



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Mika Savola

# Hybridilämmitysjärjestelmien säästöjen toteutuminen As Oy -kokoluokassa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

3.6.2021

Tekijä Otsikko	Mika Savola Hybridilämmitysjärjestelmien säästöjen toteutuminen As Oy -kokoluokassa
Sivumäärä Aika	50 sivua + 1 liitettä 3.6.2021
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Ammatillinen pääaine	LVI-suunnittelu
Ohjaajat	Lehtori Sergio Rossi Vanhempi asiantuntija Martti Pennanen
<p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää hybridilämmitysjärjestelmien säästöjen toteutumisen kannalta kriittiset kohdat As Oy -kokoluokan kiinteistöissä eli tyypillisesti rivi- ja kerrostaloissa.</p> <p>Työ toteutettiin selvittämällä kiinteistöjen lämmitysenergian kulutus sekä jakauma eri lämmitysmuotoihin ja lämmöntuottotapoihin. Työssä kuvattiin myös lämpöpumppujen toiminta sekä kylmäaineen kierto. Työssä tutkittiin lisäksi eri lämmönlähteitä.</p> <p>Työssä esiteltiin kolme eri investointilaskelmaa sekä vertailtiin niiden sopivuutta hybridi investointien kannattavuuslaskelmiksi.</p> <p>Hybridilämmitysjärjestelmään tutkittiin lähemmin kahden kohteen osalta. Kohteet olivat asuinkerrostalo Espoossa sekä rivitalo Lohjalla. Espoon kohteessa kiinteistön lämmöntuotto tapahtuu kaukolämmön ja poistoilmalämpöpumpun avulla. Lohjan kohteessa maalämpöpumpun ja sähkökattilan avulla.</p> <p>Työn merkittävin huomio oli sähkön hinnan vaikutus investoinnin kannattavuuteen. Huomattiin myös, ettei kaukolämmön rinnalle ole taloudellisesti järkevää asentaa lämpöpumpputekniikka.</p> <p>Työstä on hyötyä suurten kiinteistöjen hybridilämmitysjärjestelmien investointeja suunnitteleville taloyhtiöille sekä myös suunnittelua tekeville ja ratkaisuja myyville tahoille.</p>	
Avainsanat	hybridi, lämpöpumppu, kannattavuus, asunto-osakeyhtiö

Author Title	Mika Savola Realization of Savings in Hybrid Heating Systems Condominium -size Buildings
Number of Pages Date	50 pages + 1 appendix 3 June 2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Professional Major	HVAC Design
Instructors	Sergio Rossi, Senior Lecture Martti Pennanen, Senior Advisor
<p>The purpose of the thesis was to establish the critical points for the realization of the savings of hybrid heating systems in terraced and apartment buildings.</p> <p>First, the heating technology of buildings was studied and the most common calculation formulas for it were presented. Second, the amount and distribution of energy consumption in buildings together with heating forms were studied. The information was collected from Statistics Finland.</p> <p>Next, hybrid heating systems, heat pump technology and its various heat sources were introduced. Furthermore, refrigerant circulation, a substantial part of heat pumps, was presented using a log p,h -drawing. As different heat sources have different possibilities to provide thermal energy to a property, they and their possibilities were reviewed.</p> <p>As the possible investment would be significant, careful profitability calculations were carried out. From the profitability calculations, the most typical and most significant variables in terms of profitability were presented.</p> <p>The realization of savings was examined with three hybrid system sites, two with district heating and exhaust air recovery with a heat pump, one closer to geothermal implementation than hybrid, although it has an electric boiler as a heating assistant.</p> <p>Finally, the risks and conclusions of hybrid heating systems were presented.</p>	
Keywords	hybrid, heat pump, economical, condominium

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Rakennusten lämmitys ja lämmitystekniikka	2
2.1	Tilojen lämmitys ja lämmitystavat	3
2.1.1	Lämmityspatterit	3
2.1.2	Lattialämmitys	3
2.2	Käyttöveden lämmitys	4
2.3	Käyttöveden kierto	4
2.4	Lämmityksen yleisimmät laskukaavat	5
3	Asuinrakennusten energialähteet kulutuksittain	8
4	Hybridijärjestelmät	10
4.1	Lämpöpumput	11
4.1.1	Lämpöpumppuprosessin vaiheet	13
4.1.2	Lämpökerroin, COP	14
4.2	Lämpöpumpun lämmönlähde	15
4.2.1	Energiakaivo	15
4.2.2	Poistoilma	21
4.3	Kaukolämpö	23
4.4	Muut lämmitysjärjestelmät	25
5	Kannattavuuslaskelmat	26
5.1	Energian hinnat	27
5.1.1	Kaukolämmön hinta	27
5.1.2	Sähkön hinta	28
5.2	Takaisinmaksuajan menetelmä	29
5.3	Sisäisen korkokannan menetelmä	30
5.4	Nykyarvomenetelmä	30
6	Toteutuneet kohteet	31
6.1	1970-luvun asuinkerrostalo, Espoo	32

6.1.1	Lämmitysjärjestelmän mitoitus	32
6.1.2	Järjestelmä kuvaus	32
6.1.3	Kannattavuustarkastelu	33
6.1.4	Havaitut ongelmat	33
6.1.5	Ongelmien korjaus	38
6.1.6	Järjestelmän hyödyt	38
6.2	1980-luvun lopun, asuinrivitalo, Lohja	39
6.2.1	Lämmitysjärjestelmän mitoitus	40
6.2.2	Kannattavuusselvitys	41
6.2.3	Järjestelmän kuvaus ja mitoitus	42
6.2.4	Havaitut ongelmat	44
6.2.5	Järjestelmän hyödyt	44
7	Hybridijärjestelmien säästöjen kannalta huomattavat asiat	46
7.1	Alkusuunnittelu	47
7.2	Järjestelmän määrittely	47
7.3	Tontti ja maaperä	47
7.4	Kannattavuusselvitys	48
7.5	Energiakaivot	48
7.6	Poistoilma	49
7.7	Ulkoilma	49
7.8	Kaukolämpömääräykset	49
8	Yhteenveto	50
	Lähteet	52
	Liitteet	
	Liite 1. Säättökaavio, Asuinkerrostalo, Espoo	

## Lyhenteet

hybridi	Kahden tai useamman järjestelmän yhdistäminen.
LTO	Lämmöntalteenotto. Kiinteistötekniikassa laite, kiinteistöstä poistuva lämpöenergia otetaan takaisin kiinteistön käyttöön. Yleensä laite on osana koneellista ilmanvaihtoa.
LP	Lämpöpumppu. Laite, jonka avulla voidaan matalammasta lämpötilasta siirtää energiaa korkeampaan lämpötilaan.
IVLP	Ilma-vesi lämpöpumppu. Lämpöpumppu, jolla ulkoilmassa oleva energia siirretään veteen lämpöpumpun avulla.
PILP	Poistoilmalämpöpumppu. Lämpöpumppu, jolla poistoilmassa oleva energia siirretään veteen lämpöpumpun avulla.
Tate	Talotekniikka. Tarkoitetaan lämmitys-, vesi-, viemäri-, ilmanvaihto- (ilmastointi), sähkö- ja automaatiotekniikkaa ja järjestelmiä. Myös kiinteistön jäähditys voidaan katsoa kuuluvan talotekniikkaan.
COP	Coefficient Of Performance. Lämpökerroin, joka kertoo lämpöpumpun tehokkuuden tietyissä toimintaolosuhteissa.
SCOP	Seasonal Coefficient Of Performance. Lämpökerroin, joka kertoo lämpöpumpun tuotetun ja kulutetun energian keskimääräisen suhteen vuoden ajalta. SCOP määritetään standardin SFS EN-14825 mukaan.
NPV	Net Present Value. Nykyarvomenetelmä, Kannattavuuslaskentamenetelmä, jossa tulot ja menot siirretään investoinnin alkuketkeen eli diskontataan.

## 1 Johdanto

Työn tilaajana toimii Awillas Oy. Awillas on LVI-insinööri- ja asiantuntijatoimisto, joka työllistää lisäksi viisi henkilöä. Awillaksen toimisto on Espoossa ja asiakkaat pääosin Uudellamaalla, toimialueena koko Suomi. Awillas toimii erittäin monipuolisesti kiinteistöjen talotekniikan sekä ylläpidon ohjauksen parissa. Toimintaan kuuluu kiinteistöjen talotekniikan suunnittelun, taloteknisten korjausten, saneerausten ja uudistuotannon valvonta, kiinteistön ylläpidon kilpailutus sekä huoltokirjojen laadinta. Olen ollut yrityksen palveluksessa vuodesta 2017 saakka.

Lämmitysjärjestelmien saneerauksella tarkoitetaan tässä työssä uusiutuvan energian ottamista osaksi kiinteistön lämmitysenergian tuottoon. Saneerausten suunnittelun ja toteutuksen yhteydessä on havaittu, lähtötietojen vaikutuksella olevan suuret merkitykset saneerauksen kannattavuuteen. Etenkin As Oy -kohteissa, joissa kiinteistön omistajana on sijoitusyhtiö, on saneerausten oltava kannattavia alle 10 vuoden tarkastelussa.

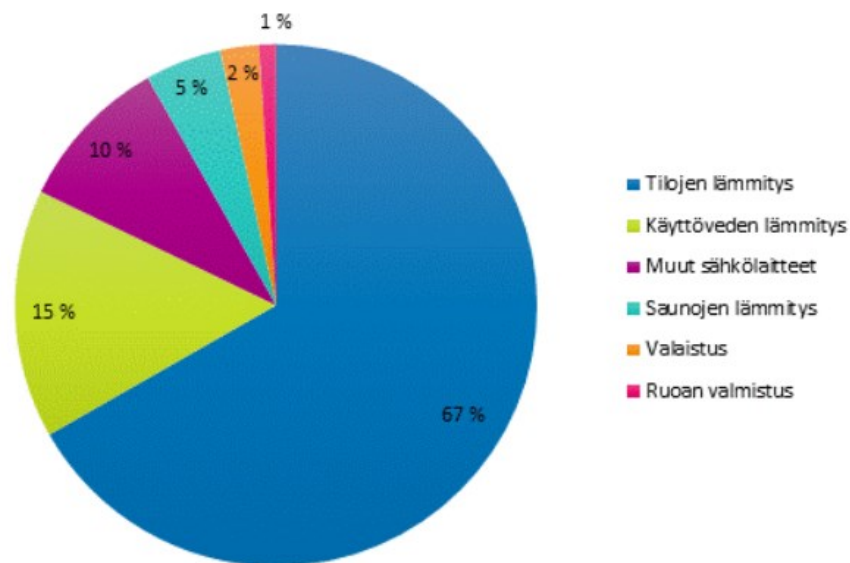
Lämmitysjärjestelmien saneerausten valvonnoissa on havaittu, ettei toteutus aina vastaa suunniteltua. Vaikka teknisen toteutuksen voidaan katsoa olevan suunnitellun mukainen, havaitaan, ettei järjestelmän toiminta kuitenkaan tavoitteellista tasoa.

Tämän työn tarkoituksena on nostaa esiin hybridilämmitysjärjestelmien saneerausten lähtötietojen merkittävyys sekä tuoda esiin kohdat, jotka ovat merkittäviä toteutuneiden kustannussäästöjen toteutumisessa.

Lisäksi tässä työssä verrataan NPV-laskentamenetelmällä laskettua kannattavuuslaskelmaa toteutuneeseen.

## 2 Rakennusten lämmitys ja lämmitystekniikka

Rakennusten lämmityksellä pyritään ylläpitämään viihtyisät sekä terveelliset lämpöolot [1, s. 1]. Rakennusten lämmitysenergian tarpeella tarkoitetaan edellä mainittujen lämpö- ja sisäilmasto-olosuhteiden sekä lämpimän käyttöveden lämmittämiseksi tarvittavaa energiamäärää. Tilojen, ilmanvaihdon ja lämpimän käyttöveden lämmitykseen käytettyä energiaa kutsutaan lämmitysenergian nettotarpeeksi. Nettotarpeesta on vähennetty sisäiset lämpökuormat (ihmiset ja sähkölaitteet), auringon lämpövaikutus sekä lämmöntalteenotto ja mahdolliset muut energiavirrat. [2, s. 2.]



Kuva 1. Asumisen energiankulutus käyttökohteittain 2019 [3].

Kuvasta 1 voidaan nähdä, että tilojen sekä käyttöveden lämmityksen energiankulutus on 82 % asumisen energiankulutuksesta. Tilojen lämmityksen energiankulutus on tästä merkittävän suuri. Panostamalla tilojen ja käyttöveden lämmitykseen voidaan energiankulutuksessa saavuttaa merkittäviä säästöjä. Säästöt energiankulutuksessa ovat säästöjä myös asumistaloudessa.



## 2.1 Tilojen lämmitys ja lämmitystavat

Tilojen lämmityksellä korvataan se lämpöenergiähäviö, joka syntyy johtumis- ja vuotoilman lämpöhäviöistä sekä korvausilman ja ilmanvaihdon aiheuttaman kylmän ilman lämmittämisestä. [2, s. 2.]

Tässä työssä keskitytään tilanteisiin, jossa tilojen lämmitys tapahtuu vesikiertoisen lämmityksen avulla. Vesikiertoisessa lämmityksessä lämpö siirretään rakennuksen eri osiin veden avulla. Vedessä oleva lämpö luovutetaan tiloissa joko lämmityspattereiden tai lattialämmityksen avulla. [4]

### 2.1.1 Lämmityspatterit

Vesikiertoisen patterilämmityksen lämmönlähteiksi soveltuvat monet eri tavat. Lämmöntuottotapoja ovat öljy- ja maakaasukattilat, kaukolämpösiirtimet, lämpöpumput, kiinteän polttoaineen kattilat ja sähkölämmitys sekä näiden yhdistelmät eli hybridiratkaisut. Vesikiertoisen patterilämmityksessä lämmönlähde on suhteellisen helppo vaihtaa. [5]

Patterilämmityksen mitoituslämpötilat eli meno- ja paluuveden lämpötilat mitoituslämpötilassa ovat tyypillisesti 70/40 [5, taulukko 2]. Uudisrakennuksissa, joissa lämmönlähteenä on kaukolämpö, pyritään mitoituslämpötilat valitsemaan niin että lämpöhäviöt olisivat mahdollisimman pienet valitsemalla mitoituslämpötiloiksi 60/30 [20, taulukko B].

### 2.1.2 Lattialämmitys

Vesikiertoisen lattialämmityksen lämmönlähteiksi sopivat samat kuin patterilämmitykseen. Kuten patterilämmitykseenkin niin sopivia ovat öljy- ja maakaasukattilat, kaukolämpösiirtimet, lämpöpumput, kiinteän polttoaineen kattilat sekä sähkölämmitys sekä näiden yhdistelmät eli hybridiratkaisut. Myös vesikiertoisen lattialämmityksessä lämmönlähde on suhteellisen helppo vaihtaa. [6]

Lattialämmityksen mitoituslämpötilat eli meno ja paluuveden lämpötilat mitoituslämpötilassa ovat tyypillisesti 45/35 [6, taulukko 1]. Mitoituslämpötilat ovat siis

lattialämmityksessä matalammat kuin patterilämmityksessä. Mitoituslämpötilaan vaikuttavat myös lattian pintamateriaalit. [6]

## 2.2 Käyttöveden lämmitys

Käyttöveden lämmityksen energiatarpeella tarkoitetaan sitä energiamäärää, joka tarvitaan käytetyn lämpimän käyttöveden lämmittämiseen tuloveden lämpötilasta käyttölämpötilaan [2, s. 2]. Lämpimän käyttöveden mitoituksessa on otettava huomioon myös käyttöveden kierron aiheuttamat häviöt sekä siinä mahdollisesti olevat lämmityslaitteet. Osa tästä energiasta korvaa tilojen lämmityksen nettotarvetta.

Käyttövesi lämmitetään usein samoilla laitteilla kuin rakennuksen tilat [4, s. 1]. Lämmityslaitteesta saatavan lämpimän käyttöveden lämpötilan tulee olla vähintään +55 °C ja korkeintaan +65 °C ja sitä on saatava lämminvesikalusteesta 20 sekunnin kuluessa veden juoksutuksen aloituksesta [7]. Tarvittaessa lämminvesijärjestelmään suunnitellaan kiertojohto, jotta 20 sekunnin odotusvaade täyttyy [8].

## 2.3 Käyttöveden kierto

Käyttöveden lämpötilan tulee olla vähintään +55 °C, mikä varmistetaan suunnittelemalla lähtevän veden lämpötilaksi +57...+58 °C. Lämpötilan lasku alle vaatimuksen voi aiheuttaa haitallisen bakteerin kasvun lämpimän käyttöveden putkistossa. [7] Käyttöveden lämpötilan lasku vältetään sen jatkuvalla kierrolla ja lämmittämällä.

Vanhoissa rakennuksissa lämpimän käyttöveden kierrossa on saattanut olla pyyhkekuivaimia ja käyttövesipattereita. Lämpimän käyttöveden putket ovat voineet kulkea märkätilojen lattiassa niitä lämmittäen. Vuoden 2018 alusta rakennettavissa rakennuksissa ei käyttöveden kierrossa ole saanut olla lämmittämiä. Tätä vanhemmissa rakennuksissa olevat voidaan korvata, mutta vain niin, ettei asuntokohtaisesti ylitetä 200 W:n tehoa. Lattialämmitystä ei sallita vanhoissakaan rakennuksissa. [8]

Esimerkiksi rakennus, jossa on 28 asuntoa, joista jokaisessa on 200 W:in käyttövesipatteri, käyttöveden kierto synnyttää 5,6 kW:n lämpötehon, lisäksi tulevat kiertojohdon

lämpöhäviöt. Tässä on hyvä huomata, että käyttövesipattereiden teho tuotetaan korkeilla lämpötiloilla, myös kesällä, jolloin lämmitystä ei tarvita.

## 2.4 Lämmityksen yleisimmät laskukaavat

Rakennusten lämmityksessä lämmitetään pääosin vettä ja ilmaa. Putkistoilla tai kanavilla lämmitetty vesi tai ilma kuljetetaan käyttökohteisiin.

Veden ja ilman lämmitykseen tarvitaan lämpöenergiaa. Tarvittava lämpöenergia merkitään  $Q$ -kirjaimella, ja sen yksikkö on kJ. Tietyn vesi- tai ilmamäärän lämmittämiseen tarvittava lämpöenergia lasketaan kaavalla 1.

$$Q = c_p * m * \Delta t \quad (1)$$

jossa,

$Q$  on lämpöenergia, kJ

$c_p$  on ominaislämpökapasiteetti, kJ/kg°C

$m$  on massa, kg

$\Delta t$  on lämpötilanmuutos, °C

Kaavassa oleva  $c_p$  eli ominaislämpökapasiteetti on ainekohtainen, ja se ilmoittaa, kuinka paljon lämpöenergiaa on yhteen ainekiloon tuotava, jotta se lämpenisi yhden asteen. Veden ominaislämpökapasiteetti vakioaineessa on 4,2 kJ/kg°C. Ilman ominaislämpökapasiteetti riippuu ilman sisältämästä kosteudesta ja paineesta. Talotekniikassa lämmityksen osalta arvona voidaan käyttää 1,0 kJ/kg°C.

Pelkän lämpöenergian määrittäminen ei useinkaan riitä, vaan tarvitaan myös tietoa siitä missä ajassa lämpötilanmuutos saadaan aikaan. Haluttaessa tietää, missä ajassa lämmitys tapahtuu eli missä ajassa lämpö siirtyy veteen tai ilmaan (tai niistä pois), puhutaan lämpövirrasta eli tehosta.

$$\phi = \frac{Q}{t} \quad (2)$$

jossa,

$\phi$  on lämpövirta eli lämpöteho, W

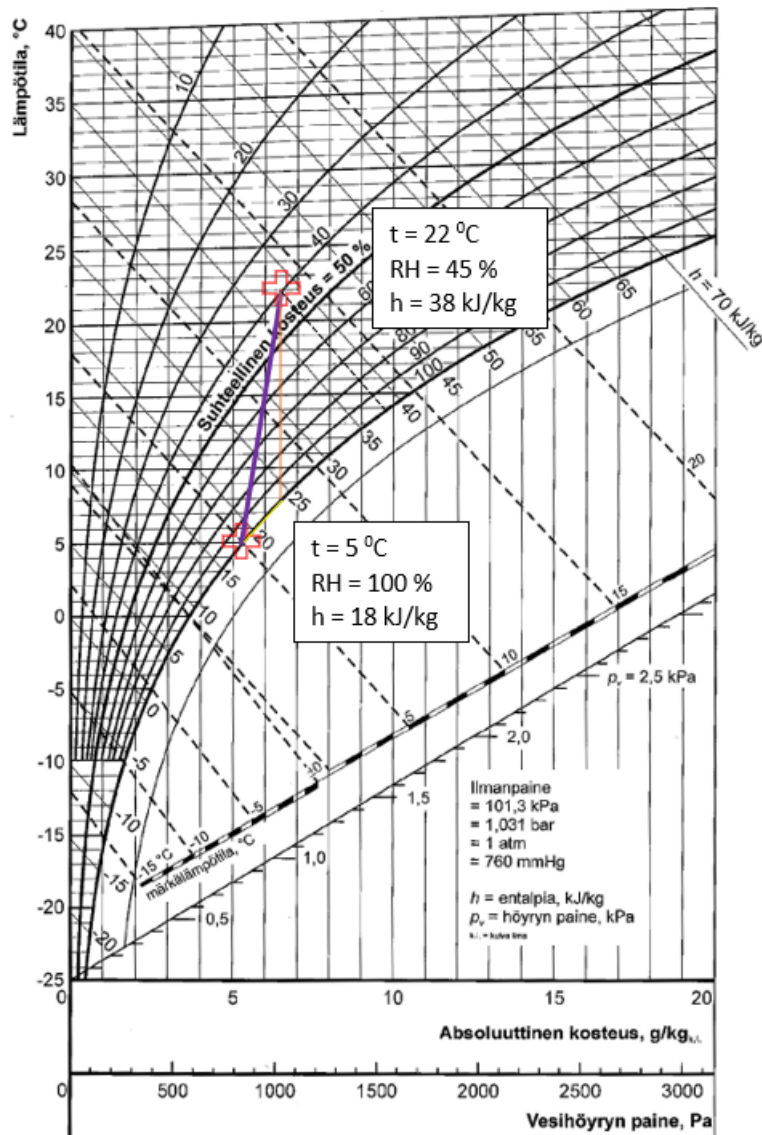
Q on lämpöenergia, J

t on aika, s

Edellä olevilla kaavoilla voidaan laskea energiantarvetta ja siirtymistä molempiin suuntiin, eli lämpenemistä ja jäähtymistä veden osalta. Ilmalle kaavat pätevät silloin, kun ei tapahdu ilman kostuttamista tai kuivattamista.

Ilman jäädyttämisessä ja samalla sen luovuttaman energian määrässä tulee huomioida myös faasimuutokset. Kostea ilmaa jäädyttäessä eli kostean ilman luovuttaessa energiaa tapahtuu usein myös ilman sisältämän vesihöyryn tiivistymistä. Ilman luovuttama lämmitysenergia voidaan nähdä Mollier -diagrammista. [9]

Mollier -diagrammi, eli kostean ilman h,x-piirros esittää graafisesti kostean ilman ominaisuuksia. Piirroksen avulla voidaan havainnoida sekä laskea ilman kosteuksia, lämpötiloja sekä energiasisältöjä. Piirroksessa esiintyvä entalpia (h) tarkoittaa ilman lämpösisältöä. [9]



Kuva 2. Kostean ilman Mollier -käyrästä.

Kuvasta 2 voidaan havaita ero, kun kostean ilman sisältämää lämpöenergiaa selvitetään. Kuvassa on esitetty poistoilman lämmöntalteenotto tapahtuma. Tapahtumassa +22-asteinen kostea sisäilma jäähtyy +5-asteeseen. Jäähtymisen kulku on esitetty lilan värisellä viivalla, mutta todellisuudessa jäähtyminen noudattaa ensin oranssia pystysuoraa viivaa ja sen jälkeen keltaista kaarevaa viivaa.

Mikäli jäähtymisessä saatu lämpöenergia laskettaisiin pelkän lämpötilaeron avulla, tulos olisi  $1\text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C} \cdot (22 - 5)\text{ }^{\circ}\text{C} = 17\text{ kJ/kg}$ , mutta kosteuden tiivistyminen huomioiden tulos

on  $(38-18) = 20$  kJ/kg. Massan voidaan olettaa olevan molemmissa tapauksissa sama. Kosteuden tiivistyminen antaa siis 3 kJ/kg enemmän lämpötehoa.

Kun ilman, kaasun tai veden lämmittämiseen tarvittavaa tehoa määritellään, niin ajan ja massan tilalle voidaan ottaa massavirta  $q_m$ . Tehon laskentakaava saa tällöin kaavan 3 mukaisen muodon.

$$\dot{\Phi} = q_m * c_p * \Delta h \quad (3)$$

jossa,

$\dot{\Phi}$  on teho, W

$q_m$  on massavirta, kg/s

$c_p$  on ominaislämpökapasiteetti, kJ/kg°C

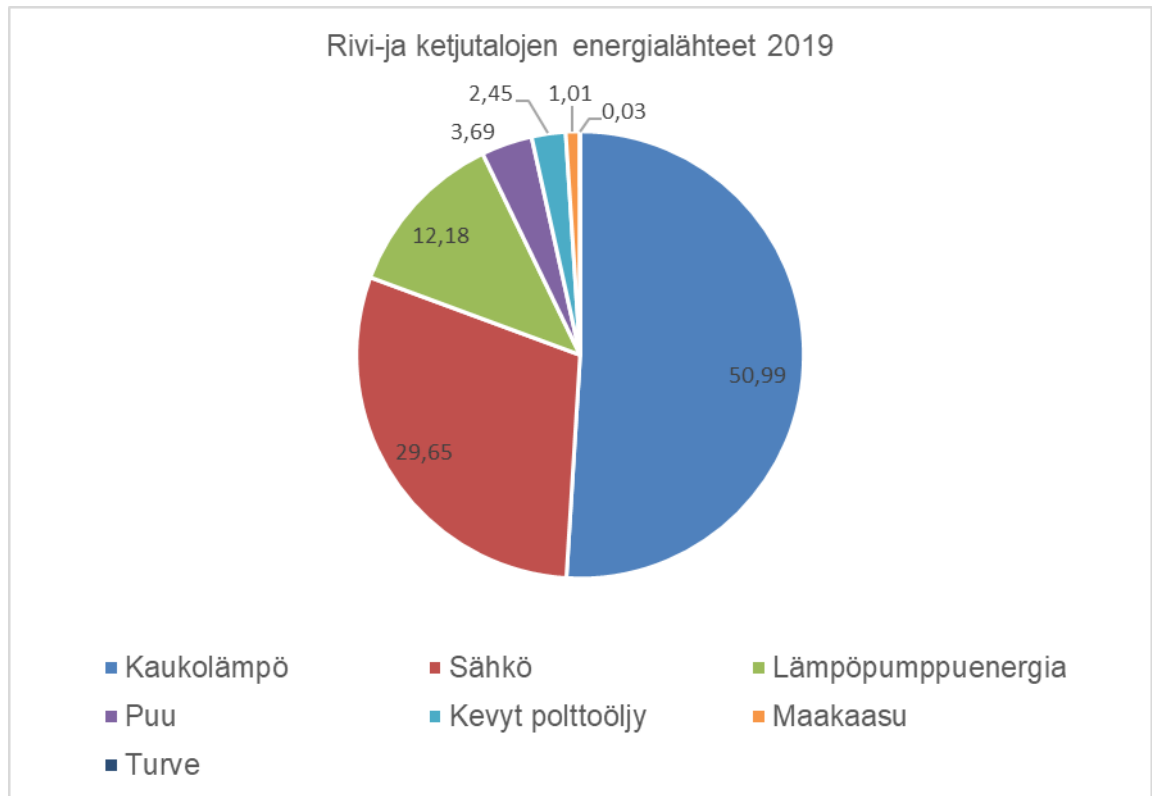
$\Delta h$  on entalpian muutos, kJ/kg

### 3 Asuinrakennusten energialähteet kulutuksittain

Työn tarkoituksena on selvittää As Oy -tyyppisten asuinrakennusten hybridimuotoisten lämmitysjärjestelmien toteutuneita höytyjä. As Oy:t muodostuvat pääosin kerros- ja rivitaloista. Selvittämisen pohjaksi tarkastellaan eri lämmitysmuotojen osuutta asuinrakennuksissa.

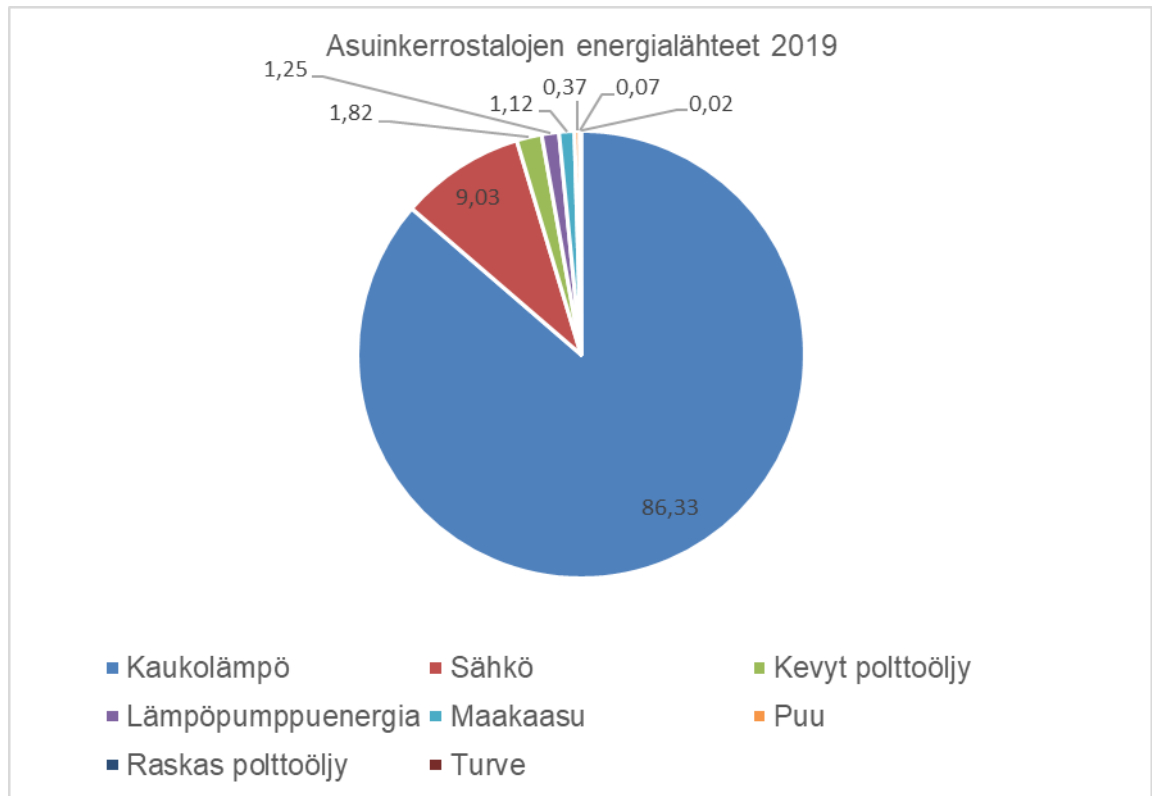
Asuinrakennusten lämmitysenergiankulutus vuonna 2019 oli 43,4 TWh. Tästä rivi- ja ketjutalojen osuus oli noin 4,0 TWh ja asuinkerrostalojen osuus noin 10,7 TWh. Muiden asuinrakennusten osuudeksi jää tällöin 28,7 TWh, joka on huomattavan suuri osuus, joten tämän työn huomiot ja johtopäätelmät, voi olla hyvä ottaa huomioon myös näiden rakennusten lämmitysjärjestelmien muutoksissa. [1]

Rivi- ja ketjutalojen sekä asuinkerrostalojen suurimpana energialähteenä 2019 oli kaukolämpö. Kaukolämmön kulutus rivi- ja ketjutaloissa oli noin 2,0 TWh ja asuinkerrostaloissa 9,2 TWh. [10] Muut energialähteet ilmenevät kuvasta 3.



Kuva 3. Rivi- ja ketjutalojen energialähteet 2019, TWh [10].

Kuvasta 3 havaitaan, että pääasiallinen lämpöenergiälähde rivi- ja ketjutaloissa on kaukolämpö ja seuraavana tulee sähkö. Sähkön osuudessa on mukana lämpöpumppujen käyttämä sähköenergia.



Kuva 4. Asuinkerrostalojen lämmitysenergiälähteet 2019, TWh [10].

Kuvasta 4 havaitaan kaukolämmön olevan hallitseva lämpöenergiälähde asuinkerrostaloissa. Seuraavana tulevan sähkön osuus on vähäinen. Kaukolämpö ja sähkö muodosta yli 95 %:in osuuden asuinkerrostalojen lämmityksestä. Sähkön osuudessa on mukana lämpöpumppujen vaatima sähköenergia. Lämpöpumppujen osuus asuinkerrostaloissa on hyvin pieni.

#### 4 Hybridijärjestelmät

Hybridijärjestelmällä tarkoitetaan useista eri energialähteistä, osajärjestelmistä, koostuvaa kokonaisuutta. Järjestelmät voivat toimia samanaikaisesti tai vuorotellen sen mukaan, milloin energiantuotolle on parhaat edellytykset. Vuorottelu voi olla tunti-, päivä- tai jopa kuukausikohtaista. [11]

Edellä olevista kuvista 3 ja 4 havaitaan, että tarkasteltavissa asuinkiinteistöissä pääenergiälähteenä on kaukolämpö, sähkö tai kevyt polttoöljy. Nämä ovat perinteisiä järjestelmiä



ja toimivat usein yksinään kiinteistön lämmöntuottajina. Lämpöpumput muodostavat rivija ketjutaloissa selvästi suuremman osan lämmöntuotosta kuin asuinkerrostaloissa. Vuonna 2020 useat kerrostalot vaihtoivat lämpöpumppuratkaisuun joko kokonaan tai osittain. [12] Tässä keskitytään tarkastelemaan lämpöpumppuja osana kiinteistön muuta lämmitysjärjestelmää.



Kuva 5. Kaukolämmön ja poistoilmalämpöpumpun muodostama hybridijärjestelmä.

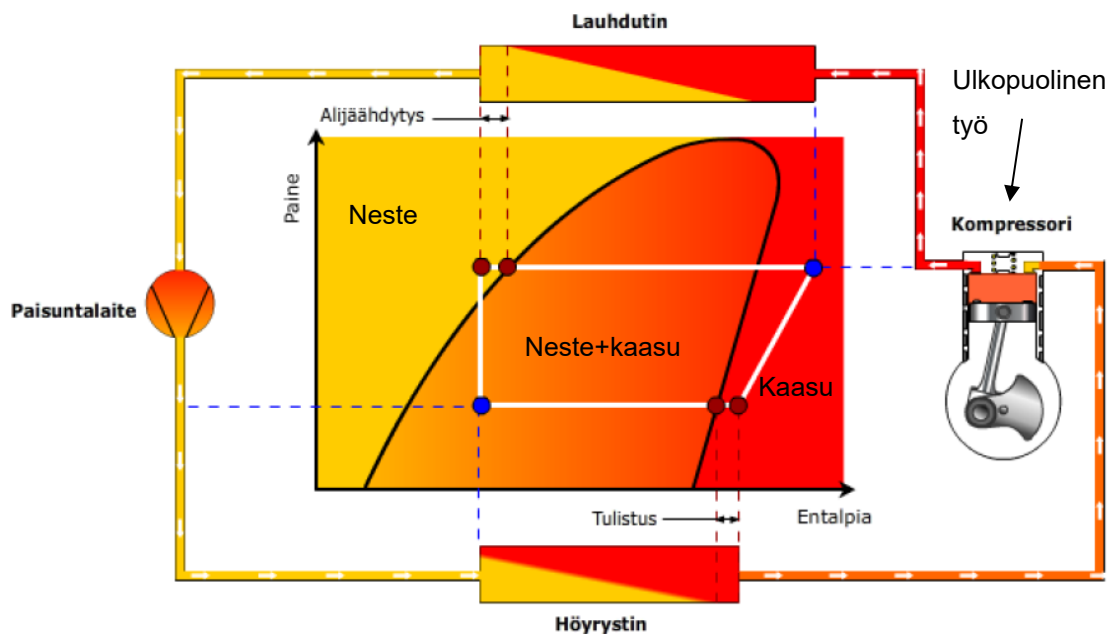
Kuvassa 5 on esitetty asuinkerrostalon hybridijärjestelmä. Järjestelmän lämmönlähteenä on kaukolämpö sekä poistoilma. Poistoilmasta lämpö otetaan talteen lämpöpumpun avulla.

#### 4.1 Lämpöpumput

Lämmönsiirtymisen perusperiaate on, että lämpö siirtyy aina korkeammasta lämpötilasta matalampaan lämpötilaan. Lämmönsiirtymistä tapahtuu, kunnes lämpötilat ovat tasaantuneet. [13, s. 14.] Lämpöpumpulla voidaan kylmäaineen ja kompressorin avulla tästä perusperiaatteesta poiketa ja siirtää lämpöenergiaa matalammasta lämpötilasta korkeampaan lämpötilaan. [13, s. 17.]

Lämpötilan siirtyminen korkeammasta lämpötilasta matalampaan tapahtuu itsestään, ilman ulkopuolista työtä. Lämpöpumpun avulla tapahtuvaan lämmönsiirtoon tarvitaan ulkopuolista työtä.

Lämpöpumpun avulla tapahtuvaa lämmönsiirtoa kutsutaan kylmätekniseksi kiertoprosessiksi. Prosessi ja lämmönsiirto perustuu kylmäaineen höyrystymiseen ja lauhtumiseen eri painetasoilla. [13] Lämpöpumpun toimintaperiaate ja pääkomponentit on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6. Lämpöpumpun toimintaperiaate ja pääkomponentit [13].

Ympäristön lämpötilan vaikutuksesta *höyrystimessä* tapahtuu nestemuodossa olevan kylmäaineen höyrystyminen. Höyrystyminen sitoo itseensä energiaa. Paine ja lämpötila pysyvät höyrystimessä vakiona. Nesteen höyrystyttyä kaasuksi se alkaa lämmentä. Tätä lämpenemistä kutsutaan kaasun tulistumiseksi. [13, s. 18.]

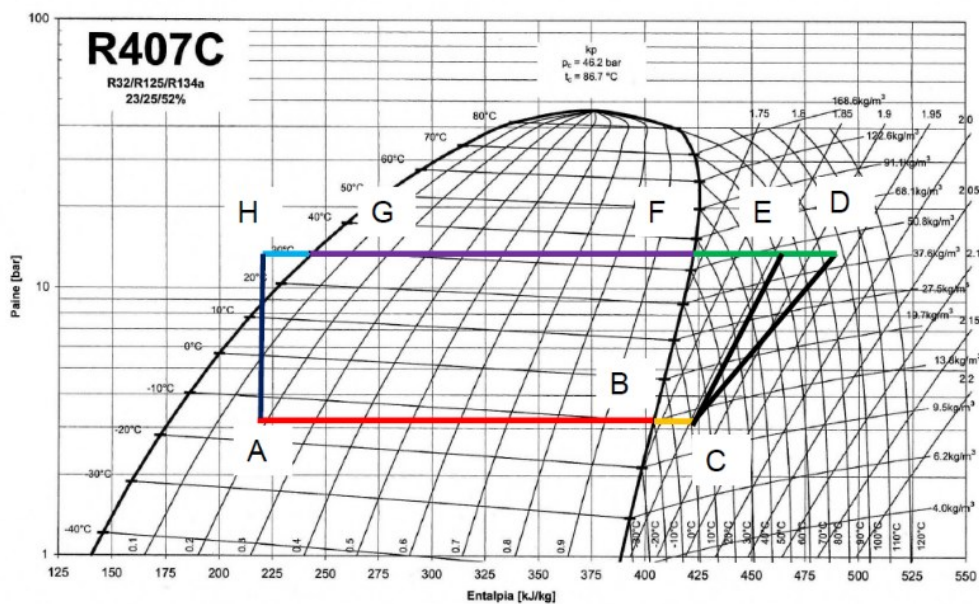
Kaasuksi höyrystynyt neste kulkeutuu *kompressoriin*, jossa se puristuu. Puristuksessa kaasun paine ja lämpötila kasvavat merkittävästi. Höyryn lämpötilan nousua sanotaan tulistumiseksi. [13, s. 18.] Tässä vaiheessa prosessiin tehdään ulkopuolista työtä, käytännössä tuodaan sähköenergiaa.

*Lauhduttimessa* korkeapaineisen kaasun energia siirtyy ympäristöön, jolloin kaasun lämpötila ja paine laskevat [13, s. 18].

*Paisuntalaitteen* tehtävänä on säädellä kylmäaineen pääsyä höyrystimelle siten että kompressorille kulkeutuu vain kaasumuodossa olevaa kylmäainetta [13, s. 18].

#### 4.1.1 Lämpöpumpun prosessin vaiheet

Lämpöpumpun kylmäaineen kulkuprosessia kuvataan log p,h -diagrammin avulla. Kuvassa 7 on esitetty R407C kylmäaineen kulku.



Kuva 7. Kylmäaineen R407C log p,h -diagrammi [14].

Kuvassa 7 kylmäaineen kierto on kuvattu värein ja kirjaimin seuraavasti:

- A–B (punainen), kylmäaine höyrystyy höyrystimessä lämpötilan pysyessä lähes vakiona  $-15\text{ °C} \rightarrow -10\text{ °C}$ .
- B–C (keltainen), kokonaan höyrystynyt kylmäaine lämpenee eli tulistuu  $-10\text{ °C} \rightarrow 0\text{ °C}$ .
- C–D (musta), kompressorin puristaa kaasua kasaan, jolloin sen paine ja lämpötila nousevat, paine  $3,2\text{ bar} \rightarrow 15\text{ bar}$  ja lämpötila  $0\text{ °C} \rightarrow 95\text{ °C}$ .

- C–E (musta), ihanteellinen puristus, jossa ei ole häviöitä. Todellisuudessa näin ei tapahdu, vaan puristuksessa syntyy aina häviöitä.
- D–F (vihreä), puristunut kaasu jäähtyy lauhduttimessa tai tulistuslämmönvaihtimessa 95 °C -> 35 °C.
- F–G (lila), kaasu luovuttaa edelleen energiaa ja muuttuu nestemäiseksi, lämpötila pysyy lähes vakiona 35 °C -> 30 °C.
- G–H (vaalean sininen), nestemäinen kylmäaine jäähtyy edelleen 30 °C -> 20 °C.
- H–A (sininen), neste menee paisuntaventtiilin läpi ja paine sekä lämpötila laskevat.

Prosessin vaiheista huomataan, että varsinainen lämmönluovutus tapahtuu kuumakaasun jäähtyessä vaiheessa D–F. Tämä on vaihe, jossa tapahtuu mm. käyttöveden lämmitys. Väliltä D–F saadaan (lämpö-)energiaa noin 60 kJ/kg (485-425). Väliltä F–H saadaan energiaa noin 205 kJ/kg (425-220). [14]

Tilojen ja käyttöveden lämmityksen näkökulmasta em. prosessista saadaan monin veroin enemmän noin 30 °C:n lämpöä kuin kuumaa käyttövettä.

Kuvaajasta on huomattava, että kylmäaineprosessin asettuminen tietyille lämpötila-alueelle on riippuvainen höyrystymis- ja lauhdumislämpötiloista. Kuvaajan paikka siis elää em. lämpötiloista riippuen.

#### 4.1.2 Lämpökerroin, COP

Lämpöpumppujen yhteydessä puhutaan COP-kertoimesta ja puhekielessä ”kopista”. Kerroin kuvastaa lämpöpumpun hetkellistä hyötysuhdetta. Lämpökerroin, kuten hyötysuhde yleensäkin, lasketaan prosessin tuotoksen ja siihen laitetun panoksen suhteesta. Lämpöpumpussa tämä tarkoittaa lauhduttimen luovuttaman lämpöenergian ja kompressorin tekemän työn suhdetta.

Kuvan 7 arvojen avulla laskettu hyötysuhde on  $(D-H - C-D) / C-D$  eli lukuina  $(485 - 220) - (485 - 423) / (485 - 423) = 3,27$

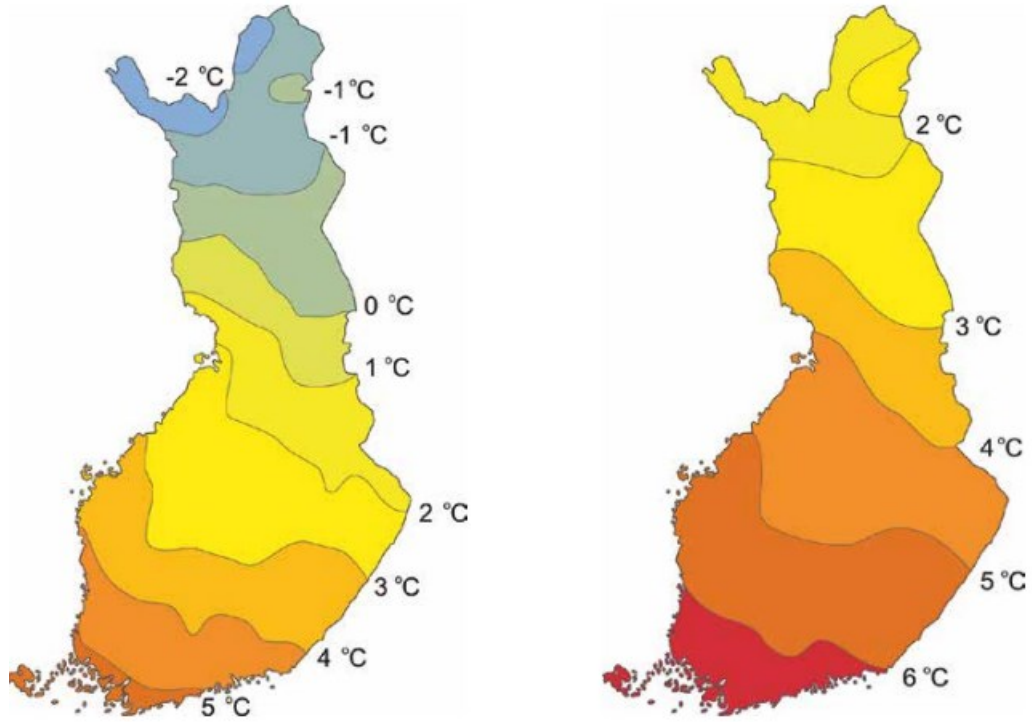
## 4.2 Lämpöpumpun lämmönlähde

Höyrystymisessä tapahtuu ulkoisen lämmön vaikutuksesta kylmäaineen lämpeneminen ja höyrystyminen. Ulkoinen lämpö voi olla peräisin joko ulkoilmasta, maaperästä, vesistöistä tai poistoilmasta. Myös erilaiset muut jätevirrat ovat mahdollisia lämmönlähteitä. Tässä rajoitutaan tarkastelemaan energiakaivosta ja poistoilmasta saatavaa energiaa.

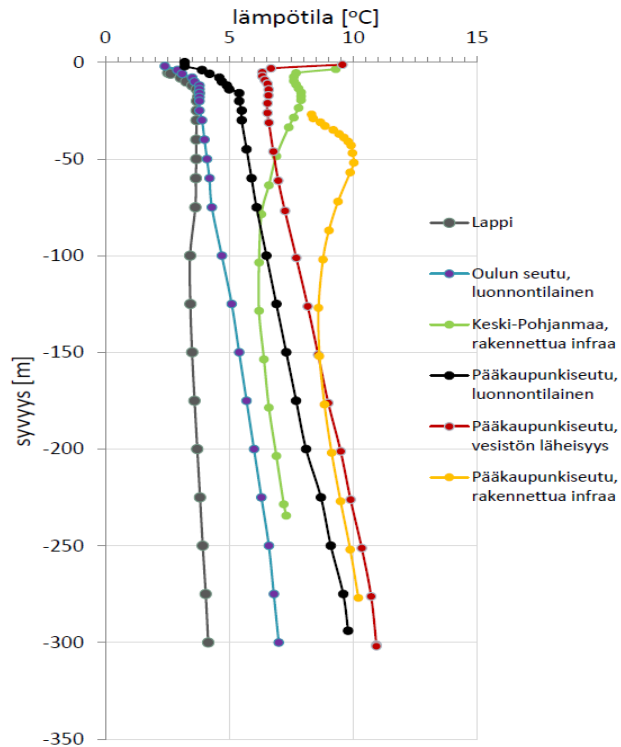
### 4.2.1 Energiakaivo

Energiakaivosta saadaan maan ja kallion pintaosiin varastoitunut, pääosin auringosta peräisin oleva, lämpöenergia kiinteistön käyttöön. Geotermistä eli pääosin radioaktiivisten aineiden hajoamisesta peräisin olevaa energiaa on saatavilla syvemmillä kallioperässä. Tässä keskitytään alle 300–350 metrin syvyyksiin. [15, s. 7.]

Kuvassa 8 on esitetty ilman ja maanpinnan keskilämpötiloja. Maa- ja kallioperän pintaosien vuotuinen keskilämpötila on noin kaksi astetta ilman vuotuista keskilämpöä korkeampi. Lämpötila vaihtelee maantieteellisen sijainnin mukaan. Paikallisesti lämpötila voi vaihdella sen mukaan, onko kyseessä rakennettu ympäristö vai luonnontilassa oleva alue. [15, s. 7.]



Kuva 8. Ilman- ja maanpinnan (oikealla) lämpötilojen vuotuinen keskiarvo 1971–2000 vertailukaudelta [15, s. 7].



Kuva 9. Maankamaran lämpötilan kasvu syvyyden mukaan [16. s. 31].

Kuvasta 9 ilmenee miten kauan rakennettuna olleilla alueilla (keltainen) on jopa 50 metrin syvyydessä havaittu ylimääräistä lämpöä [16, s. 31]. Lämpötila vakiintuu noin 15 metrin syvyydessä 5–6 asteeseen. Syvemmälle mentäessä lämpötila alkaa geotermisen energian vaikutuksesta hitaasti nousta. Nousu on noin 0,5–1 °C / 100 m. [15, s. 7.]

Kallioperästä saatavaan energiaan vaikuttaa kallioperän koostumus, rikkonaisuus sekä pohjaveden liikkeet. Rikkonaisuus sekä pohjaveden liikkeet tehostavat lämmönsiirtymistä. [15, s. 7.]

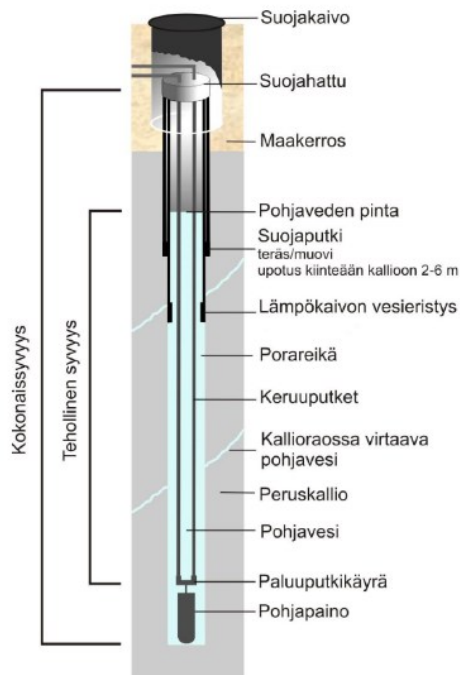
Kivilaji	Lämmönjohtavuuden vaihteluväli* [W/mK]	Lämmönjohtavuuden keskiarvo*
Kvartsiitti	2,56–5,77	4,47
Rapakivi	2,92–4,75	3,84
Graniitti	1,63–4,93	3,61
Granodioriitti	2,01–5,09	3,17
Gneissit	0,99–6,03	3,04
Kiilleliuske	1,35–8,63	2,86
Amfiboliitti	1,37–4,70	2,63
Savikivi	noin 2,2–2,4	

\*Perustuu GTK:n laboratorioissa mitattuihin kivilajeihin

Kuva 10. Tyypillisten suomalaisten kivilajien lämmönjohtavuuksia [16, s. 33].

Kallioperän koostumus eli kivilaji ja sen lämmönjohtavuus (kuva 10) on tärkein geoenergian hyödynnettävyyteen vaikuttava ominaisuus. Lämmönjohtavuus kuvaa kuinka hyvin kalliosta energia siirtyy energiakaivon läheisyyteen, siitä lämmönsiirtonesteeseen siirtyneen lämmön tilalle. Suomen kivilajien lämmönjohtavuuden keskiarvo on 3,2 W/mK. [16, s. 33.] Energiakaivojen mitoituksessa on hyvä ottaa huomioon myös veden ja jään lämmönjohtavuudet, joka vedellä on 0,68 W/mK ja jäällä 2,6 W/mK [1, s. 58].

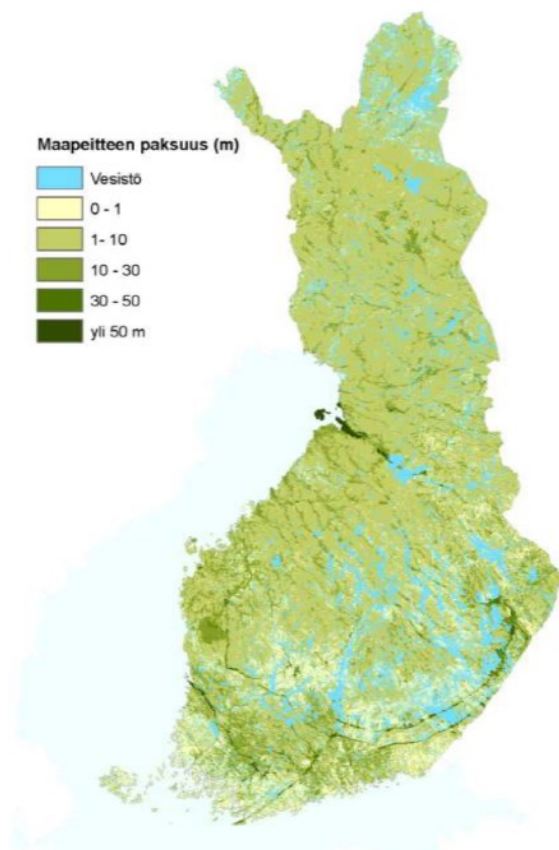




Kuva 11. Energiakaivon rakenne [15, s. 35].

Kuvassa 11 on esitetty energiakaivon rakenne. Kuvaan on merkitty (pohja)veden korkeus. Veden korkeuden ja keruuputkien paluuputkikäyrän välistä matkaa kutsutaan teholliseksi syvyydeksi. Mikäli pohjavettä ei kaivoon tule luontaisesti, voidaan kaivo täyttää vedellä tai bentoniitilla. Täytöllä parannetaan kalliosta olevan lämmön siirtymistä keruuputkistoon. [15, s. 33.]

Maanpeitteen paksuus eli kuvassa oleva maakerros vaihtelee suomessa sekä alueellisesti että paikallisesti [16, s. 27]. Maanpeitteen paksuudella on merkitystä energiakaivon rakentamiskustannuksiin. Maanpeitteen läpi poraaminen (maaporaus) on kalliimpaa kuin kallion poraus.



Kuva 12. Maanpeitteen paksuus Suomessa [16. s. 27].

Kuvassa 12 on esitetty maanpeitteen paksuus Suomessa. Paksuudessa on kuitenkin suuria alueellisia ja paikallisia vaihteluita, eikä maanpeitteen paksuus useinkaan selviä vasta kuin kaivojen tekovaiheessa. [16, s. 27.]

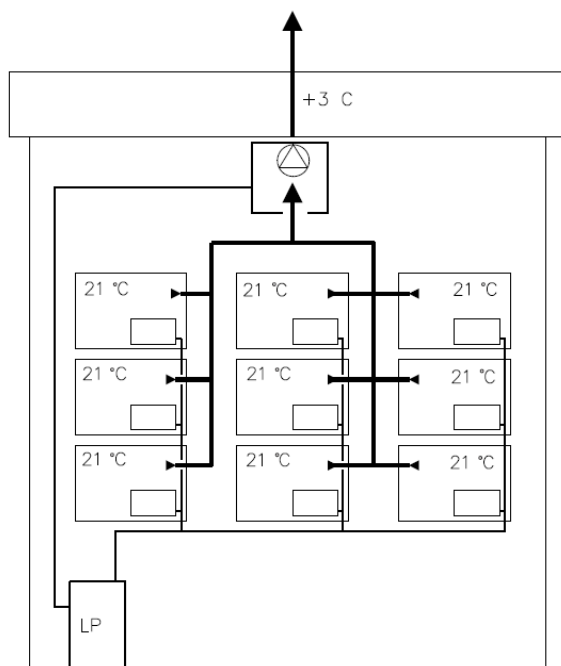
Useamman rakennuksen eli siis rivi- tai kerrostalojen energialähteeksi tarvitaan useita energiakaivoja. Kymmenen tai useamman energiakaivon muodostamaa aluetta sanotaan energiakentäksi. [15, s. 51.]

Lämpöpumput osataan usein mitoittaa, mutta energiakaivojen mitoitus perustuu usein kokemukseen ja peukalosääntöihin. Kaivokenttä ja sen toiminta ja käyttö vaikuttavat koko järjestelmän taloudellisuuteen. Kenttien suunnittelussa tulee huomioida koko järjestelmän elinkaari. Kaivojen viilennys- ja lämmityskäyttö vähentää kaivojen luku- ja porausmäärää. [16, s. 52.]

Kaivojen mitoituksessa käytetään usein kWh/m- tai W/m-arvoja, joilla päästään yksittäisten kaivojen kohdalla riittävän oikeisiin tuloksiin [16, s. 53]. Kaivokenttien suunnittelussa ja mitoituksessa tulee käyttää erillisiä kaupallisia suunnitteluun soveltuvia ohjelmia [16, s. 57].

#### 4.2.2 Poistoilma

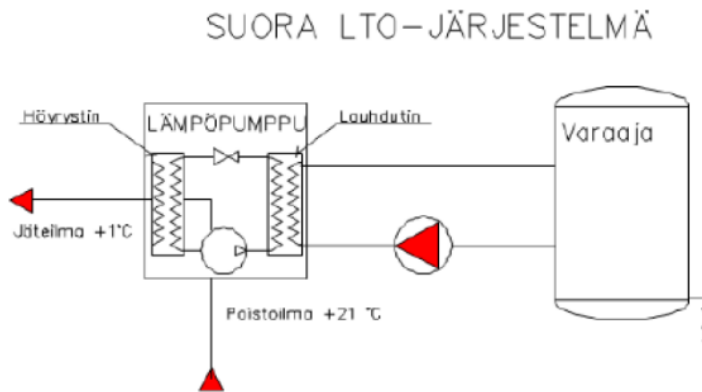
Poistoilmasta saadaan siihen lämmityslaitteista, ihmisistä sekä sisäisistä kuormista siirtynyt lämpöenergia takaisin kiinteistön käyttöön. Koska poistoilmassa on lämmön lisäksi mukana myös kosteus, on kyseessä poistoilman lämpösisältö eli entalpia. [17, s. 127.] Poistoilman sisältämän lämpösisällön takaisin käyttöönotosta puhutaan yleisesti lämmöntalteenotosta, lyhenteenä LTO [18, s. 1]. Kun poistoilman lämmöntalteenottoon lisätään vielä lämpöpumppu, niin yhdistelmää kutsutaan poistoilmalämpöpumpuksi, lyhenteenä PILP [18, s. 3].



Kuva 13. Periaatekuva kolmikerroksisen talon PILP-järjestelmästä [18].

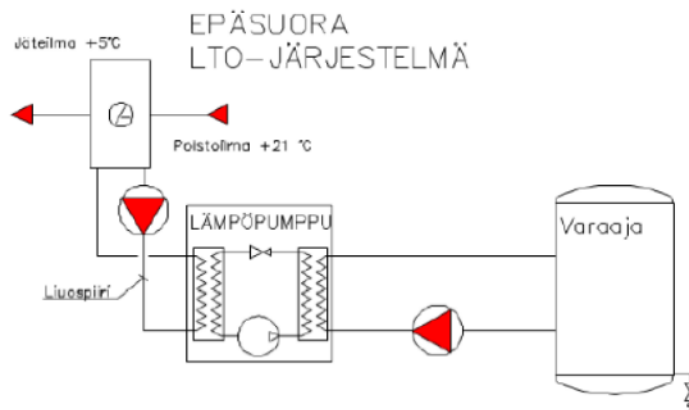
Kuvassa 13 on esitetty kolmikerroksisen rakennuksen lämmöntalteenotto. Rakennuksen poistoilmakanavat on tyypillisesti yhdistetty yhdeksi isommaksi kokonaisuudeksi kustannusten säästämiseksi.

Talteenotto tapahtuu Suomessa pääosin epäsuoralla menetelmällä, jossa lämpö otetaan talteen liuospiirin avulla. Toinen vaihtoehto olisi johtaa poistoilma suoraan höyrystinpat-  
terin lävitse. [17, s. 122.] Aivan viime aikoina on markkinoilla tullut vastaan myös järjes-  
telmiä, joissa on yhdistetty poistoilman ja ulkoilman lämmöntalteenoton ja suoraan höyrysty-  
tyksen tekniikat (PILP+VILP) [19].



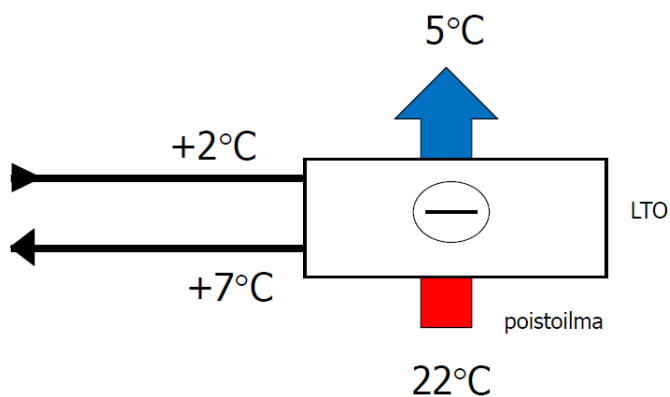
Kuva 14. Suora lämmöntalteenottojärjestelmä [17, s. 122].

Kuvassa 14 on esitetty suoran lämmöntalteenoton periaate ja pääkomponentit. Suo-  
rassa lämmöntalteenotossa poistoilma kulkee lämpöpumpun höyrystimen läpi, jossa se  
saa aikaan kylmäaineen höyrystymisen.



Kuva 15. Epäsuora lämmöntalteenottojärjestelmä [17, s. 123].

Kuvasta 15 voidaan huomata epäsuoran lämmöntalteenoton vaativan enemmän laitteita kuin suoran. Epäsuorassa lämmöntalteenotossa tarvitaan lämpöpumpun ja varaajan lisäksi erillisen lämmönsiirrin sekä liuospiiri pumppuineen.



Kuva 16. Tyypillisiä lämpötiloja epäsuorassa LTO-järjestelmässä [17, s. 128].

Poistoilman lämpötila muuttuu LTO-patterissa kuvan 16 mukaisesti  $+22\text{ °C} \rightarrow +5\text{ °C}$  ja lämmönkeruu nesteen lämpötila  $+2 \rightarrow +7\text{ °C}$ .

Poistoilmasta saatavassa teholaskennassa on huomattava ilman kosteuden tiivistyminen. Tiivistyessään ilmassa oleva kosteus vapauttaa energiaa.

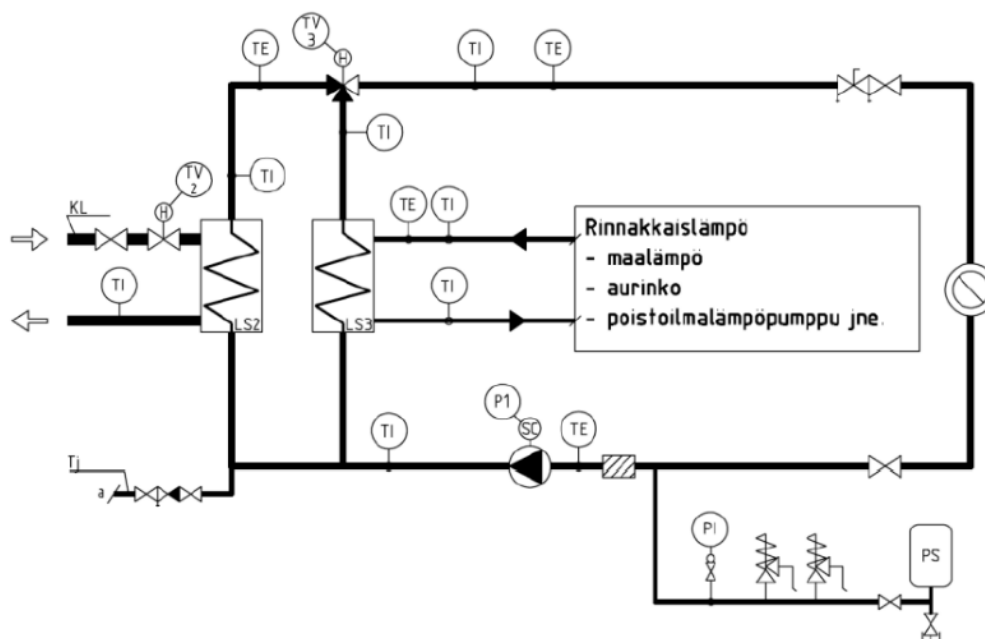
### 4.3 Kaukolämpö

Kaukolämmön tutkiminen osana hybridijärjestelmää on perusteltua koska se on selkeästi kiinteistöjen suurin energialähde. Kaukolämpöjärjestelmän suunnittelua ja käyttöä ohjaa energiateollisuuden tuottama ”Rakennusten kaukolämmitys, määräykset ja ohjeet” -julkaisu. [20]

Kaukolämpömääräysten tarkoituksena on määritellä rakennuksen kaukolämmityslaitteiden suunnittelulle, asennukselle sekä laitteille perusvaatimukset. Perusvaatimusten toteuttamiselle taataan asiakkaiden laitteiden ja lämmönmyyjän kaukolämpöjärjestelmän tehokas toiminta. [20, s. 1.]

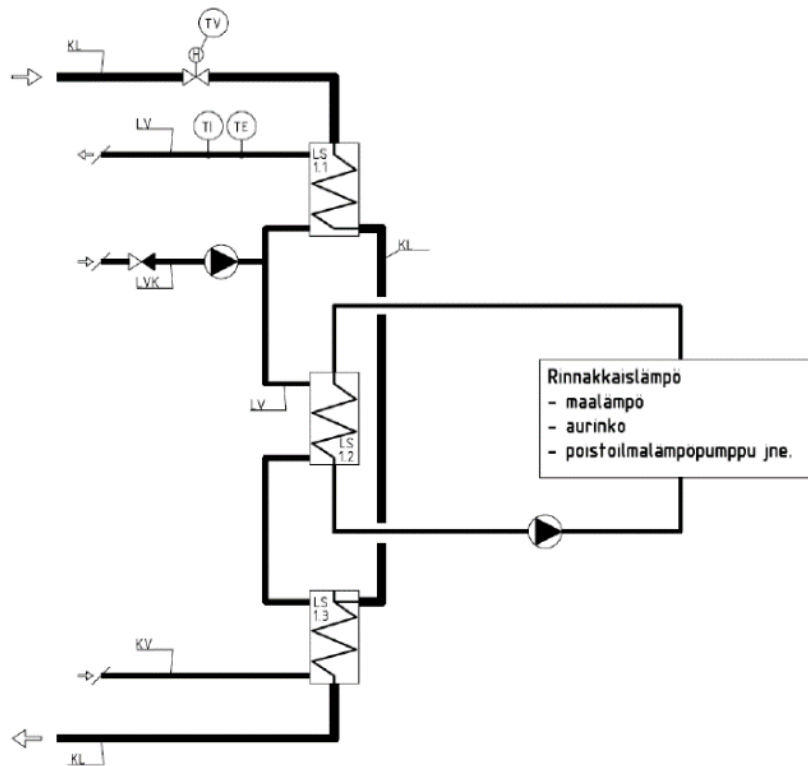
Kaukolämpömääräyksissä on ohjeet, joiden mukaan LVI-suunnittelijan on mitoitettava järjestelmä. Huomionarvoisin määräys on kaukolämmön ensiöpuolen paluu lämpötiloissa. Lämmityspuolen ensiöpuolen lämpötila saa olla korkeintaan 33 °C ja käyttöveden korkeintaan 20 °C. [20, s. 8.]

Määräyksissä on myös ohjeet rinnakkaislämmitysjärjestelmien (hybridi) kytkennöille.



Kuva 17. Rinnakkaislämmön kytkentä tilojen lämmitykseen kaukolämmössä [20, s. 92].

Kuvassa 17 on esitetty, miten rinnakkaislämmönlähde kytketään osaksi kaukolämpö järjestelmää. Kuvasta voidaan havaita, että osa lämmitysjärjestelmän paluuvedestä joudutaan ohjaamaan varsinaisen kaukolämmönsiirtimen (LS2) kautta, jotta lämmitysverkostoon saadaan riittävän lämmintä vettä. Tämä tarve korostuu etenkin kovemmilla pakkasilla.

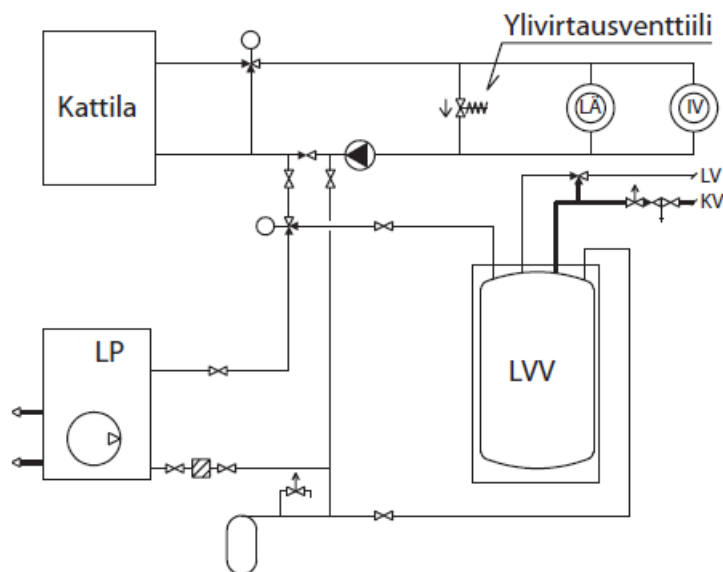


Kuva 18. Rinnakkaislämmön kytkentä käyttöveden lämmitykseen kaukolämmössä [20, s. 92].

Kuvassa 18 on esitetty, miten rinnakkaislämmönlähde kytketään osaksi kaukolämpö järjestelmää. Kuvasta voidaan havaita, että kylmä käyttövesi esilämmitetään kaukolämmön avulla ja vasta esilämmitettyyn käyttöveteen voidaan johtaa lämpöenergiaa muista järjestelmistä.

#### 4.4 Muut lämmitysjärjestelmät

Kaukolämmön lisäksi asuinkiinteistöjä lämmitetään sähköllä tai kevyellä polttoöljyllä. Kevyen polttoöljyn käyttö perustuu kattilassa poltettavan öljyn tuottamaan lämpöön. Kattilassa voidaan öljyn sijasta käyttää myös maakaasua sekä turvetta ja puuta ja muita palavia aineita. Lämmöntuotto ja palotapahtuman lämpötila-alue on näissä jokseenkin sama.



Kuva 19. Rinnakkaislämmön kytkentä tilojen lämmitykseen kattilälmmityksessä [21, s. 9].

Kuvassa 19 on esitetty malli lämpöpumpun kytkennästä osaksi tilojen ja käyttöveden lämmitystä. Kytkennässä saadaan jäähtynyt lämmityksen kiertovesi kulkemaan lämpöpumpun kautta.

Kuvassa on esitetty käyttövesi lämmitettävän lämminvesivaraajassa. Varaajassa voi olla lisänä myös sähkövastus [21].

Ajatus kaikissa kattiloiden hybridikytkennöissä on siis se, että lämpöpumpulle saadaan kaikissa tapauksissa mahdollisimman viileää vettä. Kytkentä mahdollistaa lämpöpumpun tehokkaan käytön.

## 5 Kannattavuuslaskelmat

Kiinteistön energialähteen ja lämmitysjärjestelmän vaihdokseen voi olla useita syitä. Usein syynä on nykyisen lämmitysjärjestelmän viat, jolloin kyseeseen tulee korvausinvestointi. Korvausinvestoinnin kannattavuuden laskemiseen ei ole tarvetta, mikäli järjestelmä korvataan samanlaisella. Mikäli nykyinen järjestelmä halutaan muuttaa joksikin muuksi, tulee kannattavuuden tarkastelu silloin kyseeseen. Järjestelmän uusimiseen voivat johtaa myös ilmastolliset seikat sekä muut epäsuorat taloudelliset syyt. Tässä työssä



keskitytään vain taloudellisiin syihin. Investointien yhteydessä on hyvä tarkastaa mahdolliset saatavilla olevat yhteiskunnan tuet, niillä voi olla vaikutusta kannattavuuteen takaisinmaksuaikaa lyhentävästi.

## 5.1 Energian hinnat

Investoinnin kannattavuuteen vaikuttavat yleisesti investoinnin suuruus ja investoinnilla aikaan saatavat säästöt. Tässä tapauksessa säästöt syntyvät tuotetun energian kustannuksena.

### 5.1.1 Kaukolämmön hinta

Kaukolämmön hinta muodostuu kahdesta osasta, perusmaksusta ja energian hinnasta. Perusmaksu koostuu kahdesta komponentista, tehoportaan mukaan määräytyvästä vakio-osasta ja tehon mukaan määräytyvästä muuttuvasta osasta. Perusmaksu on vuosittainen maksu, mutta maksu on jaettu kuukausille energialaskujen yhteyteen. [22]

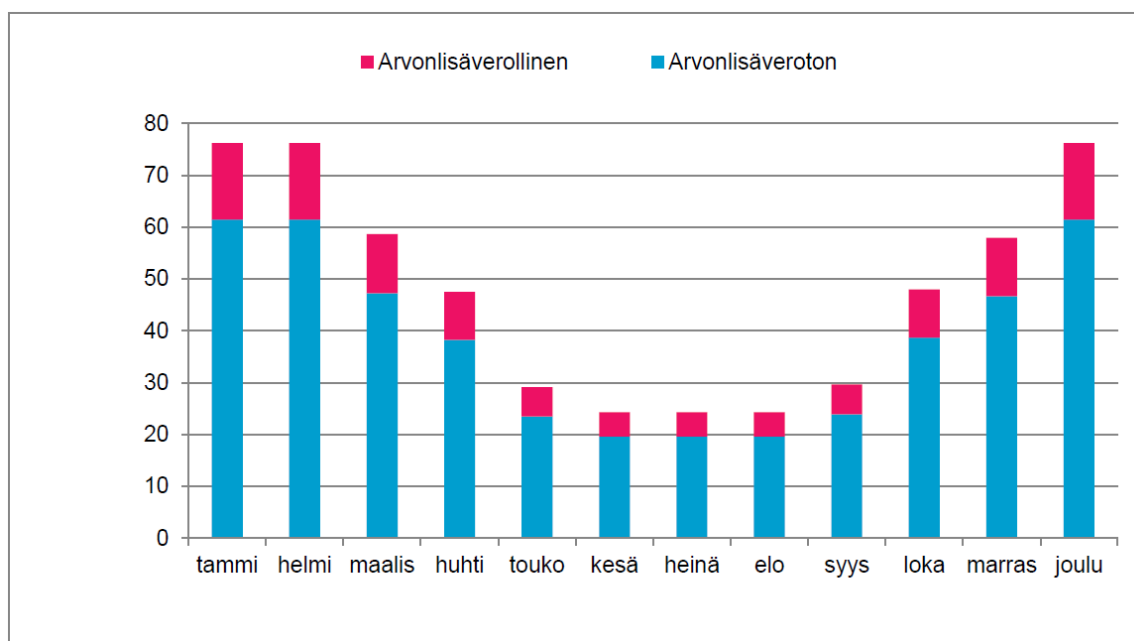
Taulukko 1. Kaukolämmön perusmaksun määräytyminen, muut kuin 1–3 asuntoa [22].

Laskutusteho kW	Arvonlisäveroton hinta		Arvonlisäverollinen hinta	
	Vakio-osa €/vuosi	Muuttuva osa €/kW, vuosi	Vakio-osa €/vuosi	Muuttuva osa €/kW, vuosi
0...9	497,87	0,00	617,36	0,00
10...29	0,00	49,78	0,00	61,73
30...99	40,47	48,44	50,18	60,06
100...249	1386,62	34,98	1719,41	43,37
250...699	5357,00	19,09	6642,68	23,68
700...	10818,33	11,30	13414,73	14,01

Taulukon 1 perusteella voidaan laskea esimerkkinä 240 kW:in tehoisen käyttöpaikan perusmaksu. Perusmaksu on tällöin vakio-osa: 1 719,41 €/a ja muuttuva osa 240 kW \* 43,37 €/kW/a eli 12 128,21 €/a. Perusmaksun vaikutus energian kuukausilaskuun on siis 1 010,68 €/kk (12 kk)

Taulukko 2. Kaukolämmön energiamaksu €/MWh [22].

	tammi	helmi	maalis	huhti	touko	kesä	heinä	elo	syys	loka	marras	joulu
alv 0%	61,50	61,50	47,30	38,30	23,50	19,60	19,60	19,60	23,90	38,70	46,70	61,50
alv 24%	76,26	76,26	58,65	47,49	29,14	24,30	24,30	24,30	29,64	47,99	57,91	76,26



Kuva 20. Kaukolämmön kuukausittain energian hinnan vaihtelu [22].

Taulukosta 2 sekä kuvasta 20 nähdään, että kaukolämmön energian hinnassa on kausivaihtelua. Kesäkuukausien energian hinta on kolmasosa talvikuukausien hinnasta. Kuvasta nähdään, että vaihtelu on merkittävä. Tammikuussa energian hinta on noin 75 €/MWh, kun se kesällä laskee noin 25 €/MWh. Ero on siis 50 €/MWh.

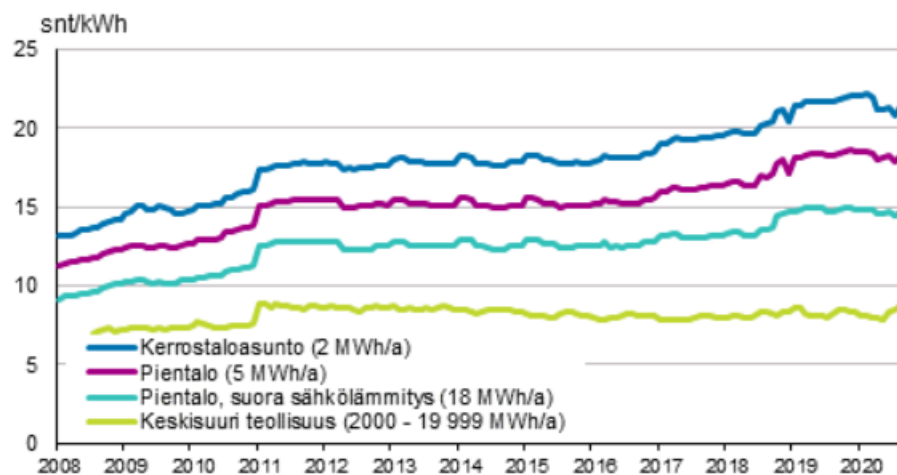
Kannattavuuslaskelmissa tulee siis huomioida energian kulutus sekä sen hinta kuukausitasolla.

### 5.1.2 Sähkön hinta

Lämpöpumppujen yhteydessä puhutaan COP-kertoimesta. Kertoimella tarkoitetaan karkeasti ilmaistuna ilmais- ja ostetun energian suhdetta, eli paljonko energiaa saadaan tietyllä määrällä sähköä. Lämpöpumppujen COP on yleisesti noin kolme, mikä tarkoittaa,

että yhdellä kilowatilla saadaan kolme kilowattia lämpöä. Sähköä lämpöpumpussa tarvitaan höyrystyneen kylmäaineen puristamiseen korkeampaan paineeseen.

Useinkaan hybridijärjestelmiä ei mitoiteta täysitehoisiksi, ja tällöin sähköä voidaan käyttää joko lämmitysverkoston apuna tai kuumentamaan käyttövesi määräysten mukaiseen lämpötilaan.



Kuva 21. Sähkön hinta kuluttajatyypeittäin. Hinnat sisältävät energian, siirtomaksut sekä verot [23].

Kuvasta 21 voidaan havaita, että sähköenergian kokonaishinta on kymmenen vuoden aikana noussut noin 47 % muissa kuin keski-suuressa teollisuudessa. Sähkön keskihintana laskelmissa käytetään yleensä 120 €/MWh

## 5.2 Takaisinmaksuajan menetelmä

Takaisinmaksuaika (Payback Method) kertoo nimensä mukaisesti ajan, jonka kuluessa investoinnin tuottama kassavirta on samansuuruinen kuin alkuperäinen investointi. Tämä menetelmä soveltuu hyvin tilanteisiin, joissa kassavirralla on suuri merkitys.

Takaisinmaksuaikamenetelmässä on puutteena, ettei se ota lainkaan huomioon takaisinmaksuajan jälkeistä aikaa, investoinnin tuottoa. Se ei myöskään huomio rahan arvoa

ja soveltuu siksi parhaiten nopeasti itsensä takaisin maksaviin investointeihin. [24, s. 183.]

Takaisinmaksuaikamenetelmä ei sovellu hybridijärjestelmien kannattavuuslaskelmiin em. puutteidensa vuoksi.

### 5.3 Sisäisen korkokannan menetelmä

Sisäisen korkokannan menetelmä (Internal Rate of Return, IRR) kertoo ne rahoituskustannukset, joilla investointi kannattaa toteuttaa. Mikäli saatu tulos on suurempi kuin investoinnin tuottovaatimus, on investointi silloin kannattava.

Laskelmassa huomioidaan rahanarvo, mutta koska siinä oletetaan, että vapautuva pääoma voidaan sijoittaa jonnekin muualle laskennassa käytetyllä korolla, tämä ei ole useinkaan mahdollista. Laskelma voi antaa myös oikealta vaikuttavan tuloksen mikä todellisuudessa tarkoittaa, että kassasta lähtee enemmän rahaa kuin sinne tulee. [24, s. 185.]

Mikäli sisäisen korkokannan menetelmää käytetään investoinnin laskentaan, tulee sen rajoitteet ja lähtötietojen merkitykset olla hyvin hankkeeseen ryhtyvien tiedossa. Kokemus on osoittanut, ettei As Oy -kohteissa tällaista tietoa ole.

### 5.4 Nykyarvomenetelmä

Nykyarvomenetelmässä (Net Present Value, NPT) (kaava 4) tulot ja menot siirretään investoinnin alkuhetkeen (diskontataan). Investointi on kannattava, mikäli kaikkien kassavirtojen nykyarvo on positiivinen. Menetelmä kertoo rahamääräisesti, kuinka paljon säästöä investointi tuo.

Menetelmän huono puoli on siinä, ettei se kerro investoinnin kannattavuutta toisiin investointeihin, koska se ei huomioi investoinnin suuruutta. Jotta myös investoinnin suuruus tulisi huomioitua, tulisi laskea vielä suhteellinen nykyarvo. [24, s. 186.]

$$Hn = \sum_{t=1}^n \frac{S_t}{(1+i)^t} + \frac{JA}{(1+i)^n} - H \quad (4)$$

jossa,

$Hn$  on investoinnin nykyarvo, €

$n$  on laskenta-aika, investoinnin pitoaika vuosina,  $a$

$t$  on laskenta-ajankohta, vuosi

$S_t$  on investoinnin nettotuotto vuonna  $t$

$i$  on laskentakorkokanta (%) / 100

$JA$  on investoinnin jäännösarvo laskenta-ajan  $n$  lopussa

$H$  on perusinvestointi

Awillas Oy käyttää kannattavuustarkasteluissa nykyarvomenetelmää, koska laskelman on havaittu ottavan parhaiten huomioon pitkäkestoiset investoinnit sekä tulojen ja etenkin kulujen muutokset.

## 6 Toteutuneet kohteet

Awillas on ollut mukana eri rooleissa useissa hankkeissa, joissa vanhaa lämmitysjärjestelmää on haluttu uudistaa. Uudistamista on kutsuttu uusiutuvaan energiamuotoon siirtymiseksi niissä tapauksissa, joissa on haluttu tarkastella siirtymistä hybridijärjestelmään. Awillas on tehnyt hybridijärjestelmien kannattavuusselvityksiä, kilpailuttanut ja valvonut toteutuksia.

Kaikki hankkeet eivät ole edenneet toteutusvaiheeseen, vaan jo kannattavuusselvityksissä hankkeita on todettu kannattamattomiksi. Kannattamattomuuden syitä ovat olleet maaperän sopimattomuus, käytettävissä olevan tontin pienuus tai epävarmuus investoinnin tuotosta.

## 6.1 1970-luvun asuinkerrostalo, Espoo

Kohde on vuonna 1970 (A–B ja C–F) rakennettu ja vuonna 1990 (G ja H) laajennettu kahdeksanportainen asuinkerrostalo Espoossa, jossa on asuntoja 157 kpl. Rakennustilavuus on 26 620 m<sup>3</sup>. Viihtyvyysskorjauksen yhteydessä lämmitysjärjestelmänä olleen kaukolämmön rinnalle asennettiin uusi kaukolämmön ja poistoilmalämpöpumpun yhdistelmä eli hybridiratkaisu.

Awillaksen päärooli oli toimia korjausten taloteknisenä valvojana. Pääsimme osallistumaan myös alkuvaiheen suunnitteluun vaiheessa, jossa oli jo päätetty järjestelmän kärkeä kokoonpano. Järjestelmän kokoonpanon esitysvastuu oli suunnittelijalla, jonka tilaaja hyväksynyt.

### 6.1.1 Lämmitysjärjestelmän mitoitus

Espoossa sijaitsevan rakennuksen mitoittavana ulkolämpönä käytetään -26 °C. Lämmönsiirtimen toisiopuolen mitoituslämpötila on 80 °C / 55 °C. Käyttöveden mitoitusvirtaama on 2,96 dm<sup>3</sup>/s. Lämmönsiirtimien tehot ovat käyttövedellä 590 kW ja lämmityksellä 552 kW. LTO-patterien yhteisteho 79 kW ja lämpöpumppujen teho 110 kW. Korjauksen yhteydessä kylpyhuoneisiin asennettiin lattialämmitys. Yhden asunnon osalta lattialämmityksen teho on 145 W, joten yhteisteho on noin 23 kW. Lattialämmitykselle ei ole erillistä siirrintä, vaan sen lämpötilan säätö on toteutettu erillisellä säätöpiirillä.

LTO:n ja lämpöpumppujen teho ei siis yksinään riitä kattamaan huipputehon tarvetta kummankaan siirtimen osalta. Lämpöpumppuja voidaan hyödyntää käyttöveden osalta sen esilämmityksessä. Lämmitykseen lämpöpumppuja voidaan käyttää tiettyyn ulkolämpötilaan, noin +12 °C, saakka.

### 6.1.2 Järjestelmä kuvaus

Järjestelmä koostuu käyttöveden ja lämmityksen siirtimestä sekä kolmesta LTO-patterista ja neljästä lämpöpumpusta ja yhdestä lämpöakusta. Lämpöakku toimii lämmitysverkoston puskurina, ja siinä on kuusi käyttövesikierukkaa. Järjestelmää esitellään

myöhemmin automaation kuvakaappauksien avulla. Järjestelmän koko kytkentäkaavio on liitteessä 1.

### 6.1.3 Kannattavuustarkastelu

Kannattavuustarkastelun oli tehty kokoonpanon suunnitellut LVI-suunnittelutoimiston. Tarkastelun oli suunnittelija nimennyt arvioksi PILP-järjestelmän takaisinmaksusta. Arvio oli tehty alla olevan taulukon 3 mukaisilla tiedoilla.

Taulukko 3. PILP-järjestelmän takaisinmaksuaikalaskelman muuttujat.

Asuntojen yhteenlaskettu poistoilmavirta	2,55 m <sup>3</sup> /s
Nykyinen kaukolämmön kulutus (vuosi)	1040 MWh
Keruupiiristä saatava energia	415 MWh/a
PILP-järjestelmän sähkönkulutus	154 MWh/a
PILP-järjestelmän energiantuotto (keruupiiri+sähkö)	569 MWh/a
Lämpökerroin, COP	3,7
Kaukolämmön hinta	59,00 €/MWh
PILP järjestelmän energian hinta	32,40 €/MWh
Takaisinmaksuaika (vuosi)	11

### 6.1.4 Havaitut ongelmat

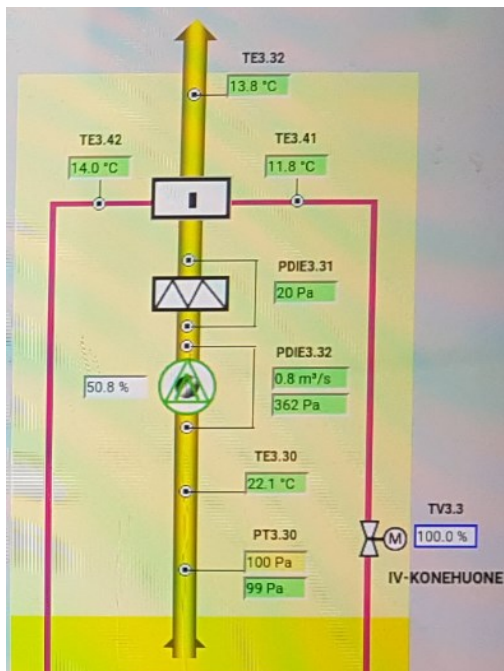
Ongelmia on havaittu sekä lämmöntalteenotossa kuin järjestelmän taloudellisessa käytössäkin.

#### 6.1.4.1 Poistoilman lämmöntalteenotto, LTO

Kolme lämmönkeruupatteria ja neljä lämpöpumppua ovat varustettu linjasäätöventtiileillä. Linjasäätöventtiilien avulla säädetään suunnitelman mukaiset virtaukset niin LTO-pattereille kuin myös lämpöpumppuyksiköille. Järjestelmän käyttöönoton sekä vastaanoton tarkastusmittauksissa havaittiin suuria eroavaisuuksia lämmönkeruunesteen virtaamassa. LTO-pattereiden yhteenlaskettu mitattu virtaama on 5,61 dm<sup>3</sup>/s ja

lämpöpumppujen vastaavasti  $6,91 \text{ dm}^3/\text{s}$ , mutta virtaamien tulisi olla samansuuruiset. Virtaamien erotus on  $1,3 \text{ dm}^3/\text{s}$ . Suunniteltu virtaama on  $5,32 \text{ dm}^3/\text{s}$ . Eroavuutta ei ole toistaiseksi pystytty selvittämään.

Suunniteltua suuremmat virtaamat voivat aiheuttaa ongelmia lämmönsiirtymisessä. On tärkeää, että lämmönsiirtoneste jäähtyy lämpöpumpussa riittävästi, jotta siihen voi LTO-patterissa siirtyä suurempi lämpömäärä (kaava 3). Sekä LTO-patterit että lämpöpumpun höyrystin on suunniteltu tietylle lämpötilan ja virtauksen yhdistelmällä, ja mikäli jompikumpi poikkeaa suunnitellusta, ei suunniteltuun tehoon päästä.



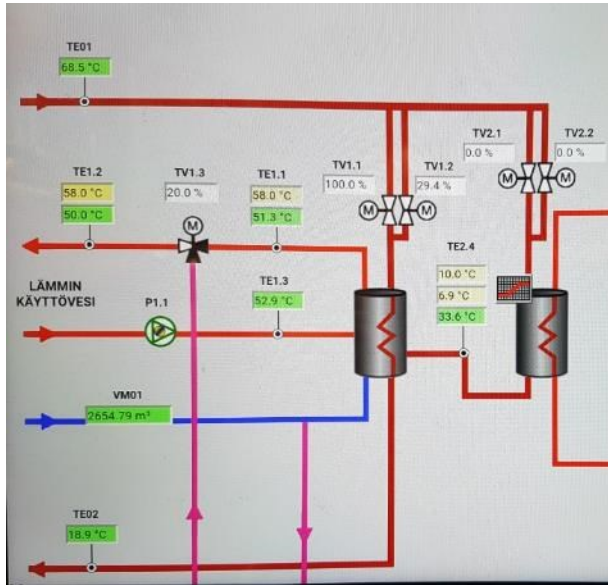
Kuva 22. Kohteen yksi kolmesta poistoilman lämmöntalteenottopatterista.

Kuvassa 22 anturit TE3.41 ja TE3.42 mittaavat lämmönsiirtonesteen lämpötilaa ja anturit TE3.30 ja TE3.32 poistoilman lämpötilaa. Poistoilman kosteusmittausta ei ole. Kuvassa olevilla lämpötilojen avulla voidaan laskea LTO-patterin teho kaavalla 3. Tehoksi saadaan noin  $8,0 \text{ kW}$ , joka on noin  $10 \%$  koko LTO-järjestelmän tehosta. Voidaan siis sanoa, ettei LTO-patterista saada suunnitellun mukaista noin  $26 \text{ kW}$ :n tehoa.



### 6.1.4.2 Käyttövesikytkentä

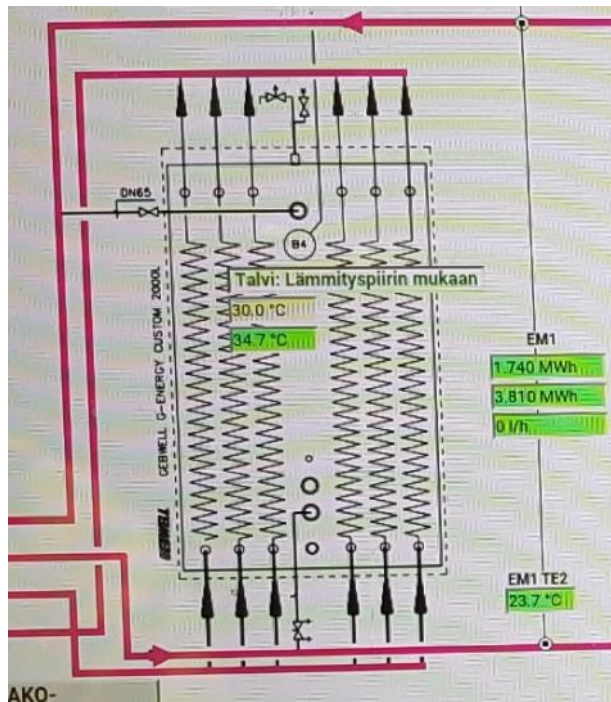
Kohteen käyttöveden lämmityksen kytkentä on toteutettu hieman kaukolämpömääräyksistä poiketen. Toteutunut kytkentä mahdollistaa käyttöveden lämmityksen kokonaan lämpöpumpuilla, ellei mukana olisi käyttöveden kiertoa. Kytkentä on esitetty kuvassa 23.



Kuva 23. Kohteen käyttöveden kytkentä.

Asetuksen mukaan käyttöveden lämpötilan tulee olla koko käyttövesiverkossa +55 °C. Vaatimus tarkoittaa, että lähtevän veden on oltava +58...+60 °C [16]. Mikäli vaatimuksen mukainen käyttövesi tehtäisiin lämpöpumpulla, tulisi lämpöpumpun tuottaa yli +60 °C lämpöistä vettä. Korkea lämpötila heikentää lämpöpumpun taloudellisuutta, siksi käyttöveden loppulämmitys ja kiertoveden lämmitys on taloudellisempaa tehdä muulla kuin lämpöpumpulla. Lämpimän kiertoveden on siis päästävä virtaaman vaihtimen kautta. Käyttöveden säädössä oleva kolmitieventtiili (kuvassa TV1.3) ei siis voi koskaan olla täysin auki, niin että käyttöveden virtaus olisi vain lämpöpumpun suunnasta.

Kuvasta 23 voidaan nähdä, ettei järjestelmä toimi asetuksen vaatimalla tavalla. Käyttöveden lämpötila on alle +55 °C. On huomattava, että käyttöveden siirtimen molemmat säätöventtiilit ovat toiminnassa, eikä vielä ole saavutettu riittävää lämpötilaa.

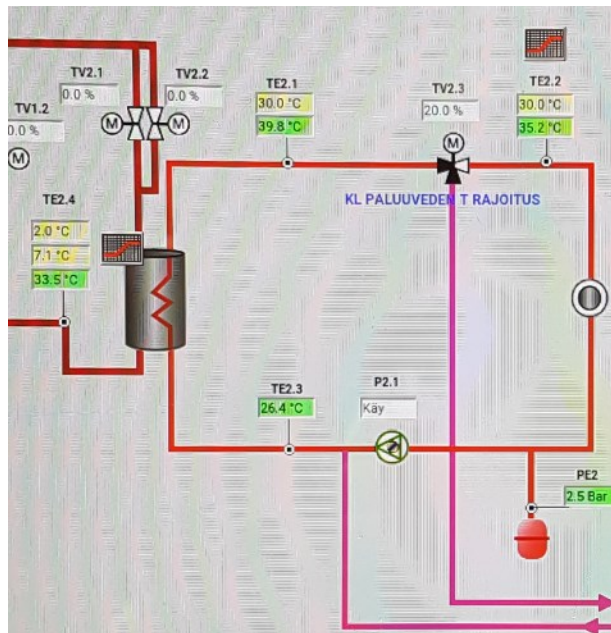


Kuva 24. Kohteen lämpöakku ja käyttövesikierukat.

Kuvassa 24 on esitetty käyttöveden lämmityksen ja lämmitysverkoston puskurivaraaja eli lämpöakku. Koska lämpöakun lämpötila on rajoitettu  $+30\text{ °C}$ :seen tämä tarkoittaa, että osa käyttövedestä on lämmitettävä käyttöveden siirtimen avulla siten, että lähtevän/sekoitetun veden lämpötila on  $+58\text{ °C}$ . Tämä sekoitus edelleen heikentää kaukolämmön jäähtymää ja siten nostaa kaukolämmön paluuv veden lämpötilaa. Sekoitussuhdetta on seurattava ja säädettävä, jotta kaukolämmön paluuv veden lämpötila on määräysten mukainen.

#### 6.1.4.3 Lämmityskytkentä

Kohteen lämmitysverkoston kytkentä (kuva 25) on toteutettu kaukolämpömääräysten mukaisesti. Toteutunut kytkentä mahdollistaa tilojen lämmityksen kokonaan lämpöpumpuilla sekä hyödyntämään lämpöpumppujen tehon. Lämpöpumppujen teho on  $110\text{ kW}$ , ja lämmityksen lämmönsiirtimen teho on  $552\text{ kW}$ .



Kuva 25. Kohteen lämmityksen kytkentä (kuvassa virtausnuolet väärin päin).

Kuvassa 25 on esillä lämmitysverkoston säätöongelma. Lämmitysverkoston menoveden lämpötila on kuvassa  $+35,2\text{ °C}$ , kun sen säätökäyrän mukaan tulisi olla  $+30,0\text{ °C}$ . Huomattavaa että lämpökun lämpötila on  $+34,7\text{ °C}$ . Lämpöpumppuja ohjataan lämpökussa olevan lämpötilan mukaan. Lämpökun lämpötilan tulisi olla sama kuin lämmitysverkoston menoveden. Näin ei aina kuitenkaan ole, joten verkostoon menevään veteen on sekoitettava siirtimen kautta kulkevaa paluuvettä, jotta lämpökäyrän mukainen menoveden lämpötila saavutetaan. Tässä kohteessa on useita erillisiä lämmityspiirejä, joita pääpiiri syöttää. Erilliset piirit ovat asuntojen patteri- ja lattialämmitysverkostolle sekä kahden portaan ilmanvaihdon lämmitykselle. Erillisillä piireillä on omat sekoituspiirinsä (shuntit), joten lämmitysverkostoihin saadaan suunnitellun mukaiset menovedet.

Koska lämpöpumppujen teho on vain noin viidesosa lämmitykseen tarvittavasta tehosta, tulee tehoraja ulkolämpötilan laskiessa nopeasti vastaan. Lämpöpumppujen tuottamaa lämmitysverkoston vettä joudutaan sekoittamaan lämmityksen siirtimellä tuotettuun korkeampilämpöiseen veteen. Tämän sekoituksen seurauksena kaukolämmön paluuveden lämpötila nousee.

### 6.1.5 Ongelmien korjaus

Mikäli noudatetaan kaukolämpömääräyksiä ja ohjeita niin järjestelmän ongelmien korjaamiseksi ei voida tehdä mitään. Tehokkuutta voidaan hieman parantaa automaation keinoin. Kaukolämpömääräysten kytkennät ovat sellaiset, ettei niitä noudattamalla saada lämpöpumpuille johdettua kylmintä mahdollista vettä, mikä olisi niiden taloudellisen ja tehokkaan toiminnan edellytys.

Lämpöpumppujen teho ei yksinään riitä tuottamaan tarpeeksi lämmintä käyttövettä, joten käyttöveden siirtimen tulee tehdä lopullinen käyttövesi. Korjaava toimenpide olisi johtaa lämmin käyttövesi ensin lämpöakussa olevien kierukoiden kautta ns. esilämmittää ja sen jälkeen johtaa noin +25 °C:n lämminvesi kaukolämmönsiirtimelle.

Lämpöpuilla voidaan hoitaa kiinteistön lämmitys tiettyyn ulkolämpötilaan saakka nykyisellä kytkennällä, mutta ulkolämpötilan laskiessa teho raja tulee pian vastaan. Korjauksena lämmitysverkoston veden tulisi ensin kiertää lämpöakun kautta ja sen jälkeen mennä siirtimelle.

Lattialämmityksen tehon tarve on noin 23 kW, ja lämpöpumpuilla voidaan tuottaa 110 kW, joten lattialämmityksen tarvitsema teho voitaisiin tuottaa pelkästään lämpöpumpuilla. Jotta tämä voitaisiin toteuttaa ja hyödyntää, tulisi lattialämmityspiirille olla oma siirrin.

### 6.1.6 Järjestelmän hyödyt

Suunnitteluvaiheessa tehdyn kannattavuusarvion mukaan PILP-järjestelmän tuotto on 569 MWh/a ja COP 3,7. Takaisinmaksuaika on 11 vuotta.

Lämpöpumppujärjestelmään on asennettu energiamittari mittaamaan lämpöpumppujen tuottamaan energiamäärää sekä lämpöpumppujen sähkönkulutuksen mittaus. Järjestelmä on välillä 28.4. – 24.8.2020 tuottanut lämpöenergiaa 7 490 kWh ja kuluttanut sähköä 3 275 kWh. Järjestelmän COP on siis  $7\,490 / 3\,275 = 2,29$ . Saatua COP arvoa voidaan pitää tyydyttävänä, mutta se ei vastaa kannattavuusarviossa käytettyä.

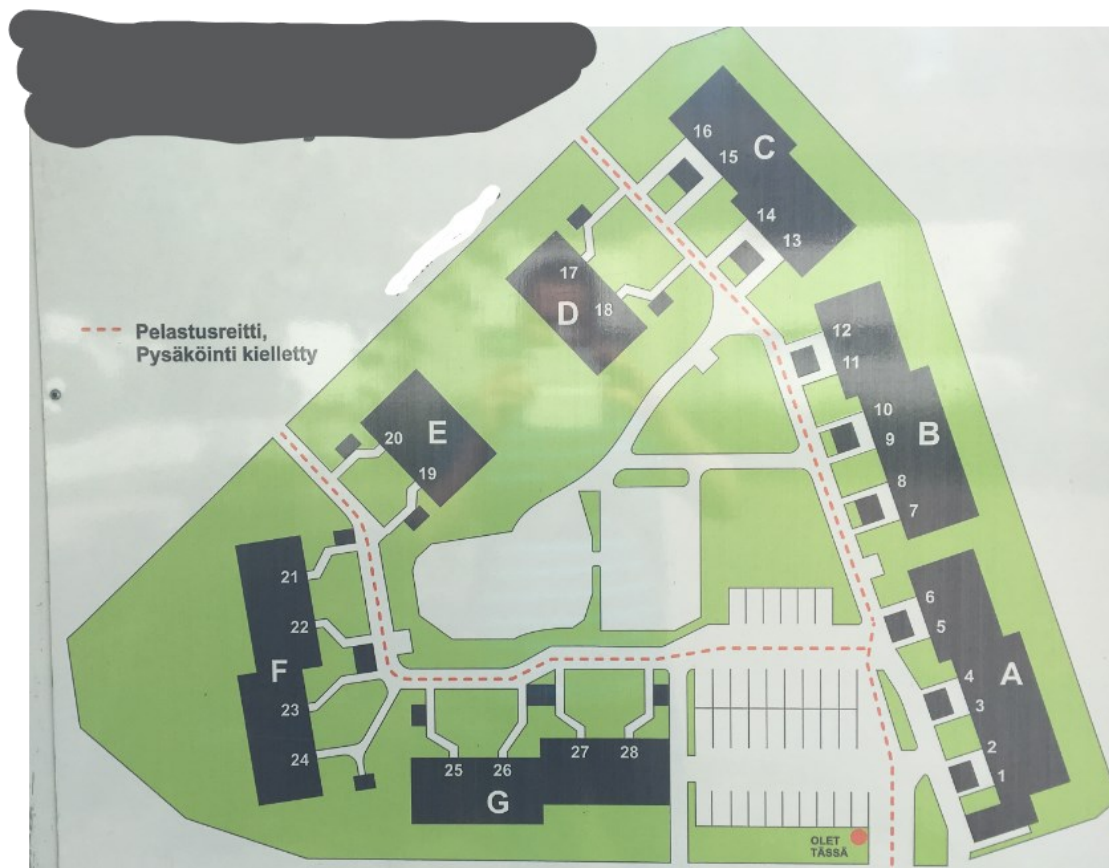
Kaukolämmön keskihinta on em. välillä ollut 29,90 €/MWh. Lämmitysenergian osalta säästöä on syntynyt 7,490 MWh x 29,90 €/MWh eli 223,00 €. Sähköä on kulutettu 3,275 MWh x 120 €/MWh eli 393,00 €. Säästöä on syntynyt 223 € – 393 € eli –170 €. Lisäksi on muistettava, että samaan aikaan on maksettu kaukolämmön perusmaksua.

LTO-järjestelmä on tuottanut tappiota.

## 6.2 1980-luvun lopun, asuinrivitalo, Lohja

Kyseessä on vuonna 1988 valmistunut 28 asuntoa käsittävä, seitsemästä eri talosta muodostuva rivitaloyhtiö. Huoneistoala on 2.373 m<sup>2</sup> ja tilavuus 7.872 m<sup>3</sup>. Lämmitysmuotona on vesikiertoinen patterilämmitys ja lämmöntuottona on ollut kaukolämpö.

Awillaksen roolina oli tehdä alustava kannattavuuslaskelma, kilpailuttaa urakka sekä toimia toteutuksen valvojana.



Kuva 26. Kohdekartta.

Lämmönjakohuone on asunnon A1 päädyssä. Energiakaivot porattiin talojen muodostamalle piha-alueelle, myös pysäköintipaikalle. Kuvassa 26 on esitetty kohteen kohdekartta, josta ilmenee pysäköintipaikka sekä lämmönjakohuoneen sijainti.

### 6.2.1 Lämmitysjärjestelmän mitoitus

Lohjalla sijaitsevan rakennuksen mitoittavana ulkolämpönä käytetään  $-26\text{ °C}$ :ta. Olemassa olevan lämmönsiirtimen lämmityspiirin mitoituslämpötila on  $70\text{ °C} / 40\text{ °C}$ . Käyttöveden mitoitusvirtaama on  $1,33\text{ dm}^3/\text{s}$ . Lämmönsiirtimien tehot ovat käyttövedellä  $251\text{ kW}$  ja lämmityksellä  $147\text{ kW}$ .



Kuva 27. Kuvassa lämmönjakohuone ja kaukolämmön siirrin lähtötilanteessa.

Rakennuksen ulkovaipan lämpöhäviöt mallintamalla ja rakennusvuoden mukaisilla U-arvoilla laskettuna on rakennuksen laskennallinen tehontarve noin 145 kW. Tehontarpeeseen on huomioitu ilmanvaihdon ja vuotoilman vaikutukset. On huomattava, että rakennuksiin on tehty U-arvo parannuksena yläpohjan lisälämmöneristäminen sekä uusittu aluelämmityspotket. Näistä vain yläpohjan lisälämmöneristäminen otettiin huomioon tehontarpeen laskennassa. Lämmin käyttövesi ei ole teholaskelmassa mukana. Laskennallinen lämmityksen energiatarve on noin 412 MWh/a.

### 6.2.2 Kannattavuusselvitys

Maalämpöön siirtymisen kannattavuuslaskenta tehtiin Awillas Oy:n toimesta syksyllä 2017. Laskennassa sähkön hintana oli 120 €/MWh ja kaukolämmön hintana 65,10 €/MWh + perusmaksu 7 700 € (Loher 2016). Lämpimän käyttöveden kulutukseksi arviointiin 40 % kokonaisvedenkulutuksesta.

Vuosien 2015–2016 lämmitysenergian kulutus on ollut 400 MWh/a ja lämpimän käyttöveden kulutusarvio on 46 MWh/a. Edellä olevilla kulutus- ja kustannustiedoilla on suoritettu alustava kannattavuuslaskelma, joka esitetty on taulukossa 4.

Taulukko 4. Kannattavuuslaskelma

KUSTANNUKSET	KL (nykyinen tilanne)	S + ML
<i>Investointi €</i>	0	236 000 (** (****
<i>Vuosimaksu €</i>	7 700	
<i>Energiakustannus €/a</i>	26 000	14 500 (*
<i>Lainan vuosikustannus €</i>		3 800 (****
<i>YHT. €, 1 vuosi</i>	33 700	250 500
<i>Vuosittainen säästö €</i>		15400
<b>20 vuoden kokonaiskustannus €</b>	<b>674 000</b>	<b>526 000</b>
<i>Takaisinmaksu (vuosia)</i>		15

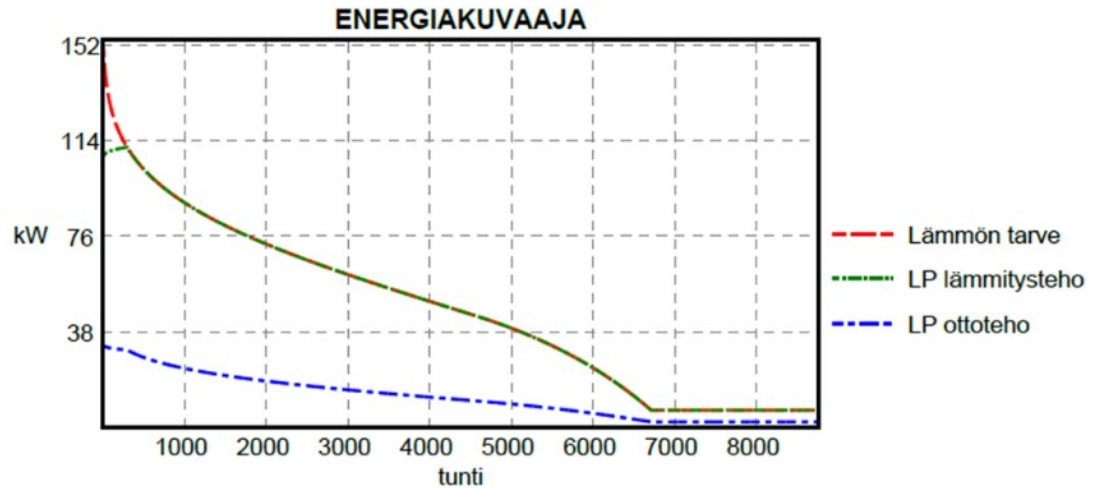
Taulukossa 4 on esitetty nykyisen kaukolämmön sekä maalämmön kannattavuudet. Tähdet lukujen jälkeen ovat epävarmuustekijöitä, kuten maaporauksen suuruus, sähköenergian hinta sekä lainan korkokustannukset. Vuosisäästöksi on saatu 15 400 €.

Kannattavuusselvityksessä käytettiin yritykselle kertynyttä kokemusta eri laitteistojen sekä energiakaivojen kustannuksista. Investointi sisältää myös suunnittelu- ja valvontakulut.

### 6.2.3 Järjestelmän kuvaus ja mitoitus

Hybridijärjestelmä koostuu kahdesta 64 kW:n maalämpöpumpusta, puskuri- ja käyttövesivaraajista sekä sähkökattilasta. Ensimmäinen käyttövesivaraaja toimii käyttöveden esilämmittäjä ja toinen käyttöveden lämmön nostamiseen käyttölämpötilaan, priimaukseen. Jälkimmäisessä käyttövesivaraajassa on kaksi 9 kW:n sähkövastusta. Lämmönlähteenä on kymmenen energiakaivoa, joiden yhteenlaskettu poraussyvyys on 2 663 m, maaporausta on 92 m. Aktiivisyvyyttä ei porausraporteissa ole mainittu.

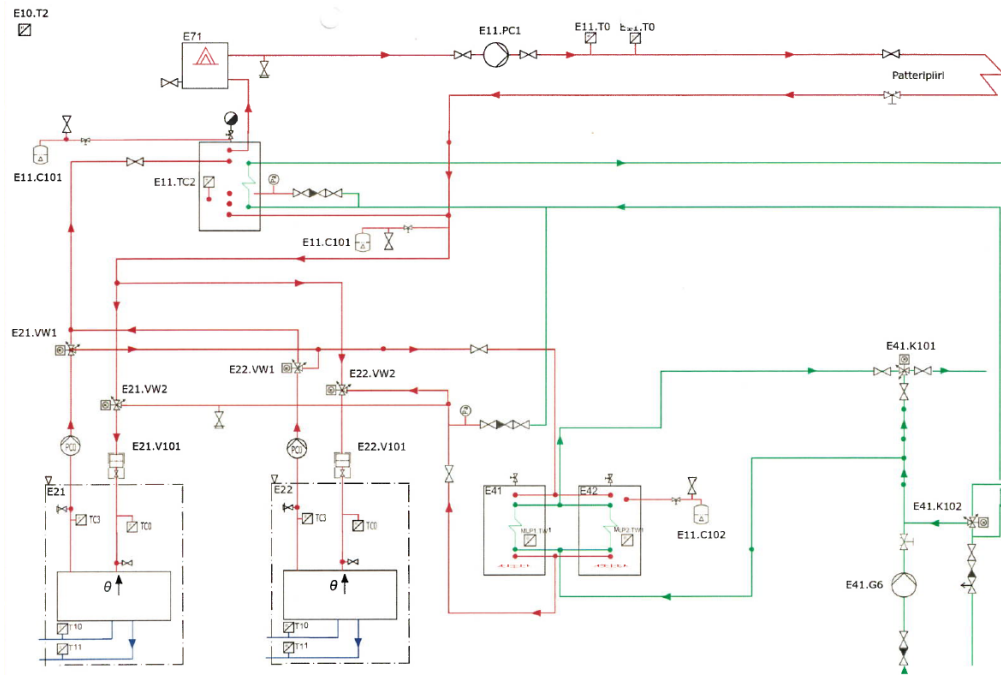


**ENERGIKAIVO**

Aktiivinen poraussyvyys	2544 m
Energian otto	119 kWh/m
Tehon otto	34 W/m
Lambda kallio	3,0 W/mK
Tulevan keruuliuksen keskilämpötila	0,8 °C

Kuva 28. Maalämmön mitoituskuvaaja.

Kuvassa 28 on esitetty maalämpöjärjestelmän tehonkattavuus astetunteina sekä otto- ja lisäenergian tarve. Kuvasta nähdään järjestelmän olevan osatehomoitettu, joten osa lämmöntehotarpeesta tulee kattaa muulla kuin maalämmöllä. Lisälämmöntarve on kuvattu punaisella katkoviivan osuudella. Kuvassa on myös energiakaivojen mitoitusperusteet. Aktiivinen poraussyvyys 2 544 m tarkoittaa kahdeksaa 320 m syvää kaivoa.



Kuva 29. Järjestelmäkaavio

Kuvassa 29 on esitetty laitteiston kokoonpano. E21 ja E22 ovat lämpöpumput, E41 ja E42 ovat käyttöveden varaajat. E11 on varaaja varustettuna kahdella 9 kW:n sähkövastuksella ja E71 on sähkökattila.

#### 6.2.4 Havaitut ongelmat

Järjestelmän käyttöönotossa eikä sen takuuajana ole havaittu ongelmia.

#### 6.2.5 Järjestelmän hyödyt

Urakan toteutunut kustannus oli noin 240 000 €. Kustannuslaskennassa investoinnin suuruudeksi arvioitiin 236 000 €, eron selittää lisätyönä tilattu lämmitysverkoston sykehuuhtelu, jonka kustannus oli noin 5 000 €.

Maalämpöön siirryttiin 5.10.2018. Maalämpöön siirtymisen jälkeen kulutetun lämpöenergian seuranta on tapahtunut ainoastaan sähköenergian kulutuksen avulla. Yhtiön tilisekä seurantakausi on poikkeava. Vuoden mittainen seurantajakso oli ajanjakso 1.8.2019 – 31.7.2020.

Kulutukset on esitetty taulukossa 5

Taulukko 5. Lämmitys- ja sähköenergian kulutukset

Seuranta jakso	Lämpöenergian kulutus, MWh	Sähköenergian kulutus, MWh	Energian kustannus, €/MWh	Normeerattu kulutus, MWh	Vuosi-kustannus, €
1.8.2016-31.7.2017	410,00		65,00	410,189	26 662,29
1.8.2019-31.7.2020		111,249	170,00	103,685	17 626,45
Säästö					9 035,84

Taulukon 5 normeerattujen kulutustietojen sekä toteutuneiden kustannusten avulla saadaan toteutuneeksi vuosisäästökseksi 9 035,84 €. Lämpö- ja sähköenergian normeerattujen kulutustietojen avulla voidaan laskea järjestelmän vuosihöytysuhde (SCOP), joka on 3,96.

Toteutunut vuosisäästö poikkeaa kannattavuuslaskelmasta merkittävästi. Poikkeavuuden selittävänä tekijä on sähköenergian hinta. Kannattavuuslaskelmassa sähköenergian hintana on käytetty 120 €/MWh, joka oli sen hetkinen sähkön hinta. Tällä hetkellä sähkön hinta on 170 €/MWh. Sähkön hinnan vuosivaikutus on 5 184,25 €. Mikäli sähkön hinnan nousu jätetään huomioimatta, on säästö 14 220,09 €, joka on lähellä laskennallista säästöä. Lisäksi on huomattava, että sähkökulutuksessa on mukana kaikki kiinteistösähkö, myös pihan valaistus.

Päivitetyn kannattavuuslaskelman perusteella investoinnin kannattavuus on heikentynyt sähkönhinnan noususta johtuen. Päivitetty laskelma on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Nykyarvomenetelmällä laskettu investoinnin kannattavuus toteutuneilla kustannuksilla.

HANKINTAHINTA	Mahdollinen tuki tai avustus	Huolto yms. vuosikustannus	Korkokonta. Käytetään jos yhtiöllä tuotokohteita	ENERGIAN HINNAN NOUSU	SÄHKÖN HINTA	LÄMMÖN HINTA	SÄHKÖN KULUTUS ALUSSAJÄLKEEN	LÄMMÖN KULUTUS ALUSSAJÄLKEEN	KORJAUS I	KORJAUS II
€	%	€	i	e	€/MWh	€/MWh	MWh	MWh	I	I
236000	0 %	0,00 %			170	65	0,00	410	10v välein	10v välein
236000		100	0,00 %	2,00 %	2,00 %	2,00 %	111,00	0	0	0
VUOSI	INVESTOINTI JA HUOLTO	KORJAUS	KORJAUS II	SÄHKÖENERGIA	LÄMPÖENERGIA	SÄHKÖENERGIAN SÄÄSTÖ	LÄMPÖENERGIAN SÄÄSTÖ	NETTO-SÄÄSTÖ	DISKONTATTU NETTOSÄÄSTÖ	KUMULATIIVINEN DISKONTATTU NETTOSÄÄSTÖ
	€	€	€	€/MWh	€/MWh	€	€	€	€	€
0	236000			170,00	65,00			-236000	-236000	-236000
1	100			173,40	66,30	-19247	27183	7836	7835,6	-228164,4
2	100			176,87	67,63	-19632	27727	7994	7994,3	-220170,1
3	100			180,41	68,98	-20025	28281	8156	8156,2	-212013,9
4	100			184,01	70,36	-20425	28847	8321	8321,3	-203692,6
5	100			187,69	71,77	-20834	29424	8490	8489,7	-195202,8
6	100			191,45	73,20	-21251	30012	8662	8661,5	-186541,3
7	100			195,28	74,66	-21676	30612	8837	8836,8	-177704,5
8	100			199,18	76,16	-22109	31225	9016	9015,5	-168689,0
9	100			203,17	77,68	-22551	31849	9198	9197,8	-159491,2
10	100	0	0	207,23	79,23	-23002	32486	9384	9383,8	-150107,4
11	100			211,37	80,82	-23462	33136	9573	9573,5	-140533,9
12	100			215,60	82,44	-23932	33799	9767	9766,9	-130767,0
13	100			219,91	84,08	-24410	34475	9964	9964,3	-120802,8
14	100			224,31	85,77	-24899	35164	10166	10165,5	-110637,2
15	100			228,80	87,48	-25397	35867	10371	10370,9	-100266,4
16	100			233,37	89,23	-25904	36585	10580	10580,3	-89686,1
17	100			238,04	91,02	-26423	37316	10794	10793,9	-78892,2
18	100			242,80	92,84	-26951	38063	11012	11011,8	-67880,5
19	100			247,66	94,69	-27490	38824	11234	11234,0	-56646,5
20	100	0	0	252,61	96,59	-28040	39600	11461	11460,7	-45185,8
21	100			257,66	98,52	-28601	40393	11692	11691,9	-33493,9
22	100			262,82	100,49	-29173	41200	11928	11927,7	-21566,2
23	100			268,07	102,50	-29756	42024	12168	12168,3	-9397,9
24	100			273,43	104,55	-30351	42865	12414	12413,6	3015,7
25	100			278,90	106,64	-30958	43722	12664	12663,9	15679,6

Taulukossa on käytetty energian hinnan nousuna maltillista 2 %:n arvoa, jolloin investointi ei ole kannattava. Mikäli hinnan nousun arvona käytetään 6,5 %:n tulee investointi kannattavaksi noin 18 vuoden kuluttua.

## 7 Hybridijärjestelmien säästöjen kannalta huomattavat asiat

Tilojen lämmityksellä korvataan se lämpöenergiahäviö, joka syntyy johtumis- ja vuotoilman lämpöhäviöistä sekä korvausilman ja ilmanvaihdon aiheuttaman kylmän ilman lämmittämisestä. Ennen lämmitysjärjestelmän uudistamista tulisikin siis tutkia voidaanko kiinteistön lämpöhäviöitä vähentää. Etenkin vanhemmissa rivi- ja kerrostaloissa tulee selvittää, voidaanko yläpohjan eristystä lisätä tai voidaanko ilmanvaihtoon tehdä energiaa säästäviä muutoksia lämmöntalteenoton lisäksi.

## 7.1 Alkusuunnittelu

Mikäli lämmitysjärjestelmän uusimisessa ollaan päätyvässä hybridiratkaisuun, tulee heti alussa ottaa mukaan asiaan perehtynyt asiantuntija. Hybridiratkaisut koostuvat yleensä kahdesta tai useammasta lämmöntuottojärjestelmästä, joten pelkän järjestelmätoimittajan asiantuntemukseen ei ole syytä luottaa. Asiantuntijalla tulee olla käytännön kokemusta järjestelmistä sekä erittäin vahva talotekninen osaaminen.

Alkuvaiheessa on syytä selvittää myös hankkeeseen saatavat yhteiskunnan myöntämät tuet. Tätä työtä tehdessä on öljylämmityksestä luopumiseen saavissa tukea. Myös erilaisiin energiakorjauksiin on tukea saatavilla. Nämä tuet voivat olla ratkaisevia kannattavuustarkastelussa.

## 7.2 Järjestelmän määrittäminen

Järjestelmän kokoonpano riippuu kiinteistöstä ja sen mahdollisuuksista. Pieni tontti voi olla esteenä energiakaivoille, joten vaihtoehtoiseksi energialähteeksi jää ulko- tai poistoilma. Ulkoilman käyttö energialähteenä loppuu yleensä noin  $-15\text{ °C}$ , joten se tarvitsee rinnalleen täysitehoisen lisälämmitysjärjestelmän. Poistoilman osalta vastaavaa rajoitetta ei ole, mutta poistoilman energiamäärä ei riitä kattamaan koko energiaa tarvetta, joten se tarvitsee rinnalleen lisätehoa antavan järjestelmän.

Asuinkerrostalo, Espoo -esimerkin sekä kaukolämpömääräysten perusteella kaukolämpöä ei voi suositella minkään hybridijärjestelmän osaksi. Lämpöpumppujen tehokkaan toiminnan kannalta olisi tärkeää, että lämpöpumpulle tulee mahdollisimman viileää vettä. Tämä ei kaukolämmön yhteydessä ole mahdollista.

## 7.3 Tontti ja maaperä

Projektin alussa on selvitettävä kiinteistön energiakaivojen tekoon käytettävissä oleva ala sekä maaperän koostumus.

Mikäli kiinteistö sijaitsee pohjavesialueella tai maaperä on hiekkaa tai savea, energiakaivojen teko voi olla mahdotonta tai niiden teko voi muodostua kustannuksiltaan kannattamattomiksi.

Usean energiakaivon mitoituksessa on syytä käyttää siihen tarkoitettuja ohjelmistoja, jotta todellinen kaivojen energiantuottokyky ja kaivojen vaikutus toisiinsa eli kaivokentän toiminta saadaan selville

#### 7.4 Kannattavuusselvitys

Järjestelmän määrittämisen sekä kiinteistön mahdollisuuksien selvityksen jälkeen voidaan tehdä kannattavuusselvitys.

Kannattavuusselvityksen sekä mitoituksen tulee perustua kiinteistön laskennallisiin kulustietoihin. Tarvittava lämmityksen huipputeho tulee laskea rakennuksen lämmitystarpeen mukaan. Mikäli käytetään toteutuneita energiankulutus- tai tehotietoja, tulee hankkeeseen ryhtyvien ymmärtää, että investoinnin käyttöaikana voi syntyä tilanteita, joissa järjestelmän lämmöntuottokyky loppuu.

As Oy -tyyppisen kiinteistön kannattavuusselvityksen tekemiseen suositellaan nykyarvomenetelmää. Kuten Lohjan tapauksesta huomataan, on kustannusten nousulla sekä korkokannalla suuri vaikutus investoinnin kannattavuuteen. Laskelmissa on tästä syytä tehtävä herkkyystarkastelua eli selvitettävä kustannusten muutosten vaikutus kannattavuuteen. Tämä tarkastelu onnistuu nykyarvomenetelmän avulla.

Useita hankkeita on jäänyt kannattavuusselvitysvaiheeseen, kun on todettu, ettei aiottu hanke tule olemaan kannattava.

#### 7.5 Energiakaivot

As Oy -kohteissa energiakaivoja tehdään useita, ja ne muodostavat tällöin kaivokentän. Energiakaivot on merkittävä osa investointia, joten niiden tekoon tulee kiinnittää huomiota. Lohjan kohteen porausraporteissa ei ollut mainintaa energiakaivojen tehollisesta

syvyydestä. Energiakaivojen tehollisen syvyyden tarkastamiseen ei ole tiedossa menetelmää. Tähän tulee jatkossa kiinnittää huomiota.

Energiakaivoissa on syytä huomioida, että etenkin asutulla alueella energiakaivoista on mahdollista saada alkuun suunniteltua enemmän energiaa pintakerroksen poikkeavasta lämpötilasta johtuen. Energiakaivojen lämpötilojen muutoksia tulee siis seurata, jotta nähdään, mikäli maankamara alkaa jäähtyä.

Maaporaus ja kallion sijainti on kannattavuuslaskelmissa syytä ottaa huomioon ja kaivokenttien osalta suositeltavaa tehdä koekaivo.

## 7.6 Poistoilma

Poistoilman hyödyntäminen tulee yleensä kyseeseen kerrostalokohteissa, joissa useamman asunnon poistoilmakanava on yhdistetty. Poistoilmakanavien yhdistäminen voidaan tehdä myös lämmitysjärjestelmän uudistamisen yhteydessä, mikäli kattorakenteet sen mahdollistavat.

## 7.7 Ulkoilma

Suomessa ulkoilman hyödyntäminen energian lähteenä riippuu hyvin paljon sijainnista. Ulkoilman hyödyntämisessä tulee tuntea paikalliset sääolosuhteet. Eteläisessä Suomessa, jossa lämpötila talvella ei kovin usein laske alle  $-15^{\circ}\text{C}$ :n voidaan ulkoilmaa hyödyntää mutta ongelmaksi saattaa tulla järjestelmän jäätyminen ilman kosteudesta johtuen.

Pohjois-Suomessa ulkoilman hyödyntämisestä ei ole kokemuksia.

## 7.8 Kaukolämpömääräykset

Kaukolämpömääräyksissä sanotaan, että niiden tarkoituksena on määritellä rakennuksen kaukolämmityslaitteiden suunnittelulle, asennukselle sekä laitteille

perusvaatimukset. Perusvaatimusten toteuttamisella taataan asiakkaiden laitteiden ja lämmönmyyjän kaukolämpöjärjestelmän tehokas toiminta.

Edellä kuvattu kaukolämpömääräysten henki on lämmönmyyjän eikä kiinteistön omistajan puolella.

## 8 Yhteenveto

Insinööriyön tarkoituksena oli nostaa esiin hybridilämmitysjärjestelmien saneerausten lähtötietojen merkittävyys sekä tuoda esiin kohdat, jotka vaikuttava saavutettaviin kustannussäästöihin. Kustannussäästöjä eli kannattavuutta tarkasteltiin nykyarvomenetelmän avulla.

Aivan alkuun hankkeeseen ryhtyvän on tehtävä päätös, lähdetäänkö hankkeeseen taloudelliset vaiko ympäristöasiat mielessä. Nämä eivät ole toisinaan poissulkevia, mutta ainakaan toistaiseksi ei ympäristöarvoille voida antaa taloudellisia määritteitä.

Kokeneen ja järjestelmäriippumattoman asiantuntijan sitouttaminen hankkeeseen heti alkupäätösten jälkeen on ensiarvoisen tärkeää. Asiantuntija huolehtii, että kiinteistö saada parhaan mahdollisen ratkaisun yhtiön tahtotilan huomioiden. Asiantuntija huolehtii koko urakan läpiviennistä, mikäli se kannattavuustarkastelun jälkeen todetaan järkeväksi toteuttaa.

Asiantuntijan tulee myös kyetä suhtautumaan kriittisesti järjestelmätoimittajan ja LVI-suunnittelijan ehdotuksiin sekä löytää näiden kanssa yhteisesti hyväksyty ja toimiva järjestelmä. On huomattava, ettei monikaan LVI-suunnittelija tunne lämpöpumppujen toteutusratkaisuja eivätkä lämpöpumppujärjestelmien toimittajat tunne LVI-mitoitusta tai eivät ainakaan tuo tietämystään aina esille.

Energian hinnalla eli lähinnä sähkön hinnalla on suuri merkitys kannattavuustarkasteluissa. Usein käytetty sähkön hinta 120 €/MWh on selvästi vanhentunutta tietoa, ja sen sijaan tulisi käyttää hintaa 160–180 €/MWh. Lisäksi tulee tehdä herkkyystarkastelu, eli tutkia, miten energian hinnan nousu vaikuttaa kannattavuuteen. Herkkyystarkastelu



tulee tehdä myös järjestelmän tehokkuuden osalta. Järjestelmätoimittaja tulee sitouttaa valvomaan, että toimittamansa järjestelmä tuottaa luvatus hyödyn.

Toteutuneiden kohteiden osalta voidaan sanoa, ettei lämpöpumpputekniikka yhdistettynä kaukolämpöön ole voimassa olevilla kaukolämpömääräysillä taloudellisesti järkevää. Lämpöpumpputekniikka voisi tulla kyseeseen kaukolämmön rinnalla kohteissa, joissa on erillinen matalalämpöjärjestelmä. Esimerkkinä tästä voisi olla Espoon kohde, jossa märkätiloissa on lattialämmitys. Hyödyntämistä varten tulisi lattialämmitykselle rakentaa oma lämmitysverkostonsa.

Kaukolämpömääräyksiin tulisi saada muutos siten, että lämpöpumpputekniikalla toimivien rinnakkaislämmitysjärjestelmien käyttöönotto olisi kiinteistön kannalta taloudellisesti järkevää.

Lämmönlähteenä energiakaivot ovat ensisijainen valinta niistä saatavan energiamäärän vuoksi. Poistoilma tulee kyseeseen osittaisena energianlähteenä, koska poistoilman energiamäärä ei useinkaan riitä kattamaan kiinteistön koko energiatarvetta.

Energiakaivojen mittatiedot perustavat urakoitsijan ilmoituksiin. Kaivojen syvyyden mittauksiin tulee kehittää jokin luotettava väline tai valvottava porauksessa käytettävää kankimäärä ja selvitettävä luotettavasti kaivojen aktiivisyvyys. Energiakaivojen tuotto on melko tasaista vuoden ajoista riippumatta. Meno- ja paluuveden lämpötilan seuranta on usein järjestelmässä itsessään, mutta yksittäisen kaivon lämpötilaa ei useinkaan tiedetä. Lämpökaivokenttien toimintaa tulee laatia seuranta.

Tulevaisuuden hybridijärjestelmä olisi taloudellisesti ja teknisesti toimiva. Siinä hyödynnettäisiin kiinteistön hukkalämpö niin ilmastoinnin kuin myös viemäriverkoston osalta, lämpöpumpputekniikan avulla. Ilmastointikoneessa olisi sisäänrakennettu lämpöpumppu. Kiinteistön lämmönjako tapahtuisi vesikiertoisella lattialämmityksellä. Käyttöveden esilämmitys tehtäisiin lämpöpumpuilla ja loppulämpö sähköllä. Kiinteistön tasopinnot olisivat aurinkopaneeleita, joiden tuottama sähkö käytettäisiin talotekniikkalaitteissa ja käyttöveden lämmittämiseen. Ylimääräinen sähkö varastoitaisiin vedyksi.

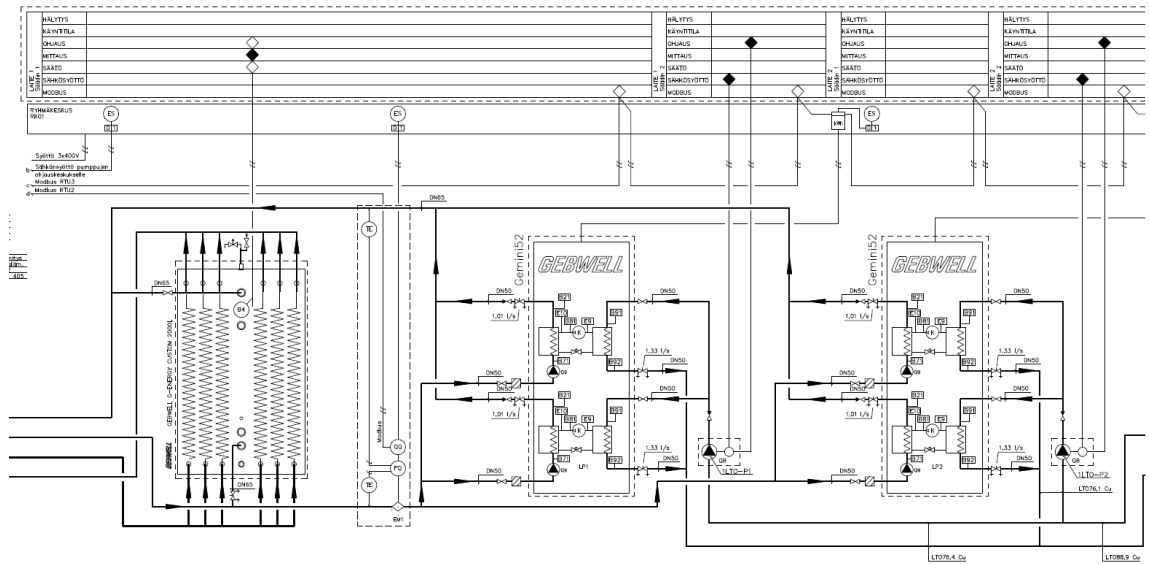
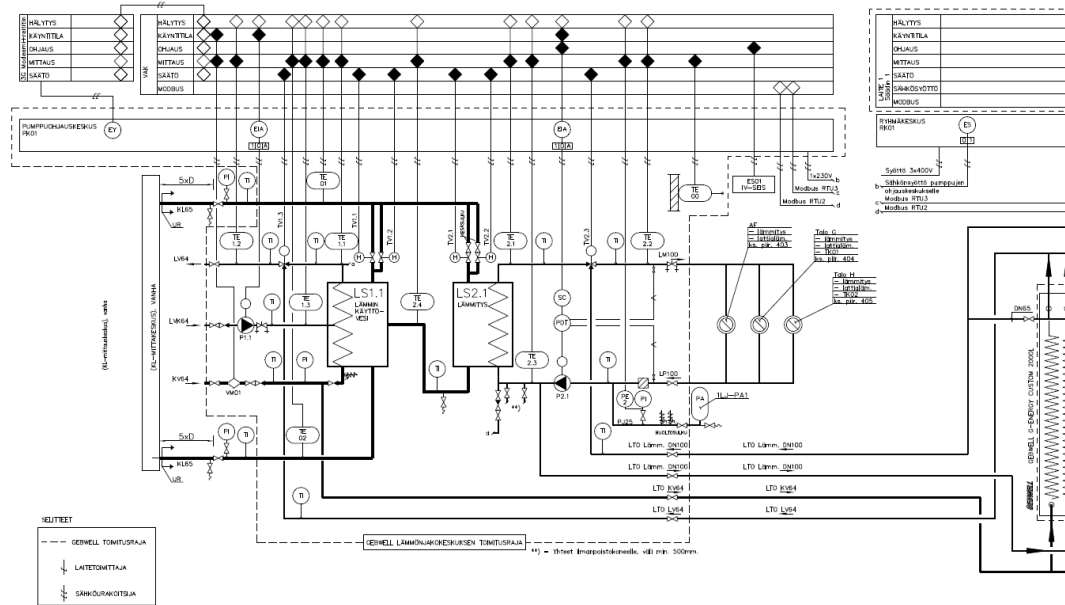
## Lähteet

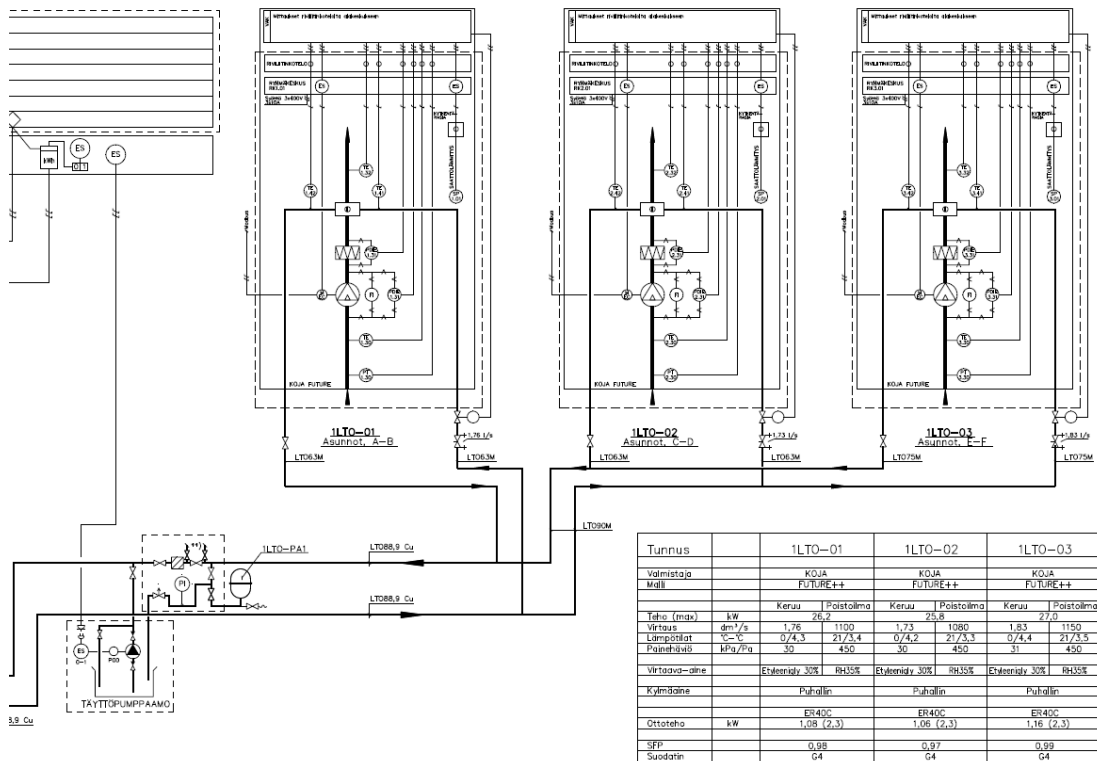
- 1 Seppänen, Olli. 1995. Rakennusten lämmitys. Espoo: Suomen LVI-yhdistysten liitto ry
- 2 Rakennusten energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta, ohjeet. 2018. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D5. Helsinki: ympäristöministeriö
- 3 Asumisen energiankulutus 2019, Liitekuvio 2, Asumisen energiankulutus käyttökohteittain vuonna 2019. Verkkoaineisto. Helsinki: Tilastokeskus. <[http://www.stat.fi/til/asen/2019/asen\\_2019\\_2020-11-19\\_kuv\\_002\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/asen/2019/asen_2019_2020-11-19_kuv_002_fi.html)>. Luettu 28.2.2021
- 4 Rakennusten lämmitys. 2006. LVI 10-10397. Helsinki: Rakennustieto
- 5 Vesikiertoinen patterilämmitys. 2002. LVI 12-10343. Helsinki: Rakennustieto
- 6 Vesikiertoinen lattialämmitys. 2003. RT 52-10801. Helsinki: Rakennustieto
- 7 Veden lämpötila. 2020. Vesi- ja viemärlaitteistot opas. Verkkoaineisto. Talotekniikkateollisuus. <https://www.talotekniikkainfo.fi/vesi-ja-viemarilaitteistot-opas/6-vvl-veden-%20lampotila>. Luettu 23.2.2021
- 8 Lämpimän käyttöveden kiertojohto. 2020. Vesi- ja viemärlaitteistot opas. Verkkoaineisto. Talotekniikkateollisuus. <<https://www.talotekniikkainfo.fi/vesi-ja-viemarilaitteistot-opas/8-vvl-lampiman-kayttoveden-kiertojohto>>. Luettu 23.2.2021
- 9 Valkeapää Aki, Opetusmoniste, 2016. Termodynamiikka ja virtaustekniikka.
- 10 Asumisen energiankulutus 2019, Liitetaulukko 2. Asumisen energiankulutus energialähteittäin vuonna 2019. Verkkoaineisto. Helsinki: Tilastokeskus. <[http://www.stat.fi/til/asen/2019/asen\\_2019\\_2020-11-19\\_tau\\_002\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/asen/2019/asen_2019_2020-11-19_tau_002_fi.html)>. Luettu 22.2.2021
- 11 Hybridilämmitys. Verkkoaineisto. Motiva. [https://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan\\_suunnittelu/lammitys/hybridilammitys](https://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/lammitys/hybridilammitys). Luettu 22.2.2021
- 12 Lämpöpumppujen myynti yli 100 000 pumppua. Talotekniikka lehti 1/2021 s. 10.
- 13 Kaappola, Esko; Hirvelä, Aulis; Jokela, Matti; Kianta, Jani; 2015. Kylmäteknikan perusteet. Helsinki: Opetushallitus.

- 14 Lankinen, Antti. Lämpöpumppuasentajan EU-CERT ja kylmäpätevyyskoulutus. 2014. Luentomoniste.
- 15 Juvonen, Janne; Lapinlampi, Toivo. 2013. Energiakaivo. Maalämmön hyödyntäminen pientaloissa. Helsinki: Ympäristöministeriö.
- 16 Huusko, Asmo. GTK. Geoenergia esitys 20.11.2020. Metropolia AMK-koulutus.
- 17 Valkeapää, Aki, Opetusmoniste, 2017. Jäähdytysjärjestelmät. 10 Lämpöpumput.
- 18 Poistoilmalämpöpumput, kiinteistöjärjestelmät. 2003. RT 103316. Helsinki: Rakennustieto
- 19 Kerrostalojen lämmöntalteenotto. 2021 Esite. Verkkoaineisto. Scandesco Oy <<https://www.scandesco.com/energiatekniikan-ratkaisut/lammontalteenotto/>> Luettu 23.2.2021
- 20 Rakennusten kaukolämmitys, määräykset ja ohjeet. 2020. Energiateollisuus.
- 21 Maalämpöpumput. Kiinteistöjärjestelmät. 2018. LVI 10-10624. Helsinki: Rakennustieto.
- 22 Kaukolämmön myyntihinnasto Vantaan energia 1.1.2021 alkaen. Verkkoaineisto. Luettu 22.2.2021
- 23 Energian hinnat. 3. Vuosineljännes 2020, Liitekuvio 5. Sähkön hinta kuluttajatyypeittäin. Verkkoaineisto. Helsinki: Tilastokeskus <[http://www.stat.fi/til/ehi/2020/03/ehi\\_2020\\_03\\_2020-12-10\\_kuv\\_005\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/ehi/2020/03/ehi_2020_03_2020-12-10_kuv_005_fi.html)>. Luettu 22.2.2021
- 24 Ikäheimo, Seppo; Malmi, Teemu; Walden, Risto. 2019. Yrityksen laskentatoimi. 8. uudistettu painos. Helsinki: Alma Talent.

## Säätökaavio, Asuinkerrostalo, Espoo

Espoon asuinkerrostalon kytkentä- ja säätökaavio, kostuu kolmesta leikkeestä.





Tunnus	1LTO-01	1LTO-02	1LTO-03			
Valmistaja	KOJA	KOJA	KOJA			
Modeli	FUTURE++	FUTURE++	FUTURE++			
Teho (max)	Keruu 20,2	Polstoilma 20,9	Keruu 18,3 Polstoilma 27,0			
Virtaus	1,76	1100	1,73	1080	1,83	1150
Lämpötilat	0/4,3	21/3,4	0/4,2	21/3,3	0/4,4	21/3,5
Painehäviö	30	450	30	450	31	450
Virtaus-aine	Ehtoenisy 30%	RH30%	Ehtoenisy 30%	RH30%	Ehtoenisy 30%	RH30%
Kylmäaine	Puhallin	Puhallin	Puhallin	Puhallin	Puhallin	Puhallin
Ottoteho	ER40C	ER40C	ER40C	ER40C	ER40C	ER40C
SFP	1,08 (2,3)	1,06 (2,3)	1,16 (2,3)	1,16 (2,3)	1,16 (2,3)	1,16 (2,3)
SFP	0,98	0,97	0,99	0,99	0,99	0,99
Suodatin	G4	G4	G4	G4	G4	G4