

Antti Hulkkonen

SÄHKÖLÄMMITTEISEN  
LÄMMINVESIVARAAN VAIKUTUS  
E-LUKUUN  
LÄMPÖPUMPPULÄMMITYKSESSÄ

Opinnäytetyö  
Talotekniikka


Maaliskuu 2015




MAMK

University of Applied Sciences

## KUVAILULEHTI

	<b>Opinnäytetyön päivämäärä</b> 3.5.2015		
<b>Tekijä(t)</b> Antti Hulkkonen	<b>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</b> Talotekniikka		
<b>Nimeke</b> Sähkölämmitteisen lämminvesivaraajan vaikutus E- lukuun lämpöpumpplämmityksessä			
<b>Tiivistelmä</b> <p>Tässä opinnäytetyössä tutkittiin sähkölämmitteisen käyttövesivaraajan vaikutusta energiankulutukseen lämpöpumpplämmityksessä. Työssä hyödynnettiin laskentaohjelmia sekä Suomen rakentamismääräyskokoelmien ohjeita E- luvun laskemiseksi. Työn tavoitteena oli selvittää sähköenergian tarpeen muutos pientalossa, kun lisätään maalämpöpumpun rinnalle sähkövaraaja lämmittämään käyttövedettä.</p> <p>Työssä mallinnettiin IDA-ICE- ohjelmaan kuvitteellinen pientalo, jonka rakenteiden ja tiiveyden arvoina käytettiin Suomen rakentamismääräyskokoelmien ohjearvoja. Pientalosta tehtiin erilaisia mallinnuksia erilaisilla lämmönjako - ja luovutusjärjestelmillä. Lisäksi pientalosta tehtiin erilaisia mallinnuksia, joissa lämmitettiin käyttövesi pelkästään maalämpöpumpulla, ja mallinnuksia, joissa lisättiin maalämpöpumpun rinnalle sähkövaraaja lämmittämään käyttövedettä yhdessä maalämpöpumpun kanssa. Lisäksi työssä vertailtiin erilaisia lämpöpumpuissa käytettäviä kylmäaineita ja tutkittiin niiden vaikutusta lämpöpumpun lämpökertoimeen Coolpack- ohjelmalla.</p> <p>Tutkimuksessa huomattiin sähkövaraajan ja maalämpöpumpun yhteiskäytön käyttöveden lämmityksessä kuluttavan enemmän sähköenergiaa verrattuna siihen, että lämmitettiin käyttövesi pelkästään maalämpöpumpulla. Lasketuilla sähköenergioiden kulutuksilla oli suuriakin eroja. Tämän seurauksena myös E-luku kasvoi, kun lämmitysjärjestelmään lisättiin sähkövaraaja.</p> <p>Tämä tutkimus on kuitenkin teoreettinen, ja tässä on käytetty pääasiassa rakentamismääräyskokoelmien ohjearvoja tutkimusaineistona. Jos tutkimuksessa käytettäisiin mitattuja arvoja olemassa olevasta talosta, voidaan saada erilaisia tuloksia kuin tässä työssä on saatu. Esimerkiksi lämpimän käyttöveden kulutusta on vaikea arvioida, sillä sen suuruus perustuu suurilta osin ihmisten käyttötottumuksiin.</p>			
<b>Asiasanat (avainsanat)</b> Lämpöpumppu, lämmin käyttövesi, E-luku, lämmitys			
<b>Sivumäärä</b> 28+12	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;"><b>Kieli</b> Suomi</td> <td style="width: 33%;"><b>URN</b></td> </tr> </table>	<b>Kieli</b> Suomi	<b>URN</b>
<b>Kieli</b> Suomi	<b>URN</b>		
<b>Huomautus (huomautukset liitteistä)</b>			
<b>Ohjaavan opettajan nimi</b> Martti Veuro	<b>Opinnäytetyön toimeksiantaja</b> Suomen Talotekniikka Energia Mikkeli Oy		

## DESCRIPTION

		<b>Date of the bachelor's thesis</b> 3.5.2015
<b>Author(s)</b> Antti Hulkkonen	<b>Degree programme and option</b> Building services	
<b>Name of the bachelor's thesis</b> Effect of electricity powered accumulator on energy efficiency in heat pump heating		
<b>Abstract</b> <p>This thesis researched the effect of electricity powered accumulator on energy efficiency in heat pump heating. This work exploited calculus programmes and instructions of national building codes of Finland when calculating energy efficiency. The main goal was to investigate change of electricity need in a detached house, when electricity powered accumulator for heating tap water was added alongside with the ground source heat pump.</p> <p>In the work, a detached house was modelled in IDA-ICE- programme. The U- values and air leaking value used the national building code of Finland as reference values. Different kinds of models with different heat distribution systems were made. Furthermore, different models were made where tap water was heated by ground source heat pump, and models where tap water was heated by ground source heat pump and electricity powered accumulator together. This work also compared different refrigerants used in heat pumps. Their effect on heat pump coefficient of performance was compared with Coolpack- programme.</p> <p>In this research, it was noticed that electricity energy's need increased when tap water was heated by heat pump and electricity powered accumulator together compared that tap water was heated only by heat pump. Calculated electricity energy's needs had big differences. Because of that also the total energy consumption increased.</p> <p>This thesis is after all theoretical and used reference values of national building code of Finland as the material. If the study used measured values of a real house in the research, different results could be received than in this thesis. For example, the consumption of tap water is very hard to estimate because it depends on human's way of life.</p>		
<b>Subject headings, (keywords)</b> Heat pump, hot service water, energy efficiency, heating		
<b>Pages</b> 28+12	<b>Language</b> Finnish	<b>URN</b>
<b>Remarks, notes on appendices</b>		
<b>Tutor</b> Martti Veuro	<b>Bachelor's thesis assigned by</b> Suomen Talotekniikka Energia Mikkeli Oy	

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	1
2	LÄMPÖPUMPPU .....	2
2.1	Lämpöpumpun historiaa .....	2
2.2	Lämpöpumpun toiminta.....	2
2.3	Lämpökerroin .....	3
2.4	Maalämpöpumppu .....	4
2.5	Ilmalämpöpumppu .....	4
2.6	Ilma-vesilämpöpumppu .....	5
2.7	Poistoilmalämpöpumppu .....	5
2.8	Lämpöpumpun kytkentätapoja .....	5
2.9	Erilaiset kylmäaineet .....	6
2.10	Erilaisten kylmäaineiden vaikutus lämpökertoimeen.....	7
3	LÄMMIN KÄYTTÖVESI.....	9
4	TUTKIMUSMENETELMÄT.....	9
5	TULOKSET .....	10
5.1	IDA-ICE -mallinnus .....	10
5.1.1	Rakenteet.....	11
5.1.2	Lämmin käyttövesi.....	11
5.1.3	Ilmanvaihto .....	11
5.1.4	Lämmönjako- ja luovutusjärjestelmä.....	12
5.1.5	Lämmönlähde .....	13
5.1.6	Lämmönkerupiiri .....	13
5.2	E-luku .....	14
5.3	Pientalon energiankulutus.....	14
5.4	Lämpimän käyttöveden osuus energiankulutuksesta.....	17
5.5	Käyttöveden lämmitys .....	17
5.6	Käyttöveden kulutuksen vaikutus.....	20
6	TULOSTEN ANALYSOINTI JA POHDINTA .....	21
	LÄHTEET.....	26

### LIITTEET

- 1 Kylmäaineet lämpöpumpussa
- 2 Energiankulutustaulukot

## 1 JOHDANTO

Jatkuvasti kiristyvät rakennusten energiavaatimukset, kallistuvat lämmityspolttoaineet, uusiutumattomien polttoaineiden huono saatavuus sekä ilmastomuutos herättävät nykyään kiinnostusta vaihtoehtoisille energianlähteille. Vuonna 2013 Suomessa asumisen energiankulutuksesta 87 prosenttia kului asuinrakennusten lämmitykseen, josta taas käyttöveden lämmitykseen kului noin 18 prosenttia. Lämpöpumput ovat saavuttaneet suuren huomion 2000-luvulta alkaen hyvän energiatehokkuutensa ja käyttöystävällisyytensä ansiosta. Lämpöpumput vaativat suhteellisen suuren investoinnin, mutta nykyisten energiahintojen vuoksi niillä on kohtuullisen lyhyet takaisinmaksuajat. /1, s. 27; 2./

Lämpöpumppujen kehitys on suurennuslasin alla, sillä lämpöpumpuista halutaan vieläkin energiatehokkaampia, jotta voitaisiin säästää enemmän energiaa. Lämpöpumppujen hyvien hyötysuhteiden ongelmana on kuitenkin lämmin käyttövesi, sillä sen tuotannossa vaadittava korkea veden lämpötilataso (+55 °C) heikentää lämpöpumpun lämpökerrointa. Mitä alhaisempi on lämpöpumpun tuottama lämpimän veden lämpötila, sitä parempi hyötysuhde lämpöpumpulla saadaan aikaan. Lämpimän käyttöveden lämpötilaa ei kuitenkaan voi muuttaa, sillä Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D1 määrittelee kyseisen lämpötilan minimiarvoksi +55 °C. /1, s. 31; 3, s. 8./

Tämän opinnäytetyön tarkoitus on tutkia lämpimän käyttöveden tuotantoa lämpöpumppulämmityksessä. Lämpimän käyttöveden tuotanto jaetaan osittain lämpöpumpulle ja osittain sähkölämmitteiselle varaajalle. Lämpöpumpun rinnalle lisätään sähkölämmitteinen varaaja lämmittämään käyttövettä yhdessä lämpöpumpun kanssa. Käyttövesi esilämmitetään lämpöpumpulla, jonka jälkeen käyttövesi johdetaan sähkölämmitteiseen varaajaan, jossa se lämmitetään vaadittuun +55 °C lämpötilaan. Tarkoituksena on tutkia menetelmän toimivuutta eri lämpötiloilla. Lisäksi tarkastellaan sähkölämmitteisen varaajan vaikutusta kokonaisenergiankulutukseen.

## 2 LÄMPÖPUMPPU

Lämpöpumppu siirtää lämpöä kylmemmästä ympäristöstä lämpimämpään ympäristöön. Lämpöpumppu kerää uusiutuvaa lämpöä ympäristöstä ja siirtää sen sähkön avulla haluttuun paikkaan. Lämmityskaudella lämpöpumppu kerää ulkoa lämpöä, maaperästä, vesistöistä tai ilmasta ja siirtää sen lämmittämään sisätiloja. Kesällä lämpöpumppu voi kerätä lämmön sisältä ja siirtää sen ulos jäähdyttääkseen sisäilmaa. Lämpöpumppu on energiatehokas lämmönlähde, sillä se voi moninkertaistaa siihen syötetyn sähkötehon lämmitystehoksi. Lämpöpumppuja on paljon erilaisia ja ne jaetaan lämmönlähteen ja keruutavan mukaan. /1, s. 28-29; 4, s. 68-69./

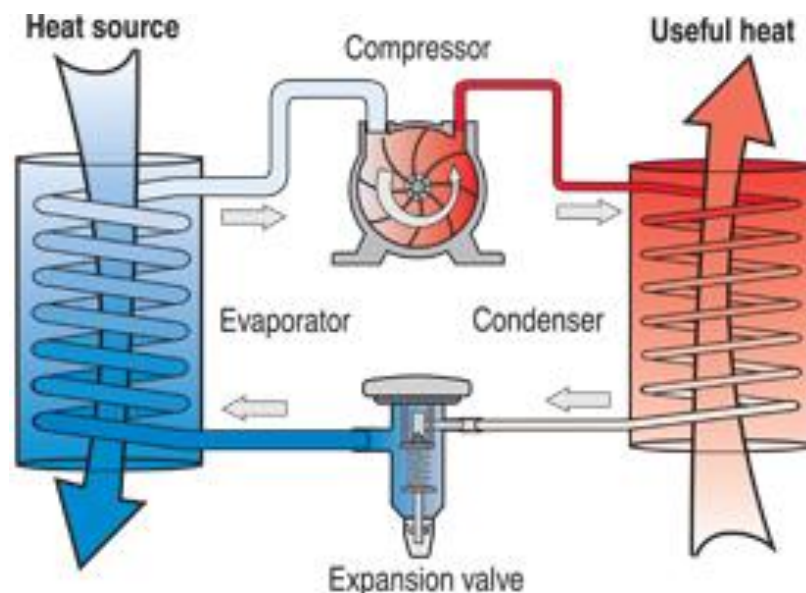
### 2.1 Lämpöpumpun historiaa

Nykyisin vauhdilla yleistyvät ja kehittyvät lämpöpumput eivät ole keksintönä aivan uusia, sillä ranskalainen fyysikko Sadi Carnot esitteli jo vuonna 1824 termodynaamisen kiertoprosessin, johon lämpöpumppujen toiminta perustuu. Tähän kiertoprosessiin perustuvan lämpöpumpun toimintaperiaatteen toi esille englantilainen fyysikko William Thomson vain muutamia vuosia Carnot'n esittelyn jälkeen. Rakennuksiin ensimmäiset lämpöpumput asennettiin vasta 1920-luvulla. Toisen maailmansodan aikana hiilipulasta kärsineessä Sveitsissä lämpöpumput pääsivät jo kohtalaisen laajaan käyttöön, mutta sodan jälkeen ne taas unohdettiin aina toiseen öljykriisiin asti 1979 - 1980. Öljyn hinnan laskettua kiinnostus lämpöpumppuihin hiipui, ennen kuin viime vuosien energiahintojen nousu on taas nostanut lämpöpumppujen suosiota. /1, s. 27./

### 2.2 Lämpöpumpun toiminta

Lämpöpumppu toimii samalla tavalla kuin kylmälaitteet, esimerkiksi jääkaappi. Kylmälaitteet ottavat lämmön ruokatarvoista ja siirtävät sen kylmälaitteen ulkopuolelle. Lämpöpumput toimivat päinvastoin. Ne keräävät kallioon, pintamaahan, ilmaan ja veteen varastoitunutta aurinkoenergiaa ulkoa ja siirtävät sen lämmittämään sisätiloja ja lämmintä käyttövetä. Lämpöpumpun toiminta perustuu termodynaamiseen prosessiin. Lämmönkeruupiiri tuo lämmönlähteestä keräämänsä lämmön lämpöpumpun höyrystimeen. Höyrystimessä alhaisessa paineessa oleva jäähtynyt kylmäaine vastaanottaa lämmönkeruupiirin luovuttaman lämmön. Tämän seurauksena kylmäaine höyrystyy höyrystimessä. Tämän jälkeen höyrystynyt kylmäaine johdetaan kompressoriin, joka

puristaa kylmäainehöyryn korkeaan paineeseen ja samalla sen lämpötila nousee. Korkeassa paineessa ja lämpötilassa oleva kylmäainehöyry menee nyt lämpöpumpun lauhduttimeen, jossa se luovuttaa lämpöä lämmitettävään lämmönsiirtoaineeseen, esimerkiksi veteen tai ilmaan. Samalla kylmäaine muuttuu lauhduttimessa kaasusta nesteeksi. Nyt nestemäinen korkeassa paineessa ja lämpötilassa oleva kylmäaine kulkeutuu paisuntaventtiilin kautta takaisin höyrystimeen. Paisuntaventtiilin läpi kulkiesaan kylmäaine jäähtyy takaisin lämpötilaan, jossa se oli kierron alussa ja sen paine putoaa myös alkuvaiheen tasolle. Ja nyt sama kierto alkaa alusta. Kuvassa 1 on havainnollistettu kylmäaineen kiertoa lämpöpumpussa. Kuvassa 1 Heat source = keruupiiri, Useful heat = lämmityspiiri, Compressor = kompressori, Evaporator = höyrystin, Condenser = lauhdutin ja Expansion valve = paisunta venttiili. /1, s. 28-29; 5./

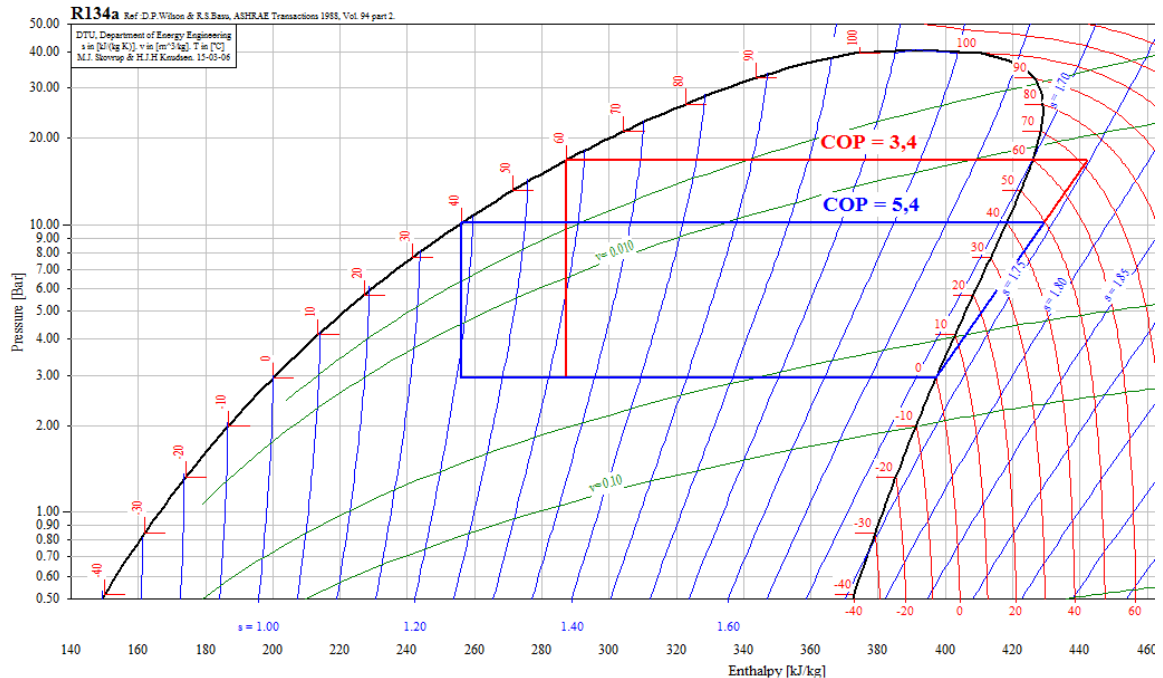


**KUVA 1. Lämpöpumpun toimintaperiaate /7/**

### 2.3 Lämpökerroin

Lämpöpumppujen energiatehokkuutta mitataan lämpökertoimella eli COP-arvolla (Coefficient of performance). COP-arvo kuvaa, kuinka moninkertaisesti lämpöpumppu pystyy tuottamaan lämpöenergiaa verrattuna siihen tuotuun sähköenergiaan. Lämpökertoimen teoreettinen arvo saadaan laskettua vertaamalla lämpöpumpun tuottamaa lämpötilaa verrattuna tuotetun lämpötilan ja lämmönkeruukohteen lämpötilan erotukseen. Lämpötilojen tulee olla absoluuttisina lämpötila-arvoina eli kelvineinä. Kuvasta 2 nähdään, että mitä pienempi kyseisten lämpötilojen ero on, sitä parempi lämpökerroin lämpöpumpulla saadaan. Näin laskettua lämpökerrointa kutsutaan Carnot'n läm-

pökertoimeksi. Todellinen lämpökerroin on kuitenkin aina kyseistä arvoa pienempi, sillä teoreettinen lämpökerroin ei huomioi puristusvaihetta eikä lämpöpumpun apulaitteiden, kuten kiertopumppujen energiankulutuksia ja lämpöhäviöitä putkistoissa. /1, s. 30; 6, s. 128./



**KUVA 2. Maalämpöpumpun toiminta kahdella eri lämpöpumpun tuottamalla lämpötilalla log p, h – piirroksessa, kun kylmäaineena on R134a**

## 2.4 Maalämpöpumppu

Maalämpöpumppu käyttää lämmönlähteenään maaperään tai vesistöön varautunutta aurinkoenergiaa. Maalämpöpumpun keruupiiri voidaan sijoittaa maahan porattavaan lämpökaivoon, vaakaputkistona maaperään tai vesistöön esimerkiksi järven pohjaan. Maalämpöpumppu siirtää keräämänsä lämmön lämmittämään sisätiloja ja lämmintä käyttövettä. Lämmönkeruunesteinä käytetään jäätymätöntä ainetta, yleensä etanolin ja veden muodostamaa liuosta, sillä lämmönkeruupiirissä nesteen lämpötila laskee alle 0 °C. /8; 9, s. 7-8./

## 2.5 Ilmalämpöpumppu

Ilmalämpöpumppu eli ilma-ilmalämpöpumppu on lämpöpumpuista yleisin. Se kerää lämpöä suoraan ulkoilmasta ja siirtää sen suoraan sisäilmaan. Ilmalämpöpumpun toiminta on yksinkertainen, ja sen takia se on halvin ja suosituin. Ilmalämpöpumppu voi



olla vain lisälämmityksenä, sillä sen teho ei riitä kattamaan rakennuksen lämpöhäviöitä, eikä lämpimän käyttöveden lämmitystarvetta. Ilmalämpöpumppu on hyvä hankinta myös kesäajan jäähtymiseen. /10./

## **2.6 Ilma-vesilämpöpumppu**

Ilma-vesilämpöpumppu toimii kuten maalämpöpumppu, mutta ilma-vesilämpöpumppu kerää lämpöä suoraan ulkoilmasta. Ilma-vesilämpöpumppu pystyy lämmittämään rakennusta sekä käyttövettä. Ilma-vesilämpöpumppu on kuitenkin maalämpöpumppua tehottomampi mutta edullisempi. /1, s. 32; 10./

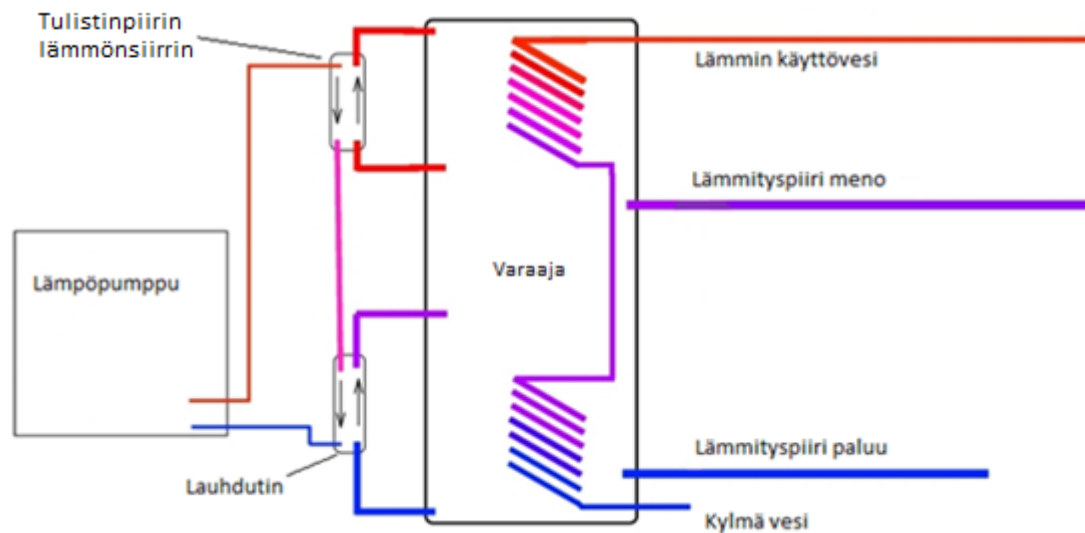
## **2.7 Poistoilmalämpöpumppu**

Poistoilmalämpöpumppu kerää lämpöä rakennuksesta poistettavasta ilmasta. Esimerkiksi asuinrakennuksessa vaaditaan koneellinen poistoilmavirta, jonka suuruus on vähintään 0,5 kertaa rakennuksen tilavuus tunnissa. Poistoilmalämpöpumppu siirtää lämpimästä poistoilmasta ottamansa lämmön rakennuksen lämmitykseen ja lämpimän käyttöveden tuotantoon. /1, s. 77; 10./

## **2.8 Lämpöpumpun kytkentätapoja**

Lämpimän käyttöveden vaatima  $+55\text{ °C}$  on vaikea tuottaa lämpöpumpulla energiatehokkaasti, sillä lämpöpumpulta vaadittava korkea lämpötila alentaa lämpöpumpun lämpökerrointa. Tämän vuoksi valmistajat ovat tehneet useita erilaisia kytkentämenetelmiä lämminvesivaraajille, jotta päästäisiin lämpimän käyttöveden minimiarvoon. Vaippamallisessa lämminvesivaraajassa lämpöpumpun tuottama lämmitysvesi johdetaan varaajan ulompaan vaippaan, joka taas lämmittää varaajan sisemmässä osassa olevaa lämmintä käyttövettä. Vaihtelevalla lauhdutuksella tarkoitetaan sitä, että tehdään vuorotellen lämmintä käyttövettä ja lämmitysvesiä, aina tarpeen mukaan. Yhtenä ratkaisuna on, että lämmitetään lämmitysvesi omaan varaajaansa lämmityksen vaatimaan lämpötilaan (lämmönluovutustavasta riippuen  $35 - 50\text{ °C}$ ) ja otetaan kyseisestä varaajasta kuparikierukan avulla esilämmitys lämpimään käyttöveteen. Tämän jälkeen ohjataan lämmin käyttövesi sähkölämmitteiseen varaajaan, jossa se lämmitetään vaadittavaan lämpötilaan  $+55\text{ °C}$ . /1, s. 68-71; 8./

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan kierukkavaraajaa, joka hyödyntää veden lämpötila-erosta johtuvaa kerrostumista. Lämmin vesi nousee varaajan yläosaan ja viileämpi vesi painuu varaajan alaosaan. Varaajan yläosassa kiertää kuparikierukka, jonka sisällä lämmin käyttövesi lämpiää. Kierukka kiertää myös varaajan alaosan kautta, jossa lämmin käyttövesi esilämpää. Lämmityspuolen vesi on lämmintä käyttövettä viileämpää, joten se painuu varaajan alaosaan. Tällaisia varaajia on myös varustettu erillisillä tulistinpiireillä, eli kahdella lämmönsiirtimellä lämmitetään samaa varaajaa. Tulistinpiiri ottaa lämmön talteen välittömästi kompressorin jälkeen erillisellä lämmönsiirtimellä. Tässä kohdassa kylmäaine on kuuminta. Tulistinpiiriin lämmönsiirtimestä kylmäaine johdetaan normaaliin lauhduttimeen. Tulistinpiirillä pyritään saamaan käyttövesi tarpeeksi lämpimäksi. Kuvassa 3 on havainnollistettu kierukkavaraajan kytkentää periaatekuvan avulla. /1, s. 69./



**KUVA 3. Periaatekuva kierukkavaraajan kytkennästä**

## 2.9 Erilaiset kylmäaineet

Lämpöpumpuissa käytettävät kylmäaineet ovat kehittyneet nopeasti lähivuosina. Vanhojen kylmäaineiden on havaittu olevan myrkyllisiä ja ympäristölle haitallisia, joten on jouduttu kehittelemään korvaavia kylmäaineita vanhojen tilalle. Klooria-, fluoria ja hiiltä sisältäviä CFC-yhdisteitä ei saa enää nykyään käyttää, sillä niillä on otsonia tuhoavia ja kasvihuoneilmiötä aiheuttavia ominaisuuksia. CFC-yhdisteitä ovat mm. R11, R12, R114, R500 ja R502. Sama koskee CFC-yhdisteistä pidemmälle kehitettyjä HCFC-yhdisteitä. Näillä kylmäaineilla ei ole niin paha vaikutusta ilmakehän otsonil-

le, mutta ne ovat silti kasvihuonekaasuja, ja niidenkin käyttö on kielletty vuoden 2015 alusta. HCFC-yhdisteitä ovat mm. R22, R142b, R401 ja R402. /1, s. 46; 22./

Nykyään on kehitetty HFC-yhdisteitä, eli synteettisiä fluorihilivetyjä, jotka eivät vahingoita otsonia, mutta ovat silti kasvihuonekaasuja. Nämä yhdisteet ovat vielä hyväksytyjä käytössä. HFC-yhdisteitä ovat mm. R134a, R404A, R407C, R410a ja R744. Vaihtoehtoina synteettisille kylmäaineelle voidaan käyttää luontaisia kylmäaineita, kuten hiilidioksidia (CO<sub>2</sub>, R744) ja ammoniakkia (NH<sub>3</sub>, R717). /1, s. 46; 22; 23/

Hiilidioksidin ympäristövaikutukset kylmäaineena ovat alhaiset, mutta sekin on kasvihuonekaasu. Lisäksi se toimii kylmäaineena hieman eri lailla kuin muut kylmäaineet, ja hiilidioksidia käytettäessä paineet voivat nousta hyvin korkeiksi. Hiilidioksidin kriittinen piste, eli se piste jonka yläpuolella kylmäaine ei enää lauhdu kaasusta nesteeksi on vain +31,1 °C:een kohdalla. Tämän takia hiilidioksidin käyttö lämpöpumpussa aiheuttaa transkriittisen prosessin. Tässä prosessissa lämmönluovutus tapahtuu kriittisen pisteen yläpuolella, eli kylmäaine ei lauhdu luovuttaessaan lämpöä, vaan se on kaasumaisena ja jäähtyy. Kaasun jäähtyessä syntyy lämpötilaliukuma, eikä lauhduttimen lämpötila ole vakio niin kuin lämpöpumpussa normaalisti olisi. Tämä lämpötilaliukuma voidaan hyödyntää tehokkaasti tehtäessä lämpöpumpulla kuumaa vettä, eikä puristuksen loppupainetta tarvitse turhaan nostaa. Tässä prosessissa haittana on, että paine koneistossa voi kasvaa 100 bar tasolle. /1, s. 46; 25, s. 13./

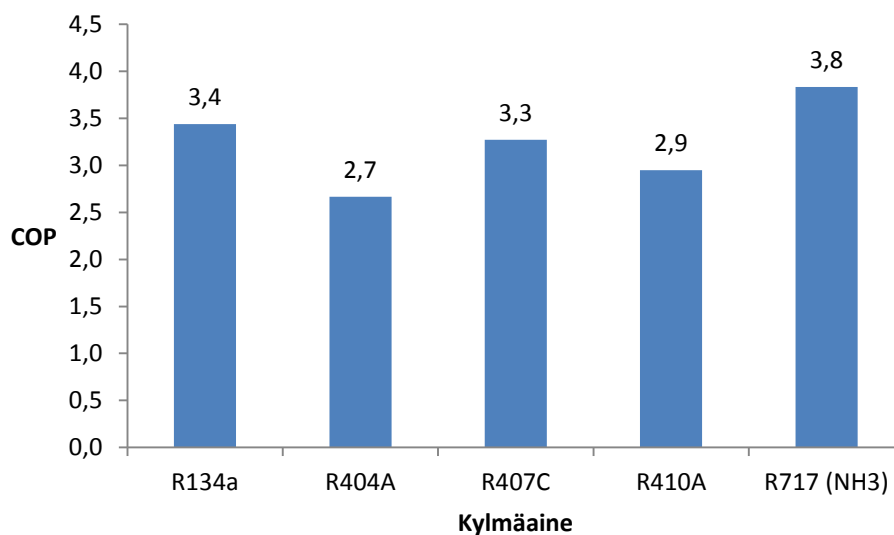
Ammoniakki on ollut jo pitkään käytössä kylmäaineena, eikä se ole haitallinen otsonille eikä kasvihuoneilmiölle. Se on kuitenkin myrkyllistä ja herkästi syttyvää. Ammoniakin vuodon voi havaita helposti sen pistävän hajun vuoksi. Ammoniakki on pitkän kokemuksen myötä tullut tunnetuksi, ja sen ominaisuudet tunnetaan hyvin. /1, s. 46; 23./

## **2.10 Erilaisten kylmäaineiden vaikutus lämpökertoimeen**

Erilaisilla kylmäaineilla on erilaiset ominaisuudet lämpöpumpuissa johtuen eri höyrystymis- ja lauhtumislämpötiloista ja paineista. Kylmäaineen tärkeä ominaisuus on kyky muuttua nesteestä kaasuksi kerätessään lämpöä ja päinvastoin luovuttaessaan lämpöä. Tämän ominaisuuden vaihtelu kylmäaineiden välillä vaikuttaa lämpöpumpun toimintaan ja lämpökertoimeen. /26./

Coolpack- ohjelmalla voidaan tutkia kylmäaineen ominaisuuksien merkitystä lämpöpumpun toimintaan. Ohjelmaan voidaan asettaa halutut lämpötilat lauhduttimelle ja höyrystimelle sekä määrittää kylmäaineen tulistusta tai alijäähdytystä. Lisäksi ohjelmas-  
massa voidaan määrittää isentrooppinen hyötysuhde lämpöpumpun kompressorille. Isentrooppinen hyötysuhde ottaa huomioon kompressorissa tapahtuvat energiahäviöt. Ohjelmalla valittiin tutkittavaksi muutamia nykyään käytettäviä kylmäaineita ja vertailtiin näiden ominaisuuksia sekä niillä saatujen lämpökertoimien eroja.

Tutkittavaksi valittiin R134a, R404A, R407C sekä R410A. Tarkasteluun valittiin lisäksi luonnollinen kylmäaine ammoniakki  $\text{NH}_3$  (R717). Kaikille tutkittaville aineille määritettiin samat arvot Coolpack- ohjelmaan. Oletettiin lämmitettävän maalämpöpumpulla lämmintä käyttövedtä, joten määritettiin höyrystimen lämpötilaksi  $0\text{ }^\circ\text{C}$  ja lauhduttimen lämpötilaksi  $+60\text{ }^\circ\text{C}$ . Höyrystimen asteisuudeksi määritettiin siis  $3\text{ K}$  ja lauhduttimen asteisuudeksi  $5\text{ K}$ . Höyrystimessä tapahtuva tulistuminen ja lauhduttimessa tapahtuva alijäähtyminen jätettiin huomioimatta tarkastelussa. Kompressorin isentrooppiseksi hyötysuhteeksi määriteltiin  $0,8$ . Kuvassa 4 on esitetty kyseisillä mittaustarvoilla ohjelmalla lasketut lämpökertoimet eri kylmäaineilla. Coolpack- ohjelmalla tutkittujen kylmäaineiden kylmäprosessit  $\log p, h$  -piirroksessa ovat esitettyinä liitteessä 1.



**KUVA 4. Lämpökertoimet eri kylmäaineilla**

Kuvasta 4 huomataan, että eri kylmäaineilla on merkitystä lämpöpumpun lämpökertoimelle. Kyseiset lämpökertoimet ovat kuitenkin hetkellisiä, eli todelliset vuotuiset

kausisuorituskykykertoimet jäävät pienemmiksi, sillä lämpöpumpun apulaitteiden energiankulutus on otettava huomioon. /1, s. 30./

### **3 LÄMMIN KÄYTTÖVESI**

Lämmin käyttövesi on oleellinen osa ihmisten jokapäiväisessä elämässä ja asumisessa. Se on myös suuri osa asumisen energiankulutuksesta. Vuonna 2013 käyttöveden lämmitykseen kului 9727 GWh, joka on lähes viidennes tuona vuonna kaikesta asuinrakennusten lämmitykseen käytetystä energiasta. Suomen rakentamismääräyskokoelmassa on määritelty, että talousveden pitää olla sellaista, ettei siitä aiheudu terveellistä tai muutenkaan haittaa. Minimilämpötila-arvo +55 °C määräytyy legionellabakteerin selviytymisen ja leviämisen perusteella. Käyttövesi ei saa olla liian kuumaakaan, ettei siitä aiheudu tapaturmia. Puhtaanapitoon tarkoitetuissa vesikalusteissa veden lämpötila saa olla enintään +65 °C. /2; 3, s. 6-9./

Legionellabakteeri on lämpimässä vedessä viihtyvä bakteeri. Se voi kestää elossa yli +50 °C lämpöisessä vedessä. Vesijohtojärjestelmissä tulisi välttää lämpötiloja +20 – +50 °C, sillä ne ovat suotuisia lämpötiloja legionellabakteerin selviytymisen kannalta. Siksi se on yleinen bakteeri niin luonnon vesissä, vesialtaissa kuin vesijohtojärjestelmissäkin. Bakteeri leviää ilmassa olevien pienien vesipisaroiden avulla ja tunkeutuu niiden avulla hengitysteihin. Bakteeri ei leviä juoman mukana. On todettu, että bakteeri ei selviä +55 °C lämpöisessä vedessä pitkään, joten tämän takia Suomen rakentamismääräyskokoelmakin määrää lämpimän käyttöveden lämpötilan minimiarvoksi kyseisen lämpötilan. /11, s. 6; 12./

### **4 TUTKIMUSMENETELMÄT**

Pääasiallisena tutkimusmenetelmänä opinnäytetyössä käytettiin IDA-ICE- ohjelmaa. IDA-ICE on simulointiohjelma, jolla tarkastellaan rakennuksen energiankulutusta. Ohjelman avulla voidaan laskea rakennuksen E-luku ja ostoenergian määrä. Ohjelma huomioi laskelmissa sääolosuhteet koko vuoden ajalta, joten laskelmat ovat tarkkoja. Ohjelmalla voidaan tarkastella erilaisia lämmitysmuotoja sekä erilaisia lämpötiloja lämmitysjärjestelmässä. /16./

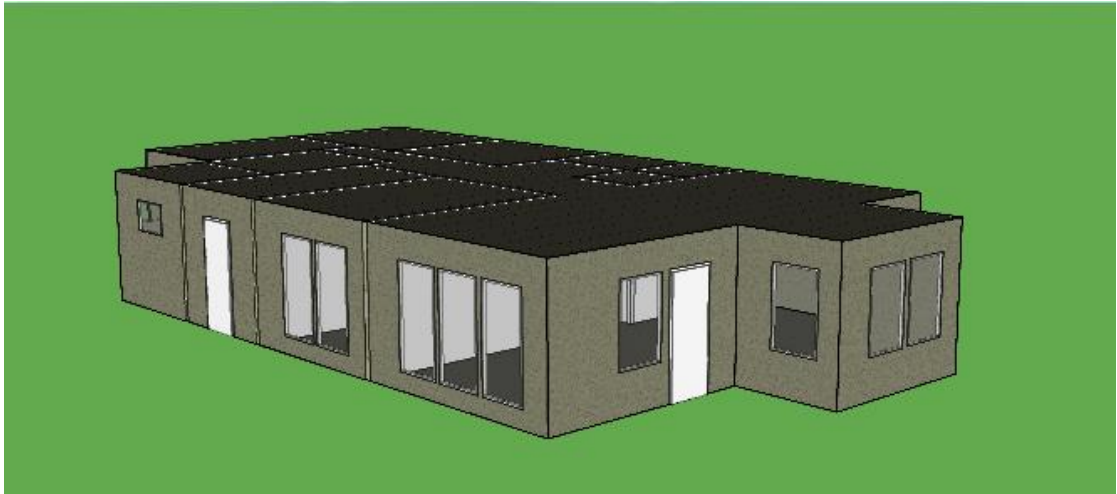
IDA-ICE- ohjelmaan mallinnettiin erillinen pientalo Suomen rakentamismääräyskoelman osan D3 mukaisilla vertailuarvoilla rakenteille ja tiiveydelle. Pientalon mallinnuksella tutkittiin energiakulutusta erilaisilla lämmönluovutusratkaisuilla, jotka olivat vesikiertoinen lattialämmitys sekä vesikiertoinen radiaattorilämmitys. IDA-ICE-ohjelmaan mallinnettiin omakotitalo, josta tehtiin kaksi erilaista mallia, niin sanottua tytärsprojektia. Toiseen malliin määritettiin lämmönluovutusjärjestelmäksi lattialämmitys ja toiseen malliin radiaattorilämmitys. Näin saatiin eliminoitua talon koosta ja muodosta aiheutuvat muuttujat.

Lämpimän käyttöveden lämmitykseen tarvittava energia jaettiin lämpöpumpun ja sähkökäyttöisen varaajan kesken. Lämpöpumpun lämmityksen lämpötilatasoon tuottamasta energiasta otettiin talteen kaikki mahdollinen energia käyttöveden lämmitykseen, eli esilämmitys, ja loppuenergia tuotetaan suoralla sähköllä. Näin saatiin parannettua lämpöpumpun hyötysuhdetta. Lämpöpumpun parantuneen hyötysuhteen johdosta säästettävän sähköenergian ja samalla sähkölämmitteisellä varaajalla menetetyt energian yhteisvaikutusta E-lukuun vertailtiin erilaisilla lämpöpumpun tuottaman menoveden lämpötiloilla.

## **5 TULOKSET**

### **5.1 IDA-ICE -mallinnus**

IDA-ICE- ohjelmaan mallinnettiin kuvitteellinen yksikerroksinen, kolmen makuuhuoneen omakotitalo, jonka pinta-ala oli 134 m<sup>2</sup>. Rakennuksen sijaintina oli Helsinki, eli säävyöhyke 1 oli käytössä. Ulkoisia varjostustekijöitä (puut, muut rakennukset) ei määritelty. Kuvassa 5 nähdään 3D-kuva rakennuksen mallista IDA-ICE -ohjelmalla laadittuna.



**KUVA 5. Pientalon 3D-kuva IDA-ICE-ohjelmasta**

### **5.1.1 Rakenteet**

Mallinnettu pientalo oli puurakenteinen, ja alapohjana oli maanvastainen betonilaatta. Rakennuksen rakenteiden lämmönläpäisykertoimina käytettiin Suomen rakentamismääräyskokoelmien osan D3 mukaisia vertailuarvoja. Rakennuksen tiiveydeksi määriteltiin hyvä ilmanpitävyys, sillä uudisrakennuksissa pyritään noudattamaan matalaa energiankulutusta edistävää rakentamista. Näin ollen ohjelmaan määriteltiin ilmanvuotoluvuksi  $1,5 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ . /13, s. 12; 14, s. 17-20./

### **5.1.2 Lämmin käyttövesi**

Lämpimän käyttöveden kulutukseksi määritettiin Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D3 mukaan  $600 \text{ l}/(\text{m}^2 \text{ a})$ . Kylmän veden lämpötilaksi ennen lämmitintä määritettiin  $+5 \text{ }^\circ\text{C}$  ja lämpimän käyttöveden lämpötilaksi edellä mainittu  $+55 \text{ }^\circ\text{C}$ . Näin ollen käyttöveden lämmitysenergian tarve oli  $35 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$ . Mallinnuksessa määritettiin vesijohdot asennettavaksi suojaputkeen ilman eristystä, jolloin oli huomioitava vedenjakelujärjestelmässä aiheutuva lämpöhäviö. Kyseisen järjestelmän lämpimän käyttöveden siirron vuosihyötysuhde oli 0,85. /3, s. 8; 13, s. 21./

### **5.1.3 Ilmanvaihto**

Ilmanvaihdon ilmamäärät määritettiin IDA-ICE -ohjelmaan Suomen rakentamismääräyskokoelman mukaisesti. Ulkoilmavirraksi määritettiin  $0,4 \text{ l/s}$  jokaista lämmitettyä neliometriä kohden, eli yhteensä koko rakennukseen  $54 \text{ l/s}$ . Poistoilmavirraksi määri-

tettiin 56 l/s, jotta rakennuksesta saataisiin alipaineinen. Rakennukseen valittiin pyörivällä lämmön talteenotolla varustettu Swegon CASA R120 -ilmanvaihtokone, jolle valmistaja on ilmoittanut lämpötilasuhteeksi noin 80 %. Ympäristöministeriön julkaisemalla LTO- laskin 2012- Excel-laskurilla voidaan määrittää kyseiselle ilmanvaihtokoneelle LTO:n vuosihyötysuhde. Laskuriin syötettiin ilmavirrat sekä lämpötilasuhteeksi 80 %, jolloin saatiin LTO:n vuosihyötysuhteeksi 69 %, joka määriteltiin myös IDA-ICE -ohjelmaan. Ilmanvaihtokoneen tuloilmapuhaltimelle määritettiin kyseisellä koneella SFP-luvuksi (Specific fan power)  $0,9 \text{ kW}/(\text{m}^3 \text{ s})$  ja poistoilmapuhaltimelle SFP-luvuksi  $1,0 \text{ kW}/(\text{m}^3 \text{ s})$ . Yhteenlaskettuna tulo- ja poistoilman SFP- arvo  $1,9 \text{ kW}/(\text{m}^3 \text{ s})$  jää alle Suomen rakentamismääräyskokoelman määräämän maksimiarvon  $2 \text{ kW}/(\text{m}^3 \text{ s})$ . Kyseiset SFP-luvut määritettiin laskentaohjelmaan. /13, s. 18; 19; 20; 21./

#### **5.1.4 Lämmönjako- ja luovutusjärjestelmä**

Mallinnetusta pientalosta tehtiin kaksi erillistä mallia. Toiseen malliin määriteltiin vesikiertoinen lattialämmitys mitoituslämpötiloilla 35/30 °C. Tälle lämmönjako- ja luovutusjärjestelmälle määritettiin vuosihyötysuhteeksi 0,8. Toiseen malliin määriteltiin patterilämmitys mitoituslämpötiloilla 45/30 °C, sekä tämän lämmönjako- ja luovutusjärjestelmän vuosihyötysuhteeksi määritettiin 0,85. Kyseiset mitoituslämpötilat lämmönluovutusjärjestelmille uudisrakennuksissa on poimittu energiateollisuuden kaukolämpöoppaasta. Lisäksi määritettiin molempiin malleihin lämminvesivaraajalle lämpöhäviö Suomen rakentamismääräyskokoelman mukaisesti. Varaajaksi valittiin tilavuudeltaan 300 litraa oleva varaaja, joka on eristetty 100 millimetriä paksulla eristyskerroksella. Varaajan lämpöhäviö on 650 kWh/a varaajan sisältämän veden lämpötilalla +55 °C ja ympäristön lämpötilalla +20 °C, ja se vastaa noin 75 W keskitehoa. Lämpöhäviö muuttuu varaajan sisältämän veden lämpötilan muuttuessa, eli on määritettävä uusi lämpöhäviö, kun muutetaan veden lämpötilaa varaajassa. Lämpöhäviö on verrannollinen varaajan sisältämän veden ja ympäröivän tilan lämpötilojen eroon nähdessä, joten lämpöhäviö pienenee noin 11 W jokaista varaajassa pienennettyä 5 °C kohden. /14, s. 40; 15, s. 8./



### 5.1.5 Lämmönlähde

Lämmönlähteenä pientalon mallinnuksessa käytettiin maalämpöpumpua (MLP). Maalämpöpumpun keruupiirin lämmönlähteeksi määritettiin lämpökaivo ja keruupiirin paluunesteen vuotuiseksi keskilämpötilaksi määritettiin +3 °C. Maalämpöpumpun lämpökerrointa vaihdeltiin erilasten kytkentämallien mukaan riippuen lämmönluovutusjärjestelmästä ja lämpimän käyttöveden tuotannosta. Lämpökertoimen arvo voidaan interpoloida taulukosta 1, mikäli menoveden korkein lämpötila poikkeaa taulukon arvoista. Lämpökertoimet saatiin Suomen rakentamismääräyskokoelman osasta D5 löytyvästä taulukosta. Taulukossa 1 on käytetty lämpökertoimelle nimitystä SPF- luku (Seasonal performance factor), joka tarkoittaa vuotuista lämpökerrointa eli kausisuorituskykykerrointa. SPF- luku on normaalia lämpökerrointa huonompi, sillä se on laskettu vuotuiselle käytölle, eikä hetkelliselle kulutukselle. Taulukossa 1 on määritetty E-luvun laskemisessa käytettäviä lämpökertoimia maalämpöpumpulle, ellei tarkempia tietoja ole käytössä. /14, s. 50./

**TAULUKKO 1. MLP:n kausisuorituskykykerroimia (SPF- luku) erilaisilla lämmönkeruupiirin paluunesteen vuotuisilla keskilämpötiloilla sekä erilaisilla lämpöpumpun tuottaman menoveden lämpötiloilla /14/**

Maalämpöpumppu	SPF- luku	
	Vuotuinen keruupiirin paluunesteen keskilämpötila, °C	
menoveden korkein lämpötila, °C	-3	+3
Tilojen lämmitys		
30	3,4	3,5
40	3,0	3,1
50	2,7	2,7
60	2,5	2,5
Käyttöveden lämmitys		
60	2,3	2,3

### 5.1.6 Lämmönkeruupiiri

Lämmönkeruupiiri sijoitetaan lämpökaivoon eli energiakaivoon. Lämpökaivon syvyyden mitoittaa yleensä lämpöpumpun laitetoimittaja omalla mitoitusohjelmallaan. Syvyyttä määritettäessä huomioidaan lämpökaivon aktiivisyvyys eli se syvyys, jossa keruupiirin putket ovat veden alla. Vain tältä osuudelta voidaan kerätä lämpöä tehokkaasti. Tässä opinnäytetyössä käytettiin Stiebel Eltronin mitoitusohjelmaa määrittä-

essä lämpökaivon syvyyttä. Ohjelmaan syötettiin IDA-ICE -ohjelmalla saadut lämmitystehontarpeet ja saatiin lämpökaivon aktiivisyvyudeksi 136 metriä. Aktiivisyvyyteen on syytä lisätä veden korkeuden vaihtelusta johtuen noin 15 metriä, eli valitaan kaivon syvyydeksi 150 metriä ja oletetaan kalliosta saatavan tehon olevan noin 45 W/m. /9, s.8-9; 17./

## 5.2 E-luku

Ostoenergiankulutus kuvaa rakennuksen energiankulutusta, joka joudutaan hankki- maan rakennuksen ulkopuolelta. Tähän energiamäärään kuuluu kaikki rakennuksessa käytetty energia, kuten valaistus, kuluttajalaitteet, lämmitys, ym. Tämän takia ostoenergiankulutus on periaatteessa sama kuin talon energiamittareiden lukemat. Kokonaisenergiankulutus, eli E-luku puolestaan tarkoittaa sitä, kuinka paljon ostoenergi- an valmistamiseen tarvitaan polttoainetta eli primäärienergiaa. Tästä syystä E-luku voi poiketa paljonkin ostoenergiankulutuksesta. Suomen rakentamismääräyskokoelmassa E-luvun laskentaan on määritelty erilaisille energiamuodoille omat kertoimensa, jotka on listattu taulukossa 2. E-luku saadaan kertomalla ostoenergiankulutus kyseisellä energiamuotokertoimella. /13, s. 8; 18./

### TAULUKKO 2. Energiamuotokertoimet /13/

Energiamuoto	Kerroin
Sähkö	1,7
Kaukolämpö	0,7
Kaukojäähdytys	0,4
Fossiiliset polttoaineet	1,0
Rakennuksessa käytettävät uusiutuvat polttoaineet	0,5

Taulukosta 2 nähdään, että käytetyllä energiamuodolla on vaikutusta E- lukua lasket- taessa. On myös muistettava, että lämpöpumppulämmitys on energiamuotona sähköä, ja lämpöpumpun sähköenergiantarve on kerrottava sähkön energiamuotokertoimella laskettaessa E- lukua.

## 5.3 Pientalon energiankulutus

IDA-ICE -mallinnuksella saatiin pientalolle määritettyä ostoenergiankulutus sekä ko- konaisenergiankulutus. Ohjelma erittelee osto- ja kokonaisenergiankulutuksen ja huomioi laskelmissa energiamuotokertoimet. Taulukossa 3 on esitetty patterilämmi-

tyksellä mallinnetun pientalon energiankulutukset kohteittain. Mallissa on määritetty lämpimän käyttöveden lämpötilaksi +55 °C.

### TAULUKKO 3. Patterilämmitteisen pientalon energiankulutukset

		Ostoenergiankulutus		Tarve	Kokonaisenergia	
		kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kW	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
■	Valaistus, kiinteistö	1287	9.6	0.15	2188	16.4
■	Jäähdytys	147	1.1	0.61	250	1.9
■	LVI sähkö	1476	11.1	0.18	2509	18.8
■	Sähkölämmitys, kiinteistö	3130	23.4	1.49	5322	39.8
	LKV, sähkö	2109	15.8	0.24	3585	26.8
	Yhteensä, Kiinteistösähkö	8149	61.0		13854	103.7
	Yhteensä	8149	61.0		13854	103.7
□	Laitteet, asukas	2808	21.0	0.32	4774	35.7
	Yhteensä, Asukkaan sähkö	2808	21.0		4774	35.7
	Yhteensä	10957	82.0		18628	139.4

Taulukosta 3 nähdään, että pientalon ostoenergiankulutus on 82 kWh/m<sup>2</sup>, joka tarkoittaa kyseiselle 133,6- neliöiselle pientalolle noin 10 957 kWh vuodessa. Lisäksi taulukkoon on eriteltyä energiamuotokertoimella painotetut kokonaisenergiankulutukset. Kokonaisenergiankulutus yhteensä, eli E- luku on tällä pientalolla 139,4 kWh<sub>E</sub>/m<sup>2</sup>.

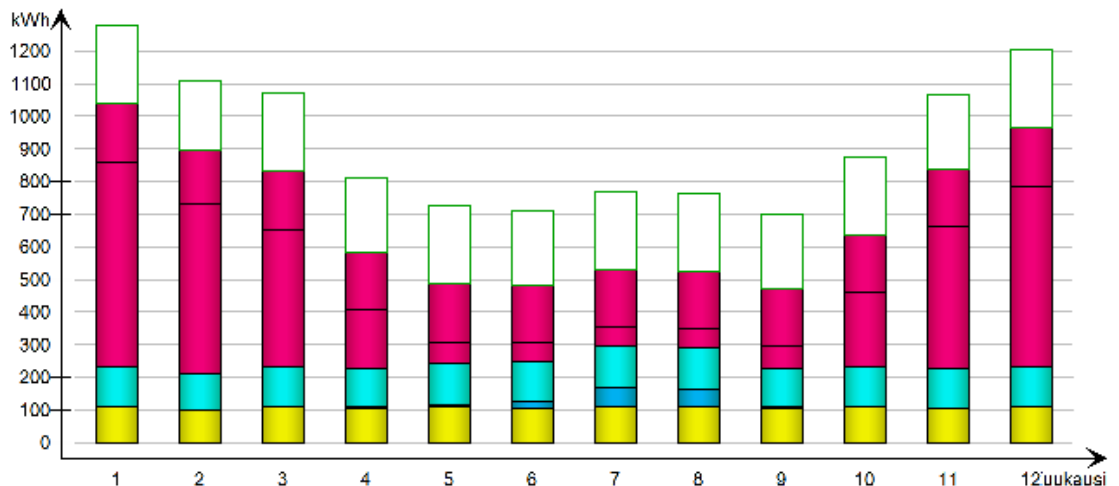
Sama mallinnus tehtiin uudestaan samalle pientalolle, mutta vaihdettiin lämmönluovutusjärjestelmäksi vesikiertoinen lattialämmitys mitoituslämpötiloilla 35/30 °C. Taulukossa 4 on esitetty osto- ja kokonaisenergiankulutus kyseiselle mallinnukselle. Lämpimän käyttöveden lämpötilana käytettiin +55 °C.

**TAULUKKO 4. Lattialämmitteisen pientalon energiankulutukset**

		Ostoenergiankulutus		Tarve	Kokonaisenergia	
		kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kW	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
■	Valaistus, kiinteistö	1287	9.6	0.15	2188	16.4
■	Jäähdytys	147	1.1	0.61	250	1.9
■	LVI sähkö	1468	11.0	0.18	2496	18.7
■	Sähkölämmitys, kiinteistö	3260	24.4	1.57	5542	41.5
	LKV, sähkö	2109	15.8	0.24	3585	26.8
	Yhteensä, Kiinteistösähkö	8271	61.9		14061	105.3
	Yhteensä	8271	61.9		14061	105.3
□	Laitteet, asukas	2808	21.0	0.32	4774	35.7
	Yhteensä, Asukkaan sähkö	2808	21.0		4774	35.7
	Yhteensä	11079	82.9		18835	141.0

Taulukosta 4 nähdään ostoenergiankulutuksen olevan 11079 kWh lattialämmitteiselle pientalolle. Energiamuotokertoimella 1,7 painotettuna tästä saadaan kokonaisenergiankulutukseksi 18835 kWh. Näin ollen E- luku on 141 kWh<sub>E</sub>/m<sup>2</sup>.

IDA-ICE -ohjelmalla voidaan tutkia energiankulutusta myös kuukausittain. Kuvassa 6 on luetteloitu energiankulutukset kohteittain patterilämmitteisessä pientalossa kuukausittain.

**KUVA 6. Pientalon energiankulutus kuukausittain**

Kuvan 6 pylväiden värit vastaavat taulukoiden 3 ja 4 energiankulutuskohteiden värejä. Lämpimän käyttöveden energiankulutus on erotettu lämmityksen energiankulutuksen palkista. Kuvasta 6 huomataan, että lämmityksen ja jäähdytyksen energiankulutukset

vaihtelevat kuukausittain, kun taas muut energiakulutukset pysyvät vakioina kuukaudesta riippumatta.

#### 5.4 Lämpimän käyttöveden osuus energiankulutuksesta

IDA-ICE ohjelmalla voidaan myös tutkia lämpimän käyttöveden vaikutusta kokonaisenergian kulutukseen. Taulukoista 3 ja 4 nähdään, että lämpimän käyttöveden osuus on sama lämmitysmuodosta riippumatta. Kertomalla ostoenergiankulutuksessa ilmoitettu lämpimän käyttöveden osuus 2 109 kWh laskennassa käytetyllä kausisuorituskykykertoimella 2,6, saadaan lämpimän käyttöveden lämpöenergiantarpeeksi 5483,4 kWh vuodessa. Kuten huomataan taulukoista 3 ja 4, niin lämpimällä käyttövedellä on suuri osuus kokonaisenergiankulutuksessa.

#### 5.5 Käyttöveden lämmitys

Suuren energiankulutuksen lämpimässä käyttövedessä aiheuttaa korkea lämpötilan tarve +55 °C sekä kulutus. IDA-ICE- ohjelmalla tutkittiin kyseisen lämpötilan vaihtelun vaikutusta kokonaisenergiankulutukseen. Vähennettiin lämpimän käyttöveden lämpötilaa mallinnuksessa viiden celsiusasteen välein aina lämmityksen menoveden lämpötilaan asti. Patterilämmityksessä tehtiin siis kaksi mallinnusta lisää lämpimän käyttöveden lämpötiloilla +50 °C ja +45 °C. Lattialämmityksessä tehtiin neljä mallinnusta lämpimän käyttöveden lämpötiloilla +50 – +35 °C. Ohjelmalla saatiin uudet kokonaisenergiankulutukset pienemmillä lämpimän käyttöveden lämpötiloilla, mutta kyseisiin energiantarpeisiin lisättiin sähkölämmitteisellä varaajalla tehtävä lisälämmitys, jotta lämpimän käyttöveden lämpötila ei jää rakentamismääräyskokoelman vaatimusta alhaisemmaksi. Suomen rakentamismääräyskokoelman osasta D5 saatiin kaavat, joilla voitiin määrittää sähkövaraajan energiankulutus. Kaavalla 1 laskettiin ensin lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve, jonka jälkeen voitiin kaavalla 2 laskea lämpöenergiantarve sähkölämmitteiselle varaajalle. /14, s. 24–41./

$$Q_{lkv,netto} = \rho_v * c_{pv} * V_{lkv}(T_{lkv} - T_{kv}) / 3600 - Q_{lkv,LTO} \quad (1)$$

jossa

$Q_{lkv,netto}$  lämpimän käyttöveden lämpöenergian nettotarve, kWh

$\rho_v$  veden tiheys, 1000 kg/m<sup>3</sup>

$c_{pv}$	veden ominaislämpökapasiteetti, 4,2 kJ/(kg K)
$V_{lkv}$	lämpimän käyttöveden kulutus, m <sup>3</sup>
$T_{lkv}$	lämpimän käyttöveden lämpötila, °C
$T_{kv}$	kylmän käyttöveden lämpötila, °C
3600	kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi, s/h
$Q_{lkv, LTO}$	jäteveden lämmöntalteenotolla talteenotettu ja käyttöveden lämmityksessä hyväksikäytetty energia, kWh

Kaavassa 1 lämpimän käyttöveden kulutuksena käytettiin kohdan 5.1.2 mukaan määritettyä arvoa 600 l/(m<sup>2</sup> a), eli kyseiselle pientalolle 80,2 m<sup>3</sup> vuodessa. Kylmän käyttöveden lämpötilana käytettiin lämpöpumpulla esilämmitetyn käyttöveden lämpötilaa ja lämpimän käyttöveden lämpötilana käytettiin arvoa +55 °C. Jäteveden lämmöntalteenottolaitetta ei ole kyseisessä pientalossa, joten se jätettiin huomioimatta laskuissa.

$$Q_{\text{lämmitys, lkv}} = \frac{Q_{lkv, netto}}{\eta_{lkv, siirto}} + Q_{lkv, varastointi} + Q_{lkv, kierto} \quad (2)$$

jossa

$Q_{\text{lämmitys, lkv}}$	lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve, kWh/a
$Q_{lkv, netto}$	lämpimän käyttöveden lämpöenergian nettotarve, kWh/a
$\eta_{lkv, siirto}$	lämpimän käyttöveden siirron hyötysuhde, -
$Q_{lkv, varastointi}$	lämpimän käyttöveden varastoinnin lämpöhäviö, kWh/a
$Q_{lkv, kierto}$	lämpimän käyttöveden kiertojohtoon lämpöhäviö, kWh/a

Kaavassa 2 käytettiin lämpimän käyttöveden nettoenergian tarpeena kaavalla 1 saatuja tuloksia. Lämpimän käyttöveden siirron hyötysuhde on kohdassa 5.1.2 määritelty 0,85. Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D1 mukaan asuntokohtaisesti lämpimän käyttöveden saanti on riittävä, jos sähkölämmitteisen lämminvesivaraajan tilavuus on 300 litraa ja sähkövastuksen teho varaajassa on 3 kW. Tässä tapauksessa lämminkäyttövesi on jo kuitenkin esilämmitetty maalämpöpumpulla, joten varaajan tilavuudeksi valittiin 150 litraa. Lämpimän käyttöveden varastoinnin lämpöhäviö 150 litran varaajalla ja 100 mm paksulla lämmöneristeellä on 420 kWh/a. Kyseisessä pientalossa ei ole tarvetta lämpimän käyttöveden kiertojohtolle, joten sen lämpöhäviöt jätettiin huomioimatta laskuissa. /3, s. 10; 14, s. 21./

Taulukkoon 5 on laskettu kaavoilla 1 ja 2 saadut sähkölämmitteisen varaajan sähköenergiantarpeet  $W_{\text{Suorasähkö, lkv}}$ . Yleensä sähköenergiasta puhuttaessa käytetään merkin­ tää  $W$ , joten käytetään sitä myös seuraavissa taulukoissa. Taulukkoon on myös kirjattu IDA-ICE- ohjelmasta saadut maalämpöpumpun käyttöveden tuotannossa tarvitsemat sähköenergiantarpeet  $W_{\text{LP, lkv}}$  pienemmillä lämpötiloilla. Ohjelmalla saadut energian­ kulutustaulukot on esitetty liitteessä 2. Taulukossa  $\Delta T_{\text{lkv}}$  tarkoittaa sähkölämmittei­ seen varaajaan tulevan ja sieltä lähtevän veden lämpötilaeroa. SPF- luvut taulukkoon on määritelty kohdassa 5.1.5.

#### TAULUKKO 5. Sähköenergiankulutus lämpimän käyttöveden tuotannossa

MLP:lla tuote- tun käyttöveden lämpötila	$\Delta T_{\text{lkv}}$ [°C]	SPF	$W_{\text{LP, lkv}}$ [kWh/a]	$W_{\text{Suorasähkö, lkv}}$ [kWh/a]
Patterilämmitys				
55	0	2,6	2109	
50	5	2,7	1554	970
45	10	2,9	1286	1520
Lattialämmitys				
55	0	2,6	2109	
50	5	2,7	1554	970
45	10	2,9	1286	1520
40	15	3,1	1053	2070
35	20	3,3	848	2620

Pientalolle laskettiin uudet ostoenergiankulutukset, kun lämmitetään käyttövettä osit-  
tain maalämpöpumpulla ja osittain sähkölämmitteisellä varaajalla. Taulukkoon 6 on  
koottu IDA-ICE- ohjelmalla saadut ostoenergiankulutukset pientalosta erilaisilla maa-  
lämpöpumpun tuottamilla lämpimän käyttöveden lämpötiloilla  $Q_{\text{Osto}}$ . Näihin energian-  
tarpeisiin on lisätty taulukossa 5 lasketut sähkölämmitteisen varaajan sähköenergian  
tarpeet  $W_{\text{Suorasähkö, lkv}}$ , ja saatiin uudet ostoenergian kulutukset  $Q_{\text{Osto+sähkö, lkv}}$ . Kertomalla  
uudet ostoenergiankulutukset neliötä kohden kohdassa 5.2 määritetyllä energiamuoto-  
kertoimella, saatiin laskettua uudet E- luvut rakennukselle.

**TAULUKKO 6. Osto- ja kokonaisenergiankulutukset pientalolle erilaisilla lämpimän käyttöveden tuotantomenetelmillä**

MLP:lla tuotetun käyttöveden lämpötila	$Q_{\text{Osto}}$ [kWh/a]	$Q_{\text{Sähkö, LKV}}$ [kWh/a]	$Q_{\text{Osto+sähkö, LKV}}$ [kWh/a]	$Q_{\text{Osto+sähkö, LKV}}$ [kWh/m <sup>2</sup> a]	E- luku [kWh <sub>E</sub> /m <sup>2</sup> a]
Patterilämmitys					
55	10957		10957	82,0	139,4
50	10306	970	11276	84,4	143,5
45	9942	1520	11462	85,8	145,8
Lattialämmitys					
55	11079		11079	82,9	141,0
50	10428	970	11398	85,3	145,0
45	10063	1520	11583	86,7	147,4
40	9734	2070	11804	88,4	150,2
35	9433	2620	12053	90,2	153,4

**5.6 Käyttöveden kulutuksen vaikutus**

Lämpimän käyttöveden energiantarve on riippuvainen sen kulutuksesta. Kulutus voi poiketa paljonkin vertailtaessa pientaloja keskenään, sillä käyttöveden kulutus vaihtelee 90 - 270 l/vrk asukasta kohden. Lämpimän käyttöveden kulutus tästä on keskimäärin 40 - 50 l/vrk henkilöä kohden. IDA-ICE- ohjelmalla tarkasteltiin lämpimän käyttöveden kulutuksen vaikutusta energiankulutukseen. Laskettiin lämpimän käyttöveden kulutus uudelleen samoin kuin kohdassa 5.4, mutta muutettiin lämpimän käyttöveden kulutukseksi 40 l/vrk henkilöä kohden. Kyseiseen pientaloon määritettiin henkilömäärä Suomenrakentamismääräyskokoelman osan D3 mukaan. Pientalossa on yksi henkilö jokaista 43 neliometriä kohden, joten kyseisessä pientalossa on asukkaita 3,1. Puhuttaessa henkilöistä pyöristetään ylöspäin seuraavaan tasalukuun, joten saadaan henkilömääräksi 4 henkilöä. Näin ollen lämpimän käyttöveden kulutus on 160 l/vrk. Taulukkoon 7 on laskettu IDA-ICE- ohjelmalla maalämpöpumpun sähköenergiantarve  $W_{\text{LP, lkv}}$  lämpimän käyttöveden kulutuksella 160 l/vrk, sekä erilaisilla lämpimän käyttöveden lämpötiloilla. Ohjelmalla saadut energiankulutustaulukot on esitetty liitteessä 2. Lisäksi taulukkoon on laskettu sähkölämmitteisen varaajan sähköenergian tarpeet  $W_{\text{Suorasähkö, lkv}}$ . Taulukossa  $\Delta T_{\text{lkv}}$  tarkoittaa sähkölämmitteiseen varaajaan tulevan ja sieltä lähtevän veden lämpötilaeroa. SPF- luvut taulukkoon on määritelty kohdassa 5.1.5. /13, s. 20; 24./



**TAULUKKO 7. Sähköenergiankulutus lämpimän käyttöveden kulutuksella 160 l/vrk**

MLP:lla tuotetun käyttöveden lämpötila	$\Delta T_{lkv}$ [°C]	SPF	$W_{LP, lkv}$ [kWh/a]	$W_{Suorasähkö, lkv}$ [kWh/a]
Patterilämmitys				
55	0	2,6	1306	
50	5	2,7	1132	821
45	10	2,9	936	1222
Lattialämmitys				
55	0	2,6	1306	
50	5	2,7	1132	821
45	10	2,9	936	1222
40	15	3,1	767	1622
35	20	3,3	617	2023

Pientalolle laskettiin uudet ostoenergiankulutukset sekä E- luvut kuten kohdassa 5.4, mutta lämpimän käyttöveden kulutuksena käytettiin 160 l/vrk. Tulokset on kirjattu taulukkoon 8.

**TAULUKKO 8. Osto- ja kokonaisenergiankulutukset pientalolle erilaisilla lämpimän käyttöveden tuotantomenetelmillä ja kulutuksella 160 l/vrk**

MLP:lla tuotetun käyttöveden lämpötila	$Q_{Osto}$ [kWh/a]	$Q_{Sähkö, LKV}$ [kWh/a]	$Q_{Osto+sähkö, LKV}$ [kWh/a]	$Q_{Osto+sähkö, LKV}$ [kWh/m <sup>2</sup> a]	E- luku [kWh <sub>E</sub> /m <sup>2</sup> a]
Patterilämmitys					
55	10154		10154	76,0	129,2
50	9884	821	10705	80,1	136,2
45	9592	1222	10814	80,9	137,6
Lattialämmitys					
55	10276		10276	76,9	130,8
50	10006	821	10827	81,0	137,8
45	9713	1222	10935	81,8	139,1
40	9448	1622	11070	82,9	140,9
35	9202	2023	11225	84,0	142,8

## 6 TULOSTEN ANALYSOINTI JA POHDINTA

Opinnäytetyössä vertailtiin pientalon energiankulutuksia erilaisilla lämmitysratkaisuilta. Lisäksi tutkittiin lämpimän käyttöveden vaikutusta energiankulutukseen. Lämmitysmuotona tutkimuksissa käytettiin maalämpöpumppua. Maalämpöpumpun lisäksi tutkittiin sähkölämmitteisen varaajan vaikutusta lämpimän käyttöveden tuotannossa.

IDA-ICE- mallinnuksen tuloksia vertailtaessa huomataan, että lattialämmityksellä varustetun pientalon ostoenergiankulutus on hieman suurempi kuin patterilämmitteisessä pientalossa. Tämä johtuu patterilämmityksen pienemmistä lämmönjaon ja lämmönluovutuksen häviöistä verrattuna lattialämmitykseen. Energiamuotokertoimen painotuksesta johtuen E-lukujen erotus malleilla on suurempi kuin ostoenergiankulutusten erotus. Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D3 vaatimuksen mukaan E-luvun on 134-neliöisellä rakennuksella oltava alle  $(372 - 1,4 * A_{\text{netto}})$  kWh<sub>E</sub>/m<sup>2</sup> vuodessa, eli noin 184 kWh<sub>E</sub>/m<sup>2</sup>. Molemmissa malleissa E-luku jäi selvästi alle kyseisen vaatimuksen. /13, s. 9./

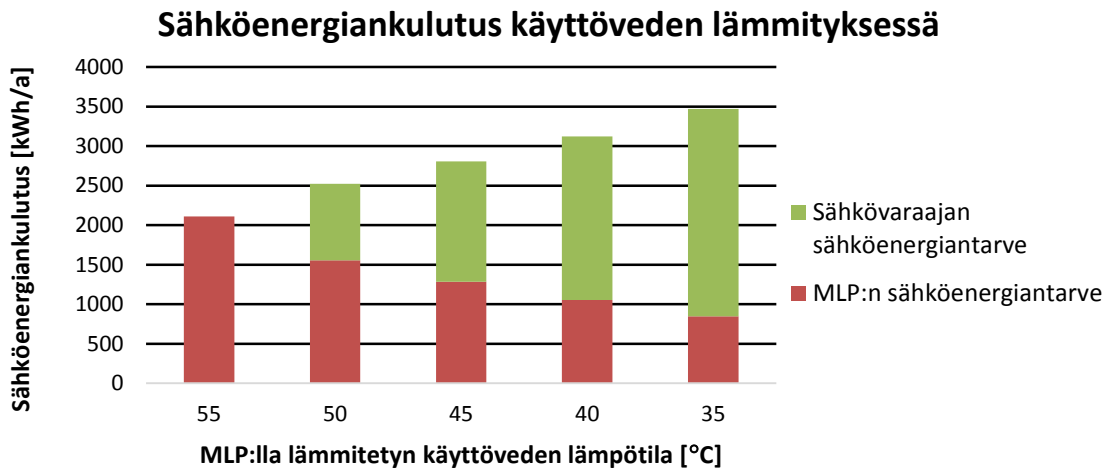
Maalämpöpumpulla lämmitetyn käyttöveden lämpötilaa pienentämällä saatiin pienennettyä maalämpöpumpun sähköenergiankulutusta. Alhaisemman lämpötilatason tuottaminen vaatii vähemmän energiaa, sekä maalämpöpumpun kausisuorituskykykerroin paranee alhaisemmalla tuotetulla lämpötilatasolla.

Maalämpöpumpulla tuotettu alhaisemmassa lämpötilassa oleva käyttövesi lämmitettiin sähkölämmitteisellä varaajalla vaadittuun +55 °C lämpötilaan. Sähkövaraajalle laskettiin sähköenergiankulutukset erilaisilla lämpötilaeroilla. Näitä sähköenergiankulutuksia verrattiin maalämpöpumpulla säästettyyn sähköenergiankulutukseen.

Patterilämmitteisessä pientalossa pienennettiin maalämpöpumpulla lämmitettävän käyttöveden lämpötila +45 °C:een, eli lämmityksen menoveden korkeimpaan lämpötilaan. Tähän järjestelmään lisättiin sähkölämmiteinen varaaja, jossa käyttövesi lämmitettiin +55 °C:een. Huomattiin maalämpöpumpulla säästetyn sähköenergian olevan pienempi kuin sähkölämmitteisen varaajan sähköenergian tarve. Maalämpöpumpun sähköenergian tarve pienentyi 823 kWh/a, kun taas sähkövaraajan sähköenergian tarve oli 1520 kWh/a. Tässä tilanteessa sähkövaraajassa lämmitettävän veden lämpötilaero oli 10 °C.

Lattialämmitteisessä pientalossa pienennettiin maalämpöpumpulla tuotettavan käyttöveden lämpötilaa +35 °C:een, jolloin maalämpöpumpun sähköenergia pieneni 1261 kWh/a. Tässä tilanteessa sähkövaraajan sähköenergian tarve oli 2620 kWh/a, sillä siihen tulevan ja sieltä lähtevän veden lämpötilaero oli 20 °C. Molemmissa mallinnuksissa huomattiin sähkövaraajan sähköenergian tarpeen olevan huomattavasti suurempi kuin maalämpöpumpulla säästettävän sähköenergian määrä. Kuvassa 7 on havainnol-

listettu maalämpöpumpun ja sähkövaraajan sähköenergiakulutuksien muutoksia käyttöveden lämmityksessä.

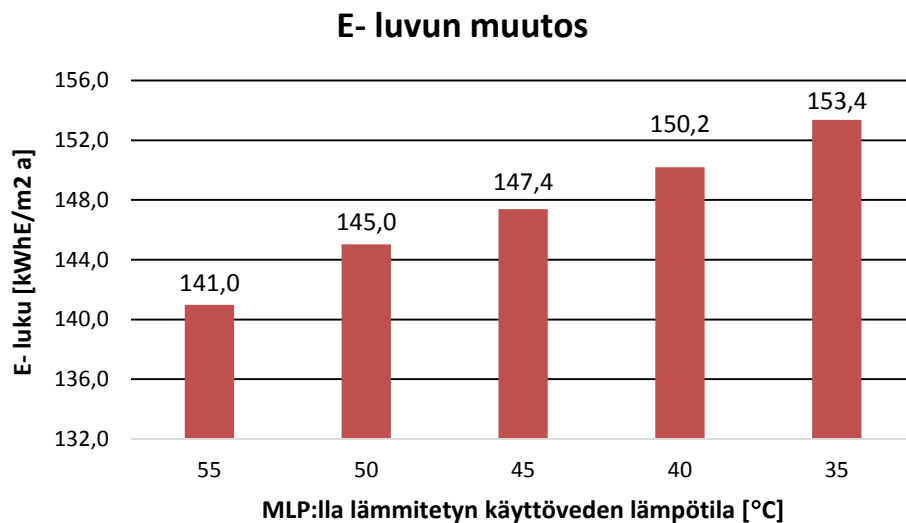


**KUVA 7. Sähkövaraajan ja MLP:n sähköenergiakulutuksia käyttöveden lämmityksessä**

Lämpimän käyttöveden energiatarpeeseen vaikuttavat suuresti sen korkea lämpötila-taso sekä kulutus. Tutkittiin lämpimän käyttöveden kulutuksen vaikutusta energiatarpeeseen. Lämpimän käyttöveden kulutusta vähennettiin arvosta 600 l/(m<sup>2</sup> a) arvoon 40 l/vrk henkilöä kohden, eli 437 l/(m<sup>2</sup> a). Tällä kulutuksella maalämpöpumpun sähköenergiatarve pieneni 803 kWh/a, kun lämmitettiin käyttövesi kokonaan maalämpöpumpulla.

Jaettiin taas lämpimän käyttöveden tuotanto maalämpöpumpun ja sähkövaraajan kesken ja tarkasteltiin sähköenergiakulutuksia. Patterilämmitteisessä pientalon mallissa tehtiin maalämpöpumpulla +45 °C lämpöistä käyttövettä ja loput 10 °C lämmitettiin sähkövaraajalla. Huomattiin maalämpöpumpun sähköenergiatarpeen pienenevän 370 kWh/a verrattuna siihen, että tehtäisiin pelkästään maalämpöpumpulla +55 °C lämpöistä käyttövettä. Tässä tilanteessa sähkövaraajan sähköenergiatarve oli 1222 kWh/a. Tarkasteltaessa lattialämmitteisen pientalon mallia, huomattiin maalämpöpumpun sähköenergiatarpeen pienenevän 689 kWh/a. Tässä tilanteessa sähkövaraajan sähköenergiatarve oli 2023 kWh/a ja sen lämmittämän käyttöveden lämpötilaero oli 20 °C. Huomattiin, että pienemmällä kulutuksellakin maalämpöpumpulla säästetty sähköenergia oli huomattavasti pienempi verrattuna sähkövaraajan sähköenergiatarpeeseen.

Patterilämmitteisessä pientalossa E- luku oli  $139,4 \text{ kWh}_E/\text{m}^2$ , kun lämmitettiin käyttövesi pelkästään maalämpöpumpulla. Kun laskettiin maalämpöpumpulla lämmitetyn käyttöveden lämpötilataso  $+45 \text{ }^\circ\text{C}$ :een, ja lisättiin malliin sähkövaraaja jolla lämmitettiin käyttövesi  $+55 \text{ }^\circ\text{C}$ :een, nousi E- luku arvoon  $145,8 \text{ kWh}_E/\text{m}^2$ . Lattialämmitteisessä mallissa jaettiin käyttöveden lämmitys vastaavasti maalämpöpumpulle  $+35 \text{ }^\circ\text{C}$  ja sähkövaraajalla nostettiin käyttövesi  $+55 \text{ }^\circ\text{C}$ :een. Tässä tilanteessa E- luku kasvoi arvosta  $141,0 \text{ kWh}_E/\text{m}^2$  arvoon  $153,4 \text{ kWh}_E/\text{m}^2$ . Huomattiin, ettei sähkövaraajan lisääminen järjestelmään parantanut E- lukua, vaan päinvastoin, heikensi sitä huomattavasti. Kuvassa 8 on esitetty lattialämmitteisen pientalon E- luvun muutokset erilaisilla MLP:illa tuotetuilla käyttöveden lämpötiloilla.



**KUVA 8. E- luvun muutos erilaisilla MLP:illa tuotetuilla käyttöveden lämpötiloilla**

Lämpimän käyttöveden kulutuksen pienentäminen paransi E- lukua molemmissa malleissa noin  $10 \text{ kWh}_E/\text{m}^2$ , eli kulutuksella on suuri osuus lämpimän käyttöveden energiankulutuksessa. Kulutuksen muutos ei kuitenkaan parantanut maalämpöpumpun ja sähkövaraajan yhteiskäyttöä käyttöveden lämmityksessä, vaan tulokset olivat samantaisia kuin suuremmalla kulutuksella.

On kuitenkin huomioitava, että tämä tutkimus on täysin teoreettinen. Tässä työssä käytettiin laskennassa enimmäkseen Suomen rakentamismääräyskokoelmien ohjeita. Käytäntöä tarkasteltaessa voidaan saada tästä tutkimuksesta poikkeavia tuloksia. Esimerkiksi käyttöveden kulutusta on vaikea arvioida, sillä se on täysin riippuvainen

ihmisten käyttötottumuksista. Uusissa maalämpöpumpuissa voi myös olla parempia kausisuorituskykykertoimia kuin tässä työssä käytetyt Suomen rakentamismääräyskoelman osan D5 ohjearvot.

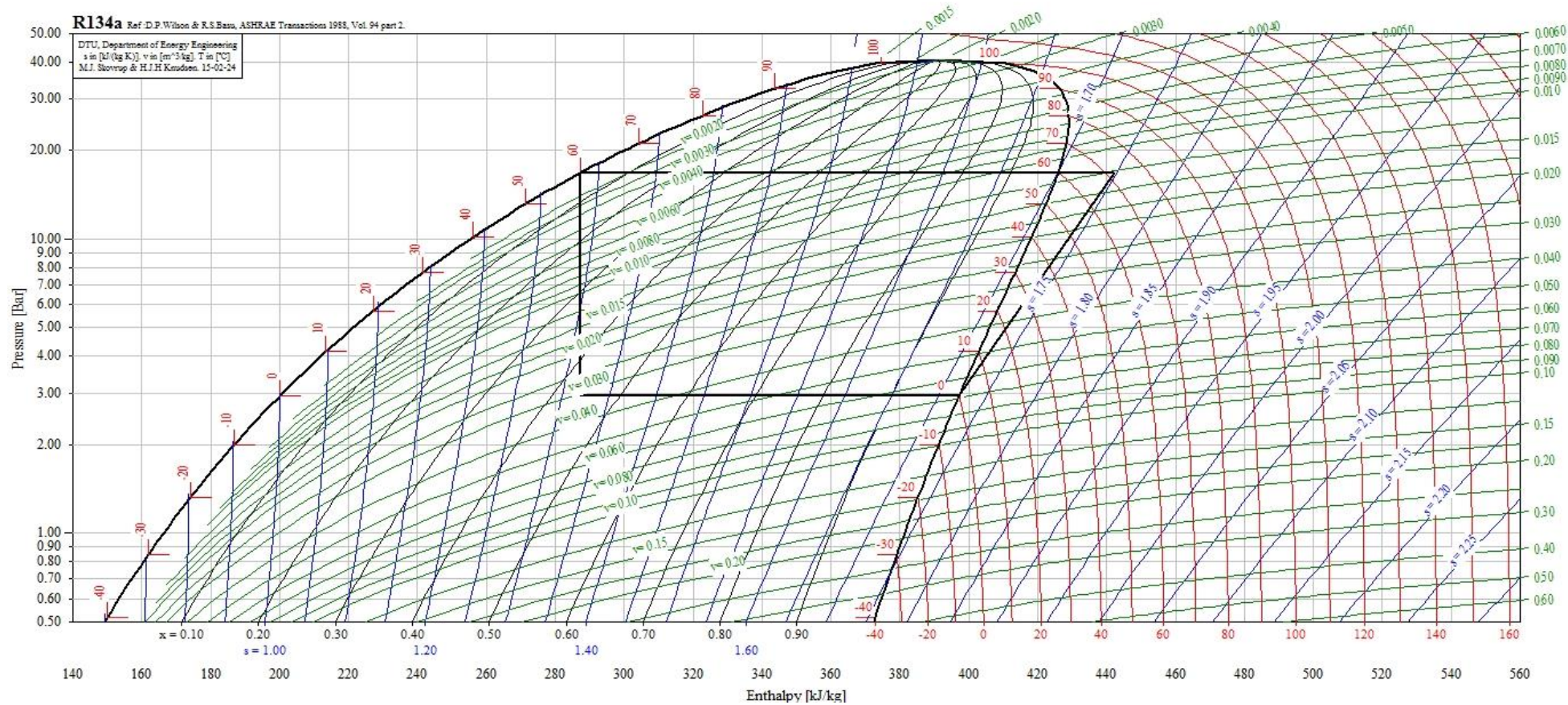
## LÄHTEET

1. Perälä, Osmo & Perälä, Rae 2013. Lämpöpumput. Helsinki: Alfamer.
2. Asumisen energiankulutus energialähteittäin vuonna 2013. 2014. Tilastokeskus. WWW-julkaisu. [http://www.tilastokeskus.fi/til/asen/2013/asen\\_2013\\_2014-11-14\\_tau\\_002\\_fi.html](http://www.tilastokeskus.fi/til/asen/2013/asen_2013_2014-11-14_tau_002_fi.html). Päivitetty 14.11.2014. Luettu 7.1.2015.
3. Suomen rakentamismääräyskokoelma 2007. D1. Kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistot. Määräykset ja ohjeet. Ympäristöministeriö. WWW-dokumentti. [http://www.finlex.fi/data/normit/28208-D1\\_2007.pdf](http://www.finlex.fi/data/normit/28208-D1_2007.pdf). Ei päivitystietoa. Luettu 7.1.2015.
4. Babiak, Jan, Olesen, Bjarne W & Petráš, Dušan 2009. Low temperature heating and high temperature cooling. Rehva.
5. Lämpöpumput. 2014. Motiva. WWW-dokumentti. [http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/lampopumput](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/lampopumput). Päivitetty 29.12.2014. Luettu 8.1.2015.
6. Eastop & Croft. 1995. Energy efficiency for engineers and technologists. Harlow: Longman Pub Group.
7. Energiatietoa. Erilaisia lämpöpumppuja. Saimaa Gardens Services. WWW-dokumentti. <http://www.saimaagardens.one1.fi/index.php?mid=70>. Ei päivitystietoa. Luettu 18.3.2015.
8. Lämpöä omasta maasta. Lämmitysjärjestelmät. Maalämpöpumput. Motiva. WWW-dokumentti. [http://www.motiva.fi/files/7965/Lampoa\\_omasta\\_maasta\\_Maalampopumput.pdf](http://www.motiva.fi/files/7965/Lampoa_omasta_maasta_Maalampopumput.pdf). Ei päivitystietoa. Luettu 8.12.2014.
9. Juvonen, Janne & Lapinlampi, Toivo. 2013. Energiakaivo. Maalämmön hyödyntäminen pientaloissa. Ympäristöministeriö. WWW-julkaisu. [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40953/YO\\_2013.pdf?sequence=4](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40953/YO_2013.pdf?sequence=4). Ei päivitystietoa. Luettu 8.1.2015.
10. Ilmalämpöpumput. 2009. Motiva. WWW-dokumentti. <http://www.motiva.fi/files/175/Ilmalampopumput.pdf>. Päivitetty 22.1.2009. Luettu 8.1.2015.
11. La Mura, Sergio, Joppolo, Cesare Maria, Pietrá, Luca Alberto, Angermann, Jean Pierre & Izard, Mark. 2013. Legionellosis Prevention in building water and HVAC systems. Rehva.

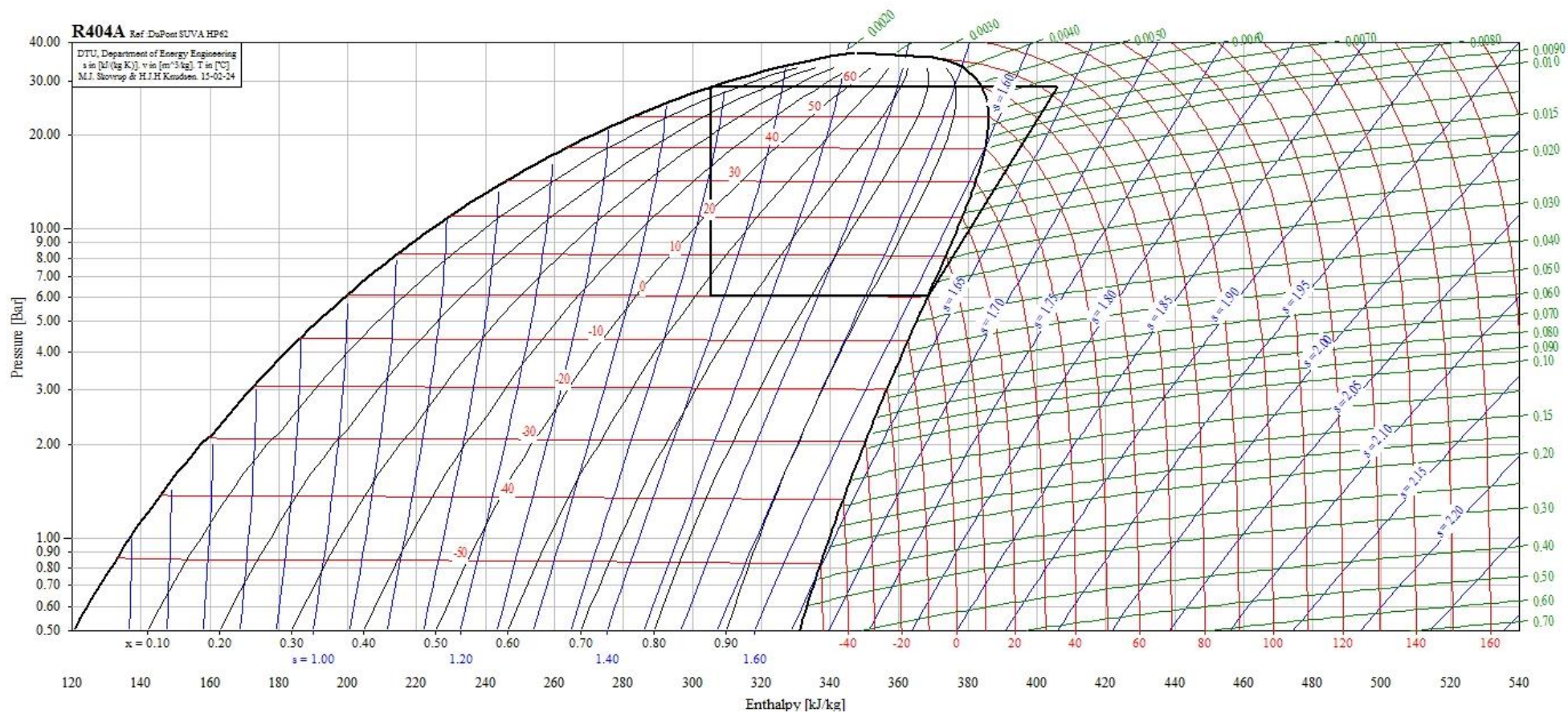
12. Huovinen, Pentti 2014. Legioonalaistauti. Artikkel.  
[www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p\\_artikkeli=dlk00580](http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=dlk00580). Päivitetty 14.11.2014. Luettu 12.1.2015.
13. Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D3. 2012. Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet. Ympäristöministeriö. WWW-dokumentti.  
[http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012\\_Suomi.pdf](http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012_Suomi.pdf). Ei päivitystietoa. Luettu 12.1.2015.
14. Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D5. 2007. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ohjeet. Ympäristöministeriö. WWW-dokumentti. <http://www.finlex.fi/data/normit/29520-D5-190607-suomi.pdf>. Ei päivitystietoa. Luettu 12.1.2015.
15. Energiateollisuus 2013. Rakennusten kaukolämmitys. K1. Määräykset ja ohjeet. WWW-dokumentti.  
[http://energia.fi/sites/default/files/julkaisuk1\\_2013\\_20140509.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/julkaisuk1_2013_20140509.pdf). Päivitetty 9.5.2014. Luettu 17.1.2015.
16. IDA-ICE 4.0 Preview. EQUA. Pdf-dokumentti.  
<http://www.equa.se/index.php/en/ida-ice>. Ei päivitystietoa. Luettu 8.12.2014.
17. Kalliojärvi, Jukka 2015. Sähköpostiviesti. 9.1.2015. Suomen Talotekniikka Energia Mikkelin Oy.
18. Mikä on E- luku ja miten se on mitattu? E-mittaus. WWW-dokumentti.  
<http://www.e-mittaus.fi/?p=70>. Ei päivitystietoa. Luettu 28.1.2015.
19. Suomenrakentamismääräyskokoelma. D3. LTO- laskin. 2012. Ympäristöministeriö. WWW-julkaisu. <http://www.ym.fi/rakentamismaaraykset>. Ei päivitystietoa. Luettu 29.1.2015.
20. Swegon CASA R120. Asennus-, käyttö- ja huolto-ohje. Swegon. Pdf- dokumentti.  
[http://www.swegon.com/Global/PDFs/Home%20ventilation/Air%20handling%20units/Swegon%20CASA%20R-series/\\_fi/CASA\\_R120-m.pdf](http://www.swegon.com/Global/PDFs/Home%20ventilation/Air%20handling%20units/Swegon%20CASA%20R-series/_fi/CASA_R120-m.pdf). Ei päivitystietoa. Luettu 29.1.2015.
21. Swegon. Swegon CASA R120. WWW- julkaisu.  
<http://www.swegon.com/fi/Tuotteet/Asuntoilmanvaihto/Ilmanvaihtolaitteet/Pyorivakennoiset-R-sarja/CASA-R120-Premium/>. Ei päivitystietoa. Luettu 29.1.2015.
22. Kylmäaineita sisältäviä laitteita koskevat lakisäädökset. Etelä-Suomen prosessisyys Oy. Artikkel.  
<http://www.prssystem.fi/kylmaainelainsaadanto/>. Ei päivitystietoa. Luettu 6.2.2015.

23. Aalto, Esa 2008. Luonnolliset kylmäaineet – uusi askel ilmakehänsuojelussa kylmälalalla. Suomen kyläliikkeiden liitto ry. WWW-julkaisu.  
<http://www.skll.fi/www/att.php?id=44>. Päivitetty 21.2.2008. Luettu 6.2.2015.
24. Vedenkulutus. 2014. Motiva. WWW-julkaisu.  
[http://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/mihin\\_energiaa\\_kuluu/vedenkulutus](http://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/mihin_energiaa_kuluu/vedenkulutus).  
Päivitetty 18.12.2014. Luettu 17.2.2014.
25. Aittomäki, Antero, Kianta, Jani & Karkiainen, Sasu 2003. Hiilidioksidin käyttö kylmälaitoksissa. Käyttökohteet, hyödyt ja tutkimustarve. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto.
26. Kianta, Jani 2008. Kylmäainetilanne 2008. Suomen kylmäyhdistys ry. WWW-julkaisu. <http://www.skll.fi/yhdistys/www/att.php?type=2&id=37>. Päivitetty 25.5.2008. Luettu 26.2.2015.

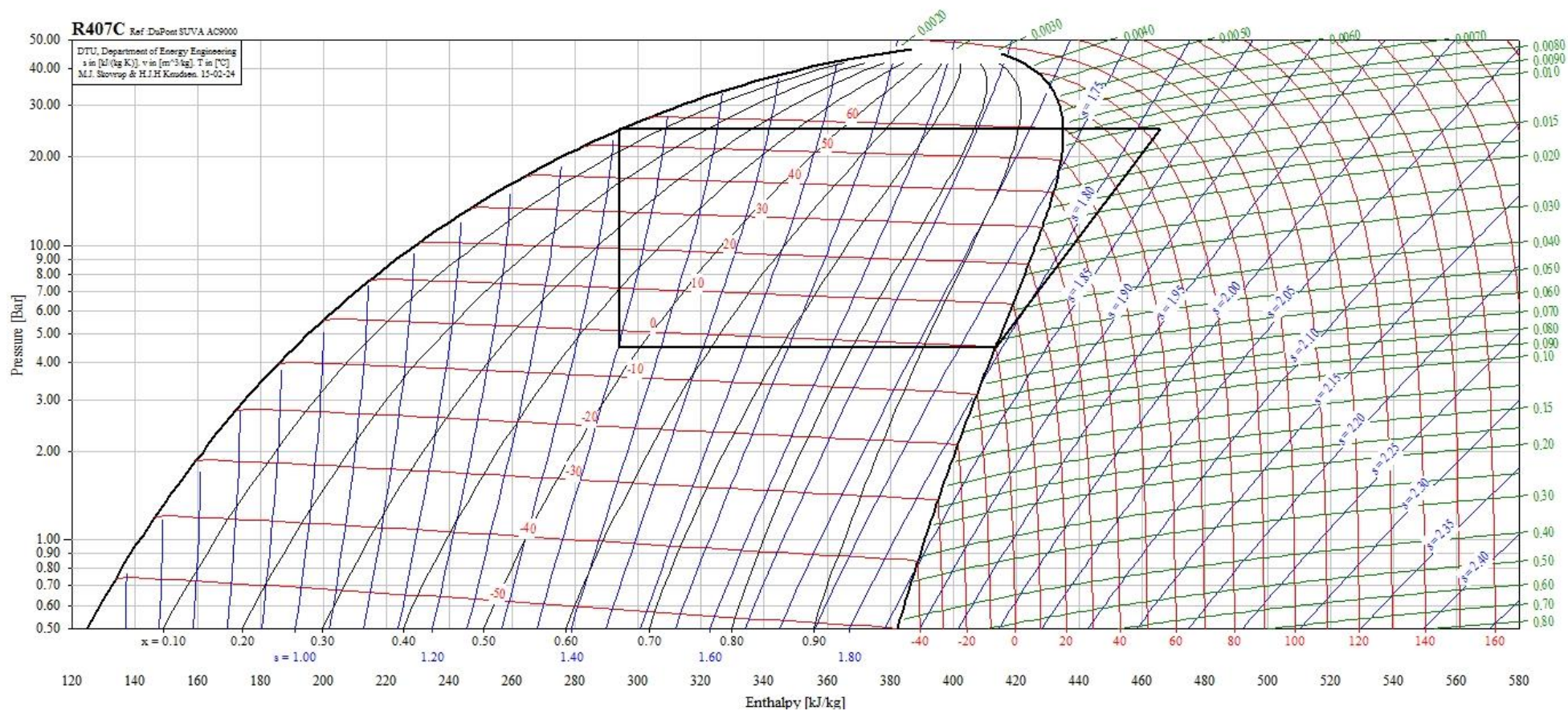




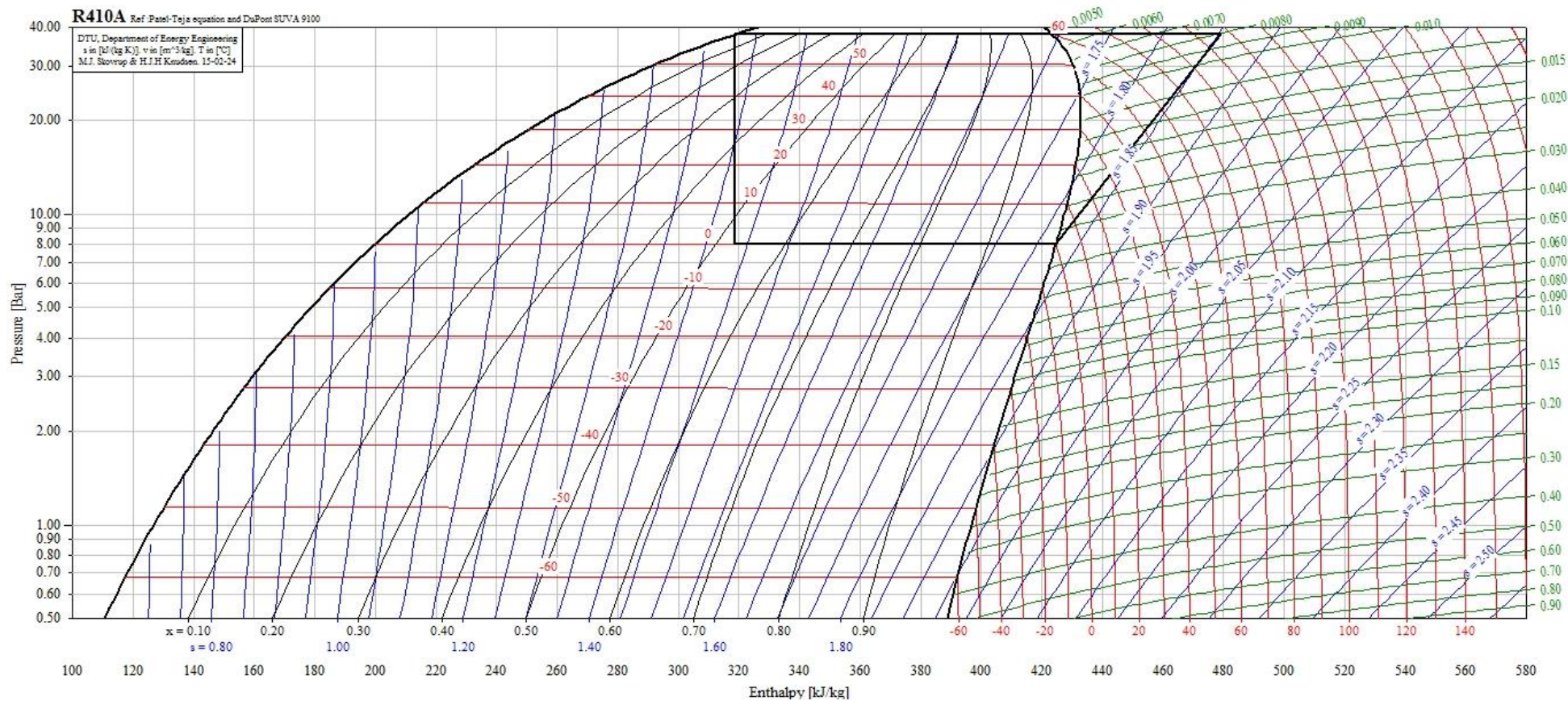
KUVA L2.1. Kylmäaineen R134a käyttäytyminen lämpöpumpussa



KUVA L2.2. Kylmäaineen R404a käyttäytyminen lämpöpumpussa



KUVA L2.3. Kylmäaineen R407c käyttäytyminen lämpöpumpussa



KUVA L2.4. Kylmäaineen R410a käyttäytyminen lämpöpumpussa



LIITE 2(1).

Energiankulutustaulukot

**TAULUKKO L1.1. Patterilämmitteisen pientalon energiankulutukset MLP:lla tuotetun käyttöveden lämpötilalla +50 °C**

		Ostoenergiankulutus		Tarve	Kokonaisenergia	
		kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kW	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
■	Valaistus, kiinteistö	1287	9.6	0.15	2188	16.4
■	Jäähdytys	147	1.1	0.61	250	1.9
■	LVI sähkö	1476	11.1	0.18	2509	18.8
■	Sähkölämmitys, kiinteistö	3034	22.7	1.48	5158	38.6
	LKV, sähkö	1554	11.6	0.18	2642	19.8
	Yhteensä, Kiinteistösähkö	7498	56.1		12747	95.4
	Yhteensä	7498	56.1		12747	95.4
□	Laitteet, asukas	2808	21.0	0.32	4774	35.7
	Yhteensä, Asukkaan sähkö	2808	21.0		4774	35.7
	Yhteensä	10306	77.1		17521	131.2

**TAULUKKO L1.2. Patterilämmitteisen pientalon energiankulutukset MLP:lla tuotetun käyttöveden lämpötilalla +45 °C**

		Ostoenergiankulutus		Tarve	Kokonaisenergia	
		kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kW	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
■	Valaistus, kiinteistö	1287	9.6	0.15	2188	16.4
■	Jäähdytys	147	1.1	0.61	250	1.9
■	LVI sähkö	1476	11.1	0.18	2509	18.8
■	Sähkölämmitys, kiinteistö	2938	22.0	1.47	4994	37.4
	LKV, sähkö	1286	9.6	0.15	2186	16.4
	Yhteensä, Kiinteistösähkö	7134	53.4		12127	90.8
	Yhteensä	7134	53.4		12127	90.8
□	Laitteet, asukas	2808	21.0	0.32	4774	35.7
	Yhteensä, Asukkaan sähkö	2808	21.0		4774	35.7
	Yhteensä	9942	74.4		16901	126.5

## Energiankulutustaulukot

**TAULUKKO L1.3. Lattialämmitteisen pientalon energiankulutukset MLP:lla tuotetun käyttöveden lämpötilalla +50 °C**

		Ostoenergiankulutus		Tarve	Kokonaisenergia	
		kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kW	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
■	Valaistus, kiinteistö	1287	9.6	0.15	2188	16.4
■	Jäähdytys	147	1.1	0.61	250	1.9
■	LVI sähkö	1468	11.0	0.18	2496	18.7
■	Sähkölämmitys, kiinteistö	3164	23.7	1.56	5378	40.3
	LKV, sähkö	1554	11.6	0.18	2642	19.8
	Yhteensä, Kiinteistösähkö	7620	57.0		12954	97.0
	Yhteensä	7620	57.0		12954	97.0
□	Laitteet, asukas	2808	21.0	0.32	4774	35.7
	Yhteensä, Asukkaan sähkö	2808	21.0		4774	35.7
	Yhteensä	10428	78.1		17728	132.7

**TAULUKKO L1.4. Lattialämmitteisen pientalon energiankulutukset MLP:lla tuotetun käyttöveden lämpötilalla +45 °C**

		Ostoenergiankulutus		Tarve	Kokonaisenergia	
		kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kW	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
■	Valaistus, kiinteistö	1287	9.6	0.15	2188	16.4
■	Jäähdytys	147	1.1	0.61	250	1.9
■	LVI sähkö	1468	11.0	0.18	2496	18.7
■	Sähkölämmitys, kiinteistö	3067	23.0	1.55	5214	39.0
	LKV, sähkö	1286	9.6	0.15	2186	16.4
	Yhteensä, Kiinteistösähkö	7255	54.3		12334	92.3
	Yhteensä	7255	54.3		12334	92.3
□	Laitteet, asukas	2808	21.0	0.32	4774	35.7
	Yhteensä, Asukkaan sähkö	2808	21.0		4774	35.7
	Yhteensä	10063	75.3		17108	128.1

## Energiankulutustaulukot

**TAULUKKO L1.5. Lattialämmitteisen pientalon energiankulutukset MLP:lla tuotetun käyttöveden lämpötilalla +40 °C**

		Ostoenergiankulutus		Tarve	Kokonaisenergia	
		kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kW	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
■	Valaistus, kiinteistö	1287	9.6	0.15	2188	16.4
■	Jäähdytys	147	1.1	0.61	250	1.9
■	LVI sähkö	1468	11.0	0.18	2496	18.7
■	Sähkölämmitys, kiinteistö	2971	22.2	1.54	5050	37.8
	LKV, sähkö	1053	7.9	0.12	1789	13.4
	Yhteensä, Kiinteistösähkö	6926	51.8		11773	88.1
	Yhteensä	6926	51.8		11773	88.1
□	Laitteet, asukas	2808	21.0	0.32	4774	35.7
	Yhteensä, Asukkaan sähkö	2808	21.0		4774	35.7
	Yhteensä	9734	72.9		16547	123.9






**TAULUKKO L1.6. Lattialämmitteisen pientalon energiankulutukset MLP:lla tuotetun käyttöveden lämpötilalla +35 °C**

		Ostoenergiankulutus		Tarve	Kokonaisenergia	
		kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kW	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
■	Valaistus, kiinteistö	1287	9.6	0.15	2188	16.4
■	Jäähdytys	147	1.1	0.61	250	1.9
■	LVI sähkö	1468	11.0	0.18	2496	18.7
■	Sähkölämmitys, kiinteistö	2875	21.5	1.53	4887	36.6
	LKV, sähkö	848	6.3	0.1	1441	10.8
	Yhteensä, Kiinteistösähkö	6625	49.6		11262	84.3
	Yhteensä	6625	49.6		11262	84.3
□	Laitteet, asukas	2808	21.0	0.32	4774	35.7
	Yhteensä, Asukkaan sähkö	2808	21.0		4774	35.7
	Yhteensä	9433	70.6		16036	120.0








## Energiankulutustaulukot

**TAULUKKO L1.7. Patterilämmitteisen pientalon energiankulutukset MLP:lla tuotetun käyttöveden lämpötilalla +55 °C ja kulutuksella 160 l/vrk.**

		Ostoenergiankulutus		Tarve	Kokonaisenergia	
		kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kW	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
	Valaistus, kiinteistö	1287	9.6	0.15	2188	16.4
	Jäähdytys	147	1.1	0.61	250	1.9
	LVI sähkö	1476	11.1	0.18	2509	18.8
	Sähkölämmitys, kiinteistö	3130	23.4	1.49	5322	39.8
	LKV, sähkö	1306	9.8	0.15	2220	16.6
	Yhteensä, Kiinteistösähkö	7346	55.0		12489	93.5
	Yhteensä	7346	55.0		12489	93.5
	Laitteet, asukas	2808	21.0	0.32	4774	35.7
	Yhteensä, Asukkaan sähkö	2808	21.0		4774	35.7
	Yhteensä	10154	76.0		17263	129.2

**TAULUKKO L1.8. Patterilämmitteisen pientalon energiankulutukset MLP:lla tuotetun käyttöveden lämpötilalla +50 °C ja kulutuksella 160 l/vrk.**

		Ostoenergiankulutus		Tarve	Kokonaisenergia	
		kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kW	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
	Valaistus, kiinteistö	1287	9.6	0.15	2188	16.4
	Jäähdytys	147	1.1	0.61	250	1.9
	LVI sähkö	1476	11.1	0.18	2509	18.8
	Sähkölämmitys, kiinteistö	3034	22.7	1.48	5158	38.6
	LKV, sähkö	1132	8.5	0.13	1924	14.4
	Yhteensä, Kiinteistösähkö	7076	53.0		12029	90.0
	Yhteensä	7076	53.0		12029	90.0
	Laitteet, asukas	2808	21.0	0.32	4774	35.7
	Yhteensä, Asukkaan sähkö	2808	21.0		4774	35.7
	Yhteensä	9884	74.0		16803	125.8

## Energiankulutustaulukot

**TAULUKKO L1.9. Patterilämmitteisen pientalon energiankulutukset MLP:lla tuotetun käyttöveden lämpötilalla +45 °C ja kulutuksella 160 l/vrk.**

		Ostoenergiankulutus		Tarve	Kokonaisenergia	
		kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kW	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
■	Valaistus, kiinteistö	1287	9.6	0.15	2188	16.4
■	Jäähdytys	147	1.1	0.61	250	1.9
■	LVI sähkö	1476	11.1	0.18	2509	18.8
■	Sähkölämmitys, kiinteistö	2938	22.0	1.47	4994	37.4
	LKV, sähkö	936	7.0	0.11	1592	11.9
	Yhteensä, Kiinteistösähkö	6784	50.8		11533	86.3
	Yhteensä	6784	50.8		11533	86.3
□	Laitteet, asukas	2808	21.0	0.32	4774	35.7
	Yhteensä, Asukkaan sähkö	2808	21.0		4774	35.7
	Yhteensä	9592	71.8		16307	122.1

**TAULUKKO L1.10. Lattialämmitteisen pientalon energiankulutukset MLP:lla tuotetun käyttöveden lämpötilalla +55 °C ja kulutuksella 160 l/vrk.**

		Ostoenergiankulutus		Tarve	Kokonaisenergia	
		kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kW	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
■	Valaistus, kiinteistö	1287	9.6	0.15	2188	16.4
■	Jäähdytys	147	1.1	0.61	250	1.9
■	LVI sähkö	1468	11.0	0.18	2496	18.7
■	Sähkölämmitys, kiinteistö	3260	24.4	1.57	5542	41.5
	LKV, sähkö	1306	9.8	0.15	2220	16.6
	Yhteensä, Kiinteistösähkö	7468	55.9		12696	95.0
	Yhteensä	7468	55.9		12696	95.0
□	Laitteet, asukas	2808	21.0	0.32	4774	35.7
	Yhteensä, Asukkaan sähkö	2808	21.0		4774	35.7
	Yhteensä	10276	76.9		17470	130.8

LIITE 2(6).

Energiankulutustaulukot

TAULUKKO L1.11. Lattialämmitteisen pientalon energiankulutukset MLP:lla tuotetun käyttöveden lämpötilalla +50 °C ja kulutuksella 160 l/vrk.

		Ostoenergiankulutus		Tarve	Kokonaisenergia	
		kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kW	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
■	Valaistus, kiinteistö	1287	9.6	0.15	2188	16.4
■	Jäähdytys	147	1.1	0.61	250	1.9
■	LVI sähkö	1468	11.0	0.18	2496	18.7
■	Sähkölämmitys, kiinteistö	3164	23.7	1.56	5378	40.3
	LKV, sähkö	1132	8.5	0.13	1924	14.4
	Yhteensä, Kiinteistösähkö	7198	53.9		12236	91.6
	Yhteensä	7198	53.9		12236	91.6
□	Laitteet, asukas	2808	21.0	0.32	4774	35.7
	Yhteensä, Asukkaan sähkö	2808	21.0		4774	35.7
	Yhteensä	10006	74.9		17010	127.3

TAULUKKO L1.12. Lattialämmitteisen pientalon energiankulutukset MLP:lla tuotetun käyttöveden lämpötilalla +45 °C ja kulutuksella 160 l/vrk.

		Ostoenergiankulutus		Tarve	Kokonaisenergia	
		kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kW	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
■	Valaistus, kiinteistö	1287	9.6	0.15	2188	16.4
■	Jäähdytys	147	1.1	0.61	250	1.9
■	LVI sähkö	1468	11.0	0.18	2496	18.7
■	Sähkölämmitys, kiinteistö	3067	23.0	1.55	5214	39.0
	LKV, sähkö	936	7.0	0.11	1592	11.9
	Yhteensä, Kiinteistösähkö	6905	51.7		11740	87.9
	Yhteensä	6905	51.7		11740	87.9
□	Laitteet, asukas	2808	21.0	0.32	4774	35.7
	Yhteensä, Asukkaan sähkö	2808	21.0		4774	35.7
	Yhteensä	9713	72.7		16514	123.6

## Energiankulutustaulukot

**TAULUKKO L1.13. Lattialämmitteisen pientalon energiankulutukset MLP:lla tuotetun käyttöveden lämpötilalla +40 °C ja kulutuksella 160 l/vrk.**

		Ostoenergiankulutus		Tarve	Kokonaisenergia	
		kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kW	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
■	Valaistus, kiinteistö	1287	9.6	0.15	2188	16.4
■	Jäähdytys	147	1.1	0.61	250	1.9
■	LVI sähkö	1468	11.0	0.18	2496	18.7
■	Sähkölämmitys, kiinteistö	2971	22.2	1.54	5050	37.8
	LKV, sähkö	767	5.7	0.09	1303	9.8
	Yhteensä, Kiinteistösähkö	6640	49.7		11287	84.5
	Yhteensä	6640	49.7		11287	84.5
□	Laitteet, asukas	2808	21.0	0.32	4774	35.7
	Yhteensä, Asukkaan sähkö	2808	21.0		4774	35.7
	Yhteensä	9448	70.7		16061	120.2

**TAULUKKO L1.14. Lattialämmitteisen pientalon energiankulutukset MLP:lla tuotetun käyttöveden lämpötilalla +35 °C ja kulutuksella 160 l/vrk.**

		Ostoenergiankulutus		Tarve	Kokonaisenergia	
		kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kW	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
■	Valaistus, kiinteistö	1287	9.6	0.15	2188	16.4
■	Jäähdytys	147	1.1	0.61	250	1.9
■	LVI sähkö	1468	11.0	0.18	2496	18.7
■	Sähkölämmitys, kiinteistö	2875	21.5	1.53	4887	36.6
	LKV, sähkö	617	4.6	0.07	1049	7.9
	Yhteensä, Kiinteistösähkö	6394	47.9		10870	81.4
	Yhteensä	6394	47.9		10870	81.4
□	Laitteet, asukas	2808	21.0	0.32	4774	35.7
	Yhteensä, Asukkaan sähkö	2808	21.0		4774	35.7
	Yhteensä	9202	68.9		15644	117.1