

Opinnäytetyö (AMK)

Insinööri | LVI-tekniikka

2020

Johannes Simola

ENERGIA- JA KUSTANNUSTEHOKAS LÄMMITYSJÄRJESTELMÄ

- vertailussa maalämpöpumppu ja ilma-vesilämpöpumppu

Johannes Simola

ENERGIA- JA KUSTANNUSTEHOKAS LÄMMITYSJÄRJESTELMÄ

- vertailussa maalämpöpumppu ja ilma-vesilämpöpumppu

Lämpöpumppujen suosio rakennuksen päälämmönlähteenä on jatkuvassa kasvussa niiden ympäristöystävällisyyden sekä energiatehokkuuden ansiosta. Etenkin maalämpöpumpun ja ilma-vesilämpöpumpun kysyntä on kasvannut huomattavasti lähivuosina. Asiakkaat haluavat saada konkreettisia vastauksia näiden kahden lämpöpumpun kannattavuuden väliltä. Tämän työn tavoitteena on saada vastauksia maalämpö- ja ilma-vesilämpöpumpun kannattavuuden eroista erilaisissa kohteissa. Tavoitteena on myös syventää tietoa näiden lämpöpumppujen eroista, jotta jatkossa pystytään valitsemaan entistä paremmin käyttäjän kannalta kannattavin lämmitysratkaisu.

Menetelmänä tulosten saamiseksi käytettiin energianlaskentaa, jota suoritettiin lämpöpumppujen energialaskentaoppaaseen perustuen sekä yksinkertaisella laskentamenetelmällä että pysyvyyskäyrämenetelmällä. Pysyvyyskäyrämenetelmän lämpötilat perustuvat Suomen energialaskennan referenssivuoden (D3 2012) mukaisiin tunnittaisiin ulkolämpötilan pysyvyystietoihin. Energialaskennassa käytettiin laitevalmistajien tuotetietoja. Energialaskennan tulosten avulla vertailtiin maalämpöpumpun ja ilma-vesilämpöpumpun kannattavuutta omakotitalo- sekä rivitalokohteissa. Lisäksi perehdyttiin niiden hyötysuhteisiin, lämpöenergian tuottoon ja sähkönkulutuksen jakautumiseen. Laitteiston sähkönkulutuksen ja hankintahinnan avulla pystyttiin vertailemaan laitteiston käyttökustannuksia sekä niiden takaisinmaksuaikoja.

Kustannuksia ja kannattavuutta vertaillessa käytettiin pysyvyyskäyrämenetelmän antamia tuloksia, sillä se todettiin luotettavammaksi ja tarkemmaksi laskentatavaksi. Työn johtopäätöksenä todettiin, että ilma-vesilämpöpumppu on sopiva sekä kustannustehokas ratkaisu Keski-Suomen alapuolella sijaitseville omakotitaloille. Varsinkin uudiskohteissa talon lämpöhäviöt ovat varsin pienet, joten ilma-vesilämpöpumppu riittää mainiosti rakennuksen päälämmönlähteenä. Myös maalämpöpumppua pidettiin hyvänä ratkaisuna, mutta sille vaadittava energiakaivon poraus nostaa sen hankintahintaa runsaasti verrattuna ilma-vesilämpöpumppuun. Pientalossa maalämmön takaisinmaksuaika ilma-vesilämpöpumppuun verrattuna nousee suhteettoman suureksi. Kiinteistökohteissa todettiin maalämmön kannattavuuden nousevan, sillä lämmitystehontarve on suurempi. Laskelmista huomattiin, kuinka maalämmön takaisinmaksuaika ilma-vesilämpöpumppuun verrattuna on rivitalossa noin puolet pienempi kuin omakotitalossa. Mitä suurempi lämmitystehontarve siis on, sitä kannattavampana ratkaisuna pidetään maalämpöä.

ASIASANAT:

Maalämpöpumppu, ilma-vesilämpöpumppu, lämmitysjärjestelmä, kustannustehokkuus, energialaskenta.

BACHELOR'S / MASTER'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical engineering | HVAC engineering

2020 | 75 pages

Johannes Simola

ENERGY AND COST EFFICIENT HEATING SYSTEM

- comparing geothermal heat pump to air-to-water heat pump

The popularity of the heat pumps as the main heat source for building is constantly growing due to their environmental friendliness and energy efficiency features. When working in the field of HVAC, professional can notice the growing popularity especially of the geothermal heat pumps and air to water heat pumps. The clientele wants to see concrete, tangible results of the profitability that these options may offer. The need for this information was the key reasoning behind decision made to concentrate and to look more deeply at these questions and give the answers requested. An objective was also set to gain a deeper understanding how these two differentiate in peculiar circumstances so that the client-server is able to advise their customers in their own unique conditions, buildings and environments in the best possible, unique ways.

This thesis work concentrates looking into tangible reports and answers by looking in different performing energy calculations of heat pumps. The results of energy calculations will be compared to the electricity consumption of heat pumps and their operational costs. The energy calculation is performed based on the energy calculation guide of heat pumps; by using a simple calculation method and a stability curve method. The outdoor temperatures of the stability curve method are based on data of hourly outdoor temperature stability according to the Finnish energy calculation reference year (D3 2012). In this work, conclusion can be made that the stability curve method is a more reliable and more accurate calculation method out of these two. When comparing costs and profitability, results received from the electricity consumption stability curve method are used to do so. With the results of energy calculations, comparison of the profitability with geothermal heat pump and an air to water heat pump in a detached and terraced house project can be compassed. Acquainted with their efficiency and the distribution of electricity consumption. The electricity consumption and the purchase price of the equipment make it possible to calculate the operating costs of the equipment and to compare the equipment payment time of each other.

As a conclusion and the outcome, one can state that an air-to-water heat pump is a considerable and cost-effective solution for detached houses located below Central Finland. Especially in new, more recent projects, the heat losses of the houses are truly minor, so an air-to-water heat pump is a perfect production option as a heat source. Geothermal heat is also an accountable solution anyhow required energy well drilling puts the price up notably compared to an air-to-water heat pump. In a small house, the payback period for geothermal heat compared to an air-to-water heat pump becomes disproportionately large in my opinion. In larger properties, geothermal energy is starting to speak for itself. The higher the heating power rises, the better the geothermal energy will show it's difference. In this thesis, it can also be noticed that the payback time for geothermal heat in a terraced house is half compared to an air-to-water heat pump in a detached house.

KEYWORDS:

Geothermal heat pump, air to water heat pump, heating system, cost efficiency, energy estimate.

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET	8
1 JOHDANTO	9
2 LÄMMÖNLÄHTEENÄ LÄMPÖPUMPUT	11
2.1 Lämpöpumput	12
2.1.1 Maalämpö	15
2.1.2 Ilma-vesilämpöpumppu	22
2.1.3 Muut lämpöpumput	25
3 VESIKIERTOISET LÄMMÖNJAKOJÄRJESTELMÄT LÄMPÖPUMPUILLA	27
3.1 Vesikiertoinen lattialämmitys	27
3.2 Vesikiertoinen patterilämmitys	28
4 LÄMMITYSTAVAN VAIKUTUS RAKENNUKSEN E-LUKUUN JA ENERGIATODISTUKSEEN	30
4.1 Energiatodistus	30
4.2 E-luku	30
5 ENERGIALASKENTA LÄMPÖPUMPUILLA	33
5.1 Yksinkertainen laskentamenetelmä lämpöpumppujen energialaskennassa	34
5.2 Pysyvyyskäyrään perustuva yksityiskohtainen laskentamenetelmä	43
6 ENERGIALASKENNAN ESIMERKKIKOHEET	46
6.1 Omakotitalo	46
6.1.1 Lähtötiedot	46
6.1.2 Omakotitalon energialaskenta maalämpöpumpulla	48
6.1.3 Omakotitalon energialaskenta ilma-vesilämpöpumpulla	53
6.2 Rivitalo	58
6.2.1 Lähtötiedot	58
6.2.2 Rivitalon energialaskenta maalämpöpumpulla	60
6.2.3 Rivitalon energialaskenta ilma-vesilämpöpumpulla	64
7 POHDINTA	69
7.1 Energialaskentatapa	69

7.2 Kustannukset	70
------------------	----

8 PÄÄTELMÄT	73
--------------------	-----------

LÄHTEET	74
----------------	-----------

KAAVAT

Kaava 1. Lämpöpumpun lämpökertoimen laskenta (Härkönen 2017)	14
Kaava 2. Ideaalisen vertailuprosessin eli ns. Carnot-prosessin lämpökerroin (Härkönen 2017) .	14
Kaava 3. Lämmitysteho, vesivirta laskukaava (Rakennustieto Oy 2002b).	27
Kaava 4. Tilojen lämmityksen tarvitsema lisälämmitysenergia (Lämpöpumppujen energialaskentaopas, 2012).	38
Kaava 5. Käyttöveden lämmityksen tarvitsema lisälämmitysenergia (Lämpöpumppujen energialaskentaopas, 2012).	38
Kaava 6. Lämpöpumpun tuottama tilojen lämmitysenergia (Lämpöpumppujen energialaskentaopas, 2012).	38
Kaava 7. Lämpöpumpun tuottama käyttöveden lämmitysenergia (Lämpöpumppujen energialaskentaopas, 2012).	39
Kaava 8. Lämpöpumpun sähköenergiankulutus lämmityskäytössä (Lämpöpumppujen energialaskentaopas, 2012).	39
Kaava 9. Meno- ja paluuveden lämpötilan mukaan korjattu lämpökerroin. (Lämpöpumppujen energialaskentaopas, 2012).	41
Kaava 10. Lämpöpumpun SPF-luku tilojen lämmityksessä (Lämpöpumppujen energialaskentaopas, 2012).	41
Kaava 11. Lämpöpumpun SPF-luku käyttöveden lämmityksessä (Lämpöpumppujen energialaskentaopas, 2012).	42
Kaava 12. Lämpöpumpun yhteisen SPF-luvun laskenta tiloille ja käyttövedelle (Lämpöpumppujen energialaskentaopas, 2012).	42
Kaava 13. Lämpökertoimen arvoon sisällyttömien apulaitteiden sähkönkulutus (Lämpöpumppujen energialaskentaopas, 2012).	43
Kaava 14. Lämpöpumpun COP-luvun määrittäminen.	45
Kaava 15. Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve (Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta, RT RakMK-103174, 2020).	48

KUVAT

Kuva 1. Suomeen myydyt lämpöpumput (Suomen lämpöpumppuyhdistys 2020).	12
Kuva 2. Sähkön (harmaa) ja uusiutuvan energian (valkoinen) suhde vuosilämpötilakertoimen muuttuessa (Rakennustieto Oy 2018).	15
Kuva 3. Maalämpöpumpun toimintaperiaate (Härkönen 2017).	17
Kuva 4. Maalämpöpumppujen tekniikkaa (Motiva 2012) (Kuvan käyttö lupa, piirtäjä Harri Tarkka).	22

Kuva 5. Ilmasta lämpöä keräävän lämpöpumpun toimintaperiaate (Motiva 2012b) (Kuvan käyttö lupa, piirtäjä Harri Tarkka).	23
Kuva 6. Tehowatti Air Split ilma-vesilämpöpumppu kokonaispaketti (Kaukora Oy 2017).	24
Kuva 7. Basic Split ilma-vesilämpöpumppu kytkettynä öljykattilan rinnalle (Kaukora 2017).	25
Kuva 8. Suomen neljä säävyöhykettä (Ympäristöministeriön asetus 2/11).	33
Kuva 9. Havainnollinen ulkolämpötilan pysyvyyskäyrä. (Lämpöpumppujen energialaskentaopas 2012).	43
Kuva 10. Lämpöpumpun tehotietoja eri lämpötiloilla (Kaukora Oy 2018).	44

TAULUKOT

Taulukko 1. Lämpöpumppumyynti Suomessa vuosina 2018 – 2019 (Suomen lämpöpumppuyhdistys 2020)	13
Taulukko 2. Energiamutojen kertoimet. (Valtioneuvoston asetus 788/2017).	31
Taulukko 3. E-luvun enimmäisraja-arvot eri käyttötarkoituksiluokille. (Valtioneuvoston asetus 788/2017).	31
Taulukko 4. Maalämpöpumpun lämpöenergioiden suhteet eri säävyöhykkeillä ja menoveden lämpötiloilla (Lämpöpumppujen energialaskentaopas 2012).	36
Taulukko 5. Ulkoilmalämpöpumpun (ilma-vesi) lämpöenergioiden suhteet eri säävyöhykkeillä ja menoveden lämpötiloilla (Lämpöpumppujen energialaskentaopas 2012).	37
Taulukko 6. Maalämpöpumpun SPF-lukuja (Lämpöpumppujen energialaskentaopas 2012).	40
Taulukko 7. Ulkoilmalämpöpumppujen SPF-lukuja (Lämpöpumppujen energialaskentaopas 2012).	40
Taulukko 8. Suomen energialaskennan referenssivuoden (D3 2012) mukaisten tunnitaiten lämpötilan pysyvyystietojen mukaan laskettu omakotitalon lämmityksen vuosittainen energiankulutus.	47
Taulukko 9. Maalämpöpumpun toimintapisteet lämmityskäytössä.	50
Taulukko 10. Maalämpöpumpun toimintapisteet lämpimänkäyttöveden lämmityksessä.	51
Taulukko 11. Pysyvyyskäyrä sekä tulokset maalämpöpumpulla tehdyille omakotitalon energialaskennalle.	52
Taulukko 12. Ilma-vesilämpöpumpun toimintapisteet lämmityskäytössä.	55
Taulukko 13. Ilma-vesilämpöpumpun toimintapisteet käyttöveden lämmityksessä.	55
Taulukko 14. Pysyvyyskäyrä sekä tulokset ilma-vesilämpöpumpulla tehdyille omakotitalon energialaskennalle.	57
Taulukko 15. Suomen energialaskennan referenssivuoden (D3 2012) mukaisten tunnitaiten lämpötilan pysyvyystietojen mukaan laskettu rivitalon lämmityksen vuosittainen energiankulutus.	59
Taulukko 16. Maalämpöpumpun toimintapisteet lämmityskäytössä.	62
Taulukko 17. Pysyvyyskäyrä sekä tulokset maalämpöpumpulla tehdyille rivitalon energialaskennalle.	63
Taulukko 18. Ilma-vesilämpöpumpun toimintapisteet lämmityskäytössä.	66
Taulukko 19. Ilma-vesilämpöpumpun toimintapisteet käyttöveden lämmityksessä.	66
Taulukko 20. Pysyvyyskäyrä sekä tulokset ilma-vesilämpöpumpulla tehdyille rivitalon energialaskennalle.	68
Taulukko 21. Energialaskentavan vaikutus tuloksiin	69

Taulukko 22. Omakotitalon lämmityksen kustannuslaskelma	70
Taulukko 23. Rivitalon lämmityksen kustannuslaskelma	71

KÄYTETYT LYHENTEET

ARA	Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus (ara.fi)
COP	Coefficient of performance, lämpökerroin
COP _{max}	Ideaalisen vertailuprosessin eli ns. Carnot-prosessin lämpökerroin
E-luku	Rakennuksen vuotuinen laskennallinen kokonaisenergiankulutus neliometriä kohden
ILP	Ilmalämpöpumppu
IVLP/UVLP	Ilma-vesilämpöpumppu
kWh	Kilowattitunti
MLP	Maalämpöpumppu
PILP	Poistoilmalämpöpumppu
SCOP	Seasonal coefficient of performance, vuotuinen lämpökerroin
SPF-luku	(Seasonal Performance Factor) ilmoittaa saadun käyttökel- poisen lämpöenergian määrän suhteessa käytettyyn sähkö- energiaan vuodessa.
TRT	Maaperän geoenergiamittaus

1 JOHDANTO

Lämmityskustannukset ovat yksi suurimmista kulueristä rakennuksen käyttökustannuksissa. Lämmitysjärjestelmää valitessa tehdään kauaskantoinen päätös siitä, millä menetelmällä rakennusta tullaan tulevaisuudessa lämmittämään. Sähkön ja öljyn käyttö lämmityksessä on hiipunut 2010-luvulla, kun taas lämpöpumppujen suosio on Suomessa ollut vahvassa kasvussa. Vuonna 2019 lämpöpumppuihin investoitiin yli 600 miljoonaa euroa ja niiden myynti kasvoi vuoteen 2018 katsottuna 30 %:lla. Lämpöpumppujen energiantuotanto kattaa nykyään jopa 15 % Suomen asunto ja palvelurakennuskannan lämmityksestä. Lämpöpumppujen suosion selittää niiden energiatehokkuus sekä ympäristöystävällisyys. (Motiva 2019; Suomen lämpöpumppuyhdistys 2020).

Tässä opinnäytetyössä vertailen maalämpöpumpun ja ilma-vesilämpöpumpun kustannustehokkuutta rakennuksen päälämmönlähteenä. Suoritan energialaskentaa kahden erilaisen kohteen (omakotitalo sekä rivitalo) perusteella. Nämä lämpöpumput valikoitui-
vat työssäni vertailtaviksi, sillä niillä voidaan sitoa lämpöä käyttövedeen sekä vesikiertoi-
seen lämmitysjärjestelmään ja näin ollen niitä voidaan käyttää rakennuksen päälämmön-
lähteenä. Lisäksi etenkin näiden lämpöpumppujen kysyntä on kasvanut selvästi lähiai-
koina.

Ilma-vesilämpöpumpulla tyypillinen ilmasta saatava vuotuinen energiamäärä rakennuk-
sen lämmitysenergiatarpeesta on 55-60 %, kun taas maalämmöllä lämmönkeruupiiristä
vastaava luku on 70-75 %. Leutojen talvien vuoksi ilma-vesilämpöpumpun vuosittainen
hyötysuhde kuitenkin nousee ja tällöin ero maalämpöön verrattuna kaventuu. Tämän li-
säksi ilma-vesilämpöpumput ovat kehittyneet ja niiden toiminta-alue on laajentunut. Maa-
lämpö on ollut rakennuksen arvon kannalta vahvasti vaikuttava tekijä, vaikka sen hyöty
suhteessa ilma-vesilämpöpumppuun ei välttämättä ole enää niin suuri edellä mainittujen
tekijöiden vuoksi. Maalämpö tosin on energia- ja kustannustehokas valinta, mutta sen
hankintahinta on korkea. Energiakaivojen poraus on kallista, jonka lisäksi se vaatii ra-
kennusluvan. Ilma-vesilämpöpumpun hankintakustannukset sen sijaan ovat maltillisem-
mat, mutta niiden hyötysuhde ja toiminta-alue ei kuitenkaan saavuta maalämmön luke-
mia (LVI-kalenteri 2020, 71).

Tämän työn tavoitteena on saada vastauksia maalämpö- ja ilma-vesilämpöpumpun kan-
nattavuuden eroista erilaisissa kohteissa. Työskentelen itse LVI-urakointiliikkeessä ja
olen huomannut, miten ilma-vesilämpöpumppujen kysyntä on huomattavasti lisääntynyt

lähivuosina. Siksi haluan vertailla keskenään ilma-vesilämpöpumpun ja maalämpöpumpun vuotuista lämpöenergian tuottoa sekä sähköenergian kulutusta. Lisäksi haluan vertailla niiden takaisinmaksuaikoja. Tämän opinnäytetyön pohjalta uskon osaavani jatkossa paremmin suositella asiakkaalle kustannustehokasta lämmitysjärjestelmää heidän tarpeisiin suhteutettuna.

2 LÄMMÖNLÄHTEENÄ LÄMPÖPUMPUT

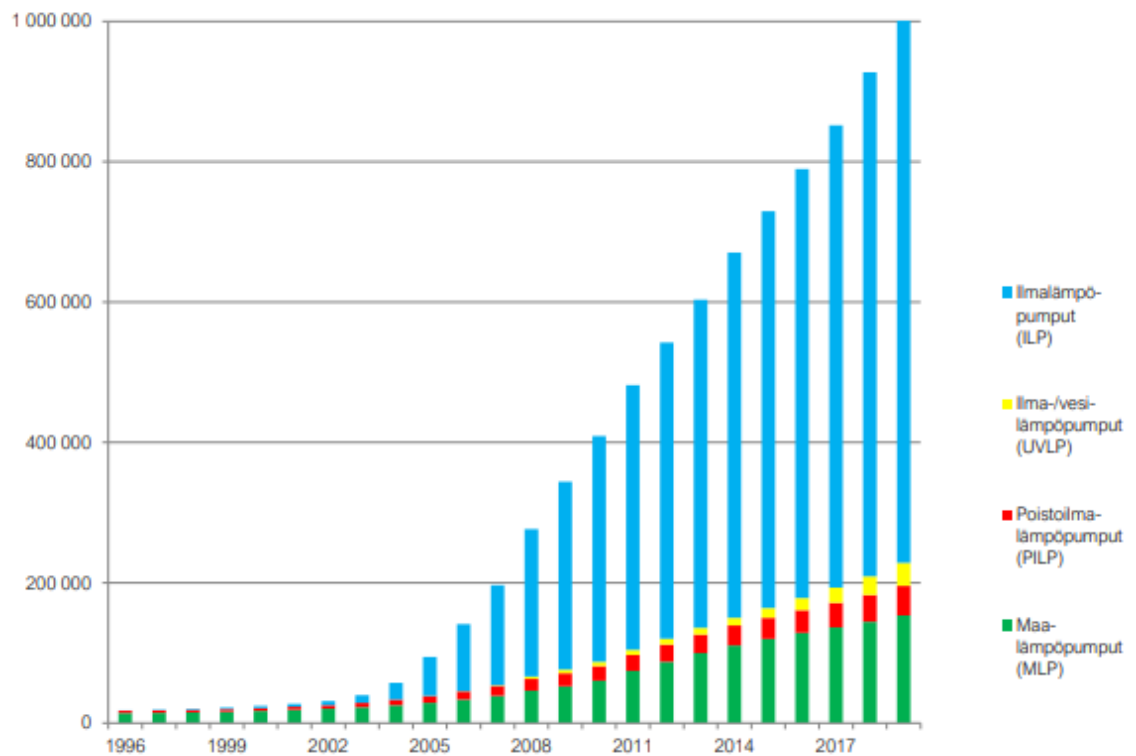
Yleisimpiä rakennuksissa käytettäviä lämmönlähteitä ovat sähkölämmitys, erilaiset lämpöpumput, kaukolämpö, öljy sekä uusiutuvat luonnonvarat, kuten esimerkiksi puu ja pelletti. Suomessa etenkin lämpöpumppujen suosio on kasvanut roimasti. Niiden suosion kasvu perustuu niiden energiatehokkuuteen sekä ympäristöystävällisyyteen. Ympäristöystävällisyytensä vuoksi lämpöpumppu on hyvin soveltuva vaihtoehto, kun halutaan luopua esimerkiksi öljylämmityksestä, puukattilasta, kaukolämmöstä tai suorasta sähkölämmityksestä. Lämpöpumppujen kysyntä on kasvanut myös siksi, että ARA voi myöntää avustuksia siirryttäessä energiatehokkaampaan lämmitysjärjestelmään. (Motiva 2019; ARA 2020).

Tässä työssä vertailen maalämpö- ja ilma-vesilämpöpumpun energiatehokkuutta, jonka vuoksi käyn syvällisemmin läpi niiden toimintaa. Nämä lämpöpumput valikoituivat työhöni, sillä ne soveltuvat rakennuksen päälämmitysjärjestelmäksi. Lisäksi olen työssäni kohdannut erityisesti niiden kasvaneeseen kysyntään. Etenkin lähiakoina kasvu on ollut räjähdysmäistä, sillä ELY-keskus myöntää jopa 4000 euron avustuksen, kun pientalossa siirrytään kaukolämpöön, maalämpöön tai ilma-vesilämpöpumppuun. (Ympäristöministeriö 2020).

Lämpöpumppujen kysynnän kasvun vuoksi haluan tietää perustellusti, minkälaisissa kohteissa ilma-vesilämpöpumppu on järkevä ratkaisu ja toisaalta, milloin kannattaa sijoittaa maalämpöön. Lisäksi haluan tietää, missä ajassa hankintahinnaltaan korkeampi maalämpöjärjestelmä maksaa itsensä takaisin ilma-vesilämpöpumpun kustannuksiin verrattuna. Tavoitteenani on löytää todenmukaisia vastauksia asiakkaille näiden lämmönlähteiden kustannuseroista ja hyödyistä. Tiedetään, että ilma-vesilämpöpumppujen vuotuinen sähkönkulutus on yleisesti suurempaa kuin maalämmöllä, mutta uskon sen olevan joissakin kohteissa järkevämpi valinta. Energialaskennan avulla haluan selvittää sähkönkulutuksen jakautumisen sekä vuotuisen sähkönkulutuksen lämpöpumpuilla, jotta voin vertailla lämpöpumppujen käyttökustannuksia. Hankintahintojen ja järjestelmien vuotuisen käyttökustannusten avulla pystyn vertailemaan maalämpö- ja ilma-vesilämpöpumppujen kannattavuutta.

2.1 Lämpöpumput

Pääasialliset lämmityskäytössä olevat lämpöpumput Suomessa ovat ilmalämpöpumput (ILP), ilma-vesilämpöpumput (IVLP/UVLP), poistoilmalämpöpumput (PILP) sekä maalämpöpumput (MLP). Kuten myös aiemmin mainittiin, lämpöpumppujen suosio on kasvanut roimasti. Suomeen oli myyty vuoteen 2019 mennessä yhteensä 1.030.000 kappaletta lämpöpumppuja (Kuva 1, Taulukko 1).



Kuva 1. Suomeen myydyt lämpöpumput (Suomen lämpöpumppuyhdistys 2020).

Taulukko 1. Lämpöpumppumyynti Suomessa vuosina 2018 – 2019 (Suomen lämpöpumppuyhdistys 2020)

Lämmönlähde	Lämmönjako	Vuosi	Mitoituslämpöteho (kW)					Yhteensä	Muutos %
			0-6	7-10	11-25	26-100	101-1000		
Ulkoilma	Vesi (UVLP)	2019	532	3259	2358	196		6345	26,3 %
		2018	365	2968	1519	172		5024	
	Ilma (ILP)	2019	75796	2573	581	83		79033	33,1 %
		2018	56878	2131	324	62		59395	
Poistoilma	Vesi, ilma (PILP)	2019	3839					3839	19,9 %
		2018	3187		15			3202	
	Ilma (PILP)	2019						0	
		2018						0	
Maa, vesi, kallio	Vesi, ilma (MLP)	2019	2029	2583	3415	946	15	8988	12,4 %
		2018	1940	2366	2826	852	11	7995	
Yhteensä		2019	82196	8415	6354	1225	15	98205	29,9 %
		2018	62370	7465	4684	1086	11	75616	

Kaikki edellämainitut lämpöpumput soveltuvat rakennuksen lämmittämiseen. Veteen lämpöä jakavat lämpöpumput, kuten ilma-vesilämpöpumppu, poistoilmalämpöpumppu sekä maalämpöpumppu, soveltuvat rakennuksen päälämmitysjärjestelmäksi. Ilmalämpöpumppua käytetään lämmityksen apuna esimerkiksi sähkölämmitteisessä talossa. Tällä pystytään säästämään lämmityksen kustannuksissa, verrattuna esimerkiksi pelkkään sähkölämmitykseen.

Lämpöpumppujen toimintaperiaate on kaikissa lämpöpumpuissa sama. Niiden toiminta perustuu koneistossa kiertävän kylmäaineen höyrystymiseen ja lauhtumiseen. Lämpöpumppujärjestelmissä pyritään luovuttamaan moninkertaisesti lämpöpumpun sähköverkosta ottama energia. Toisin sanoen, lämpöenergiaa siirretään matalammasta lämpötilasta korkeampaan lämpötilaan ulkopuolisella energialähteellä. Tuotettu energiamäärä on suurempi kuin lämpöpumpun käyttämä energiamäärä. Tällä tavoin pystytään säästämään energiaa siirtämällä sitä kustannustehokkaammin toisaalle. (Rakennustieto Oy 2002).

Lämpöpumpun lämpökertoimen ja hyötysuhteen laskenta

Lämpöpumpun lämpökertoimen laskennalla (Kaava 1.) voidaan määrittää, kuinka tehokkaasti kulutettu sähköenergia pystytään muuttamaan lämpöenergiaksi. COP-luku kuvaa lämpöpumpun lämpökerrointa. COP-lukuja vertaillaan tulee ottaa huomioon, minkälaisissa olosuhteissa mittaukset on suoritettu, sillä lämpökerroin voi vaihdella suuresti

erilaisissa mittausolosuhteissa. Huomioon otettavia seikkoja ovat esimerkiksi ulkolämpötila, keruupiirin lämpötila ja lämmönjakoverkoston lämpötila. (Motiva 2018).

$$COP = \frac{Q_L}{W}$$

COP= Coefficient of performance, lämpökerroin

Q_L = Tuotettu lämmitysenergia [kWh]

W = Käytetty ostoenergia [kWh]

Kaava 1. Lämpöpumpun lämpökertoimen laskenta (Härkönen 2017)

Lämpökerroin ei voi koskaan olla suurempi mitä ideaalisen vertailuprosessin eli ns. Carnot-prosessin laskentakaavalla (Kaava 2.) saatu tulos kertoo, koska ideaalitapauksessa koneisto toimii täysin häviöttämästi ja se on otettu tässä laskentamenetelmässä huomioon. Mitä matalampi lauhtumislämpötila ja korkeampi höyrystymislämpötila, sitä parempi teoreettinen hyötysuhde voi olla. Tästä syystä lämpöpumppulämmitys sopii parhaiten matalalla lämpötilalla toimiviin vesikiertosiin lämmitysjärjestelmiin. Lattialämmitys on yleensä taloudellisin lämmitysmuoto käytettäessä veteen lauhduttavia lämpöpumppuja. (Härkönen 2017).

$$COP_{max} = \frac{T_L}{T_L - T_H}$$

COP_{max} = Ideaalisen vertailuprosessin eli ns. Carnot-prosessin lämpökerroin.

T_L = Lauhtumislämpötila [K]

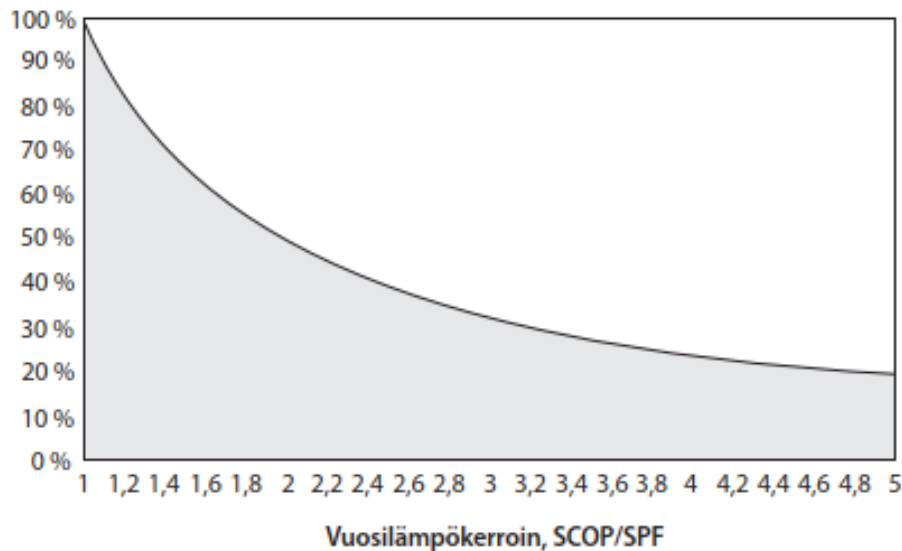
T_H = Höyrystymislämpötila [K]

Kaava 2. Ideaalisen vertailuprosessin eli ns. Carnot-prosessin lämpökerroin (Härkönen 2017) .

SCOP (seasonal coefficient of performance) on luotettavampi mittari lämpöpumppujen tehokkuuden vertailuun kuin COP-luku. SCOP antaa paremman käsityksen

lämpöpumpun hyötysuhteesta, koska se ottaa huomioon vaihtelut lämmityskausissa (Kuva 2). (Motiva Oy 2018).

Esimerkiksi SCOP 5,5 ($0^{\circ}/35^{\circ}$) tarkoittaa, että esimerkkien ottotehot on laskettu olosuhteissa, jossa lämmönlähteen eli keruupiirin lämpötila on 0 astetta ja lämmityspiiriin lähtee lämpöpumpulta 35-asteinen vesi.



Kuva 2. Sähkön (harmaa) ja uusiutuvan energian (valkoinen) suhde vuosilämpötilaker-
toimen muuttuessa (Rakennustieto Oy 2018).

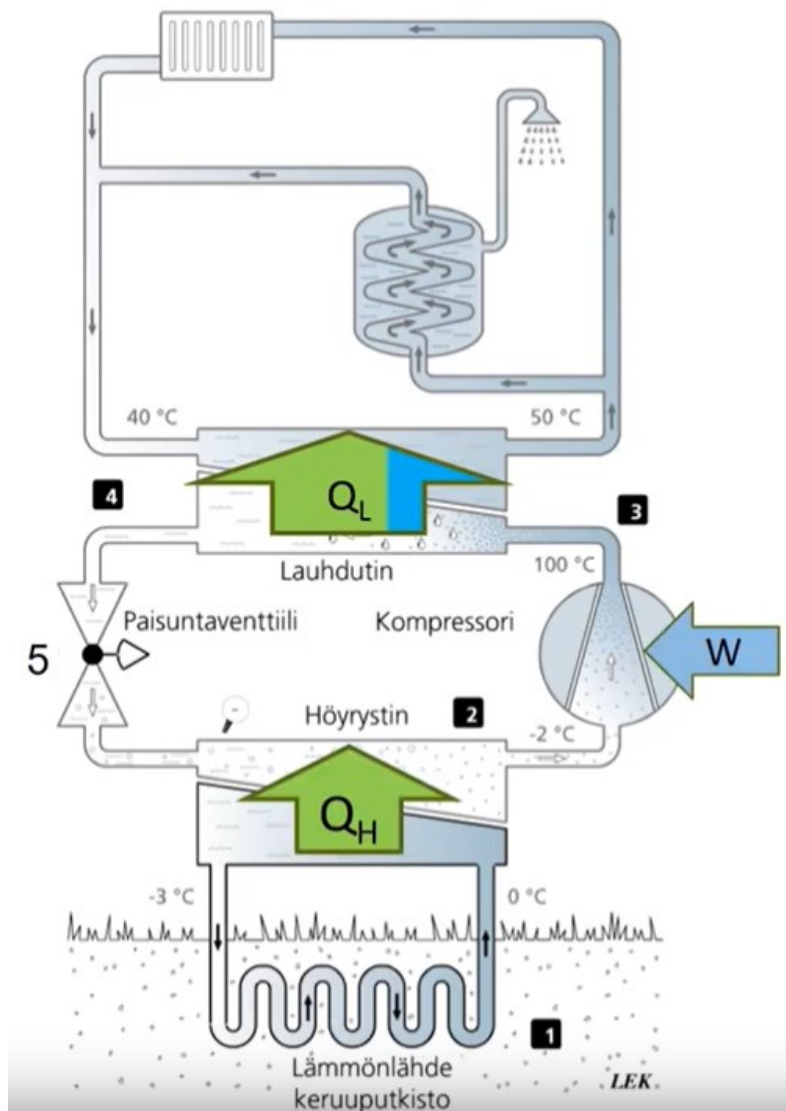
2.1.1 Maalämpö

Maalämpöpumppujen suosio lämmöntuottotapana on kasvanut runsaasti vuosittain (Kuva 1). Maalämpöjärjestelmä voidaan kytkeä vesikiertoiseen lämmönjakojärjestelmään. Sen kannattavuus riippuu rakennuksen energiankulutuksesta. Investoinnin kannattavuutta kannattaa tarkastella useamman vuoden ajanjaksolla, sillä sen kokonaishankintahinta on muita lämpöpumppuja korkeampi. (Rakennustieto Oy 2018).

Maalämpöpumpun toimintaperiaate

Maalämpö on auringosta peräisin olevaa säteilyenergiaa sekä maan sisäosista vapautuvaa geotermistä energiaa, jotka ovat varastoituneet maaperään. Maahan varastoitunut lämpö kerätään talteen maahan, veteen tai lämpökaivoon upotetun putkilenkin avulla. Tätä putkilenkkiä kutsutaan keruupiiriksi (Kuva 3, kohta 1). Putkilenkissä kiertävä neste lämpenee palatessaan maasta lämpöpumpulle. Lämpöpumpulle palatessaan keruupiirin

lämpöä kerännyt liuos (Q_h) kohtaa höyrystimen, jossa lämpöpumpun kylmäaine höyrystyy (Kuva 3, kohta 2) ja keruupiirin nesteen lämpötila laskee. Kaasun muodossa oleva kylmäaine ajetaan kompressoriin, joka puristaa kylmäaineen korkeaan paineeseen lämpötilan kasvaessa huomattavasti (Kuva 3, kohta 3). Kompressorilta tuleva höyryn olo muodossa oleva kylmäaine jatkaa matkaansa lauhduttimeen, jossa lämpö luovutetaan vesikiertoiseen lämmönjakojärjestelmään. Mitä korkeampaan paineeseen lauhduttimen painetasoa nostetaan, sitä korkeammassa lämpötilassa vapautuva lämpöenergia (Q_L) voidaan hyödyntää. Kylmäaine palautuu sitä myöden nesteeksi kun sen kiehumispiste ylittää lauhduttimella vallitsevan lämpötilan (Kuva 3, kohta 4). Nesteeksi muuttuva kylmäaine kulkee paisuntaventtiilille (Kuva 3, kohta 5), joka säätelee kylmäaineen paineroa lauhduttimelta höyrystimelle. Paisuntaventtiili takaa, että höyrystimeltä kompressorille päätyy lievästi tulistettu, ei kylläinen kaasu, jolloin nestepisaroita ei päädy kompressoriin. Kylmäaine jatkaa tätä kiertoa muodostaen ja luovuttaen lämpöenergiaa (Kuva 3). (Härkönen 2017) .



Kuva 3. Maalämpöpumpun toimintaperiaate (Härkönen 2017).

Maalämpöpumpun lämpökerroin ja hyötysuhde

Maahan varastoitunut lämpöenergia pystytään monionkertaistamaan maalämpöpumpun avulla. Niiden lämpökerroin (COP-luku) on nykyään jopa 4.0-5.0 ja pumppujen vuosihyötysuhde (SCOP-luku) voi olla parhaimmillaan yli 5.0 silloin, kun lämmönjakotapana käytetään matalalla lämpötilalla toimivaa vesikiertoista lattialämmitysjärjestelmää. (LVI-kalenteri 2020, 70).

Lämmitysenergiankulutus

Lämpöpumpun mitoitusta varten tarvitaan tiedot rakennuksen lämpöhäviöistä ja lämpimän käyttöveden tarpeesta. Uudiskohteessa mitoitus on helppo tehdä nykyään pakollisten E-lukuselvytysten perusteella, josta tarvittavat tiedot saadaan selville. Saneerauskohteessa lämpöpumpun mitoitusta varten tarvitaan rakennuksen energiankulutustiedot sekä vastaavan ajan toteutuneet astepäiväluvut, joiden perusteella maalämpöjärjestelmä pystytään mitoittamaan (LVI-kalenteri 2020, 72).

Lämpöpumpun osateho/täystehomitoitus

Osateholle mitoitettu lämpöpumppu tarkoittaa sitä, että se kattaa noin 60-80% tilojen lämmityksen huipputehontarpeesta. Loppuosa, etenkin kovimmilla pakkasilla, tuotetaan yleisesti energiavaraajaan lisätyillä sähkövastuksilla. Täysteholle mitoitettu lämpöpumppu kattaa kaiken energiantarpeen lämmityksestä ja lämpimästä käyttövedestä kovimmillakin pakkasilla, käyttämättä lisävastuksia. Lämpöpumput mitoitetaan useasti osatehon mukaan, koska lämmityksessä tarvittava huipputehontarve on vain pieni osa tilojen vuotuisesta lämmityksen tehontarpeesta, joten mitoitus osatehon mukaan tulee edullisemmaksi. Osateholle mitoitettu maalämpöpumppu pystyy tuottamaan jo noin 95% vuotuisesta lämpöenergian tarpeesta. (Motiva 2012).

Alarajana maalämpöpumpun tehomitoituksessa on hyvä pitää omakotitaloilla noin 70% tilojen lämmityksen mitoitustehontarpeesta. Kiinteistökohteilla alarajana voidaan pitää hieman pienempää, noin 60%.

Keruupiirit ja keruupiirien mitoitus

Poraaminen ja lämmönkeruuputkiston asentaminen maahan sekä vesistöön on luvanvaraista toimintaa. Hankkeeseen ryhtyessä on oltava yhteydessä oman kunnan rakennusvalvontaan (Motiva 2012).

Maaperän lämmönjohtavuudella, lämpötilalla, maapeitteen paksuudella sekä pohjaveden virtauksella on suuri merkitys energiakaivosta saatavaan energian määrään. Maaperän lämpötila riippuu paljon maantieteellisestä sijainnista. Lapissa keruuputkiston pitää olla isompi kuin etelässä. Keruuputkiston mitoituksessa pitää ottaa huomioon hetkitäinen sekä vuosittainen energiantarve. Liian pieneksi mitoitettussa keruupiirissä keruuliuksen lämpötila voi laskea liian alas, joka johtaa maalämpöjärjestelmän hyötysuhteen heikentymiseen ja sähkön kulutuksen kasvuun. (Rakennustieto Oy 2018).

Lämmönkeruunesteenä käytetään yleisesti vesi-etanoliliuoksia. Liuosten sekoitussuhde vaihtelee 28-30% välillä, jolloin liuoksen käyttölämpötilan alaraja on noin -17°C. Etanoli estää liuosta jäätymästä, sillä keruuliuoksen lämpötila saattaa käydä 0°C:n alapuolella. (Rakennustieto Oy 2018).

Lämpökaivo

Porakaivo on yleisin lämmönkeruutapa maalämpöpumppu lämmityksessä. Porakaivon teho aktiivisyvyyttä kohden vaihtelee alueittain. Etelä- ja Länsi-Suomessa 40-43W/m, Itä-Suomessa ja Oulun Läänissä 34-38W/m ja Lapin läänissä 30-35W/m. Porakaivoon pitää varata aktiivisyvyyden lisäksi noin 5 metriä lietetilaa. Käytännössä maksimi kaivon syvyys on noin 250 metriä ja teho kaivoa kohden Etelä-Suomessa on noin 10kW. Kaivojen etäisyydeksi toisistaan suositellaan vähintään 20 metriä. Porakaivon lämpötila vaihtelee 2-3 astetta vuoden aikana. Porakaivoa voidaan käyttää kesällä myös rakennuksen viilentämiseen, porakaivon kylkiäisenä saatava ”maakylmä” on edullinen ratkaisu viilennykseen. (LVI-kalenteri 2020, 70).

Maaperälle voidaan suorittaa geoenergiamittauksia (TRT). TRT-testin tuloksiin perustavalla suunnittelulla taataan järjestelmän toimivuus ja vältetään energiakentän ali- tai yli- mitoitus.

Vesistö

Tyypillinen ominaisteho vesistöasennuksessa on Etelä-Suomessa 20-25W/m ja Pohjois-Suomessa 15-20W/m. Asennettaessa putkea veteen on huomioitava, että virtaavassa vedessä teho heikkenee huomattavasti veden kylmemmän lämpötilan takia. Lisäksi on huomioitava putken riittävä asennussyvyys, jonka olisi hyvä olla ainakin 2 metriä. Putki ei saa jäätyä eikä nousta jäiden mukana rantaan, jottei keruupiiri vaurioidu. Putkisto pitää painottaa tiheästi, jotta putki on mahdollisimman tasaisesti pohjassa. Mahdolliset ylöspäin nousevat lenkit haittaavat keruupiirin toimintaa, jolloin ilma voi jäädä helpommin putkistoon (LVI-kalenteri 2020, 72).

Pintamaa

Vaakaputkisto voidaan asentaa keruupiiriksi, jos tontti on tarpeeksi suuri ja maaperä soveltuu vaakaputkiston asennukseen. Maassa oleva putki asennetaan noin metrin syvyyteen ja putkivälin on oltava vähintään 1.5m. Kosteaa savimaa on hyvä vaihtoehto vaakaputkiston asennukseen, sillä se sitoo paremmin lämpöä kuin hiekkamaa. Kivinen maaperä ei sovellu vaakaputkistolle, koska roudan takia liikkuvat kivet saattavat vahingoittaa

putkistoa. Tyypillinen ominaisteho pintamaa-asennuksessa on Etelä-Suomessa 12-15W/m ja Pohjois-Suomessa 10-13W/m (Motiva 2012; LVI-kalenteri, 2020).

Lämpimän käyttöveden valmistus maalämmöllä

Maalämpöpumpulla pitää lämmityksen tehontarpeen lisäksi kattaa myös lämpimän käyttöveden valmistus. Käyttöveden lämmitys voidaan toteuttaa eri tavoin, missä lieneekin suurin ero eri valmistajien maalämpöpumpuissa. Lämpimän käyttöveden lämpötila on nostettava ajoittain yli 55°C, jotta legionella bakteeri ei pääse kertymään lämpimään käyttöveteen. Yli 50°C lämpötilassa bakteeri ei lisäänty ja yli 60°C bakteeri kuolee. Lämpöpumpuilla käyttövesi saadaan lämmitettyä tarpeeksi, jotta bakteeria ei ilmaannu. Lämpöpumpuissa löytyy myös automaattisia toimintoja, jotka nostavat käyttöveden lämpötilan säännöllisin väliajoin 65°C legionella bakteerin välttämiseksi. (Motiva 2012).

Tulistinpiirillä varustettu maalämpöpumppu

Tulistinpiirillä varustetussa maalämpöpumpussa kylmäaine kulkee kahden lauhduttimen läpi, joista ensimmäistä sanotaan ”tulistuslämmönsiirtimeksi”. Tulistinlämmönsiirrin lämmittää kaksiosaisen varaajan yläosaa, jota pidetään jatkuvasti lämpimämpänä kuin varaajan alaosaa. Lämmin käyttövesi kulkee kierukan läpi, jossa se lämpenee varaajan yläosassa lopulliseen käyttölämpötilaansa. Kaasumainen kylmäaine jäähtyy tulistuslämmönsiirtimessä, josta se jatkaa matkaa lauhduttimelle eli toiselle lämmönsiirtimelle. Lauhduttin lämmittää varaajan alaosassa olevaa lämmitysvaraajaa, jonka lämpötilaa säädetään lämmitysverkoston menolämpötilan mukaan. Lämmin käyttövesi esilämpenee kierukassa, joka sijaitsee varaajan alaosassa. Tulistinlämpöpumppu kytketään erilliseen energiavaraajaan tai varaaja on integroitu itse lämpöpumppuun. (Motiva 2012).

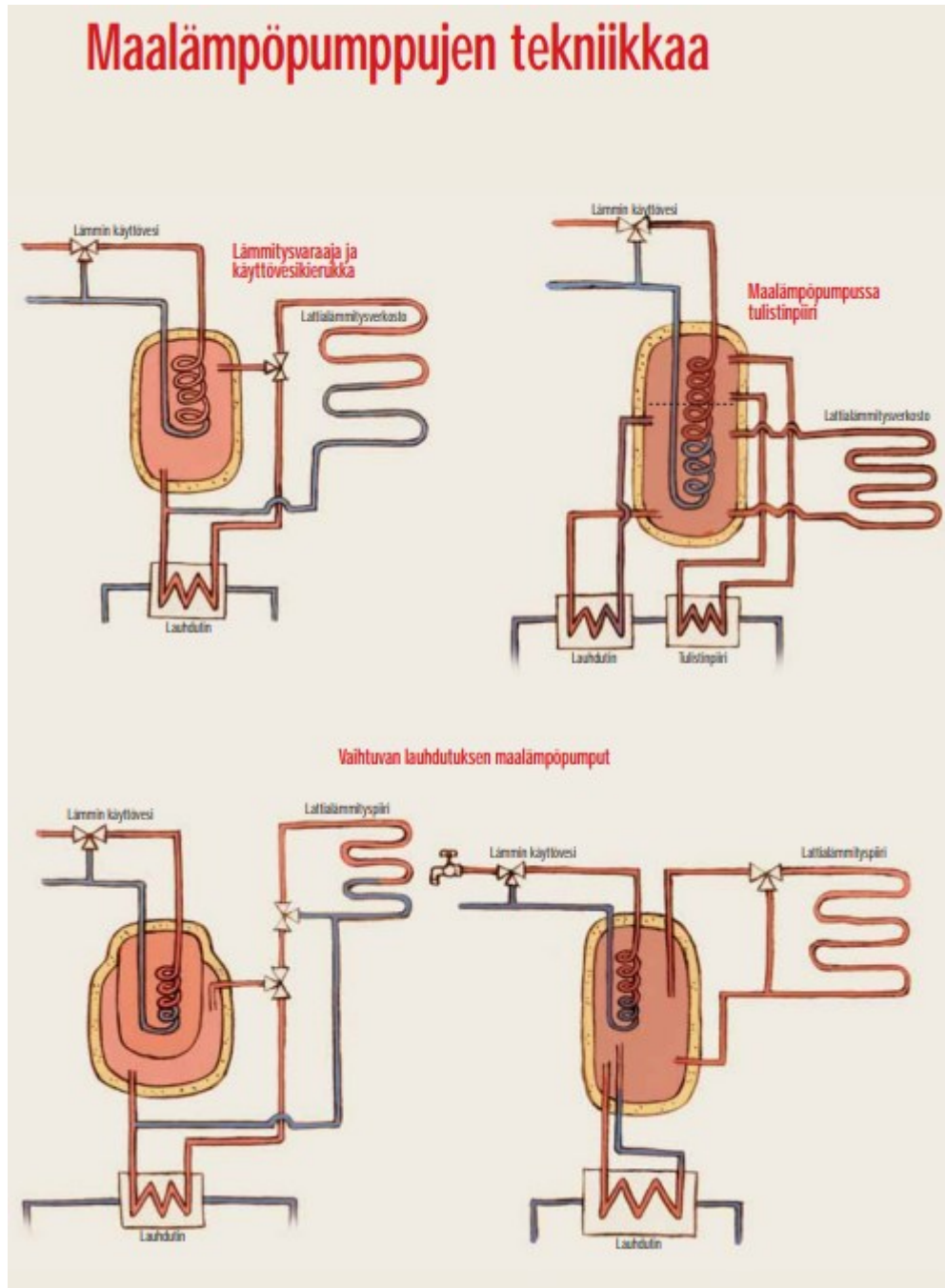
Tulistinlämmönsiirtimellä varustetun lämpöpumpun etuna on se, että lämmitysverkoston varaajassa oleva vesi voidaan pitää lämmitystehontarpeen mukaan mahdollisimman alhaisena. Näin se parantaa lämmityksen lämpökerrointa. Tulistuslämmönsiirtimellä varustetulla lämpöpumpulla saadaan lämmintä käyttövettä ilman sähkövastusta. (Motiva 2012).

Vaihtuvalla lauhdutuksella varustettu maalämpöpumppu

Lauhdutuspiirissä kiertävä vesi lämmitetään eri lämpötiloihin riippuen siitä, tarvitaanko lämmitystä käyttöveteen vai lämmitysverkkoon (Kuva 4). Tämä tarkoittaa sitä, että lämpöpumppu lämmittää eri tilanteissa joko lämmitysverkostoa tai käyttövettä. Jos käyttövesivaraajan lämpötila on alhainen, vaihtoventtiili kääntyy ja lämpöpumppu alkaa

lämmittämään lämminvesivaraajaa lauhduttimesta saatavalla 55-60°C vedellä. Lämmitysverkkoon ei tällöin mene lämpöä lainkaan. Lämpimän käyttöveden lämpötilan noustessa tarpeeksi korkealle, vaihtoventtiili kääntyy takaisin ja lämpöpumppu alkaa lämmitämään esimerkiksi lattialämmitysverkostoa menoveden lämpötilalla 35°C. Kun käyttövesi- ja lämmitysvaraajassa saavutetaan riittävän korkea lämpötila, lämpöpumppu pysähtyy. (Motiva 2012).

Käyttövesivaraaja voi olla sisäänrakennettuna lämpöpumppuun tai se voi olla erillinen. Lämpimän käyttöveden varaaja on useasti varustettu myös sähkövastuksella, jolloin vastus voi antaa käyttöveden lämmitykseen lisätehoa silloin kun sitä tarvitaan tavallista enemmän. Isommat lämpöpumppujärjestelmät varustetaan aina lämmitysverkoston puskurivaraajalla sekä omalla käyttövesivaraajalla käyttöveden tarpeen mukaan. (Motiva 2012).

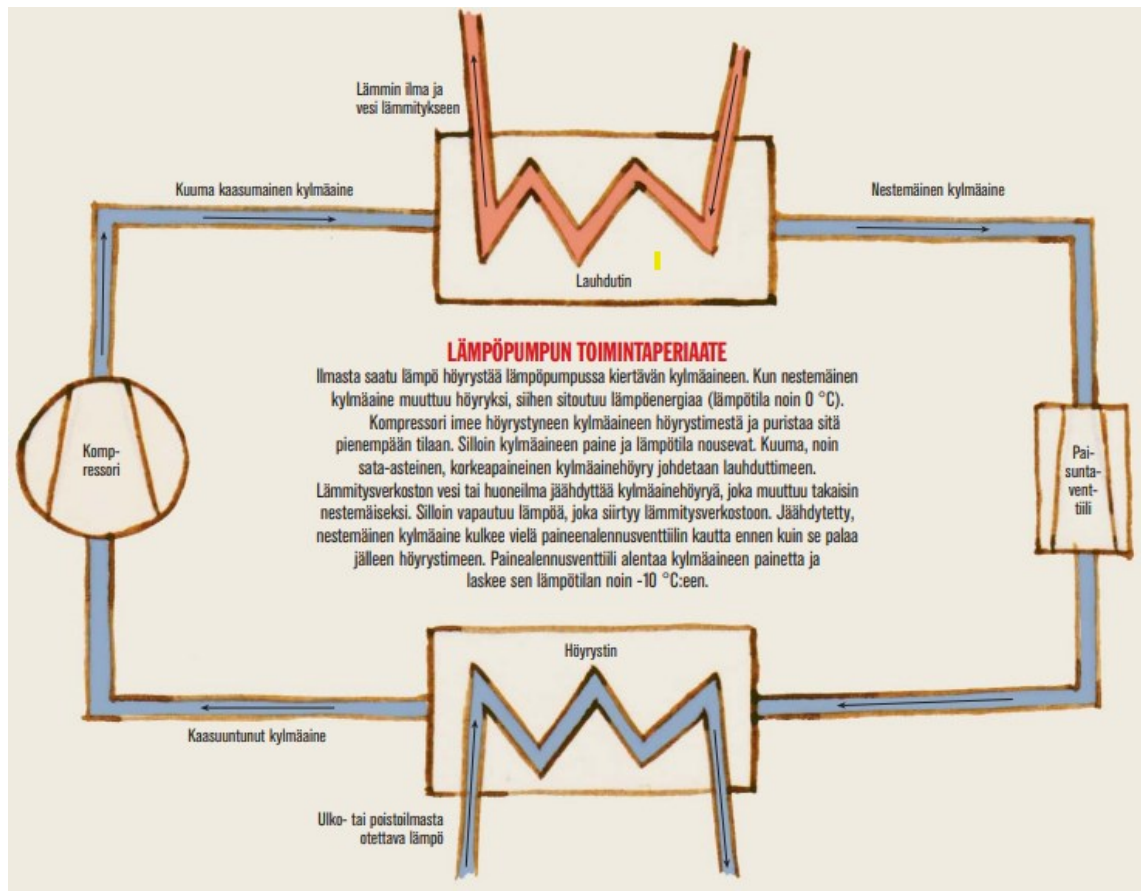


Kuva 4. Maalämpöpumppujen tekniikkaa (Motiva 2012) (Kuvan käyttö lupa, piirtäjä Harri Tarkka).

2.1.2 Ilma-vesilämpöpumppu

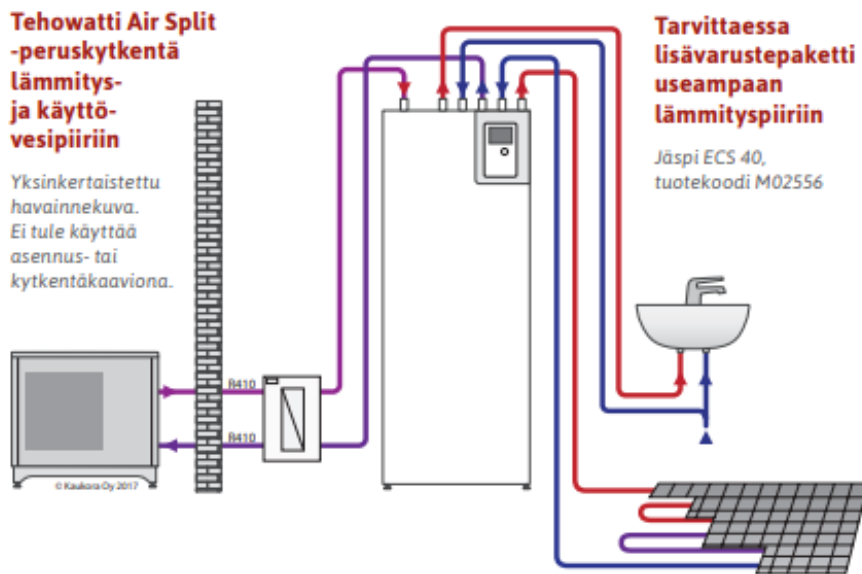
Ilma-vesilämpöpumppu toimii maalämpöpumpun tavoin, mutta energiakeruu tapahtuu ulkoilmaa hyödyntäen (Kuva 5.) Pääkomponentit kuten muillakin lämpöpumpuilla ovat

höyrystin, lauhdutin, kompressori sekä paisuntaventtiili. Ilma-vesilämpöpumppu koostuu sisä- ja ulkoyksiköistä. (Motiva 2012b).



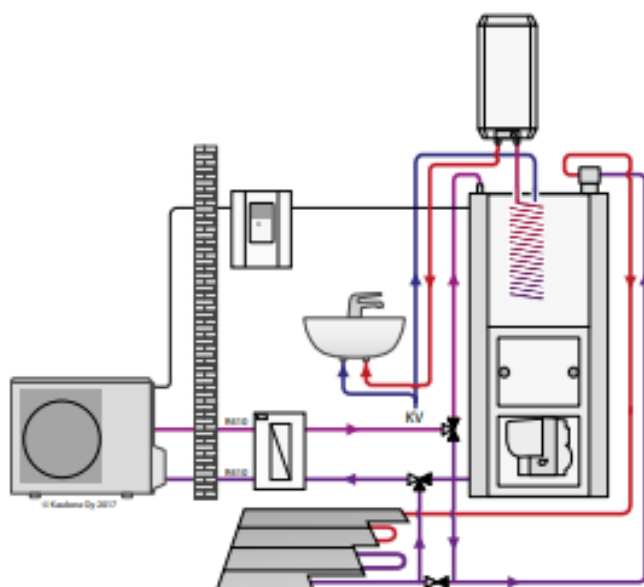
Kuva 5. Ilmasta lämpöä keräävän lämpöpumpun toimintaperiaate (Motiva 2012b) (Kuvan käyttöluva, piirtäjä Harri Tarkka).

Laitteita on kahta tyyppiä: split-laitteita sekä monoblock-laitteita. Split mallissa ulkoyksikkö sisältää lämpöä keräävän höyrystimen sekä kompressorin (Kuva 6). Ulkoyksiköltä johdetaan kylmäaineputket sisällä sijaitsevaan lauhduttimeen, joka on erillisenä tai sisäänrakennettuna ohjaus-/sisäyksikössä. Monobloc-laitteissa kaikki tekniikka sijaitsee ulkona, eikä kylmäaineputkituksia tarvitse tehdä. Ulkoyksikössä sijaitsee myös lauhdutin, joten ulkoa johdetaan lämmityksen vesiputket suoraan sisällä sijaitsevaan varaajaan. (Motiva 2018).



Kuva 6. Tehowatti Air Split ilma-vesilämpöpumppu kokonaispaketti (Kaukora Oy 2017).

Ilma-vesilämpöpumpulla (IVLP) voidaan hoitaa talon lämmöntarve kätevästi. Kylmimmille ajoille se tarvitsee kuitenkin rinnalleen varajärjestelmän, esimerkiksi sähkökattilan tai sähkövastukset varaajaan. Laite kytketään usein myös rinnan toisen lämmönlähteen kanssa (Kuva 7). Ilma-vesilämpöpumppujen toiminta-alue rajoittuu -25°C :seen, jonka jälkeen IVLP:lla ei pystytä tuottamaan lämpöä ulkoilmasta. IVLP sitoo ulkoilmasta saadun lämmön talon vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään sekä käyttöveteen. Laite voi lämmitää lämmitys- ja käyttöveden maksimissaan noin 50°C :seen, jonka jälkeen tarvitaan lisälämmönlähde. (Motiva 2012b).



Kaikki esitteen havainnekuvat ovat yksinkertaistettuja toimintaperiaatekuvia. Niitä ei tule käyttää asennus- tai kytkentäkaavioina.

Kuva 7. Basic Split ilma-vesilämpöpumppu kytkettynä öljykattilan rinnalle (Kaukora 2017).

Ilma-vesilämpöpumpun mitoitusperiaatteet ovat pääsääntöisesti samat kuin maalämmöllä. IVLP:n lämpökerroin COP on maalämpöpumppua huonompi ollen noin 3.0 – 3.5. Ulkoa saatava energia on noin 55-60% kun taas maalämmöllä noin 70-75%. Ilma-vesilämpöpumppu tarvitsee enemmän sähköä kuin maalämpö. Suoraan sähkölämmitykseen verrattuna säästö ilma-vesilämpöpumpullakin on merkittävä pyörien 40-60% suuruusluokissa. (LVI-kalenteri 2020, 71).

2.1.3 Muut lämpöpumput

Muita yleisiä lämmityskäytössä olevia lämpöpumppuja ovat ilmalämpöpumppu sekä poistoilmalämpöpumppu. Ilmalämpöpumppua ei pystytä kytkemään vesikiertoiseen lämmönjakojärjestelmään, joten se ei sovellu vesikiertoisella lämmitysjärjestelmällä varustetun rakennuksen päälämmittäjäksi. Poistoilmalämpöpumpulla sen sijaan pystytään sitomaan energiaa veteen, mutta se ei ole yhtä energiatehokas kuin maalämpöpumppu tai ilma-vesilämpöpumppu. Käytän tässä työssä energialaskennan perusteena

maalämpöpumppua sekä ilma-vesilämpöpumppua, jonka vuoksi en perehdy muiden lämpöpumppujen yksilöllisiin toimintamekanismeihin tämän tarkemmin.

menoveden lämpötila mitoitustilanteessa on yleisesti +35°C meno- ja paluueden lämpötilaeron ollessa 5-7°C. (Rakennustieto Oy 2003).

Lattialämmitysputkena käytetään happidiffuusiosuojattua muoviputkea. Lattialämmityksessä jokainen huonetila muodostaa oman lämmityspiirinsä. Lämmityspiirit kytketään jakotukkiin, joka on kytketty lämmönjakokeskukselta tuleviin syöttöputkiin. Jakotukkiin voidaan liittää useita piirejä. Piirejä ohjataan toimilaittein, jotka mittaavat huonelämpötilaa huonetermostaattien avulla. (Rakennustieto Oy 2003).

3.2 Vesikiertoinen patterilämmitys

Vesikiertoinen patterilämmitys sopii lämmönluovutustavaksi useille lämmitysmuodoille, kuten esimerkiksi öljylämmölle, kaukolämmölle, lämpöpumpuille, kiinteällä polttoaineella toimivalle lämmitykselle sekä varaavalle sähkölämmitykselle. Vesikiertoisen patterilämmityksen verkoston lämpötilat pyritään pitämään matalina, jotta energiahäviöt olisivat pienet ja patterien pinnat eivät olisi liian kuumat. (Rakennustieto Oy 2002b).

Lämmityspattereiden eli radiaattorien lämmönluovutus huoneilmaan tapahtuu konvektion ja säteilyn avulla. Konvektiossa ilma kiertää sekä patterien pintojen kautta että sen lävitse, ja lämmitessään kylmä ilma nousee ylöspäin. Säteilyn voi huomata esimerkiksi patterin hohkaamisena lämmön säteilyssä patterin pinnalta. Lämmön siirtyminen konvektiolla ja säteilyllä riippuu radiaattorin rakenteesta ja tyypistä. (Rakennustieto Oy 2002b).

Patterin lämpötilaa huonekohtaisesti voidaan säätää patteriventtiilillä, joka on varustettu termostaatilla. Termostaatti mittaa huonelämpötilaa ja säätää patteriventtiin lävitse kulkevaa virtausta asetetun arvon mukaan. Lämmönlähteen ylläpitämää menoveden lämpötilaa säätelee yleisesti automatiikka, johon on asetettu lämmityksen säätökäyrä. Automatiikka säätää menoveden lämpötilaa ulkolämpötilan perusteella. (Rakennustieto Oy 2002b).

Patteriverkostossa kiertävän veden lämpötila riippuu lämmönlähteestä ja patterien mitoituksesta. Mitä pienempi vesitilavuus patterissa on, sitä vähemmän patteri luovuttaa lämpöä. Maalämpöön liitettäessä menoveden mitoitustilanteessa uudisrakennuksissa on +50°C, meno- ja paluueden lämpötilaeron ollessa 15°C. Kaukolämpöön liitettäessä uudisrakennusten patterit mitoitetaan +45°C menovedelle, meno- ja paluueden lämpötilaeron ollessa 15°C. Vanhoissa kattilalaitoksissa mitoitus menovedelle on ollut peräti +80°C, meno- ja paluueden lämpötilaeron ollessa 20°C. (LVI-kalenteri 2020, 45).

Rakennuksen lämmitysmuotoa vaihdettaessa esimerkiksi öljylämmityksestä maalämpöön, voidaan pattereita joutua vaihtamaan sekä mitoittamaan uudelleen. Siirryttäessä korkeammasta menoveden lämpötilasta matalampaan, vanhojen patterien lämmönluovutusteho ei kaikissa tilanteissa välttämättä riitä. Menoveden lämpötila vaikuttaa siis patterien mitoittamiseen sekä lämmönluovutustehoon. (Rakennustieto Oy 2002b).

4 LÄMMITYSTAVAN VAIKUTUS RAKENNUKSEN E-LUKUUN JA ENERGIATODISTUKSEEN

Rakennuksen lämmitystavalla on merkittävästi vaikutusta rakennuksen energiatehokkuuteen ja ympäristöystävällisyyteen. Lämmöntuottotapaa valittaessa on syytä huomioida hankinta- ja käyttökustannusten lisäksi energian saatavuus sekä mahdolliset lisä- ja varajärjestelmät, sekä niiden kustannukset. ARA myöntää nykyisin energiatukia ja -avustuksia rakennuksen energiatehokkuuden parantamiseksi. Esimerkiksi lämmöntuottotavan muuttamisella öljylämmityksestä lämpöpumppuun voidaan saada merkittävä parannus rakennuksen energiatehokkuuteen sekä ympäristöystävällisyyteen.

4.1 Energiatodistus

Energiatodistuksen avulla voidaan vertailla helposti rakennusten energiatehokkuutta. Energiatodistuksesta rakennuksen omistaja näkee kätevästi, minkälainen rakennuksen energiatehokkuus on muihin samantyyppisiin rakennuksiin verrattuna. Laskenta perustuu rakennukseen ja siinä käytettyihin ratkaisuihin. Energiatodistuksen tulos on siis käyttäjästä riippumaton. (Motiva 2020).

Energiatodistus vaaditaan lähes kaikilta uusilta asuinrakennuksilta sekä myytäviltä rakennuksilta. Energiatodistus tulee liittää uudisrakennuksen rakennuslupahakemukseen sekä esittää myynnin tai vuokrauksen yhteydessä. Kaikkia rakennuksia tämä ei kuitenkaan koske, esimerkiksi alle 50m² kerrosalan rakennuksia ja loma-asumiseen tarkoitettuja asuinrakennuksia, jossa ei harjoiteta majoituselinkeinoa. Energiatodistus on voimassa kymmenen vuotta. (Motiva 2020).

4.2 E-luku

E-luku on energiamuotojen kertoimilla painotettu rakennuksen laskennallinen vuotuinen ostoenergiankulutus lämmitettyä nettoalaa kohden (kWh/m²). Laskennallinen ostoenergiankulutus perustuu rakennuksen vakioituun käyttöön. E-luku saadaan laskemalla yhteen ostoenergian ja energiamuotojen kertoimien (Taulukko 2) tulot energiamuodoittain. (Ympäristöministeriön asetus 1010/2017).

Taulukko 2. Energiamutojen kertoimet. (Valtioneuvoston asetus 788/2017).

Energiamuoto	Kerroin
Sähkö	1,2
Kaukolämpö	0,5
Kaukojäähdytys	0,28
Fossiiliset polttoaineet	1,0
Rakennuksessa käytettävät uusiutuvat polttoaineet	0,5

Kertoimista pystytään havainnoimaan, että suoraa sähkölämmitystä sekä fossiilisia polttoaineita käyttämällä E-luku nousee selvästi ylemmäs verrattuna kaukolämpöön, maalämpöön tai rakennuksessa käytettävien uusiutuviin polttoaineisiin. Jos halutaan parantaa olemassa olevan rakennuksen E-lukua, on syytä tarkistaa lämmitysjärjestelmän nykyaikaisuus sekä talon lämpöhäviöt. Lämpöhäviöiden tulisi olla mahdollisimman pienet. Siksi lisäeristys sekä rakennuksen tiiveys ja ilmanpitävyys auttavat saamaan E-lukua paremmaksi. E-luvulle on asetettu enimmäisraja-arvot rakennuksen eri käyttötarkoituksiluokille (Taulukko 3).

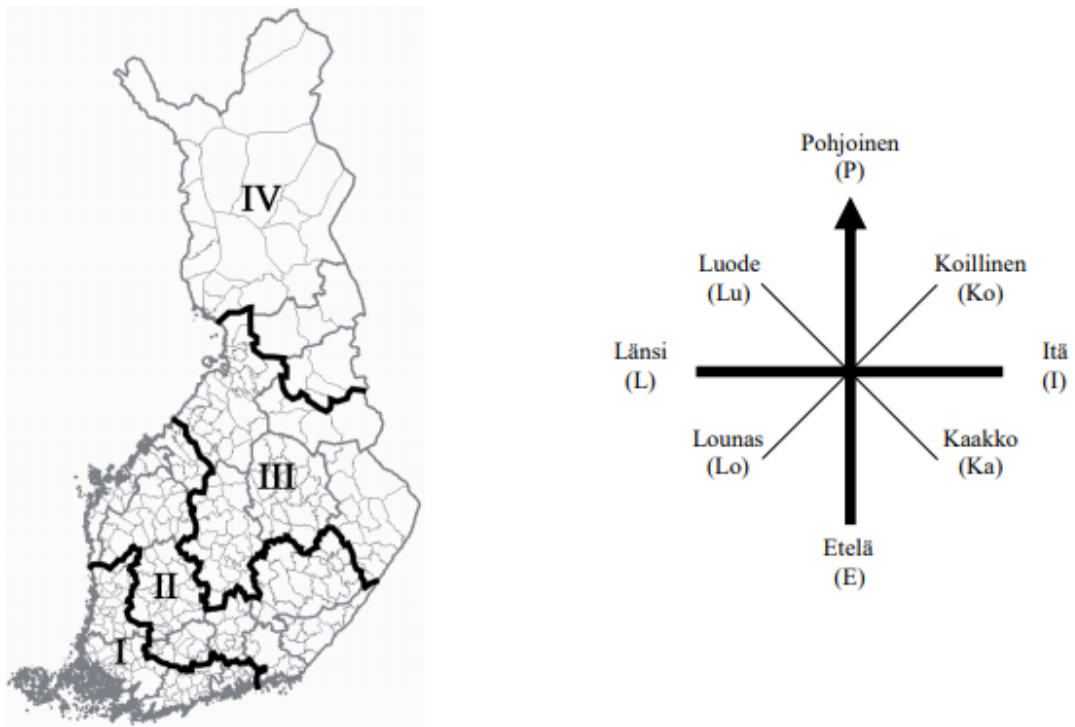
Taulukko 3. E-luvun enimmäisraja-arvot eri käyttötarkoituksiluokille. (Valtioneuvoston asetus 788/2017).

Käyttötarkoitukseluokka	E-luvun raja-arvo kWh _E /(m ² a)
Luokka 1) Pienet asuinrakennukset	
a) Erillinen pientalo ja ketjutalon onsana oleva rakennus, joiden lämmitetty nettoala (A_{netto}) on 50-150m ²	$200-0,6 \cdot A_{\text{netto}}$
b) Erillinen pientalo ja ketjutalon onsana oleva rakennus, joiden lämmitetty nettoala (A_{netto}) on enemmän kuin 150m ² kuitenkin enintään 600m ²	$116-0,04 \cdot A_{\text{netto}}$
c) Erillinen pientalo ja ketjutalon onsana oleva rakennus, joiden lämmitetty nettoala (A_{netto}) on enemmän kuin 600m ²	92
d) Rivitalo ja asuinkerrostalo, jossa on asuinkerroksia enintään kahdessa kerroksessa	105

Luokka 2) Asuinkerrostalo, jossa on asuinkerroksia vähintään kolmessa kerroksessa	90
Luokka 3) Toimistorakennus, terveyskeskus	100
Luokka 4) Liikerakennus, tavaratalo, kauppakeskus, myymälärakennus lukuunottamatta päivittäistavarakaupan alle 2000m ² yksikköä, myymälähalli, teatteri, ooppera-, konsertti- ja kongressitalo, elokuvateatteri, kirjasto, arkisto, museo, taidegalleria, näyttelyhalli	135
Luokka 5) Majoitusliike-rakennus, hotelli, asuntola, palvelutalo, vanhainkoti, hoitolaitos	160
Luokka 6) Opetusrakennus ja päiväkot	100
Luokka 7) Liikuntahalli lukuunottamatta uimahallia ja jäähallia	100
Luokka 8) Sairaala	320
Luokka 9) Muu rakennus, varastorakennus, liikenteen rakennus, uimahalli, jäähalli, päivittäistavarakaupan alle 2000m ² yksikkö, siirtokelpoinen rakennus	ei raja-arvoa

5 ENERGIALASKENTA LÄMPÖPUMPUILLA

Energialaskenta perustuu lämpöpumppujen energialaskentaoppaaseen. Energialaskenta on suoritettu säävyöhykkeen I olosuhteissa (Kuva 8) ja laskennassa on käytetty Suomen energialaskennan referenssivuoden (D3 2012) mukaisia tunnittaisia lämpötilan pysyvyystietoja (Liite 1). Säätietojen perusteella kohteille on laskettu tilojen lämmityksen vuotuinen energiankulutus $Q_{\text{lämmitys, tilat}}$ (kWh). Energialaskennassa energiankulutus ja lämmityksen tehontarve on laskettu sisälämpötilalle $+17^{\circ}\text{C}$ olettaen, että lämpökuormat ja ilmaisenergiat nostavat sisälämpötilaa $3\text{--}4^{\circ}\text{C}$. (Lämpöpumppujen energialaskenta-oppas 2012).



Kuva L2.1. Säävyöhykkeet.

Taulukko L2.1.		Mitoittavat ja keskimääräiset ulkoilman lämpötilat eri säävyöhykkeillä.	
Säävyöhyke	Mitoittava ulkoilman lämpötila, $^{\circ}\text{C}$	Vuoden keskimääräinen ulkoilman lämpötila, $^{\circ}\text{C}$	
I	-26	5,3	
II	-29	4,6	
III	-32	3,2	
IV	-38	-0,4	

Kuva 8. Suomen neljä säävyöhykettä (Ympäristöministeriön asetus 2/11).

Suomi on jaettu neljään säävyöhykkeeseen. Säävyöhykkeet näkyvät kuvassa 8. ”Energiankulutuksen laskennassa käytettävän testivuoden kuukausittaiset ulkoilman keskilämpötilat (Kuva 8) perustuvat Helsinki-Vantaan lentoaseman (säävyöhykkeet I ja II), Jyväskylän lentoaseman (säävyöhyke III) ja Sodankylän ilmatieteellisen tutkimuskeskuksen (säävyöhyke IV) säähavaintoasemien mittaustuloksiin vuosilta 1980-2009. Lämmitystehontarpeen laskenta tehdään rakennuspaikan maantieteellisen sijainnin mukaisella säävyöhykkeen mitoittavalla ulkolämpötilalla. Säävyöhykkeille I ja II on esitetty erikseen mitoittavat ja keskimääräiset ulkoilman lämpötilat. Säävyöhykkeen II tiedot pohjautuvat Jokioisten observatorion säähavaintoihin.” (Ympäristöministeriön asetus 2/11).

5.1 Yksinkertainen laskentamenetelmä lämpöpumppujen energialaskennassa

Yksinkertaisella laskentamenetelmällä voidaan laskea lämpöpumpun sähkönkulutus, lämpöpumpun tuottama tilojen ja käyttöveden lämmitysenergia sekä lisälämmitykseen tarvittava energia.

Lämpöpumpun sähköenergiankulutus koostuu lämmityksen tuoton energiankulutuksesta sekä apulaitteiden sähkönkulutuksesta. Sähköenergiankulutus lasketaan lämpöpumpun tuottaman tilojen ja käyttöveden lämmitysenergian sekä lämpöpumpun keskimääräisen vuotuisen lämpökertoimen, SPF-luvun avulla. SPF-lukua voidaan käyttää ainoastaan koko vuoden lämmöntarvetta koskevassa energialaskennassa, koska SPF-luku on vuoden keskimääräinen lämpökerroin (Lämpöpumppujen energialaskentaopas 2012).

Esitettävässä lämpöpumppujen lisälämmitysenergian laskennassa sekä taulukon SPF-lukujen esimerkkiarvojen laskennassa on oletettu, että ulkoilmalämpöpumppujen alin toimintalämpötila on -20°C . Käyttövettä ja tiloja lämmittävien ulkoilma- ja maalämpöpumppujen oletetaan lämmittävän vuorotellen käyttövettä sekä tiloja, käyttöveden lämmityksen ollessa ensisijainen (Lämpöpumppujen energialaskentaopas 2012).

Lämmitysenergia lämpöpumpulla

Ilma-vesilämpöpumppujen ja maalämpöpumppujen tuottama käyttöveden ja tilojen lämmitysenergia sekä lisälämmitysenergia voidaan arvioida taulukoiden 4-6 avulla. Tiedossa pitää olla lämpöpumpulla lämmitettävä tilojen lämmitysenergian tehontarve ($Q_{\text{lämmitys,tilat}}$) ja käyttöveden lämmitysenergian tarve ($Q_{\text{lämmitysLKV}}$) sekä suhteellinen lämpöteho. Suhteellinen lämpöteho saadaan lämpöpumpun nimellistehon ϕ_{lpn} suhteesta

lämmityksen mitoitustehontarpeeseen ϕ_{tila} . Taulukoissa 4-6 käytettävä lämpöpumpun nimellisteho ilmoitetaan standardin SFS-EN 14511-2 testausolosuhteissa saatujen arvojen mukaan. Ilma-vesilämpöpumppujen osalla ulkolämpötilan ollessa $T_{\text{ulko}} +7^{\circ}\text{C}$ ja sisätilan ollessa $T_{\text{sisä}} +20^{\circ}\text{C}$. Maalämpöpumppujen osalta keruupiirin lämpötilalla $T_{\text{liuos}} 0^{\circ}\text{C}$ ja lämmitysverkoston menoveden lämpötilalla $T_{\text{meno}} 35^{\circ}\text{C}$. Taulukoiden 4-5 avulla voidaan huomioida kuinka lisälämmitysenergian tarve muuttuu eri tekijöiden kuten menoveden lämpötilan, tilojen- ja käyttöveden lämmityksen suhteen sekä säävyöhykkeen vaikutuksesta. (Lämpöpumppujen energialaskentaopas 2012).

Taulukossa 4 on kuvattu maalämpöpumpun suhteellinen lämpöenergia ($Q_{\text{ip}}/Q_{\text{lämmitys, tilat, LVK}}$) taulukoituna suhteellisen lämpötehon ($\phi_{\text{ipn}}/\phi_{\text{tila}}$) suhteen, tilojen- ja käyttöveden lämmitysenergioiden suhteen ($Q_{\text{lämmitys, tilat}}/Q_{\text{lämmitys LKV}}$) ja tilojen lämmityksen menoveden max. lämpötilan (T_{meno}) funktiona eri säävyöhykkeillä. Lämpöpumpun nimellisteho ϕ_{ipn} annetaan toimintapisteessä $T_{\text{liuos}}/T_{\text{meno}} (0/35^{\circ}\text{C})$. (Lämpöpumppujen energialaskentaopas 2012).

Taulukossa 4 maalämpöpumpun suhteellinen lämpöteho ($\phi_{\text{ipn}}/\phi_{\text{tila}}$) arvo 1,0 vastaa lämpöpumpun tehomitoitusta keruupiirin paluunesteen lämpötilalla 0°C menoveden lämpötilan ollessa 35°C . Jos keruupiiri on mitoutettu niin, että keruupiirin paluunesteen lämpötila on vähintään 0°C , lämmitysjärjestelmän mitoittavassa lämpötilassa -26°C pidetään lämpöpumppua täystehoisena (Lämpöpumppujen energialaskentaopas 2012).

Taulukko 4. Maalämpöpumpun lämpöenergioiden suhteet eri säävyöhykkeillä ja menoveden lämpötiloilla (Lämpöpumppujen energialaskentaopas 2012).

ϕ_{lpn}/ϕ_{tila}	$Q_{lämmitys,tilat}/Q_{lämmitys,LKV}$	Säävyöhyke: I-II				Säävyöhyke: III				Säävyöhyke: IV			
		$T_m, ^\circ C$				$T_m, ^\circ C$				$T_m, ^\circ C$			
		30	40	50	60	30	40	50	60	30	40	50	60
0,3	0,5	0,39	0,39	0,39	0,39	0,38	0,38	0,38	0,38	0,36	0,36	0,36	0,36
	1	0,47	0,47	0,47	0,47	0,46	0,46	0,46	0,46	0,44	0,44	0,44	0,44
	2	0,62	0,60	0,58	0,56	0,60	0,58	0,56	0,54	0,44	0,54	0,52	0,51
	4	0,68	0,65	0,62	0,59	0,67	0,63	0,60	0,58	0,63	0,59	0,56	0,54
0,4	0,5	0,52	0,52	0,52	0,52	0,51	0,51	0,51	0,51	0,48	0,48	0,48	0,48
	1	0,67	0,66	0,65	0,64	0,65	0,64	0,63	0,62	0,61	0,60	0,59	0,59
	2	0,78	0,75	0,72	0,70	0,76	0,73	0,70	0,68	0,59	0,69	0,67	0,64
	4	0,84	0,79	0,75	0,73	0,82	0,77	0,73	0,70	0,78	0,73	0,69	0,66
0,5	0,5	0,65	0,65	0,65	0,65	0,63	0,63	0,63	0,63	0,61	0,61	0,61	0,61
	1	0,82	0,80	0,78	0,76	0,80	0,78	0,76	0,74	0,77	0,74	0,73	0,71
	2	0,90	0,87	0,84	0,81	0,89	0,85	0,82	0,79	0,71	0,81	0,78	0,75
	4	0,92	0,89	0,86	0,83	0,91	0,88	0,84	0,81	0,89	0,84	0,80	0,76
0,6	0,5	0,81	0,80	0,79	0,78	0,79	0,78	0,77	0,76	0,75	0,74	0,74	0,73
	1	0,92	0,90	0,88	0,86	0,91	0,88	0,86	0,84	0,88	0,85	0,82	0,80
	2	0,95	0,93	0,91	0,89	0,95	0,92	0,90	0,87	0,80	0,90	0,86	0,83
	4	0,96	0,94	0,92	0,90	0,96	0,93	0,91	0,88	0,95	0,91	0,88	0,85
0,7	0,5	0,92	0,90	0,88	0,87	0,90	0,88	0,87	0,86	0,87	0,85	0,84	0,83
	1	0,97	0,95	0,94	0,92	0,96	0,95	0,93	0,91	0,95	0,92	0,90	0,88
	2	0,98	0,96	0,95	0,93	0,98	0,96	0,94	0,92	0,88	0,95	0,92	0,90
	4	0,98	0,97	0,95	0,94	0,98	0,96	0,95	0,93	0,98	0,95	0,93	0,90
0,8	0,5	0,97	0,96	0,95	0,94	0,97	0,95	0,94	0,93	0,95	0,93	0,91	0,90
	1	0,99	0,98	0,97	0,96	0,99	0,97	0,96	0,95	0,98	0,96	0,95	0,93
	2	0,99	0,98	0,97	0,96	0,99	0,98	0,97	0,95	0,99	0,97	0,95	0,95
	4	0,99	0,98	0,97	0,96	0,99	0,98	0,97	0,95	0,99	0,98	0,96	0,94
0,9	0,5	0,99	0,98	0,98	0,97	0,99	0,98	0,97	0,96	0,99	0,97	0,96	0,95
	1	1,00	0,99	0,98	0,97	1,00	0,99	0,98	0,97	0,99	0,98	0,97	0,96
	2	1,00	0,99	0,98	0,98	1,00	0,99	0,98	0,97	1,00	0,99	0,97	0,96
	4	1,00	0,99	0,98	0,97	1,00	0,99	0,98	0,97	1,00	0,99	0,97	0,96
1,0	0,5	1,00	0,99	0,99	0,98	1,00	0,99	0,99	0,98	1,00	0,99	0,98	0,97
	1	1,00	1,00	0,99	0,99	1,00	1,00	0,99	0,98	1,00	0,99	0,99	0,98
	2	1,00	1,00	0,99	0,99	1,00	1,00	0,99	0,98	1,00	0,99	0,99	0,98
	4	1,00	1,00	0,99	0,99	1,00	1,00	0,99	0,98	1,00	1,00	0,99	0,98

Taulukossa 5 on kuvattu ulkoilmalämpöpumpun (ilma-vesi) suhteellinen lämpöenergia ($Q_{lp}/Q_{lämmitys, tilat, LVK}$) taulukoituna suhteellisen lämpötehon (ϕ_{lpn}/ϕ_{tila}) suhteen, tilojen- ja käyttöveden lämmitysenergioiden suhteen ($Q_{lämmitys,tilat}/Q_{lämmitys,LKV}$) ja tilojen lämmityksen menoveden max. lämpötilan (T_{meno}) funktiona eri säävyöhykkeillä. Lämpöpumpun nimellisteho ϕ_{lpn} annetaan toimintapisteessä T_{ulko}/T_{meno} (7/35°C). (Lämpöpumppujen energialaskentaopas 2012)

Ilmasta lämpöä ottavan ilma-vesilämpöpumpun suhteellinen lämpöteho (ϕ_{lpn}/ϕ_{tila}) arvolla 1,0 vastaa ilma-vesilämpöpumpun tehomitoitusta ulkolämpötilalla -5°C, kun lämmitysjärjestelmän menoveden lämpötila on 35°C (Taulukko 5). Tarkat mitoituslämpötilat

vaihtelevat lämpöpumpuilla yksityiskohtaisesti riippuen laitteen lämmöntuottokyvystä alle 7°C ulkolämpötilalla. (Lämpöpumppujen energialaskentaopas 2012).

Ulkoilmalämpöpumppuja ei voida mitoittaa täysteholle. Toimintaraja ilmalämpö- ja ilma-vesilämpöpumpuilla tulee vastaan yleisesti -20°C ulkolämpötilassa, jolloin ilmasta lämpöä ottaville lämpöpumpuille tarvitaan rinnalle varalämmönläde (Lämpöpumppujen energialaskentaopas 2012).

Taulukko 5. Ulkoilmalämpöpumpun (ilma-vesi) lämpöenergioiden suhteet eri säävyöhykkeillä ja menoveden lämpötiloilla (Lämpöpumppujen energialaskentaopas 2012).

ϕ_{pp}/ϕ_{tia}	$Q_{\text{lämmitys,tilat}}/Q_{\text{lämmitys,LKV}}$	Säävyöhyke: I-II				Säävyöhyke: III				Säävyöhyke: IV			
		$T_{m, \text{ °C}}$				$T_{m, \text{ °C}}$				$T_{m, \text{ °C}}$			
		30	40	50	60	30	40	50	60	30	40	50	60
0,3	0,5	0,33	0,33	0,33	0,33	0,31	0,31	0,31	0,31	0,28	0,28	0,28	0,28
	1	0,39	0,39	0,39	0,39	0,37	0,37	0,37	0,37	0,33	0,33	0,33	0,33
	2	0,49	0,48	0,47	0,46	0,46	0,45	0,44	0,44	0,40	0,39	0,39	0,38
	4	0,56	0,54	0,52	0,50	0,53	0,51	0,49	0,48	0,46	0,44	0,43	0,41
0,4	0,5	0,44	0,44	0,44	0,44	0,42	0,42	0,42	0,42	0,38	0,38	0,38	0,38
	1	0,52	0,52	0,52	0,52	0,50	0,50	0,49	0,49	0,44	0,44	0,44	0,44
	2	0,63	0,61	0,60	0,58	0,60	0,58	0,57	0,56	0,52	0,51	0,50	0,49
	4	0,68	0,65	0,63	0,61	0,64	0,62	0,60	0,58	0,56	0,54	0,52	0,51
0,5	0,5	0,54	0,54	0,54	0,54	0,52	0,52	0,52	0,52	0,47	0,47	0,47	0,47
	1	0,65	0,64	0,64	0,63	0,62	0,61	0,61	0,60	0,55	0,54	0,54	0,53
	2	0,73	0,71	0,69	0,68	0,70	0,68	0,66	0,64	0,61	0,60	0,58	0,57
	4	0,78	0,75	0,72	0,70	0,74	0,71	0,68	0,66	0,64	0,62	0,60	0,58
0,6	0,5	0,64	0,64	0,64	0,64	0,62	0,62	0,62	0,61	0,55	0,55	0,55	0,55
	1	0,75	0,74	0,72	0,72	0,72	0,70	0,69	0,69	0,64	0,63	0,62	0,61
	2	0,82	0,79	0,77	0,75	0,78	0,76	0,74	0,72	0,69	0,67	0,65	0,64
	4	0,84	0,82	0,80	0,77	0,81	0,78	0,76	0,73	0,71	0,69	0,66	0,64
0,7	0,5	0,73	0,73	0,73	0,73	0,70	0,70	0,70	0,70	0,63	0,63	0,63	0,63
	1	0,83	0,81	0,80	0,78	0,79	0,78	0,76	0,75	0,71	0,69	0,68	0,67
	2	0,87	0,85	0,83	0,82	0,84	0,82	0,80	0,78	0,75	0,73	0,71	0,69
	4	0,89	0,87	0,85	0,83	0,86	0,84	0,81	0,79	0,76	0,74	0,72	0,70
0,8	0,5	0,81	0,80	0,80	0,79	0,80	0,80	0,79	0,78	0,72	0,71	0,71	0,70
	1	0,88	0,87	0,85	0,84	0,86	0,85	0,84	0,82	0,77	0,76	0,74	0,73
	2	0,90	0,89	0,88	0,86	0,88	0,86	0,85	0,84	0,79	0,77	0,76	0,74
	4	0,91	0,90	0,88	0,87	0,88	0,87	0,85	0,84	0,79	0,77	0,76	0,74
0,9	0,5	0,89	0,88	0,88	0,87	0,86	0,85	0,84	0,83	0,77	0,76	0,76	0,75
	1	0,92	0,91	0,90	0,89	0,89	0,88	0,87	0,86	0,81	0,80	0,78	0,77
	2	0,92	0,91	0,90	0,89	0,90	0,89	0,88	0,87	0,81	0,80	0,79	0,77
	4	0,92	0,91	0,90	0,89	0,89	0,88	0,87	0,86	0,81	0,80	0,78	0,77
1,0	0,5	0,92	0,92	0,91	0,90	0,90	0,89	0,88	0,88	0,82	0,81	0,80	0,79
	1	0,93	0,92	0,92	0,91	0,91	0,90	0,90	0,89	0,83	0,82	0,81	0,80
	2	0,93	0,92	0,92	0,91	0,91	0,90	0,89	0,89	0,83	0,82	0,81	0,80
	4	0,93	0,92	0,91	0,90	0,90	0,90	0,89	0,88	0,82	0,81	0,80	0,79

Tilojen ja käyttöveden lämmitykseen tarvittava lisäenergia ($Q_{\text{lisälämmitys, tilat}}$ ja $Q_{\text{lisälämmitys, LKV}}$), jota ei lämpöpumpulla pystytä tuottamaan, voidaan laskea kaavoilla 4 ja 5 käyttäen taulukoissa 4 ja 5 esitettyjä lämpöpumpun suhteellisen lämpöenergian arvoja.

$$Q_{\text{lisälämmitys, tilat}} = (1 - Q_{\text{ip}}/Q_{\text{lämmitys, tilat, LKV}})Q_{\text{lämmitys, tilat}}$$

$Q_{\text{lisälämmitys, tilat}}$ = tilojen tarvitsema lisälämmitysenergia [kWh]

$Q_{\text{lämmitys, tilat}}$ = tilojen lämmitysenergian kulutus [kWh]

$Q_{\text{ip}}/Q_{\text{lämmitys, tilat, LKV}}$ = lämpöpumpun suhteellinen lämpöenergia [taulukko 4 ja 5]

Kaava 4. Tilojen lämmityksen tarvitsema lisälämmitysenergia (Lämpöpumppujen energialaskentaopas 2012).

$$Q_{\text{lisälämmitys, LKV}} = (1 - Q_{\text{ip}}/Q_{\text{lämmitys, tilat, LKV}})Q_{\text{lämmitys, LKV}}$$

$Q_{\text{lisälämmitys, LKV}}$ = käyttöveden tarvitsema lisälämmitysenergia [kWh]

$Q_{\text{ip}}/Q_{\text{lämmitys, tilat, LKV}}$ = lämpöpumpun suhteellinen lämpöenergia [taulukko 4 ja 5]

$Q_{\text{lämmitys, LKV}}$ = käyttöveden lämmitykseen tarvittava energia [kWh]

Kaava 5. Käyttöveden lämmityksen tarvitsema lisälämmitysenergia (Lämpöpumppujen energialaskentaopas 2012).

Lämpöpumpun tuottama tilojen ja käyttöveden lämmitysenergian määrä saadaan vähentämällä lisälämmitysenergian määrä käyttöveden sekä tilojen lämmitysenergian tarpeesta (kaavat 6 ja 7).

$$Q_{\text{LP, lämmitys, tilat}} = Q_{\text{lämmitys, tilat}} - Q_{\text{lisälämmitys, tilat}}$$

$Q_{\text{LP, lämmitys, tilat}}$ = lämpöpumpun tuottama tilojen lämmitysenergia [kWh]

$Q_{\text{lämmitys, tilat}}$ = tilojen lämmitysjärjestelmän energiankulutus [kWh]

$Q_{\text{lisälämmitys, tilat}}$ = tilojen lisälämmitysjärjestelmän energiankulutus [kWh]

Kaava 6. Lämpöpumpun tuottama tilojen lämmitysenergia (Lämpöpumppujen energialaskentaopas 2012).

$$Q_{\text{LP, lämmitys, LKV}} = Q_{\text{lämmitys, LKV}} - Q_{\text{lisälämmitys, LKV}}$$

$Q_{\text{LP, lämmitys, LKV}}$ = lämpöpumpun tuottama käyttöveden lämmitysenergia [kWh]

$Q_{\text{lämmitys, LKV}}$ = käyttöveden lämmitysjärjestelmän energiankulutus [kWh]

$Q_{\text{lisälämmitys, LKV}}$ = käyttöveden lisälämmitysjärjestelmän energiankulutus [kWh]

Kaava 7. Lämpöpumpun tuottama käyttöveden lämmitysenergia (Lämpöpumppujen energialaskentaopas 2012).

Sähköenergiankulutus

Lämpöpumppu otetaan huomioon lämmityksen sähköenergiankulutuksessa silloin, kun se on käytössä. Lämpöpumpun sähköenergiankulutus lämmityksessä $W_{\text{LP, lämmitys}}$ voidaan laskea kaavan 8 avulla.

$$W_{\text{LP, lämmitys}} = Q_{\text{LP, lämmitys, tilat}} / \text{SPF}_{\text{tilat}} + Q_{\text{LP, lämmitys, LKV}} / \text{SPF}_{\text{LKV}}$$

$W_{\text{LP, lämmitys}}$ = lämpöpumpun sähköenergiankulutus lämmityskäytössä [kWh]

$Q_{\text{LP, lämmitys, tilat}}$ = lämpöpumpun tuottama tilojen lämmitysenergia [kWh]

$Q_{\text{lämmitys, LKV}}$ = käyttöveden lämmitysjärjestelmän energiankulutus [kWh]

$\text{SPF}_{\text{tilat}}$ = lämpöpumpun SPF-luku tilojen lämmityksessä

SPF_{LKV} = lämpöpumpun SPF-luku käyttöveden lämmityksessä

Kaava 8. Lämpöpumpun sähköenergiankulutus lämmityskäytössä (Lämpöpumppujen energialaskentaopas 2012).

Lämpöpumppujen SPF-lukuina voidaan yleisesti käyttää taulukoissa 6 ja 7 kerrottuja arvoja, ellei tiedetä tarkemmin laitekohtaista lämpöpumpun arvoa. Kuten taulukoista 6 ja 7 nähdään, lämpöpumpun lauhduttimen luovuttamalla lämpötilalla, eli lämpöpumpun menoveden lämpötilalla, on merkittävä vaikutus lämpöpumpun suorituskykyyn. Menoveden lämpötilaa nostamalla lämpöpumpun tuottama lämpöenergian määrä suhteessa käytettyyn sähköenergiaan heikkenee. Taulukoissa 6 ja 7 annettuja menoveden lämpötilatsoille annettuja SPF-lukuja voidaan interpoloida, jos taulukosta ei löydetä oikeaa arvoa (Lämpöpumppujen energialaskentaopas 2012).

Lämmitysverkoston paluueden lämpötila vaikuttaa myös lämpöpumpun suorituskykyyn. Taulukoissa 6 ja 7 olevat arvot on laskettu SFS-EN 14511 standardin mukaan, jossa meno- ja paluueden lämpötilaero on ollut 5°C. Jos olosuhteet eivät vastaa tätä lämpötilaa, voidaan lämpötilaa korjata yksityiskohtaisemmin kaavan 9 mukaan (Lämpöpumppujen energialaskentaopas 2012).

Lämmönlähteen lämpötila vaikuttaa oleellisesti lämpöpumpun SPF-lukuun, ulkoilmalämpöpumpuilla ulkoilman lämpötila ja maalämpöpumpuilla keruupiirin lämpötila. Maalämmön keruupiirin käyttö myös jäähdytyksessä nostaa maaperän lämpötilaa ja vähentää maaperän jäätyminen riskiä pidemmän ajan puitteissa. Kesällä ajettu ”lämpö” maapiiriin voi tehostaa lämpöpumpun lämmityskäyttöä pitkällä aikavälillä (Lämpöpumppujen energialaskentaopas 2012).

Taulukko 6. Maalämpöpumpun SPF-lukuja (Lämpöpumppujen energialaskentaopas 2012).

Maalämpöpumppu max. lämpötila (menovesi), °C	SPF-luku	
	Vuotuinen keruupiirin paluunesteen keskilämpötila, °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

Taulukko 7. Ulkoilmalämpöpumppujen SPF-lukuja (Lämpöpumppujen energialaskentaopas 2012).

Ulkoilmalämpöpumput max. lämpötila (menovesi), °C	SPF-luku		
	Säilytysvyöhykkeet		
	I-II	III	IV
Ilma-ilma	2,8	2,8	2,7
Ilma-vesi (tilojen lämmitys)			
30	2,8	2,8	2,7
40	2,5	2,5	2,4
50	2,3	2,3	2,2
60	2,2	2,1	2,0
Ilma-vesi (käyttöveden lämmitys)			
60	1,8	1,6	1,3

$$COP_T = COP_M \left[1 - \frac{\frac{\Delta T_{LM} - \Delta T_{LS}}{2}}{\left\{ T_{HJ} - \frac{\Delta T_{LM}}{2} + \Delta T_L - (T_{LÄH} - \Delta T_H) \right\}} \right]$$

COP_T = Lämpötilakorjattu lämpökerroin

COP_M = Mitattu lämpökerroin testausolosuhteissa

ΔT_{LM} = meno- ja paluueden lämpötilaerotus testausolosuhteissa [°C]

ΔT_{LS} = meno- ja paluueden lämpötilaerotus mitoitusolosuhteissa [°C]

T_{HJ} = lämmönjakojärjestelmän menoveden lämpötila [°C]

ΔT_L = lämpötilaero lämmönsiirtoaineen ja kylmäaineen välillä lauhduttimessa [°C]

$T_{LÄH}$ = lämmönlähteen lämpötila [°C]

ΔT_H = lämpötilaero lämmönsiirtoaineen ja kylmäaineen välillä höyrystimessä [°C]

Kaava 9. Meno- ja paluueden lämpötilan mukaan korjattu lämpökerroin. (Lämpöpump-
pujen energialaskentaopas 2012).

Lämpöpumpun SPF-luvun selvitykseen (Kaava 10) käytettävässä lämpöpumpun lämpö-
kertoimessa otetaan huomioon sulatusjaksoihin kuuluva energia (ulkoilmalämpöpumput)
sekä lämpöpumpun puhaltimien, pumppujen ja säätölaitteiden sähkönkulutus SFS-EN
14511-3 standardin mukaan. Lämpöpumpun ulkopuolelle sijoitettu keruupiirin pumppu
otetaan huomioon erikseen SPF-luvun laskennassa (Lämpöpumppujen energialasken-
taopas 2012).

$$SPF_{tilat} = \frac{Q_{LP,lämmitys,tilat}}{W_{LP,tilat} + W_{apu,tilat}}$$

SPF_{tilat} = lämpöpumpun lämpökerroin tilojen lämmityksessä

$Q_{LP,lämmitys,tilat}$ = lämpöpumpun tuottama tilojen lämmitysenergia vuodessa [kWh/a]

$W_{LP,tilat}$ = lämpöpumpun sähköenergiankulutus vuodessa tilojen lämmityksessä [kWh/a]

$W_{apu,tilat}$ = lämpöpumpun apulaitteiden vuotuinen sähköenergiankulutus tilojen lämmityk-
sessä, joka ei sisälly lämpöpumpun lämpökertoimen mitattuihin arvoihin [kWh/a]

Kaava 10. Lämpöpumpun SPF-luku tilojen lämmityksessä (Lämpöpumppujen energia-
laskentaopas 2012).

$$SPF_{LKV} = \frac{Q_{LP,lämmitys,LKV}}{W_{LP,LKV} + W_{apu,LKV}}$$

SPF_{LKV} = lämpöpumpun lämpökerroin käyttöveden lämmityksessä

$Q_{LP,lämmitys, LKV}$ = lämpöpumpun tuottama käyttöveden lämmitysenergia vuodessa [kWh/a]

$W_{LP, LKV}$ = lämpöpumpun sähköenergiankulutus vuodessa käyttöveden lämmityksessä [kWh/a]

$W_{apu, LKV}$ = lämpöpumpun apulaitteiden vuotuinen sähköenergiankulutus käyttöveden lämmityksessä, joka ei sisälly lämpöpumpun lämpökertoimen mitattuihin arvoihin [kWh/a]

Kaava 11. Lämpöpumpun SPF-luku käyttöveden lämmityksessä (Lämpöpumppujen energialaskentaopas 2012).

Lämpöpumpun yhteinen SPF-luku tilojen ja käyttöveden lämmitykselle määritellään kaavan 12 mukaisesti.

$$SPF_{tilat+LKV} = \frac{Q_{LP,lämmitys}}{W_{LP} + W_{apu}}$$

$Q_{LP,lämmitys}$ = lämpöpumpun tuottama tilojen ja käyttöveden vuotuinen lämmitysenergiankulutus [kWh]

W_{LP} = lämpöpumpun sähkönkulutus vuodessa, tilojen + käyttöveden lämmitys [kWh/a]

W_{APU} = lämpöpumpun apulaitteiden vuotuinen sähkönkulutus (tilat ja LKV), joka ei sisälly lämpöpumpun lämpökertoimen mitattuihin arvoihin, [kWh/a]

Kaava 12. Lämpöpumpun yhteisen SPF-luvun laskenta tiloille ja käyttövedelle (Lämpöpumppujen energialaskentaopas 2012).

Lämpöpumpun lämpökertoimen arvojen mittaukseen sisältymätön apulaitteiden sähkönkulutus W_{apu} voidaan selvittää kaavan 13 avulla.

$$W_{apu} = P_{apu} \cdot \Delta t$$

W_{apu} = lämpöpumpun apulaitteiden sähköteho, joka ei sisälly mittattuun lämpökertoimen arvoon [kWh]

P_{apu} = lämpöpumpun apulaitteiden sähköteho, joka ei sisälly mittattuun lämpökertoimen arvoon [kW]

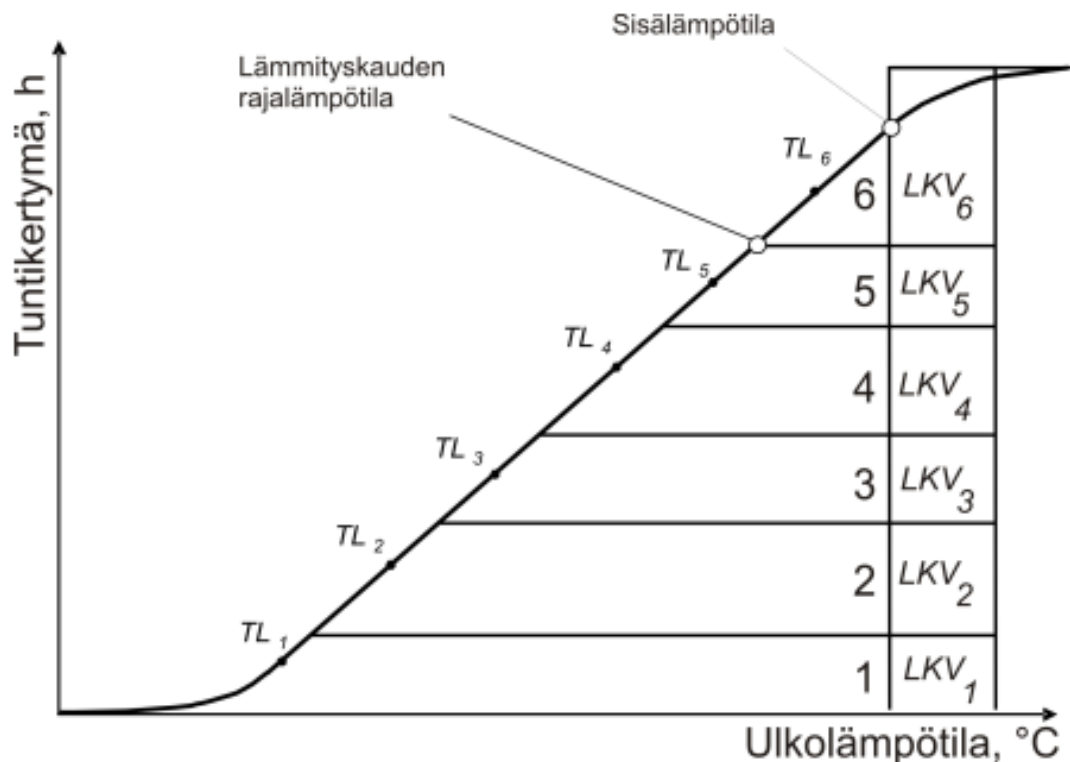
Δt = apulaitteiden käyttöaika laskentajaksolla [h]

Kaava 13. Lämpökertoimen arvoon sisältymättömien apulaitteiden sähkönkulutus (Lämpöpumppujen energialaskentaopas 2012).

5.2 Pysyvyyskäyrään perustuva yksityiskohtainen laskentamenetelmä

Kun lämpöpumpun ominaisuudet tunnetaan ja lämpöpumpusta on tehty SFS-EN 14511-3 standardin mukaiset mittaukset, voidaan lämpöpumpun energiantuotto ja tarvittava sähköenergiankulutus laskea pysyvyyskäyrämenetelmällä. Laskennassa käytettävä sisälämpötila on rakennuksen mitoittava sisälämpötila. Lämmityskauden rajalämpötila on ulkolämpötila, jossa lämmitys lopetetaan. Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian tarve pysyy tasaisena koko laskennan ajan, sillä lämpimän käyttöveden määrää pidetään laskennallisesti samana joka päivä.

Kuvassa 9 lämpötilavälit on numeroitu (1-6) ja toimintalämpötilat TL_1 - TL_6 on esitetty pysyvyyskäyrällä. Kuvan oikeassa reunassa näkyy myös lämpimän käyttöveden tasainen lämmitysenergian tarve.



Kuva 9. Havainnollinen ulkolämpötilan pysyvyyskäyrä. (Lämpöpumppujen energialaskentaopas 2012).

Käytin työssä itse tekemääni pysyvyyskäyrää (Taulukot 11, 14, 17 ja 20), joka perustui säävyöhykkeiden I ja II alueella mitattuihin Suomen energialaskennan referenssivuoden (D3 2012) mukaisiin tunnittaisiin lämpötilan pysyvyystietoihin.

Lämpöpumpun tuotetiedoista saadaan EN 14511 standardin mukaisiin testausolosuhteisiin perustuvat lämpökertoimet (Kuva 10). Pysyvyyskäyrälle sijoitetaan lämpöpumpun lämpökertoimiin perustuvat toimintapisteet eri ulkolämpötiloilla ja menoveden lämpötiloilla. Jos lämpökerrointa oikealla menoveden lämpötilalla ei löydy, voidaan arvo tarvittaessa interpoloida tunnettujen pisteiden välillä. Lämpökertoimille lasketaan lämpötilakorjaus jos toimintalämpötilat eivät ole standardin mukaisia mittauspisteiden lämpötiloja.

		STAR Inverter-6	STAR Inverter-12	STAR Inverter-16
Tehotiedot EN 14511 mukaan nimelliset				
0/35				
Antoteho (P_H)	kW	3,15	5,06	8,89
Sähköteho (P_E)	kW	0,67	1,04	1,83
COP		4,72	4,87	4,85
0/45				
Antoteho (P_H)	kW	2,87	4,78	8,63
Sähköteho (P_E)	kW	0,79	1,27	2,29
COP		3,61	3,75	3,77
10/35				
Antoteho (P_H)	kW	4,30	6,33	11,22
Sähköteho (P_E)	kW	0,66	1,03	1,84
COP		6,49	6,12	6,11
10/45				
Antoteho (P_H)	kW	3,98	5,98	10,92
Sähköteho (P_E)	kW	0,83	1,30	2,32
COP		4,79	4,59	4,72

Kuva 10. Lämpöpumpun tehotietoja eri lämpötiloilla (Kaukora Oy 2018).

Pysyvyyskäyrän alle jäävän alueen kokonaispinta-ala kertoo lämmitettävien astepäivien yhteislukumäärän sekä lämmityksen kokonaisenergiankulutuksen. Toimintapisteiden perusteella piirretään lisäkäyriä lämpöpumpun tuottamasta energiasta sekä sen vaatimasta sähköenergiasta. Piirrettyjen alueiden suhde kokonaisalueeseen kertoo eri tavoin (sähkö, lämpöpumppu, lisälämmitys) tuotetun lämpöenergian määrän lämmityksen tarvitsemasta kokonaisenergiankulutuksesta.

Lämpimän käyttöveden osalta pysyvyyskäyrältä etsitään ulkolämpötila, jossa lämpöpumpun teho ei riitä enään käyttöveden lämmitykseen. Tämän pisteen mukaan rajataan lämpimän käyttöveden lisälämmityksen käyrä. Lämpöpumpun COP-luvut selvitetään käyttövedelle myös osateholla, silloin kun tilojen lämmitystä ei tarvita tai lämpöpumppu

ei käy täydellä tehollaan. Pisteistä saadaan rajattua alueet, josta pystytään laskemaan lämpöpumpun kuluttama sähköenergia, lämpöpumpun tuottama lämpimän käyttöveden lämmitysenergian määrä sekä tarvittava lisälämmityksen määrä.

Lämpöpumpun tuottaman osatehon COP-luku eri menoveden lämpötiloilla voidaan voidaan laskea lämpöpumpun antotehon P_h suhteella lämpöpumpun sähkötehoon P_e .

$$COP = \frac{P_h}{P_e}$$

COP = lämpöpumpun lämpökerroin

P_h = antoteho [kW]

P_e = sähköteho [kW]

Kaava 14. Lämpöpumpun COP-luvun määrittäminen.

6 ENERGIALASKENNAN ESIMERKKIKOHOEET

6.1 Omakotitalo

6.1.1 Lähtötiedot

Laskennan ensimmäinen kohde on hirsirunkoinen omakotitalo, joka sijaitsee säävyöhykkeellä I. Omakotitalon lämmitetty nettoala on 105m^2 , kohteen laskennallinen lämmityksen tehontarve sisälämpötilalla 21°C ja ulkolämpötilalla -26°C on $7,5\text{ kW}$.

Lämmityksen sisätilojen rajalämpötilalle 17°C laskettu tehontarve on $6,9\text{kW}$ ja Suomen energialaskennan referenssivuoden (D3 2012) mukaisten tunnittaisten lämpötilan pysyvyystietojen mukaan lämmityksen laskennallinen vuosittainen energiankulutus $Q_{\text{lämmitys, tilat}}$ on 18833 kWh (Taulukko 8).

Lämpimän käyttöveden määrä kohteessa on laskettu kahdelle hengelle. Lämpimän käyttöveden määräksi henkilöä kohden on laskettu $60\text{ dm}^3/\text{henkilö}$ vuorokaudessa, joten kohteessa kulutus on yhteensä $120\text{ dm}^3/\text{vrk}$ josta seuraa vuositasolla $43,8\text{m}^3$ (Kaava 15). Lämpimän käyttöveden lämpöenergian nettotarve vuositasolla on 2810kWh . Lisäksi lasketaan mukaan käyttöveden 300l varaajan lämpöhäviö jonka oletetaan olevan 650kWh vuodessa. Yhteensä vuotuinen käyttöveden lämmitysenergiatarve on siis 3460kWh vuodessa. Tehontarve ympäri vuoden on $0,394\text{kW}$.

Taulukko 8. Suomen energialaskennan referenssivuoden (D3 2012) mukaisten tunnit-
taisten lämpötilan pysyvyystietojen mukaan laskettu omakotitalon lämmityksen vuosittai-
nen energiankulutus.

<i>Säävyöhyke I</i>	<i>Lämmitettävä sisälämpötila</i>	17 °C
<i>Omakotitalo+rantas sauna</i>	<i>Konduktanssi</i>	0,153 kw/°C
	<i>Lämmitettävät tunnit</i>	8013 h
	<i>Lämmitettävät päivät</i>	334 d
	<i>Lämmitystarveluku S₁₇</i>	4413 °Cd
	<i>Energiankulutus yhteensä</i>	18833 kWh

<i>Ulkoilman lämpötila</i>	<i>Lämpötilavälin kesto</i>	<i>ΔT, T_s17</i>	<i>Astepäivät</i>	<i>Energiankulutus</i>	<i>Lämmitystehontarve</i>	
T _u	h	d	°C	°Cd	kWh	kW
-22,00	0	0,0	39	0	0,00	0,00
-21,00	7	0,3	38	11	40,70	5,81
-20,00	19	0,8	37	29	107,56	5,66
-19,00	23	1,0	36	35	126,68	5,51
-18,00	21	0,9	35	31	112,46	5,36
-17,00	30	1,3	34	43	156,06	5,20
-16,00	55	2,3	33	76	277,70	5,05
-15,00	83	3,5	32	111	406,37	4,90
-14,00	63	2,6	31	81	298,81	4,74
-13,00	72	3,0	30	90	330,48	4,59
-12,00	52	2,2	29	63	230,72	4,44
-11,00	49	2,0	28	57	209,92	4,28
-10,00	49	2,0	27	55	202,42	4,13
-9,00	76	3,2	26	82	302,33	3,98
-8,00	124	5,2	25	129	474,30	3,83
-7,00	146	6,1	24	146	536,11	3,67
-6,00	169	7,0	23	162	594,71	3,52
-5,00	174	7,3	22	160	585,68	3,37
-4,00	193	8,0	21	169	620,11	3,21
-3,00	214	8,9	20	178	654,84	3,06
-2,00	237	9,9	19	188	688,96	2,91
-1,00	301	12,5	18	226	828,95	2,75
0,00	519	21,6	17	368	1349,92	2,60
1,00	494	20,6	16	329	1209,31	2,45
2,00	460	19,2	15	288	1055,70	2,30
3,00	354	14,8	14	207	758,27	2,14
4,00	280	11,7	13	152	556,92	1,99
5,00	301	12,5	12	151	552,64	1,84
6,00	279	11,6	11	128	469,56	1,68
7,00	300	12,5	10	125	459,00	1,53
8,00	280	11,7	9	105	385,56	1,38
9,00	285	11,9	8	95	348,84	1,22
10,00	290	12,1	7	85	310,59	1,07
11,00	293	12,2	6	73	268,97	0,92
12,00	293	12,2	5	61	224,15	0,77
13,00	322	13,4	4	54	197,06	0,61
14,00	297	12,4	3	37	136,32	0,46
15,00	291	12,1	2	24	89,05	0,31
16,00	309	12,9	1	13	47,28	0,15
17,00	209	8,7	0	0	0,00	0,00
	Okt + sauna				16205,00	
	+ Lj elementti saunalle				2628	
Yhteensä					18833,00	

$$Q_{lkv,netto} = \frac{\rho_v \cdot c_{pv} \cdot V_{lkv} \cdot (T_{lkv} - T_{kv})}{3600}$$

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

ρ_v = veden tiheys [1000kg/m³]

c_{pv} = veden ominaislämpökapasiteetti [4,2kJ/kgK]

V_{lkv} = lämpimän käyttöveden kulutus [m³]

T_{lkv} = lämpimän käyttöveden lämpötila [60°C]

T_{kv} = kylmän käyttöveden lämpötila [5°C]

3600= kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi [s/h]

Kaava 15. Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve (Rakennustieto Oy 2020).

6.1.2 Omakotitalon energialaskenta maalämpöpumpulla

Lämmitysjärjestelmän menoveden lämpötila T_m on 45°C (mitoitustilanteessa $T_u = -26^\circ\text{C}$). Lämmönjakojärjestelmänä toimii vesikiertoinen lattialämmitys puulattiassa.

Lämpöpumpuna on Kaukoran valmistama Jämä Star Inverter 6. Lämpöpumpun lämmitysteho $\phi_{lpn} [T_{ulko}/T_{meno} (0/35^\circ\text{C})] = 6000\text{W} = 6\text{kW}$. Keruupiirin pituus on 400 metriä, ja se levitetään mereen. Maalämpöpumpun rinnalle kytketään VLM 300 Star käyttövesivaraaja. (Kaukora Oy 2018).

Tilan lämmityksen tehontarve $\phi_{tila} [T_{sisä}/T_{ulko} (17/-26^\circ\text{C})] = 6900\text{W} = 6.9\text{kW}$

Lämpöpumppu on mitoitettu 80% osateholle omakotitalon sekä saunarakennuksen lämmityksen tehontarpeeseen nähden. Lämpöpumpun lämmönkeruupiirin mitoituksessa keruupiirin paluunesteen vuotuinen keskilämpötila on 0°C.

Lämpöpumpun SPF-luku tilojen lämmitykselle menoveden maksimilämpötilalla 45°C on 3.9 ja SPF-luku käyttöveden lämmitykselle 60°C on 2.3.

Yksinkertainen laskentamenetelmä omakotitalo

Lämpöpumpun suhteellinen lämpöteho 0,87 saadaan lämpöpumpun lämpötehon ϕ_{lp} [T_{ulko}/T_{meno} (0/35°C)] = 6000W = 6kW ja tilojen lämmitystehontarpeen ϕ_{tila} [$T_{sisä}/T_{ulko}$ (17/-26°C)] = 6900W = 6.9kW avulla.

Suhteellisen lämpötehon lukuarvot maalämpöpumpuille kerrotaan taulukossa 4. Lukuarvot on ilmoitettu yhden desimaalin tarkkuudella, joten pyöristämme lasketun lukuarvon 0,87 lukuarvoon 0,9.

Tilojen lämmityksen ja käyttöveden vuotuinen lämmitysenergioiden suhde on

$$Q_{\text{lämmitys,tilat}}/Q_{\text{lämmitysLKV}} = 18833\text{kWh}/3460\text{kWh} = 5.44$$

Tilojen ja käyttöveden lämmitysenergioiden suhteelle on annettu lukuarvot taulukossa 4. Lukuarvot ovat 0,5, 1, 2, ja 4. Valitsemme lähimmän arvon joka on nyt 4.

Taulukosta 4 voimme lukea arvot, jotta pääsemme laskemaan tilojen sekä käyttöveden lämmitykseen tarvittavan lisälämmitysenergian. Tässä tapauksessa valitsemme lämmityksen suhteellisen lämpötehon kohdalta 0,9 sekä tilojen ja käyttöveden lämmitysenergian suhteella 4, säävyöhykkeiden I-II sarakkeesta menoveden arvolla 45°C löytyvän arvon 0,985. Interpoloimme arvon 40°C ja 50°C lukuarvojen välistä.

Tilojen lisälämmitysenergia laskettuna kaavan 4 mukaan

$$Q_{\text{lisälämmitys,tilat}} = (1-0,985) \times 18833\text{kWh} = 282\text{kWh}$$

Käyttöveden lämmitys saadaan laskettua kaavan 5 mukaan. Käyttöveden lämmityksessä valitaan taulukosta 4 säävyöhykkeiden I-II kohdalta 60°C sarake ja sieltä saadaan arvo 0,97.

$$Q_{\text{lisälämmitys,LKV}} = (1-0,97) \times 3460\text{kWh} = 104\text{kWh}$$

Kaavan 6 ja 7 mukaan saadaan laskettua lämpöpumpun tuottama lämmitysenergia tiloille ja lämpimälle käyttövedelle

$$Q_{\text{LP,lämmitys,tilat}} = 18833\text{kWh} - 282\text{kWh} = 18551\text{kWh} \text{ (kaava 6)}$$

$$Q_{\text{LP,lämmitys,LKV}} = 3460\text{kWh} - 104\text{kWh} = 3356 \text{ kWh} \text{ (kaava 7)}$$

Kaavan 8 avulla pystymme laskemaan lämpöpumpun sekä apulaitteiden kuluttaman vuotuisen sähköenergian määrän. Taulukosta 6 löydetään yleiset arvot maalämpöpumpujen SPF-luvulle tilojen ja käyttöveden lämmityksessä, jos laitteen arvoja ei tarkemmin tiedetä. Jämä star inverter 6 maalämpöpumpusta on olemassa tarkat SPF-luvut joten käytämme tässä tilanteessa laitteen omia arvoja SPF lämmitys 45°C = 3,9 ja SPF lämmitys 60°C = 2,3.

$$W_{LP, \text{lämmitys, tilat}} = 18551 \text{kWh} / 3,9 = 4757 \text{kWh}$$

$$W_{LP, \text{lämmitys, LKV}} = 3356 \text{kWh} / 2,3 = 1459 \text{kWh}$$

$$W_{LP, \text{lämmitys}} = 4757 \text{kWh} + 1459 \text{kWh} = 6216 \text{kWh}$$

Lopputulos

Yksinkertaisella laskentamenetelmällä saatu omakotitalon maalämpöpumpun tuottama tilojen ja käyttöveden lämmitysenergia on yhteensä 15691kWh. Tarvittava lisälämmitysenergia on yhteensä 386kWh. Lämpöpumpun + apulaitteiden sähköenergiankulutus tiloille ja käyttövedelle on 6216kWh.

Pysyvyyskäyrään perustuva laskentamenetelmä

Taulukon 8 mukaan piirretylle pysyvyyskäyrälle on sijoitettu taulukon 9 mukaiset maalämpöpumpun toimintapisteet lämmityskäytössä. Toimintapisteiden perusteella pysyvyyskäyrä taulukkoon on piirretty maalämpöpumpun tarvitseman sähkötehon käyrä eri lämpötiloilla, sekä tarvittavan lisälämmityksen käyrä. Maalämpöpumpun tuottama lämmin käyttövesi sekä tarvittava sähköteho ja lisälämmitys on laskettu samalla periaatteella, mutta toimintapisteet on asetettu taulukon 10 mukaan. Käyttöveden lämmityksessä maalämpöpumppu lämmittää käyttöveden 55°C:seen ja loppu 5°C lämmitetään käyttövesivaraajan sähkövastuksin.

Taulukko 9. Maalämpöpumpun toimintapisteet lämmityskäytössä.

Maalämpöpumpun malli Jämä Star Inverter 6

Lihavoidut arvot keltaisella pohjalla valmistajan tuotetiedoista EN 14511 standardin mukaan, muut arvot interpoloimalla Lattialämmityksen säätökäyrän oletetaan olevan lineaarinen

T_u °C	T_{meno} °C	Tehontarve ϕ_{tila} kW	Lp antoteho P_h	Lp sähköteho P_e	COP
-26	45	6,6	2,87	0,79	3,6
-17	40	5,2	3,01	0,73	4,1
-8	35	3,8	3,15	0,67	4,7
2	30	2,4	3,29	0,61	5,4
11	25	0,9	3,43	0,55	6,2
20	20	0	3,57	0,49	7,3

Taulukko 10. Maalämpöpumpun toimintapisteet lämpimänkäyttöveden lämmityksessä.

Jämä star inverter 6

Käyttöveden lämmittämisen hyötysuhde eri ulkolämpötiloilla

T_u °C	T_{meno} °C	Tehontarve ϕ_{kv} kW	Lp antoteho P_h	Lp sähköteho P_e	COP
TOL	55	0,39	0,39	0,14	2,84
-7	55	0,39	0,39	0,13	3,06
2	55	0,39	0,39	0,10	3,97
7	55	0,39	0,39	0,08	4,63
12	55	0,39	0,39	0,08	4,86

Pysyvyyskäyrään (Taulukko 11) perustuvalla menetelmällä saadut tulokset ovat

$$Q_{LP, \text{lämmitys, tilat}} = 13748 \text{ kWh}$$

$$Q_{LP, \text{lisälämmitys, tilat}} = 1469 \text{ kWh}$$

$$W_{LP, \text{lämmitys, tilat}} = 3616 \text{ kWh}$$

$$Q_{LP, \text{lämmitys, LKV}} = 1820 \text{ kWh}$$

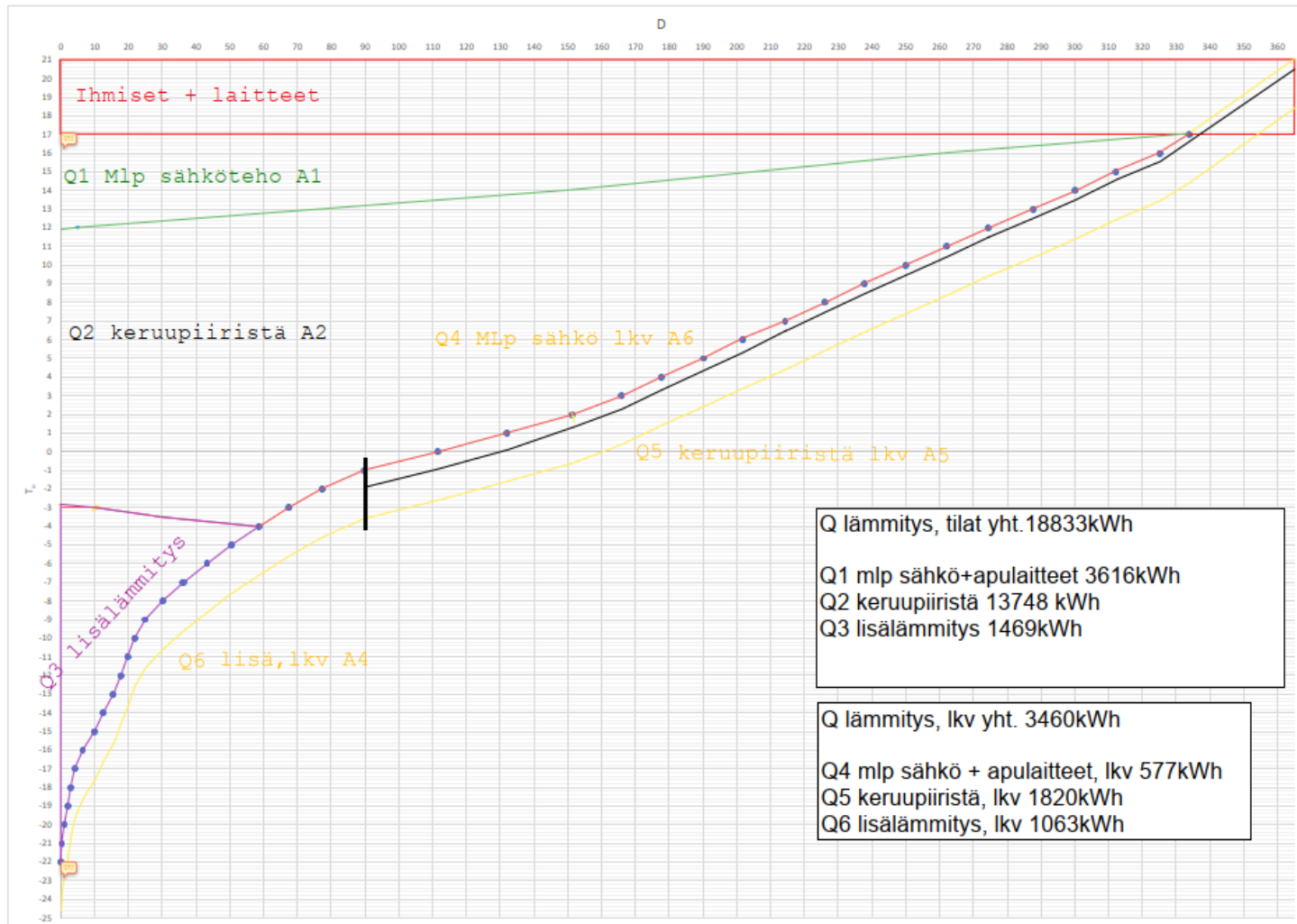
$$Q_{\text{lisälämmitys, LKV}} = 1063 \text{ kWh}$$

$$W_{LP, \text{lämmitys, LKV}} = 577 \text{ kWh}$$

Lopputulokset

Pysyvyyskäyrämenetelmällä saatu omakotitalon maalämpöpumpun tuottama tilojen ja käyttöveden lämmitysenergia on yhteensä 15568 kWh. Tarvittava lisälämmitysenergia on yhteensä 2532 kWh. Lämpöpumpun + apulaitteiden sähköenergiankulutus tiloille ja käyttövedelle on 4193 kWh.

Taulukko 11. Pysyvyyskäyrä sekä tulokset maalämpöpumpulla tehdylle omakotitalon energialaskennalle.



6.1.3 Omakotitalon energialaskenta ilma-vesilämpöpumpulla

Lämpöpumppu on Kaukoran valmistama Jäspi Tehowatti Air Split 8kw. Lämpöpumpun lämmitysteho $\dot{Q}_{l\dot{p}n} [T_{ulko}/T_{meno} (7/35^{\circ}\text{C})] = 8000\text{W} = 8\text{kW}$. Lämpöpumpun toiminta loppuu -20°C ulkolämpötilassa, jonka jälkeen lämmitys tapahtuu sähkövastuksilla. (Kaukora Oy 2019).

Tilojen lämmityksen tehontarve on sama kuin aiemmin mainittu $\dot{Q}_{tila} [T_{sisä}/T_{ulko} (17/-26^{\circ}\text{C})] = 6900\text{W} = 6.9\text{kW}$

Lämpöpumpun SPF-luku tilojen lämmitykselle menoveden maksimilämpötilalla 45°C on 2.85 ja SPF-luku käyttöveden lämmitykselle 60°C on 2.15.

Yksinkertainen laskentamenetelmä omakotitalo

Ilma-vesilämpöpumpun suhteellinen lämpöteho 1,0 saadaan lämpöpumpun lämpötehon $\dot{Q}_{l\dot{p}n} [T_{ulko}/T_{meno} (7/35^{\circ}\text{C})] = 8000\text{W} = 8\text{kW}$ ja tilojen lämmitystehontarpeen $\dot{Q}_{tila} [T_{sisä}/T_{ulko} (17/-26^{\circ}\text{C})] = 6900\text{W} = 6.9\text{kW}$ avulla.

Suhteellisen lämpötehon lukuarvot ilma-vesilämpöpumpuille kerrotaan taulukossa 5. Lukuarvot on ilmoitettu yhden desimaalin tarkkuudella, joten pyöristämme lasketun lukuarvon 1.16 lukuarvoon 1,0. Täytyy kuitenkin muistaa, että ilma-vesilämpöpumpuilla ei saada lämmitystä mitoittavassa ulkolämpötilassa (-26°C), sillä lämpöpumpun ulkoyksikön toiminta loppuu -20°C ulkolämpötilassa. Yksinkertainen laskentamenetelmä voi hämätä helposti laskennassa ilma-vesilämpöpumpuilla. Taulukon 5. arvoissa on kuitenkin otettu huomioon ilma-vesilämpöpumppujen toimintaraja -20°C .

Tilojen lämmityksen ja käyttöveden vuotuinen lämmitysenergioiden suhde on

$$Q_{\text{lämmitys,tilat}}/Q_{\text{lämmitysLKV}} = 18833\text{kWh}/3460\text{kWh} = 5.44$$

Tilojen ja käyttöveden lämmitysenergioiden suhteelle on annettu lukuarvot taulukossa 5. Lukuarvot ovat 0,5, 1, 2, ja 4. Valitsemme lähimmän arvon, joka on nyt 4.

Taulukosta 5. voimme lukea arvot, jotta pääsemme lisäksi laskemaan tilojen sekä käyttöveden lämmitykseen tarvittavan lisälämmitysenergian. Tässä tapauksessa valitsemme lämmityksen suhteellisen lämpötehon kohdalta 1,0. Tilojen ja käyttöveden

lämmitysenergian suhteeksi valitaan 4. Säävyöhykkeiden I-II sarakkeesta menoveden lämpötilan 45°C kohdalta voidaan laskea arvo 0,915, joka on interpoloitu lukuarvojen 40°C ja 50°C välistä.

Tilojen lisälämmitysenergia laskettuna kaavan 4 mukaan

$$Q_{\text{lisälämmitys, tilat}} = (1-0,915) \times 18833\text{kWh} = 1601\text{kWh}$$

Käyttöveden lämmitys saadaan laskettua kaavan 5 mukaan. Käyttöveden lämmityksessä valitaan taulukosta 5 säävyöhykkeiden I-II kohdalta 60°C sarake ja sieltä saadaan arvo 0,87.

$$Q_{\text{lisälämmitys, LKV}} = (1-0,87) \times 3460\text{kWh} = 450\text{kWh}$$

Kaavan 6 ja 7 mukaan saadaan laskettua ilma-vesilämpöpumpun tuottama lämmitysenergia tiloille ja lämpimälle käyttövedelle

$$Q_{\text{LP, lämmitys, tilat}} = 18833\text{kWh} - 1601\text{kWh} = 17232 \text{ kWh (kaava 6)}$$

$$Q_{\text{LP, lämmitys, LKV}} = 3460\text{kWh} - 450\text{kWh} = 3010 \text{ kWh (kaava 7)}$$

Kaavan 8 avulla pystymme laskemaan lämpöpumpun ja apulaitteiden kuluttaman vuotuisen sähköenergian määrän. Taulukosta 7 löydetään yleiset arvot ilma-vesilämpöpumppujen SPF-luvulle tilojen ja käyttöveden lämmityksessä, jos laitteen arvoja ei tarkemmin tiedetä. Jäsپی tehowatti air split 8kw ilma-vesilämpöpumpusta on olemassa tarkat SPF luvut joten käytämme tässä tilanteessa laitteen omia arvoja SPF lämmitys 45°C = 2,85 ja SPF lämmitys käyttövesi 60°C = 2,0.

$$W_{\text{LP, lämmitys, tilat}} = 17232\text{kWh} / 2,85 = 6046\text{kWh}$$

$$W_{\text{LP, lämmitys, LKV}} = 3010\text{kWh} / 2,0 = 1505\text{kWh}$$

$$W_{\text{LP, lämmitys}} = 6046\text{kWh} + 1505\text{kWh} = 7551\text{kWh}$$

Lopputulos

Yksinkertaisella laskentamenetelmällä omakotitalon ilma-vesilämpöpumpun tuottama tilojen ja käyttöveden lämmitysenergia on yhteensä 12691kWh. Tarvittava lisälämmitysenergia on yhteensä 2051kWh. Lämpöpumpun + apulaitteiden sähköenergiankulutus tiloille ja käyttövedelle on 7551kWh.

Pysyvyyskäyrään perustuva laskentamenetelmä

Taulukon 8 mukaan piirretylle pysyvyyskäyrälle on sijoitettu taulukon 12 mukaiset ilma-vesilämpöpumpun toimintapisteet lämmityskäytössä. Toimintapisteiden perusteella pysyvyyskäyrä taulukkoon on piirretty ilma-vesilämpöpumpun tarvitseman sähkötehon käyrä eri lämpötiloilla, sekä tarvittavan lisälämmityksen käyrä. Ilma-vesilämpöpumpun tuottama lämmin käyttövesi sekä tarvittava sähköteho ja lisälämmitys on laskettu samalla periaatteella, mutta toimintapisteet on asetettu taulukon 13 mukaan. Käyttöveden lämmityksessä ilma-vesilämpöpumppu lämmittää käyttöveden 55°C:seen ja loppu 5°C lämmitetään käyttövesivaraajan sähkövastuksin.

Taulukko 12. Ilma-vesilämpöpumpun toimintapisteet lämmityskäytössä.

Ilmavesilämpöpumpun malli Tehowatti Air Split 8

Arvot valmistajan tuotetietojen mukaan, väliarvot interpoloimalla
Lattialämmityksen säätökäyrän oletetaan olevan lineaarinen

T_u °C	T_{meno} °C	Tehontarve Φ_{tila} kW	Lp antoteho P_h	Lp sähköteho P_e	COP	Lisälämmitys kW
-26	45	6,6	0	0	1,0	6,6
-17	40	5,2	4,4	2,44	1,8	0,8
-7	35	3,8	3,8	1,4	2,7	0
2	30	2,4	2,4	0,61	4,0	0
11	25	0,9	0,9	0,18	5,0	0

Taulukko 13. Ilma-vesilämpöpumpun toimintapisteet käyttöveden lämmityksessä.

Tehowatti Air Split 8

Käyttöveden lämmittämisen hyötysuhde eri ulkolämpötiloilla, lämmityksen rinnalla

T_u °C	T_{meno} °C	Tehontarve Φ_{kv} kW	Lp antoteho P_h	Lp sähköteho P_e	COP	Lisälämmitys kW
-26	55	0,39	0	0,00	0,00	0,39
-17	55	0,39	0	0,00	0,00	0,39
-7	55	0,39	0,39	0,20	2,00	0,00
2	55	0,39	0,39	0,18	2,20	0,00
11	55	0,39	0,39	0,13	3,10	0,00

Pysyvyyskäyrään perustuvalla menetelmällä saadut tulokset ovat

$$Q_{LP, \text{lämmitys, tilat}} = 11701 \text{ kWh}$$

$$Q_{LP, \text{lisälämmitys, tilat}} = 1412 \text{ kWh}$$

$$W_{LP, \text{lämmitys, tilat}} = 5720 \text{ kWh}$$

$$Q_{LP,lämmitys,LKV} = 1873 \text{ kWh}$$

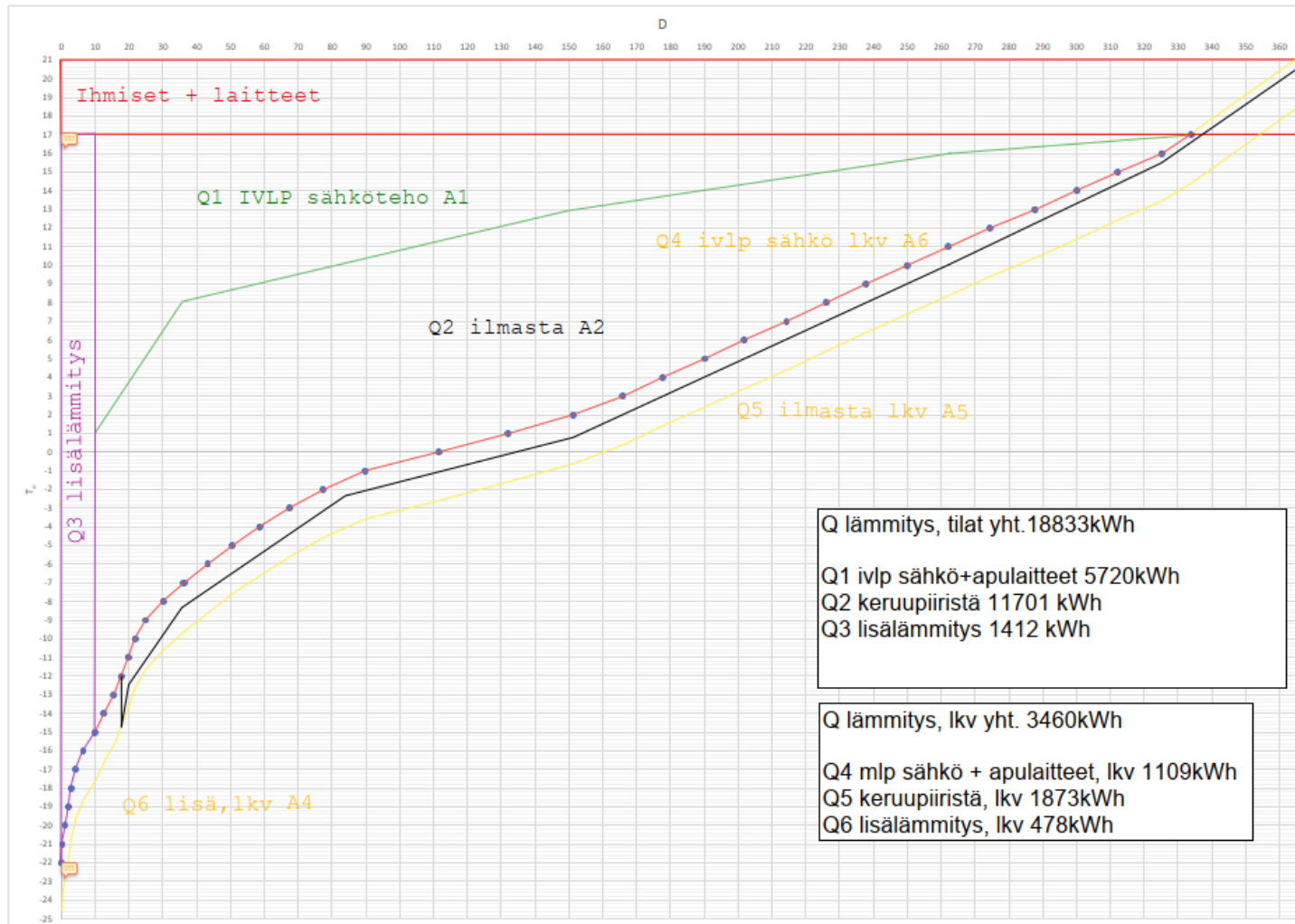
$$Q_{\text{lisälämmitys,LKV}} = 478 \text{ kWh}$$

$$W_{LP,lämmitys,LKV} = 1109 \text{ kWh}$$

Lopputulos

Pysyvyyskäyrämenetelmällä laskettu omakotitalon ilma-vesilämpöpumpun tuottama tilojen ja käyttöveden lämmitysenergia on yhteensä 13574kWh. Tarvittava lisälämmitysenergia on yhteensä 1890kWh. Lämpöpumpun + apulaitteiden sähköenergiankulutus tiloille ja käyttövedelle on 6829kWh.

Taulukko 14. Pysyvyyskäyrä sekä tulokset ilma-vesilämpöpumpulla tehdylle omakotitalon energialaskennalle.



6.2 Rivitalo

6.2.1 Lähtötiedot

Laskennassa käytetty toinen kohde on vuonna 1974 rakennettu rivitalo, joka sijaitsee säävyöhykkeellä I. Rivitalossa sijaitsee seitsemän asuntoa. Asuntojen lämmitetty netto-ala on yhteensä 604m². Rakennuksen laskennallinen lämmityksen tehontarve sisälämpötilalla 21°C ja ulkolämpötilalla -26°C on 48 kW.

Lämmityksen sisätilojen rajalämpötilalle 17°C laskettu tehontarve on 43.9kW ja Suomen energialaskennan referenssivuoden (D3 2012) mukaisten tunnittaisten lämpötilan pysyvyystietojen mukaan lämmityksen laskennallinen vuosittainen energiankulutus $Q_{\text{lämmitys, tilat}}$ on 108160 kWh (Taulukko 15).

Lämpimän käyttöveden määrä kohteessa on laskettu 14 asukkaan mukaan. Lämpimän käyttöveden määräksi henkilöä kohden on laskettu 60 dm³/henkilö vuorokaudessa, joten kohteessa kulutus on yhteensä 840 dm³/vrk. Vuositasolla tämä tekee 306.6m³. Lämpimän käyttöveden lämpöenergian nettotarve vuositasolla on 17885kWh. Lisäksi laskeaan mukaan kahden 500l käyttövesivaraajan lämpöhäviö, jonka oletetaan olevan 1584kWh vuodessa. Yhteensä vuotuinen käyttöveden lämmitysenergiantarve on siis 19469kWh vuodessa (Kaava 15). Tehontarve ympäri vuoden on 2,041kW. (Rakennustieto Oy 2020).

Taulukko 15. Suomen energialaskennan referenssivuoden (D3 2012) mukaisten tunnit-
taisten lämpötilan pysyvyystietojen mukaan laskettu rivitalon lämmityksen vuosittainen
energiankulutus.

<i>Säävyöhyke I</i>	<i>Lämmitettävä sisälämpötila</i>	17 °C
<i>Rivitalo 603m² v.1974</i>	<i>Konduktanssi</i>	1,0212 kw/°C
	<i>Lämmitettävät tunnit</i>	8013 h
	<i>Lämmitettävät päivät</i>	334 d
	<i>Lämmitystarveluku S₁₇</i>	4413 °Cd
	<i>Energiankulutus yhteensä</i>	18833 kWh

<i>Ulkoilman lämpötila</i>	<i>Lämpötilavälin kesto</i>		<i>ΔT, T_s 17</i>	<i>Astepäivät</i>	<i>Energiankulutus</i>	<i>Lämmitystehontarve</i>
<i>T_u</i>	<i>h</i>	<i>d</i>	<i>°C</i>	<i>°Cd</i>	<i>kWh</i>	<i>kW</i>
-22,00	0	0,0	39	0	0,00	0,00
-21,00	7	0,3	38	11	271,64	38,81
-20,00	19	0,8	37	29	717,90	37,78
-19,00	23	1,0	36	35	845,55	36,76
-18,00	21	0,9	35	31	750,58	35,74
-17,00	30	1,3	34	43	1041,62	34,72
-16,00	55	2,3	33	76	1853,48	33,70
-15,00	83	3,5	32	111	2712,31	32,68
-14,00	63	2,6	31	81	1994,40	31,66
-13,00	72	3,0	30	90	2205,79	30,64
-12,00	52	2,2	29	63	1539,97	29,61
-11,00	49	2,0	28	57	1401,09	28,59
-10,00	49	2,0	27	55	1351,05	27,57
-9,00	76	3,2	26	82	2017,89	26,55
-8,00	124	5,2	25	129	3165,72	25,53
-7,00	146	6,1	24	146	3578,28	24,51
-6,00	169	7,0	23	162	3969,40	23,49
-5,00	174	7,3	22	160	3909,15	22,47
-4,00	193	8,0	21	169	4138,92	21,45
-3,00	214	8,9	20	178	4370,74	20,42
-2,00	237	9,9	19	188	4598,46	19,40
-1,00	301	12,5	18	226	5532,86	18,38
0,00	519	21,6	17	368	9010,05	17,36
1,00	494	20,6	16	329	8071,56	16,34
2,00	460	19,2	15	288	7046,28	15,32
3,00	354	14,8	14	207	5061,07	14,30
4,00	280	11,7	13	152	3717,17	13,28
5,00	301	12,5	12	151	3688,57	12,25
6,00	279	11,6	11	128	3134,06	11,23
7,00	300	12,5	10	125	3063,60	10,21
8,00	280	11,7	9	105	2573,42	9,19
9,00	285	11,9	8	95	2328,34	8,17
10,00	290	12,1	7	85	2073,04	7,15
11,00	293	12,2	6	73	1795,27	6,13
12,00	293	12,2	5	61	1496,06	5,11
13,00	322	13,4	4	54	1315,31	4,08
14,00	297	12,4	3	37	909,89	3,06
15,00	291	12,1	2	24	594,34	2,04
16,00	309	12,9	1	13	315,55	1,02
17,00	209	8,7	0	0	0,00	0,00
Yhteensä					108160,40	

6.2.2 Rivitalon energialaskenta maalämpöpumpulla

Lämmitysjärjestelmän menoveden lämpötila T_m on 60°C (mitoitustilanteessa $T_u = -26^\circ\text{C}$). Lämmönjakojärjestelmänä toimii vesikiertoinen patterilämmitys.

Lämpöpumppu on Kaukoran valmistama Jämä Star 30kW. Energiakaivojen aktiivinen poraussyvyys on yhteensä 694m. Lämpöpumpun lämmitysteho $\phi_{lpn} [T_{ulko}/T_{meno} (0/35^\circ\text{C})] = 30000\text{W} = 30\text{kW}$. Lämpöpumppu toimii vaihtelevalla lauhdutuksella, lämpöpumpun rinnalla on kaksi kappaletta VLM 500 Star käyttövesivaraajaa sekä yksi Buffer 270 lämmityksen puskurivaraaja. Tarvittava lisälämmitys tapahtuu varaajien sähkövastuksilla. (Kaukora Oy 2016).

Tilan lämmityksen tehontarve $\phi_{tila} [T_{sisä}/T_{ulko} (17/-26^\circ\text{C})] = 43.9\text{kW}$

Lämpöpumppu on mitoitettu 65% osateholle rivitalon lämmityksen tehontarpeeseen nähden. Lämpöpumpun lämmönkeruupiirin mitoituksessa keruupiirin paluunesteen vuotuinen keskilämpötila on 0°C .

Lämpöpumpun SPF-luku tilojen lämmitykselle menoveden maksimilämpötilalla 60°C on 3,35 ja SPF-luku käyttöveden lämmitykselle 60°C on 2,74.

Yksinkertainen laskentamenetelmä rivitalo

Lämpöpumpun suhteellinen lämpöteho 0,68 saadaan lämpöpumpun lämpötehon $\phi_{lpn} [T_{ulko}/T_{meno} (0/35^\circ\text{C})] = 30\text{kW}$ ja tilojen lämmitystehontarpeen $\phi_{tila} [T_{sisä}/T_{ulko} (17/-26^\circ\text{C})] = 43,9\text{kW}$ avulla.

Suhteellisen lämpötehon lukuarvot maalämpöpumpuille kerrotaan taulukossa 4. Lukuarvot on ilmoitettu yhden desimaalin tarkkuudella, joten pyöristämme lasketun lukuarvon 0,68 lukuarvoon 0,7.

Tilojen lämmityksen ja käyttöveden vuotuinen lämmitysenergioiden suhde on

$$Q_{\text{lämmitys,tilat}}/Q_{\text{lämmitysLKV}} = 108160\text{kWh}/19469\text{kWh} = 5.55$$

Tilojen ja käyttöveden lämmitysenergioiden suhteelle on annettu lukuarvot taulukossa 4. Lukuarvot ovat 0,5, 1, 2, ja 4. Valitsemme lähimmän arvon joka on nyt 4.

Taulukosta 4 voimme lukea arvot, jotta pääsemme laskemaan tilojen sekä käyttöveden lämmitykseen tarvittavan lisälämmitysenergian. Tässä tapauksessa valitsemme

lämmityksen suhteellisen lämpötehon kohdalta 0,7, tilojen ja käyttöveden lämmitysenergian suhteella 4. Säävyöhykkeiden I-II sarakkeesta valitaan menoveden arvolla 60°C löytyvä arvo 0,94.

Tilojen lisälämmitysenergia laskettuna kaavan 4 mukaan

$$Q_{\text{lisälämmitys, tilat}} = (1-0,94) \times 108160\text{kWh} = 6490\text{kWh}$$

Käyttöveden lämmitys saadaan laskettua kaavan 5 mukaan. Käyttöveden lämmityksessä valitaan taulukosta 4 säävyöhykkeiden I-II kohdalta 60°C sarake, josta saadaan arvo 0,94.

$$Q_{\text{lisälämmitys, LKV}} = (1-0,94) \times 19469\text{kWh} = 1168\text{kWh}$$

Kaavan 6 ja 7 mukaan saadaan laskettua lämpöpumpun tuottama lämmitysenergia tiloille ja lämpimälle käyttövedelle.

$$Q_{\text{LP, lämmitys, tilat}} = 108160\text{kWh} - 6490\text{kWh} = 101670 \text{ kWh (kaava 6)}$$

$$Q_{\text{LP, lämmitys, LKV}} = 19469\text{kWh} - 1168\text{kWh} = 18301 \text{ kWh (kaava 7)}$$

Kaavan 8 avulla pystymme laskemaan lämpöpumpun sekä apulaitteiden kuluttaman vuotuisen sähköenergian määrän. Taulukosta 6 saadaan yleiset arvot maalämpöpumpujen SPF-luvulle tilojen ja käyttöveden lämmityksessä, jos laitteen tarkkoja arvoja ei tunneta. Jämä star 30 maalämpöpumpusta on olemassa tarkat SPF-luvut, joten käytämme tässä tilanteessa laitteen omia arvoja. SPF lämmitys 60°C = 3,35 ja SPF lämmitys 60°C = 2,74.

$$W_{\text{LP, lämmitys, tilat}} = 101670\text{kWh} / 3,35 = 30349 \text{ kWh}$$

$$W_{\text{LP, lämmitys, LKV}} = 18301\text{kWh} / 2,74 = 6679\text{kWh}$$

$$W_{\text{LP, lämmitys}} = 30349\text{kWh} + 6679\text{kWh} = 37028\text{kWh}$$

Lopputulos

Yksinkertaisella laskentamenetelmällä lasketun rivitalon maalämpöpumpun tuottama tilojen ja käyttöveden lämmitysenergia on yhteensä 82943kWh. Tarvittava lisälämmitysenergia on yhteensä 7658kWh. Lämpöpumpun + apulaitteiden sähköenergiankulutus tiloille ja käyttövedelle on 37028kWh.

Pysyvyyskäyrään perustuva laskentamenetelmä

Taulukon 15 mukaan piirretylle pysyvyyskäyrälle on sijoitettu taulukon 16 mukaiset maalämpöpumpun toimintapisteet lämmityskäytössä. Toimintapisteiden perusteella pysyvyyskäyrä taulukkoon on piirretty maalämpöpumpun tarvitseman sähkötehon käyrä eri lämpötiloilla, sekä tarvittavan lisälämmityksen käyrä. Maalämpöpumpun tuottama lämmin käyttövesi sekä tarvittava sähköteho ja lisälämmitys on laskettu samalla periaatteella. Käyttövedelle katsomme COP:n 2.8 pysyvän ympäri vuoden samana, joten merkkäamme pysyvyyskäyrään pisteet tasaisesti sen mukaan.

Taulukko 16. Maalämpöpumpun toimintapisteet lämmityskäytössä.

Maalämpöpumpun malli Jämä Star 30kW

Lihavoidut arvot keltaisella pohjalla valmistajan tuotetiedoista EN 14511 standardin mukaan, muut arvot interpoloimalla

T_u °C	T_{meno} °C	Tehontarve \dot{Q}_{tila} kW	L_p antoteho P_h	L_p sähköteho P_e	COP	Lisälämmitys kW
-26	60	48,0	30	20,0	2,4	18,0
-20	55	37,8	30	13,5	2,8	7,8
-15	50	32,7	30	10,2	3,2	2,7
-10	45	27,6	27,6	7,7	3,6	0,0
0	40	17,4	17,4	4,3	4,0	0,0
9	35	8,2	8,2	1,8	4,4	0,0

Pysyvyyskäyrään perustuvalla menetelmällä saadut tulokset ovat

$$Q_{LP, \text{lämmitys, tilat}} = 81940 \text{ kWh}$$

$$Q_{LP, \text{lisälämmitys, tilat}} = 1320 \text{ kWh}$$

$$W_{LP, \text{lämmitys, tilat}} = 24900 \text{ kWh}$$

$$Q_{LP, \text{lämmitys, LKV}} = 10610 \text{ kWh}$$

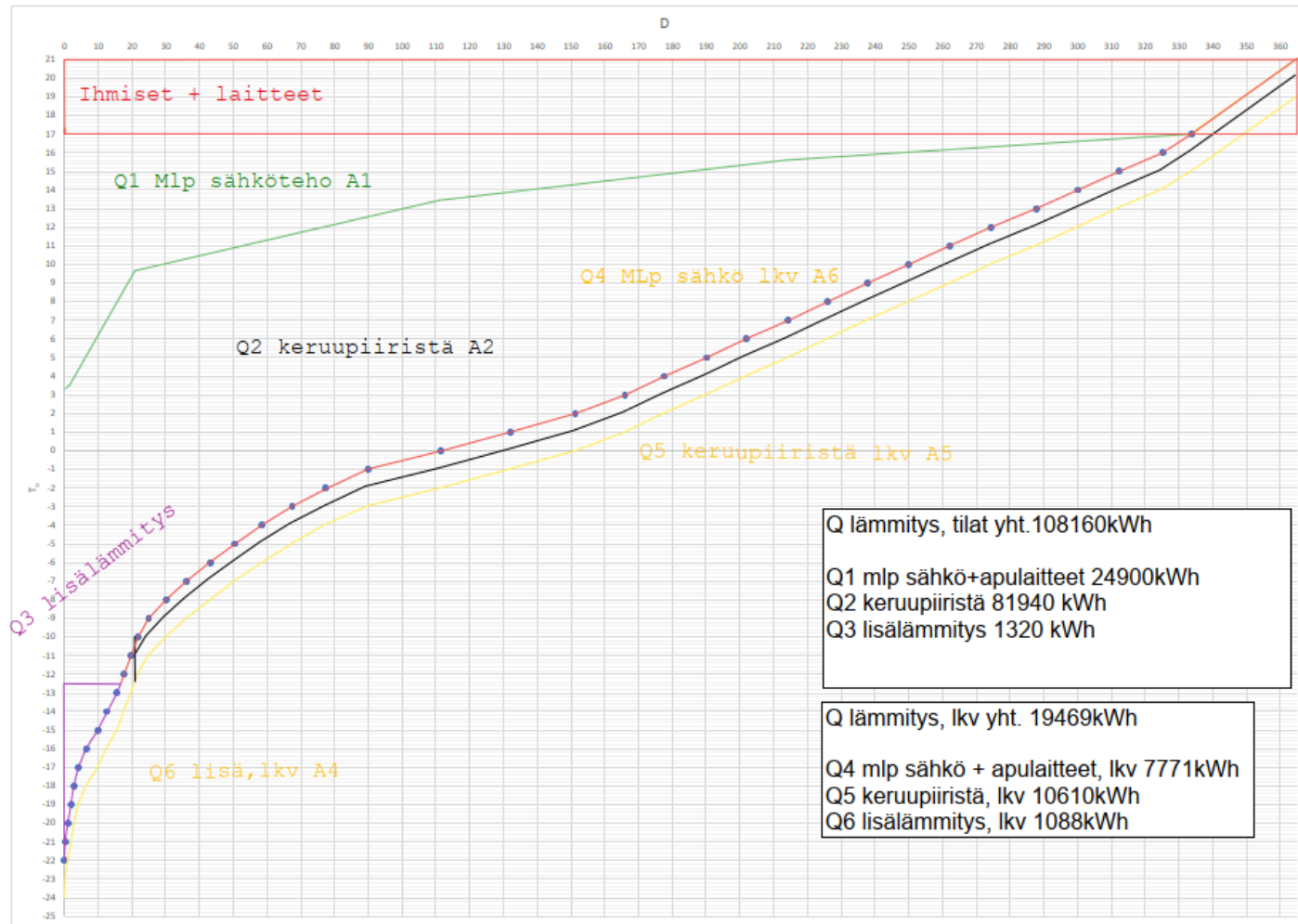
$$Q_{\text{lisälämmitys, LKV}} = 1088 \text{ kWh}$$

$$W_{LP, \text{lämmitys, LKV}} = 7771 \text{ kWh}$$

Lopputulokset

Pysyvyyskäyrään perustuvalla laskentamenetelmällä rivitalon maalämpöpumpun tuottama tilojen ja käyttöveden lämmitysenergia on yhteensä 92550 kWh. Tarvittava lisälämmitysenergia on yhteensä 2408 kWh. Lämpöpumpun + apulaitteiden sähköenergiankulutus tiloille ja käyttövedelle on 32671 kWh.

Taulukko 17. Pysyvyuskäyrä sekä tulokset maalämpöpumpulla tehdylle rivitalon energialaskennalle.



6.2.3 Rivitalon energialaskenta ilma-vesilämpöpumpulla

Ilma-vesilämpöpumpuina toimii kaksi kappaletta Kaukoran valmistamaa Jäspi Inverter Nordic 20kw. Lämpöpumpun lämmitysteho $\phi_{ipn} [T_{ulko}/T_{meno} (7/35^{\circ}\text{C})] = 40\text{kW}$. Lämpöpumppujen rinnalla on kaksi kappaletta VLM 500 Star käyttövesivaraajaa sekä Buffer 270 lämmityksen puskurivaraaja. Lämpöpumpun toiminta loppuu -25°C ulkolämpötilassa, jonka jälkeen lämmitys tapahtuu sähkövastuksilla sekä FIL LP 42kw sähkökattilalla. (Kaukora Oy 2017b).

Tilojen lämmityksen tehontarve on sama kuin aikaisemminkin $\phi_{tila} [T_{sisä}/T_{ulko} (17/-26^{\circ}\text{C})] = 43.9\text{kW}$.

Lämpöpumpun SPF-luku tilojen lämmitykselle menoveden maksimilämpötilalla 60°C on 3.2 ja SPF-luku käyttöveden lämmitykselle 60°C on 2.9.

Yksinkertainen laskentamenetelmä rivitalo

Ilma-vesilämpöpumpun suhteellinen lämpöteho 0,91 saadaan lämpöpumpun lämpötehon $\phi_{ipn} [T_{ulko}/T_{meno} (7/35^{\circ}\text{C})] = 40\text{kW}$ ja tilojen lämmitystehontarpeen $\phi_{tila} [T_{sisä}/T_{ulko} (17/-26^{\circ}\text{C})] = 43.9\text{kW}$ avulla.

Suhteellisen lämpötehon lukuarvot ilma-vesilämpöpumpuille kerrotaan taulukossa 5. Lukuarvot on ilmoitettu yhden desimaalin tarkkuudella, joten pyöristämme lasketun lukuarvon 0,91 lukuarvoon 0,9. Täytyy kuitenkin muistaa, että ilma-vesilämpöpumpuilla ei saada lämmitystä mitoittavassa ulkolämpötilassa (-26°C), koska lämpöpumpun toiminta loppuu -25°C ulkolämpötilassa. Yksinkertainen laskentamenetelmä hämää helposti ilma-vesilämpöpumpuilla. Taulukon 5. arvoissa on otettu huomioon ilma-vesilämpöpumppujen yleinen toimintaraja -20°C .

Tilojen lämmityksen ja käyttöveden vuotuinen lämmitysenergioiden suhde on

$$Q_{\text{lämmitys,tilat}}/Q_{\text{lämmitysLKV}} = 108160\text{kWh}/19469\text{kWh} = 5.55$$

Tilojen ja käyttöveden lämmitysenergioiden suhteelle on annettu lukuarvot taulukossa 5. Lukuarvot ovat 0,5, 1, 2, ja 4. Valitsemme lähimmän arvon joka on 4.

Taulukosta 5. saamme arvot, jotta voidaan laskea tilojen sekä käyttöveden lämmitykseen tarvittava lisälämmitysenergia. Tässä tapauksessa valitsemme lämmityksen

suhteellisen lämpötehon kohdalta 0,9, tilojen ja käyttöveden lämmitysenergian suhtella 4. Säävyöhykkeiden I-II sarakkeesta valitaan menoveden arvolla 60°C löytyvä arvo 0,89.

Tilojen lisälämmitysenergia laskettuna kaavan 4 mukaan

$$Q_{\text{lisälämmitys, tilat}} = (1-0,89) \times 108160\text{kWh} = 11898\text{kWh}$$

Käyttöveden lisälämmitys saadaan laskettua kaavan 5 mukaan. Käyttöveden lämmityksessä valitaan taulukosta 5 säävyöhykkeiden I-II kohdalta 60°C sarake, josta saadaan arvo 0,89.

$$Q_{\text{lisälämmitys, LKV}} = (1-0,89) \times 19469\text{kWh} = 2142\text{kWh}$$

Kaavan 6 ja 7 mukaan saadaan laskettua lämpöpumpun tuottama lämmitysenergia tiloille ja lämpimälle käyttövedelle.

$$Q_{\text{LP, lämmitys, tilat}} = 108160\text{kWh} - 11898\text{kWh} = 96262 \text{ kWh (kaava 6)}$$

$$Q_{\text{LP, lämmitys, LKV}} = 19469\text{kWh} - 2142\text{kWh} = 17327 \text{ kWh (kaava 7)}$$

Kaavan 8 avulla pystymme laskemaan lämpöpumpun sekä apulaitteiden kuluttaman vuotuisen sähköenergian määrän. Taulukosta 7 löydetään yleiset arvot ilma-vesilämpöpumppujen SPF-luvulle tilojen ja käyttöveden lämmityksessä, jos laitekohtaisia arvoja ei tiedetä. Jäspi Inverter Nordic 20kw ilma-vesilämpöpumpusta on olemassa tarkat SPF luvut, joten käytämme tässä tilanteessa laitteen omia arvoja. SPF lämmitys 60°C = 3,2 ja SPF lämmitys käyttövesi 60°C = 2,9.

$$W_{\text{LP, lämmitys, tilat}} = 96262\text{kWh} / 3,2 = 30082\text{kWh}$$

$$W_{\text{LP, lämmitys, LKV}} = 17327\text{kWh} / 2,9 = 5975\text{kWh}$$

$$W_{\text{LP, lämmitys}} = 30082\text{kWh} + 5975\text{kWh} = 36057\text{kWh}$$

Lopputulos

Yksinkertaisella laskentamenetelmällä laskettuna rivitalon ilma-vesilämpöpumpun tuottama tilojen ja käyttöveden lämmitysenergia on yhteensä 77532kWh. Tarvittava lisälämmitysenergia on yhteensä 14040kWh. Lämpöpumpun + apulaitteiden sähköenergiankulutus tiloille ja käyttövedelle on 36057kWh.

Pysyvyyskäyrään perustuva laskentamenetelmä

Taulukon 15 mukaan piirretylle pysyvyyskäyrälle on sijoitettu taulukon 18 mukaiset ilma-vesilämpöpumpun toimintapisteet lämmityskäytössä. Toimintapisteiden perusteella pysyvyyskäyrä taulukkoon on piirretty ilma-vesilämpöpumpun tarvitseman sähkötehon käyrä eri lämpötiloilla, sekä tarvittavan lisälämmityksen käyrä. Ilma-vesilämpöpumpun tuottama lämmin käyttövesi sekä tarvittava sähköteho ja lisälämmitys on laskettu samalla periaatteella, mutta toimintapisteet on asetettu taulukon 19 mukaan. Käyttöveden lämmityksessä ilma-vesilämpöpumpu lämmittää käyttöveden 55°C:seen ja loppu 5°C lämmitetään käyttövesivaraajan sähkövastuksin.

Taulukko 18. Ilma-vesilämpöpumpun toimintapisteet lämmityskäytössä.

Ilmavesilämpöpumpun malli 2kpl Jäspi Inverter Nordic 20kW

Arvot valmistajan tuotetietojen mukaan

T_u °C	T_{meno} °C	Tehontarve \dot{Q}_{tila} kW	L_p antoteho P_h	L_p sähköteho P_e	COP	Lisälämmitys kW
-26	60	48,0	0	0	0,0	48
-20	55	37,8	22,4	11,2	2,0	15,4
-15	50	32,7	25	11,4	2,2	7,7
-10	45	27,6	27,6	9,9	2,8	0,0
0	40	17,4	17,4	4,7	3,7	0,0
9	35	8,2	6,1	1,22	5,0	2,1

Taulukko 19. Ilma-vesilämpöpumpun toimintapisteet käyttöveden lämmityksessä.

Jäspi Inverter Nordic 20kW

Käyttöveden lämmittämisen hyötysuhde eri ulkolämpötiloilla

T_u °C	T_{meno} °C	Tehontarve \dot{Q}_{lkv} kW	L_p antoteho P_h	L_p sähköteho P_e	COP	Lisälämmitys kW
-26	55	2,04	0	0,00	0,00	2,04
-17	55	2,04	0	0,00	0,00	2,04
-7	55	2,04	2,04	0,82	2,50	0,00
2	55	2,04	2,04	0,68	3,00	0,00
11	55	2,04	2,04	0,58	3,50	0,00

Pysyvyyskäyrään perustuvalla menetelmällä saadut tulokset ovat

$$Q_{LP, \text{lämmitys, tilat}} = 73700 \text{ kWh}$$

$$Q_{LP, \text{lisälämmitys, tilat}} = 3807 \text{ kWh}$$

$$W_{LP, \text{lämmitys, tilat}} = 30653 \text{ kWh}$$

$$Q_{LP, \text{lämmitys, LKV}} = 10263 \text{ kWh}$$

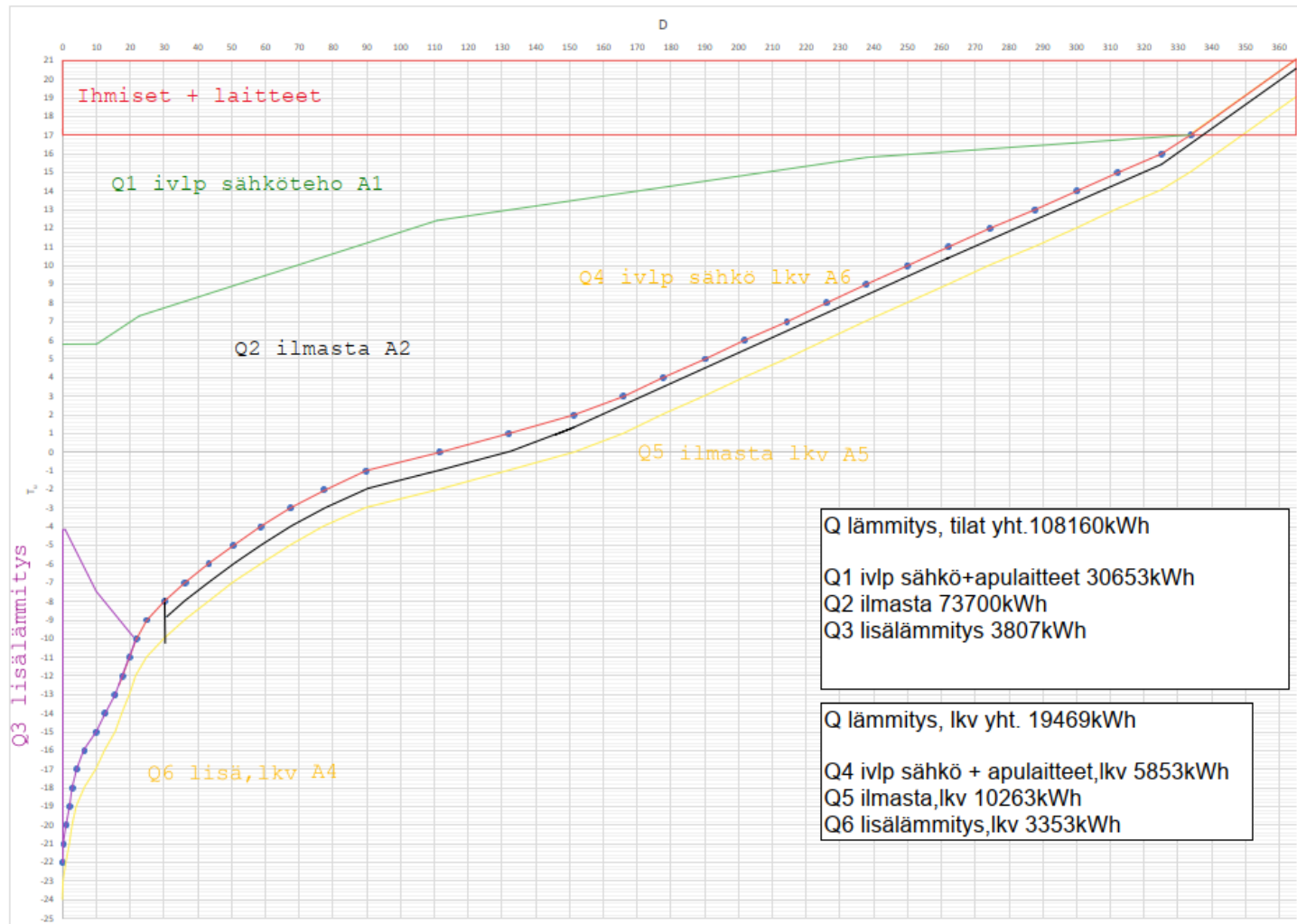
$$Q_{\text{lisälämmitys,LKV}} = 3353 \text{ kWh}$$

$$W_{\text{LP,lämmitys, LKV}} = 5853 \text{ kWh}$$

Lopputulos

Pysyvyyskäyrään perustuvalla laskentamenetelmällä rivitalon ilma-vesilämpöpumpun tuottama tilojen ja käyttöveden lämmitysenergia on yhteensä 83963 kWh. Tarvittava lisälämmitysenergia on yhteensä 7160 kWh. Lämpöpumpun + apulaitteiden sähköenergiankulutus tiloille ja käyttövedelle on 36506 kWh.

Taulukko 20. Pysyvyuskäyrä sekä tulokset ilma-vesilämpöpumpulla tehdyille rivitalon energialaskennalle.



7 POHDINTA

7.1 Energialaskentatapa

Yksinkertainen laskentamenetelmä on kätevä tapa laskea lämpöpumpun tuottama energiankulutus sekä apulaitteiden ja lisälämmityksen käyttämä sähköenergia. Laskentatulokset laitekohtaisilla SPF-luvuilla ovat luotettavampia kuin yleisiin SPF-lukuihin perustuvat laskelmat. Yksinkertaisen laskentamenetelmän tulokset vaihtelevat jonkin verran pysyvyyskäyrään perustuvaan laskentamenetelmään verrattuna. Lämpöpumppujen yhteenlaskettu sähkönkulutus ei juurikaan vaihtelee, mutta laskentamenetelmien välillä lisälämmityksen ja laitteiston kuluttama sähkönsuus vaihtelee. Yksinkertaisella laskentamenetelmällä saadaan hyvin selville lisälämmityksen ja laitteiston laskennallinen yhteenlaskettu sähkönkulutus. Yksinkertaisella menetelmällä laskettuihin sähkönkulutuksen osuuksiin lisälämmityksen ja laitteiston välillä en luottaisi. Pysyvyyskäyrään perustuvalla menetelmällä pystytään erittelemään tulokset tarkemmin ja luotettavammin, sillä lämpöpumpun toiminta eri lämpötiloissa tunnetaan tarkasti.

Taulukko 21. Energialaskentavan vaikutus tuloksiin

	Pysyvyyskäyrämenetelmä	Yksinkertainen laskumenetelmä
<i>Omakotitalo, lämmitystehontarve 22 293 kWh/a</i>		
Maalämpö (keruupiiristä kWh)	15 568	15 691
Sähkö (kWh)	6 725	6 602
SCOP	3.31	3.37
Ilma-vesi (keruu ilmasta kWh)	13 574	12691
Sähkö (kWh)	8 719	9 602
SCOP	2.55	2.32
<i>Rivitalo, lämmitystehontarve 127 629 kWh/a</i>		
Maalämpö (keruupiiristä kWh)	92 550	82 943
Sähkö (kWh)	35 079	44 686
SCOP	3.64	2.85
Ilma-vesi (keruu ilmasta kWh)	83 963	77 532
Sähkö (kWh)	43 666	50 097
SCOP	2.92	2.55

Pysyvyyskäyrämenetelmä antaa pääsääntöisesti noin 10 % paremmat tulokset lämpöpumpun lämmöntuotolle sekä hyötysuhteelle kuin yksinkertainen laskentamenetelmä. Tällöin tarvittava lisälämmitys ja sähkönkulutus jää pienemmäksi. Pysyvyyskäyrämenetelmällä pystytään ennustamaan melko tarkasti rakennettavan rakennuksen tuleva energiankulutus menneiden vuosien säätietojen mukaan. Ainoa poikkeavuus on, että omakotitalon maalämpöpumpun energialaskennassa yksinkertainen laskentamenetelmä antaa paremman tuloksen kuin pysyvyyskäyrämenetelmä. Tästä huolimatta luotan silti pysyvyyskäyrämenetelmään sen yksityiskohtaisuuden vuoksi.

7.2 Kustannukset

Omakotitalo

Tässä työssä esitellyn omakotitalon ilma-vesilämpöpumpun laitteiston kokonaishinnaksi asennettuna muodostui 11000€. Maalämpöjärjestelmän kokonaishinnaksi asennettuna muodostui 16650€ (Talukko 21). Merkittävimmän eron hintoihin tekee maalämpöjärjestelmän vaatima energiakaivonporaus.

Kustannuslaskelman energiankulutuksessa ja sähkön kulutuksen jakautumisessa käytin pysyvyyskäyrään perustuvia energialaskentatuloksia, koska pysyvyyskäyrällä saadut tulokset ovat mielestäni luotettavimmat.

Taulukko 22. Omakotitalon lämmityksen kustannuslaskelma

Lämmön-lähde	Hankinta-kustannus/€	Sähkönkulutus kWh/a	Sähkön kustannukset/€/a	Säästö €/a	Takaisinmaksuaika/a (verraten ilma-vesi)
Suora sähkö	-	22293 kWh	2675,16€		
Maalämpö	16650€	6725 kWh	807€	-	23,5
Ilma-vesilämpöpumppu	11000€	8719 kWh	1046,28€	239,28€	

Taulukossa 21. sähkön hintana käytin 12 snt/kWh. Omakotitalon lämmityksen ja käyttöveden vuotuinen lämmitysenergiankulutus on 22293 kWh.

Kuten taulukosta 21. huomataan, vuotuiset säästöt sähkönkulutuksessa maalämmöllä jäävät melko pieniksi ilma-vesilämpöpumppuun verrattuna. Koska maalämpöjärjestelmän hankintakustannukset ovat niin suuret, se alkaa tuottaa todellista säästöä ilma-vesilämpöpumppuun nähden vasta 24 vuoden käytön jälkeen. Lämpöpumpun uusintakin tulee jo todennäköisesti ennen vastaan. Saatava säästö on mielestäni niin pieni, ettei maalämpöön investointi kyseisessä pientalossa välttämättä kannata. Lisäksi kehittyneissä ilma-vesilämpöpumpuissa on jo niin laaja toiminta-alue, että ne sopivat hyvin etenkin Etelä-Suomen leutoihin talviin.

Energiamääräysten ja U-arvojen tiukentuessa talot tarvitsevat entistä vähemmän lämmitystä. Itse näen maalämmön pientalossa pääosin myyntivalttina. Maalämmöllä on hyvä maine ja uskon sillä olevan positiivinen vaikutus asuntoa myydessä. Pientalossa ja nykyisissä passiivitaloissa ilma-vesilämpöpumppu on oiva ja energiatehokas ratkaisu lämmitykseen.

Rivitalo

Tässä työssä esitellyn rivitalon ilma-vesilämpöpumppujärjestelmän kokonaishinnaksi asennettuna muodostui 50500€. Maalämpöjärjestelmän kokonaishinnaksi asennettuna muodostui 64500€ (Taulukko 22). Eron hintoihin tekee maalämpöjärjestelmän vaatima energiakaivonporaus ja laitteistojen eroavaisuus.

Myös rivitalon kustannuslaskelman energiankulutuksessa ja sähkönkulutuksen jakautumisessa käytin pysyvyyskäyrään perustuvia energialaskentatuloksia, koska pysyvyyskäyrällä saadut tulokset ovat mielestäni luotettavammat.

Taulukko 23. Rivitalon lämmityksen kustannuslaskelma

Lämmön-lähde	Hankintakustannus/€	Sähkönkulutus kWh/a	Sähkön kustannukset/€/a	Säästö €/a	Takaisinmaksuaika/a (verraten ilma-vesi)
Suora sähkö	-	127629 kWh	15315.48€		
Maalämpö	64500€	35079 kWh	4209.48€	-	13,5

Ilma-vesi-lämpöpumppu	50500€	43666 kWh	5239.92€	1030.44€	
-----------------------	--------	-----------	----------	----------	--

Taulukossa 22. sähkön hintana käytin 12 snt/kWh. Rivitalon lämmityksen ja käyttöveden vuotuinen lämmitysenergiankulutus on 127629 kWh.

Kuten taulukosta 22. huomataan, vuotuiset säästöt maalämmöllä ilma-vesilämpöpumppuun verrattuna ovat jo selvästi suuremmat kuin omakotitalolle tehdyssä laskennassa. Takaisinmaksuajan ollessa 13,5 vuotta, takaisinmaksuaika rivitalokohteessa omakotitaloon verrattuna on melkein puolittunut. Maalämmöllä saatava säästö on laskelmieni mukaan sitä suurempi mitä isompi lämmitysenergiantarve kohteessa on. Siksi maalämpö on mielestäni kannattava hankinta kiinteistökohteissa sekä suuremmissa asuinrakennuksissa, kuten esimerkiksi rivitaloissa ja kerrostaloissa.

8 PÄÄTELMÄT

Lämpöpumppujen energialaskennassa luotan pysyvyysskäyrään perustuvaan menetelmään ja totean sen paremmaksi. Yksinkertaisella menetelmällä saadaan hyvin nopeasti suuntaa antavia tuloksia, mutta lämpöpumpun sähkönkulutuksen jakautumista ei voida eritellä. Molemmissa energialaskentatavoissa on tärkeää tietää ja tuntea lämpöpumpun tarkat tekniset tiedot. Niiden perusteella laskelmista saadaan luotettavia.

Maalämmön ja ilma-vesilämpöpumpun valinnassa suosittelen harkitsemaan uusiin sekä saneerattaviin pientaloihin/passiivitaloihin ilma-vesilämpöpumppua. Etelän leudot talvet ja ilma-vesilämpöpumppujen kehitys sekä korkeammat toimintapisteet tarjoavat ilma-vesilämpöpumpuille erinomaiset olosuhteet toimia hyvällä hyötysuhteella. Uskon, että ilma-vesilämpöpumppujen tullessa tunnetummaksi, ne tulevat nostamaan suosiotaan pientalojen lämmityksessä. Pientaloissa ilma-vesilämpöpumppu pystyy kilpailemaan kustannustehokkuudessa maalämmön kanssa todella vahvasti.

Isommissa kiinteistökohteissa, rivitaloissa ja kerrostalokohteissa maalämmön kannattavuus kasvaa selvästi, sillä lämmitysenergiantarve on huomattavasti suurempi kuin pientaloissa. Isommissa kohteissa takaisinmaksuaika maalämmön ja ilma-vesilämpöpumpun välillä pienenee. Lisäksi useissa suuremmissa saneerauskohteissa lämmönjakomuotona on patterilämmitys ja maalämmön hyötysuhde patterilämmitysjärjestelmässä on parempi kuin ilma-vesilämpöpumpun. Siksi suosittelen isompiin kohteisiin maalämpöä, sekä uudisrakentamiseen että saneeraukseen.

LÄHTEET

ARA (Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus), 2020. Energia-avustus henkilöasiakkaille. [Viitattu 2.3.2020]. https://www.ara.fi/fi-FI/Lainat_ ja_ avustukset/Energiaavustus/Henkiloasiakkaat

Energiatehokas koti, 2020. Sähkölämmitys. [Viitattu 29.3.2020]. https://www.energiatehokas-koti.fi/suunnittelu/talotekniikan_ suunnittelu/lammitys/sahkolammitys

Härkönen M, 2017. Kestävät energiaratkaistu. [Viitattu 12.4.2020]. <https://www.youtube.com/watch?v=HnPLpPbgttA>

Kaukora Oy, 2016. Asentajan käsikirja. JÄMÄ STAR, maalämpöpumppu. [Viitattu 10.4.2020]. <https://jaspi.fi/wp-content/uploads/2016/06/Jama-Star-Kiinteistolampopumppu-asentajan-kasikirja-Suomi-331336-2.pdf>

Kaukora Oy, 2017. Säästäminen lämmittää. Jäspi. [Viitattu 8.4.2020]. https://jaspi.fi/wp-content/uploads/2016/12/JASPI_Tehowatti_Air_esite_2017_web.pdf

Kaukora Oy, 2017b. Asentajan käsikirja. JÄSPI Inverter Nordic, ilma/vesilämpöpumppu. [Viitattu 14.4.2020]. <https://jaspi.fi/wp-content/uploads/2017/01/Jaspi-Invertern-Nordic-Asentajan-kasikirja-FI-331842-5.pdf>

Kaukora Oy, 2018. Asentajan käsikirja. JÄMÄ STAR Inverter, maalämpöpumppu. [Viitattu 29.4.2020]. https://jaspi.fi/wp-content/uploads/2018/03/JAMA_STAR-Inverter_Asentajankasikirja_FI_331373-5.pdf

Kaukora Oy, 2019. Ilma/vesilämpöpumppu JÄSPI SPLIT. [Viitattu 14.4.2020]. https://jaspi.fi/wp-content/uploads/2017/01/JASPI-Split-ulkoyksikko_Asentajankasikirja_v2.pdf

LVI-kalenteri, 2020. Painos 32. Suomen kalenterit oy.

Lämpöpumppujen energialaskentaopas, 2012. [Viitattu 10.4.2020]. https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ ja_ rakentaminen/Lainsaadanto_ ja_ ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Energiatehokkuus

Rakennustieto Oy, 2002. Lämpöpumput. LVI 11-10332.

Rakennustieto Oy, 2002b. Vesikiertoinen patterilämmitys. LVI 12-10343

Rakennustieto Oy, 2003. Vesikiertoinen lattialämmitys. RT 52-10801.

Rakennustieto Oy, 2006. Rakennusten lämmitys. LVI 10-10397.

Rakennustieto Oy, 2018. Maalämpöpumput, pientalot. LVI 11-10623.

Rakennustieto Oy, 2020. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskena. RT RakMK-103174.

Motiva, 2012. Lämpöä omasta maasta – Maalämpöpumput. Copyright Motiva Oy.

Motiva, 2012b. Lämpöä ilmassa – Ilmalämpöpumput. Copyright Motiva Oy.

Motiva Oy, 2018. Lämpöpumppujen hankintaopas – kunnat ja taloyhtiöt. Lämpöpumppujen hankintaopas – kunnat ja taloyhtiöt. Copyright Motiva Oy.

Motiva, 2019. Lämmitysjärjestelmän valinta. [Viitattu 12.4.2020.] https://www.motiva.fi/koti_ ja_ asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta

Motiva, 2020. Mikä on energiatodistus? [Viitattu 14.4.2020]. https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiatodistusneuvonta/mika_on_energiatodistus

Suomen lämpöpumppuyhdistys, 2020. Lämpöpumpuilla huippuvuosi. Myynti hipoi jo 100 000 pumppua. Miljoonan pumpun rajapyykki rikottiin. [Viitattu 10.4.2020.] <https://www.sulpu.fi/-/lampopumpuilla-huippuvuosi-myynti-hipoi-jo-100-000-pumppua-miljoonan-pumpun-rajapyykki-rikottiin->

Valtioneuvoston asetus 788/2017. Rakennuksissa käytettävien energiamuotojen kertoimien lukuarvot.

Ympäristöministeriön asetus 2/11. Rakennuksen energiatehokkuus. D3 (2012) Suomen rakentamismääräyskokoelma (kumottu).

Ympäristöministeriön asetus 1010/2017. Uuden rakennuksen energiatehokkuus.

Ympäristöministeriö 2020. Uusi avustus öljylämmityksen vaihtoon - tarjolla jopa 4 000 euroa pientalon omistajalle. <https://valtioneuvosto.fi/-/uusi-avustus-oljylammituksen-vaihtoon-tarjolla-jopa-4-000-euroa-pientalon-omistajalle>