

Opinnäytetyö AMK

Energia- ja ympäristötekniikka

2020

Niko Lehtonen

LÄMMITYSJÄRJESTELMIEN KUSTANNUSVERTAILU KERROSTALOYHTIÖSSÄ

– Kustannusten muodostuminen ja
elinkaarikustannusten arviointi

Niko Lehtonen

LÄMMITYSJÄRJESTELMIEN KUSTANNUSVERTAILU KERROSTALOYHTIÖSSÄ

- Kustannusten muodostuminen ja elinkaarikustannusten arviointi

Kiinteistön lämmitysjärjestelmän valintaan vaikuttaa moni asia. Erityisesti pientaloissa kustannuksilla on suuri vaikutus talon lämmitysmuodon valintaan. Kaukolämpö tunnetaan toimintavarmana ja kustannustehokkaana vaihtoehtona, kun taas maalämpö on alkanut nosta kiinnostustaan lähivuosien aikana kehittyneiden lämpöpumpputekniikoiden ja saatujen säästöjen takia. Maalämmöllä tavoitellaan usein myös ekologisesti järkevämpää lämmitystä, vaikka kaukolämmön tuotannossakin ollaan siirtymässä yhä enemmän uusiutuvien polttoaineiden hyödyntämiseen.

Opinnäytetyön tarkoituksena on vertailla kaukolämpöä ja maalämpöä lämmitysjärjestelmävaihtoehtoina kolmen kerrostalon muodostamassa taloyhtiössä. Tavoitteena on luoda selkeä kuva molempien järjestelmien toimintaperiaatteista, kustannuksista ja niiden muodostumisista sekä vertailla tulevien vuosien elinkaarikustannuksia.

Kohteen kulutusdatan sekä lähtötietojen pohjalta on laadittu tarjouspyynnöt molempia lämmitysjärjestelmiä varten. Tarjouspyyntöjen pohjalta kaukolämpö- ja maalämpöurakoitsija ovat suunnitelleet ja mitoittaneet sopivan järjestelmän taloyhtiötä varten. Tarjousten kustannukset on laadittu uudiskohteen näkökulmasta, jotta vertailu olisi tasaväkinen ja investointien kokonaiskuva olisi selkeä. Urakkainvestointien lisäksi tulosten kannalta oleellista on energianhintojen kehitys ja nykyhinnat.

Urakkahinnat ja laitevalinnat riippuvat kohteesta ja urakoitsijasta. Tässä työssä nähtävät laitteistot ja urakkahinnat on suunniteltu tälle kiinteistölle, mutta ne ovat hyviä vertailupohjia vastaavan kokoisille kiinteistölle ja suhteutettuna toimivat myös vertailukelpoisina esimerkkeinä pienemmille tai suuremmille kiinteistöille.

Lopputuloksena on vertailu ja laskelmaesimerkki esimerkiksi isännöitsijöille, rakennuttajille tai muille kiinteistön omistajille, josta selviää molempien järjestelmien toimintaperiaatteet, kustannukset sekä elinkaarikustannukset. Kaukolämmön matalat investointikustannukset häviävät pitkällä aikavälillä maalämpöjärjestelmän tuomille säästöille.

ASIASANAT:

Kaukolämpö, maalämpö, energiakaivo, lämpöpumppu, lämmitysjärjestelmä, elinkaarikustannukset

BACHELOR'S / MASTER'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Energy- and environmental technology

2020 | 52 pages, 10 pages in appendices

Niko Lehtonen

COST COMPARISON OF DIFFERENT HEATING SYSTEMS IN A CONDOMINIUM

- Determination of costs and life-cycle cost analysis

The decision of heating system for a real estate has many variables. Especially for smaller estates cost is a huge factor in the decision of heating system. District heating has a very reliable and cost-effective reputation. Meanwhile, in the last few years geothermal heating has gained interest as heat pump technology has evolved and geothermal heating has shown possibility of saving in heating expenses. Geothermal heating is also used for more ecological heating, even though district heating is transferring more and more in to the use of renewable fuels.

The purpose of this thesis is to compare district heating and geothermal heating as options of heating system for a condominium formed by three apartment buildings. Objective is to create a clear image for the reader of how both of these heating systems operate, what are their expenses and investment costs and how these are formed, and to compare life-cycle costs.

Consumption and initial data was used to send requests for proposal of both heating systems to local HPAC contractors. With request of proposal information contractors have designed and sized suitable systems for the condominium. Prices in these offers have been composed by looking at the condominium as a new building to make the comparison even and to make the formation of investment expenses clear. Development and current prices of energy are also relevant for the results along with the investment costs.

Contract prices and system choices depend by the contractor and real estate. Heating systems and contract prices used in this thesis are designed for this particular condominium but they can be used as baseline for similar sized real estates and can be used as a contrast for smaller or bigger real estates when put into perspective.

The final result is a comparison and a calculation example for property managers, building contractors and other real estate owners, which shows principles of both heating systems, their investments and running expenses and life-cycle costs. Even with noticeably lower investment costs district heating will end up having very high life-cycle costs compared to geothermal heating.

KEYWORDS:

District heating, geothermal heating, geothermal well, heat pump, heating systems, life-cycle cost calculation. You can use the web catalogue in <http://finto.fi/en/>.

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO	8
1 JOHDANTO	1
2 VERTAILUN LÄHTÖTILANNE	2
2.1 Tavoite ja vertailukohteet	2
2.2 Kohde	2
3 KAUKOLÄMPÖ	3
3.1 Tuotanto	3
3.2 Jakelu ja kuluttajalaitteisto	5
4 MAALÄMPÖ	10
4.1 Keruupiiri	10
4.2 Maalämpöpumpun tekniikka	15
4.3 Lämpökerroin	17
5 KUSTANNUSTEN MUODOSTUMINEN	21
5.1 Kaukolämpö	21
5.1.1 Laitteet	21
5.1.2 Liittymismaksut	21
5.1.3 Energia- ja tehomaksut	22
5.2 Maalämpö	27
5.2.1 Laitteisto	27
5.2.2 Käyttökustannukset	28
5.2.3 Energiakaivot/energiakenttä	29
5.2.4 Sähkön hinta	30
5.3 Huolto- ja käyttöikä	32
5.3.1 Kaukolämpö	33
5.3.2 Maalämpö	33
6 KOHTEEN TARKASTELU	34
6.1 Kohteen lähtötiedot	34
6.2 Kaukolämmön hankintakustannukset	35
6.2.1 Liittymän rakentaminen ja liittymismaksut	35

6.2.2 Kaukolämpölaitteisto	37
6.3 Maalämpöjärjestelmän hankintakustannukset	38
6.4 Jatkuvat kustannukset	40
6.4.1 Energian hinnat	40
6.4.2 Huolto- ja valvontakustannukset	42
6.5 Elinkaarikustannusten laskenta	42
7 TULOKSET	47
7.1 Elinkaarikustannukset 20 vuoden ajalta	47
7.2 Elinkaarikustannukset 45 vuoden ajalta	48
8 YHTEENVETO	50
LÄHTEET	52

LIITTEET

- Liite 1. Energialaskelma maalämpöpumpun mitoitusohjelmasta.
- Liite 2. Energiakenttä.
- Liite 3. Jämä Star -kiinteistömaalämpöpumpun tekniset tiedot.
- Liite 4. Gebwell G-Power -kaukolämpökeskuksen esite.
- Liite 5. Maalämpöjärjestelmän esimerkkikytkentäkaavio.
- Liite 6. Kaukolämpökeskuksen esimerkkikytkentäkaavio.

KAAVAT

Kaava 1. Lämpövirtojen laskeminen (Energiateollisuus 2006, 113).	8
Kaava 2. Lämpöenergian laskeminen tietyllä ajanjaksolla (Energiateollisuus 2006, 113).	9
Kaava 3. Lämpökertoimen COP laskeminen (Seppänen 2001, 378).	18
Kaava 4. SCOP laskeminen kun $SCOP_{on}$ on laskettu (Rasmussen 2011, 8).	19
Kaava 5. SPF-luvun laskeminen (Ympäristöministeriö, 2012, 12).	20
Kaava 6. Turku Energian tehomaksun (alv 0%) laskeminen kun sopimusteho on 165...650 kW.	22
Kaava 7. Fortum Aktiivilämmön tehomaksun (€/vuosi, alv 0%) kun sopimusteho on 181 - 400 kW.	22
Kaava 8. Loiste Lämpö tehomaksun (sis. Alv 24 %) laskeminen kun tilausteho 100 - 400 kW.	22
Kaava 9. Turku Energian liittymismaksu (alv 0%) kun liittymisteho on 165...815 (Turku Energia, 2020).	36
Kaava 10. Johtomaksun määräytyminen (Turku Energia, 2020).	36
Kaava 11. Elinkaarikustannusten (LCC, Life-cycle cost) laskenta (Testa ym., 2011).	42

Kaava 12. Energiakustannusten nykyarvo.	43
Kaava 13. Kunnossapitokustannusten nykyarvo ja sen diskonttaus.	43
Kaava 14. Toistuvan maksun diskonttaus.	44
Kaava 15. Yksittäisen maksuerän diskonttaus.	44
Kaava 16. Energiakustannusten laskeminen.	44
Kaava 17. Reaalikoron laskeminen.	45

KUVAT

Kuva 1. Kaukolämmön hankinnan energialähteet vuonna 2018.	4
Kuva 2. Kaukolämmön ja siihen liittyvän sähkön tuotantoon käytettyjen polttoaineiden suhteelliset osuudet vuonna 2018 (Energiateollisuus ry, Kaukolämpötilasto 2018, 3).	5
Kuva 3. AlfaLaval Maxi -lämmönjakokeskuksen komponentit (AlfaLaval 2020).	6
Kuva 4. Kaksiputkijärjestelmän periaatekuva (Energiateollisuus 2006, 43).	7
Kuva 5. Kaukolämmön mittauskeskus, huomiona toimitusraja sekä oleellisia mittoja (Energiateollisuus 2006, 127).	8
Kuva 6. Kaukolämpökeskus (Vindkraft 2019).	9
Kuva 7. Maapiiri (Sulpu 2012).	10
Kuva 8. Energiakaivon rakenne (Juvonen & Lapinlampi 2013, 35).	12
Kuva 9. Energiapaalut (Rakentaja.fi).	13
Kuva 10. Lämpöpumpun toimintaperiaate. P1 kuvaa keruupiirin pumppua ja P2 lämmityspiirin kiertovesipumppua. PM on keruupiirin painemittari. (Juvonen & Lapinlampi, Energiakaivo, 2013.)	16
Kuva 11. Kiinteistön kytkentäkaavioesimerkki; 2 x MLP + Lämmitysverkon puskurivaraaja + 5 x lämminvesivaraajia käyttövedelle sekä tulistusvaraaja.	17
Kuva 12. Lämpötilojen jakautuminen eri ilmastovyöhykkeille (Rasmussen 2011, s. 2).	19

KUVIOT

Kuvio 1. Lämmitysenergian normaalivuoden kulutusjakauma (Energiateollisuus ry, 2020).	25
Kuvio 2. Elinkaarilaskennan tulokset 20 vuoden ajalta.	47
Kuvio 3. Elinkaarikustannukset 45 vuoden aikana.	48

TAULUKOT

Taulukko 1. Energiakaivon suosituksetäisyydet. Etäisyydet voivat vaihdella porauksen kaltevuuden, maaperän tai pohjaveden virtauksen mukaan (Juvonen & Lapinlampi 2013, 25).	11
Taulukko 2. Esimerkkitaulukko standardista EN14825. Taulukon avulla on laskettu lämpöpumpun keskimääräinen SCOP aktiivisessa tilassa. (Rasmussen 2011, 8.)	20
Taulukko 3. Lämmöntoimittajien vuosittaiset tehomaksut kun käytetään esimerkkinä 200 kW sopimustehoa.	23
Taulukko 4. Tehomaksun keskiarvo ja kasvu vuosina 2010–2020.	24

Taulukko 5. Kaukolämpötoimittajien energiamaksut kuukausitasolla vuonna 2019 (Energiateollisuus, 2020).	25
Taulukko 6. Energiamaksujen hinnankehitys 2010 - 2020 (Energiateollisuus, Kaukolämmön hintatilasto, 2020).	26
Taulukko 7. Esimerkkejä sopimusmalleista ja niiden hinnoista 1.5.2020 (Fortum, Turku Energia, Helen).	31
Taulukko 8. Lämmitysjärjestelmien laitteiden ja osien tekniset käyttöiät ja tarkastusvälit (KH 90-00403 LVI 01-10424 Ohjetiedosto, 2008).	32
Taulukko 9. Kohteen tunnuslukuja	34
Taulukko 10. Kulutushistoria 2013–2018.	34
Taulukko 11. Arvot mitoituksia varten.	35
Taulukko 12. Turku Energian johtokoon mukainen keskimääräinen rakentamiskustannus (€/m) (Turku Energia, 2020).	37
Taulukko 13. Liittymismaksu kokonaisuudessaan (Turku Energia, 2020).	37
Taulukko 14. Laitteiston kokonaistoimituksen hintarakenne.	38
Taulukko 15. Maalämpöjärjestelmän lisävaatimukset	39
Taulukko 16. Maalämpöurakan kokonaishinta.	40
Taulukko 17. Energian hinnat.	41
Taulukko 18. Kooste laskennassa käytettävistä lukuarvoista.	46
Taulukko 19. Elinkaarikustannukset 20 vuoden tarkasteluajanjaksolla.	48
Taulukko 20. Elinkaarikustannukset 45 vuoden tarkastelujaksolla.	49

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

a	Vuosi
c_p	Ominaislämpökapasiteetti
kWh	Kilowattitunti
LTO	Lämmöntalteenotto
m	Massavirta
MLP	Maalämpöpumppu
MUT	Mitoittava ulkoilman lämpötila
MWh	Megawattitunti
T	Lämpötila
TRT	Thermic Response Test, terminen vastetesti
x_m ja x_p	Menopuoli ja paluupuoli
Φ	Lämpövirta

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena on vertailla Naantalissa sijaitsevan esimerkkitaloyhtiön lämmitysjärjestelmävaihtoehtojen investointi- ja käyttökustannuksia. Vertailtavia lämmitysjärjestelmiä ovat kaukolämpö ja maalämpö. Kaukolämpö on erityisesti isommissa kunnissa sekä kaupungeissa erittäin yleinen kerrostalojen lämmitysmuoto sen varmuuden sekä hinnan takia. Lähiaikoina sekä tulevaisuudessa on kuitenkin tapahtunut selkeää kysynnän kasvu maalämpöjärjestelmille myös kerrostalojen lämmitysjärjestelmänä. Onko kuitenkaan kannattavaa investoida suuria summia lämmitysmuotoon jolla luvataan suuria säästöjä, vai kannattaako suosia halvempaa ja yleisempää?

Työ on jaettu teoriaan, kustannusten muodostumiseen sekä laskentaan ja tulosten vertailuun. Teoriaosiossa luodaan katsaus molempien lämmitysmuotojen historiaan, tulevaisuuteen ja tekniikkaan. Kustannusosiossa on esitetään kustannusrakenteen muodostuminen molempien järjestelmien investointivaiheesta käyttökustannuksiin ja niiden tulevaisuuteen. Lopuksi kustannusten pohjalta tehdään laskelmat ja vertaillaan niiden lopputuloksia.

Tarkoituksena on esitellä, miten järjestelmät toimivat, mitkä ovat niiden investointi- ja käyttökustannukset sekä miten järjestelmät suoriutuvat toisiaan vastaan pitkällä aikavälillä.

2 VERTAILUN LÄHTÖTILANNE

2.1 Tavoite ja vertailukohteet

Tarkastelun tavoitteena on vertailla kahden lämmitysjärjestelmän, kaukolämmön ja maalämmön, kokonaiskustannuksia kerrostaloyhtiössä. Vertailun tarkoituksena on tarkastella juuri kyseisen kohteen lämmitysjärjestelmävaihtoehtojen kokonaiskustannuksia, tuoda ilmi erojen suuruudet ja niiden vaikutus elinkaarikustannuksiin pitkällä aikavälillä. Vaikka järjestelmät on räätälöity juuri kyseisen taloyhtiön tarpeisiin ovat järjestelmät hyvin samanlaisia vastaavan kokoisissa asuinkiinteistöissä ja data on vertailukelpoista.

Hintatiedot järjestelmien ja niihin liittyvien töiden osalta on saatu Turun talousalueella toimivilta lämmitysuraakoitsijoilta, joille tarjouspyynnöt on lähetetty. Tarjousten hinnat on laskettu uudiskohteen näkökulmasta, joten ne sisältävät vain lämmitysjärjestelmän kokonaistoimituksen, jonka urakkarajana toimii tekninen tila (sekä kaukolämpöjohdon rakentaminen ja maalämmön energiakenttään liittyvät työt). Toimituksiin ei siis sisälly muita ylimääräisiä lisätöitä, rakennus- tai maanrakennustöitä tai vanhan järjestelmän purkua. Urakkahinnoissa löytyvät eriteltyinä laitteisto, asennustyöt ja -tarvikkeet sekä energiakentän ja kaukolämpöjohdon toimitus.

Energianhinnat ovat julkisina nähtävillä sähkön- ja kaukolämmön toimittajien sivuilla. Kaukolämmön osalta tarkastelun alla on kaukolämmön energian hinta ja maalämpöjärjestelmälle sähkön hinta. Näiden lisäksi juokseviin kustannuksiin on laskettu molempien järjestelmien arvioidut huolto- ja valvontakustannukset. Huoltokustannusten arvioinnin pohjana käytetään luvussa 5.3 nähtäviä laitteiden ja laitteiston osien teknisiä käyttöikä.

2.2 Kohde

Kustannusvertailun pohjana käytetään Naantalissa sijaitsevaa kolmen kerrostalon muodostamaa kerrostaloyhtiötä. Kerrostalot ovat 7-kerroksisia, kokonaiskerrosalaa on 8887 m² ja laskelmassa käytettävä energiankulutus on 750 MWh/a. Tällä hetkellä taloyhtiön lämmitysjärjestelmänä on kaukolämpö, mutta kuten luvussa 2.1 on mainittu urakkaa katsotaan uudiskohteen näkökulmasta.

Tarkemmat tiedot kohteesta, sen kulutuksista ja mitoitusperusteista löytyvät luvusta 5.

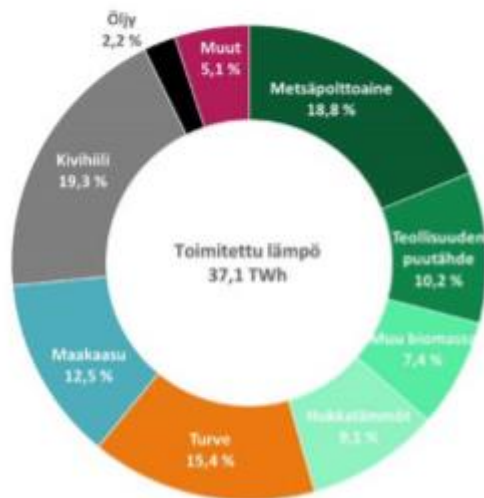
3 KAUKOLÄMPÖ

Kaukolämpö on lämmitysmuoto, jossa rakennuksen tilojen lämmitykseen ja käyttöveden lämmitykseen käytetään keskitetystä tuotannosta tuotettua lämpöä, joka jaetaan asiakaina oleville kiinteistöille (Energiateollisuus 2006, 25). Kaukolämpö on myös Suomen yleisimmin käytetty lämmitysmuoto (Energiateollisuus 2019). Erityisesti kaukolämpöä käytetään tiheiden taajamien sekä kaupunkien kerrostaloissa sekä omakotitaloissa, jotka ovat kaukolämpöverkon alueella.

3.1 Tuotanto

Suomen kaukolämmöstä lähes 80 % tuotetaan yhteistuotantolaitoksissa eli laitoksissa, joissa sähköntuotannon yhteydessä tuotetaan kaukolämpöverkossa kuluttajille jaettavaa lämpöenergiaa. Loput noin 20 % kaukolämmöstä tulee teollisuuden hukkalämmöstä sekä pelkästään lämmityksen tuotantoon tarkoitetuista lämpökeskuksista. Yhteistuotantolaitosten etuna on kuitenkin erillistuotantolaitoksiin verrattuna noin 30 % energiatehokkaampi prosessi ja hiilidioksidipäästöissä vastaava luku on noin 350 kg/MWh. (Energiateollisuus 2006, 27.)

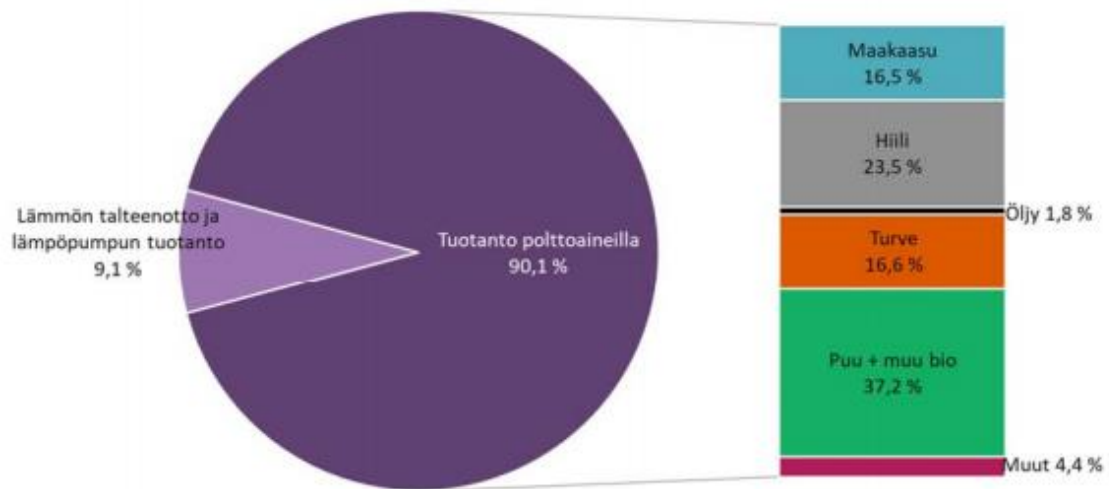
Vuonna 2018 kaukolämmön hankinta oli yhteensä 37 100 GWh, josta 90,8 % tuotettiin polttoaineille ja loput 9,2 % (3 400 GWh) tuotettiin lämmöntalteenotolla sekä erinäisten lämpöpumppujen avulla. Kuvassa 1 on eritelty hankinnan energialähteet. (Kaukolämpötilasto 2018, 3.)



Kuva 1. Kaukolämmön hankinnan energialähteet vuonna 2018.

Kokonaisuudessaan kaukolämmön tuotantoon käytettiin yhteensä 53 500 GWh polttoaineita, josta hieman vajaa viidesosa meni erillistuotantoon. Fossiilisten polttoaineiden osuus oli 58,4 % ja biopolttoaineiden osuus 37,2 %. Tarkemmat jakaumat on osoitettu kuvassa 2. Höyryvoimalaitosten vastapainelämpö tai vastaavat diesel- ja kaasumootoreista sekä kaasuturbiineista saatavat yhteistuotantolämmöt kattoivat 67,2 % lämmönhankinnasta. (Kaukolämpötilasto 2018, 3.)

St1 lanseerasi Deep Heat -pilottihankkeen Espoon Otaniemeen, jossa on tarkoitus hyödyntää geotermistä energiaa lämpölaitoksen toiminnassa. Kallioperään porataan kaksi noin 6,5 kilometrin syvyistä reikää, josta toiseen pumpataan vettä alas ja toisesta kuumennut vesi nousee ylös. Lämpöenergia hyödynnetään lämmönvaihtimen avulla kaukolämpöverkossa ja laitoksen tuotto on jopa 40 MW. (St1 2020).



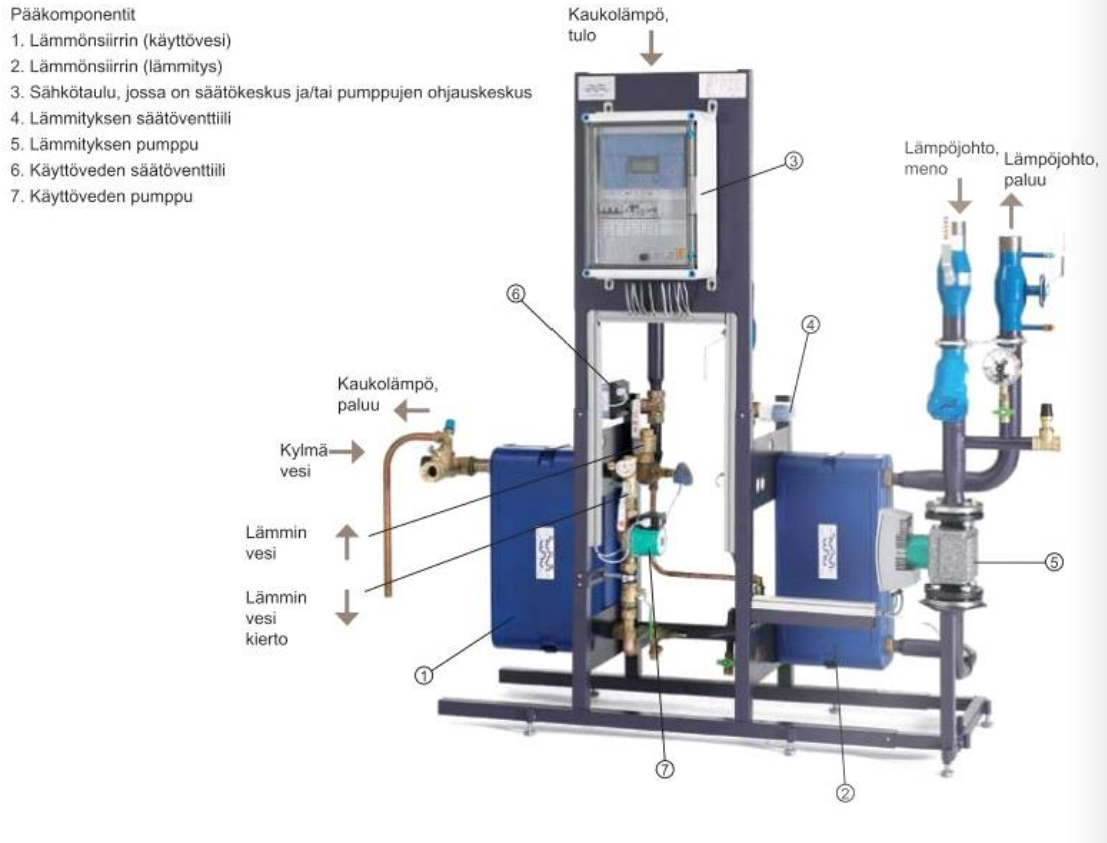
Kuva 2. Kaukolämmön ja siihen liittyvän sähkön tuotantoon käytettyjen polttoaineiden suhteelliset osuudet vuonna 2018 (Energiateollisuus ry, Kaukolämpötilasto 2018, 3).

3.2 Jakelu ja kuluttajalaitteisto

Suomessa ja muualla Euroopassa kaukolämmön jakelu perustuu lämpimän veden käyttämiseen kaksiputkisessa meno-paluuverkostossa. Suomessa jakelulämpötila menopuolella on tavallisesti maksimissaan noin 120 °C. Menoveden lämpötila vaihtelee ulkolämpötilan mukaan, mutta tarpeettoman korkeita lämpötiloja vältetään lämpöhäviöiden takia. Järjestelmässä kiertävä vesi on puhdistettu epäpuhtauksista kerrostumien ehkäisemiseksi putkissa. Myös erilaiset kaasut, kuten happi, poistetaan kiertävästä vedestä korroosion estämiseksi. Jakeluverkossa pidetään yllä myös tarpeeksi korkeaa keskipainetta veden höyrystymisen estämiseksi. Paineenkorotusta hoidetaan laitosten pumpuilla sekä erityisesti pitkissä verkon osissa erillisillä paineenkorotuspumpuilla. Tällöin verkostossa aiheutuvat painehäviöt saadaan pidettyä rajoissa ja myös kaukaisimmissa verkon osissa oleville kuluttajalaitteille jää lämmitysverkon säätämistä varten riittävä paine-ero. (Energiateollisuus 2006, 44.)

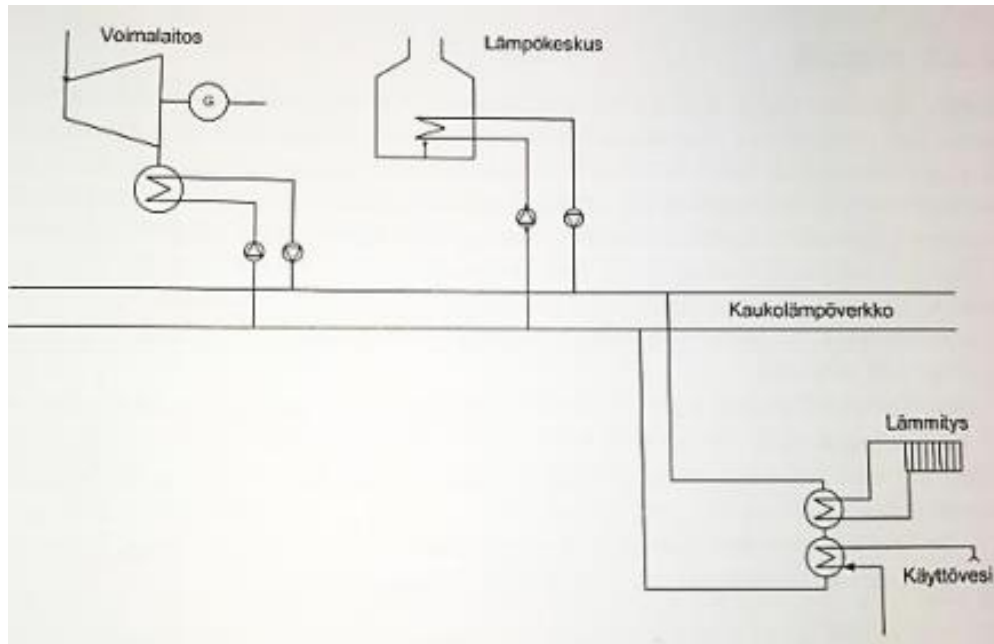
Talon lämmönjakohuoneessa asiakkaalla on niin sanottu kaukolämpökeskus tai toiselta nimeltään kaukolämmön alajakokeskus. Keskus pitää sisällään 2 tai 3 lämmönvaihinta, joissa kaukolämpöverkoston (ensiöpuoli) lämpöenergia johdetaan kiinteistön sisällä (toisiopuoli) kiertäviin piireihin (käyttövesi, lattialämmitys/patteriverkosto sekä ilmanvaihto), sekä kiertovesipumput ja säätö- (lämmönsäädin, säätöventtiilit, anturit ja mittarit), varo-

(varo- ja sulkuventtiilit) ja paisuntalaitteet. Kaukolämpölaitteiston kanssa ei yleensä käytetä erillisiä lämminvesivaraajia, koska kaukolämpöverkosta voidaan säätölaitteiden avulla ottaa energiaa vain hetkellisen tehontarpeen mukaan. (Helen, Kaukolämpölaitteet, 2019)



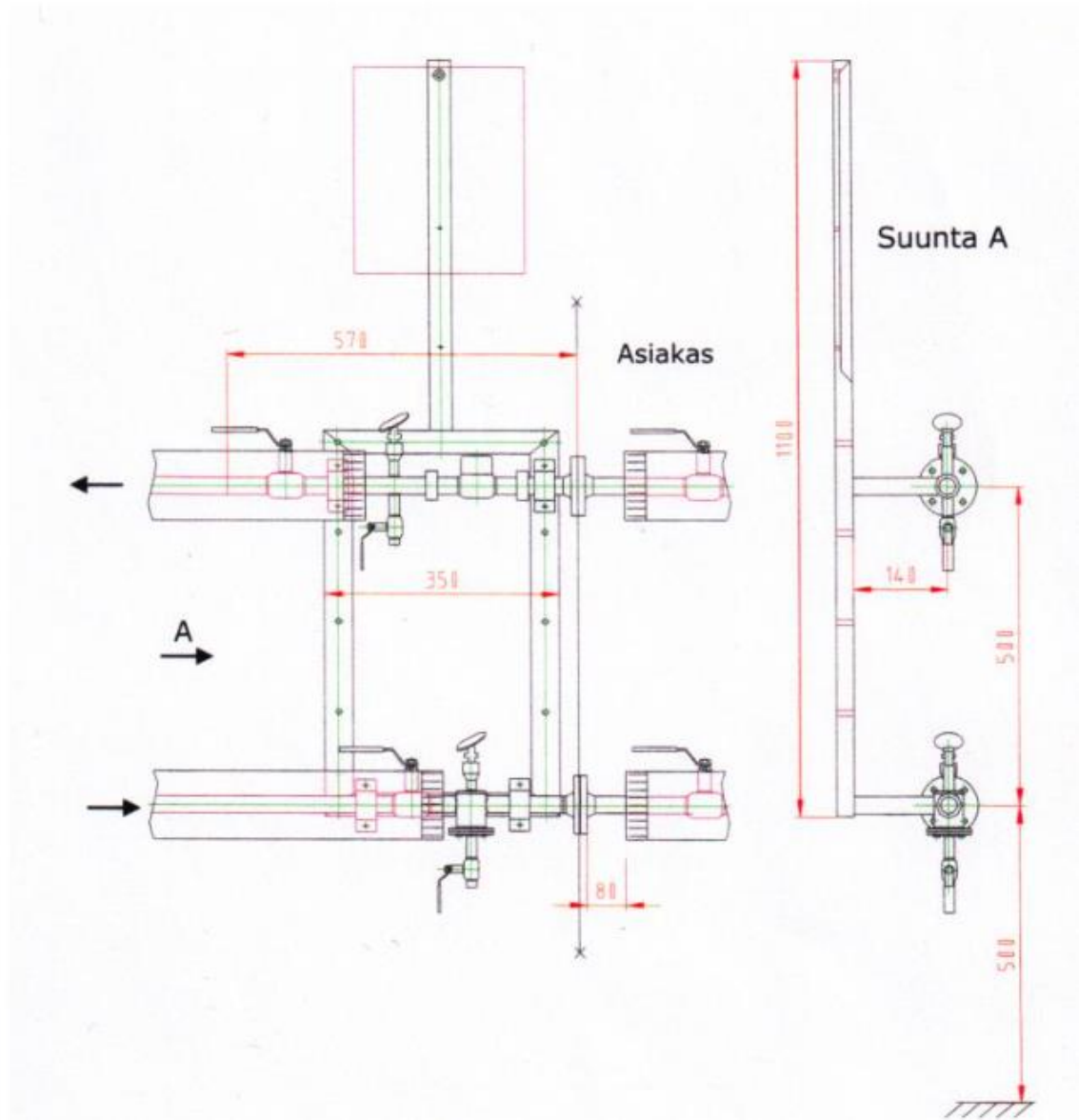
Kuva 3. AlfaLaval Maxi -lämmönjakokeskuksen komponentit (AlfaLaval 2020).

Kun kaukolämpöverkon menopuolelta tuleva vesi on luovuttanut lämpöenergiansa lämmönvaihtimen kautta kuluttajan lämmityspiiriin, palaa kaukolämpövesi takaisin kaukolämpöverkon paluupuolelle. Kyseistä kytkentämallia kutsutaan epäsuoraksi kytkennäksi. Tällöin kaukolämpövesi ei sekoitu missään tilanteessa asiakkaan oman veden kanssa eikä kierrä lämmönvaihdinta pidemmälle. Suorassa kytkennässä talon lämmityspiirissä kiertää kaukolämpöverkon vesi, joka luovuttaa lämpöä suoraan huoneilmaan esimerkiksi patterin tai ilmanlämmityskojeen kautta. Suomessa käytetään lähes poikkeuksetta epäsuoraa kytkentämallia, mutta esimerkiksi Tanskassa ja Saksassa suorakytkentä on yleisempi. (Energiateollisuus 2006, 43.)



Kuva 4. Kaksiputkijärjestelmän periaatekuva (Energiateollisuus 2006, 43).

Kaukolämmön lämmönmyyjän sekä asiakkaan raja kulkee mittauskeskuksessa. Itse mittauskeskus on lämmönmyyjän laitteistoa, poislukien asiakkaan pääsulkuventtiilit ja siihen kuuluvat lämmönmyyjän pääsulkuventtiilit, lianerottimet, virtausanturi, lämpötila-anturipari, lämpömäärälaskin, putki- ja sähkötarvikkeet sekä kytkennät ja tarvittavat eristyksiset. Asiakkaalta laskutettava kulutettu lämpöenergia lasketaan pääsulkuventtiilien väliin kytketyllä lämpömäärälaskimella. (Energiateollisuus 2006, 127.)



Kuva 5. Kaukolämmön mittauskeskus, huomiona toimitusraja sekä oleellisia mittoja (Energiateollisuus 2006, 127).

Lämpömäärälaskin käyttää laskemiseen virtausanturilta saatavaa asiakkaalta palaavan veden virtausta sekä lämpötila-anturiparilta tulevia meno- ja paluupuolen lämpötiloja. Näiden avulla lasketaan menoputken sekä paluuputken lämpövirrat (Φ_m ja Φ_p). Lämpövirrat voidaan laskea kaavalla 1:

$$\Phi_m = c_m \times m_m \times T_m \text{ sekä } \Phi_p = c_p \times m_p \times T_p,$$

Kaava 1. Lämpövirtojen laskeminen (Energiateollisuus 2006, 113).

joissa alaindeksit m ja p tarkoittavat menupuolta (m) sekä paluupuolta (p) ja c = kaukolämpöveden ominaislämpökapasiteetti vakiopaineessa (4,2 kJ/kg, °C), m = veden massavirta (kg/s) ja T = veden lämpötila (°C).

Lämpövirtojen avulla voidaan laskea tietyn ajanjakson aikana kulunut lämpöenergia (Q) lämpövirtojen erotuksen aikaintegraalina seuraavasti kaavalla 2:

$$Q = \int_{t_2}^{t_1} (\Phi_m - \Phi_p) dt$$

Kaava 2. Lämpöenergian laskeminen tietyllä ajanjaksolla (Energiateollisuus 2006, 113).



Kuva 6. Kaukolämpökeskus (Vindkraft 2019).

4 MAALÄMPÖ

Maalämpö perustuu lämpöpumpputekniikkaan, jossa pinta-maahan tai energiakaivon upotettu lämmönkeruuputkistossa kiertävä lämmönkeruuneste varastoi itseensä lämpöenergiaa maasta. Maa- ja kallioperässä oleva lämpö on auringon säteilystä peräisin olevaa varastoitunutta lämpöenergiaa. Lämmönkeruunesteen kautta lämpöenergia johdetaan lämpöpumpulle, josta edelleen huoneiston lämmityksen vesikiertoon tai käyttöveteen. (Motiva 2012, 1; Juvonen & Lapinlampi 2013, 7.)

4.1 Keruupiiri

Keruupiiri on maalämpöpumpussa hyödynnettävän lämpöenergian lähde. Keruupiiri voidaan asentaa eri tavoin: maaperään, kallioon porattuun kaivon, vesistöön tai rakennuksen paalutukseen. Maaperään asennettaessa keruupiiriä kutsutaan yleisesti maapiiriksi. Maapiiri levitetään pintamaahan noin metrin syvyyteen josta se kerää lämpöenergiaa. Pientalo-kohteissa maapiirin pituus on lyhimillään noin 500 metriä, ja pinta-alaa se vaatii putkimetriä kohden noin 1,5 m² riippuen maaperästä.



Kuva 7. Maapiiri (Sulpu 2012).

Maapiiriä yleisemmin käytetään porareikään asennettavaa keruuputkistoa eli energiakaivoa, joka kerää kallioperästä lämpöenergiaa. Yhden energiakaivon syvyys on maksimissaan noin 300–320 metriä, mutta pientalolle riittää usein yksi noin 240–280 metriä syvä energiakaivo riippuen lämmitettävästä pinta-alasta ja asennettavasta maalämpöpumpusta. Mikäli rakennuksen tehontarve on suurempi (esimerkiksi kun kyseessä on kerrostai rivitalo) kuin yhdestä kaivosta saatava lämpöenergia, voidaan kaivoja porata useampi. Tällöin kyse on energiakentästä. Ennen energiakaivon, tai kaivojen, poraamista tarvitaan toimenpidelupa sekä pohjavesialueella tulee tarkistaa ettei porauksesta ja kaivosta aiheudu vaaraa tai haittaa alueen pohjavedelle. Myöskään muinaismuisto-alueille tai kaavoitusalueille joissa on, tai on suunnitteilla, maanalaista rakentamista ei voi kaivoa porata tai se on tapauskohtaisesti selvitettävä. Energiakaivon paikkaa suunniteltaessa sille on myös annettu tiettyjä suositeltuja minimietäisyyksiä, jotka sen tulee täyttää. Esimerkiksi etäisyyden tontin rajasta tulee olla vähintään 7,5 metriä, porakaivosta 40 metriä, rakennuksesta 3 metriä ja toisesta energiakaivosta 15 metriä. Energiakaivo porataan yleensä suoraan alas tai hyvin pienellä kallistuskulmalla. Kallistuskulmaa käytetään usein silloin, mikäli 15 metrin suositusetäisyys toisesta energiakaivosta ei täyty. Tällä estetään kaivoja 'varastamasta' lämpöenergiaa toisiltaan ja täten niiden mahdollinen jäätyminen talvella. Vinoon porattujen energiakaivojen lähtöpisteiden välisen etäisyyden tulisi olla vähintään 5 metriä toisistaan. Aktiivista tehollista syvyyttä kahdesta vierekkäisestä vinokaivosta lasketaan vain siltä osalta, jossa niiden välinen etäisyys on vähintään 15 metriä. (Juvonen & Lapinlampi 2013, 25.)

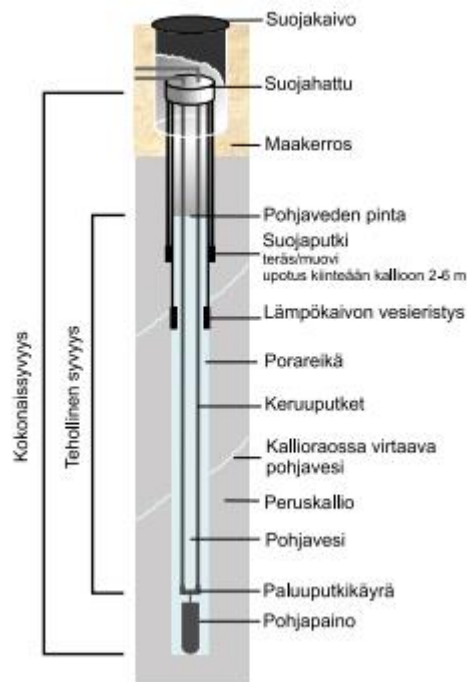
Taulukko 1. Energiakaivon suositusetäisyydet. Etäisyydet voivat vaihdella porauksen kaltevuuden, maaperän tai pohjaveden virtauksen mukaan (Juvonen & Lapinlampi 2013, 25).

Kohde	Suosittelut minimietäisyys
Energiakaivo	15 m*
Lämpöputket ja kaukolämpöjohdot	3 m**
Kallioporakaivo	40 m
Rengaskaivo	20 m
Rakennus	3 m
Kiinteistön raja	7,5 m*
Kiinteistökohtaisen jätevedenpuhdistamon purkupaikka	Kaikki jätevedet 30 m, Harmaat vedet 20 m ^[4]
Viemärit ja vesijohdot	3 m (omat putket)-5 m (muiden putket)**
Tunnelit ja luolat	25 m, etäisyys selvitetään tapauskohtaisesti

* porareikään ollessa pystysuora

** etäisyys riippuu maaperän laadusta, kaivussyvyydestä ja kaivantoon sijoitettavista putkista

Kaivot suojaputkitetaan peruskallioon asti, jotta estetään pehmeän maakerroksen joutuminen porakaivoon. Kaivo myöskin vesieristetään osittain, jotta pohjaveteen ei sekoitus pintavesiä. Kaivon aktiivisyvyys alkaa pohjaveden pinnasta ja jatkuu kaivon pohjalle pohjapainoon asti. Aktiivisyvyydellä tarkoitetaan sitä osaa kokonaissyvyydestä, jolta keruuputkisto pystyy keräämään lämpöenergiaa. Täten esimerkiksi 300-metrisestä energiakaivosta aktiivisyvyyttä saattaa olla 280 metriä, mikäli suojaputkitusta on pehmeän maakerroksen takia jouduttu laittamaan normaalia enemmän tai mikäli pohjaveden pinta on matalammalla. (Juvonen & Lapinlampi 2013, 35.)



Kuva 8. Energiakaivon rakenne (Juvonen & Lapinlampi 2013, 35).

Keruupiirin levitys vesistöön tulee usein kyseeseen silloin, mikäli tontti sijaitsee vesistön vieressä ja tontin maaperä ei ole otollista maapiirille tai energiakaivolle, maapiirille ei ole tarpeeksi pinta-alaa tai esimerkiksi porauskalustoa ei maaston vuoksi voida käyttää. Vesistöön levitettäessä vesistöasennuksen tulee täyttää vesilain (587/2011) mukaiset vaatimukset ja sille tulee olla suostumus vesialueen omistajalta ja lähinaapureilta tai lupa aluehallintovirastolta. Keruupiirin upottaminen veteen estää ankkuroinnin ja ruoppauksen putkiston alueella, vaikuttaa merkittävästi puolesta vesimaisemaan, aiheuttaa väliaikaista samentumista, vaikuttavat alueen vesistön lämpö- ja happitalouteen sekä saattavat vaikeuttaa kalastusta. (Juvonen & Lapinlampi 2013, 42.)

Rakennuksen paalutukseen on myös mahdollista tehdä lämmönkeruupiiri. Näitä kutsutaan energiapaaluiksi. Lämmönkeruuputkistot asennetaan rakennuksen teräsputkipaalujen sisälle, josta ne lämmönsiirtonesteiden avulla keräävät talvella maaperään varastoitunutta lämpöä ja kesällä hyödyntävät maaperän alempaa lämpötilaa viilennykseen. Viilennyksen tarve onkin energiapaalujen hyötysuhteen kannalta olennainen osa, jotta energiapaaluista saadaan kustannustehokkaat. Viilennys kesäaikaan on olennaista myös siksi, että paalut lataavat talon jäädytyksessä kerätyn lämpöenergian takaisin maahan, josta se taas talvella hyödynnetään lämmityksessä. Paaluista tuotaville keruuputkille asennetaan talon sisälle erilliset jakotukit, joihin keruuputket liitetään ja jakotukilta viedään sekä meno- että paluuputket lämpöpumpulle. Energiapaalujen hyödyntäminen ei vaadi erillistä toimenpidelupaa eikä se vaikuta talon perustuksen tai rakenteiden suunnitelmiin. (Uponor, Energiapaalut -tuotekortti, 2015.)



Kuva 9. Energiapaalut (Rakentaja.fi).

Edellä mainittuja keruujärjestelmiä kutsutaan suljetuiksi keruupiireiksi, koska keruupiirissä kulkee kokoajan sama lämmönsiirtoneste. Näiden lisäksi on myös mahdollista käyttää avointa keruupiiriä, jossa lämmönkeruunesteiden sijasta pumpataan suoraan pohjavettä lämpöpumpulle. Lämpöpumppu hyödyntää pohjaveden lämpöenergian ja pohjavesi pumpataan takaisin siirtoputkella joko pohjavedeksi tai pintavesiin. (Juvonen & Lapinlampi 2013.)

Keruupiireissä käytetään lämmönkeruunesteenä liuosta, joka muodostetaan vedestä sekä muista aineista. Suomessa ja Pohjoismaissa yleisimmin käytettävä liuos on etanolipohjaista, jolla estetään nesteen jäätyminen pakkasolosuhteissa. Muita käytettyjä aineita ovat betaiini, propyleeniglykoli sekä kaliumformiaatti, joista jälkimmäistä on käytetty enemmän kuitenkin jäähdytysjärjestelmissä. Etanoli on luonteeltaan helposti syttyvä aine, mutta sen ei ole kuitenkaan havaittu olevan ihmiselle tai ympäristölle haitallista. Sillä on kuitenkin mainittavista nesteistä korkein ominaislämpökapasiteetti. Betaiini ja kaliumformiaatti eivät ole helposti syttyviä eivätkä palavia. Propyleeniglykoli on kuitenkin palava neste, ja sillä on muihin verrattuna korkea viskositeetti, jolla on hyötysuhdetta heikentävä vaikutus. Edellämainituista mitään ei luokitella myöskään ihmiselle tai ympäristölle haitalliseksi. Kaliumformiaatilla on muita nesteitä enemmän korroosiota aiheuttavia vaikutuksia muun muassa galvanoidulle pinnoille sekä alumiinille. Sillä on kuitenkin korkea lämmönjohtavuus ja alhainen viskositeetti. Betaiini sen sijaan hajoaa anaerobisissa olosuhteissa trimetyyliamiiniksi, joka voi pohjaveteen joutuessaan aiheuttaa siihen epämiellyttävää hajua. Nesteiden ominaisuudet poikkeavat toisistaan jonkin verran ja ominaisuudet riippuvat liuosten pitoisuuksista sekä lämpötilasta. (Juvonen & Lapinlampi 2013, 46.)

Vanhemmissa järjestelmissä on käytetty lämmönkeruunesteenä muun muassa etyleeni- ja propyleeniglykolia sekä metanolia. Näitä ei kuitenkaan enää käytetä, sillä niiden on todettu olevan ihmisille haitallisia. Etyleeniglykoli aiheuttaa terveydelle haittaa nieltynä ja metanoli on myrkyllistä hengitettäessä, nieltäessä tai jos sitä pääsee iholle. (Juvonen & Lapinlampi 2013, 46.)

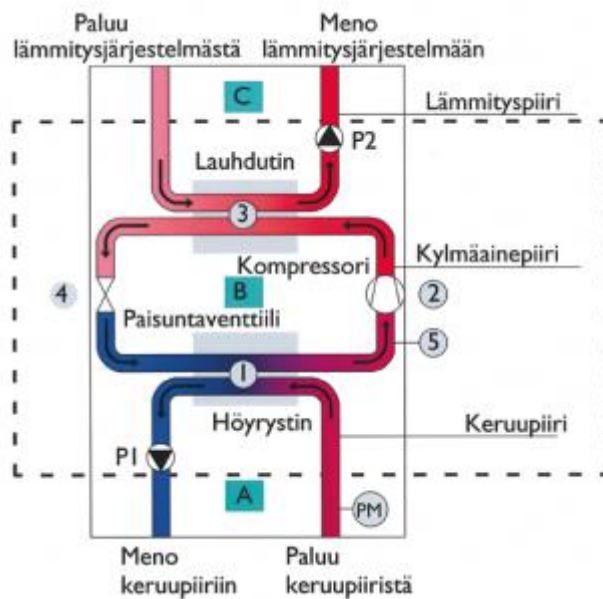
Hyvälle lämmönkeruunesteelle ominaista on

- alhainen jäätymispiste
- alhainen viskositeetti
- hyvä lämmönjohtavuus
- korkea ominaislämpökapasiteetti
- ei korrosoiva
- yhteensopiva useiden materiaalien kanssa
- kemiallisesti stabiili ja pitkäikäinen
- palamaton, myrkytön ja biologisesti hajoava.

Muun muassa Rototec, joka Suomen lisäksi on myös muualla Pohjoismaissa yksi energiakaivojen suurimpia porausurakoitsijoita, käyttää kaivoissaan Altian toimittamaa Naturet GeoSafe -maalämpönestettä. Naturet-lämmönkeruunesteitä on saatavilla eri pituuksina, joita voidaan lantrata veden kanssa oikealla sekoitussuhteella. Altia toimittaa myös suoraan valmiiksi laimennettua liuosta jonka etanolipitoisuus on 28 p-%. Sen jäätymispiste on -17 °C ja leimahduspiste $+29\text{ °C}$. Se sisältää myös etanolipohjaisille nesteille alkoholilain määrittelemiä denaturointiaineita eli metyyli-isobutyryliketonia (0,8 p-%) sekä metyylietyyliketonia (0,6 p-%). Muita denaturointiaineita ovat muun muassa isopropanoli sekä n-butanoli. Lämmönkeruunesteissä voidaan käyttää myös korroosiota estäviä lisäaineita hyvin pienissä määrin (esim. 0,5 p-%). Nykyään keruuputkistot valmistetaan pääasiallisesti ruostumattomista aineista, jolloin lisäaineet on mahdollista jättää liuoksesta pois. (Juvonen & Lapinlampi 2013, 47; Altia 2019.)

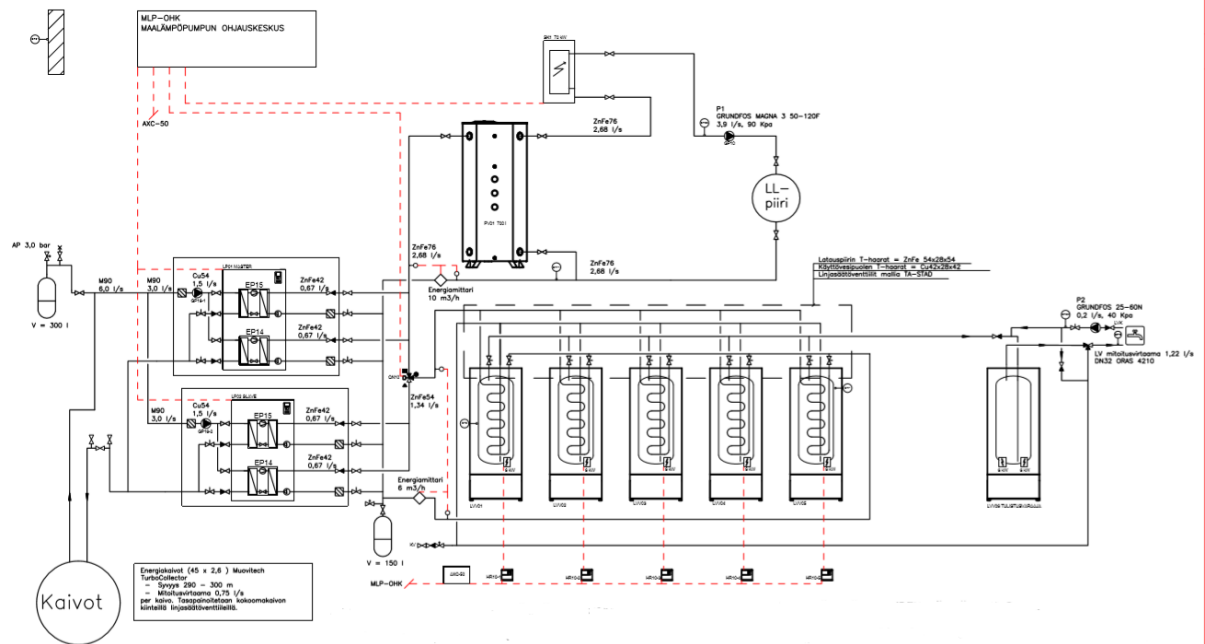
4.2 Maalämpöpumpun tekniikka

Keruuliuos siirtää lämpöenergiansa ensimmäisen lämmönvaihtimen eli höyrystimen kautta lämpöpumpun kylmäaineeseen. Kaasumuodossa oleva kylmäaine kulkee kompressorin kautta, jossa sen paine ja lämpötila kohoavat. Kuumen kaasumaisen kylmäaineen lämpö siirretään toisen lämmönvaihtimen eli lauhduttimen kautta vesikiertoon. Lauhduttimelta tulevalla vedellä voidaan vaihtoventtiilin avulla ladata joko lämpimän käyttöveden varaajaa tai luovuttaa lämpöä huoneilmaan esimerkiksi lattialämmityksen kautta. (Juvonen & Lapinlampi 2013, 10)



Kuva 10. Lämpöpumpun toimintaperiaate. P1 kuvaa keruupiirin pumppua ja P2 lämmityspiirin kiertovesipumppua. PM on keruupiirin painemittari. (Juvonen & Lapinlampi, Energiakaivo, 2013.)

1. Höyrystimessä keruupiiristä (A) lämpöenergia siirtyy lämpöpumpun kylmäainepiiriin (B). Kylmäaine muuttuu nesteestä kaasuksi.
2. Lämpöpumpun kompressori puristaa kylmäainehöyryn korkeapaineiseksi kaasuksi, jolloin lämpötila kohoaa. Puristamiseen käytetty sähköenergia muuttuu lämmöksi ja nostaa myös kylmäaineen lämpötilaa.
3. Lämpöpumpun lauhduttimessa lämpöenergia siirtyy kylmäaineeesta rakennuksen lämmitysjärjestelmään (C). Samalla kylmäaine muuttuu nesteeksi. Lämpöenergia voidaan hyödyntää sekä lämmitysverkostossa että käyttöveden lämmityksessä.
4. Lämpöpumpun paisuntaventtiilissä kylmäaineen painetta alennetaan, jolloin kylmäaineen lämpötila laskee. Kylmäaine virtaa höyrystimeen ja prosessi jatkuu kohdan 1. mukaisesti.
5. Vuodonilmaisimena toimii laitteen matalapainekytkin, joka sammuttaa kompressorin ja kiertopiirin pumppua, sekä antaa samalla hälytyksen, mikäli lämmönkeruunesteen määrä tai kierto ei ole riittävä.



Kuva 11. Kiinteistön kytkentäkaavioesimerkki; 2 x MLP + Lämmitysverkon puskurivaraaja + 5 x lämminvesivaraaja käyttövedelle sekä tulistusvaraaja.

4.3 Lämpökertoain

Maalämpöpumppuja verrattaessa toisiinsa sekä muita lämmitysjärjestelmiä vastaan erityisen tärkeä luku on lämpökertoain. Lämpökertoain, COP (*coefficient of performance*), kertoo kuinka paljon pumppu tuottaa lämpöä suhteessa sen kuluttamaan sähköenergiiaan. Esimerkiksi lämpöpumppu, jonka lämpökertoain on 5, tuottaa 5 kW lämpöä 1 kW kulutettua sähköä kohden. Standardin SFS-EN14511 mukaan lämpökertoain ilmoitetaan yleisesti olosuhteissa 0/35 sekä 0/50, jolloin lämpöpumpulle tulevan keruupiirin liuoksen lämpötila on 0 °C ja keruupiiriin palaavan liuoksen lämpötila on -3 °C sekä lämpöpumpulta lähtevän lämmityksen veden lämpötila on +35 °C tai +50 °C. Lämpökertoain on kasvava, kun lämpötilaero lämmönlähteen ja lämmitykseen luovutettavan lämmön välillä pienenee. Lämpökertoain ei huomioi vuodenaikojen mukaan vaihtelevia ulkolämpötiloja eikä mukaudu erikseen lämmitettävän käyttöveden tuottamiseen, jonka lämpökertoain on lämmitystä heikompi. Valmistajien ilmoittamat standardin mukaan lasketut lämpökertoimet ovat Suomen olosuhteissa yleensä hyvin optimistisia ja kuvastavatkin enemmän esimerkiksi Keski-Euroopan ilmastoja ja lämmitysolosuhteita. (Motiva 2018, 33.)

Yksinkertaisesti optimitilanteessa lämpöpumpun lämpökerroin voidaan laskea siis jakamalla tuotettu lämpöenergia käytetyllä sähköenergialla. Todellisuudessa lämpökerrointa laskiessa tulee huomioida järjestelmän apulaitteiden kuluttama sähkövirta myös. Apulaitteiksi maalämpöjärjestelmässä luetaan liuos- ja kiertovesipumput, sähkövastukset sekä säätölaitteet ja automaatiikka (kuten moottoroitu vaihtoventtiili). (Seppänen 2001, 378.)

Lämpökerroin voidaan tällöin laskea seuraavalla kaavalla 3:

$$\varphi = \frac{\phi_L}{P_K + P_A}$$

jossa φ on lämpökerroin

ϕ_L on lämpöpumpun tuottama hyötylämpö (W)

P_K on kompressorin teho (W)

P_A on apulaitteiden teho (W).

Kaava 3. Lämpökertoimen COP laskeminen (Seppänen 2001, 378).

Kausilämpökerroin, SCOP (S = seasonal), on vuotuinen lämpökerroin. COP:hen verrattessa SCOP huomioi vuodenaikojen tuomat vaihtelut ulkolämpötiloihin, eri lämpötiloissa saatavan ilmaisenergian määrän sekä erilaiset lämmitystarpeet. SCOP huomioi myös lisävastusenergian. SCOP arvot lasketaan standardin SFS-EN14825 mukaan, jossa Eurooppa on jaettu kolmeen eri ilmastovyöhykkeeseen; lämmin (Ateena), lauha (Strasbourg) sekä kylmä (Helsinki). Oikeilla mitoitusarvoilla sekä ilmastovyöhykkeen valinnalla saadaan huomattavasti realistisempi lämpökerroin, jonka toteutuminen on todennäköisempää kuin tavallisen COP:n. (Motiva 2018, 33–34.)

Kausilämpökertoimen, SCOP, laskeminen standardin EN 14825 mukaan on moni vaiheinen prosessi. Standardissa Eurooppa on jaettu eri ilmastovyöhykkeisiin kuten aiemmin on mainittu. Suomessa käytettävien lämpöpumppujen SCOP on laskettu kylmän ilmastovyöhykkeen mukaan, jonka mittauspiste on Helsinki. Lämmityskausi jaetaan lämpötilan mukaan tiettyihin tuntimääriin, jotka kuvastavat lämpötiloja lämmityskauden aikana. Jokaiselle lämpötilalle annetaan myös lämmitystehontarve joka lämpöpumpun tulee täyttää. Näiden avulla voidaan määrittää lämmitysarvoille COP ja täten saadaan pohja laskea keskimääräinen kausilämpökerroin eli SCOP_{on}. Taulukossa 2 on esitetty

esimerkki $SCOP_{on}$ laskemiseen. Taulukon arvojen mukaan tulokseksi on saatu $SCOP_{on} = 3,58$. Kun keskimääräinen $SCOP_{on}$ on laskettu lasketaan mukaan myös sähkönkulutukset kun laitteisto ei ole aktiivinen. Tällöin $SCOP$ voidaan laskea kaavalla 4. Laskennassa huomioidaan myös osittaisen kuormituksen COP :t joiden laskentakaava riippuu onko kyseessä on-off vai invertteriohjattu kompressor. (Rasmussen 2011, 7.)

$$SCOP = \frac{Q_h}{\frac{Q_h}{SCOP_{on}} + H_{TO} \times P_{TO} + H_{SB} \times P_{SB} + H_{CK} \times P_{CK} + H_{OFF} \times P_{OFF}}$$

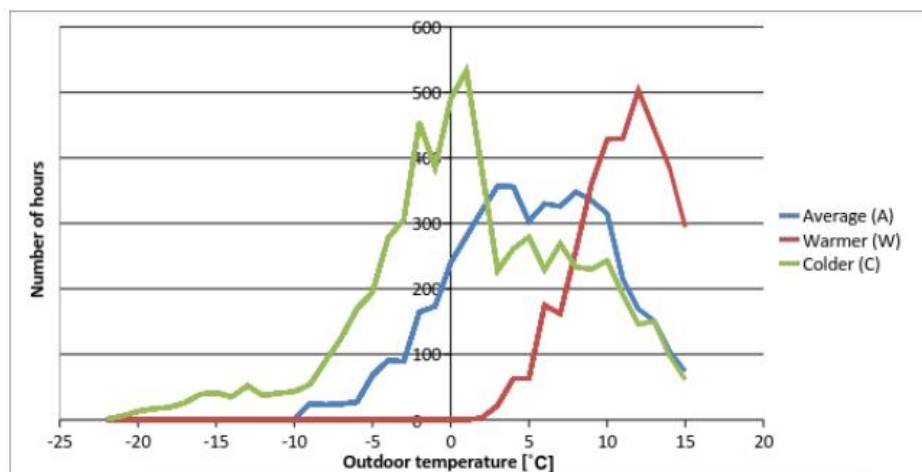
jossa Q_h on tuotettu lämpöenergia

$SCOP_{on}$ on aiemmin laskettu keskimääräinen kausilämpökerroin

H kuvaa tunteja vuoden aikana jolloin lämpöpumppu on alaindeksin osoittamassa tilassa

P kuvaa alaindeksin osoittaman tilan kuluttamaa sähkönkulutusta

Kaava 4. $SCOP$ laskeminen kun $SCOP_{on}$ on laskettu (Rasmussen 2011, 8).



Kuva 12. Lämpötilojen jakautuminen eri ilmastovyöhykkeille (Rasmussen 2011, s. 2).

Taulukko 2. Esimerkkitaulukko standardista EN14825. Taulukon avulla on laskettu lämpöpumpun keskimääräinen SCOP aktiivisessa tilassa. (Rasmussen 2011, 8.)

	Temperatuur [°C]	Number of hours	Heating demand [kW]	Heat pump capacity [kW]	Electric backup heating [kW]	COP	Total electricity consumption per hour [kWh/h]	Total heating demand [kWh]	Total electricity consumption [kWh]
TOL	-10	1	11.46	7.80	3.66	2.60	6.66	11	7
	-9	25	11.02	8.28	2.75	2.82	5.69	276	142
	-8	23	10.58	8.75	1.83	3.04	4.71	243	108
A	-7	24	10.14	9.55	0.59	3.26	3.52	243	84
Tbiv	-6	27	9.70	9.70	0	3.30	2.94	262	79
	-5	68	9.26	9.26	0	3.35	2.76	630	188
	-4	91	8.82	8.82	0	3.39	2.60	802	237
	-3	89	8.38	8.38	0	3.44	2.44	746	217
	-2	165	7.94	7.94	0	3.49	2.28	1310	376
	-1	173	7.49	7.49	0	3.53	2.12	1297	367
	0	240	7.05	7.05	0	3.58	1.97	1693	473
	1	280	6.61	6.61	0	3.62	1.83	1852	512
B	2	320	6.17	6.17	0	3.67	1.68	1975	538
	Etc.
	15	74	0.44	0.44	0	2.72	0.16	33	12
								23,679	6,611

Kausilämpökerrointa voidaan kuvata myös SPF-luvulla (Seasonal Performance Factor). Se on niin sanottu keskimääräinen vuotuinen lämpökerroin, jossa otetaan huomioon myös se lämpökerrointa alentava vaikutus, joka aiheutuu käyttöveden tuotannosta. SPF-luku ilmoittaa lämpöpumpun tuottaman käyttökelpoisen lämpöenergian määrän suhteessa käytettyyn sähköenergiaan vuodessa. Tällöin kun pumppu on tuottanut vuodessa 45 000 kWh lämmitysenergiaa ja kuluttanut sähköä 15 000 kWh tulee laitteen SPF-luvuksi 3. (Motiva 2018, 34.)

Yleisimmin maalämpöpumppuja käytetään kiinteistön päälämmitysjärjestelmänä. Tällöin olennaisin tieto lämpökertoimista on SPF-luku, joka huomioi sekä tilojen lämmityksen että käyttöveden lämmityksen hyötysuhteet kuten yllä on mainittu. SPF-luku voidaan laskea yksinkertaisesti kaavalla 5:

$$SPF = \frac{Q_{LP}}{W_{LP} + W_{APU}}$$

jossa Q_{LP} on vuotuinen lämpöpumpulla tuotettu lämmitysenergia jota käytetään tilojen lämmitykseen sekä käyttöveden tuottoon (kWh)

W_{LP} sekä W_{APU} on lämpöpumpun ja järjestelmän apulaitteiden vuotuinen sähkönkulutus (kWh)

Kaava 5. SPF-luvun laskeminen (Ympäristöministeriö, 2012, 12).

5 KUSTANNUSTEN MUODOSTUMINEN

5.1 Kaukolämpö

Kaukolämpökeskuksen investointikustannuksiin lasketaan kiinteistön alajakokeskus, tarvittava automatiikka sekä lisä- ja varolaitteet, eristystyöt sekä tarvittavat asennus- ja putkityöt sekä -tarvikkeet. Tämän lisäksi investointiin kuuluu myös kaukolämmön liittymismaksu johon kuuluu liittymäjohtoon rakentaminen sekä tarvittavat maanrakennus- ja rakennustyöt lämmönjakohuoneeseen asti. Investointikustannukset ovat kaukolämmön osalta selkeästi maalämpöä halvemmat ja urakan kesto on yleensä myös, sillä laitteiston asennustyöt ovat hieman yksinkertaisemmat.

5.1.1 Laitteet

Suuremman kiinteistön lämmönjakokeskusten hinnat vaihtelevat valmistajasta ja laite-toimittajasta sekä markkinatilanteesta riippuen. Keskus räätälöidään yleensä kiinteistön tarpeiden mukaan, jolloin esimerkiksi lämmönvaihtimet on mitoitettu juuri kiinteistölle sopivaksi sekä pumput ja automatiikka ovat oikeanlaiset juuri kyseiselle kiinteistölle. Pientaloille on saatavilla valmiita keskuspaketteja, joissa on yleensä kaikki tarvittava ja näille onkin olemassa kiinteät listahinnat. Tarvittaessa lämmönjakokeskus voi olla monipiirinen, jolloin sillä voidaan hoitaa ilmanvaihdon esi- ja/tai jälkilämmitys tai kaksipiirinen, jolloin keskus hoitaa vain lämmityksen sekä lämpimän käyttöveden tuottamisen.

5.1.2 Liittymismaksut

Kaukolämpöön liittyessään asiakas/taloyhtiö maksaa liittymismaksun. Liittymismaksu määräytyy joko tilaustehon tai vesivirran mukaan ja lämmöntoimittajasta riippuen siihen sisältyy myös johtomaksu tai se on eriteltynä hinnastossa. Turku Energian liittymismaksu voidaan laskea sopimustehon sisältävällä kaavalla ja hintaan sisältyy 20 metriä tonttijohtoa rakennuksen ulkopuolella, 2 metriä sisäpuolella sekä maanrakennustöiden osalta putkiston kaivuu ja täyttö. Fortumilla liittymismaksu on kiinteä tehoalueittain määriteltynä ja sisältää tehoalueesta riippuen 20 tai 40 metriä tonttijohtoa. Sekä Turku Energia että Fortum perivät ylittäviltä tonttijohtoon metreiltä määrittelemänsä kiinteän hinnan mukaan.

Loisteella liittymismaksu on määritelty laskettavaksi erillisellä kaavalla joka riippuu sopimustehosta, rakennuksen sijainnista sekä tonttijohdon rakentamisesta riippuvan kertotimen avulla. Liittymismaksusisältää kokonaisuudessaan tonttijohdon rakentamisen. Helenillä puolestaan liittymismaksu lasketaan yksinkertaisesti kaavalla perusmaksu + sopimusvesivirta * vesivirtamaksu + liittymisjohdon pituus * johtomaksu. Hinnat on jaoteltu kolmeen ryhmään vesivirran (m³/h) mukaan. Liittymisen yhteydessä tekniseen tilaan asennetaan mittauskeskus jonka toimittamisesta vastaa aina lämmönoimittaja.

5.1.3 Energia- ja tehomaksut

Energia- ja tehomaksu kuuluvat kaukolämmön juokseviin käyttökustannuksiin. Tehomaksu (tai perusmaksu) määräytyy aiemmin mainituilla lämmönoimittajilla tilaustehon mukaan, lukuunottamatta Heleniä joka laskuttaa vesivirran mukaan. Helenin tarjoamasta hintataulukosta voi taloyhtiö suoraan katsoa oman sopimusvesivirransa kohdalta kuinka paljon tehomaksu on kuukaudessa tai vuodessa. Muiden lämmönoimittajien tehomaksut voidaan laskea seuraavilla kaavoilla:

$$Tehomaksu = n \times (P \times 13,6032 + 2465,58)$$

jossa n on tehomaksulaskelman kerroin (1.12.2019 alkaen $n = 1,03$)

P on kaukolämpöliittymän sopimusteho (kW)

Kaava 6. Turku Energian tehomaksun (alv 0%) laskeminen kun sopimusteho on 165...650 kW.

$$Tehomaksu = 36 \times kW + 3000$$

Jossa kW on sopimusteho (kW)

Kaava 7. Fortum Aktiivilämmön tehomaksun (€/vuosi, alv 0%) kun sopimusteho on 181 - 400 kW.

$$Tehomaksu = 31,6 \times P + 1602$$

Jossa P on sopimusteho (kW)

Kaava 8. Loiste Lämpö tehomaksun (sis. Alv 24 %) laskeminen kun tilausteho 100 - 400 kW.

Muiden teholuokkien kaavat löytyvät lämmöntoimittajien verkkosivuilta. Edellä mainituilla kaavoilla voidaan laskea esimerkiksi kerrostaloyhtiön, jonka tehontarve on 200 kW, tehomaksut kullakin kaukolämmöntoimittajalla. Tällöin vuosittainen tehomaksu, sisältäen alv 24 %, on Turku Energialla 6 624 euroa, Fortumilla 12 648 euroa ja Loisteella 7 922 euroa. Helenillä 200 kW sopimusteho vastaa noin 2,5 m³/h vesivirtaa, jonka hinta arvonnolisäverollisena on 9 284 €/v. Lämmöntoimittajien vuosittaiset tehomaksut on koottutaulukkoon 3.

Taulukko 3. Lämmöntoimittajien vuosittaiset tehomaksut kun käytetään esimerkkinä 200 kW sopimustehoa.

Lämmöntoimittaja	Tehomaksu €/v (alv 0%)	Tehomaksu €/v (sis. Alv 24%)
Turku Energia	5 341,94 €	6 624 €
Fortum Aktiivilämpö	10 200 €	12 648 €
Loiste Lämpö	6 388,71 €	7 922 €
Helen	7 486,96 €	9 283,83 €

Tehomaksujen keskimääräinen hinnankkehitys on ollut viimeisen 10 vuoden ajalla noin 4,12 % per vuosi. (Energiateollisuus, Kaukolämmön hinnat.) Taulukossa 4 on kuvattu tehomaksujen vuosittainen keskiarvo sekä prosentuaalinen kasvu edellisvuoteen verrattuna vuosilta 2010–2020.

Taulukko 4. Tehomaksun keskiarvo ja kasvu vuosina 2010–2020.

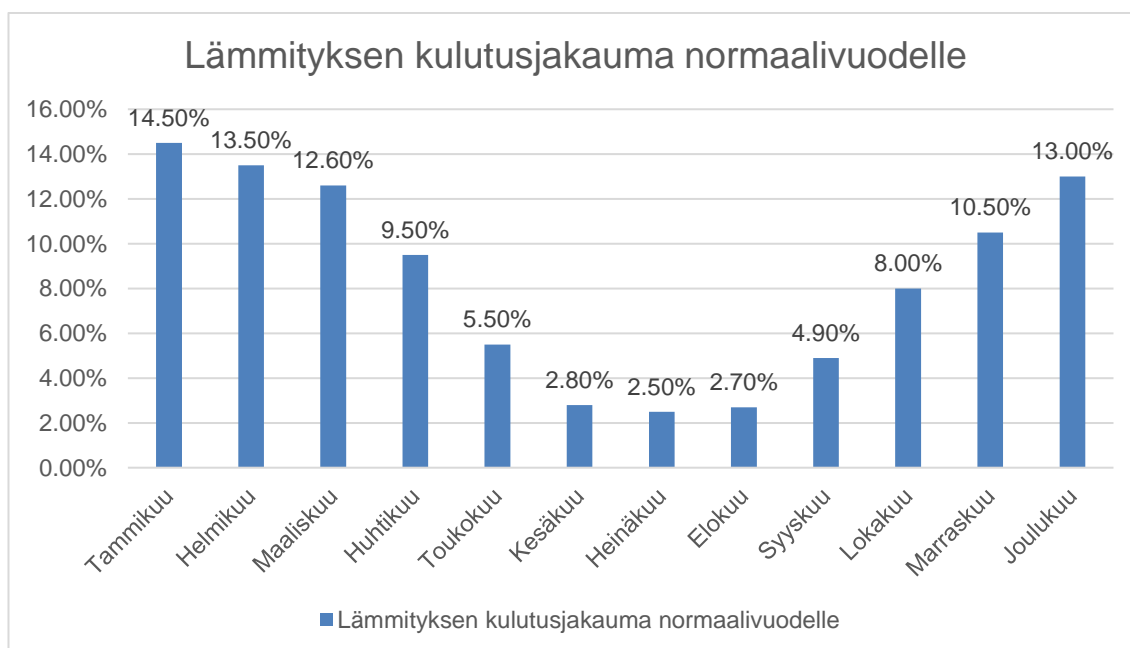
Vuosi	Tehomaksun keskiarvo €/MWh	Prosentuaalinen muutos edelliseen vuoteen
2010	8,36	
2011	8,81	5,32
2012	9,39	6,59
2013	10,05	7,09
2014	10,35	2,94
2015	10,86	4,98
2016	10,96	0,92
2017	11,11	1,37
2018	11,12	0,10
2019	12,10	8,84
2020	12,47	3,01

Energiamaksu määräytyy kiinteistön kuluttaman energian mukaan. Hinta ilmoitetaan usein joko snt/kWh tai €/MWh. Kukin edellämainituista lämmöntoimittajista hinnoittelee kaukolämmön energiamaksun lämmityskauden tai kuukauden mukaan. Turku Energia ja Helen ilmoittavat hintansa talvi-, kevät-, kesä- ja syyskausien mukaan, Fortum ilmoittaa hinnat jokaiselle kuukaudelle ja Loiste käyttää korkeampaa hintaa kylmimpinä kuukausina (tammi-, helmi- ja joulukuu) ja muina aikoina alempaa hintaa. Taulukossa 5 on vuoden 2019 kaukolämmön energiamaksut kuukausitasolla €/MWh.

Taulukko 5. Kaukolämpötoimittajien energiamaksut kuukausitasolla vuonna 2019 (Energiateollisuus, 2020).

	Turku Energia	Fortum	Loiste Lämpö	Helen
1	87,28	71,92	74,00	73,59
2	87,28	71,92	74,00	73,59
3	71,97	64,48	52,00	71,23
4	71,97	57,04	52,00	71,23
5	71,97	45,88	52,00	37,01
6	52,24	28,52	52,00	37,01
7	52,24	31,00	52,00	37,01
8	52,24	31,00	52,00	37,01
9	71,60	48,36	54,60	37,01
10	71,60	59,52	54,60	63,62
11	71,60	66,96	54,60	63,62
12	84,33	73,16	77,70	63,62

Kuviossa 1 on Energiateollisuus ry:n laskennassa käyttämä normaalivuoden kulutusjakauma lämmitysenergialle, jonka pohjalta voidaan laskea rakennuksen lämmitysenergian vuosihinta kun energiamaksu määräytyy kausihinnittelun mukaan. (Energiateollisuus ry, Kaukolämmön hintatilasto, 2020).



Kuvio 1. Lämmitysenergian normaalivuoden kulutusjakauma (Energiateollisuus ry, 2020).

Energiamaksut ovat nousseet viimeisen 10 vuoden aikana noin 2,79 % vuodessa. Suurin kasvu nähtiin vuonna 2011, kun kaukolämmön hinta kasvoi peräti 12,04 % edelliseen vuoteen verrattuna. Vuoden 2014 jälkeen kaukolämmön energiamaksujen kasvu on ollut hitaampaa ja hintojen keskiarvo on peräti laskenut muutaman vuotena. (Energiateollisuus ry, Kaukolämmön hintatilasto). Taulukossa 6 on kaukolämmön energiamaksujen hinnankehitys vuosina 2010 – 2020.

Taulukko 6. Energiamaksujen hinnankehitys 2010 - 2020 (Energiateollisuus, Kaukolämmön hintatilasto, 2020).

Vuosi	Energiamaksujen keskiarvo €/MWh	Prosentuaalinen muutos edelliseen vuoteen
2010	52,84	
2011	59,20	12,04
2012	62,88	6,21
2013	68,22	8,50
2014	69,84	2,37
2015	70,31	0,67
2016	69,48	-1,17
2017	69,68	0,29
2018	69,15	-0,75
2019	68,60	-0,81
2020	68,95	0,52

5.2 Maalämpö

Maalämmön investointikustannukset ovat kaukolämpöä selkeästi suuremmat, mutta järjestelmän tarkoitus onkin säästää kustannuksissa pidemmällä aikavälillä ja maksaa itsensä takaisin. Iso osa maalämmön kustannuksista tulee maalämpökaivoista, niiden poraamisesta ja siihen liittyvistä rakennustöistä, jotka riippuvat urakkaohjelmassa sovituista toimitusrajoista sekä työmaasta, rakennuksesta, kaivojen sijainnista ja niiden määrästä. Investoimalla laadukkaaseen ja oikein mitoitettuun järjestelmään, jolla on korkea lämpökerroin, voidaan vuosittaisia säästöjä saada huomattaviksi kaukolämpöön verrattuna ja täten lyhentää takaisinmaksuaikaa. Takaisinmaksuajan jälkeen maalämpöä alkaa tehdä tuottoa, kun sitä verrataan samalla aikavälillä laskettuihin kaukolämmön kustannuksiin. Kiinteistöistä ja sen lämmityksen tarpeesta, ulkolämpötiloista, laitteistosta ja kokonaistoi- mituksesta riippuen takaisinmaksuaika vaihtelee noin 8–17 vuoden välillä.

Maalämmön investointikustannuksiin lasketaan kaikki lämmitysjärjestelmään liittyvät kulut maalämpöprojektin aloitushetkestä aina laitteiston luovutukseen ja käyttöönottoon asti. Nämä vaihtelevat kohteittain riippuen mitä tilaaja on urakkaohjelmassaan vaatinut. Esimerkiksi isoissa kohteissa saatetaan vaatia lämpökaivoja varten TRT-mittaus. Maalämpöurakan kustannukset voidaan karkeasti jakaa kolmeen kategoriaan: laitteisto, energiakaivot/energiakenttä sekä putki- ja sähkötyöt sekä -tarvikkeet.

5.2.1 Laitteisto

Maalämpöjärjestelmään kuuluva laitteistotoimitus vaihtelee käytettävästä valmistajasta ja heidän lämpöpumpputekniikastaan riippuen. Yleisesti ottaen järjestelmään kuitenkin kuuluu maalämpöpumppu, lämminvesivaraaja käyttövedettä varten, puskurivaraaja lämmitysverkostolle, sähkövastukset varaajissa, kalvopaisunta-astiat sekä apulaitteet kuten kiertovesi- ja liuospumput, erilaiset venttiilit sekä mittarit ja anturit. Tämän lisäksi järjestelmään voidaan usein liittää myös käyttövedentulistusvaraaja, joka vastaa käyttöveden lopullisesta lämmittämisestä oikeaan lämpötilaan, sekä sähkökattila vara- ja lisälämmönlähteeksi. Laitteiston valintaan ja varusteluun vaikuttavat aina lämpöpumppuvalmistajan käyttämät tekniikat, kiinteistön lämmityksen ja käyttöveden tarve sekä urakkamateriaalissa annetut laitteiston vaatimukset ja suositukset. Vaatimusten ja suositusten täyttämisen lisäksi valmistajan edustajalla sekä projektin vetäjällä saattaa usein olla kohteeseen

sopivia suunnitelmia joilla järjestelmä saadaan räätälöityä juuri kyseiselle kiinteistölle sopivaksi. Räätälöidyllä järjestelmällä pyritään säästämään investointikustannuksia sekä parantamaan energiatehokkuutta. Järjestelmä suunnitellaan usein seuraavin periaattein:

- Lämpöpumppujen määrä valitaan valmistajan kompressorien tehojen sekä kiinteistön tehontarpeen mukaan siten, että tehopeitto saadaan tarpeeksi korkealle.
- Käyttövesivaraajien määrä sovitaan lämpimän käyttöveden kulutukselle sopivaksi. Varaajia ei kannata olla liikaa, koska se nostaa kustannuksia sekä ne vievät runsaasti tilaa, mutta kuitenkin tarpeeksi monta jotta käyttövettä on riittävästi tarpeiden mukaan.
- Puskurivaraajan koko mitoitetaan lämmitysverkolle sopivaksi.
- Käyttövesi- ja lämpöjohto pumput mitoitetaan verkoston paineen, virtaaman ja lämpötilan sekä nostokorkeuden mukaan.
- Sähkökattilan teho kattamaan urakamateriaalissa vaadittu osa tehontarpeesta.

5.2.2 Käyttökustannukset

Käyttökustannukset maalämmön osalta määräytyvät lämpöpumppujärjestelmän käyttämän sähkön kulutuksen perusteella sekä tarvittaessa vikaantumisen aiheuttamat huolto- ja tarkistuskulut. Sähkön kulutus on selkeästi korkeampaa talvikausina, kun taas lämpimimpinä aikoina sähköä kuluu selkeästi vähemmän. Pääasiallisesti sähköä kuluu eniten lämmitykseen, kun taas kesällä lämmitystä ei tarvita ollenkaan ja energiaa kuluu vain lämpimän käyttöveden tuottamiseen. Suomen pohjoisimmissa osissa, joissa talvella voidaan päästä edelleen korkeisiin pakkasasteisiin maalämpö kuluttaa selkeästi enemmän sähköä kuin etelässä jossa talvet ovat lähivuosina olleet pääosin leutoja. Korkeissa pakkasasteissa maalämpöpumput saattavat joutua tukeutumaan myös sähkökattilan sekä varaajien sähkövastuksien tuomaan lisälämpöön, joka nostaa sähkönkulutusta huomattavasti. Itse lämpöpumppujen sekä sähkövastusten lisäksi sähköä kuluttavat tietenkin kiertovesipumput, keruupiirin pumppu sekä muut apulaitteet. Huoltokustannukset muodostuvat aina vikatilanteen mukaan. Maalämpöjärjestelmä on useimmiten varustettu hyvin kattavalla määrällä erinäisiä antureita ja mittareita ja järjestelmä lähettääkin häiriöilmoitukset itsenäisesti etänä. Näiden avulla on usein nopeaa kohdentaa vian sijainti, mutta joskus tilanne saattaa vaatia enemmänkin tutkimista. Häiriötilanteita aiheuttavat hälytykset eivät aina johda järjestelmän täyteen toimimattomuuteen, mutta vaikuttavat

esimerkiksi lähtevän veden lämpötilaan, sähkön kulutukseen ja hyötysuhteeseen. Yleisimpiä hälytyksiä ovat mm. matala- ja korkeapainehälytykset, jotka johtuvat usein huonosta kierrosta liuos- tai lämmityspuolella. Nämä johtuvat usein tukkeutuneesta roskahdistä, viantuneesta kiertovesipumpusta tai kun järjestelmään on päässyt ilmaa. Myös viallinen anturi saattaa aiheuttaa turhan hälytyksen ja kaipaa täten vaihtoa.

5.2.3 Energiakaivot/energiakenttä

Pienissä kohteissa energiakaivon hinta on kiinteästi metrimäärään ja kollektoriputken kokoon sidottu ja sisältää tarvittavat työt jotta energiakaivo on käyttövalmis. Tämä sisältää muun muassa kaivon porauksen, putkituksen, täytön ja läpiviennit. Tarjoukseen sisällytetään lisätyöt, ja niiden hinnasto, joita kohteessa saatetaan mahdollisesti tarvita ja ne tuodaan asiakkaan tietoon tarjouksen yhteydessä. Yleisin lisätyö on energiakaivon suojaputkituksen lisääminen mikäli pehmytmaata on normaalia/odotettua enemmän. Urakoitsijasta riippuen porauksen metrihinta pienessä kohteessa on suunnilleen 24–32 euroa.

Isommissa kohteissa olennaista on kaivojen lukumäärä, yhteenlaskettu metrimäärä sekä käytetyn kollektoriputken koko. Lisäkustannuksia tuovat myös suojaputkituksen määrä sekä separointikontti poraustuhkaa varten. Energiakentän tarjoukseen sisältyviä asioita ovat

- energiakaivojen poraus
- suojaputkitus (teräsputkea, perusmäärän määrittää porausurakoitsija tarjouksessaan, loput tehdään lisätyönä)
- kollektoriputki ja sen asennus
- maalämpöneste ja järjestelmän täyttö (esim. Altia Naturet)
- suojakannet kaivojen päähän
- vaakaputket
- kokoomakaivot
- venttiilit, linjasäätöventtiilit, laipat, putkiosat (muhvit, supistimet, ...)
- läpiviennit
- työnjohto/projektinvetäjä
- putkityöt (mm. muovihitsaus), maanrakennustyöt (kaivuut sekä peitot) sekä rakennustyöt (mm. läpiviennit) järjestelmän osalta.

Tarjouksessa on voitu eritellä myös maanrakennustyöt erikseen. Pienissä kohteissa maanrakennustöitä on hyvin vähän joten oletuksena porausurakoitsija hoitaa nämä ja ne on sisällytetty suoraan hintaan. Isommissa kohteissa maanrakennustöitä on huomattavasti enemmän, varsinkin mikäli kenttä on suuri ja energiakaivoja on monia. Tästä syystä pääurakoitsija saattaa haluta kilpailuttaa myös maanrakennustyöt, jolloin hintaa voidaan supistaa.

Maalämpöurakan maanrakennustöitä ovat muun muassa

- kaivuutyöt (vaakaputkisto)
- kaivantojen täyttö
- kaivuunauhan asentaminen putkien sekä sähköjohtojen päälle
- asfaltin leikkaus
- uudelleen asfaltoinnit.

Kuten aiemmin (luku 4.2) on mainittu, myös TRT-mittaus on olennainen osa isoissa energiakentissä. TRT-mittaus eli terminen vastetesti suoritetaan erikseen porattavaan testi-kaivoon. Testillä voidaan määrittää kriittisiä ja tarvittavia muuttujia energiakentän mitoistusta ja suunnittelua varten. Testin avulla voidaan mitata alueen kallioperän ja poratun energiakaivon termisiä ominaisuuksia. Mittaustulokset sekä rakennuksen lämmitys- ja jäähdytysenergian ja -tehon tarpeet syötetään EED-simulaattoriin, jolla voidaan varmistaa energian saatavuus vuosikymmenten ajan kallioperästä. Mallituksen avulla vältytään myös ali- ja ylimitoitukselta sekä optimoidaan kaivojen määrä, syvyys ja sijoittelu sekä nähdään lämmönkeruunesteen lämpötilakehitys monien vuosien ajalta.

5.2.4 Sähkön hinta

Maalämmön tuotannossa ja sen kannattavuudessa oleellista on valitun sähköyhtiön kanssa tehty sopimus ja sähkön hinta. Suomessa sähköyhtiöitä on kattava määrä ja yhtiöillä on runsaasti erilaisia sähkösopimusten vaihtoehtoja. Sopimus voi olla muun muassa kiinteähintainen tai pörssisähkön tuntihinnan mukaan muuttuva ja esimerkiksi täysin hiilidioksidipäästötöntä tai tietyllä tavalla tuotettua sähköä. Maalämpöjärjestelmälle tehdään lähes poikkeuksetta oma sähköpääkeskus, jolloin on mahdollista hankkia myös täysin erillinen sähkösopimus pelkästään järjestelmää varten tai muuttaa alkuperäistä

sähkösopimusta suuremmalle pääsulakekoolle sopivaksi. Taulukkoon 7 on koottu muutamia esimerkkejä taloyhtiöille/yrityksille suunnatuista sähkösopimuksista ja niiden kustannuksista.

Taulukko 7. Esimerkkejä sopimusmalleista ja niiden hinnoista 1.5.2020 (Fortum, Turku Energia, Helen).

Sopimus	Perusmaksu €/kk	Sähkön hinta c/kWh
Fortum Yritys Varma, 2-vuotinen määräaikainen	5,00	3,88
Fortum Yritys Varma, 3-vuotinen määräaikainen	5,00	3,79
Turku Energia Louna Varkio, Yösähkö	0	4,27 (Päivä) / 3,11 (Yö)
Turku Energia Louna Varkio, Yleissähkö	0,00	3,94
Turku Energia Louna Varkio, Kausisähkö	0	4,55 (Talviarkipäivä) / 3,67 (Muu aika)
Helen Perussähkö	3,10	5,64
Helen Vesisähkö, 2 vuotta	3,00	4,19
Helen Tuulisähkö	3,10	6,02
Helen Spot-sähkö	5,00	Spot-hinta + 0,19
Helen Tehosähkö	3,00 + 0,55/kW,kk	6,18 (Talvipäivä) / 5,58 (Talviyö) / 5,81 (Kesäpäivä) / 5,43 (Kesäyö)
Helen Aikasähkö	3,10	6,20 (klo 7-22) / 5,19 (klo 22-7)

Sähkön hinnan keskimääräinen prosentuaalinen kasvu on laskettu Energiaviraston tuotettaman hintojen kehityksen datan pohjalta. Data on kerätty maaliskuusta 2006 marraskuuhun 2019 asti, ja taulukossa on esitetty sähkön keskimääräisiä hintoja eri kuluttajatyypeittäin. Näiden pohjalta laskettu keskimääräinen vuosittainen kehitys on noin 2,74 %. (Energiavirasto, 2020).

5.3 Huolto- ja käyttöikä

Taulukko 8. Lämmitysjärjestelmien laitteiden ja osien tekniset käyttöiät ja tarkastusvälit (KH 90-00403 LVI 01-10424 Ohjetiedosto, 2008).

Määritelmä	Tekninen käyttöikä	Tarkastusväli
------------	--------------------	---------------

Kaukolämpö		
Lämmönjakokeskus		12 kk, kun ikä <10 a; 4 kk, kun ikä 10...20 a; 1 kk, kun ikä >20 a
HST-levylämmönsiirrin	20	
Kupariputkilämmönsiirrin	20	
Kumitiivisteellinen levylämmönsiirrin	10	
Teräsputkilämmönsiirrin	20...30	

Maalämpö		
Maalämpöpumppu	25...30	Lämpötilojen tarkkailu, sähkönkulutuksen seuranta
Kompressori	10...15	
Keruupiiri	Rakennuksen ikä	

Järjestelmien osat		
Teräsputket	Rakennuksen / järjestelmän ikä	12 kk
Kupari-, PEX-, ja komposiittiputket	50...	12 kk
Pumput	20...25	12 kk, laakeriäänet, kuumeneminen, tiiviys, taajuusmuuttajakäyttö ja vuorottelukäynti tarkastetaan
Venttiilit (yksisuunta-, säätö-, magneetti-, patteri-, varo-, täyttö- ja tyhjennysventtiilit)	20...25	12 kk, suljetaan ja avataan. Sulkeutuvuus testataan. Tiiviys tarkastetaan.
Linjasäätöventtiilit	30	12 kk
Sulkuventtiilit	30	12 kk
Moottoriventtiilit	20 (venttiilirunko), 10...15 (toimilaite)	12 kk
Putkistovarusteet	Uusitaan tarvittaessa	12 kk
Paisunta- ja varolaitteet	20...25	12 kk

5.3.1 Kaukolämpö

Kaukolämpölaitteisto kiinteistössä on hyvin yksinkertainen ja mekaanista työtä tekeviä laitteita ja osia on vähän. Tämän vuoksi laitteiden huoltokustannukset ovat hyvin matalat kaukolämpölaitteiston osalta. Levylämmönsiirtimen käyttöikä on 20 vuotta. Putkiston osien kuten pumppujen, venttiilien, mittarien ja antureiden käyttöiät vaihtelevat 20–30 vuoden välillä. Taulukossa 8 on esitetty teknisiä käyttöikäjä ja tarkastusvälejä. (KH 90-00403 LVI 01-10424 Ohjetiedosto, 2008).

Esimerkiksi pumput tai putkistovarusteisiin kuuluvat lämpömittarit, painemittarit, ilmanpoistimet, joustavat liittimet ja lianerottimet saattavat kaivata vaihtamista useita kertoja järjestelmän eliniän aikana, mutta kustannukset ovat näiden osien osalta erittäin maltillisia. Laitteiston osien käyttöikä on mahdotonta ennustaa varmaksi, joten tästä syystä säännölliset tarkastukset sekä seuranta ovat tärkeitä.

5.3.2 Maalämpö

Maalämpöpumpuissa ja -järjestelmissä on kaukolämpölaitteistoon verrattaen enemmän laitteita, putkistovarusteita sekä mekaanista työtä tekeviä laitteita. Täten huoltokustannukset ovat hieman kaukolämpöä korkeammat ja tekniset käyttöiät vaihtelevat.

Taulukon 8 mukaan maalämpöpumpun tekninen käyttöikä on noin 25–30 vuotta, mutta kompressorin vain 10–15 vuotta. Järjestelmän muiden osien, lukuunottamatta putkia, teknisen käyttöiän keskiarvo on noin 23 vuotta. (KH 90-00403 LVI 01-10424 Ohjetiedosto, 2008).

Kompressorit tuovat selkeän lisän maalämpöjärjestelmän mahdollisiin huoltokustannuksiin kaukolämpölaitteistoon verrattaessa. Muutoin huoltokustannukset ovat melko lähellä kaukolämpölaitteistoa, mutta putkistovarusteiden määrän ollessa hieman suurempi nostavat ne kustannuksia myös hieman korkeammalle.

6 KOHTEEN TARKASTELU

6.1 Kohteen lähtötiedot

Laskennan kohteena oleva esimerkki taloyhtiö on Naantalissa sijaitseva kolmen 7-kerroksisen kerrostalon muodostama taloyhtiö. Talot ovat rakennettu vuosina 1979–1981 ja asuntoja niissä on yhteensä 99 kappaletta. Rakennusten alat ja tilavuudet on esitetty taulukossa 9.

Taulukko 9. Kohteen tunnuslukuja

	Talo A	Talo B	Talo C	Yhteensä
Kokonaiskerrosala (m ²)	2 939	2 939	2 939	8 817
Huoneistoala (m ²)	2 471	2 471	2 471	3 314
Tilavuus (m ³)	9 200	9 120	9 120	27 440

Kohteessa on lämmitysmuotona jo valmiiksi kaukolämpö, mutta työssä kohdetta tarkastellaan siten, että lämmitysmuodon investoinnit pitävät sisällään tarvittavat asennus-, maanrakennus- ja rakennustyöt kuin uudisrakennuksessa jossa lämmitysmuotoa ei ole vielä asennettu.

Taulukossa 10. on esitetty taloyhtiön lämmitysenergian ja kylmän käyttöveden kulutushistoria vuosilta 2013–2018.

Taulukko 10. Kulutushistoria 2013–2018.

Vuosi	Lämmitysenergia (MWh)	Vesi (m ³)
2018	771	5 654
2017	739	6 967
2016	742	6 255
2015	662	6 167
2014	845	5 907
2013	790	5 924

Taloyhtiössä on käytössä lämmönjakomuotona patterilämmitys. Lämmönjakoverkoston lämpötila-alue MUT:ssa (-26 °C) on 70-40. Kiinteistön kokonaistehon tarve on noin 330 kW, jonka mukaan kaukolämpölaitteisto on mitoitettu.

Maalämpöjärjestelmät mitoitetaan lähes poikkeuksetta osateholle eli kattamaan noin 80% huipputehontarpeesta. Osatehomitoituksella suunniteltu järjestelmä takaa useimmiten paremman energiataloudellisuuden kuin täysteholle mitoitettu järjestelmä. Etenkin eteläisessä Suomessa talvet ovat nykyään myös melko leutoja ja korkeita pakkasasteita sekä niiden tuomaa korkeaa lämmityksen piikkitehontarvetta on hyvin harvoin. Mikäli tällaisiin pakkasasteisiin päästään, pystytään noussut lämmitysenergian tarve kattamaan järjestelmään kuuluvilla sähkövastuksilla sekä sähkökattilalla. Tarjouspyynnön laatija/projektin valvoja määrittää antamassaan materiaalissaan tietyt kriteerit järjestelmälle, joilla varmistetaan sen toiminta sekä taloyhtiön lämmityksen toimivuus myös kylmimpinäkin aikoina.

Laitteistojen mitoituksia ja tarjouksia varten on käytetty taulukossa 11 olevia arvoja. Tarjoukset on saatu Turun talousalueella toimivilta urakoitsijoilta.

Taulukko 11. Arvot mitoituksia varten.

Kerrosala (m ²)	8 887
Rakennustilavuus (m ³)	27 440
Mitoittava ulkolämpötila (°C)	-26
Lämmönjakoverkoston lämpötila (°C)	70 - 40
Lämmitysenergian kokonaismäärä (kWh)	750 000
Lämpimän käyttöveden osuus (kWh)	175 000
Kiinteistön tehontarve (kW)	330
Lämpöpumppujen nimellisteho (kW) 0/35	230 – 250

6.2 Kaukolämmön hankintakustannukset

6.2.1 Liittymän rakentaminen ja liittymismaksut

Naantalissa kaukolämmön toimittajana ja myyjänä toimii Turku Energia. Turku Energian liittymismaksu kohteelle voidaan määrittää kaavalla 9.

Kaava 9. Turku Energian liittymismaksu (alv 0%) kun liittymisteho on 165...815 (Turku Energia, 2020).

$$\text{Liittymismaksu} = n \times 0,81 \times (P \times 47 + 8015)$$

Jossa n on tarkistuskauden alussa tiedossa oleva Tilastokeskuksen laske-
man rakennuskustannusindeksin (RKI) 2015=100 suhde lähtötasoon.
1.2.2020 alkaen $n = 1,04$

P on sopimusteho (kW)

Tämän lisäksi, kuten luvussa 4.1.2 mainittiin, Turku Energia perii erillisen johtomaksun
mikäli tonttijohdon pituus ylittää 20 metriä ja 2 metriä rakennuksessa. Mittaus tapahtuu
tontin rajalta mittauskeskuksen pääsulkuventtiileille. Kohteelle on käytetään laskelmassa
yhteensä 50 metrin tonttijohtoa ja teknisessä tilassa 2 metriä. Tällöin 20 metriä ylittävää
tonttijohdon osuutta on 30 metriä, jonka hinta voidaan laskea kaavalla 10.

Kaava 10. Johtomaksun määräytyminen (Turku Energia, 2020).

$$\text{Johtomaksu} = n \times s \times j$$

Jossa n on sama kerroin kuin kaavassa 9 eli $n = 1,04$

s on 20 metriä ylittävä johto-osuus tonttialueella ja 2 metriä rakennuksessa
(m)

j on johtomaksu, jonka lähtöarvona käytetään ko. hinnoitteluryhmän johto-
koon keskimääräistä rakentamiskustannusta (€/m), hinnoittelu esitetty tau-
lukossa 12.

Taulukko 12. Turku Energian johtokoon mukainen keskimääräinen rakentamiskustannus (€/m) (Turku Energia, 2020).

Sopimusteho (kW)	Johtomaksu maassa (€/m)		Johtomaksu rakennuksessa 2 m ylittävältä osalta (€/m)	
	Alv. 0%	Alv. 24%	Alv. 0%	Alv. 24%
Alle 15	100	124	50	62
15...165	100	124	50	62
165...815	140	174	70	87
815...1630	160	198	80	99
Yli 1630	180	223	90	112

Näiden lähtötietojen avulla voidaan laskea kiinteistön liittämistä Turku Energian kaukolämpöverkkoon aiheuttavat liittymismaksun kokonaiskustannukset. Nämä kokonaiskustannukset esitetään taulukossa 13. Liittymismaksu sisältää liittymäjohton rakentamisen, maanrakennustöiden osalta kaivuun ja peiton (ei asfaltointia tai nurmikon kylvöä) sekä rakennustekniset työt läpivientien osalta. Mittauskeskus kuuluu myös toimitukseen.

Taulukko 13. Liittymismaksu kokonaisuudessaan (Turku Energia, 2020).

Sopimusteho 330 kW	Alv. 0%	Alv. 24%
Liittymismaksu	19 818 €	24 574 €
Johtomaksu, ylittävä osuus tonttialueella 30 metriä	4 368 €	5 429 €
Yhteensä	24 186 €	30 003 €

6.2.2 Kaukolämpölaitteisto

Laitteisto toimitus tehdään avaimet käteen -periaatteella ja se sisältää mitoituksen mukaisen 2-piirisen kaukolämmön alajakokeskuksen, tarvittavan automatiikan, putket sekä putkitarvikkeet, putkityöt ja sähkötyöt alajakokeskuksen osalta sekä eristystyöt ja tarvikkeet. Alajakokeskuksena käytetään Gebwellin G-Power -kaukolämmönjakokeskusta.

Lämmönvaihtimet on mitoitettu kulutuslukemien ja tehontarpeiden mukaan. Keskus toimitetaan vakiovarusteiden lisäksi valvontaa varten tarvittavilla mittareilla ja antureilla ja varolaitteilla. Hinnat laitteistolle on koottu taulukkoon 14.

Taulukko 14. Laitteiston kokonaistoimituksen hintarakenne.

	Hinnat sis. Alv. 24%
Gebwell G-Power kaukolämpökeskus	14 500 €
Automatiikka	6 000 €
Putket ja putkitarvikkeet	2 200 €
Putkityöt	3 300 €
Eristystyöt ja tarvikkeet	2 500 €
Yhteensä	28 500 €

Kaukolämmön investointikustannus, liittymismaksu + laitteisto asennettuna, on siis kokonaisuudessaan yhteensä 58 503 €.

6.3 Maalämpöjärjestelmän hankintakustannukset

Maalämpöjärjestelmän vaatimuksia on esitetty taulukossa 11. Näiden lisäksi urakaselosteessa on mainittu muita kriteereitä jotka järjestelmän tulee täyttää. Nämä on lisätty taulukkoon 15. Järjestelmän toimitus tapahtuu avaimet käteen periaatteella.

Taulukko 15. Maalämpöjärjestelmän lisävaatimukset

Lämpökaivot	17 kappaletta, 300 metriä/kaivo
Kallion lambda	3,0 W/mK
TRT-kaivo + EED-simulointi	Kyllä, 1 kpl
Käyttövesitilavuus	4 000 dm ³
Puskurivaraajan tilavuus	1 000 dm ³
Varaajien käyttöpaineet	Min. 4 bar
Varaajien sähkövastukset	Min. 9 kW / varaaja
Vuosihyötysuhteet	3,5 ilman lisälämpöä, 3,3 lisälämmöllä
Lisälämmön osuus	< 12 000 kWh/a
Sähkökattila	Min. 150 kW, porrastettu säätö
Käyttöveden latausryhmä	Kyllä
Taloautomaatiojärjestelmä	Kyllä

Muut laitteet ja tarvikkeet sekä tarvittavat rakennus-, maanrakennus-, sähkö- ja putki-asennustyöt tehdään hyvää asennustapaa noudattaen sekä Suomessa yleisesti käytettäviä ja urakkaselosteessa mainittuja määräyksiä, lakeja, normeja, ohjeita ja suosituksia noudattaen kuten kaukolämmönkin osalla.

Maalämpöurakoitsijan tarjous on myös avaimet käteen paketti, kuten kaukolämpöurakoitsijallakin, ja se sisältää seuraavanlaisen järjestelmän:

- 4 kpl Jäspi Jämä Star 60 kW -maalämpöpumppuja
- 4 kpl 1000 litraisia Akvaterm Akva PRO -käyttövesivaraajia
- 1 kpl 1000 litrainen Akvaterm Akva PRO -puskurivaraaja
- 1 kpl Jäspi FIL SPL 150 kW -sähkökattila
- sähkövastukset varaajiin
- 1 kpl Jäspi KVV PAK -käyttöveden latausryhmä
- energiakenttä; 17 kpl 300 m syviä kaivoja
- TRT-kaivo sekä EED-simulointi
- maalämpöjärjestelmän ryhmäkeskus
- taloautomaatiojärjestelmä
- pumput, paisunta-astiat, venttiilit, varolaitteet, anturit ja mittarit
- muut putkitarvikkeet ja -osat sekä putkityöt

- sähkötarvikkeet ja sähkötyöt
- työnjohto sekä tarvittavien kuvien piirtäminen
- eristystyöt ja -tarvikkeet.

Hinnan selkeyttämiseksi voidaan urakan hinnat jakaa laitteistoon, energiakenttään, putki- ja sähkötarvikkeisiin, asennustyöt sekä eristystyöt ja -tarvikkeet. Työnjohto sisällytetään työn osuuteen. Taulukossa 16 on urakan eritelty hinnat sekä viimeisellä rivillä urakan kokonaiskustannus.

Taulukko 16. Maalämpöurakan kokonaishinta.

Tuote	Hinta sis. Alv. 24%
Maalämpölaitteisto	93 000 €
Energiakenttä	246 500 €
Putki- ja sähkötarvikkeet	64 500 €
Asennustyöt	47 400 e
Eristystyöt ja -tarvikkeet	7 500 €
Yhteensä	458 900 €

Koska kohteen kustannusvertailu lasketaan uudisrakennuksen näkökulmasta ei maalämpöurakkaan lasketa mukaan uutta pääkeskusta ja sen asennusta sekä liittymämaksun korotusta vaan niiden ajatellaan kuuluvan kiinteistöjen pääsähköurakoitsijalle. Saaneerauskohteessa liittymämaksun korotus sekä pääkeskuksen kokonaiskustannukset ovat noin 10 000–15 000 € suuruusluokassa.

6.4 Jatkuvat kustannukset

6.4.1 Energian hinnat

Kohteen laskelmissa käytetään taulukon 17 mukaisia energian hintoja.

Taulukko 17. Energian hinnat.

	Kiinteät maksut €/a	€/MWh
Sähkö	0,00	39,40
Sähkönsiirto	818,20	11,90
Sähkövero		27,94
Yhteensä	818,20	79,24
Kaukolämpö		
Tehomaksu	8 883,00	
Energiamaksu		68,60
Yhteensä	8883,00	68,60

Kaukolämpökeskuksen sähkön vuosittainen kulutus arvioidaan tässä tapauksessa pieneksi ja sitä ei huomioida laskelmissa. Maalämpöjärjestelmän pääkeskus on tässä kokuokassa yli 3x160 A, jolloin Turku Energian sähkönsiirrosta käytetään pienjännitteen tehosiirtoa. Laskelmissa ei kuitenkaan huomioida pätötehon ja loistehon vaikutuksia siirtohintaan, vaan käytetään taulukon mukaista kiinteää arvioitua hintaa.

Kaukolämmön tehomaksun keskimääräinen hinnan nousu vuositasolla on ollut 4,12 % ja energiamaksun 2,79 % viimeisen 10 vuoden ajalta. Kivihiilestä pois siirtymisen ja puh- taiden polttoaineiden sekä uusiutuvien energioiden hyödyntämisen uskotaan laskevan kaukolämmön hintoja, kun esimerkiksi haittaveroa ei tarvitse enää maksaa. Reaalisena hinnan nousuna laskelmissa käytetään siis tehomaksun osalta 1,5 % sekä energiamak- sun osalta 1,25 % jotka ovat keskimääräistä kasvua huomattavasti maltillisempia.

Energiaviraston tuottaman datan pohjalta laskettu sähkön hinnan vuosittainen korotus oli vuodesta 2006 vuoden 2019 loppuun noin 2,74 % per vuosi. Uusiutuvien energia- muotojen käyttö sähköntuotannossa voidaan uskoa myös laskevan sähkön hintaa. Täten laskelmissa käytetään sähkön kilowattituntihinnan korotuksena 1,2 % ja perusmaksun osalta 1 %. Sähköveron voidaan olettaa pysyvän muuttumattomana.

6.4.2 Huolto- ja valvontakustannukset

Kaukolämpölaitteiston ollessa hyvin yksinkertainen voidaan olettaa, että perushuoltotoimenpiteet sekä mahdolliset laitteiston siivoukset ja tarkastukset hoidetaan taloyhtiön käyttämän kiinteistöhuollon kautta. Kaukolämmön-toimittajat tarjoavat myös usein perustason valvonta- ja tarkastuspalvelut ilmaiseksi liittymän tilaajille. Vuosittaisiksi huoltokustannuksiksi voidaan täten arvioida 300 €.

Maalämpölaitteistolle on urakassa on annettu kiinteä vuosittainen huolto- ja valvontasopimuksen hinta. Vuosisopimushuolto pitää sisällään aikataulutetut huoltokäynnit sekä etävalvonnan, josta on reaaliaikaisesti nähtävissä laitteiston toimintalämpötiloja sekä virtauksia ja paineita. Myös hälytykset tulevat reaaliajassa ja niistä tulee ilmoitus myös urakoitsijan sähköpostiin, joka myös vastaa laitteiston valvonnasta ja huolloista sopimuksen mukaisen ajan. Vuosittaisiksi huolto- ja valvontakustannuksiksi on ilmoitettu 1000 €.

6.5 Elinkaarikustannusten laskenta

Elinkaarikustannukset arvioidaan kahdelle jaksolle, 20 vuotta sekä 50 vuotta. Taulukon 8 mukaan voidaan olettaa molempien laitteistojen eliniän olevan 20 vuotta. 45 vuoden tarkastelussa laitteistot uusitaan 20 vuoden kohdalla ja kehityksen myötä uusitun laitteiston teknisen käyttöiän voidaan olettaa olevan pidempi.

Elinkaarikustannukset voidaan laskea kaavalla

$$LCC = I_n + E_n + H_n + K_n$$

Jossa I on investointikustannus (€)

E_n on energiakustannusten nykyarvo (€)

H_n on huoltokustannusten nykyarvo (€)

K_n on kunnossapitokustannusten nykyarvo (€)

Kaava 11. Elinkaarikustannusten (LCC, Life-cycle cost) laskenta (Testa ym., 2011).

Energiakustannusten nykyarvo voidaan laskea kaavalla 12.

$$E_n = E \frac{1 - (1 + r)^{-n}}{r}$$

Jossa r on reaalikorko (%/100)

E on vuosittainen energiakustannus (€/a)

n on tarkastelujakson pituus (a)

Kaava 12. Energiakustannusten nykyarvo.

Huoltokustannusten nykyarvo voidaan laskea samalla kaavalla kuin energiakustannusten nykyarvo (kaava 12), jolloin vuosittainen energiakustannus korvataan vuosittaisella huoltokustannuksella.

Kunnossapitokustannuksina voidaan pitää sellaisia kustannuksia, jotka eivät ole vuosittain toistuvia, vaan satunnaisia. Kunnossapitokustannuksiksi voidaan laskea esimerkiksi venttiilin, toimilaitteen tai pumpun vaihtaminen.

Kunnossapitokustannusten nykyarvo voidaan laskea diskonttaamalla kaavalla 13.

$$K_n = \frac{K}{(1 + r)^k} = a'_{y,k} \times K$$

Jossa K on yksittäinen kunnossapitokustannus (€)

r on reaalikorko (%/100)

$a'_{y,k}$ on yksittäisen kunnossapitokustannuksen diskonttauskerroin

k on vuosi nykyhetkestä lukien, johon kustannus liittyy

Kaava 13. Kunnossapitokustannusten nykyarvo ja sen diskonttaus.

Nykyarvomenetelmällä voidaan määrittää investoinnin kannattavuutta nykyhetkessä, kun tulevat kustannukset ja tuotot diskonttataan hankkismishetkeen. Tarkasteluajanjakson aikana toistuville kustannuksille diskonttaus voidaan laskea kaavalla 14 ja yksittäisille kertamaksuille kaavalla 15.

$$a_n = \frac{(1+r)^n - 1}{r(1+r)^n} = \frac{1 - (1+r)^{-n}}{r}$$

jossa a_n on toistuvan suorituksen diskonttauskerroin

n on tarkastelujakson pituus (a)

r on laskennassa käytettävä reaalikorko (%/100)

Kaava 14. Toistuvan maksun diskonttaus.

$$a'_{y,k} = \frac{1}{(1+r)^k}$$

jossa $a'_{y,k}$ on yksittäisen kunnossapitokustannuksen diskonttauskerroin

r on reaalikorko (%/100)

k on määritelty vuosi nykyhetkestä lukien, johon kustannus liittyy

Kaava 15. Yksittäisen maksuerän diskonttaus.

Energiakustannukset kaavaa 12 varten voidaan laskea yksinkertaisesti kaavalla 16.

$$E = Kulutus \times Hinta$$

jossa *Kulutus* on lämmitysmuodon kuluttama energia (kWh)

Hinta on energian hinta (€/kWh)

Kaava 16. Energiakustannusten laskeminen.

Nimelliskorko on korkomuoto, joka ei ota huomioon inflaation aiheuttamaa ostovoiman heikkenemistä. Nimelliskorko kertoo oletettavan tuoton suuruuden kun inflaatiota ei oteta huomioon. Reaalikorko ilmaisee todellista toteutunutta tuottoa pääomalle tai pääomakustannuksien suuruutta. Se huomioi inflaation vaikutuksen tuottoon ja mikäli inflaatio nousee nimelliskoron yli, on reaalikorko negatiivinen. Reaalikorko voidaan laskea kaavalla 17.

$$r = \frac{i - f}{1 + f}$$

jossa i on nimelliskorko (%/100)

f on inflaatio (%/100)

Kaava 17. Reaalikoron laskeminen.

Tilastokeskuksen mukaan 2010 – 2019 inflaatio on ollut keskimäärin noin 1,289 % vuodessa joka voidaan pyöristää 1,29 %:in. Nimelliskoron lasketaan muodostuvan pankin marginaalista sekä 12kk Euriborin viitekorosta. Marginaalin voidaan olettaa olevan noin 0,8 % ja Euribor 12kk on laskentahetkellä -0,075 % jolloin nimelliskorko on 0,725 %. Tällöin reaalikoroksi saadaan 0,5952... % \approx 0,6 %.

Taulukossa on 18 koostetusti kaikki elinkaarilaskennassa käytettävät arvot.

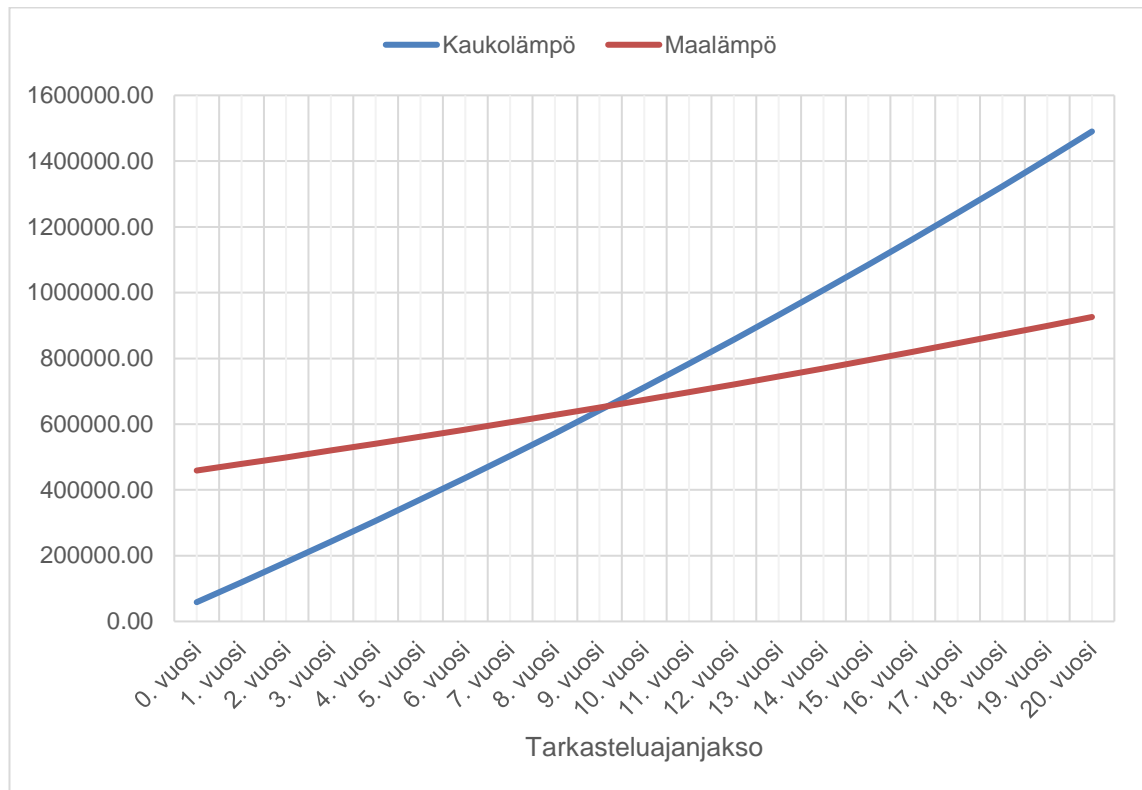
Taulukko 18. Kooste laskennassa käytettävistä lukuarvoista.

Sähkön hinta €/MWh	79,24
Sähkön hinnan nousu %/a	1,2
Sähkön kiinteät kustannukset €/a	818,20
Sähkön kiinteiden kustannus kasvu %/a	1
Maalämmön investointikustannus €	458900,00
Maalämmön huolto- ja valvontakustannukset €/a	1000,00
Maalämmön sähkön kulutus MWh/a	230
Kaukolämmön hinta €/MWh	68,60
Kaukolämmön hinnan nousu %/a	1,25
Kaukolämmön tehomaksu €/a	8883,00
Kaukolämmön tehomaksun kasvu %/a	1,5
Kaukolämmön investointikustannus €	58503,00
Kaukolämmön huoltokustannukset €/a	300,00
Kaukolämmön kulutus MWh/a	750
Reaalikorko	0,6
Maalämpölaitteiston uusimisen kustannukset	125000,00
Kaukolämmön uusimisen kustannukset	21000,00

7 TULOKSET

7.1 Elinkaarikustannukset 20 vuoden ajalta

Kuviossa 2 on elinkaarikustannukset 20 vuoden ajalta.



Kuvio 2. Elinkaarilaskennan tulokset 20 vuoden ajalta.

Maalämmön alkuinvestointi on kaukolämpöä huomattavasti suurempi. Maalämmön kustannuskäyrä on kuitenkin tasaisempi kuin kaukolämmöllä. Maalämpöpumpun hyötysuhde on laskelmassa 3,26, joka on myös valmistajan mitoitusohjelman mukaan laskettu arvo. Käytännössä hyötysuhde voi kuitenkin olla pienempi joka täten tasoittaisi kustannusten eroja jonkin verran. Tämän laskelman pohjalta on kuitenkin nähtävissä, että maalämmön elinkaarikustannukset moninkertaisesta investoinnista huolimatta saavuttavat huomattavia säästöjä ja 10 vuoden jälkeen maalämpö on jo edullisempi järjestelmä.

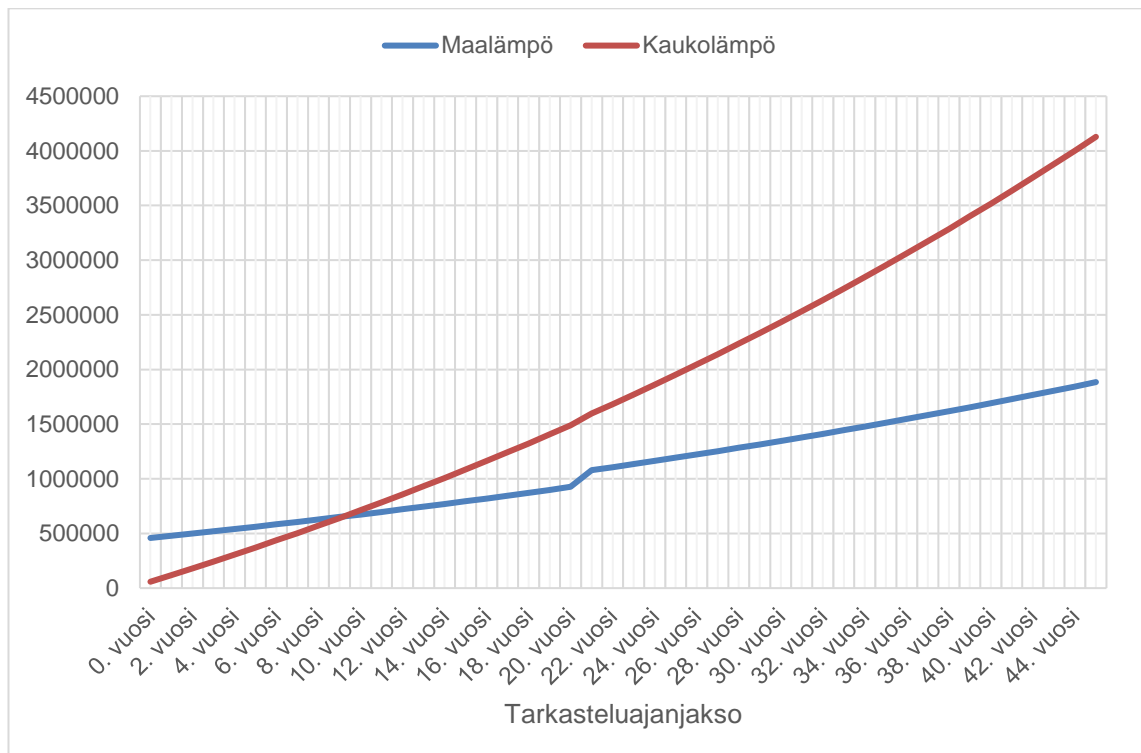
Taulukossa 19 on numeeriset arvot 20 vuoden tarkasteluajanjakson jälkeen.

Taulukko 19. Elinkaarikustannukset 20 vuoden tarkasteluajanjaksolla.

20 vuoden elinkaarikustannukset	
Kaukolämpö	1 490 162,60 €
Maalämpö	925 917,36 €
Erotus	564 245,24 €
Maalämpö halvempi %	37,86 %

7.2 Elinkaarikustannukset 45 vuoden ajalta

Kuviossa 3 on esitetty elinkaarikustannukset ja niiden kehitys 45 vuoden ajanjaksolla



Kuvio 3. Elinkaarikustannukset 45 vuoden aikana.

Kun tarkastellaan elinkaarikustannuksia 45 vuoden aikana tulee selvemmin ilmi maalämmön tuoma selkeä säästö. Laskennassa 20 vuoden jälkeen molemmat laitteistot uusitaan. Maalämmön osalta laitteistosta uusitaan maalämpöpumput, käyttöveden lämmönvaihdin, pumput, venttiilit, paisunta-astiat, mittarit sekä anturit ja asennustyön. Varaajien

ja putkien sekä energiakentän käyttöikä on riittävän pitkä jotta niitä ei tarvitse uusia muun laitteiston uusinnan yhteydessä. Kaukolämmön osalta uusintainvestointi kattaa uuden kaukolämpökeskuksen ja sen pumput sekä asennustyön.

Maalämmön elinkaarikustannusten ollessa 45 vuoden jälkeen lähes 1,89 miljoonaa euroa on kaukolämpö yli kaksi kertaa kalliimpi. Taulukossa 20 on numeeriset arvot 45 vuoden tarkastelujaksolle.

Taulukko 20. Elinkaarikustannukset 45 vuoden tarkastelujaksolla.

45 vuoden elinkaarikustannukset	
Kaukolämpö	4 128 353,35 €
Maalämpö	1 884 764,04 €
Erotus	2 243 589,31 €
Maalämpö halvempi %	54,34 %

8 YHTEENVETO

Alkuperäinen energialaskelma (liite 1) on tehty kaukolämmön kulutuksen ollessa 790 MWh/a. Tässä työssä tehtyä laskelmaa varten kaukolämmön kulutusta on laskettu realistisemmaksi ja lähemmäs viimeisten 6 vuoden keskiarvoa. Hyötysuhde energialaskelmassa on yli 3,43 ja elinkaarilaskelmissa 3,26, mutta todellisuudessa hyötysuhteen voidaan olettaa olevan vielä hieman matalampi. Herkkyystarkastelulla voidaan määrittää parametrejä, joilla vertailtavien järjestelmien kustannuksia saataisiin lähemmäs toisiaan. Tosiasia kuitenkin on, että maalämpöpumppujen erinomaiset hyötysuhteet sekä sähkön kokonaishinnan ollessa kaukolämpöä selvästi pienempi on maalämpöjärjestelmä suuresta investoinnistaan huolimatta pitkällä tähtäimellä huomattavasti edullisempi järjestelmä. Edes laitteiden uusiminen 20 vuoden jälkeen ei tasoita tilannetta kuin vähän ja hetkellisesti. Kaukolämpöenergian suurten kustannusten takia edullinen investointi ei ole kannattava, mikäli energiankulutus on suurta.

Fossiilivapaiden polttoaineiden oletetaan laskevan energian hintaa tulevaisuudessa. Kaukolämpöenergian hinnan tulisi kuitenkin laskea sähköä huomattavasti nopeammin, jotta kaukolämmön ja maalämmön kilpailua pystyttäisiin saada tiukemmaksi.

Tällä hetkellä kaukolämpöä tuotetaan suurilta osin yhteistuotantolaitoksissa yhdessä sähköntuotannon kanssa. Samoin hukkalämpöä kerätään monista teollisuuden prosesseista, joka voidaan hyödyntää suoraan lämmityksessä tai edelleen kaukolämmössä. Kun siirtyminen täysin fossiilivapaiden polttoaineiden käyttöön tapahtuu se tarkoittaa molempien lämmitysjärjestelmien toimivan ekologisesti. Koska kaukolämpöä saadaan sivutuotteena tai yhdessä muun tuotannon kanssa voidaan pohdiskella mihin asti maalämpöpumppujen hyödyntäminen on järkevää, jotta tuotettu kaukolämpö voidaan hyödyntää täysin eikä syntyisi hukkalämpöä. Järjestelmien rinnalle on myös mahdollista liittää kiinteistökohtaisia lämmöntalteenottojärjestelmiä, jolloin muun muassa ilmanvaihdon ja lämpimän käyttöveden hukkalämmöt voidaan hyödyntää tehokkaasti uudelleen lämmön tuotossa.

Maalämpöjärjestelmää suunniteltaessa on tärkeää valita urakoitsija sekä laitteisto oikein. Halvimman vaihtoehdon ottaminen ei maalämmön osalta ole aina järkevintä. Oikein mitoitettut energiakaivot, laadukkaat maalämpöpumput sekä varaajat ja huolellisesti tehty asennustyö ovat ensiarvoisen tärkeää maalämmön toimivuuden ja energiatehokkuuden

kannalta. Huonosti mitoitettu ja suunniteltu järjestelmä sekä epälaadukkaat laitteet aiheuttavat suuren heikennyksen energiatehokkuuteen, laitteiston käyttöikäen sekä nostavat korjaus- ja huoltokustannuksia.

Kaukolämmöllä on edelleen varman sekä suhteellisen edukkaan lämmönlähteen maine. Yksinkertainen järjestelmä on halpa investointi sekä helppohoitoinen ja edullinen korjata. Kaukolämmön luotettavaa mainetta lisää usein myös se, että lämmitysenergian tuotto on isojen voimalaitosten vastuulla toisin kuin maalämmössä, jonka lämpöenergian tuotto on maahan varastoituneen energian sekä lämpöpumpun toiminnan varassa. Tämän lisäksi maalämpöjärjestelmän ollessa selkeästi monimutkaisempi on muuttujia useampia, ja tämä herättää uskomuksia kalliista ylläpidettävyydestä sekä mahdollisesti epävarmasta järjestelmästä. Näiden syiden takia kokeneen ja laadukkaan urakoitsijan sekä järjestelmän valinta on erityisen tärkeää, eikä väärässä paikassa kannata säästää.

LÄHTEET

Alfa Laval Oy, 2020. Alfa Laval Cetetherm Maxi -lämmönjakokeskuksen esite. <https://www.yumpu.com/fi/document/read/45588653/maxi-alfa-laval>

Altia Industrial, 2017. Käyttöturvallisuustiedote Naturet -maalämpöneste. Luettu 23.2.2020. https://www.altiaindustrial.com/sites/default/files/media/KTT_NATURET%20-maalamponeste%20-17%20oC.pdf

Altia Industrial, 2020. Naturet – maalämpönesteet. Luettu 23.2.2020. <https://www.altiaindustrial.com/fi/naturet-maalamponesteet>

Energiateollisuus ry, 2006. Kaukolämmön käsikirja. Helsinki: Energiateollisuus ry.

Energiateollisuus ry, 2019. Kaukolämmöntuotanto. https://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/energiantuotanto/kaukolammon_tuotanto

Energiateollisuus, 2020. Kaukolämmön hintatilastot 1999 – 2020. Luettu 12.5.2020. https://energia.fi/julkaisut/materiaalipankki/kaukolammon_hintatilasto.html#material-view

Energiavirasto, 2020. Sähkön hintatilastot. Luettu 13.5.2020. <https://energiavirasto.fi/sahkon-hintatilastot>

Fortum Oy, 2020. Fortum Yritys Varma. Luettu 1.5.2020. <https://www.fortum.fi/yrityksille-ja-yhteisolle/sahkosopimus/yritysvarma>

Helen Oy, 2019. Kaukolämpölaitteet. <https://www.helen.fi/lampo/nykyiset-asiakkaat/nykyisille-asiakkaille/kaukolampolaitteet>

Helen Oy, 2020. Sähkötuotteet pienyrityksille. Luettu 1.5.2020. <https://www.helen.fi/yritykset/sahkoa-yrityksille/sahkotuotteet-yritykselle>

Juvonen J. & Lapinlampi T., 2013. Energiakaivo. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Motiva, 2018. Lämpöpumppujen hankintaopas – Kunnat ja taloyhtiöt. Luettu 1.3.2020. https://www.motiva.fi/files/14752/Lampopumppujen_hankintaopas_kunnat_ja_taloyhtiöt.pdf

Motiva, 2019. Lämpöä omasta maasta. Luettu 22.11.2019. https://www.sulpu.fi/documents/184029/190695/Motiva%2C%20Lampoa_omasta_maasta-1.pdf

Rakennustietosäätiö RTS ja LVI-Keskusliitto, 2008. Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitajaksot. KH 90-00403 LVI 01-10424 ohjetiedosto. <https://kotiapp.fi/wp-content/uploads/2019/04/KH-90-00403.pdf>

Rasmussen P., 2011. Energi Styrelsen – Calculation of SCOP for heat pumps according to EN 14825. Luettu 8.5.2020 <https://www.varmepumpsforum.com/vpforum/index.php?action=dlattach;ts=1505933467;topic=65119.0;attach=49952>

St1, 2020. Puhdasta geolämpöä maan syvyyksistä. Luettu 20.6.2020. <https://www.st1.fi/geolampo>

Testa F. & Iraldo F. & Frey M. & Connor R., 2011. Life Cycle Costing, a View of Potential Application: from Cost Management Tool to Eco-Efficiency Measurement. Luettu 17.5.2020. https://www.researchgate.net/publication/221912341_Life_Cycle_Costing_a_View_of_Potential_Applications_from_Cost_Management_Tool_to_Eco-Efficiency_Measurement

Turku Energia Oy, 2020. Louna Vakio. Luettu 1.5.2020. <https://www.turkuenergia.fi/yritykset/sahkoa-pienyrityksille/louna-vakio/>

Turku Energia, 2020. Liittymä- ja johtomaksut 01.02.2020. Luettu 16.5.2020. https://www.turkuenergia.fi/wp-content/uploads/2020/02/Liittym%C3%A4-ja-johtomaksu_01022020_n_104.docx

Uponor Oy, 2015. Energiapaalut -tuotekortti. <https://www.uponor.fi/-/media/country-specific/finland/download-centre/ground-source-heat/brochures/17004-energiapaalut-tuotekortti-2015.pdf>

Vindkraft Oy, 2019. Luettu 9.3.2020. <https://vindkraft.fi/kaukolampo-ja-maalampo-vastakkainkumpi-voitti/>

Ympäristöministeriö, 2012. Lämpöpumppujen laskentaopas. Luettu 8.5.2020 <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B10A732A6-EA2F-45F9-869C-6F909138CB26%7D/30757>

1. Energialaskelma maalämpöpumpun mitoitusohjelmasta

KOHTEEN TIEDOT

Tilojen lämmityksen tarve	790000 kWh/vuosi
-Kaukolämpö	790000 kWh/vuosi
- josta käyttöveden osuus	175000 kWh/vuosi
Lämmitystehontarve	263,3 kW

LÄMPÖPUMPUN ASENNUKSEN JÄLKEEN

Ostoenergia	230581 kWh/vuosi
-------------	------------------

SÄÄSTÖT

Energiansäästö	573214 kWh/vuosi
CO2 säästöt	43391 kg/vuosi

SÄÄTIEDOT

Vuoden keskilämpötila	5,3 °C
Mitoittava ulkolämpötila, MUT	-26,0 °C

RAKENNUKSEN OLOSUHTEET

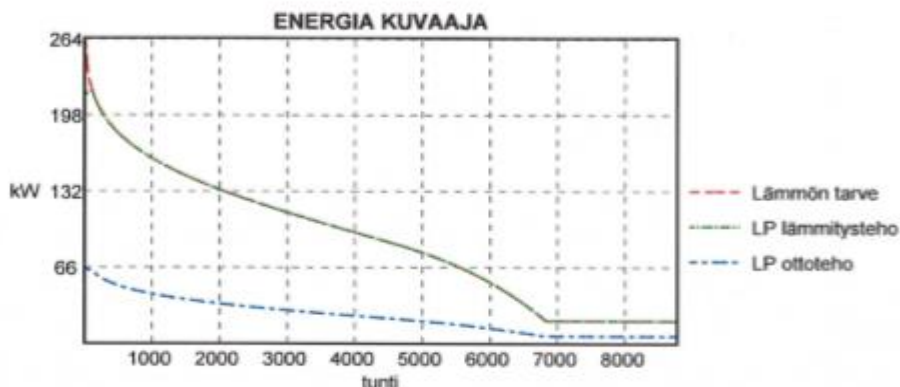
Sisälämpötila	21,0 °C
Tilojen lämmitys pysähtyy	18,0 °C
Lämmitys meno MUT:ssa	70 °C
Lämmitys paluu MUT:ssa	40 °C

4XJÄMÄ STAR 60 KW

JÄMÄ STAR 60 kW	4 kpl
-----------------	-------

ENERGIALASKENNAN TULOKSET 4XJÄMÄ STAR 60 KW

LP:n tuottama energia	787514 kWh/vuosi
LP:n kuluttama energia	226396 kWh/vuosi
Lisäenergia, netto	2486 kWh/vuosi
Lisäenergia, brutto	2486 kWh/vuosi
Lämmityksen kiertopumppu	1700 kWh/vuosi
Muulla kuin LP:llä lämmitetty käyttövesi	0 kWh/vuosi
Energianpeitto	100 %
Vuosilämpökertoimen, netto	3,5
Vuosilämpökertoimen, brutto	3,4
Kiinteä tai vaihteleva lauhdutus	Vaihteleva
Lämpöpumpun teho MUT:ssa	215,3 kW
Ottoteho MUT:ssa	65,4 kW
Laskennallinen lisäteho	48,0 kW
Tehopeitto	82 %

**ENERGIKAIVO**

Aktiivinen porausvyövyys	4928 m
Energian otto	118 kWh/m
Tehon otto	34 W/m
Lambda kallio	3,0 W/mK
Tulevan keruuliuksen keskilämpötila	0,8 °C

3. Jämä Star -kiinteistömaalämpöpumpun tekniset tiedot

Tekniset tiedot



3x400 V

3x400 V		24	30	40	60
Tehotiedot EN 14511 mukaan					
0/35					
Antoteho (P _H)	kW	23,00	30,72	39,94	59,22
Sähköteho (P _E)	kW	4,94	6,92	8,90	13,72
COP _{EN14511}	-	4,65	4,44	4,49	4,32
0/45					
Antoteho (P _H)	kW	21,98	29,74	38,90	56,12
Sähköteho (P _E)	kW	5,96	8,34	10,61	16,02
COP _{EN14511}	-	3,69	3,57	3,67	3,50
10/35					
Antoteho (P _H)	kW	30,04	40,08	51,71	78,32
Sähköteho (P _E)	kW	5,30	7,24	9,81	15,08
COP _{EN14511}	-	5,67	5,53	5,27	5,19
10/45					
Antoteho (P _H)	kW	29,28	39,16	50,79	74,21
Sähköteho (P _E)	kW	6,34	8,84	11,82	17,60
COP _{EN14511}	-	4,62	4,43	4,30	4,22
Tehotiedot EN 14825 mukaan					
Nimellinen lämmitysteho (P _{designh})	kW	28	35	46	67
SCOP _{EN14825} kylmä ilmasto, 35 °C / 55 °C	-	5,0 / 4,0	4,9 / 3,8	5,0 / 3,9	4,7 / 3,8
SCOP _{EN14825} lauha ilmasto, 35 °C / 55 °C	-	4,8 / 3,8	4,7 / 3,6	4,8 / 3,8	4,6 / 3,7
Energiamerkintä, lauha ilmasto					
Tehokkuusluokka huonelämmitys 35 °C / 55 °C	-	A++ / A++	A++ / A++	A++ / A++	A++ / A++
Järjestelmän tehokkuusluokka huonelämmitys 35 °C / 55 °C ¹⁾	-	A+++ / A++	A+++ / A++	A+++ / A++	A+++ / A++
Sähkö tiedot					
Nimellisjännite		400V 3N ~ 50 Hz			
Maks. käyttövirta, lämpöpumppu ³⁾	A _{rms}	20,5	25,3	29,5	44,3
Maks. käyttövirta, kompressori	A _{rms}	8,4	11,1	13,1	19,9
Suosittelava varoke	A	25	30	35	50
Käynnistysvirta	A _{rms}	29	30	42	53
Suurin sallittu impedanssi liitäntäpisteessä ²⁾	ohmia	-	-	-	0,4
Kokonaisteho, LK-pumput ³⁾	W	6 – 360	6 – 360	35 – 730	40 – 1250
Kokonaisteho, LJ-pumput	W	5 – 174	5 – 174	5 – 174	5 – 174
Kotelointiluokka		IP21			

3x400 V		24	30	40	60
Kylmäainepiiri					
Kylmäaineen tyyppi		R407C			R410A
GWP kylmäaine		1 774	1 774	1 774	2 088
Täytösmäärä	kg	2 x 2,0	2 x 2,0	2 x 1,7	2 x 1,7
CO ₂ -ekvivalentti	tonnia	2 x 3,55	2 x 3,55	2 x 3,02	2 x 3,55
Katkaisuarvo, ylipaineensäädin	MPa	3,2 (32 bar)			4,2 (42 bar)
Ero, ylipaineensäädin	MPa	-0,7 (-7 bar)			
Katkaisuarvo, alipaineensäädin	MPa	0,08 (0,8 bar)			0,2 (2 bar)
Ero, alipaineensäädin	MPa	0,07 (0,7 bar)			
Katkaisuarvo, paineanturi LP	MPa	0,08 (0,8 bar)			0,2 (2,0 bar)
Ero, matalapaineessostaatti	MPa	0,01 (0,1 bar)			
Lämmönkerupiiri					
Suurin järjestelmäpaine, lämmönkeruuliuos	MPa	0,6 (6 bar)			
Minimivirtaus	l/s	0,92	1,23	1,59	2,36
Nimellisvirtaus	l/s	1,18	1,62	2,09	3,10
Suurin ulkoinen käytettävissä oleva paine nimellisvirtauksella ³⁾	kPa	92	75	92	78
Min/maks. lämmönkeruulioksen tulolämpötila	°C	diagrammi			
Min. lämmönkeruulioksen menolämpötila	°C	-12			
Lämmivesipiiri					
Suurin järjestelmäpaine, lämmitysvesi	MPa	0,6 (6 bar)			
Minimivirtaus	l/s	0,37	0,50	0,64	0,92
Nimellisvirtaus	l/s	0,54	0,73	0,93	1,34
Suurin ulkoinen paine nimellisvirtauksella	kPa	78	72	70	50
Min/maks. KV-lämp	°C	diagrammi			
Äänitehotaso (L_{WA}) EN 12102 mukaan lämpötiloilla 0/35	dB(A)	47	47	47	47
Äänenpainetaso (L_{PA}) lasketut arvot EN ISO 11203 mukaan lämpötiloilla 0/35 ja 1 m etäisyydellä	dB(A)	32	32	32	32
Putkiliitännät					
Lämmönkeruuputken halk. CU-putki		G50 (2" ulko) / G40 (1 1/2" sisä)			
Lämmitysputken halk. CU-putki		G50 (2" ulko) / G40 (1 1/2" sisä)			

¹⁾Järjestelmän ilmoitettu teho ottaa huomioon tuotteen lämpötilasäätimen.

²⁾Suurin sallittu impedanssi verkkoliitäntäpisteessä EN 61000-3-11 mukaan. Käynnistysvirrat voivat aiheuttaa lyhyitä jännitteenalennuksia, jotka voivat vaikuttaa muihin laitteisiin epäsuotuisissa olosuhteissa. Jos verkkoliitäntäpisteen impedanssi on ilmoitettua korkeampi, häiriöitä luultavasti esiintyy. Jos verkkoliitäntäpisteen impedanssi on ilmoitettua korkeampi, tarkasta verkon omistajalta ennen laitteiston hankintaa.

³⁾Mukana toimitetun lämmönkeruupumpun tekniset tiedot.

Muut

Muut		24	30	40	60
Kompressorijöly					
Öljytyyppi		POE	POE	POE	POE
Tilavuus	l	2 x 1,9	2 x 1,1	2 x 1,9	2 x 1,9
Mitat ja painot					
Leveys	mm	600			
Syvyys	mm	620			
Korkeus	mm	1 800			
Vaadittu vapaa korkeus ¹⁾	mm	1 950			
Paino, lämpöpumppu	kg	320	330	345	346
Paino, jäähdytysmoduuli	kg	130	135	144	144
Tuotenumero, 3x400V ²⁾		065 304	065 305	065 306	065 307
Tuotenumero, 3x400V ³⁾				065 413	065 414

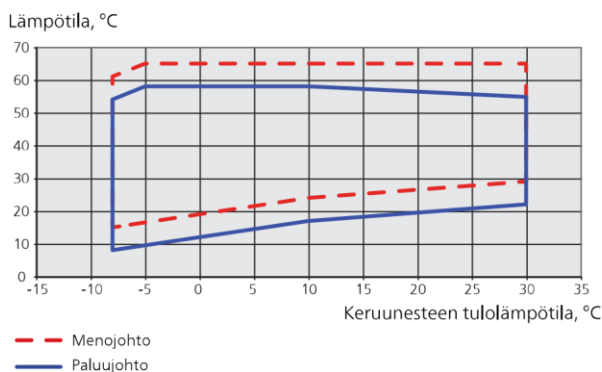
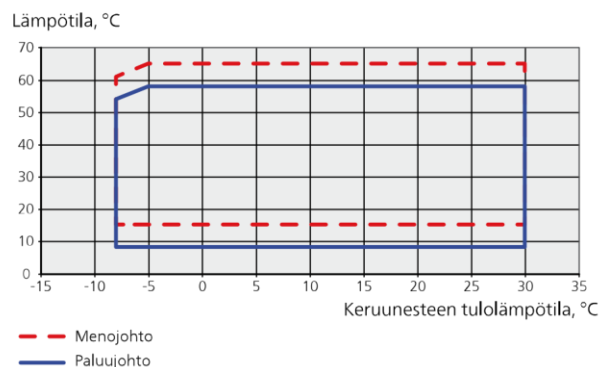
¹⁾Jalat irrotettuna korkeus on n. 1930 mm.

²⁾24 ja 30 kW sisäisellä lämmönkeruupumpulla. 40 ja 60 kW ulkoisella lämmönkeruupumpulla.

³⁾40 ja 60 kW ilman ulkoista lämmönkeruupumppua.

Työalue, lämpöpumppu, kompressikäyttö

Suurin kompressorilla tuotettava menolämpötila 65 °C.

3x400V 24 kW**3x400V 30 kW, 40 kW, 60 kW**

Energiamerkintä

Infosivu

Valmistaja	Kaukora			
	Star-24	Star-30	Star-40	Star-60
Malli	-	-	-	-
Lämminvesivaraaja	-	-	-	-
Lämpötilasovellus	°C	35 / 55	35 / 55	35 / 55
Ilmoitettu laskuprofiili käyttöveden lämmityksessä	-	-	-	-
Hyötysuhdeluokka huonelämmityksessä, keskimääräinen ilmasto	A++ / A++	A++ / A++	A++ / A++	A++ / A++
Hyötysuhdeluokka käyttöveden lämmityksessä, keskimääräinen ilmasto	-	-	-	-
Nimellislämmitysteho (Pdesignh), keskimääräinen ilmasto	kW	28	35	46
Vuotuinen energiankulutus huonelämmityksessä, keskimääräinen ilmasto	kWh	11 996 / 15 287	15 539 / 19 880	19 996 / 25 093
Vuotuinen energiankulutus käyttöveden lämmityksessä, keskimääräinen ilmasto	kWh	-	-	-
Kauden keskihyötysuhde huonelämmityksessä, keskimääräinen ilmasto	%	185 / 143	178 / 137	182 / 143
Käyttövesilämmityksen energiatehokkuus, keskimääräinen ilmasto	%	-	-	-
Äänitehotaso L _{WA} sisällä	dB	47	47	47
Nimellislämmitysteho (Pdesignh), kylmä ilmasto	kW	28	35	46
Nimellislämmitysteho (Pdesignh), lämmin ilmasto	kW	28	35	46
Vuotuinen energiankulutus huonelämmityksessä, kylmä ilmasto	kWh	13 730 / 17 514	17 817 / 22 770	22 939 / 28 857
Vuotuinen energiankulutus käyttöveden lämmityksessä, kylmä ilmasto	kWh	-	-	-
Vuotuinen energiankulutus huonelämmityksessä, lämmin ilmasto	kWh	7 823 / 9 904	10 063 / 12 803	12 931 / 16 202
Vuotuinen energiankulutus käyttöveden lämmityksessä, lämmin ilmasto	kWh	-	-	-
Kauden keskihyötysuhde huonelämmityksessä, kylmä ilmasto	%	193 / 150	186 / 144	190 / 149
Käyttövesilämmityksen energiatehokkuus, kylmä ilmasto	%	-	-	-
Kauden keskihyötysuhde huonelämmityksessä, lämmin ilmasto	%	183 / 143	178 / 138	182 / 144
Käyttövesilämmityksen energiatehokkuus, lämmin ilmasto	%	-	-	-
Äänitehotaso L _{WA} ulkona	dB	-	-	-

Paketin energiatehokkuustiedot

Malli	Star-24	Star-30	Star-40	Star-60
Lämminvesivaraaja	-	-	-	-
Lämpötilasovellus	°C	35 / 55	35 / 55	35 / 55
Lämpötilasäädin, luokka	II			
Lämpötilasäädin, vaikutus tehokkuuteen	2			
Paketin huonelämmityksen kausikeskihyötysuhde, keskimääräinen ilmasto	%	187 / 145	180 / 139	184 / 145
Paketin huonelämmityksen tehokkuusluokka, keskimääräinen ilmasto	A+++ / A++	A+++ / A++	A+++ / A++	A+++ / A++
Paketin huonelämmityksen kausikeskihyötysuhde, kylmä ilmasto	%	195 / 152	188 / 146	192 / 151
Paketin huonelämmityksen kausikeskihyötysuhde, lämmin ilmasto	%	185 / 145	180 / 140	184 / 146

Paketin ilmoitettu tehokkuus huomioi myös sen lämpötilasäätimen. Jos pakettiin liitetään ulkoinen kattila tai aurinkokeräin, paketin kokonaistehokkuus on laskettava uudelleen.

Malli		Star-60					
Lämpöpumpun tyyppi	<input type="checkbox"/> Ilma-vesi <input type="checkbox"/> Poistoilma-vesi <input checked="" type="checkbox"/> Neste-vesi <input type="checkbox"/> Vesi-vesi						
Matalalämpötilalämpöpumppu	<input type="checkbox"/> Kyllä <input checked="" type="checkbox"/> Ei						
Sisäänrakennettu lisäsähkövastus	<input type="checkbox"/> Kyllä <input checked="" type="checkbox"/> Ei						
Lämpöpumppu lämmitys- ja käyttöveden tuotantoon	<input type="checkbox"/> Kyllä <input checked="" type="checkbox"/> Ei						
Ilmasto	<input checked="" type="checkbox"/> Keskimääräinen <input type="checkbox"/> Kylmä <input type="checkbox"/> Lämmin						
Lämpötilasovellus	<input checked="" type="checkbox"/> Keski (55 °C) <input type="checkbox"/> Matala (35 °C)						
Sovellettavat standardit	EN-14825						
Nimellinen antolämmitysteho	Prated	67	kW	Huonelämmityksen kausikeskihyötysuhde.	η_s	138	%
<i>Huonelämmityksen ilmoitettu kapasiteetti osakuormalla ja ulkolämpötilassa Tj</i>				<i>Huonelämmityksen ilmoitettu COP osakuormalla ja ulkolämpötilassa Tj</i>			
Tj = -7 °C	Pdh	54,8	kW	Tj = -7 °C	COPd	3,17	-
Tj = +2 °C	Pdh	56,6	kW	Tj = +2 °C	COPd	3,62	-
Tj = +7 °C	Pdh	29,2	kW	Tj = +7 °C	COPd	4,06	-
Tj = +12 °C	Pdh	29,8	kW	Tj = +12 °C	COPd	4,31	-
Tj = biv	Pdh	55,2	kW	Tj = biv	COPd	3,26	-
Tj = TOL	Pdh	54,1	kW	Tj = TOL	COPd	3,03	-
Tj = -15 °C (jos TOL < -20 °C)	Pdh		kW	Tj = -15 °C (jos TOL < -20 °C)	COPd		-
Bivalenssilämpötila	T _{biv}	-5,4	°C	Alin ulkolämpötila	TOL	-10,0	°C
Kapasiteetti jaksotuksessa	P _{psych}		kW	COP jaksotuksessa	COP _{psych}		-
Huononemiskerroin	Cdh	0,99	-	Suurin menoveden lämpötila	WTOL	65,0	°C
<i>Tehonkulutus muissa kuin aktiivtilassa</i>				<i>Lisälämpö</i>			
Poistila	P _{OFF}	0,002	kW	Nimellislämmitysteho	P _{sup}	12,9	kW
Termostaatin poisasento	P _{TO}	0,060	kW				
Valmiustila	P _{SB}	0,007	kW	Syötetyn energian tyyppi	Sähkö		
Kampikammiolämmitin	P _{CK}	0,080	kW				
<i>Muut tiedot</i>							
Kapasiteettisäätö	Muuttuva			Nimellisilmavirta (ilma-vesi)			m ³ /h
Äänen tehotaso, sisällä/ulkona	L _{WA}	47 / -	dB	Nimellinen lämmitysvesivirtaus		5,83	m ³ /h
Vuotuinen energiankulutus	Q _{HE}	38 048	kWh	Lämmönkeruuvirtaus neste-vesi tai vesi-vesilämpöpumput		10,87	m ³ /h

4. Gebwell G-Power -kaukolämpökeskuksen esite

Gebwell G-Power® kaukolämmönjakokeskus

– luotettavaa lämmitystä suuriin kiinteistöihin

G-Power kaukolämmönjakokeskus soveltuu patteri-, lattija ilmalämmitykseen sekä käyttöveden lämmittämiseen. Lämmönjakokeskus on suunniteltu isompien asuin- ja teollisuustilojen sekä liike- ja teollisuustilojen liittämiseksi kaukolämpöön ja se soveltuu sekä uudisrakennuksiin että saneeraus-kohteisiin.

G-Power kaukolämmönjakokeskus on rakenteeltaan kevyt ja kompakti kokonsa ja ulkonäöltään siistin huolteltu. G-Power on saatavana yksi- tai useampi piirinsä.

Suunnittelun ja toteutuksen päämääränä on lämmönjakokeskuksen asennettavuus ja käytön helppous, jotka ovatkin G-Powerissa omaa luokkaansa. G-Power kaukolämmönjakokeskus asennetaan lattialle ja sen jalusta on säädettävä.

Lämmönjakokeskuksen putkistot liitetään kaukolämpö-, lämmitys-, ilmastointi- ja käyttövesiverkostoihin. Lisäksi tarvitaan sähkösyöttö, ulkoanturin asennus ja tarvittavien ulkoisten ohjausten ja hälytysten kytkentä.

Vakiovarusteet

Tehdasvalmiissa kaksipiirinsessä G-Power kaukolämmönjakokeskuksessa on vakiovarusteena:

- Kovajuotetut levylämmönsiirtimet eristettyinä
- Elektroniset toimilaitteet lämmitysverkoston ja lämpimän käyttöveden säädössä
- Lämmityksen ja käyttöveden kiertovesipumput
- Sulku- ja linjasäätöventtiilit
- Ilanerotin
- Lämpöjohtoverkoston täyttöventtiili, kylmän käyttöveden syöttöventtiili ja lvk-kiertovesipumpun venttiili
- Gebwell -toimituksessa, jossa automatiikka mukana, painelähetin sisältyy vakiovarusteisiin
- Sisäiset sähkökytkennät
- Pumpujen ohjauskeskus, sisältäen pääkytkimen, moottorisuojakytkimet, merkkivalot, hälytyskoskettimet ja säätimen

Lisävarusteet

- Energiamittari
- Vesimittari
- Lämpömittari
- Ensiöpuolen kytkentäyhteet
- Ilmanerotin
- Huoneanturi
- Lämmitysverkoston varoventtiilit
- Paine-erosäädin
- Palsunta-astia
- Sivuvirtasuodatin
- Ylimääräinen sekoituspiiri esim. ilmastointia tai lattialämmitystä varten.

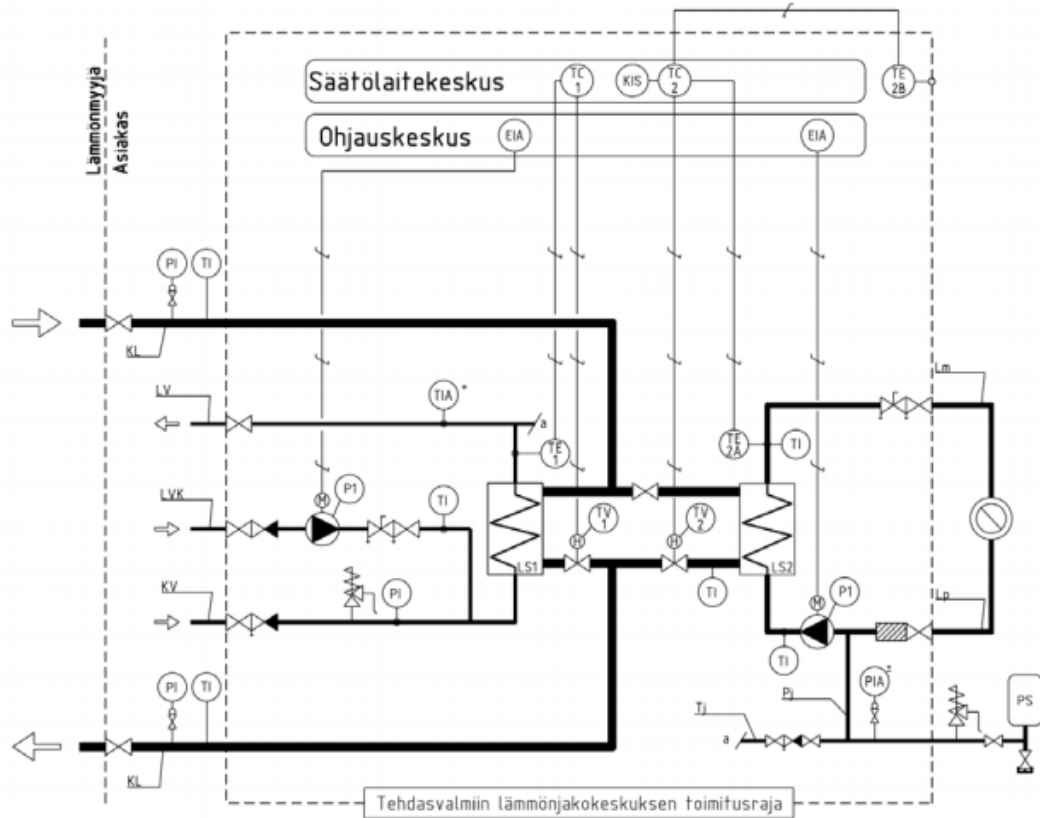
- Valmistettu Suomessa
- Pieni koko, kevyt ja kompakti rakenne
- Helppo haalata, asentaa ja huoltaa
- Korkealaatuiset komponentit
- Kovajuotetut levylämmönsiirtimet, lämpöpintalevyjen materiaalina haponkestävä teräs
- Elektroniset säätölaitteet lämmönsäätöön

Tekniset tiedot

Rakennepaino	PN 16
KL tulolämpötila	T _{max} = 120 °C
Sähkösyöttö	230/400 VAC
Hyväksynyt	CE-merkintä painelaittedirektiivin PED 97/23/EC vaatimusten mukaisesti



6. Kaukolämpökeskuksen esimerkkikytkentäkaavio



LÄMPIMÄN KÄYTTÖVEDEN LÄMPÖTILAN SÄÄTÖ

Säätokeskus TC1 ohjaa säätöventtiiliä TV1 käyttöveden lämpötila-anturin TE1 mittausarvon perusteella pitäen käyttöveden lämpötilan säätökeskuksen asetusarvon mukaisena. Ohjearvo 58°C.

LÄMMITYSVERKOSTON MENOVEDEN LÄMPÖTILAN SÄÄTÖ

Säätokeskus TC2 ohjaa säätöventtiiliä TV2 menoveden lämpötila-anturin TE2A ja ulkoilman lämpötila-anturin TE2B mittausarvojen perusteella pitäen lämmitysverkostoon lahtevan menoveden lämpötilan säätökeskuksen asetusarvon mukaisena.

