



Ilkka Tyynelä

# TULEVAISUUDEN ENERGIATALOUSMÄÄRÄYKSET TÄYTTÄVÄ PIENTALO SÄHKÖENERGIALLA LÄMMITETTYNÄ

TULEVAISUUDEN ENERGIATALOUSMÄÄRÄYKSET TÄYTTÄVÄ  
PIENTALO SÄHKÖENERGIALLA LÄMMITETTYNÄ

Ilkka Tyynelä  
Opinnäytetyö  
Syksy 2011  
Talotekniikan koulutusohjelma  
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu  
Talotekniikka, LVI-suunnittelu

---

Tekijä: Ilkka Tyynelä

Opinnäytetyön nimi: Tulevaisuuden energiatalousmääräykset täyttävä pientalo sähköenergialla lämmitettynä

Työn ohjaaja: Pirjo Kimari

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: syksy 2011

Sivumäärä: 40 + 1 liitettä

---

Opinnäytetyössä tutkittiin uusien vuonna 2012 voimaan tulevien rakentamismääräyskokoelman osien D3 ja D5 vaikutusta pientalorakentamiseen. Työn tavoitteena oli tutkia, millaisin ilmanvaihto- ja rakennusteknisin toimenpitein sähkölämmitteinen pientalo täyttää tulevaisuuden energiamääräykset. Osan D3 mukaan tutkittava pientalo täyttää energiamääräykset, kun E-luku eli energialuku on alle 204 kWh/m<sup>2</sup>a. Ratkaisujen investointi kustannukset pyrittiin selvittämään.

Työ aloitettiin laskemalla rakennuksen vuotuinen energiankulutus rakentamismääräyskokoelman osien D3 ja D5 vertailuarvojen mukaan. Vertailuarvoilla laskettaessa pientalon E-luvuksi saatiin 280,77 kWh/m<sup>2</sup>a, eli vertailuarvoilla laskettaessa pientalon energialuku ylittää selvästi sallitun tason. Työssä tarkasteltiin seitsemää eri parannustoimenpidettä, jotka olivat varaava tulisija, parempi ilmanvaihtokone, rakennuksen tiiviiden parantaminen, ilmalämpöpumppu ja ikkunoiden, ovien ja yläpohjan U-arvot. Jokaisen parannustoimenpiteen vaikutukset pientalon ostoenergiankulutukseen ja energialukuun selvitettiin. Parannustoimenpiteistä muodostettiin kaksi ratkaisuesimerkkiä, joilla pientalon energialuku saatiin määräysten edellyttämälle tasolle.

Ratkaisuesimerkeillä pientalon energialuvuksi saatiin 202,98 kWh/m<sup>2</sup>a ja 199,95 kWh/m<sup>2</sup>a. Molemmissa tapauksissa pientalon ostoenergian kulutus pieneni noin 15 % ja investointikustannukset olivat noin 7 800 euroa. Saaduista tuloksista voidaan nähdä, että uudet energiamääräykset mahdollistavat alle 120 m<sup>2</sup> sähkölämmitteisen pientalon toteuttamisen varsin kohtuullisin kustannuksin. Uudet energiamääräykset suosivat ympäristöystävällisiä lämmitysmuotoja. E-luvun laskennassa käytetään RakMK osan D3 energiamuodoille ilmoittamia painotettuja energiakertoimia. Pienin painotettu energiakerroin on uusiutuvilla polttoaineilla. Näin ollen tärkeimpänä parannustoimenpiteenä voidaan pitää varaavaa tulisijaa. Varaavalla tulisijalla saadaan merkittävä osa rakennuksen lämmitysenergian tarpeesta täytettyä uusiutuvalla polttoaineella.

---

Asiasanat: Sähköenergia, energiankulutus, energialuku, energiatehokkuus

# SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ	3
SISÄLTÖ	4
1 JOHDANTO	6
2 LÄHTÖTIEDOT	8
2.1 Rakenteet	8
2.2 Ilmanvaihto	9
2.3 Lämmitys	9
2.4 Lämmin käyttövesi	9
3 ENERGIANKULUTUKSEN LASKENTA	10
3.1 Tilojen lämmitysenergian tarve	11
3.1.1 Rakenteiden läpi johtuva energia	11
3.1.2 Vuotoilman tarvitsema lämmitysenergia	11
3.1.3 Tuloilman lämpeneminen sisätilassa	12
3.1.4 Yhteenveto tilojen lämmitysenergian tarpeesta	12
3.2 Lämmitysenergian nettotarve	13
3.2.1 Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve	13
3.2.2 Käyttöveden lämmityksen nettotarve	14
3.2.3 Tilojen lämmitysenergian nettotarve	14
3.3 Tilojen ja ilmanvaihdon jäähdytysenergian tarve	15
3.4 Laitteiden ja valaistuksen sähkökulutus	15
3.4.1 Laitteiden sähköenergiankulutus	15
3.4.2 Valaistuksen sähköenergiankulutus	16
3.5 Rakennuksen lämpökuorma	16
3.5.1 Lämpökuorma henkilöistä	16
3.5.2 Valaistuksen ja sähkölaitteiden lämpökuorma	16
3.5.3 Auringon säteilyenergia	17
3.5.4 Lämpimän käyttöveden kierron ja varastoinnin lämpökuorma	18
3.5.5 Lämpökuormista hyödynnettävä energia	18
3.6 Lämmitysjärjestelmän energiankulutus	19
3.7 Ilmanvaihtojärjestelmän energiankulutus	21
3.8 Rakennuksen ostoenergiankulutus	21
3.9 Rakennuksen E-luku	22

4 ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMINEN	23
4.1 Ilmanvaihtokoneen parannus	23
4.2 Varaava tulisija	24
4.3 Ilmanvuotoluku	26
4.4 Ikkunan ja ovien U-arvon parannus	26
4.5 Yläpohjan U-arvon parantaminen	28
4.6 Ilma-ilmalämpöpumppu	29
4.7 Parannustoimenpiteiden yhteenveto	31
5 YHTEENVETO	34
LÄHTEET	37
LIITTEET	
Liite 1. Yläpohjan lämmönläpäisykertoimen määrittäminen	

# 1 JOHDANTO

Energiankulutus kasvaa koko maailmassa jatkuvasti. Noin 40 prosenttia energiankulutuksesta ja hiilidioksidipäästöistä Suomessa ja EU:ssa aiheutuu rakennusten energiankulutuksesta. (1.)

Rakennusten energiatehokkuuden parantaminen pohjautuu YK:n ilmastosopimukseen, sitä tarkentavaan Kioton pöytäkirjaan ja Suomen ilmasto- ja energiastrategiaan. Sopimusten tavoitteena on saada ilmakehän kasvihuonekaasupitoisuudet sellaiselle tasolle, etteivät ne vaikuta haitallisesti maapallon ilmastoon. Suomi hyväksyi ilmastosopimuksen vuonna 1992, ja se tuli voimaan 1994. (2.)

Ilmastosopimusta tarkentava Kioton pöytäkirja hyväksyttiin vuonna 1997, ja EU-maat ratifioivat sopimuksen vuonna 2002. Tarkennuksineen se tuli lopullisesti voimaan 16.2.2005. Näiden sopimusten tarkoituksena on vähentää kasvihuonekaasujen päästöjä teollisuusmaissa vuoden 1990 tasosta 5,2 % vuosina 2008 - 2012. Vähennysveloitteet on jaettu maakohtaisesti ja ne ovat erisuuruisia. EU-maiden osalta tämä tarkoittaa keskimäärin 8 %:n vähennysveloitetta vuoden 1990 tasosta. Suomen tavoite on pitää kasvihuonekaasu päästöt vuosien 2008 - 2012 aikana vuoden 1990 tasolla. (3.)

Suomen pitkän ajan ilmasto- ja energiastrategia valmistui vuonna 2008 ja siinä selviteltiin, millä keinoin Suomi pystyy täyttämään EU:n asettamat ilmasto- ja energiapoliittiset tavoitteet. EU:n tavoitteena on vähentää kasvihuonekaasujen päästöjä vuoden 2005 tasosta vähintään 20 % vuoteen 2020 mennessä. Lisäksi tavoitteena on energiatehokkuuden parantaminen 20 %:lla. Suomi linjasi tavoitteekseen energiankulutuksen kasvun pysäyttämisen ja kasvun kääntämisen laskuun. Selvityksen perusteella suurimmat vähennystoimenpiteet voidaan kohdistaa rakennuksiin, asumiseen ja jätehuoltoon. (4.)

Euroopan parlamentti hyväksyi direktiivin 2002/91/EY rakennusten energiatehokkuudesta vuonna 2002. Suomessa direktiivi saatettiin voimaan vuoden 2008 alussa, jolloin tuli voimaan laki rakennusten kylmälaitteiden energiatehokkuuden tarkastamisesta sekä laki uudisrakennusten energiatodistuksesta. Samalla tulivat voimaan ympäristöministeriön laatimat asetukset rakennusten energiatodistuksesta ja energiatehokkuuden laskentamenetelmästä.

Rakennusten käyttöikä on pitkä, ja näin ollen rakennusten energiankulutus näkyy pitkään kokonaisenergian kulutuksessa. Täyttääkseen energiankulutuksen ja kasvihuonekaasujen vähennystavoitteet hyväksyi EU:n parlamentti uuden tiukemmat määräykset sisältävän direktiivin rakennusten energiatehokkuudesta (2010/31/EU). Direktiivi 2010/31/EU tuli voimaan 18.6.2010. Tämän direktiivin pohjalta on Suomen ympäristöministeriö laatinut uudet rakentamismääräykset koskien rakennusten energiatehokkuutta (RakMK osa D3) ja rakennuksen energiatehokkuuden laskenta menetelmää (RakMK osa D5). (5.)

Uudet energiatehokkuutta parantavat rakentamismääräykset on koottu rakentamismääräyskokoelman osaan D3. Ympäristöministeriö julkaisi uudet määräykset 30.3.2011, ja ne tulevat voimaan 1.7.2012. Uudet määräykset tiukentavat uudisrakentamisen energiatehokkuusmääräyksiä noin 20 % verrattuna edellisiin vuonna 2010 voimaan tulleisiin rakentamismääräyksiin.

Määräykset koskevat uudisrakentamista. Määräysten suurin muutos on siirtyminen kokonaisenergiatarkasteluun, jossa eri rakennustyypeille määrätään kokonaisenergiankulutuksen ylärajat. Energiankulutusta ilmaistaan energialuvulla eli E-luvulla. E-luvun laskennassa otetaan huomioon rakennuksen koko energiankulutuksen lisäksi energian tuotantomuoto. Eri energiamuodoille on annettu kertoimet jotka kuvaavat luonnonvarojen käyttöä. (6.)

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää, millaisin ilmanvaihtoteknisin ja rakennusteknisin toimenpitein sähkölämmitteinen pientalo täytyy toteuttaa, jotta se täyttäisi uudistuvat vuonna 2012 voimaan tulevat energiatehokkuusmääräykset. Investointikustannusvaikutukset pyritään selvittämään.

## 2 LÄHTÖTIEDOT

Energialaskelma on tehty pientalolle, joka sijoitettiin säävyöhykkeelle I, Helsinki-Vantaa. Rakennuksen lämmitetty nettoala on  $105 \text{ m}^2$  ja ilmatilavuus  $395 \text{ m}^3$ . Lämmitetyllä nettoalalla tarkoitetaan lämmitettyjen kerrostasojen summaa, joka lasketaan ympäröivien ulkoseinien sisäpintojen mukaan. (7, s. 5.)

Rakennus kuuluu käyttötarkoitukseluokkaan 1, joten sen suurin sallittu energialuku eli E-luku on  $204 \text{ kWh/m}^2$ . Säätiötöinä on käytetty rakennusmääräyskoelman osan D3 liitteen II säävyöhykkeen I tietoja. Huonelämpötilan asetusarvona käytettiin  $21 \text{ °C}$ . Rakennuksen energialaskelman lähtöarvoina käytettiin rakentamismääräyskoelman osassa D3 esitettyjä lämpöhäviölaskennan vertailuarvoja. (7, s. 9, 19.)

### 2.1 Rakenteet

Rakenteiden lämmönläpäisykertoimina käytettiin RakMK osan D3 kohdassa 2.5.4 annettuja rakenteiden lämmönläpäisykertoimia. U-arvo määrittää lämpövirran tiheyttä, joka jatkuvuustilassa läpäisee rakenteen, kun lämpötilaero rakenteen eri puolilla olevilla ilmatiloilla on yksikön suuruinen. Rakenteiden pinta-alat laskettiin pientalon pohjakuvista (taulukko 1). Rakennuksen alapohja on maan vastainen. (7, s. 5.)

TAULUKKO 1. Rakenteiden pinta-alat ja lämmönläpäisykertoimet

Rakenne	A ( $\text{m}^2$ )	U ( $\text{W/m}^2\text{K}$ )
Seinät	86,39	0,17
Ikkunat koillinen	8,17	1
Ikkunat kaakko	0	1
Ikkunat lounas	5,16	1
Ikkunat luode	0,29	1
Ovet	5,88	1
Yläpohja	105	0,09
Alapohja	105	0,16

## 2.2 Ilmanvaihto

Ilmanvaihtojärjestelmänä toimii koneellinen tulo- ja poistoilmajärjestelmä, jonka ominaissähköteho on  $2,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ . Lämmöntalteenoton poistoilman vuosihyötysuhteena käytetään 45 %. Ilmanvaihdon käyntiaika saadaan RakMK osan D3 taulukosta 3. Pientalolle ilmanvaihdon käyntiaika on 24 h. Tuloilman sisäänpuhalluslämpötila on  $18 \text{ }^\circ\text{C}$ . Rakennuksen tulo- ja poistoilmavirrat ovat yhtä suuret  $0,042 \text{ m}^3/\text{s}$ . (7, s. 15 - 19; 8, s. 19.)

## 2.3 Lämmitys

Lämmitysjärjestelmänä toimii sähköinen lattialämmitys. Lämmitysjärjestelmän vuotuinen hyötysuhde saadaan RakMK osan D5 taulukosta 6.1 (8, s. 37). Maata vasten rajoittuvassa lattiarakenteessa vuotuinen hyötysuhde on 0,87.

## 2.4 Lämmin käyttövesi

Lämpimän käyttöveden lämmittäminen suoritetaan lämminvesivaraajassa sähkövastuksen avulla. Rakennuksen lämpimän käyttöveden ominaiskulutus saadaan RakMK osan D3 taulukosta 5 (7, s. 21). Ominaiskulutus on  $600 \text{ dm}^3/(\text{m}^2\text{a})$ . Kertomalla ominaiskulutus lämmitetyllä nettoalalla ja jakamalla kulutus vuorokauden mittaisiin ajanjaksoihin saatiin lämpimän veden kuluksi  $173 \text{ l/vrk}$ . Lämminvesivaraajan tilavuudeksi valittiin 300 litraa, jotta kulutuspiikkienkin aikana lämmintä vettä on riittävästi.

### 3 ENERGIANKULUTUKSEN LASKENTA

Energialaskelma on tehty uuden vuonna 2012 voimaan tulevan rakentamismääräyskokoelman osien D3 ja lausunnolla olevan D5 mukaan. Kyseinen laskelma on energiataselaskelma, jossa rakennuksen energiankulutus laskeaan kuukausittain. Energiataselaskelmassa kuukauden aikana rakennuksesta poistuva energiamäärä on sama kuin rakennukseen tuleva energiamäärä. Vuotuinen energiankulutus on kuukausikulutusten summa. Laskelma soveltuu jäähdyttämättömien rakennusten tai rakennusten, joissa on yksittäisiä jäähdytettyjä tiloja, energialaskentaan. (8, s. 10.)

Tässä laskelmassa sähköenergialla lämmitetyn pientalon laskennallista energiankulutusta tutkittiin uusien vuonna 2012 voimaan tulevien rakentamismääräyskokoelman osien D3 ja D5 vähimmäismääräysten ja vertailuarvojen mukaan. Laskenta tehtiin käyttäen Oulun seudun ammattikorkeakoulussa opiskelevan Jarkko Revon omassa opinnäytetyössään tekemää Excel-pohjaista laskentatyökalua (21).

Energialaskelma on tehty vaiheittain seuraavasti:

1. tilojen lämmitysenergian tarve
2. rakennuksen lämmitysenergian nettotarve
3. tilojen ja ilmanvaihdon jäähdytysenergian nettotarve
4. laitteiden ja valaistuksen energiankulutus
5. lämpökuormat
6. lämmitysjärjestelmän energiankulutus
7. ilmanvaihtojärjestelmän energiankulutus
8. rakennuksen ostoenergiankulutus
9. energiakertoimella painotettu rakennuksen ostoenergiankulutus eli E-luku.

### **3.1 Tilojen lämmitysenergian tarve**

Tilojen lämmitysenergian tarve lasketaan pientalon lämmitetyille sisätiloille. Tilojen lämmitysenergiatarve muodostuu rakenteiden johtumislämpöhäviöistä, vuotoilman lämpöhäviöstä sekä korvaus- ja tuloilman lämpenemisestä tilassa huonelämpötilaan (8, s. 15).

#### **3.1.1 Rakenteiden läpi johtuva energia**

Johtumislämpöhäviöt laskettiin RakMK:n osan D5 luvun 3 mukaan. Johtumislämpöhäviöt muodostuvat ylä- ja alapohjan, ikkunoiden, ulko-ovien ja ulkoseinien ominaislämpöhäviöistä. Rakenteiden U-arvot ja pinta-alat löytyvät lähtötiedoista. Rakennuksen sisälämpötilana käytettiin 21 °C ja säätietoina RakMK:n osan D3 liitteen II säävyöhykkeen I tietoja. Johtumislämpöhäviöksi rakennusvaipan läpi saatiin 5 874,70 kWh vuodessa. (8, s. 15 - 16.)

Maanvastaisen alapohjan johtumislämpöhäviö laskennassa maalajina käytettiin salaojitettua hiekkaa ja soraa. Johtumislämpöhäviöksi saatiin 2 257,88 kWh vuodessa. (8, s. 16 - 17.)

#### **3.1.2 Vuotoilman tarvitsema lämmitysenergia**

Vuotoilman lämpöhäviön laskennassa ilmanvuotolukuna  $q_{50}$  käytettiin RakMK:n osan D3 kohdan 2.5.7 vertailuarvoa, joka on  $2,0 \text{ m}^3/\text{h m}^2$ . Ilmanvuotoluku kuvaa rakennuksen ilmatiiveyttä. Uusien rakennusmääräysten mukaan vaipan vuotoilma suhteutetaan ilmatilavuuden sijasta rakennusvaipan pinta-alan suhteen. Ilmanvuotoluku ilmaisee siis rakennukseen virtaavan ilmavirran suuruutta vaipan vuotoreittien kautta kun paine-ero sisä- ja ulkoilman välillä on 50 Pa. Laskenta tehtiin RakMK:n osan D5 kohdan 3.3 mukaan ja vuotoilman lämpöhäviöksi saatiin 810,05 kWh vuodessa. (7, s.14; 8, s. 17.)

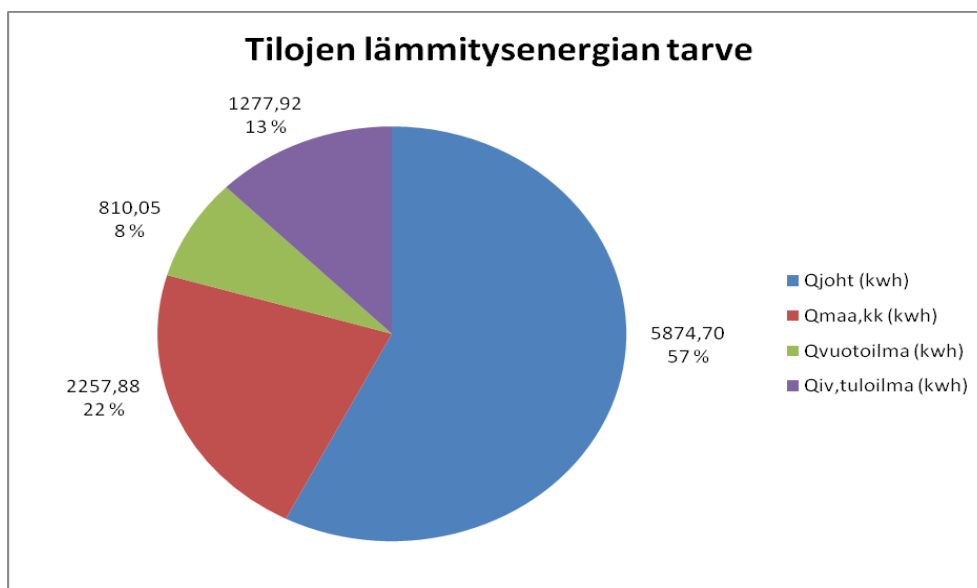
### 3.1.3 Tuloilman lämpeneminen sisätilassa

Tuloilma puhalletaan tiloihin yleensä hieman tilojen sisälämpötilaa kylmempänä. Tuloilman sisäänpuhallus lämpötilasta ei ole tarkempaa tietoa, joten laskennassa käytettiin RakMK osan D5 ilmoittamaa vertailuarvoa +18 °C (8, s. 19).

Tuloilman lämpeneminen tilassa ja korvausilman lämmitysenergian tarve lasketaan RakMK:n osan D5 kohdan 3.5 mukaan. Lähtötietoina tarvitaan ilmastointikoneen käyntitiedot, sisätilan lämpötila ja tulo- ja poistoilmavirran suuruus. Lähtötiedot löytyvät luvusta 2. Koska tulo- ja poistoilmavirrat ovat samansuuruiset, ei korvausilman lämmitystarvetta muodostu. Tuloilman lämpenemiseen tilassa kuluva lämmitysenergia on 1 277,92 kWh vuodessa. (7, s. 18; 8, s. 20 - 21.)

### 3.1.4 Yhteenveto tilojen lämmitysenergian tarpeesta

Vuotuiseksi tilojen lämmitysenergian tarpeeksi saatiin 10 220,56 kWh. Tilojen lämmitysenergiatarve koostuu 79-prosenttisesti rakenteiden läpi johtuvasta energiasta. Tilojen lämmitysenergian jakautuminen esitetään kuvassa 1.



KUVA 1. Vuotuinen tilojen lämmitysenergian tarve

## 3.2 Lämmitysenergian nettotarve

Rakennuksen lämmitysenergian nettokulutukseksi  $Q_{\text{lämmitys, netto}}$  muodostui RakMK:n osan D5 luvun 3 (8, s. 15 - 22) mukaan laskettuna 12 111,27 kWh vuodessa. Lämmitysenergian nettotarve koostuu ilmanvaihdon lämmityksen nettotarpeesta  $Q_{\text{iv, netto}} = 2\,453,99$  kWh, käyttöveden lämmityksen nettotarpeesta  $Q_{\text{ikv, netto}} = 3\,675$  kWh ja tilojen lämmitysenergian nettotarpeesta  $Q_{\text{lämmitys, tilat, netto}} = 5\,982,28$  kWh. Tarkemmin lämmitysenergian nettotarpeen jakautuminen nähdään sivun 15 kuvasta 2.

### 3.2.1 Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve

Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarpeen laskennassa otetaan huomioon lämmöntalteenotto. Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve muodostuu tuloilman lämmitystarpeesta ennen ja/tai jälkeen lämmön talteenoton. Lämmitysenergian nettotarpeeseen vaikuttaa tuloilman lämpötila, lämmön talteenottolaitteen tuloilman lämpötilasuhde ja jäätyksen eston lämpötila. (7, s. 22.)

Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarpeen laskenta tehtiin RaMK:n osan D5 kohdan 3.4 mukaan. Tämä laskentamenetelmä käy silloin, kun kyseessä on vakioilmamääräsäätöinen järjestelmä ja ilmanvaihtojärjestelmässä on pelkästään tuloilman lämmitysominaisuus. (8, s. 19.)

Tuloilman vuotuinen lämpötilasuhde laskettiin vuonna 2007 voimaan tulleen RaMK:n osan D5 mukaan. Tuloilman vuotuiseksi lämpötilasuhteeksi saatiin  $\eta_{t,a} = 0,45$ . (9, s. 24.)

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

KAAVA 1

$\eta_{t,a}$  = lämmön talteenoton vuotuinen tuloilman lämpötilasuhde

$\eta_a$  = lämmön talteenoton vuosihyötysuhde

$R$  = tuloilmavirran suhde poistoilmavirtaan

Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarpeeksi saatiin  $Q_{iv} = 2\,453,99$  kWh vuodessa.

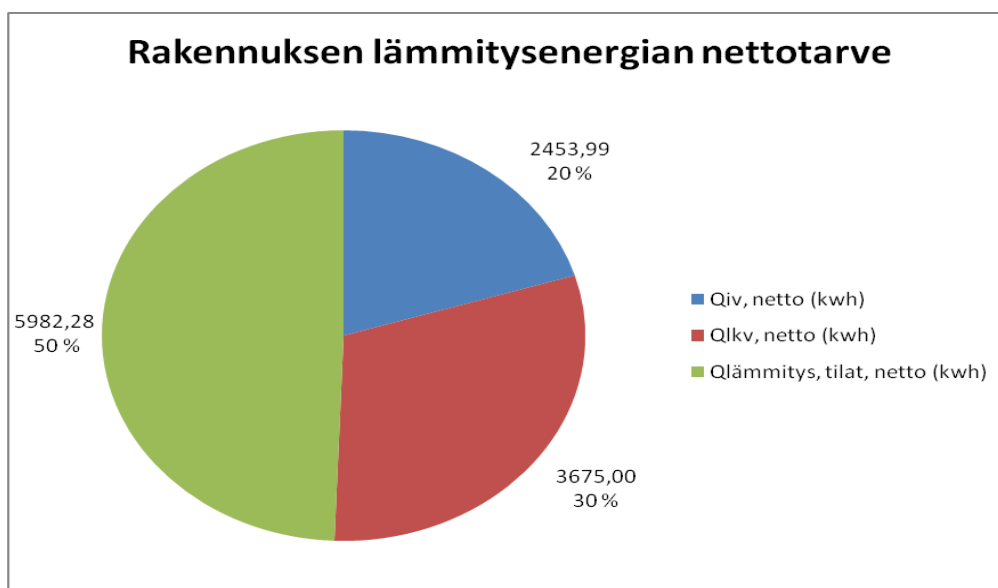
### 3.2.2 Käyttöveden lämmityksen nettotarve

Lämpimän käyttöveden lämmittämiseen kuluva lämmitysenergia lasketaan RakMK:n osan D5 kohdan 3.7 mukaan. Käyttöveden lämmityksen nettotarvetta laskettaessa ei mahdollisia lämmityslaitteen, varaajan tai putkiston lämpöhäviöenergioita oteta huomioon (8, s. 21 - 22.)

Lämpimän käyttöveden ominaiskulutus saatiin RakMK:n osan D3 taulukosta 5 (7, s. 21). Pientalolle ominaiskulutus on  $600 \text{ dm}^3/\text{m}^2$  vuodessa. Kylmän ja lämpimän veden lämpötilaerona käytettiin  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ . Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarpeeksi saatiin  $Q_{lkv, netto} = 3\,675$  kWh vuodessa.

### 3.2.3 Tilojen lämmitysenergian nettotarve

Tilojen lämmitysenergian nettotarve  $Q_{tila, netto}$  muodostuu tilojen lämmitysenergian tarpeesta, josta on vähennetty rakennuksen sisäisten lämpökuormien ja auringon rakennukseen luovuttama lämpöenergia. Tilojen lämmitysenergian nettotarpeeksi saatiin  $5\,982,28$  kWh vuodessa (8, s. 15).



KUVA 2. Vuotuinen lämmitysenergian nettokulutus D5 mukaan

### **3.3 Tilojen ja ilmanvaihdon jäähdytysenergian tarve**

Rakennuksen suunnittelussa täytyy ottaa huomioon kesäajan tilojen lämpeneminen. Yliämpenemisen estämiseksi käytetään ensisijaisesti passiivisia rakenteellisia ratkaisuja. Näitä ovat esimerkiksi ikkunoiden pinta-alojen suuruus ja sijoittelu ilmansuunnittain sekä auringonsuoja ratkaisut. Yksi varteenotettava ratkaisu on myös käyttää yöllä tehostettua ilmanvaihtoa. Mikäli tilojen yliämpenemistä ei saada edellä mainituilla keinoilla vaatimusten mukaiseksi, täytyy rakennukseen lisätä jäähdytysjärjestelmä. Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus otetaan huomioon rakennuksen vuotuista kokonaisenergian kulutusta laskettaessa (7. s. 9 - 10.)

RakMK:n osan D3 kohdan 2.2.4 (7, s. 10) mukaan ei luokkaan 1 ja 9 kuuluvissa rakennuksissa tarvitse suorittaa kesäajan huonelämpötilan laskentaa. Näin ollen mahdollista jäähdytysenergian tarvetta ei ole otettu laskennassa huomioon.

### **3.4 Laitteiden ja valaistuksen sähkönkulutus**

Rakennuksen vuotuisen kokonaisenergiankulutukseen lasketaan myös sähkölaitteiden ja valaistuksen sähköenergiankulutus. Laitteiden ja valaistuksen sähköenergiankulutuksen laskentaa käsitellään RakMK:n osan D5 luvussa 4 (8, s. 23 - 26).

#### **3.4.1 Laitteiden sähköenergiankulutus**

Laitteiden sähköenergiankulutus pitää sisällään rakennuksen laitteiden yhteenlasketun sähkönkulutuksen. Laitesähkön laskennassa ei oteta huomioon valaistukseen, ilmanvaihtojärjestelmään sekä ilman lämmitykseen ja jäähdytykseen kuluva sähköenergiaa. Rakennuksen laitesähkönkulutuksesta ei ole tarkempia tietoja, joten laskennassa käytetään RakMK:n osassa D3 esitettyjä arvoja (7, s. 19).

Laitesähkön vuotuinen kulutus laskettiin RakMK:n osan D3 kohtien 3.3 ja 4.7.1 mukaisesti. Lähtöarvoina käytettiin D3:n taulukosta 3 saatuja arvoja. Laitesähkönkulutukseksi saatiin 1 655,64 kWh vuodessa. (7, s.19, 25.)

### **3.4.2 Valaistuksen sähköenergiankulutus**

Valaistuksen vuotuinen sähköenergiankulutus lasketaan vastaavalla tavalla kuin laitesähkön vuotuinen sähköenergiankulutus. Lähtöarvot saadaan D3:n taulukosta 3. Valaistuksen sähköenergiankulutukseksi saatiin 735,84 kWh vuodessa. (7, s. 19, 25.)

## **3.5 Rakennuksen lämpökuorma**

Rakennuksen lämpökuormat lasketaan RakMK osan D5 luvussa 5 kuvatulla tavalla. Lämpökuormien laskennassa otetaan huomioon henkilöiden luovuttama lämpöenergia, valaistuksesta ja laitesähköstä syntyvä lämpökuorma, ikkunoista rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia ja lämpimän käyttöveden aiheuttama lämpökuorma (8, s. 27.)

### **3.5.1 Lämpökuorma henkilöistä**

Henkilöistä syntyvä lämpökuorma voidaan laskea RakMK D5:n kohdan 5.12 mukaan, tämä edellyttää rakennuksen henkilömäärän tietämistä. Mikäli henkilömäärää ei tiedetä, voidaan henkilöistä syntyvä lämpökuorma laskea D3:n taulukon 3 arvoilla. Taulukko 3 antaa henkilön lämpötehoksi  $2 \text{ W/m}^2$ . Henkilöiden vuotuinen lämpökuorma laskettiin RakMK D3:n kohdan 3.3.2 mukaan ja lämpökuormaksi saatiin  $10,51 \text{ kWh/m}^2$  vuodessa. Saatu tulos kerrottiin vielä lämmitetyllä nettoalalla, jolloin rakennukseen tuleva lämpökuorma henkilöistä on  $1 103,76 \text{ kWh}$  vuodessa. (7, s.19; 8, s. 27.)

### **3.5.2 Valaistuksen ja sähkölaitteiden lämpökuorma**

Valaistuksen ja sähkölaitteiden lämpökuorman laskentaa käsitellään RakMK D5:n kohdassa 5.2. Lämpökuorman laskennassa oletetaan, että valaistuk-

sen ja laitteiden sähköenergiankulutus tulee kokonaisuudessaan lämpökuormana rakennukseen. Näin ollen vuotuiseksi valaistuksen ja sähkölaitteiden lämpökuormaksi  $Q_{\text{säh}}$  saadaan 2 391,48 kWh. (8, s. 28.)

### 3.5.3 Auringon säteilyenergia

Auringon säteilyenergia laskettiin RakMK:n osan D5 kohdan 5.3 mukaisesti. Säteilyenergia koostuu ikkunoista suoraan sisälle tulevasta energiasta ja rakennukseen sisälle välillisesti ikkunaan absorboituneena tulevasta lämpöenergiasta. Laskennassa otetaan huomioon auringonsuoja ratkaisut kuten sälekaihtimet ja ympäristön rakennusten ja kasvillisuuden varjostukset (7, s. 22; 8, s. 28).

Ikkunoiden aurinkosuoja ratkaisuna käytetään valkoisia sälekaihtimia, jotka on asennettu lasien väliin. RakMK osan D5 taulukosta 5.1 löytyy tyypillisten verhojen ja aurinkosuojaratkaisujen säteilyn korjauskertoimia. Lasien välissä olevien Valkoisten sälekaihtimien säteilyn korjauskerroin on 0,3. Ikkunoiden kautta rakennukseen tulevan auringon säteilyenergian suuruuteen vaikuttaa sälekaihtimien ohella kehäkerroin ja varjostusten kokonaiskerroin. Kehäkerroin määrittää valoaukon pinta-alan ja ikkuna-aukon pinta-alan suhteen. Tässä laskelmassa ei ikkunoista ollut tarkempia tietoja, joten kehäkertoimeksi käytettiin D5:n kohdan 5.3.4 ilmoittamaa arvoa 0,75. Varjostuksen kokonaiskertoimen määrittämisessä oletettiin, ettei ikkunoihin kohdistu varjostuksia ympäristöstä eikä rakenteista. Näin ollen varjostuksen kokonaiskertoimeksi käytettiin arvoa 1,0. (8, s. 29 - 30.)

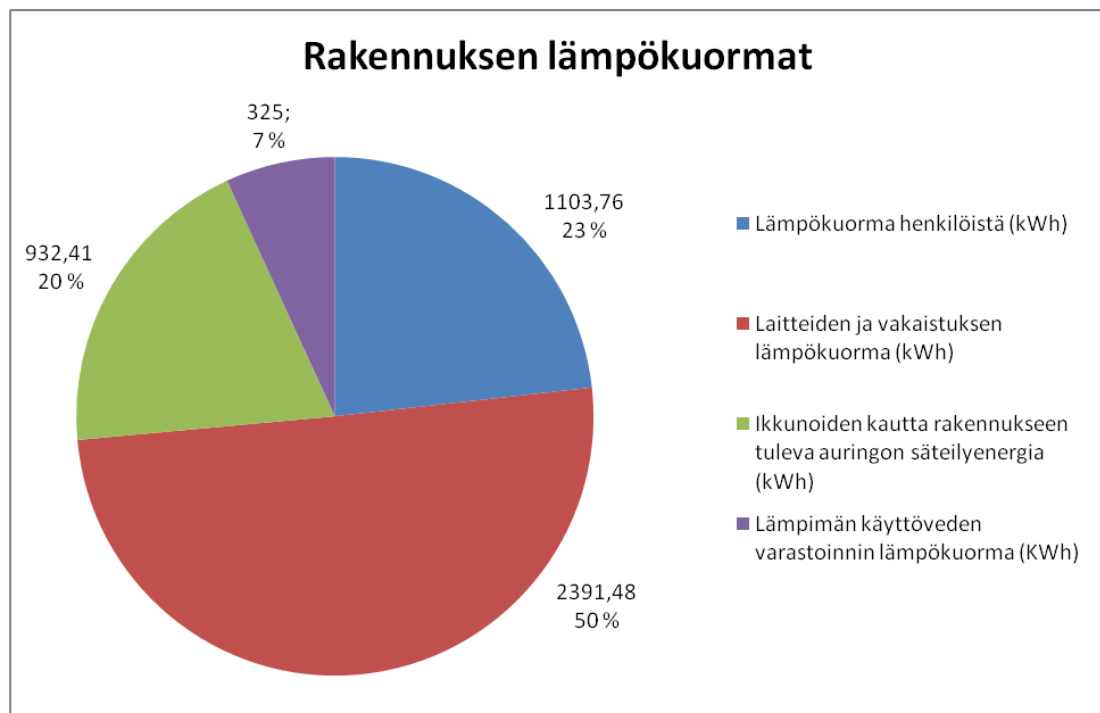
Auringon kokonaissäteilyenergia ja säteilyenergian muuntokertoimet saatiin D5:n liitteestä I (8, s. 64). Laskenta tehtiin säävyöhykkeen I tiedoilla. Laskelmassa käytettiin pystypinnalle tulevaa auringon kokonaissäteilyenergiaa. Ikkunoiden kautta rakennukseen tulevaksi auringon säteilyenergiaksi saatiin 932,41 kWh vuodessa.

### 3.5.4 Lämpimän käyttöveden kierron ja varastoinnin lämpökuorma

RakMK:n osan D5 kohdan 5.4 (8, s. 32) mukaan lämpimän käyttöveden kierron ja varastoinnin lämpöhäviöstä 50 % voidaan käyttää rakennukseen tulevana lämpökuormana. Rakennuksessa ei ole lämpimän käyttöveden kiertoa, joten ainoastaan puolet varaajan lämpöhäviöstä tulee lämpökuormaksi rakennukseen. Varaajan vuotuinen lämpöhäviö on laskettu luvussa 3.6. Varaajan vuotuinen lämpöhäviö oli 650 kWh, eli varaajan lämpökuormaksi saatiin 325 kWh vuodessa.

### 3.5.5 Lämpökuormista hyödynnettävä energia

Rakennuksen tulevia lämpökuormia voidaan hyödyntää vain sillä edellytyksellä, että samanaikaisesti rakennuksessa esiintyy lämmitystarvetta ja säätölaitteet vähentävät muun lämmön tuottoa vastaavalla määrällä. Rakennukseen yhteenlasketuksi lämpökuormaksi (kuva 3)  $Q_{\text{lämpökuorma}}$  saatiin 4 752,65 kWh vuodessa (8, s. 32.)



KUVA 3. Rakennuksen vuotuinen lämpökuorma

Rakennuksen lämpökuormista hyödynnettävä energia lasketaan RakMK osan D5 kohdassa 5.5 kuvatulla tavalla. Laskelmassa rakennuksen tehollisena lämpökapasiteetin ominaisarvona  $C_{rak, omin}$  käytettiin D5:n taulukon 5.5 arvoa  $40 \text{ Wh}/(\text{m}^2 \text{ K})$ . Tämä vastaa rakennetyypiltään kevytrakenteista pientaloa. Lämpökuormien vuotuisiksi hyödyntämisasteeksi  $\eta_{lämpö}$  muodostui 0,91. Kaikkiaan rakennuksen lämpökuormista voidaan hyödyntää lämmitysenergiana  $Q_{sis, lämpö}$  4 238,28 kWh vuodessa. (8, s. 32 - 34.)

### 3.6 Lämmitysjärjestelmän energiankulutus

Lämmitysjärjestelmän energiankulutus muodostuu tilojen, ilmanvaihdon ja lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarpeista, joihin lisätään lämmitysjärjestelmästä johtuvat häviöt. Järjestelmähäviöitä muodostuu esimerkiksi lämmitysenergian tuotosta, varastoinnista, jakelusta ja lämmön luovutuksesta. Laskennan kulku esitetään D5:n luvussa 6. (8, s. 35.)

Tilojen lämmitysjärjestelmänä on sähköinen lattialämmitys. lämmitysjärjestelmän hyötysuhde saadaan D5:n taulukosta 6.1 (8, s. 37). Rakennuksen alapohja on maata vasten rajoittuva, joten hyötysuhteena  $\eta_{tilat}$  käytetään arvoa 0,87. Tilojen lämmitysenergian laskennassa otetaan huomioon myös jakelujärjestelmän lämpöhäviöt lämmittämättömään tilaan, mutta koska lämmöntuottojärjestelmänä on sähköinen lattialämmitys, ei lämpöhäviöitä muodostu. Tilojen lämmityksen vuotuiseksi lämmitysenergiankulutukseksi saatiin 6 876,18 kWh vuodessa.

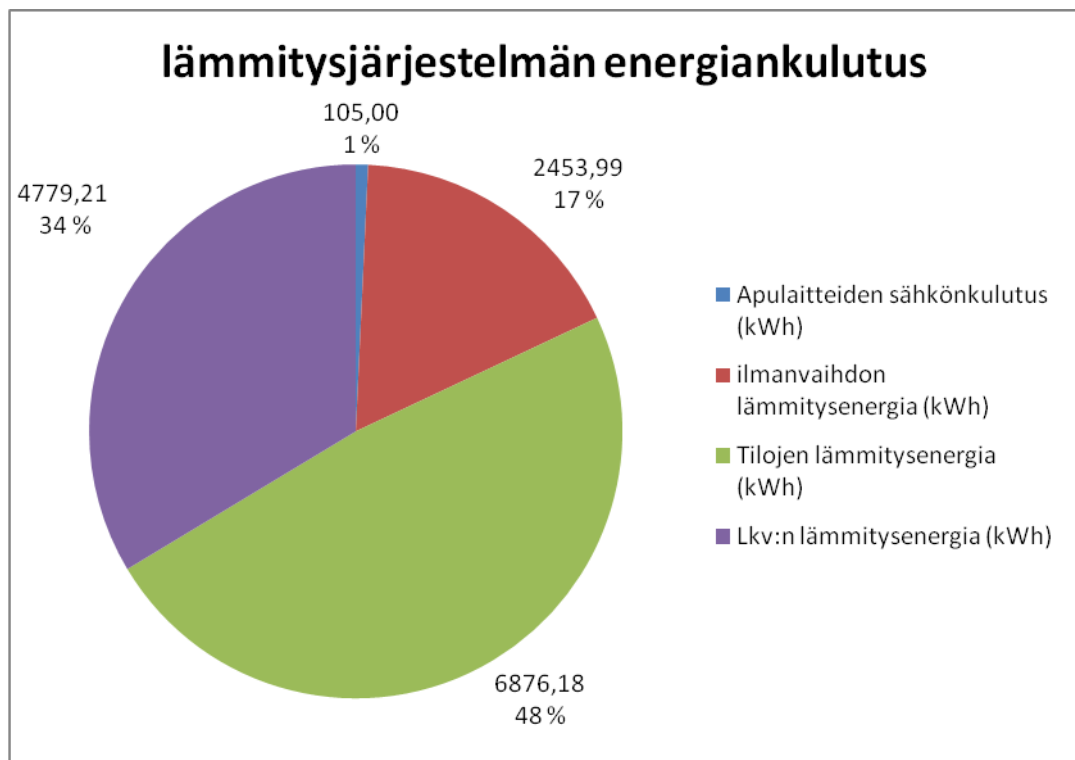
RakMK osan D5 kohdan 6.2.2 (8, s. 36) mukaan ilmanvaihdon lämmityspatterien hyötysuhteena voidaan käyttää arvoa 1,0. Ilmanvaihdon lämmitysenergianantarve on sama kuin nettoenergianantarve eli 2 453,99 kWh vuodessa.

Lämmitysjärjestelmän apulaitteiden sähkön ominaiskulutus  $1 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  saadaan D5:n taulukosta 6.1 (8, s. 37). Lämmitysjärjestelmän apulaitteiden sähköenergiankulutus lasketaan kertomalla apulaitteiden sähkön ominaisku-

lutus lämmitetyllä nettoalalla. Lämmitysjärjestelmän apulaitteiden vuotuiseksi sähköenergiankulutukseksi saatiin 105 kWh.

Lämpimän käyttöveden lämmitykseen kuluva energia saadaan kertomalla lämpimän käyttöveden nettoenergiantarve lämpimän käyttöveden siirron hyötysuhteella ja lisäämällä siihen lämpimän käyttöveden varastoinnin ja kiertojohdon lämpöhäviöt. Laskenta tehtiin ilman lämpimän käyttöveden kier-tojohtoa ja siirron hyötysuhteena käytettiin RakMK osan D5 taulukosta 6.3 (8, s. 39) saatua arvoa 0,89. Varastoinnin vuotuinen lämpöhäviö 650 kWh saatiin D5:n taulukosta 6.3b (8, s. 39). Lämpöhäviö määritettiin varaajan koon (300 l) ja eristepaksuuden (100 mm) mukaan. Lämpimän käyttöveden lämmityksen energiankulutukseksi saatiin 4 779,21 kWh vuodessa.

Rakennuksen koko lämmitysenergian tarve tuotetaan sähköllä, jonka läm-möntuoton hyötysuhde on 1,0. Näin ollen lämmön tuotosta ei synny lisää lämpöhäviöitä. Rakennuksen vuotuiseksi lämmitysenergian kulutukseksi saatiin 14 214,38 kWh. (Kuva 4.)



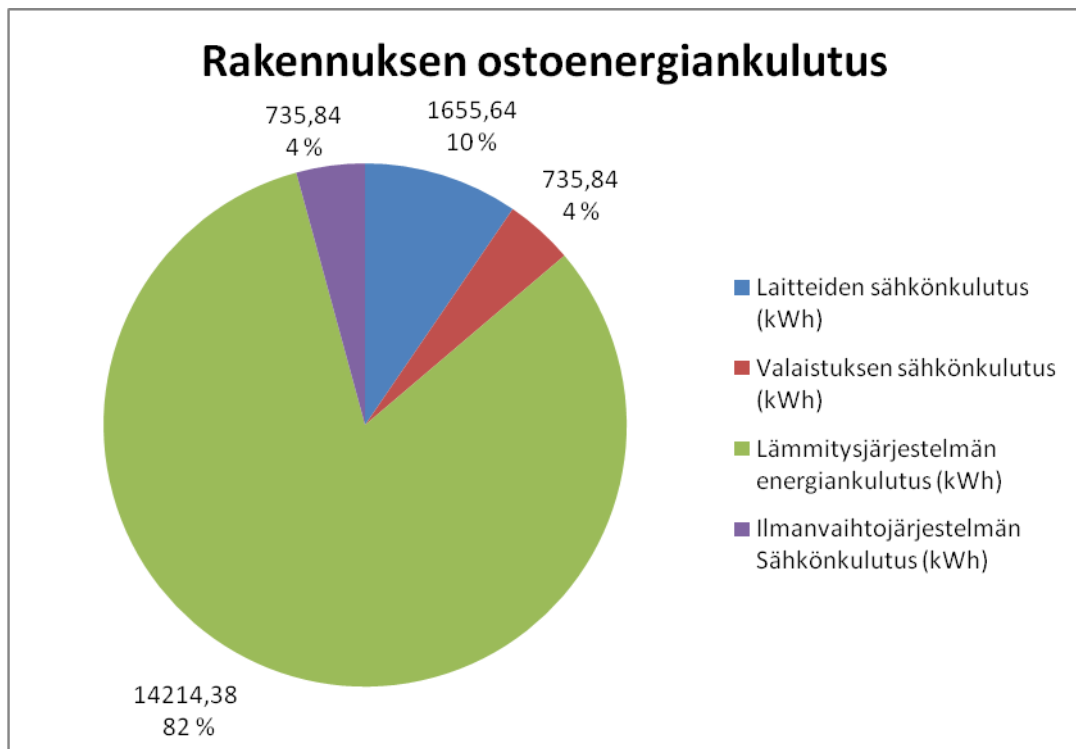
KUVA 4. Lämmitysjärjestelmän vuotuinen energiankulutus

### 3.7 Ilmanvaihtojärjestelmän energiankulutus

Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutuksen laskennassa ominaissähkötehona  $P_{es}$  käytettiin RakMK osan D3 kohdan 2.6.1 määräämää ominaissähkötehon enimmäisarvoa  $2,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ . Laskenta tehtiin D5:n luvussa 7 kuvatulla tavalla. Ilmanvaihtokoneen sähkökulutukseksi saatiin 735,84 kWh vuodessa. (7, s. 15; 8, s. 50.)

### 3.8 Rakennuksen ostoenergiankulutus

Rakennuksen ostoenergiankulutukseen (kuva 5) sisältyy lämmitysjärjestelmän sähköenergiankulutus, ilmanvaihtokoneen sähköenergiankulutus, valaistuksen sähkökulutus ja laitteiden sähkökulutus. Laskenta tehtiin RakMK osan D5 luvun 2 mukaan. Vuotuiseksi ostoenergiankulutukseksi saatiin 17 341,70 kWh. (8, s. 10 - 14.)



KUVA 5. Rakennuksen vuotuinen ostoenergiankulutus

Kuvasta 5 voidaan todeta, että suurin osa eli 82 prosenttia rakennuksen ostoenergiankulutuksesta menee rakennuksen lämmitysjärjestelmän energiantarpeen kattamiseen.

### **3.9 Rakennuksen E-luku**

Rakennuksen painotettu ostoenergiankulutus eli E-luku lasketaan kertomalla vuotuinen ostoenergiankulutus energiamuodon kertoimella. Kertoimet eri energiamuodoille saadaan RakMK osan D3 kohdasta 2.1 (7, s. 8). Energiamuodon kerroin kuvaa rakennuksen elinkaaren aikaista vaikutusta luonnonvarojen käyttöön. Sähkön energiakerroin on 1,7. Rakennuksen painotetuksi ostoenergiankulutukseksi saatiin 29 480,89 kWh vuodessa.

E-luvulle on asetettu rakennustyyppikohtainen yläraja. Eri rakennusluokat ja niiden energialuvun ylärajat on ilmoitettu RakMK osan D3 kohdassa 2.1.4 (7, s. 9). Lämmitetyltä nettoalaltaan alle 120 m<sup>2</sup> pientaloille on E-luvun ylärajaksi määritetty 204 kWh/m<sup>2</sup> vuodessa.

Laskelmassa rakennuksen painotettu ostoenergiankulutus jaettiin lämmitetyllä nettoalalla ja rakennuksen vuotuiseksi E-luvuksi saatiin 280,77 kWh/m<sup>2</sup>. Rakennus ei täytä vaadittuja energiamääräyksiä, joten rakennuksen energiankulutusta täytyy pienentää.

## 4 ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMINEN

Uudet energiatehokkuusmääräykset lisäävät merkittävästi suunnittelun vapautta. Rakennuksen kokonaisenergiatarkastelu mahdollistaa monia eri tapoja, joilla riittävän pieneen E-lukuun päästään. Tässä opinnäytetyössä selvitettiin muutamia keinoja energiatehokkuuden parantamiseksi. Lähtökohtana oli tutkia, millaisilla rakennusteknisillä ja ilmanvaihtoteknisillä ratkaisuilla, suorassa sähkölämmityksessä oleva pientalo täyttää uudet energiatehokkuusmääräykset. Toisena tärkeänä vaikuttajana oli parannusmenetelmän järkevyyden, eli miten mahdollisimman pienin rakennusteknisiin muutoksiin saadaan rakennuksen energiankulutus määräyksiensä vaatimalle tasolle. Parannusmenetelmien investointikustannukset pyrittiin selvittämään.

Pientalon E-luvuksi saatiin RakMK:n osien D3 ja D5 vertailuarvojen mukaan laskettuna 280,77 kWh/m<sup>2</sup>. Rakennuksen ostoenergian vuotuiseksi kulutukseksi muodostui 17 341,70 kWh. Lämmitetyltä nettoalaltaan alle 120 m<sup>2</sup> pientalon suurin sallittu energialuku on 204 kWh/m<sup>2</sup> vuodessa. Rakennuksen energiankulutusta pienennettiin parantamalla ilmanvaihtokonetta, lisäämällä rakennukseen varaava tulisija, pienentämällä rakennuksen ilmanvuotolukua ja parantamalla ikkunoiden, ovien ja yläpohjan U-arvoja. Lisäksi tutkittiin ilma-ilma lämpöpumpun vaikutusta E-lukuun. Tässä luvussa esitellään kaksi esimerkkiratkaisua, joilla pientalon energiatehokkuusmääräykset täyttyvät.

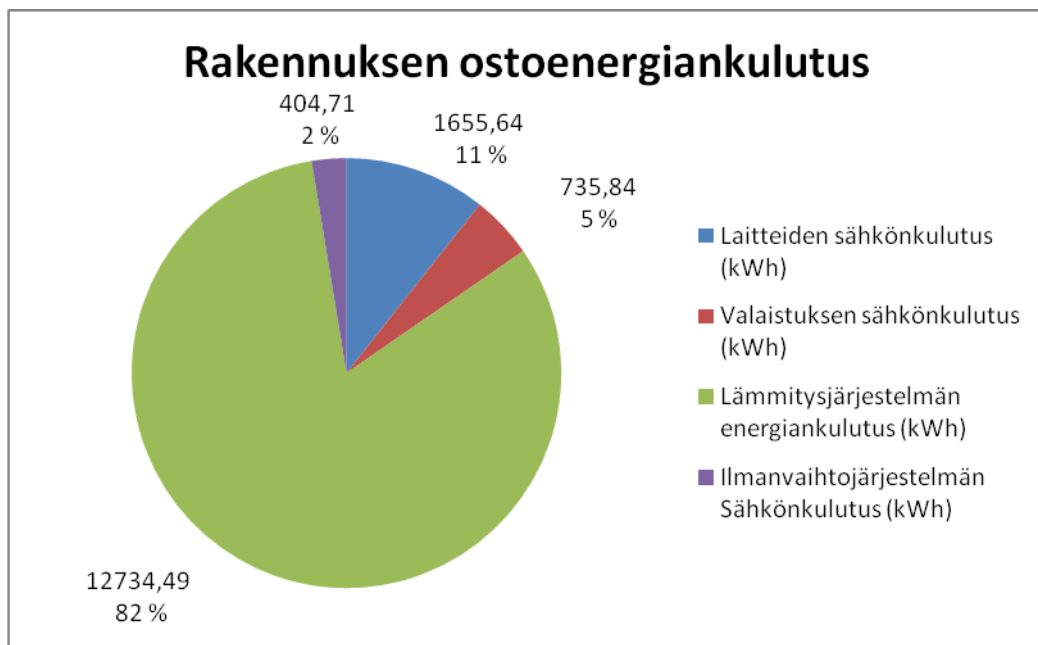
### 4.1 Ilmanvaihtokoneen parannus

Luvun 3 laskelmassa ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteena käytettiin 45 % ja ominaissähkötehona (SFP-luku) 2,0 kW/(m<sup>3</sup>/s). Nämä vaatimukset täyttää esimerkiksi Swegon AB:n ilmanvaihtokone ILTO 270M (R). Kustannusarvio kyseiselle koneelle on noin 1 300 euroa. (10; 11.)

Ilmanvaihtokoneeksi vaihdettiin Enerventin Pingvin eco EDE. Ilmanvaihtokone on varustettu pyörivällä lämmöntalteenotolla ja sen lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde on 68 %. Ilmanvaihtokoneen ominaissähköteho on 1,1

kW/(m<sup>3</sup>/s). Koneen kustannusarvio on noin 3 400 euroa eli investoinnin kustannus on noin 2 100 euroa. (12; 13.)

Paremmalla ilmanvaihtokoneella rakennuksen vuotuinen lämmitysjärjestelmän ostoenergiankulutus pienenee 1 479,89 kWh. Paremman ominaissähkötehon ansiosta ilmanvaihtokoneen sähkönkulutus pienenee 331,13 kWh vuodessa. Yhteensä rakennuksen ostoenergiankulutus (kuva 6) on parannusten jälkeen 15 530,68 kWh/a. Ostoenergiankulutus pieneni 1 811 kWh. Parannuksen jälkeen energiakertoimella painotettu rakennuksen ostoenergiankulutus eli E-luku pinta-alaa kohden on 251,45 kWh/ m<sup>2</sup> a.



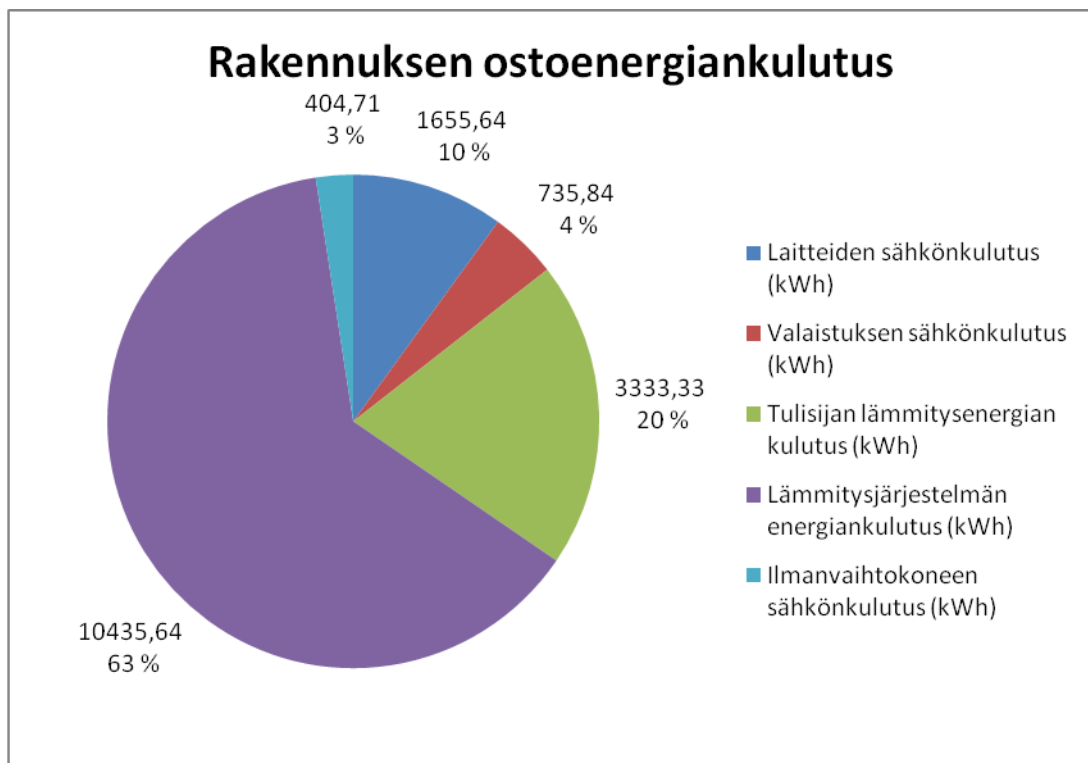
*KUVA 6. Rakennuksen vuotuinen ostoenergiankulutuksen jakautuminen, kun rakennus on varustettu paremmalla ilmanvaihtokoneella*

## 4.2 Varaava tulisija

Toisena toimenpiteenä rakennukseen lisättiin varaava tulisija. Varaavalla tulisijalla saadaan rakennuksen lämmitysenergiantarvetta katettua uusiutuvalla energialla. RakMK:n osan D3 kohdan 4.4.3 mukaan voidaan varaavan tulisijan tiloihin tuottaman lämmitysenergian määräksi laskea korkeintaan 2 000 kWh vuodessa tulisijaa kohden. Tulisijan hyötysuhteesta ei ole tarkempaa

tietoa, joten hyötysuhteena käytettiin RakMK D5:n kohdan 6.4.2 määräämää hyötysuhdetta 0,6. Tulisijaksi valittiin varaava takka, jonka kustannusarvio on noin 3 800 euroa. (7, s.24; 8, s. 42; 14.)

Lisäämällä rakennukseen varaava tulisija, lämmitysjärjestelmän ostoenergiankulutus pienenee 2 298,85 kWh/a. Tulisijan ostoenergiankulutus laskeaan hyötysuhteen avulla ja ostoenergiankulutukseksi saatiin 3 333,33 kWh/a. Rakennuksen vuotuinen ostoenergiankulutus on toimenpiteen jälkeen 16 565,17 kWh. Ostoenergian kulutus kasvaa 1 034,49 kWh/a.



*KUVA 7. Rakennuksen vuotuinen ostoenergiankulutus, kun rakennukseen on lisätty parempi IV-kone ja tulisija*

Kuvasta 7 voidaan huomata, että lämmitysjärjestelmän sähköenergian kulutus on pienentynyt ja tulisijan ostoenergia muodostaa merkittävän osan rakennuksen vuotuisesta ostoenergiankulutuksesta. Uusiutuvien energiamuotojen energiakerroin on 0,5 (7, s. 8), joten tulisijan painotettu

ostoenergiankulutus on vain 1 666,66 kWh/a. Parannuksen jälkeen rakennuksen E-luvuksi saatiin 230,10 kWh/ m<sup>2</sup> a.

### 4.3 Ilmanvuotoluku

Ensimmäisenä rakennusteknisenä parannus toimenpiteenä parannettiin rakennuksen ilmanvuotolukua. Rakennuksen kosteusteknisen toiminnan varmistamiseksi ja hyvän sisäilmaston aikaansaamiseksi RakMk:n osa D3 suosittelee ilmanvuotoluvuksi korkeintaan 1 m<sup>3</sup>/(h m<sup>2</sup>). Pieni ilmanvuotoluku parantaa asumisviihtyvyyttä, koska hallitsematon ilmavirta rakennukseen pienenee ja se vähentää esimerkiksi vedon tunnetta. Kosteusteknisesti pienempi vuotoilmavirta vähentää kostean sisäilman virtausta rakenteisiin ja taas toisaalta kylmän ulkoilman jäähdyttävä vaikutus rakenteisiin pienenee, joka ehkäisee kosteuden tiivistymisriskiä. Samalla vuotoilmasta aiheutuva lämmitysenergiatarve pienenee. (7, s. 14.)

Rakennuksen ilmanpitävyys täytyy todeta tiiviysmittauksin. Mittauksessa selvitetään ilmavirran määrä, jolla rakennuksessa pysyy 50 Pa:n yli- tai alipaine. Parannustoimenpiteen tarkkaa kustannusarviota ei ole saatavissa, mutta kustannuksia syntyy ainakin mittausjärjestelystä. Kustannuksia syntyy myös rakentamisvaiheessa, koska materiaalien laatuun sekä saumojen ja liitosten ilmanpitävyyteen täytyy kiinnittää erityistä huomiota.

Pientämällä ilmanvuotolukua 2 m<sup>3</sup>/h m<sup>2</sup> sijasta 1 m<sup>3</sup>/h m<sup>2</sup>, rakennuksen lämmitysjärjestelmän ostoenergiankulutus pienenee 430,66 kwh/a. Parannuksen jälkeen rakennuksen ostoenergiankulutus on 16 134,50 kWh/a. Energiakertoimilla painotetusta ostoenergiankulutuksesta laskettu E-luku on 223,13 kWh/m<sup>2</sup> a.

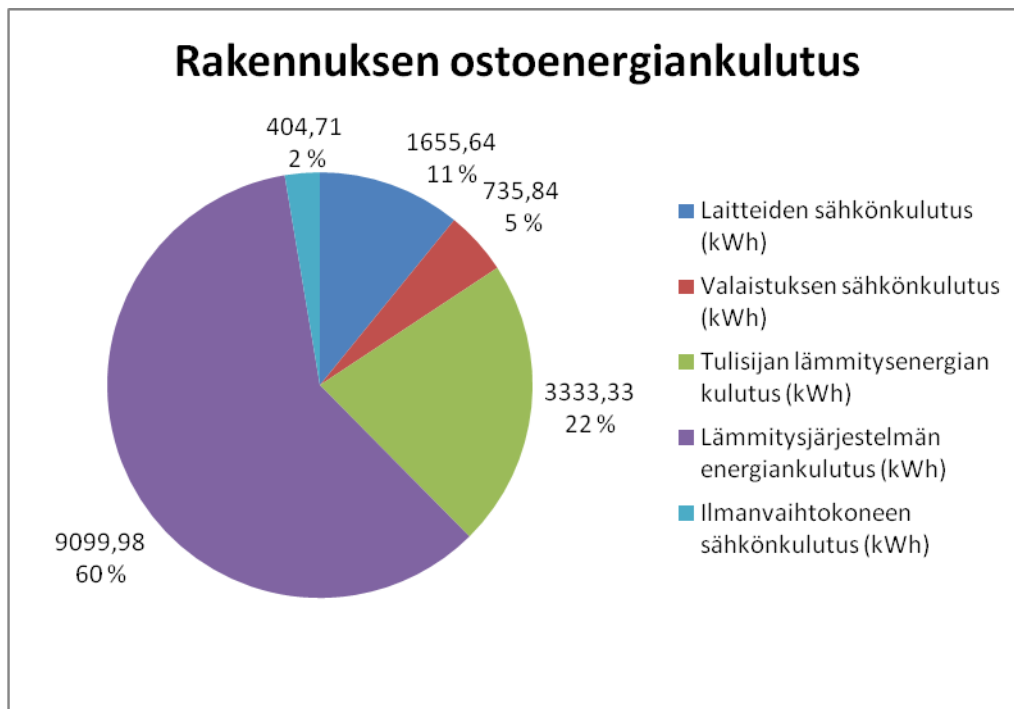
### 4.4 Ikkunan ja ovien U-arvon parannus

Vertailulaskelmassa ikkunoiden U-arvona käytettiin 1,0 W/m<sup>2</sup>K. Perustapausten ikkunoiden energiatehokkuus vaatimukset täyttää esimerkiksi Pihlavan Ikkuna Oy:n Pihla Varma merkkiä olevat ikkunat. Ikkunoiden kustannus-

arvio on noin 3 800 euroa. Energiatohokkaammilla ikkunoilla voidaan vaikuttaa merkittävästi rakennuksen energiankulutukseen. Ikkunoiksi vaihdettiin Lammin ikkunan Eko Watti WNS-A energiaikkunat, joiden U-arvo on 175 mm karmisyvyydellä 0,67 W/m<sup>2</sup>K. Ikkunoiden kustannusarvio on noin 4 300 euroa. Toimenpiteen jälkeen rakennuksen lämmitysjärjestelmän ostoenergiankulutus pieneni 639,15 kWh/a. (15; 16.)

Perustapauksessa ulko-ovien U-arvona käytettiin 1,0 W/m<sup>2</sup>K. Perustapauksen energiatohokkuus vaatimukset täyttää esimerkiksi Kaskipuu Oy:n valmistama ulko-ovi UOL2 1,0. Ovien kustannusarvio on noin 2 370 Euroa. Ulko-ovien energiatohokkuutta parannettiin vaihtamalla ulko-ovien malliksi Kaskipuu Oy:n Thermo UOL2. Ovien keskimääräinen U-arvo on 0,68 W/m<sup>2</sup>K. Ovien kustannusarvio on 3 300 euroa, joten investointikustannus on noin 930 euroa Toimenpiteen jälkeen rakennuksen lämmitysenergiankulutus pieneni 265,85 kWh/a. (16; 17.)

Ikkunoiden ja ulko-ovien lämmönläpäisykertoimien parantamisen jälkeen rakennuksen ostoenergiankulutus on 15 229,51 kWh/a (kuva 8). Ostoenergiankulutus pieneni 905 kwh/a. Toimenpiteiden jälkeen energiakertoimilla painotetusta ostoenergiankulutuksesta laskettu rakennuksen E-luku on 208,48 kWh/m<sup>2</sup>a.



*KUVA 8. Rakennuksen ostoenergiankulutuksen jakautuminen IV-koneen, va-raavan tulisijan, ilmanvuotoluvun ja ikkunoiden ja ovien U-arvojen parantami-sen jälkeen*

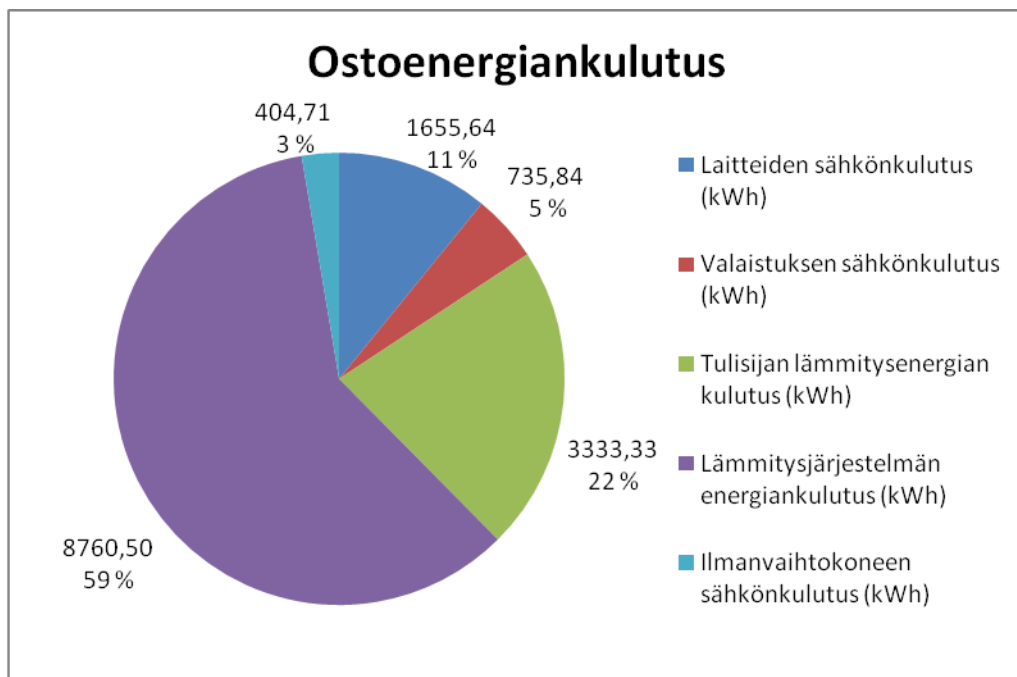
#### 4.5 Yläpohjan U-arvon parantaminen

Rakennuksen yläpohjan U-arvona käytettiin vertailulaskelmassa 0,09 W/m<sup>2</sup>K. Tutkimuskohteena olevan pientalon yläpohjan rakenteesta ei ole tarkempaa tietoa. Yläpohjan rakenteen oletettiin olevan liitteen 1 mukainen.

Yläpohjan energiatehokkuutta lähdettiin parantamaan lisäämällä yläpohjan eristepaksuutta. Laskelmassa Eristeenä käytettiin Isoverin puhallusvillaa, jonka lämmönjohtavuus ( $\lambda_n$ ) on 0,041 W/mK. Vertailulaskelman yläpohjan U-arvo saavutetaan 450 mm eristepaksuudella. Yläpohjan energiatehokkuutta parannettiin kasvattamalla eristepaksuus 600mm. Toimenpiteellä saatiin yläpohjan U-arvoksi 0,067 W/m<sup>2</sup>K. Parannuksen kustannusarviossa on otettu huomioon vain puhallusvillan kustannus, koska oletetaan, että tarvittavat rakenteelliset ratkaisut on otettu huomioon jo suunnitteluvaiheessa. Puhallusvillan hinta on paikalleen puhallettuna noin 25 € / m<sup>3</sup>, joten investoinnin

kustannusarvio on noin 394 euroa. Tarkemmat laskelmat löytyvät liitteestä 1. (19.)

Toimenpiteen jälkeen rakennuksen vuotuinen ostoenergiankulutus pienenee 339,48 kWh/a. Parannuksen jälkeinen vuotuinen ostoenergian kulutus on 14 890,03 kWh/a (kuva 9). Käyttämällä energiakertoimia rakennuksen energialuvuksi eli E-luvuksi saatiin 202,98 kWh/m<sup>2</sup>a.



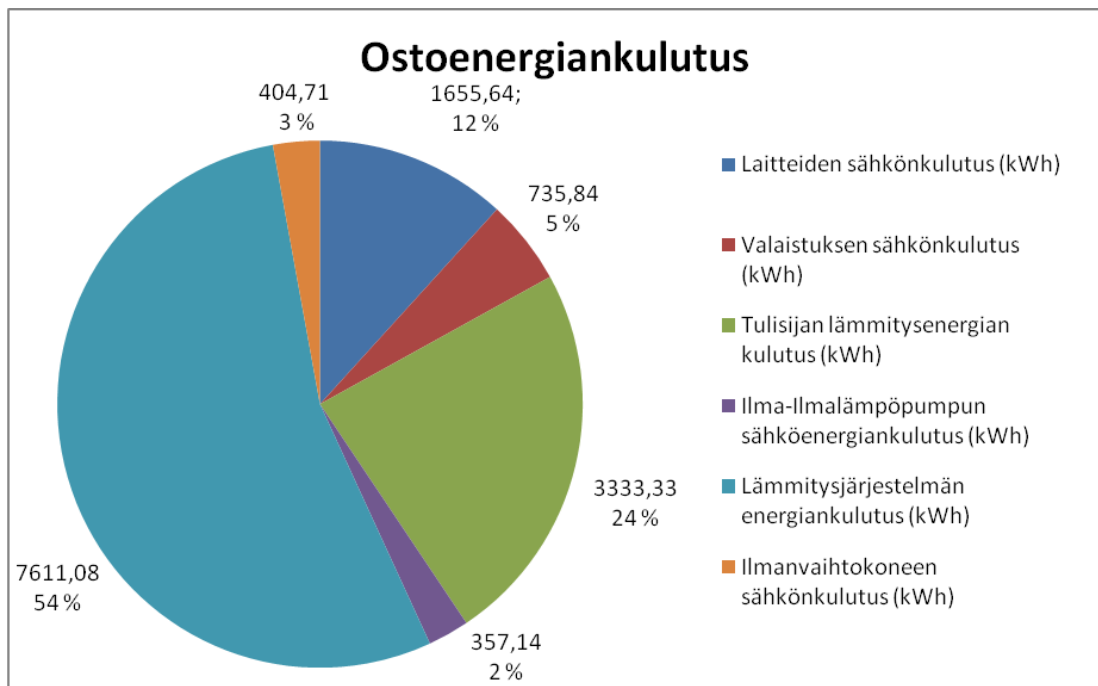
Kuva 9. Rakennuksen ostoenergiankulutuksen jakautuminen IV-koneen, varaavan tulisijan, ilmanvuotoluvun ja ikkunoiden, ovien ja yläpohjan U-arvojen parantamisen jälkeen

#### 4.6 Ilma-ilmalämpöpumppu

Ilma-ilmalämpöpumpun lämmitysenergiantuottoa tutkittiin RakMK:n osan D5 Kohdassa 6.6 esitetyllä tavalla. Lähtökohtana oli, ettei ilma-ilmalämpöpumppu ole kytketty kiinteäksi osaksi ilmanvaihto- tai lämmitysjärjestelmää. Tällaisessa tapauksessa RakMK:n D3:n kohdan 4.4.3 mukaan, voidaan ilma-ilmalämpöpumpun tiloihin tuottaman lämmitysenergian määräksi laskea korkeintaan 1000 kWh vuodessa. (7, s. 24; 8, s. 43 - 49.)

Ilma-ilmalämpöpumpun vuoden keskimääräinen lämpökerroin, eli SPF-luku säävyöhykkeelle I saadaan D5:n taulukosta 6.14 (8, s. 48). Taulukosta saatu keskimääräinen lämpökerroin on 2,8. Ilma-ilmalämpöpumpuksi valittiin Panasonicin CE9 Nordic inverter -ilmalämpöpumppu. Valmistajan ilmoittamaa lämpökertoimaa ei laskennassa otettu huomioon vaan laskenta on tehty RakMK:n osasta D5 saadulla keskimääräisellä lämpökertoimella.

Ilma-ilmalämpöpumpulla saadaan lämmitysjärjestelmän ostoenergiankulutusta pienennettyä 1 149,42 kWh/a. Lämpöpumpun kuluttama sähköenergia täytyy huomioida mukaan rakennuksen ostoenergiankulutukseen. Ilmalämpöpumpun lämpökerroin on 2,8, joten lämpöpumpun sähköenergian kulutus on 357,14 kWh/a. Ilmalämpöpumpun lisäämisen jälkeen rakennuksen ostoenergiankulutus on 14 097,75 kWh/a. Ostoenergiankulutus (kuva 10) pieneni 792,28 kWh/a. Toimenpiteen jälkeen rakennuksen E-luku on 190,15 kWh/m<sup>2</sup>a. Ilmalämpöpumpun kustannusarvio on noin 1 490 euroa (20).



*KUVA 10. Rakennuksen ostoenergiankulutuksen jakautuminen IV-koneen, varaavan tulisijan, ilmanvuotoluvun, ikkunoiden, ovien ja yläpohjan U-arvojen parantamisen jälkeen ja ilma-ilmalämpöpumpun lisäämisen jälkeen*

## 4.7 Parannustoimenpiteiden yhteenveto

Laskettaessa pientalon energiankulutusta RakMK:n osien D3 ja D5 vertailuarvoilla saatiin sähköisellä lattialämmityksellä varustetun pientalon ostoenergiankulutukseksi 17 341,70 kWh/a. Rakennuksen ostoenergiankulutus muodostuu perustapauksessa pelkästään sähköenergiankulutuksesta. Rakennuksen E-luvuksi muodostui 280,77 kWh/m<sup>2</sup>a. Vertailuarvoilla laskettaessa sähkölämmitteinen pientalo ylittää selvästi D3:n pientalolle asettaman E-luku vaatimuksen.

Parannustoimenpiteet aloitettiin vaihtamalla ilmanvaihtokone ja lisäämällä rakennukseen varaava tulisija. Rakennusteknisinä toimenpiteinä parannettiin ikkunoiden, ovien ja yläpohjan U-arvoja ja pienennettiin rakennuksen ilmanvuotolukua. Taulukossa 2 esitetään ensimmäinen ratkaisumalli, jolla pientalo täyttää tulevaisuuden energiatehokkuusmääräykset. Taulukosta nähdään lukujen 4.1 - 4.5 parannustoimenpiteiden vaikutus sähköenergian kulutukseen sekä parannustoimenpiteen jälkeinen ostoenergiankulutus, E-luku ja toimenpiteen kustannusarvio.

*TAULUKKO 2. Parannustoimenpiteiden jälkeinen vuotuinen sähköenergiankulutuksen pieneneminen, toimenpiteen jälkeinen ostoenergiakulutus, E-luku ja kustannusarvio*

Toimenpide	Sähköenergian säästö kWh/a	Ostoenergia kWh/a	E-luku kWh/m <sup>2</sup> a	Kustannusarvio €
<b>IV-koneen vaihtaminen</b>	1811	15530,68	251,45	2100
<b>Varaava tulisija</b>	2298,85	16565,17	230,10	3800
<b>Ilmanvuotoluvun pienentäminen</b>	430,66	16134,5	223,13	Ei tarkkaa arviota
<b>Ikkunoiden U-arvon parantaminen</b>	639,15	15495,35	212,78	500
<b>Ovien U-arvon parantaminen</b>	265,85	15229,51	208,48	930
<b>Yläpohjan U-arvon parannus</b>	339,48	14890,03	202,98	394

Taulukon 2 parannustoimenpiteillä rakennuksen vuotuista sähköenergiankulutusta saatiin pienennettyä 5 784,99 kWh. Prosenteissa kulutus pieni noin 33 %. Rakennuksen ostoenergiankulutusta saatiin pienennettyä 2 451,67 kWh/a. Ostoenergian kulutus pieni sähkönkulutusta vähemmän, koska tulisijan ostoenergiankulutus otetaan huomioon laskennassa. Ostoenergiankulutuksen jakautuminen nähdään tarkemmin kuvasta 9. Näillä parannuksilla pientalon E-luvuksi saatiin 202,98 kWh/m<sup>2</sup>a, eli rakennus täyttää uudet vuonna 2012 voimaan tulevat energiatehokkuusmääräykset. Parannustoimenpiteiden kustannusarvio on noin 7 724 euroa.

Toisessa ratkaisumallissa yhtenä parannustoimenpiteenä käytettiin ilma-ilmalämpöpumppua. Taulukossa 3 esitellään ilmalämpöpumpun sisältävä ratkaisumalli, jolla pientalo täyttää tulevaisuuden energiatehokkuusmääräykset.

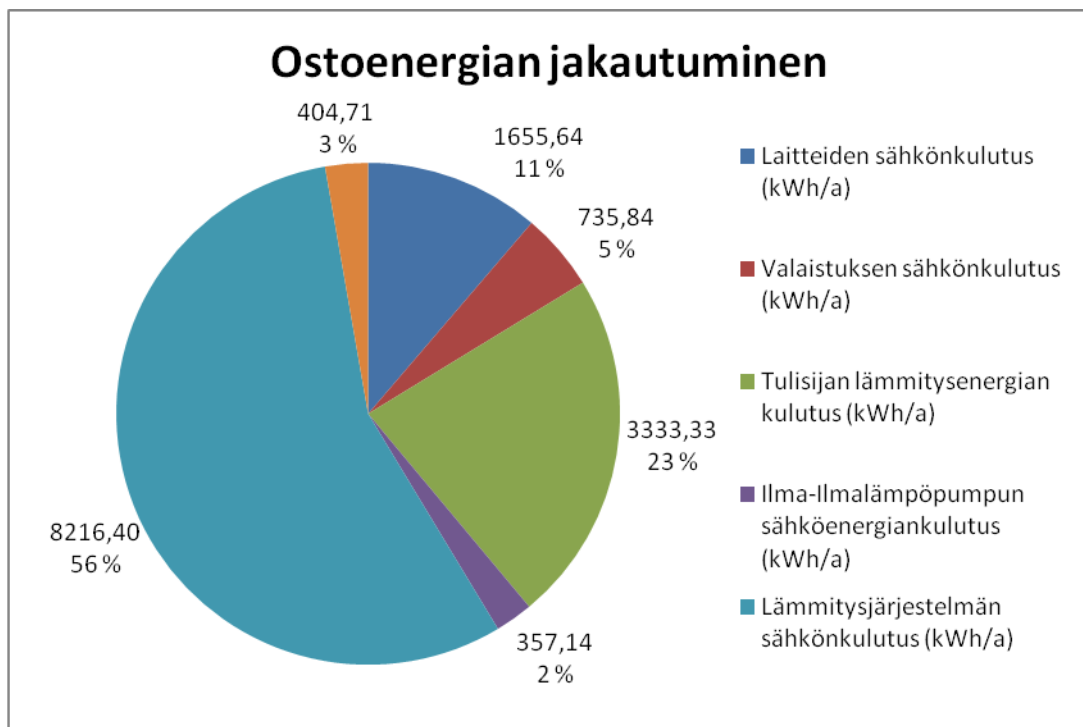
*TAULUKKO 3. Parannustoimenpiteiden jälkeinen vuotuinen sähköenergiankulutuksen pieneneminen, toimenpiteen jälkeinen ostoenergiakulutus, E-luku ja kustannusarvio*

Toimenpide	Sähköenergian säästö kWh/a	Ostoenergia kWh/a	E-luku kWh/m <sup>2</sup> a	Kustannusarvio €
<b>IV-koneen vaihtaminen</b>	1811	15530,68	251,45	2100
<b>Varaava tulisija</b>	2298,85	16565,17	230,10	3800
<b>Ilmanvuotoluvun pienentäminen</b>	430,66	16134,5	223,13	Ei tarkkaa arviota
<b>Ikkunoiden U-arvon parantaminen</b>	639,15	15495,35	212,78	500
<b>Ilma-ilmalämpöpumppu</b>	792,28	14703,07	199,95	1490

Rakennukseen lisätyllä ilmalämpöpumpulla on korvattu rakennusteknisistä parannuksista yläpohjan ja ovien parannustoimenpiteet. Ilmanvaihtokonetta ja varaavaa tulisijaa ei ilmalämpöpumpulla pystytä laskelmassa korvaamaan, koska toimenpiteiden E-lukua pienentävä vaikutus on ilmalämpöpumppuun verrattuna ylivoimainen. Ikkunoiden parannustoimenpidettä ei ole järkevää jättää pois, koska parannustoimenpiteitä verrattaessa paremmilla ikkunoilla

on parhain kustannustehokkuus. Ilmanvuotolukua taas ei kannata jättää pois, koska RakMK:n osan D3 kohdassa 2.5.8 (7, s. 14) todetaan, että mikäli ilmanpitävyyttä ei todeta mittaamalla tai muulla tavalla, käytetään suunniteluratkaisussa ilmanvuotolukuna  $q_{50}$  arvoa  $4 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ . Tällöin rakennuksen vuotoilmanvaihdon lämmitysenergiatarve lisääntyisi merkittävästi.

Taulukon 3 parannuksilla pientalon vuotuista sähköenergiankulutusta saatiin pienennettyä 5 971,94 kWh. Prosenteissa kulutus pieneni noin 34 %. Rakennuksen ostoenergiankulutus pieneni 2 638,63 kWh/a. Kuvasta 11 nähdään tarkemmin ostoenergian jakautuminen. Parannusten jälkeen pientalon energialuku on  $199,95 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ , eli pientalo täyttää uudet energiatehokkuusmääräykset. Kustannusarvio taulukon 3 parannustoimenpiteille on noin 7 890 euroa.



*KUVA 11. Rakennuksen ostoenergian jakautuminen, kun pientaloon on tehty taulukon 3 parannukset*

## 5 YHTEENVETO

Tässä opinnäytetyössä selvitettiin vuonna 2012 uudistumassa olevien rakentamismääräyskokoelman osien D3 ja D5 vaikutusta pientalorakentamiseen, kun lämmitysmuotona on suora sähköinen lattialämmitys. Työn tavoitteena oli tutkia, millaisin ilmanvaihtoteknisin ja rakennusteknisin toimenpitein sähkölämmitteinen pientalo täyttää uudet energiatehokkuusmääräykset. Pientalon vuotuisen energiankulutuksen laskennassa käytettiin Jarkko Revon 2011 Oulun seudun ammattikorkeakoulussa opinnäytetyössään tekemää Exceltaulukkolaskentamallia (21).

RakMK:n osien D3 ja D5 vertailuarvoilla laskettaessa saatiin sähkölämmitteisen pientalon vuotuiseksi ostoenergian tarpeeksi 17 341,70 kWh/a. Vertailuarvoilla laskettaessa koko ostoenergiankulutus muodostuu sähköenergiasta. Ostoenergiankulutuksesta suurin osa eli 82 % muodostuu pientalon lämmitysjärjestelmän energiankulutuksesta, loput 18 % muodostuu valaistuksen, laitteiden ja ilmanvaihtokoneen energiankulutuksesta. Vertailuarvoilla laskettaessa pientalon E-luvuksi saatiin 280,77 kWh/m<sup>2</sup>a. RakMK:n osa D3 määrää alle 120 neliön pientalon energialuvun ylärajaksi 204 kWh/m<sup>2</sup>a. Vertailuarvoilla laskettaessa sähkölämmitteinen pientalo ylittää selvästi vaaditun energiatehokkuustason.

Työssä selvitettiin parannustoimenpiteitä, joilla sähkölämmitteisen pientalon energiatehokkuus saataisiin määräysten vaatimalle tasolle. Parannustoimenpiteitä valittaessa lähtökohtana oli löytää sellaiset parannustoimenpiteet, joilla pientalo täyttää energiatehokkuusmääräykset mahdollisimman pienin rakennusteknisin muutoksin. Parannusten aiheuttamat kustannukset pyrittiin selvittämään. Työssä käytettiin seitsemää parannustoimenpidettä, jotka olivat

- ilmanvaihtokoneen parantaminen
- varaava tulisija
- ilmanvuotoluvun pienentäminen

- ilmalämpöpumppu
- ikkunoiden, ovien ja yläpohjan U-arvojen parantaminen.

Näiden parannusten yhdistelmällä saatiin pientalolle kaksi esimerkkiratkaisua, joilla sähkölämmitteinen pientalo täyttää uudet energiatehokkuusmääräykset.

Ensimmäisessä ratkaisuesimerkissä käytettiin parannustoimenpiteinä ilmanvaihtokoneen parannusta, varaavaa tulisijaa, ilmanvuotoluvun pienentämistä ja ikkunoiden, ovien ja yläpohjan U-arvon parantamista. Näillä kuudella toimenpiteellä rakennuksen ostoenergiankulutusta saatiin pienennettyä 14 %. Parannusten jälkeen rakennuksen laskennallinen ostoenergiankulutus on 14 890,03 kWh/a. Suurin muutos tapahtuu ostoenergiankulutuksen jakautumisessa. Parannusten jälkeen lämmitysjärjestelmän osuus ostoenergiankulutuksesta on 60 %. 22 % ostoenergiankulutuksesta muodostuu varaavan tulisijan energiankulutuksesta.

Tarkemmin ostoenergian jakautumisen voi nähdä kuvasta 9 (s. 30). Yhteensä pientalon vuotuinen sähköenergiantarve pienenee 33 %. Sähköenergian säästöt muodostuvat lämmitysenergiantarpeen vähenemisestä sekä ilmanvaihtokoneen paremmasta vuosihyötysuhteesta ja paremmasta ominaissähkötehosta. Parannusten jälkeinen E-luku on 202,98 kWh/m<sup>2</sup>a, eli rakennus täyttää uuden D3 energiatehokkuusmääräykset. Taulukossa 2 (s. 32) on eritelty parannustoimenpiteiden kustannusarvio sekä vaikutus E-lukuun ja sähkönkulutukseen. Kustannusarvio näille toimenpiteille on noin 7 724 euroa.

Toisessa ratkaisumallissa tutkittiin ilma-ilmalämpöpumpun vaikutusta rakennuksen energiankulutukseen. Ilmalämpöpumpun lämmöntuotosta voitiin ottaa laskelmassa huomioon RakMK:n osan D3 mukaan 1 000 kWh vuodessa. Ilmalämpöpumpulla korvattiin ensimmäisen ratkaisumallin parannuksista ovien ja yläpohjan U-arvojen parannustoimenpiteet. Näillä parannuksilla pientalon vuotuisesti ostoenergiankulutukseksi saatiin 14 703,07 kWh, eli vuotuinen Ostoenergiankulutus pieneni noin 15 %. Tarkemmin ostoenergian jakautumisen voi nähdä kuvasta 11 (s. 34). Parannusten jälkeen, vuotuinen

sähköenergian kulutus pieneni noin 34 %. Taulukossa 3 (s. 33) on eritelty toisen esimerkkiratkaisun parannustoimenpiteiden kustannusarvio sekä vaikutus E-lukuun ja sähkönkulutukseen. Parannusten jälkeen pientalon E-luku oli 199,95, eli rakennus täyttää tulevaisuuden energiatehokkuus vaatimukset. Yhteensä esimerkkiratkaisun kustannusarvio on noin 7 890 euroa.

Saaduista tuloksista voidaan todeta, että uudistuvat energiamääräykset sallivat alle 120 m<sup>2</sup>:n pientalon lämmitysjärjestelmänä sähkölämmityksen. Sähkölämmitys vaatii kuitenkin parempia rakennusteknisiä ratkaisuja, joilla vuotuista lämmitysenergian kulutusta saadaan pienennettyä. Uudet energiatehokkuusmääräykset suosivat uusiutuvan energian käyttöä, joten pientalo on hyvä varustaa varaavalla tulisijalla, jolloin lämmitysenergiasta voidaan kattaa merkittävä osa uusiutuvalla energialla, jonka energiakerroin on 0,5, kun se sähköenergialla on 1,7. Myös rakennuskustannukset pysyvät varsin kohtuullisina.

Yli 120 m<sup>2</sup>:n pientaloissa energialuvun yläraja lasketaan pinta-alan mukaan ja näille taloille D3:n asettaa tiukemmat energiatehokkuusvaatimukset. Näin ollen sähkön käyttäminen suurempien pientalojen pääasiallisena lämmitysmuotona tulevaisuudessa tulee olemaan vähäistä.

## LÄHTEET

1. Direktiivi rakennusten energiatehokkuudesta. 2010. Ympäristöministeriö.  
Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=361277&lan=FI>  
Hakupäivä 14.4.2011.
2. YK:n ilmastopöytäkirja. 2010. Ympäristöministeriö. Saatavissa:  
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=364119&lan=FI> Hakupäivä  
14.4.2011.
3. Kioton Pöytäkirja. 2011. Ympäristöministeriö. Saatavissa:  
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=374055&lan=FI> Hakupäivä  
14.4.2011.
4. Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategia. 2008. Ympäristöministeriö.  
Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=86191&lan=fi>  
Hakupäivä 15.4.2011.
5. Asetus rakennusten energiatehokkuudesta. 2011. Ympäristöministeriö.  
Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=126233&lan=FI>  
Hakupäivä 17.4.2011.
6. Tiedote rakentamisen energiamääräyksistä. 2011. Ympäristöministeriö.  
Saatavissa:  
<http://www.environment.fi/default.asp?contentid=380376&lan=fi&clan=fi> Ha-  
kupäivä 17.4.2011.
7. Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D3. 2012. määräykset ja ohjeet.  
Ympäristöministeriö.
8. Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D5. 2012. Ohjeet. Ympäristömi-  
nisteriö.

9. Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D5. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ohjeet 2007.
10. Tuote-esite 1. Swegon AB. 2011. Saatavissa: [www.ilto.fi/ file/4992/Ilto\\_270M\\_esite.pdf](http://www.ilto.fi/file/4992/Ilto_270M_esite.pdf) Hakupäivä 10.5.2011.
11. Hinnasto ILTO 270M K (R). LVI-Pepe Oy. 2011. Saatavissa: [http://www.lvi-pepe.net/product\\_details.php?p=368](http://www.lvi-pepe.net/product_details.php?p=368) Hakupäivä 10.5.2011.
12. Tuotesertifikaatti Pingvin eco ED. Enervent Oy. 2011. Saatavissa: [http://www.enervent.fi/data/fi/datasheets/VTT\\_sertifikaatti\\_Pingvin\\_ecoED.pdf](http://www.enervent.fi/data/fi/datasheets/VTT_sertifikaatti_Pingvin_ecoED.pdf) Hakupäivä 10.5.2011.
13. Hinnasto Pingvin eco EDE. LVI-Pepe Oy. 2011. Saatavissa: [http://www.lvi-pepe.net/product\\_details.php?p=390](http://www.lvi-pepe.net/product_details.php?p=390) Hakupäivä 10.5.2011.
14. Uunihinnasto. 2011. Saatavissa: <http://www.stubb.fi/uunihinnasto.htm> Hakupäivä 10..5.2011
15. Tuppurainen, Timo 2011. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja: Ilkka Tyynelä 13.5.2011
16. Pesonen, Tero 2011. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja: Ilkka Tyynelä 21.5.2011
17. Ulko-ovi Kaski UOL2 1,0. Ercoma Oy. 2011. Saatavissa: <http://ercoma.fi/ulko-ovi-uol2-lasilla-9x21-oikea.html> Hakupäivä 14.5.2011
18. Ulko-ovi Kaski Thermo UOL2. Ercoma Oy. 2011. Saatavissa: <http://ercoma.fi/uol2-0-6-0-75-thermo-toimitusmyyntiovi.html> Hakupäivä 14.5.2011
19. Laakkonen, Jani-Petteri 2011. Puhallusvillan hinta. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja: Ilkka Tyynelä 13.5. 2011

20. Ilmalämpöpumppu Panasonic CE9 Nordic inverter. Ilmalämpöpumppu.fi.  
2011. Saatavissa: <http://www.ilmalampopumppu.fi/tarjous.htm> Hakupäivä  
30.5.2011

21. Repo, Jarkko 2011. Kaukolämmitetyn pientalon energialuvun laskentamalli.  
Opinnäytetyö.

## Yläpohjan U-arvo Perustapauksessa (YP 1)

Aine	d (m)	$\lambda_n$ (W/mK)	$R_i$ (m <sup>2</sup> K/W)
Sisäverhouslevy	0,009	0,21	0,042857143
Harvalaudoitus	0,022	0,12	0,183333333
Höyrynsulkumuovi	0,0002		0,04
Puhallusvilla	0,45	0,041	10,97560976

$$R_T = 11,24180023$$

$$U = 1/R_T = 0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$$

## Yläpohjan U-arvon parannus (YP 2)

Aine	d (m)	$\lambda_n$ (W/mK)	$R_i$ (m <sup>2</sup> K/W)
Sisäverhouslevy	0,009	0,21	0,042857143
Harvalaudoitus	0,022	0,12	0,183333333
Höyrynsulkumuovi	0,0002		0,04
Puhallusvilla	0,6	0,041	14,63414634

$$R_T = 14,90033682$$

$$U = 1/R_T = 0,067 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Puhallusvillan määrä (m<sup>3</sup>)

Pinta-ala 105 m<sup>2</sup>

Hinta 25 €/m<sup>3</sup>

YP 1      105\*0,45 = 47,25 m<sup>3</sup>

1181,25 €

YP 2      105\*0,60 = 63,00 m<sup>3</sup>

1575,00 €

Investointikustannus

394 €