3.)

## 3 Määritelmät ja merkinnät

Seuraavassa esitetään insinööriyössä käytettävien lämpöhäviölaskelmien muuttujia.

*Lämmönvastus* ( $M$ ) ilmoittaa rakennusosan tai ainekerroksen lämmönsiirtymisvastuksen, yksikkönä on ( $\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}$ ). Rakennusosan lämmönvastukseen  $M$  luetetaan mukaan pintavastukset ( $m_s$  ja  $m_u$ ).

*Sisäpuolinen tai ulkopuolinen pintavastus* (ms tai mu) ilmoittaa rakennusosan ja ilmatilan välisen rajakerroksen lämmönsiirtymisvastuksen. Yksikkönä on  $\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$ . (2.)

*Lämmönjohtavuus*, Lambda  $\lambda$ , ilmoittaa lämpömäärän jatkuvuustilassa, jota kautta lämpö siirtyy aikayksikössä pinta-alayksikön suuruisen ja pituusyksikön paksuisen homogeenisen ainekerroksen läpi. Lämpötilaero pintojen välillä on yksikön suuruinen. Yksikkönä on  $\text{W/m }^\circ\text{C}$ . (2.)

*Lämmön läpäisykerroin* (U) ilmoittaa lämpömäärän, joka jatkuvuustilassa läpäisee aikayksikössä pintayksikön suuruisen rakennusosan, kun lämpötilaero rakennusosan eri puolilla olevien tilojen välillä on yksikön suuruinen. Yksikkönä on  $\text{W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ . (2.)

#### 4 Rakennusaineiden ja tarvikkeiden lämmönjohtavuudet

Liitteessä 1, sivuilla 23-29 on esitetty seinien lämmöneristeiden lämmönjohtavuuden arvot eli  $\lambda$ -arvot. Seinämäosan paksuus eli s-arvo metreinä jaettuna  $\lambda$ -arvolla saadaan lämmönvastus ko. seinämän osalle. Seinämään kuuluu vähintään sisävuoraus, joka on esimerkiksi lastulevyä ja ulkovuorauksena ulkopinta on esimerkiksi tuulensuojalevyä, joiden lämmönvastukset täytyy myös laskea. (3.)

Rakenneosille löytyy ympäristöministeriön rakennusmääräyskokoelmista antanut viitearvot, jotka niiden täytyy täyttää. Rakenneosilla on pintavastukset ms (sisäpinnan lämmönsiirtymisvastus) ja mu (ulkoseinän pinnan lämmönsiirtymisvastus), jotka täytyy ottaa huomioon. (3.)

## 5 Lämmönvastuksia

Ulkoilmaan rajoittuvien rakennusosien *pintavastuksina* (uloimmainen pinta) käytetään taulukossa 1 esitettyjä arvoja.

Taulukko 1. Sisä- ja ulkopuolinen pintavastus  $R_{si}$  ja  $R_{se}$  (3.).

Sisäpuolinen pintavastus $R_{si}$ , ( $m^2 \cdot K$ )/W			Ulkopuolinen pintavastus $R_{se}$ , ( $m^2 \cdot K$ )/W		
Lämpövirran suunta					
vaakasuora	ylöspäin	alaspäin	vaakasuora	ylöspäin	alaspäin
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Välisarvot  $0^\circ$ – $90^\circ$  saadaan lineaarisesti interpoloimalla.

### Ilmakerroksen lämmönvastus

Tuulettamaton on rakennusosassa oleva suljettu ilmapäli, johon ei johda ulkopuolelta ilmavirtausaukkoa.

Ilmakerros, jonka ulkopuolisessa rakenteen osassa ei ole lämmöneristystä ja johon johtaa ulkopuolelta pieniä aukkoja, voidaan lämmönvastukseltaan ottaa huomioon kuten tuulettamaton ilmakerros. Tällöin aukot eivät saa sijaita siten, että ne sallivat tuuletusvirtauksen ilmakerroksen kautta sen reunalta toiselle. Lisäksi edellytetään, ettei aukkojen yhteenlaskettu koko ylitä seuraavia raja-arvoja.

- 5 cm/m<sup>2</sup> pystysuorassa rakenteessa olevaa pystysuoran ilmakerroksen pituusyksikköä kohti.
- 5 cm/m<sup>2</sup> vaakasuoran ilmakerroksen pinta-alayksikköä kohti.

Tuulettamattoman ilmakerroksen lämmönvastuksena käytetään taulukossa 2 esitettyjä arvoja. Taulukossa 2 alempana esitetyt arvot pätevät vain, jos heijastava pinta pysyy jatkuvasti puhtaana ja emissiviteetiltään pienempänä kuin 0,2.

Taulukko 2. Tuulettumattoman ilmakerroksen lämmönvastus  $R_g$  (3.).

Rajoittavien pintojen emissiviteetti	Ilmaraon paksuus $d_g$ mm	Lämmönvastus $R_g$ , ( $m^2 \cdot K$ )/W		
		Lämpövirran suunta		
		vaakasuora	ylöspäin	alaspäin
yleinen tapaus:	5	0,11	0,11	0,11
ei heijastavia	10	0,15	0,15	0,15
pintoja	20	0,17	0,16	0,18
$\epsilon > 0,8$	50–100	0,18	0,16	0,21
toinen pinta	5	0,17	0,17	0,17
heijastava	10	0,27	0,23	0,29
$\epsilon < 0,2$	20	0,36	0,25	0,43
	50–100	0,34	0,27	0,61

Tuulettuva ilmakerros on rakennusosassa oleva ilmapäli, jonka kautta kulkee tuulettava ilmavirtaus rakennusosan reunalta toiselle. Tuulettuva ilmakerros on joko lievästi tuulettuva tai hyvin tuulettuva riippuen ilmapäliin johtavien aukkojen suuruudesta. (3.)

Ilmakerros on lievästi tuulettuva, kun ulkoilmaan rajaavia aukkoja on seuraavissa rajoissa:

- enemmän kuin  $5 \text{ cm}^2 / \text{m}$ , mutta enintään  $15 \text{ cm}^2 / \text{m}$  pystysuorassa rakenteessa olevan pystysuoran ilmakerroksen pituusyksikköä kohti
- enemmän kuin  $5 \text{ cm}^2 / \text{m}$ , mutta enintään  $15 \text{ cm}^2 / \text{m}$  vaakasuoran ilmakerroksen pinta-alayksikköä kohti

Lievästi tuulettuvan ilmakerroksen lämmönvastuksena saa ottaa huomioon puolet taulukossa 2 annetusta vastaavan tuulettumattoman ilmakerroksen lämmönvastuksesta. Jos rakenteen lämmönvastus ilmakerroksesta ulkopuolen ympäristöön on suurempi kuin  $0,15 \text{ (m}^2 \times \text{°K) / W}$ , käytetään laskelmissa tälle rakenteen osalle arvoa  $0,15 \text{ (m}^2 \times \text{°K) / W}$ . Tämä tarkoittaa, että johtavien aukkojen yhteenlaskettu koko on suurempi kuin  $15 \text{ cm}^2/\text{m}$  (pystyrakenteet) tai  $15 \text{ cm}^2/\text{m}$  (vaakasuorat rakenteet). (3.)

Jos rakenteessa on hyvin tuulettuva ilmakerros, ei sen eikä ilmakerroksen ulkopuolisen rakenteen osan lämmönvastusta saa ottaa huomioon laskettaessa rakenteen kokonaislämmönvastusta. Tällöin kuitenkin sisäpuolisen rakenteen

osan ilmakerrokseen rajoittuvan pinnan pintavastuksena voidaan käyttää taulukon 2 sisäpuolisen pintavastuksen ( $R_s$ ) arvoja.

Koneellisesti tuuletetun ilmakerroksen lämmönvastusta ei saa ottaa huomioon laskelmissa, ellei ilmakerroksen ja sen ulkopuolella olevan ainekerroksen vaikutusta rakenteeseen ole erikseen selvitetty.

Tuulettumisen vaikutus rakenteen kokonaislämmönvastukseen voidaan määrittää erillisen tutkimuksen perusteella, kun tässä esitetyt ohjeet soveltuvat huonosti (esim. tuuletusurat) tai käytetty menetelmä antaa ohjeisiin verrattuna tarkemman tuloksen.

Kattorakenteessa, jossa lämmöneristetyin, yleensä vaakasuoran yläpohjan ja kallistetun vesikaton väliin jää ilmatila, voidaan ilmatila katsoa termisesti homogeeniseksi kerrokseksi, jonka lämmönvastus on taulukon 3 mukainen.

Taulukko 3. Katon ilmatilan lämmönvastus  $R_g$

		$R_g$
Katon rakennetyyppi	Lämmönvastus $R_{it}$ , ( $m^2 \cdot K$ )/W	
1. tiilikatto, palahuopakatto tai vastaava aluskatteella tai sitä vastaavalla ainekerroksella	0,2	
2. kuten 1, mutta matalaemissivi-teettipinta kuten alumiinikerros aluskatteen alapinnassa	0,3	
3. yhtenäinen huopakate alus-rakenteineen tai vastaava raoton vesikate	0,3	

### Ohuen ainekerroksen lämmönvastus

Ohuita verraten tiiviitä ainekerroksia ovat mm. muovikalvot, rakennuspaperit, huopa- ja pahvikerrokset joiden ilmanläpäisykerroin on enintään  $10 \times 10$  ( $m^2 \cdot K$ )/W. Näiden ainekerrosten lämmönvastukset esitetään taulukossa 4.

Taulukko 4. Ohuen ainekerroksen lämmönvastus  $R_q$  (3.).

Katon rakennetyyppi	Lämmön- vastus $R_q, (m^2 \cdot K)/W$
Toinen pinta jäykkää alustaa, esim. lautaseinää vasten*)	0,02
Jäykkien pintojen välissä*)	0,04

\*) Lämmönvastus sisältää sekä ainekerroksen lämmönvastuksen, että sen ja jäykän pinnan, lautakerroksen tms. väliin muodostuvan ohuen ilmakerroksen lämmönvastuksen.

Maanvastaisten rakennusosien tulisi olla lämpö- ja kosteusteknisesti toimivia, niin että saavutetaan haluttu eristystaso eikä kosteus, routiminen ja pintojen kylmyys aiheuta haittaa. Suunnittelussa ja toteutuksessa otetaan huomioon maan pinnan muodot, maa-ainesten ominaisuudet, pohjaveden korkeus ja pintavesien kulku.

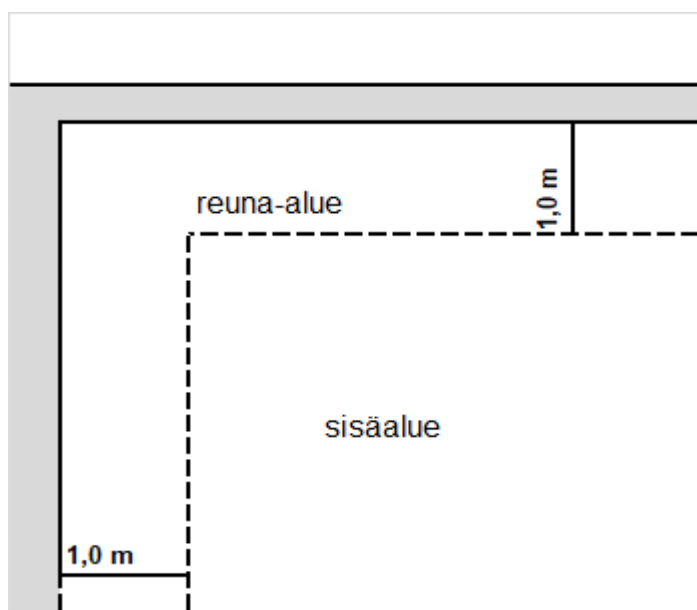
Rakenteen sisäpinnan lämpötila ulkoseinän ja maanvastaisen lattian liittymän läheisyydessä ei saa laskea viihtyvyyden kannalta liian matalaksi. Ulkoseinän, alapohjan ja perusmuurin lämmöneristys sijoitetaan toisiinsa nähden niin, ettei rakenteiden liittymään muodostu haitallista kylmäsiltaa.

Jos lämpimän rakennuksen perustamissyvyys routivalla maaperällä jää luonnonmukaisen roudattoman syvyyden yläpuolelle, suojataan perustukset routaeristyksellä. Käytettävä eriste sekä eristyksen sijainti ja lämmönvastus valitaan tavoitteena rakennuksen käyttöiän kestävä suunnitelmien mukainen toiminta. Ellei tarkempia laskelmia tai kokeita tehdä, lasketaan maanvastaisten rakennusosien kokonaislämmönvastus seuraavien kohtien mukaan:

- Alapohjan ja kellarin seinä oletetaan jaetuksi reuna- ja sisäalueeseen kuvien 1 ja 2 mukaisesti. Maan lämmönvastuksena käytetään taulukossa 6 annettuja arvoja, joissa on otettu huomioon ulkopuolinen pintavastus.
- Tällöin edellytetään, että perustukset ja alapohja on pysyvästi kuivattu käyttäen tarkoituksenmukaisia ratkaisuja salaojitukseen ja pintavesien pois johtamisen. Myös salaojan tarkastusputket ja -kaivot tulee peittää tiiviillä kannella, maakerroksella, lämmöneristekerroksella yms. ulkoilmanpääsyn ja routimisen estämiseksi.

- Maan lämmönvastus saadaan ottaa huomioon laskettaessa maanvaraisen lattian ja kellarin ulkoseinän lämmönvastuksia. Tällöin käytetään taulukossa 6 annettuja lämmönvastuksen arvoja, ellei lämpövirtauksesta rakennuksen alla tehdä tarkempia laskelmia tai kokeita.
- Perusmaan lämmönvastuksena maanvastaisen alapohjan alla käytetään taulukon 5 sarakkeessa 3 ja 4 esitettyjä arvoja. Vastaavasti käytetään kellarin seinän, ulkopuolisen maan lämmönvastuksena taulukossa 5 sarakkeessa 5 ja 6 annettuja arvoja.
- Taulukon 5 arvoja voidaan käyttää, jos lattiarakenteen alapinta on enintään 300 mm viereistä maanpintaa ylempänä ja salaojakerroksen alla oleva maakerros on vähintään 1 m paksu.
- Laskettaessa lattiarakenteen ja perusmaan lämmönvastusta otaksutaan perusmaan alkavan salaojituskerroksen alapuolelta, kuitenkin enintään 200 mm lattiarakenteen alapinnan alta.
- Sorasta tai sepelistä tehdyn vähintään 200 mm paksun salaojituskerroksen lämmönvastus on  $0,2 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$ .
- Jos kellarin lattia sijaitsee vähintään 1 m maanpinnan alapuolella, voidaan lämmönvastuksena  $R_b$  käyttää taulukossa 5 sarakkeessa 4 sisäalueelle annettuja arvoja. Korkeammalla sijaitsevalle kellarin lattialle käytetään samoja arvoja kuin maanpinnan tasossa olevalle lattialle.

Kuvassa 1 on esitetty maanvaraisen alapohjan laskenta-alueet.



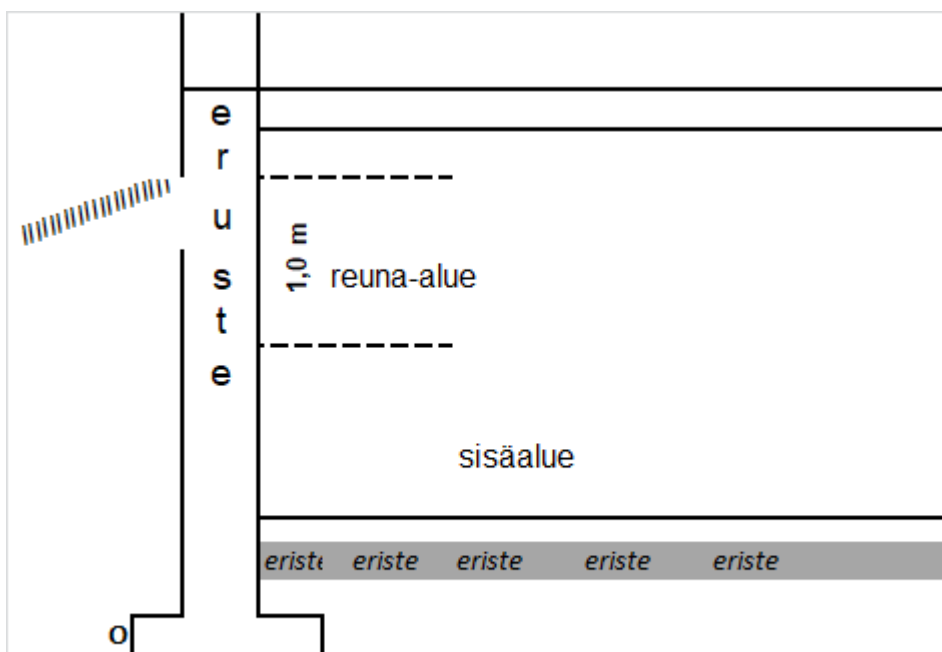
Kuva 1. Maanvaraisen alapohjan aluejako (3.).

Taulukossa 5 esitetään maan lämmönvastukset, jos perustukset ja alapohja ovat pysyvästi kuivia (3).

Taulukko 5. Maan lämmönvastukset  $R_h$  perustusten ja alapohjan ollessa pysyvästi kuivattuina.

Maa-aines	Normaalin lämmönjohtavuus W/m K	Maan lämmönvastus $R_h$ , m <sup>2</sup> K/W				
		Perusmaa alapohjan alla		Perusmuurin viereinen maa		
		reuna-alue	sisä-alue	reuna-alue	sisä-alue	
1	2	3	4	5	6	
Savi Hiekka ja sora, salaojitettu	1,40	0,80	3,20		0,40	1,60
Hiesu ja hieta Hiekka ja sora, Moreeni	2,30	0,50	2,00		0,25	1,00
Kallio	3,50	0,30	1,20		0,15	0,60

Kuvassa 2 on esitetty seinän vastaisen osan laskenta-alueitten aluejako. (3.)



Kuva 2. Seinän maanvastaisen osan aluejako.

## 6 Ikkunan, oven ja tuuletusluukun lämmönläpäisykerroin (U)

Omakotitalojen tai kerrostalojen suunnittelukohteissa kunkin rakenteeltaan erilaisen ikkuna-, ovi- ja tuuletusluukkutyypin määräysten mukaisuus todetaan erikseen (4).

Keskimääräinen lämmönläpäisykerroin lasketaan tai mitataan kohteessa yleisimmin käytettävälle ikkuna-, ovi- ja tuuletusluukkukoolle rakennetyypeittäin. Muunkokoisille rakenteille ei U-arvoa tarvitse esittää. Laskelmissa ei tarvitse ottaa huomioon ikkunan, oven tai tuuletusluukun saranoita, painikkeita yms. heloituksia. (4).

Ikkunarakenteen määräystenmukaisuuden osoittamiseen riittää, kun rakentamismääräyskokoelman osassa C3 esitetyn vaatimuksen on osoitettu täyttyvän ulkomittojen mukaan laskettuna vähintään 1,4 m<sup>2</sup>:n kokoisella ikkunarakenteella (4). Valoaukon lämmönläpäisykerroin lasketaan kaavalla 1.

$$U = 1 / (R_i + R_g + \sum d / \lambda + \sum R_{se}) \quad (1)$$

$R_i + R_{se}$  on sisä- ja ulkopuolisen pintavastuksen summa

$\lambda$  on lasin läpinäkyvän ainekerroksen lämmönjohtavuus, W/m °K

$d_1$  on lasin tai läpinäkyvän ainekerroksen paksuus, m

$R\%$  on lasivälin lämmönjohtavuus, m<sup>2</sup> °K/Vaakasuoran ikkunan ilmvälin

lämmönvastus saadaan vähentämällä 20 % taulukossa 6 annetuista arvoista. Väliarvot 0°-90° saadaan lineaarisesti interpoloimalla.

Pestävässä pinnassa käytetään vain pesunkestäviä pieniemissiviteettipinnoitteita. Taulukossa 6 esitetään pystysuoran valoaukon lämmönvastus-arvoja täytekaasulla ja pintojen emissiviteetillä. (6).

Taulukko 6. Pystysuoran kaksi- ja kolmilasisen valoaukon yhden lasivälin lämmönvastus  $R_s$  eri täytekaasuilla ja pintojen emissiviteetillä.

Lämmönvastukset $R$ , m <sup>2</sup> K/W °)												
Lasivälin paksuus mm/lasien lkm	Ilma emissiviteetti				Argon emissiviteetti				Krypton emissiviteetti			
	0,04	0,16	0,4	0,837	0,04	0,16	0,4	0,837	0,04	0,16	0,4	0,837
9/2	0,336	0,280	0,214	0,154	0,462	0,362	0,258	0,176	0,715	0,502	0,322	0,204
12/2	0,438	0,348	0,251	0,173	0,597	0,440	0,296	0,193	0,745	0,516	0,328	0,206
15/2	0,536	0,407	0,280	0,186	0,707	0,498	0,321	0,203	0,702	0,495	0,319	0,203
18/2	0,539	0,408	0,281	0,187	0,688	0,488	0,316	0,202	0,647	0,467	0,308	0,198
9/3	0,336	0,280	0,214	0,154	0,462	0,362	0,258	0,176	0,715	0,502	0,322	0,204
12/3	0,438	0,348	0,251	0,173	0,597	0,440	0,296	0,193	0,909	0,590	0,356	0,217
15/3	0,536	0,406	0,280	0,186	0,724	0,506	0,324	0,205	0,903	0,587	0,355	0,217
18/3	0,630	0,458	0,303	0,196	0,843	0,561	0,345	0,213	0,864	0,571	0,349	0,217
20/2	0,527	0,401	0,277	0,185								
25/2	0,491	0,380	0,267	0,181								
30/2	0,445	0,352	0,253	0,174								
30-300/2	0,442	0,350	0,252	0,174								
20/3	0,671	0,480	0,313	0,200								
25/3	0,647	0,467	0,307	0,198								
30/3	0,613	0,449	0,300	0,195								
30-300/3	0,573	0,427	0,290	0,191								

\*) Lasivälin toisen pinnan emissiviteetti on 0,837

Taulukossa 7 on kuvattu eristyslasin valoaukon lämmönläpäisykertoimet. (6)

Taulukko 7. Eristyslasin valoaukon lämmönläpäisykertoimet.

Valoaukon lämmönläpäisykertoimet $U_g$ , $W/(m^2 \cdot K)$									
Lasinvälin paksuus mm/lasien lkm	Ilma emissiviteetti			Argon emissiviteetti			Krypton emissiviteetti		
	0,04	0,16	0,837	0,04	0,16	0,837	0,04	0,16	0,837
9/2	1,9	2,2	3,0	1,6	1,8	2,8	1,1	1,5	2,6
12/2	1,6	1,9	2,8	1,3	1,6	2,7	1,1	1,4	2,5
15/2	1,4	1,7	2,7	1,1	1,5	2,6	1,1	1,4	2,5
18/2	1,4	1,7	2,7	1,2	1,5	2,6	1,1	1,5	2,6
9/3	1,2	1,3	2,0	0,9	1,1	1,9	0,6	0,8	1,7
12/3	0,9	1,1	1,9	0,7	0,9	1,7	0,5	0,7	1,6
15/3	0,8	1,0	1,8	0,6	0,8	1,7	0,5	0,8	1,6
18/3	0,7	0,9	1,7	0,6	0,8	1,6	0,5	0,8	1,6

## 7 Ohjeita energian säästämiseksi

Rakennusten energiakulutusta voidaan pienentää valitsemalla paksummat eristeet kattoihin, lattioihin ja ulkoseiniin sekä ikkunoihin umpiolasi-ikkunat. Seuraavassa esitetään seinämän lämmönvastuksia valitsemalla tehokkaita lämmönjohtavuuden arvoja. Työssä käytetään seuraavia muuttujia, jotka on esitetty alla.

Määritelmät ja merkinnät:

$m_s$  = rakennuksen sisäpinnan lämmönvastus

$m_u$  = rakennuksen seinän ulkopinnan lämmönvastus

$M$  = kaikkien saman seinärakenteiden osien vastuksien summa

$d_1$  = seinän osan rakenteen paksuus (m)

$U$  = lämmönläpäisykerroin

$\lambda$  = Lämmönjohtavuuden arvo

## 7.1 Lämmönläpäisykertoimen (U) laskenta

Rakennusosan lämmönläpäisykerroin U lasketaan kaavan  $U = 1/M$  mukaan, jossa M on rakennusosien kokonaislämmönvastus. Rakennusosan lämmönvastus M lasketaan kaavan 2 mukaan, jos rakennusosien ainekerrokset ovat tasa-paksuja ja lämmönvirtaus ainekerrokseen nähden on kohtisuoraan (5.).

$$U = 1/M$$

M on  $\sum m = m_1 + m_2 + \dots + m_i + m_m + m_a + m_b + \dots + m_s + m_u$  2.

$m_1, m_2 \dots$  ainekerroksen 1,2 ...lämmön vastus, jossa

$$m_1 = d_1 / \lambda_1 \text{ ja } m_2 = d_2 / \lambda_2$$

$d_1, d_2 \dots$  ainekerroksen osan 1,2 ... paksuus (metreinä)

$\lambda_1, \lambda_2 \dots$  ainekerroksen 1,2 ... normaalin lämmönjohtavuus.

$m_i$  on tuulettamattoman ilmakehän lämmön vastus

$m_m$  on perusmaan lämmönvastus

$m_a, m_b$  on ainekerroksen a, b ... normaalin lämmönvastus

Summalle  $m_s + m_u$  käytetään seuraavia arvoja: Ulkoilmaan rajoittuvilla osilla  $0,17 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$  ja tuulensuojaiseen tilaan rajoittuvilla rakennusosille  $0,26 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$ .

Eristekerroksen paksuutena voidaan käyttää keskimääräistä arvoa, jos eriste on betonilaatan päällä, eikä vähimmäispaksuus alita keskimääräistä yli 20 %:a.

Jos ainekerroksen suuntaisessa tasossa on rinnakkain erilaisia alueita, joiden lämmönvastukset poikkeavat toisistaan enintään nelinkertaisesti lasketaan keskimääräinen lämmönvastus kaavan 3 mukaan.

$$m_a = 1 / \left( \frac{1}{m_A} + \frac{1}{m_B} \right), \text{ jossa } m_A, m_B \dots \text{ alueiden A, B... lämmön-} p_A + p_B \text{ vastukset}$$

$p_A, p_B \dots$  Alueiden A, B ... pinta-alojen suhteet koko ainekerroksen pinta-alaan. (3.)

Lämmönläpäisykerrointa laskettaessa otetaan yleensä huomioon kylmäsiltoista johtuva lämmönläpäisykerroimen kasvu. Kylmäsiltoja aiheuttavat esim. metalliset jäykisteet ja siteet. Rakennuksen lämmönläpäisykerroin U voidaan otaksua kasvavan määrällä  $0,01 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$  käytettäessä  $\text{Ø}4 \text{ mm}$ :n ruostumattomia teräs-siteitä  $4 \text{ kpl/m}^2$  ja määrällä  $0,05 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$  käytettäessä  $\text{Ø} 4 \text{ mm}$ :n kuparisiteitä  $4 \text{ kpl/m}^2$ .

Seinän ja palkiston liittymäkohdissa olevien kylmäsiltojen vaikutusta ei oteta huomioon rakennusosan lämmönläpäisykerrointa laskettaessa. Kylmäsiltoihin on kuitenkin kiinnitettävä huomiota eristyksen rakenteellisen suunnittelun yhteydessä. Seuraavassa on esitetty U-arvojen mallilaskelmia ulkoseinille, katoille ja alapohjien lattiaosille yllä olevien kaavojen 1 ja 2 mukaan.

Yksittäisten U-arvojen mallilaskelmia:

Seinien laskenta:

$$M = 0,17 + 0,012/0,12 + 0,15/0,045 + 0,013/0,065 + 0,23/0,030 + 0,022/0,21$$

$$US-M = 8,39133 \text{ (K m}^2\text{)/W}$$

$$US-U = 1/8,39133 = 0,11917 \text{ W/(m}^2 \text{ K)} < 0,12 > \text{ hyväksytään.}$$

Yläpohjan lasketut arvot:

$$YP-M = 0,14 + 0,018/0,14 + 0,70/0,060 \text{ (K m}^2\text{)/W}$$

$$YP-M = 11,93523 \text{ (K m}^2\text{)/W}$$

$$YP-U = 1/11,93523 = 0,0837 \text{ W/(m}^2 \text{ K)} < 0,09 > \text{ hyväksytään}$$

Alapohjan lasketut arvot:

$$AP-M = 2,0 + 0,10/1,2 + 0,30/0,030$$

$$AP-M = 12,08333 \text{ (K m}^2\text{)/W} \text{ Lattian Sisävyöhykkeellä}$$

$$AP-U = 1/12,08333 = 0,08275 \text{ W/(m}^2 \text{ K)} < 0,09 > \text{ hyväksytään}$$

Alapohjan ulkoreunan arvot:

$$AP-M = 0,5 + 0,10/1,2 + 0,30/0,030$$

$$AP-M = 12,25 \text{ (K m}^2\text{)/W} \text{ Lattian ulkoseinävyöhykkeellä}$$

$$AP-U = 1/12,25 = 0,0816 \text{ W/(m}^2 \text{ K)} < 0,09 > \text{ hyväksytty}$$

## 7.2 Suojaaminen tuulta vastaan

Ellei rakenne muutoin ole riittävän tuulta pitävä, on se varustettava tuulensuoja-levyllä, joka estää sekä ilman suoran läpivirtauksen (esim. rakojen kautta) että sellaisen rakenteen sisässä tapahtuvan virtauksen, joka vähentää oleellisesti lämmöneristävyyttä (esim. yläpohjan reuna-alueet). (4).

Mineraalivillan tulee täyttää pystyrakenteissa koko eristystila ja olla molemmin puolin riittävän tiiviin pintakerroksen peittävä.

## 7.3 Vesihöyryn diffundoitumisen estäminen

Jos rakennusosassa on suhteellisesti harvan lämmöneristeen molemmin puolin melko tiivis pinta, on huolehdittava siitä, ettei lämmintä ilmaa pääse vuotamaan eikä vesihöyryä diffundoitumaan haitallisessa määrin eristeen sisään. Tällaisen rakennusosan vesihöyryn läpäisevyyden tulee suurentua kylmempään tilaan päin tai kosteuden haitallinen tiivistyminen tulee eliminoida tuulettamalla.

## 7.4 Eristeiden asennus

Eristeet on asennettava paikoilleen siten, että ne liittyvät tiiviisti ympäröiviin rakenteisiin, toisiinsa sekä lämpimään pintaan. Niiden paksuuden on yleensä oltava sellainen että eristeillä täyttyy tila kokonaan. Eristyksen mahdolliset viat on korjattava käyttämällä saman tai lämmöneristävyydeltään tai eristävyydeltään vastaavaa tarviketta. Betonin valaminen eristeen päälle tai sitä vasten on tehtävä siten, ettei eriste vaurioidu. Valmista eristettä ei saa kuormittaa siten, että se voi vahingoittua. Eristysaineita on käytettävä mahdollisimman suurina kappaleina liitoskohdissa esiintyvien haittojen välttämiseksi. Saumoja ei yleensä saa sijoittaa kohdakkain käytettäessä useita eristekerroksia (4).

## 8 Vanhojen rakenteiden U-arvoja.

Taulukossa 8 esitetään vanhojen rakenteiden lämmönläpäisykertoimien arvoja ja taulukossa 9 vanhoja ennen vuotta 2017. Uudet ovat katsottavissa taulukossa 9 (5.).

Taulukko 8. Vanhojen rakenteiden U-arvoja/lämmin tila.(6)

Rakenne	C3	C3	C3	C3	C3	C3	Yleinen arvo 1976-2002
	-2010	(-2007) 2008-	(2002-) 2003-	1985- 1985-	1978- 1978-	1976- 1976-	
Ulkoseinä	0,17	0,24	0,25	0,28	0,35	0,4	-
Yläpohja	0,09	0,15	0,16	0,22	0,29	0,35	-
Alapohja							
-maahan	0,16	0,24	0,25	0,36	0,4	0,4	-
-ryömintätilaan	0,17	0,19	0,2	0,22	0,4	0,4	-
-ulkoilmaan	0,09	0,15	0,16	0,22	0,29	0,35	-
Ikkuna	1,0	1,4	1,4	2,1	0,7	2,1	-
Ulko-ovi	1,0	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	-
Katto-ikkuna	1,0	1,5	1,5				2,0
Lasitiiliseinä							
- normaali	-	-	-	-	-	-	2,9-3,2
-eristetty	-	-	-	-	-	-	2,7
Väliovi	-	-	-	-	-	-	1,7-2,5
Ikkuna 2lasia	-	-	-	-	-	-	2,6
Ikkuna 3lasia	-	-	-	-	-	-	1,8
Suuret metalliovet	-	-	-	-	-	-	3,0-4,0

Taulukko 9. Uusien rakenteiden U-arvot ja vertailuarvot, YM 2010/2017 (6).

Rakennus-osa	Läpäisykerroin U (W/m <sup>2</sup> K)		
	Lämmintila	Puolilämmin tila	Loma-asunto
	Vertailuarvo	vertailuarvo	Vertailuarvo
Ulkoseinät	0,17	0,26	0,24
Hirsiseinä (180mm)	0,4	0,6	0,8
Yläpohja	0,09	0,28	0,15
Alapohja ulkoilmaan	0,09	0,14	0,15
Alapohja ryömintätilaan	0,17	0,26	0,19
Alapohja ja seinä maata vasten	0,16	0,24	0,24
Ikkuna, Ovi	1,0	1,4	1,4
Kattoikkuna Valokupu	1,0	1,4	1,4

## 9 Lämpöhäviöiden laskentaesimerkkejä omakotitalosta

Lämpöhäviö lasketaan seuraavalla kaavalla

$$\dot{Q} = U \cdot A \cdot \Delta t \quad (6)$$

Seuraavassa esitetään omakotitalon lämpöhäviön mallilaskelmat Excel-ohjelmalla. Liite 2 sisältää laskelmat taulukoituna yksityiskohtaisemmin.

Mitoitus ulkolämpötila on  $-26\text{ °C}$  Helsingissä ja sisälämpötila saa vaihdella  $+20\dots+25$  asteen välillä, paitsi kesällä  $\dots+27\text{ °C}$ . (6).

Kuvassa 3 on mallilaskelman omakotitalon pohjämitat ja rakennetiedot likimääräisinä (ei mittakaavassa).

Esimerkkilaskelmat perustuvat sivujen 17 ja 18 laskettuihin U-arvoihin ja jäljempänä olevasta pohjapiirroksesta mitattuihin etäisyysarvoihin. Laskentahuone korkeutena on 3 m ja sisäkorkeus 2,7 m. kuva 3 ei ole mittakaavassa.

Seuraavassa ovat liitetaulukoiden liite 2 selitykset

US = Ulkoseinä mitataan rakenteen keskeltä-keskelle ja kerrotaan U-arvolla ja korkeudella sekä lämpötilaerolla  $\Delta t = 20\text{ °C} - (-26)\text{ °C} = 46\text{ °C}$ .

YP-U = Yläpohjanpinta-ala mitataan ja kerrotaan  $\Delta t$ :llä ja U-arvolla.

AP-uv = Alapohja ulkovyöhyke mitataan ja kerrotaan  $\Delta t$ :llä ja U-arvolla.

AP-sv = Alapohja mitataan sisävyöhykkeeltä ja kerrotaan  $\Delta t$ :llä ja U-arvolla

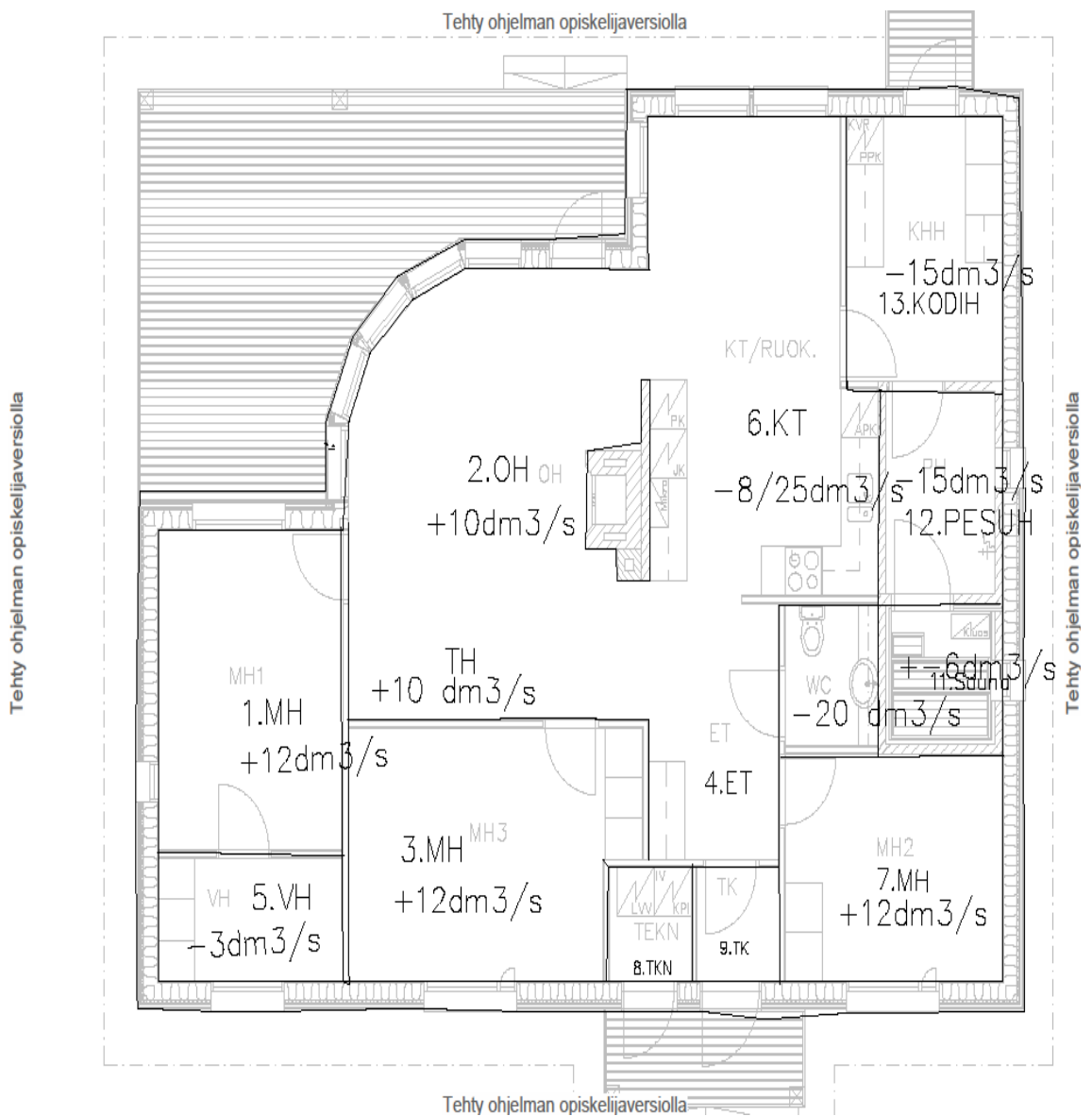
3ik tai ik = Mitataan kolminkertaisen ikkunan karmeineen ala ja kerrotaan  $\Delta t$ :lla ja

U-arvolla. UO = Ulko-ovi, mitataan ala karmeineen kerrotaan  $\Delta t$  ja U-arvolla.

Luonn .IV on rakennuksen rakojen kautta vaihtuva ilmavirta  $0,16 \cdot \text{tilavuus}$ , laskettuna sisäkorkeudella 2,7 m.

Koneellinen.IV = koneellinen tuloilmavirta levylämmönsiirtimen jälkeen on yleensä +- 0C. Tai pyörivän lämmönsiirtimen jälkeen +5 C. Lämmönsiirtimen mallin saa selville IV-suunnittelijalta.

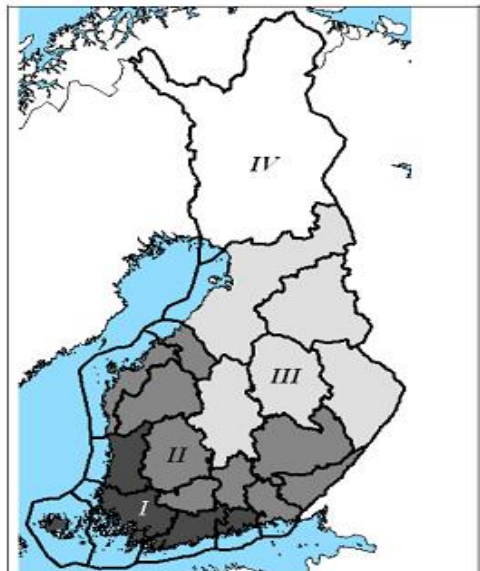
Ilmanvaihtokone voi olla myös varustettuna sähköisin lämmitysvastuksin. Tällöin lasketuista taulukoista pitää ottaa koneellisen ilmanvaihtorivin laskelmat pois ja laskea summa uudelleen. IV-suunnittelijalta saa tietää jälkilämmitystavan. Nyt LED-aikakauden voimassa ollessa voidaan laskea 10 W / valaisin \* 2 valaisinta huonetta kohden tulevan lämpöä 20 W.



Kuva 3. Lämpöhäviölaskelman perusteena oleva pohjapiirros.

## 10 Ulkolämpötilan mitoitusarvot ja säävyöhykkeet

Energiankulutus voidaan laskea seuraavilla esitetyillä säätiedoilla. Suomi on jaettu neljään säävyöhykkeeseen kuvan 4 mukaisesti. Vyöhykkeiden kuukausittaiset ulkoilman keskilämpötilat ja auringon säteilyenergiat pohjautuvat Helsinki-Vantaan (säävyöhyke I), Jokioisten (säävyöhyke II), Jyväskylän-Louhetjärven (säävyöhyke III) ja Sodankylän (säävyöhyke IV) säähavaintoasemien mittauksiin Ilmatieteen Laitoksen testivuodelta 1979. Normituslämmitystarvelukua (S17) käytetään apuna, jos halutaan verrata testivuoden lämmitystarvetta muiden vuosien tai paikkakuntien lämmitystarpeeseen (6).



Säävyöhykkeet. Lähde: RaMK D5:2007

Säävyöhyke	Mitoittava ulkoilman lämpötila [°C]	Vuoden keskimääräinen ulkoilman lämpötila [°C]	Lämmityskauden keskimääräinen ulkoilman lämpötila [°C]
I	-26	+5	+1
II	-29	+4	0
III	-32	+2	-1
IV	-38	0	-5

Kuva 4. Säävyöhykkeet aluekartalla ja mitoittavat ja keskimääräiset ulkolämpötilat eri säävyöhykkeillä (6).

## 11 Yhteenveto

Opinnäytetyön tavoitteena oli esittää lämpöhäviölaskennan itseopiskelupaketti sähköinsinööreille. Tässä projektissa on käytetty laskennan kohteena omakotitalon pohjaa, mutta kokonaisuutta voi soveltaa myös, kerrostalojen ym. muiden rakennusten laskentaa.

Määräyksiä noudattamalla laskelma etenee seinämän osan paksuuden määrittämisenä, joka sitten jaetaan lambda-arvolla. Näin saadaan seinämän osan lämmönvastus. Vastusten summan käänteisluvulla jakamalla saadaan U-arvo. U-arvo sijoitetaan huonelaskentataulukon liitteessä 4. Jokaisen huonelaskentataulukon lopussa on kolme riviä, ensimmäinen niistä on luonnollisen ilmanvaihdon tehohäviön laskenta. Kaavasta puuttuu cp-arvo (ominaislämpö), koska se on 1.00, sen voi jättää pois (poistoilman merkintä -). Seuraava rivi on koneellisen ilmanvaihdon laskentarivi ja se on vain niissä huoneissa, joissa on tarkoitus liittää tuloilmakanava (merkintä +). Sitten on rivi ilmaislämpö, valaistus, ja siihen sähkösuunnittelijan tulee laittaa se sähköteho mikä laskemana tulee ledi-aikakaudella. Sitten on rivi henkilön lämmönluovutus, siihen lukumääräksi laiteaan henkilölukumäärän mukaan.

Huoneiston seinärakenteesta lasketut U-arvot, pinta-ala ja lämpötila-ero syötetään Excel-taulukon, liitteessä 4, joka on ohjelmoitu, ja se antaa lopputuloksena rakennuksen kokonaislämpöhäviön, jota voidaan sen jälkeen käyttää sähkölämmityksen mitoituksessa ja energiaselvityksen teossa. Energiaselvityksen teko vaatii ao. lvi-alan lisäkurssin käymistä. Tällaisia lyhytkursseja järjestää esim. SULVI ry.

Tavoite toteutui hyvin johtuen tekijän aikaisemmasta LVI-insinöörin kokemuksesta. Sähkösuunnittelijalle saatu oppi on tärkeä silloin kun joutuu mitoittamaan sähkölämmitteiseen taloon lämpöhäviölaskentaa, esim. lattialämmitystä sähköllä tai sähköpattereilla lämmitystä varten.

## Lähteet

- 1 Kylmä vuodenaika. Verkkoaineisto. YM. <[https://www.ym.fi/rakentamismaaraykset/kumotut C1\\_4](https://www.ym.fi/rakentamismaaraykset/kumotut_C1_4). Luettu 15.4.2019
- 2 Erityisen lämmin tila. Verkkoaineiston <[https://www.ym.fi/rakentamismaaraykset/kumotut C1\\_4](https://www.ym.fi/rakentamismaaraykset/kumotut_C1_4). Luettu 15.4.2019
- 3 Asuinhuoneistoon verrattavatila. YM. <[https://www.ym.fi/rakentamismaaraykset/kumotut C1\\_4](https://www.ym.fi/rakentamismaaraykset/kumotut_C1_4). Luettu 15.4.2019
- 4 2018, Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden osoittaminen (pdf) <https://www.ym.fi/rakentamismaaraykset>, Energiatehokkuus tasauslaskentaopas
- 5 Energiatehokkuus<verkkoaineisto.  
<<https://www.ym.fi/rakentamismaaraykset>  
. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta.
- 6 LVI-kalenteri sivu 37, Suomen kalenterit Oyj
- 7 < Luettu 27.02. 2017 Ei toiminut enää 03.04.2018  
[TEKNIikka JA LIIKENNE. Rakennustekniikka. Talonrakennus INSINÖÖRITYÖ PUURUNKOISEN PIENTALON ENERGIATEHOKKUUDEN KEHITYS - PDF Free Download \(docplayer.fi\) >](#)

<u>Aine, tarvike</u>	Kuiva- tiheys $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Lämmön - johtavuus $\lambda_{10}$ W/(m * K)	Kosteus- pitoisuus $W_n$ % kuiva- painosta	Normaalinen lämmön - johtavuus $\lambda_n$ W/(m * K)	Alaviite - huomautus
<b>LÄMMÖNERISTEET</b>					
korkkilevy (paisutettu)	150	0,035	3	0,045	1)
			3	0,050	2)
	200	0,040	3	0,050	1)
			3	0,055	2)
lastuvillalevy	150—350	0,070	8	0,080	3)
			8	0,10	4)
puukuitulevy, bitumipitoinen	350	0,055	10	0,065	5)
puukuitulevy, huokoinen	300	0,045	10	0,055	5)
mineraalivillalevy	10—300	0,045	0,5	0,055	1)
ja matto 8)			0,5	0,060	2)
				0,070	6)
				0,10	7)
solumuovilevy, paisutettua	30—60	0,033	2	0,041	1)
polystyreeniä			2	0,045	2)
				0,050	6)
				0,060	7)
	17—29,9	0,037	2	0,045	1)
			2	0,050	2)
				0,055	6)
				0,065	7)
	13—16,9	0,041	2	0,050	1)
			2	0,055	2)
				0,065	6)
solumuovilevy, suulakepuristus - menetelmällä valmistettu, polystyreeniä ponneaineena CFC 12 x)	22—45	0,030	2	0,037	1)
			2	0,041	2) tai 6)
				0,045	7)
				0,050	9)
muu punneaine	22—45	0,037	2	0,045	1)
			2	0,050	2) tai 6)
				0,055	7)
				0,060	9)

1) Eristys on suojattu kohdassa 4.2.4 kuvattujen vaatimusten mukaan.

2) Eristyksen toinen puoli on kiinni täviissä pinnassa ja toisella puolella on muu ilmaväli tai tilakuin kohdassa 4.2.4 tarkoitettu ylä- tai ryömintätalaisen alapohjan ilmaväli.

<u>Aine, tarvike</u>	Kuiva- tiheys  $\rho$  kg/m <sup>3</sup>	Lämmön- johtavuus  $\lambda_{10}$ W/(m · K)	Kosteus- pitoisuus  $W_n$ % kuiva- painosta	Normaalinen lämmön- johtavuus  $\lambda_n$ W/(m · K)	Alaviite- huomautus
<b>RAKENNUSLEVYJÄ</b>					
kuitusementtilevy	1800	0,40	2	0,60	
	800	0,13	4	0,19	
	600	0,12	4	0,18	
kipsilevy	800	0,20		0,21	
	900	0,22		0,23	
puukipsilevy	1200	0,24		0,25	
sementtilastulevy	1100	0,21	7	0,23	
lastulevy	600	0,13	9	0,14	
puukuitulevy					
kova	1000	0,12	8	0,13	
puolikova	800	0,10	9	0,11	
vaneri					
koivuvaneri	700	0,15	8	0,16	
sekavaneri	600	0,13	8	0,14	
kuusivaneri	500	0,12	8	0,13	
<b>SEKALAISIA RAKENNUS-</b>					
<b>AINEITA JA TARVIKKEITA</b>					
asfaltti	2200			0,7	
betoni	2000		2	1,2	
	2300		2	1,7	
betonireikäkivet muurattuna	1400	0,42	3	0,55	
betonitäyskivet muurattuna	2000	0,70	2	1,2	
bitumi	1000			0,13	
kalkkihiekkatiilet muurattuina	1900	0,70	3	0,95	
rappauslaastit					
sementtilaasti	2000	0,70	2	1,2	
kalkkisementtilaasti	1800	0,65	2	1,0	
kalkkilaasti	1700	0,50	2	0,90	
poltetut tiilet muurattuina					
reikätiilet	1500	0,50	1	0,60	
	1300	0,45	1	0,50	
	1700	0,60	1	0,70	
täystiilet	1500	0,55	1	0,65	
	1300	0,50	1	0,60	
puu, mänty, kuusi	450	0,10	14	0,12	
metalleja					
kupari (puhdas)	8900			370	
alumiini (puhdas)	2700			220	
duralumiini (kuparia 3-5 %)	2700			160	
messinki	8400			120	
sinkki	7100			110	
tina	7300			65	
rauta, teräs	7900			50	
lyijy	11300			35	
ruostumaton teräs	7900			17	

<b>Aine, tarvike</b>	<b>Kuiva- tiheys</b>	<b>Lämmön- johtavuus</b>	<b>Kosteus- pitoisuus</b>	<b>Normaalinen lämmön- johtavuus</b>	<b>Alaviite- huomautus</b>
	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$\lambda_{10}$ W/(m · K)	$W_n$ % kuiva- painosta	$\lambda_n$ W/(m · K)	
<b>KEVYTSORABETONI</b>					
elementteinä	800	0,22	4	0,24	15)
maanpinnan yläpuolella	650	0,18	4	0,20	15)
maanpinnan alapuolella	800	0,22	10	0,29	16)
kevytsoraharkot muurattuina,	650	0,18	10	0,23	16)
10 mm saumat ulkoseinät					
täydet saumat	650	0,22	4	0,24	15)
rakosaumat	650	0,18	4	0,20	15)
kellariseinät tai perusmuuri					
täydet saumat	650	0,22	7	0,25	
rakosaumat	650	0,18	7	0,21	
tiivis kevytsorabetoni	1600	0,60	3	0,70	
paikalleen valettuna	1400	0,48	3	0,55	15)
tai elementteinä	1200	0,39	3	0,45	16)
	1000	0,30	3	0,35	
valetut kevytsorabetonieristeet					
ylä- ja alapohjassa	600	0,16	2	0,17	
	500	0,12	2	0,13	
	400	0,10	2	0,11	
maata vasten	600	0,16	6	0,19	
	500	0,12	6	0,15	
	400	0,10	6	0,12	
<b>SAHANPURUBETONI</b>					
kuivassa tilassa	1300	0,35	1	0,45	
<b>TÄYTEAINEET 17)</b>					
kevytbetonimurske	400		4	0,15	
koksikuona	700		3	0,25	18)
kutterilastu,	80		12	0,14	
löysänä	120		12	0,08	
sullottuna	250		0,5	0,12	18)
masuunikuona, rakeistettu	150		0,5	0,10	18)
sahanpuru,					
löysänä	120		12	0,12	
sullottuna	200		12	0,08	
solumuovipuru polystyreeniä	10—20		2	0,08	

16) Koskee betonisen perusmuurin ulkopuolista eristystä.

17) Annetut lämmönjohtavuudet soveltuvat vain kuivissa tiloissa oleville täynteille. Aineen ollessa kosketuksessa maahan määritetään lämmönjohtavuus vastaavan suuremman vesipitoisuuden perusteella.

<b>Aine, tarvike</b>	<b>Kuiva- tiheys</b>	<b>Lämmön- johtavuus</b>	<b>Kosteus- pitoisuus</b>	<b>Normaalinen lämmön- johtavuus</b>	<b>Alaviite- huomautus</b>
	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$\lambda_{10}$ W/(m · K)	$W_n$ % kuiva- painosta	$\lambda_n$ W/(m · K)	
solumuovi, polyuretaania	30—60	0,026	2	0,030	3) ja 10)
ponneaineena CFC 11 x)			2	0,033	1)
			2	0,037	2) tai 6)
				0,045	7)
ponneaineena pentaani	30—60	0,019	2	0,024	11)
		0,030	2	0,033	3) ja 10)
			2	0,037	1)
			2	0,041	2) ja 6)
				0,050	7)
solulasilevy	180	0,024	2	0,030	11)
		0,060		0,070	12)
	150	0,055		0,065	12)
	130	0,050		0,060	12)
kevytsora yläpohjissa	250—320	0,09	0,5	0,10	3)
	300—330	0,10	0,5	0,11	3)
maanvaraisissa alapohjissa	250—320	0,09	6	0,13	6)
routaeristeenä	250—320	0,09	30	0,17	7)
koneellisesti puhallettavat					
kuitueristeet yläpohjassa xx) lasivilla	18—50	0,050	0,5	0,060	1)
kivivilla	30—60	0,050	0,5	0,060	1)
puukuitueriste	30—60	0,050	12	0,060	1)

- 3) Eristys on molemmilta puoliltaan kiinni tiiviissä pinnassa (esim. betoni, tiiliverhous, tiivis levy, muovikalvo, eristyspaperi tms. pitävästi saumattuna).
- 4) Eristyksen toinen puoli on kiinni tiiviissä pinnassa ja toisella puolella on ilmaväli tai -tila.
- 5) Suojaustavasta riippumatta kuivana pysyvissä rakenteissa.
- 6) Sokkelihalkaisussa tai sokkelin sisäpuolisena pystyeristeenä maata vasten tai lämmittämättömän tilan maanvastaisessa alapohjassa tai maanvastaisessa alapohjassa suoraan perusmaan päällä.
- 7) Perusmuurin tai kellarin seinän ulkopuolisena eristeenä maata vasten tai maakerrosten välissä.
- 8) Kuidun keskipaksuus on enintään 6 µm, kun  $\rho = 10...30 \text{ kg/m}^3$ , muulloin enintään 15 µm.
- 9) Kattorakenteessa vedeneristyksen yläpuolella.
- 10) Eriste on paisutettu eristetilassa ja täyttää sen kokonaan.
- 11) Eriste on paisutettu vähintään 50 µm paksujen metallikerrosten väliin ja on molemmin puolin kauttaaltaan näihin kiinni liimautunut.
- 12) Eristelevyt on saumattu esim. bitumilla.
- x) CFC-tuotteiden valmistus on kielletty, mutta näitä tuotteita on vanhoissa rakenteissa.
- xx) Puhallettavaan eristyspaksuuteen sisältyy painumavara, joka on mineraalivillalla 5 % ja puukuitueristeellä 20 % suunnitellusta eristyspaksuudesta.

<b>Aine, tarvike</b>	<b>Kuiva- tiheys</b>	<b>Lämmön- johtavuus</b>	<b>Kosteus- pitoisuus</b>	<b>Normaalinen lämmön- johtavuus</b>	<b>Alaviite- huomautus</b>
	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$\lambda_{10}$ W/(m · K)	$W_n$ % kuiva- painosta	$\lambda_n$ W/(m · K)	
muovit					
akryyli	1050			0,20	
polykarbonaatti	1200			0,21	
PTFE	2200			0,23	
PVC, jäykkä	1390			0,18	
PVC, 40 % pehmennin	1200			0,14	
polyetyleni HD	980			0,40	
polyetyleni LD	920			0,32	
polystyreeni	1050			0,18	
polyasettaatti	1410			0,30	
fenoliharts	1600			0,5	
polypropyleeni	910			0,22	
EPDM	1150			0,20	
PMMA (akrylaatti)	1180			0,18	
polyuretaani	1200			0,25	
polyamidi	1130			0,25	
epoksiharts	1200			0,23	
silikoni	1200			0,30	
kumit					
polyisobutyleeni	920			0,13	
butyyli	1200			0,24	
polysulfidi				0,19	
neopreeni	1240			0,23	
lasi	2500			1,0	
tiivistys- ja eristysaineet					
nailon	1140			0,23	
uretaani (nestemäinen)				0,36	
silikonivahto				0,12	
vinyyli (joustava)				0,12	
polyetyleenivahto	36			0,06	
maa-aineksia					
savi tai siltti	1500			1,5	
hiekk, sora, moreeni	2000			2,0	
kivilaatuja					
basaltti	2800			3,5	
kalkkikivi	2300			2,5	
graniitti	2700			2,8	
hiekkakivi	2300			2,0	
luonnon hohkakivi	400			0,08	
vesi, 10 °C				0,6	
jää, 0 °C				2,2	
jää, -10 °C				2,5	
lumi, pehmeä	200			0,12	
lumi, tiivistetty	500			0,70	

## Liite 2. Laskentaesimerkkejä omakotitalosta

Alla esitetään omakotitalon lämpöhäviön mallilaskelmat. Mitoitus ulkolämpötila on -26 °C Helsingissä ja sisälämpötila saa vaihdella +20...+25 asteen välillä, paitsi kesällä ...+27 °C. (ym/1009/2017/4&). Kuvassa 3 on mallilaskelman omakotitalon pohjamitat ja rakennetiedot likimääräisinä (ei mittakaavassa).

Makuuhuone MH 1									
Makuuhuone MH1		Ala				Lämpötila ero	Lämmön-läpäisykerroin	Teho/W	
Lämmintila									
		Seinä	a=leveys	b=korkeus	m <sup>2</sup>	aste*	U-arvo		
Ulkoseinät		US	7,45	2,7	20,115	47	0,12	113,4	
Yläpohja		YP-U	14,35	1,00	14,35	47	0,0837	56,5	
Alapohja,ulkovyöhyke		AP-U-uv	6,6	1	6,6	47	0,0718	22,3	
Alapohja ulkc sisävyöhyke		AP-U-sv	7,9	1	7,9	47	0,06275	23,3	
Ikkuna		ikkuna	1,55	1,4	2,17	47	0,7-0,12	59,2	
Ikkuna		ikkuna	0,5	1,4	0,7	47	0,7-0,12	19,082	
Yhteensä								293,7	
Luonn. IV 0,33*0,16*39,4*47								97	
Koneellinen IV=12 dm <sup>3</sup> /s*1.2*21°C								302	
Ilmaislämpö, Valaistu -20								-20	
Ilmaislämpö, ihminen -85								-85	
YHTEENSÄ									
Makuuhuone MH1		W						588,1	
*)=sisä ja ulkolämpötilan erotus lisättynä sisä +21 Celsius --26 Celsius = 47 Celsius									
Olohuone OH2									
Olohuone OH2		Ala				Lämpötila ero	Lämmön-läpäisykerroin	Teho/W	
Lämmintila									
		Seinä	a=leveys	b=korkeus	m <sup>2</sup>	aste*	U-arvo		
Ulkoseinät		US	6,7	2,7	18,09	47	0,12	102,0	
Yläpohja		YP-U	4	6,00	24	47	0,0837	94,4	
Alapohja,ulkovyöhyke		AP-U-uv	6,7	1	6,7	47	0,0718	22,6	
Alapohja ulkc sisävyöhyke		AP-U-sv	17,4	1	17,4	47	0,06275	51,3	
Ulko-ovi		3ik	5	1,15	5,75	47	0,7-0,12	156,7	
		UO	1	2,1	2,1	47	0,7-0,12	61,6	
Yhteensä								488,7	
Luonn. IV 0,33*0,16*64,8*47								161	
Koneellinen +TH iv = 20 *1.2*21								504	
Ilmaislämpö, Valaistu -20								-20	
Ilmaislämpö, ihminen -85								-85	
YHTEENSÄ									
Olohuone OH2		W						1048,5	
*)=sisä ja ulkolämpötilan erotus lisättynä sisä +21 Celsius --26 Celsius = 47 Celsius									

Makuuhuone MH 3								
Makuuhuone MH3		Ala				Lämpötila ero	Lämmönläpäisykerroin	Teho/W
Lämmintila								
		Seinä	a=leveys	b=korkeus	m <sup>2</sup>	aste*	U-arvo	
Ulkoseinät		US	4,35	2,7	11,745	47	0,12	66,2
Yläpohja		YP-U	4,5	3,25	14,625	47	0,0837	57,5
Alapohja,ulkovyöhyke		AP-U-uv	4,6	1	4,6	47	0,0718	15,5
Alapohja ulkc sisävyöhyke		AP-U-sv	5,3	2,5	13,25	47	0,06275	39,1
Ikkuna		3ik	1,8	1,4	2,52	47	0,7-0,12	98,3
Yhteensä								276,7
Luonn. IV		0,3	0,16	42,5	47			105
Koneellinen IV=12 dm <sup>3</sup> /s*1.2*21°C								302
Ilmaislämpö, Valaistu		-20						-20
Ilmaislämpö, ihminen		-85						-85
YHTEENSÄ								
Makuuhuone MH3		W						579,5

\*)=sisä ja ulkolämpötilan erotus lisättyä sisä +21 Celsius --26 Celsiusta = 47 Celsius

HUONE ET 4								
Rakennus-osa ET 4		Ala				Lämpötila ero	Lämmönläpäisykerroin	Teho/W
Lämmintila								
		Seinä	a=leveys	b=korkeus	m <sup>2</sup>	aste*	U-arvo	
Ulkoseinät					0			0,0
Yläpohja		YP-U	2,2	3,60	7,92	47	0,0837	31,2
Alapohja,ulkovyöhyke		AP-U-uv			0			0,0
Alapohja ulkc sisävyöhyke		AP-U-sv	2,2	3,6	7,92	47	0,06275	23,4
Ikkuna		UO	1	2,1	2,1	47	0,7-0,12	61,4
Yhteensä								115,9
Luonn. IV		0,33*0,16*7,9*47						20
Ilmaislämpö, Valaistus								0
Ilmaislämpö, ihminen								0
YHTEENSÄ								
Huone ET 4 tehon tarve		W						135,5

\*)=sisä ja ulkolämpötilan erotus lisättyä sisä +21 Celsius --26 Celsiusta = 47 Celsius

VaateH, VH 5									
Vaatehuone VH 5		Ala				Lämpötila-ero	Lämmön-läpäisy-kerroin	Teho/W	
Lämmintila									
		Seinä	a=leveys	b=korkeus	m <sup>2</sup>	aste*	U-arvo		
Ulkoseinät		US	5,35	2,7	14,445	47	0,12	81,5	
Yläpohja		YP-U	3,5	2,00	7	47	0,0837	27,5	
Alapohja,ulkovyöhyke		AP-U-uv	3,4	1	3,4	47	0,0718	11,5	
Alapohja ulkc sisävyöhyke		AP-U-sv	3,4	2	6,8	47	0,06275	20,1	
Ikkuna		3ik	1,6	1,4	2,24	47	0,7-0,12	61,6	
Yhteensä								202,1	
Luonn. IV		0,3	0,16	18,9	47			47	
Koneellinen IV= -3dm <sup>3</sup> /s									
Ilmaislämpö, Valaistus								0	
Ilmaislämpö, ihminen								0	
YHTEENSÄ									
Vaatehuone VH 5		W						249,0	

\*)=sisä ja ulkolämpötilan erotus lisättyä sisä +21 Celsius --26 Celsius = 47 Celsius

Huone 6 KT									
Rakennus-osa 6 KT		Ala				Lämpötila-ero	Lämmön-läpäisy-kerroin	Teho/W	
Lämmintila									
		Seinä	a=leveys	b=korkeus	m <sup>2</sup>	aste*	U-arvo		
Ulkoseinät		US	5,7	2,7	15,39	47	0,12	86,8	
Yläpohja		YP-U	3,5	6,15	21,525	47	0,0837	84,7	
Alapohja,ulkovyöhyke		AP-U-uv	3,5	1	3,5	47	0,0718	11,8	
Alapohja ulkc sisävyöhyke		AP-U-sv	19,3	1	19,3	47	0,06275	56,9	
Ikkuna		3ik	2,8	1,2	3,36	47	0,7-0,12	91,6	
Yhteensä								331,8	
Luonn. IV 152,4								152	
Koneellinen IV= -8 dm <sup>3</sup> /s									
Ilmaislämpö, Valaistu -20								-20	
Ilmaislämpö, ihminen -85								-85	
YHTEENSÄ									
Huone 6 MH tehon tarve		W						379,2	

\*)=sisä ja ulkolämpötilan erotus lisättyä sisä +21 Celsius --26 Celsius = 47 Celsius

Huone 7 MH									
Rakennus-osa		Ala				Lämpötila-ero	Lämmön-läpäisy-kerroin	Teho/W	
Lämmintila									
		Seinä	a=leveys	b=korkeus	m <sup>2</sup>	aste*	U-arvo		
Ulkoseinät		US	7,45	2,7	20,115	47	0,12	113,4	
Yläpohja		YP-U	3,4	4,05	13,77	47	0,0837	54,2	
Alapohja,ulkovyöhyke		AP-U-uv	6,4	1	6,4	47	0,0718	21,6	
Alapohja ulkc sisävyöhyke		AP-U-sv	2,4	1	2,4	47	0,06275	7,1	
Ikkuna		UO	1	2,1	2,1	47	0,7-0,12	57,2	
Yhteensä								253,5	
Luonn. IV		0,33*0,16*6,1*47						100	
Koneellinen IV=		12 dm <sup>3</sup> /s *1.2*21°C						302	
Ilmaislämpö, Valaistu		-20						-20	
Ilmaislämpö, ihminen		-85						-85	
YHTEENSÄ									
Huone 7 MH		tehon tarve		W				550,9	
*)=sisä ja ulkolämpötilan erotus lisättyä sisä +21 Celsius --26 Celsius = 47 Celsius									

Huoneet 8 ja 9									
Lämmintila									
		Seinä	a=leveys	b=korkeus	m <sup>2</sup>	aste*	U-arvo		
Ulkoseinät		US	1,5	2,7	4,05	47	0,12	22,8	
Yläpohja		YP-U	1,5	1,35	2,025	47	0,0837	8,0	
Alapohja,ulkovyöhyke		AP-U-uv	1,5	1	1,5	47	0,0718	5,1	
Alapohja ulkc sisävyöhyke		AP-U-sv	0,5	1,5	0,75	47	0,06275	2,2	
Ikkuna		UO	1	2,1	2,1	47	0,7-0,12	81,9	
Yhteensä								120,0	
Luonn. IV		0,33*0,16*6,1*47						15	
Koneellinen IV=		0dm <sup>3</sup> /s						0	
Ilmaislämpö, Valaistus								0	
Ilmaislämpö, ihminen								0	
YHTEENSÄ									
8 ja 9 TK/Teknen tila		tehon tarve		W				135,1	
*)=sisä ja ulkolämpötilan erotus lisättyä sisä +21 Celsius --26 Celsius = 47 Celsius									

HUONE 10 WC							
Rakennus-osa	Ala				Lämpötila-ero	Lämmön-läpäisy-kerroin	Teho/W
Lämmintila							
	Seinämä	a=leveys	b=korkeus	m <sup>2</sup>	aste*	U-arvo	
Ulkoseinät				0			0,0
Yläpohja	YP-U	1,6	2,00	3,2	47	0,0837	12,6
Alapohja,ulkovyöhyke	AP-U-uv			0			0,0
Alapohja ulkc sisävyöhyke	AP-U-sv	1,6	1,85	2,96	47	0,06275	8,7
Ikkuna	UO			0			0,0
Yhteensä							21,3
Luonn. IV	0,33*0,16*6,1*47						15
Koneellinen IV -20							0
Ilmaislämpö, Valaistus							0
Ilmaislämpö, ihminen							0
YHTEENSÄ							
Huone 10 WC tehon tarve	W						36,5

Sauna huone 11							
	Ala				Lämpötila-ero	Lämmön-läpäisy-kerroin	Teho/W
Lämmintila							
	Seinämä	a=leveys	b=korkeus	m <sup>2</sup>	aste*	U-arvo	
Ulkoseinät	US	2	2,7	5,4	47	0,12	30,5
Yläpohja	YP-U	2	2,95	5,9	47	0,0837	23,2
Alapohja,ulkovyöhyke	AP-U-uv	2	2,2	4,4	47	0,0718	14,8
Alapohja ulkc sisävyöhyke	AP-U-sv	0,5	1,5	0,75	47	0,06275	2,2
Ikkuna	IK	0,5	0,6	0,3	47	0,7-0,12	11,7
Yhteensä							82,4
Luonn. IV	0,33*0,16*4,2*47						15
Koneellinen IV=6 dm <sup>3</sup> /s*1.2*21°C							151
Ilmaislämpö, Valaistus							0
Ilmaislämpö, ihminen							0
YHTEENSÄ							
SAUNA H 11 Teho	W						248,8
*)=sisä ja ulkolämpötilan erotus lisättynä sisä +21 Celsius --26 Celsius = 47 Celsius							

Pesuhuone 12								
Pesuhuone 12		Ala				Lämpötila-ero	Lämmön-läpäisy-kerroin	Teho/W
		Lämmintila						
		Seinä	a=leveys	b=korkeus	m <sup>2</sup>	aste*	U-arvo	
Ulkoseinät		US	2,8	2,7	7,56	48	0,12	43,5
Yläpohja		YP-U	2,5	2,50	6,25	48	0,0837	25,1
Alapohja,ulkovyöhyke		AP-U-uv	2,7	1	2,7	48	0,0718	9,3
Alapohja ulkc sisävyöhyke		AP-U-sv	2,7	1,2	3,24	48	0,06275	9,8
Ikkuna		IK	0,5	0,6	0,3	48	0,7-0,12	12,0
Yhteensä								99,7
Luonn. IV	0,33*0,16*4,2*48							15
Koneellinen iv -15								0
Ilmaislämpö, Valaistus								0
Ilmaislämpö, ihminen								0
YHTEENSÄ								
Pesuhuone 12		W						115,1
*)=sisä ja ulkolämpötilan erotus lisättyä sisä +21 Celsius --26 Celsius = 47 Celsius								

Kodinhoituhuone 13								
Kodinhoituhuone 13		Ala				Lämpötila-ero	Lämmön-läpäisy-kerroin	Teho/W
		Lämmintila						
		Seinä	a=leveys	b=korkeus	m <sup>2</sup>	aste*	U-arvo	
Ulkoseinät		US	6,75	2,7	18,225	47	0,12	102,8
Yläpohja		YP-U	3,75	2,75	10,3125	47	0,0837	40,6
Alapohja,ulkovyöhyke		AP-U-uv	5,5	1	5,5	47	0,0718	18,6
Alapohja ulkc sisävyöhyke		AP-U-sv	2,6	2,5	6,5	47	0,06275	19,2
Ulko-ovi		UO	1	2,1	2,1	47	0,7-0,12	81,9
Yhteensä								263,0
Luonn. IV	0,33*0,16*32,4*47							80
Koneellinen-iv -15								0
Ilmaislämpö, Valaistus								0
Ilmaislämpö, ihminen								0
YHTEENSÄ								
Kodinhoituhuone 13		W						343,4
*)=sisä ja ulkolämpötilan erotus lisättyä sisä +21 Celsius --26 Celsius = 47 Celsius								

**Lämpöhaviöt yhteensä = 4544,8 W**

Lämpöhäviölaskelmien yhteistehoksi saatiin 4545 W. Tätä tietoa voidaan käyttää mm. sähköisen lattialämmityksen suunnittelussa