

Metropolia Ammattikorkeakoulu  
Talotekniikan koulutusohjelma

**Antti Pitkänen**

**Erään pientalon peruskorjauksen LVI-järjestelmien  
elinkaartilaskenta ja kilpailutus**

Insinööritö 26.6.2009

Ohjaaja: toimitusjohtaja Mikko Äyräväinen  
Ohjaava opettaja: lehtori Erkki-Olavi Sainio

Tekijä Otsikko	Antti Pitkänen Erään pientalon peruskorjauksen LVI-järjestelmien elinkaarilaskenta ja kilpailutus
Sivumäärä Aika	69 sivua 26.06.2009
Koulutusohjelma	talotekniikka
Tutkinto	insinööri (AMK)
Ohjaaja Ohjaava opettaja	toimitusjohtaja Mikko Äyräväinen lehtori Erkki-Olavi Sainio
<p>Insinööriyön tavoitteena oli suorittaa erään peruskorjattavan pientalon LVI-järjestelmien eri järjestelmä- ja tuotevaihtoehtojen taloudellista vertailua. Tuotetta tai järjestelmää ei voi kuitenkaan valita ainoastaan taloudellisin perustein, vaan valinnassa tulee ottaa huomioon myös tilaajan toiveet, rakennuksen aiheuttamat rajoitteet ja rakennuksen sijainti.</p> <p>Työssä keskityttiin eniten lämmöntuotannon ja -jaon tarkasteluun ja laskemiseen. Lähempää tarkastelua vaati myös jätevesien käsittelyjärjestelmä ja ilmanvaihto. Työssä esiteltäväksi kilpailutukseksi valittiin ilmanvaihtokone. Kaikki valinnat pyrittiin perustelemaan. Työ keskittyi lähinnä suunnittelunäkökulmiin ja vertailuihin, mutta myös valittuja järjestelmiä esiteltiin.</p> <p>Insinööriyön lopputuloksena saatiin valittua kyseiseen pientaloon kokonaisuuden kannalta käyttöön sopivimmat ja taloudellisimmat LVI-järjestelmät. Lämmöntuottojärjestelmäksi valittiin maalämpöpumppu, ja lämmönjakojärjestelmäksi lattialämmitys ilman alapohjan lisäeristystä. Ilmanvaihdossa päädyttiin koneelliseen tulo-/poistoilmanvaihtoon, jätevesien käsittelyssä harmaiden jätevesien maasuodattamoon.</p>	
Hakusanat	pientalo, peruskorjaus, elinkaarilaskenta

Author Title	Antti Pitkänen Life cycle calculation and tendering of the HPAC systems of the renovation of a one-family house
Number of Pages Date	69 26 June 2009
Degree Programme	Building Services Engineering
Degree	Bachelor of Engineering
Instructor Supervisor	Mikko Äyräväinen, Managing director Erkki-Olavi Sainio, Senior Lecturer
<p>The goal of the final year project was to compare different system and product alternatives of the HVAC systems of a one-family house to be renovated from an economical point of view. However, products or systems cannot be chosen only on the economical grounds, but also the wishes of the customer, the confines of the building and the location of the building must be considered.</p> <p>In the project, the focus was on the examination and the calculation of the heat generation and heat distribution, but also ventilation and sewage treatment. The ventilation machine was chosen for tendering. All the choices were aimed to be justified. The focus was on comparisons and the planning viewpoints, but the selected systems and products were also introduced.</p> <p>As the result of the project, the most suitable and economical HVAC systems for the building could be chosen. A ground heat pump was chosen as the heat generation system, and underfloor heating without an additional base floor insulator as the heat distribution system. For ventilation mechanical supply and extract ventilation was chosen and for sewage treatment, a dirt filter for grey sewage.</p>	
Keywords	one-family house, renovation, life cycle costing

# Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

1 Johdanto .....	5
2 Lämmitysjärjestelmä .....	5
2.1 Lämmöntuottojärjestelmä .....	6
2.2 Lämmönjakojärjestelmä .....	6
2.3 Alapohjan lisäeristyksen kannattavuus .....	8
2.3.1 Lähtöarvojen määrittäminen .....	9
2.3.2 Energiansäästölaskelma .....	9
2.3.3 Kustannuslaskelma .....	9
2.3.4 Takaisinmaksuaika .....	9
2.3.5 Nykyarvo .....	10
2.3.6 Tulosten arviointi .....	10
3 Vesi- ja viemärijärjestelmä .....	11
3.1 Erottelevien kuivakäymäläistuimien laitevalinta .....	11
3.2 Puhdistusjärjestelmän valinta .....	12
4 Ilmanvaihtojärjestelmä .....	15
4.1 Ilmanvaihtojärjestelmä .....	15
4.2 Ilmavirrat .....	16
4.3 Ilmanvaihdon säätö .....	17
4.4 Ilmanvaihtokoneen kilpailutus .....	17
5 Päätäntö .....	20
Lähteet .....	21
Liite 1: Lämmönläpäisykertoimien laskeminen .....	24
Liite 2: Vuotuinen ostoenergiankulutus lattialämmityksessä ilman lisäeristettä (vaihtoehto 1) .....	29
Liite 3: Vuotuinen ostoenergiankulutus lisäeristeellä varustetussa lattialämmityksessä (vaihtoehto 2) .....	42
Liite 4: Vuotuinen ostoenergiankulutus patterilämmityksessä (vaihtoehto 3) .....	55
Liite 5: Kuivakäymäläistuimet .....	68
Liite 6: Ilmanvaihtokoneet .....	69

## 1 Johdanto

Pientalon LVI-suunnittelu on huomattavasti helpompaa kuin laajempien kiinteistöjen suunnittelu. Tämä johtaa usein myös siihen, että suunnitteluun ei juuri panosteta ja suunnittelija valitsee usein hänelle tutuimman tuotteen esimerkiksi elinkaarilaskelmia tekemättä. Myös erinäisten tutkimusten mukaan kuluttajat ovat haluttomia kilpailuttamaan valmistajia ja palveluntarjoajia, kuten tele- tai sähköoperaattoria.

Työssä tehdään eri järjestelmä- ja laitevaihtoehtojen taloudellista vertailua ottaen huomioon tilaajan toiveet, rakennuksen aiheuttamat rajoitteet (tilanahtaus) ja rakennuksen sijainti. Esiteltäväksi kilpailutukseksi valittiin ilmanvaihtokone. Rakennus on vuonna 1961 valmistunut pientalo Kuopiossa. Brutto-pinta-ala on 139,6 m<sup>2</sup> ja huoneistoala 124,5 m<sup>2</sup>. Rakennustilavuus on 405 m<sup>3</sup> ja ilmatilavuus 311 m<sup>3</sup>.

Insinööri työ yhdistää teorian ja käytännön työelämän. Työ vaatii ongelmanratkaisukykyä ja päätelmien tekoa sekä yhteistyötä eri tahojen kanssa, jolloin eri osista ja järjestelmistä syntyy yksi toimiva kokonaisuus. Aihe on myös tyypillinen insinöörin työtehtävä.

## 2 Lämmitysjärjestelmä

Rakennuksen lämmitysjärjestelmän avulla ylläpidetään terveellisiä ja viihtyisiä lämpöoloja, joilla on suora vaikutus muun muassa ihmisten terveyteen ja vireyteen. Toisaalta lämmitys kuluttaa paljon energiaa. [1] Vaikka nykyään rakennetaan taloja jopa ilman varsinaista lämmitysjärjestelmää, ei tämä vaihtoehto tule vanhassa rakennuksessa kyseeseen heikomman vaipan lämmöneristävyuden vuoksi.

Kohteen vanha lämmitysjärjestelmä on vesikiertoiset lämmityspatterit ja puu-/sähkölämmityskattila. Patterit ovat kunnostuksen jälkeen käyttökelpoiset, mutta lämmönjakoputket kaipaavat uusimista. Lämmöntuottojärjestelmä halutaan vaihtaa sellaiseksi, että se olisi yhtä aikaa vaivaton ja käyttökustannuksiltaan edullinen.

## 2.1 Lämmöntuottojärjestelmä

Suomessa suurin lämmityksen markkinaosuus on kaukolämmöllä, jolla katetaan lähes puolet rakennusten lämmitysenergiantarpeesta. Seuraavina tulevat sähkö, kevyt polttoöljy ja puu. [2] Lisäksi erilaiset lämpöpumppuratkaisut, joissa lämpöä siirretään joko maasta, poistoilmasta tai ulkoilmasta sisäilmaan, talousveteen tai lämmönjakojärjestelmään, ovat yleistyneet. Aurinkokeräimiä käytetään toistaiseksi lähinnä kokeiluluontoisesti sekä yleisemmin energiaverkkojen ulottumattomissa kuten saarissa.

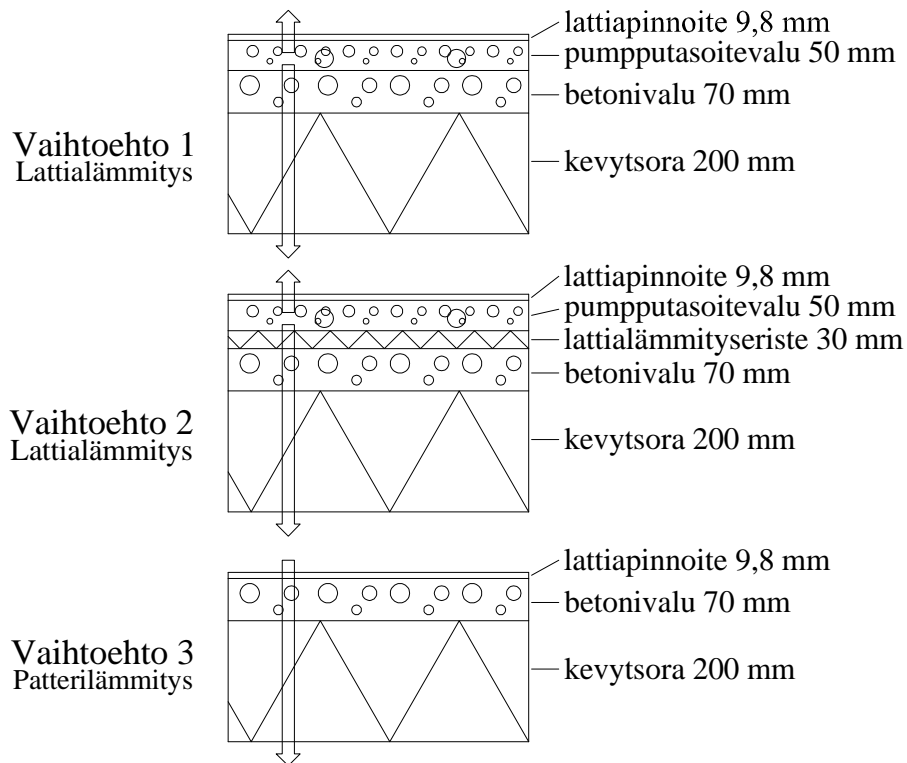
Tilaaaja toivoi kohteeseen vaivatonta, ekologista ja käytössä edullista lämmöntuottojärjestelmää. Lisäksi valintaa rajoittaa erillisen teknisen tilan puute. Kaukolämpöä kohteeseen ei ole saatavilla. Suora sähkölämmitys on edullinen hankintakustannuksiltaan, mutta käyttökustannuksiltaan korkeahko. Lisäksi on odotettavissa sähkön hinnannousua. Pelletti-, hake-, öljy- ja aurinkolämmitys puolestaan vaatisivat teknisen tilan. Niinpä valinta kohdistui maalämpöpumppuratkaisuun.

## 2.2 Lämmönjakojärjestelmä

Maalämpöpumpun kanssa käytetään vesikiertoista lämmönjakojärjestelmää. Sen etuna on myös se, että tarvittaessa lämmöntuottojärjestelmä voidaan vaihtaa koskematta lämmönjakoon.

Kohteessa on ollut käytössä vesikiertoiset lämmityspatterit, jotka joka tapauksessa vaativat investoinnin niiden kunnostukseen. Maalämpöpumpun kanssa ihanne olisi lattialämmitys, sillä matalien lämpötilojen vuoksi lämpöpumppu voi toimia tehokkaalla hyötysuhteella eli lämpökertoimella. Tässä kohteessa lattialämmityksen riskinä on kuitenkin lämmön johtuminen maahan vähäisten alapohjan lämmöneristeiden vuoksi. Niinpä valinta lattialämmityksen ja pattereiden välillä tehdään laskemalla ja vertaamalla niiden vuotuisia lämmityskustannuksia. Laskelmia varten tarvitsee tietää lämmönläpäisykertoimet, jotka on laskettu liitteessä 1.

Lämmönjakojärjestelmän valintaa varten luotiin kolme vaihtoehtoa: vaihtoehdossa 1 on lattialämmitys ilman lattialämmityseristettä, vaihtoehdossa 2 on lattialämmityseristeellä varustettu lattialämmitys ja vaihtoehdossa 3 patterilämmitys. Alla oleva kuva 1 selventää eroja.



*Kuva 1. Lämmönjakovaihtoehdot. Nuolet kuvaavat lämpöenergian johtumista alapohjan läpi: patterilämmityksessä huoneesta alapohjan läpi maahan ja lattialämmityksessä lattialämmityskerroksesta alas maahan ja ylös huoneilmaan. Lattialämmitysputkisto sijoitettaisiin pumpputasoitevaluun.*

Sähkönhintana käytettiin arvoa 0,11 e/kWh. Se on tämänhetkinen nimelliskokonaishinta 18 000 kWh vuodessa kuluttavalle pientalotyypikäyttäjälle Itä-Suomessa. [3]

*Taulukko 1. Asetettujen lämmönjakovaihtoehtojen vuotuinen ostoenergiankulutus ja vuotuinen ostoenergian hinta, kun lämmöntuotanto tapahtuu lämpöpumpulla. Tarkemmat laskelmat on esitetty liitteissä 2, 3 ja 4.*

	Energiankulutus	Energiakustannus
Vaihtoehto 1: Lattialämmitys	9866 kWh	1087 €/a
Vaihtoehto 2: Lattialämmitys +lisäeriste	8830 kWh	973 €/a
Vaihtoehto 3: Patterilämmitys	19647 kWh	2164 €/a

Laskelmien tulokseksi saatiin, että lattialämmitys ilman lisäeristettä kuluttaa suunnilleen puolet vähemmän ostoenergiaa eli sähköä kuin patterilämmitys. Samalla tietenkin myös vuotuinen energiakustannus jää puolet pienemmäksi. Tämä johtuu siitä, että patterilämmityksessä lämmitysverkoston lämpötilat ovat huomattavasti korkeammat, jolloin lämpöpumpun lämpökerroin jää pienemmäksi. Lattialämmityksessä lisäeriste laski vuotuista ostoenergiankulutusta noin 1000 kWh. Tarkemmat laskelmat on esitetty liitteissä 2, 3 ja 4. Niiden kaava- ja taulukkonumerot viittaavat Suomen Rakentamismääräyskokoelman osaan D5: Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta, ohjeet 2007.

### **2.3 Alapohjan lisäeristykseen kannattavuus**

Tarkoituksena on laskemalla selvittää, kannattaako alapohjan lisäeristäminen suhteessa kustannuksiin. Laskelma toteutetaan LVI-kortin 02-10018 *Energiansäästötoimenpiteiden kannattavuus* mukaisesti. Kannattavuutta tarkastellaan takaisinmaksuajan ja nykyarvon menetelmällä. Edellisessä lasketaan, kuinka pitkän ajan päästä investoinnin nettosäästöt ylittävät sen aiheuttamat hankintakustannukset. Jälkimmäisessä lasketaan vuotuisten säästöjen nykyarvon ja hankinta- sekä käyttökustannusten nykyarvon erotus. Hanke on kannattava, jos nykyarvo on positiivinen. [4] Jäännösarvo on negatiivinen, koska tuotteen käytöstä poistaminen aiheuttaa purkukustannuksia. Niinpä hankintakustannuksina käytetään lisäeristeen kokonaiskustannusten ja purkukustannuksen summaa, sillä purkukustannus lasketaan tämän päivän hintatasolla.



### 2.3.1 Lähtöarvojen määrittäminen

Sähköenergian hintana  $e_{sähkö}$  käytetään 0,11 e/kWh [3]. Kyseinen Itä-Suomen alueen nimellishinta sisältää sekä energia- että siirtomaksun ja verot. Lisäeriste maksaa ilman kuljetus- ja asennuskustannuksia 17,69 €/m<sup>2</sup> sisältäen arvonlisäveron [5]. Lisäeristeen kokonaishinnaksi  $q$  arvioidaan 20 €/m<sup>2</sup> kuljetus- ja asennuskustannuksineen. Negatiiviseksi jäännösarvoksi  $j$  eli purkukustannukseksi arvioidaan 15 €, joka on peräkärtyllisen loppusijoitettavan jätteen maksu [6]. Korkona  $p$  käytetään rakennustaloudellisissa laskelmissa usein käytettyä 5 %:n reaalista korkotuottovaatimusta. Energian reaalisen hinnannousuna  $i$  käytetään 2 %/a. Lisäeristeen käyttöaika  $n$  on 30 vuotta.

### 2.3.2 Energiansäästö laskelma

Ostoenergiankulutuksen ero  $\Delta Q_{lämmitys, osto}$  eli sähköenergiankulutuksen säästö  $W$  saadaan taulukosta 1:

$$\Delta Q_{lämmitys, osto} = W = (9866 - 8830) \text{ kWh} = 1036 \text{ kWh/a} \quad (1)$$

### 2.3.3 Kustannuslaskelma

Investoinnin hankintakustannus  $I$ :

$$I = q \times A + j = 20 \frac{\text{€}}{\text{m}^2} \times 124,5 \text{ m}^2 + 15 \text{ €} \approx 2505 \text{ €} \quad (2)$$

### 2.3.4 Takaisinmaksuaika

Takaisinmaksuaika  $T$ :

$$T = \frac{I}{W \times e_{sähkö} - K}, [4] \quad (3)$$

jossa  $e$  on energian yksikköhinta investointihetkellä (0,11 e/kWh) ja

$K$  on investoinnista aiheutuvat vuotuiset käyttökustannukset (netto).  $K = 0$  e/a.

Kaavaan 3 sijoittaen:

$$T = \frac{2505 \text{ €}}{1036 \frac{\text{kWh}}{\text{a}} \times 0,11 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} - 0 \frac{\text{€}}{\text{a}}} \approx 22 \text{ a}$$

### 2.3.5 Nykyarvo

Investoinnin nykyarvo  $N$ :

$$N = d_1 \times W \times e_{\text{sähkö}} - d_2 \times K - I, [4] \quad (4)$$

jossa  $d_n$  on jaksollisten suoritusten diskonttauskerroin.

Laskentakorko  $\bar{p}$  on:

$$\bar{p} = p - i = 5 - 2 = 3 \%, \quad (5)$$

jossa  $p$  on reaalikorko ja

$i$  on energian reaalin hintakehitys.

LVI-kortin 02-10018 *Energiansäästötoimenpiteiden kannattavuus* taulukosta 8 voidaan lukea laskentakoron  $\bar{p}$  ja käyttöiän  $n$  perusteella jaksollisten suoritusten diskonttauskerroin  $d_n$ .

$$d_1 = d_2 = 19,60$$

Kaavaan 4 sijoittaen:

$$N = 19,60 \times 1036 \frac{\text{kWh}}{\text{a}} \times 0,11 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} - 19,60 \times 0 \frac{\text{€}}{\text{a}} - 2505 \text{ €} \approx -271 \text{ €}$$

### 2.3.6 Tulosten arviointi

Takaisinmaksuaikamenetelmän mukaan alapohjan lisäeristys olisi heikosti kannattava, sillä takaisinmaksuaika venyy 22 vuoteen. Koska käyttöaika on pitkä, hanke olisi mahdollinen. Sen sijaan nykyarvomenetelmä tuottaa selkeästi negatiivisen tuloksen. Lattialämmityksen alapuolinen lisäeristäminen ei siis ole kannattava, ja se jätetään toteuttamatta.

### 3 Vesi- ja viemärijärjestelmä

Kiinteistön vesi- ja viemärijärjestelmä luo hyvät edellytykset muun muassa henkilökohtaiselle hygienialle ja ruuanlaitolle. Kohteen vesi- ja viemärijärjestelmä on tullut teknisen käyttökänsä päähän, ja se uusitaan. Vesi- ja viemärijärjestelmä poikkeaa tavanomaisesta ainoastaan wc-istumien osalta, sillä tilaaja haluaa kuivakäymäläistuimet. Talousvesiputket toteutetaan komposiittiputkella ja viemärit PP-muoviviemäriputkella.

#### 3.1 Erottelevien kuivakäymäläistumien laitevalinta

Tilaaja haluaa kohteeseen normaalien vesi-wc-istumien sijaan kuivakäymäläistuimet. Niiden valikoima on varsin laaja, ja toteutustapa vaihtelee huomattavasti. Osa tuotteista vaatii kompostointisäiliön rakennuksen alle ja osa on tarkoitettu kesämökkikäyttöön. Liitteeseen 5 on kerätty ne tuotteet, jotka soveltuvat sisätiloihin ja ympärivuotiseen käyttöön.

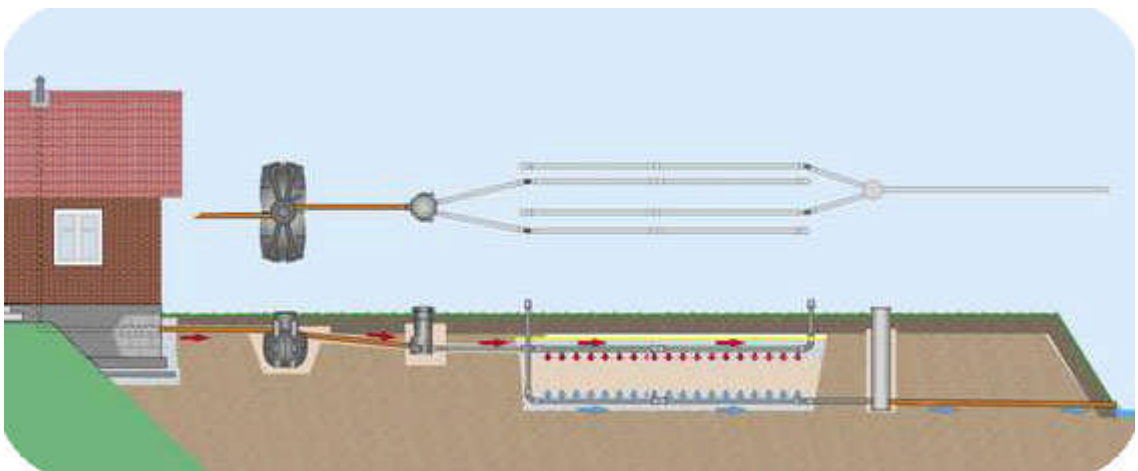
Eri kuivakäymäläistuinmallit on toteutettu hyvin erilaisilla tekniikoilla. Separett Villa 9000, Biolan Naturum ja WehoSeptic erottelevat virtsan viemäriin ja ulosteen tyhjennettävään astiaan [22; 23; 24]. Niissä tarvitaan ainoastaan tuuletin, joka varmistaa käymälän hajuttomuuden. MullToassa ja Excelissä virtsaa ja ulostetta ei erotella, vaan ylimääräinen kosteus haihdutetaan sähkövastuksen ja tuulettimen avulla pois. [25; 26] Cinderella Ecocat puolestaan polttaa tehokkaan sähkövastuksen avulla ulosteen ja virtsan tuhkaksi [27]. PikkuVihreä Privetti taas pakastaa jätteet, jolloin myös bakteerikasvu pysähtyy eikä se haise [28].

Cinderella Ecocatissa sekä hankintahinta että käyttökustannukset ovat korkeat, sillä laitteen sähköteho on huomattavasti muita laitteita korkeampi. Kuivikkeen lisäämisen laitteeseen voi kokea hankalaksi ja likaiseksi hommaksi sisätiloissa. Lopulta naapurin hyvien kokemusten perusteella tilaaja päätyi kuitenkin valitsemaan esitellyistä vaihtoehdoista MullToa 60:n kumpaankin wc-tilaan.

### 3.2 Puhdistusjärjestelmän valinta

Jätevesijärjestelmän uusimisessa edetään Ympäristöhallinnon ohjeiden mukaisesti [7]. Aluksi selvitettiin liitettävyyden vesihuoltolaitoksen viemäriverkoston. Kuopion Veden tai Itä-Kallaveden vesiosuuskunnan jätevesiverkoston ei ole lähettyvillä, eikä sellaisen rakentaminen ole lähitulevaisuuden suunnitelmissa [8; 9]. Naapurien pihoihin on sen verran matkaa ja välissä on peltoa, että kyseeseen tulee ainoastaan oma kiinteistökohtainen puhdistusjärjestelmä. Kohde sijaitsee pohjavesialueen ulkopuolella järven rannalla. Tilaaja haluaa kohteeseen kuivakäymälät, minkä vuoksi kohteessa syntyy ainoastaan niin sanottuja harmaita jätevesiä. Jätevesijärjestelmän kannalta tämä on erittäin hyvä asia. ”Suurin osa jäteveden fosforista ja typestä on peräisin virtsasta ja ulosteista [10].” Näin ollen jätevesijärjestelmä voidaan mitoittaa pienemmäksi.

Jätevesien käsittelyjärjestelmät voidaan jakaa tyypiltään kolmeen ryhmään: maahanimeyttämöihin, maasuodattamoihin tai niin sanottuihin laite- eli pienpuhdistamoihin [11]. Maahanimeytys on sallittu ainoastaan harmaille vesille kaksiosaisella saostuskaivolla varustettuna. Pienpuhdistamot puolestaan vaativat paljon huoltoa ja kuluttavat yleensä sekä sähköä että kemikaaleja. [12] Maasuodattamo on hiukan monimutkaisempi kuin maahanimeyttämö. Toisaalta maasuodattamo ei aseta vaatimuksia maaperälle, kun taas maahanimeyttämö vaatii imukykyisen maan.



*Kuva 2. Maapuhdistamon toimintaperiaate. Saostussäiliössä kelluva ja laskeutuva aines erotetaan jätevedestä. Säiliöstä jätevesi johdetaan maapuhdistamokenttään, jossa jätevesi suodatetaan hiekkakerroksen läpi ja kerätään kokoomasäiliöön. [13]*

Työn kohteessa on savipitoinen maaperä, jonka vuoksi valitaan maasuodattamo. Siinä jätevesi suodatetaan maakerroksen läpi, jonka jälkeen se kerätään kokoojakaivoon. Kokoojakaivosta puhdistettu jätevesi viedään maan päälle rinteeseen, josta se imeytyy maahan. Eri valmistajien maasuodattamot ovat hyvin samanlaisia ja samanhintaisia (noin 1900–2000 euroa). Näin ollen valinta voidaan jättää urakoitsijalle.

LVI-kortin 23-10405 ohjeiden mukaisesti maasuodattamo rakennetaan korkeuskäyrien suuntaisesti. Harmaille vesille riittää noin  $15 \text{ m}^2$ :n ala, eikä erillistä fosforinpoistoa tarvita. Jätevesien purkupaikka valittiin ottaen huomioon vesistön suojaraja ja tontin raja. [14]

Kuopion kaupungilla ei valitusten vuoksi ole voimassa olevia ympäristönsuojelumääräyksiä. Sovellettavat suojaetäisyydet vesistöstä ovat harmaille jätevesille 15–20 metriä ja mustille jätevesille 30 metriä. Jätevesien puhdistusjärjestelmän suojaetäisyys tiehen tai tontin rajaan on 5 metriä. Pystysuora suojaetäisyys pohjaveteen on maasuodattamon alapinnasta 0,25 metriä ja maahanimeyttämön alapinnasta yksi metri. Pohjaveden pinnankorkeutena pidetään ranta-alueella järven tulvakorkeutta, joka on tässä tapauksessa +81,61 metriä merenpinnasta. [15]

Mitoitusjäteveden määrä lasketaan LVI-kortin 23-10405 ohjeiden mukaisesti. ”Mitoituksessa käytettävän asukasmäärän on oltava vähintään se luku, mikä saadaan jakamalla rakennuksen huoneistoala neliömetreissä luvulla 30, kuitenkin siten, että mitoitusluku on vähintään viisi. [14]

$$\text{Asukasmäärä} = \frac{\text{huoneistoala (m}^2\text{)}}{30} = \frac{120}{30} = 4 \rightarrow 5 \text{ (hlö)}. \quad (6)$$

Pientaloissa vedenkulutus on yleensä 100...150 litraa asukasta kohden vuorokaudessa, mihin lisätään käyttövarmuuslisä 50 l/hlö/d. [14] Koska kohteessa jätevesien käsittelyjärjestelmään johdetaan ainoastaan niin sanotut harmaat vedet, 100 l/hlö/vrk riittänee.

Jäteveden määrä

$$= \text{asukasmäärä} * (\text{käyttöveden kulutus} + \text{käyttövarmuuslisä}) \quad (7)$$

$$= 5 * (100 + 50)$$

$$= 750 \text{ litraa vuorokaudessa.}$$

## 4 Ilmanvaihtojärjestelmä

Ilmanvaihtojärjestelmällä luodaan edellytykset terveelliselle, turvalliselle ja viihtyisälle sisäilmastolle. D2:n mukaisesti [16] toteutetulla ilmanvaihdolla ilman lämpöolosuhteet, kosteus, laatu ja melu ovat hyvällä tasolla. Ilmanvaihto poistaa ihmisistä, rakenteista ja laitteista vapautuvaa ylimääräistä kosteutta, lämpöä, pölyä ja kaasuja. [17]

### 4.1 Ilmanvaihtojärjestelmä

Erilaisia pientalojen ilmanvaihtojärjestelmiä on pääasiassa kolme: painovoimainen poistoilmanvaihto, koneellinen poistoilmanvaihto ja koneellinen tulo-/poistoilmanvaihto. Painovoimaisen poistoilmanvaihdon ongelma on vaikea ilmavirtojen hallinta ja niiden riippuminen sääolosuhteista. Lisäksi ilmavirrat ovat yleensä myös riittämättömät. Sekä painovoimaisessa että koneellisessa poistoilmanvaihdossa ulkoilman tuonti aiheuttaa usein vetoa, tai se tulee hallitsemattomasti rakenteiden vuotokohdista. [17]

Painovoimainen poistoilmanvaihto vaatii toimiakseen riittävän korkeuseron, ja siksi se toimiikin kohtuullisesti vanhoissa kerrostaloissa, joissa on suuri huonekorkeus. Tässä kohteessa huonekorkeus on vain 2,5 metriä ja lisäksi kartionmuotoinen vesikatto on hyvin loiva. Siksi painovoimaisesta poistoilmanvaihdosta päätettiin luopua. Vaihtoehtoiksi jäivät siten koneellinen poistoilmanvaihto ja koneellinen tulo-/poistoilmanvaihto. Koneellinen poistoilmanvaihto olisi helpompi rakentaa vähäisemmän kanavoinnin vuoksi. Poistoilman sisältämä lämpöenergia olisi myös mahdollista saada talteen käyttämällä poistoilmalämpöpumppua tai yhdistelmälämpöpumppua. Koneelliseen tulo-/poistoilmanvaihtoon päädyttiin kuitenkin parhaan lopputuloksen saamiseksi, sillä näin voidaan taata paras mahdollinen ilmanlaatu ja viihtyisyys ulkoisista olosuhteista tai toiminnasta riippumatta.

## 4.2 Ilmavirrat

Taulukossa 1 on esitetty ilmavirtojen mitoitus eri lähteiden ohjeiden mukaisesti. Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 ohjeen mukaan ”ulkoilmavirta määräytyy ensisijaisesti henkilöperusteen mukaan.” Myös tilakohtaisten ohjeiden tulee täyttyä, ellei asunto ole pieni. Pienin sallittu ilmanvaihtokerroin on 0,5 l/h. [16] Rakennuksen henkilömääränä käytetään arvoa (1 + makuuhuoneiden lukumäärä), jota käytetään myös energiatodistuksen laskemisessa [18].

*Taulukko 2. Tilakohtaiset ilmavirrat eri mitoitusperusteiden mukaan. Ensimmäinen sarake viittaa Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 liitteen 1 taulukon 1 ohjeilmavirtoihin. Toinen sarake viittaa D2:n ohjeeseen minimi-ilmanvaihtokertoimesta 0,5 l/h. Kolmas sarake viittaa LVI-kortin 73-40009 ohjeilmavirtoihin.*

Tila	Mitoitusperuste			Valittu ilmavirta
	D2 ohje [16]	D2 ohje [16]	LVI 73-40009 ohje [19]	
MH1	+0,5 (l/s)/m <sup>2</sup> => +4,5 l/s	+0,5 1/h => +3 l/s	+6 (l/s)/hlö => +6 l/s	+6 l/s
MH2	+0,5 (l/s)/m <sup>2</sup> => +8,8 l/s	+0,5 1/h => +6 l/s	+6 (l/s)/hlö => +12 l/s	+12 l/s
OH	+0,5 (l/s)/m <sup>2</sup> => 16,6 l/s	+0,5 1/h => +11,5 l/s	+6 (l/s)/hlö => +18 l/s	+17 l/s
Keittiö	-8 l/s		-15...-40 l/s	-10 l/s
Pesuh.	-10 l/s		-50...-100 l/s	-15 l/s
WC1	-7 l/s		-20 l/s	-14 l/s
WC2	-7 l/s		-20 l/s	-14 l/s
Pukuh.		±0,5 1/h => ±3 l/s		+7 l/s
Sauna	±2 (l/s)/m <sup>2</sup> => ±6 l/s		±4 (l/s)/hlö => ±12 l/s	+6 l/s
<u>Yhteensä</u>		0,5 1/h => 43 l/s		<u>+48/-53 l/s</u>



### 4.3 Ilmanvaihdon säätö

Asuinkäytössä ilmavirta on  $+48/-53$  l/s edellisen taulukon 2 mukaisesti. Ilmanvaihdon energiatehokkuus lähtee tarpeenmukaisesta ilmanvaihdosta. Koska esimerkiksi maaperästä voi vapautua radonia sekä rakenteista ja huonekaluista haitallisia kemiallisia yhdisteitä, tulee ilmanvaihdon olla aina päällä, vaikkei rakennuksessa oleskelisi ihmisiä [17]. Tällöin ilmanvaihdon tarve on kuitenkin pieni. Asukkaiden poissa ollessa ilmanvaihto voi olla  $0,3$  l/h, mikä tekee  $+26/-32$  l/s. Ilmanvaihtojärjestelmä on siis aina päällä vähintään ilmavirralla  $26$  l/s. Lisäksi 30 prosentin tehostus tarkoittaa ilmavirtaa  $+62/-69$  l/s.

Myös hiilidioksidi- ja kosteusantureiden käyttöä mietittiin. Hiilidioksidiohjaus tarjoaa automaattisesti hyvän sisäilmaston kaikissa käyttötilanteissa, ja kosteusohjaus auttaa pitämään rakenteet kuivina ja hyväkuntoisina. Mahdollinen säästö voisi syntyä siitä, ettei ilmanvaihto koskaan unohdu tarpeettoman tehokkaaksi. Niiden kannattavuuden laskeminen on kuitenkin erittäin hankalaa, koska yksinkertaisia vertailuarvoja käyttöajolle ja ilmavirroille ei ole. Lisäksi hiilidioksidi- ja kosteusanturit ovat suhteellisen arvokkaita, jolloin niiden mahdollisesti tuoma säästö voi jäädä saavuttamatta. Esimerkiksi Kair-ilmanvaihtokoneisiin huonetila-anturi kosteudelle maksaa noin 200 euroa ja hiilidioksidille noin 700 euroa [20].

### 4.4 Ilmanvaihtokoneen kilpailutus

Ilmanvaihtokone päätettiin valita elinkaarikustannusten perusteella, joiden mittariksi valittiin nykyarvo menetelmä. Ilmanvaihtokoneen elinkaarikustannuksiin vaikuttavat hankintahinta, lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde ja ominaissähköteho eli SFP-luku. Tarjouspyynnöt lähetettiin sähköpostitse kuudelle laitevalmistajalle, jotka saivat tarjota haluamaansa ilmanvaihtokonetta. Mitoitusta varten valmistajille lähetettiin tulo- ja poistoilmavirrat ( $+48/-53$  l/s), kanavapaine ( $+40/-40$  Pa) sekä mitoituslämpötilat tuloilmalle ( $+17$  °C), ulkoilmalle ( $-26$  °C) ja poistoilmalle ( $+22$  °C). Lisäksi varustetoiveiksi ilmoitettiin lämmöntalteenottolaite, sähkölämmityspatteri ja takkakytkin.

Ilmanvaihtokoneen vuotuinen lämmitysenergian tarve  $Q_{iv, lto}$  lasketaan kaavalla 8:

$$Q_{iv, lto} = \rho_i c_{pi} q_{v, tulo} (T_{tulo} - T_u) (1 - \eta_a) \Delta t, \quad (8)$$

jossa  $\rho_i$  on ilman tiheys 1,2 kg/m<sup>3</sup>,

$c_{pi}$  on ilman ominaislämpökapasiteetti 1 kWs/(kgK),

$q_{v, tulo}$  on tuloilmavirta 0,048 m<sup>3</sup>/s

$T_{tulo}$  on tuloilman lämmityksen asetusarvo +17 °C,

$T_u$  on ulkoilman vuotuinen keskilämpötila säävyöhykkeellä III +2,76 °C,

$\eta_a$  on kunkin ilmanvaihtokoneen valmistajan ilmoittama lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde ja

$\Delta t$  on ajanjakson pituus 8760 h/a [21].

Ilmanvaihtokoneen vuotuinen sähköenergiankulutus  $W_{iv}$  lasketaan kaavalla 10:

$$W_{iv} = P_{es} q_v \Delta t, \quad (9)$$

jossa  $P_{es}$  on kunkin ilmanvaihtokoneen valmistajan ilmoittama ominaissähköteho eli SFP-luku,

$q_v$  on ilmanvaihtokoneen tulo- ja poistoilmavirran keskiarvo 0,0505 m<sup>3</sup>/s ja

$\Delta t$  on ajanjakson pituus 8760 h/a [21].

Ilmanvaihtokoneen vuotuinen sähköenergiankulutus  $E_{iv}$  lasketaan kaavalla 10:

$$E_{iv} = (Q_{iv, lto} + W_{iv}) e_{sähkö}. \quad (10)$$

jossa  $e_{sähkö}$  on sähköenergian hinta 0,11 e/kWh.

Nykyarvo  $N$  lasketaan kaavalla 11:

$$N = I + \frac{(1 + \bar{p})^n - 1}{\bar{p}(1 + \bar{p})^n} E_{iv}. \quad (11)$$

jossa  $I$  on kunkin ilmanvaihtokoneen valmistajan ilmoittama hankintahinta,

$\bar{p}$  on laskentakorko 3 %, ks. luku 2.3.5 Nykyarvo ja

$n$  on ilmanvaihtokoneen käyttöaika 20 a [4].

Laskennassa ei ole otettu huomioon vuotuisia ilmanvaihtokoneen huoltokustannuksia, joiden arvioidaan olevan kaikissa laitteissa samansuuruisia.

Elinkaarikustannusten perusteella edullisimmaksi eli nykyarvoltaan pienimmäksi laitteeksi muodostui Enervent Pingvin eco ECE, joka sijoittuu vertailtujen laitteiden hintahaarukan puoliväliin. Sillä on myös paras vuosihyötysuhde. Toisaalta toiseksi halvimman ja huonoimman vuosihyötysuhteen omaavan laitteen elinkaarikustannukset olivat suurimmat. Ilmanvaihtokoneita vertaileva laskentataulukko on liitteessä 6.

## 5 Päätäntö

Insinööriyössä saatiin valittua pientaloon sopivin ja taloudellisin lämmöntuottojärjestelmä, lämmönjakojärjestelmä, ilmanvaihtojärjestelmä ja jätevesien käsittelyjärjestelmä. Yllättäen rakennuksen alkuperäisen patterilämmityksen korvaaminen uudella lattialämmityksellä oli taloudellinen vaihtoehto siitä huolimatta, että alapohjan eristävyys on heikko eikä sen parantaminen ollut taloudellisesti kannattavaa. Työ osoittaa sen, että LVI-järjestelmien elinkaarilaskenta ja kilpailutus on hyödyllistä myös pientalohankkeessa parhaiden järjestelmä- ja tuotevaihtoehtojen kartoittamiseksi.

## Lähteet

- 1 Seppänen, Olli: Rakennusten lämmitys. Helsinki: Suomen LVI-yhdistysten liitto ry., 1995.
- 2 Kaukolämpötilastointi. (WWW-dokumentti.) Energiateollisuus ry.  
[<http://www.energia.fi/fi/tilastot/kaukolampotilastot>] Haettu 21.8.2008.
- 3 Sähkön hintavertailu. (WWW-dokumentti.) Energiamarkkinavirasto.  
[<http://www.sahkonhinta.fi/summariesandgraphs>]. Haettu 25.3.2009.
- 4 Energiansäästötoimenpiteiden kannattavuuslaskelmat. LVI-kortti 02-10018.  
Rakennustietosäätiö, 1985.
- 5 Tehdashinnasto 2008. Voimassa 1.4.2008 alkaen toistaiseksi. (WWW-dokumentti.)  
ThermiSol Oy. [<http://www.thermisol.fi/static/files/103.Tehdashinnasto08A.pdf>]  
Haettu 27.5.2008.
- 6 Jäte kukko - Hinnastot. Paikallisten jäteasemien hinnastot 2009. (WWW-  
dokumentti.) Jäte kukko Oy.  
[[http://www.jatekukko.fi/www/fi/hinnastot/paikallisten\\_jateasemien\\_hinnastot.php](http://www.jatekukko.fi/www/fi/hinnastot/paikallisten_jateasemien_hinnastot.php)]  
Haettu 30.3.2009.
- 7 Miten edetä järjestelmän uusimisessa. (WWW-dokumentti.) Valtion  
ympäristöhallinto.  
[<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=277005&lan=fi&clan=fi>] Päivitetty  
24.4.2008. Haettu 15.5.2008.
- 8 Asennustarkastaja Peiponen Pentti, Kuopion kaupunki, Kuopion Vesi.  
Puhelinkeskustelu 14.5.2008.
- 9 Ruponen Mauri, Itä-Kallaveden vesiosuuskunta. Puhelinkeskustelu 15.5.2008.

- 10 Kärkkäinen Anne, Santala Erkki, Kujala-Räty Katriina ja Kaloinen Jorma: Hyvä jätevesien käsittely. Esite. Viides, tarkistettu painos. Ympäristöministeriö, Suomen ympäristökeskus, Suomen vesiensuojeluyhdistysten liitto ry., 2008. 16 s.  
[www.ymparisto.fi/julkaisut](http://www.ymparisto.fi/julkaisut) -> SYKEn esitteet.
- 11 Jätevesien käsittelyjärjestelmiä. (WWW-dokumentti.) Suomen ympäristökeskus.  
[<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=256652&lan=fi&clan=fi>] Päivitetty 20.11.2007. Haettu 15.5.2008.
- 12 Ympäristötarkastaja Tarvainen Pirjo, Kuopion kaupunki, Ympäristökeskus, Ympäristönsuojelutoimisto. Puhelinkeskustelu 15.5.2008.
- 13 Uponor-maapuhdistamo. (WWW-dokumentti.) Uponor Suomi Oy.  
[<http://www.uponor.fi/templates/Page.aspx?id=5924>] Haettu 11.5.2009.
- 14 Talousjätevesien käsittely haja-asutusalueilla. LVI-kortti 23-10405.  
Rakennustietosäätiö RTS ja LVI-Keskusliitto, 2006.
- 15 Ympäristötarkastaja Tarvainen Pirjo, Kuopion kaupunki, Ympäristökeskus, Ympäristönsuojelutoimisto. Puhelinkeskustelu 22.5.2008.
- 16 Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2: Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2003. Helsinki: Ympäristöministeriö, 2003.
- 17 Seppänen, Olli: Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. Helsinki: Kirjapaino Kiitorata Oy, 1996.
- 18 Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta. Helsinki: Ympäristöministeriö, 19. kesäkuuta 2007.

- 19 Asuinhuoneistossa tarvittavat ilmapirrat. LVI-kortti 73-40009. Rakennustietosäätiö, 1991.
- 20 Kair-tuotetuki, Pamon Oy. Puhelinkeskustelu 24.6.2008.
- 21 Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D5: Rakennusten energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ohjeet 2007. Helsinki: Ympäristöministeriö, 2007.
- 22 Villa 9000 - Sama mukavuus kuin kotona. (WWW-dokumentti.) Tuli Sähkö Oy. [<http://www.separett.fi/default.asp?id=1982&ptid=1976>] Haettu 1.6.2009.
- 23 Naturum. (WWW-dokumentti.) Biolan Oy. [<http://www.naturum.fi/>] Haettu 1.6.2009.
- 24 WehoSeptic. (WWW-dokumentti.) Oy KWH Pipe Ab. [[http://www.hanakat.fi/pdf/wehoseptic\\_kuivakaymala.pdf](http://www.hanakat.fi/pdf/wehoseptic_kuivakaymala.pdf)] Haettu 1.6.2009.
- 25 Tuotteet - Käymälät. (WWW-dokumentti.) Sunwind Oy. [<http://www.sunwind.fi/?q=node/35>] Haettu 1.6.2009.
- 26 Kuivakäymälät - Excel. (WWW-dokumentti.) Sun-Mar maahantuonti, Insinööritoimisto T. Niemelin. [<http://www.kuivakaymala.info/Excel.php>] Haettu 1.6.2009.
- 27 Cinderella Ecocat sähköpolttokäymälä. (WWW-dokumentti.) Oy Callidus Ab. [[http://www.callidus.fi/doc/wclaitteistot/Cinderella\\_esite.pdf](http://www.callidus.fi/doc/wclaitteistot/Cinderella_esite.pdf)] Haettu 1.6.2009.
- 28 PikkuVihreä Oy - Tuotteet. (WWW-dokumentti.) PikkuVihreä Oy. [[http://www.pikkuvihrea.fi/tuotteet\\_kaymalat.php?id=privetti](http://www.pikkuvihrea.fi/tuotteet_kaymalat.php?id=privetti)] Haettu 1.6.2009.

## 1 Lämmönläpäisykertoimet

Rakenteiden lämmönläpäisykertoimet eli U-arvot lasketaan Suomen rakentamismääräyskokoelman osan C4 mukaisesti.

Lämmönläpäisykerroin U lasketaan kaavalla 1:

$$U = \frac{1}{R_T}, \quad (1)$$

jossa  $R_T$  on rakennusosan kokonaislämmönvastus ympäristöstä ympäristöön. Se lasketaan kaavalla 2:

$$R_T = R_{si} + R_1 + \dots + R_n + R_g + R_b + R_{q1} + \dots + R_{qn} + R_{se}, \quad (2)$$

jossa  $R_{si}$  on sisäpuolinen pintavastus,

$R_n$  on ainekerroksen lämmönvastus,

$R_g$  on rakennusosassa olevan ilmakerroksen lämmönvastus,

$R_b$  on maan lämmönvastus,

$R_{qn}$  on ohuen ainekerroksen lämmönvastus ja

$R_{se}$  on ulkopuolinen pintavastus.

Ainekerroksen lämmönvastus  $R_n$  lasketaan kaavalla 3:

$$R_n = \frac{d_n}{\lambda_n}, \quad (3)$$

jossa  $d_n$  on ainekerroksen paksuus ja

$\lambda_n$  on ainekerroksen normaaliin lämmönjohtavuus. [1]

### 1.1 Alapohja

Olevassa alapohjarakenteessa on 200 mm kevytsoraa ja sen päällä on 70 mm betonivalu. Alapohja on maanvastainen. Mahdollisen vesikiertoisen lattialämmityksen lämmönjakoputkistot sijoitetaan 50 mm paksuun pumpputasoitevaluun. Lisäksi pohditaan 30 mm paksuisen lattialämmityseristeen sijoittamista betonin ja pumpputasoitevalun väliin. Maanvastaisen rakennusosan suurin sallittu lämmönläpäisykerroin on Suomen rakentamismääräyskokoelman osan C3 mukaan 0,24 W/m<sup>2</sup>K [2].



$$\text{Kevytsoara:} \quad R_1 = \frac{0,200 \text{ m}}{0,13 \frac{\text{W}}{\text{mK}}} \approx 1,5385 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$\text{Betoni:} \quad R_2 = \frac{0,070 \text{ m}}{1,7 \frac{\text{W}}{\text{mK}}} \approx 0,0412 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$\text{Lattialämmityseriste:} \quad R_3 = \frac{0,030 \text{ m}}{0,04 \frac{\text{W}}{\text{mK}}} = 0,75 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$\text{Lattiapinnoite:} \quad R_4 = \frac{0,0098 \text{ m}}{0,12 \frac{\text{W}}{\text{mK}}} \approx 0,0817 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$\text{Sisäpuolinen pintavastus} \quad R_{si \text{ alas}} = 0,17 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$\text{Sisäpuolinen pintavastus} \quad R_{si \text{ ylös}} = 0,10 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

Lattialämmityksestä lämpöä johtuu betonin ja mahdollisen lattialämmityseristeen läpi alaspäin maahan ja lattiapinnoitteen läpi ylöspäin huonetilaan.

Rakentamismääräyskokoelman osassa D5 todetaan maanvastaisen alapohjan energiankulutuksen laskemisesta, että ”alapohjan U-arvo lasketaan ilman maan lämmönvastusta rakentamismääräyskokoelman osan C4 ohjeesta poiketen,” kun laskentakaavassa käytetään alapohjan alapuolisen maan lämpötilaa  $T_{maa, vuosi}$ . [3]

Vaihtoehto 1: Lämmönläpäisykertoimet lattialämmityksessä ilman lattialämmityseristettä:

$$R_{T \text{ AP1 alas}} = R_1 + R_2 = (1,5385 + 0,0412) \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} = 1,5797 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$U_{\text{AP1 alas}} = \frac{1}{R_{T \text{ AP1 alas}}} = \frac{1}{1,5797 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}} \approx 0,63 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

$$R_{T \text{ AP1 ylös}} = R_4 + R_{si \text{ ylös}} = (0,0817 + 0,10) \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} = 0,1817 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$U_{\text{AP1 ylös}} = \frac{1}{R_{T \text{ AP1 ylös}}} = \frac{1}{0,1817 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}} \approx 5,50 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Vaihtoehto 2: Lämmönläpäisykerroin lattialämmityseristeellä varustetussa lattialämmityksessä:

$$R_{T\ AP2\ alas} = R_1 + R_2 + R_3 = (1,5385 + 0,0412 + 0,75) \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} = 2,3297 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$U_{AP2\ alas} = \frac{1}{R_{T\ AP2\ alas}} = \frac{1}{2,3297 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}} \approx 0,43 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

$$R_{T\ AP2\ ylös} = R_4 + R_{si\ ylös} = (0,0817 + 0,10) \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} = 0,1817 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$U_{AP2\ ylös} = \frac{1}{R_{T\ AP2\ ylös}} = \frac{1}{0,1817 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}} \approx 5,50 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Vaihtoehto 3: Lämmönläpäisykerroin patterilämmityksessä:

$$R_{T\ AP3\ alas} = R_1 + R_2 + R_4 + R_{si\ alas} = (1,5385 + 0,0412 + 0,0817 + 0,17) \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} = 1,8314 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$U_{AP3\ alas} = \frac{1}{R_{T\ AP3\ alas}} = \frac{1}{1,8314 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}} \approx 0,55 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

## 1.2 Yläpohja

Olevassa yläpohjarakenteessa on 300 mm betonia ja sen päällä on yhteensä 350 mm lasivillalevyä ja puhallusvilla. Yläpohjan suurin sallittu lämmönläpäisykerroin on Suomen rakentamismääräyskokoelman osan C3 mukaan  $0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$  [2].

Betoni:  $R_1 = \frac{0,300 \text{ m}}{1,7 \frac{\text{W}}{\text{mK}}} \approx 0,1765 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$

Villa:  $R_2 = \frac{0,350 \text{ m}}{0,060 \frac{\text{W}}{\text{mK}}} \approx 5,8333 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$

Sisäpuolinen pintavastus  $R_{si} = 0,10 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$

Katon ilmatilan lämmönvastus  $R_g = 0,20 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$

Ulkopuolinen pintavastus  $R_{se} = 0,04 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + R_g + R_{se}$$

$$R_T = (0,10 + 0,1765 + 5,8333 + 0,20 + 0,04) \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} = 6,3498 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$U_{YP} = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{6,3498 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}} \approx 0,16 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

### 1.3 Ulkoseinä

Olevassa ulkoseinärakenteessa on sisältäpäin lukien 150 mm täystiilimuurausta, 50 mm kivivillaa, tuulensuojapaperi ja 150 mm täystiilimuurausta. Ulkoseinän suurin sallittu lämmönläpäisykerroin on Suomen rakentamismääräyskokoelman osan C3 mukaan 0,25 W/m<sup>2</sup>K [2].

Täystiilimuuraus:  $R_1 = R_4 = \frac{0,150 \text{ m}}{0,65 \frac{\text{W}}{\text{mK}}} \approx 0,2308 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$

Kivivilla:  $R_2 = \frac{0,050 \text{ m}}{0,060 \frac{\text{W}}{\text{mK}}} \approx 0,8333 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$

Tuulensuojapaperi:  $R_3 = 0,02 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$  (ohuen ainekerroksen lämmönvastus)

Sisäpuolinen pintavastus  $R_{si} = 0,13 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$

Ulkopuolinen pintavastus  $R_{se} = 0,04 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_{se}$$

$$R_T = (0,13 + 0,2308 + 0,8333 + 0,02 + 0,2308 + 0,04) \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} = 1,4849 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$U_{US} = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{1,4849 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}} \approx 0,67 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

### 1.4 Ikkunat ja ulko-ovi

Ikkunat ja ulko-ovi uusitaan. Valmistajan ilmoittama U-arvo niille on 1,1 W/m<sup>2</sup>K [4].

### **Lähteet**

[1] Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa C4: Lämmöneristys. Ohjeet 2003. Helsinki: Ympäristöministeriö, 2002.

[2] Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa C3: Rakennuksen lämmöneristys. Määräykset 2007. Helsinki: Ympäristöministeriö, 2007.

[3] Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D5: Rakennusten energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ohjeet 2007. Helsinki: Ympäristöministeriö, 2007.

[4] Ikkunarakenteet - Tiivi. (WWW-dokumentti.) Tiivituote Oy.

[<http://www.tiivi.fi/default/sivut/ikkunat/rakenne/ikkunarakenteet/>] Haettu 11.5.2009.

**lisäeristettä (vaihtoehto 1)**

$q_{v, \text{tulo}}$	0,048 m <sup>3</sup> /s
$q_{v, \text{poisto}}$	0,053 m <sup>3</sup> /s
$\eta_t$	75 %
$\eta_a$	75 %
$t_d$	1 h/24h
$t_v$	1 vrk/7 vrk
$r$	1
$k$	0,6
$g_{\text{kohtisuora}}$	0,7
$T_{\text{tulo}}$	17 °C
Rakennustilavuus	405,0 m <sup>3</sup>
$A_{br}$	139,6 m <sup>2</sup>
Huoneistoala	124,5 m <sup>2</sup>
$V$	311,0 m <sup>3</sup>
$n$	3 hlö
$\eta_{\text{lämmitys}}$	3 -
Sähkön hinta	0,11 e/kWh

Rakennusosat	A m <sup>2</sup>	U W/m <sup>2</sup> K	$H_{\text{joht}}$ W/K kaava 4.2
Ulkoseinä	107,1	0,7	71,8
Yläpohja	124,5	0,2	19,9
Alapohja	124,5	0,6	78,4
Ovet	2,4	1,1	2,6
Ikkunat			
Pohjoiseen	4,8	1,1	5,3
Itään	6,1	1,1	6,7
Etelään	7,2	1,1	8,0
Länteen	6,8	1,1	7,5
Yht.	24,9165652	1,1	27,4082218

**Liite 2: Vuotuinen ostoenergiankulutus lattialämmityksessä ilman lisäeristettä (vaihtoehto 1)**

$\Delta t$	$T_u$	$T_s$	$T_{maa}$	$Q_{joht.US}$	$Q_{joht.YP}$	$Q_{joht.AP}$	$Q_{joht.IKK}$	$Q_{joht.OVI}$	$Q_{joht}$
h	°C	°C	°C	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
	taulukko L1.4		*	kaava 4.1	kaava 4.1	kaava 4.1	kaava 4.1	kaava 4.1	kaava 4.1
Tammikuu	744	-10,6	21	1687,0	468,3	719,6	644,4	62,1	3581,4
Helmi- kuu	672	-12,2	21	1600,9	444,4	702,6	611,5	58,9	3418,4
Maaliskuu	744	-2,58	21	1258,9	349,5	836,3	480,8	46,3	2971,8
Huhtikuu	720	0,2	21	1074,6	298,3	865,8	410,5	39,5	2688,7
Toukokuu	744	10,3	21	571,2	158,6	894,6	218,2	21,0	1863,7
Kesäkuu	720	14,9	21	315,2	87,5	809,3	120,4	11,6	1343,9
Heinäkuu	744	15	21	320,3	88,9	719,6	122,4	11,8	1263,0
Elokuu	744	14,8	21	331,0	91,9	661,2	126,4	12,2	1222,7
Syyskuu	720	7,97	21	673,2	186,9	583,4	257,1	24,8	1725,4
Lokakuu	744	1,73	21	1028,8	285,6	544,5	392,9	37,8	2289,7
Marraskuu	720	-0,59	21	1115,4	309,7	526,9	426,1	41,0	2419,1
Joulukuu	744	-6,9	21	1489,5	413,5	602,9	568,9	54,8	3129,6
Koko vuosi	8760	2,67	21	11466,1	3183,0	8466,8	4379,6	421,8	27917,3

\*) = kaavat 4.3 ja 4.4, taulukot 4.1 ja 4.2

**Liite 2: Vuotuinen ostoenergiankulutus lattialämmityksessä ilman  
lisäeristettä (vaihtoehto 1)**

31

	$\Delta t$ h	$T_u$ °C	$T_s$ °C	$q_v$ , vuotoilma m <sup>3</sup> /s	$H_{vuotoilma}$ W/K	$Q_{vuotoilma}$ kWh
		taulukko L1.4		kaava 4.7	kaava 4.6	kaava 4.5
Tammikuu	744	-10,6	21	0,0138	16,6	390,0
Helmikuu	672	-12,2	21	0,0138	16,6	370,1
Maaliskuu	744	-2,58	21	0,0138	16,6	291,0
Huhtikuu	720	0,2	21	0,0138	16,6	248,4
Toukokuu	744	10,3	21	0,0138	16,6	132,0
Kesäkuu	720	14,9	21	0,0138	16,6	72,8
Heinäkuu	744	15	21	0,0138	16,6	74,0
Elokuu	744	14,8	21	0,0138	16,6	76,5
Syyskuu	720	7,97	21	0,0138	16,6	155,6
Lokakuu	744	1,73	21	0,0138	16,6	237,8
Marraskuu	720	-0,59	21	0,0138	16,6	257,8
Joulukuu	744	-6,9	21	0,0138	16,6	344,3
Koko vuosi	8760	2,67	21	0,0138	16,6	2650,4

## lisäeristettä (vaihtoehto 1)

$\Delta t$ h	$T_u$ °C	$T_s$ °C	$H_{iv, ei lto}$ W/K	$H_{iv, lto}$ W/K	$Q_{lto}$ kWh	$Q_{iv, ei lto}$ kWh	$Q_{iv, lto}$ kWh	$Q_{lämmitys, tuoliimapatteri}$ kWh	
	taulukko L1.4		kaava 4.10	kaava 4.10	kaava 4.12	kaava 4.9	kaava 4.9	kaava 4.15	
Tammikuu	744	-10,6	21	63,6	16,0	1118,5	1495,3	376,8	64,3
Helmikuu	672	-12,2	21	63,6	16,0	1061,4	1418,9	357,6	68,9
Maaliskuu	744	-2,58	21	63,6	16,0	834,6	1115,8	281,2	4,5
Huhtikuu	720	0,2	21	63,6	16,0	712,5	952,5	240,0	0,0
Toukokuu	744	10,3	21	63,6	16,0	378,7	506,3	127,6	0,0
Kesäkuu	720	14,9	21	63,6	63,6	0,0	279,3	279,3	0,0
Heinäkuu	744	15	21	63,6	63,6	0,0	283,9	283,9	0,0
Elokuu	744	14,8	21	63,6	63,6	0,0	293,4	293,4	0,0
Syyskuu	720	7,97	21	63,6	16,0	446,3	596,7	150,4	0,0
Lokakuu	744	1,73	21	63,6	16,0	682,0	911,8	229,8	0,0
Marraskuu	720	-0,59	21	63,6	16,0	739,5	988,6	249,1	0,0
Joulukuu	744	-6,9	21	63,6	16,0	987,5	1320,2	332,7	36,7
Koko vuosi	8760	2,67	21	63,6	27,9	6960,9	10162,7	3201,7	174,4



**Liite 2: Vuotuinen ostoenergiankulutus lattialämmityksessä ilman lisäeristettä (vaihtoehto 1)**

	Q <sub>joht</sub> kWh	Q <sub>vuotoilma</sub> kWh	Q <sub>iv, lto</sub> kWh	Q <sub>lämmitys, tuloilmapatteri</sub> kWh	Q <sub>rak, lämpöenergiat</sub> kWh
	kaava 4.1	kaava 4.5	kaava 4.9	kaava 4.15	
Tammikuu	3581,4	390,0	376,8	64,3	4412,5
Helmikuu	3418,4	370,1	357,6	68,9	4214,9
Maaliskuu	2971,8	291,0	281,2	4,5	3548,4
Huhtikuu	2688,7	248,4	240,0	0,0	3177,2
Toukokuu	1863,7	132,0	127,6	0,0	2123,3
Kesäkuu	1343,9	72,8	279,3	0,0	1696,1
Heinäkuu	1263,0	74,0	283,9	0,0	1620,9
Elokuu	1222,7	76,5	293,4	0,0	1592,6
Syyskuu	1725,4	155,6	150,4	0,0	2031,4
Lokakuu	2289,7	237,8	229,8	0,0	2757,2
Marraskuu	2419,1	257,8	249,1	0,0	2926,1
Joulukuu	3129,6	344,3	332,7	36,7	3843,3
Koko vuosi	27917,3	2650,4	3201,7	174,4	33943,9

**Liite 2: Vuotuinen ostoenergiankulutus lattialämmityksessä ilman lisäeristettä (vaihtoehto 1)**

$\Delta t$	$Q_{\text{lämmitys, tilat, häv.}}$ kWh	$Q_{\text{lämmitys, tilat, keh.häv.}}$ kWh	$Q_{\text{lämmitys, tilat, jak.häv.}}$ kWh	$Q_{\text{lämmitys, tilat, luov.häv.}}$ kWh	$Q_{\text{lämmitys, tilat, säätöhäv.}}$ kWh	$Q_{\text{lämmitys, tilat, varaajahäv.}}$ kWh
vrk	kaava 6.1	taulukko 6.1	taulukko 6.1	taulukko 6.1	taulukko 6.1	taulukko 6.1
Tammikuu	31,0	986,5	169,9	104,7	628,2	83,8
Helmi	28,0	970,1	153,4	104,7	628,2	83,8
Maaliskuu	31,0	714,3	169,9	69,8	418,8	55,8
Huhtikuu	30,0	708,8	164,4	69,8	418,8	55,8
Toukokuu	31,0	442,1	169,9	34,9	209,4	27,9
Kesäkuu	30,0	164,4	164,4	0,0	0,0	0,0
Heinäkuu	31,0	169,9	169,9	0,0	0,0	0,0
Elokuu	31,0	169,9	169,9	0,0	0,0	0,0
Syyskuu	30,0	436,6	164,4	34,9	209,4	27,9
Lokakuu	31,0	714,3	169,9	69,8	418,8	55,8
Marraskuu	30,0	981,0	164,4	104,7	628,2	83,8
Joulukuu	31,0	986,5	169,9	104,7	628,2	83,8
Koko vuosi	365,0	7444,4	2000,0	698,0	4188,0	558,4

**Liite 2: Vuotuinen ostoenergiankulutus lattialämmityksessä ilman  
lisäeristettä (vaihtoehto 1)**

	$\Delta t$	$Q_{lkv, netto}$ kWh	$Q_{lkv, häviöt}$ kWh	$Q_{lkv}$ kWh	$V_{lkv}$ m <sup>3</sup>	$Q_{lkv, kehityshäviöt}$ kWh	$Q_{lkv, kiertohäviöt}$ kWh	$Q_{lkv, varaajahäviöt}$ kWh
	vrk	kaava 5.1	kaava 6.2	kaava 3.10	kaava 5.2		kaava 6.3	
Tammikuu	31	271,25	0	271,3	4,7	0,0	0,0	0,0
Helmikuu	28	245	0	245,0	4,2	0,0	0,0	0,0
Maaliskuu	31	271,25	0	271,3	4,7	0,0	0,0	0,0
Huhtikuu	30	262,5	0	262,5	4,5	0,0	0,0	0,0
Toukokuu	31	271,25	0	271,3	4,7	0,0	0,0	0,0
Kesäkuu	30	262,5	0	262,5	4,5	0,0	0,0	0,0
Heinäkuu	31	271,25	0	271,3	4,7	0,0	0,0	0,0
Elokuu	31	271,25	0	271,3	4,7	0,0	0,0	0,0
Syyskuu	30	262,5	0	262,5	4,5	0,0	0,0	0,0
Lokakuu	31	271,25	0	271,3	4,7	0,0	0,0	0,0
Marraskuu	30	262,5	0	262,5	4,5	0,0	0,0	0,0
Joulukuu	31	271,25	0	271,3	4,7	0,0	0,0	0,0
Koko vuosi	365	3193,75	0	3193,8	54,8	0,0	0,0	0,0

**Liite 2: Vuotuinen ostoenergiankulutus lattialämmityksessä ilman lisäeristettä (vaihtoehto 1)** 36

$\Delta t$	$Q_{henk}$ kWh	$Q_{lämmitys, kuori}$ kWh	$Q_{iky, kuorma}$ kWh	$Q_{säh, kuorma}$ kWh	$Q_{aur}$ kWh	$Q_{lämpökuorma}$ kWh
vrk	taulukko 8.1	kaava 8.3	kaava 8.4	tauluk. 8.3	kaava 8.6	kaava 8.11
Tammikuu	31	94,9	690,6	81,4	379,4	58,8
Helmikuu	28	85,7	679,1	73,5	342,7	280,9
Maaliskuu	31	94,9	500,0	81,4	379,4	466,9
Huhtikuu	30	91,8	496,2	78,8	367,2	770,3
Toukokuu	31	94,9	309,5	81,4	379,4	269,9
Kesäkuu	30	91,8	115,1	78,8	367,2	305,0
Heinäkuu	31	94,9	118,9	81,4	379,4	252,0
Elokuu	31	94,9	118,9	81,4	379,4	212,9
Syyskuu	30	91,8	305,6	78,8	367,2	134,7
Lokakuu	31	94,9	500,0	81,4	379,4	235,3
Marraskuu	30	91,8	686,7	78,8	367,2	50,0
Joulukuu	31	94,9	690,6	81,4	379,4	23,8
Koko vuosi	365	1116,8	5211,1	958,1	4467,2	3060,4
						14813,6

**Liite 2: Vuotuinen ostoenergiankulutus lattialämmityksessä ilman lisäeristettä (vaihtoehto 1)**

	Q <sub>aur, pohjoinen</sub> kWh	Q <sub>aur, itä</sub> kWh	Q <sub>aur, etelä</sub> kWh	Q <sub>aur, länsi</sub> kWh	G <sub>säteily, vaakapö</sub> kWh/m <sup>2</sup>	F <sub>suunta, P</sub>	F <sub>suunta, I</sub>	F <sub>suunta, E</sub>	F <sub>suunta, L</sub>
	kaava 8.6	kaava 8.6	kaava 8.6	kaava 8.6	tauluk L1.4	tauluk L1.4	tauluk L1.4	tauluk L1.4	tauluk L1.4
Tammikuu	9,6	12,3	23,6	13,3	5,7	0,754	0,877	1,614	0,842
Helmi	33,1	52,2	131,7	63,9	23,3	0,652	0,944	2,172	1,026
Maalis	68,4	100,9	178,3	119,2	47,3	0,664	0,899	1,376	0,943
Huhtik	105,8	183,3	272,7	208,5	93,4	0,537	0,827	1,027	0,835
Toukoku	34,3	68,0	92,2	75,4	147,1	0,368	0,634	0,678	0,624
Kesäku	41,1	81,5	98,6	83,8	171,4	0,410	0,668	0,615	0,610
Heinäku	35,7	69,7	80,1	66,5	138,4	0,421	0,691	0,619	0,585
Eloku	25,0	51,3	75,5	61,2	116,4	0,358	0,642	0,789	0,680
Syysku	14,0	31,0	55,4	34,3	61,4	0,352	0,708	1,085	0,697
Lokaku	21,8	47,7	113,0	52,9	26,6	0,376	0,737	1,632	0,726
Marrasku	8,5	11,1	18,2	12,2	5,5	0,709	0,818	1,327	0,800
Jouluku	4,4	5,6	7,5	6,3	2,8	0,714	0,750	1,071	0,750
Koko vuosi	401,5	714,6	1146,8	797,5	839,3	0,432	0,708	0,863	0,687

**Liite 2: Vuotuinen ostoenergiankulutus lattialämmityksessä ilman  
lisäeristettä (vaihtoehto 1)**

	$F_{\text{läpäisy, P}}$	$F_{\text{läpäisy, I+L}}$	$F_{\text{läpäisy, E}}$	$F_{\text{ympäristö, P}}$	$F_{\text{ympäristö, I+L}}$	$F_{\text{ympäristö, E}}$
	kaava 8.8	kaava 8.8	kaava 8.8	tauluk. 8.6	tauluk. 8.6	tauluk. 8.6
Tammikuu	0,73500	0,64500	0,56250	0,98	0,86	0,75
Helmikuu	0,72000	0,62250	0,57000	0,96	0,83	0,76
Maaliskuu	0,72000	0,62250	0,60000	0,96	0,83	0,80
Huhtikuu	0,69750	0,62250	0,62250	0,93	0,83	0,83
Toukokuu	0,20925	0,19125	0,20250	0,93	0,85	0,90
Kesäkuu	0,19350	0,18675	0,20475	0,86	0,83	0,91
Heinäkuu	0,20250	0,19125	0,20475	0,90	0,85	0,91
Elokuu	0,19800	0,18000	0,18000	0,88	0,80	0,80
Syyskuu	0,21375	0,18675	0,18225	0,95	0,83	0,81
Lokakuu	0,72000	0,63750	0,57000	0,96	0,85	0,76
Marraskuu	0,72000	0,64500	0,54750	0,96	0,86	0,73
Joulukuu	0,73500	0,69750	0,54750	0,98	0,93	0,73
Koko vuosi						



## lisäeristettä (vaihtoehto 1)

Kk	$\Delta t$ vrk	$Q_{rak}$ lämpöenerg. kWh	$Q_{lämpökuorma}$ kWh	$\eta_{lämpö}$	$Q_{sis.lämpö}$ kWh	$Q_{lämmitys, tilat, netto}$ kWh	$Q_{lämmitys, tilat, häviö}$ kWh	$Q_{lämmitys, tilat}$ kWh	$Q_{kv}$ kWh	$Q_{lämmitys}$ kWh
Tammi	31	4412,5	kaava 8.11 1305,0	kaava 8.13 0,999999	kaava 8.12 1305,0	kaava 3.9 3043,2	kaava 6.1 986,5	kaava 3.8 4029,7	kaava 3.10 271,3	kaava 3.7 4301,0
Helmi	28	4214,9	1461,8	0,999993	1461,8	2684,2	970,1	3654,3	245,0	3899,3
Maalis	31	3548,4	1522,5	0,999898	1522,4	2021,6	714,3	2735,9	271,3	3007,1
Huhti	30	3177,2	1804,1	0,998284	1801,1	1376,1	708,8	2084,9	262,5	2347,4
Touko	31	2123,3	1135,0	0,996845	1131,4	991,9	442,1	1434,0	271,3	1705,3
Kesä	30	1696,1	957,8	0,984027	942,5	753,6	164,4	918,0	262,5	1180,5
Heinä	31	1620,9	926,5	0,98581	913,4	707,5	169,9	877,4	271,3	1148,6
Elo	31	1592,6	887,4	0,989313	878,0	714,6	169,9	884,5	271,3	1155,8
Syys	30	2031,4	978,0	0,999534	977,6	1053,8	436,6	1490,4	262,5	1752,9
Loka	31	2757,2	1290,9	0,999839	1290,7	1466,5	714,3	2180,8	271,3	2452,1
Marras	30	2926,1	1274,4	0,999934	1274,3	1651,8	981,0	2632,8	262,5	2895,3
Joulu	31	3843,3	1270,0	0,999997	1270,0	2536,6	986,5	3523,1	271,3	3794,3
Vuosi	365	33943,9	14813,6	0,999831	14811,1	18958,4	7444,4	26402,8	3193,8	29596,5



**Liite 2: Vuotuinen ostoenergiankulutus lattialämmityksessä ilman lisäeristettä (vaihtoehto 1)**

	$\Delta t$	$T_u$	$T_s$	$Q_{\text{lämmitys}}$	$W_{\text{laitesähkö}}$	$Q_{\text{jäähdytys, tilat}}$	$E_{\text{rakennus}}$	$Q_{\text{et}}$	$Q_{\text{lämmitys, osto}}$	$E_{\text{lämmitys, osto}}$
	vrk	°C	°C	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh/brm <sup>2</sup>	kWh	€
			tauluk. L1.4		tauluk. 7.1	kaava 3.11	kaava 3.6		kaava 3.1	
Tammikuu	31	-10,60	21	4301,0	592,8	0,0	4893,8	35	1433,7	157,70
Helmikuu	28	-12,20	21	3899,3	535,5	0,0	4434,7	32	1299,8	142,97
Maaliskuu	31	-2,58	21	3007,1	592,8	0,0	3600,0	26	1002,4	110,26
Huhtikuu	30	0,20	21	2347,4	573,7	0,0	2921,1	21	782,5	86,07
Toukokuu	31	10,30	21	1705,3	592,8	0,0	2298,1	16	568,4	62,53
Kesäkuu	30	14,90	21	1180,5	573,7	0,0	1754,2	13	393,5	43,28
Heinäkuu	31	15,00	21	1148,6	592,8	0,0	1741,4	12	382,9	42,12
Elokuu	31	14,80	21	1155,8	592,8	0,0	1748,6	13	385,3	42,38
Syyskuu	30	7,97	21	1752,9	573,7	0,0	2326,6	17	584,3	64,27
Lokakuu	31	1,73	21	2452,1	592,8	0,0	3044,9	22	817,4	89,91
Marraskuu	30	-0,59	21	2895,3	573,7	0,0	3469,0	25	965,1	106,16
Joulukuu	31	-6,90	21	3794,3	592,8	0,0	4387,2	31	1264,8	139,13
Koko vuosi	365	2,67	21	29596,5	6980,0	0,0	36576,5	262	9865,5	1086,78

**lattiaämmityksessä (vaihtoehto 2)**

$q_v$ , tulo	0,048 m <sup>3</sup> /s
$q_v$ , poisto	0,053 m <sup>3</sup> /s
$\eta_t$	75 %
$\eta_a$	75 %
$t_d$	1 h/24h
$t_v$	1 vrk/7 vrk
$r$	1
$k$	0,6
$g_{\text{kohtisuora}}$	0,7
$T_{\text{tulo}}$	17 °C
Rakennustilavuus	405,0 m <sup>3</sup>
$A_{\text{pr}}$	139,6 m <sup>2</sup>
Huoneistoala	124,5 m <sup>2</sup>
$V$	311,0 m <sup>3</sup>
$n$	3 hlö
$\eta_{\text{lämmitys}}$	3 -
Sähkön hinta	0,11 e/kWh

Rakennusosat	A m <sup>2</sup>	U W/m <sup>2</sup> K	$H_{\text{joht}}$ W/K kaava 4.2
Ulkoseinä	107,1	0,7	71,8
Yläpohja	124,5	0,2	19,9
Alapohja	124,5	0,4	53,5
Ovet	2,4	1,1	2,6
Ikkunat			
Pohjoiseen	4,8	1,1	5,3
Itään	6,1	1,1	6,7
Etelään	7,2	1,1	8,0
Länteen	6,8	1,1	7,5
Yht.	24,9165652	1,1	27,4082218

**Liite 3: Vuotuinen ostoenergiankulutus lisäeristeellä varustetussa lattialämmityksessä (vaihtoehto 2)**

$\Delta t$	$T_u$	$T_s$	$T_{maa}$	$Q_{joht.US}$	$Q_{joht.YP}$	$Q_{joht.AP}$	$Q_{joht.IKK}$	$Q_{joht.OVI}$	$Q_{joht}$
h	°C	°C	°C	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
	taulukko L1.4		*	kaava 4.1	kaava 4.1	kaava 4.1	kaava 4.1	kaava 4.1	kaava 4.1
Tammikuu	744	-10,6	21	1687,0	468,3	491,1	644,4	62,1	3352,9
Helmikuu	672	-12,2	21	1600,9	444,4	479,6	611,5	58,9	3195,3
Maaliskuu	744	-2,58	21	1258,9	349,5	570,8	480,8	46,3	2706,3
Huhtikuu	720	0,2	21	1074,6	298,3	590,9	410,5	39,5	2413,9
Toukokuu	744	10,3	21	571,2	158,6	610,6	218,2	21,0	1579,7
Kesäkuu	720	14,9	21	315,2	87,5	552,4	120,4	11,6	1087,0
Heinäkuu	744	15	21	320,3	88,9	491,1	122,4	11,8	1034,5
Elokuu	744	14,8	21	331,0	91,9	451,3	126,4	12,2	1012,8
Syyskuu	720	7,97	21	673,2	186,9	398,2	257,1	24,8	1540,2
Lokakuu	744	1,73	21	1028,8	285,6	371,6	392,9	37,8	2116,8
Marraskuu	720	-0,59	21	1115,4	309,7	359,7	426,1	41,0	2251,9
Joulukuu	744	-6,9	21	1489,5	413,5	411,5	568,9	54,8	2938,2
Koko vuosi	8760	2,67	21	11466,1	3183,0	5778,9	4379,6	421,8	25229,5

\*) = kaavat 4.3 ja 4.4, taulukot 4.1 ja 4.2

**Liite 3: Vuotuinen ostoenergiankulutus lisäeristeellä varustetussa  
lattialämmityksessä (vaihtoehto 2)**

	$\Delta t$	$T_u$	$T_s$	$q_v$ , vuotoilma	H_vuotoilma	$Q_{vuotoilma}$
	h	°C	°C	m <sup>3</sup> /s	W/K	kWh
		taulukko L1.4		kaava 4.7	kaava 4.6	kaava 4.5
Tammikuu	744	-10,6	21	0,0138	16,6	390,0
Helmikuu	672	-12,2	21	0,0138	16,6	370,1
Maaliskuu	744	-2,58	21	0,0138	16,6	291,0
Huhtikuu	720	0,2	21	0,0138	16,6	248,4
Toukokuu	744	10,3	21	0,0138	16,6	132,0
Kesäkuu	720	14,9	21	0,0138	16,6	72,8
Heinäkuu	744	15	21	0,0138	16,6	74,0
Elokuu	744	14,8	21	0,0138	16,6	76,5
Syyskuu	720	7,97	21	0,0138	16,6	155,6
Lokakuu	744	1,73	21	0,0138	16,6	237,8
Marraskuu	720	-0,59	21	0,0138	16,6	257,8
Joulukuu	744	-6,9	21	0,0138	16,6	344,3
Koko vuosi	8760	2,67	21	0,0138	16,6	2650,4

## lattia­lämmityksessä (vaihtoehto 2)

$\Delta t$ h	$T_u$ °C	$T_s$ °C	$H_{iv, ei\ ito}$ W/K	$H_{iv, ito}$ W/K	$H_{iv, ito}$ W/K	$Q_{to}$ kWh	$Q_{iv, ei\ ito}$ kWh	$Q_{iv, ito}$ kWh	$Q_{lämmitys, tulolämpöpatterit}$ kWh
	taulukko L1.4		kaava 4.10	kaava 4.10	kaava 4.10	kaava 4.12	kaava 4.9	kaava 4.9	kaava 4.15
Tammikuu	744	-10,6	63,6	63,6	16,0	1118,5	1495,3	376,8	64,3
Helmikuu	672	-12,2	63,6	63,6	16,0	1061,4	1418,9	357,6	68,9
Maaliskuu	744	-2,58	63,6	63,6	16,0	834,6	1115,8	281,2	4,5
Huhtikuu	720	0,2	63,6	63,6	16,0	712,5	952,5	240,0	0,0
Toukokuu	744	10,3	63,6	63,6	16,0	378,7	506,3	127,6	0,0
Kesäkuu	720	14,9	63,6	63,6	63,6	0,0	279,3	279,3	0,0
Heinäkuu	744	15	63,6	63,6	63,6	0,0	283,9	283,9	0,0
Elokuu	744	14,8	63,6	63,6	63,6	0,0	293,4	293,4	0,0
Syyskuu	720	7,97	63,6	63,6	16,0	446,3	596,7	150,4	0,0
Lokakuu	744	1,73	63,6	63,6	16,0	682,0	911,8	229,8	0,0
Marraskuu	720	-0,59	63,6	63,6	16,0	739,5	988,6	249,1	0,0
Joulukuu	744	-6,9	63,6	63,6	16,0	987,5	1320,2	332,7	36,7
Koko vuosi	8760	2,67	63,6	63,6	27,9	6960,9	10162,7	3201,7	174,4

**Liite 3: Vuotuinen ostoenergiankulutus lisäeristeellä varustetussa  
lattialämmityksessä (vaihtoehto 2)**

	Q <sub>joht</sub> kWh	Q <sub>vuotoilma</sub> kWh	Q <sub>iv, lto</sub> kWh	Q <sub>lämmitys, tuloilmapatteri</sub> kWh	Q <sub>rak, lämpöenergiat</sub> kWh
	kaava 4.1	kaava 4.5	kaava 4.9	kaava 4.15	
Tammikuu	3352,9	390,0	376,8	64,3	4184,0
Helmikuu	3195,3	370,1	357,6	68,9	3991,8
Maaliskuu	2706,3	291,0	281,2	4,5	3282,9
Huhtikuu	2413,9	248,4	240,0	0,0	2902,3
Toukokuu	1579,7	132,0	127,6	0,0	1839,3
Kesäkuu	1087,0	72,8	279,3	0,0	1439,2
Heinäkuu	1034,5	74,0	283,9	0,0	1392,5
Elokuu	1012,8	76,5	293,4	0,0	1382,7
Syyskuu	1540,2	155,6	150,4	0,0	1846,2
Lokakuu	2116,8	237,8	229,8	0,0	2584,4
Marraskuu	2251,9	257,8	249,1	0,0	2758,8
Joulukuu	2938,2	344,3	332,7	36,7	3651,9
Koko vuosi	25229,5	2650,4	3201,7	174,4	31256,0

**Liite 3: Vuotuinen ostoenergiankulutus lisäeristeellä varustetussa  
lattialämmityksessä (vaihtoehto 2)**

$\Delta t$	$Q_{\text{lämmitys, tilat, häv.}}$ kWh	$Q_{\text{lämmitys, tilat, keh. häv.}}$ kWh	$Q_{\text{lämmitys, tilat, jak. häv.}}$ kWh	$Q_{\text{lämmitys, tilat, luov. häv.}}$ kWh	$Q_{\text{lämmitys, tilat, säätöhäv.}}$ kWh	$Q_{\text{lämmitys, tilat, varaajahäv.}}$ kWh
vrk	kaava 6.1	taulukko 6.1	taulukko 6.1	taulukko 6.1	taulukko 6.1	taulukko 6.1
Tammikuu	31,0	777,1	169,9	104,7	418,8	83,8
Helmikuu	28,0	760,7	153,4	104,7	418,8	83,8
Maaliskuu	31,0	574,7	169,9	69,8	279,2	55,8
Huhtikuu	30,0	569,2	164,4	69,8	279,2	55,8
Toukokuu	31,0	372,3	169,9	34,9	139,6	27,9
Kesäkuu	30,0	164,4	164,4	0,0	0,0	0,0
Heinäkuu	31,0	169,9	169,9	0,0	0,0	0,0
Elokuu	31,0	169,9	169,9	0,0	0,0	0,0
Syyskuu	30,0	366,8	164,4	34,9	139,6	27,9
Lokakuu	31,0	574,7	169,9	69,8	279,2	55,8
Marraskuu	30,0	771,6	164,4	104,7	418,8	83,8
Joulukuu	31,0	777,1	169,9	104,7	418,8	83,8
Koko vuosi	365,0	6048,4	2000,0	698,0	2792,0	558,4

**Liite 3: Vuotuinen ostoenergiankulutus lisäeristeellä varustetussa lattialämmityksessä (vaihtoehto 2)**

$\Delta t$	$Q_{ikv, netto}$ kWh	$Q_{ikv, häviöt}$ kWh	$Q_{ikv}$ kWh	$V_{ikv}$ m <sup>3</sup>	$Q_{ikv, kehityshäviöt}$ kWh	$Q_{ikv, kiertohäviöt}$ kWh	$Q_{ikv, varaajahäviöt}$ kWh
	kaava 5.1	kaava 6.2	kaava 3.10	kaava 5.2		kaava 6.3	
Tammikuu	31 271,25	0	271,3	4,7	0,0	0,0	0,0
Helmikuu	28 245	0	245,0	4,2	0,0	0,0	0,0
Maaliskuu	31 271,25	0	271,3	4,7	0,0	0,0	0,0
Huhtikuu	30 262,5	0	262,5	4,5	0,0	0,0	0,0
Toukokuu	31 271,25	0	271,3	4,7	0,0	0,0	0,0
Kesäkuu	30 262,5	0	262,5	4,5	0,0	0,0	0,0
Heinäkuu	31 271,25	0	271,3	4,7	0,0	0,0	0,0
Elokuu	31 271,25	0	271,3	4,7	0,0	0,0	0,0
Syyskuu	30 262,5	0	262,5	4,5	0,0	0,0	0,0
Lokakuu	31 271,25	0	271,3	4,7	0,0	0,0	0,0
Marraskuu	30 262,5	0	262,5	4,5	0,0	0,0	0,0
Joulukuu	31 271,25	0	271,3	4,7	0,0	0,0	0,0
Koko vuosi	365 3193,75	0	3193,8	54,8	0,0	0,0	0,0



**Liite 3: Vuotuinen ostoenergiankulutus lisäeristeellä varustetussa lattialämmityksessä (vaihtoehto 2)**

	$\Delta t$	$Q_{henk}$	$Q_{lämmitys, kuori}$	$Q_{lqv, kuorma}$	$Q_{säh, kuorma}$	$Q_{aur}$	$Q_{lämpökuorma}$
	vrk	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
		taulukko 8.1	kaava 8.3	kaava 8.4	tauluk. 8.3	kaava 8.6	kaava 8.11
Tammikuu	31	94,9	544,0	81,4	379,4	58,8	1158,4
Helmi	28	85,7	532,5	73,5	342,7	280,9	1315,2
Maalis	31	94,9	402,3	81,4	379,4	466,9	1424,8
Huhtik	30	91,8	398,5	78,8	367,2	770,3	1706,4
Toukoku	31	94,9	260,6	81,4	379,4	269,9	1086,1
Kesäkuu	30	91,8	115,1	78,8	367,2	305,0	957,8
Heinäkuu	31	94,9	118,9	81,4	379,4	252,0	926,5
Elokuu	31	94,9	118,9	81,4	379,4	212,9	887,4
Syyskuu	30	91,8	256,8	78,8	367,2	134,7	929,2
Lokakuu	31	94,9	402,3	81,4	379,4	235,3	1193,2
Marrasku	30	91,8	540,2	78,8	367,2	50,0	1127,8
Joulukuu	31	94,9	544,0	81,4	379,4	23,8	1123,4
Koko vuosi	365	1116,8	4233,9	958,1	4467,2	3060,4	13836,4

**Liite 3: Vuotuinen ostoenergiankulutus lisäeristeellä varustetussa lattialämmityksessä (vaihtoehto 2)**

	Q <sub>aur, pohjoinen</sub> kWh	Q <sub>aur, itä</sub> kWh	Q <sub>aur, etelä</sub> kWh	Q <sub>aur, länsi</sub> kWh	G <sub>säteily, vaakapli</sub> kWh/m <sup>2</sup>	F <sub>suunta, P</sub>	F <sub>suunta, I</sub>	F <sub>suunta, E</sub>	F <sub>suunta, L</sub>
	kaava 8.6	kaava 8.6	kaava 8.6	kaava 8.6	tauluk L1.4	tauluk L1.4	tauluk L1.4	tauluk L1.4	tauluk L1.4
Tammikuu	9,6	12,3	23,6	13,3	5,7	0,754	0,877	1,614	0,842
Helmikuu	33,1	52,2	131,7	63,9	23,3	0,652	0,944	2,172	1,026
Maaliskuu	68,4	100,9	178,3	119,2	47,3	0,664	0,899	1,376	0,943
Huhtikuu	105,8	183,3	272,7	208,5	93,4	0,537	0,827	1,027	0,835
Toukokuu	34,3	68,0	92,2	75,4	147,1	0,368	0,634	0,678	0,624
Kesäkuu	41,1	81,5	98,6	83,8	171,4	0,410	0,668	0,615	0,610
Heinäkuu	35,7	69,7	80,1	66,5	138,4	0,421	0,691	0,619	0,585
Elokuu	25,0	51,3	75,5	61,2	116,4	0,358	0,642	0,789	0,680
Syyskuu	14,0	31,0	55,4	34,3	61,4	0,352	0,708	1,085	0,697
Lokakuu	21,8	47,7	113,0	52,9	26,6	0,376	0,737	1,632	0,726
Marraskuu	8,5	11,1	18,2	12,2	5,5	0,709	0,818	1,327	0,800
Joulukuu	4,4	5,6	7,5	6,3	2,8	0,714	0,750	1,071	0,750
Koko vuosi	401,5	714,6	1146,8	797,5	839,3	0,432	0,708	0,863	0,687

**Liite 3: Vuotuinen ostoenergiankulutus lisäeristeellä varustetussa  
lattialämmityksessä (vaihtoehto 2)**

	$F_{\text{lämpäisy, P}}$	$F_{\text{lämpäisy, I+L}}$	$F_{\text{lämpäisy, E}}$	$F_{\text{ympäristö, P}}$	$F_{\text{ympäristö, I+L}}$	$F_{\text{ympäristö, E}}$
	kaava 8.8	kaava 8.8	kaava 8.8	tauluk. 8.6	tauluk. 8.6	tauluk. 8.6
Tammikuu	0,73500	0,64500	0,56250	0,98	0,86	0,75
Helmikuu	0,72000	0,62250	0,57000	0,96	0,83	0,76
Maaliskuu	0,72000	0,62250	0,60000	0,96	0,83	0,80
Huhtikuu	0,69750	0,62250	0,62250	0,93	0,83	0,83
Toukokuu	0,20925	0,19125	0,20250	0,93	0,85	0,90
Kesäkuu	0,19350	0,18675	0,20475	0,86	0,83	0,91
Heinäkuu	0,20250	0,19125	0,20475	0,90	0,85	0,91
Elokuu	0,19800	0,18000	0,18000	0,88	0,80	0,80
Syyskuu	0,21375	0,18675	0,18225	0,95	0,83	0,81
Lokakuu	0,72000	0,63750	0,57000	0,96	0,85	0,76
Marraskuu	0,72000	0,64500	0,54750	0,96	0,86	0,73
Joulukuu	0,73500	0,69750	0,54750	0,98	0,93	0,73
Koko vuosi						



## lattia­lämmityksessä (vaihtoehto 2)

Kk	$\Delta t$ vrk	$Q_{rak}$ lämpöenergia kWh	$Q_{lämpökuorma}$ kWh	$\eta_{lämpö}$	$Q_{sis.lämpö}$ kWh	$Q_{lämmitys, tilat, netto}$ kWh	$Q_{lämmitys, tilat, häviö}$ kWh	$Q_{lämmitys, tilat}$ kWh	$Q_{kv}$ kWh	$Q_{lämmitys}$ kWh
Tammi	31	4184,0	1158,4	1	1158,4	2961,3	777,1	3738,4	271,3	4009,7
Helmi	28	3991,8	1315,2	0,999998	1315,2	2607,7	760,7	3368,4	245,0	3613,4
Maalis	31	3282,9	1424,8	0,999939	1424,7	1853,7	574,7	2428,5	271,3	2699,7
Huhti	30	2902,3	1706,4	0,998521	1703,9	1198,4	569,2	1767,6	262,5	2030,1
Touko	31	1839,3	1086,1	0,996512	1082,3	757,0	372,3	1129,3	271,3	1400,5
Kesä	30	1439,2	957,8	0,976956	935,8	503,4	164,4	667,8	262,5	930,3
Heinä	31	1392,5	926,5	0,979622	907,7	484,8	169,9	654,7	271,3	925,9
Elo	31	1382,7	887,4	0,984962	874,1	508,6	169,9	678,5	271,3	949,7
Syys	30	1846,2	929,2	0,999622	928,8	917,3	366,8	1284,2	262,5	1546,7
Loka	31	2584,4	1193,2	0,999915	1193,1	1391,3	574,7	1966,0	271,3	2237,2
Marras	30	2758,8	1127,8	0,999998	1127,8	1631,0	771,6	2402,6	262,5	2665,1
Joulu	31	3651,9	1123,4	0,999999	1123,4	2491,8	777,1	3268,9	271,3	3540,1
Vuosi	365	31256,0	13836,4	0,999896	13835,0	17246,6	6048,4	23295,0	3193,8	26488,8

**Liite 3: Vuotuinen ostoenergiankulutus lisäeristeellä varustetussa  
lattialämmityksessä (vaihtoehto 2)**

	$\Delta t$	$T_u$	$T_s$	$Q_{\text{lämmitys}}$	$W_{\text{laitesähkö}}$	$Q_{\text{jäähdytys, tilat}}$	$E_{\text{rakennus}}$	$Q_{\text{et}}$	$Q_{\text{lämmitys, osto}}$	$E_{\text{lämmitys, osto}}$
	vrk	°C	°C	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh/brm <sup>2</sup>	kWh	€
		tauluk. L1.4			tauluk. 7.1	kaava 3.11	kaava 3.6		kaava 3.1	
Tammikuu	31	-10,60	21	4009,7	592,8	0,0	4602,5	33	1336,6	147,02
Helmikuu	28	-12,20	21	3613,4	535,5	0,0	4148,8	30	1204,5	132,49
Maaliskuu	31	-2,58	21	2699,7	592,8	0,0	3292,5	24	899,9	98,99
Huhtikuu	30	0,20	21	2030,1	573,7	0,0	2603,8	19	676,7	74,44
Toukokuu	31	10,30	21	1400,5	592,8	0,0	1993,3	14	466,8	51,35
Kesäkuu	30	14,90	21	930,3	573,7	0,0	1504,0	11	310,1	34,11
Heinäkuu	31	15,00	21	925,9	592,8	0,0	1518,7	11	308,6	33,95
Elokuu	31	14,80	21	949,7	592,8	0,0	1542,5	11	316,6	34,82
Syyskuu	30	7,97	21	1546,7	573,7	0,0	2120,3	15	515,6	56,71
Lokakuu	31	1,73	21	2237,2	592,8	0,0	2830,1	20	745,7	82,03
Marraskuu	30	-0,59	21	2665,1	573,7	0,0	3238,8	23	888,4	97,72
Joulukuu	31	-6,90	21	3540,1	592,8	0,0	4132,9	30	1180,0	129,80
Koko vuosi	365	2,67	21	26488,8	6980,0	0,0	33468,8	240	8829,6	973,45

**(vaihtoehto 3)**

$q_v$ , tulo	0,048 m <sup>3</sup> /s
$q_v$ , poisto	0,053 m <sup>3</sup> /s
$\eta_t$	75 %
$\eta_a$	75 %
$t_d$	1 h/24h
$t_v$	1 vrk/7 vrk
$r$	1
$k$	0,6
$g_{\text{kohtisuora}}$	0,7
$T_{\text{tulo}}$	17 °C
Rakennustilavuus	405,0 m <sup>3</sup>
$A_{br}$	139,6 m <sup>2</sup>
Huoneistoala	124,5 m <sup>2</sup>
$V$	311,0 m <sup>3</sup>
$n$	3 hlö
$\eta_{\text{lämmitys}}$	1,5 -
Sähkön hinta	0,11 e/kWh

Rakennusosat	A m <sup>2</sup>	U W/m <sup>2</sup> K	$H_{\text{joht}}$ W/K kaava 4.2
Ulkoseinä	107,1	0,7	71,8
Yläpohja	124,5	0,2	19,9
Alapohja	124,5	0,6	78,4
Ovet	2,4	1,1	2,6
Ikkunat			
Pohjoiseen	4,8	1,1	5,3
Itään	6,1	1,1	6,7
Etelään	7,2	1,1	8,0
Länteen	6,8	1,1	7,5
Yht.	24,9165652	1,1	27,4082218

**Liite 4: Vuotuinen ostoenergiankulutus patterilämmityksessä  
(vaihtoehto 3)**

$\Delta t$	$T_u$	$T_s$	$T_{\text{maa}}$	$Q_{\text{joht.US}}$	$Q_{\text{joht.YP}}$	$Q_{\text{joht.AP}}$	$Q_{\text{joht.IKK}}$	$Q_{\text{joht.OVI}}$	$Q_{\text{joht}}$
h	°C	°C	°C	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
	taulukko L1.4		*	kaava 4.1	kaava 4.1	kaava 4.1	kaava 4.1	kaava 4.1	kaava 4.1
Tammikuu	744	-10,6	21	1687,0	468,3	719,6	644,4	62,1	3581,4
Helmikuu	672	-12,2	21	1600,9	444,4	702,6	611,5	58,9	3418,4
Maaliskuu	744	-2,58	21	1258,9	349,5	836,3	480,8	46,3	2971,8
Huhtikuu	720	0,2	21	1074,6	298,3	865,8	410,5	39,5	2688,7
Toukokuu	744	10,3	21	571,2	158,6	894,6	218,2	21,0	1863,7
Kesäkuu	720	14,9	21	315,2	87,5	809,3	120,4	11,6	1343,9
Heinäkuu	744	15	21	320,3	88,9	719,6	122,4	11,8	1263,0
Elokuu	744	14,8	21	331,0	91,9	661,2	126,4	12,2	1222,7
Syyskuu	720	7,97	21	673,2	186,9	583,4	257,1	24,8	1725,4
Lokakuu	744	1,73	21	1028,8	285,6	544,5	392,9	37,8	2289,7
Marraskuu	720	-0,59	21	1115,4	309,7	526,9	426,1	41,0	2419,1
Joulukuu	744	-6,9	21	1489,5	413,5	602,9	568,9	54,8	3129,6
Koko vuosi	8760	2,67	21	11466,1	3183,0	8466,8	4379,6	421,8	27917,3

\*) = kaavat 4.3 ja 4.4, taulukot 4.1 ja 4.2



**Liite 4: Vuotuinen ostoenergiankulutus patterilämmityksessä  
(vaihtoehto 3)**

	$\Delta t$	$T_u$	$T_s$	$q_v$ , vuotoilma	$H$ , vuotoilma	$Q_v$ , vuotoilma
	h	°C	°C	m <sup>3</sup> /s	W/K	kWh
		taulukko L1.4		kaava 4.7	kaava 4.6	kaava 4.5
Tammikuu	744	-10,6	21	0,0138	16,6	390,0
Helmi	672	-12,2	21	0,0138	16,6	370,1
Maaliskuu	744	-2,58	21	0,0138	16,6	291,0
Huhtikuu	720	0,2	21	0,0138	16,6	248,4
Toukokuu	744	10,3	21	0,0138	16,6	132,0
Kesäkuu	720	14,9	21	0,0138	16,6	72,8
Heinäkuu	744	15	21	0,0138	16,6	74,0
Elokuu	744	14,8	21	0,0138	16,6	76,5
Syyskuu	720	7,97	21	0,0138	16,6	155,6
Lokakuu	744	1,73	21	0,0138	16,6	237,8
Marraskuu	720	-0,59	21	0,0138	16,6	257,8
Joulukuu	744	-6,9	21	0,0138	16,6	344,3
Koko vuosi	8760	2,67	21	0,0138	16,6	2650,4

**Liite 4: Vuotuinen ostoenergiankulutus patterilämmityksessä  
(vaihtoehto 3)**

$\Delta t$ h	$T_u$ °C	$T_s$ °C	$H_{iv,ei}$ W/K	$H_{iv,ito}$ W/K	$Q_{to}$ kWh	$Q_{iv,ei}$ kWh	$Q_{iv,ito}$ kWh	$Q_{lämmitys, tulolämpöpatteri}$ kWh
	taulukko L1.4		kaava 4.10	kaava 4.10	kaava 4.12	kaava 4.9	kaava 4.9	kaava 4.15
Tammikuu	744	-10,6	63,6	16,0	1118,5	1495,3	376,8	64,3
Helmikuu	672	-12,2	63,6	16,0	1061,4	1418,9	357,6	68,9
Maaliskuu	744	-2,58	63,6	16,0	834,6	1115,8	281,2	4,5
Huhtikuu	720	0,2	63,6	16,0	712,5	952,5	240,0	0,0
Toukokuu	744	10,3	63,6	16,0	378,7	506,3	127,6	0,0
Kesäkuu	720	14,9	63,6	63,6	0,0	279,3	279,3	0,0
Heinäkuu	744	15	63,6	63,6	0,0	283,9	283,9	0,0
Elokuu	744	14,8	63,6	63,6	0,0	293,4	293,4	0,0
Syyskuu	720	7,97	63,6	16,0	446,3	596,7	150,4	0,0
Lokakuu	744	1,73	63,6	16,0	682,0	911,8	229,8	0,0
Marraskuu	720	-0,59	63,6	16,0	739,5	988,6	249,1	0,0
Joulukuu	744	-6,9	63,6	16,0	987,5	1320,2	332,7	36,7
Koko vuosi	8760	2,67	63,6	27,9	6960,9	10162,7	3201,7	174,4

**Liite 4: Vuotuinen ostoenergiankulutus patterilämmityksessä  
(vaihtoehto 3)**

	Q <sub>joht</sub> kWh	Q <sub>vuotoilma</sub> kWh	Q <sub>iv, lto</sub> kWh	Q <sub>lämmitys, tuloilmapatteri</sub> kWh	Q <sub>rak, lämpöenergiat</sub> kWh
	kaava 4.1	kaava 4.5	kaava 4.9	kaava 4.15	
Tammikuu	3581,4	390,0	376,8	64,3	4412,5
Helmi	3418,4	370,1	357,6	68,9	4214,9
Maalis	2971,8	291,0	281,2	4,5	3548,4
Huhtik	2688,7	248,4	240,0	0,0	3177,2
Toukoku	1863,7	132,0	127,6	0,0	2123,3
Kesäkuu	1343,9	72,8	279,3	0,0	1696,1
Heinäkuu	1263,0	74,0	283,9	0,0	1620,9
Elokuu	1222,7	76,5	293,4	0,0	1592,6
Syyskuu	1725,4	155,6	150,4	0,0	2031,4
Lokakuu	2289,7	237,8	229,8	0,0	2757,2
Marrasku	2419,1	257,8	249,1	0,0	2926,1
Joulukuu	3129,6	344,3	332,7	36,7	3843,3
Koko vuosi	27917,3	2650,4	3201,7	174,4	33943,9

**Liite 4: Vuotuinen ostoenergiankulutus patterilämmityksessä  
(vaihtoehto 3)**

Δt vrk	Q <sub>lämmitys, tilat, häv.</sub> kWh		Q <sub>lämmitys, tilat, keh.häv.</sub> kWh		Q <sub>lämmitys, tilat, jak.häv.</sub> kWh		Q <sub>lämmitys, tilat, luov.häv.</sub> kWh		Q <sub>lämmitys, tilat, säätöhäv.</sub> kWh		Q <sub>lämmitys, tilat, varaajahäv.</sub> kWh	
	kaava 6.1	taulukko 6.1	kaava 6.1	taulukko 6.1	kaava 6.1	taulukko 6.1	kaava 6.1	taulukko 6.1	kaava 6.1	taulukko 6.1	kaava 6.1	taulukko 6.1
Tammikuu	31,0	923,7	169,9	628,2	83,8	41,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Helmikuu	28,0	907,3	153,4	628,2	83,8	41,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Maaliskuu	31,0	672,4	169,9	418,8	55,8	27,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Huhtikuu	30,0	666,9	164,4	418,8	55,8	27,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Toukokuu	31,0	421,1	169,9	209,4	27,9	14,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Kesäkuu	30,0	164,4	164,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Heinäkuu	31,0	169,9	169,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Elokuu	31,0	169,9	169,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Syyskuu	30,0	415,7	164,4	209,4	27,9	14,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Lokakuu	31,0	672,4	169,9	418,8	55,8	27,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Marraskuu	30,0	918,2	164,4	628,2	83,8	41,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Joulukuu	31,0	923,7	169,9	628,2	83,8	41,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Koko vuosi	365,0	7025,6	2000,0	4188,0	558,4	279,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

**Liite 4: Vuotuinen ostoenergiankulutus patterilämmityksessä  
(vaihtoehto 3)**

	$\Delta t$	$Q_{ikv, netto}$	$Q_{ikv, häviöt}$	$Q_{ikv}$	$V_{ikv}$	$Q_{ikv, kehityshäviöt}$	$Q_{ikv, kiertohäviöt}$	$Q_{ikv, varaajahäviöt}$
	vrk	kWh	kWh	kWh	m <sup>3</sup>	kWh	kWh	kWh
		kaava 5.1	kaava 6.2	kaava 3.10	kaava 5.2		kaava 6.3	
Tammikuu	31	271,25	0	271,3	4,7	0,0	0,0	0,0
Helmikuu	28	245	0	245,0	4,2	0,0	0,0	0,0
Maaliskuu	31	271,25	0	271,3	4,7	0,0	0,0	0,0
Huhtikuu	30	262,5	0	262,5	4,5	0,0	0,0	0,0
Toukokuu	31	271,25	0	271,3	4,7	0,0	0,0	0,0
Kesäkuu	30	262,5	0	262,5	4,5	0,0	0,0	0,0
Heinäkuu	31	271,25	0	271,3	4,7	0,0	0,0	0,0
Elokuu	31	271,25	0	271,3	4,7	0,0	0,0	0,0
Syyskuu	30	262,5	0	262,5	4,5	0,0	0,0	0,0
Lokakuu	31	271,25	0	271,3	4,7	0,0	0,0	0,0
Marraskuu	30	262,5	0	262,5	4,5	0,0	0,0	0,0
Joulukuu	31	271,25	0	271,3	4,7	0,0	0,0	0,0
Koko vuosi	365	3193,75	0	3193,8	54,8	0,0	0,0	0,0

**Liite 4: Vuotuinen ostoenergiankulutus patterilämmityksessä  
(vaihtoehto 3)**

$\Delta t$	$Q_{henk}$	$Q_{lämmitys, kuorm}$	$Q_{lkv, kuorma}$	$Q_{säh, kuorma}$	$Q_{aur}$	$Q_{lämpökuorma}$
vrk	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
	taulukko 8.1	kaava 8.3	kaava 8.4	tauluk. 8.3	kaava 8.6	kaava 8.11
Tammikuu	31	94,9	646,6	81,4	379,4	58,8
Helmi	28	85,7	635,1	73,5	342,7	280,9
Maaliskuu	31	94,9	470,7	81,4	379,4	466,9
Huhtikuu	30	91,8	466,9	78,8	367,2	770,3
Toukokuu	31	94,9	294,8	81,4	379,4	269,9
Kesäkuu	30	91,8	115,1	78,8	367,2	305,0
Heinäkuu	31	94,9	118,9	81,4	379,4	252,0
Elokuu	31	94,9	118,9	81,4	379,4	212,9
Syyskuu	30	91,8	291,0	78,8	367,2	134,7
Lokakuu	31	94,9	470,7	81,4	379,4	235,3
Marraskuu	30	91,8	642,8	78,8	367,2	50,0
Joulukuu	31	94,9	646,6	81,4	379,4	23,8
Koko vuosi	365	1116,8	4917,9	958,1	4467,2	3060,4
						14520,5

**Liite 4: Vuotuinen ostoenergiankulutus patterilämmityksessä  
(vaihtoehto 3)**

	Q <sub>aur, pohjoinen</sub> kWh	Q <sub>aur, itä</sub> kWh	Q <sub>aur, etelä</sub> kWh	Q <sub>aur, länsi</sub> kWh	G <sub>säteily, vaakapö</sub> kWh/m <sup>2</sup>	F <sub>suunta, P</sub>	F <sub>suunta, I</sub>	F <sub>suunta, E</sub>	F <sub>suunta, L</sub>
	kaava 8.6	kaava 8.6	kaava 8.6	kaava 8.6	tauluk L1.4	tauluk L1.4	tauluk L1.4	tauluk L1.4	tauluk L1.4
Tammikuu	9,6	12,3	23,6	13,3	5,7	0,754	0,877	1,614	0,842
Helmikuu	33,1	52,2	131,7	63,9	23,3	0,652	0,944	2,172	1,026
Maaliskuu	68,4	100,9	178,3	119,2	47,3	0,664	0,899	1,376	0,943
Huhtikuu	105,8	183,3	272,7	208,5	93,4	0,537	0,827	1,027	0,835
Toukokuu	34,3	68,0	92,2	75,4	147,1	0,368	0,634	0,678	0,624
Kesäkuu	41,1	81,5	98,6	83,8	171,4	0,410	0,668	0,615	0,610
Heinäkuu	35,7	69,7	80,1	66,5	138,4	0,421	0,691	0,619	0,585
Elokuu	25,0	51,3	75,5	61,2	116,4	0,358	0,642	0,789	0,680
Syyskuu	14,0	31,0	55,4	34,3	61,4	0,352	0,708	1,085	0,697
Lokakuu	21,8	47,7	113,0	52,9	26,6	0,376	0,737	1,632	0,726
Marraskuu	8,5	11,1	18,2	12,2	5,5	0,709	0,818	1,327	0,800
Joulukuu	4,4	5,6	7,5	6,3	2,8	0,714	0,750	1,071	0,750
Koko vuosi	401,5	714,6	1146,8	797,5	839,3	0,432	0,708	0,863	0,687

**Liite 4: Vuotuinen ostoenergiankulutus patterilämmityksessä  
(vaihtoehto 3)**

	$F_{\text{lämpäisy, P}}$	$F_{\text{lämpäisy, I+L}}$	$F_{\text{lämpäisy, E}}$	$F_{\text{ympäristö, P}}$	$F_{\text{ympäristö, I+L}}$	$F_{\text{ympäristö, E}}$
	kaava 8.8	kaava 8.8	kaava 8.8	tauluk. 8.6	tauluk. 8.6	tauluk. 8.6
Tammikuu	0,73500	0,64500	0,56250	0,98	0,86	0,75
Helmi	0,72000	0,62250	0,57000	0,96	0,83	0,76
Maaliskuu	0,72000	0,62250	0,60000	0,96	0,83	0,80
Huhtikuu	0,69750	0,62250	0,62250	0,93	0,83	0,83
Toukokuu	0,20925	0,19125	0,20250	0,93	0,85	0,90
Kesäkuu	0,19350	0,18675	0,20475	0,86	0,83	0,91
Heinäkuu	0,20250	0,19125	0,20475	0,90	0,85	0,91
Elokuu	0,19800	0,18000	0,18000	0,88	0,80	0,80
Syyskuu	0,21375	0,18675	0,18225	0,95	0,83	0,81
Lokakuu	0,72000	0,63750	0,57000	0,96	0,85	0,76
Marraskuu	0,72000	0,64500	0,54750	0,96	0,86	0,73
Joulukuu	0,73500	0,69750	0,54750	0,98	0,93	0,73
Koko vuosi						





**Liite 4: Vuotuinen ostoenergiankulutus patterilämmityksessä  
(vaihtoehto 3)**

Kk	$\Delta t$ vrk	$Q_{rak}$ kWh	lämpöenergi.	$Q_{lämpökuorma}$ kWh	$\eta_{lämpö}$	$Q_{sis.lämpö}$ kWh	$Q_{lämmitys, tilat, netto}$ kWh	$Q_{lämmitys, tilat, häviö}$ kWh	$Q_{lämmitys, tilat}$ kWh	$Q_{lämmitys, tilat}$ kWh	$Q_{kv}$ kWh	$Q_{lämmitys}$ kWh
Tammi	31		4412,5	1261,0	0,999999	1261,0	3087,2	923,7	4010,9	271,3	4282,1	
Helmi	28		4214,9	1417,9	0,999995	1417,8	2728,2	907,3	3635,4	245,0	3880,4	
Maalis	31		3548,4	1493,2	0,999915	1493,1	2050,9	672,4	2723,3	271,3	2994,5	
Huhti	30		3177,2	1774,8	0,998507	1772,2	1405,0	666,9	2071,9	262,5	2334,4	
Touko	31		2123,3	1120,3	0,997115	1117,1	1006,2	421,1	1427,4	271,3	1698,6	
Kesä	30		1696,1	957,8	0,984027	942,5	753,6	164,4	918,0	262,5	1180,5	
Heinä	31		1620,9	926,5	0,98581	913,4	707,5	169,9	877,4	271,3	1148,6	
Elo	31		1592,6	887,4	0,989313	878,0	714,6	169,9	884,5	271,3	1155,8	
Syys	30		2031,4	963,4	0,999591	963,0	1068,4	415,7	1484,1	262,5	1746,6	
Loka	31		2757,2	1261,6	0,999872	1261,5	1495,8	672,4	2168,2	271,3	2439,5	
Marras	30		2926,1	1230,5	0,999954	1230,4	1695,7	918,2	2613,9	262,5	2876,4	
Joulu	31		3843,3	1226,0	0,999998	1226,0	2580,5	923,7	3504,2	271,3	3775,5	
Vuosi	365		33943,9	14520,5	0,999859	14518,4	19251,1	7025,6	26276,7	3193,8	29470,4	

**Liite 4: Vuotuinen ostoenergiankulutus patterilämmityksessä  
(vaihtoehto 3)**

$\Delta t$	$T_u$	$T_s$	$Q_{\text{lämmitys}}$	$W_{\text{laitesähkö}}$	$Q_{\text{jäähdytys, tilat}}$	$E_{\text{rakennus}}$	$Q_{\text{et}}$	$Q_{\text{lämmitys, osto}}$	$E_{\text{lämmitys, osto}}$
vrk	°C	°C	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh/brm <sup>2</sup>	kWh	€
		tauluk. L1.4		tauluk. 7.1	kaava 3.11	kaava 3.6		kaava 3.1	
Tammikuu	31	-10,60	4282,1	592,8	0,0	4874,9	35	2854,7	314,02
Helmikuu	28	-12,20	3880,4	535,5	0,0	4415,9	32	2587,0	284,56
Maaliskuu	31	-2,58	2994,5	592,8	0,0	3587,4	26	1996,4	219,60
Huhtikuu	30	0,20	2334,4	573,7	0,0	2908,1	21	1556,3	171,19
Toukokuu	31	10,30	1698,6	592,8	0,0	2291,5	16	1132,4	124,57
Kesäkuu	30	14,90	1180,5	573,7	0,0	1754,2	13	787,0	86,57
Heinäkuu	31	15,00	1148,6	592,8	0,0	1741,4	12	765,7	84,23
Elokuu	31	14,80	1155,8	592,8	0,0	1748,6	13	770,5	84,76
Syyskuu	30	7,97	1746,6	573,7	0,0	2320,3	17	1164,4	128,08
Lokakuu	31	1,73	2439,5	592,8	0,0	3032,3	22	1626,3	178,89
Marraskuu	30	-0,59	2876,4	573,7	0,0	3450,1	25	1917,6	210,94
Joulukuu	31	-6,90	3775,5	592,8	0,0	4368,3	31	2517,0	276,87
Koko vuosi	365	2,67	29470,4	6980,0	0,0	36450,4	261	19646,9	2164,28

## Liite 5: Kuivakäymäläistuimet

Merkki ja malli	Myyjä	Sähköä?	Sähköteho W	Kuiviketta?	Pusseja?	Tyhjennysväli	Hinta €	Mitat mm
Separett Villa 9000	Tyli-Sähkö	kyllä, tuuletin	11,5/16,5	ei	kyllä	1 krt/kk	860	541x456x672
MullToa 30	Sunwind	kyllä, haihdutus ja tuuletin	55-325	kyllä, 2 krt/kk	ei	1 krt/kk	840	640x400x680
MullToa 60	Sunwind	kyllä, haihdutus ja tuuletin	55-355	kyllä, 2 krt/kk	ei	6 krt/a	1790	660x650x810
Excel	Sun-Mar	kyllä, haihdutus ja tuuletin	150	kyllä, 1 krt/pvä	ei	1-2 krt/kk	1610	860x840x570
Biolan Naturum	Biolan	kyllä, tuuletin	15	kyllä, 1 krt/vko	ei	1 krt/kk	1400	800x800x830
Cinderella Ecocat	Callidus	kyllä, poltto ja tuuletin	2000+7	ei	ei	1 krt/vko	4300	590x385x585
PikkuVihreä Privetti	PikkuVihreä	kyllä, pakastus	60	ei	kyllä	1 krt/vko	1470	470x440x630
WehoSeptic	KWH Pipe	kyllä, tuuletin	15	ei	kyllä	1 krt/vko	660	545x570x580

## Liite 6: Ilmanvaihtokoneet

Merkki	Malli	$P_{es}$ kW/(m <sup>3</sup> /s)	$\eta_a$	$I$ €	$Q_{iv,fto}$ kWh/a	$W_{iv}$ kWh/a	$E_{iv}$ €/a	$N$ €	Takuu
Enervent	Pingvin eco ECE	1,19	0,748	2249,00	1811	526	257,08	6073,70	2
Ilto	R80-Premium EC	1,9	0,686	2574,20	2256	841	340,63	7641,96	2
Ilto	W80-Premium EC	1,7	0,640	2623,00	2587	752	367,26	8086,86	2
Ilto	440-Premium	2,4	0,540	2440,00	3305	1062	480,36	9586,51	2
Kair	Elegance 105	1,8	0,534	1614,06	3350	796	456,06	8399,09	2
Parmair	Iiwari EXSEK	2	0,360	1770,00	4599	885	603,16	10743,48	2
Vallox	90 SE	1,14	0,607	2757,20	2824	504	366,09	8203,68	2
Vallox	Digit2 SE	2,42	0,532	2562,00	3363	1071	487,65	9817,06	2
Deekax	Talteri DIVK-300 D	1,94	0,392	1793,40	4369	858	574,95	10347,17	2

### Käytetyt lyhenteet:

$P_{es}$  = ilmanvaihtokoneen ominais sähköteho eli SFP-luku

$\eta_a$  = ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde

$I$  = ilmanvaihtokoneen hankintahinta

$Q_{iv,fto}$  = ilmanvaihtokoneen vuotuinen lämmitysenergian tarve

$W_{iv}$  = ilmanvaihtokoneen vuotuinen sähköenergian kulutus

$E_{iv}$  = ilmanvaihtokoneen vuotuisen sähköenergian kulutuksen hinta

$N$  = ilmanvaihtokoneen hankintahinnan ja käyttökustannusten nykyarvo 20 vuodessa

### Mitoitusarvot:

Ilmavirta [l/s]

Kanavapaine [Pa]

$e_{sähkö}$  [€/kWh]

laskentakorko

Tulo Poisto

48 53

40 40

0,11

0,03