



# **LÄMMITYJÄRJESTELMÄN UUSIMINEN VANHAAN OMAKOTITALOON**

Jouni Kerminen

Opinnäytetyö  
Tammikuu 2012  
Sähkötekniikka  
Talotekniikka  
Tampereen ammattikorkeakoulu

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Tampere University of Applied Sciences

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Sähkötekniikan koulutusohjelma  
Talotekniikan suuntautumisvaihtoehto

KERMINEN, JOUNI: Lämmitysjärjestelmän uusiminen vanhaan omakotitaloon

Opinnäytetyö 56 s., liitteet 7 s.  
Tammikuu 2012

---

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli esitellä vaihtoehtoja vanhan omakotitalon lämmitysjärjestelmän uusimiselle. Lähtökohtana oli nykyisen lämmitysjärjestelmän riittämättömyys kovilla pakkasilla. Työssä selvitettiin lämmitystehon tarvetta, uuden lämmitysjärjestelmän mitoittamiseksi. Työssä tutkittiin myös uusiutuvien energialähteiden energian syntyä sekä tuotannon kannattavuutta omakotitalo ympäristössä.

Mitoituslaskut selventävät lämpöhäviöiden aiheuttamaa rakennuksen lämmitystehon tarvetta. Laskut selventävät myös lämmitysjärjestelmien ja energiantuotannon hankinta- ja käyttökustannuksia.

Tuloksista käy ilmi nykyisen lämmitysjärjestelmän riittämättömyys ja työ antaa esimerkkejä lämmitystehon lisäämiselle. Tulokset selventävät myös kotitalouksille tarkoitettujen pientuulivoimaloiden ja aurinkosähköjärjestelmän kannattamattomuutta Suomessa.

Tämän opinnäytetyön laskut ovat tehty esimerkikohteelle, mutta ne ovat muutettavissa myös muihin pientalokohteisiin. Vaikka valintaa lämmitysjärjestelmän uusimiselle ei ole tehty, opinnäytetyö antaa vaihtoehtoja eri ratkaisuille.

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Electrical Engineering  
Option of Building Services Engineering

KERMINEN, JOUNI: Renewal of Heating System for an old House

Bachelor's thesis 56 pages, appendices 7 pages  
January 2012

---

The objective of this thesis was to introduce options to renew the heating system of an old detached house. Basis for renewal of the heating system was the inadequacy of the existing heating system with very cold weather. This thesis examined need for heating power to measure a new heating system. In addition to this work studied whether it is profitable to use renewable energy sources in single-family detached house.

Calculations clarify the demand of the building's heating power caused by heat losses. Acquisition- and running costs of the heating systems as well as energy production were also calculated.

These results show that the current heating system is not enough. There are alternatives and examples how to increase the heating power. Results also clarify that in households it is no good using small wind systems or photovoltaic systems in Finland.

Calculations of this thesis have been made to one specific house but results can be modified to other small houses as well. This thesis lists alternatives for the renewal of the heating system although no selection has been made.

---

Key words: heating, wind power, electric heaters, air source heat pump, solar power

## SISÄLLYS

1 JOHDANTO .....	6
2 RAKENNUKSEN LÄMMITYSJÄRJESTELMÄN MITOITUS .....	7
2.1 Rakennuksen lämmitystehontarve .....	7
2.2 Johtumishäviöt.....	8
2.3 Vuotoilmahäviöt .....	10
3 SÄHKÖLÄMMITYS.....	12
3.1 Sähkölämmittimet.....	12
3.1.1 Sähkölämmittimen rakenne.....	12
3.1.2 Sähkölämmittimen sijoittelu .....	15
3.1.3 Sähkölämmittimien ohjaus.....	15
3.2 Ilmalämpöpumppu .....	16
3.2.1 Ilmalämpöpumpun toiminta.....	16
3.2.2 Lämpöeroin .....	18
3.2.3 Sisäilman laatu .....	19
3.2.4 Kondenssivesi .....	19
4 SÄHKÖN TUOTTAMINEN UUSIUTUVILLA ENERGIALÄHTEILLÄ.....	20
4.1 Aurinkoenergian käyttö sähköntuotannossa.....	20
4.1.1 Auringon säteily maapallolle .....	20
4.1.2 Auringon säteily Suomessa .....	20
4.1.3 Säteilyn tehostamisen keinot.....	21
4.1.4 Aurinkolämpö .....	22
4.1.5 Aurinkosähkö .....	22
4.1.6 Aurinkosähköpaneelien asennus .....	24
4.2 Tuulivoima.....	24
4.2.1 Tuuliolosuhteet.....	24
4.2.2 Tuulivoimalan rakenne.....	25
4.2.3 Pientuulivoimalan rakennuslupa .....	26
4.3 Akusto.....	27
4.4 Vaihtosuuntaaja ja tehonsäätö DC/DC, MPPT.....	27
4.5 Verkkoon kytkentä.....	28
4.6 Sähkövero .....	28

5 KOHDERAKENNUKSEN LÄMMITYSJÄRJESTELMÄN MITOITUS .....	30
5.1 Kohteen nykytilanne .....	30
5.2 Kohderakennuksen johtumishäviöt .....	30
5.3 Kohderakennuksen vuotoilmahäviöt ja lämmitystehon tarve.....	32
6 SÄHKÖLÄMMITYKSEN VUOSIKULUTUS .....	34
7 HANKINTAKUSTANNUKSET.....	37
7.1 Sähkölämmittimien hankintakustannukset .....	37
7.2 Ilmalämpöpumpun hankintakustannukset .....	37
7.3 Pientuulivoimalan hankintakustannukset .....	38
7.4 Aurinkosähköjärjestelmän hankintakustannukset .....	42
7.5 Kotitalousvähennys.....	43
7.6 Energia-avustus.....	44
8 KÄYTTÖKUSTANNUKSET JA TAKAISINMAKSUAJAT.....	45
8.1 Käyttökustannukset.....	45
8.2 Takaisinmaksuajat .....	47
9 YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT .....	50
LÄHTEET.....	53
LIITTEET .....	57

## 1 JOHDANTO

Työn tavoitteena oli selvittää sähkölämmitysvaihtoehtoja Hämeenkyrössä sijaitsevaan vuonna 1924 valmistuneen 50 m<sup>2</sup> hirsirakenteiseen rossipohjaiseen omakotitaloon. Nykyinen lämmitysjärjestelmä ei riitä pitämään kohteen sisätiloja lämpimänä kovilla pakkasilla. Tarkoituksena oli selvittää ilmalämpöpumpun ja uusien sähkölämmittimien soveltuvuutta kohteeseen. Työssä esitellään myös tuuli- ja aurinkoenergian syntyä ja kuinka niitä voitaisiin hyödyntää.

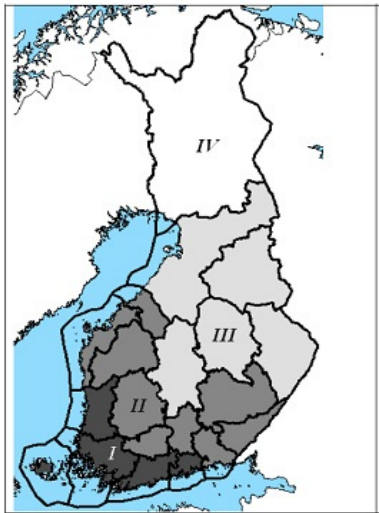
Pientalojen energiankulutuksesta jopa puolet kuluu lämmitykseen. Lämmitysenergian kulutus onkin suurin yksittäinen kustannuserä pientalojen kokonaisenergian vuosikustannuksista. Kulutettu lämmitysenergia jakaantuu rakennuksen johtumishäviöihin, ilmanvaihdon ja lämpimän käyttöveden energiankulutukseen. Loput pientalojen energian kulutuksesta muodostavat valaistus, kylmälaitteet, kodin elektroniikka. Varsinkin valaistuksen ja kodin elektroniikan sähkönkulutusta, voi omia tapojaan muuttamalla helposti vähentää.

## 2 RAKENNUKSEN LÄMMITYSJÄRJESTELMÄN MITOITUS

### 2.1 Rakennuksen lämmitystehontarve

Rakennuksen lämmitysjärjestelmän mitoittamiseen vaikuttaa lämpöhäviöt eli kuinka paljon lämpöä siirtyy rakenteiden läpi johtamalla sekä ilmanvaihdon poistoilman ja hallitsemattoman vuotoilmanvaihdon mukana ulos. Rakennuksen lämmitystehontarve lasketaan huonekohtaisesti. Näin saadaan selville huoneessa tarvittava lämmitysteho, jonka perusteella voidaan valita huoneeseen sopivat lämmityslaitteet.

Lämmitystehon tarpeeseen vaikuttaa myös rakennuksen maantieteellinen sijainti. Pohjois-Suomessa lämmitystehontarve on yli 20 % suurempi kuin Etelä-Suomeen verrattuna. Tästä syystä Suomi on jaettu neljään eri säävyöhykkeeseen (kuvio 1) (RaMK D5 2007).



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

KUVIO 1. Säävyöhykkeet (Ensto Pro-aineisto)

Huonelämpötilan lämmityskauden suunnitteluarvona käytetään yleensä lämpötilaa 21 °C. Sisälämpötilan ohjearvot eri huoneille on esitetty taulukossa 1 (RaMK D2 2010).

TAULUKKO 1. Sisälämpötilan ohjearvot

Tila	Sisälämpötilan ohjearvo °C
Asuinhuoneet, oleskelutilat, työhuoneet	21
Porrashuone	17
Kylpyhuone, pesuhuone	22
Kuivaushuone	24
Myymälä	18
– myymälän kiinteä työpiste	21
Liikuntahalli	18
Kirkkosali	18
Tehdashalli, keskiraskas työ	17
Autokorjaamo, katsastustilat	17
Hissikuilu	17

## 2.2 Johtumishäviöt

Johtumishäviö rakenteen läpi saadaan kertomalla rakenteen ominaislämpöhäviö kyseessä olevan rakenteen yli olevalla lämpötilaerolla. Rakenteiden ominaislämpöhäviöt lasketaan rakennekohtaisesti rakenteen pinta-alan ja lämmönläpäisykerroimen avulla (RaMK D5 2007).

$$\begin{aligned}\Phi_{\text{joht}} &= \sum H_{\text{rakenne}} * \Delta T \\ &= H_{\text{lattia}}(T_s - T_{u,\text{mit},\text{maa}}) + H_{\text{katto}}(T_s - T_{u,\text{mit},\text{katto}}) + \\ &H_{\text{seinä}}(T_s - T_{u,\text{mit}}) + H_{\text{ikkuna}}(T_s - T_{u,\text{mit}}) + H_{\text{ovi}}(T_s - T_{u,\text{mit}})\end{aligned}$$

$$H_{\text{rakenne}} = A_{\text{rakenne}} * U_{\text{rakenne}}$$

$$H = \text{Ominaislämpöhäviö, } W/K.$$

$$A = \text{Rakennusosa pinta-ala, } m^2$$

$$U = \text{Rakenteen lämmönläpäisykerroin, } W/m^2 * K.$$

$$T_s = \text{Sisäilman lämpötila } ^\circ C$$

$$T_{u,\text{mit},\text{maa}} = \text{Lattiarakenteen alla maan lämpötila } ^\circ C$$



$T_{u,mit,katto}$  = Mitoittava ulkolämpötila °C (yläpohja). Välipohjassa yläpuolisen tilan lämpötila

$T_{u,mit}$  = Mitoittava ulkolämpötila °C

Jos seinä-, katto- tai lattiarakenteet koostuvat useista eri materiaaleista, voidaan lämmönläpäisykerroin laskea rakenteen eri materiaalien lämmönjohtavuuden ja paksuuden avulla. Lämmönläpäisykerroin voidaan laskea seuraavasti (RaMK C4 2003).

$$U = \frac{1}{R_T}$$

$R_T$  = Rakennusosan kokonaislämmönvastus ympäristöstä ympäristöön.

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_m + R_g + R_b + R_{q1} + R_{q2} + \dots + R_{qn} + R_{se}$$

jossa

$$R_1 = \frac{d_1}{\lambda_1}, R_2 = \frac{d_2}{\lambda_2} \dots R_m = \frac{d_m}{\lambda_m}$$

$d_1, d_2, \dots, d_m$  = ainekerroksien 1,2,...m paksuus, m

$\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$  = ainekerroksien 1,2,... m lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo, esimerkiksi normaalin lämmönjohtavuus

$R_g$  = rakennusosassa olevan ilmakerroksen lämmönvastus

$R_b$  = maan lämmönvastus

$R_{q1}, R_{q2}, \dots, R_{qn}$  = ohuen ainekerroksen 1,2,...n lämmönvastus

$R_{si} + R_{se}$  = sisä- ja ulkopuolisen pintavastuksen summa

Taulukossa 2 on esitetty ulkoilmaan rajoittuvien rakennusosien pintavastuksina käytettäviä arvoja.

TAULUKKO 2. Sisä- ja ulkopuolinen pintavastus  $R_{si}$  ja  $R_{se}$  (RaMK C4 2003)

Lämpövirran suunta	Sisäpuolinen pintavastus $R_{si}$ [m <sup>2</sup> K/W]	Ulkopuolinen pintavastus $R_{se}$ [m <sup>2</sup> K/W]
Vaakasuoraan	0,13	0,4
Ylöspäin	0,10	0,4
Alaspäin	0,17	0,4

### 2.3 Vuotoilmahäviöt

Vuotoilmavirta syntyy tuulen ja lämpötilaerojen synnyttämistä paine-eroista. Vuodon suuruuteen vaikuttaa rakennuksen vaipan ilmanpitävyys, rakennuksen sijainti ja korkeus, ilmanvaihtojärjestelmä ja sen käyttötapa. Rakenteiden epätiivyyksien kautta sisään ja ulos virtaavan vuotoilman lämmityksen teho lasketaan rakennuksen tiiveyden perusteella. Vanhemmissa rakennuksissa kun ilmanpitävyyttä ei tunneta, vuotoilmakertoimen voidaan käyttää lämmitysenergian tarpeen laskennassa arvoa  $n = 0,16 \text{ 1/h}$ . Vuotoilman lämmityksen tarvitsema teho lasketaan kaavalla (RaMK D5 2007).

$$\phi_{vuotoilma} = H_{vuotoilma}(T_s - T_{u,mit})$$

$$H_{vuotoilma} = \rho_i c_{pi} q_{v,vuotoilma}$$

$$q_{v,vuotoilma} = n_{vuotoilma} \frac{V}{3600}$$

$$H_{vuotoilma} = \text{Ominaislämpöhäviö } \text{W/K}$$

$$\rho_i = \text{Ilman tiheys } 1,2 \text{ kg/m}^3$$

$$c_{pi} = \text{Ilman ominaislämpökapasiteetti } 1000 \text{ Ws/kg}\cdot\text{K}$$

$$V = \text{Tilan ilmatilavuus, m}^3$$

$$T_s = \text{Sisäilman lämpötila, } ^\circ\text{C}$$

$$T_{u,mit} = \text{Mitoittava ulkolämpötila, } ^\circ\text{C}$$

$$n_{vuotoilma} = \text{Vuotoilmakerroin, } 0,16 \text{ 1/h}$$

Koko rakennuksen ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema teho määritetään ilmanvaihdon ilmavirran perusteella. Painovoimaisen poiston ilmanvaihtojärjestelmässä tuloilma lämpenee sisälämpötilaan huoneessa. Ilman lämmitykseen tarvittava teho saadaan huoneen lämmityslaitteista, jotka mitoitetaan huomioimatta lämmöntalteenottotehoa. Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema teho voidaan laskea kaavalla (RaMK D5 2007).

$$\phi_{iv} = H_{iv}(T_s - T_{u,mit})$$

$$H_{iv} = \rho_i c_{pi} q_{v,poisto} \frac{V}{3600}$$

$$H_{iv} = \text{Ominaislämpöhäviö } W/K$$

$$\rho_i = \text{Ilman tiheys } 1,2 \text{ kg/m}^3$$

$$c_{pi} = \text{Ilman ominaislämpökapasiteetti } 1000 \text{Ws/kg}\cdot\text{K}$$

$$T_s = \text{Sisäilman lämpötila, } ^\circ\text{C}$$

$$T_{u,mit} = \text{Mitoittava ulkolämpötila, } ^\circ\text{C}$$

$$q_{v,poisto} = \text{poistoilmavirta. Asuintiloissa voidaan käyttää arvoa } 0,5 \text{ 1/h}$$

$$V = \text{Tilan ilmatilavuus, m}^3$$

## 3 SÄHKÖLÄMMITYS

### 3.1 Sähkölämmittimet

Sähkölämmittimillä toteutettu sähkölämmitys on helpporakenteinen, toimintavarma ja hankintakustannuksiltaan edullinen järjestelmä. Lämmittimet ovat myös helppoja asentaa saneerauskohteisiin tai lisälämmittimiksi. Sähkölämmittimen etuina voidaan pitää:

- yksinkertainen, varma tekniikka
- edulliset hankintakustannukset
- asennuksen helppous erilaisiin olosuhteisiin
- toimintavarmuus
- korjaustyön helppous
- hyvä hyötysuhde

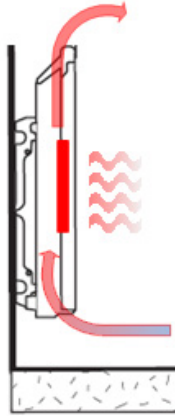
Lämmitin- tai lämmitinryhmäkohtainen termostaatti reagoi lämpötilan muutoksiin ja täten ohjaa lämmittimen tehoa. Lämmitys ottaa huomioon muut lämmönlähteet ja lämmitysjärjestelmä on päällä vain tarvittaessa. Tämä tekee sähkölämmittimistä energiatehokkaita, koska korkealla hyötysuhteella lämmitetään vain se määrä kuin tarvitaan ja silloin kun tarvitaan. Sähkölämmittimet eivät yleensä pysty varaamaan lämmitysenergiaa esimerkiksi halvemman energiahinnan aikana. Tällöin lämmityskustannukset voivat olla korkeammat kuin varaavilla lämmitysmuodoilla. Sähkölämmitysjärjestelmän etuina kuitenkin on muita järjestelmiä parempi hyötysuhde, sillä lämmittimet lämmittävät esisijaisesti huoneilmaa eikä ympäröiviä rakenteita. (Ensto Pro-aineisto)

#### 3.1.1 Sähkölämmittimen rakenne

Sähkölämmittimet voidaan jakaa lämmönluovutustapansa mukaan kahteen perusrakenteeseen: suljettuihin lämmittimiin ja virtauslämmittimiin. Yhdistelmälämmittimessä on hyödynnetty molempia rakennetyyppejä. Virtauslämmittimissä lämmön luovutus perustuu pääasiassa ilman virtaukseen laitteen läpi, jolloin

lämmityselementit nostavat ilman lämpötilaa tehokkaasti. Ilman kierto perustuu vapaaseen kiertoon tai sitä on tehostettu puhaltimen avulla (kuvio 2).

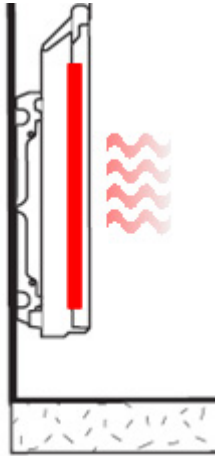
(Ensto Pro-aineisto)



KUVIO 2. Virtauslämmitin (Ensto Pro-aineisto)

Virtauslämmitin lämmittää ilmaa tehokkaasti. Se soveltuu parhaiten sellaisiin kohteisiin jossa lämmöntarve vaihtelee nopeasti tai ilman lämpötila halutaan nostaa nopeasti. Tällaisia käyttökohteita ovat muun muassa varastot, tuulikaapit, vapaa-ajan asunnot. Asuintiloihin virtauslämmittimiä ei kuitenkaan suositella.

Suljetussa lämmittimessä lämmityselementit sijaitsevat suljetun rakenteen sisällä. Lämmön luovutus perustuu lämmittimen pinnan säteilyyn ja konvektioon, täten ilma joutuu kosketuksiin vain lämmittimen pinnan kanssa. Lämmittimen pinta on tasalämpöinen johtuen lämmityselementtien sijoittelusta lämmittimessä (kuvio 3). Lämmittimen koko on suoraan verrannollinen sen tehoon, joten ainoa tapa pienentää pintalämpötilaa on suurentaa lämmittimen kokoa. Tästä syystä suljetut lämmittimet voivat olla kooltaan melko suuria ja niiden sijoittelussa voi tulla ongelmia. Suljetut lämmittimet voivat olla öljy- tai massatäytteisiä. Lämmittimet voidaan valmistaa myös lasi- tai kivilevyistä. Yleensä termostaateina käytetään elektronisia termostaatteja. Suljettuja lämmittimiä voidaan käyttää monissa paikoissa, mutta pääasiallisesti niitä käytetään asuin- ja muissa oleskelutiloissa. (Ensto Pro-aineisto)

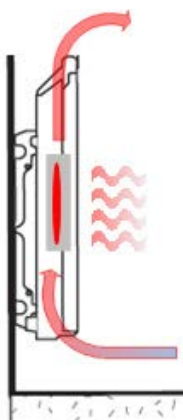


KUVIO 3.

Suljettu lämmitin (Ensto Pro-aineisto)

Nykyisin useimmat sähkölämmitys rakenteet perustuvat yhdistelmälämmittinrakenteeseen. Siinä on pyritty yhdistämään suljetun ja virtauslämmittimen edut. Lämmittimen sisällä olevissa lämmityselementeissä on lämmönluovutus pinta suurettavat lamellirakenteet (kuvio 4). Näin vastuksen pintalämpötila on matalampi kuin virtauslämmittimissä ja ulosvirtaavan ilman lämpötila ei ole yhtä korkea kuin virtauslämmittimessä. Yhdistelmälämmittimellä saadaan suljettuun lämmittimeen nähden pienemmät ulkomitat ja lämmittimien sijoittaminen helpottuu.

(Ensto Pro-aineisto)



KUVIO 4. Yhdistelmälämmitin (Ensto Pro-aineisto)

### 3.1.2 Sähkölämmittimen sijoittelu

Sähkölämmittimet sijoitetaan pääsääntöisesti ikkunoiden alle, koska ikkunoiden seinää suurempi lämmönjohtavuus aiheuttaa suuremman lämpöhäviön ikkunan kohdalla, jolloin ilma jäähtyy. Kylmä ilma on raskaampaa kuin lämmin ilma, joten se valuu alaspäin ja aikaansaa ilmavirtauksen, joka koetaan vedontunteena. Sisäseinälle sijoitettu lämmitin vahvistaa ilman kiertoilikettä ja näin ollen vedontunnetta.

Valittaessa sopivaa lämmitintä on tehon lisäksi pyrittävä siihen, että lämmitin on pituudeltaan lähellä ikkunan leveyttä. Liian lyhyt lämmitin voi aiheuttaa kylmän ilmavirtauksen lämmittimen päistä. Jos lämmitin on huomattavasti leveämpi kuin ikkuna, se voi aiheuttaa sisustus- tai esteettisiä haittoja. Valitessa lämmittimiä on tarkastettava lämmittimen tiedoista, kuinka suurina ovat etäisyysvaatimukset rakenteista. (Ensto Pro-aineisto)

### 3.1.3 Sähkölämmittimien ohjaus

Yleisin ja yksinkertaisin tapa ohjata sähkölämmittimillä toteutettua lämmitystä on lämmitinkohtaiset termostaatit, jotka voivat olla elektronisia tai mekaanisia bimetalitermostaatteja. Elektroniset termostaatit toimivat pienemmällä säätöalueella, jolloin lämpötila pysyy tasaisena. Ne ovat myös äänettömiä ja soveltuvat hyvin asuinhuoneisiin. Mekaaniset termostaatit ovat edullisia ja sietävät sähköverkon häiriöitä paremmin kuin elektroniset termostaatit. Mekaanisia termostaatteja käytetään myös silloin, kun asennuspaikalla esiintyy ilmastollisia ylijännitteitä tai sähkön laatu ei ole hyvä kuten jännitevaihtelut yms. Mekaanisen termostaatin kytkennän aiheuttama naksuminen voi olla häiritsevää, joten se soveltuu esimerkiksi aputiloihin.

Useimmiten termostaateissa on sisäänrakennettu lämpötilan pudotusmahdollisuus jota voidaan ohjata joko erillisellä kytkimellä (kotona-poissa-kytkin), ohjausjärjestelmällä tai lämmitinkohtaisella kytkimellä. Lämmittimien lämpötilan pudotuksella voidaan keskitetyllä ohjauksella alentaa tilojen lämpötilaa. Lämpötilan pudotus voi olla kiinteä esimerkiksi 5 °C tai säädettävä esimerkiksi 0 °C... 15 °C lämmitinkohtaisesti. Pudotusta ohjataan kytkimellä tai ohjausjärjestelmällä ja sitä varten tarvitaan oma ohjausjohdin.

Keskuksessa tulee olla ohjauskontaktori ja lämmittimelle tuleva ohjausjännite tulee olla samasta ryhmästä kuin lämmitin. Tällainen lämpötilan pudotustoiminto soveltuu rakennuksiin, joiden käyttö ei ole jatkuvaa.

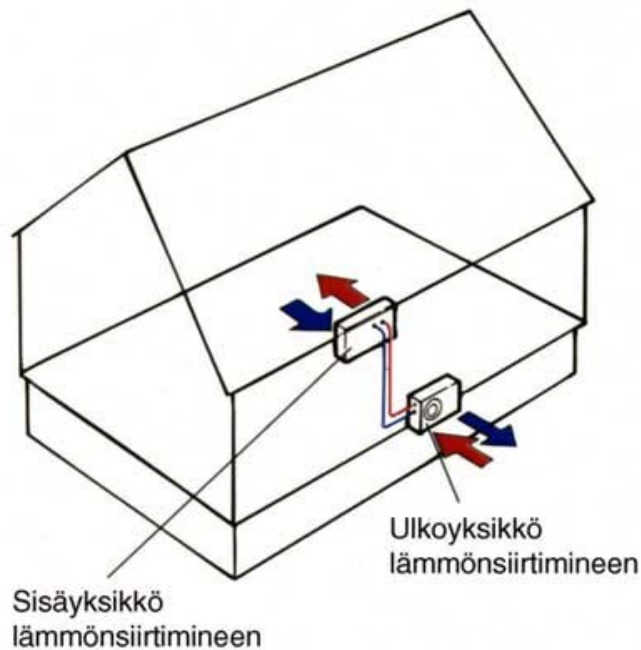
Samassa huonetilassa olevia useita lämmittämiä voidaan käyttää yhdellä termostaatilla varustettua lämmitintä ja niin sanotuilla orjakytkentäisillä lämmittimillä. Tällöin yksi termostaatti ohjaa kaikkia tilan lämmittämiä samanaikaisesti. Suurin sallittu ohjattu teho on muistettava tarkistaa lämmitintyyppin mukaisesti.

(Ensto Pro-aineisto)

## 3.2 Ilmalämpöpumppu

### 3.2.1 Ilmalämpöpumpun toiminta

Lämpöpumppuja on erilaisia kuten maalämpöpumppu, poistoilmalämpöpumppu, ilma-ilma lämpöpumppu, ilma-vesi lämpöpumppu ja suorahöyrystinlämpöpumppu. Tässä työssä keskitytään ilma-ilma lämpöpumppuun (kuvio 5), mutta toimintaperiaate on kaikilla lämpöpumpuilla samanlainen.

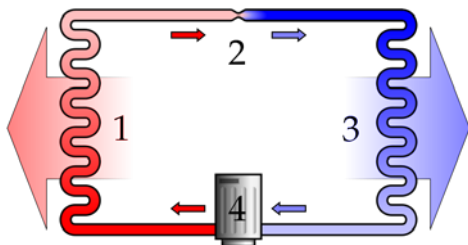


KUVIO 5. Ilma-ilma lämpöpumpun toimintaperiaatekuva (www.sulpu.fi)



Lämpöpumppu toimii samalla periaatteella kuin jääkaappi tai pakastin. Se kerää ja siirtää lämpöä kylmemmästä paikasta lämpimämpään. Jääkaapin kompressorikoneisto pitää kaapin ja sen sisällön kylmänä poistamalla kaapista lämpöä, joka vapautuu takana olevasta radiaattorista huonetilaan. Lämpöpumppu toimii samalla, mutta vastakkaiseen suuntaan, se pitää rakennuksen lämpimänä keräämällä lämpöä kylmästä ulkotilasta ja siirtämällä sen sisätiloihin. Lämpöpumpun kompressorikoneistokin on samantapainen kuin jääkaapissa, koneiston koko ja teho ovat vain suuremmat.

Lämpöpumpun toiminta perustuu kylmäaineen kiertoon kahden putkilla toisiinsa yhdistetyn osan, höyrystimen ja lauhduttimen välillä. Höyrystimeen alhaiseen paineeseen vapautuneen ja samalla voimakkaasti jäähtyneen kylmäaineen annetaan ensin kerätä ulkotiloista itseensä lämpöä, jolloin se samalla höyrystyy. Tämän jälkeen kompressori puristaa kylmäaineen korkeaan paineeseen, jolloin se kuumenee samalla lähes 100 °C lämpötilaan. Kuumentunut paineenalainen kylmäaine ohjataan nyt sisätiloissa olevaan lämpöpumpun lauhduttimeen, missä se luovuttaa ulkoa keräämänsä lämmön rakennuksen lämmittämiseen. Lämpönsä luovuttava kylmäaine jäähtyy samalla ja tiivistyy taas nesteeksi. Nestemäisen kylmäaineen annetaan nyt purkautua paisuntaventtiilin kautta uudelleen höyrystimeen, jolloin sen paine samalla voimakkaasti alenee, ja se jäähtyy alimmillaan noin -20 °C:een. Höyrystimeen vapautunut kylmäaine alkaa taas kerätä lämpöä itseensä, ja sama kierto alkaa uudelleen (kuvio 6). Lämpöpumpun toiminnan mahdollistaa kylmäaine, joka voi ottaa ympäristöstä lämpöä ja höyrystyä alhaisessa lämpötilassa, jos sen paine on alhainen ja toisaalta luovuttaa lämpönsä ja tiivistyä korkeassa lämpötilassa lauhduttimessa, jos sen paine on korkea. (Perälä 2009, 29–31)



KUVIO 6. Lämpöpumpun toimintaperiaate. 1. lauhdutin (lämmin puoli),

2. paisuntaventtiili, 3. höyrystin (kylmä puoli), 4. kompressori.

([http://en.wikipedia.org/wiki/Air\\_source\\_heat\\_pumps](http://en.wikipedia.org/wiki/Air_source_heat_pumps))

### 3.2.2 Lämpökerroin

Pumpun toiminnan tehokkuutta kuvaa sen lämpökerroin. Englanninkielessä siitä käytetään lyhennettä COP (Coefficient Of Performance). COP-arvo kertoo, miten moninkertaisen määrän lämpöä pumppu tuottaa itse kuluttamaansa energiamäärään verrattuna. Esimerkiksi lämpökertoimen arvolla 3 pumppu luovuttaa jokaisen itse käyttämänsä kilowattitunnin lisäksi rakennukseen kaksi ylimääräistä kilowattituntia lämpöä. Lämpökertoimen suuruus riippuu lämmön keruu- ja luovutuslämpötiloista. (Perälä 2009, 31–32).

Lämpökerroin on parhaimmillaan silloin, kun sisä- ja ulkotilojen lämpötilaero on pieni. Ulkolämpötilan laskiessa pakkaselle lämpökerroin alenee nopeasti, ja lämpötilan laskiessa -15 ~ -20 °C lukemiin ”ilmaista” lämpöä ei välttämättä kerry enää lainkaan, vaan koko lämmitysenergia on tuotettava muilla tavoilla. Leudolla säällä pumppu voisi tuottaa runsaasti lämpöä, mutta sitä ei tarvita paljon. Pakkasella lämmölle olisi enemmän käyttöä, mutta silloin ilmalämpöpumppu saa sitä ilmasta vähemmän irti. (Perälä 2009, 55–56).

Teoriassa mitä suurempi lämpökerroin pumpulla on, sen tehokkaampi se on. Käytännössä valmistajien esitteissä ilmoitetut lämpökertoimet ovat yleensä ilmoitettu EN14511 standardin mukaisesti +7 °C ulkolämpötilassa, eikä se kerro mitään laitteen tehokkuudesta Pohjolan ilmasto-olosuhteissa. Jotkut laitteet ovat testauksien perusteella suunniteltu antamaan paras lämpökerroin +7 °C lämpötilassa mutta alhaisemmissa ulkolämpötiloissa laitteen tuottama hyötysuhde romahtaa. Suomessa rakennusten lämmityskausi kuitenkin alkaa noin +12 ~ +15 °C:ssa ja laitteen tulee toimia ja lämmittää vielä -25 ~ -30 °C:een pakkasilla. Olennaista on, minkälaisen energian säästön laite antaa koko lämmityskaudella. ([www.scanoffice.fi](http://www.scanoffice.fi))

Laitteen tuottaman energiasäästön kannalta oleellisempaa on sen tuottama lämpöteho kuin sen lämpökerroin (COP-arvo). Mitä alhaisempi ulkolämpötila on, sitä suurempi on asunnon lämmön tarve. Tehokkaat ilmalämpöpumput antavat yli 3 kW:n lämpötehon vielä -15 °C pakkasellakin. Mitä suurempi lämpöpumpun tuottama lämpöteho saavutetaan alhaisissa ulkolämpötiloissa, sitä vähemmän asuntoa tarvitsee lämmittää asunnon muulla lämmitysjärjestelmällä. ([www.scanoffice.fi](http://www.scanoffice.fi))

### 3.2.3 Sisäilman laatu

Ilmalämpöpumppu parantaa myös rakennuksen sisäilman laatua. Ilmalämpöpumpun tuuletin panee sisäilman liikkeelle ja kierrättää sitä sisäyksikössä olevan suodattimen kautta, jolloin pöly jää suodattimeen. Tällainen pumppu sopii hyvin varaavan takan tai leivinuunin työpariksi. Uunia lämmitettäessä ja ilmalämpöpumpun ollessa käynnissä, puhallin panee uunin lämmittämän sisäilman liikkeelle. (Perälä 2009, 55–56)

### 3.2.4 Kondenssivesi

Ilmalämpöyksiköihin tiivistyy ilmasta kosteutta. Talviaikana kosteus kertyy ulkoyksikön höyrystimen pintaan, ja mikäli pumpulla jäähdytetään sisätiloja kesäaikana, kosteutta kertyy sisäyksikössä lauhduttimen pintaan. Ulkoyksikössä kondenssivesi-ongelma yltyy pahimmillaan nollakeleillä. Silloin ilmassa on runsaasti kosteutta, ja jos höyrystimen pinnan lämpötila on alle 0 °C, kosteus härmistyy suoraan jääksi höyrystimen kylmään pintaan. Höyrystimen pintaan kertyvä jää eristää lämpöä ja heikentää höyrystimen lämmönkeräyskykyä, joten jää on poistettava ennen kuin sitä ehtii kertyä liikaa höyrystimeen. Tästä syystä pitää valita kylmiin oloihin suunniteltu Nordic-tyyppinen ilmalämpöpumppu. Nordic-tyyppinen ilmalämpöpumppu tunnistaa itse, milloin jäätä on kertynyt liiaksi höyrystimeen ja käynnistää saman tien sulatustoiminnon. Pumppu ohjaa kylmäaineen virtauksen hetkeksi vastakkaiseen suuntaan, jolloin höyrystimen pinta lämpenee ja sulaa. Sulamisvesi valuu ulkoyksikön alle. (Perälä 2009, 57).

## 4 SÄHKÖN TUOTTAMINEN UUSIUTUVILLA ENERGIALÄHTEILLÄ

### 4.1 Aurinkoenergian käyttö sähköntuotannossa

#### 4.1.1 Auringon säteily maapallolle

Auringossa tapahtuvan lämpöydinreaktion eli fuusion aiheuttamassa massamuutoksessa vapautuva energia antaa auringolle  $3,8 \times 10^{23}$  kW:n kokonaistehon. Maapallolle tulee  $1,7 \times 10^{14}$  kW, mikä on n. 20 000 kertaa koko maapallon teollisuuden ja lämmityksen nykyään käyttämä teho. Maapallon ilmakehän ulkopuolella säteilyä vastaan kohtisuorassa olevalle  $1 \text{ m}^2$ :n kokoiselle pinnalle tulevan auringonsäteilyn teho on 1,35–1,39 kW.

Suora auringonsäteily tarkoittaa suoraan ilmakehän läpi tullutta auringonsäteilyä. Hajasäteily on ilmakehän molekyylien ja pilvien heijastamaa säteilyä sekä maasta heijastunutta hajasäteilyä. Pilvisinä päivinä 80 % valosta saattaa olla hajasäteilyä, kirkkaana kesäpäivänä sen osuus on noin 20 % vaakasuoralle pinnalle. Suomessa keskimäärin puolet kokonaissäteilystä on hajasäteilyä. Aurinkosäteily mitataan yleensä vain vaakatasolla. (Erat, Erkkilä, Nyman, Peippo, Peltola & Suokivi 2008, 10–12)

#### 4.1.2 Auringon säteily Suomessa

Etelä-Suomessa auringonsäteily vaakatasolla ja vuositasolla on noin  $1000 \text{ kWh/m}^2$  ja Keski-Suomessa noin  $900 \text{ kWh/m}^2$ . Aurinkosähköpaneeliin vaikuttaa voimakkuuden lisäksi laitteen suuntaus. Suuntaukseen liittyy kaksi kulmaa: kallistuskulma joka on vaakatason ja laitetason välinen kulma. Atsimuuttikulma eli poikkeama etelästä määritellään siten, että sen suuntaus etelään on  $0^\circ$ , länteen  $+90^\circ$  ja itään  $-90^\circ$ . Maapallon pyöriessä akselinsa ympäri, aurinko näyttää siirtyvän taivaalla ja sisään tuleva säteily osuu laitteeseen jatkuvasti eri kulmassa. Sisään tulevan säteilyn ja laitteen pinnan välistä kulmaa kutsutaan tulokulmaksi. Kun säteily osuu kohtisuoraan laitteen pintaa, tulokulma on  $0^\circ$ , mikä on paras aurinkosähköpaneelin tulokulma. Auringon korkeus horisontissa vaihtelee eri vuodenaikoina joten laitteen kallistuskulmaa pitää säätää.

Myös sijainnin leveysaste vaikuttaa auringon korkeuteen. Talvella, kallistuskulman täytyy olla leveysaste plus 15–20° eli käytännössä pystysuoraan jotta saataisiin optimaalinen teho. Kesällä tuoton optimoimiseksi kallistuskulman tulee olla 30°. Kun maksimoidaan vuotuinen sähköntuotto yhdellä paneelin asennolla, paras kallistuskulma on 45° (taulukko 2). (Erat, Erkkilä, Nyman, Peippo, Peltola & Suokivi 2008, 13–14)

TAULUKKO 2. Säteily / vrk eri kallistuskulmille, suuntaus Helsingistä etelään ilman varjostuksia (kWh/m<sup>2</sup>/päivä). (Erat, Erkkilä, Nyman, Peippo, Peltola & Suokivi 2008, 17)

Kuukausi	30°	45°	90°
Tammikuu	0,4	0,5	0,5
Helmikuu	1,5	1,8	1,9
Maaliskuu	3,1	3,4	3,2
Huhtikuu	4,4	4,5	3,4
Toukokuu	5,9	5,7	3,7
Kesäkuu	6,6	6,3	3,9
Heinäkuu	5,7	5,5	3,6
Elokuu	5	5	3,6
Syyskuu	3,3	3,5	3
Lokakuu	1,6	1,8	1,7
Marraskuu	0,5	0,5	0,5
Joulukuu	0,4	0,5	0,6

#### 4.1.3 Säteilyn tehostamisen keinot

Aurinkosähköpaneeliston pitäisi saada tasaisesti säteilyä, joten se tulee sijoittaa varjottomaan paikkaan. Talvella kun aurinko on alhaalla ja varjot pitempiä kuin kesällä, paneelien sijainti vaikuttaa ratkaisevasti energiantuottoon. Mitä korkeammalla, ylempänä ja kauempana lähimmästä puusta tai muusta esteestä aurinkosähköpaneelit sijaitsevat, sitä enemmän ne voivat tuottaa energiaa.

Kiinteästi asennettava aurinkojärjestelmä suunnataan yleensä etelään eli kohti päivän-tasaajaa. Järjestelmä voidaan suunnata myös länteen ja itään, mutta energiantuotto jää pienemmäksi kuin optimaalisella suuntauksella. Järjestelmän ympärivuotisen tuoton optimoimiseksi suuntauksen kulma voi vaihdella +/- 45° etelästä. Tällöin häviöt jäävät n.7 %:iin.

Saatavana on myös erilaisia seurantalaitteita, jotka säätävät sekä kallistuskulmaa että suuntaa. Päivän lyhyden takia seurantalaite ei juuri tehosta säteilyn keräämistä talviaikaan. Kesällä seurantalaite voi nostaa teoreettisesti tuottoa 30 – 60 %. Käytännössä kahden akselin seurantalaite tuottaa 30 % enemmän. Seurantalaitteet vaativat kuitenkin toimiakseen energiaa ja enemmän huoltoa sekä ovat kalliimpia kuin kiinteästi asennettavat paneelit. (Erat, Erkkilä, Nyman, Peippo, Peltola & Suokivi 2008, 15–17)

#### 4.1.4 Aurinkolämpö

Auringosta saatavaa energiaa voidaan jakaa aurinkolämmöksi ja aurinkosähköksi. Aurinkolämmössä aurinkokeräin kerää tai vastaanottaa auringonsäteilyä ja muuttaa tämän lämmöksi, joka voidaan kuljettaa keräimestä ilman tai nesteen mukana joko lämpövarastoon tai suoraan käyttöön. Aurinkosäteilyä lämmöksi muuttavia keräimiä on olemassa nestekiertoisia että ilmakiertoisia.

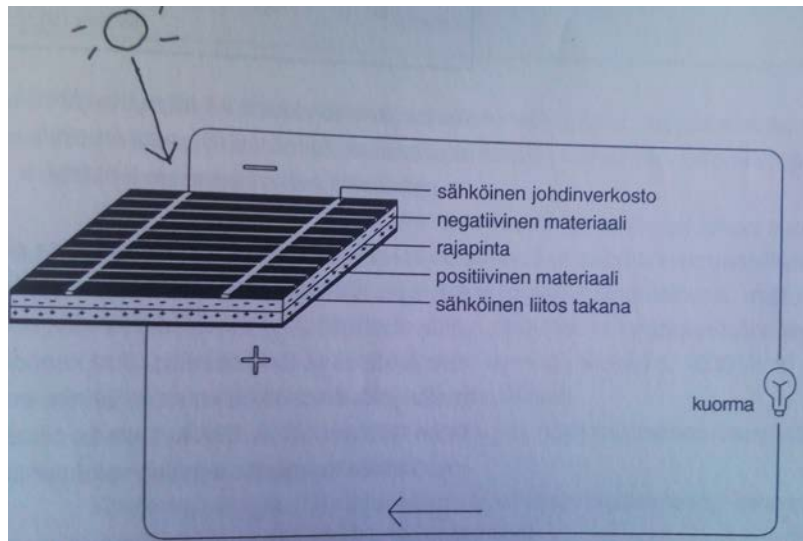
Nestekeräin on lämmönsiirrin, jonka kautta virtaavalla nesteellä on hyvät lämmönsiirto-ominaisuudet. Auringon lämpö siirtyy absorptioelementissä nesteeseen, joka kuljettaa sen käyttökohteisiin tai varastoon. Kotitalouksissa aurinkolämmön yleisin käyttökohde on lämpimän käyttöveden lämmitys. (Erat, Erkkilä, Nyman, Peippo, Peltola & Suokivi 2008, 75)

Ilmakeräin on lämmönsiirrin, joka käyttää lämmönsiirtoaineena ilmaa. Ilman lämmönvastaanottokyky ja lämmönsiirtokyky ovat huonommat kuin nesteen. Jos ilman avulla halutaan siirtää sama lämpömäärä kuin veden avulla, tarvitaan noin 4000 kertaa suurempi ilmamäärä. (Erat, Erkkilä, Nyman, Peippo, Peltola & Suokivi 2008, 77)

#### 4.1.5 Aurinkosähkö

Aurinkosähkössä auringon energia osuu aurinkokennoon, joka muuttuu sähköä johtavaksi. Aurinkokennon raaka-aineena käytetään tavallisimmin piitä, mutta tulevaisuudessa myös muut materiaalit saattavat tulla kysymykseen.

Aurinkosähkökennot ovat puolijohdekomponentteja, jotka tuottavat tasasähköä. Aurinkokenno koostuu kahdesta tasaisesta puolijohdekerroksesta, joita erottaa niin sanottu rajapinta. Kerrosten sisäänrakennetut ominaisuudet eroavat kuitenkin toisistaan. Rajapinnan toisella puolella on n-tyyppinen ja toisella p-tyyppinen puolijohde. Elektronit kasaantuvat toiselle puolelle ja jättävät aukkoja toiselle puolelle. Siten kennoon syntyy sisäinen sähkökenttä kerroksien yli (kuvio 7).



KUVIO 7. Aurinkokennon toimintaperiaate ja rakenne (Erat, Erkkilä, Nyman, Peippo, Peltola & Suokivi 2008, 121)

Valo synnyttää puolijohdemateriaalissa elektroni-aukko-pareja, jotka kennon sisäisen sähkökentän vaikutuksesta voidaan erottaa toisistaan ja käyttää tuottamaan virtaa ulkoiseen kuormaan. Auringonvalo irrottaa elektroneja ja metallijohtimiin saadaan sähkövirta. Aurinkosähkökennon koko on tavallisesti noin 10 cm x 10 cm ja paksuus 0,1 – 0,4 mm. Se tuottaa valaistuna noin 0,5 V:n tasajännitteen, virtaa saadaan sekä säteilytehon että kennon pinta-alan mukaan. (Erat, Erkkilä, Nyman, Peippo, Peltola & Suokivi 2008, 121)

Aurinkosähköpaneeli koostuu sarjaan kytketyistä aurinkokennoista. Kytkemällä tarpeellinen määrä kennoja saadaan muodostettua tarvittava jännite esim. akun varaamiseen. Aurinkosähköpaneeli koostuu alumiinikehyksestä, lasilevystä sekä kennoista. Kun aurinkosähköpaneeli eli kennosto yhdistetään sähköjohtimilla kuormaan, syntyy virtapiiri, jossa sähkövirta kulkee. Virran suuruus on suoraan

verrannollinen säteilyn voimakkuuteen. (Erat, Erkkilä, Nyman, Peippo, Peltola & Suokivi 2008, 125–127)

#### 4.1.6 Aurinkosähköpaneelien asennus

Aurinkosähköpaneelit voidaan asentaa erilliseen lähellä taloa sijaitsevaan telineeseen, missä ei ole lähellä puita tai muita varjostavia tekijöitä. Yleensä kuitenkin talon katto tarjoaa parhaan, taloudellisemman ja varmimman paikan. Paneelit voidaan kiinnittää valmiin katon päälle, suoraan kattomateriaalina tai integroituna ratkaisuna. (Erat, Erkkilä, Nyman, Peippo, Peltola & Suokivi 2008, 134–138)

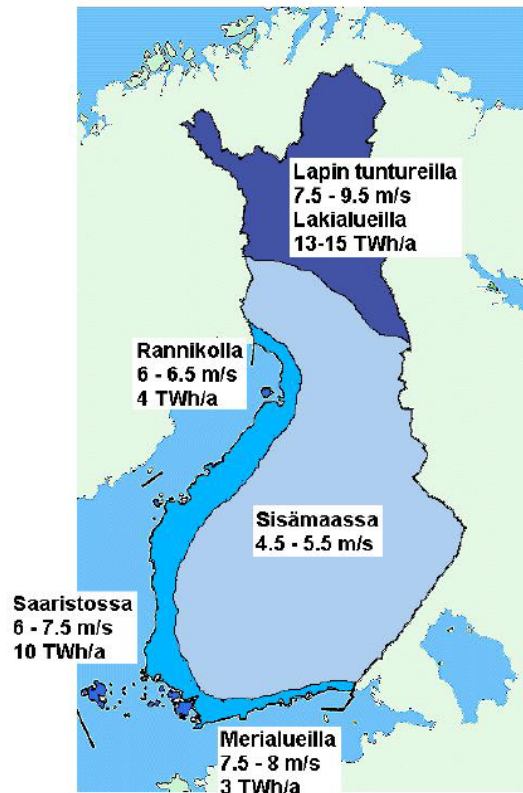
### 4.2 Tuulivoima

Tuulivoima on tuulen eli ilman virtauksen liike-energian muuntamista tuuliturbiineilla sähköksi. Tuulivoima on uusiutuvaa energiaa, joka on peräisin auringon säteilyenergiasta. Tuulivoimalan tuottama energia riippuu olennaisesti tuulivoimalan lapojen piirtämällä alueella vallitsevasta tuulen nopeudesta ja nopeuden jakaumasta. Koska tuulen nopeus kasvaa ylöspäin mentäessä, voimalan tornin korkeutta lisäämällä päästään suurempiin tuulen nopeuksiin. Tuulivoimalan tuottoa arvioitaessa käytetään tuulen nopeutena yleensä voimalan konehuoneen korkeudella, eli napakorkeudella, vallitsevaa tuulen nopeutta. (<http://www.tuulivoimayhdistys.fi>)

#### 4.2.1 Tuuliolosuhteet

Suomessa tuulisuus ja tuulen keskimääräinen energiansisältö on suurimmillaan meri-alueilla ja tunturien lakialueilla. Sisämaassa tuulen nopeus on keskimäärin 4,5 – 5,5 metriä sekunnissa. Merialueilla ja rannikolla ei ole maastoesteitä ja mereltä tuleva tuuli on voimakasta. Lapin tunturit ovat korkealla ja niillä on vähäistä kasvustoa, joka estäisi tuulen kulun. Kuviossa 8 on esitetty Suomen tuuliolosuhteet.

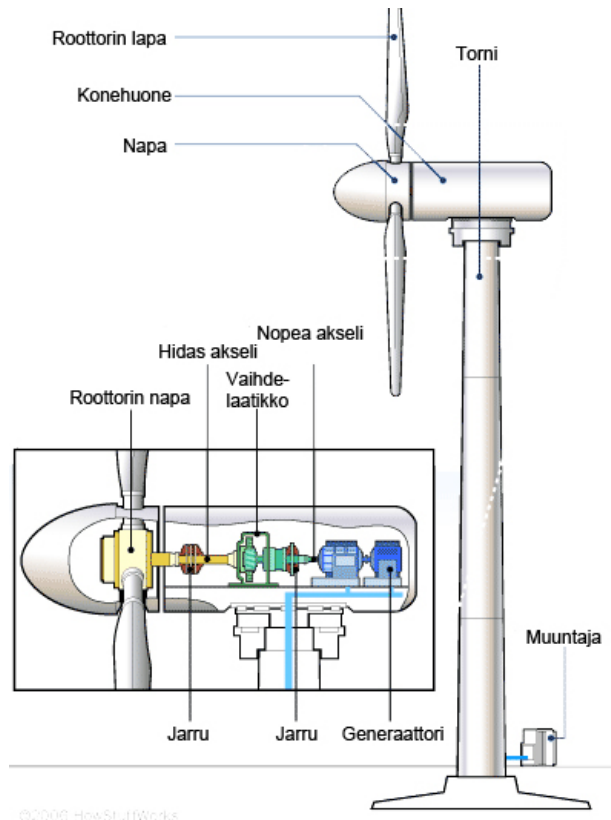




KUVIO 8. Tuulen keskinopeudet eri alueilla (Veijalainen 2008, 9)

#### 4.2.2 Tuulivoimalan rakenne

Tuuliturbiineita on hyvin erilaisia, pystyakseloituja ja vaaka-akseloituja. 1-, 2-, 3- ja monilapaisia. Yleisemmin käytetyt voimalat ovat vaaka-akseloituja ja 3-lapaisia. Vaaka-akselisen tuulivoimalan pyyhkäisypinta-ala on potkurin kärjen piirtämän ympyrän pinta-ala ja napakorkeus on potkurin akselin korkeus maan pinnasta. Vaaka-akselisen voimalan potkuri on käännettävä kohti tuulta, jotta voimala toimisi. Tuuleen suuntaus tapahtuu joko moottorikäyttöisesti tai käyttämällä pyrstöä tai poikittaista kääntöpotkuria, joka toimii tuulen tullessa sivusta. Kuviossa 9 on esitetty perinteisen pientuulivoimalan komponentit. (<http://www.tuulivoimayhdistys.fi>)



KUVIO 9. Tuulivoimalan konehuoneen rakenne (<http://science.howstuffworks.com>)

#### 4.2.3 Pientuulivoimalan rakennuslupa

Pientuulivoimalan rakennusluvissa on kuntakohtaisia eroja. Kunnan rakennusjärjestys määrittää millainen lupa tarvitaan. Rakennusjärjestys ja lupahakemuskaavakkeita saa kunnasta tai ne löytyvät kunnan internet sivulta. Tarkempia tietoja voi kysyä kunnan rakennustarkastajalta.

Tavanomainen lupamenettely kaava-alueella on rakennuslupa tai toimenpidelupa maston korkeudesta riippuen. Kaava-alueen ulkopuolella lupamenettely on tyypillisesti toimenpidelupa. Hakemuksiin tarvitaan liitteeksi karttaote tai asemapiirustus, johon on merkitty voimalan sijoituspaikka. Liitteeksi tarvitaan myös voimalan julkisivupiirros jonka saa tuulivoimatoimittajalta. Koska tuulivoimala sijoitetaan korkealle, se näkyy varsin kauas. Ennen rakentamista kannattaa kysyä myös naapureilta, miten he suhtautuvat tuulivoimalaan. (<http://www.tuulivoimayhdistys.fi>)

### 4.3 Akusto

Omavarainen aurinkosähköjärjestelmä ja tuulivoimala vaativat energian varastointia vähintään päivästä yöhön tuotannon ja kulutuksen erojen tasaamiseksi. Energian varastoinnin lisäksi akusto tasaa paneeliston ja voimalan jännitevaihteluja ja mahdollistaa suuria hetkellisiä kuormatehoja. Aurinkosähköjärjestelmissä ja tuulivoimaloissa on yleensä käytettävä niihin erityisesti suunniteltuja akkuja, jotka kestävät vahingoittumatta toistuvia syväpurkauksia. Akustolta vaaditaan myös korkeaa lataushyötysuhdetta, alhaista itsepurkausta, vähäistä huoltoa sekä hyviä sykliominaisuuksia eli toimintaa tilanteessa, jossa akkua vuoroin ladataan ja puretaan.

Sähköpiirissä voimaloiden tuottaman tehon pitää kulkea joko kuormaan tai akkuun varastoitavaksi. Jos kuorma ei ole käytössä, akku ei saa purkautua aurinkosähköpaneelin tai tuulivoimalan kautta. Tämä voidaan estää piiriin kytketyllä estosuuntaisella diodilla. Diodeja voidaan myös käyttää piirissä, jotta akku ei anna kuormaan ylisuurta jännitettä. Omavaraisessa järjestelmässä vaaditaan ohjausyksikkö joka säätelee akun latausta ja purkamista. Ohjausyksikkö rajoittaa latausvirtaa akun täytyessä tai kytkee paneeliston tai voimalan kokonaan irti akusta. (Erat, Erkkilä, Nyman, Peippo, Peltola & Suokivi 2008, 128–130)

### 4.4 Vaihtosuuntaaja ja tehonsäätö DC/DC, MPPT

Koska aurinkosähköpaneelisto ja jotkut tuulivoimalat tuottavat tasasähköä, se täytyy muuttaa vaihtosuuntaajan välityksellä rakennuksen sähköverkkoon sopivaksi 230 V vaihtojännitteeksi. Vaihtosuuntaaja eli invertteri muuntaa tasasähköä jonka tulojännite voi olla 12 V, 24 V tai 48 V vaihtosähköön jännitteellä 110 V tai 240 V. Vaihtosuuntaaja kytkee sille tulevaa tasajännitettä ohjaussignaalin mukaan niin, että lähtöjännitteeksi saadaan taajuudeltaan ja aaltomuodoltaan haluttua vaihtosähköä. Invertterin hyötysuhde on noin 80 – 90 %, kun kuorma on 25–100 % invertterin tehosta. Myös akustosta otettava tasasähkö muuntuu vastaavalla tavalla. (Erat, Erkkilä, Nyman, Peippo, Peltola & Suokivi 2008, 132–133)

#### 4.5 Verkkoon kytkentä

Verkkoon kytketyn vaihtosuuntaajan lisäksi tarvitaan kaksisuuntainen kWh- mittari, jolla voidaan mitata verkon ja talon syöttämä ja ottama sähkö. Verkkoon kytketyt aurinkosähköjärjestelmät tai tuulivoimalat syöttävät ensisijaisesti omia kuormia. Kulutuksen ylittävä osa tuotannosta syötetään yleiseen sähköverkkoon, josta vastaavasti otetaan tarvittava teho pimeään aikaan tai tuulen nopeuden ollessa vähäinen. (Erat, Erkkilä, Nyman, Peippo, Peltola & Suokivi 2008, 133–134)

Aurinkopaneeleiden ja tuulivoimalan tuottama ylimääräinen sähkö voidaan myydä paikalliselle verkkoyhtiölle. Jos voimala halutaan liittää sähköverkkoon, tulee tehdä erillinen sopimus paikallisen sähköverkkoyhtiön kanssa. Ennen lopullista hankintapäätöstä kannattaa kysyä voimalan toimittajalta verkkoon kytkentämahdollisuudesta ja neuvotella asiasta paikallisen verkkoyhtiön kanssa. Verkkoyhtiöltä saa tiedot voimalan verkkoon liittämisen edellytyksistä.

Voimalasta yleiseen sähköverkkoon siirtyvälle sähkölle ei välttämättä löydy ostajaa. Tallöin voidaan sähköverkkoyhtiön kanssa sopia, että ylimääräinen sähkö siirtyy verkkoon ilmaiseksi. Ennen kuin voimalan saa kytkeä verkkoon, tulee verkkoyhtiölle toimittaa tarvittavat kaaviot kytkemisestä sekä valtuutetun sähköasentajan tekemä käyttöönottotarkastuspöytäkirja. Sähköyhtiöstä kannattaa tiedustella mitä dokumentteja tarvitaan, koska toisille sähköyhtiöille riittää pelkkä ilmoitus verkkoon liittynästä. (<http://www.tuulivoimayhdistys.fi>)

#### 4.6 Sähkövero

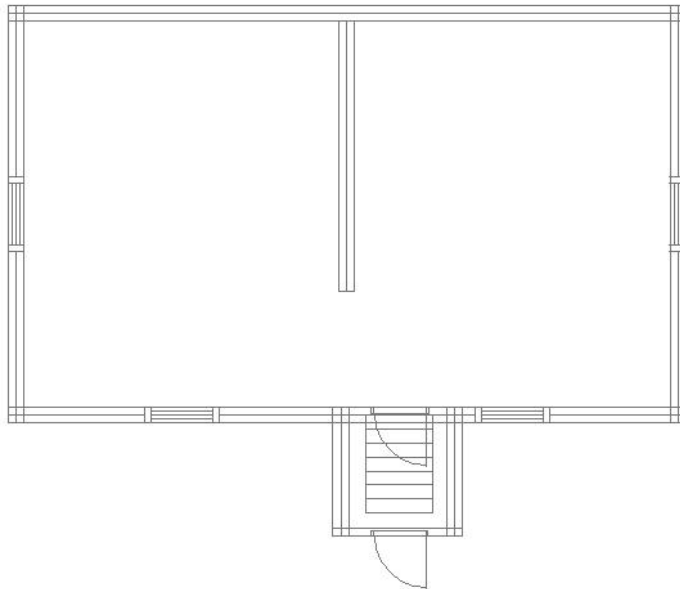
Voimassaolevan sähköverolain mukaan ansaintatarkoituksessa sähköä verkkoon tuottava osapuoli on verovelvollinen. Sähköntuotto on silloin raportoitava omalle tullipiirille ja siitä on maksettava vero. Verovelvollisuudesta on kahta tulkintaa, toisen mukaan verovelvollisuus poistuu, jos sähköä ei myydä. Mikäli paikallinen sähköyhtiö ostaa ylijäämäsähkön, tulee myös itse käytetystä sähköstä maksaa vero. Hallituksen esitys eduskunnalle energiaverotusta koskevan lainsäädännön muuttamiseksi on

loppuvuonna 2011 valiokuntakäsittelyssä. Lain tullessa voimaan, pientuottajat tultaneen vapauttamaan veron piiristä. (<http://www.tuulivoimayhdistys.fi>),  
( <http://www.eduskunta.fi/valtiopaivaasiat/he+53/2011>)

## 5 KOHDERAKENNUKSEN LÄMMITYSJÄRJESTELMÄN MITOITUS

### 5.1 Kohteen nykytilanne

Hämeenkyrössä sijaitseva yksikerroksinen hirsirakenteinen ja rossipohjainen rakennus on valmistunut vuonna 1924. Kohteen pinta-ala on noin 50 m<sup>2</sup> ja huonekorkeus noin 2,5 m. Seinät ovat rakennettu 18 cm:n paksuisesta hirrestä, jonka ulkopinnalla on lautaverhous. Lattian eristeenä on purua sekä pellavaa 20 cm:n paksuudelta, jonka päällä ponttilaudoitus. Katossa on 40 cm:n purueriste, jonka päällä paneeliverhous. Kuviossa 10 on esitetty kohteen periaatteellinen pohjakuva.



KUVIO 10. Kohderakennuksen periaatteellinen pohjapiirustus. Ei mittakaavassa.

Talon päälämmitysjärjestelmänä toimii neljä 1000 W sähkölämmittintä. Rakennuksessa on myös takka sekä takkaleivinuuni. Kohteessa on painovoimainen ilmanvaihto.

### 5.2 Kohderakennuksen johtumishäviöt

Taulukossa 3 on esitetty kohderakennuksen eristemateriaalit ja eristeen paksuudet. Koska kohteessa on käytetty eristeenä sahanpurua, joudutaan lämmönläpäisykerroin laskemaan eristeen paksuuden mukaan.

TAULUKKO 3. Eristemateriaalit ja paksuudet

Pinta-ala	50 m <sup>2</sup>	
Huonekorkeus	2,5 m	
Tilavuus	125 m <sup>3</sup>	
	Eristemateriaali	Eristeen paksuus
Katto	Sahanpuru	40 cm
Lattia	Sahanpuru ja pellava	20 cm
Seinät	Hirsi	18 cm

Normaalinen lämmönjohtavuus löysälle sahanpurulle on  $0,12 \text{ W/mK}$ . Täten lattian ja katon lämmönläpäisykerroin voidaan laskea seuraavasti: (RaMK C4 2003).

$$U = \frac{1}{R_T}$$

$R_T$  = Rakennusosan kokonaislämmönvastus ympäristöstä ympäristöön.

$$U_{lattia} = \frac{1}{0,17 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} + \frac{0,2 \text{ m}}{0,12 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} + 0,4 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}} = 0,45 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$U_{katto} = \frac{1}{0,10 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} + \frac{0,4 \text{ m}}{0,12 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} + 0,4 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}} = 0,26 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

Kohteen ikkunat ovat uusittu, joten lämmönläpäisykerroin voidaan käyttää

$1,0 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ . Kohderakennuksen seinien ollessa hirttä, jonka paksuus on 18 cm, voidaan lämmönläpäisykerroin käyttää  $0,4 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  (RaMK C3 2010). Taulukossa 4 on laskettu johtumisteho rakenteiden läpi.

TAULUKKO 4. Johtumisteho rakenteiden läpi

Keittiö	U	Pinta- ala	Lämpötilaero	$\Phi_{\text{joht}}$
	[W/m <sup>2</sup> K]	[m <sup>2</sup> ]	[°C]	[W]
Lattia	0,45	25	50	563 W
Ulko- seinä	0,4	35,34	50	707 W
Katto	0,26	25	50	325 W
Ikkuna	1	2,16	50	108 W
Olohuone	U	Pinta- ala	Lämpötilaero	$\Phi_{\text{joht}}$
	[W/m <sup>2</sup> K]	[m <sup>2</sup> ]	[°C]	[W]
Lattia	0,45	25	50	563 W
Ulko- seinä	0,4	33,73	50	675 W
Katto	0,26	25	50	325 W
Ikkuna	1	2,16	50	108 W
Ulko-ovi	0,7	1,62	50	57 W

## 5.3 Kohderakennuksen vuotoilmahäviöt ja lämmitystehon tarve

Taulukossa 5 on laskettu vuotoilman ja ilmanvaihdon tarvitsema teho sekä yhteenveto koko rakennuksen lämmöntarpeesta.

TAULUKKO 5. Rakennuksen lämmitystehon tarve

	Yhteensä
	$\Phi$ [W]
$\Phi_{\text{joht, lattia}}$	1126
$\Phi_{\text{joht, seinä}}$	1382
$\Phi_{\text{joht, katto}}$	650
$\Phi_{\text{joht, ikkuna}}$	216
$\Phi_{\text{joht, ovi}}$	57
$\Phi_{\text{IV, huone}}$	1042
$\Phi_{\text{vuotoilma}}$	334
<b>Koko rakennus</b>	<b>4807 W</b>
$\Phi_{\text{Akok}}$	97 W/m <sup>2</sup>
$\Phi_{\text{Vkok}}$	39 W/m <sup>3</sup>
<b>Vkok</b>	<b>125 m<sup>3</sup></b>
<b>Akerrosala</b>	<b>50 m<sup>2</sup></b>



Kohteen lämmitystehontarvelaskuissa ei ole huomioitu kylmäsiltoja, joita ei voi nähdä ilman rakenteiden purkua. Kylmäsiltojen suurentavat lämmitystehon tarvetta.

Kuten taulukosta 5 näemme, tarvittava lämmitystehon tarve on noin 4800 - 5500 W. Nykyisen lämmitysjärjestelmän teho on 4000 W.

## 6 SÄHKÖLÄMMITYKSEN VUOSIKULUTUS

Kohderakennuksen kokonaissähkönkulutus vuonna 2009 oli 2100 kWh ja vuonna 2010 2600 kWh. Keskiarvokulutus kahden vuoden ajalta on 2350 kWh. Kulutus koostuu valaistuksen sähkönkulutuksesta, laitteiden sähköenergiankulutuksesta sekä lämmitysenergiankulutuksesta. Lämmintä käyttövetä ei kohteeseen tule, joten sen aiheuttamaa energiankulutusta ei ole huomioitu. Valaistuksen aiheuttama sähkönkulutus voidaan arvioida seuraavasti

$$W_{\text{valaistus}} = \Sigma P_{\text{valaistus}} \cdot A_{\text{huone}} \cdot \Delta t \cdot \frac{f}{1000}$$

jossa

$W_{\text{valaistus}}$  = valaistuksen sähkönkulutus, kWh

$P_{\text{valaistus}}$  = valaistavan tilan valaistuksen kokonaissähköteho huonepinta-alaa kohti, W/hum<sup>2</sup>

$A_{\text{huone}}$  = valaistavan tilan huonepinta-ala, hum<sup>2</sup>

$\Delta t$  = valaistuksen käyttöaika, taulukko 6

$f$  = valaistuksen ohjaustavasta riippuvia ohjauskertoimia:

- |   |      |
|---|------|
| - läsnäolotunnistin ja päivänvalosäädin           | 0,70 |
| - päivänvalosäädin                                | 0,80 |
| - läsnäolotunnistin                               | 0,75 |
| - huonekohtainen kytkin, erillinen ikkunaseinälle | 0,90 |
| - keskitetty päälle / pois                        | 1,0  |

Valaistuksen kokonaissähkötehona voidaan käyttää arvoa 15 W/hum<sup>2</sup>. Taulukossa 6 on esitetty valaistuksen käyttöaikoja.

TAULUKKO 6. Rakennuksen valaistuksen tyypillisiä käyttöaikoja  $\Delta t$  rakennustyypeittäin (RaMK D5 2007).

Rakennustyyppi	Tuntia vuodessa
Asuinkerrostalo	550
Rivitalo	550
Pientalo	550
Toimistorakennus	2500
Opetusrakennus	1900
Liikerakennus	4000
Hotelli	5000
Ravintola	3500
Liikuntarakennus	5000
Sairaala	5000
Muut rakennukset	2500

Kohderakennuksen valaistuksen sähkönkulutus voidaan arvioida seuraavasti

$$W_{\text{valaistus}} = 15 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 50 \text{m}^2 \cdot 550 \frac{\text{h}}{\text{a}} \cdot \frac{0,9}{1000} \approx 372 \text{ kWh}$$

Taulukossa 7 on esitetty kohderakennuksen laitteiden aiheuttama vuotuinen sähköenergiankulutus.

TAULUKKO 7. Asuinrakennusten tyypillisiä laiteryhmäkohtaisia sähköenergian vuotuisia ominaiskulutuksia (RaMK D5 2007).

Laiteryhmä	Pientalon kulutus	
Mikroaaltouuni	55	kWh/kpl
Kahvinkeitin	70	kWh/kpl
Jääkaappi	270	kWh/kpl
Astianpesukone	250	kWh/kpl
Kaappipakastin	380	kWh/kpl
PC	80	kWh/kpl
Yhteensä	1105	kWh

Lämmityksen aiheuttama vuotuinen sähköenergiankulutus on tällöin:

$$\begin{aligned} W_{\text{lämmitys}} &= W_{\text{kokonaiskulutus}} - W_{\text{valaistus}} - W_{\text{laitesähkö}} \\ &= 2350 \text{ kWh} - 372 \text{ kWh} - 1105 \text{ kWh} = 873 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Kohteen vuosikulutuksessa täytyy ottaa huomioon, että lämmitysenergiaa tuotetaan myös polttopuilla sähkölämmittimien lisäksi. Kuten aikaisemmin luvussa 5.3 laskimme, kohteen lämmitystehon tarve on noin 4800 – 5500 W. Lämmitysenergian kokonaiskulutus voidaan laskea seuraavalla kaavalla. (Hara 1994, 38–40)

$$W_{\text{lä}} = P_{\text{lä}} \cdot 24 \cdot \frac{S}{dT}$$

jossa

$W_{\text{lä}}$  = rakenneosien, ilmanvaihdon tai kokonaistarpeen lämpöenergian vuosikulutus kWh/a

$P_{\text{lä}}$  = vastaava lämmitystehon huipputarve, kW (luku 5.3)

$S$  = paikkakunnan mukaan määräytyvä astevuorokausiluku,  $K \cdot d/a$

$dT$  = lämpötilaero, K (luku 5.2)

$P_{\text{lä}}$ :n kerroin on lämmityksen huipputehon vuotuinen käyttöaika

Kohteen lämmitysenergian kulutukseksi tulisi tällöin,

$$W_{\text{lä}} = 4,8 \text{ kW} \cdot 24 \cdot \frac{4563 \text{ K}\cdot\text{vrk}}{50 \text{ K}} = 10513 \text{ kWh/a}$$

Vuotuinen kokonaiskulutus olisi tällöin 11990 kWh/a sisältäen valaistuksen ja laitesähkön.

## 7 HANKINTAKUSTANNUKSET

### 7.1 Sähkölämmittimien hankintakustannukset

Lämmitystehon tarve on noin 800 - 1500 W suurempi kuin mitä nykyinen järjestelmä pystyy tuottamaan. Lämmitystehoa voidaan lisätä vaihtamalla nykyiset 4 x 1000 W sähkölämmittimet uusiin, joiden teho vastaa lämmitystehon tarvetta noin 4800 - 5500 W.

Kohteen ikkunat ovat leveydeltään 90 cm, tulisi uusien sähkölämmittimien olla vähintään saman levyiset. Taulukossa 8 on esitetty esimerkkeinä kolme erilaista sopivaa sähkölämmittintä. Hinnat ovat tukkuliikkeen hinnastohintoja.

(<http://www.ahlsell.fi/>),(<http://www.slo.fi/>)

TAULUKKO 8. Sopivat sähkölämmittimet

Tyyppi	Kuvaus	Teho (W)	Jännite (V)	Korkeus (mm)	Leveys (mm)	Hinta (€) Alv 23 %	Tukkuliike
Nobö Teho	Tasolämmitin	1500	230	400	975	195,6	SLO
Dimplex Unique	Tasolämmitin	1500	230	400	1095	270,6	SLO
Beha ESP 12	Tasolämmitin	1250	230	400	927	166,5	Ahlsell

Kaikki sähkölämmittimet ovat varustettu elektronisella termostaatilla ja kaikki lämmittimet voidaan asentaa kiinteästi.

### 7.2 Ilmalämpöpumpun hankintakustannukset

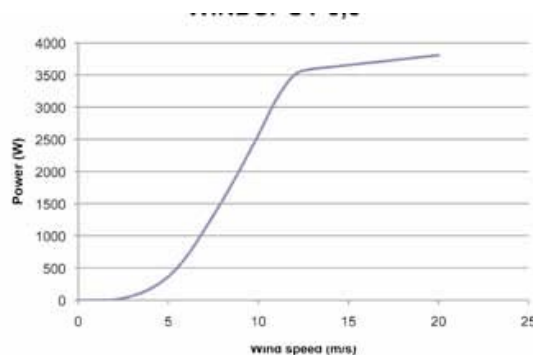
Toinen vaihtoehto on, että lisätään ilmalämpöpumppu nykyisten sähkölämmittimien rinnalle. Kovimmilla pakkasilla ilmalämpöpumpun lämmöntuotantokyvyn ollessa minimaalinen, voitaisiin rakennusta apulämmittää kahden jo olemassa olevan takan avulla. Ilmalämpöpumppujen valmistajia ja malleja on useita. Koska tarkoituksena on pitää asunto lämpimänä talvella, kannattaa ilmalämpöpumppu valita siten että sen lämpöteho olisi mahdollisimman suuri kovilla pakkasilla. Kuten aikaisemmin todettiin

ilmalämpöpumpun tehokerroin (COP-arvo) ei kerro todellisuutta pumpun lämpötehosta kovilla pakkasilla. Liitteissä 1,2,3,4,5 ja 6 on esitetty muutama VTT:n testaamien ilmalämpöpumppujen tuottamia lämpötehoja ja tehokertoimia laboratoriokeissa. Jos pumppu valitaan testatuista malleista, olisi kannattavaa valita joko Mitsubishi MSZ-FD25VA + MUZ-FD25VABH, jonka suositushinta on 1355 € (liite 1) tai Mitsubishi MSZ-FD35VA + MUZ-FD35VABH, jonka suositushinta on 1555 € (liite 2). Molempien mallien lämpökerroin on hyvä ja ne antavat hyvän hyötysuhteen kovillakin pakkasilla ([www.scanoffice.fi](http://www.scanoffice.fi)).

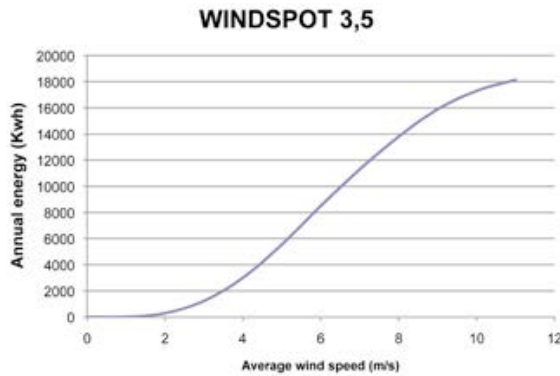
Ilmalämpöpumpun asennus maksaa yleisesti n. 500 – 1000 euroa, josta on mahdollisuus hakea kotitalousvähennystä. Työkustannuksista voidaan vähentää kotitalousvähennystä maksimissaan 45 %, jolloin 1000 euron työkustannuksesta joutuisi itse maksamaan 650 €

### 7.3 Pientuulivoimalan hankintakustannukset

Myös tuulivoimaloiden valmistajia ja malleja on useita, täytyy tuulivoimala valita siten että kulutus tuotetaan tuulennopeuden ollessa keskimäärin 4,5 – 5,5 m/s (kuvio 8), kohderakennuksen sijaitessa sisämaassa. Täytyy myös huomioida että pelkällä sähköllä lämmitettäessä vuotuinen sähkönkulutus on noin 11990 kWh. Kuvioissa 11 ja 12 on esitetty espanjalaisen WindSpot-merkkisen 3,5 kW:n tuulivoimalan sähköntuotto tuulennopeuden muuttuessa. Kyseisen mallin käynnistyminen on tuulennopeuden ollessa 3 m/s.



KUVIO 11. Windspot tuulivoimalan tuottokäyrä (<http://sites.google.com/site/kodinvihreaenergia/>)



KUVIO 12. Windspot tuulivoimalan vuosituotanto  
(<http://sites.google.com/site/kodinvihreaenergia/>)

Kuten kuviosta 12 huomaamme, tuulenopeuden ollessa 4,5 – 5,5 m/s vuosituotanto on noin 4000 – 6000 kWh. Kyseinen malli maksaa 11 950 euroa, ja se voitaisiin kytkeä suoraan sähköverkkoon. Hinta sisältää:

- Tuulivoimalan
- Ohjausyksikön (tasasuuntaaja)
- Power One Aurora verkkoinvertterin 3,6 kW
- turvakytkimet

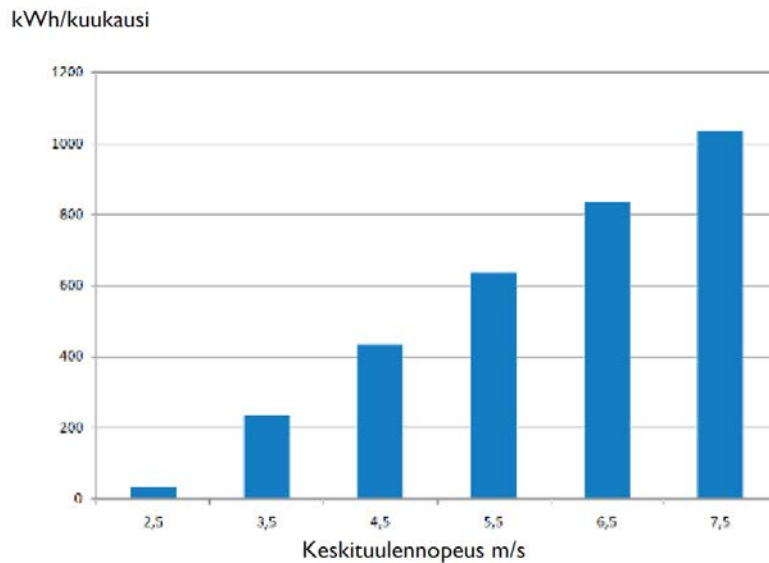
Hintaan ei sisälly asennuskustannukset. Yleisesti tuulivoimalan asennuksen päävaiheita ovat

- Perustusten teko. Harusten ankkurit ja maston perustus kaivetaan maahan. Kaivinkonetta tarvitaan muutama tunti. Betonivaluja ja nosturiautoja ei tarvita.
- Voimalan asennus. Tuulivoimalan toimittaja asentaa voimalan ja nostaa voimalan pystyyn.
- Rakennuksen sisäiset sähkötyöt. Rakennuksen sisäisiin sähkötöihin kuuluvat kaapelin vienti rakennuksen seinustalta säätöyksikölle, säätöyksikön kiinnitys seinään.

Voimalan asentaminen edellyttää kuitenkin kokemusta teknisten laitteiden asentamisesta ja perehtymistä asennusohjeisiin tuulivoimalan valmistajanopastuksella. Asennuskustannuksissa voi säästää teettämällä perustuskaivuun ja ankkurien asennuksen paikallisen kaivinkoneyrittäjällä tuulivoimalavalmistajan perustusohjeen

mukaisesti. Rakennuksen sisäisiin sähköasennustöihin tarvitaan sähköasentaja. (www.finnwind.fi)

Toisena vaihtoehtona voisi olla suomalainen Finnwindin Tuule E200 merkinen 3,6 kW pientuulivoimala. Tuulivoimalan sähköntuotanto alkaa kun tuulennopeus on 2,5 m/s. Kuviossa 13 on esitetty mallin kuukausituotto eri tuulennopeuksilla.



KUVIO 13. FinnWind E 200 tuulivoimalan energiantuotto kuukaudessa eri tuulennopeuksilla. (www.finnwind.fi)

Kuten kuvioista 13 huomaamme keskituulennopeuden ollessa 4,5 – 5,5 m/s kuukausituotto on noin 400 – 600 kWh, jolloin vuosituotoksi tulisi noin 4800 – 7200 kWh. Tuule E200 hinta on 18 m mastolla 16 700 euroa ja 27 m mastolla 18 600 euroa. Toimitukseen sisältyy

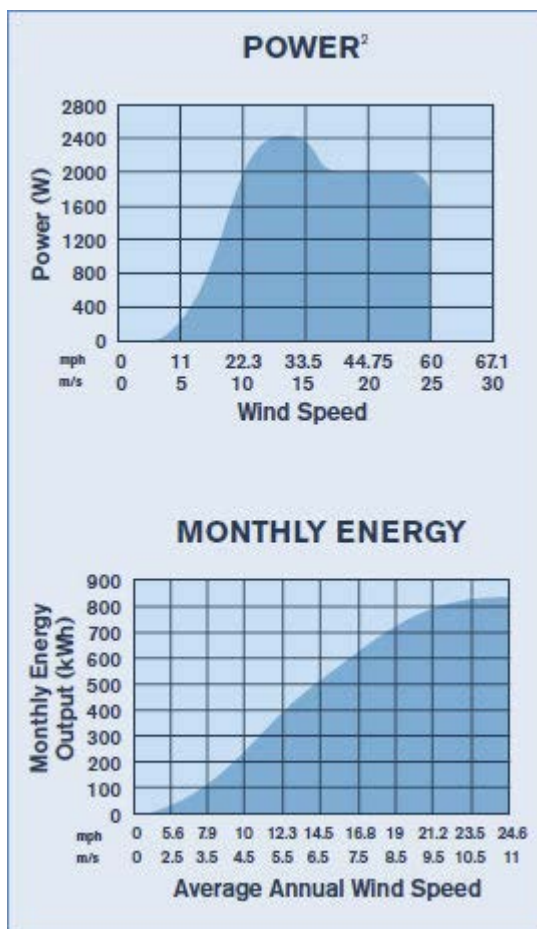
- Tuulivoimalan potkuri ja koneisto
- Masto, harukset, maadoitus, perustukset sekä maston sähkökotelo (jarru, pääsulake sekä pääkytkin)
- Maakaapelia 50 m ja tarvikkeet
- Taajuusmuuttajan suojausyksikkö
- Ylijännitevastus
- Taajuusmuuttaja
- Sulake rakennuksen sähköpääkeskuksessa



Hintaan ei sisälly asennusta mutta sen voi valmistajalta tilata avaimet käteen periaatteella 18 metrin mastolla hintaan noin 1 300 € tai 27 metrin mastolla noin 2200 €. Tällöin 18 metrin mastolla kokonaishinnaksi tulisi 18 000 € ja 27 metrin mastolla tulisi 20 800 €.

Koska kohderakennuksen ympärillä on paljon korkeita puita, tulisi masto mitoittaa potkurin ollessa vähintään 9 metriä korkeammalle kuin 150 metrin säteellä olevat rakennukset ja puut. Näin vältetään esteiden aiheuttamaa ilmavirran pyörteisyyttä, joka laskee merkittävästi tuulivoimalan tuottoa. Toisaalta tuulivoimalan nostaminen korkeammalle vaikuttaa nopeasti saatavaan energiantuottoon, tuulenopeuden kasvaessa ylöspäin mentäessä. ([www.finnwind.fi](http://www.finnwind.fi))

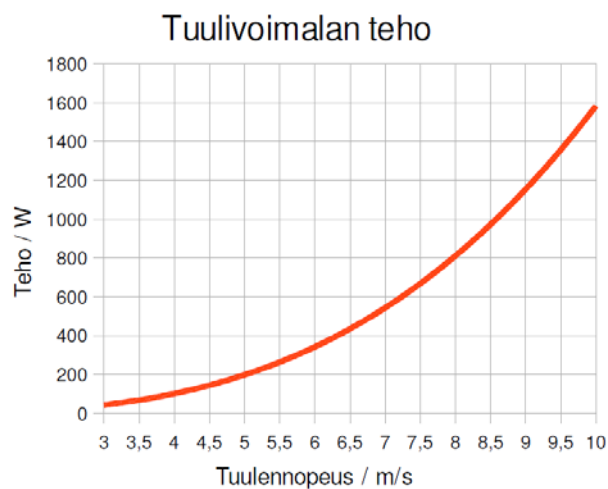
Hieman edullisempi vaihtoehto olisi yhdysvaltalainen 2,4 kW SKYSTREAM 3.7. Voimala tuottaa suoraan 230 V jännitteen ja se voidaan liittää suoraan sähkökeskukseen. Kuviossa 14 on esitetty voimalan tuotantokykyä.



KUVIO 14. SKYSTREAM 3.7 tuulivoimalan tuotantokyky. ([www.eurolosar.fi](http://www.eurolosar.fi))

Tuulennopeuden ollessa 4,5 – 5,5 m/s tuulivoimala tuottaa 200 – 400 kWh kuukaudessa, joten vuosituotannoksi tulisi 2400 – 4800 kWh. Mallin hinta on 8750 euroa. Hintaan ei kuulu mastoa, joka myydään pituuden mukaan. Hintaan ei myöskään kuulu asennusta. Mallin käynnistysnopeus on 3,5 m/s. ([www.eurolosar.fi](http://www.eurolosar.fi))

Pienempiä voimaloita valittaessa yhtenä vaihtoehtona voisi olla esimerkiksi saksalaisvalmisteinen 1 kW WPE1KW. Tämä voidaan myös liittää suoraan rakennuksen verkkoliitäntään. Kuviossa 15 on esitetty voimalan tehokäyrä.



KUVIO 15. WPE1KW tuulivoimalan tehokäyrä ([www.tuulivoimala.com](http://www.tuulivoimala.com))

Arvioitu vuosituotto kyseiselle mallille on 1621 kWh/a. Hinta voimalalle on 3800 € joka pitää sisällään tarvittavat varusteet voimalan kytkemiseksi talon sähköverkkoon. Hintaan ei sisälly asennusta. Voimalan aloitustuulennopeus on 3 m/s. ([www.tuulivoimala.com](http://www.tuulivoimala.com))

## 7.4 Aurinkosähköjärjestelmän hankintakustannukset

Taulukossa 9 on esitetty Finnwindin myymien Aurinko E tuotesarjan tiedot suoraan sähköntuotantoon.

### TAULUKKO 9. Aurinko E – sarjan tuotteet suoraan sähköntuotantoon

([www.finnwind.fi](http://www.finnwind.fi))

Malli	Ulostulojännite	Paneeliteho	Tuottoarvio per vrk parhaimmillaan kesällä	Tuottoarvio per vuosi parhaimmillaan Etelä-Suomi	Paneelien määrä	Paneelien kokonaispinta-ala	Sijoitteluryhmien määrä	Hinta (sis. alv 23%)
<b>E130 - 1380</b>	230 V, 50 Hz	1,4 kW	10 kWh	900 kWh	6 kpl	10,2 m <sup>2</sup>	1 kpl	7.500 Eur
<b>E130 - 2070</b>	230 V, 50 Hz	2,0 kW	15 kWh	1900 kWh	9 kpl	15,3 m <sup>2</sup>	1 kpl	10.500 Eur
<b>E260</b>	230 V, 50 Hz	4,0 kW	30 kWh	3800 kWh	18 kpl	30,6 m <sup>2</sup>	2 kpl	19.500 Eur
<b>E390</b>	230 V/400 V, 50 Hz	6,0 kW	45 kWh	5700 kWh	27 kpl	45,9 m <sup>2</sup>	3 kpl	28.500 Eur

Taulukosta 9 voitaisiin valita esimerkiksi E260 malli, jonka kokonaisvuosituotto on 3800 kWh ja hinta 19 500 euroa. Hinta sisältää aurinkopaneelit, verkkoinverterin, asennustelineet, kaapelit sekä turvakytkimet. Hinta ei sisällä asennustöitä.

Kohderakennuksen ympärillä on kuitenkin paljon korkeita puita jotka aiheuttavat varjoja eikä taulukon mukaiseen vuosituotantoon päästäisi. Paneelien kokonaispinta-ala on suuri, joten ne peittäisivät koko katon tai veisivät pihasta paljon tilaa. Täytyy myös muistaa että auringon säteilyenergia maahan on suurimmillaan kesällä, jolloin lämmitystä ei tarvita. Talvella auringonsäteily on hyvin vähäinen, jolloin sähköä kuluisi paljon lämmittämiseen. Kesäaikana saatu paneelien sähköntuotto menisi hukkaan kun sähköä ei tarvita, ja talvella kun sitä tarvitaan, sähköä ei saada. Jos haluttaisiin tuottaa pienempi osa kulutuksesta aurinkosähköllä, se laskisi hintaa, mutta siinä esiintyisi samat ongelmat kuin suuremmalla sähköntuotannolla.

## 7.5 Kotitalousvähennys

Asuntojen energiansäästöön tähtäävien korjausten työkuukustannuksista voidaan vaatia verotuksen yhteydessä kotitalousvähennystä. Sitä voi saada ainoastaan asennustyön kuluista. Tarvikkeet ja laitteet tulee maksaa kokonaisuudessaan itse. Kotitalousvähennys pitää hakea itse. Teetetyt työ ja maksetut työkorvaukset tai palkat ja palkan sivukulut tulee ilmoittaa esitäytetyssä veroilmoituksessa. Verottaja tekee vähennyksen suoraan verosta, ja työn teettäjä saa hyödyn veronpalautuksena.

Kotitalousvähennyksenä voidaan vähentää ennakkoperintärekisteriin kuuluvalla yrittäjälle tai yritykselle 45 prosenttia maksamastasi työkorvauksesta. Vuonna 2012 kotitalousvähennyksen enimmäismäärä on 2000 euroa vuodessa. Vähennykseen liittyy 100 euron omavastuu. Kotitalousvähennys on henkilökohtainen, joten pariskunta voi saada yhteensä 4000 euron vähennykset vuonna 2012. ([www.veronmaksajat.fi](http://www.veronmaksajat.fi))

## 7.6 Energia-avustus

Vuonna 2011 yksityistaloudet saivat hakea valtion tukemaa energia-avustusta omalta kunnalta. Energia-avustuksella tuettiin sähkö- ja öljylämmityksen korvaamista pääasiallisesti uusiutuvaa energiaa hyödyntävällä päälämmitysjärjestelmällä. Sillä voitiin tukea aurinkolämmön ja sähkön tuotantolaitteiden käyttöönottoon liittyviä kustannuksia. Lämmitysenergian tarpeesta yli puolet oli kuitenkin tuotettava uusiutuvalla energialla. Avustuksen suuruus oli enintään 20 prosenttia hyväksyttävistä kustannuksista.

Avustuksia voitiin myöntää myös ympärivuotisessa omassa asuinkäytössä olevien pientalojen omistajille laite- ja materiaali-investointeihin, joilla parannettiin asuntojen energiataloutta ja vähennettiin energiankäytöstä aiheutuvia päästöjä sekä lisättiin uusiutuvien energiamuotojen käyttöönottoa. Avustuksen määrä oli enintään 25 prosenttia kunnan hyväksymistä kustannuksista. Ilmalämpöpumppuihin energia-avustusta ei kuitenkaan myönnetty.

Vuoden 2011 energia-avustuksen hakuaika päättyi 8.4.2011. Vuoden 2012 energia-avustuksen haku alkaa keväällä 2012. Vuoden 2012 energia-avustuksesta saa tietoa myöhemmin osoitteesta [www.ara.fi](http://www.ara.fi). ([www.ara.fi](http://www.ara.fi))

## 8 KÄYTTÖKUSTANNUKSET JA TAKAISINMAKSUAJAT

### 8.1 Käyttökustannukset

Kohteen nykyinen sähköenergian vuosikulutus on keskimäärin 2350 kWh. Sähkön hinta muodostuu sähkön myynnistä, sähkön siirrosta, sähköverosta ja arvonlisäverosta. Taulukossa 10 on esitetty sähkölaskun muodostuminen Vattenfallin hinnaston perusteella. Kohteessa on 3 x 25 A pääsulake ja kohde kuuluu sähköveroluokkaan 1. Taulukossa 11 on eritelty sähkön hinta kulutustyyppin mukaan. ([www.vattenfall.fi](http://www.vattenfall.fi))

TAULUKKO 10. Sähkölaskun muodostuminen

		Hinta, snt/kWh (alv 23 %)
Sähkön myynti	Perussähkö	6,8
Sähkön siirto	Yleissiirto	5,57
Sähkövero	Veroluokka 1	2,09469
<b>Yhteensä</b>		<b>14,46</b>
Pääsulake 3x25A	Perusmaksu	13,11 €/kk
Sähkön myynti	Perusmaksu	2,6 €/kk
<b>Yhteensä</b>		<b>15,71 €/kk</b>
		Hinta, €/a (alv 23 %)
Sähkön kokonaishinta, kulutus 2350 kWh/a		
Sähkön myynti		159,8
Sähkön siirto		130,9
Sähkövero		49,2
<b>Yhteensä</b>		<b>340</b>
Pääsulake 3x25 A		157,3
Sähkön myynti		31,2
<b>Kokonaishinta yhteensä</b>		<b>528</b>

TAULUKKO 11. Sähkön hinnan muodostuminen kulutustyyppin mukaan

Sähkön kokonaishinta	Kulutus kWh/a	Hinta, €/a (alv 23 %)
Valaistus	372	54
Lämmitys	872	126
Laitesähkö	1105	160

Kuten taulukosta 10 huomaamme kohteen vuotuinen sähkölasku on noin 528 € Pelkällä sähköllä lämmitettäessä ja lämmitystehon tarpeen huomioiminen nostaa kokonaishintaa huomattavasti. Taulukossa 12 on esitetty sähkön hinnan muodostuminen taulukon 10 perusteella, kun lämmittämiseen käytetään ainoastaan sähköenergiaa. Tämä nostaa vuotuista sähkölaskua noin 1400 € Sähkölämmittimien muut käyttö ja huoltokustannukset olisivat vähäiset.

TAULUKKO 12. Sähkön hinnan muodostuminen pelkällä sähköllä lämmitettäessä

Sähkön kokonaishinta	Kulutus kWh/a	Hinta, €/a (alv 23 %)
Valaistus	372	54
Lämmitys	10513	1520
Laitesähkö	1105	160
<b>Yhteensä</b>	<b>11990</b>	<b>1734</b>
Pääsulake 3x25 A		157,3
Sähkön myynti		31,2
<b>Yhteensä</b>		<b>1922</b>

Ilmalämpöpumppu ei myöskään juuri huoltoa tarvitse. 2 – 4 viikon välein tehtävä suodattimen puhdistamisen voi tehdä itse ja se onnistuu esimerkiksi imurilla. Ilmalämpöpumpun käyttöikä on käytön määrästä riippuen 10 – 15 vuotta. (www.sulpu.fi)

Ilmalämpöpumppu alkaa tuottaa lämpöä, kun lämpötila laskee alle +10 °C:een, ja lämmöntuotto jatkuu siihen saakka, että pakkasen ulkona laskee -30 °C:een. Jyväskylän lentoasemalla mitattujen lämpötilojen arvoilla (<http://ilmatieteenlaitos.fi/828>), vuonna 2010 tällaista aikaa oli noin 6480 tuntia. Keskimääräinen lämpöteho Mitsubishi MSZ-FD25VA + MUZ-FD25VABH pumpulle +10 °C - -30 °C välillä on noin 2 kW (liite 1). Pumppu tuottaa tällä välillä lämpöenergiaa 12960 kWh. Keskimääräinen lämpökerroin pumpulle tällä välillä on noin 2,2 (liite 1), joten pumppu käyttää itse energiaa noin 5891 kWh. Tarvittava lämmitysenergia on kuitenkin noin 10513 kWh. Tämän perusteella lämmityksen sähkön hinnaksi tulisi noin 690 € joka on noin puolet nykyisestä. Keskimääräisesti ilmalämpöpumppu pystyisi tuottamaan tarvittavan lämpötehon, mutta kovilla pakkasilla ilmalämpöpumppu pystyisi tuottamaan vain 1700 W lämpötehoa (liite 1). Tarvittava lämpöteho olisi kuitenkin vähintään 4800 W, jolloin nykyiset sähkölämmittimet joutuisivat tuottamaan 3100 W lämpötehoa. Kovilla pakkasilla

voitaisiin myös hyödyntää kahta jo olemassa olevaa takka, jolloin säästettäisiin sähkölämmittimien sähkönkulutuksessa.

Tuulivoimala ja aurinkosähköjärjestelmä ovat myös melko huoltovapaita. Tuulivoimalalle tulee kuitenkin tehdä viiden vuoden välein huoltotarkistus.

## 8.2 Takaisinmaksuajat

Taulukossa 13 on esitetty järjestelmien takaisinmaksuajat liitteen 7 mukaista 5 % korkoa käyttäen. Takaisinmaksuaika voidaan laskea nykyarvomenetelmällä seuraavalla kaavalla

- a) koroton takaisinmaksuaika

$$n = \frac{I}{S}$$

jossa

$I$  = investointikustannus, €

$S$  = nettosäästö, €/a

- b) korollinen takaisinmaksuaika

$$a_{ni} \cdot S - I = 0$$

$$\frac{I}{S} = a_{ni}$$

$$a_{ni} = \frac{(1+i)^n - 1}{i \cdot (1+i)^n}$$

TAULUKKO 13. Järjestelmien takaisinmaksuajat

Laite	Hankintakustannus, €	Asennuskustannus, €	Asennuskustannus kotitalousvähenyksiineen (45 %), €
<b>Ilmalämpöpumppu</b>			
Mitsubishi MSZ-FD25VA + MUZ-FD25VABH	1355	500	275
<b>Tuulivoimala</b>			
FinnWind Tuule E 200, 27 m mastolla	18600	2200	1210
Windspot 3,5	11950	2200	1210
SKYSTREAM 3.7	8750	2200	1210
WPE1KW	3800	2200	1210
<b>Aurinkosähköjärjestelmä</b>			
FinnWind Aurinko E260	19500	2000	1100

Laite	Kustannukset yhteensä, €	Säästö, €/a	Koroton takaisinmaksuaika, a	Korollinen takaisinmaksuaika, a (i = 5 %)
<b>Ilmalämpöpumppu</b>				
Mitsubishi MSZ-FD25VA + MUZ-FD25VABH	1630	830	2	2,5
<b>Tuulivoimala</b>				
FinnWind Tuule E 200, 27 m mastolla	19810	868	23	>50
Windspot 3,5	12830	723		
SKYSTREAM 3.7	9960	521	19	>50
WPE1KW	5010	234	21	>50
<b>Aurinkosähköjärjestelmä</b>				
FinnWind Aurinko E260	20600	550	37	>50

Kuten taulukosta 13 huomaamme 5 % korkokannalla laskettuna, pientuulivoimaloiden ja aurinkosähköjärjestelmän takaisinmaksuaika on huomattavasti pidempi kuin järjestelmien käyttöikä. Ilmalämpöpumpun takaisinmaksuaika on melko lyhyt. Ilmalämpöpumppua käytettäessä kesällä sisätilojen jäähdyttämiseen, voi se aiheuttaa vuotuista sähkönkulutuksen kasvua, huolimatta sähkönkulutuksen vähenemisestä talvella. Kovilla pakkasilla ilmalämpöpumppu ei pysty tuottamaan tarvittavaa lämpötehoa. Tällöin sähkölämmittimet joutuisivat tuottamaan lopun tarvittavan lämpötehon, jolloin ilmalämpöpumpun takaisinmaksuaika pidentyisi.

Jos valitaan sähköntuottamiseen pientuulivoimala Tuule E200 27 metrin mastolla tai Aurinko E260 aurinkosähköjärjestelmä hankintakustannukset olisivat noin 20 000



euroa. Tuulivoimalaksi valittaessa halvin WPE1KW malli, jonka hankintahinta on 3800 € ja arvioitu vuosituotanto 1621 kWh, olisi takaisinmaksuaika kaikilla järjestelmillä yli 50 vuotta.

Aurinkosähköjärjestelmän takaisinmaksuaika olisi paljon myöhemmin kuin pientuulivoimalan. Kesäaikana saatu paneelien sähköntuotto menisi hukkaan kun sähköä ei tarvita, ja talvella kun sitä tarvitaan, sähköä ei saada. Syys- ja talvipäivinä jolloin aurinko näyttäytyy, sähköenergian tuotto vastaa n. 1-4 h toimintaa nimellisteholla. Pilvisinä syys- ja talvipäivinä sähköenergian tuotto vastaa maksimissaan tunnin toimintaa nimellisteholla. Aurinkoisina kevät- ja kesäpäivinä aurinkopaneelit tuottavat sähköenergiaa määrän, joka vastaa parhaimmillaan n. 6 toimintaa nimellisteholla. Puolipilvisinä kevät- kesäpäivinä sähköenergian tuotto vastaa n. 3-5 h toimintaa nimellisteholla. ([www.finnwind.fi](http://www.finnwind.fi))

Suomen olosuhteisiin paremmin sopisi aurinkolämpöjärjestelmä, jota voitaisiin käyttää lämpimän käyttöveden lämmittämiseen. Lämpimän käyttöveden energiankulutus on noin kolmasosa pientalojen kokonaislämmitysenergiasta. Aurinkolämpöjärjestelmät ovat yleisesti halvempia kuin aurinkosähköjärjestelmät. Kesällä suurin osa käyttövedestä voitaisiin lämmittää aurinkolämpöjärjestelmällä.

## 9 YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT

Kohteen nykyinen lämmitysjärjestelmä on riittämätön kovilla pakkasilla, joten lämmitystehoa tulisi lisätä. Lämmitystehoa voidaan lisätä esimerkiksi nykyistä tehokkaammilla sähkölämmittimillä, tai lisäämällä nykyisten sähkölämmittimien rinnalle ilmalämpöpumppu. Uuden järjestelmän lämmitystehon tulee olla vähintään 4800 - 5500 W. Sähkölämmittimien vaihto tai ilmalämpöpumpun asennus onnistuu helposti ja nopeasti vanhaan rakennukseen, vaatien kuitenkin ammattitaitoisen asentajan. Ilmalämpöpumpun etu verrattuna sähkölämmittimiin on sen pienempi sähkönkulutus samalla lämpömäärällä mitä sähkölämmittimet tuottavat. Ilmalämpöpumpulla saadaan kesäisin viilennystä sisätiloihin kun sen toiminta on vastakkainen lämmitykseen verrattuna. Tämä kuitenkin nostaa sähkönkulutusta, ja talvella saatu hyöty voidaan helposti menettää. Ilmalämpöpumppu vaatii suurehkon sisä- ja ulkoyksikön, joiden sijoittaminen voi pienessä talossa olla ongelma, kun taas sähkölämmittimet voidaan asentaa vanhojen lämmittimien tilalle. Ilmalämpöpumpun takaisinmaksu on lyhyt ja sähkönhinnan noustessa, ilmalämpöpumpun kannattavuus paranee.

Ilmalämpöpumppua valitessa pitää huomioida, että se on niin kutsuttu Nordic-malli jossa on automaattinen sulatustoiminta. Ilmalämpöpumpun tehokerroin (COP-arvo) ei kerro todellisuutta pumpun lämpötehosta kovilla pakkasilla. Tehokerroin voi olla suuri leudolla säällä, mutta kylmällä ilmalla tehokerroin saattaa pudota nopeasti, jopa siten että pumppu kuluttaa enemmän sähköä kuin tuottaa lämpöä. Tästä syystä ilmalämpöpumppu tulisi valita siten, että sen lämpöteho olisi mahdollisimman suuri kovilla pakkasilla. Jos ilmalämpöpumpun tuottama lämpöteho ei riitä kattamaan tarvittavaa kokonaislämpötehoa, voitaisiin apuna käyttää kahta jo olemassa olevaa takkaa ja nykyisiä sähkölämmittimiä.

Myös tuulivoimalassa aivan kuten aurinkopaneeleissa, nimellisteho esimerkiksi 2,5 kW tai 200 W on valmistajan teoreettinen arvo siitä, paljonko laitteen teho voisi olla maksimissaan täydellisissä olosuhteissa. Yleensä nimellistehon saavuttamiseen tarvittava jatkuva tuuli on käytännön kannalta aivan epärealistinen, kuten 12 metriä sekunnissa. Silti nimellisteho näkyy lähes poikkeuksetta voimaloiden nimissä. Tuuliolosuhteet vaihtelevat päivittäin, ja laskuissa käytetyt tuulivoimalan vuosituotot

ovat vain laskettuja arvioita. Tuuliolosuhteet tulisikin mitata paikallisesti tuulimittarilla, kohdasta johon tuulivoimalan aikoo pystyttää.

Tuulivoimalan ja aurinkosähköjärjestelmän hankintakustannukset ovat melko korkeat, ja niiden takaisinmaksuaika on huomattavasti käyttöikää pidempi. Suomessa tuulivoimalaa voisi harkita rannikolle, missä tuulen keskinopeudet ovat paljon suuremmat kuin sisämaassa. Suomen tuuliolosuhteet ovat kuitenkin pientuulivoiman lämmityskäytölle ja sähköntuotannolle suosiolliset, koska talvella tuulee enemmän kuin kesällä.

Aurinkosähköjärjestelmälle huhtikuu - syyskuu olisi paras aika, jolloin lämmittämiseen käytetty sähkönkulutus on vähäistä. Marras – helmikuussa aurinkosähkön tuotanto riittää yleensä vain satunnaiseen käyttöön, silloin kun lämmittämiseen kuluu eniten energiaa. Tästä syystä Suomessa ei aurinkosähköstä talvella ole juuri hyötyä. Myös öisin kun aurinko ei paista, ei aurinkojärjestelmä tuota sähköä ilman akustoa.

Mikäli kohderakennukseen haluttaisiin myöhemmin lisätä lämmin käyttövesi, voisi aurinkolämpöjärjestelmä soveltua paremmin Suomen olosuhteisiin. Aurinkolämpöjärjestelmällä voitaisiin lämmittää käyttövettä, joka sähkövastuksilla toteutettuna kuluttaisi paljon energiaa. Lämmintä vettä tarvitaan ympäri vuoden, jolloin kesäisin suurin osa käyttövedestä voitaisiin lämmittää aurinkolämpöjärjestelmällä.

Kohteen ympärillä olevat korkeat puut ovat aurinkosähkölle ongelma. Vaikka aurinko paistaisi, puiden aiheuttamat varjot laskisivat paneelien sähköntuottokykyä. Puut ovat myös ongelma tuulivoimalalle, ja voimalan masto pitääkin valita siten että potkuri olisi vähintään 9 metriä korkeammalle kuin 150 metrin säteellä olevat rakennukset ja puut. Näin vältetään pyörteitä, jotka heikentävät voimalan tuottokykyä. Talvella aurinkopaneelit täytyy pitää lumivapaana, jolloin lunta voi joutua poistamaan silloin tällöin.

Tuulivoimala ja aurinkosähköjärjestelmä vaativat lupia pystytykseen sekä sähköverkkoon kytkemiseen. Naapurisovun kannalta, myös naapurin mielipidettä kannattaa tiedustella, kun pihaan tulee 30 metrin tuulivoimala. Tuulivoimala ja aurinkosähköjärjestelmä vaativat talon sisälle myös muun muassa taajuusmuuttajan.

Koska kohderakennus on melko pieni eikä erillistä sähkökaappia ole, taajuusmuuttajan turvallinen ja esteettinen sijoitus voi olla ongelma. Myös kaapelit jotka tulevat tuulivoimalan maston sähkökotelosta taajuusmuuttajalle sekä kaapelit taajuusmuuttajalta ryhmäkeskukseen, tulee olla asennettu asianmukaisesti. Jos olisi mahdollista, niin erillisen kaapin rakentaminen tarvittaville komponenteille olisikin parempi vaihtoehto. Tuulivoimalat ja aurinkosähköjärjestelmät liitetään suoraan kiinteistön ryhmäkeskukseen sähkömittarin jälkeen omalla sulakkeellaan niin kuin mikä tahansa sähkölaite. Näin kulutetaan esisijaisesti tuotettua sähköä, ja vajoitus ostetaan sähköyhtiöltä. Nykyistä sähkökeskusta ei tarvitsisi tällöin uusia. Jos halutaan tuulivoimalan tai aurinkosähköjärjestelmän syöttävän akustoa, joka verkkoinvertterin avulla on kytketty talon sähköverkkoon, niin akuston sijoittaminen vaatisi turvallisuussyistä erillisen tilan. Nykyisellään tällaista tilaa ei ole, joten se tulisi rakentaa. Akusto tulisi myös lisäämään voimaloiden hankintahintaa, jolloin takaisinmaksuajat pidentyisivät.

## Lähteet

Harsia P, 2009. Ensto Pro. Sähköisen talotekniikan koulutusmateriaali. Luettu 19.10.2011

<https://www.amk.fi/opintojaksot/0705016/1241588156090.html.stx>

Suomen lämpöpumppuyhdistys ry. Luettu 16.10.2011

[http://www.sulpu.fi/index.php?option=com\\_content&task=view&id=22&Itemid=116](http://www.sulpu.fi/index.php?option=com_content&task=view&id=22&Itemid=116)

Perälä, R. 2009. Lämpöpumput. Suomalainen käsikirja aikamme lämmitysjärjestelmästä. Tallinna: Alfamer Oy

Wikipedia, Ilmalämpöpumppu. Luettu 16.10.2011

[http://en.wikipedia.org/wiki/Air\\_source\\_heat\\_pumps](http://en.wikipedia.org/wiki/Air_source_heat_pumps)

Scanoffice, Ilmalämpöpumppujen VTT:n testiraportit. Luettu 16.10.2011

<http://www.scanoffice.fi/fi/tietoa-laempeopumpuista/vtt-n-testiraportit/>

Scanoffice, Mitsubishi Electric ilmalämpöpumppujen maahantuoja. Luettu 16.10.2011

[www.scanoffice.fi](http://www.scanoffice.fi)

Erat, B., Erkkilä, V., Nyman, C., Peippo, K., Peltola, S. & Suokivi, H. 2008. Aurinko-opas. Aurinkoenergiaa rakennuksiin. Päivitetty painos. Porvoo: Painoyhtymä Oy

Suomen tuulivoimayhdistys ry. Luettu 11.4.2011

<http://www.tuulivoimayhdistys.fi>

Veijalainen, E. Opinnäytetyö, Pientuulivoimalat. 2008. Luettu 11.4.2011

<http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/9780/Veijalainen.Elmer.pdf>

How stuff works. Tuulivoimalan rakenne. Luettu 12.4.2011

<http://science.howstuffworks.com/environmental/green-science/wind-power2.htm>

Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto. 2007. D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma Luettu 30.1.2011.

<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=198063&lan=fi>

Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. 2010. D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Luettu 30.1.2011.

<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=198063&lan=fi>

Ympäristöministeriö. Asunto- ja rakennusosasto. 2003. C4 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Luettu 15.2.2011.

<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=198063&lan=fi>

Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. 2010. C3 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Luettu 30.1.2011.

<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=198063&lan=fi>

Windspot-tuulivoimalat. Luettu 16.10.2011

<http://sites.google.com/site/kodinvihreaenergia/esitteet>

Finnwind-tuulivoimalan esite. Luettu 17.10.2010

[http://www.finnwind.fi/web-content/esitteet/tekniset/Tuule\\_E200\\_tekninen\\_kuvaus.pdf](http://www.finnwind.fi/web-content/esitteet/tekniset/Tuule_E200_tekninen_kuvaus.pdf)

Finnwind-tuulivoimalat. Luettu 21.10.2011

[http://www.finnwind.fi/web-content/sivut/ostajan\\_muistilista.html#Anchor-28261](http://www.finnwind.fi/web-content/sivut/ostajan_muistilista.html#Anchor-28261)

Skystream-tuulivoimalat. Luettu 24.10.2011

<http://www.eurosolar.fi/tuuligeneraattorit/>

WPE-tuulivoimalan esite. Luettu 24.10.2011

[http://www.tuulivoimala.com/links/WPE1kW\\_tekniset\\_tiedot.pdf](http://www.tuulivoimala.com/links/WPE1kW_tekniset_tiedot.pdf)

WPE-tuulivoimalat. Luettu 23.10.2011

[www.tuulivoimala.com](http://www.tuulivoimala.com)

Finnwind, Aurinko E-sarjan esite. Luettu 24.10.2011

[http://www.finnwind.fi/web-content/esitteet/Aurinko\\_E\\_sarja\\_yleisesite\\_fin.pdf](http://www.finnwind.fi/web-content/esitteet/Aurinko_E_sarja_yleisesite_fin.pdf)

Veronmaksajain keskusliitto ry. Kotitalousvähennys. Luettu 20.10.2011

<http://www.veronmaksajat.fi/omatveroasiat/kotitalousvahennys/>

Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus. Energia avustus. Luettu 20.10.2011

<http://www.ara.fi/default.asp?node=1263&lan> 20.10.2011

Vattenfall. Sähkön hinta. Luettu 21.10.2011

<http://www.vattenfall.fi/fi/perussahko.htm> 21.10.2011

Finnwind, Aurinkopaneelit. Luettu 23.10.2011

<http://www.finnwind.fi/aurinkopaneelit.html>

Ilmatieteenlaitos. Vuoden 2010 keskilämpötilat. Luettu 25.10.2011

<http://ilmatieteenlaitos.fi/828>

Eduskunta, Hallituksen esitys eduskunnalle energiaverotusta koskevan lainsäädännön muuttamiseksi. Luettu 30.11.2011

<http://www.eduskunta.fi/valtiopaivaasiat/he+53/2011>

Nobö sähkölämmittimet. Luettu 30.11.2011

<http://www.dimplex.fi/produkter/veggmonterte-ovner/teho>

SLO. Nobö teho sähkölämmitin. Luettu 30.11.2011

<http://www.slo.fi/www/fi/Tuotteet/Tuoteluettelo/Sivut/tuotetietosivu.aspx?partno=8130>

155

Dimplex sähkölämmittimet. Luettu 30.11.2011

<http://www.dimplex.fi/produkter/veggmonterte-ovner/unique>

SLO. Dimplex Unique sähkölämmitin. Luettu 30.11.2011

<http://www.slo.fi/www/fi/Tuotteet/Tuoteluettelo/Sivut/tuotetietosivu.aspx?partno=8120555>

Ahlsell. Sähköhinnasto. Luettu 30.11.2011

[http://www.ahlsell.fi/page\\_\\_\\_\\_6929.aspx](http://www.ahlsell.fi/page____6929.aspx)

Hara, R. 1994. Sähkölämmityksen käsikirja. Espoo: Gummerus Oy



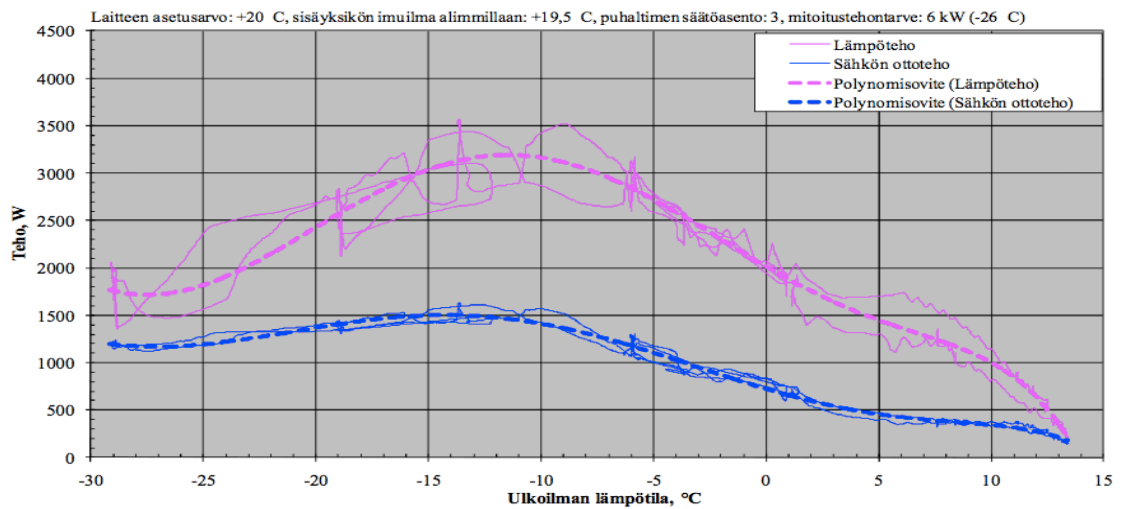
## LIITE 1

## Mitsubishi MSZ-FD25VA + MUZ-FD25VABH

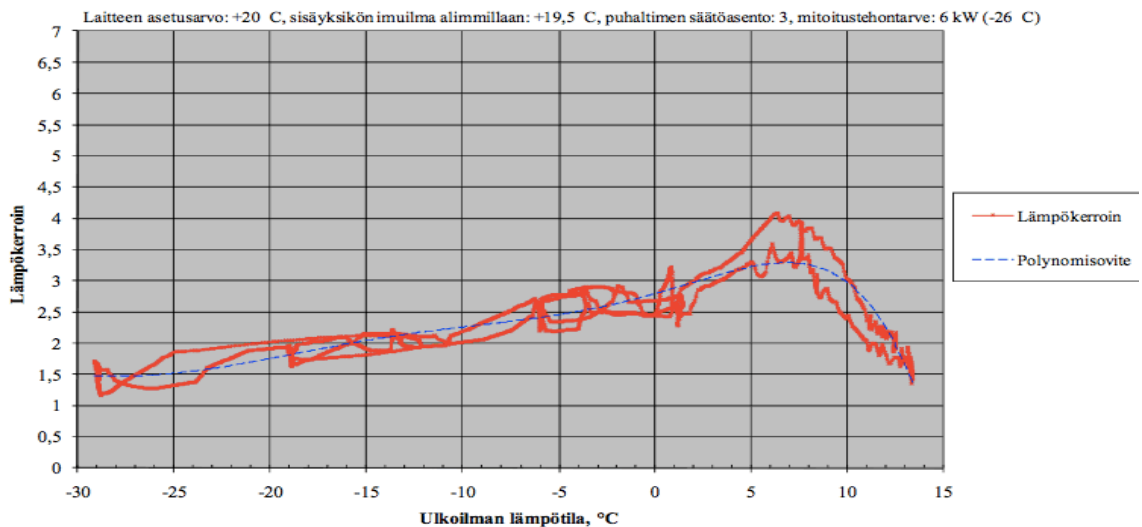
toimintakoe matalissa ulkoilman lämpötiloissa ja sulatusjaksot sisältävä lämpöerroin

- laitteen lämpötilan asetusarvo +20 °C
- sisäyksikön imuilma alimmillaan +19,5 °C
- puhaltimen säätöasento 3
- lämmitystehontarve 6 kW (mitoitettava ulkolämpötila -26 °C)

**Tehon liukuva tuntikeskiarvo sisältäen sulatusjaksot**



**Liukuva tuntilämpöerroin sisältäen sulatusjaksot**



- Lämpöerroin on hyvä ja antaa hyvän hyötysuhteen kovillakin pakkasilla
- Lämpöteho max. 3,2 kW
- Suositushinta 1355 €

(www.scanoffice.fi)

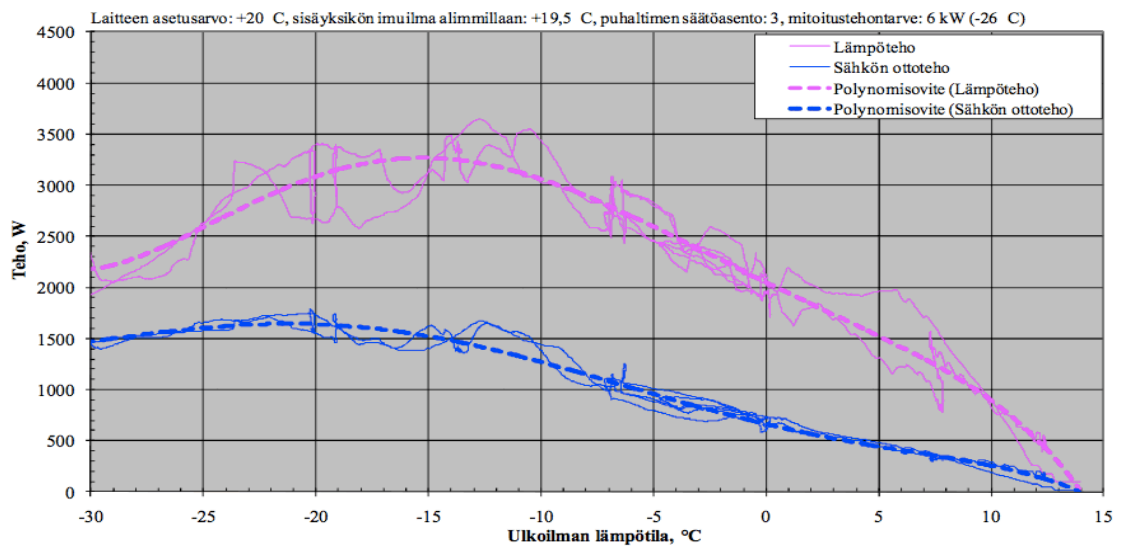
## LIITE 2

## Mitsubishi MSZ-FD35VA + MUZ-FD35VABH

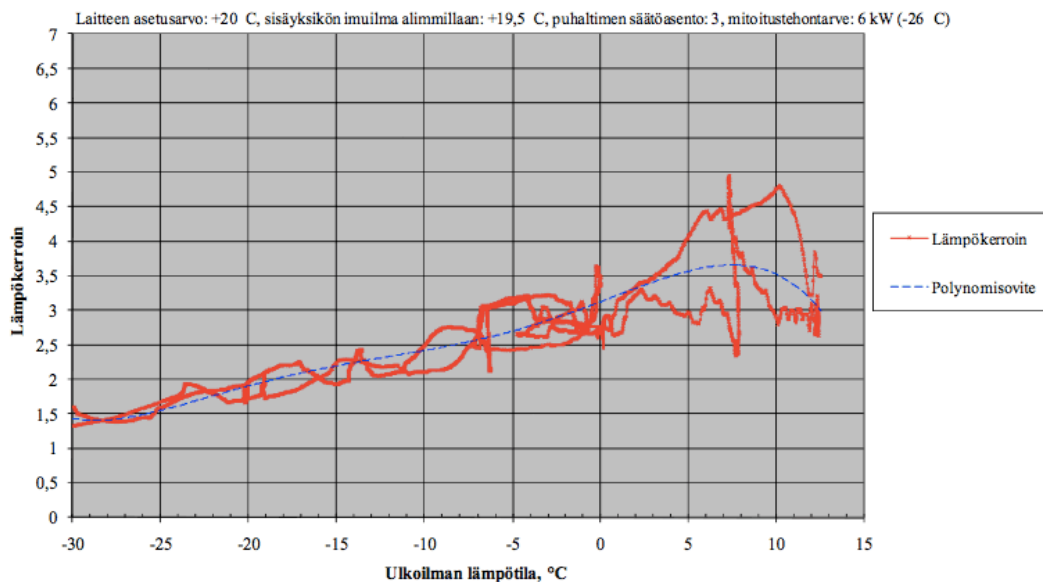
toimintakoe matalissa ulkoilman lämpötiloissa ja sulatusjaksot sisältävä lämpökerroin

- laitteen lämpötilan asetusarvo +20 °C
- sisäyksikön imuilma alimmillaan +19,5 °C
- puhaltimen säätöasento 3
- lämmitystehontarve 6 kW (mitoitettava ulkolämpötila -26 °C)

**Tehon liukuva tuntikeskiarvo sisältäen sulatusjaksot**



**Liukuva tuntilämpökerroin sisältäen sulatusjaksot**



- Lämpökerroin erinomaisen hyvä koko lämpöskaalalla, jatkuu aina -30 °C asti
- Lämpöteho max. 3,3 kW. Antaa vielä -30 °C pakkasilla 2,3 kW lämpötehon
- Suositushinta 1555 €

([www.scanoffice.fi](http://www.scanoffice.fi))

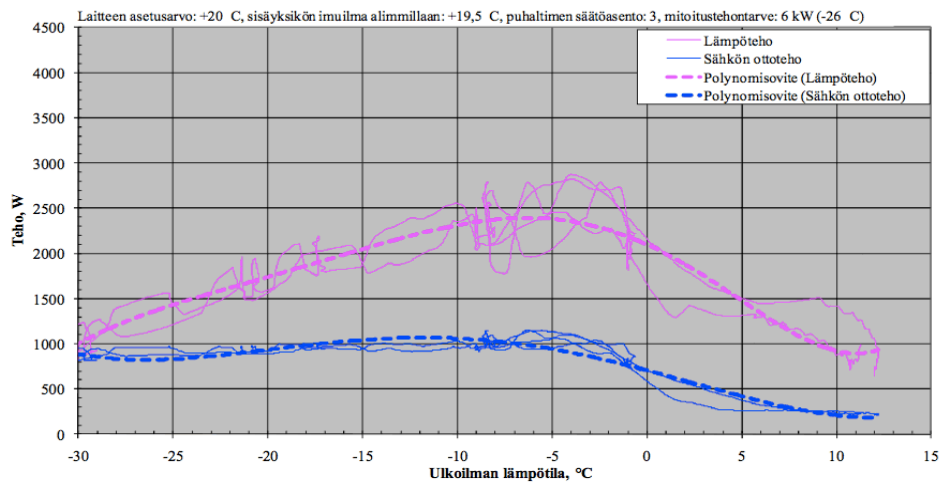
## LIITE 3

## Mitsubishi MSZ-GE25VA + MUZ-GE25VAH

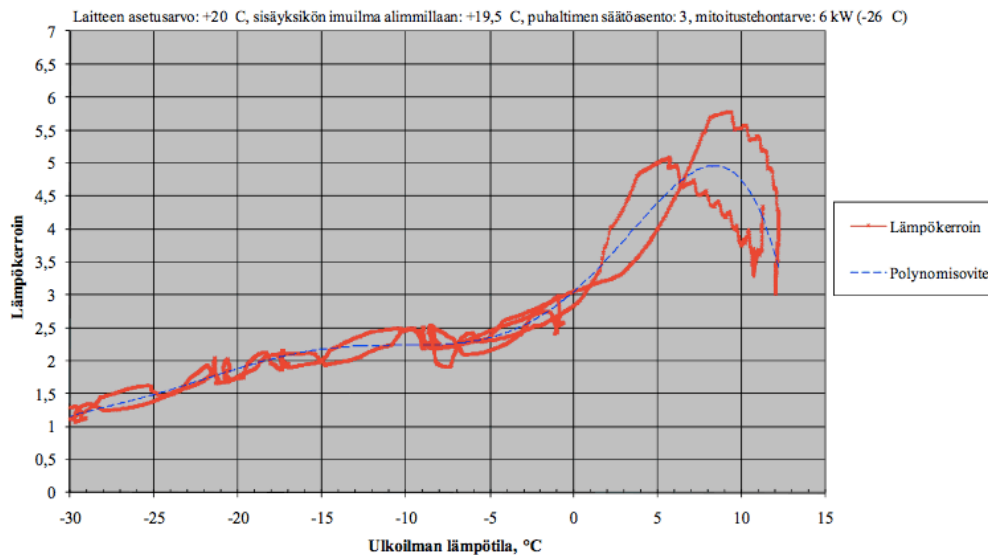
toimintakoe matalissa ulkoilman lämpötiloissa ja sulatusjaksot sisältävä lämpöerroin

- laitteen lämpötilan asetusarvo +20 °C
- sisäyksikön imuilma alimmillaan +19,5 °C
- puhaltimen säätöasento 3
- lämmitystehontarve 6 kW (mitoitettava ulkolämpötila -26 °C)

**Tehon liukuva tuntikeskiarvo sisältäen sulatusjaksot**



**Liukuva tuntilämpöerroin sisältäen sulatusjaksot**



- Lämpöerroin on tasaisen hyvää tasoa koko lämpöskaalalla
- Lämpöteho max. 2,4 kW
- Suositushinta 995 €

([www.scanoffice.fi](http://www.scanoffice.fi))

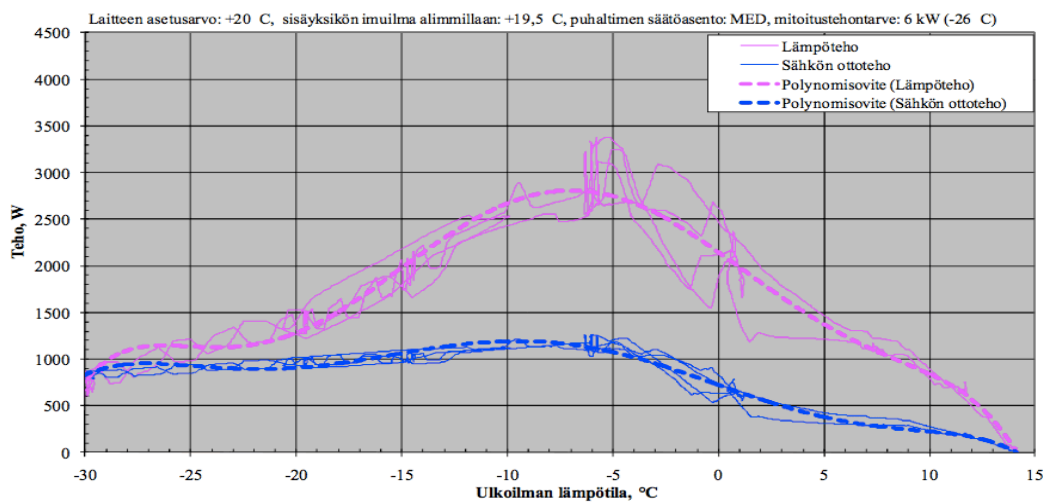
## LIITE 4

## Fujitsu ASYB09LDC + AOYS09LDC

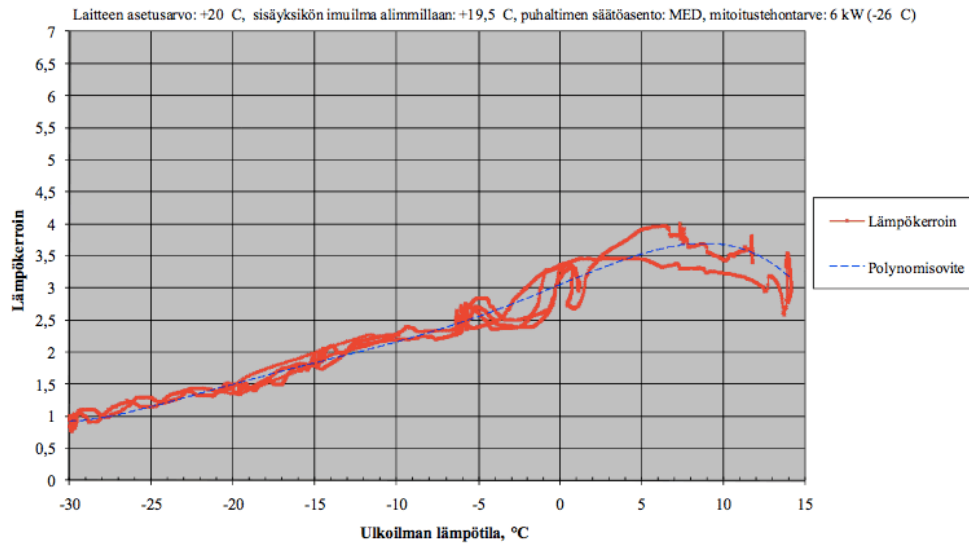
toimintakoe matalissa ulkoilman lämpötiloissa ja sulatusjaksot sisältävä lämpökerroin

- laitteen lämpötilan asetusarvo +20 °C
- sisäyksikön imuilma alimmillaan +19,5 °C
- puhaltimen säätöasento 3
- lämmitystehontarve 6 kW (mitoitettava ulkolämpötila -26 °C)

**Tehon liukuva tuntikeskiarvo sisältäen sulatusjaksot**



**Liukuva tuntilämpökerroin sisältäen sulatusjaksot**



- Lämpökerroin on kohtuullisen hyvä koko lämpöskaalalla mutta kovilla pakkasilla laite on hyödytön.
- Lämpöteho max. 2,8 kW laskee nopeasti kovemmissa pakkasilla kun lämpötehoa tarvitaan
- Suositushinta 1029 €

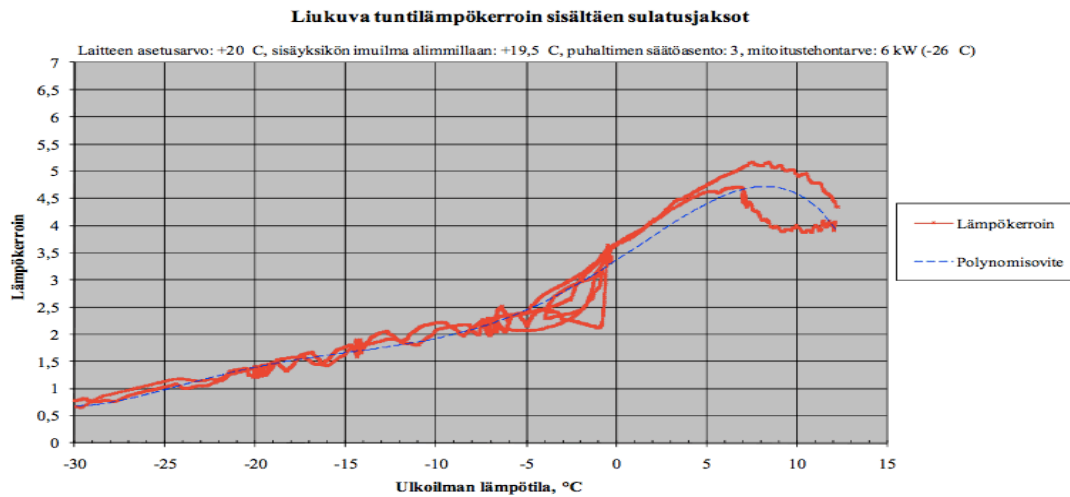
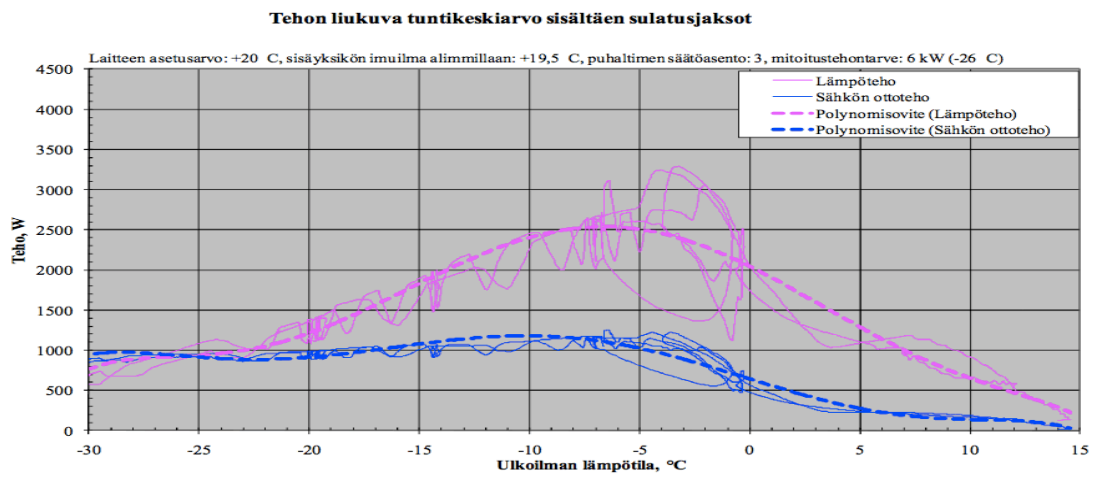
([www.scanoffice.fi](http://www.scanoffice.fi))

## LIITE 5

Panasonic CS-NE9JKE-1 + CU-NE9JKE-1

toimintakoe matalissa ulkoilman lämpötiloissa ja sulatusjaksot sisältävä lämpökerroin

- laitteen lämpötilan asetusarvo +20 °C
- sisäyksikön imuilma alimmillaan +19,5 °C
- puhaltimen säätöasento 3
- lämmitystehontarve 6 kW (mitoitettava ulkolämpötila -26 °C)



- Lämpökerroin parhaimmillaan +7 °C:ssa kun lämmitystarve on vielä varsin pieni. Lämpökerroin laskee melko jyrkästi pakkaselle mentäessä.
- Lämpöteho max. 2,5 kW. Kuluttaa -24 °C:een jälkeen enemmän kuin tuottaa.
- Suositushinta 1045 €

([www.scanoffice.fi](http://www.scanoffice.fi))

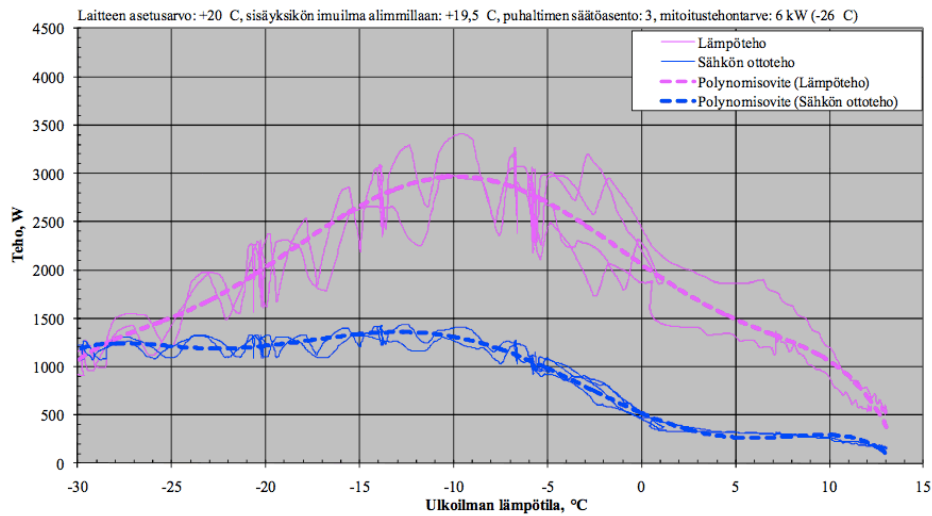
## LIITE 6

## Panasonic CS-HE9LKE + CU-HE9LKE

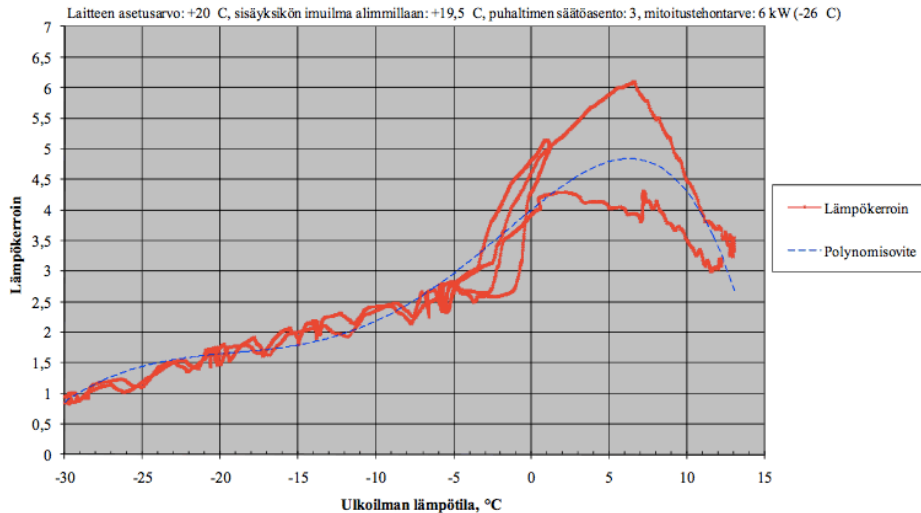
toimintakoe matalissa ulkoilman lämpötiloissa ja sulatusjaksot sisältävä lämpökerroin

- laitteen lämpötilan asetusarvo +20 °C
- sisäyksikön imuilma alimmillaan +19,5 °C
- puhaltimen säätöasento 3
- lämmitystehontarve 6 kW (mitoitettava ulkolämpötila -26 °C)

Tehon liukuva tuntikeskiarvo sisältäen sulatusjaksot



Liukuva tuntilämpökerroin sisältäen sulatusjaksot



- Lämpökerroin on hyvä -5 °C ja +7 °C:n välillä, mutta laskee nopeasti pakkasella.
- Lämpöteho max. 3 kW, joka laskee nopeasti -10 °C jälkeen.
- Suositushinta 1595 €

(www.scanoffice.fi)

## LIITE 7

## Jaksollisten maksujen nykyarvotekijän taulukko

## JAKSOLLISTEN SUORITUSTEN NYKYARVO

(1 euron suuristen jaksollisten suoritususten oletetaan tapahtuvan kulloinkin kysymyksessä olevan vuoden lopussa)

Kaava: 
$$\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}$$

n/i	5 %	6 %	7 %	8 %	10 %	12 %	15 %	20 %
1	0,952	0,943	0,935	0,926	0,909	0,893	0,870	0,833
2	1,859	1,833	1,808	1,783	1,736	1,690	1,626	1,528
3	2,723	2,673	2,624	2,577	2,487	2,402	2,283	2,106
4	3,546	3,465	3,387	3,312	3,170	3,037	2,855	2,589
5	4,329	4,212	4,100	3,993	3,791	3,605	3,352	2,991
6	5,076	4,917	4,767	4,623	4,355	4,111	3,785	3,326
7	5,786	5,582	5,389	5,206	4,868	4,564	4,160	3,605
8	6,463	6,210	5,971	5,747	5,335	4,968	4,487	3,837
9	7,108	6,802	6,515	6,247	5,759	5,326	4,772	4,031
10	7,722	7,360	7,024	6,710	6,144	5,650	5,019	4,193
11	8,306	7,887	7,499	7,139	6,495	5,938	5,234	4,327
12	8,863	8,384	7,943	7,536	6,814	6,194	5,421	4,439
13	9,394	8,853	8,358	7,904	7,103	6,424	5,583	4,533
14	9,899	9,295	8,745	8,244	7,367	6,628	5,724	4,611
15	10,380	9,712	9,108	8,599	7,606	6,811	5,847	4,676
20	12,462	11,470	10,594	9,818	8,514	7,469	6,259	4,870
30	15,372	13,765	12,409	11,258	9,427	8,055	6,566	4,980
40	17,159	15,046	13,332	11,925	9,779	8,244	6,642	4,997
50	18,256	15,762	13,801	12,233	9,915	8,304	6,660	5,000