



Samuli Hyvönen

# PASSIIVIPIENTALON ENERGIANKULUTUS JA LIITTÄMINEN KAUKOLÄMPÖÖN

# PASSIIVIPIENTALON ENERGIANKULUTUS JA LIITTÄMINEN KAUKOLÄMPÖÖN

Samuli Hyvönen  
Opinnäytetyö  
2.3.2011  
Talotekniikan koulutusohjelma  
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

Koulutusohjelma	Opinnäytetyö	Sivuja	+	Liitteitä
Talotekniikan koulutusohjelma	Insinöörityö	52	+	9
Suuntautumisvaihtoehto	Aika			
LVI-tekniikka	Kevät 2011			
Työn tilaaja	Työn tekijä			
Oulun seudun ammattikorkeakoulu	Samuli Hyvönen			
Työn nimi	Passiivipientalon energiankulutus ja liittäminen kaukolämpöön			
Avainsanat	Passiivipientalo, energiankulutus, kaukolämpö			

Työssä tarkasteltiin yhden passiivipientalon ja kolmen verrokkikohteen energian tarpeita ja -kulutuksia sekä pohdittiin yksittäisen passiivipientalon ja passiivipientalokaupunginosan kaukolämpöön liittäminen kannattavuutta. Työn tavoitteena oli määrittää esimerkkikohteiden energiankulutusten perusteella, onko passiivitalon liittäminen kaukolämpöön kannattavaa yksittäisen rakentajan lisäksi kaukolämpöliiketoiminnallisesta ja yhteiskunnallisesta näkökulmasta.

Työssä kohteiden lämmitys- ja laitesähköenergian tarpeet määritettiin Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 ohjeiden mukaan. RakMK:n osan D5 mukaan laskettuja energian tarpeita korjattiin perustietolomakkeella selvitettyjen käyttötietojen ja -tottumusten mukaan. Laskennallisia energian tarpeita verrattiin kohteiden toteutuneisiin energiankulutuksiin ja niiden eroavaisuuksien syitä sekä merkittävyyksiä pohdittiin. Työssä tarkasteltiin passiivipientalokaupunginosan kaukolämpöön liittäminen kannattavuutta sekä kaupunginosan energiantuotannon aiheuttamia päästöjä ja primäärienergian tarvetta.

Yksittäiselle rakentajalle edullisimmaksi lämmitysmuodoksi osoittautui suora sähkölämmitys. Kaukolämpö ja maalämpö osoittautuivat myös mahdollisiksi lämmitysmuodoiksi passiivipientalossa. Kaukolämpöliiketoiminnan näkökulmasta pelkästään passiivipientaloista rakennettu kaupunginosa ei tullut kannattavaksi kaukolämpöyhtiölle. CHP-tuotannon primäärienergian tarve ja hiilidioksidipäästöt osoittautuivat merkittävästi pienemmiksi kuin lauhdetuotannossa.

## ALKULAUSE

Opinnäytetyön tekeminen oli erittäin opettavaista ja mielenkiintoista. Työn aikana sain kuulla monenlaisia mielipiteitä nykyaikaisen, energiatehokkaan, pientalon kaukolämpöön liittämistä. Eriävät mielipiteet ja käsitykset energiatehokkaan pientalon kaukolämmityksestä toimivat osittain myös tutkimustyön käynnistäneinä tekijöinä.

Tahdon kiittää yliopettaja Veli-Matti Mäkelää ja lehtori Tuija Juntusta asiantuntevasta työn ohjauksesta. Lisäksi tahdon kiittää tutkimuskohteiden omistajia ja asukkaita hienosta yhteistyöstä ja vaivannäöstä. Kiitokset rakentavasta yhteistyöstä myös tarkastusinsinööri Markku Hienoselle Oulun rakennusvalvonnasta sekä kaukolämpöpäällikkö Kaj Norrbackalle ja energiainsinööri Markku Sutiselle Oulun Energialta.

Oulussa 2.3.2011

Samuli Hyvönen

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ALKULAUSE	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	7
2 TALOTYYPIEN MÄÄRITELMÄT JA KOHTEET	8
2.1 Passiivitalo	8
2.2 Matalaenergiatalo	11
2.3 Normaalitalo	11
2.4 Kohteet	12
2.4.1 Passiivitalo A	12
2.4.2 Matalaenergiatalot B ja C	13
2.4.3 Normaalitalo D	14
3 TUTKIMUSMENETELMÄ	15
3.1 Teoreettisen energiankulutuksen laskentatapa	15
3.1.1 Laskentaperiaate ja menetelmän rajaukset	15
3.1.2 Laskennan kulku	17
3.2 Käyttötietojen ja -tottumusten huomiointi	17
4 KOHTEIDEN ENERGIANKULUTUKSET	19
4.1 Kohde A	19
4.1.1 Energiankulutus RakMK:n osan D5 mukaan	19
4.1.2 Käyttötietojen mukaan korjattu energiankulutus	20
4.1.3 Toteutunut energiankulutus	21
4.2 Kohde B	24
4.2.1 Energiankulutus RakMK:n osan D5 mukaan	24
4.2.2 Käyttötietojen mukaan korjattu energiankulutus	24
4.2.3 Toteutunut energiankulutus	25
4.3 Kohde C	26
4.3.1 Energiankulutus RakMK:n osan D5 mukaan	26
4.3.2 Käyttötietojen mukaan korjattu energiankulutus	26
4.3.3 Toteutunut energiankulutus	27
4.4 Kohde D	28

4.4.1 Energiankulutus RakMK:n osan D5 mukaan	28
4.4.2 Käyttötietojen mukaan korjattu energiankulutus	28
4.4.3 Toteutunut energiankulutus	29
4.5 Energiankulutusten vertailu ja analysointi	29
4.6 RakMK:n osan D5 laskentatavan oikeellisuus	33
5 YKSITTÄISEN PASSIIVIPIENTALON LIITTÄMINEN KAUKOLÄMPÖÖN	36
6 PASSIIVIPIENTALOKAUPUNGINOSAN LIITTÄMINEN KAUKOLÄMPÖÖN	41
6.1 Kaukolämpöliiketoiminnan kannattavuus	41
6.2 Hiilidioksidipäästöt ja primäärienergian tarve	42
6.3 CHP-tuotannon hyödyt	45
7 YHTEENVETO	47
LÄHTEET	50
LIITTEET	52

# 1 JOHDANTO

Työn ensisijaisena tavoitteena on määrittää passiivipientaloasukkaan, kaukolämpöliiketoiminnan ja yhteiskunnan näkökulmista, onko esimerkkikohteiden perusteella kannattavaa liittää passiivitaloja kaukolämpöön. Työssä tarkastellaan kolmea passiivi- tai matalaenergiaomakotitaloa ja yhtä vuonna 2007 voimassa olleiden minimirakennusmääräysten mukaan rakennettua omakotitaloa. Tavoitteena on myös tarkastella eri kohteiden RakMK:n osan D5 mukaan laskettujen ja käyttötietojen mukaan korjattujen energiantarpeiden sekä toteutuneiden energiankulutuksien eroavaisuuksien syitä ja merkittävyksiä. Lisäksi työssä tarkastellaan RakMK:n osan D5 laskentatapaa ja sen oikeellisuutta. (Liite 1.)

Kohteiden käyttötiedot ja -tottumukset selvitettiin työssä liitteen 2 mukaisella perustietolomakkeella. Kohteiden toteutuneet energiankulutukset saatiin kohteiden omistajilta sähkö-, kaukolämpö- ja vesilaskujen muodossa tai valtakirjalla energiayhtiöstä. Vaihtoehtoisesti kohteen toteutunut energiankulutus määritettiin kohteen energiamittausten perusteella. Työssä tarkastellaan lämmitysenergian ja sähköenergian osuuksia rakennuksen kokonaisenergiankulutuksesta.

Pelkästään passiivipientaloista rakennetun kaupunginosan kaukolämpöön liittämisen kannattavuutta tarkastellaan kaukolämpöliiketoiminnan kannalta. Kaupunginosan energiantarvetta peilataan kaukolämpöverkoston rakentamis- ja ylläpitokustannuksiin sekä kaukolämpöenergian tuotannon ja siirron kustannuksiin.

Työssä tarkastellaan passiivipientalokaupunginosan energiatarpeen tuotannon primäärienergian tarvetta ja sen aiheuttamia hiilidioksidipäästöjä. Vertailtavina energiantuotantomuotoina käsitellään CHP-tuotannolla tuotettua kaukolämpöä ja sähköenergiaa sekä maalämpöä ja suoraa sähkölämmitystä. Maalämmön ja suoran sähkölämmityksen tarvitsema lämmitys- ja laitesähköenergia tuotetaan lauhdetuotantona.

## 2 TALOTYYPPIEN MÄÄRITELMÄT JA KOHTEET

### 2.1 Passiivitalo

Passiivitalo perustuu sen energiatehokkuudelle asetettuihin toimivuusvaatimukseen. Passiivitalon vaatimukset on asetettu rakennuksen tilojen lämmitysenergiantarpeelle, jossa ei huomioida lämmitysjärjestelmän ominaisuuksia sekä rakennuksen kokonaisprimäärienergiantarpeelle. Lisäksi on asetettu vaatimuksia passiivitalon vaipan tiiveydelle. Tilojen lämmitysenergiankulutusta ei voida käyttää kriteerinä, koska rakennuksen käyttäjä voi vaikuttaa siihen merkittävästi. (Lylykangas – Nieminen 2009, linkit Ladattava aineisto -> passiivitalon\_määritelmä.pdf, 11.)

VTT:n mukaan passiivitalon tilojen lämmitysenergian tarve Etelä-Euroopan lämpimissä ilmastoissa on enintään 15 kWh/m<sup>2</sup>, tilojen jäähdytysenergian tarve enintään 15 kWh/m<sup>2</sup> ja kokonaisprimäärienergiantarve enintään 120 kWh/m<sup>2</sup>. Keski-, Itä- ja Länsi-Euroopassa passiivitalon tilojen lämmitys- ja jäähdytysenergian tarve on enintään 15 kWh/m<sup>2</sup> ja kokonaisprimäärienergiantarve on enintään 120 kWh/m<sup>2</sup>. (Passiivitalo. 2006, linkit Energian kulutus -> Passiivitalon määritelmä.)

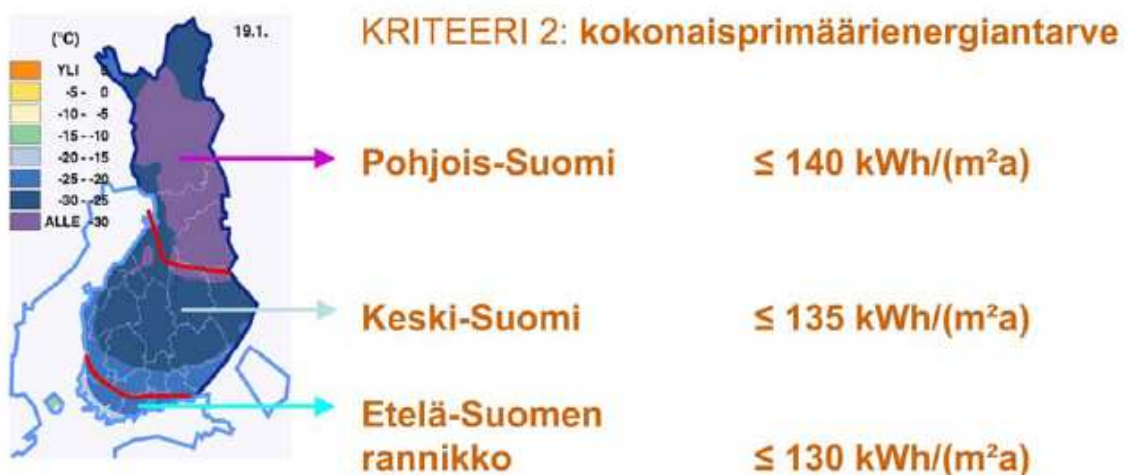
Pohjoismaissa 60 leveysasteen pohjoispuolella määräyksiä voidaan soveltaa, koska passiivitalon energiatavoitteet on asetettu Keski-Euroopan ilmastoa varten (Passiivitalo. 2006, linkit Materiaalia passiivitaloista -> Mikä on passiivitalo?). Passiivitalon tilojen lämmitys- ja jäähdytysenergian tarve pohjoismaissa 60 leveysasteen pohjoispuolella on 20 - 30 kWh/m<sup>2</sup> ja kokonaisprimäärienergiantarve on 120 - 140 kWh/m<sup>2</sup> rakennuksen sijainnin mukaisesti. Suosituksena ja toissijaisena tavoitteena passiivitalon tilojen lämmitystehon tarpeelle voidaan käyttää 10 W/m<sup>2</sup>, jota sovelletaan 60 leveysasteen pohjoispuolella. (Passiivitalo. 2006, linkit Energian kulutus -> Passiivitalon määritelmä.)

VTT:n tekemän PHPP-laskelman mukaan Suomessa olevan passiivitalon tilojen lämmitysenergian tarve on 25 - 35 kWh/m<sup>2</sup> ja kokonaisenergian tarve 75 - 85



kWh/m<sup>2</sup> (Passiivitalo. 2006, linkit Materiaalia passiivitaloista -> Mikä on passiivitalo?). Lylynkankaan ja Niemisen esittämät suomalaisen passiivitalon kriteerit esitetään kuvassa 1.

## SUOMALAINEN PASSIIVITALO



KUVA 1. Suomalainen passiivitalo (Lylykangas – Nieminen 2009, linkit Ladattava aineisto -> passiivitalon\_maaritelma.pdf, 10)

Kaikissa ilmastoissa passiivitalon ilmavuotoluvun  $n_{50}$  tulee olla alle 0,6 1/h. Ilmavuotoluku  $n_{50}$  mitataan painekokeessa, jossa sisä- ja ulkotilan välille synnytetään 50 Pascalin paine-ero. Ilmavuotoluku kuvaa rakennuksen ulkovaipan ilmatiiveyttä. (Lylykangas – Nieminen 2009, linkit Ladattava aineisto -> passiivitalon\_maaritelma.pdf, 11.)

Kokonaisprimäärienergiatarve on luku, johon lasketaan rakennuksen kaikki tarvitsema energia painotettuna energiamuodoittain määritetyllä primäärienergiakertoimella (Lylykangas – Nieminen 2009, linkit Ladattava aineisto -> passiivitalon\_maaritelma.pdf, 11). Toistaiseksi Suomessa ei ole määritelty kansallisia energiamuotokohtaisia kertoimia. Näillä näkymin ne ovat tulossa mukaan seuraaviin uudistuviin, lausuntokierroksella oleviin rakentamismääräyksiin. Eri energiamuotojen primäärienergiakertoimien määrittäminen ja suhtautuminen toisiinsa on pitkälti myös energiapoliittinen päätös.

Passiivitalon energiatehokkuus perustuu siihen, että normaalia suuremmilla eristyspaksuuksilla ja tiiviillä rakenteilla talon lämmitysenergiantarve saadaan kohtalaisen pieneksi. Passiivitalossa auringon, kodinkoneiden ja ihmisten tuottama lämpökuorma riittää ylläpitämään miellyttävän sisälämpötilan suurimman osan aikaa vuodesta. Suomen olosuhteissa rakennuksen sisäiset lämpökuormat eivät kuitenkaan yksin riitä kattamaan lämmöntarvetta ympäri vuoden. (Hellsten 2008.)

Suomessa passiivitalot varustetaan lähes aina varaavalla tulisijalla ja kosteat tilat useimmiten sähköisellä lattialämmityksellä. Myös vesikiertoista lattialämmitystä voisi käyttää, jolloin lämmöntuotantomuoto voisi olla myös kaukolämpö tai maalämpö. Passiivitalot voidaan varustaa myös lämmitystä ja lämmintä käyttövetä tuottavilla aurinkokeräimillä, joista saadaan huomattava osuus rakennuksen energiantarpeesta, kun se on passiivitalossa kohtalaisen pieni.

Lämmönlähteenä voidaan käyttää myös ilmanvaihtojärjestelmään liitettäviä vastuksia, koska ilmanvaihto on usein käytetty lämmönjakotapa passiivipientaloissa. Passiivitalon tulo- poistoilmanvaihtojärjestelmän tulisi toimia korkealla, yli 70

%, vuosihyötysuhteella. Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton tuloilman lämpötilahyötysuhteen tulisi olla yli 75 %. (Hellsten 2008.) Ilmanvaihtokoneen ja lämmityslaitteen kuluttamaa energiaa ei lasketa mukaan tilojen lämmitysenergiantarpeeseen. Ilmaisenergioiksi luetaan ihmisistä ja laitteista tuleva lämpö ja aurinгон säteilyenergia tiloihin ikkunoiden kautta. (Lylykangas – Nieminen 2009, linkit Ladattava aineisto -> passiivitalon\_maaritelma.pdf, 11.)

## **2.2 Matalaenergiatalo**

Aiemmin käytetyn määritelmän mukaan matalaenergiatalo oli talo, jonka lämmitysenergiantarve on puolet vuoden 2007 alusta voimaan tulleiden rakentamismääräysten vaatimukset täyttävän talon lämmitysenergiantarpeesta. Vuoden 2010 alusta voimaan tulleet uudet rakentamismääräykset tiukensivat merkittävästi rakennusten eristysvaatimuksia. Samalla matalaenergiatalon määritelmää päivitettiin. (Motiva - Matalaenergiatalon määritelmiä. 2010.)

Vuoden 2010 alusta voimaan tulleiden rakentamismääräysten ohjeiden mukaan matalaenergiarakennusta suunniteltaessa tulisi laskennallisten lämpöhäviöiden olla enintään 85 % rakennukselle määritetystä vertailulämpöhäviöstä. Laskennallisesti matalaenergiatalo kuluttaa tilojen lämmitysenergiaa Etelä-Suomessa alle 60 kWh/brm<sup>2</sup> vuodessa ja Pohjois-Suomessa alle 90 kWh/brm<sup>2</sup> vuodessa. (Motiva - Matalaenergiatalon määritelmiä. 2010.)

Matalaenergiatasoinen pientalo vaatii riittävää eristystä seiniin sekä ylä- ja alapohjaan. Lisäksi matalaenergiatalon ilmanvaihto tulisi toteuttaa tehokkaalla lämmöntalteenotolla, käytännössä pyörivällä lämmöntalteenottokennolla tai vastavirtalevyllämmönsiirtimellä. Ikkunoiden lämmönläpäisykertoimen eli U-arvon tulisi olla enintään 1,0 W/m<sup>2</sup>K ja ovien 0,8 W/m<sup>2</sup>K. (Hellsten 2008.)

## **2.3 Normaalitalo**

Työssä normaalitalona käsiteltiin vuoden 2007 alusta voimaan tulleiden rakentamismääräysten vaatimukset täyttävää taloa. Kohde toimi verrokkikohteena muihin energiatehokkaampiin kohteisiin.

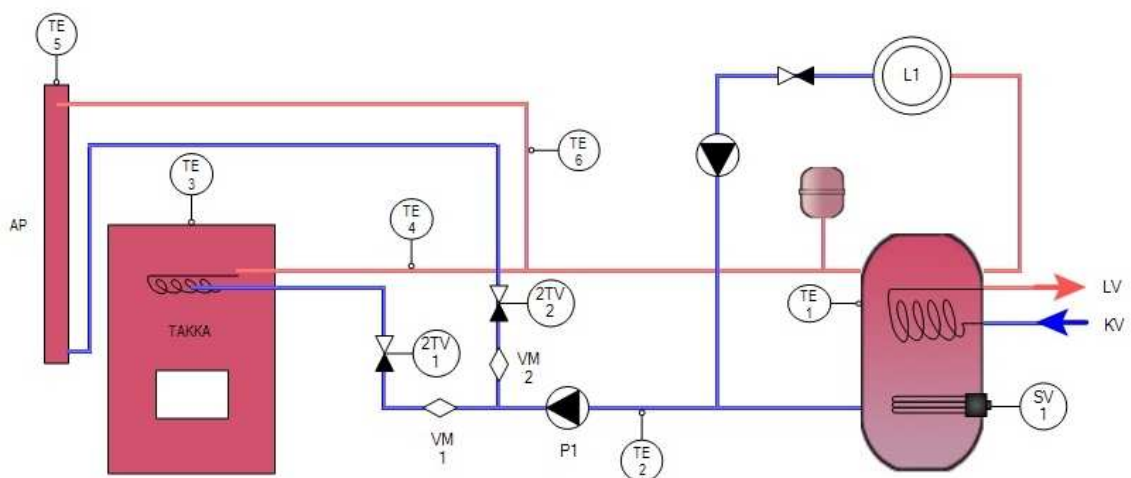
## 2.4 Kohteet

### 2.4.1 Passiivitalo A

Kohteena A käsiteltiin kaksikerroksista passiivitaloa, joka on valmistunut elokuussa 2008. Rakennuksen bruttopinta-ala on 214,8 br-m<sup>2</sup> ja tilavuus 477 m<sup>3</sup>. Rakennuksen ulkoseinien ja ulkoilmanvastaisen alapohjan eristyspaksuus on 400 mm. Yläpohjan eristyspaksuus on 600 mm. Eristeenä on käytetty puukuitueristettä. Talossa on tarkasteluaikana asunut kolme henkilöä.

Talon huoneissa ei ole perinteistä lattia- tai patterilämmitysjärjestelmää, lukuun ottamatta kosteiden tilojen lattialämmitystä, joka on rakennettu sähkökaapelilla. Talon lämmitysjärjestelmä koostuu erinomaisella lämmöntalteenotolla varustetun ilmanvaihtokoneen, varaavan takkauunin ja 8,8 m<sup>2</sup>:n tyhjiöputkiaurinkokehäntien yhdistelmästä. Tulisijan lämmönsiirrinkierukasta ja aurinkokeräimistä saatava energia varastoidaan 300 litran vesivaraajaan.

Lämmönjako varaajasta tapahtuu ilmanvaihdon tuloilman jälkilämmityspatterin avulla. Varaavan takan tuottama lämpö johtuu betonista lattialaattaa pitkin myös kosteisiin tiloihin. Vara- ja lisälämmönlähteenä varaajassa on 6 kW:n sähkövastus, joka tulistaa varaajan veden kaksi kertaa viikossa mahdollisen legionellabakteerin poistamiseksi. Lämmin käyttövesi saadaan myös varaajasta. Kuvassa 2 esitetään kohteen A lämmitysjärjestelmä kaaviokuvana.



KUVA 2. Kohteen A lämmitysjärjestelmä

## 2.4.2 Matalaenergiatalot B ja C

Kohteena B käsiteltiin yksikerroksista omakotitaloa, joka on valmistunut vuoden 2006 lopulla. Rakennuksen bruttopinta-ala on 177 br-m<sup>2</sup> ja ilmatilavuus 431 m<sup>3</sup>. Rakennuksen ulkoseinien eristeenä on käytetty 350 mm ja yläpohjan 700 mm selluvillaa. Maanvaraisen alapohjan eristeenä on 250 mm paisutettua polystyreeniä. Tarkasteluajalla vuosina 2007 ja 2008 talossa on asunut viisi ja vuodesta 2009 neljä henkilöä.

Talo on vaipparakenteiden ja ilmanvaihdon lämmöntalteenoton perusteella selvästi matalaenergiatasoa. Ikkunat ja ovet, joiden U-arvo on 1,1 W/m<sup>2</sup>K, eivät ole kuitenkaan matalaenergiatasoa. Kun ikkunapintaa on 23 % seinäpinta-alasta, talo ei täytä tasauslaskurin mukaan matalaenergiatasoa. Suunnitteluratkaisun lämpöhäviö on tasauslaskurin mukaan 68 % vertailulämpöhäviöstä.

Talon lämmitysjärjestelmänä on suora sähkölämmitys. Lämmönjako hoidetaan sähköpattereilla lukuun ottamatta kosteita tiloja, eteistä ja ATK-tilaa, joissa on sähköinen lattialämmitys. Lisälämmönlähteenä on varaava takkauuni. Lämmin käyttövesi tuotetaan 350 litran varaajaan sähkövastuksella ja tasoaurinkokeräimillä, joiden yhteenlaskettu pinta-ala on 5 m<sup>2</sup>.

Kohteena C työssä käsiteltiin yksikerroksista omakotitaloa, jossa on yläparvi. Talo on valmistunut elokuussa 2009. Rakennuksen bruttopinta-ala on 232 br-m<sup>2</sup> ja ilmatilavuus 613,4 m<sup>3</sup>. Rakennuksen ulkoseinien eristeenä on käytetty 250 mm mineraalivillaa. Yläpohjan eristeenä on 550 mm puhallettua selluvillaa. Maanvaraisen alapohjan eristeenä on 250 mm paisutettua polystyreeniä. Tarkasteluaikana talossa on asunut kuusi henkilöä.

Talo on liitetty kaukolämpöön. Lämmönjakomuotona koko rakennuksessa on vesikiertoinen lattialämmitys. Talossa on massiivinen, noin 8000 kg tiiltä sisältävä leivinuuni ja takka. Ilmanvaihtokoneen jälkilämmityspatteri on vesikiertoinen, mutta se ei ole ollut kytkettynä tarkasteluaikana.

### 2.4.3 Normaalitalo D

Kohteena D käsiteltiin vuonna 2007 valmistunutta sen aikaiset rakennusmääräykset täyttävää omakotitaloa. Rakennuksen bruttopinta-ala on 160 br-m<sup>2</sup> ja ilmatilavuus 407 m<sup>3</sup>. Rakennuksen ulkoseinien eristeenä on käytetty 195 mm mineraalivillaa. Yläpohjan eristeenä on 100 mm mineraalivilla ja 300 mm puhallusvillaa. Maanvaraisen alapohjan eristeenä on 150 mm paisutettua polystyreeniä. Tarkasteluaikana talossa on asunut viisi henkilöä.

Talo on liitetty kaukolämpöön. Lämmönjakomuotona koko rakennuksessa on vesikiertoinen lattialämmitys. Talossa on lisäksi takan ja leivinuunin yhdistelmä. Leivinuunin arina lämpiää takassa poltettujen puiden savukaasuilla. Taulukossa 1 esitetään tutkimuskohteiden rakenteiden U-arvot.

TAULUKKO 1. Kohteiden U-arvot

Kohde	Passiivitalo A	Matalaenergiatalo B	Matalaenergiatalo C	Normaalitalo D
Seinien U-arvo (W/m <sup>2</sup> K)	0,10	0,13	0,15	0,20
Yläpohjan U-arvo (W/m <sup>2</sup> K)	0,06	0,06	0,08	0,10
Alapohjan U-arvo (W/m <sup>2</sup> K)	0,10	0,16	0,14	0,21
Ikkunoiden U-arvo (W/m <sup>2</sup> K)	0,06	1,10	0,95	1,20
Ovien U-arvo (W/m <sup>2</sup> K)	0,80	1,10	0,70	1,40

## **3 TUTKIMUSMENETELMÄ**

### **3.1 Teoreettisen energiankulutuksen laskentatapa**

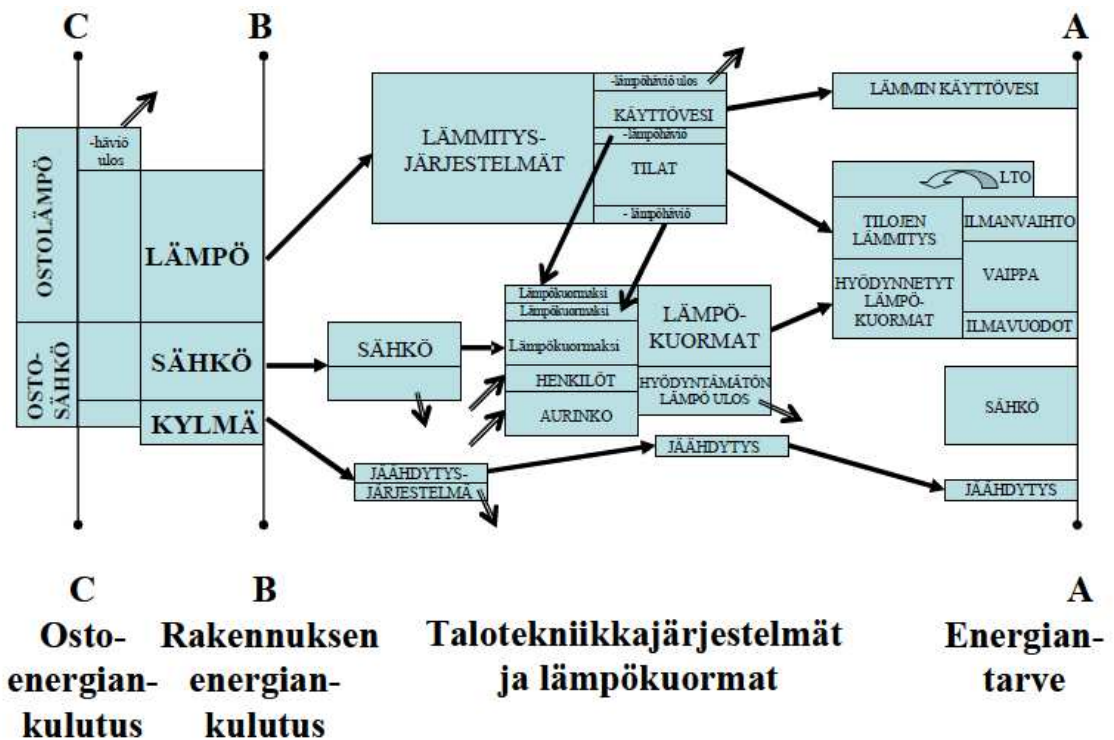
Työssä kohteiden teoreettiset energiankulutukset laskettiin liitteen 3 mukaisella Excel-pohjalle tehdyllä laskentatyökalulla, joka perustuu Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 ohjeisiin. Ohjeissa esitettyä laskentamenetelmää voidaan käyttää energiankulutuksen, ostoenergiankulutuksen, lämmitystehon ja kesäaikaisen sisälämpötilan arviointiin (RakMK D5. 2007, 3).

#### **3.1.1 Laskentaperiaate ja menetelmän rajaukset**

RakMK:n osan D5 laskentamenetelmässä rakennuksen energiankulutus laskeaan kuukausittain. Menetelmää kutsutaan energiatasemenetelmäksi, koska laskennassa saman kuukauden aikana rakennuksen sisään tuleva energia on sama kuin rakennuksesta poistuva energiamäärä. Rakennusta voidaan käsitellä yhtenä tilana, kun lämmitettyjen tilojen sisälämpötila on lähes sama, lämpökuormat kohtuullisen pieniä ja tasaisesti jakautuneita koko rakennuksessa. (RakMK D5. 2007, 9.)

Energiatase muodostuu lämmitysenergia-, sähköenergia- ja jäähdytysenergiataseista. Energiantarve koostuu lämpimän käyttöveden tarpeesta, tilojen lämmitystarpeesta, rakennuksen laitteiden ja koneiden sähköenergiantarpeesta sekä tilojen jäähdytystarpeesta. Energiantarve katetaan taloteknisten järjestelmien siirtämällä lämpö-, sähkö- ja jäähdytysenergioilla sekä lämpökuormilla. Rakennuksen energiankulutus koostuu taloteknisten järjestelmien siirtämisestä energioista ja järjestelmien häviöistä. Energiankulutuksesta saadaan tuotantotavan perusteella ostoenergiankulutus. (RakMK D5. 2007, 10.)

Energiatase on esitetty kaaviona kuvassa 3. Kuvan yksiviivaiset nuolet kuvaavat energiavirtaa taseen sisällä. Kaksiviivaiset nuolet kuvaavat energiavirtaa ulkoa taseeseen tai taseesta ulos. (RakMK D5. 2007, 11.)



KUVA 3. Rakennusten energiatase (RakMK D5. 2007, 12)

Lähtötietoina laskennassa käytetään yleensä kuukauden keskimääräisiä arvoja. Osa lähtötiedoista annetaan vuotuisina arvoina, jolloin kuukausiarvot lasketaan kuukausien pituuksien suhteessa. Vuosikulutus on kuukausikulutuksien summa. Energiankulutus lasketaan RakMK:n osan D5 liitteen 1 mukaisilla rakennuksen maantieteellisestä sijainnista riippuvilla säätiedoilla. (RakMK D5. 2007, 9 - 10.)

Rakennusten lämmitykseen käytetään yleensä useita energiamuotoja, jolloin kunkin energiamuodon ostoenergiankulutus lasketaan erikseen. Käytettävät energiamuodot vaikuttavat rakennukseen valittaviin teknisiin järjestelmiin ja laitteisiin. Laskelmissa otetaan huomioon lämmitysjärjestelmien lämpöhäviöt, esimerkiksi lämmöntuottolaitteen ja varaajan lämpöhäviöt niiden vaippojen läpi sekä lämmönjakoverkoston ja -laitteiden lämpöhäviöt. Osa näistä lämpöhäviöistä saadaan lämpökuormaksi rakennuksen sisälle, jolloin tilojen lämmityksen nettoenergiatarve pienenee. (RakMK D5. 2007, 9.)

Nykyisen RakMK:n osan D5 rakennuksen energiankulutuksen laskentatapa ei huomioi kiinteistökohtaisen eikä kiinteistön ulkopuolisen energiantuotannon häviöitä. Sen sijaan ostoenergiankulutuksen laskentatapa huomioi kiinteistökoh-



taisen energiantuotannon ja sen häviöt. Käytettäessä aurinkoenergiajärjestelmiä menetelmässä lasketaan energiankulutus, joka voidaan kattaa aurinkoenergialla. Aurinkoenergialla tuotettu lämmitysenergia otetaan huomioon ostoenergiankulutusta laskettaessa. (RakMK D5. 2007, 9.)

### **3.1.2 Laskennan kulku**

Energiankulutus lasketaan RakMK:n osan D5 mukaan vaiheittain seuraavasti:

1. lämpöhäviöenergiat (vaippa, vuotoilma ja ilmanvaihto)
2. käyttöveden lämmitystarve
3. lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergiat
4. laitesähköenergiankulutus
5. lämpökuormat
6. jäähdytysenergian tarve ja kulutus sekä kesäajan sisälämpötila
7. lämmitysenergiankulutus
8. rakennuksen energiankulutus
9. ostoenergiankulutus (RakMK D5. 2007, 10). Rakennuksen energiankulutuksen laskennan vaiheet esitetään kaaviona liitteessä 5.

### **3.2 Käyttötietojen ja -tottumusten huomiointi**

Kohteiden yksityiskohtaiset tiedot ja käyttötottumukset selvitettiin tutkimuksessa liitteen 2 mukaisella asukkaille tehdyllä perustietolomakkeella. Excel-laskentatyökalulla laskettiin käyttötietojen ja -tottumusten mukaan korjattu energiankulutus eri kohteille.

Yksi huomioituista tekijöitä laskennassa oli lämpimän käyttöveden kulutuksen laskentaperusteen vaihtaminen bruttoalaa kohti laskettavasta taulukkoarvosta henkilömäärän tai toteutuneen veden kulutuksen mukaan laskettavaan kulutukseen. Korjatun kulutuksen laskennassa huomioitiin todellinen ilmanvaihdon lämmöntalteenoton lämmönsiirtimen tulo- tai poistoilman lämpötilahyötysuhde, mikäli oli olemassa parempi ja todennettu valmistajan tai muun luotettavan tahon ilmoittama arvo. Mikäli kohteessa käytettiin suunnitelluista poikkeavia ilma-  
virtoja, ilmanvaihdon energiankulutuksen osuus lämmitysenergiankulutuksesta

laskettiin käytetyn poistoilmavirran mukaan. Lisäksi huomioitiin rakennuksen vaipan todellinen tiiveys, mikäli se oli mitattu. Korjattuun kulutukseen huomioitiin myös bruttoneliötä kohti lasketun laitesähkön tarpeen sijasta kohteen toteutunut keskimääräinen laitesähkönkulutus vuodessa ja siitä lämpökuormaksi saatu osuus.

Aurinkokeräimistä saatu energia käyttövedeen ja tilojen lämmitykseen huomioitiin rakennuksen toteutunutta lämmitysenergian kulutusta ja ostoenergian kulutusta määritettäessä. Kohteissa A ja B aurinkokeräimistä varaajaan saatu lämmitysenergia arvioitiin kirjallisuusarvojen perusteella (liite 4). Kohteesta B oli mitattu aurinkokeräimien keruupiiristä varaajaan siirretty energia, jota hyödynnettiin pelkästään lämpimän käyttöveden tuottamiseen. Kohteessa A aurinkoenergiaa hyödynnettiin tilojen lämmitykseen ja lämpimän käyttöveden tuottamiseen.

Varaavan takan tai takkauunin tuottama tilojen lämmitysenergia ja lämpimän käyttöveden tuotto huomioitiin rakennuksen toteutunutta lämmitysenergian kulutusta ja ostoenergian kulutusta määritettäessä. Kohteiden tulisijoista saama lämmitysenergia arvioitiin poltetun puumäärän mukaan (liite 4). Tulisijojen tuottama lämmitysenergia laskettiin huomioiden valmistajan ilmoittama tai arvioitu tulisijan hyötysuhde.

## 4 KOHTEIDEN ENERGIANKULUTUKSET

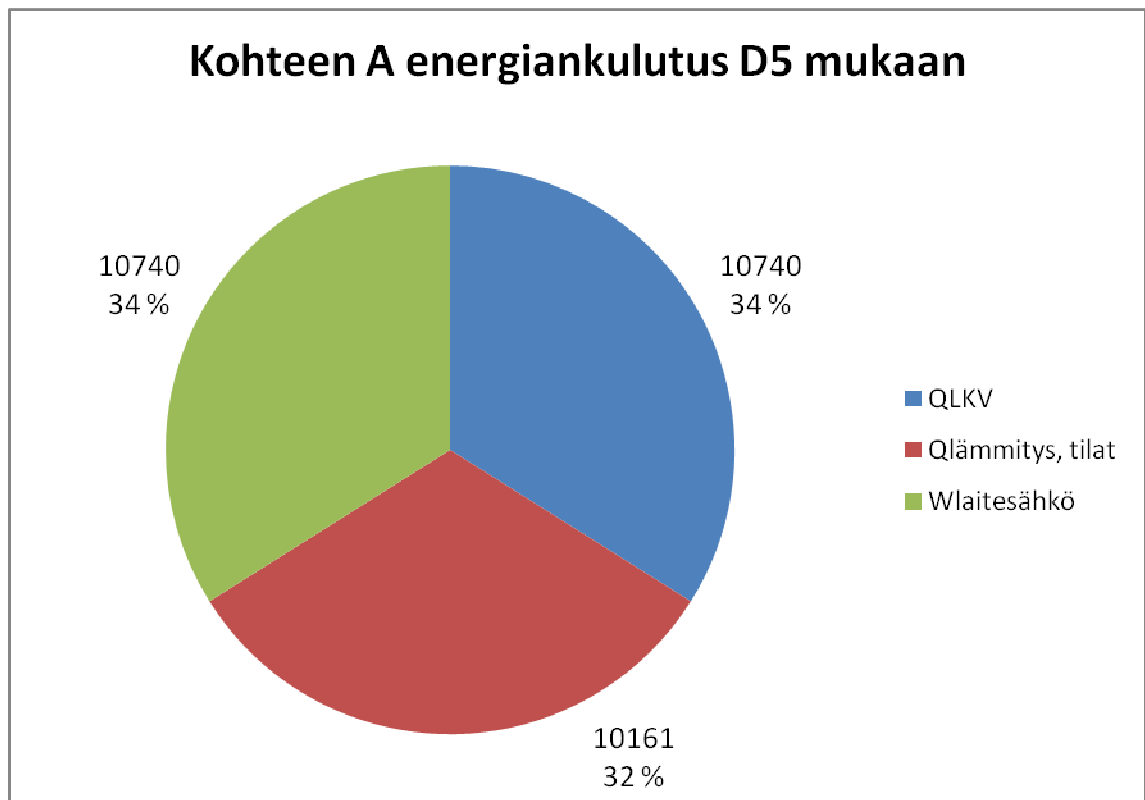
Energiankulutukset esitetään kohteittain ja lopuksi vertaillaan kohteittain RakMK:n osan D5 mukaan laskettuja, käyttötietojen ja -tottumusten mukaan korjattuja ja toteutuneita energiankulutuksia. Rakennuksen energiankulutus koostuu laitesähkökulutuksesta ja lämmitysenergiankulutuksesta. Rakennuksen lämmitysenergiankulutus voidaan jakaa lämpimän käyttöveden lämmittämiseen tarvittavaan lämmitysenergiaan ja tilojen lämmitysenergiaan.

Energiankulutus RakMK:n osan D5 mukaan laskettiin kohteittain D5:n kaavoilla ja taulukoilla, käyttäen rakennuspiirustuksista ja LVI-suunnitelmista saatuja tietoja. Käyttötietojen mukaan korjattu energiankulutus laskettiin kohteittain korjaten D5:n mukaan tehtyä laskelmaa perustietolomakkeella selvitettyillä käyttöiedoilla ja -tottumuksilla. Toteutunut rakennuksen energiankulutus määritettiin kohteittain kaukolämpö-, sähkö- ja vesilaskujen tai kohteen energiamittareista kerätyn tiedon avulla. Lisäksi aurinkokeräimistä ja tulisijoista saatu lämmitysenergia huomioitiin laskennallisesti.

### 4.1 Kohde A

#### 4.1.1 Energiankulutus RakMK:n osan D5 mukaan

Kohteen A lämmitysenergian kulutukseksi  $Q_{\text{lämmitys}}$  RakMK:n osan D5 mukaan laskettuna saatiin 20 901 kWh vuodessa. Se koostuu lämpimän käyttöveden tuotannon energiantarpeesta  $Q_{\text{lkv}} = 10\,740$  kWh ja tilojen lämmityksen energiantarpeesta  $Q_{\text{lämmitys, tilat}} = 10\,161$  kWh. RakMK:n osan D5 mukaan lasketuksi tilojen lämmitysenergiankulutukseksi bruttoneliötä kohti saatiin noin 47 kWh/br-m<sup>2</sup>. Laskennalliseksi laitesähkökulutukseksi  $W_{\text{laitesähkö}}$  saatiin 10 740 kWh vuodessa. Rakennuksen energiankulutus  $E_{\text{rakennus}} = 31\,641$  kWh vuodessa saatiin lämmitysenergian ja laitesähkön summana. Kohteen A RakMK:n osan D5 mukaan laskettu energiankulutus esitetään kaaviona kuvassa 5.



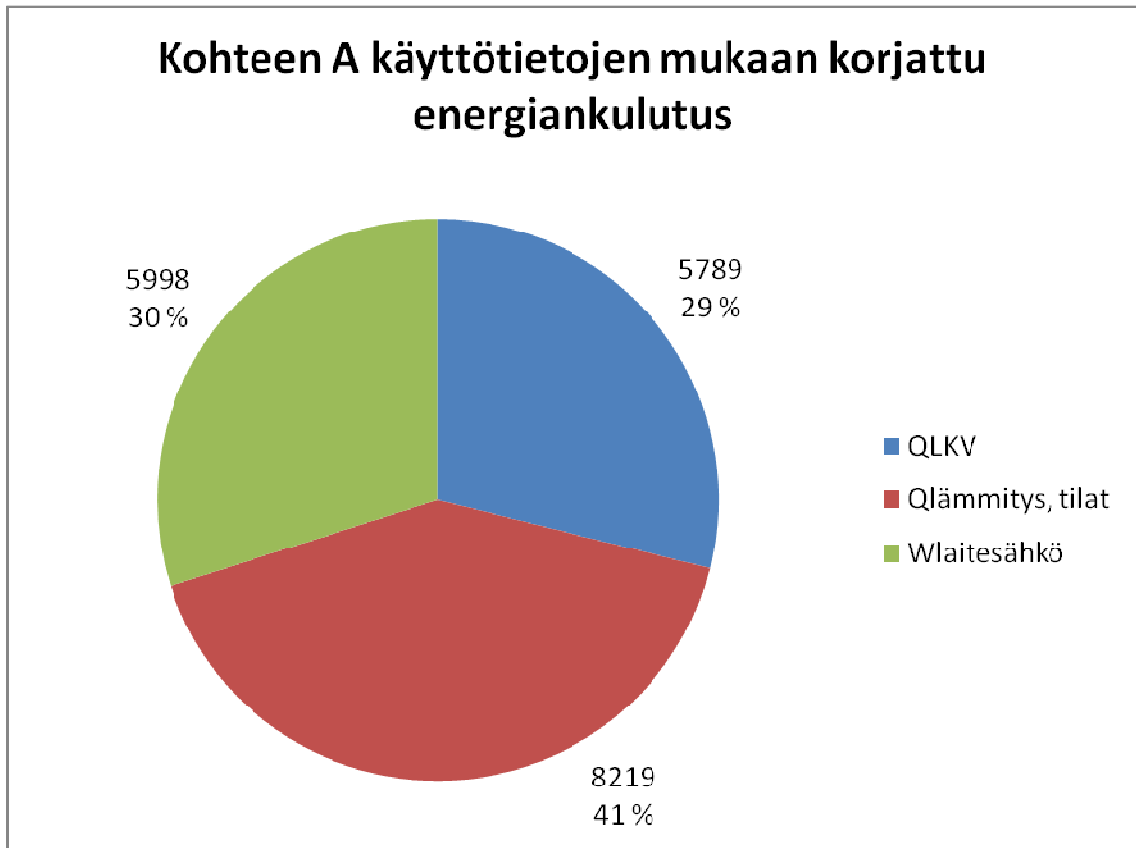
KUVA 5. Kohteen A RakMK:n osan D5 mukaan laskettu energiankulutus

#### 4.1.2 Käyttötietojen mukaan korjattu energiankulutus

Kohteen A käyttötietojen mukaan korjatuksi lämmitysenergian kulutukseksi saatiin 14 007 kWh vuodessa. Lämpimän käyttöveden tuotannon energiantarpeeksi saatiin 5 788 kWh, joka laskettiin sen mukaan, että 40 % kulutetusta vedestä olisi lämmintä käyttövettä. Tilojen lämmitysenergian tarpeeksi saatiin 8 219 kWh. Tilojen lämmitysenergiankulutukseksi bruttoneliötä kohden saatiin noin 38 kWh/br-m<sup>2</sup>, mikä ei täytä passiivitalolle asetettua tilojen lämmitysenergian tarvevaatimusta.

Rakennuksen vaipan ilmanvuotolukuna käytettiin arvoa 0,2 l/h. Ilmanvaihtokoneen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteena käytettiin 73 %:a (Sertifikaatti Nro VTT-C-4026-09. 2009). Myös talon ilmanvaihdon säätö lähes tulkoon tasapainoiseksi huomioitiin. Keskimääräiseksi toteutuneeksi laitesähkön kulutukseksi saatiin 5 998 kWh vuodessa. Laitesähköstä lämpökuormaksi saatu energia huomioitiin toteutuneen laitesähkönkulutuksen mukaan. Rakennuksen käyttötietojen mukaan korjatuksi energiankulutukseksi saatiin 20 005 kWh vuo-

dessa. Käyttötietojen ja -tottumusten mukaan korjattu energiankulutus esitetään kaaviona kuvassa 6.



KUVA 6. Kohteen A käyttötietojen mukaan korjatun energiankulutus

#### 4.1.3 Toteutunut energiankulutus

Vuosittainen auringon säteilyn kokonaismäärä vaakatasolle on Suomessa noin 1 000 kWh/m<sup>2</sup>. Motivan mukaan tavanomainen yhden neliömetrin keräin tuottaa energiaa yleensä 250 - 400 kWh vuodessa. Tyhjiöputkikeräin voi tuottaa noin 30 % enemmän energiaa neliötä kohden kuin tasokeräin eli 325 - 520 kWh/m<sup>2</sup>, mutta ne ovat tavallisia aurinkokeräimiä kalliimpia. (Motiva - Aurinkokeräimet. 2009.) Motivan mukaan sopivan kokoisella tulisijalla on mahdollista tuottaa kolmasosa rakennuksen lämmitysenergiantarpeesta. (Motiva - Tukilämmitysjärjestelmät. 2009.)

Kohteen A toteutuneeksi lämmitysenergiankulutukseksi saatiin 9 936 kWh vuodessa. Se tuotetaan tyhjiöputkiaurinkokeräimillä, varaavalla takkauunilla, jossa

on vesikierukka ja varaajassa olevalla sähkövastuksella. Aurinkokeräimillä tuotettu keskimääräinen lämmitysenergia 4 576 kWh vuodessa arvioitiin laskennallisesti kaavan 1 mukaan liitteessä 4. Aurinkokeräimillä tuotetun lämmitysenergian osuudeksi muodostui 46 % lämmitysenergian kokonaiskulutuksesta. Varaavan tulisijan tuottama lämmitysenergia 4 680 kWh laskettiin liitteessä 4 poltettujen puiden määrästä kaavalla 2. Varaavan tulisijan tuottaman lämmitysenergian osuudeksi toteutuneesta lämmitysenergian kokonaiskulutuksesta muodostui 47 %.

$$Q_{\text{aurinkokeräin}} = A_{\text{keräin}} * Q_{\text{keräin, omin}} \quad \text{KAAVA 1}$$

$A_{\text{keräin}}$  = aurinkokeräinten yhteenlaskettu pinta-ala (m<sup>3</sup>)

$Q_{\text{keräin, omin}}$  = aurinkokeräimen tuottama energia pinta-alaa kohden (kWh / m<sup>2</sup>)

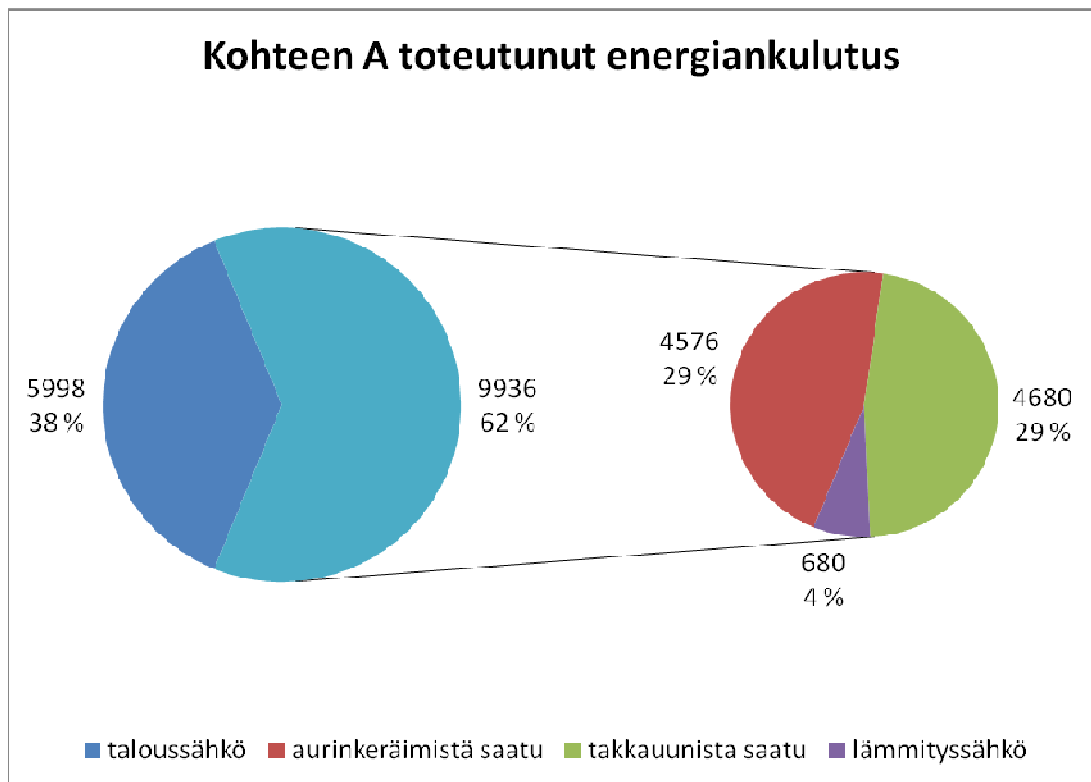
$$Q_{\text{tulisija}} = V_{\text{poltettu puu}} * Q_{\text{polttoaine, omin}} * \eta_{\text{lämmitys}} \quad \text{KAAVA 2}$$

$V_{\text{poltettu puu}}$  = poltettu puumäärä (p-m<sup>3</sup>)

$Q_{\text{polttoaine, omin}}$  = käytetyn polttoaineen tehollinen lämpöarvo (kWh / p-m<sup>3</sup>) ja

$\eta_{\text{lämmitys}}$  = lämmöntuottolaitteen vuosihyötysuhde

Lämmitys- ja käyttövesivaraajan sähkövastuksen mitattu energiankulutus ensimmäisen asutun vuoden aikana oli 680 kWh eli 7 % lämmitysenergian kokonaiskulutuksesta. Keskimääräiseksi toteutuneeksi laitesähkön kulutukseksi saatiin 5 998 kWh vuodessa ja sen osuudeksi rakennuksen toteutuneesta energiankulutuksesta 38 %. Rakennuksen toteutuneeksi energiankulutukseksi saatiin 15 934 kWh vuodessa. Toteutunut rakennuksen energiankulutus esitetään kaaviona kuvassa 7.



KUVA 7. Kohteen A toteutunut energiankulutus

Kulutetusta kylmän veden määrästä 110 m<sup>3</sup> vuodessa laskettu 40 %:n lämpimän käyttöveden osuus 44 m<sup>3</sup> vuodessa oletettiin toteutuneeksi. Tästä saatiin lämpimän käyttöveden tuottamiseen tarvittu toteutunut energia 5 789 kWh vuodessa. Tällöin toteutuneeksi tilojen lämmitysenergiaksi tuli 9 936 kWh – 5 789 kWh = 4 147 kWh vuodessa. Toteutuneeksi tilojen lämmitysenergiankulutukseksi bruttoneliötä kohti muodostui noin 19 kWh/br-m<sup>2</sup>, mikä täyttää passiivitalolle asetetun tilojen lämmitysenergian tarvevaatimuksen.

Kohteen A lämmöntuotantomuotojen vuosihyötysuhteet ovat eriävät. Aurinkokeräimillä tuotettava lämmitysenergia on ilmaisenergiaa lukuun ottamatta lämmönsiirtonesteen kierrätykseen kuluva energia. Kohteen A toteutunut ostettavan lämmitysenergian kulutus vuodessa koostuu ostetusta puusta ja sähköenergiasta. Se laskettiin kaavalla 3 (RakMK D5. 2007, 13):

$$Q_{\text{lämmitys, osto}} = 4\,680 \text{ kWh} / 0,6 + 680 \text{ kWh} / 1,0 = 8\,480 \text{ kWh vuodessa.}$$

$$Q_{\text{lämmitys, osto}} = Q_{\text{lämmitys}} / \eta_{\text{lämmitys}},$$

KAAVA 3

$Q_{\text{lämmitys}}$  = lämmitysenergian kulutus

$\eta_{\text{lämmitys}}$  = lämmöntuottolaitteen vuosihyötysuhde

Kohteen A toteutunut ostoenergiankulutus vuodessa laskettiin ostettavan lämmitysenergiankulutuksen ja laitesähkön summana:

$$Q_{\text{osto}} = 8\,480 \text{ kWh} + 5\,998 \text{ kWh} = 14\,478 \text{ kWh vuodessa.}$$

## 4.2 Kohde B

### 4.2.1 Energiankulutus RakMK:n osan D5 mukaan

Kohteen B lämmitysenergian kulutukseksi RakMK:n osan D5 mukaan laskettuna saatiin 21 683 kWh vuodessa. Se koostuu lämpimän käyttöveden tuotannon energiantarpeesta 10 339 kWh ja tilojen lämmityksen energiantarpeesta 11 344 kWh. Tilojen lämmitysenergiankulutukseksi bruttoneliötä kohti muodostui noin 64 kWh/br-m<sup>2</sup>. Laskennalliseksi laitesähkönkulutukseksi saatiin 8 850 kWh vuodessa. Rakennuksen energiankulutukseksi saatiin 30 533 kWh vuodessa.

### 4.2.2 Käyttötietojen mukaan korjattu energiankulutus

Kohteen B käyttötietojen mukaan korjatuksi lämmitysenergian kulutukseksi saatiin 19 771 kWh vuodessa. Lämpimän käyttöveden tuotannon energiantarpeeksi saatiin 7 784 kWh, joka laskettiin sen mukaan että 40 % kulutetusta vedestä olisi lämmintä käyttövettä. Tilojen lämmitysenergian tarpeeksi saatiin 11 987 kWh. Käyttötietojen mukaan korjatuksi tilojen lämmitysenergiankulutukseksi bruttoneliötä kohti muodostui noin 68 kWh/br-m<sup>2</sup>.

Rakennuksen vaipan ilmanvuotolukuna käytettiin mitattua arvoa 0,92 1/h. Ilmanvaihtokoneen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteena käytettiin 51 %:a, joka saatiin laskemalla RakMK:n osan D5 kaavalla 4.11 (RakMK D5.



2007, 22) ilmanvaihdon lämmöntalteenoton tuloilman lämpötilahyötysuhteesta 85 %. Keskimääräiseksi toteutuneeksi laitesähkön kulutukseksi saatiin 5 193 kWh vuodessa. Laitesähköstä lämpökuormaksi saatu energia laskettiin toteutuneesta laitesähkön kulutuksesta. Rakennuksen käyttötietojen mukaan korjatuksi energiankulutukseksi saatiin 24 964 kWh vuodessa.

### **4.2.3 Toteutunut energiankulutus**

Kohteen B tilojen lämmitysenergia tuotetaan sähköenergialla ja varaavalla takkauunilla. Lämmin käyttövesi tuotetaan varaajan sähkövastuksella ja 5,0 m<sup>2</sup>:n tasoaurinkokeräimillä. Lämmöntuotantomuotojen vuosihyötysuhteet ovat eriävät.

Kohteen B toteutuneeksi lämmitysenergian kulutukseksi saatiin 20 021 kWh vuodessa. Aurinkokeräimillä tuotettu keskimääräinen lämmitysenergia 2 000 kWh vuodessa arvioitiin laskennallisesti kaavan 1 mukaan liitteessä 4. Aurinkokeräimillä tuotetun lämmitysenergian osuudeksi muodostui 10 % lämmitysenergian kokonaiskulutuksesta. Varaavan tulisijan tuottama lämmitysenergia 7 020 kWh laskettiin poltettujen puiden määrästä kaavalla 2 (liite 4). Varaavan takan tuottaman lämmitysenergian osuudeksi toteutuneesta lämmitysenergian kokonaiskulutuksesta muodostui 35 %.

Kohteen B tasoaurinkokeräimen, jota on noin 5 m<sup>2</sup>, keruupiiristä oli mitattu keskimääräinen varaajan siirretty energia 5 796 kWh vuodessa (liite 4). Motivan mukaan auringon kokonaissäteily vaakapinnalle on Suomessa keskimäärin 1 000 kWh/m<sup>2</sup> ja tavanomainen yhden neliömetrin keräin tuottaa energiaa yleensä 250 - 400 kWh vuodessa (Motiva – Aurinkokeräimet. 2009). Laskennallisesti kohteen B aurinkokeräimistä saadaan lämmitysenergiaa 1 250 - 2 000 kWh vuodessa (liite 4). Aurinkokeräimistä mitattu saatu energia ei vastaa kirjallisuusarvojen mukaan arvioitua energiaa. Mittauksessa voi olla jokin häiriö tai mittaus voi olla väärin asennettu.

Kohteen B mitattu kokonaissähkönkulutus on keskimäärin 16 194 kWh vuodessa, josta lämmityssähkön kulutusta on keskimäärin 11 001 kWh vuodessa.

Lämmityssähköenergian osuudeksi toteutuneesta lämmitysenergian kulutuksesta saatiin 55 %. Keskimääräiseksi toteutuneeksi laitesähkön kulutukseksi saatiin 5 193 kWh vuodessa ja sen osuudeksi rakennuksen toteutuneesta energiankulutuksesta 21 %. Rakennuksen toteutuneeksi energiankulutukseksi saatiin 25 214 kWh vuodessa. Toteutuneeksi tilojen lämmitysenergian kulutukseksi bruttoneliötä kohti saatiin noin 90 kWh/br-m<sup>2</sup>.

Kohteen B toteutunut ostettavan lämmitysenergian kulutus vuodessa koostuu poltetusta puusta ja lämmityssähköenergiasta. Se laskettiin kaavalla 3:

$$Q_{\text{lämmitys, osto}} = 7\,020 \text{ kWh} / 0,6 + 11\,001 \text{ kWh} / 1,0 = 22\,701 \text{ kWh vuodessa.}$$

Kohteen B toteutunut ostoenergiankulutus vuodessa laskettiin ostettavan lämmitysenergiankulutuksen ja laitesähkön summana:

$$Q_{\text{osto}} = 22\,701 \text{ kWh} + 5\,193 \text{ kWh} = 27\,894 \text{ kWh vuodessa.}$$

## **4.3 Kohde C**

### **4.3.1 Energiankulutus RakMK:n osan D5 mukaan**

Kohteen C lämmitysenergian kulutukseksi RakMK:n osan D5 mukaan laskettuna saatiin 29 200 kWh vuodessa. Se koostui lämpimän käyttöveden tuotannon energiantarpeesta 11 600 kWh ja tilojen lämmityksen energiantarpeesta 17 600 kWh. Tilojen lämmitysenergian kulutukseksi bruttoneliötä kohti muodostui noin 76 kWh/br-m<sup>2</sup>. Laskennalliseksi laitesähkönkulutukseksi saatiin 11 600 kWh vuodessa. Rakennuksen energiankulutukseksi D5:n mukaan saatiin 40 800 kWh vuodessa.

### **4.3.2 Käyttötietojen mukaan korjattu energiankulutus**

Kohteen C käyttötietojen mukaan korjatuksi lämmitysenergian kulutukseksi saatiin 27 934 kWh vuodessa. Lämpimän käyttöveden tuotannon energiantarpeeksi saatiin 6 933 kWh, joka laskettiin sen mukaan, että 40 % kulutetusta vedestä

olisi lämmintä käyttövettä. Tilojen lämmitysenergian tarpeeksi saatiin 21 000 kWh. Käyttötietojen mukaan korjatuksi tilojen lämmitysenergian kulutukseksi bruttoneliötä kohti muodostui noin 91 kWh/br-m<sup>2</sup>.

Rakennuksen vaipan ilmanvuotolukuna käytettiin mitattua arvoa 1,29 1/h. Ilmanvaihtokoneen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteena käytettiin 51 %:a, joka saatiin laskemalla RakMK:n osan D5 kaavalla 4.11 (RakMK D5. 2007, 22) ilmanvaihdon lämmöntalteenoton tuloilman lämpötilahyötysuhteesta 85 %. Talon kokoon nähden ison RTEK Lumier Passiv 1000-ilmanvaihtokoneen tulo- ja poistoilmavirta arvioitiin noin puolitoistakertaisiksi suunniteltuihin 0,5 1/h mukaisiin ilmavirtoihin nähden, koska todellisia ilmavirtoja ei ole mitattu. Käytetyn poistoilmavirran 0,12 m<sup>3</sup>/s mukaan rakennuksen ilmanvaihtokerroin olisi 0,7 1/h.

Keskimääräiseksi toteutuneeksi laitesähkön kulutukseksi saatiin 6 485 kWh vuodessa. Laitesähköstä lämpökuormaksi saatu energia laskettiin toteutuneesta laitesähkön kulutuksesta. Rakennuksen toteutuneeksi energiankulutukseksi saatiin 34 419 kWh vuodessa.

### **4.3.3 Toteutunut energiankulutus**

Kohteen C toteutuneeksi lämmitysenergiankulutukseksi saatiin 29 544 kWh vuodessa. Se koostuu ostetusta kaukolämpöenergiasta 27 269 kWh vuodessa ja varaavan takkauunin luovuttamasta lämmitysenergiasta. Tulisijan tuottama lämmitysenergia 2 275 kWh vuodessa arvioitiin poltetun puumäärän mukaan liitteessä 4. Toteutuneeksi tilojen lämmitysenergiankulutukseksi bruttoneliötä kohti muodostui noin 97 kWh/br-m<sup>2</sup>. Toteutuneeksi laitesähkön kulutukseksi saatiin 6 485 kWh vuodessa ja sen osuudeksi rakennuksen kokonaisenergiankulutuksesta 18 %. Rakennuksen toteutuneeksi energiankulutukseksi saatiin 36 029 kWh vuodessa.

Kohteen C toteutunut ostettavan lämmitysenergian kulutus vuodessa koostuu poltetusta puusta ja ostetusta kaukolämpöenergiasta. Se laskettiin kaavalla 3:

$Q_{\text{lämmitys, osto}} = 2\,275 \text{ kWh} / 0,7 + 27\,269 \text{ kWh} / 1,0 = 30\,519 \text{ kWh}$  vuodessa.

Kohteen C toteutunut ostoenergiankulutus vuodessa saatiin ostetun lämmitysenergiankulutuksen ja laitesähkön summana:

$Q_{\text{osto}} = 30\,519 \text{ kWh} + 6\,485 \text{ kWh} = 37\,004 \text{ kWh}$  vuodessa.

## **4.4 Kohde D**

### **4.4.1 Energiankulutus RakMK:n osan D5 mukaan**

Kohteen D lämmitysenergian kulutukseksi RakMK:n osan D5 mukaan laskettuna saatiin 28 985 kWh vuodessa. Se koostuu lämpimän käyttöveden tuotannon energiantarpeesta 8 000 kWh ja tilojen lämmityksen energiantarpeesta 20 985 kWh. RakMK:n osan D5 mukaan lasketuksi tilojen lämmitysenergiankulutukseksi bruttoneliötä kohti muodostui noin 131 kWh/br-m<sup>2</sup>. Laskennalliseksi laitesähkön kulutukseksi saatiin 8 000 kWh vuodessa. Rakennuksen energiankulutukseksi saatiin 36 985 kWh vuodessa.

### **4.4.2 Käyttötietojen mukaan korjattu energiankulutus**

Kohteen D käyttötietojen mukaan korjatuksi lämmitysenergian kulutukseksi saatiin 22 978 kWh vuodessa. Lämpimän käyttöveden tuotannon energiantarpeeksi saatiin 5 900 kWh, joka laskettiin sen mukaan että 40 % kulutetusta vedestä olisi lämmintä käyttövettä. Tilojen lämmitysenergian tarpeeksi saatiin 17 078 kWh. Käyttötietojen mukaan korjatuksi tilojen lämmitysenergiankulutukseksi bruttoneliötä kohti muodostui noin 107 kWh/br-m<sup>2</sup>.

Talossa käytetyt suunniteltuja pienemmät tulo- ja poistoilmavirrat huomioitiin. Keskimääräiseksi toteutuneeksi laitesähkön kulutukseksi saatiin 6 874 kWh vuodessa. Laitesähköstä lämpökuormaksi saatava energia laskettiin toteutuneesta laitesähkön kulutuksesta. Rakennuksen käyttötietojen mukaan korjatuksi energiankulutukseksi saatiin 29 852 kWh vuodessa.

### 4.4.3 Toteutunut energiankulutus

Kohteen D toteutuneeksi lämmitysenergian kulutukseksi saatiin 23 016 kWh vuodessa. Se koostuu ostetusta kaukolämpöenergiasta 19 603 kWh vuodessa ja varaavan tulisijan luovuttamasta lämmitysenergiasta. Tulisijan tuottama lämmitysenergia 3 413 kWh vuodessa arvioitiin poltetun puumäärän mukaan liitteessä 4. Toteutuneeksi laitesähkön kulutukseksi saatiin 6 874 kWh vuodessa ja sen osuudeksi rakennuksen kokonaisenergiankulutuksesta 23 %. Rakennuksen toteutuneeksi energiankulutukseksi saatiin 29 890 kWh vuodessa. Toteutuneeksi tilojen lämmitysenergiankulutukseksi bruttoneliötä kohti tuli noin 107 kWh/br-m<sup>2</sup>.

Kohteen D toteutunut lämmityksen ostoenergiankulutus vuodessa koostuu poltetusta puusta ja ostetusta kaukolämpöenergiasta. Se laskettiin kaavalla 3:

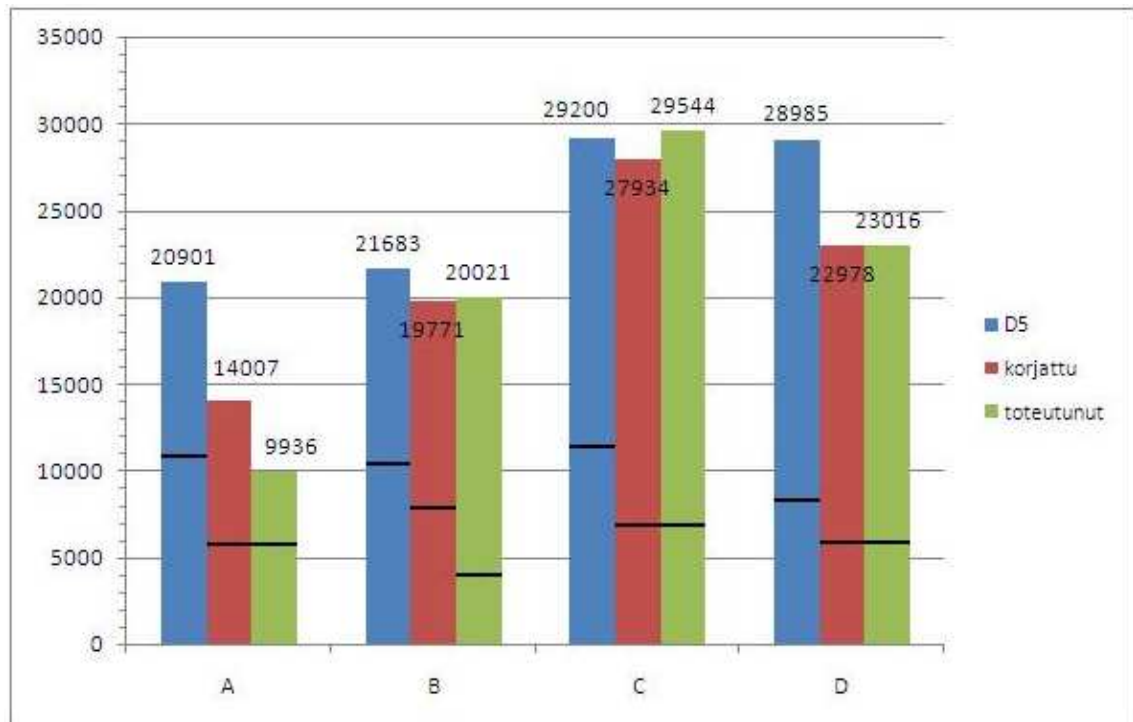
$$Q_{\text{lämmitys, osto}} = 3\,413 \text{ kWh} / 0,7 + 19\,603 \text{ kWh} / 1,0 = 24\,479 \text{ kWh vuodessa.}$$

Kohteen D toteutunut ostoenergiankulutus vuodessa laskettiin ostettavan lämmitysenergian kulutuksen ja laitesähkön summana:

$$Q_{\text{osto}} = 24\,479 \text{ kWh} + 6\,874 \text{ kWh} = 31\,353 \text{ kWh vuodessa.}$$

### 4.5 Energiankulutusten vertailu ja analysointi

Lämmitysenergian vuosikulutukset kohteittain esitetään kuvassa 8. Viivojen alapuoliset osuudet kuvaavat lämpimän käyttöveden lämmitysenergiankulutusta ja yläosat tilojen lämmitysenergiankulutusta.



KUVA 8. Kohteiden lämmitysenergiankulutus,  $Q_{\text{lämmitys}}$  (kWh/vuosi)

Kohteen A RakMK:n osan D5 mukaan laskettu lämmitysenergian kulutus muodostui 6 894 kWh vuodessa suuremmaksi kuin käyttötietojen mukaan korjattu lämmitysenergiankulutus. Käyttötietojen mukaan korjattu laskennallinen lämmitysenergiankulutus muodostui 4 071 kWh vuodessa suuremmaksi kuin toteutunut kulutus. Toteutuneen lämmitysenergiankulutuksen poikkeama korjatusta kulutuksesta selittyy ainakin osittain talon käyttötottumuksilla ja talotekniikan tehokkaalla käytöllä.

Poltetun puun määrä ja siitä saatu lämmitysenergia on voitu arvioida vähäiseksi. Myös tyhjiöputkiaurinkokeräimistä on voitu saada arvioitua enemmän energiaa talteen. Tällöin rakennuksen toteutunut lämmitysenergiankulutus tulisi suuremmaksi sekä korjatun ja toteutuneen lämmitysenergiankulutuksen erotus pienemmäksi. Jonkin verran suurempi toteutunut tilojen lämmitysenergiankulutus olisi vielä passiivitalomääritelmän mukainen.

Varaajan vastuksen lämmityssähkönkulutus 680 kWh ensimmäisenä asuinvuotena on talon asukkaan muistinvarainen kulutuslukema. Mikäli lämmityssähköä olisi kulunut 2 000 kWh vuodessa, jäisi laitesähkön osuudeksi kokonaissähkön-

kulutuksesta 4 676 kWh vuodessa. Tällöin toteutunut lämmitysenergiankulutus olisi 11 256 kWh vuodessa ja poikkeama käyttötietojen mukaan korjatusta kulutuksesta 2 750 kWh vuodessa.

Kohteen B RakMK:n osan D5 mukaan laskettu lämmitysenergian kulutus muodostui 1 912 kWh vuodessa suuremmaksi kuin käyttötietojen mukaan korjattu lämmitysenergian kulutus. Poikkeama korjattuun kulutukseen selittyy käyttötietojen mukaan tehdyillä korjauksilla. Toteutunut lämmitysenergiankulutus ja käyttötietojen mukaan korjattu energiankulutus eivät merkittävästi eroa toisistaan.

Kohteen B toteutunut lämpimän käyttöveden energiankulutus 4 009 kWh vuodessa on tosin 3 775 kWh pienempi kuin käyttötietojen mukaan korjattu lämpimän käyttöveden energiankulutus. Aurinkokeräimistä on voitu saada enemmän kuin arvioitu 2 000 kWh vuodessa lämmitysenergiaa käyttöveeteen, jolloin toteutunut kulutus vastaisi paremmin laskennallista lämpimän käyttöveden energiankulutusta.

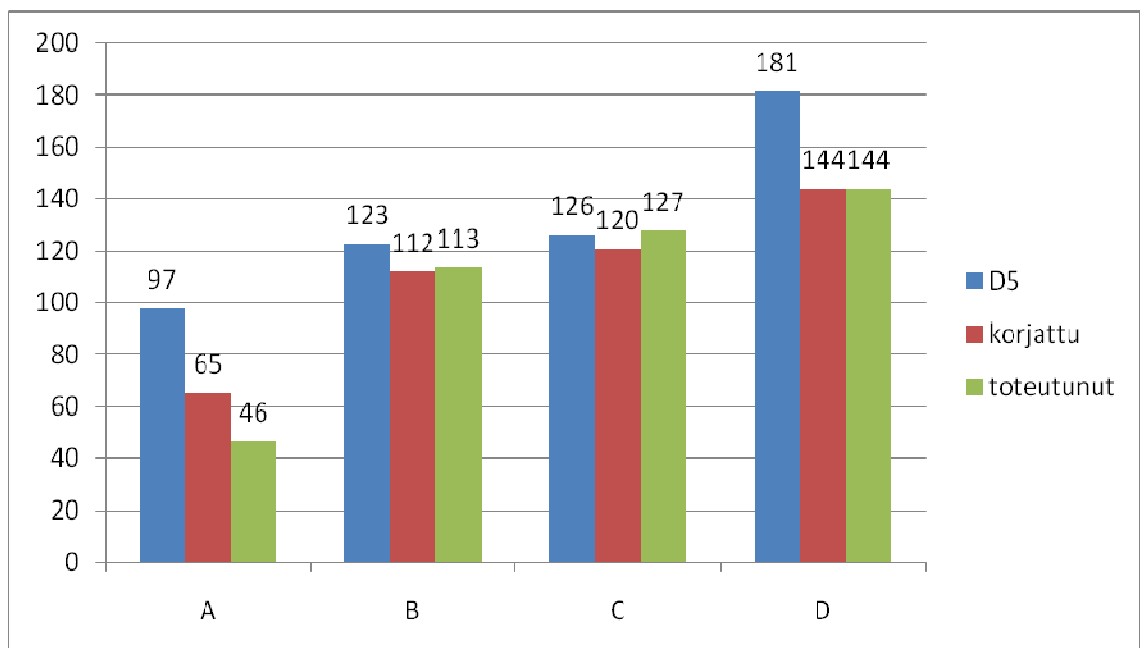
Kohteen C RakMK:n osan D5 mukaan laskettu lämmitysenergian kulutus vuodessa muodostui 1 266 kWh suuremmaksi kuin käyttötietojen mukaan korjattu kulutus. Vastaavasti toteutunut lämmitysenergian kulutus muodostui 1 610 kWh vuodessa suuremmaksi kuin käyttötietojen mukaan korjattu lämmitysenergian kulutus. Suurempi toteutunut kulutus selittyy osittain rakennuksen ilmanvaihdolla. Ilmanvaihtokone on suuri talon kokoon nähden, ja tulo- ja poistoilmavirratt siten suunniteltua suuremmat. Lisäksi tarkasteluajanjakson aikana koneen vesikiertoinen jälkilämmityspatteri ei ole ollut kytkettynä. Talvella tuloilma on ollut alilämpöistä, mikä on lisännyt lämmitysenergian kulutusta. Talvella on ollut ongelmia koneen vastavirtalämmöntalteenottolaitteen jäätyksen kanssa.

Kohteen C autotalli sijaitsee talon päädyssä ja on rakennettu samanlaisilla rakenteilla kuin muut tilat. Autotallissa on pidetty suunnilleen samanlaista sisälämpötilaa kuin muissa tiloissa. Suuren oven aukaisu ajettaessa auto sisään talvella aiheuttaa kuitenkin autotallin nopean jäähtymisen. Tämä selittää osin toteutuneen lämmitysenergian kulutuksen suuruutta verrattuna korjattuun kulu-

tukseen. Toteutuneen energian kulutuksen tarkastelujakso 14 kuukautta on lyhyenlainen ja sijaitsee likimain muuttopäivästä eteenpäin. Lisäksi taloon on tehty asumisaikana vielä joitain vaipan tiiveyttä parantaneita rakennustoimenpiteitä. Tämän vuoksi tarkastelujakson kulutusta ei voida pitää rakennuksen pidemmän aikavälin ominaiskulutusta kuvaavana.

Kohteen D RakMK:n osan D5 mukaan laskettu lämmitysenergiankulutus muodostui 6 000 kWh vuodessa suuremmaksi kuin käyttötietojen mukaan korjattu ja toteutunut kulutus. Poikkeama selittyy käyttötottumuksilla. Ilmanvaihtokonetta on pidetty 1-nopeudella, mikä on arviolta puolittanut tulo- ja poistoilmavirran suunnitelluista ilmavirroista. Tällöin tuloilman lämmittämiseen on kulunut laskennallisesti noin 5 000 kWh vuodessa vähemmän energiaa. Osa poikkeamasta selittyy myös bruttoneliökohtaisesti laskettua lämpimän käyttöveden kulutusta pienemmällä lämpimän veden kulutuksella.

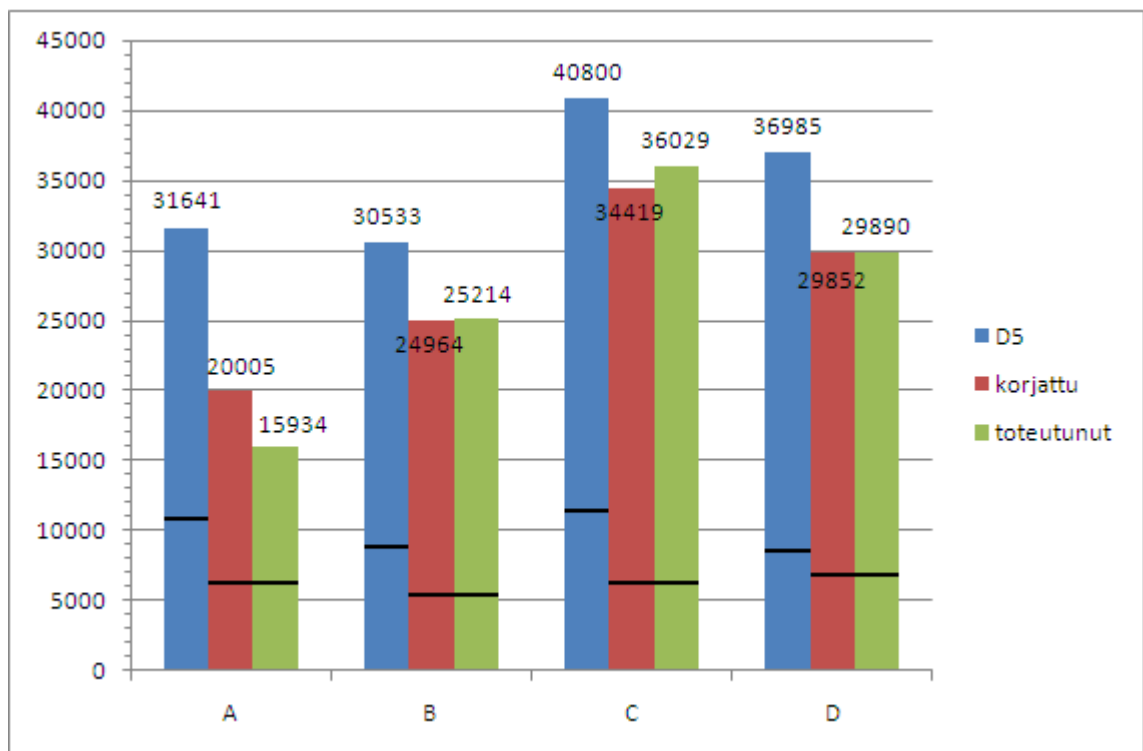
Kohteiden lämmitysenergian kulutukset bruttoneliötä kohden esitetään kuvassa 9. Passiivitalokohteen A toteutunut lämmitysenergiankulutus rakennuksen bruttoneliötä kohden on alle kolmasosan normaalitalon D, 39 % matalaenergiatalon B ja 36 % matalaenergiatalon C toteutuneesta lämmitysenergian kulutuksesta.



KUVA 9. Kohteiden lämmitysenergian ominaiskulutukset (kWh/br-m<sup>2</sup>/a)



Kuvassa 10 esitetään kohteiden energiankulutukset pylväsdiagrammina. Viivojen alapuoliset osuudet kuvaavat laitesähkönkulutusta ja yläpuoliset osat lämmitysenergian kulutusta. Passiivitalossa toteutunut laitesähkön osuus rakennuksen toteutuneesta kokonaisenergiankulutuksesta on 38 %, kun matalaenergiakohteissa B ja C osuudet ovat 21 % ja 18 %. Kohteessa D laitesähkön toteutunut kulutus on 23 % kokonaisenergiankulutuksesta. Passiivitalossa laitesähkön kulutuksen osuus rakennuksen kokonaisenergiankulutuksesta muodostui siis suuremmaksi kuin matalaenergia- tai normaalitaloissa, pienemmän tilojen lämmityksen tarpeen vuoksi.



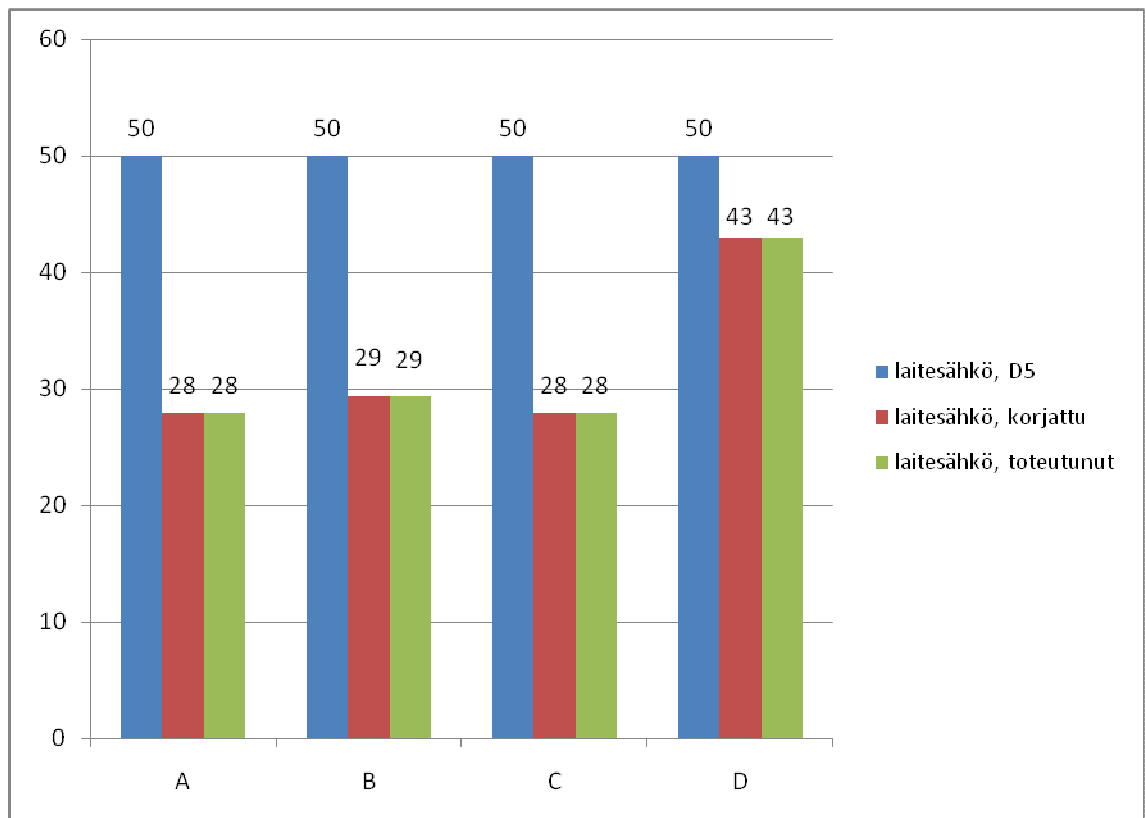
KUVA 10. Rakennusten energiankulutukset,  $E_{rakennus}$  (kWh/vuosi)

#### 4.6 RakMK:n osan D5 laskentatavan oikeellisuus

RakMK:n osan D5 mukaan laitesähkön kulutus on valaistus-, ilmanvaihtojärjestelmän ja muun laitesähkön yhteenlaskettu kulutus ilman tilojen lämmitykseen ja jäähdytykseen käytettyä sähköä. Laskennassa pientalolle voidaan käyttää D5:n taulukossa 7.1 annettua ominaissähkönenergiankulutuksen arvoa 50 kWh/brm<sup>2</sup>/vuosi, mikäli tarkempia tietoja ei ole käytettävissä. Tällöin lai-

tesähkön kulutus lasketaan ominaissähköenergiankulutuksen ja bruttopinta-alan tulona. (RakMK D5. 2007, 33.)

RakMK:n osan D5 taulukkoarvon mukaan lasketut laitesähkön kulutukset muodostuivat kaikissa kohteissa huomattavasti suuremmiksi kuin toteutuneet laitesähkönkulutukset. Mitä suurempi talo on bruttopinta-alaltaan, sitä suurempi on laskennallisen ja toteutuneen laitesähkönkulutuksen erotus. Tarkastelujen perusteella ominaissähköenergiankulutuksen taulukkoarvo antaa liian suuren laitesähkön kulutuksen. Erotusta selittää osaltaan kehittynyt, aiempaa energiatehokkaampi valaistus ja energiatehokkaammat, EC- eli tasavirtapuhaltimilla toteutetut ilmanvaihtokoneet, jotka kuluttavat vaihtovirtapuhaltimilla olevia koneita vähemmän sähköenergiaa. Kuvassa 11 esitetään laitesähkön kulutukset kohteittain rakennuksen bruttoneliötä kohti laskettuna.



KUVA 11. Kohteiden laitesähkön kulutukset bruttoneliötä kohti, (kWh/br-m<sup>2</sup>,a)

Käyttöveden lämmitykseen tarvittavan lämmitysenergian laskennan haaste on lämpimän käyttöveden kulutuksen määrittäminen, mikäli sitä ei ole mitattu. D5:n mukaan se voidaan laskea D5:n kaavan 5.2 avulla henkilöä kohti lasketusta ominaiskulutuksesta tai D5:n kaavan 5.3 avulla rakennuksen pinta-alaa kohti lasketusta ominaiskulutuksesta. Laskennassa käytetään taulukon 5.1 ominaiskulutuksen arvoja. Asuinrakennuksissa lämpimän käyttöveden kulutus laskeaan ensisijaisesti henkilöperusteisia arvoja käyttäen. (RakMK D5. 2007, 26.) Mikäli laskelmien lähtötietona on käyttöveden kokonaiskulutus, voidaan asuinrakennuksissa lämpimän käyttöveden osuudeksi arvioida 40 % kokonaiskulutuksesta (RakMK D5. 2007, 27).

Pinta-alaa kohti lasketut lämpimän käyttöveden kulutukset muodostuivat kaikissa kohteissa huomattavasti suuremmiksi kuin henkilömäärän mukaan tai kokonaiskulutuksesta lasketut kulutukset. Eroa selittää osittain rakennettavien talojen kasvanut pinta-ala asujaa kohden. Kaikissa kohteissa henkilöä kohden laskettu lämpimän käyttöveden kulutuskin muodostui suuremmaksi kuin veden kokonaiskulutuksesta laskettu kulutus. Kaikissa kohteissa erotus ei muodostunut enää kovin merkittäväksi riippuen henkilömäärästä, talon koosta ja käyttötottumuksista.

## 5 YKSITTÄISEN PASSIIVIPIENTALON LIITTÄMINEN KAUKOLÄMPÖÖN

Pientalon lämmitysjärjestelmän kokonaiskustannukset koostuvat rakentamisvaiheen investoinneista ja käyttökustannuksista. Investointikustannukset muodostuvat järjestelmän suunnittelusta, laitehankinnoista, asennuskustannuksista, liittymismaksuista kaukolämpö- ja sähköverkkoon ja lämmitysjärjestelmän vaatimasta tilantarpeesta. Käyttökustannukset muodostuvat energiakustannuksista, perusmaksuista sekä huolto- ja korjauskustannuksista.

Suomeen rakennettu 200 m<sup>2</sup> passiivitalo kuluttaa passiivitalon määritelmän mukaan tilojen lämmitykseen energiaa 4 000 - 6 000 kWh vuodessa. Lämpimän käyttöveden kulutus samankokoisessa talossa on 4 000 - 7 000 kWh vuodessa, riippuen asukasluvusta ja käyttötottumuksista. 200 m<sup>2</sup>:n passiivitalon lämmitysenergian kulutukseksi arvioitiin 8 000 - 13 000 kWh vuodessa. Kulutus riippuu talon sijainnista, asukasluvusta ja käyttötottumuksista.

Passiivipientalon mahdollisia lämmitysmuotoja ovat kaukolämpö, maalämpö ja suora sähkölämmitys. Näitä kolmea lämmitysmuotoa vertailtiin BioHousing-hankkeen yhteydessä toteutetulla laskurilla. Laskurin toteuttamisesta on vastannut Jyväskylän ammattikorkeakoulu yhteistyössä VTT:n, Jyväskylä Innovations Oy:n, kansainvälisten projektipartnereiden ja Atlantis Consulting Oy:n kanssa (Biohousing - Selection. 2011).

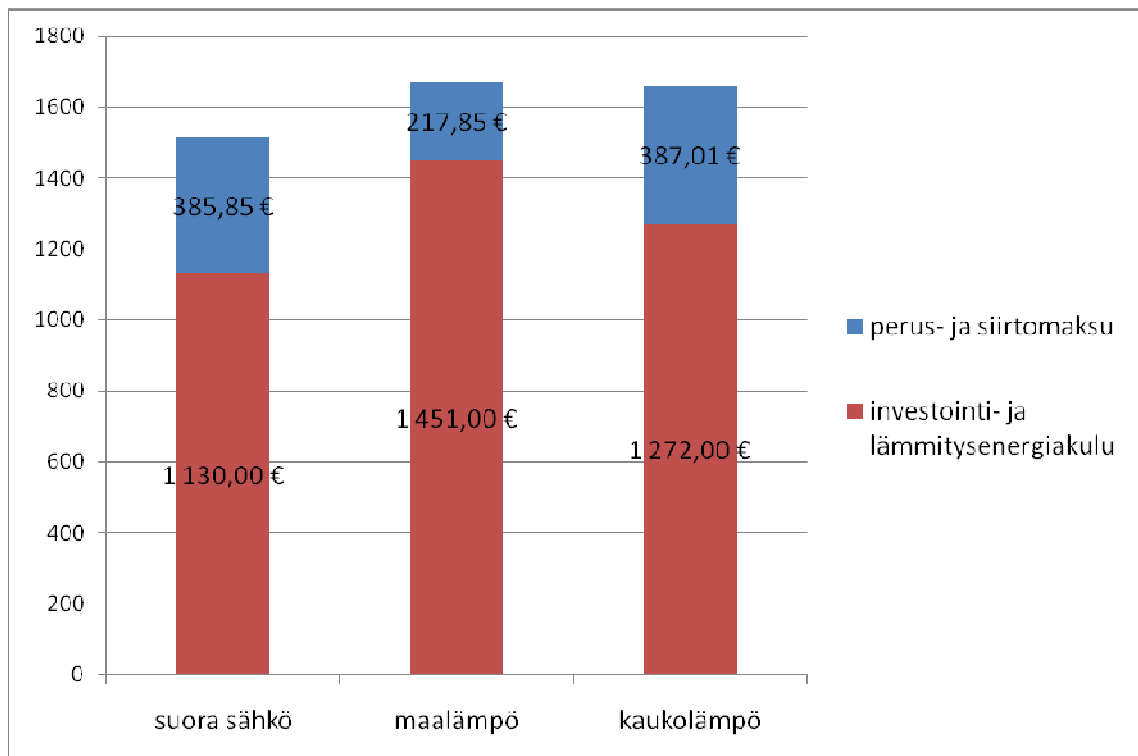
Liitteen 6 laskelma tehtiin 200 m<sup>2</sup>:n kokoiselle passiivipientalolle, jonka lämmitysenergian kulutus on 10 MWh vuodessa. Sähköenergian hintana käytettiin 1.2.2011 voimassa ollutta Oulun Energian AinaVirta eli toistaiseksi voimassa olevan sopimuksen mukaista sähköenergian hintaa 7,38 snt/kWh. Kaukolämpöenergian hintana käytettiin Oulun Energian runkoverkon alueen 1.1.2011 voimaan tullutta hintaa 3,931 snt/kWh. Maalämpöpumpun lämpökertoimena (COP) käytettiin arvoa 2,5. Suoran sähkölämmityksen hyötysuhteena käytettiin 99 %:a ja kaukolämmön 97 %:a.

Suoran sähkölämmitysjärjestelmän investointikustannuksiksi määritettiin 4 000 €, maalämpöjärjestelmän 12 000 € ja kaukolämpöjärjestelmän 9 000 €. Laskentakorkona käytettiin 5 %:a ja laskenta-aikana 15 vuotta. Laskuri ei huomioi perus- tai siirtomaksuja, vaan ne laskettiin käsin, jolloin saatiin määritettyä vuosittainen investointi- ja lämmityskustannus eri lämmitysmuodoille.

Laskurilla suoran sähkölämmityksen vuosittaiseksi investointikuluksi 200 m<sup>2</sup>:n passiivipientalossa saatiin 385 €/a, maalämmön 1 156 €/a ja kaukolämmön 867 €/a. Suoran sähkölämmityksen vuosittaiseksi energiakuluksi saatiin 745 €/a, maalämmön 295 €/a ja kaukolämmön 405 €/a. Tällöin suoran sähkölämmityksen vuosittainen investointi- ja lämmitysenergiakustannus ilman perus- tai siirtomaksuja saatiin 1 130 €/a, maalämmön 1 451 €/a ja kaukolämmön 1 272 €/a. (Liite 6.)

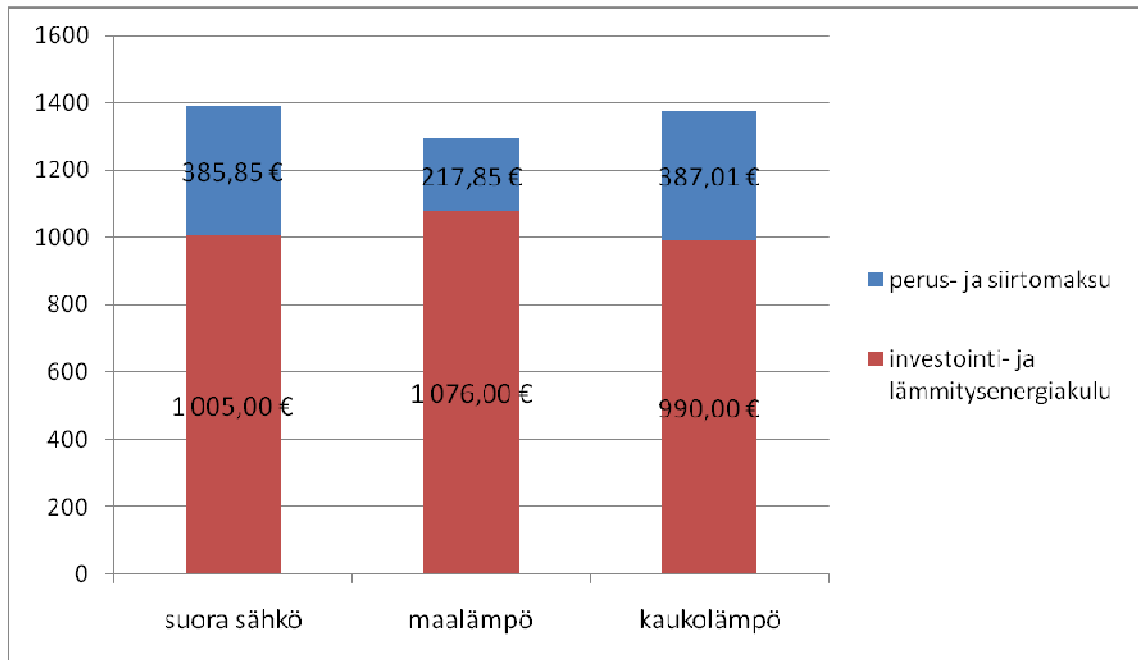
Oulun Energia Siirto ja Jakelu Oy:n 1.2.2011 voimassa olleen hinnaston mukaan passiivitalon sähkön siirtomaksuksi saatiin  $45,37 \text{ €/a} + 0,028 \text{ €/kWh} * 10\,000 \text{ kWh/a} = 325,37 \text{ €/a}$ . Sähköenergian perusmaksuksi saatiin  $5,04 \text{ €/kk} * 12 \text{ kk/a} = 60,48 \text{ €/a}$ . Näillä hinnoilla passiivipientalon suoran sähkölämmityksen investointi- ja lämmityskustannukseksi saatiin 1 516 €/a. Vastaavasti maalämmön kuluttaman sähkön siirtomaksuksi saatiin  $45,37 \text{ €/a} + 0,028 \text{ €/kWh} * 4\,000 \text{ kWh/a} = 157,37 \text{ €/a}$  ja sähköenergian perusmaksuksi 60,48 €/a. Näin passiivipientalon maalämmön vuosittaiseksi investointi- ja lämmityskustannukseksi muodostui 1 669 €/a.

Oulun Energian kaukolämmön perusmaksu Oulun runkoverkon alueella 1.2.2011 oli 387,01 €/a. Joten passiivipientalon kaukolämmön vuosittaiseksi investointi- ja lämmityskustannukseksi saatiin 1 659 €/a. 10 MWh vuodessa lämmitysenergiaa kuluttavan passiivipientalon investointi- ja lämmityskustannukset 15 vuoden laskenta-ajalla esitetään pylväsdiagrammina kuvassa 11.



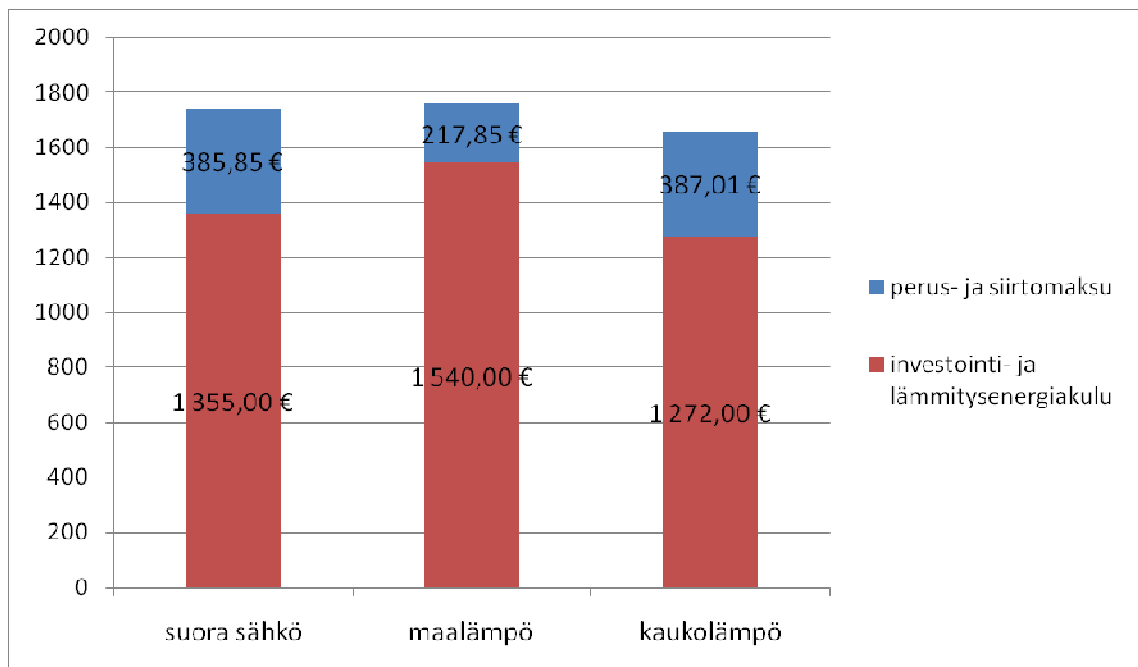
*KUVA 11. Passiivitalon (10 MWh/a) vuosittaiset investointi- ja lämmityskustannukset 15 vuoden laskenta-ajalla*

Laskelman perusteella passiivitaloasukkaan kannalta edullisimmaksi lämmitysmuodoksi muodostui suora sähkölämmitys. Maalämpö ja kaukolämpö tulivat 15 vuoden laskenta-ajalla noin 150 euroa vuodessa kalliimmiksi lämmitysmuodoiksi käytetyillä energian ja investointien hinnoilla. Kun laskenta-aikana käytettiin 30 vuotta, suoran sähkölämmityksen vuosittaiseksi investointi- ja lämmityskustannukseksi saatiin 1 391 €/a, maalämmön 1 294 €/a ja kaukolämmön 1 377 €/a. 30 vuoden laskenta-ajan investointi- ja lämmityskustannukset esitetään pylväsdiagrammina kuvassa 12.



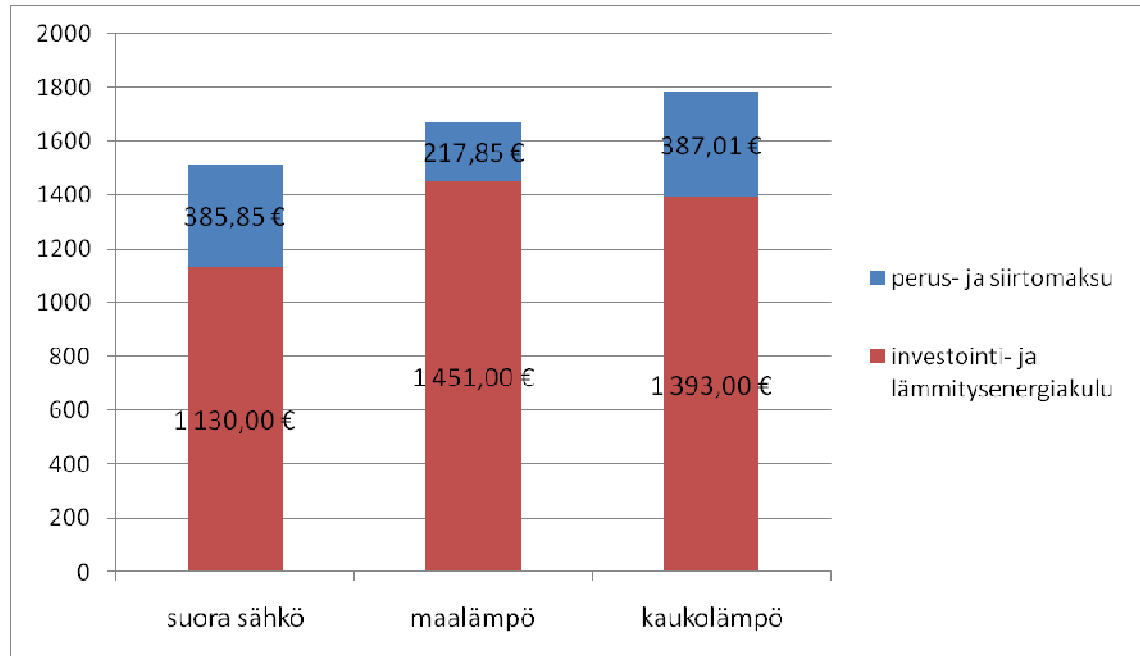
*KUVA 12. Passiivitalon (10 MWh/a) vuosittaiset investointi- ja lämmityskustannukset 30 vuoden laskenta-ajalla*

Sähköenergian hinnan kallistuessa 30 % 15 vuoden laskenta-ajalla ja kaukolämpöenergian hinnan pysyessä entisellään muodostui kaukolämmitys edullisimmaksi lämmitysmuodoksi kuvan 13 mukaisesti.



*KUVA 13. Sähköenergian 30 % hinnannousun vaikutus 15 vuoden laskenta-ajalla*

Kaukolämpöenergian 30 % hinnannousun vaikutus, sähköenergian hinnan pysyessä entisellään 15 vuoden laskenta-ajalla, esitetään kuvassa 14. Tällöin suora sähkölämmitys muodostui edullisimmaksi lämmitysmuodoksi.



*KUVA 14. Kaukolämpöenergian 30 % hinnannousun vaikutus 15 vuoden laskenta-ajalla*

Asukkaalle edullisimmaksi muodostuva lämmitysmuoto voi olla mikä vain kolmesta tarkastellusta lämmitysmuodosta. Edullisimmaksi muodostuva lämmitysmuoto riippuu kaukolämpö- ja sähköenergian hintojen kehityksestä ja toteutuvasta investointikustannuksesta. Sähköenergian kallistuessa maalämpö tulee suoraa sähkölämmitystä edullisemmaksi lämmitysmuodoksi vähäisemmän sähköenergian kulutuksen vuoksi.

Kaukolämpö on kilpailukykyinen passiivipientalon lämmitysmuoto käytettyjen energianhintojen mukaan laskettuna. Kaukolämmön kilpailukyky paranee huomattavasti sähköenergian mahdollisesti kallistuessa.



## **6 PASSIIVIPIENTALOKAUPUNGINOSAN LIITTÄMINEN KAUKOLÄMPÖÖN**

### **6.1 Kaukolämpöliiketoiminnan kannattavuus**

Passiivipientaloista rakennetun kaupunginosan kaukolämpöön liittämisen kannattavuutta kaukolämpöliiketoiminnan kannalta tarkasteltiin liitteen 7/1 mukaisella Excel-taulukkolaskelmalla. Laskelmassa tarkasteltiin uutta 200 passiivitalon kaupunginosaa. Laskelmassa verrattiin annuiteettimenetelmällä laskettua vuosikustannusta vuosituottoon. Investoinnin laskenta-aikana käytettiin 15 vuotta. Vuosikustannus muodostui kaukolämpöverkoston rakentamisen nettoinvestoinnista, verkoston ylläpitokustannuksista ja kaukolämpöenergian tuotantokustannuksista. Vuosituotto muodostui asiakkailta perittävästä energia- ja perusmaksuista. Kaukolämpöenergian, perusmaksun ja liittymismaksun hintoina käytettiin Oulun Energian 1.1.2011 voimaan tulleita Oulun runkoverkkoalueen hintoja.

Liitteen 7/1 mukaisilla laskenta-arvoilla kaukolämpöverkoston rakentamisen ja mittariasennusten investointikustannuksiksi saatiin 2 410 000 €, josta osa katettiin asiakkaiden liittymismaksuilla 840 000 €. Nettoinvestoinniksi saatiin näin 1 570 000 €. Ylläpitokustannukset, 110 000 € vuodessa, ovat noin 5 % verkoston rakentamiskustannuksista. Tuotantokustannukset, 56 000 € vuodessa, ovat reilut 2 % verkoston rakentamiskustannuksista. Vuosikustannukseksi annuiteettimenetelmällä laskettuna saatiin reilut 317 000 €. Kun siitä vähennettiin vuosituotto 156 000 €, saatiin kaukolämpöliiketoiminnalle 161 000 € tappiollinen vuositulos.

Passiivipientalon lämmitysenergian kulutuksen ollessa 7 000 - 13 000 kWh vuodessa, sillä ei ole suurta merkitystä muodostuvaan vuositulokseen. Myydystä lämmitysenergiasta ja perusmaksuista saatava vuosituotto on pieni suhteutettuna kaukolämpöverkoston rakentamisen ja mittariasennusten nettoinvestointiin. Tästä johtuen laskelmassa päädyttiin reilusti tappiolliseen tulokseen.

Tiiviillä ja johdonmukaisella kaupunginosan yhdyskuntarakenteen suunnittelulla ja tonttien kaavoituksilla voidaan mahdollistaa kaukolämpöverkoston rakentaminen lyhyemmillä johto-osuuksilla. Lyhyempien runko-, kortteli- ja tonttijohtojen vaikutusta kaukolämpöyhtiön nettoinvestointiin tarkasteltiin liitteen 7/2- laskelmalla. Liitteessä runko-, kortteli- ja talojohdon pituudet arvioitiin lyhyemmiksi. Myös johto-osuuksien investointihinnat metriä kohden arvioitiin edullisemmiksi. Kaukolämpöverkoston nettoinvestointia saatiin pienennettyä laskelman mukaan noin 60 % lyhyemmällä verkostorakenteella ja edullisemmilla kaukolämpöputkilla. Kun lisäksi huomioitiin pienentyneet verkoston ylläpitokustannukset, saatiin yhä noin 29 000 € tappiollinen vuositulos.

Kaukolämpöliiketoiminnan näkökulmasta pelkästään passiivipientaloista rakennetun kaupunginosan liittäminen kaukolämpöön ei ole kannattavaa nykyisten hintatariffien mukaan laskettuna. Kaupunginosien yhteyteen rakennetaan kuitenkin useita suurempia kohteita kuten kouluja, kirjastoja, kauppoja ja muita liikerakennuksia, joiden lämmitysenergian kulutukset ja lämmitystehon tarpeet ovat huomattavasti suurempia kuin pientalojen. Kaukolämpöliiketoiminnan kannattavuutta tarkasteltaessa tulisi huomioida myös CHP-tuotannosta saatavat hyödyt. Kun edellä mainitut tekijät huomioitaisiin, kaukolämpöliiketoiminta voitaisiin saada laskennallisesti kannattavaksi.

## **6.2 Hiilidioksidipäästöt ja primäärienergian tarve**

Uuden passiivipientalokaupunginosan tarvitseman sähkö- ja kaukolämpöenergian tuotannon primäärienergian tarvetta ja tuotannon aiheuttamia hiilidioksidipäästöjä tarkasteltiin Excel-laskelmalla. Laskelmassa tarkasteltiin tilannetta, jossa kaupunginosan tarvitsema energia tuotettaisiin CHP- eli sähkön ja kaukolämmön yhteistuotantona. Vaihtoehtoisesti tarkasteltiin tilanteita, joissa kaupunginosan tarvitsema lämmitysenergia tuotettaisiin maalämmöllä tai suoralla sähkölämmityksellä. Lämmityssähkö- ja laitesähköenergia tuotettaisiin tällöin lauhdetuotantona. (Liite 8.)

200 passiivipientalosta muodostuvan kaupunginosan lämmitysenergian tarpeen arvioitiin laskennallisesti olevan 1 700 - 2 300 MWh vuodessa, mikäli talojen

keskikoko olisi 150 br-m<sup>2</sup> ja ne sijaitsisivat Pohjois-Suomessa. Kohteiden A, B ja C toteutuneiden kulutusten perusteella energiatehokkailla kodinkoneilla, valaistuksella ja ilmanvaihtokoneella toteutettujen passiivi- ja matalaenergiatalojen laitesähkön kulutus on noin 28 kWh/br-m<sup>2</sup> (kuva 11). Tämän perusteella kaupunginosan laitesähkön kulutukseksi arvioitiin 840 MWh vuodessa.

CHP-tuotannon kokonaishyötysuhteena laskelmassa käytettiin 80 %:a ja lauhdetuotannon kokonaishyötysuhteena 39 %:a. CHP-tuotannon kokonaishyötysuhde laskettiin tuotannon hyötysuhteen 86 % sekä kaukolämpö- ja sähköenergian energiaosuuksien mukaan painotetun siirtohyötysuhteen 93,3 % tulona. Lauhdetuotannon kokonaishyötysuhde laskettiin tuotannon hyötysuhteen 40 % ja sähköenergiansiirron hyötysuhteen 97 % tulona.

Laskennassa kaupunginosan lämmitysenergian tarpeena käytettiin 2 300 MWh:a vuodessa. Passiivipientalokaupunginosan kokonaisenergian tarve laskettiin lämmitysenergian ja laitesähköenergian summana. Kaukolämmössä ja suorassa sähkölämmityksessä kaupunginosan kokonaisenergiantarpeeksi saatiin 3 140 MWh vuodessa. Maalämmössä kokonaisenergian tarpeeksi saatiin 1 760 MWh vuodessa.

Energiantuotannon primäärienergiantarve lämmitysmuodoittain laskettiin jakamalla kaupunginosan kokonaisenergiantarve määritetyllä kokonaishyötysuhteella. Primäärienergian tarpeeksi CHP-tuotannossa saatiin 3 912 MWh vuodessa. Lauhdetuotannolla tuotetun maalämmön ja laitesähkön primäärienergian tarpeeksi saatiin 4 536 MWh vuodessa ja suoran sähkölämmityksen 8 093 MWh vuodessa.

Tarkastelussa CHP-tuotannon polttoaineina käytettiin 50 % turvetta ja 50 % puuta. Lauhdesähköntuotannossa sähköntuotannon polttoaineena käytettiin kivihiiltä ja lämmityssähkö tuotettiin raskaalla polttoöljyllä. Polttoainekustannukset energiantuotantomuodoittain laskettiin kertomalla primäärienergiantarve käytettyjen polttoaineiden hinnoilla. Polttoaineiden hintoina käytettiin viimeisimpiä tilastokeskuksen tilastoimia voimalaitospolttoaineiden hintoja (liite 9).

Turpeella ja puulla yhteistuotetun kaukolämmön ja sähkön polttoainekustannuksiksi saatiin 58 677 € vuodessa. Maalämmön tarvitseman sähkön sekä laitesähkön lauhdetuotannon polttoainekustannuksiksi saatiin 109 175 € vuodessa ja suoran sähkölämmityksen lauhdetuotannon 237 216 € vuodessa. Raskaan polttoöljyn kallis hinta nosti tarkastelussa maalämmön ja suoran sähkölämmityksen energiantuotannon polttoainekustannuksia merkittävästi.

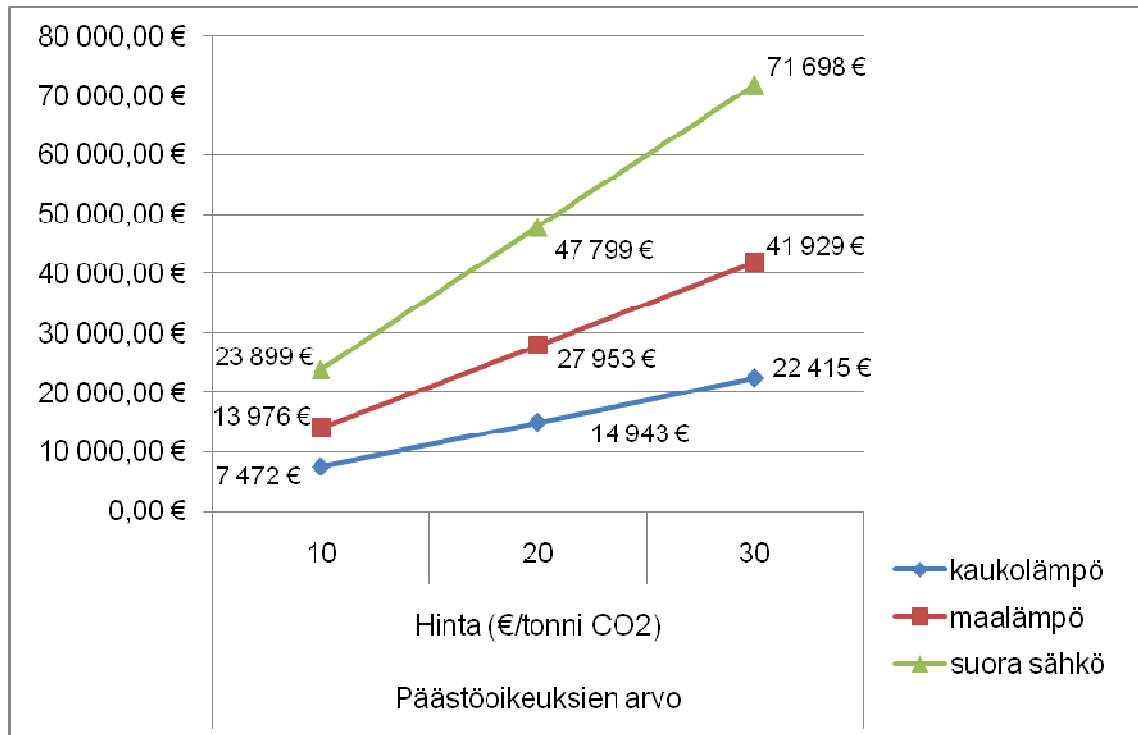
Hiilidioksidipäästöt energiantuotantomuodoittain laskettiin kertomalla poltetut primäärienergiamäärät polttoaineiden CO<sub>2</sub>-päästökertoimilla. Laskennassa käytettiin taulukon 2 polttoainekohtaisia CO<sub>2</sub>-päästökertoimia. Yhteistuotannolla tuotetun kaupunginosan kaukolämmön ja sähkön aiheuttamiksi hiilidioksidipäästöiksi saatiin 747 tCO<sub>2</sub> vuodessa. Maalämmöllä toteutetun kaupunginosan lauhdetuotannon aiheuttamiksi hiilidioksidipäästöiksi saatiin 1 398 tCO<sub>2</sub> vuodessa ja suoralla sähkölämmityksellä toteutetun kaupunginosan 2 390 tCO<sub>2</sub> vuodessa.

*TAULUKKO 2. Polttoainekohtaiset CO<sub>2</sub>-päästökertoimet (Yksittäisen kohteen CO<sub>2</sub>-päästöjen laskentaohjeistus sekä käytettävät CO<sub>2</sub>-päästökertoimet. 2004, 8)*

<b>Polttoaineet</b>	<b>kgCO<sub>2</sub>/MWh</b>
Raskas polttoöljy	279
Kevyt polttoöljy	267
Maakaasu	202
Nestekaasu	227
Turve	382
Kivihilli	341
Koksi	389
Puuperäiset polttoaineet	0

Päästöoikeuksien hintoja tarkasteltiin hiilidioksidin päästöoikeuksien hinnoilla 10 - 30 €/tonniCO<sub>2</sub> (liite 8). Hiilidioksidin päästöoikeuksien hinnalla 20 €/tonniCO<sub>2</sub> saatiin yhteistuotannolla tuotetun kaukolämmön ja sähkön päästöoikeuksien hinnaksi 14 943 € vuodessa. Vastaavasti kaupunginosan maalämmön

ja laitesähkön lauhdetuotannon päästöoikeuksien hinnaksi saatiin 27 953 € vuodessa. Kaupunginosan suoran sähkölämmityksen ja laitesähkön lauhdetuotannon päästöoikeuksien hinnaksi saatiin 47 799 € vuodessa. Kaupunginosan hiilidioksidin päästöoikeuksien arvot eri hinnoilla esitetään kuvassa 15.



KUVA 15. Hiilidioksidin päästöoikeuksien arvot

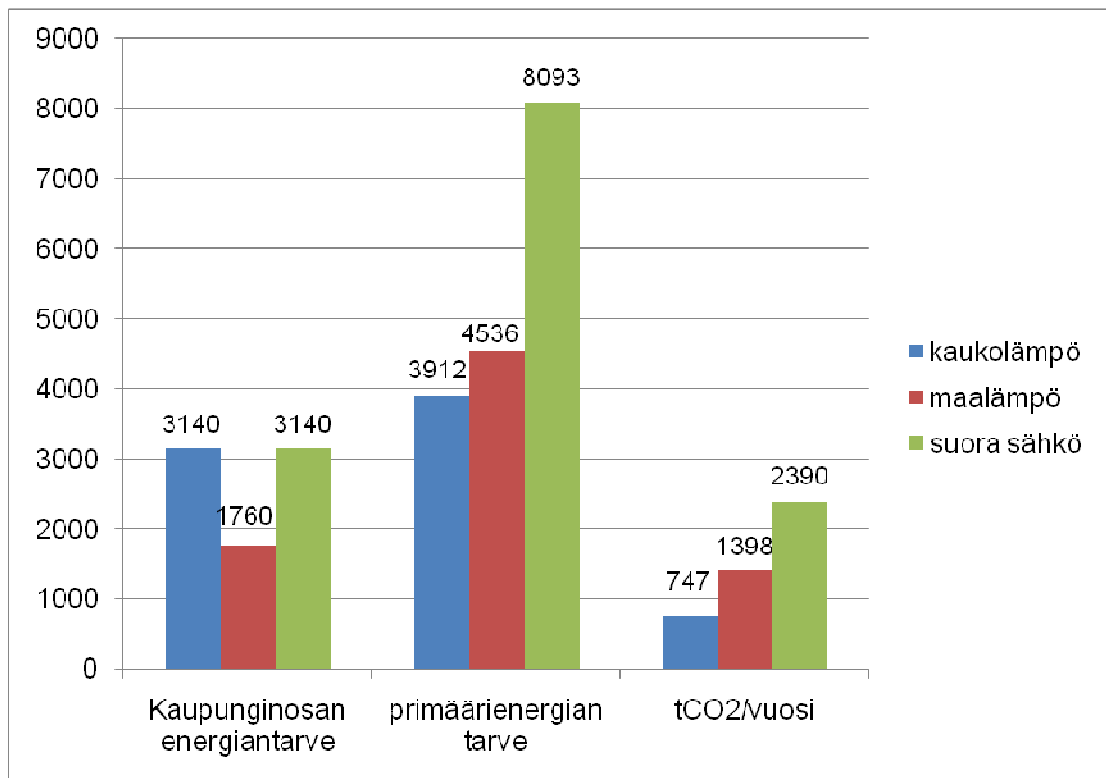
Kun yhdistettiin energiantuotannon polttoainekustannukset ja hiilidioksidin päästöoikeudet, hinnalla 20 €/tonniCO<sub>2</sub>, saatiin CHP-tuotannon kustannuksiksi 73 620 € vuodessa. Maalämmön energiantuotannon kustannuksiksi muodostui 137 128 € vuodessa ja suoran sähkölämmityksen 285 015 € vuodessa.

### 6.3 CHP-tuotannon hyödyt

Maalämmöllä toteutetun kaupunginosan kokonaisenergiatarve on vain hiukan yli puolet kaukolämmöllä tai suoralla sähköllä toteutetun kaupunginosan kokonaisenergiatarpeesta. Tästä huolimatta kaupunginosan tarvitsema energia saadaan tuotettua kaukolämmön ja sähkön yhteistuotantona vähemmällä primäärienergialla. Maalämpöpumpujen käyttö kaukolämmön sijasta lisää siis energiantuotannon primäärienergian kulutusta ja siten kuormittaa fossiilisia polt-

toaineita käytettäessä enemmän ympäristöä. Kaupunginosan tarvitsema energia saadaan tuotettua yhteistuotantona alle puolella primäärienergiämäärällä verrattuna lauhdesähkön tuotantoon.

Tarkastellun kaupunginosan energiantuotannon aiheuttamat CO<sub>2</sub>-päästöt muodostuivat kaukolämmöllä toteutettuna lähes puolet pienemmiksi kuin maalämmöllä toteutettuna ja vain kolmannekseksi suoralla sähkölämmityksellä toteutetun kaupunginosan päästöistä. Passiivipientalokaupunginosan lämmitysmuoto-kohtaiset kokonaisenergiatarpeet, energiantuotannon primäärienergiatarpeet ja CO<sub>2</sub>-päästöt esitetään kuvassa 16.



KUVA 16. Kaupunginosan energiantarpeet (MWh/a) ja CO<sub>2</sub>-päästöt

Lisäksi CHP-tuotannolla saadaan tuotettua kulutussuhteesta riippuva määrä ylimääräistä, ympäristöystävällistä ja erinomaisella hyötysuhteella tuotettua sähköä. Mikäli energia tuotettaisiin yhteistuotannon sijasta lauhdetuotantona, tämä yhteiskunnan tarvitsema sähkö jouduttaisiin tuottamaan huonolla hyötysuhteella, tuhlaten polttoainetta ja tuottaen mahdollisesti kolminkertainen määrä CO<sub>2</sub>-päästöjä verrattuna yhteistuotantoon.

## 7 YHTEENVETO

Työn ensisijaisena tavoitteena oli määrittää työhön hankittavien esimerkkikohteiden avulla passiivipientalon energiankulutus sekä sen jakautuminen sähkö- ja lämmitysenergian kulutuksiin. Tavoitteena oli pohtia saatujen energiankulutuksien pohjalta, onko passiivipientalon liittäminen kaukolämpöön kannattavaa yksittäisen rakentajan näkökulman lisäksi kaukolämpöliiketoiminnallisesta ja yhteiskunnallisesta näkökulmasta.

Lähtötietomuistion mukaan työhön oli tarkoitus hankkia tutkimuskohteiksi 3 - 5 passiivi- tai matalaenergiapientaloa sekä 1 - 2 normaalipientaloa. Passiivipientalojen, joista olisi ollut jo riittävästi käyttökokemusta, löytyminen osoittautui ongelmalliseksi. Työhön saatiin hankittua kohteeksi vain yksi passiivipientalo, josta oli riittävästi käyttökokemusta. Lisäksi kohteeksi saatiin kaksi matalaenergiataloa ja yksi minimirakennusmääräysten mukaan rakennettu pientalo. Niitä käsiteltiin tutkimuksessa verrokkikohteina.

Tarkasteltujen kohteiden perusteella ei voi yleistäen todeta mitään passiivipientalojen energiankulutuksesta ja energiatehokkuudesta. Tutkimuskohteita tulisi olla huomattavasti enemmän, jotta voitaisiin antaa esimerkiksi passiivipientalon tilojen lämmitysenergian ominaiskulutuksen keskiarvotuloksia. Passiivitalokohteen A toteutunut tilojen lämmitysenergian ominaiskulutus 19 kWh/br-m<sup>2</sup> vuodessa täyttää kuitenkin kirkkaasti passiivitalomääritelmän mukaisen vaatimuksen 30 kWh/br-m<sup>2</sup> vuodessa. Verrokkikohteiden B ja C lämmitysenergian ominaiskulutukset vastaavat suunnilleen matalaenergiatasoa. Työstä kävi ilmi, että passiivitalon lämmitysenergian ominaiskulutus on vain reilun kolmanneksen matalaenergiatalon lämmitysenergian ominaiskulutuksesta.

Laitesähköenergian osuudeksi passiivitalokohteen A toteutuneesta kokonaisenergian kulutuksesta saatiin 38 %. Laitesähkön ominaiskulutus 28 kWh/br-m<sup>2</sup> vuodessa on samaa tasoa verrokkikohteiden B ja C kanssa. Kohteen B toteutuneeksi laitesähkön osuudeksi kokonaisenergian kulutuksesta saatiin 21 % ja kohteen C 18 %. Esimerkkikohteiden perusteella passiivitalon lämmitysenergian

osuus kokonaisenergiankulutuksesta on pienempi kuin matalaenergia- tai normaalitaloissa.

Passiivipientalotkin kuitenkin kuluttavat ja tarvitsevat tilojen lämmitysenergiaa, etenkin jos ne rakennetaan parinsadan neliön kokoisiksi. Lämpimän käyttöveden tuottamiseen tarvittava energia on jo yksistään 4 000 - 7 000 kWh vuodessa riippuen asukasluvusta ja käyttötottumuksista. Maalämpö ja kaukolämpö ovat siis hyvin varteenotettavia vaihtoehtoja suoran sähkölämmityksen tai erilaisten hybridilämmitysten ohella.

Vaikka työssä tehdyn laskelman mukaan yksittäiselle passiivitaloasukkaalle edullisimmaksi lämmitysmuodoksi osoittautui suora sähkölämmitys, ovat myös kaukolämpö ja maalämpö taloudellisesti kilpailukykyisiä lämmitysmuotoja. Sähkö- ja kaukolämpöenergian sekä perusmaksujen hintojen kehitys ja suhde toisiinsa määrittelee edullisimmaksi yksittäiselle pientaloasujalle tulevan lämmitysmuodon. Niitä on tosin hyvin vaikea arvioida eteenpäin. Valinta lämmitysmuotojen väliltä jää asukkaalle esimerkiksi imago-, ympäristöystävällisyys- tai teknisten tekijöiden perusteella.

Kaukolämpöliiketoiminnan näkökulmasta pelkästään passiivipientaloista rakennettavaa kaupunginosaa ei ole tutkimuksen perusteella kannattavaa liittää kaukolämpöön. Pientalojen lämmitysenergian kulutus on liian vähäistä verrattuna kaukolämpöverkon rakentamis- ja ylläpitokustannuksiin sekä kaukolämpöenergian tuotanto- ja siirtokustannuksiin.

Kaupunginosien yhteyteen rakennetaan pientalojen lisäksi kuitenkin useita suurempia kohteita, kuten kouluja, kirjasto, kauppoja ja muita liikerakennuksia. Niiden lämmitysenergiankulutukset ja lämmitystehon tarpeet ovat huomattavasti suurempia kuin pientalojen. Kun suuremmat kohteet otettaisiin mukaan tarkasteluun, saataisiin todennäköisesti kaukolämpöliiketoiminta laskennallisesti kannattavaksi. Kaukolämpöliiketoiminnan kannattavuutta tarkasteltaessa täytyy huomioida myös CHP-tuotannosta saatavat hyödyt.



CHP-tuotannolla tuotetut kaukolämpö- ja sähköenergia osoittautuivat huomattavasti ympäristöystävällisemmiksi energiamuodoiksi kuin lauhdetuotannolla tuotettu sähköenergia. CHP-tuotannon kokonaishyötysuhde on hyvin korkea, jopa 90 %, kun lauhdetuotannossa se on 30 - 40 %:n luokkaa. CHP-tuotannon primäärienergian käyttö ja sitä kautta CO<sub>2</sub>-päästöt tuotettua 1 MWh:a kohden ovat huomattavasti pienemmät kuin lauhdetuotannossa.

Hiilidioksidipäästöjen vähentäminen ja ilmaston suojeleminen ovat globaalisti hyväksytyjä ja tavoiteltuja asioita. Tätä taustaa vasten CHP-tuotanto, paikallisia polttoaineita käyttäen, on aivan ylivoimainen energiantuotantomuoto verrattuna fossiilisia polttoaineita käyttäviin lauhdevoimaloihin. Ydinvoimala ei tuota CO<sub>2</sub>-päästöjä, mutta uraanin louhinnasta ja kuljetuksista aiheutuu välillisesti erilaisia päästöjä. Lisäksi uraani ei ole uusiutuva luonnonvara ja sitä ei riitä ikuisesti.

## LÄHTEET

Biohousing - Selection. 2011. Energialaskuri (Finland). Saatavissa: <http://www.biohousing.eu.com/heatingtool/Ecalc.asp>. Hakupäivä 27.1.2011.

Hellsten, Johanna 2008. Määritelmäviidakko. Rakennuslehti 2.10.2008. Saatavissa: <http://www.rakennuslehti.fi/uutiset/lehtiarkisto/14524.html>. Hakupäivä 10.10.2010.

Lylykangas, Kimmo – Nieminen, Jyri 2009. Ohjeita passiivitalon arkkitehtisuunnitteluun. Saatavissa: <http://www.passiivi.info>. Hakupäivä 13.1.2011.

Motiva - Matalaenergiatalon määritelmiä. 2010. Saatavissa: [http://www.motiva.fi/rakentaminen/millainen\\_on\\_energiatehokas\\_pientalo/matalaenergiatalon\\_maaritelmiä](http://www.motiva.fi/rakentaminen/millainen_on_energiatehokas_pientalo/matalaenergiatalon_maaritelmiä). Hakupäivä 10.10.2010.

Motiva - Tukilämmitysjärjestelmät. 2009. Saatavissa: [http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman\\_valinta/tukilammitysjarjestelmat](http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/tukilammitysjarjestelmat). Hakupäivä 8.12.2010.

Motiva - Aurinkokeräimet. 2009. Saatavissa: [http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/aurinkoenergia/aurinkolampo/aurinkokeraimet](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkolampo/aurinkokeraimet). Hakupäivä 14.12.2010.

Passiivitalo. 2006. VTT. Saatavissa: <http://passiivitalo.vtt.fi>. Hakupäivä 8.10.2010.

RakMK D5. 2007. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ohjeet 2007. Ympäristöministeriö. Asunto- ja rakennusosasto.

Sertifikaatti Nro VTT-C-4026-09. 2009. Tuotesertifikaatti. VTT. 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 23.11.2010.

Voimalaitospolttoaineiden hinnat lämmöntuotannossa. 3. vuosineljännes 2010. Tilasto: Energian hankinta, kulutus ja hinnat [verkkajulkaisu]. ISSN=1798-3363, Liitekuvio 9. Helsinki: Tilastokeskus. Saatavissa: [http://www.stat.fi/til/ehkh/2010/03/ehkh\\_2010\\_03\\_2010-12-16\\_kuv\\_009\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/ehkh/2010/03/ehkh_2010_03_2010-12-16_kuv_009_fi.html). Hakupäivä 10.2.2011.

Voimalaitospolttoaineiden hinnat sähköntuotannossa. 3. vuosineljännes 2010. Tilasto: Energian hankinta, kulutus ja hinnat [verkkajulkaisu]. ISSN=1798-3363, Liitekuvio 10. Helsinki: Tilastokeskus. Saatavissa: [http://www.stat.fi/til/ehkh/2010/03/ehkh\\_2010\\_03\\_2010-12-16\\_kuv\\_010\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/ehkh/2010/03/ehkh_2010_03_2010-12-16_kuv_010_fi.html). Hakupäivä: 10.2.2011.

Yksittäisen kohteen CO<sub>2</sub>-päästöjen laskentaohjeistus sekä käytettävät CO<sub>2</sub>-päästökertoimet. 2004. Motiva Oy. Saatavissa: [http://www.motiva.fi/files/209/Laskentaohje\\_CO2\\_kohde\\_040622.pdf](http://www.motiva.fi/files/209/Laskentaohje_CO2_kohde_040622.pdf). Hakupäivä 3.2.2011.

## LIITTEET

Liite 1 Lähtötietomuistio

Liite 2 Perustietolomake

Liite 3 Laskentaesimerkki Excel-laskentatyökalulla

Liite 4 Laskelma tulisijojen ja aurinkokeräinten tuottamista lämmitysenergioista

Liite 5 Rakennuksen energiankulutuksen laskennan vaiheet

Liite 6 Esimerkkilaskelma passiivitalon lämmitysenergiamuotojen vertailusta

Liite 7 Passiivitalokaupunginosan kaukolämpöön liittämisen kannattavuuslaskelma kaukolämpöliiketoiminnan näkökulmasta

Liite 8 Passiivipientalokaupunginosan CO<sub>2</sub>-päästöt ja primäärienergiantarve

Liite 9 Voimalaitospolttoaineiden hinnat

## LÄHTÖTIETOMUISTIO

Tekijä Samuli Hyvönen

Tilaaaja Oulun seudun ammattikorkeakoulu

Tilaaajan yhdyshenkilö ja yhteystiedot

Veli-Matti Mäkelä, Kotkantie 1, 90250 Oulu

Työn nimi Passiivitalon energian kulutus ja liittäminen kaukolämpöön

Työn kuvaus Valitaan 3-5 passiivi- tai matalaenergiaomakotitaloa ja 1-2 samanikäistä normaaliomakotitaloa. Määritetään niiden laskennallinen lämmitys- ja käyttöveden energian kulutus RakMK:n osan D5 mukaan. Todelliset käyttötiedot ja käyttötottumukset selvitetään asukkaille tehtävällä kyselylomakkeella. Verrataan laskennallisia energian kulutuksia rakennusten todellisiin energian kulutuksiin. Tarkastellaan kaukolämmön ja sähköenergian kulutuksen osuuksia kokonaisenergian kulutuksesta. Tarkastellaan asiakkaan, energiayhtiön ja yleisemmin yhteiskunnan näkökulmista rakennusten kannattavuutta liittää kaukolämpöön. Kaukolämpöenergian kulutuksia peilataan kaukolämpölinjan rakentamiskustannuksiin.

Työn tavoitteet Työn ensisijaisena tavoitteena on määrittää asukkaan, energiayhtiön ja yhteiskunnan näkökulmista, onko kyseisten esimerkkikohteiden perusteella kannattavaa liittää passiivitaloja kaukolämpöön. Työssä pohditaan laskennallisten energiankulutuksien mahdollisia eroavaisuuksien syitä kuten myös todellisten ja laskennallisten energiankulutuksien eroavaisuuksien syitä ja merkittävyksiä. Lisäksi tavoitteena on tarkastella primäärienergiakertoimen avulla kaukolämmön tuotannon kannattavuutta.

Tavoiteaikataulu

Kohteet on valittu ja perustietolomakkeet toimitettu asukkaille lokakuun 2010 loppuun mennessä.

Laskennalliset kulutukset joulukuun 2010 loppuun mennessä.

Vertailu todellisiin kulutuksiin, tarkastelut eri näkökulmista ja primäärikertoimen tarkastelu tehdään helmikuun 2011 loppuun mennessä.

Raportti on valmis maaliskuun 2011 loppuun mennessä.

Päiväys ja allekirjoitukset

14.10.2010

Samuli Hyvönen

Veli-Matti Mäkelä

## Perustietolomake

### Kohde:

### Rakennus

Lämmitettävien rakennusten lukumäärä:

Asuinrakennuksen ilmatilavuus (m<sup>3</sup>):

Asuinrakennuksen bruttopinta-ala (br-m<sup>2</sup>):

Alapohjan rakenne:

Alapohjan lämmöneristys (mm):

### Jos on autotalli:

Autotallin ilmatilavuus (m<sup>3</sup>):

Autotallin bruttopinta-ala (br-m<sup>2</sup>):

Autotallin lämmitystapa:

Autotalliin säädetty sisälämpötila:

### Lämmitys

Lämmitysmuoto:

Lämmönjakomuoto:

Kosteiden tilojen lattialämmitys:

Rättipattereiden lukumäärä:

Onko leivinuunia tai takkaa:

Poltettava puiden määrä vuodessa:

Onko ilmalämpöpumppua tai ilma-vesilämpöpumppua:

Muita lisälämmön lähteitä:

**Vaipan ilmanvuotoluku  $n_{50}$  (1/h):**

**Lämmin käyttövesi**

Asukkaiden lukumäärä:

Käyttöveden kulutus (m<sup>3</sup>/vuodessa):

Onko lämpimän käyttöveden mittaria, kulutus (m<sup>3</sup>/vuodessa):

Lämpimän käyttöveden tuotantotapa:

Onko poreametta tai muuta erityisesti lämmintä vettä kuluttavaa kohdetta:

Kastellaanko pihaa?

**Ilmanvaihto**

Poistoilmavirta (m<sup>3</sup>/s):

Lämmön talteenotto:

LTO: n poistoilman vuosihyötysuhde:

Jälkilämmityspatteri ja sen teho (kW):

Ilmanvaihdon käyntiaika:

**Sähkö**

Kokonaissähkön kulutus (kWh/vuosi):

**Erityiset säästötoimenpiteet**

Sähkö:

Vesi:

Lämpö:

# Käyttötietojen mukaan korjattu pientalon energiatehokkuuden laskenta

## Lähtötiedot

Kohde **Matalaenergiatalo B**

Bruttopinta-ala: **177** br-m<sup>2</sup>      Sisälämpötila: **21** °C  
 Ilmatilavuus: **431** m<sup>3</sup>      Säilyvyshyke: **3**

Lämmitysjärjestelmä: **Suora sähkölämmitys**  
 Lämmönjakomuoto: **patterit + kosteiden tilojen II**

Ilmanvaihto: **Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto**  
 Poistoilmavirta: **0,06** (m<sup>3</sup>/s)  
 Tuloilmavirta: **0,054** (m<sup>3</sup>/s)      t<sub>d</sub>: **1** 4.3.5.  
 T<sub>tulo</sub>: **17** °C      t<sub>v</sub>: **1** 4.3.5.  
 η<sub>t</sub>: **0,85**      r: **1** 4.3.7.  
 η<sub>a</sub>: **0,51**  
 η<sub>tulo,a</sub>: **0,57**

Vaipan ilmanvuotoluku n<sub>50</sub>: **0,92** Taul. 4.3

Vuotilmakerroin (1/h): **0,0368**

Vuotoilmavirta (m<sup>3</sup>/s): **0,0044058**

Maanvarainen alapohja:  
 dT<sub>maa, vuosi</sub> T<sub>maa, vuosi</sub> = **5** **7,76**  
 Taul. 4.1      Huom! Jos alapohja on maanvarainen, johtuminen laskettava erikseen!

Lämmin käyttövesi hlömäärän mukaan:  
 Hlö: **5** kpl  
 V<sub>LKV, omin, henk</sub>: **50** dm<sup>3</sup>/henk/vrk  
 V<sub>LKV</sub>: **91,25** m<sup>3</sup>/vuodessa  
 T<sub>LKV</sub>-T<sub>KV</sub>: **50** °C

lisää arvot  
 exel laskee

	Pinta-ala (m <sup>2</sup> )	U-arvo (W/m <sup>2</sup> K)	H <sub>joht</sub> (W/K)
<b>Seinät</b>			
pohjois	40,21		
etelä	30,52		
itä	26,28		
länsi	23,07		
<b>Yhteensä</b>	<b>120,08</b>	<b>0,13</b>	<b>15,61</b>
<b>Ikkunat</b>			
pohjoinen	6,52		
etelä	14,04		
itä	5,96		
länsi	11,01		
<b>Yhteensä</b>	<b>37,53</b>	<b>1,10</b>	<b>41,28</b>
<b>Ovet</b>	5,02	1,10	5,52
<b>Yläpohja</b>	152,20	0,06	9,13
<b>Alapohja</b>	152,20	0,16	
<b>YHTEENSÄ</b>			<b>71,55</b>

Käyttöveden kokonaiskulutuksen mukaan:  
 taul. 5.1      V<sub>KV</sub>: **156** m<sup>3</sup>/vuodessa  
 V<sub>LKV</sub>: **62,4** m<sup>3</sup>/vuodessa



### Lämmitysjärjestelmien lämpöhäviöenergiat

$Q_{\text{lämm,tilat,kehityshäviöt}}$	0,0 kWh/vuosi	0,0 kWh/vuosi	Taul. 6.1
$Q_{\text{lämm,tilat,jakeluhäviöt}}$	0,0 kWh/br-m <sup>2</sup>	0,0 kWh/vuosi	Taul. 6.1
$Q_{\text{lämm,tilat,luovutushäviöt}}$	4,0 kWh/br-m <sup>2</sup>	708,0 kWh/vuosi	Taul. 6.1
$Q_{\text{lämm,tilat,säätöhäviöt}}$	1,0 kWh/br-m <sup>2</sup>	177,0 kWh/vuosi	Taul. 6.1
$Q_{\text{lämm,tilat,varaajahäviöt}}$	0,0 kWh/br-m <sup>2</sup>	0,0 kWh/vuosi	Taul. 6.1

$Q_{\text{LKV,kiertohäviöt,omin}}$	15,0 kWh/br-m <sup>2</sup> /vuosi	Taul. 6.2
$Q_{\text{LKV,kiertohäviöt}}$	2655,0 kWh/vuosi	
$Q_{\text{LKV,varaajahäviöt}}$	1489,2 kWh/vuosi	Huom! Jos oma lämmönkehityslaite, täytyy huomioida!
$Q_{\text{LKV,kehityshäviöt}}$	0,0 kWh/vuosi	Huom! Jos oma lämmönkehityslaite, täytyy huomioida!

### Laitesähkön kulutus

$W_{\text{laitesähkö,omin,a}}$	50 kWh/br-m <sup>2</sup> /vuosi	Taul. 7.1
--------------------------------	---------------------------------	-----------

### Lämpökuormat

$Q_{\text{henk,omin}}$	8,0 kWh/br-m <sup>2</sup> /vuosi	Taul. 8.1
$Q_{\text{henk}}$	1416,0 kWh/vuosi	
$Q_{\text{säh,omin}}$	18,8 kWh/br-m <sup>2</sup> /vuosi	Taul. 8.3
$Q_{\text{säh}}$	3323,5 kWh/vuosi	

### Aurinko

$g_{\text{kohtisuora}}$	0,5	Taul. 8.4
$g$	0,45	
$F_{\text{kehä}}$	0,75	8.4.4.
$F_{\text{verho}}$	0,3	Taul. 8.5
$F_{\text{varjostus}}$	1	Taul. 8.6-8.8
$F_{\text{läpäisy}}$	0,225	

$C_{\text{rak,omin}}$	70 Wh/br-m <sup>2</sup> K	Taul. 8.9
$C_{\text{rak}}$	12390 Wh/K	

$\eta_{\text{Lämmitys}}$	1,00	suora sähkö
	0,6	varaava takkauuni
	0	aurinkokeräimet

Kuukausi	T <sub>ulko</sub>	Q <sub>joht</sub> (kWh)	dT <sub>maa, kk</sub>	T <sub>maa, kk</sub>	Q <sub>joht, maa</sub> (kWh)	Q <sub>vuotoilma</sub>	Q <sub>IV</sub> (kWh)	Q <sub>lämm,tuloilmapat</sub>	Q <sub>LKV, netto</sub> (kW)	Q <sub>lämm,tilat,häviöt</sub>	Q <sub>LKV,häviöt</sub>
Tammikuu	-10,60	1682,11	0	7,76	239,88	124,30	829,45	467,33	309,15	132,75	351,97
Helmikuu	-12,20	1596,25	-1	6,76	233,03	117,95	787,11	452,29	279,23	132,75	317,91
Maaliskuu	-2,58	1255,19	-2	5,76	276,12	92,75	618,94	299,78	309,15	88,50	351,97
Huhtikuu	0,20	1071,49	-3	4,76	284,74	79,18	528,35	233,90	299,18	88,50	340,62
Toukokuu	10,30	569,57	-3	4,76	294,23	42,09	280,86	30,69	309,15	44,25	351,97
Kesäkuu	14,90	314,24	-2	5,76	267,21	23,22	154,95	0,00	299,18	0,00	340,62
Heinäkuu	15,00	319,39	0	7,76	239,88	23,60	157,49	0,00	309,15	0,00	351,97
Elokuu	14,80	330,03	1	8,76	221,76	24,39	162,74	0,00	309,15	0,00	351,97
Syyskuu	7,97	671,23	2	9,76	197,08	49,60	330,98	76,81	299,18	44,25	340,62
Lokakuu	1,73	1025,77	3	10,76	185,53	75,80	505,81	209,73	309,15	88,50	351,97
Marraskuu	-0,59	1112,19	3	10,76	179,54	82,18	548,42	249,87	299,18	132,75	340,62
Joulukuu	-6,90	1485,15	2	9,76	203,65	109,74	732,33	390,03	309,15	132,75	351,97
Koko vuosi	2,76	11432,62			2822,65	844,80	5637,42	2410,44	3640,00	885,00	4144,20

W <sub>laitesähkö</sub>	Q <sub>lämpökuorma</sub>	Q <sub>lämpöhäviö</sub>	τ	a	η <sub>lämpö</sub>	Q <sub>sis,lämpö</sub>	Q <sub>lämmitys</sub>	Q <sub>jäähdytys</sub>	E <sub>rakennus</sub>	Q <sub>lämmitys,osto</sub>	Q <sub>osto</sub>
432,75	777,88	2408,41	120,95	9,06	1,00	777,87	2891,74	0,00	3324,49	3277,31	3710,06
432,75	839,22	2282,05	121,13	9,08	1,00	839,16	2625,08	0,00	3057,83	2975,09	3407,84
432,75	888,63	1943,22	111,86	8,46	1,00	887,99	2104,63	0,00	2537,38	2385,25	2818,00
432,75	973,64	1729,87	107,26	8,15	1,00	969,69	1722,37	0,00	2155,12	1952,02	2384,77
432,75	974,59	1156,06	85,32	6,69	0,93	907,78	984,34	0,00	1417,09	1115,59	1548,34
432,75	967,80	759,62	71,64	5,78	0,73	709,59	689,83	0,00	1122,58	781,80	1214,55
432,75	914,24	740,36	74,71	5,98	0,75	688,61	712,87	0,00	1145,62	807,92	1240,67
432,75	909,90	738,92	77,35	6,16	0,76	689,15	710,90	0,00	1143,65	805,69	1238,44
432,75	842,64	1172,08	99,17	7,61	0,98	822,24	1110,70	0,00	1543,45	1258,79	1691,54
432,75	815,45	1583,16	112,20	8,48	1,00	814,03	1728,49	0,00	2161,24	1958,96	2391,71
432,75	765,80	1672,46	115,16	8,68	1,00	765,33	1929,55	0,00	2362,30	2186,83	2619,58
432,75	764,54	2140,84	120,13	9,01	1,00	764,50	2560,25	0,00	2993,00	2901,61	3334,36
5193,00	10434,34	18327,05				9635,93	19770,76	0,00	24963,76	22406,86	27599,86

G<sub>säteily,pystypinta</sub> (kWh/m<sup>2</sup>)

Riippuu säävyöhykkeestä, tässä: 3

	Pohjoinen	Etelä	Itä	Länsi
tammikuu	4,3	9,2	5,0	4,8
helmikuu	15,2	50,6	22,0	23,9
maaliskuu	31,4	65,1	42,5	44,6
huhtikuu	50,2	96,0	77,3	78,1
toukokuu	54,1	99,8	93,3	91,8
kesäkuu	70,2	105,4	114,5	104,6
heinäkuu	58,2	85,7	95,7	81,0
elokuu	41,7	91,8	74,7	79,1
syyskuu	21,6	66,6	43,5	42,8
lokakuu	10,0	43,4	19,6	19,3
marraskuu	3,9	7,3	4,5	4,4
joulukuu	2,0	3,0	2,1	2,1

Energiatleh.luokka	ET-luku
0 -150	A
151 -170	B
171 -190	C
191 -230	D
231 -270	E
271 -320	F
321 -	G

ET-luku **155,9** kWh/br-m<sup>2</sup>/vuosi  
**LUOKKA B**

kWh

Q <sub>LKV</sub>	7784	vuodessa
Q <sub>lämmitys, tila</sub>	11987	vuodessa
Q <sub>lämmitys</sub>	19771	vuodessa
W <sub>laitesähkö</sub>	5193	vuodessa

laskennallinen E <sub>rakennus</sub>	24964	vuodessa
<b>todellisuudessa ostettu</b>	<b>16194</b>	<b>sähköä vuodessa</b>
josta lämmityksen sähköä	11001	vuodessa
aurinkokeräimistä saatu	2000	vuodessa
takasta saatu	7020	vuodessa
<b>toteutunut lämmityksen kulutus</b>	<b>20021</b>	<b>vuodessa</b>
toteutunut taloussähkö	5193	vuodessa
toteutunut E <sub>rakennus</sub>	25214	vuodessa
<b>korjatun ja toteutuneen erotus</b>	<b>-250</b>	<b>vuodessa</b>

Osuus kok.energ.kul.	Lämmityksen osuudet
44 %	55 %
8 %	10 %
28 %	35 %
79 %	100 %

jolloin 21 % taloussähköä

## Laskelma tulisijojen ja aurinkokeräinten tuottamista lämmitysenergioista

### Tulisijat

Kohde	poltettu p-m <sup>3</sup>	sekapuun lämpöarvo kWh/p-m <sup>3</sup>	tulisijan hyötysuhde	saatu energia kWh/a	saadun energian keskiarvo		Q <sub>osto puu</sub> kWh/a
					kWh/a	kWh/a	
A	6	1300	0,6	4680	4680	7800	
B	8 - 10	1300	0,6	6240 - 7800	7020	11700	
C	2 - 3	1300	0,7	1820 - 2730	2275	3250	
D	3 - 4,5	1300	0,7	2730 - 4095	3413	4875	

huom. A ja B kohteissa puusaunat, huomioitu hyötysuhteessa

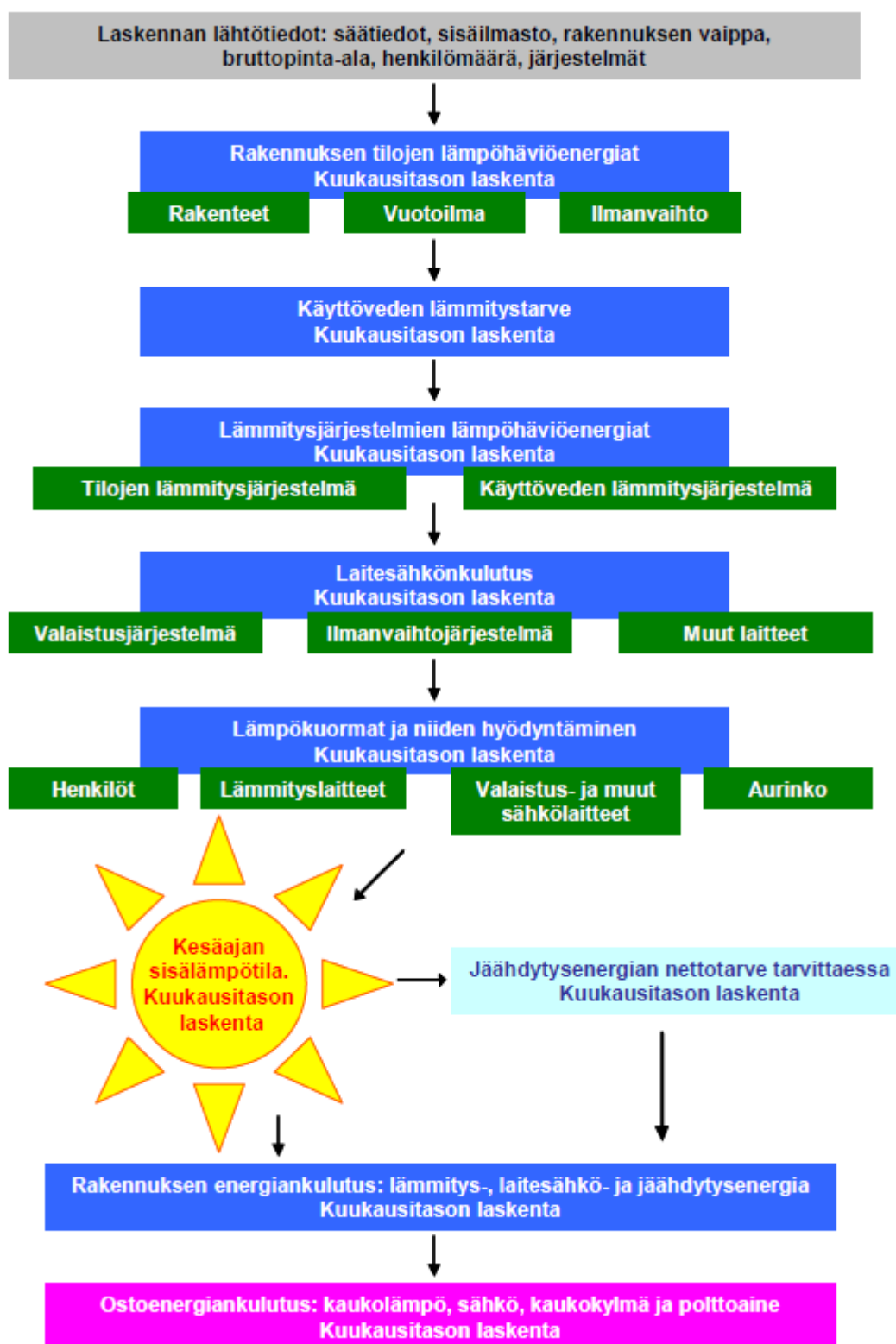
### Aurinkokeräimet

Mitattu energia:

Kohde	m <sup>2</sup>	2007	2008	2009	2010	keskiarvo
B	5	5920	7747	5293	4222	5796 kWh/a

Laskennalliset lämmitysenergiat:

Kohde	m <sup>2</sup>	Saatava energia (kWh/m <sup>2</sup> )	Saatu energia
B	5	250 - 400	1250 - 2000 kWh/a
A	8,8	325 - 520	2860 - 4576 kWh/a



Rakennuksen energiankulutuksen laskennan vaiheet (RakMK D5. 2007, 11).

aloitus

lämmitysvaihtoehdot

energialaskuri

ratkaisut

## Energialaskuri (Finland)

Tässä osiossa voit laskea omakotitalon kuluttaman vuosittaisen lämpöenergian määrän ja vertailla eri lämmitysmuotojen vuotuisia kustannuksia antamalla lähtötiedoilla. Voit muuttaa vihreitten kenttien arvoja; tehdyt muutokset laskuri huomioi automaattisesti.

Vertailun helpottamiseksi laskurissa vertaillaan pääasiallisia lämmitysjärjestelmiä, joissa käytetään vesikiertoista lämmönjakojärjestelmää. Lämmönjakojärjestelmän kustannukset eivät sisälly lähtötietoihin. Ei sisällä myöskään tila-/huoltokustannuksia.

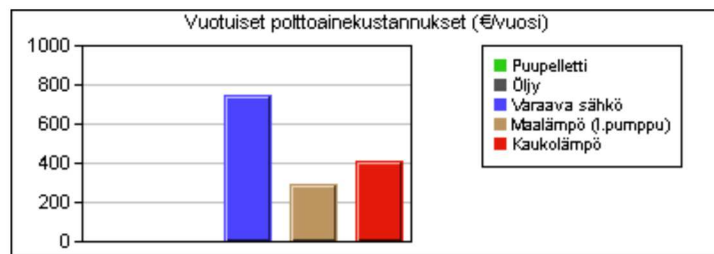
Hyödyllistä lisätietoa saat klikkaamalla kenttiä, joiden vieressä on (i)-merkki.

Laskurin toteuttamisesta on vastannut osana BioHousing-hanketta Jyväskylän ammattikorkeakoulu yhteistyössä VTT:n, Jyväskylä Innovation Oy:n, kansainvälisten projektipartereiden ja Atlantis Consulting Oy:n kanssa.

Laskurin tulokset ovat suuntaa antavia. Käyttäjällä on vastuussa lähtötietojen oikeellisuudesta. Polttoaineiden hinnat päivitetty: 27.1.2011.

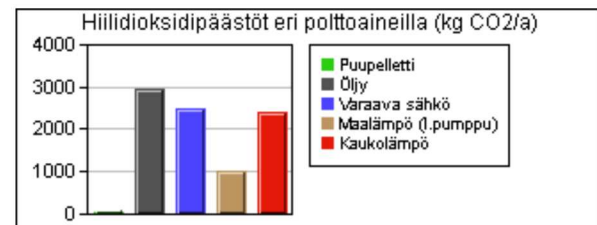
### 1. Kiinteistön tiedot

Huoneiston pinta-ala	<input type="text" value="200"/>	m <sup>2</sup>
Huonekorkeus (m)	<input type="text" value="2,6"/>	m
Rakennustilavuus	<input type="text" value="520"/>	m <sup>3</sup>
Asukasmäärä	<input type="text" value="0"/>	
Ominaiskulutus	<input type="text" value="0"/>	kWh/m <sup>3</sup>
Käyttöveden lämmitys	<input type="text" value="0.0"/>	MWh/a
Lämpöenergia yhteensä vuodessa	<input type="text" value="10"/>	MWh



### 2. Polttoaineiden hinnat

Puupelletti	<input type="text" value="0"/>	€/tn	Hinnat
Öljy	<input type="text" value="0"/>	€/l	Hinnat
Varaava sähkö	<input type="text" value="7.38"/>	c/kWh	Hinnat
Maalämpö (l.pumppu)	<input type="text" value="7.38"/>	c/kWh	Hinnat
Kaukolämpö	<input type="text" value="3.931"/>	c/kWh	Hinnat



Puun hiilidioksidipäästöjä ei lasketa Suomen hiilidioksidipäästöihin, koska puupolttoaineiden laskennallinen nettopäästö on 0.

### 3. Vuotuiset polttoainekustannukset

	Puupelletti	Öljy	Varaava sähkö	Maalämpö (l.pumppu)	Kaukolämpö
Tyypillisiä hyötysuhdearvoja	80 - 85	85 - 88		2.3 - 3.0	
Vuosihyötysuhde	<input type="text" value="82"/> %	<input type="text" value="87"/> %	<input type="text" value="99"/> %	<input type="text" value="2.5"/> cop	<input type="text" value="97"/> %
Käytetty energia	<input type="text" value="12.2"/> MWh/a	<input type="text" value="11.5"/> MWh/a	<input type="text" value="10.1"/> MWh/a	<input type="text" value="4.0"/> MWh/a	<input type="text" value="10.3"/> MWh/a
Polttoaineen energiasisältö	<input type="text" value="4.75"/> MWh/tn	<input type="text" value="10"/> kWh/l			
Polttoaineen tarve	<input type="text" value="2.6"/> tn/a	<input type="text" value="1150.0"/> l/a			
Vuotuiset polttoainekustannukset	<input type="text" value="0"/> €/a	<input type="text" value="0"/> €/a	<input type="text" value="745"/> €/a	<input type="text" value="295"/> €/a	<input type="text" value="405"/> €/a
Pelletivaraston koko (netto-tilavuus)					
Suuntaa antava arvio tarvittavasta kattilatehosta (min)	<input type="text" value="3.9"/> m <sup>3</sup>				
	<input type="text" value="5.2"/> kW				

Korko  %  
Laskenta-aika  vuotta



	Puupelletti	Öljy	Varaava sähkö	Maalämpö (l.pumppu)	Kaukolämpö
Tyypillisesti, pientalot (€)	8 500-16 000€	7 000-10 000€	6 000-8 000€	15 000-20 000€	6 000-9 000€
Lämmitysjärjestelmän investointikustannukset (€)	<input type="text" value="0"/> €	<input type="text" value="0"/> €	<input type="text" value="4000"/> €	<input type="text" value="12000"/> €	<input type="text" value="9000"/> €
Investointituki	<input type="text" value="0"/> €	<input type="text" value="0"/> €	<input type="text" value="0"/> €	<input type="text" value="0"/> €	<input type="text" value="0"/> €
<b>Vuosittaiset lämmityskulut</b>					
Investointikulut (€/a) (vuodessa)	<input type="text" value="0"/> €/a	<input type="text" value="0"/> €/a	<input type="text" value="385"/> €/a	<input type="text" value="1156"/> €/a	<input type="text" value="867"/> €/a
Vuosittainen polttoaine-/energiakulu (€/a)	<input type="text" value="0"/> €/a	<input type="text" value="0"/> €/a	<input type="text" value="745"/> €/a	<input type="text" value="295"/> €/a	<input type="text" value="405"/> €/a
Vuosittaiset lämmityskulut yhteensä (€/a)	<input type="text" value="0"/> €/a	<input type="text" value="0"/> €/a	<input type="text" value="1130"/> €/a	<input type="text" value="1451"/> €/a	<input type="text" value="1272"/> €/a
Lämmityskulut yhteensä (c/kWh)	<input type="text" value="0.0"/> c/kWh	<input type="text" value="0.0"/> c/kWh	<input type="text" value="11.3"/> c/kWh	<input type="text" value="14.5"/> c/kWh	<input type="text" value="12.7"/> c/kWh

[TULOSTA](#)

## Passiivitalokaupunginosan kaukolämpöön liittämisen kannattavuuslaskelma

Pitoaika	Laskentakorko
vuotta	%
15	5

Liittyviä taloja	Talohjon pituus	Talon lämm.ener.kul.	Kok. lämm.ener.kul.	Energian hinta	Perusmaksu	Energiamaksut	Perusmaksut	Vuosituotto
kpl	m	MWh/vuosi	MWh/vuosi	€/MWh, alv 23 %	€/vuosi, alv 23 %	€/vuosi	€/vuosi	€/vuosi
200	20	10	2000	39,31	387,01	78620,00	77401,44	156021,44

<b>Verkoston rakentaminen:</b>			Verkoston rakentam.		Verkoston rakentam. ja mittarointi		
Talohjon hinta	Runko- ja korttelij.	Runko- ja korttelij.	ja mittarointi	Liittymismaksu	Liittymismaksut	Nettoinvestointi	
€/m	m	€/m	€	€/talo	€/vuosi	€	
150,00	7000	250	2410000,00	4200	840000	1570000,00	

<b>Ylläpitokustannukset:</b>				<b>Tuotantokustannukset:</b>				
Mittarihuolto	Verkoston ylläpito	Muut kustan.	Ylläpitokust.	Polttoaine	Pumppaus	Muut	Tuotantok.	Vuosikustannus
€/asiakas/vuosi	€/asiakas/vuosi	€/asiakas/vuosi	€/vuosi	€/MWh/vuosi	€/MWh/vuosi	€/MWh/vuosi	€/vuosi	€/vuosi
10,00	500,00	40,00	110000,00	20,00	1,00	7,00	56000,00	317257,39
Ylläpitokustannukset verkoston rak. kustannuksista			5	%			2,3 %	

Investoinnin vuosikustannus laskettu annuiteettimenetelmällä

Vuositulo
€/vuosi
-161235,95



## Passiivitalokaupunginosan kaukolämpöön liittämisen kannattavuuslaskelma

Pitoaika	Laskentakorko
vuotta	%
15	5

Liittyviä taloja	Talohjon pituus	Talon lämm.ener.kul.	Kok. lämm.ener.kul.	Energian hinta	Perusmaksu	Energiamaksut	Perusmaksut	Vuosituotto
kpl	m	MWh/vuosi	MWh/vuosi	€/MWh, alv 23 %	€/vuosi, alv 23 %	€/vuosi	€/vuosi	€/vuosi
200	10	10	2000	39,31	387,01	78620,00	77401,44	156021,44

<b>Verkoston rakentaminen:</b>			Verkoston rakentam.		Verkoston rakentam. ja mittarointi		
Talohjon hinta	Runko- ja korttelij.	Runko- ja korttelij.	ja mittarointi	Liittymismaksu	Liittymismaksut	Nettoinvestointi	
€/m	m	€/m	€	€/talo	€/vuosi	€	
120,00	5000	200	1300000,00	3420	684000	616000,00	

<b>Ylläpitokustannukset:</b>				<b>Tuotantokustannukset:</b>				
Mittarihuolto	Verkoston ylläpito	Muut kustan.	Ylläpitokust.	Polttoaine	Pumppaus	Muut	Tuotantok.	Vuosikustannus
€/asiakas/vuosi	€/asiakas/vuosi	€/asiakas/vuosi	€/vuosi	€/MWh/vuosi	€/MWh/vuosi	€/MWh/vuosi	€/vuosi	€/vuosi
10,00	300,00	40,00	70000,00	20,00	1,00	7,00	56000,00	185346,85
Ylläpitokustannukset verkoston rak. kustannuksista			5	%			4,3 %	

Investoinnin vuosikustannus laskettu annuiteettimenetelmällä

Vuositulo
€/vuosi
-29325,41

Passiivientalokaupunginosan CO<sub>2</sub>-päästöt ja primäärienergiatarve

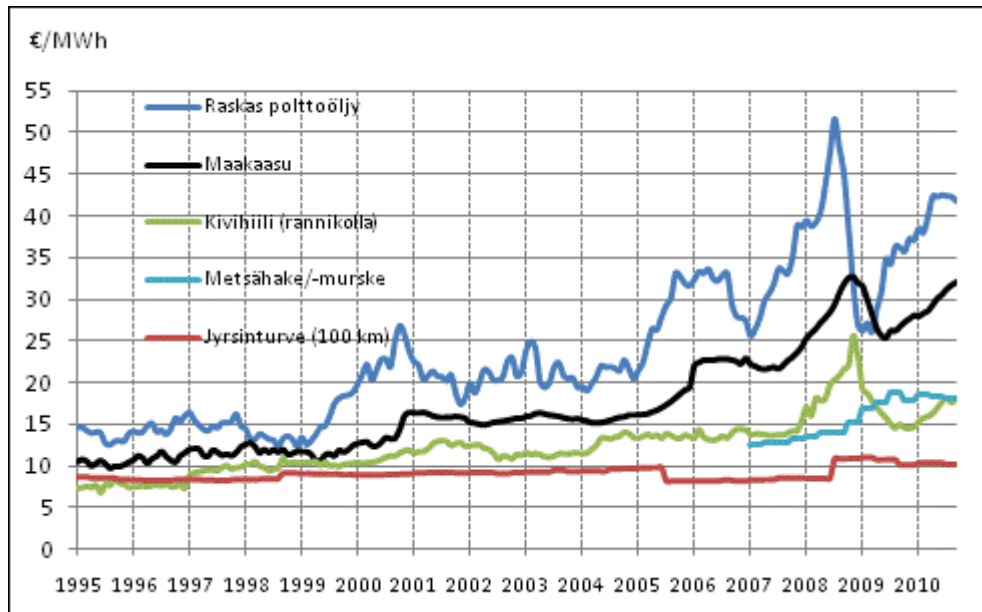
CO <sub>2</sub> -päästökerroin		
Polttoaine	tonniaCO <sub>2</sub> /MWh	Hinta €/MWh (liite 9)
turve	0,382	11
puu	0,0	19
kivihiili	0,340	11
raskas põ	0,279	36

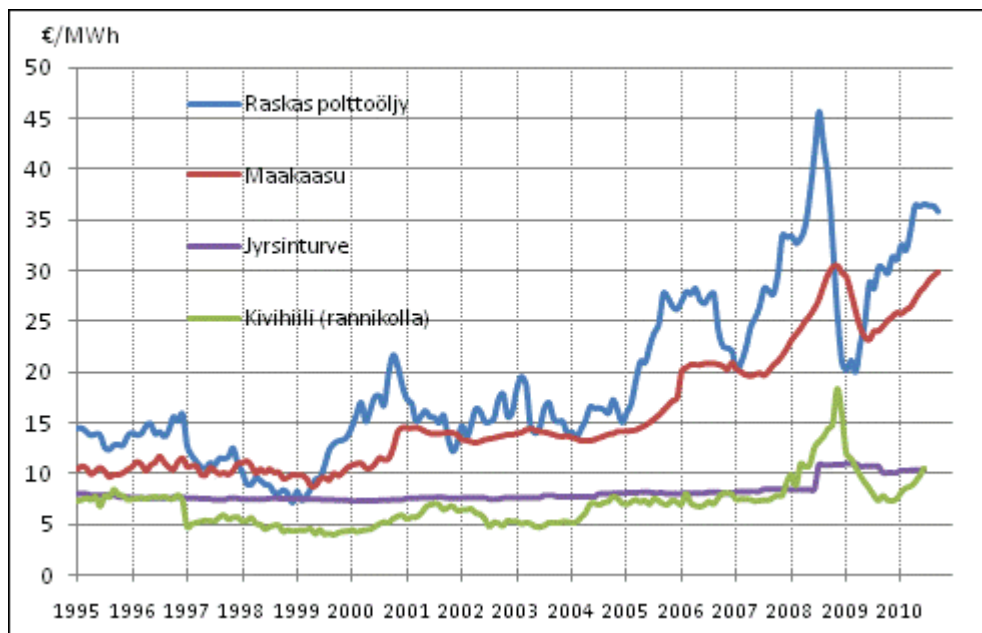
	CO <sub>2</sub> -päästöt						
	Lämmitys- energian tarve	Talous sähkö- energian tarve	Energiatarve yhteensä	Kokonais- hyötysuhde	Primäärienergian tarve	CHP-tuotanto	Lauhdetuotanto
						50 % turve ja 50 % puu	Kivihiili + raskas põ
MWh/vuosi	MWh/vuosi	MWh/vuosi		MWh/vuosi	tonnia CO <sub>2</sub> vuodessa	tonnia CO <sub>2</sub> vuodessa	
kaukolämpö	2300	840	3140	0,80	3912	747	
maalämpö	920	840	1760	0,39	4536		1398
suora sähkö	2300	840	3140	0,39	8093		2390

	Polttoainekustan- nukset vuodessa	Päästöoikeuksien arvo			Polttoaine ja päästö- oikeudet (20€/tCO <sub>2</sub> )
		Hinta (€/tonni CO <sub>2</sub> )			
		10	20	30	
kaukolämpö	58 676,73 €	7 471,50 €	14 943,01 €	22 414,51 €	73 619,74 €
maalämpö	109 175,26 €	13 976,29 €	27 952,58 €	41 928,87 €	137 127,84 €
suora sähkö	237 216,49 €	23 899,48 €	47 798,97 €	71 698,45 €	285 015,46 €



Voimalaitospolttoaineiden hinnat lämmöntuotannossa (Voimalaitospolttoaineiden hinnat lämmöntuotannossa. 3. vuosineljännes 2010)



Voimalaitospolttoaineiden hinnat sähköntuotannossa (Voimalaitospolttoaineiden hinnat sähköntuotannossa. 3. vuosineljännes 2010)