

Metropolia Ammattikorkeakoulu  
Talotekniikan koulutusohjelma

**Katri Onnela**

**Suora sähkölämmitteisen päiväkodin lämmitystavan  
muutos ekologisemmaksi**

Insinööriyö 29.5.2009

Ohjaaja: toimitusjohtaja Jukka Hyttinen  
Ohjaava opettaja: lehtori Erkki-Olavi Sainio

Tekijä Otsikko	Katri Onnela Suora sähkölämmitteisen päiväkodin lämmitystavan muutos ekologisemmaksi
Sivumäärä Aika	52 sivua 29.5.2009
Koulutusohjelma	talotekniikka
Tutkinto	insinööri (AMK)
Ohjaaja Ohjaava opettaja	toimitusjohtaja Jukka Hyttinen lehtori Erkki-Olavi Sainio
<p>Tämä talotekniikan insinöörityö tehtiin Espoon kaupungin toimeksiannosta Insinööritoimisto Kontermo Oy:ssä. Selvitystyön taustalla oli Espoon kaupungin solmima Kuntasektorin energiategokkuussopimus vuosiksi 2008–2016 (KETS -sopimus). Tavoitteena oli selvittää vaihtoehtoisia lämmöntuotantomenetelmiä suorasähkölämmitteiselle päiväkodille. Näitä olivat maalämpöpumppu, ilma-vesi-lämpöpumppu ja pellettikattila. Selvityksessä otettiin huomioon lämmöntuotantomenetelmien elinkaarikustannukset ja primäärienergian kulutukset. Uuden lämmöntuotantomenetelmän vuoksi tutkin myös niihin sopivia lämmönjakojärjestelmiä, joiksi valittiin vesikiertoinen lattialämmitys, ilmalämmitys sekä patterilämmitys.</p> <p>Lämmöntuotantomenetelmien investointikustannuksia tiedusteltiin useilta laitteiden jälleenmyyjiltä. Vastauksia saatiin kuitenkin hyvin vähän. Investointikustannusarviot kysyttiin nykyisten lämmityksen tehon- ja energiantarpeiden perusteella. Tarkemmat arviot saataisiin vasta oikeiden suunnitelmien perusteella. Tässä yhteydessä pitäisi myös olla tieto lämmönjakojärjestelmästä.</p> <p>Elinkaarikustannusten perusteella maalämpöpumppu osoittautui edullisimmaksi vaihtoehdoksi. Ilma-vesi-lämpöpumppu puolestaan oli selkeästi kallein ratkaisu. Pellettikattilaa puolsi muita vaihtoehtoja huomattavasti vähäisempi primäärienergian kulutus. Työn perusteella ei pystytä suoraan sanomaan parasta mahdollista ratkaisua, mutta joitain vaihtoehtoja pystyttiin pois sulkemaan.</p> <p>Suomessa ei ole vielä määritelty primäärienergiakertoimia. Niiden oletetaan muotoutuvan vuonna 2012 julkaistavaan rakentamismääräyskokoelmaan. Tämä tulee varmasti suuresti vaikuttamaan päätöksentekoon tulevaisuudessa.</p>	
Hakusanat	lämmöntuotantomenetelmä, elinkaarikustannus, primäärienergian kulutus

Author	Katri Onnela
Title	Heating method change of a direct electricity heated day nursery for a more ecological method
Number of Pages	52
Date	29 May 2009
Degree Programme	Building Services Engineering
Degree	Bachelor of Engineering
Instructor Supervisor	Jukka Hyttinen, Chief Executive Officer Erkki-Olavi Sainio, Senior Lecturer
<p>This final year project was made for the City of Espoo. In the background was the energy efficiency agreement the City of Espoo had made for the years 2008-2016. The objective of the project was to determine the optional systems of heat production for a direct electricity heated day nursery. The options were a ground source heat pump, an air-source heat pump and a pellet boiler. The life cycle costs and primary energy consumptions were also taken into account. Because of the new system of heat production, suitable systems of heat distribution were also studied. The selected options were water circulated floor heating, air heating and water circulated radiator heating.</p> <p>The investment costs of the systems of heat production were inquired from many equipment suppliers. The number of responses was small. Investment costs were asked based on the current maximum output and energy requirement of heating. More accurate prices would be received after proper layouts were made. At this point the chosen system of heat production should also be known.</p> <p>Based on the life cycle costs, the ground source heat pump would be the most profitable alternative and the air-source heat pump clearly the most expensive. Low primary energy consumption supported the pellet boiler. Based on the studies, it is not easy to reach a decision which is the best alternative. Still some of the alternatives could be excluded.</p> <p>Primary energy factors have not been specified in Finland. They are supposed to be published in the Code of Building Regulations in 2012. This will certainly affect decision-making in the future.</p>	
Keywords	system of heat production, life cycle cost, primary energy consumption

# Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

1	Johdanto	6
2	Kohteen esittely	7
2.1	Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian tarve	8
2.2	Lämmitysenergian tarve	9
2.3	Lämmityksen huipputeho	10
3	Vertailtavat järjestelmät	13
3.1	Lämmöntuotantomenetelmät	13
3.1.1	Maalämpöpumppu	13
3.1.2	Ilma-vesi-lämpöpumppu	15
3.1.3	Pellettikattila	16
3.2	Lämmönjakojärjestelmät	17
3.2.1	Vesikiertoinen lattialämmitys	17
3.2.2	Iimalämmitys	18
3.2.3	Patterilämmitys	19
4	Ongelmakohdat	21
4.1	Patterilämmitys ja nykyinen kattolämmitys	21
4.2	Lattialämmitys ja rakenteet	23
4.3	Pellettilämpökeskuksen sijoitus tontille	24
4.4	Tekninen tila lämpöpumpulle	25
5	Elinkaarikustannukset	26
5.1	Lämmöntuotantomenetelmät	26
5.1.1	Maalämpöpumppu	27
5.1.2	Ilma-vesi-lämpöpumppu	29
5.1.3	Pellettikattila	31
5.2	Lämmönjakojärjestelmät	32
5.2.1	Vesikiertoinen lattialämmitys	33
5.2.2	Patterilämmitys	33

6	Primäärienergian kulutukset	34
6.1	Maalämpöpumppu	35
6.2	Ilma-vesi-lämpöpumppu	36
6.3	Pellettikattila	36
7	Johtopäätökset	37
7.1	Lämmityksen tehon- ja energiantarpeet	37
7.2	Lämmöntuotantomenetelmien elinkaarikustannukset	37
7.3	Lämmönjakojärjestelmien investointikustannukset	38
7.4	Primäärienergian kulutukset	38
8	Yhteenveto	38
	Lähteet	40
	Liitteet	
	Liite 1: Pitkä raportti, WinEtana 1.1 LT	42
	Liite 2: Laskennan lähtötiedot ja tulokset, REKU v.1.01	48
	Liite 3: Mallihuone, 35 TSTO, ilmanvaihtolaitteet	50
	Liite 4: Tilakohtaisen tuloilmavirran valintadiagrammi	51
	Liite 5: Valintakäyrästä, TLA Halton	52

## 1 Johdanto

Tilastokeskuksen mukaan Suomessa oli vuoden 2007 lopussa 1 406 000 rakennusta. Näistä muita kuin asuinrakennuksia oli yhteensä 14,4 %. [1.] Energian kokonaiskulutus Suomessa oli vuonna 2007 408 terawattituntia, mikä oli lähes 2 prosenttia vähemmän kuin edellisvuonna. Sähköä puolestaan käytettiin 0,4 prosenttia edellisvuotta enemmän eli kaikkiaan 90,4 terawattituntia. Energian kokonaiskulutuksen vähentymiseen vaikutti edellisvuotta lämpimämpi sää, mikä pienensi lämmitystarvetta. [2.] Käytetystä energiasta Suomessa kuluu noin 22 % rakennusten lämmittämiseen.

Tässä työssä selvitän vaihtoehtoisia lämmöntuotantomenetelmiä suorasähkölämmitteiselle päiväkodille. Näitä ovat maalämpöpumppu, ilma-vesi-lämpöpumppu ja pellettikattila. Tarkoitukseni oli myös tarkastella ilma-ilma-lämpöpumppua vaihtoehtona, mutta se hylättiin nopeasti sisäyksiköistä syntyvien äänitaso-ongelmien vuoksi. Kaukolämmitys ei myöskään tullut kysymykseen, johtuen esimerkkikohteen, Friisilän päiväkotin, etäisyydestä olemassa olevaan kaukolämpöverkkoon. Uuden lämmöntuotantomenetelmän vuoksi tutkin myös niihin sopivia lämmönjakojärjestelmiä, joiksi valittiin vesikiertoinen lattialämmitys, ilmalämmitys sekä patterilämmitys. Näistä ilmalämmitys karsiutui, koska sen vaatimat suuremmat kanavakoot johtaisivat asennustilojen laajempaan tarkasteluun. Selvityksessä otin huomioon vaihtoehtojen elinkaarikustannukset ja primäärienergian kulutukset. Lisäksi tarkastelen vaihtoehtojen soveltuvuutta ja asentamismahdollisuuksia esimerkkikohteeseen.

Tämän selvitystyön tein Insinööritoimisto Kontermo Oy:n työntekijänä ja tilaajana toimi Espoon kaupunki. Selvitystyön taustalla on Espoon kaupungin solmima Kuntasektorin energiatehokkuussopimus vuosiksi 2008–2016 (KETS -sopimus). Siinä Espoon kaupunki sitoutuu toteuttamaan kansallisen energia- ja ilmastostrategian tavoitteita, jotka perustuvat Kioton pöytäkirjan kasvihuonekaasujen rajoittamisvelvoitteeseen. Espoon kaupungin osalta tämä tarkoittaa 38,1 GWh:n vähentämistä laskennallisesta energiamäärästä sopimusajan puitteissa. Vuoden 2005 toteutuneesta kokonaisenergian kulutuksesta 38,1 GWh on 9 prosenttia. Rakennuksen

elinkaarensa aikana kuluttamasta energiasta arvioidaan kuluvan neljä viidennestä käytön aikana. Siksi on syytä keskittyä toimenpiteisiin, jotka vaikuttavat rakennuksen käytön aikaiseen lämmitys- ja sähköenergian kulutukseen. [3, s. 1–2.]

## 2 Kohteen esittely

Esimerkkikohteeksi Espoon kaupunki on valinnut Friisilän päiväkodin (kuva 1), joka on rakennettu vuonna 1989. Friisilän päiväkodin lämmitys on toteutettu suoralla sähköllä, koska on katsottu, että kaukolämpöverkoston on ollut liian pitkä matka (300 m) eikä siihen ole ollut kannattavaa liittyä. Lisäksi Espoon kaupungin energiatehokkuussopimus ohjaa lämmitystapavalintoja hiilidioksidipäästöttömiin energiamuotoihin, ja siltä pohjalta kaukolämpö on melko ristiriitainen tuote. Se nimittäin tuotetaan Espoossa vielä suureksi osaksi kivihieillä.



*Kuva 1. Friisilän päiväkoti.*

Lämmönjakotapana Friisilän päiväkodissa on tällä hetkellä pääsääntöisesti kattolämmitys, muutamissa huoneissa on myös sähköpattereita ja märkä- ja eteistiloissa lattialämmitys. Kohdekäynnillä ilmeni, että useissa tiloissa lattia on koettu viileäksi, ja siksi on jouduttu lisäämään lisälämmittimiä.

Elinkaarikustannuslaskelmia varten selvitettiin rakennuksen- ja käyttöveden lämmitysenergian tarpeet sekä lämmityksen huipputeho. Friisilän päiväkodissa sähkölämmitys ja taloussähkö mitataan erikseen. Mittauksien tulokset saatiin Espoon kaupungilta laskelmia varten.

Laskelmien luotettavuuden ja käyttökelpoisuuden tueksi lämmitysenergiantarvetta tutkittiin WinEtana 1.1 LT- ja REKU v.1.01 -laskentaohjelmilla. WinEtana 1.1 LT on rakennusten energiankulutuksen laskentaohjelma, jonka VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka (2003) on laatinut ja Jari Shemeikka ohjelmoinut. Tällä laskentaohjelmalla Friisilän päiväkodin lämmitysenergiantarpeeksi saatiin 137 MWh/a. Ohjelmasta saatu pitkä raportti lähtötietoineen on liitteessä 1. Toisena laskentaohjelmalla käytettiin REKU v.1.01 Rakennuksen energiakulutuskalkulaattoria, jonka on laatinut Tom Bergström insinööriyhtiönsä ”Rakennuksen energiakulutuksen laskentaan soveltuva Excel-pohjaisen laskentatyökalun laatiminen”. Tällä laskentaohjelmalla Friisilän päiväkodin lämmitysenergiantarpeeksi saatiin 139 MWh/a. Ohjelmasta saadut laskennan lähtötiedot ja tulokset ovat liitteessä 2.

## 2.1 Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian tarve

Käyttöveden lämmitystarve lasketaan Suomen rakentamismääräyskokoelman (RakMk) osan D5 mukaisesti. Lämmitystarve lasketaan kaavalla

$$Q_{lkv,netto} = \rho_v c_{pv} V_{lkv} (T_{lkv} - T_{kv}) / 3\,600 \quad (1)$$

$Q_{lkv,netto}$  on käyttöveden lämmityksen tarvitsema lämpöenergia, kWh

$\rho_v$  on veden tiheys, 1 000 kg/m<sup>3</sup>



$c_{pv}$  on veden ominaislämpökapasiteetti, 4,2 kJ/kgK

$V_{lkv}$  on lämpimän käyttöveden kulutus, m<sup>3</sup>

$T_{lkv}$  on lämpimän käyttöveden lämpötila, °C

$T_{kv}$  on kylmän käyttöveden lämpötila, °C

3 600 on kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi, s/h

Vuoden 2007 vedenkulutus Friisilän päiväkodissa oli 578 m<sup>3</sup>, josta lämpimän käyttöveden osuudeksi oletetaan 40 % [4, s. 3]. Tämä sijoitetaan kaavaan 1, jolloin käyttöveden lämmitystarpeeksi vuodessa saadaan

$$Q_{\text{lämmin käyttövesi}} = 1\,000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * 0,4 * 578 \text{ m}^3 * 50 \text{ }^\circ\text{C} / 3\,600 = 13\,500 \text{ kWh/a} \approx 14 \text{ MWh/a}$$

Kun verrataan saatua tulosta liitteinä 1 ja 2 WinEtana 1.1 LT- ja REKU v.1.01 -ohjelmien tuloksiin, huomataan, että Friisilän päiväkodin käyttöveden lämmitysenergian tarve on huomattavasti pienempi, kuin mitoitusohjelmat laskevat oletusarvoillaan.

## 2.2 Lämmitysenergian tarve

Vuonna 2007 taloussähköä kului 45 151 kWh. Tämä on 10 % pienempi kuin REKU v.1.01 -laskentaohjelmalla saatu kulutus.

Vuoden 2007 kokonaissähkön kulutus oli 172 908 kWh, josta lämmitysenergian tarve saadaan vähentämällä siitä luvussa 2.1 laskettu käyttöveden lämmitystarve sekä taloussähkön kulutus.

$$Q_{\text{lämmitys}} = 173\,000 \text{ kWh/a} - 13\,500 \text{ kWh/a} - 45\,000 \text{ kWh/a} = 114\,500 \text{ kWh/a} \approx 115 \text{ MWh/a}$$

Rakennuksen normitettu lämmitysenergiankulutus lasketaan kaavalla [4, s. 2]

$$Q_{norm} = \frac{S_{N \text{ vp kunta}}}{S_{toteutunut \text{ vp kunta}}} * Q_{toteutunut} + Q_{läm \text{ min käyttövesi}} \quad (2)$$

$Q_{toteutunut}$  on rakennuksen tilojen lämmittämiseen kuluva energia

$Q_{läm \text{ min käyttövesi}}$  on käyttöveden lämmittämisen vaatima energia

$S_{N \text{ vp kunta}}$  on normaalivuoden (1971–2000) lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla,

Helsinki Kaisaniemi 3 989 °Cd, joka korjataan Espoon kertoimella 0,95

$S_{toteutunut \text{ vp kunta}}$  on toteutunut lämmitystarveluku vuonna 2007 vertailupaikkakunnalla,

Helsinki Kaisaniemi 3510 °Cd, joka korjataan Espoon kertoimella 0,95.

Friisilän päiväkodin normitetuksi lämmitysenergian kulutus saadaan kaavalla 2.

$$Q_{norm} = \frac{0,95 * 3989 \text{ °Cd}}{0,95 * 3510 \text{ °Cd}} * 114\,500 \text{ kWh/a} + 13\,500 \text{ kWh/a} = 144\,000 \text{ kWh/a} = 144 \text{ MWh/a}$$

Tämä on 3–5 % suurempi kuin laskentaohjelmilla saadut tulokset.

### 2.3 Lämmityksen huipputeho

Lämmityksen huipputehon määrittämiseksi selvitettiin rakennuksen sähkönkulutus kovalla pakkasella. Talvipäiväksi valittiin 7. helmikuuta 2007, jolloin ulkolämpötila kello 7 oli –23 °C ja lämmitysteho 59 kW, joka saatiin sähkönkulutuksen kaukoluennasta. Oletetaan, että käyttöveden lämmitys tapahtuu öisin eikä aamulla mitattuun lämmitystehoon sisälly käyttöveden lämmitystä. Laskettaessa vaipan lämpöhäviöitä, siitä kuitenkin poistetaan ilmastointikoneiden sähkönkulutus. Koneet ovat alle –11 °C:een lämpötilassa puoliteholla. Ilmastointikoneita on kaksi, ja toisessa

niistä on pyörivä lämmöntalteenotto laite. Lämmöntalteenotolta lämmityspatterille siirtyvän ilman lämpötila lasketaan lämmöntalteenoton tuloilmanhyötysuhteen kaavasta (kaava 3).

$$\eta_{LTO} = \frac{T_{LTO} - T_U}{T_P - T_U} \rightarrow T_{LTO} = \eta_{LTO} * (T_P - T_U) + T_U \quad (3)$$

$T_{LTO}$  on tuloilman lämpötila lämmöntalteenoton jälkeen

$\eta_{LTO}$  on lämpötilahyötysuhde

$T_P$  on poistoilman lämpötila ennen lämmöntalteenottoa

$T_U$  on tuloilman lämpötila ennen lämmöntalteenottoa.

Ilmastointikojeiston lämmitysteho lasketaan puolestaan kaavalla 4 [5].

$$\phi_{\text{lämmitys, IV}} = \rho_{\text{ilma}} c_{p \text{ ilma}} v_{\text{ilma}} \Delta t_{\text{ilma}} \quad (4)$$

$\phi_{\text{lämmitys IV}}$  on ilmavirran lämmitykseen tarvittava teho

$\rho_{\text{ilma}}$  on ilman tiheys, 1,2 kg/m<sup>3</sup>

$c_{p \text{ ilma}}$  on ilman ominaislämpökapasiteetti (1,0 kJ/kg K)

$v_{\text{ilma}}$  on ilman tilavuusvirta, m<sup>3</sup>/s

$\Delta t_{\text{ilma}}$  on ilman lämpötilan muutos patterin yli.

Friisilän päiväkodin ilmastointikojeiston toimintakaaviosta saadun tiedon mukaan lämmöntalteenoton lämpötilahyötysuhde puolella teholla on 0,88, joten sen jälkeisen ilman lämpötila lasketaan kaavalla 3.

$$T_{LTO} = 0,88 * (22 - (-23)) \text{ } ^\circ\text{C} + (-23) \text{ } ^\circ\text{C} = 16,6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Lämmöntalteenotolla varustetun ilmastointikojeen lämmitysteho -23 °C:n lämpötilassa lasketaan kaavaa 4 apuna käyttäen.

$$1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * 0,95 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * (21 - 16,6) \text{ } ^\circ\text{C} = 5 \text{ kW}$$

Ilman lämmöntalteenottoa olevan ilmastointikojeen lämmitysteho  $-23 \text{ } ^\circ\text{C}$ :n lämpötilassa saadaan kaavalla 4.

$$1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * 0,35 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * (21 - (-23)) \text{ } ^\circ\text{C} = 18 \text{ kW}$$

Nämä vähennetään mitatusta lämmitystehosta, jolloin jäljelle jää rakennuksen vaipan lämmitysteho.

$$59 \text{ kW} - 5 \text{ kW} - 18 \text{ kW} = 36 \text{ kW}$$

Sisälämpötilana laskelmissa käytetään  $17 \text{ } ^\circ\text{C}$ , koska oletetaan, että tiloissa olevat ilmaisenenergiat, kuten valaistus ja ihmiset, lämmittävät huoneilmaa muutamalla asteella. Näillä tiedoilla rakennuksen vaipan lämmityksen tehontarpeeksi saadaan

$$\frac{17 \text{ } ^\circ\text{C} - (-26) \text{ } ^\circ\text{C}}{17 \text{ } ^\circ\text{C} - (-23) \text{ } ^\circ\text{C}} * 36 \text{ kW} = 39 \text{ kW}$$

Tähän lisätään ilmastointikoneiden tehontarpeet täydellä teholla. Lämmöntalteenoton lämpötilahyötysuhde on toimintakaavion mukaan täydellä teholla 0,82 ja lämmöntalteenoton jälkeisen ilman lämpötila lasketaan kaavalla 3.

$$T_{LTO} = 0,82 * (22 - (-26)) \text{ } ^\circ\text{C} + (-26) \text{ } ^\circ\text{C} = 13,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Lämmöntalteenotolla varustetun ilmastointikojeen lämmitystekoksi (kaava 4) saadaan täydellä teholla

$$1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * 1,9 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * (21 - 13,4) \text{ } ^\circ\text{C} = 17 \text{ kW}$$

ja ilman lämmöntalteenottoa olevan ilmastointikojeen lämmitystehoksi

$$1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * 0,7 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * (21 - (-26)) \text{ } ^\circ\text{C} = 39 \text{ kW}$$

Rakennuksen lämmityksen tehontarpeeseen lisätään ilmastointikojeiden tehontarpeen ja näin ollen lämmityksen kokonaistehontarpeeksi tulee

$$39 \text{ kW} + 17 \text{ kW} + 39 \text{ kW} = 95 \text{ kW}$$

WinEtana 1.1 LT -laskentaohjelman tulos oli 13 % pienempi. Yllä laskettua tehontarvetta lisää käyttöveden lämmitys, jonka suuruus riippuu lämmitystavasta ja mahdollisen varaajan tai varaajien koosta.

### **3 Vertailtavat järjestelmät**

#### **3.1 Lämmöntuotantomenetelmät**

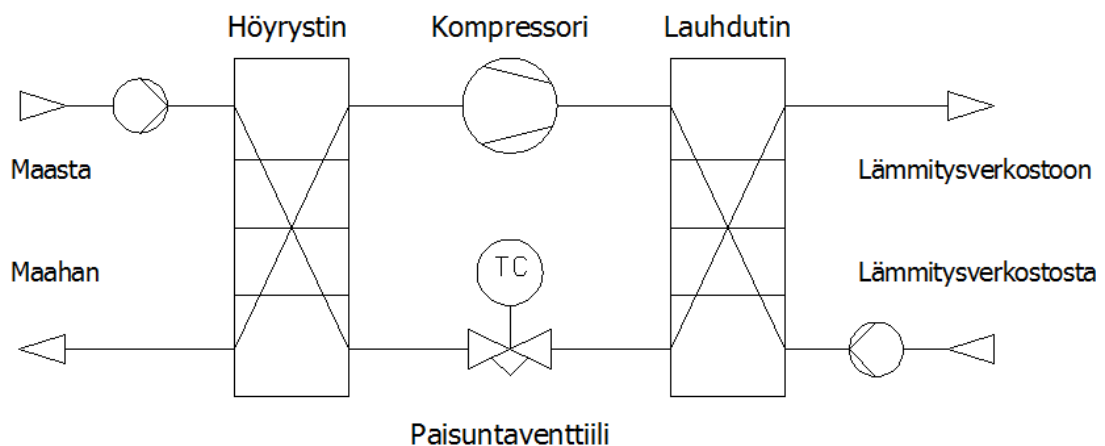
Vaihtoehtoisiksi lämmöntuotantomenetelmiksi päätettiin maalämpöpumppu, ilma-vesi lämpöpumppu ja pellettikattila. Seuraavissa kohdissa esitellään näiden toimintaperiaatteet ja soveltuvuus esimerkkikohteeseen. Kaukolämpöä ei koettu vaihtoehdoksi, koska nykyiseen kaukolämpöverkoston on pitkä matka.

##### **3.1.1 Maalämpöpumppu**

Kesällä auringon säteilyn lämpöenergia varastoituu vesistöihin ja maaperään. Talvella eristävä lumipeite estää maan jäähtymisen ja routarajan alapuolella maan lämpötila on

+3...+10 °C. Kosteaa maata ja vesistöjä ovat parhaita lämmönlähteitä, koska niissä siirtyy nopeasti uutta lämpöä pois pumpatun lämmön tilalle. [6, s. 165.]

Lämpöpumpun toiminta perustuu koneistossa kiertävän kylmäaineen höyrystymiseen ja lauhtumiseen. Maassa lämmennyt jäätyämätön neste esim. vesi-alkoholiliuos kiertää lämpöpumpun höyrystimen kautta. Höyrystimessä kylmäaine höyrystyy sitoen lämpöä ympäristöstä ja siten jäädyttää maasta tullutta nestettä. Kompressorin imee höyryä ja puristaa sen korkeampaan paineeseen, jolloin höyry myös lämpenee. Lauhduttimessa höyry lauhtuu eli nesteytyy, jolloin vapautunut lämpö luovutetaan esimerkiksi lauhduttimessa kiertävään rakennuksen lämmitysverkoston veteen. Lauhduttimesta nestemäinen kylmäaine johdetaan paisuntaventtiilin kautta takaisin höyrystimeen. [7, s. 224–225.] Kuvassa 2 on esitetty maalämpöpumpun pelkistetty periaatekaavio.



Kuva 2. Maalämpöpumpun pelkistetty periaatekaavio.

Kompressorin kuluttamasta sähköenergiasta muodostuvat lämpöpumpun käyttökustannukset. Lämpöpumpun tehokkuutta lämmöntuottajana kuvataan lämpökertoimen avulla. Lämpöpumpun hyötysuhde on sitä parempi, mitä alhaisempi on jakelujärjestelmän lämpötila, esimerkiksi vesikiertoinen lattialämmitys. [6, s. 165.] Suuntaa antavina lämpötiloina voidaan pitää seuraavia lämpötilatasoja [8, s. 142]:

- ilmalämmitys      20–40 °C
- lattialämmitys    20–30 °C

- patterilämmitys 40–80 °C
- kaukolämmitys 70–130 °C

Maalämmityksen hyviä puolia ovat alhaiset käyttökustannukset, ja se on helppohoitoinen sekä huoltovapaa. Maalämpö on taloudellisinta silloin, kun lähes kaikki lämpö otetaan maasta. Järjestelmä on oikeinasennettuna ympäristöystävällinen, lähiluontoa saastuttamaton lämmitysmuoto. Laitteiden toimivuudesta on olemassa yli 20 vuoden käyttökokemus. Maalämmössä energian hinnannousut kohdistuvat vain ostettavaan energiaan, mikä on noin 30 % kokonaisenergiämäärästä. [6, s. 166.]

Friisilän päiväkotit sijaitsee alueella, jossa kyseeseen tulisi kalliolämpö. Siinä lämpö otetaan kallioon tehtävästä energiakaivosta, jonka poraus kestää yleensä vain muutamia päiviä eikä vaadi erityisiä maansiirto- tai muita töitä, joilla olisi suurta vaikutusta päiväkodin piha-alueen käyttöön asennusten aikana.

Kallioperän etuna on tasainen lämpötila ympäri vuoden. Pystyputkistosta saadaan suurempi energiamäärä putkimetriä kohden. Kallioon porattava pystyputki mitoitetaan vuotuisen lämpöenergiatarpeen mukaan. [6, s. 167; 7, s. 236.]

### **3.1.2 Ilma-vesi-lämpöpumppu**

Ilma-vesi-lämpöpumppu toimii samoin perustein kuin lämpöpumput yleensä. Toiminta on samankaltainen kuin luvussa 3.1.1 esitetty maalämpöpumppu. Ilma-vesi-lämpöpumpussa lämmön keruu tapahtuu ulossijoitetun puhallin/höyrystinyksikön avulla. Ulkoyksikön puhallin siirtää ilmaa kennon läpi tehostaen muuten passiivisen kennon lämmönsiirtokykyä. Lämmön luovutus sen sijaan tapahtuu lauhdutin-lämmönsiirtimessä esimerkiksi rakennuksen lämmitysverkoston veteen. [9.]

Lämpöpumpun käynnistäminen ei kannata  $-20\dots-25$  °C lämpötilaa kylmemmissä oloissa. Kun ulkolämpötila laskee, laskee myös höyrystymislämpötila. Samalla lämpöpumpun teho ja lämpökerroin pienenevät. Lämpöpumppu soveltuu alentamaan

lämmityskustannuksia syksyisin ja keväisin ja aina silloin kun ulkolämpötila on korkeampi kuin  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Kuitenkin tarvitaan suurimman mahdollisen tehontarpeen mukaan mitoitettu rinnakkainen lämmitysjärjestelmä, jolla lämmitetään rakennus niinä aikoina, kun lämpöpumppu ei ole käytettävissä. [10, s. 387; 9.] Haittana ovat myös höyrystinyksiköiden puhallinäänet sekä ajoittainen höyrystinpatterin tarvitsema sulatus.

### 3.1.3 Pellettikattila

Puupelletit (kuva 3) ovat uusiutuvaa bioenergiaa. Ne ovat sylinterin muotoisia ja valmistetaan sahalaitosten ja muun puuteollisuuden sivutuotteista kokoon puristamalla [11, s. 2]. Pelletti tuodaan kotiovelle säiliöautolla. Säiliöautosta pelletti siirretään varastoon tai siiloon. Pellettisiilossa olevat puupelletit siirretään siirtokuljettimella pellettipolttimeen, jossa ne palaessaan lämmittävät pellettikattilassa olevan veden. Siirtokuljetin voi olla spiraali- tai ruuvikuljetin tai pneumaattinen kuljetin.



*Kuva 3. Puupellettiä [12].*

Kiinteän polttoaineen lämpökeskuksissa on erityisen tärkeää ottaa huomioon paloturvallisuus. Lämpökeskuksen rakenteellinen paloturvallisuus on toteutettava vähintään RakMk:n osien E1, E2 ja E9 mukaisesti. Kiinteän polttoaineen lämpökeskus on sijoitettava vain lämpökeskuksen toimintaa palvelemaan erilliseen rakennukseen, jos lämpökeskuksessa tapahtuvan palon leviäminen muuhun rakennukseen voi vaarantaa henkilöturvallisuutta. Lämpökeskus on erillinen, jos sen uloimpien rakennusosien etäisyys muista rakennuksista on vähintään kahdeksan metriä. Lisäksi tulee ottaa



huomioon turvajärjestelmät takapalon varalta. Turvajärjestelmiä tulee olla vähintään kaksi erillistä ja toisistaan riippumatonta, niiden on myös kyettävä toimimaan sähkökatkoksen aikana. [13.]

## **3.2 Lämmönjakojärjestelmät**

Vaihtoehtoisiksi lämmönjakojärjestelmiksi päätettiin vesikiertoinen lattialämmitys, ilmalämmitys ja patterilämmitys. Seuraavissa kohdissa esitellään näiden toimintaa ja soveltuvuus esimerkkikohteeseen.

### **3.2.1 Vesikiertoinen lattialämmitys**

Lattialämmitysjärjestelmässä on ikkunaseinällä olevat radiaattorit korvattu lattian sisälle sijoitettuun putkikierukkaan. Kierukassa kiertävä vesi lämmittää lattian ja huoneen. Putkena voidaan käyttää muovipinnoitteista kupariputkea tai muoviputkea. Markkinoilla on useita lattialämmitysjärjestelmiä. [6, s. 96.]

Lattialämmityksessä lämpöä luovuttavana pintana on lattia, jonka rakenteeseen on asennettu lattialämmitysputkisto. Siellä kiertovesi ei saa jäätyä. Ikkunaseinällä olevassa putkistossa on tiheämpi jaotus. Muualla huoneessa putkijako on suurempi ja ikkunaseinämälle muodostuvalla lämpimällä vyöhykkeellä kompensoidaan kylmän ikkunapinnan vaikutusta. Huonelämpötila säädetään putkistossa virtaavan veden lämpötilaa ja veden virtaamaa muuttamalla. [6, s. 96.]

Lattialämmityksen lämmitysteho määräytyy lattian pintalämpötilan mukaan. Pintalämpötila ei ole tasainen, vaan se on korkeimmillaan putken kohdalla ja alhaisimmillaan putkien välissä. Lattian pintalämpötila on yleensä 23...24 °C, ja enimmillään alle 27 °C, joten sen lämpötilaa ei aisti kädellä, jonka lämpötila on noin 32 °C. Lattia koetaan miellyttävän lämpimänä jalan alla. Kiertoveden lämpötilaksi riittää 35...40 °C, joten lämpöenergiaa voidaan tuottaa esimerkiksi lämpöpumpulla.

Lisäksi lattialämmitysjärjestelmä on äänenvaimennuksen takia hyvä, sillä se ei välitä ääniä huoneesta toiseen. [10, s. 183; 6, s. 96.]

Lämmitysputket asennetaan erilliseen asennuslevyn ”nystyröiden” väliin, jolloin putki kiinnittyy paikoilleen. Asennuslevyn päälle tulevan erikoispintavalun paksuus on yleensä vähintään 30 mm putken yläpinnasta mitattuna [14, s. 8]. Pintavalu ei kuitenkaan ole pakollinen, mutta se takaa lattian tasaisen pintalämpötilan. Tämä voidaan toki taata tihentämällä lämmitysputkien väliä.

### **3.2.2 Ilmalämmitys**

Ilmalämmitysjärjestelmässä rakennuksen lämmitys ja ilmanvaihto on yhdistetty yhdeksi kokonaisuudeksi. Ulkoa tuleva ilma lämmitetään ilmanvaihtokoneessa tai erillisessä ilmalämmityskoneessa joko sähköllä, vesikiertoisesti tai lämpöpumpulla ja kuljetetaan kanavia pitkin lämmitettävään huonetilaan. Koko lämmitys hoidetaan lämpimän ilman avulla. Ilmalämmityksessä on kolmenlaista ilmaa: kierrätysilmaa, ulkoilmaa ja poistoilmaa. [6, s. 119, 144.]

Sisäilmaa kierrätettäessä ilmassa on mukana jo jonkin verran käytössä likaantunutta ilmaa. Ulkoilmaa otetaan ulkoilmapuhaltimen avulla, puhdistetaan suodattimella, lämmitetään lämmöntalteenotossa, lisälämmitetään lämmityspattereilla ja puhalletaan tuloilmapuhaltimella huonetiloihin tuloilmana. Poistoilma on huoneista poistettavaa ilmaa, ja se poistetaan rakennuksen likaisista huoneista. Poistoilmavirtaus on kymmenen prosenttia suurempi kuin tuloilmavirta. Ilmalämmityksessä ilman virtaus toteutetaan pakotetusti puhaltimen avulla. [6, s. 144.]

Ilmalämmityksessä voidaan hyödyntää matalalämpötilaisia lämmönlähteitä, koska laitteen lämmityspatteriin on mahdollista saada runsaasti lämmönsiirtopintaa. Näin tullaan toimeen alhaisella ilmalämmityspatterin läpi kulkevalla veden lämpötilalla. Laitteella voidaan hyödyntää hyvin lämpöpumpun kehittämiä lämpötiloja. [6, s. 144.]

Ilman kanavointi voidaan järjestää alajakoisesti, jolloin tuloilmalaitteet saadaan sijoitetuksi huoneen ilmanjaon kannalta edullisesti ulkoseinille ikkunoiden alle tai yläjakoisesti, mikä aiheuttaa huoneen yläosaan helposti korkeamman lämpötilan kuin alaosaan. Molemmissa tapauksissa kanavien puhdistusmahdollisuuksista on huolehdittava ja kanavat on lämpöeristettävä. Ilmalämmitysjärjestelmän varjopuoli on ilmakehien suuri tilantarve, koska lämpökapasiteettivirta edellyttää ilmaa käytettäessä huomattavasti suuremman poikkipinta-alan kuin vesi, vaikka ilmalla voidaan käyttää kymmenkertaisia virtausnopeuksia. [8, s. 175–176.]

Friisilän päiväkodissa tarkasteltavaksi mallihuoneeksi valittiin huone numero 35 toimistohuone, jonka tilavuus on  $40 \text{ m}^3$  ja mitoituslämmitysteho  $1\,000 \text{ W}$ , kun lämmitystehontarpeeksi oletetaan  $25 \text{ W/m}^3$ . Mallihuoneen ilmanvaihtosuunnitelma on liitteessä 3. Liitteessä 4 olevan taulukon mukaan tilakohtaiseksi tuloilmavirraksi tarvitaan vähintään  $42 \text{ dm}^3/\text{s}$ , kun tuloilman lämpötila on  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ . Tällä hetkellä tuloilmavirta on  $20 \text{ dm}^3/\text{s}$  ja kanavan halkaisija  $100 \text{ mm}$ . Ilmalämmityksen vaatiman tuloilmavirran vuoksi kanavakokoa tulisi kasvattaa  $160 \text{ mm}$ :iin. Tuloilmakanavat tulee myös lämpöeristää lämpimissä tiloissa  $50 \text{ mm}$ . Tuloilmaelin on tällä hetkellä TLA-100. Liitteessä 5 olevasta taulukosta voidaan huomata, ettei kyseisen tuloilmaelimen käyttö näin suurella ilmavirralla ole mahdollista säätö- ja ääniteknisistä syistä. Voidaan siis olettaa, että tuloilmaelimet tulisi vaihtaa sekä kanavia kauttaaltaan suurentaa ja lämpöeristää. Käytävien alakatoissa kulkevat runkokanavat eivät todennäköisesti mahtuisi nykyisille reiteilleen ja ilmanvaihto tulisi suunnitella kokonaan uudelleen. Näin ollen ilmalämmityksen kustannuksia ei tässä työssä tarkastella.

### 3.2.3 Patterilämmitys

Patterilämmitysjärjestelmässä patterit (radiaattorit) tai konvektorit sijoitetaan huoneen kylmälle seinälle, ikkunan alapuolelle. Ne asennetaan ikkunan pituisina tai ainakin symmetrisesti ikkunaan nähden. Patterit lämmittämä ilma nousee ylöspäin pitkin ikkunan pintaa ja ottaa mukaansa alaspäin virtaavaa kylmempää ilmaa. Näin estetään ikkunan jäädyttämän ilman virtausta lattiaa pitkin, mikä usein koetaan lattian rajassa

vetona. Patterit luovuttavat lämpöä konvektion ja säteilyn avulla. [6, s. 174.] Siksi pattereita sijoittaminen esteiden taakse vähentää sen lämmönluovutusta [10, s. 160].

Patterit pyritään asentamaan samalle korkeudelle. Asennuskorkeuteen vaikuttavat pattereiden oma korkeus ja niiden alustan siivottavuus. Jokaiseen huoneeseen asennetaan yleensä oma patteri. Rakennuksen keskellä oleva ulkoseinätön huone ei kuitenkaan tarvitse patteria. [6, s. 174.]

Pattereiden sijoittelun jälkeen suoritetaan varsinainen verkostosuunnittelu. Verkoston suunnittelussa pyritään selkeään, mielellään symmetriseen, verkostoon. Putket sijoitetaan rakennuksessa paikkoihin, joihin ne on helppo asentaa ja tarvittaessa koteloida. Suurien paine-erojen syntymistä haarojen ja samassa haarajohdossa olevien pattereiden välillä tulee välttää. Putkimateriaali valitaan, kun tiedetään, miten putki halutaan asentaa patterille. Ylös verhokoteloon voidaan asentaa suoraa ja jäykkää putkea. Lattian sisältä nouseva putkitus on asennusputkessa olevaa happidiffuusiosuojattua muoviputkea. Muoviputki voidaan tuoda radiaattoriin sen alapuolelta tai viereisestä seinästä. Ylhäällä verhokotelossa olevat putket kytketään pystysuorien osuuksien avulla patteriin. Patterin alapuolella jalkalistassa oleva putkitus kytketään lyhyin kytkentäjohtoin patteriin. Patterin koko valitaan valmistajan mitoituslaskelmista siten, että sen teho vastaa huoneen lämpöhäviöitä ja radiaattorin pituus on suunnilleen huoneen ikkunan levyinen. Koska pattereiden lämmönluovutus riippuu lämpötilaeron lisäksi patterityypistä, tulisi samaan verkoston osaan valita samantyyppisiä pattereita. [10, s. 146–147; 6, s. 174–175.]

Mitoituslämpötilaerona verkoston meno- ja paluuvien lämpötilojen välillä käytetään nykyään 30 °C. Ilmastointikoneiden lämmityspiirissä mitoituslämpöerona saatetaan käyttää jopa 40 °C. Mitä suurempi lämpötilaero on, sen pienemmällä putkilla tullaan toimeen, mutta vastaavasti patterin keskilämpötilan laskiessa samaan lämpötehoon tarvittava patteripinta kasvaa. [10, s. 163–164.]

## **4 Ongelmakohtat**

Kohdekäynnillä 15.4.2009 kierrettiin Friisilän päiväkotikohteen huoltomiehen kanssa. Käynnin tarkoituksena oli kartoittaa nykyisen lämmityksen tilanne ja selvittää uusista järjestelmistä koituvia ongelmakohtia. Seuraavassa esitellään vaikeimmiksi koetut seikat.

### **4.1 Patterilämmitys ja nykyinen kattolämmitys**

Friisilän päiväkodin alapohjan rakenteen vuoksi patterilämmityksen runkojohdot täytyy asentaa pääsääntöisesti alakattoon. Kuvasta 1 voidaan jo huomata, että Friisilän päiväkotikohta on hyvin monimuotoinen ja sen yläpohja on vaihteleva niin korkeuden kuin kaltevuuksien suhteen. Tällä hetkellä suurin osa tiloista lämmitetään kattolämmityksellä. Kuvasta 4 voidaan huomata, että nykyisiä kattolämmityselementtejä jouduttaisiin joiltain osin purkamaan tai siirtämään, että lämpöjohdot pääsevät kulkemaan ikkunoiden yläpuolella. Muutamissa tiloissa, kuten kuvassa 4, ikkunat ovat katon rajassa. Tämä vaikeuttaa lämpöjohtojen asennusta niiden yläpuolelle, koska ikkunoita ei päästä avaamaan pesun ajaksi.



*Kuva 4. Friisilän päiväkodin aulatilán ikkuna ja kattolämmityselementti.*

Friisilán päiväkodissa on paljon erikokoisia ikkunoita, jotka ovat eri korkeuksilla. Alimmillaan ikkunan alareuna on 24 cm lattiasta. Samassa huonetilassa voi olla useampia eri korkeuksilla olevia ikkunoita, kuten kuvassa 5. Tämä vaikeuttaa patterityyppien valintaa ja kytkentäjohtojen tuomista pattereille, koska ikkunan alle ei jää juurikaan tilaa.



*Kuva 5. Friisilän päiväkodin liikuntasalin ikkunoita.*

#### **4.2 Lattialämmitys ja rakenteet**

Friisilän päiväkodin alapohjan betonilaatan teräsvahvistusten tiheyden vuoksi lattialämmityspotkistoa ei voida asentaa nykyiseen betoniin piikkaamalla sitä ensin auki. Siksi lattialämmitys joudutaan asentamaan nykyisen betonilaatan päälle, jonka vuoksi lattiapinta korottuu. Uponorin ohuin lattialämmityslevy on 15 mm, missä putken paksuus on 12 mm [15]. Lattiapäällysteestä riippuen tulee korotusta lisää vielä 7–10 mm. Yhteensä puhutaan siis noin 25 mm korotuksesta. Jos halutaan taata, tasainen lattian pintalämpötila ja saada lattiaan pieni varaus, pitää asennuslevyn päälle tehdä vielä 30 mm:n betonivalu. Se korottaa lattian entisestään. Tästä syystä kynnyksiä ja ovia saatetaan joutua korottamaan, lyhentämään tai uusimaan. Kuvasta 6 voidaan huomata, että ovia ei kaikissa tiloissa voida paljoa korottaa, koska niiden yläpuolelle on asennettu siirtoilma-aukkoja ja hätäpoistumistiemerkkejä. Mitä todennäköisimmin järkevin ratkaisu olisi lyhentää ovia niiden alaosasta.



*Kuva 6. Friisilän päiväkodin märkätilan oven yläkarmi.*

### **4.3 Pellettilämpökeskuksen sijoitus tontille**

Friisilän päiväkodin tontilla on tilaa pellettilämpökeskukselle. Se on sijoitettava siten, ettei se vaaranna paloturvallisuutta, ja siksi lämpökeskuksen etäisyys muista rakennuksista on oltava vähintään kahdeksan metriä. Turhan pitkää matkaa tulee kuitenkin välttää, ettei rakennusten ulkopuolisten lämpöjohtojen putkimetrit kasva kohtuuttomiksi. Pellettilämpökeskukselle on myös varmistettava kulkuyhteys, jotta säiliöauto pääsee aika ajoin täyttämään pellettivaraston. Kuvassa 7 on Friisilän päiväkodin tontin itäinen reuna. Etäisyys rakennuksen seinästä tontin reunaan on noin 20 metriä. Lämpökeskus mahtuu tälle alueelle hyvin, eikä turvaetäisyys vaarannu. Alueelta täytyisi kuitenkin kaataa korkeita puita, jotka tuovat oman haasteen, koska lähietäisyydellä useassa suunnassa on rakennuksia.





*Kuva 7. Friisilän päiväkodin tontin itäsiivu ja naapurirakennus (oikealla).*

#### **4.4 Tekninen tila lämpöpumpulle**

Tällä hetkellä Friisilän päiväkodissa sähköpääkeskus ja vesihuone, jossa lämminvesivaraajat sijaitsevat, ovat peräkkäin. Näitä tiloja täytyisi muuttaa, jotta lämpöpumppu ja lämminvesivaraajat pystytään niihin sijoittamaan sähköturvallisuutta vaarantamatta.

## 5 Elinkaarikustannukset

### 5.1 Lämmöntuotantomenetelmät

Elinkaarikustannuslaskennan avulla voidaan vertailla laitteiden tai järjestelmien edullisuutta. Laskelmissa otetaan huomioon järjestelmän koko elinkaari valmistuksesta käytöstä poistamiseen. Elinkaarikustannusten lyhenne LCC tulee englannin kielen sanoista Life Cycle Cost. LCC-laskennassa huomioidaan järjestelmän tulevat kustannukset, kuten käyttö-, huolto- ja uusimiskustannukset, jotka diskontataan nykyhetkeen, jolloin vertailtavien järjestelmien erisuuruiset hankinta- ja käyttökustannukset ovat keskenään vertailukelpoisia. Laskennalla voidaan joissakin tapauksissa osoittaa, että hankintahinnaltaan kalliimpi ratkaisu voi olla elinkaarikustannukset huomioituna käyttäjälle kuitenkin edullisempi. [16, s. 57.]

Elinkaarikustannukset nykyarvomenetelmällä lasketaan seuraavalla kaavalla.

$$LCC_{tot} = \text{investointi} + \text{energiakustannusten nykyarvo} + \\ \text{huoltokustannusten nykyarvo} + \text{jäännösarvokustannuksen nykyarvo} \quad (5)$$

*Investointikustannuksilla* tarkoitetaan järjestelmän hankintahintaa käytön alkaessa, johon sisältyvät järjestelmän hinta sekä asennus- ja mahdolliset kuljetuskulut.

Vertailtavien järjestelmien poikkeavat rakennus-, purku-, siivous-, säätö- tai asbestitöiden kustannukset tulisi myös ottaa huomioon laskelmissa. [16, s. 58.]

Lämmöntuotantomenetelmien investointikustannusarviot tiedusteltiin laitteiden jälleenmyyjiltä. Lähtötietona heille annettiin luvuissa 2.1–2.3 lasketut tiedot.

Tiedusteluvaiheessa syntyneen laskentavirheen vuoksi lämmityksen huipputehoksi annettiin 79 kW, vaikka oikea tulos on 95 kW.

*Energiakustannuksilla* tarkoitetaan tässä työssä rakennuksen lämmitysenergiakustannuksia. Laskelmissa otetaan huomioon vuotuinen kulutus sekä lämmön hinnan nousu. Energiakustannusten nykyarvo lasketaan seuraavalla kaavalla. [15, s. 58.]

$$\text{Energiakustannusten nykyarvo} = Q * q * \frac{1}{(i - p)} * \frac{[1 + (i - p)]^n - 1}{[1 + (i - p)]^n} \quad (6)$$

Q on vuotuinen energian kulutus, MWh/a

q on nykyinen energian hinta, €/MWh

p on odotettavissa oleva energian vuotuinen hinnan nousu, %/100

i on reaalikorkokanta, %/100

n on laskentajakson pituus, a

Tilaaajan kanssa sovittiin, että laskentakorko ja energian hinnan nousu on 0 % laskennan yksinkertaistamiseksi.

*Huoltokustannuksilla* tarkoitetaan tiettyin aikaväleihin syntyviä ylläpitokustannuksia. [16, s. 59.] Huoltokustannukset ovat tietty prosenttiosa laitteiston hankintahinnasta, ja se riippuu lämmöntuotantomenetelmästä.

*Jäännösarvokustannuksilla* tarkoitetaan järjestelmän käytöstä poistamisesta aiheutuvia kuluja. Ne voivat olla positiivisia tai negatiivisia riippuen siitä, peittävätkö laitteen myynnistä saadut tulot purku-, hävittämis-, kierrätys- ja kaatopaikkamaksut. [16, s. 60.] Tilaaajan kanssa sovittiin, ettei näissä laskelmissa jäännösarvokustannuksia oteta huomioon.

### 5.1.1 Maalämpöpumppu

Investointikustannuksia tiedusteltiin useammalta laitteiden jälleenmyyjältä, mutta vastausten lukumäärä jäi heikoksi, mikä varmasti osittain johtui kiireisestä aikataulusta.

Yksi vastanneista oli Tom Allen Oy, joka on Thermian valtuutettu jälleenmyyjä. Heidän investointikustannusarvionsa on 90 000–98 000 € (alv. 0 %). Alin investointikustannusarvio oli 80 000 €. Näissä laskelmissa investointikustannuksina käytetään 90 000 €. Tom Allen Oy:n investointikustannusarvio sisältää kaksi 42 kW:n lämpöpumppua, kaksi 700 dm<sup>3</sup>:n lämminvesivaraajaa ja 7 porausreikää, joiden aktiivinen porausreiän syvyys on 188 m.

Energianhinta ja siirtomaksut saatiin Espoon kaupungin energia-asiantuntijalta. Ennustehinta vuodelle 2009 on 48,05 €/MWh alv. 0 %. Vuotuinen energiakustannus saadaan, kun lämmitysenergian tarve jaetaan lämpöpumpun lämpökertoimella ja saadaan ostoenergian tarve. Se kerrotaan energianhinnalla ja siirtomaksulla. Tähän lisätään vielä sähkön siirron perusmaksu. Tom Allen Oy:n laskelmien mukaan lämpöpumpun lämpökerroin on 2,82. Vuotuiseksi energiakustannukseksi maalämpöpumpulle saadaan

$$\frac{144 \text{ MWh}}{2,82} * (48,05 \text{ € / MWh} + 46,5 \text{ € / MWh}) + 6,72 \text{ € / kk} * 12 \text{ kk} = 4 909 \text{ € / a}$$

Maalämpöpumpun vuotuisten huoltokustannusten arvioidaan olevan 5 % lämpöpumppulaitteen hankintahinnasta. Laitteen hankintahinta on noin 30 % kokonaisinvestointikustannuksista. Tässä maalämpöpumpun vuotuisiksi huoltokustannuksiksi tulee

$$90 000 \text{ €} * 0,3 * 0,05 = 1 350 \text{ € / a}$$

Maalämpöpumpun käyttöikä on 25–30 vuotta, ja maapiirin oletetaan kestävän koko rakennuksen iän [17, s. 15.] Jos rakennuksen käyttöikäksi oletetaan 100 vuotta, josta noin 20 vuotta on jo kulunut, pitäisi maalämpöpumppu uusia noin kaksi kertaa. Rakennuksen käyttöikänsä aikaisiksi investointikustannuksiksi tulee

$$90 000 \text{ €} + 90 000 \text{ €} * 0,3 * 2 = 144 000 \text{ €}$$

Maalämpöpumpun vuotuisten kustannusten summaksi rakennuksen jäljellä olevalle käyttäjälle tulee

$$1\,350 \text{ €/a} * 80 + 4\,909 \text{ €/a} * 80 = 500\,720 \text{ €}$$

Maalämpöpumpun elinkaarikustannukset lasketaan kaavalla 5. Yhteensä koko rakennuksen käyttöiän aikaisiksi maalämpöpumpun elinkaarikustannuksiksi tulisi

$$144\,000 \text{ €} + 500\,720 \text{ €} = 644\,720 \text{ €}$$

### 5.1.2 Ilma-vesi-lämpöpumppu

Ilma-vesi-lämpöpumppujärjestelmän investointikustannuksia tiedusteltiin usealta laitteiden jälleenmyyjältä. Vastauksia tuli, mutta suurin osa ilmoitti, ettei heidän edustamilta laitevalmistajilta löydy tälle teholuokalle sopivia laitteita. Espoon LVI-Sisustus Oy, joka myy Niben lämpöpumppuja, teki laskelmat yhdistämällä järjestelmään useamman ilma-vesi-lämpöpumpun. Heidän investointikustannusarvio oli 40 000 € (alv. 0 %) sisältäen viisi 14 kW:n ilma-vesi lämpöpumppua ja 2 000 dm<sup>3</sup>:n lämminvesivaraajan asennuksineen. Heidän mukaansa kuudennen yksikön lisäyksestä ei ole merkittävää hyötyä. Lämpöpumppujen osuus investointikustannuksista on noin 35 000 € (alv. 0 %).

Energianhinta ja siirtomaksut saatiin Espoon kaupungin energia-asiantuntijalta. Vuotuinen energiakustannus saadaan, kun lämmitysenergian tarve jaetaan lämpöpumpun lämpökertoimella ja saadaan ostoenergian tarve. Se kerrotaan energianhinnalla ja siirtomaksulla. Tähän lisätään vielä sähkön siirron perusmaksu. Espoon LVI-Sisustus Oy:n laskelmista ilmeni, että ilma-vesi-lämpöpumppujen energianpeittoaste on 91 % ja lämpökerroin 2,4.

$$\frac{144 \text{ MWh} * 0,91}{2,4} * (48,05 \text{ €/MWh} + 46,5 \text{ €/MWh}) = 5\,162,40 \text{ €/a}$$

$$144 \text{ MWh} * 0,09 * (48,05 \text{ €} / \text{MWh} + 46,5 \text{ €} / \text{MWh}) + 6,72 \text{ €} / \text{kk} * 12 \text{ kk} = 1\,306,0 \text{ €} / a$$

Yhteensä vuotuisiksi energiakustannuksiksi tulee

$$5126,40 \text{ €} / a + 1\,360,00 \text{ €} / a = 6\,522,40 \text{ €} / a$$

Ilma-vesi-lämpöpumppujen vuotuisten huoltokustannusten arvioidaan olevan 5 %.

Tässä ilma-vesi-lämpöpumppujen vuotuisiksi huoltokustannuksiksi tulee

$$35\,000 \text{ €} * 0,05 = 1\,750 \text{ €} / a$$

Ilmalämpöpumpun käyttöikä on 10...15 vuotta [17, s. 15.] Jos rakennuksen käyttöikäksi oletetaan 100 vuotta, josta noin 20 vuotta on jo kulunut, pitäisi lämpöpumput uusia noin kuusi kertaa. Rakennuksen käyttöiän aikaisiksi investointikustannuksiksi tulee

$$40\,000 \text{ €} + 35\,000 \text{ €} * 6 = 250\,000 \text{ €}$$

Ilma-vesi lämpöpumppujen vuotuisten kustannusten summaksi rakennuksen jäljellä olevalle käyttöiälle tulee

$$6\,522,40 \text{ €} / a * 80 + 1\,750 \text{ €} / a * 80 = 661\,792 \text{ €}$$

Ilma-vesi-lämpöpumppujen elinkaarikustannukset lasketaan kaavalla 5. Yhteensä koko rakennuksen käyttöiän aikaisiksi ilma-vesi-lämpöpumppujen elinkaarikustannuksiksi tulisi

$$250\,000 \text{ €} + 661\,792 \text{ €} = 911\,792 \text{ €}$$

### 5.1.3 Pellettikattila

Pellettikattilajärjestelmän investointikustannuksia tiedusteltiin useilta kattilavalmistajien jälleenmyyjiltä. Vastausten lukumäärä jäi alhaiseksi. Yksi vastanneista oli Frisnet Oy, joka myy ja toimittaa Herz-pellettikattiloita. Heidän investointikustannusarvionsa pellettilämmitysjärjestelmälle on 39 000 € (alv. 0 %). Tämä sisältää nimellistehoaltaan 90 kW:n kattilan, 3 000 dm<sup>3</sup>:n lämminvesivaraajan, 36,3 m<sup>3</sup>:n pellettisiilon, 7 metrin savuhormin sekä ohjaukseen ja säätöön liittyvät komponentit asennuksineen. Koko järjestelmän rakentaminen toimivaksi yksiköksi maksaisi heidän mukaan noin 5 000 € (alv. 0 %). Samoihin summiin päättyi myös Ariterm Oy:n laskelmat.

Pellettilämmitysjärjestelmän energiakustannukset lasketaan kaavalla 7.

$$\frac{h}{q\eta} * 1000 * Q_{\text{lämmitys}} \quad (7)$$

$h$  on pelletin yksikköhinta, €/kg

$q$  on pelletin tehollinen lämpöarvo, 4,7 kWh/kg [18, s. ]

$\eta$  on pellettikattilan laskennallinen vuosihyötysuhde, 80 % [18, s. 30]

1000 on kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos

$Q_{\text{lämmitys}}$  on Friisilän päiväkodin lämmitysenergian tarve 144 MWh

Suomen Pellettienergiayhdistyksen mukaan pelletin toimitushinta on 0,179 €/kg (alv. 0 %). Friisilän päiväkodin vuotuisiksi energiakustannuksiksi tulee kaavalla 7

$$\frac{0,179 \frac{\text{€}}{\text{kg}}}{4,7 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}} * 0,80} * 1000 * 144 \text{ MWh} = 6 855 \text{ € / a}$$

Pellettilämmitysjärjestelmän vuotuisten huoltokustannusten arvioidaan olevan 2 % hankintahinnasta. Tässä vuotuisiksi huoltokustannuksiksi tulee

$$0,02 * 39\ 000\ € = 780\ € / a$$

Kiinteän polttoaineen kattilan käyttöikä on 30 vuotta [17, s. 14.] Jos rakennuksen käyttöikäksi oletetaan 100 vuotta, josta noin 20 vuotta on jo kulunut, pitäisi pellettikattila uusia noin kaksi kertaa. Rakennuksen käyttöiän aikaisiksi investointikustannuksiksi tulee

$$39\ 000\ € + 39\ 000\ € * 2 = 117\ 000\ €$$

Pellettilämmitysjärjestelmän vuotuisten kustannusten summaksi rakennuksen jäljellä olevalle käyttöiälle tulee

$$6\ 855\ € / a * 80 + 780\ € / a * 80 = 610\ 800\ €$$

Pellettilämmitysjärjestelmän elinkaarikustannukset lasketaan kaavalla 5. Yhteensä koko rakennuksen käyttöiän aikaisiksi pellettilämmityksen elinkaarikustannuksiksi tulisi

$$117\ 000\ € + 610\ 800\ € = 727\ 800\ €$$

## 5.2 Lämmönjakojärjestelmät

Lämmöntuotantojärjestelmien elinkaarikustannuksiksi lasketaan vain investointi- ja huoltokustannukset. Lämmöntuotantomenetelmien yhteydessä (luku 5.1) on kerrottu mitä investointikustannukset sisältävät. Energiakustannukset riippuvat lämmöntuotantomenetelmästä. Lämmönjakojärjestelmien hankintahinnat lasketaan Talonrakennuksen Kustannustieto 2008 -kirjan mukaisesti. Kirjan tietoaieisto on julkaistu hintatasossa 1/2008 ja korjataan Haahtela -hintaindeksillä, jonka ennuste 1/2009 on 81 [19.]



### 5.2.1 Vesikiertoinen lattialämmitys

Lattialämmityksen investointikustannukset on katsottu Talonrakennuksen Kustannustieto 2008 -kirjasta betonilattialle, jonka lämmitettävä ala on yli 500 m<sup>2</sup>. Kustannukset sisältävät lattialämmityksen vaatimat putkistot, pumput ja säätöryhmät, ja ne ilmoitetaan euroina bruttoneliötä kohden.

$$28 \text{ €/brm}^2 * 840 \text{ m}^2 = 23\,520 \text{ €}$$

Investointikustannuksia suurentavat lattiapäällysteet asennuksineen. Jos lattiaan halutaan lisätä pieni varaus, tarvitaan 30 mm betonivalu, joka lisää hintaa.

Lattialämmityspotkien käyttöikä on 50 vuotta [17, s. 17.] Tästä ei kuitenkaan ole pitkäaikaista kokemusta. Jos rakennuksen käyttöäksi oletetaan 100 vuotta, josta noin 20 vuotta on jo kulunut, pitäisi lattialämmityspotket mahdollisesti kertaalleen uusia. Yhteensä koko rakennuksen käyttöiän aikaisiksi lattialämmityksen elinkaarikustannuksiksi tulisi

$$23\,520 \text{ €} + 352,80 \text{ €} * 80 = 51\,744 \text{ €}$$

### 5.2.2 Patterilämmitys

Patterilämmityksen investointikustannukset on katsottu Talonrakennuksen Kustannustieto 2008 -kirjasta julkiselle rakennukselle, joka on 1...2- kerroksinen ja yleisratkaisuiltaan vaativa. Kustannukset ilmoitetaan euroina bruttoneliötä kohden.

$$\text{Lämpöjohdot } 11,7 \text{ €/brm}^2 * 840 \text{ m}^2 = 9\,828 \text{ €}$$

$$\text{Radiaattorit } 7,8 \text{ €/brm}^2 * 840 \text{ m}^2 = 6\,552 \text{ €}$$

Lämpöjohtojen ja radiaattoreiden investointikustannukset lasketaan yhteen ja saadaan koko patterilämmityksen investointikustannukset.

$$9\,828\text{ €} + 6\,552\text{ €} = 16\,380\text{ €}$$

Investointikustannuksia suurettavat lämpöjohtojen mahdolliset koteloinnit. Nykyiset sähköasennukset pitäisi kytkeä jännitteettömäksi ja joiltain osin purkaa. Tämäkin suurentaa investointikustannuksia.

Huoltokustannusten oletetaan olevan noin 2 % investointikustannuksista.

Patterilämmitysjärjestelmän vuotuisiksi huoltokustannuksiksi tulee

$$16\,380\text{ €} * 0,02 = 328\text{ €} / a$$

Patterilämmitysputkien käyttöikä on 50 vuotta ja ylöspäin [17, s. 17.] Jos rakennuksen käyttöikäksi oletetaan 100 vuotta, josta noin 20 vuotta on jo kulunut, pitäisi patterilämmitysputket mahdollisesti kertaalleen uusia. Yhteensä koko rakennuksen käyttöiän aikaisiksi patterilämmityksen elinkaarikustannuksiksi tulisi

$$16\,380\text{ €} + 328\text{ €} * 80 = 42\,620\text{ €}$$

## 6 Primäärienergian kulutukset

Energiantuotantotapojen merkitys kasvaa, kun otetaan huomioon primäärienergiatarkastelu [1, s. 3]. Primäärienergiaa on kaikki sellainen energia, joka voidaan muuntaa ihmisen toimin käyttökelpoiseen muotoon. Uusiutumattomalla primäärienergialla tarkoitetaan rakennukseen myytävän ostoenergian tuottamiseksi tarvittavaa uusiutumattoman energian määrä [20]. Primäärienergian kulutus on laskennallinen kulutus, joka sisältää energian tuotannon ja jakelun häviöt. Se saadaan siten, että eri energianlähteiden loppukulutus kerrotaan kunkin energiamuodon primäärienergian muuntokertoimella, jossa otetaan huomioon energiantuotannon ja

jakelun hyötysuhde. [21, s. 40.] Kertoimia ei ole Suomessa vielä määritelty, ja ne muuttuvat ajan mittaan, mutta lähitulevaisuudessa eivät ainakaan ole pienempiä kuin

- kevyt polttoöljy 1
- sähkö 2
- kaukolämpö 0,7
- uusiutuvat polttoaineet esim. 0,5

Lopullisten kertoimien määrittäminen rakentamisen ohjaukseen on tulevaisuuden poliittinen päätös. [22.] Rakentamisen ohjaukseen on ympäristöministeriö tehnyt linjauksen, jonka mukaan vuoden 2012 rakentamismääräyksiin lisätään kokonais- ja primäärienergiatarkastelu ja energiamuotojen kertoimet [20].

Tämänhetkinen rakennuksen lämmitysenergian tarve neliometriä kohden on Friisilän päiväkodissa

$$\frac{144\,000\text{ kWh/a}}{840\text{ m}^2} = 171\text{ kWh/m}^2\text{a}$$

kun primäärienergiakertoimia ei huomioida. Tämä kun kerrotaan vielä sähkön primäärienergiakertoimella, tulee tämänhetkiseksi primäärienergian tarpeeksi

$$171\text{ kWh/m}^2\text{a} * 2 = 342\text{ kWh/m}^2\text{a}$$

## 6.1 Maalämpöpumppu

Maalämpöpumpun primäärienergian tarpeen laskennassa käytetään sähkön primäärienergiakerrointa 2. Lämmitysenergian tarve neliometriä kohden jaetaan maalämpöpumpun lämpökertoimella ja saadaan ostoenergian tarve. Tämä kerrotaan sähkön primäärienergiakertoimella ja saadaan maalämpöpumpun primäärienergian tarve. Maalämpöpumpun primäärienergian tarpeeksi saadaan

$$\frac{144\,000\text{kWh}/a}{2,82 * 840\text{ m}^2} * 2 = 122\text{ kWh}/\text{m}^2\text{a}$$

## 6.2 Ilma-vesi-lämpöpumppu

Ilma-vesi-lämpöpumpun primäärienergian tarpeen laskennassa käytetään sähkön primäärienergiakerrointa 2. On otettava huomioon, ettei kaikkea lämmitysenergiaa pystytä tuottamaan ilma-vesi-lämpöpumpulla. Kovimmilla pakkasilla lämmitys tapahtuu suoralla sähköllä. 91 % lämmitysenergian tarpeesta pystytään tuottamaan ilma-vesi-lämpöpumpulla. Tämän osuuden primäärienergian tarpeeksi saadaan

$$\frac{144\,000\text{ kWh}/a * 0,91}{2,4 * 840\text{ m}^2} * 2 = 130\text{ kWh}/\text{m}^2\text{a}$$

Loput 9 % lämmitysenergian tarpeesta lasketaan suoralle sähkölle.

$$\frac{144\,000\text{ kWh}/a * 0,09}{840\text{ m}^2} * 2 = 31\text{ kWh}/\text{m}^2\text{a}$$

Ilma-vesi-lämpöpumpun primäärienergian tarpeeksi tulee yhteensä

$$130\text{ kWh}/\text{m}^2, a + 31\text{ kWh}/\text{m}^2, a = 161\text{ kWh}/\text{m}^2\text{a}$$

## 6.3 Pellettikattila

Vaikka primäärienergiakertoimia ei ole Suomessa vielä määritelty, oletetaan, että puuperäisten polttoaineiden primäärienergiakerroin on 0,2. Tämä on Saksan normin mukainen kerroin. [22.] Pellettilämmityksen primäärienergiantarpeeksi saadaan

$$171\text{ kWh}/\text{m}^2, a * 0,2 = 34,2\text{ kWh}/\text{m}^2\text{a}$$

## **7 Johtopäätökset**

### **7.1 Lämmityksen tehon- ja energiantarpeet**

Lämmityksen tehon- ja energiantarpeet on laskettu nykyisten kulutusten perusteella. Kattolämmitystä on jouduttu joinakin aikoina pitämään ”yliteholla”, joka vaikuttaa tulosten oikeellisuuteen. Laskelmien luotettavuuden ja käyttökelpoisuuden tueksi lämmityksen tehon- ja energiantarvetta tutkittiin laskentaohjelmilla. Niistä saatujen tulosten perusteella laskelmat ovat melko tarkkoja. Tässä työssä lämmityksen huipputeho laskettiin  $-26\text{ °C}$ :n lämpötilassa. Nykyisin ilmastointikojeet ovat tässä lämpötilassa puolella teholla. Uudet rakentamismääräykset eivät puolitusta tunne, joten ilmastointikojeiden lämmitystehot laskettiin täydelle teholle.

### **7.2 Lämmöntuotantomenetelmien elinkaarikustannukset**

Lämmöntuotantomenetelmien investointikustannukset ovat vain suuntaa-antavia. Kyselyjen suuresta lukumäärästä huolimatta vastauksia tuli laihasti, eikä investointikustannuksille ole laajempaa vertailupohjaa. Tarkemmat ja todelliset investointikustannukset selviävät vasta, kun lämmönjakojärjestelmä- ja muut suunnitelmat ovat tehty. Laskennassa sattuneen virheen vuoksi tiedusteluissa pyydettiin investointikustannukset  $79\text{ kW}$ :n lämmitysteholle, kun oikea on  $95\text{ kW}$ . Tämä osittain vaikuttaa investointikustannusten oikeellisuuteen.

Lämmönjakomenetelmä vaikuttaa lämpöpumppujen lämpökertoimiin. Laitteiden jälleenmyyjiä pyydettiin määrittelemään ne lattialämmityksen mukaan. Patteriverkosto vaatii suuremman menoveden lämpötilan. Tästä syystä lämpökertoimien tulisi olla hieman pienempiä.

Elinkaarikustannusten perusteella ilma-vesi-lämpöpumppujärjestelmä osoittautui kalliiksi vaihtoehdoksi. Suurista investointikustannuksista huolimatta maalämpöpumppu olisi näiden tietojen perusteella edullisin, koska rakennuksen

käyttöiän aikaiset energia- ja huoltokustannukset ovat pienemmät kuin pellettilämmitysjärjestelmällä.

### **7.3 Lämmönjakojärjestelmien investointikustannukset**

Lämmönjakojärjestelmien investointikustannukset ovat vain suuntaa antavia. Todelliset investointikustannukset selviävät vasta, kun lopulliset suunnitelmat ovat tehty. Näillä hintatiedoilla patterilämmitysjärjestelmä tulisi lattialämmitystä edullisemmaksi. Patterilämmityksen suunnittelun haaste on saada järjestelmä esteettisesti ja asennuksellisesti järkeväksi, koska Friisilän päiväkotikiikot poikkeaa monella tavalla ”normaalista” rakennuksesta.

Lattialämmitystä puoltaa rakennuksen käyttötarkoitus. Päiväkodissa pienet lapset viettävät suurimman osan ajasta lattialla. Kohdekäynnillä pystyttiin toteamaan, että lattia oli paikoitellen erittäin viileä, vaikka tilaan olisi jälkikäteen asennettu lisälämmittimeksi sähköpatteri.

### **7.4 Primäärienergian kulutukset**

Primäärienergiakertoimia ei ole Suomessa vielä määritelty. Näillä tiedoilla primäärienergian tarpeiltaan pellettikattila osoittautui ylivoimaisesti parhaaksi vaihtoehdoksi. Lämpöpumppujen lämpökertoimilla on suuri vaikutus ostoenergian tarpeeseen ja sitä kautta myös niiden primäärienergian tarpeeseen. Jo lämpöpumppujen jälleenmyyjien ilmoittamissa lämpökertoimissa oli pientä hajontaa, johtuen varmaankin laitteistojen eroavaisuuksista. Lopulliset lämpökertoimet tiedetään, kun järjestelmä on kokonaan suunniteltu.

## **8 Yhteenveto**

Lämmöntuotantomenetelmää valittaessa on hyvä pitää silmällä sen elinkaarikustannukset ja primäärienergian kulutus. Hankintoja tehtäessä helposti

tuijotetaan laitteiston hankintahintaan ja unohdetaan tarkastella, kuinka suuriksi energiakustannukset laitteiston elinaikana nousevat. Tulevat rakentamismääräykset ottavat kantaa lämmöntuotantomenetelmiin määräämällä niille kokonais- ja primäärienergiatarkastelut ja energiamuotojen kertoimet. Tämä tulee tulevaisuudessa vaikuttamaan päätöksentekoon.

Insinööriyötäni tehdessä huomasin, kuinka monivaiheinen prosessi on selvittää lämmöntuotantomenetelmän edukkuutta. Lähtökohtana voivat olla taloudelliset tai ympäristöön liittyvät intressit. Tässä työssä keskityttiin nimenomaan ekologisuuteen, joka kuuluu Espoon kaupungin kiinteistöjen energiapolitiikan lisäksi myös omiin intresseihini. Odotankin mielenkiinnolla, millaisiin energiamuotojen kertoimiin päästötarkasteluilla päädytään ja milloin ne otetaan käyttöön rakentamismääräyksissä.

Uskon, että tästä työstä on hyötyä Espoon kaupungille tulevien päätösten tekoon. Vaikka työ ei anna suoraa vastausta siihen mikä on paras ratkaisu, voidaan kuitenkin joitain vaihtoehtoja selvästi pois sulkea.

## Lähteet

- 1 Rakennuksia yli 1,4 miljoonaa vuonna 2007. (WWW-dokumentti.) Tilastokeskus. <[www.stat.fi/til/rak/2007/rak\\_2007\\_2008-05-21\\_tie\\_001.html](http://www.stat.fi/til/rak/2007/rak_2007_2008-05-21_tie_001.html)>. 21.5.2008. Luettu 20.3.2009.
- 2 Energian kokonaiskulutus laski vuonna 2007. (WWW-dokumentti.) Tilastokeskus. <[www.stat.fi/til/ekul/2007/ekul\\_2007\\_2008-12-12\\_tie\\_001.html](http://www.stat.fi/til/ekul/2007/ekul_2007_2008-12-12_tie_001.html)>. 12.12.2008. Luettu 20.3.2009.
- 3 Espoon kaupunki Talotuotanto. Toimintasuunnitelma energiankäytön tehostamisesta. 19.12.2008.
- 4 KH 20-00373: Lämmitystarveluku. Rakennustietosäätiö RTS, 10/2005.
- 5 Kulmala, Eero. Ilmastointityö. Työ- ja raportointiohje 2008.
- 6 Harju, Pentti. Lämmitystekniikan oppikirja. Penan Tieto-Opus Ky, 2004.
- 7 Hakala, Pertti ja Kaappola, Esko. Kylmälaitoksen suunnittelu. Opetushallitus, 2005.
- 8 Seppänen, Olli ja Seppänen, Matti. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka. Sisäilmayhdistys; Jyväskylä, 1997.
- 9 Ulkoilmalämpöpumppu. (WWW-dokumentti.) Suomen Lämpöpumppuyhdistys ry. <[www.sulpu.fi/index.php?option=com\\_content&task=view&id=22&Itemid=79](http://www.sulpu.fi/index.php?option=com_content&task=view&id=22&Itemid=79)>. Luettu 16.3.2009
- 10 Seppänen, Olli. Rakennusten lämmitys. Jyväskylä: Gummerus kirjapaino Oy, 2001.
- 11 LVI 11-10406: Puupellettilämmitys. Rakennustietosäätiö RTS ja LVI-Keskusliitto, 2006
- 12 Vapo. Luonnollista polttoainetta puhtaista raaka-aineista. (WWW-dokumentti.) <[www.vapo.fi/fin/yksityisasiakkaat/lammityspolttoaineet/pelletit/?id=1580](http://www.vapo.fi/fin/yksityisasiakkaat/lammityspolttoaineet/pelletit/?id=1580)>. Luettu 20.3.2009
- 13 Vakuutusyhtiöiden keskusliitto. Kiinteän polttoaineen lämpökeskuksen paloturvallisuus. Ohje 2006.
- 14 LVI 13-10261: Vesikiertoinen lattialämmitys. Rakennustietosäätiö ja LVI-Keskusliitto, 1996.
- 15 Lattialämmitys, kelluva lattia. (WWW-dokumentti.) Uponor. <[www.uponor.fi/templates/Page.aspx?id=2597](http://www.uponor.fi/templates/Page.aspx?id=2597)>. Luettu 13.4.2009.



- 16 Talotekniikan elinkaaritarkastelut. Suomen talotekniikan kehityskeskus Oy. Forssan Kirjapaino Oy, 2001
- 17 LVI 01-10424: Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot. Rakennustietosäätiö RTS ja LVI-Keskusliitto, 01/2008.
- 18 Energiatodistusopas 2007 Rakennuksen energiatodistus ja energiatehokkuusluvun määrittäminen.(WWW-dokumentti.) Ympäristöministeriö.  
<[www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=96917&lan=FI](http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=96917&lan=FI) > 12.1.2009
- 19 Haahtela-hintaindeksi II/2008 -tiedote. Haahtela-kehitys Oy, 2008.
- 20 Kurnitski, Jarek. Tulevaisuuden lämmitysratkaisut ympäristönäkökulmasta. Energiaseminaari, 22.5.2008.
- 21 Kalema; Taivalantti; Keränen; Teikari; Luhanka; Ripatti; Saarela. Rakennusten lämmöntarpeen laskentaohje. Rakennusteollisuuden Kustannus RTK Oy; Jyväskylä, 2003.
- 22 Kurnitski, Jarek ja Keto, Matias. Sähkö- ja kaukolämpötuotannon päästötarkastelu. KesEn työryhmän kokous materiaali, 25.3.2009.



```

=====
WinEtana 1.1 LT          ** Raportti alkaa **          10.3.2009          10:24:00
Sivu 2(6)
=====

```

```

=====
*** LÄMMÖNTARVE KUUKAUSITTAIN

```

KK	Johtumis- häviöt (kWh/kk)	Ilmanvaihdon lämmöntarve (kWh/kk)	Vuotoilman lämmöntarve (kWh/kk)	Käyttöveden lämmöntarve (kWh/kk)	Yhteensä (kWh/kk)
1	11161	10354	1763	2513	25794
2	10574	9659	1659	2513	24407
3	9052	7755	1354	2513	20675
4	7601	6140	1109	2513	17365
5	4776	2917	612	2513	10820
6	2769	1250	291	2513	6825
7	3183	1570	379	2513	7647
8	2582	1241	296	2513	6633
9	4492	3430	653	2513	11090
10	6741	5782	1018	2513	16055
11	7368	6645	1132	2513	17659
12	9549	8711	1484	2513	22259
YHT	79855	65460	11754	30165	187236

```

=====
*** LÄMMITYSENERGIAN KULUTUS

```

KK	Tuloilma - koneet (kWh/kk)	Muu lämmönjako (kWh/kk)	Käyttöveden lämmitys (kWh/kk)	Lämm. järj. häviöt (kWh / kk)	Yhteensä (kWh / kk)
1	2630	16492	2513	114	21750
2	2496	14937	2513	114	20062
3	1878	11330	2513	114	15836
4	1448	8027	2513	114	12103
5	514	2982	2513	114	6125
6	0	894	2513	114	3522
7	86	1289	2513	114	4004
8	0	917	2513	114	3545
9	611	3359	2513	114	6599
10	1260	7890	2513	114	11780
11	1489	9475	2513	114	13592
12	2116	13716	2513	114	18460
YHT	14532	91313	30165	1373	137385

```

=====
WinEtana                               10.3.2009    10:24:00
Sivu 3(6)
=====

```

```

=====
*** LÄMMÖNTUOTTO KUUKAUSITTAIN

```

KK	Lämpö (kWh/kk)	Auringon- säteily (kWh/kk)	Sisäiset kuormat (kWh/kk)	Hyväksi- käyttöaste (%)	Yhteensä (kWh)
1	21636	427	4506	84	25820
2	19947	818	4506	84	24456
3	15722	1483	4506	84	20755
4	11988	2179	4506	82	17495
5	6011	2419	4506	72	11036
6	3408	2986	4506	48	7025
7	3890	2278	4506	58	7853
8	3431	2126	4506	51	6855
9	6484	1782	4506	75	11225
10	11665	855	4506	83	16130
11	13478	488	4506	84	17676
12	18346	139	4506	84	22281
YHT	136011	17986	54081	72	188612

```

=====
*** LÄMPÖKUORMIEN HYVÄKSIKÄYTTÖ

```

KK	Johtumis- häviöt (kWh/kk)	Sisäänp. ilman lämmöntarve (kWh/kk)	Lämpökuormat yhteensä (kWh/kk)	Kuormien ja tarpeen suhde	Hyväksi- käyttöast (%)
1	11161	9514	4934	0,23	84
2	10574	8870	5325	0,27	84
3	9052	7311	5990	0,36	84
4	7601	5932	6686	0,49	82
5	4776	3230	6926	0,86	72
6	2769	1742	7493	1,66	48
7	3183	2068	6785	1,29	58
8	2582	1760	6633	1,52	51
9	4492	3607	6288	0,77	75
10	6741	5614	5362	0,43	83
11	7368	6304	4995	0,36	84
12	9549	8101	4646	0,26	84
YHT	79855	64058	72067	0,5	72

```
=====
WinEtana                               10.3.2009    10:24:00
Sivu 4(6)
=====
```

```
*** SÄHKÖNKULUTUS LAITERYHMITÄIN
```

```
=====
TILOJEN SÄHKÖNKULUTUS
=====
```

Laiteryhmäkohtaisia kulutuksia ei ole tälle rakennustyypille.

```
Yhteensä                0                0,0
```

```
=====
KIINTEISTÖSÄHKÖNKULUTUS
=====
```

Laiteryhmäkohtaisia kulutuksia ei ole tälle rakennustyypille.

```
Yhteensä                0                0,0
```

```
=====
WinEtana 1.1 LT                ** Tulokset loppuu **    10.3.2009    10:24:00
=====
```

```

=====
WinEtana 1.1 LT                ** Laskennan lähtötiedot **                10.3.2009    10:24:00
Sivu 5(6)
=====
*** RAKENTEET
Ulkoseinä      1
  Pinta-ala    : m2          560
  U-arvo       : W/m2K      0,24
  Tyyppi       : Ulkoilmaa vasten

Yläpohja
  Pinta-ala    : m2          840,00
  U-arvo       : W/m2K      0,18

Alapohja
  Tehollinen pinta-ala : m2          840,00
  U-arvo       : W/m2K      0,2
  Tyyppi       : Maanvarainen
=====
*** IKKUNAT
Etelä
  Pinta-ala    : m2          49,14
  U-arvo       : W/m2K      1,8
  Rakennekerroin :           0,5
  Varjostuskulma : °           15
Pohjoinen
  Pinta-ala    : m2          29,48
  U-arvo       : W/m2K      1,8
  Rakennekerroin :           0,5
  Varjostuskulma : °           15
Itä
  Pinta-ala    : m2          9,83
  U-arvo       : W/m2K      1,8
  Rakennekerroin :           0,5
  Varjostuskulma : °           15
Länsi
  Pinta-ala    : m2          9,83
  U-arvo       : W/m2K      1,8
  Rakennekerroin :           0,5
  Varjostuskulma : °           15
=====
*** KÄYTTÖVESI
Vedenkulutus  : l/m3kk      25
  josta lämmintä vettä : l/m3kk      10
Vedenkulutus  : l/hlö, vrk  23,4
  josta lämmintä vettä : l/hlö, vrk   9,4
Lämpimän veden kiertojohto : True
=====
*** SISÄISET LÄMPÖKUORMAT JA KUORMIEN HYVÄSIKÄYTTÖ
Lämpimän käyttöveden energia: kWh/m3kk  1,050
  josta lämpökuormaksi : %           65,000
Sähkönkulutus : kWh/m3kk      0,600
  josta lämpökuormaksi : %          100,000
Henkilökuorma : kWh/m3kk      0,600
Säätöhyötysuhde : %           85
=====

```

```

=====
WinEtana 1.1 LT          ** Laskennan lähtötiedot **          10.3.2009    10:24:00
Sivu 6(6)
=====
*** ILMANVAIHTO
Kone      1
  Ilmavirta      : m³/s      1,9
  Käyntiaika     : h/vrk     12
  Käyntipäiviä   : vrk/vko    5
  LTO-hyötysuhde : %         82
  Jälkilämmitys  :           True
  Sisäänpuhalluslämpötila : °C      20
  Puolituskäyttö :           True
Kone      2
  Ilmavirta      : m³/s      0,7
  Käyntiaika     : h/vrk     12
  Käyntipäiviä   : vrk/vko    5
  LTO-hyötysuhde : %         0
  Jälkilämmitys  :           False
  Puolituskäyttö :           False
Kone      3
  Ilmavirta      : m³/s      0,12
  Käyntiaika     : h/vrk     6
  Käyntipäiviä   : vrk/vko    5
  LTO-hyötysuhde : %         0
  Jälkilämmitys  :           False
  Puolituskäyttö :           False
Vuotoilmanvaihtuvuus : 1/h      0,10
=====
** Laskennan lähtötiedot päättyy **          10.3.2009    10:24:00
=====

```





**Laskennan tulokset:**

Frilsiän päiväkotit  
Katri Onnela

**Rakennuksen Energiantarve**

Vaippa	89,10 MWh/vuosi
Vuotoilma	11,68 MWh/vuosi
Ilmanvaihto	11,73 MWh/vuosi
Lämminkäyttövesi (LKV)	26,97 MWh/vuosi
Jäähdytys	19,01 MWh/vuosi

**Rakennuksen energiankulutus**

Lämmitysenergiankulutus	139,47 MWh/vuosi
Sähköenergiankulutus	50,40 MWh/vuosi
Jäähdytysenergiankulutus	19,01 MWh/vuosi

**Ostoenergiankulutus**

Ostettava lämmitysenergia	103,96 MWh/vuosi
Ostettava sähköenergia	50,40 MWh/vuosi
Ostettava jäähdytysenergia	19,01 MWh/vuosi

Lämmitys- ja sähköenergiankulutus	184 kWh/bm <sup>2</sup> /vuosi
-----------------------------------	--------------------------------

**Lämpökuormat**

Henkilöistä	11,04 MWh/vuosi
Sähkölaitteista	36,96 MWh/vuosi
Lämmityslaitteista	8,23 MWh/vuosi
LKV-laitteista	14,39 MWh/vuosi
Auringosta	20,40 MWh/vuosi

Lämpökuormat yhteensä	91,02 MWh/vuosi
-----------------------	-----------------

Hyödynnetyt lämpökuormat	47,27 MWh/vuosi
--------------------------	-----------------

**Lämmitysjärjestelmien lämpöhäviöt**

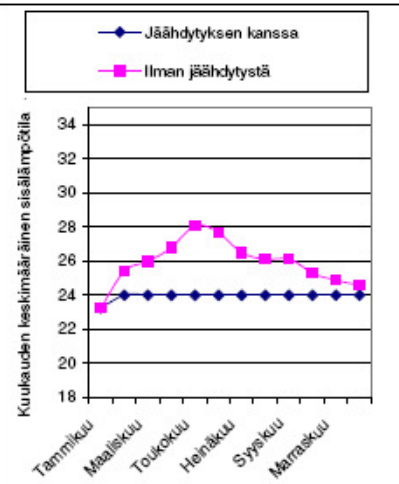
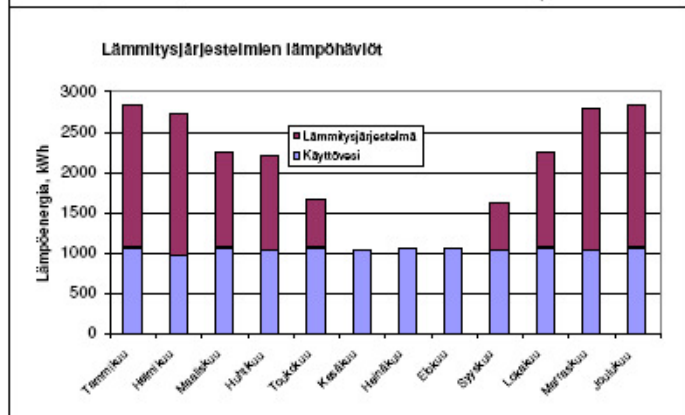
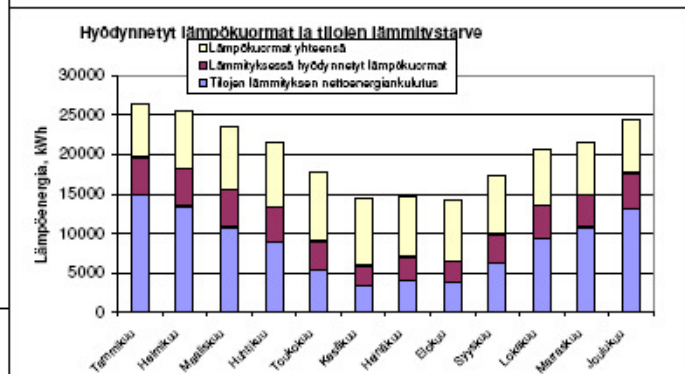
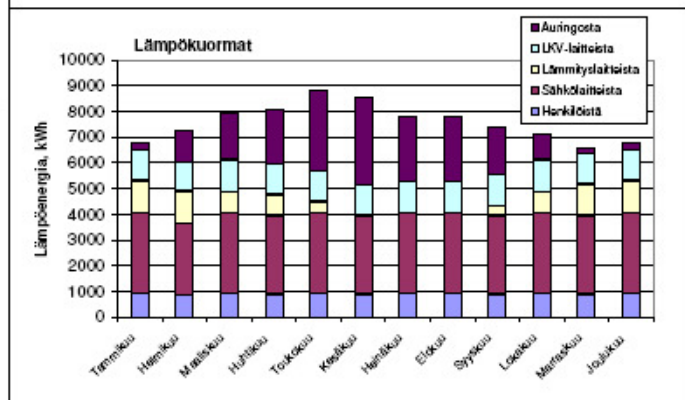
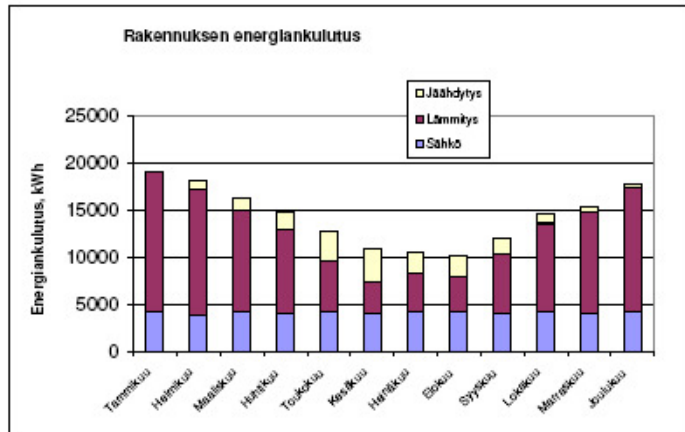
Lämmitysjärjestelmä	11,76 MWh/vuosi
Käyttövesi	12,60 MWh/vuosi

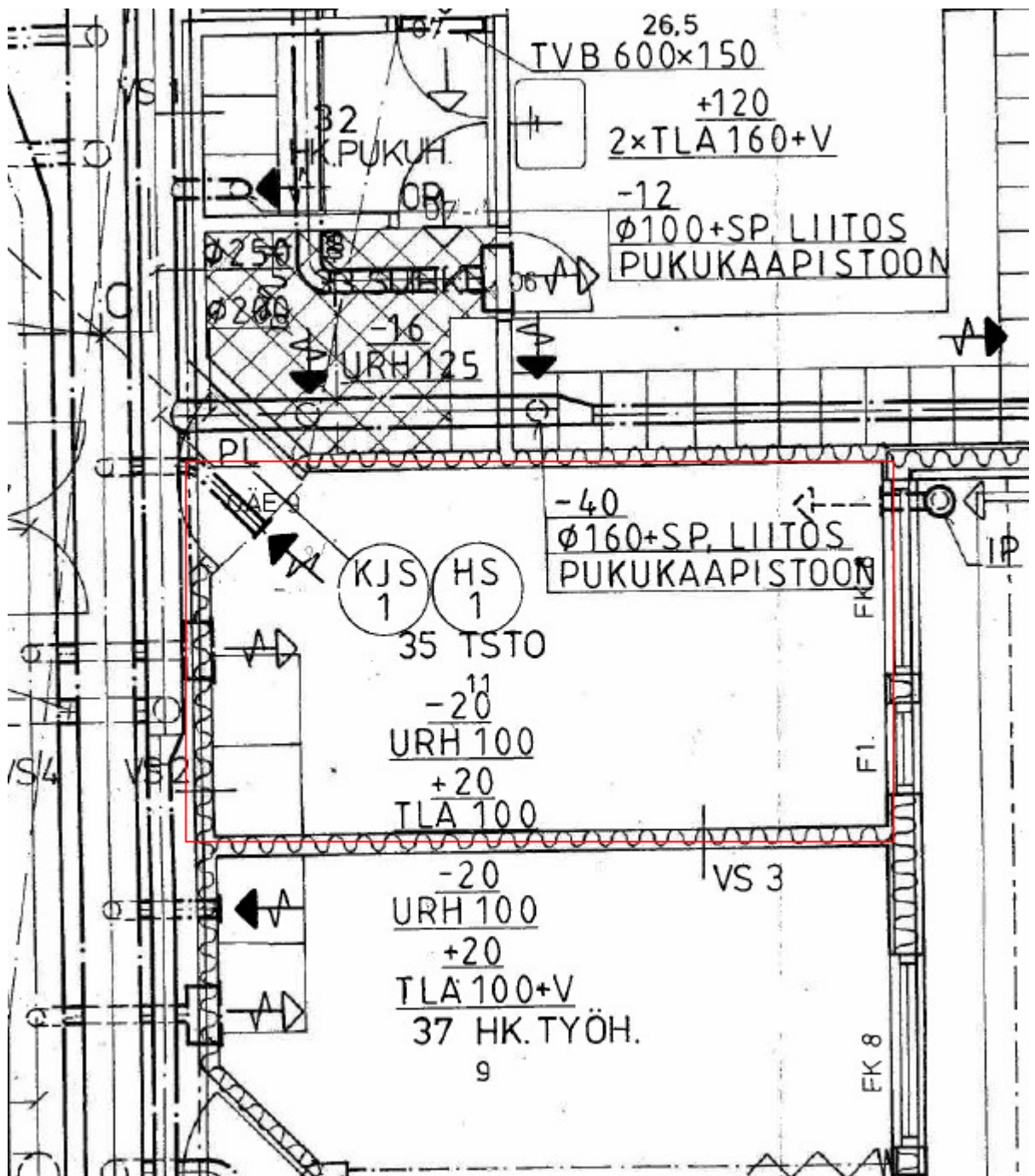
**Sähköenergiankulutus**

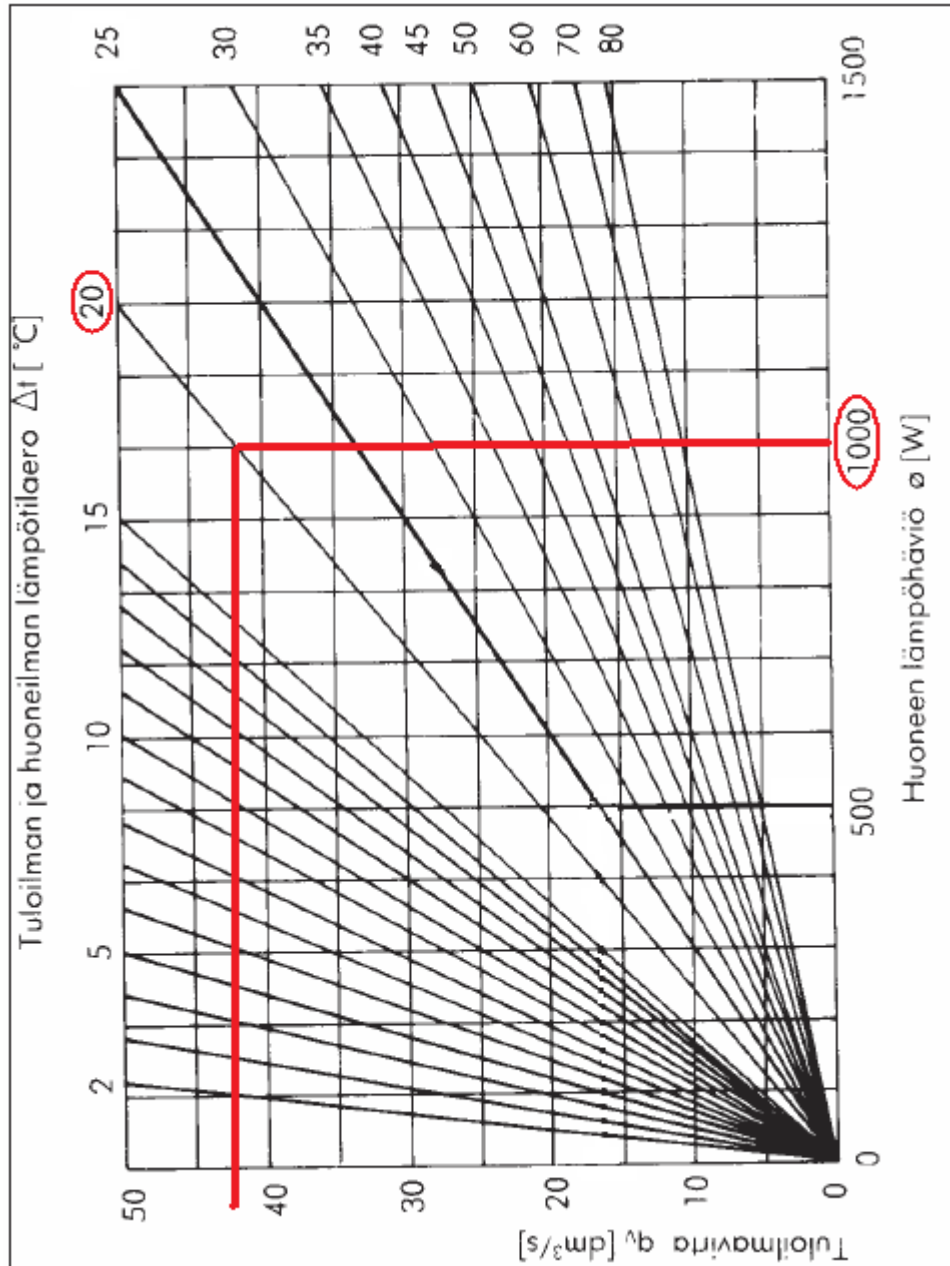
Valaistusjärjestelmä	19,32 MWh/vuosi
Ilmanvaihtojärjestelmä	10,08 MWh/vuosi
Muut laitteet	21,00 MWh/vuosi

**Hyötysuhteet**

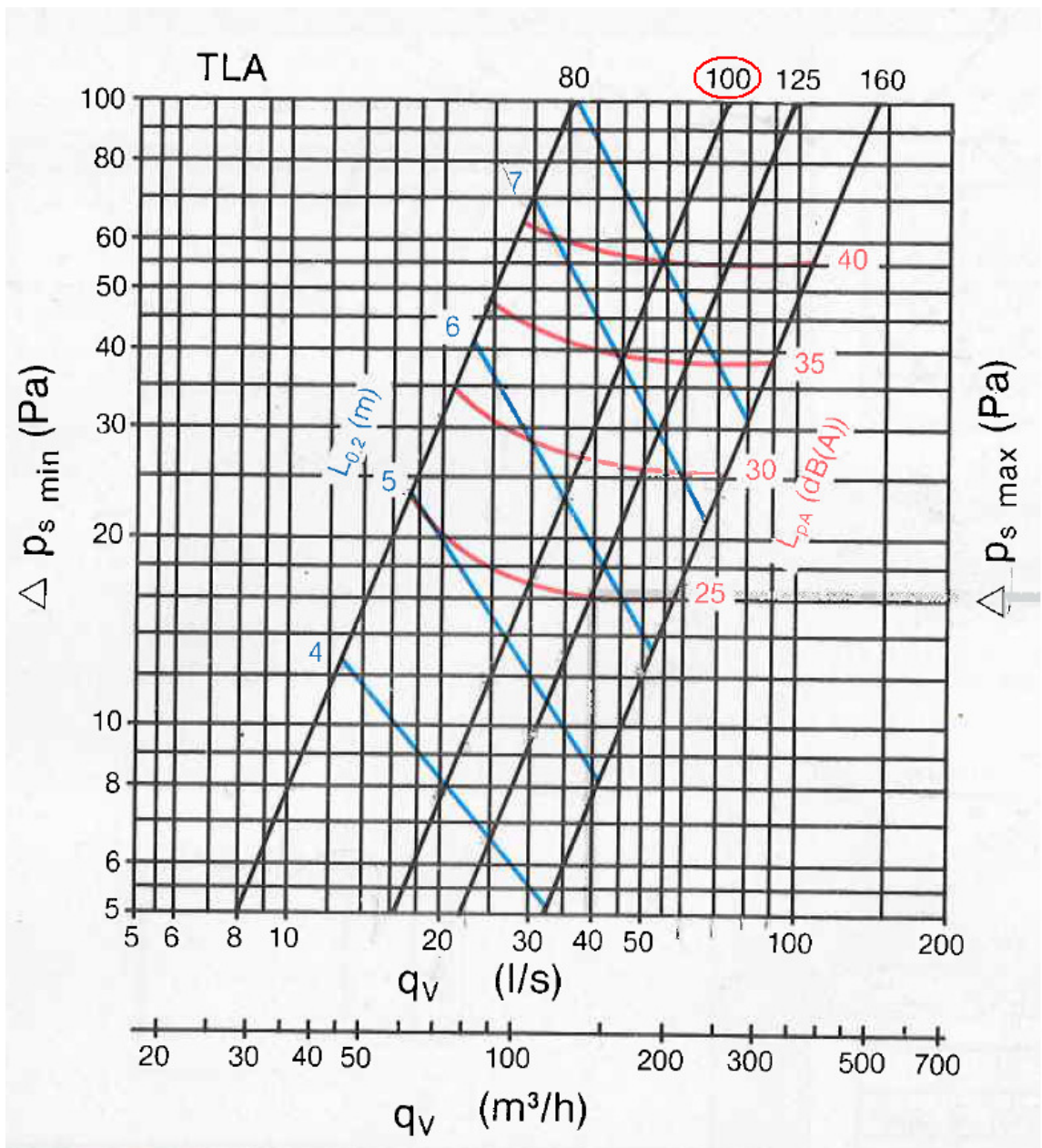
Lämmityksen hyötysuhde	1,00
Jäähdytyksen hyötysuhde	1,00







Lähde: LVI 30-10087: Tiiviin pientalon ilmanvaihtojärjestelmien suunnitteluohje – ilmalämmitysjärjestelmän tuloilma – ja kierrätysilmapuolen ilmatekninen suunnittelu. Rakennustietosäätiö, 1987.



Lähde: Halton. Tuloilmaite TLA –esite. 06/86.