



Ilmavesilämpöpumppujen hyödyntäminen kiinteistöjen energiansäästö-hankkeissa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

29.01.2023

Tiivistelmä

Tekijä:	Eero Teurokoski
Otsikko:	Ilmavesilämpöpumppujen hyödyntäminen kiinteistöjen energiansäästöhankeissa
Sivumäärä:	44 sivua
Aika:	29.01.2023
Tutkinto:	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	talotekniikka
Ammatillinen pääaine:	LVI-suunnittelu
Ohjaajat:	tiimipäällikkö Richard Sällström yliopettaja Aki Valkeapää

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli selvittää työnantajalleni Suomen Talokeskus Oy:lle ilmavesilämpöpumppujen hyödyntämistä isompien kiinteistöjen kuten rivi- ja kerrostalojen sekä toimitilarakennuksien energiansäästöhankeissa.

Työssä selvitettiin eri laitevalmistajien yleisesti saatavilla olevia laitteita kiinteistöko-
koluokassa ja laadittiin energia- ja elinkaarilaskelmat, jotka sisältävät investointi- ja
ylläpitokustannukset 20 vuoden tarkastelujaksolle.

Insinööriyössä ei syvennyt siihen, miten lasketaan lämmitys- ja jäähdytysenergian
tarve tai miten lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmät rakennetaan. Ilmavesilämpöpump-
pulaskelmista tehdään vertailulaskelmat todellisen kiinteistön energian kulutustietojen
pohjalta. Laskelmissa ei huomioida, pystytäänkö lämpöpumppujärjestelmät todelli-
suudessa rakentamaan kyseiseen kiinteistöön.

Avainsanat: ilmavesilämpöpumppu, PILP, VILP, elinkaarilaskelma

Abstract

Author: Eero Teurokoski
Title: Air-water Heat Pumps in Real Estate Energy Saving Projects
Number of Pages: 44 pages
Date: 29 January 2023
Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Building Services Engineering
Professional Major: HVAC Design
Supervisors: Richard Sällström, Project Manager
Aki Valkeapää, Principal Lecturer

The purpose of this final year project was to study the use of air-to-water heat pumps in the energy saving projects of larger buildings, such as terraced houses and apartment buildings. A further purpose of the final year project was to compare air-to-water devices available from different manufacturers for the building size category.

The thesis calculated both the energy and life cycle of the air-to-water heat pumps, including investment costs and maintenance costs for a 20-year period. The project did not discuss how to calculate the need for heating and cooling, or how to build heating and cooling systems. The existing waterborne heating and cooling networks were taken for granted. Calculations done for the air-to-water heat pumps were compared to the real energy consumption of the property. The calculations did not take into account whether heat pump systems could actually be installed in the property in question.

Keywords: air-to-water heat pump, life cycle calculation

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Lämpöpumput	1
	2.1.1 Ilmavesilämpöpumpun toiminta	3
	2.1.2 Ilmavesilämpöpumpputyypit	3
	2.2 Poistoilmalämpöpumppu	5
	2.3 Maalämpö	5
3	Ilmavesilämpöpumppuvalmistajat	8
	3.1 Split-yksiköt	8
	3.2 Monoblock-laitteet	9
4	Ilmavesilämpöpumpun kytkentävaihtoehdot	17
	4.1 Lämmin käyttövesi	17
	4.2 Lämmitys	19
	4.3 Ilmavesilämpöpumppu ja sähkökattila	20
	4.4 Ilmavesilämpöpumppu ja kaukolämpö	21
	4.4.1 Lämminvesilaitteisto	22
	4.4.2 Lämmityslaitteisto	25
	4.5 Jäähdytys	26
	4.6 Kondenssiveden poistaminen	26
5	Kohderakennus	27
6	LCC-laskelma	29
	6.1 Energiankulutus	30
	6.2 VILP ja sähkökattila	30
	6.3 Hybridi-ilmavesilämpöpumppu	33
	6.4 Hybridimaalämpö	37
	6.5 Hybridipoistoilmalämpöpumppu	40
7	Yhteenveto	41
	Lähteet	43

Lyhenteet

COP: lämpöpumpun lämpökerroin

LCC: elinkaarikustannuslaskelma

LTO: lämmön talteenotto

MLP: maalämpöpumppu

PILP: poistoilmalämpöpumppu

SCOP: lämmityskauden lämpökerroin

TRY2012: rakennusten energianlaskentaa varten kehitetty testivuosi

VILP: ilmavesilämpöpumppu

1 Johdanto

Kallistuva energian hinta on saanut kiinteistöjen omistajat heräämään energiatehokkuuteen ja haluun etsiä keinoja pienentämään hiilijalanjälkeä sekä laskemaan lämmityksen alati kohoavia kustannuksia. Hiilidioksidipäästöjen alentamista ohjaa Suomen tavoite päästä hiilineutraaliksi vuoteen 2035 mennessä.

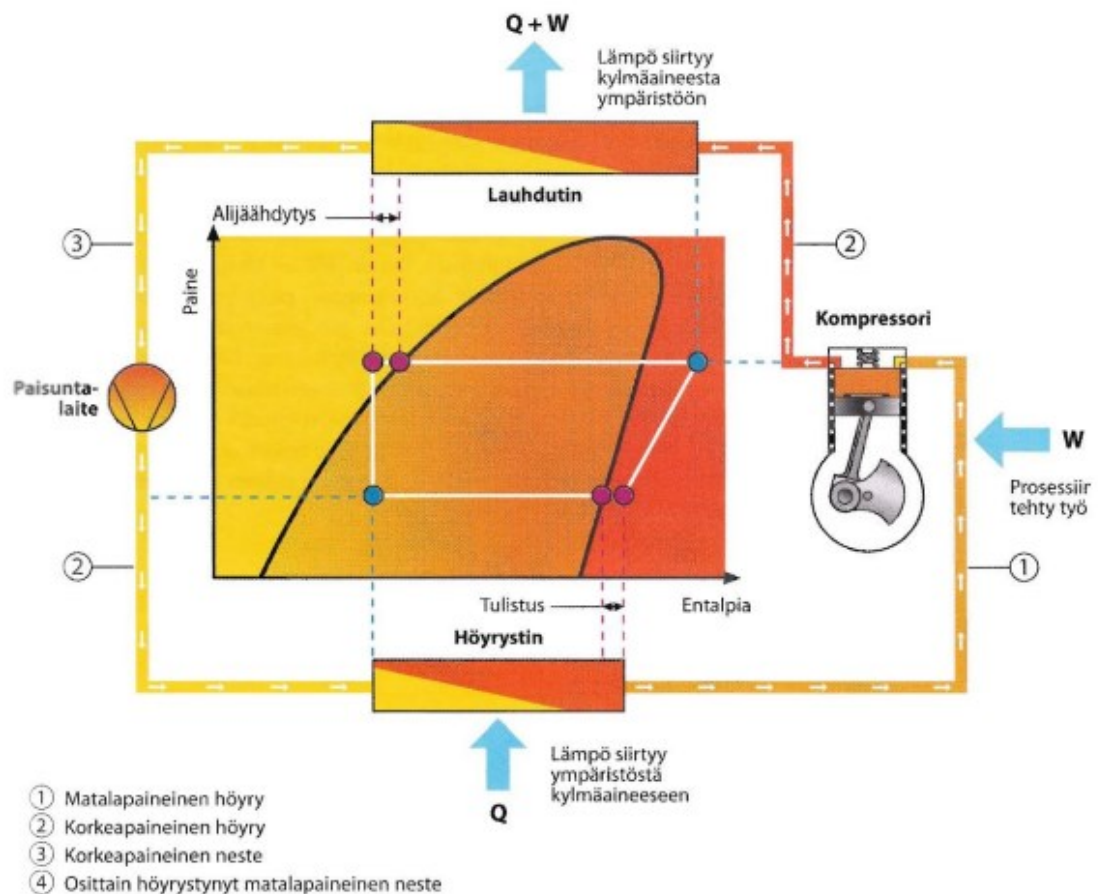
Tätä tavoitetta ei nykyisillä lämmitysratkaisuilla voida saavuttaa, ja sen takia valtio tukee energiatehokkuutta parantavia korjauksia Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskuksen myöntämällä energia-avustuksilla. Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskuksen myöntämää energiatehokkuuden parantamista koskevaa avustusta voi hakea silloin kun kiinteistön energiatehokkuutta parannetaan vähintään 20 prosenttia voimassa olevia säädöksiä paremmaksi.

Ilmavesilämpöpumppujen hyödyntäminen energiatehokkuutta parantavissa hankkeissa korostuu silloin kun kiinteistön tontin rajoitteiden takia maalämpökaivojen poraamista on rajoitettu tai niiden toteutuskustannukset nousevat korkeaksi, jolloin maalämmön hyödyntäminen ei olisi taloudellisesti kannattavaa.

2 Lämpöpumput

Lämpöpumpulla tarkoitetaan laitetta, jolla pystytään siirtämään lämpöenergiaa kylmemmästä aineesta lämpimämpään aineeseen. Lämpöpumppujen toiminta perustuu kylmätekniiseen kiertoprosessiin (kuva 1), jossa prosessiin tehdyn työn avulla siirretään lämpöä matalamman lämpötilan omaavasta aineesta korkeamman lämpötilan omaavaan aineeseen. Lämpöpumpuissa kiertoprosessin työaineenä toimii kylmäaine. Kylmäaine höyrystyy ja lauhtuu eri painetasoilla, mihin koko lämpöpumpun toiminta perustuu. Lämpöpumput koostuvat neljästä pääkomponentista, jotka ovat höyrystin, kompressori, lauhtutin ja paisuntalaite. Höyrystimeen kylmäaine tulee neste höyryseoksena ja täten pystyy vastaanottamaan lämpöä. Kylmäaine muuttuu höyrystimessä kaasumaiseksi, kun kylmäaineeseen on sitoutunut ympäristöstä lämpöenergiaa. Ilmavesilämpöpumpun yhteydessä ympäristö on ulkoilma ja maalämpöpumpulla maa- tai kallioperä.

Höyrystimen jälkeen kaasuuntunut kylmäaine imetään kompressoriin, jossa prosessin ulkopuolelta tuodulla työllä kylmäaine puristetaan korkeaan paineeseen. Puristuksen takia kylmäaine tulistuu ja kylmäaineen lämpötila nousee merkittävästi. Tulistunut korkeapaineinen kylmäaine pystytään hyödyntämään lämmitys-järjestelmässä lauhduttimen avulla. Lauhduttimessa kylmäaine lauhtuu ja muuttuu takaisin nestemäiseen muotoon vapauttamalla lämpöenergiaa. Lauhduttimelta palaava nestemäiseen muotoon muuttunut kylmäaine johdetaan paisunta-laitteelle, joka päästää kylmäainetta höyrystimelle. Kylmäaineen paine sekä lämpötila putoaa ja kylmäaine virtaa takaisin höyrystimeen. [1, s. 17–18.]



Kuva 1. Kylmätekniinen kiertoprosessi [1, s. 17].

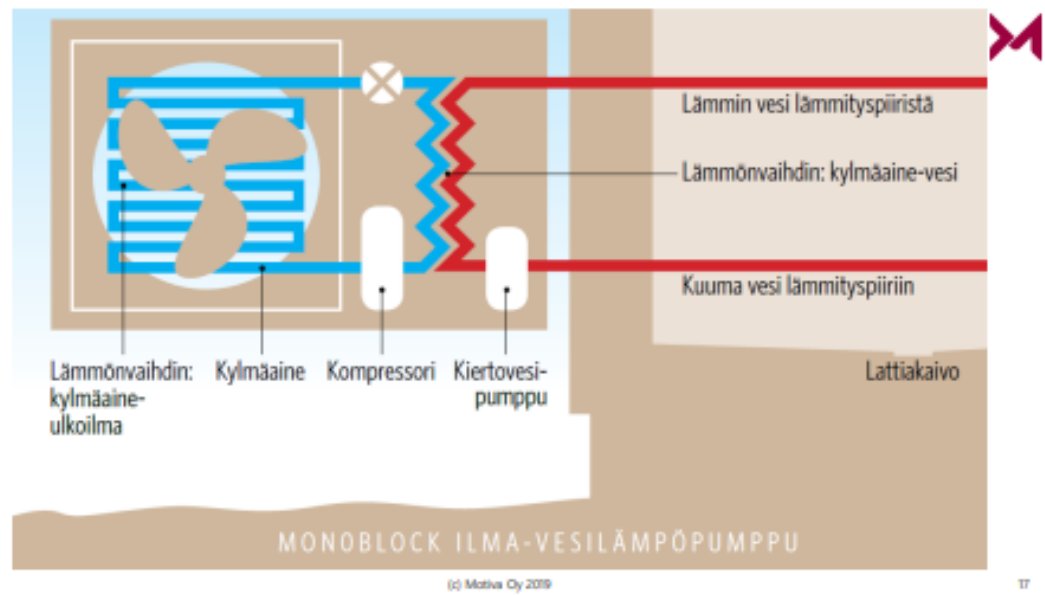
2.1.1 Ilmavesilämpöpumpun toiminta

Ilmavesilämpöpumppujen energianlähteenä käytetään aurinkoenergiaa ulkoilmasta. Ulkoilma johdetaan puhallinavusteisesti höyrystimen lävitse, jolloin kylmäaine höyrystyy. Ilmasta saatu lämpöenergia saadaan siirrettyä kiinteistön vesikertoiseen lämmitysjärjestelmään kylmäaineen luovuttaessa lämpöä lauhduttimessa. Ilmavesilämpöpumppujen lämmitysteho ja hyötysuhde COP ovat riippuvaisia ulkoilman lämpötilasta. Nykyisillä kylmäaineilla lämpöpumput eivät pysty tuottamaan kustannustehokkaasti lämpöä kovimmilla pakkasilla, ja lämpöpumppu kannattaa jopa sammuttaa kovilla pakkasilla. Ilmavesilämpöpumput tarvitsevatkin rinnalleen lisälämmönlähteen, jolla pystytään kattamaan kiinteistön tarvitsema lämmitystehontarve kovimmilla pakkasilla. [2.]

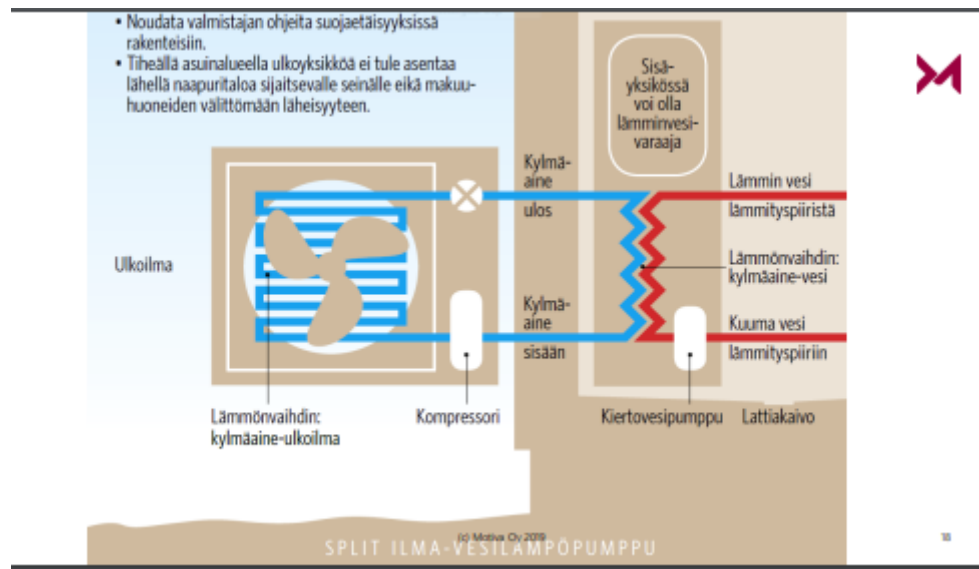
2.1.2 Ilmavesilämpöpumpputyypit

Markkinoilla on toiminnaltaan kaksi erityyppistä ilmavesilämpöpumppua kiinteistöjen lämmittämiseen. Monoblock-laitteissa koko kylmäprosessin komponentit ovat yhdessä paketissa yhden yksikön sisällä (kuva 2). Monoblock-koneikossa kiertää kiinteistön lämmitysvesi joko suoraan lämmitysverkostosta tai siirtimen kautta yhteen tai useampaan varaajaan. [4.]

Silloin kun lämpöpumpun toiminta koostuu jaetusta koneistosta, kutsutaan laitteistoa Split-laitteeksi (kuva 3). Tällöin höyrystin ja lauhdutin on jaettu eri yksiköihin. Split-laitteissa höyrystin on sijoitettu ulos, ja kylmäaine kiertää ulkoyksiköltä sisäyksikön lauhduttimelle kylmäaineputkia pitkin. Split-laitteistojen asennuspaikkavariaatiot ovat monipuolisemmat kuin Monoblock-laitteissa.



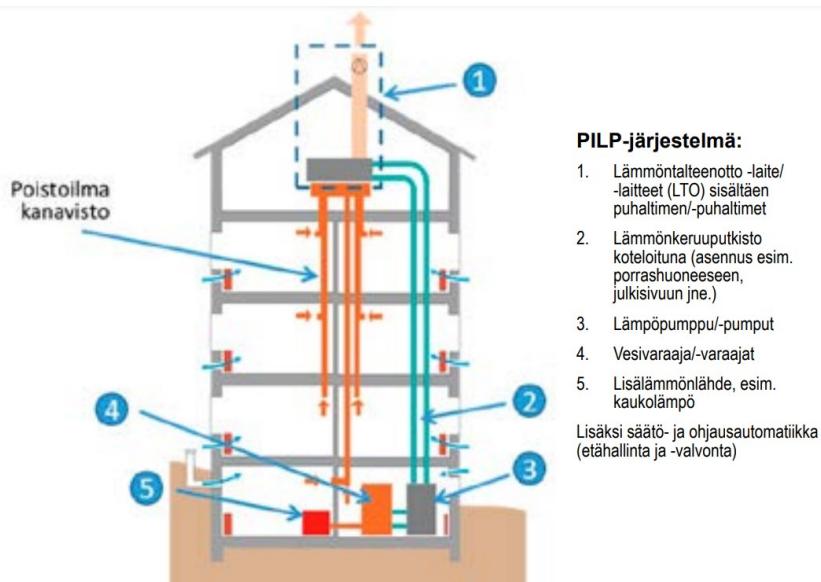
Kuva 2. Monoblock-ilmavesilämpöpumpun toimintaperiaate [3].



Kuva 3. Split-ilmavesilämpöpumpun toimintaperiaate [3].

2.2 Poistoilmalämpöpumppu

Poistoilmalämpöpumppu (PILP) eroaa hieman maalämpö- sekä ilmavesilämpöpumppujen toiminnasta. Siinä missä maa- ja ilmavesilämpöpumput keräävät auringon ilmaisenergiaa, kerää PILP-järjestelmä kiinteistön sisältä poistettavasta ilmvirrasta lämpöenergian talteen ja siirtää sen takaisin kiinteistön käyttöön (kuva 4), joko lämmitykseen tai lämpimään käyttöveteen. [5.] Poistoilmalämpöpumpun mitoituksessa on huomioitava, että kiinteistön poistoilmavirta ja jäteilmalämpötila LTO-patterin jälkeen rajoittavat sitä, kuinka paljon energiaa voidaan ottaa talteen. [9, s. 12.]

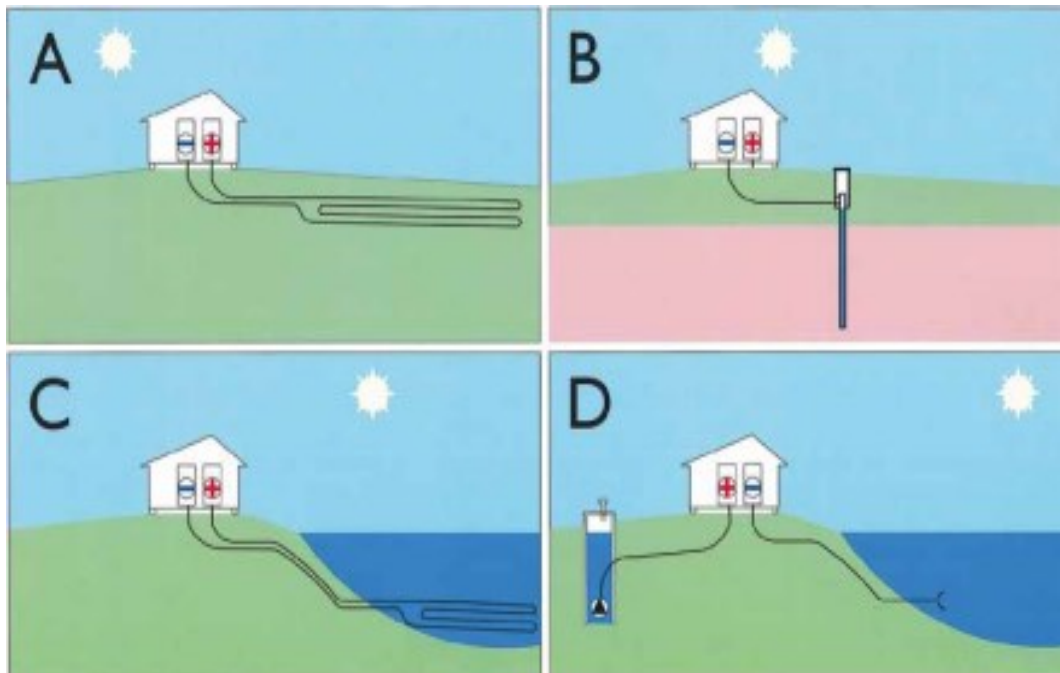


Kuva 4. Periaatekuva PILP-järjestelmästä [10].

2.3 Maalämpö

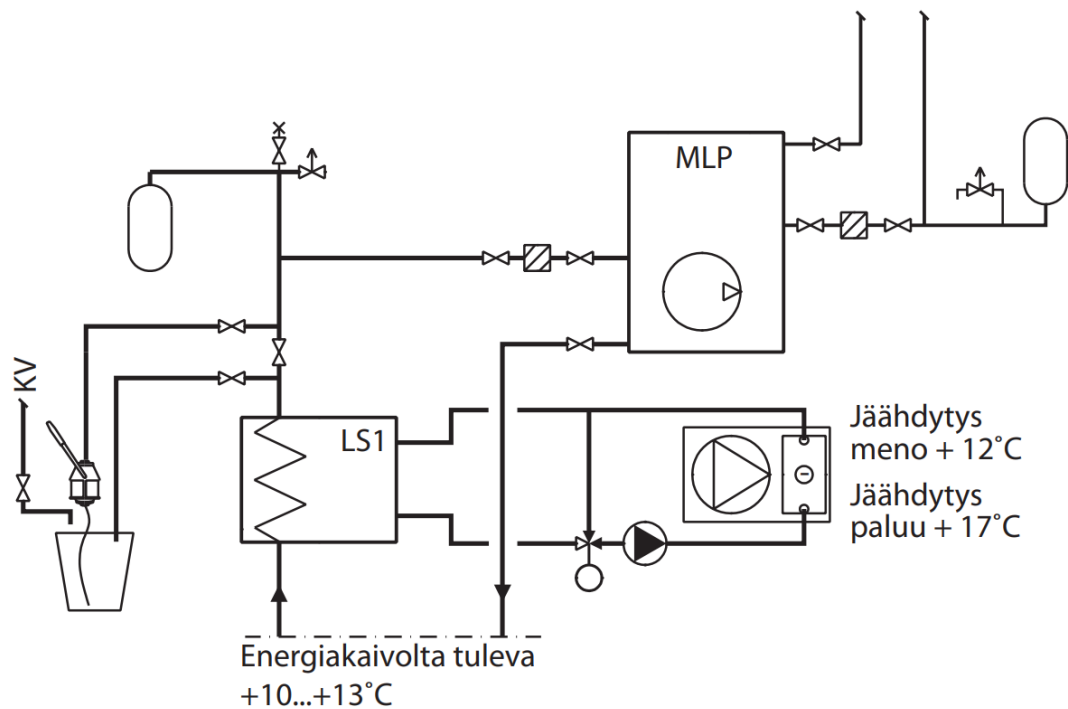
Maalämpö on myös auringosta saatavaa uusiutuvaa energiaa, joka on varastoitunut maa- ja kallioperään sekä vesistöihin. Maalämpöpumpun toimintaperiaate on sama kuin ilmavesilämpöpumpuissa, mutta ilman sijasta lämpöpumppu saa energiansa maahan tai vesistöön asennettavista keruuputkistoista (kuva 5). Keruuputkistot voidaan asentaa joko vertikaalisina

tai horisontaalisina. Maalämpöjärjestelmillä pystytään paremmin kattamaan kiinteistön lämmitystehontarpeet. [6.]



Kuva 5. Maalämpöpumpun energialähteet. (A), Maapiiri. (B) Energiakaivo, (C) Vesistöpiiri, (D) Avoin keruupiiri. [8, s. 9.]

Maalämpöä voidaan käyttää taloudellisesti kiinteistön jäähdyttämiseen jolloin yllämpöä siirretään kiinteistöistä takaisin energiakaivoihin. Maalämmöllä jäähdyttäessä pumpataan keruupiirissä olevaa noin 10–13 °C:n lämpöistä liuosta, joko suoraan kiinteistön jäähdytysverkostoon tai erillisen lämmönsiirtimen avulla (kuva 6). Maalämmöllä jäähdytettäessä kiinteistössä olevaa yllämpöä voidaan varastoida lämpökaivoihin ja näin saadaan energiakaivoista pitkäikäisempiä. [7.]



Kuva 6. Esimerkki kytkennästä, jossa energiakaivoa käytetään jäähdytykseen erillisen lämmönsiirtimen avulla [7, s. 10].

Maalämmön keruuputkistojen suunnittelussa tulee kuitenkin huomioida lainsäädäntö joka ohjaa keruuputkistojen sijoittamiseen liittyviä erityistarpeita. Maalämpöjärjestelmän keruuputkistojen asentamista voidaan rajoittaa, muinaismuistolain edellytyksin tai jos kiinteistön läheisyydessä on maanalaisia rakennelmia kuten tunneleita, voivat nämä estää tai rajoittaa kaivojen poraamisen. [7.]

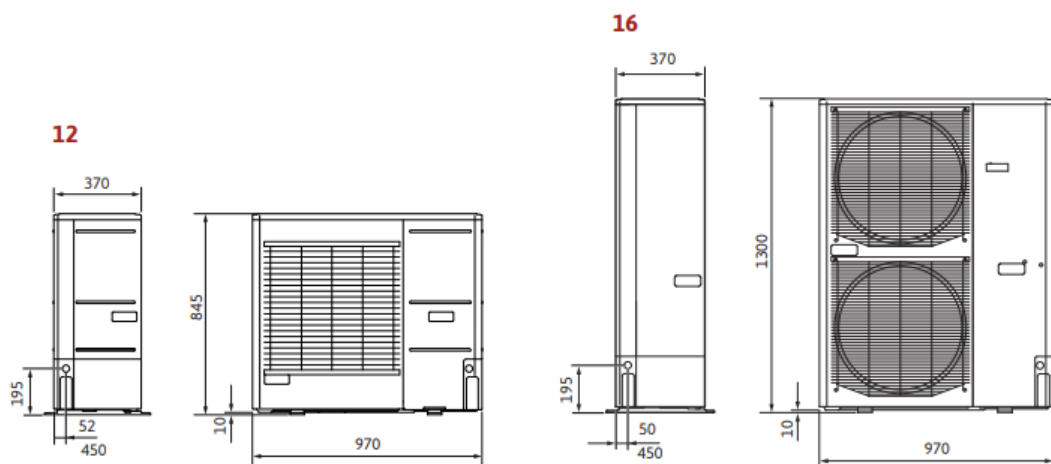
3 Ilmavesilämpöpumppuvalmistajat

3.1 Split-yksiköt

Kaukora Oy

Kaukora Oy valmistaa Jäspi-tuotenimellä tunnettuja lämmityslaitteita. Jäspi split -ilmavesilämpöpumppumalleista kiinteistöjen lämmitykseen sopii Jäspi Basic split 24–64 -malli (kuva 7). Kyseinen ilmavesilämpöpumpun tehoalue on 5–128 kW ja lämpöpumppu pystyy tuottamaan $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$:n ulkolämpötilassa enintään $58\text{ }^{\circ}\text{C}$:n lämpöistä vettä. Jäspi Basic Split -ulkoyksiköt on varustettu Splitboxeilla sekä varustettu etäohjausjärjestelmällä. Yhteen ohjausyksikköön voidaan kytkeä enintään kahdeksan ulkoyksikköä, jolloin saavutetaan 128 kW:n lämmitysteho. [11.] Taulukossa 1 on esitetty tekniset tiedot Jäspi Basic Split -ilmavesilämpöpumpusta.

Jäspi Basic Split



Kuva 7. Jäspi Basic Split -ulkoyksikön mittapiirustus [11].

Taulukko 1. Tekniset tiedot Jäspi Basic Split -ilmavesilämpöpumpusta [11].

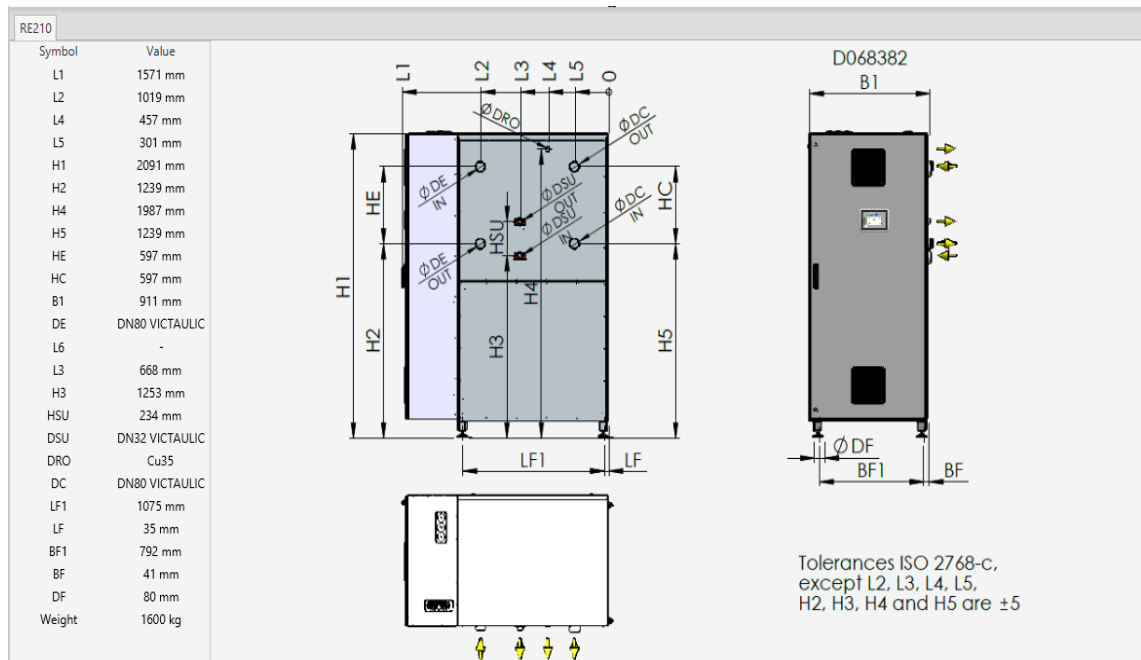
Ulkoyksiköt / kpl * teho (kW)	2*12	2*16	3*12	3*16	4*16
Tuotenumero	T000854	T000856	T000860	T000857	T000877
Teho (kW) –7/35 (°C)	9	12,1	9	12,1	12,1
SCOP lattia/patterilämmitys	3,63/2,85	3,68/2,90	3,63/2,85	3,68/2,90	3,68/2,90
Kylmäainemäärä (R410A) (kg)	2,9	4,0	2,9	4,0	4,0
Alin toimintalämpötila (°C)	-20	-20	-20	-20	-20
Lauhduttimelta lähtevän vedenlämpötila (°C)	+58	+58	+58	+58	+58

3.2 Monoblock-laitteet

Oilon Oy

Oilon Oy on vuonna 1961 perustettu konepajayritys, joka valmistaa maailmanlaajuisesti polttimotekniikkaa kaasuille ja nesteille sekä lämpöpumppuja. [16.]

Oilon Oy:n RE sarjan ilmavesilämpöpumput (kuva 8) eroavat tavanomaisista Monoblock-ilmavesilämpöpumpuista siten, että malleissa ei ole integroitua lämmönvaihdinta ulkoilman energian keruuseen vaan lämpöpumpuille tulee mitoittaa kiinteistön tarpeita vastaava lämmönkeräin [15]. Erillisellä lämmönkeräinratkaisulla saadaan monipuolisempia asennus- ja toteutusvaihtoehtoja kiinteistöjen erityistarpeiden mukaan sekä saadaan hallittua paremmin kompressoreiden sekä lauhduttimen puhaltimien aiheuttamia ääniä.



Kuva 8. Oilon Chillheat RE210 -päämitat. [18.]

Oilon Chillheat RE -sarjan lämpöpumpuissa käytetään Scroll-kompressoreita. Kompressoreiden määrä on kahdesta neljään, riippuen mallista. Mallien optimoitu lämpimän veden tuotto on 62 °C. Lämpöpumput voidaan varustaa kylmäaineen alijäähdyttimellä sekä tulistuksenpoistovaihtimella. [17.]



Kuva 9. Oilon Chillheat RE -lämpöpumput. [18.]

Oilonin valmistama Chillheat RE210, RE330 ja RE420 (kuva 9) ovat monipuolisia lämpöpumppuja. Lämpöpumppuja voidaan käyttää ilmavesilämpö-, maalämpö- sekä vedenjäähdytyskoneina, ja niissä on yhdistetty lämmitys- ja jäähdytystoiminto. [17.] Taulukossa 2 on esitetty tekniset tiedot oilon Chillhead Re -sarjan ilmavesilämpöpumppuista.

Taulukko 2. Tekniset tiedot oilon Chillhead Re -sarjan ilma-vesilämpöpumpuista. [18.]

Malli	RE210	RE330	RE420
Teho (kW) –7/35 (°C)	166	245	333
COP –7/35 (°C)	3,51	3,54	3,60
Teho (kW) –10/50 (°C)	152	233	318
COP –10/50 (°C)	2,70	2,60	2,66
Teho (kW) 7/58 (°C)	261	391	521
COP 7/58 (°C)	3,52	3,53	3,53
Ulkoilman alin suosituslämpötila (°C)	-10	-10	-10
Lauhduttimelta lähtevän vedenlämpötila (°C)	+62	+62	+62
Paino (kg)	1600	1800	2000

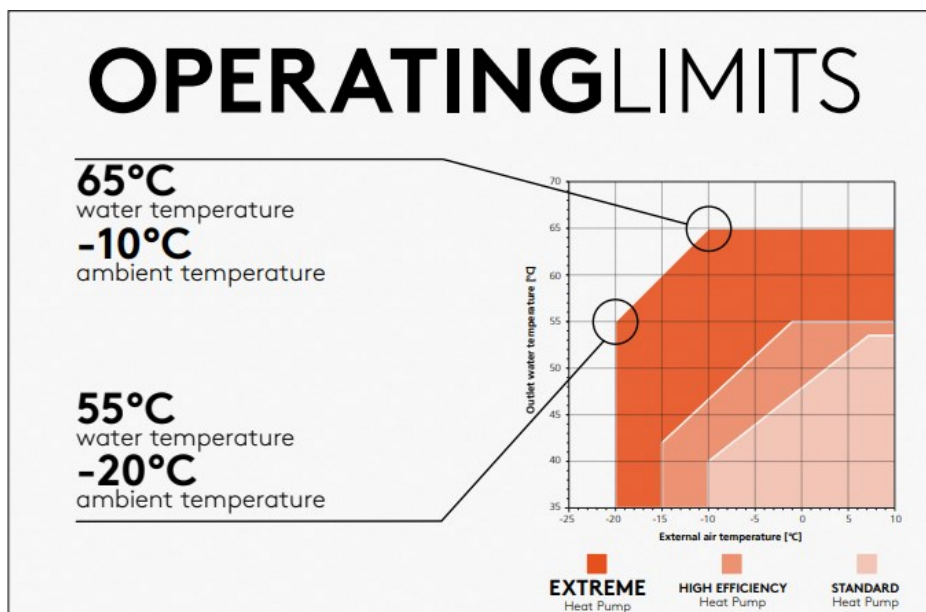
Swegon Group AB

Swegon Group AB on Ruotsissa Tukholman pörssissä listattu yritys, joka tuottaa ilmanvaihtoon, lämmitykseen sekä jäähdytykseen laitteita sekä niihin liittyviä palveluita sekä teknistä tukea. [19.] Swegonin vedenjäähdyttimet sekä lämpöpumppumallit tunnetaan BlueBox nimellä ja tuotemerkeistä on monipuolisesti eri kokoluokan koneikkoja.



Kuva 10. Swegon BlueBox Zeta Rev HP XT -ilmavesilämpöpumppu. [20.]

Swegon BlueBox Zeta Rev HP XT -ilmavesilämpöpumpussa (kuva 10) lämpöä tuottaa Scroll-kompressorit, joita voidaan valita kaksi tai neljä. Lisävarusteina on saatavilla sisään rakennettu Anti-ice-sulatuspiiri lamellilämmönsiirtimessä sekä kompressoreille invertteriohjaus sekä Blueye-valvontajärjestelmä. [20.]



Kuva 11. BlueBox Zeta Rev HP XT -toimintalämpötilat. [20.]

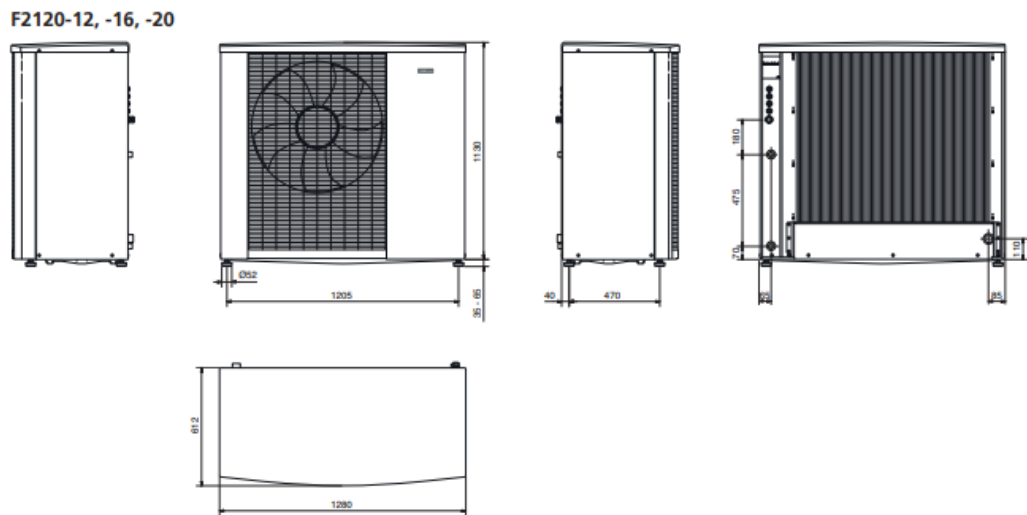
Swegon BlueBox Zeta Rev HP XT -ilmavesilämpöpumppu on vaihtuvatoiminen lämpöpumppu, jonka tehoalue on 50–220 kW. Lämpöpumpulla saadaan tuotettua –20 °C:n lämpötilassa 55 °C:n lämpöistä vettä ja enimmillään koneesta saadaan 65 °C:n lämpöistä vettä (kuva 11). [20.] Taulukossa 3 on esitetty tekniset tiedot Swegon BlueBox Zeta Rev HP XT:n ilmavesilämpöpumpusta.

Taulukko 3. Swegon BlueBox Zeta Rev HP XT:n tekniset tiedot valmistajan esitteestä [20].

Teho (kW) 7/45 (°C)	50–220
Alin toimintalämpötila (°C)	–20
Lauhduttimelta lähtevän veden lämpötila (°C)	65

NIBE Energy Systems Oy

NIBE Energy Systems Oy myy Suomessa NIBE tuotemerkillä tunnettuja lämmityslaitteistoja. NIBE:n valmistamat kiinteistökokoluokan ilmavesilämpöpumput F2120 16 ja 20 (kuva 12) ovat NIBE:n malliston tehokkaimpia lämpöpumppuja, joita voidaan NIBE SMO -ohjausyksikön kanssa liittää kahdeksan ulkoyksikköä järjestelmään, jolloin päästään 160 kW:n lämmitystehoon. NIBE F2120 -lämpöpumpulla pystytään tuottamaan maksimissaan 63 °C:n lämpöistä vettä –25 °C:n lämpötilassa. [12.]



Kuva 12. NIBE F2120 -ulkoyksikön mittapiirustus. [12.]

NIBE F2120 on varustettu inventteriohjatulla Scroll-kompressorilla, joka pystyy säätämään kompressorin käyntiä lämmityksen tehontarpeen mukaan ja näin lämmöntuotto on energiatehokasta. [12.] Taulukkoon 4 on koottu valmistajan antamia teknisiä tietoja.

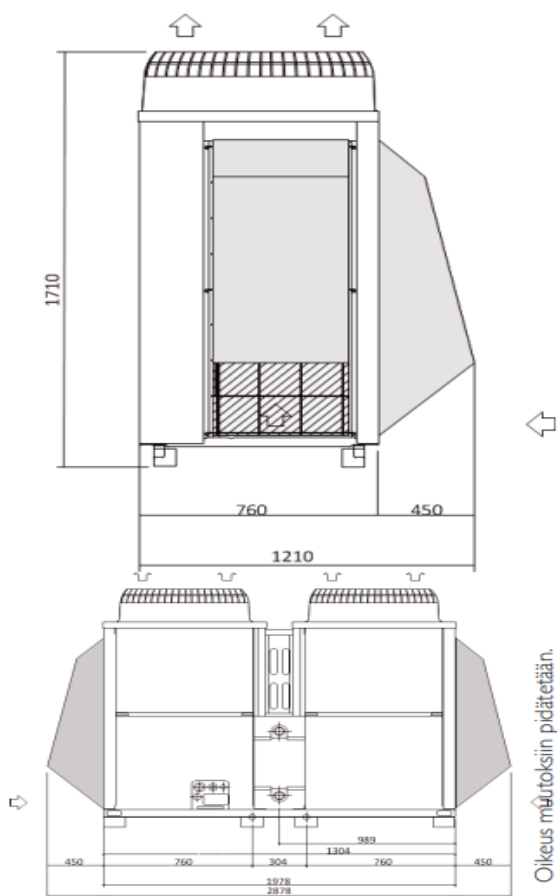
Taulukko 4. NIBE F2120 valmistajan ilmoittamat tekniset tiedot [12].

Malli	16	20
Teho (kW) –7/35 (°C)	10,1	13,5
SCOP 35/55 (°C)	4,25/3,5	4,25/3,5
Kylmäainemäärä (R410A) (Kg)	3	3
Alin toimintalämpötila (°C)	–25	–25
Lauhduttimelta lähtevän veden lämpötila alimmassa toimintalämpötilassa (°C)	+63	+63
Ilmavirta (m³/h)	2400	3400

Mitsubishi Electric

Mitsubishi Electric on japanilainen lämpöpumppuvalmistaja, jonka maahan-tuojana toimii Suomessa Scanoffice Oy. Mitsubishi-etuliitteellä on muitakin läm-pöpumppuvalmistajia kuten Mitsubishi Heavy Industries Inc. Nämä yritykset ovat kuitenkin täysin erillisiä yrityksiä, vaikka nimestä voisikin päätellä muuta. [13.] Mitsubishi Electric CAHV P500 (kuva 13) on korkealämpöinen

ilmavesilämpöpumppu, joka pystyy tuottamaan jopa 70 °C:n lämpöistä vettä. Yhdenyksikön lämmitystehoalue on 10,5–63,8 kW. kytkemällä rinnan useita yksiköitä saadaan kasvatettua lämmitystehoa.



Kuva 13. Mitsubishi Electric CAHV P500 -päämitat [14].

Mitsubishi Electric CAHV P500:n kompressori on invertteriohjattu ja omaa hyvän hyötysuhteen myös osatehoilla, jolloin lämpöpumppu tuottaa vain kiinteistön tarvitseman energiantarpeen. [14.] Taulukkoon 5 on koottu valmistajan antamia teknisiä tietoja.

Taulukko 5. Mitsubishi Electric CAHV P500:n -tekniset tiedot valmistajan esitteestä [14].

Lämmitysteho (kW) 7/45 (°C)	10.5–63.8
Kylmäainemäärä (R407A) (kg)	5.5x2
Alin toimintalämpötila (°C)	-20
Lauhduttimelta lähtevän vedenlämpötila (°C)	+70
Ilmavirta (m³/h)	6.1
COP	4,2

4 Ilmavesilämpöpumpun kytkentävaihtoehdot

4.1 Lämmin käyttövesi

Lämpimän käyttöveden tuottaminen ilmavesilämpöpumpuilla ilman varaajaa kuluksen mukaan kasvattaisi järjestelmän kompressorin tehontarvetta kohtuuttomasti. Siksi järkevin tapa tuottaa lämpöpumpuilla lämmintä käyttövettä on tehdä sitä lämpimän käyttöveden varaajaan tai varaajiin. Lämmin käyttövesi voidaan tuottaa joko varaajaan asennetulla kierukkalämmönsiirtimellä tai erillisellä lämmönsiirtimellä, jolloin lämpimän käyttöveden ja kylmäaineen välissä on kaksi seinämää. Tällä varmistetaan, että lämmin käyttövesi ja kylmäaine eivät pääse sekoittumaan keskenään esimerkiksi vuototapauksessa. Käyttövesivaraajan tilavuuden arvioinnissa voidaan pitää arviota 40–50 litraa vähintään 55 °C:n lämpöistä vettä kiinteistön henkilömäärää kohden. [21, s. 10.] Tästä saadaan

laskettua, että jos kiinteistössä olisi 50 asukasta, tulisi lämpimän veden vuoro-
kausikulutukseksi $50 \text{ dm}^3 \times 50 \text{ henkilöä} = 2500 \text{ dm}^3$.

Lämpimän käyttöveden kulutushuippua voisi arvioida siten, että asuinrakennuk-
sen kaikki 50 asukasta kävisivät suihkussa kahden tunninaikana ja käyttäisivät
kukin heille varatun lämpimän veden. Olettaen suihkujen virtaaman olevan $0,2$
 dm^3/s ja lämpimän vedenkulutuksen olevan 60 prosenttia tästä. Tällöin asukas
käyttäisi hänelle varatun veden seitsemässä minuutissa ja kiinteistössä kulutet-
taisiin 1250 dm^3 lämmintä vettä tunnissa.

Seuraavaksi lasketaan paljonko lämpöpumpun tulisi tunnin aikana tuottaa va-
raajiin lämpöä, kun halutaan kattaa tunnin vedenkulutuksen tehontarve, joka
saadaan laskettua kaavan 1 mukaisesti.

$$\phi = \frac{V \cdot c_p \cdot \Delta T}{T_{vilp}} \quad (1)$$

ϕ on ilmavesilämpöpumpun teho, kW

V on asukkaiden käyttämän lämpimän veden tilavuus, dm^3

T_{vilp} on ilmavesilämpöpumpun käyntiaika, jonka se käyttää lämpimän veden
tuottamiseen, s

c on veden ominaislämpökapasiteetti, $4,2 \text{ kJ/kg K}$

ΔT on lämpimän käyttöveden ja kylmän verkostoveden välinen lämpötilaero. K

$$\phi = 1250 \text{ dm}^3 * 4,2 \text{ kJ/kg K} * (55 \text{ K} - 10 \text{ K}) / 3600 \text{ s} = 65.63 \text{ kW}$$

Lämminvesivaraajan tilaavuuden tarvetta arvioidessa tulisi varmistaa, että pys-
tytäänkö lämpöpumpulla tuottamaan keskeytyksettä pelkästään lämmintä käyt-
töväettä vai vuorotteleeko lämpöpumppu lämmityksen kanssa. Tällöin, jos

kaavan (1) mukaisella lämpöpumpulla tuotetaan tunnin aikana vuorotellen käyttö- ja lämmitys vettä tulisi lämminvesivaraajan tilavuudeksi tällöin.

$$\frac{65.6 \text{ kJ/s}}{s} * 0,5 * 3600 \text{ s} / (45 \text{ K} * \frac{4,2 \text{ kJ/kgK}}{\text{kgK}}) = 625 \text{ dm}^3$$

Varaajassa tulee tällöin olla 55 °C vettä $2500 \text{ dm}^3 - 1250 \text{ dm}^3 = 1250 \text{ dm}^3$.

Tehon laskennassa ei huomioitu mahdollisen lämpimän käyttövesikierron aiheuttamia lämpöhäviöitä. Kiinteistössä jos joudutaan karsimaan lämminvesivaraajien tilaavuuksissa silloin lämpöpumpun tehoa, tulee kasvattaa tai jos tarvetta ladata käyttövesivaraaja nopeammin kasvaa lämmitystehontarve.

Lämminvesivaraajiin voidaan kytkeä sähkövastuksia tai muita lämmönlähteitä tuottamaan lämmintä käyttövettä silloin kun lämpöpumpun teho ei riitä kylmimmillä keleillä. Lämpimän käyttöveden lämpötila tulee ympäristöministeriön asetuksen mukaan olla vähintään 55 °C ja enintään 65 °C .

Ilmavesilämpöpumppujen kyky tuottaa kovilla pakkasilla yli 55 °C :n lämpöistä vettä hyvällä hyötysuhteella on rajallinen, joten lisälämmönlähdettä tullaan tarvitsemaan lämpimän käyttöveden tuottamiseen sekä kattamaan lämpimän käyttövedenkierrosta johtuvat lämpöhäviöt. Yksi tapa lämpimän käyttövedenkierron lämpöhäviöiden tuottamiseen on asentaa erillinen pienempi tulistusvaraaja, jossa joko sähköllä tai lämpöpumpun tulistuksenpoistovaihtimella tuotetaan tarvittava lämmitysteho käyttövesikierrolle.

4.2 Lämmitys

Lämmitys ilmavesilämpöpumpulla tulee suunnitella siten, ettei kiinteistön oma lämmitysjärjestelmä pääse vaikuttamaan lämpöpumpun lauhduttimen virtaamaan, joka tulee olla aina esteetön. Lämpöpumpun latauspiirin ja lämmityspiirin virtaamat voidaan erottaa toisistaan kaikissa käyttötilanteissa käyttämällä lämmönsiirintä tai asentamalla varaaja latauspiiriin ja lämmitysverkoston väliin.

Varaaja toimii lämpöpumpulle työ- ja puskurisäiliönä, joka helpottaa ja mahdollistaa lämpöpumpun tehonsäätöä ja sillä varmistetaan myös lämpöpumpun minimikäyntiaika eri käyttötilanteissa. Liian pieni vesitilavuus ja siitä aiheutuva lämpöpumpun pätkittäinen käynti heikentää lämpöpumpun hyötysuhdetta.

Energiavaraajaan kannattaa myös harkita asennettavan lämpimän käyttöveden esilämmityskierukka, joka esilämmittää lämmintä käyttövettä. Energiavaraajan tilavuuden mitoituksessa pidetään riittävänä 40 litraa alinta tehoporrasta kohden. Esimerkiksi jos ilmavesilämpöpumpun alin teho olisi 40 kW. Tällöin varaajatilavuudeksi tulisi $40 \text{ dm}^3/\text{kW} \times 40 \text{ kW} = 1\,600 \text{ dm}^3$. Puskurivaaran koko tulee kuitenkin aina varmistaa lämpöpumppuvalmistajan ohjeen mukaiseksi, jotta lämpöpumpun toiminta olisi optimaalinen. [21, s. 9.]

4.3 Ilmavesilämpöpumppu ja sähkökattila

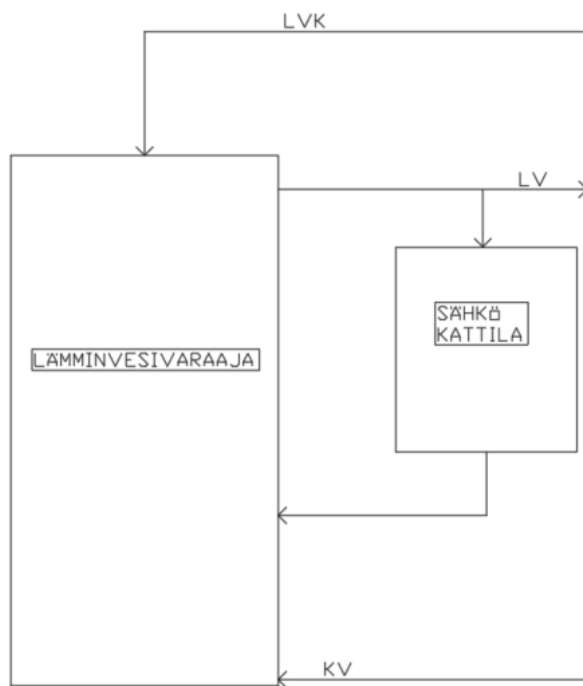
Sähkökattilat ovat usein investoinneiltaan suhteellisen edullisia, kompaktin kokoisia sekä eri tehoalueen kattiloita on hyvin tarjolla. Varjopuolena suuren tehon omaava sähkökattila kuluttaa hetkellisesti paljon sähköä ja tarvitsee normaalia suuremman sähköliittymän, kun sähkökattila toimii kiinteistön varalämmönlähteenä.

Sähkökattilan käyttämistä ilmavesilämpöpumpun huipputehon vaatimaan lisälämmittämiseen ei ole vain yhtä oikeaa kytkentäratkaisua, vaan kytkennät tulisi-kin suunnitella juuri kyseisen kiinteistön tarpeiden mukaisiksi.

Yhdenlainen tapa on kytkeä sähkökattila puskurivaraajan kanssa sarjaan ja kuumentaa lämmityksen menovettä haluttuun lämpötilaan, jolloin sähkökattilalla katetaan lämmitykseen tarvittava puuttuva teho. Sähkökattila tulee mitoittaa kiinteistön varalämmönlähteeksi, kun ilmavesilämpöpumppu ei ulkoilman kylmyyden vuoksi pysty tuottamaan kiinteistön tarvitsemaa lämmitysenergiaa.

Lämpimälle käyttövedelle voidaan laittaa myös oma sähkökattila, mutta kytkentänä siinä olisi energiatehokkaampi vaihtoehto kierrättää varaajan vettä

sähkökattilan kautta takaisin varaajaan (kuva 14) ja näin ladata varaajaa samalla tavalla kuin lämpöpumpulla, jolloin sähkökattila voidaan mitoittaa samansuuruiseksi kuin lämpöpumppu. Jos sähkökattila mitoitettaisiin lämpimän käyttöveden tuottamiseen kuin kaukolämmön käyttövesi siirrin, olisi se erittäin suuritehoinen ja veisi paljon sähköä. Yleisin käytäntö kuitenkin on lämmittää vesi käyttövesivaraajaan asennetuilla sähkövastuksilla.



Kuva 14. Yksinkertaistettu kytkentäkaavio sähkökattilasta lämminvesivaraajan kanssa.

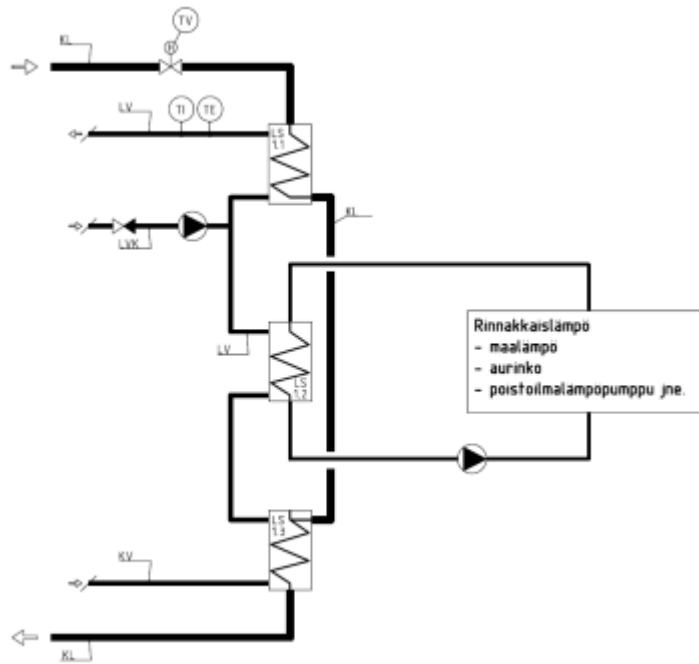
4.4 Ilmavesilämpöpumppu ja kaukolämpö

Hybridilämmitysmallilla tarkoitetaan kaukolämmön ja lämpöpumpun rinnakkaislämmön kytkentää. Hybridikytkennässä kaukolämpö mitoitetaan vastaamaan kiinteistön lämmitystehontarvetta ja mitoitetaan kaukolämmitys, määräykset ja ohjeet julkaisun K1/2021 mukaisesti. Kytkennät eivät saa tarpeettomasti alentaa kaukolämpöveden jäähtymää sekä lämmönsaanti kiinteistölle tulee olla varmistettu. Hybridikytkentää suunniteltaessa tulee tarkastella, saavutettavia säästöjä

vesivirtamaksuissa sekä sitä, että lämpöpumpun kaikkea käytössä olevaa tehoa ei välttämättä pystytä hyödyntämään kaukolämmön paluuveden liiallisen lämpötilan takia.

4.4.1 Lämminvesilaitteisto

Lämpimän käyttöveden tuottamiseen Energiateollisuus Ry:n Kaukolämmitys, määräykset ja ohjeet -julkaisussa K1/2021 on esitetty kaksi erilaista kytkentävaihtoehtoa. Ensimmäisessä esimerkkikytkennässä (kuva 15) lämmin käyttövesi esilämmitetään lämmönsiirtimessä 1.3 minkä jälkeen esilämmitetty käyttövesi menee lämmönsiirtimen 1.2 kautta, johon tuodaan lämmitysenergiaa lämpöpumpulta. Tämän jälkeen lämmönsiirtimessä 1.2 lämmennyt käyttövesi yhdistyy lämpimän käyttövedenkierron kanssa ja menee lämmönsiirtimen 1.1 kautta, jossa vesi tarvittaessa lämmitetään haluttuun lämpötilaan. [22, s. 92–94.] Valmiita hybridikaukolämpökeskuksia valmistaa ainakin suomalainen Högfors GST Oy.

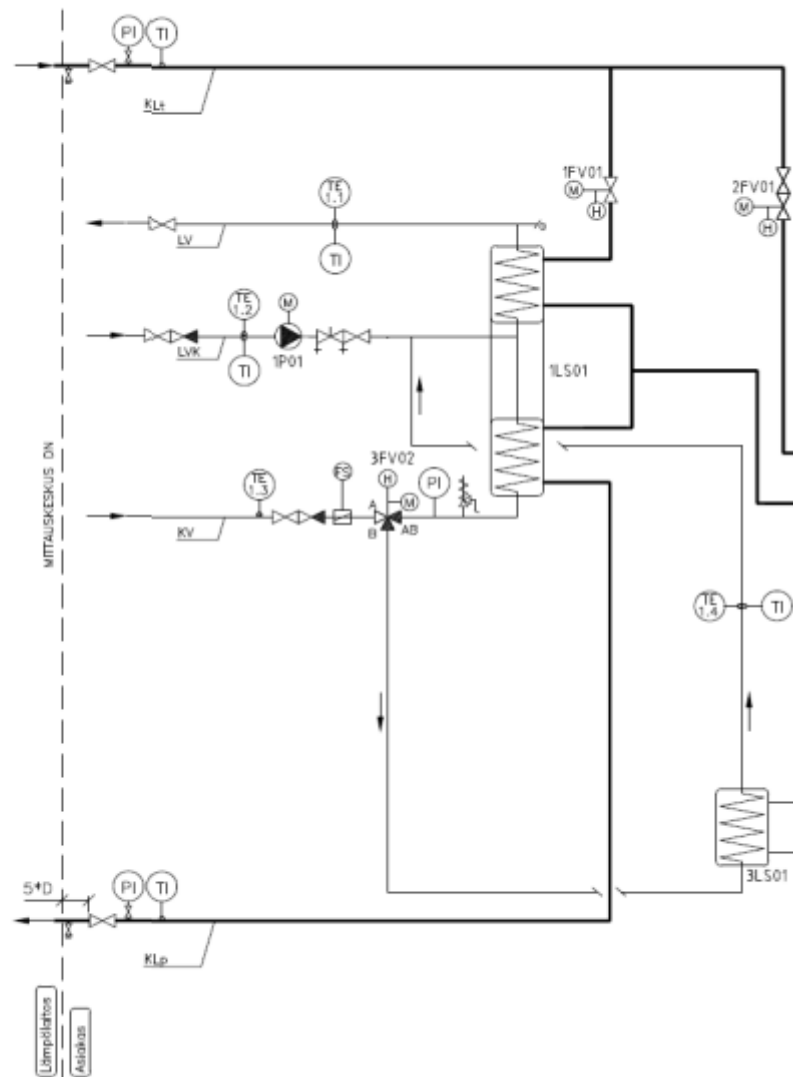


Kuva 15. Lämpimän käyttöveden kytkentä kaukolämmön rinnalle [21, s. 92].

Helen Oy:llä on vielä omat ohjeet, jotka käyttöveden hybridikytkennöissä tulee ottaa huomioon. Helen Oy:n ohjeistuksessa lämmönsiirrin 1.1 tulee mitoittaa kattamaan 50 % lämpimän käyttöveden tehontarpeen mitoitusilanteessa ja lämmönsiirrin 1.3 mitoitetaan myös 50 %:n tehontarpeeseen, jolloin kaukolämmöllä voidaan kattaa koko kiinteistön lämpimän veden saanti. Lisäksi lämmönsiirrin 1.3 tulee mitoittaa siten, että siirtimeltä palaava vesi ei missään olosuhteissa palaa kaukolämpöverkoston kuumempuna kuin 20 °C, jos kylmän veden lämpötila on 10. [26.] Vantaan Energialla on Helen Oy:n kanssa samat vaatimukset kytkennöistä.

Toisessa kytkentäesimerkissä (kuva 16) kaukolämmössä on kaksi siirrintä, jossa ensimmäinen toimii esilämmityssiirtimenä ja varmistaa kaukolämmön paluveden riittävän jäähtymän. Ennen toista siirrintä lämpöpumpulta tuodaan lämmitettyä vettä lämpimän käyttövesikiertoon tehdyllä väliyhteellä. Jälkimmäinen siirrin kuumentaa lämpimän käyttöveden haluttuun lämpötilaan. Käytettäessä rinnakkaislämmönlähdettä tulee kyseisen alueen energiantuottajalta

varmistaa heidän omat määräyksensä sekä ohjeet, sillä energiantuottajilla kyt-
kentämääräykset saattavat poiketa edellä mainitusta. [22, s. 92–94.]



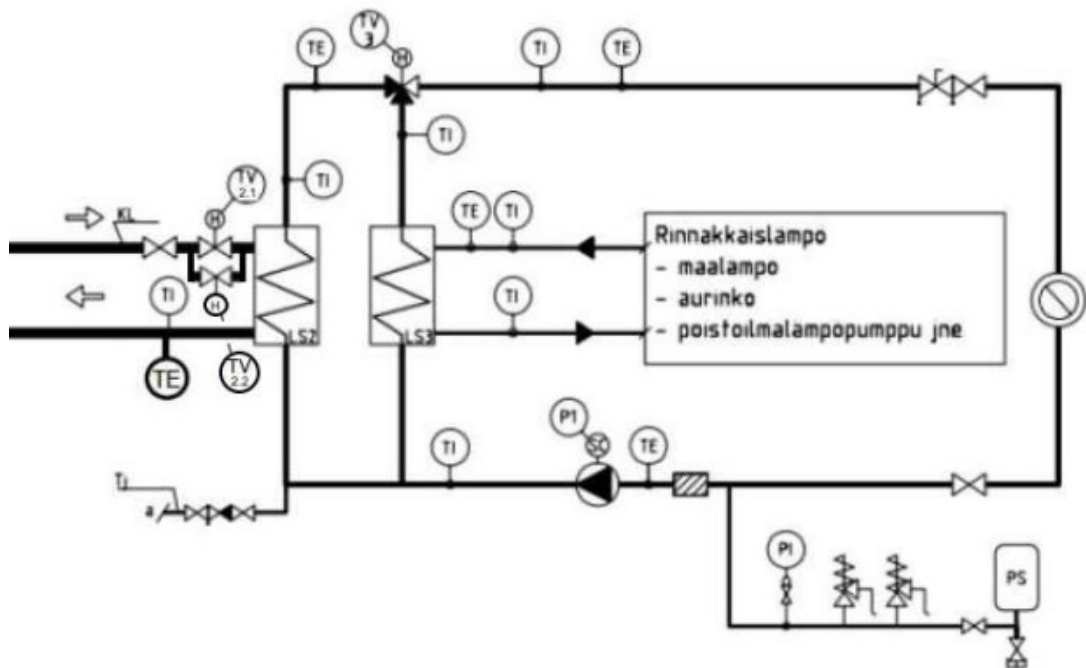
Kuva 16. Lämpimän käyttöveden kytkenä [21, s. 93].

Ilmavesilämpöpumpun tuoma energiasäästö hybridikytkennässä kaukolämmön kanssa tuotettaessa lämmintä käyttövettä on energialaitosten määräysten takia hyvin rajallinen, ja sen vuoksi tukee tarkastella kriittisesti kustannuksien

säästöpotentiaalia, sillä lähes poikkeuksetta kaukolämpökeskus tulee uusina kokonaisuudessaan, jotta hybridikytkentä olisi mahdollinen.

4.4.2 Lämmityslaitteisto

Hybridilämmitys lämpöpumpuilla toteutetaan rinnakkaiskytkennällä siten, että lämmitysverkoston paluuvettä ei lämmitetä ennen kaukolämpösiirrintä (kuva 17).



Kuva 17. Kaukolämmön ja rinnakkaislämmönlähteen kytkentäperiaate [26].

Kaukolämpösiirrin tulee mitoittaa ulkoilman mitoituslämpötilan mukaisesti ja talvella kaukolämpö pysyy kiinteistön päälämmityslähteenä eikä vesivirtamaksuista saada kustannussäästöjä.

Kaukolämpö- ja lämmitysverkosto voidaan kytkeä siten, että kaukolämpösiirtimen ja lämmitysverkoston väliin asennetaan esimerkiksi kolmitieventtiili, joka säättää vesivirrankulkua, joko lämpöpumpulta suoraan tai sekoitettuna lämpöpumpun ja kaukolämpösiirtimen kautta tai kokonaan kaukolämpösiirtimeltä.

Koska kaukolämpösiirtimeltä ja lämpöpumpulta saatua vettä sekoitetaan haluttuun lämpötilaan, tulee kaukolämpösiirrin mitoittaa toimimaan korkeammassa lämpötilan asetusarvossa kuin verkoston säätökäyrä vaatisi, jotta kaukolämpösiirtimeltä tuleva ja siihen lämpöpumpulta sekoittuva viileämpi vesi menisi menoveden säätökäyrän asetusarvon mukaisena lämmitysverkostoon. [26.]

4.5 Jäähdytys

Jäähdytys ilmavesilämpöpumpuilla on myös mahdollista. Lämpöpumpun tulee tällöin toimia vastakkaisesti lämmitykseen nähden. Huonetilojen jäähdytykseen käytetään erillisiä vesikiertoisia katto- tai seinäpuhaltimia. [23.] Tällöin jäähdytysjärjestelmä tarvitsee erillisen jäähdytysputkiston, joka tulee olla hyvin eristetty veden kondensoitumisen takia. Kiinteistöä voidaan myös viilentää lattialämmityspiirin avulla eli niin kutsutulla lattiaviilennyksellä. Lattiaviilennyksessä tulee menoveden lämpötila olla kastepistettä korkeampi, jottei kondensoitumisen riskiä synny lattiarakenteisiin.

Ilmavesilämpöpumpulla jäähdyttäessä järjestelmää kutsutaan välilliseksi jäähdytysjärjestelmäksi, jossa kylmäaine ei kierrä huoneyksikölle. [24.] Tarvittava jäähdytysvesi tehdään joko suoraan jäähdytysverkoston kiertoon tai erilliseen varaajaan. Lämpöpumpun toiminnan kannalta pitää huomioida kompressorin tarpeeksi pitkä käyntiaika, joten erillinen varaaja on suositeltavaa.

4.6 Kondenssiveden poistaminen

Kondenssiveden poistaminen tulee hoitaa ilmavesilämpöpumpulta hyvin ja luotettavalla tavalla, siten ettei kondenssivesi pääse vaurioittamaan rakenteita [25, s. 27]. Kondenssiviemäri tulee tarpeen mukaan varustaa myös

sulanapitokaapelilla, jolloin varmistetaan viemärin esteetön toiminta. Ilmave-silämpöpumppujen ulkoyksiköistä kondensoituu sekä kerääntyy vettä, lämmön-keräimen sulatusten takia ja sitä voi kertyä yli 100 dm³ vuorokaudessa, joten sen pois johtaminen on erittäin tärkeää ja vaatii erityistä huomiota. Haasteellisin tilanne vesien poiston kannalta on, kun ulkoilman lämpötila on noin viidessä as-teessa. [15.]

5 Kohderakennus

Kohteen lähtötiedot

Opinnäytetyön esimerkkikohteena on olemassa oleva asuinkiinteistö pääkau-punkiseudulla (rakennustilavuus 1 300 m³), jonka energiankulutustietoja vuo-delta 2021 käytetään lämpöpumppujärjestelmien mitoituksen sekä elinkaari-laskelmien pohjana. Taulukkoon 6 on koottu kohderakennuksen energiankulutus- ja hintatietoja.

Taulukko 6. Kohteen energiankulutus- ja hintatiedot kuukausittain. Vuoden 2021 kaukolämmön kulutus oli 575 MWh.

Kuukausi	Kaukolämpö	Sähkö	Kaukolämmön energian kulutus
Tammikuu	87,33 €/MWh	200 €/MWh	82,33 MWh
Helmikuu	87,33 €/MWh	200 €/MWh	82,92 MWh
Maaliskuu	92,18 €/MWh	200 €/MWh	69,71 MWh
Huhtikuu	92,18 €/MWh	200 €/MWh	47,77 MWh
Toukokuu	45,77 €/MWh	200 €/MWh	31,46 MWh
Kesäkuu	45,77 €/MWh	200 €/MWh	13,40 MWh
Heinäkuu	45,77 €/MWh	200 €/MWh	10,68 MWh
Elokuu	45,77 €/MWh	200 €/MWh	17,74 MWh
Syyskuu	45,77 €/MWh	200 €/MWh	30,83 MWh
Lokakuu	82,62 €/MWh	200 €/MWh	40,00 MWh

Marraskuu	82,62 €/MWh	200 €/MWh	57,43 MWh
Joulukuu	82,62 €/MWh	200 €/MWh	90,68 MWh

Kiinteistön lämmönlähteenä toimii kaukolämpö. Kaukolämmön energiahinnat on katsottu Helen Oy:n Internet-sivustoon julkaisemasta hintatiedoista vuodelta 2022 ja sähkön hinnaksi valittiin vallitsevan sähköhinnan suuren vaihtelun vuoksi 200 € MWh.

Taulukko 7. Lämmitysverkoston mitoitustiedot.

Kaukolämmön lämmityssiirrin (kW)	260
Patteriverkoston mitoituslämpötilat (°C)	80 / 60
Lämmitysverkoston virtaama (dm³)	3,16
Mitoitusulkolämpötila (°C)	-26
Mitoituslämpötila asunnoissa (°C)	21

Taulukon 7 tiedoista voidaan huomata, että kiinteistön lämmitysverkoston mitoituslämpötilat eivät ole ihanteellisimmat lämpöpumppujärjestelmille menoveden korkeaan lämpötilan vuoksi.

Taulukko 8. Lämpimän käyttöveden mitoitustiedot.

Huoneistojen määrä (kpl)	50
Käyttövesisiirrin (kW)	320
Käyttöveden mitoitusvirtaama (dm³/s)	1,65
Lämmin käyttövesi (°C)	57
Lämminkäyttövesikierto (°C)	53
Lämminkäyttövesikierron teho (kW)	6,6
Kaukolämmön ensiövirtaama (dm³/s)	1,53

Käyttövesiverkoston mitoitustiedoista voidaan huomata (taulukko 8), että kiinteistön käyttöveden tuottaminen pelkällä lämpöpumpulla, joka tuottaa 55 °C:n lämpöistä vettä, ei kata kiinteistön käyttöveden tarvitsemaa lämpötilaa.

Taulukko 9. Poistoilman mitoitustiedot

Poistoilman tilavuusvirta 100 % (m³/s)	2,35
Poistoilman tilavuusvirta 50 % (m³/s)	1,81
Teho 100 % (kW)	46
Teho 50 % (kW)	35
Ulkoilman lämpötila, jossa ilmanvaihto puolitetaan (°C)	-11

Poistoilman mitoitustiedoista voidaan todeta, että ulkoilman ollessa –11 °C:ssa tippuu poistoilmapuhaltimen käynti puoliteholle.

6 LCC-laskelma

LCC-laskenta on elinkaarilaskentamenetelmä, jolla on hyvä tarkastella kiinteistöjen energiansäästöhankeiden kannattavuutta. LCC-laskelmassa elinkaarikustannuksien avulla vertaillaan eri lämmitysjärjestelmiä ja niiden ostettavan energian kustannuksia ja järjestelmän käytöstä sekä alkuinvestoinnista aiheutuvia kustannuksia. Luotettavat elinkaarilaskelmat tukevat kiinteistön omistajia tekemään investointipäätöksiä. [27, s. 10.]

Energiansäästöhankeiden tavoitteena on saada säästöä tehostamalla ostettavan energian määrää. Insinööriyössäni ostoenergiat ovat kaukolämpö sekä sähkö. Laskelmissa vertaillaan PILP-, maalämpö- sekä VILP-järjestelmiä hybridikytkentöinä kaukolämmön rinnalle sekä tilannetta, jossa halutaan irtautua kokonaan kaukolämmöstä käyttäen päälämmönlähteenä ilmavesilämpöpumppua sähkökattilan kanssa. Elinkaarilaskelmille valittiin 20 vuoden tarkastelu-aika.

Elinkaarilaskelmat ja lämpöpumppujärjestelmien energialaskelmat tehtiin Timo Torvisen Suomen Talokeskus Oy:lle tekemällään elinkaarilaskurilla.

6.1 Energiankulutus

Energiankulutustiedot olemassa olevasta kiinteistöstä ovat insinööriyön laskelmien perusteena. Kaukolämmön energiankulutustiedot on saatu kaukolämpötoimittajan kulutustiedoista kyseisestä kiinteistöstä. Ilmatieteenlaitoksen julkaiseman kuukausikohtaisen lämmitystarveluvun avulla saadaan arvioitua kiinteistön lämmitystehontarvetta.

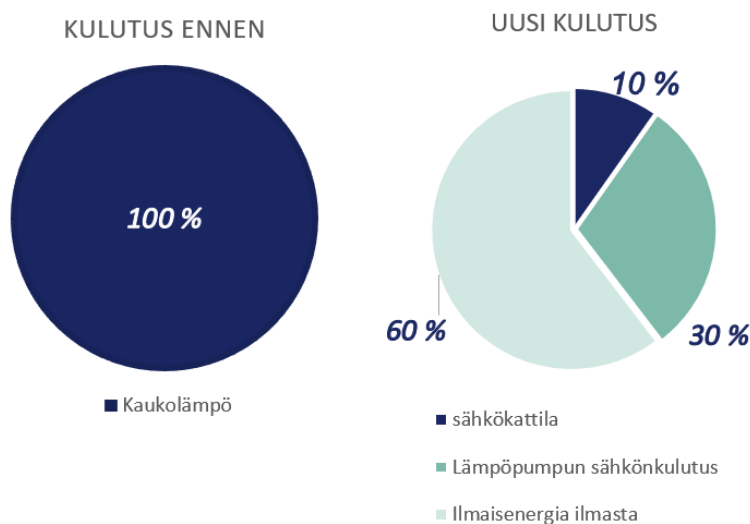
Toteutuneiden energiankulutustietojen mukaan saadaan kiinteistöstä Motivan kulutuksen normittamisen avulla laskettua vertailukelpoinen energiankulutuslaskelma vertailuvuodelle, joka tässä opinnäytetyössä on Ilmatieteen laitoksen julkaisema TRY2012, joka on energialaskennan testivuosi nykyilmastoon verrattuna. [28.]

Testivuoden TRY2012 keskilämpötilojen perusteella lasketaan lämpöpumppujen elinkaarilaskelmat, jolloin kaukolämmön kausihinnoittelu eri kuukausille voidaan ottaa tarkemmin laskelmissa huomioon [29].

6.2 VILP ja sähkökattila

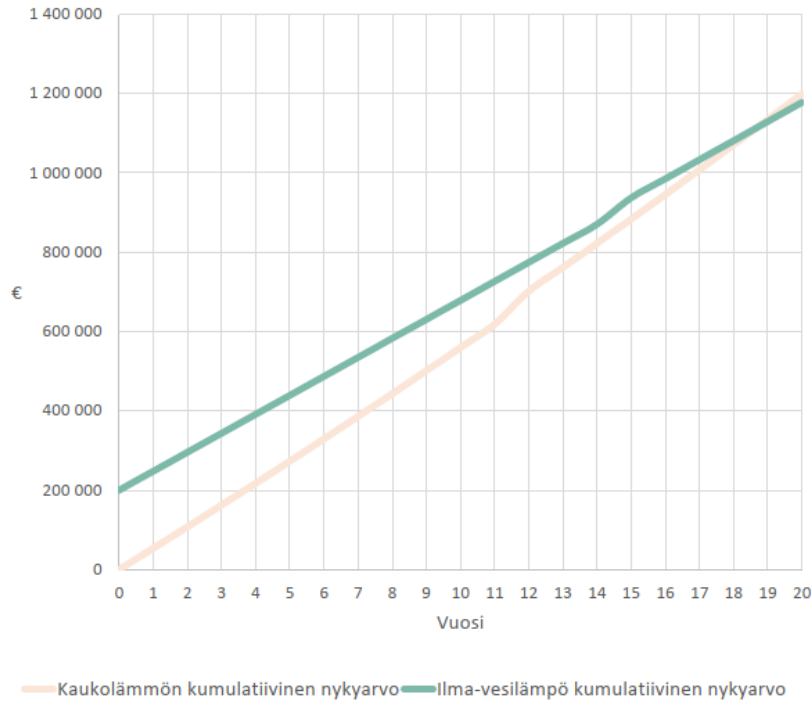
Ilmavesilämpöpumpun mitoitus on tehty Oilon Oy:n RE 210 SU HC -lämpöpumpulle. Lämpöpumpun mitoitustiedot on saatu Oilon Selection Tool -ohjelmistosta.

Kaukolämpöenergian kulutukseksi testivuodelle saatiin laskurilla 665 MWh/v (vuoden 2021 kaukolämpöenergian kulutus oli 575 MWh). Ilmavesilämpöpöjärjestelmän energiankulutus tarkastelujaksolle oli 263 MWh/v. Lämpöpumpun sähkönkulutus oli 198 MWh ja sähkökattilan osuus 65 MWh (kuva 18).



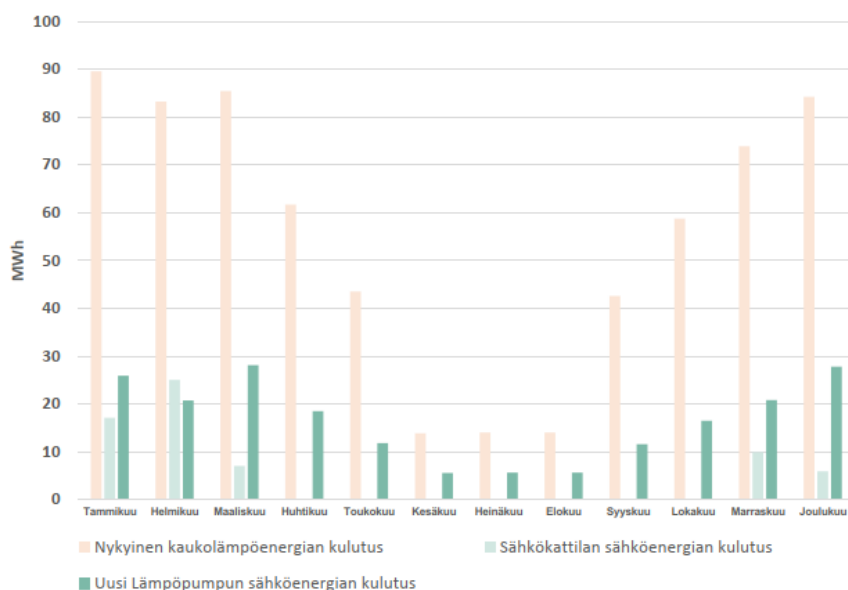
Kuva 18. Kulutusjakauma.

Investointikustannuksien ilmavesilämpöpumpujärjestelmälle arvioitiin olevan 200 000 € sisältäen laitehankinnat, varaajat, sähkökattilan sekä asennuksen. Laskelmiin on arvioitu huoltokustannusten olevan 1 500 € vuodessa sekä kompressoreiden kunnostustarve 15 vuoden kohdalla, jonka kustannusten arvioitiin olevan 15 000 €. Reaalikorkoprosentti laskelmissa on 2 %, kaukolämpöenergian korko on 3 % ja sähköenergian hinnan 2 %.



Kuva 19. Ilmalämpöpumpun kumulatiivinen takaisinmaksuaika.

Ilmalämpöpumpun ensimmäisen vuoden energiansäästöksi saatiin 402 MWh. Kaukolämmön ostoenergian hintaan verrattuna uusi järjestelmä säästi 6 000 € ensimmäisenä vuonna. Ilmalämpöpumpun laskennalliseksi takaisinmaksuajaksi saatiin 18 vuotta ja kokonaissäästöä 20 vuoden ajalle tuli 21 200 €. Laskelmista voidaan havaita (kuva 19), ettei ilmavesilämpöpumppu sähkökattilan kanssa tuo haluttua säästöä ostoenergian suhteen kyseisessä kiinteistössä laskelmien mukaisilla energiahinnoilla.



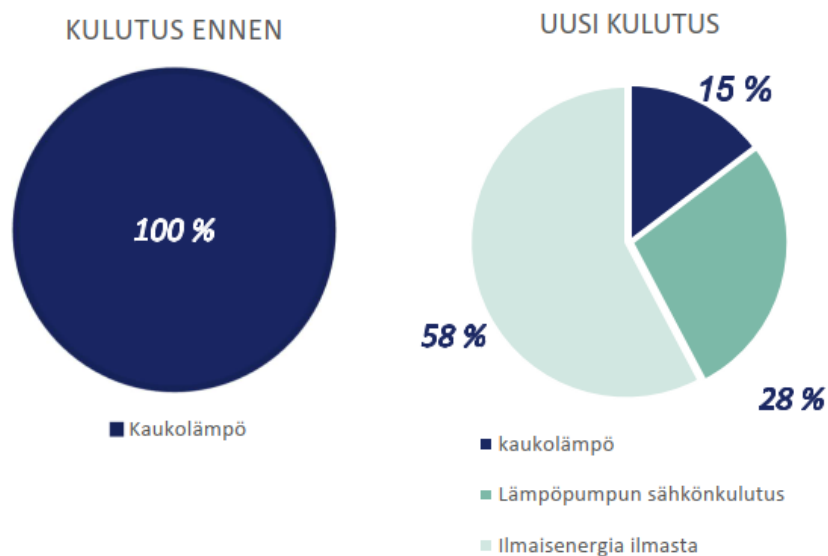
Kuva 20. Energiankulutuksen muutos kuukausittain MWh.

Laskemista voidaan todeta (kuva 20), että ilmavesilämpöjärjestelmä vähentää kiinteistön energiankulutusta vuositasolla. Vaikka kiinteistön lämmityksen energiankulutusta saadaan ilmavesilämpöpumppujärjestelmällä laskettua, on sähkön hinta merkittävästi kalliimpaa kuin kaukolämpö, joten investointi ei käytetyillä koroilla ja hinnoilla ole kannattava.

6.3 Hybridi-ilmavesilämpöpumppu

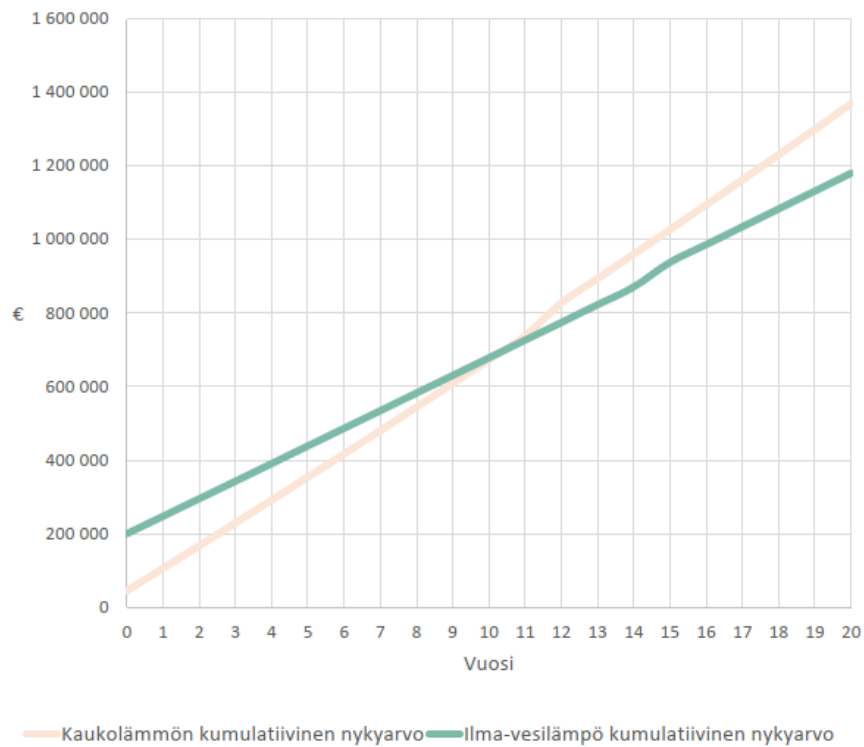
Ilmavesilämpöhybridi-laskelmassa lämpöpumpun mitoitus on tehty Oilon Oy:n RE210 SU HC -lämpöpumpulle. Lämpöpumpun mitoitustiedot on saatu Oilon Selection Tool -ohjelmistosta.

Kaukolämpöenergian kulutukseksi testivuonna saatiin laskurilla 665 MWh/v (vuoden 2021 kaukolämpöenergian kulutus oli 575 MWh). Ilmavesilämpöhybridijärjestelmän energiankulutus tarkastelujaksolle oli 281 MWh/v. Lämpöpumpun sähkönkulutus oli 183 MWh ja kaukolämmön osuus 98 MWh (kuva 21).



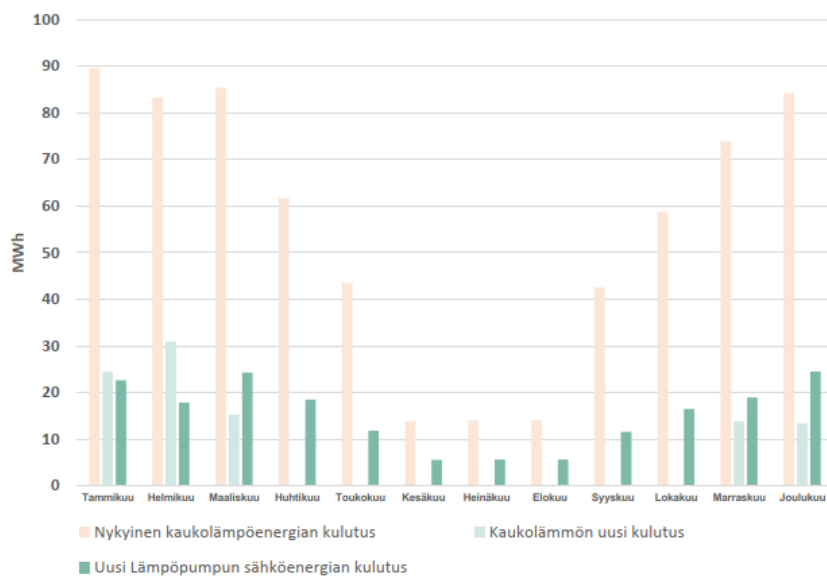
Kuva 21. Kulutusjakauma.

Investointikustannukset ilmavesilämpöpumpputjärjestelmälle arvioitiin olevan 200 000 € sisältäen laitehankinnat, varaajan sekä asennuksen. Lisäksi kaukolämpökeskuksen uusimishinnaksi arvioitiin 45 000 €. Laskelmiin on arvioitu huoltokustannusten olevan 1 500 € vuodessa sekä kompressoreiden kunnostustarve 15 vuoden kohdalla, jonka kustannusten arvioitiin olevan 15 000 €. Reaalikorkoprosentti laskelmissa on 2 %, kaukolämpöenergian korko on 3 % ja sähköenergian hinnan 2 %.



Kuva 22. Ilmalämpöpumppuhybridijärjestelmän kumulatiivinen takaisinmaksuaika.

Ilmalämpöpumppuhybridijärjestelmän ensimmäisen vuoden energiansäästöksi saatiin 384 MWh. Kaukolämmön ostoenergian hintaan verrattuna uusi järjestelmä säästi 13 806 € ensimmäisenä vuonna. Ilmalämpöpumppuhybridijärjestelmän laskennalliseksi takaisinmaksuajaksi saatiin 10 vuotta ja kokonaissäästöä 20 vuoden ajalle tuli 188 680 €. Laskelmista voidaan päätellä (kuva 22), että ilma-vesilämpöpumppuhybridijärjestelmä näyttää kannattavalta käytetyillä ko- roilla, energianhinnoilla ja arvioiduilla investointikustannuksilla.



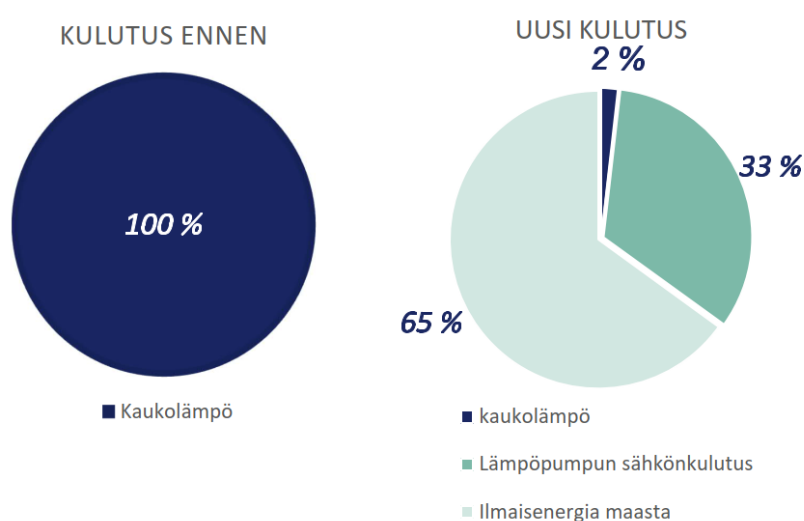
Kuva 23. Energiankulutuksen muutos kuukausittain MWh.

Elinkaarilaskelmien perusteella ilma-vesilämpöhybridijärjestelmä kannattavuus energiansäästön kannalta on lupaava (kuva 23). Energiankulutusta saadaan tehostettua sekä hiilidioksidipäästöjä saadaan tiputettua. Motivan mukaan kaukolämmön keskimääräinen päästökerroin hiilidioksidipäästöille oli vuonna 2018–2020 keskiarvolla 177 kg CO₂/MWh. Sähkölle Motiva antaa vastaavaksi päästökertoimeksi 89 kg CO₂/MWh.

6.4 Hybridimaalämpö

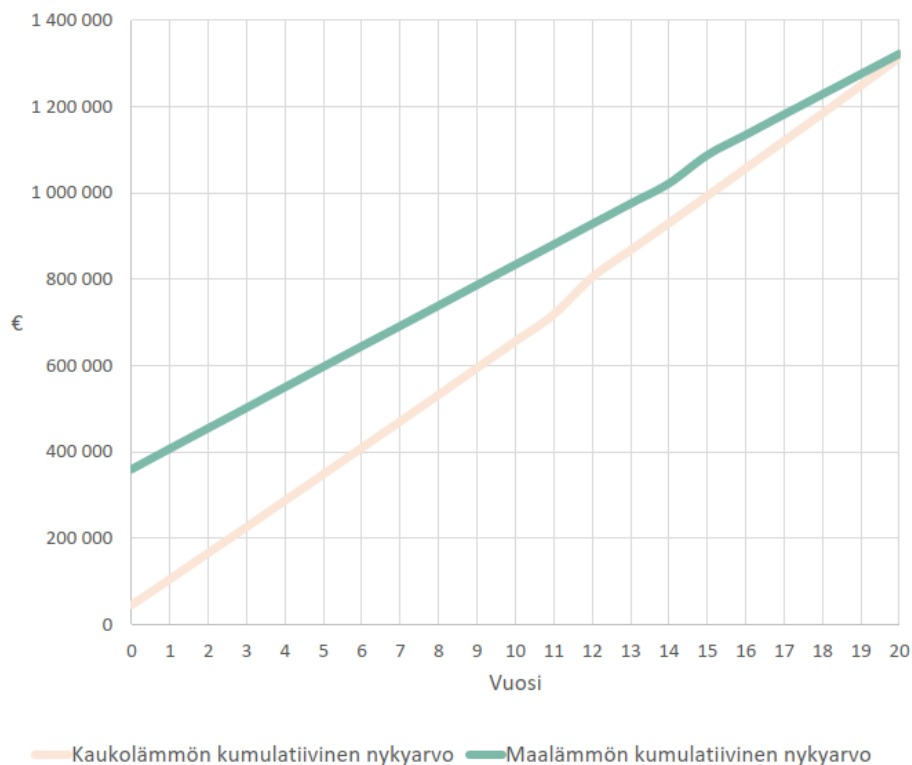
Maalämpöhybridilaskelmassa maalämmön mitoitus on tehty Gebwell Taurus 110 -lämpöpumpulle. Lämpöpumpun mitoitustiedot on saatu laitevalmistajalta.

Kaukolämpöenergian kulutukseksi testivuonna saatiin laskurilla 665 MWh/v (vuoden 2021 kaukolämpöenergian kulutus oli 575 MWh). Maalämpöhybridijärjestelmän energiankulutus tarkastelujaksolle oli 232 MWh/v. Lämpöpumpun sähkönkulutus oli 220 MWh ja kaukolämmön osuus 12 MWh (kuva 24).



Kuva 24. Kulutusjakauma.

Investointikustannukset maalämpöhybridijärjestelmälle arvioitiin olevan 360 000 € sisältäen laitehankinnat, varaajan sekä asennuksen. Lisäksi kaukolämpökeskuksen uusimishinnaksi arvioitiin 45 000 €. Laskelmiin on arvioitu huoltokustannusten olevan 1 500 € vuodessa sekä kompressoreiden kunnostustarve 15 vuoden kohdalla, jonka kustannusten arvioitiin olevan 15 000 €. Reaalikorkoprosentti laskelmissa on 2 %, kaukolämpöenergian korko on 3 % ja sähköenergian hinnan 2 %.



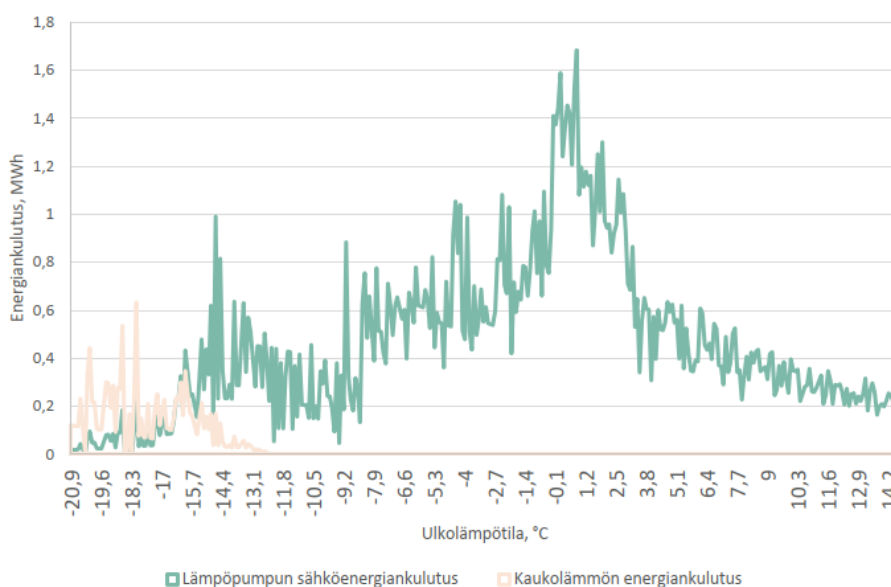
Kuva 25. Maalämpöhybridijärjestelmän kumulatiivinen takaisinmaksuaika.

Maalämpöhybridijärjestelmän ensimmäisen vuoden energiansäästöksi saatiin 432 MWh. Kaukolämmön ostoenergiaan verrattuna uusi järjestelmä säästi 13 200 € ensimmäisenä vuonna. Maalämpöhybridijärjestelmän laskennalliseen takaisinmaksuaikaan ei riittänyt 20 vuoden tarkastelujakso (kuva 25). Investointi tuotti 20 vuoden tarkasteluaajalla 9 200 € tappiota. Maalämpöjärjestelmän investointikustannuksia nostaa merkittävästi energiakaivokenttä. Tässä elinkaarikustannuslaskelmassa käytettiin energiakaivojen yhteenlaskettuna syvyytenä 3,1 km.



Kuva 26. Energiankulutuksen muutos kuukausittain MWh.

Laskelmista voidaan todeta (kuva 26), että kiinteistön kokonaisenergiankulutus on vähentynyt merkittävästi ja kaukolämmön uusi kulutus nykyiseen kulutukseen verrattuna olisi vain murto-osa alkuperäisestä kulutuksesta.



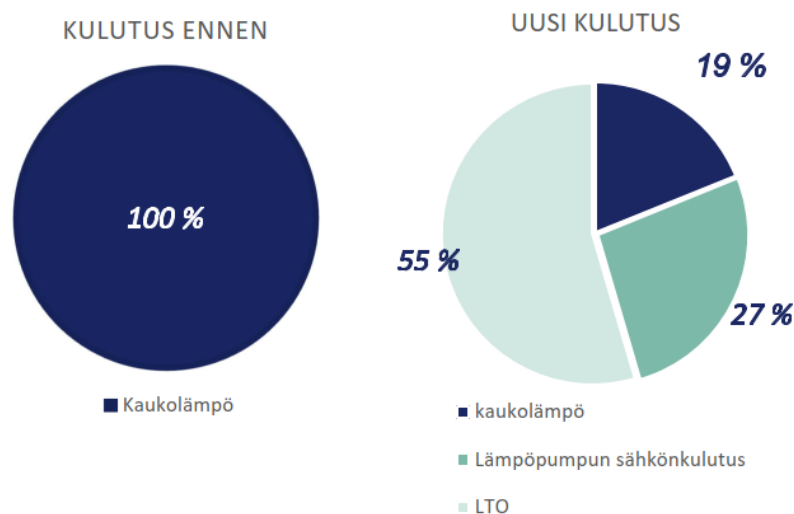
Kuva 27. Maalämpöpumpun sekä kaukolämmön energiankulutus eri ulkoilman lämpötiloilla lämmityskaudella.

Laskemista voidaan todeta maalämmön pystyvän kattamaan kiinteistön lämmitystehontarpeen $-11,9\text{ °C}$:seen saakka, minkä jälkeen tarvitaan kaukolämpöä lisälämmönlähteeksi (kuva 27). Energiakaivokentän mitoitus on tehty siten, että energiakaivokentästä saadulla ergialla pystytään kattamaan noin 70 % kiinteistön lämmitystehontarpeesta.

6.5 Hybridipoistoilmalämpöpumppu

PILP-hybridilaskelmassa lämpöpumpun mitoitus on tehty Gebwell Taurus 110 -lämpöpumpulle. Lämpöpumpun mitoitustiedot on saatu laitevalmistajalta.

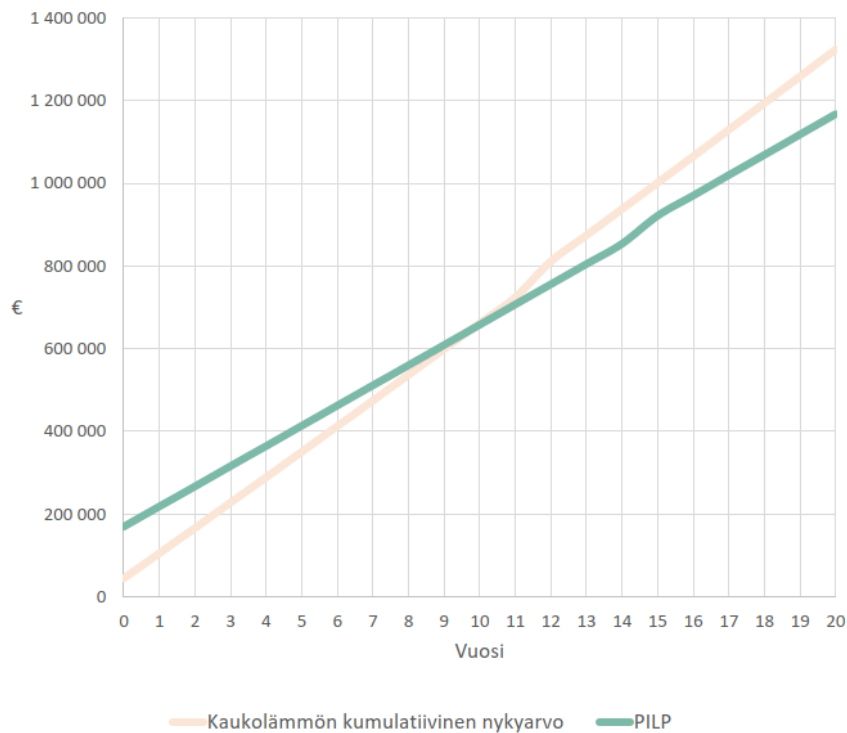
Kaukolämpöenergian kulutukseksi testivuodelle saatiin laskurilla 665 MWh/v. PILP-hybridijärjestelmän energiankulutus tarkastelujaksolle oli 302 MWh/v. Lämpöpumpun sähkönkulutus oli 177 MWh ja kaukolämmön osuus 125 MWh (kuva 28).



Kuva 28. Kulutusjakauma.

Investointikustannukset PILP-järjestelmälle arvioitiin olevan 170 000 € sisältäen laitehankinnat, varaajan sekä asennuksen. Kaukolämpökeskuksen uusimishinnaksi arvioitiin 45 000 €. Laskelmiin on arvioitu huoltokustannusten olevan 1 500 € vuodessa sekä kompressoreiden kunnostustarve 15 vuoden

kohdalla, jonka kustannustarve arvioitiin olevan 15 000 €. Reaalikorkoprosentti laskelmissa on 2 %. Kaukolämpöenergian korko on 3 % ja sähkön hinnan 2 %.



Kuva 29. PILP-hybridijärjestelmän kumulatiivinen takaisinmaksuaika.

PILP-hybridijärjestelmän ensimmäisen vuoden energiansäästöksi saatiin 363 MWh. Kaukolämmön ostoenergian hintaan verrattuna uusi järjestelmä säästi 12 700 € ensimmäisenä vuonna. PILP-hybridijärjestelmän laskennalliseksi takaisinmaksuajaksi saatiin yhdeksän vuotta ja kokonaissäästöä 20 vuoden ajalle tuli 156 200 € (kuva 29). Laskelmista voidaan päätellä PILP-hybridijärjestelmän näyttävän kannattavalta investoinnilta käytetyillä energian hinnoilla, koroilla ja arvioiduilla investointi- ja huoltokustannuksilla.

7 Yhteenveto

Insinööriyössä selvitettiin ilmavesilämpöpumppujen hyödyntämistä suurempien kiinteistöjen energiansäästöhankeissa. Tarkoituksena oli ensin kartoittaa markkinoilla yleisesti saatavilla olevia ilmavesilämpöpumppumalleja sekä valmistajia.

Insinööriyöhön valikoitui viisi eri laitevalmistajaa. Laitevalmistajien ja lämpöpumpumallien selvitystyötä tehdessä huomasin, että yleisesti saatavilla olevista esitteistä ei saanut luotettavia tietoja, joilla olisi pystynyt tekemään riittäviä tarkasteluja. Joillakin laitevalmistajilla esitteet olivat lähinnä mainosajatuksella laadittuja, pyrkien luomaan parempaa kuvaa hyvästä hyötysuhteesta. Työnedeessä törmäsin haasteeseen saada lämpöpumppuvalmistajilta tarkempia teknisiä tietoja. Positiivisena poikkeuksena oli kuitenkin Oilon Oy:n huoltopäällikkö Tuomas Toivonen, jolta sain mitoituskvinkkejä sekä myös Oilonin valintaohjelman käyttöön, joiden avulla pystyin tekemään luotettavia tarkasteluita eri ulkolämpötilan suhteen.

Tulin siihen päätelmään, että ilmavesilämpöpumppuja voidaan hyödyntää energiansäästöä tavoittelevissa hankkeissa siten, että ilmavesilämpöpumppuja käytetään kaukolämmön rinnalla. Insinööriyön tekohetkellä sähköenergian hinta oli ennätyskorkealla sekä hinnan vaihtelut olivat suuria. Kaukolämpöyhtiöiden välillä on myös merkittäviä hintaeroja, jotka vaikuttavat hybridilämpöpumppujärjestelmien kannattavuuteen.

Lämpöpumppujärjestelmien mitoitukseen sekä suunnitteluun ei ole käytössä samanlaisia määräyksiä ja ohjeistuksia kuten kaukolämmössä, pois lukien kaukolämmön rinnalle asennettavat hybridikytkennät, joten mitoitus ja suunnittelun perusteet voivat poiketa hyvinkin laajasti ja eri järjestelmien vertailusta tulee vaikeaa. Huonosti toimivan tai yli mitoitettun lämpöpumppujärjestelmän säästöt voivat sulaa nopeasti ja investoinnin hyödyt jäävät saamatta.

Yleisesti lämpöpumpputekniikan hyödyntämistä energiansäästöä tavoittelevissa hankkeissa näen hyvänä mahdollisuutena. Lämpöpumpuilla saadaan tiputettua merkittävästi hiilidioksidipäästöjä. Lämpöpumpputekniikka voikin olla merkittävässä roolissa Suomen kunniahimoisen tavoitteen kanssa olla hiilineutraali vuonna 2035.

Lähteet

- 1 Kaappola, Esko; Hirvelä, Aulis; Jokela, Matti; Kianta, Jani. 2021. Kylmätekniikan perusteet. Helsinki: Opetushallitus
- 2 Lämpöpumput. 2020. Verkkoaineisto. Motiva Oy. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput Päivitetty 6.8.2020. Luettu 30.7.2022.
- 3 Seuna, Sami. 2019. Lämpöpumput ja hybridiratkaisut. Verkkoaineisto. Motiva Oy.
- 4 Bosch ilmavesilämpöpumpun ostajan opas. Robert Bosch Oy
- 5 Poistoilmalämpöpumppu. 2020. Lämpöpumput. Verkkoaineisto. Motiva Oy. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat/poistoilmalampopumppu Päivitetty 6.8.2020. Luettu 3.9.2022.
- 6 Lämpöä omasta maasta. 2008. Suomen lämpöpumppuyhdistys. Sulpu. Helsinki. Motiva Oy.
- 7 Maalämpöpumput kiinteistöjärjestelmät. 2018. LVI 11-10627. RT-kortisto. Rakennustieto Oy.
- 8 Energiakaivo. Ympäristöopas. 2013. Edita Prima Oy. Helsinki. Ympäristöministeriö
- 9 PILP-opas. 2018. Ympäristöministeriö.
- 10 Virta, Jari; Pylsy, Petri. 2011. Taloyhtiön energiakirja. Helsinki. SITRA
- 11 Jäspi Basic-Split-kiinteistö, tuotekortti. Kaukora Oy
- 12 12 NIBE F2120, tuotekortti. NIBE Energy Systems Oy
- 13 On olemassa vain yksi Mitsubishi Electric. Verkkoaineisto. Scanoffice Oy. <https://www.scanoffice.fi/on-olemassa-vain-yksi-mitsubishi-electric> Luettu 17.9.2022
- 14 Mitsubishi Electric. Kiinteistölämpöpumppu CAHV P500. Esite. Scanoffice Oy.

- 15 Toivonen, Tuomas. 2022. Huoltopäällikkö Oilon Oy keskustelu 27.09.2022.
- 16 Oilon Oy:n historia. Verkkoaineisto. Oilon Oy. <https://oilon.com/fi/oilonin-historia/> Luettu 1.10.2022.
- 17 Teollisuuslämpöpumput ja vedenjäähdyttimet. Chillheat esite. Oilon Oy.
- 18 Oilon Selection Tool. Mitoitusohjelma. Oilon Oy
- 19 Tietoja Swegonista. Verkkoaineisto. <https://www.swegon.com/fi/tietoja-swegonista/> Luettu 11.10.2022
- 20 BlueBox Zeta Rev HP XT, tekninen esite. 21.09.2021. Swegon Group AB.
- 21 Maalämpöpumput. Kiinteistöjärjestelmät. 2018. RT-LVI-11-10623. Rakennustieto Oy.
- 22 Rakennusten kaukolämmitys, määräykset ja ohjeet K1/2021. Energiateollisuus.
- 23 Cool-in. NIBE esite. NIBE Energy System Oy
- 24 Kaappola, Esko; Hakala, Pertti. 2013. Kylmlaitoksen suunnittelu. Helsinki. Opetushallitus.
- 25 Kiinteistöjen vesi- ja viemäri-laitteistot. Määräykset ja ohjeet. 2007. Suomen Rakentamismääräyskokoelma, osa D1. Helsinki. Ympäristöministeriö
- 26 Helenin ohje hybridikytkennästä asiakkaan kaukolämpölaitteiston rinnalle. 30.11.2021. Verkkoaineisto. Helen Oy.
- 27 Pulakka, Sakari; Heimonen, Ismo. VTT. Junnonen, Juha-Matti; Vuolle, Mika. TKK. 2007. Talotekniikan elinkaarikustannukset. Espoo. VTT.
- 28 Kulutuksen normitus, laskentakaavat ja -ohjeet. 2016. Verkkoaineisto. Motiva Oy. https://www.motiva.fi/files/16105/Motiva_Kulutuksennormitus_laskentakaavat-jaohjeet_12-2016.pdf Luettu 8.12.2022.
- 29 Torvinen, Timo. 2021. Lämpöpumppulämmityksen energia- ja kustannustehokkuuden laskenta asuin-kiinteistöissä. Insinööri-työ (YAMK). Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.