



Petri Pirttilä

**LÄMMITYSLAITTEIDEN TOIMINNAN ANALYSOINTI
KULUTUSSUORAN JA LÄMPÖKONDUKTANSSIN MUUTOSTEN
PERUSTEELLA**

**LÄMMITYSLAITTEIDEN TOIMINNAN ANALYSOINTI
KULUTUSSUORAN JA LÄMPÖKONDUKTANSSIN MUUTOSTEN
PERUSTEELLA**

Petri Pirttilä
Opinnäytetyö
Kevät 2012
Talotekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu
Talotekniikan koulutusohjelma

Tekijä: Petri Pirttilä

Opinnäytetyön nimi: Lämmityslaitteiden toiminnan analysointi kulutussuoran ja lämpökonduktanssin muutosten perusteella

Työn ohjaajat: Mikko Niskala ja Ilkka Räinen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2012 Sivumäärä: 37+2 liitettä

Tässä opinnäytetyössä mitattiin ja analysoitiin Pirttikoskentie vapaa-ajan rakennuksen sähköenergian kulutusta. Rakennuksen lämmitettävä pinta-ala on $65,5 \text{ m}^2$ ja tilavuus 146 m^3 . Lämmitettäviä huoneita on kuusi.

Rakennuksessa on suorasähkölämmitys. Lisälämmönlähteinä toimivat ilmalämpöpumppu ja varaava takka. Kohteessa on koneellinen tulo- poisto ilmanvaihtojärjestelmä, jossa on pyörivä lämmöntalteenotto.

Työssä laskettiin rakennuksen energian ja tehon tarve ja tehtiin laskelmista kulutussuora sekä lämpökonduktanssin analyysi. Työssä selvitettiin varaavan takan ja ilmalämpöpumpun konduktanssi sekä laskettiin lämmöntalteenottolaitteen teho ja hyötysuhde.

Mitattujen tulosten perusteella tehtiin kulutussuora, josta seurattiin rakennuksen käyttäytymistä eri ulkolämpötiloissa. Lämpökonduktanssin analyysin perusteella pystyttiin laskemaan rakennuksen lämmityslaitteiden tehot ja hyötysuhteet.

Kulutussuorasta nähtiin, miten asetuntiluvun perusteella sähköenergian kulutus kasvoi. Lisälämmityslaitteet kuitenkin vähensivät sähköenergian kulutusta. Konduktanssilla pystyttiin hyvin seuraamaan, mitä rakennuksen lämmityksessä oli muuttunut ja milloin. Konduktanssia pystyttiin käyttämään laskemiseen ainoastaan silloin, kun lämpötilaero pysyi tarpeeksi kauan vakiona.

Asiasanat:

Kulutussuora, konduktanssi, asetunti

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
SISÄLLYS	4
1 JOHDANTO	6
2 MITTAUSKOHDDE	7
2.1 Rakennus	7
2.2 Lämmitysjärjestelmä	7
2.3 Täydentävät lämmitysjärjestelmät	7
2.3.1 Ilma-ilmalämpöpumppu	7
2.3.2 Varaava takka	8
2.4 Ilmastointi	9
3 KULUTUSSUORAN JA KONDUKTANSSIN LASKEMINEN	10
3.1 Kulutussuora	10
3.2 Lämpöhäviö	11
3.2.1 U-arvo	11
3.2.2 Pinta-ala	11
3.2.3 Lämpötilaero	12
3.3 Lämpökonduktanssi	12
3.4 Sähköenergian ja lämpötilojen mittaus	13
3.5 Tehon kulutuksen ja lämpötilojen mittaus	14
3.7 Energian ja lämpötilojen mittaukseen tarvittavat mittauslaitteet	15
3.7.1 EL-USB-2	15
3.7.2 SchellCount 5/32 A	16
3.7.3 SchellCount EEM34 DLC-3x65 A	17
3.7.4 EnviR CurrentCost-pihtivirtamittari	18
3.7.5 EnviR- langaton lähetin	19
3.7.6 EnviR Current cost	20
3.7.7 GlobeSurfer III reititin	21
3.8 KM 900 -savukaasuanalysointilaite	22
4 MITTAAMINEN JA MITTAUSTULOSTEN ANALYSOINTI	23
4.1 Mittaaminen	23

4.2 Mittaustulosten analysointi	24
4.2.1 Kulutussuora reaaliaikaisten mittausten perusteella	24
4.2.2 Ilmalämpöpumpun vaikutus kulutussuoraan	24
4.2.3 Varaavan takan vaikutus kulutussuoraan	24
4.2.4 Ilmastoinnin vaikutus kulutussuoraan	25
4.3 Rakennuksen konduktanssi	25
4.3.1 Konduktanssi ilman lisälämmittämiä	26
4.3.2 Laitevian havaitseminen konduktanssin avulla	27
4.3.3 Ilmalämpöpumpun vaikutus konduktanssiin	28
4.3.4 Pattereiden säädön vaikutus konduktanssiin	29
4.3.5 Ilmastoinnin vaikutus konduktanssiin	30
4.3.6 Ilmastoinnin lämmöntalteenoton hyötysuhde ja teho	31
4.3.7 Ilmalämpöpumpun hyötysuhde eli COP	32
4.3.8 Varaavan takan lämpöenergian vaikutus lämpökonduktanssiin	34
4.4 Konduktanssi nopeissa lämpötilavaihteluissa	36
5 YHTEENVETO	37
LÄHTEET	38
Liite 1 Lähtötietomuistio	
Liite 2 Lämpöhäviöraportti	

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä seurataan Pirttikoskentiellä sijaitsevalla vapaa-ajan-asunnon sähkönkulutusta lämmityskauden aikana sekä lasketaan rakennuksen lämpökonduktanssi. Eri käyttötilanteissa mitataan sisä- ja ulkolämpötilat sekä lämmitykseen tarvittava sähköenergian tarve. Mittaustuloksista lasketaan varaavan takan, ilmalämpöpumpun ja pyörivän lämmöntalteenottojärjestelmän tuottama energia sekä rakennuksen lämpökonduktanssi ja ilmalämpöpumpun lämpökerroin eri tilanteissa.

Rakennuksen sähköenergiankulutus koostuu suorasähkölämmityspattereista, taloussähköstä, ilma-ilmalämpöpumpusta, lämminvesivaraajasta ja koneellisesta tulo- poisto ilmastointijärjestelmästä.

Laskennallisten tulosten perusteella tehdään kulutussuora, jota verrataan reaaliaikaiseen seurantamittaukseen. Kulutussuorasta näkyy myös tuulen ja aurinгон säteilyn vaikutus tehon kulutukseen. Tuloksista nähdään, toimiiko rakennus oikein ja ovatko suunnitellut lämmitysjärjestelmät riittävät. (Liite 1.)

2 MITTAUSKOHDE

2.1 Rakennus

Mitattavana kohteena on Pirttikoskentie vapaa-ajan asunto, jonka lämmitettävä pinta-ala on n. 65 m² ja tilavuus n. 146 m³ (liite 2). Pääasialliseksi lämmitysmuodoksi on valittu suorasähkölämmitys. Toissijaisina lämmityslaitteina ovat ilmalämpöpumppu ja varaava takka. Rakennuksessa on koneellinen tulo- ja poisto ilmastointijärjestelmä, jossa on pyörivä lämmöntalteenotto-laite.

2.2 Lämmitysjärjestelmä

Rakennuksessa on suora sähkölämmitys. Sähköpatterit hoitavat pääasiallisen lämmityksen. Suoran sähkölämmityksen etuina ovat helppo säädettävyys ja hyvä hyötysuhde. Sähköpattereiden etuihin kuuluvat myös edullinen hankintakustannus ja pieni tilan tarve. Teknistä tilaa ei tarvita ja haluttu sisälämpötila saadaan pidettyä tarkoilla ja nopeilla huonetermostaateilla. Haittana on sähköenergian kallis hinta.

2.3 Täydentävät lämmitysjärjestelmät

2.3.1 Ilma-ilmalämpöpumppu

Ilma-ilmalämpöpumppu kerää lämpöä ulkoilmasta ulkoseinälle tai maahan sijoitettun höyrystinyksikön avulla. Lämmön luovutus tapahtuu lauhdutinyksikön kautta suoraan rakennuksen sisäilmaan. (1.)

Lauhduttimen ja höyrystimen välillä on putkisto, joka sisältää kylmäainetta. Kylmäaineen tehtävä on tuottaa lämmitystehoa lauhduttimelle tai vastaavasti kylmätehoa höyrystimelle.

Järjestelmä vaatii suurimman mahdollisen energiatarpeen mukaan mitoitettun rinnakkaisen lämmitysjärjestelmän, koska kylmimmällä säällä lämpöpumpun

teho ei riitä. Siksi se soveltuu alentamaan lämmityskustannuksia aina silloin, kun ulkolämpötila on korkeampi kuin $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Vuositasolla lämpökerroin vaihtelee asettuen Suomen oloissa 1,8–2,2 välille. (1.) Kohteessa on Daikin FTXSDVMW/L ilmalämpöpumppu, jolle valmistaja lupaa $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$:n lämpötilassa lämpökertoimeksi 2,5 (7, s.18). Ilmalämpöpumpun valinta on tehty siten, että sen teho riittää, kun ulkolämpötila on $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Ilmalämpöpumppu on pitkälle kehitetty, helposti asennettava, varmatoiminen, usein kaukosäätimellä helposti ohjattavissa oleva laite (1). Haittoina ovat puhallinäänät, lauhduttimen puhaltimesta tuleva vedon tunne sekä ajoittainen höyrystimen tarvitsema sulatus, joka aiheuttaa vetoa ja alentaa saavutettavaa lämpökerrointa. Ulkoyksikön sulattaman veden jäätyminen voi aiheuttaa kosteusvaurioita ulkoseinään ja sokkeliin.

2.3.2 Varaava takka

Varaavalla takalla voidaan tarvittaessa kattaa merkittävä osa lämmitystarpeesta pientaloissa. Varaava takka sopii myös hyvin varalämmönlähteeksi sähkökatkojen tai lämmitysjärjestelmän toimintahäiriöiden aikana. (2.)

Paras tulos saavutetaan massiivisilla, varaavilla tulisijoilla, joiden rakenteisiin varautuva lämpö siirtyy huoneisiin pienellä teholla pitkän ajan kuluessa. Tällä tavoin takka ei aiheuta liian korkeita sisälämpötiloja. Varaavan takan hyötysuhde voi olla jopa 80–85 %. Sopivan kokoisella takalla on mahdollista tuottaa jopa kolmasosa talon lämmitystarpeesta.(2.) Tässä kohteessa palamisen hyötysuhde on n. 72,5 %.(Taulukko 1.) Tästä vähennetään vielä arvioitu tuhkahäviö (6) 5 %, saadaan keskimääräiseksi hyötysuhteeksi sytytyksestä pellin sulkemiseen asti n. 67,5 %.

TAULUKKO 1. Savukaasumittauksen tulos

	$^{\circ}\text{C}_{\text{netto}}$	O_2	CO	η	CO^2	SK lpt	YMP lpt
	180	11,3	4,73	87,3	9,5	197	19,6
	161	14,7	3	82,7	6,1	178	19,5
	114	18,1	3,86	72,9	2,9	136	18,9
	126	17,9	10,7	70	2,9	143	19
	114	18,2	7,1	61	2	131	19,2
	84	19,5	1,2	60,9	1,4	98	18,5
ka	129,8	16,6	5,1	72,5	4,1	147,2	19,1

Puuta kannattaa polttaa kovien pakkasten aikana. Silloin lämmitystarve on suuri eikä takan tuottama lämpö aiheuta sisäilman liiallista lämpötilan nousua. (2.)

2.4 Ilmastointi

Kohteessa on koneellinen tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmä, jossa on pyörivä lämmöntalteenottojärjestelmä. Pyörivä lämmöntalteenottolaite perustuu jatkuvasti pyörivään kennostoon, jossa lämmin poistoilma varaa kennoja puolen kieroksen verran, ja siirtyessään kylmän tuloilman puolelle kennot vuorostaan luovuttavat lämpönsä ulkoilmavirrälle. Ulkoilman ollessa kylmää voi pyörivä lämmöntalteenottolaite siirtää myös osan poistoilman kosteudesta tuloilmaan (3). Tässä kohteessa sisäisiä kosteuskuormia on vähän. Mitattu sisäilman ja ulkoilman absoluuttinen kosteus ovat lähes samat, joten huurtumista ei synny. Koneessa ei ole tuloilman jälkilämmitystä eikä lämmöntalteenottojärjestelmän huurtumisen estoa.

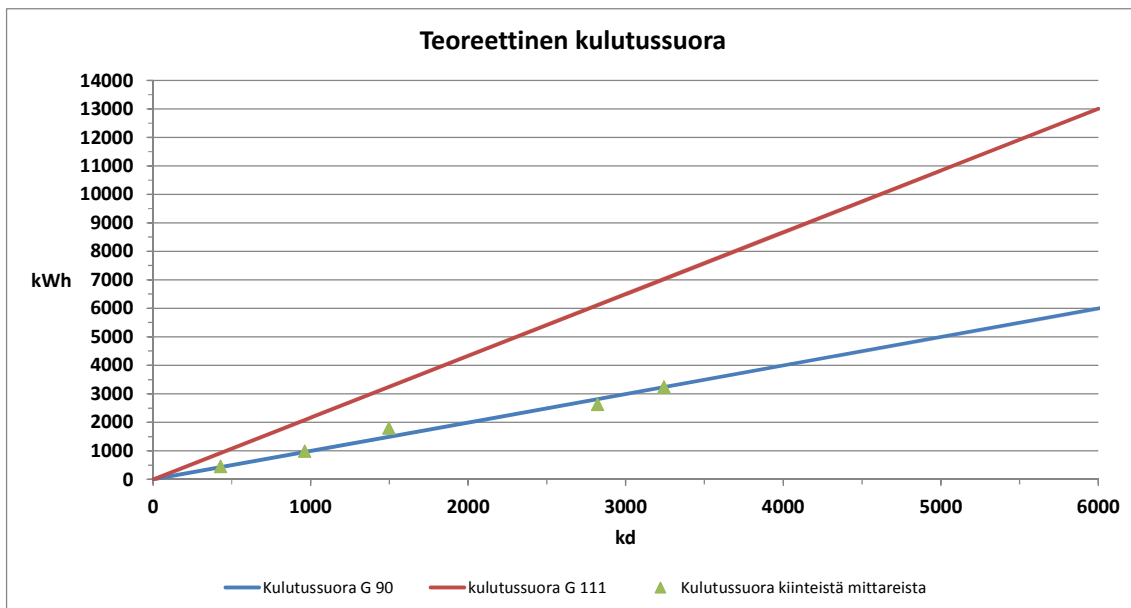
3 KULUTUSSUORAN JA KONDUKTANSSIN LASKEMINEN

3.1 Kulutussuora

Teoreettinen kulutussuora (kuva 1) on laskettu Cads-ohjelmalla. Tehon tarve laskettiin Cadsin lämpöhäviöraportin avulla (liite 2). Lämmitystehon tarpeen ja mitoituslämpötilaeron perusteella tehdyn kulutussuoran konduktanssi on $90 \text{ W/}^\circ\text{C}$. Mittaustuloksista laskettu konduktanssi ilman lisälämmittämiä on $111 \text{ W/}^\circ\text{C}$.

Kulutussuoraa G 90 verrataan G 111 kulutussuoraan. Havaitaan, että energiankulutus on suurempi mitatulla konduktanssilla.

Kiinteistä mittareista ja lämmitystarveluvuista saadaan pisteet viiden kuukauden mittauksesta. Pisteistä havaitaan, että rakennuksen lämpöenergian kulutus on maltillisempi lisälämmityslaitteiden ansiosta.



KUVA 1. Teoreettinen kulutussuora

3.2 Lämpöhäviö

Johtumislämpöhäviö lasketaan, jotta saadaan selville rakennuksen vaatima lämmitysteho. Johtumislämpöhäviö lasketaan kaavalla 1 (4, s. 102).

$$\dot{Q} = \sum UA(T_s - T_u) \quad \text{KAAVA 1}$$

\dot{Q} = teho (W)

U = lämmönläpäisykerroin ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

A = pinta-ala (m^2)

T_s = sisälämpötila ($^\circ C$)

T_u = ulkolämpötila ($^\circ C$)

3.2.1 U-arvo

U-arvo saadaan selville, kun etsitään jokaiselle materiaalille oma normaalin lämmön johtavuus RakMK C4:sta tai valmistajalta sekä mitataan rakenteiden vahvuus. Se voidaan laskea kaavalla 2. Pintavastuksina käytetään RakMK C4:n arvoja (6, s. 16).

U-arvo lasketaan kaavalla 2 (4, s. 99).

$$U = \frac{1}{\sum R} \quad \text{KAAVA 2}$$

U = lämmönläpäisykerroin ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

$R = \frac{s}{\lambda}$ = lämmönvastus ($m^2 \cdot ^\circ C/W$)

λ = lämmönjohtavuus ($W/m \cdot ^\circ C$)

s = rakenteen vahvuus (m)

3.2.2 Pinta-ala

Pinta-alat saadaan laskettua rakennuksen lämpöhäviöraportista, joka on tehty rakennuksen pohjapiirroksesta Cads-ohjelmalla (liite 2).

3.2.3 Lämpötilaero

Lämpötilaeron selvittämiseksi käytetään mitoitusulkolämpötilaa rakennusmääräyskokoelma D3 (5, s 29) mukaan on Oulussa -32 °C . Sisälämpötilana käytettiin $+20\text{ °C}$. Sisälämpötilasta vähennetään ulkolämpötila. Näin saadaan lämpötilaeroksi 52 °C .

Mitattuihin tuloksiin käytetään mitattua ulkolämpötilaa. Sisälämpötilan keskilämpötilan määrittämiseksi käytetään tilavuuspainotteista keskilämpötilan kaavaa 3.

Tilavuuspainotteinen sisätilan keskilämpötila lasketaan kaavalla 3 (11).

$$\Delta T_V = \frac{V_1 T_1 + V_2 T_2 + \dots + V_n T_n}{V_1 + V_2 + \dots + V_n} \quad \text{KAAVA 3}$$

ΔT_V = tilavuuspainotteinen lämpötilaero ($^{\circ}\text{C}$)

V = tilavuus (m^3)

T = lämpötila ($^{\circ}\text{C}$)

Tehopainotteinen sisätilan keskilämpötila lasketaan kaavalla 4 (11).

$$\Delta T_P = \frac{P_1 T_1 + P_2 T_2 + \dots + P_n T_n}{P_1 + P_2 + \dots + P_n} \quad \text{KAAVA 4}$$

ΔT_P = tehopainotteinen lämpötilaero ($^{\circ}\text{C}$)

P = teho (W)

T = lämpötila ($^{\circ}\text{C}$)

3.3 Lämpökonduktanssi

Lämpökonduktanssi on sisä- ja ulkolämpötilaeron ja tehontarpeen suhde (kaava 5). Tässä työssä laskettiin lämmitystehontarve Cads-ohjelman avulla. Lämpötilaero laskettiin RakMK: D3 sisä- ja ulkolämpötiloilla. Teoreettiseksi konduktanssiksi saatiin $90\text{ W}/^{\circ}\text{C}$.

$$G = \frac{\dot{Q}}{\Delta T} = \frac{4696\text{ W}}{52\text{ }^{\circ}\text{C}} = 90\text{ } \frac{\text{W}}{^{\circ}\text{C}}$$

Lämpökonduktanssi lasketaan kaavalla 5 (4, s. 35).

$$G = \frac{\phi}{\Delta T} = \frac{Q}{S_n}$$

KAAVA 5

G = konduktanssi (W/°C)

ϕ = teho (W)

ΔT = lämpötilaero (°C)

Q = energia (kWh)

S_n = astepäiväluku (°Cd)

Ilmalämpöpumpun hyötysuhde lasketaan lämpökonduktanssin muutoksesta kaavalla 6 (11).

$$\eta = \frac{\Delta G * \Delta T + P_{LP}}{P_{LP}}$$

KAAVA 6

η = ilmalämpöpumpun hyötysuhde

ΔG = konduktanssiero (W/°C)

ΔT = lämpötilaero (°C)

P_{LP} = kompressorin ottama sähköteho

Pyörivän lämmöntalteenoton tuloilman lämpötilahyötysuhde (10, s. 197) saadaan kaavalla 7.

$$\eta = \frac{T_4 - T_3}{T_1 - T_3}$$

KAAVA 7

η = lämmöntalteenoton hyötysuhde

T_1 = poistoilman lämpötila (°C)

T_3 = ulkotilan lämpötila (°C)

T_4 = tuloilman lämpötila (°C)

3.4 Sähköenergian ja lämpötilojen mittaus

Lämpötilat mitataan usb-loggereilla huonekohtaisesti. Ulkolämpötila mitataan.

Ilmalämpöpumppuun asennetaan mittarit imu- ja puhalluspuolelle. IV-kanavistoon asennetaan mittarit tulo- ja poistopuolelle.

Energian kulutusta mitataan kiinteillä energiankulutusmittareilla. Mittareita on viisi. Mittarit asennetaan sähkökeskukseen mittaamaan ilmalämpöpumpun, IV-koneen, taloussähkön, LV-varaajan ja kokonaiskulutusta. Myös saunarakennuksen energiankulutus mitataan, koska saunarakennuksen kuluttama energia ei kuulu tähän työhön.

3.5 Tehon kulutuksen ja lämpötilojen mittaus

Reaaliaikaista tehon kulutusta mitataan sähkökeskuksesta virtamuuntajilla. Virtamuuntajia asennetaan neljä kappaletta. Ensimmäinen muuntaja mittaa energian kulutusta tuvan pattereista, keittiön pistorasioista ja tuulikaapin lattialämmityksestä. Toinen muuntaja mittaa vierasmakuuhuoneen patterin ja vesijohdon sulatuksen tehon tarpeen. Kolmas muuntaja mittaa tuulikaapin pistorasioiden ja kuivakäymälän lattialämmityksen tehon kulutusta. Neljäs muuntaja mittaa ilmalämpöpumpun ottotehon.

Reaaliaikaista lämpötilaseurantaa mitataan antureilla. Anturit asennetaan huonekohtaisesti. Ulkoilman lämpötilaa mitataan kahdella anturilla, josta toinen mittaa ulkolämpötilaa ja toinen mittaa lämpötilaa eteläsivulta mustan pellin ja lasin välissä, lämpötilasta havaitaan auringon paiste. Ilmalämpöpumpulle asennetaan anturit mittaamaan imu- ja poistopuolelle. IV-kanavistoon asennetaan anturit mittaamaan tulo- ja poistopuolelle. Varaavan takan päälle asennetaan myös anturi mittaamaan varaavan takan pintalämpötilaa. Takan pintalämpötilasta voidaan havaita milloin takkaa lämmitetään ja lämmityksen kesto.

3.6 Energian ja lämpötilojen mittaukseen tarvittavat mittauslaitteet

3.6.1 EL-USB-2

Easylogger-USB-mittari (kuva 3) mittaa lämpötilaa, suhteellista kosteutta ja kastepistettä mittaajan määräämällä aikavälillä. Mittari on paristokäyttöinen. Mittarin tarkkuus on $\pm 1,1$ °C (12, s. 3).



KUVA 3. Lascar Easylogger-USB-mittari

3.6.2 SchellCount 5/32 A

SchellCount 5/32 A-yksivaihe-energiankulutusmittarilla (kuva 4) mitataan ilmanvaihtokoneen ja ilmalämpöpumpun sähköenergian kulutusta. Mittari toimii mekaanisesti.



KUVA 4. SchellCount-yksivaihe-energiamittari

3.6.3 SchellCount EEM34 DLC-3x65 A

SchellCount EEM43 DLC-3x65 A (kuva 5) mittarilla mitataan taloussähkön, lämmityspattereiden ja lämminvesivaraajan sähköenergian kulutus. Mittari toimii mekaanisesti.



KUVA 5. SchellCount EEM34 DLC-3x65A -kolmivaihe-energiamittari

3.6.4 EnviR CurrentCost -pihtivirtamittari

Pihtivirtamittarin (kuva 6) avulla saadaan sähkövirta. Tieto menee johtoa pitkin lähettimelle. Sähkövirrasta saadaan laskettua resistiivisen kuorman sähköteho.



KUVA 6. EnviR-virtapihtimittari

3.6.5 EnviR- langaton lähetin

Envir-lähetin (kuva 7) saa tiedon virran kulutuksesta virtapihdiltä. Virtamittaus lähetetään kuuden sekunnin välein langattomasti keruu ja laskentayksikköön.



KUVA 7. Langaton lähetin EnviR

3.6.6 EnviR Current cost

Reaaliaikainen energiankulutus ja lämpötilojen mittaus mitattiin EnviR Current-Cost-mittarilla (kuva 8). Mittari näyttää näytöllä reaaliaikaisen energian kulutuksen. Mittaustulokset tallentuvat kovalevyille. Tiedot lähetetään myös langattomana 3G-yhteyden avulla palvelimelle.



KUVA 8. EnviR CurrentCost -mittari

3.6.7 GlobeSurfer III reititin

Reitittimenä toimii GlobeSurfer III (kuva 9), joka lähettää tehokulutuksesta tietoa G3-verkkoa hyväksikäyttäen palvelimelle. Reititin lähettää mittaustulokset kuuden minuutin välein suoraan G3-verkon kautta palvelimelle, josta käyrät näkyvät reaaliaikaisena.



KUVA 9. GlobeSurfer III -reititin

3.7 KM 900 -savukaasuanalysaattori

Savukaasumittarilla mitataan savukaasun nettolämpötila, happipitoisuutta, häkäpitoisuutta, hyötysuhdetta, hiilidioksidipitoisuutta, savukaasun lämpötilaa ja ympäristön lämpötilaa. Mittaustarkkuus on valmistajan mukaan hapelle 0,20 %, häkäkaasulle 20 ppm, hiilidioksidille 0,30 %, savukaasuhäviölle 1,00 %, hyötysuhteelle 1,00 % ja savukaasun lämpötilalle 2 °C tai 0,3 %. (9, s. 28).



KUVA 10. Savukaasuanalysaattori

4 MITTAAMINEN JA MITTAUSTULOSTEN ANALYSOINTI

4.1 Mittaaminen

Aluksi asennettiin sähkökeskukseen kiinteät energiamittarit mittaamaan sähköenergian kulutusta. Mittaustulokset kirjattiin muistiin tietyin väliajoin, jotta nähtäisiin, miten paljon keskimääräisesti kului energiaa tietynä ajanjaksona. Kiinteiden energiamittareiden avulla varmistettiin reaaliaikaisten mittausten toimivuus. Ilmalämpöpumpun käyntiajat kerättiin myös talteen. Varaavan takan tuottama lämpöenergia laskettiin poltetun puun lämpöarvon mukaisesti käsin. Myöhemmin asennettiin USB-lämpötilamittareita, jotka mittasivat lämpötiloja. USB-mittareita asennettiin yhteensä 11 kpl. Jokaiseen huoneeseen tuli oma mittari ja ulos tuli myös mittari. Ilmalämpöpumppuun laitettiin mittarit imu- ja poistopuolelle. IV-koneeseen laitettiin myös lämpömittarit tulo- ja poistopuolelle.

Kohdetta lämmitettiin aluksi pelkällä suoralla sähköllä, jotta saatiin mittausten perusteella laskettua lämpökonduktanssi ilman ilmalämpöpumpun tuottamaa lämpöenergiaa. Tämän mittausjakson aikana kohde oli tyhjä. Konduktanssin keskiarvoksi saatiin 111 W/°C, kun se teoreettisesti laskettuna oli 90 W/°C.

Reaaliaikainen mittaus aloitettiin 20.1.2012 klo 14:00. Mitattavia arvoja otettiin aluksi tunnin välein. Tuloksista haluttiin tarkempia, joten 25.1.2012 klo 13:54 siirryttiin mittaamaan 6 minuutin välein lämpötiloja ja sähköenergian kulutusta. Reaaliaikainen mittaus lopetettiin 23.3.2012.

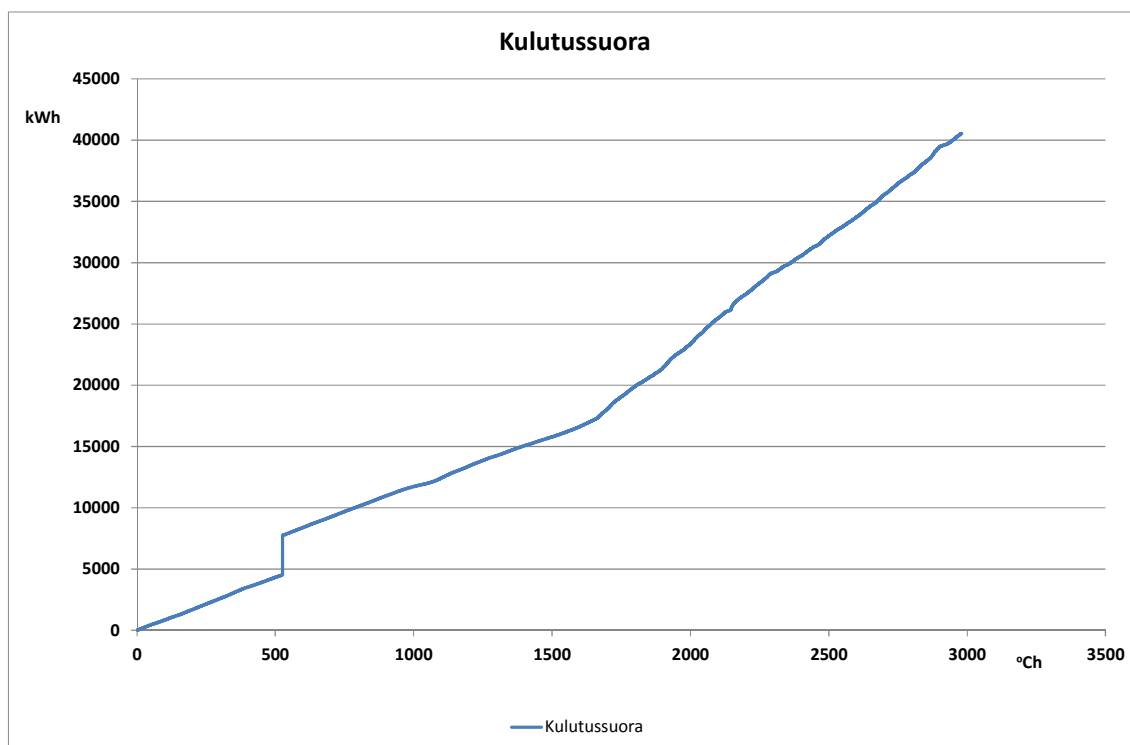
Savukaasumittaus suoritettiin 30.3.2012. Savukaasumittauksella saatiin selville varaavan takan hyötysuhde. Puuta poltettiin tunnin ajan 10 dm³. Tulokset kirjattiin 10 minuutin välein. Näin saatiin selville takan savukaasuhäviöt. Taulukossa 1 näkyy hyötysuhteen keskiarvo tunnin polttamisesta. Hyötysuhteen keskiarvo on 72,5 % (taulukko 1, s. 8), kun siitä vähennettiin arvioitu tuhkahäviö 5 % (6), saatiin 67,5 %:n hyötysuhde.

Ilmavirtamittaus suoritettiin 25.5.2012. Teholla 1 saatiin tuloilmavirraksi 22,12 l/s ja poistoilmavirraksi 15,39 l/s. Teholla 2 saatiin tuloilmavirraksi 39,82 l/s ja poistoilmavirraksi 26,6 l/s.

4.2 Mittaustulosten analysointi

4.2.1 Kulutussuora reaaliaikaisten mittausten perusteella

Todellinen kulutussuora perustuu rakennuksen sähköenergian kulutuksen ja astetuntilukuun 25.1.2012–23.3.2012 reaaliaikaisen mittauksen ajalta (kuva 10). Energiankulutus kasvaa, kun lämmitystarveluku kasvaa. Tässä mittauksessa näkyy kuitenkin poikkeamia, joita myös tarkastellaan tässä työssä.



KUVA 10. Kulutussuora reaaliaikaisten mittausten perusteella

4.2.2 Ilmalämpöpumpun vaikutus kulutussuoraan

Kulutussuoran (kuva 10) kulma loivenee, kun ilmalämpöpumpun hyötysuhde (kuva 16) on suurempi kuin 1, ja jyrkkenee, jos hyötysuhde on alle 1. Ulkolämpötilan ollessa lämpimämpi kuin -20 °C ilmalämpöpumpun hyötysuhde paranee ja kokonaisenergiankulutus pienenee, ja se loiventaa kulutussuoraa.

4.2.3 Varaavan takan vaikutus kulutussuoraan

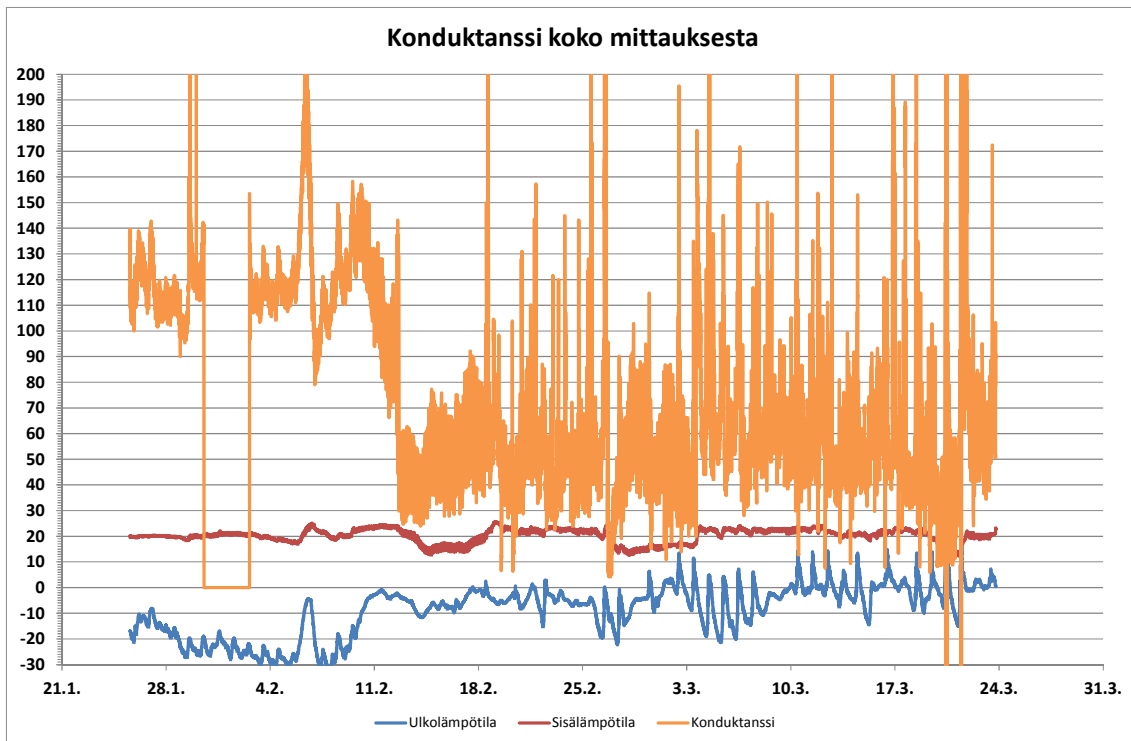
Varaavan takan luovuttama lämpöenergia vähentää ostettavan lämmitysenergian tarvetta ja siten se loiventaa kulutussuoran kulmaa.

4.2.4 Ilmastoinnin vaikutus kulutussuoraan

Ilmastoinnin puhaltimien tarvitsema teho vaikuttaa kulutussuoran kulmakertoimeen. Kulma loivenee pienemmällä teholla, toisaalta kulma jyrkkenee suuremmalla teholla käytettäessä.

4.3 Rakennuksen konduktanssi

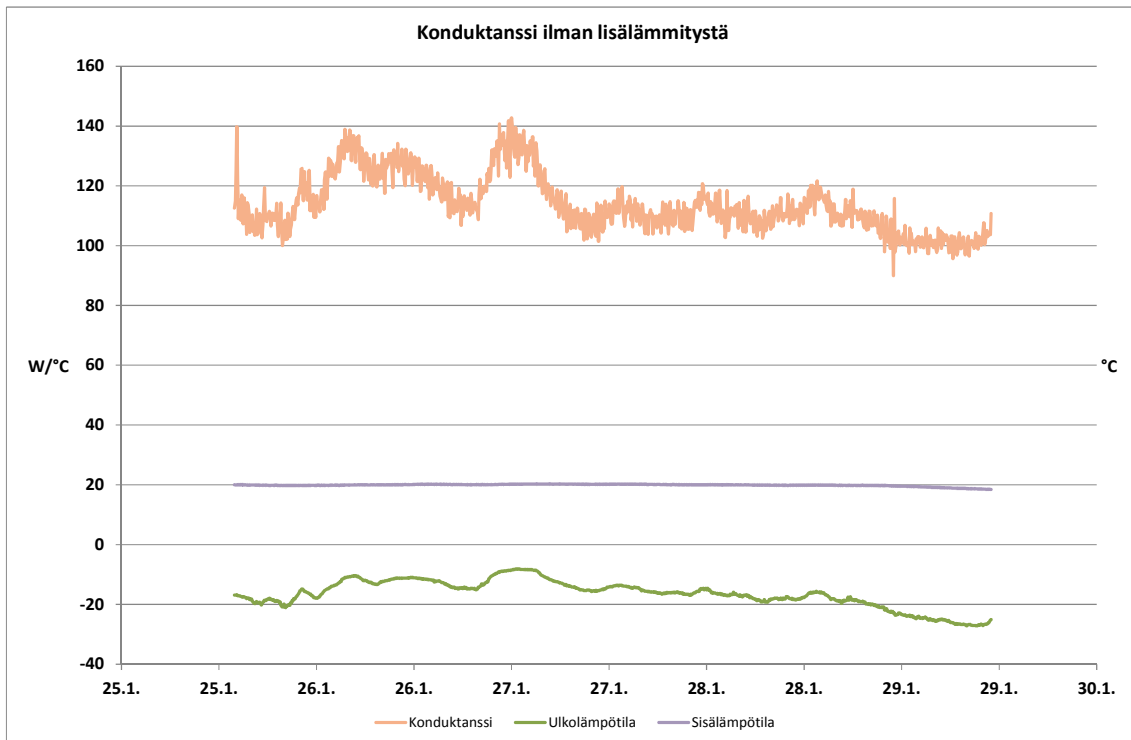
Kuvassa 11 nähdään rakennuksen lämpökonduktanssi koko mittauksen ajalta. Konduktanssin muutoksia pystytään seuraamaan kuvasta. Havaitaan myös konduktanssin suuret muutokset, kun lämpötilat muuttuvat nopeasti.



KUVA 11. Konduktanssi koko mittaukselta

4.3.1 Konduktanssi ilman lisälämmittimiä

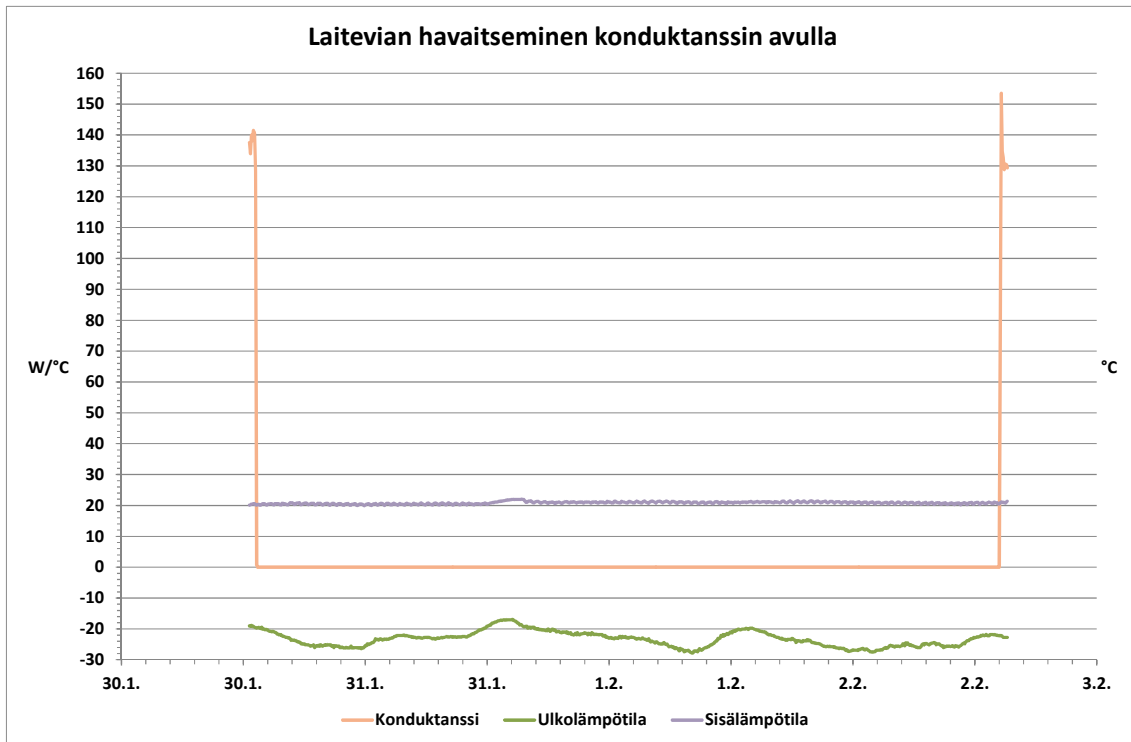
Kuvassa 12 konduktanssin keskiarvo on alussa 111 W/°C, kun rakennusta lämmitetään pelkästään sähköpattereilla. Mittauksen aikana rakennus on tyhjä. Havaitaan, että konduktanssi pysyy lähes vakiona, vaikka kokonaistehon tarve kasvaa lämpötilan laskiessa.



KUVA 12. Konduktanssi ilman lisälämmittimiä

4.3.2 Laitevian havaitseminen konduktanssin avulla

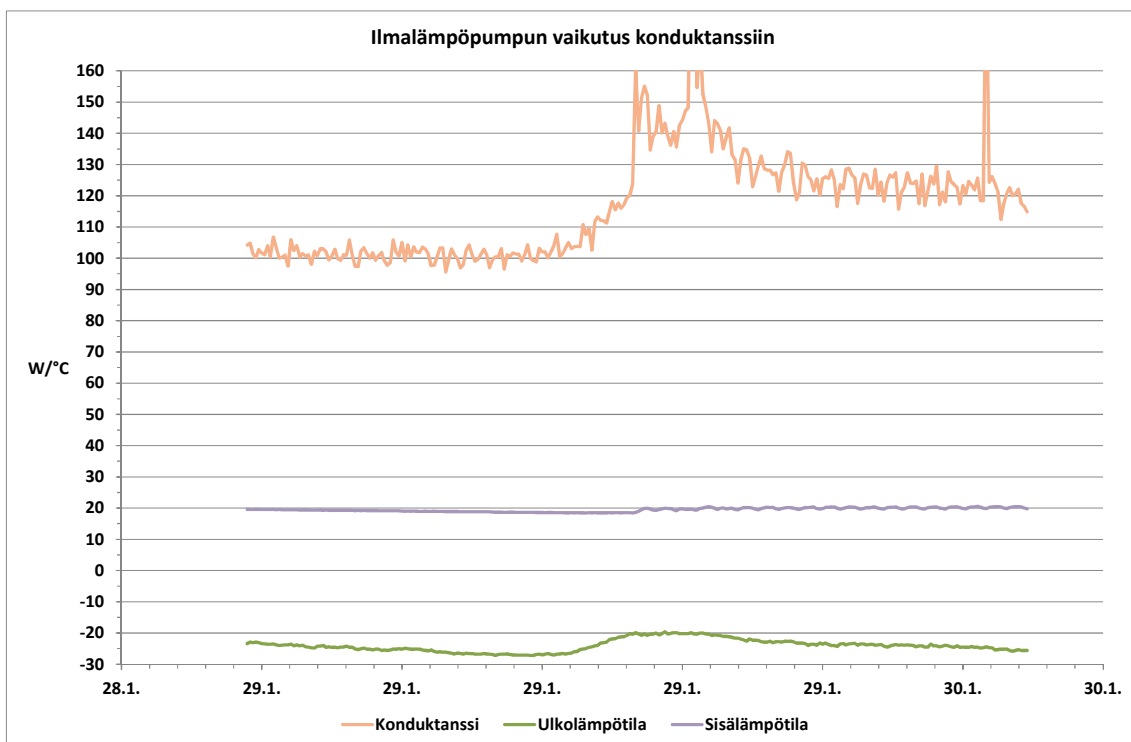
Kuvassa 13 nähdään, kuinka konduktanssi putoaa alas eikä sisälämpötila laske. Pakkasta on kuitenkin paikoin alle -20°C . Tästä huomataan, ettei tehon mittausta toimi ja vika saadaan korjattua.



KUVA 13. Laitevian havaitseminen

4.3.3 Ilmalämpöpumpun vaikutus konduktanssiin

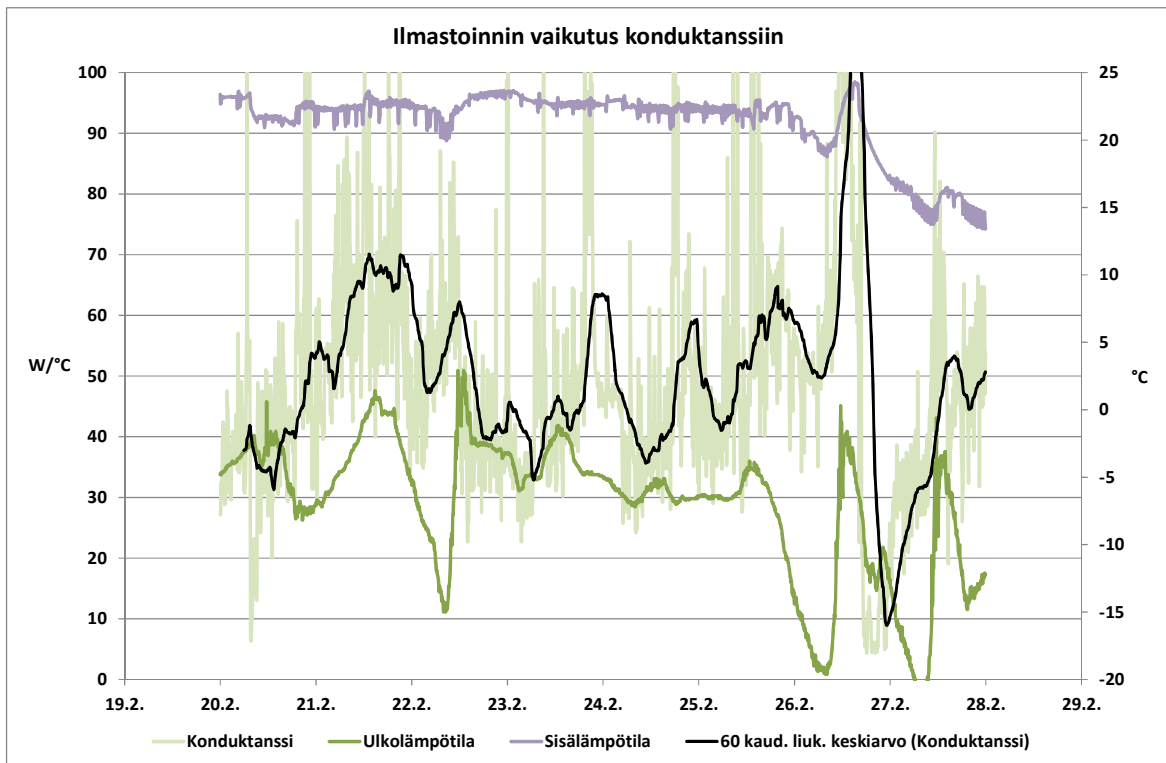
Kuvassa 14 konduktanssin arvo nousee keskiarvoon 140 W/°C, kun ilmalämpöpumppu laitetaan päälle 29.1.2012. Ulkolämpötila oli alle -20 °C, joten ilmalämpöpumpun hyötysuhde on alle 1. Tämän takia ilmalämpöpumppu lisää sähkönenergian kulutusta. Laskettu konduktanssin keskiarvo pelkällä sähköllä lämmitettäessä on 111 W/°C rakennuksen mitattu lämpökonduktanssi. Teoreettinen laskettu lämpökonduktanssi on 90 W/°C.



KUVA 14. ilmalämpöpumpun vaikutus konduktanssiin -20 °C:n ulkolämpötilassa

4.3.5 Ilmanvaihdon vaikutus konduktanssiin

Ilmastoinnin tehoa muutettiin 22.2.2012 asennosta 1 asentoon 2. Säädön vaikutus nähdään kuvassa 16. Ilmastoinnin teho vaihdettiin 26.2.2012 takaisin asentoon 1. Konduktanssi ja tehon käyrät kävivät alhaalla, mutta palasivat entiselle tasolle.



KUVA 16. Ilmanvaihdon vaikutus konduktanssiin

4.3.6 Ilmastoinnin lämmöntalteenoton hyötysuhde ja teho

Pyörivän lämmöntalteenoton teho ja tuloilman lämpötilahyötysuhde laskettiin, kun ilmavirrat oli mitattu. Tuloilman lämpötilan hyötysuhde laskettiin kaavalla 7. Poistoilman lämpötilan hyötysuhdetta ei laskettu, koska jäteilman lämpötilaa ei mitattu. Tuloilman ilmavirraksi saatiin 22,12 litraa sekunnissa ja poistoilman ilmavirraksi saatiin 39,82 litraa sekunnissa. Ilmanvaihtoluvuksi saatiin 0,54 1/h. Lämmöntalteenoton teho vaihteli nollan ja 1,1 kW:n välillä ulkolämpötilasta riippuen. Lämmöntalteenoton tuloilman lämpötilahyötysuhde oli alle -5 °C :n ulkolämpötilassa n. 87% (Taulukko 2).

TAULUKKO 2. Pyörivän lämmöntalteenoton lämpötilahyötysuhde ja teho

Ulkolämpötila	Hyötysuhde	kW
-30	0,87	1,13
-25	0,87	1,01
-20	0,87	0,92
-15	0,86	0,83
-10	0,88	0,70
-5	0,84	0,58
0	0,80	0,04
5	0,78	0,06
10	0,67	0,03

4.3.7 Ilmalämpöpumpun hyötysuhde eli COP

Hyötysuhde lasketaan valmistajan ilmoittamista arvoista kaavalla $\eta = \frac{P_{otto}}{P_{anto}}$.

Valmistajan taulukosta saadaan hyötysuhteet ulkolämpötilojen mukaan -10 °C:seen saakka. Taulukossa on otto ja antoteho, ulkolämpötila ja sisälämpötilaksi valittiin 20 °C (7). (Taulukko 3.)

TAULUKKO 3. Valmistajan ilmoittama COP

Ulko lpt [°C]	Sisä lpt [°C]	Otto [kW]	Anto [kW]	COP
-10	20	0,94	2,55	2,71
-5	20	0,98	3,01	3,07
0	20	1,03	3,46	3,35
6	20	1,08	4	3,70
10	20	1,12	4,36	3,89

Taulukossa 4 on ulkolämpötila, sisälämpötila, ottoteho ja COP. Näistä tuloksista nähdään, ettei ole taloudellisesti kannattavaa pitää ilmalämpöpumppua käynnissä alle -20 °C :n ulkolämpötilassa. Ilmalämpöpumpun COP voidaan laskea, kun tunnetaan rakennuksen lämpökonduktanssi ja rakennuksen sähköenergian kulutus ilmalämpöpumpun käydessä. Jos ilmalämpöpumpun COP on suurempi kuin 1, mitattu lämpökonduktanssi on alle 111 W/°C . Mitattu COP oli n. 88% valmistajan ilmoittamasta tehosta. Ulkolämpötilassa 0 °C mitattu COP on alhainen, koska pumppu käy vain osan ajasta.

TAULUKKO 4. Konduktanssierolla laskettu COP

Ulko lpt [°C]	Sisä lpt [°C]	Otto [W]	Anto [W]	COP
-25	21	0,94	0,81	0,86
-20	22	1,06	1,01	0,95
-15	25	1,28	1,62	1,27
-10	20	1,33	2,78	2,10
-5	22	1,00	2,70	2,70
0	20	0,82	1,88	2,29

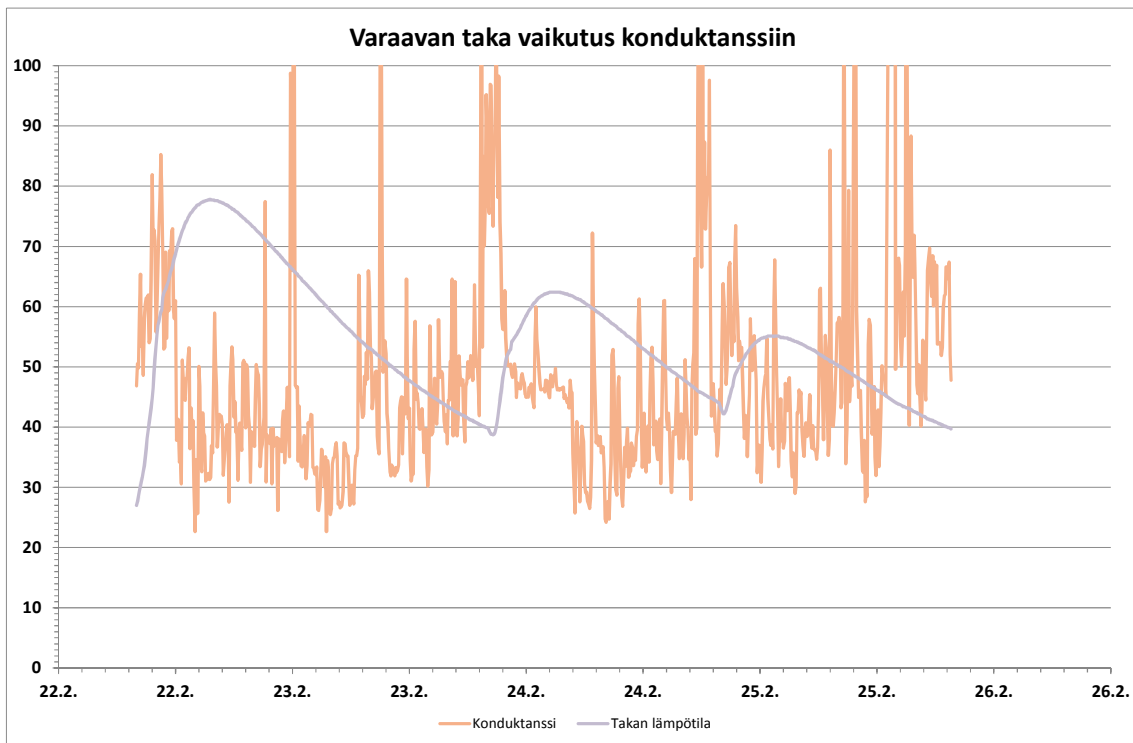
4.3.8 Varaavan takan lämpöenergian vaikutus lämpökonduktanssiin

Varaavaa takkaa lämmitettiin ajalla 22.2.2012–24.2.2012. Takassa poltettiin 62 dm³ koivunhalkoja. Ilmakuivan koivun lämpöarvo on 1 700 kWh/p-m³ (8). $Q=1\ 700\ \text{kWh/p-m}^3 * 0,062\ \text{p-m}^3 = 105\ \text{kWh}$. Lämmitysenergian tuotoksi saatiin laskemalla $105\ \text{kWh} * 0,675 = 71\ \text{kWh}$, kun hyötysuhde on aiemmin mitatun suuruinen.

Ilmalämpöpumppu oli myös käynnissä, joten ilmalämpöpumpun vaikutus konduktanssieroon laskettiin silloin kun pumppu antoi lämpöä. Ulkolämpötila oli –10 °C, joten COP oli 2,1. Tästä saatiin laskettua ilmalämpöpumpun tuottama lämpöenergia, joka vähennettiin kokonaisenergiasta.

Konduktanssieroksi saatiin 30 W/°C, lämpötilaero oli 27,5 °C ja ajaksi 83,7 h. Konduktanssierolla laskettiin takan lämmitysenergian tuotto kaavalla $Q = \Delta G * \Delta T * t = (30\ \text{W/}^\circ\text{C} * 27,5^\circ\text{C} * 83,7\ \text{h}) / 1000 = 69\ \text{kWh}$. Hyötysuhde laskettiin kaavalla $Q_{\text{otto}} / Q_{\text{anto}} = 105\ \text{kWh} / 69\ \text{kWh}$. Näin saatiin takan hyötysuhteeksi 65 %.

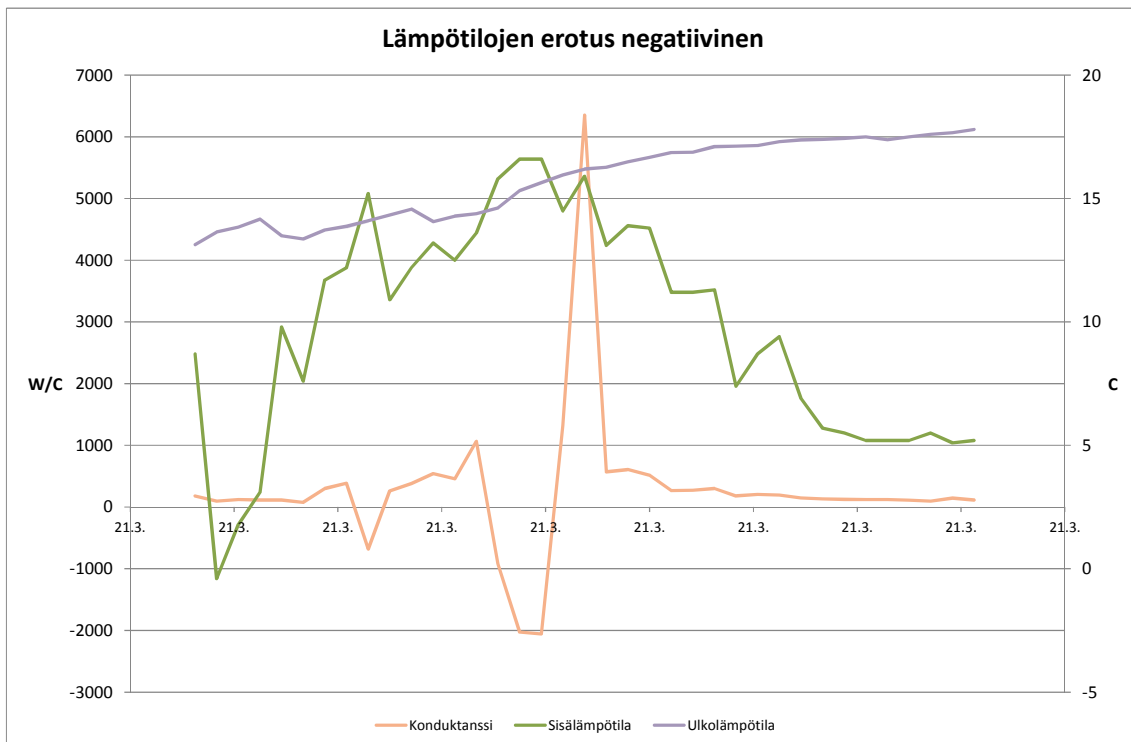
Kuvassa 18 kannattaa huomata takan konduktanssia huonontava vaikutus lämmitysvaiheessa. Savupellin sulkemisen jälkeen konduktanssi putoaa.



KUVA 18. Varaavan takan vaikutus konduktanssiin

4.4 Konduktanssi nopeissa lämpötilavaihteluissa

Mittauksen lopussa ulkolämpötila lämpenee auringon vaikutuksesta nopeasti sisälämpötilaa korkeammaksi. Tästä seuraa konduktanssin käyrään piikki. Konduktanssi on luotettava vain silloin kun ulko- ja sisälämpötila ovat vakioita riittävän pitkään. Kuvassa 19 ulkoilman lämpötila lämpenee auringon vaikutuksesta nopeasti ja konduktanssi nousee korkeaksi. Samanlaisia tapauksia on mittauksessa useita.



KUVA 19. Konduktanssi nopeissa lämpötilan vaihdoissa

5 YHTEENVETO

Lämmityslaitteiden erilaiset käyttötilanteet vaikuttivat kulutussuoran kulmaker-toimeen. Lämpökonduktanssin muutokset kertovat eri lämmönlähteiden ja sää-töjen vaikutuksen energian kulutukseen. Laitteiden ja mittareiden rikkoontumi-nen huomataan nopeasti.

Sisälämpötilan laskennassa käytettiin tehopainotteista ja tilavuuspainotteista keskilämpötilaa. Tässä tutkimuksessa päädyttiin lopulta käyttämään tilavuus-painotteista keskilämpötilaa.

Ilmastoinnin lämmöntalteenottokoneen tuloilmalämpötilahyötysuhde ja teho saatiin laskettua. Tuloilman lämpötila ei laskenut pakkasen puolelle kertaakaan mittauksen aikana.

Ilmalämpöpumpun hyötysuhde ja teho saatiin laskettua lämpökonduktanssin muutoksen avulla. Lämpöpumppua ei kannata pitää käynnissä alle -20 °C ulko-lämpötilassa.

Varaavan takan lämpöenergia laskettiin käsin ja konduktanssierolla. Tulokset olivat samaa suuruusluokkaa. Takan hyötysuhteeksi tuli myös lähes sama kuin savukaasumittaukseen perustuvassa laskennassa. Konduktanssi nousi takkaa lämmitettäessä, koska takan vaatima korvausilma jäähdytti huoneilmaa. Takalle pitäisi kanavoida palamisilma suoraan ulkoa.

Konduktanssierolla laskeminen onnistui vain, kun lämpötilat pysyivät vakiona riittävän pitkään.

LÄHTEET

1. ilma-ilmalämpöpumppu. 2012. Suomen lämpöpumppuyhdistys ry. Saatavissa:
http://www.sulpu.fi/index.php?option=com_content&task=view&id=22&Itemid=116. Hakupäivä 29.3.2012.
2. Pätittäin puulämmityksestä. 2012. Motiva. Saatavissa:
http://motiva.fi/files/210/Patkittain_puulammityksesta.pdf. Hakupäivä 29.3.2012.
3. Pyörivä LTO. 2012. Talotekniikka.eu. Saatavissa:
http://www.talotekniikka.eu/tate-lehti/fi_FI/lammontalteenotto/. Hakupäivä: 29.3.2012.
4. Seppänen, Olli 2001. Rakennusten lämmitys. Jyväskylä: Suomen LVI-liitto ry.
5. RakMK osa D3. 2010. Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D3. Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2010. Ympäristöministeriö.
6. RakMK osa C4. 2003. Suomen rakentamismääräyskokoelma osa C4. Lämmöneristys. Lämmöneristys ohjeet 2003. Ympäristöministeriö.
7. Niskala, Mikko 2011. T660303 Lämmitystekniikka 3 3 op., Opintojakson oppimateriaali syksyllä 2011. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö
8. Daikin air conditioning. 2012. Daikin ilmalämpöpumput ja laitteet. Saatavissa:
http://www.pihapiiri.fi/wmanage/files.php?download=true&file_id=2683. Hakupäivä:12.4.2012.
9. Pirinen, H.1997. Klapu.com. Saatavissa:
<http://www.pamapo.com/hyodyllista/polttopuun-lampoarvo>. Hakupäivä: 2.4.2012.

10. Kane 900 Plus. 2006. JMW Limited. Saatavissa:
http://www.jmwlimited.co.uk/manuals/Kane_900Plus_Operating_Manual.pdf.
Hakupäivä 27.4.2012.
11. Seppänen, Olli, Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. 2008. Espoo: Suomen LVI-liitto ry.
12. Niskala, Mikko 2012, Lehtori, OAMK, Tekniikan yksikkö. Haastattelu keväällä 2012.
13. EL-USB 2. 2012. DATAQ Instruments Inc. Saatavissa:
<http://www.dataq.com/support/documentation/pdf/datasheets/el-usb-2-plus-data-logger.pdf>. Hakupäivä 23.5.2012.

LÄHTÖTIETOMUISTIO

Tekijä Petri Pirttilä t8pipe00@students.oamk.fi

Tilaaaja OAMK

Tilaaajan yhdyshenkilö ja yhteystiedot Mikko Niskala mikko.niskala@oamk.fi , Ilkka Räinen ilkka.raina@oamk.fi

Työn nimi Energiakulutuksen arviointi kulutussuoran perusteella

Työn kuvaus Mitataan sisä- ja ulkolämpötilat. Mitataan varaavan takan, ilmalämpöpumpun ja pyörivän LTO:n tuottama teho. Lasketaan rakennuksen lämpökonduktanssi. Tulosten perusteella tehdään kulutussuora, jota voi verrata reaaliaikaiseen seurantamittaukseen.

Työn tavoitteet Pystyykö energiankulutusta seuraamaan kulutussuoran avulla.

Selvitetään miten tuuli ja auringonsäteily vaikuttaa energian kulutukseen.

Tavoiteaikataulu Ensimmäiset energiamittaukset 2011 syksy. Easylogger mittaukset mitataan lämmityskaudella 2011–2012. Virtamittaukset 20.1.2012 alkaen.

Päiväys ja allekirjoitukset

LÄMPÖHÄVIÖRAPORTTI

Päiväys: 13.3.2012 (09:05:26)

TILA: 2

Tilan nimitys: KEITTIÖ

Huoneisto:

Kerros: Piippo_Mokki_mittakuvat_lämpöhäviöt.drw

Tilan pinta-ala: 10 m²

Tilan ilmatilavuus: 0 m³

Tilan korkeus: 2.28 m

Sisälämpötila = 20.0 °C, Ulkolämpötila = -32.0 °C

TILAN LÄMPÖHÄVIÖTIEDOT

Ulkoseinä: Ala = 5.1 m², Paksuus = 190 mm, U-arvo = 0.418 W/(m²°C), dt = 52, P = 110 W

Alapohja: Ryömintätila, Ala = 9.9 m², U-arvo = 0.176 W/(m²°C), dt = 20, P = 35 W

Tuloilma: Ilmamäärä = 6 l/s, dt = 30, P = 213 W

KORJAUSKERROIN = 1.0

Lämpöhäviö/m²: 35.8 W/m²

Lämpöhäviö/m³: 0.0 W/m³

YHTEISLÄMPÖHÄVIÖ P = 358 W

TILA: 3

Tilan nimitys: TUPA

Huoneisto:

Kerros: Piippo_Mokki_mittakuvat_lämpöhäviöt.drw

Tilan pinta-ala: 26 m²

Tilan ilmatilavuus: 78 m³

Tilan korkeus: 3.01 m

Sisälämpötila = 20.0 °C, Ulkolämpötila = -32.0 °C

TILAN LÄMPÖHÄVIÖTIEDOT

Ovi: Ala = 0.7 x 2.1 m², U-arvo = 1 W/(m²°C), dt = 52, P = 76 W

Ikkuna: Ala = 1.2 x 1.0 m², U-arvo = 1.8 W/(m²°C), dt = 52, P = 112 W

Ikkuna: Ala = 1.1 x 1.0 m², U-arvo = 1.8 W/(m²°C), dt = 52, P = 108 W

Ikkuna: Ala = 1.4 x 1.0 m², U-arvo = 1.8 W/(m²°C), dt = 52, P = 136 W

Ulkoseinä: Ala = 32.3 m², Paksuus = 190 mm, U-arvo = 0.418 W/(m²°C), dt = 52, P = 701 W

Alapohja: Ryömintätila, Ala = 25.9 m², U-arvo = 0.176 W/(m²°C), dt = 20, P = 91 W

Yläpohja: Ulkoilmaa vasten, Ala = 25.9 m², U-arvo = 0.121 W/(m²°C), dt = 52, P = 163 W

Tuloilma: Ilmamäärä = 6 l/s, dt = 30, P = 213 W

Vuotoilma: Tilavuus = 78.2 m³, Kerroin = 0.2 1/h, dt = 52, P = 266 W

KORJAUSKERROIN = 1.0

Lämpöhäviö/m²: 71.8 W/m²

Lämpöhäviö/m³: 23.9 W/m³

YHTEISLÄMPÖHÄVIÖ P = 1867 W

TILA: 4

Tilan nimitys: TK

Huoneisto:

Kerros: Piippo_Mokki_mittakuvat_lämpöhäviöt.drw

Tilan pinta-ala: 3.5 m²

Tilan ilmatilavuus: 8 m³

Tilan korkeus: 2.28 m

Sisälämpötila = 20.0 °C, Ulkolämpötila = -32.0 °C

TILAN LÄMPÖHÄVIÖTIEDOT

Ikkuna: Ala = 0.4 x 1.2 m², U-arvo = 1 W/(m²°C), dt = 52, P = 25 W

Ovi: Ala = 0.7 x 2.1 m², U-arvo = 1 W/(m²°C), dt = 52, P = 82 W

Ulkoseinä: Ala = 10.1 m², Paksuus = 190 mm, U-arvo = 0.418 W/(m²°C), dt = 52, P = 220 W

Alapohja: Ryömintätila, Ala = 3.5 m², U-arvo = 0.182 W/(m²°C), dt = 20, P = 13 W

Yläpohja: Ulkoilmaa vasten, Ala = 3.5 m², U-arvo = 0.13 W/(m²°C), dt = 52, P = 24 W

Tuloilma: Ilmamäärä = 6 l/s, dt = 30, P = 213 W

Vuotoilma: Tilavuus = 8.0 m³, Kerroin = 0.2 1/h, dt = 52, P = 27 W

KORJAUSKERROIN = 1.0

Lämpöhäviö/m²: 172.6 W/m²

Lämpöhäviö/m³: 75.5 W/m³

YHTEISLÄMPÖHÄVIÖ P = 604 W

TILA: 5

Tilan nimitys: WC

Huoneisto:

Kerros: Piippo_Mokki_mittakuvat_lämpöhäviöt.drw

Tilan pinta-ala: 3 m²

Tilan ilmatilavuus: 6.5 m³

Tilan korkeus: 2.28 m

Sisälämpötila = 20.0 °C, Ulkolämpötila = -32.0 °C

TILAN LÄMPÖHÄVIÖTIEDOT

Ulkoseinä: Ala = 11.9 m², Paksuus = 250 mm, U-arvo = 0.164 W/(m²°C), dt = 52, P = 101 W

Alapohja: Ryömintätila, Ala = 2.8 m², U-arvo = 0.182 W/(m²°C), dt = 20, P = 10 W

Yläpohja: Ulkoilmaa vasten, Ala = 2.8 m², U-arvo = 0.121 W/(m²°C), dt = 52, P = 17 W

Tuloilma: Ilmamäärä = 6 l/s, dt = 30, P = 213 W

Vuotoilma: Tilavuus = 6.3 m³, Kerroin = 0.2 1/h, dt = 52, P = 22 W

KORJAUSKERROIN = 1.0

Lämpöhäviö/m²: 121.0 W/m²

Lämpöhäviö/m³: 55.8 W/m³

YHTEISLÄMPÖHÄVIÖ P = 363 W

TILA: 6

Tilan nimitys: MH2

Huoneisto:

Kerros: Piippo_Mokki_mittakuvat_lämpöhäviöt.drw

Tilan pinta-ala: 10 m²

Tilan ilmatilavuus: 23.5 m³

Tilan korkeus: 2.28 m

Sisälämpötila = 20.0 °C, Ulkolämpötila = -32.0 °C

TILAN LÄMPÖHÄVIÖTIEDOT

Ikkuna: Ala = 1.2 x 1.0 m², U-arvo = 0.8 W/(m²°C), dt = 52, P = 50 W

Ikkuna: Ala = 1.1 x 1.0 m², U-arvo = 1 W/(m²°C), dt = 52, P = 60 W

Ulkoseinä: Ala = 12.4 m², Paksuus = 190 mm, U-arvo = 0.418 W/(m²°C), dt = 52, P = 269 W

Alapohja: Ryömintätila, Ala = 10.2 m², U-arvo = 0.176 W/(m²°C), dt = 20, P = 36 W

Yläpohja: Ulkoilmaa vasten, Ala = 10.2 m², U-arvo = 0.13 W/(m²°C), dt = 52, P = 69 W

Tuloilma: Ilmamäärä = 6 l/s, dt = 30, P = 213 W

Vuotoilma: Tilavuus = 23.3 m³, Kerroin = 0.2 1/h, dt = 52, P = 79 W

KORJAUSKERROIN = 1.0

Lämpöhäviö/m²: 77.6 W/m²

Lämpöhäviö/m³: 33.0 W/m³

YHTEISLÄMPÖHÄVIÖ P = 776 W

TILA: 7

Tilan nimitys: MH

Huoneisto:

Kerros: Piippo_Mokki_mittakuvat_lämpöhäviöt.drw

Tilan pinta-ala: 13 m²

Tilan ilmatilavuus: 30 m³

Tilan korkeus: 2.28 m

Sisälämpötila = 20.0 °C, Ulkolämpötila = -32.0 °C

TILAN LÄMPÖHÄVIÖTIEDOT

Ikkuna: Ala = 1.5 x 1.2 m², U-arvo = 0.8 W/(m²°C), dt = 52, P = 75 W

Ikkuna: Ala = 0.9 x 1.2 m², U-arvo = 1 W/(m²°C), dt = 52, P = 56 W

Ulkoseinä: Ala = 22.0 m², Paksuus = 250 mm, U-arvo = 0.164 W/(m²°C), dt = 52, P = 187 W

Alapohja: Ryömintätila, Ala = 13.1 m², U-arvo = 0.176 W/(m²°C), dt = 20, P = 46 W

Yläpohja: Ulkoilmaa vasten, Ala = 13.1 m², U-arvo = 0.07 W/(m²°C), dt = 52, P = 48 W

Tuloilma: Ilmamäärä = 6 l/s, dt = 30, P = 213 W

Vuotoilma: Tilavuus = 30.0 m³, Kerroin = 0.2 1/h, dt = 52, P = 102 W

KORJAUSKERROIN = 1.0

Lämpöhäviö/m²: 56.0 W/m²

Lämpöhäviö/m³: 24.3 W/m³

YHTEISLÄMPÖHÄVIÖ P = 728 W

YHTEENSÄ	65.5 m ²	146.0 m ³	71.7 W/m ²	32.2 W/m ³	4696
----------	---------------------	----------------------	-----------------------	-----------------------	------

W