

MAALÄMPÖJÄRJESTELMÄN MITOITUS JA
KUSTANNUSARVIO
Hotelli Ylläsrinne Oy

Pesonen Joni

Opinnäytetyö
Tekniikka ja liikenne
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Insinööri (AMK)

2018

Tekniikka ja liikenne
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Insinööri (AMK)

| | | | |
|--------------------------------|---|--------------|------|
| Tekijä | Joni Pesonen | Vuosi | 2018 |
| Ohjaaja | Petri Kuisma | | |
| Toimeksiantaja | Safartica Oy | | |
| Työn nimi | Maalämpöjärjestelmän mitoitus ja kustannusarvio | | |
| Sivu- ja liitesivumäärä | 39 + 5 | | |

Opinnäytetyössä perehdyttiin maaperään sitoutuneen energian periaatteisiin ja sen hyödyntämiseen ympäristöystävällisenä ja energiatehokkaana ratkaisuna kiinteistöjen lämmönlähteenä. Työssä käytiin läpi erilaisia ratkaisuja maalämpöjärjestelmän toteuttamiseen ja siihen liittyvään laitteistoon sekä suunnitteluun ja mitoittamiseen. Työn tavoitteena oli perehtyä maalämpöön sekä maalämpöjärjestelmän suunnitteluun ja mitoittamiseen.

Opinnäytetyössä laskettiin ja mitoitettiin Hotelli Ylläsrinne Oy kiinteistöön maalämpöjärjestelmä nykyisen öljylämmityksen tilalle sekä tehtiin arvio kustannuksista ja takaisinmaksuajasta. Työssä käytettiin kiinteistön edellisen omistajan kirjanpitoa sekä nykyisen omistajan haastatteluja, alan uusimpia julkaisuja ja kirjallisuutta, maalämpöön liittyviä määräyksiä sekä asiantuntijahaastatteluja.

Opinnäytetyössä onnistuttiin suunnittelemaan ja mitoittamaan kaksi erilaista maalämpöjärjestelmää vaihtoehtoa, ja järjestelmille saatiin arvioitua investointikustannukset sekä takaisinmaksuaika.

Avainsanat

maalämpö, mitoittaminen, kustannusarvio

Technology, Communication and Transport
Civil Engineering
Bachelor of Engineering

| | | | |
|--------------------------|---|------|------|
| Author | Joni Pesonen | Year | 2018 |
| Supervisor | Petri Kuisma | | |
| Commissioned by | Safartica Oy | | |
| Subject of thesis | Dimensioning and Cost Estimation of a Geothermal Heating System | | |
| Number of pages | 39 + 5 | | |

The thesis focused on the principle of an energy bound to the soil and its utilization as an environmentally friendly and energy-efficient solution for the heat source of premises. Various solutions for the implementation of the geothermal heat system and the related equipment as well as design and dimensioning were discussed. The aim of the thesis was to get familiarize with geothermal energy and the planning and dimensioning of the geothermal system.

In the thesis, a geothermal heating system was calculated and dimensioned for Hotelli Ylläsrinne Oy to replace the current oil heating system. In addition, an estimate of the costs and the repayment period was made. The bookkeeping of the previous owner, the latest publications and literature, the geothermal regulations and expert interviews were used as the source material. In addition, the current owner was interviewed.

In the thesis, two different geothermal heating system choices were successfully planned and dimensioned. The investment costs and the repayment period were also estimated for these systems.

Key words

geothermal, dimensioning, cost estimate

SISÄLLYS

| | |
|--|-------------------------------------|
| 1 JOHDANTO | 7 |
| 2 MAALÄMPÖ | 8 |
| 2.1 Yleistietoa maalämmöstä..... | Error! Bookmark not defined. |
| 2.2 Maalämmön kasvu ja kehitys | 9 |
| 2.3 Maalämpö verrattuna muihin lämmitysmuotoihin | 12 |
| 3 MAALÄMPÖJÄRJESTELMÄ | 15 |
| 3.1 Toiminta ja rakenne | 15 |
| 3.2 Erilaiset vaihtoehdot | 16 |
| 3.2.1 Suomessa käytetyt maalämpöpumput | 16 |
| 3.2.2 Lämmönkeruupiirit..... | 20 |
| 3.2.3 Järjestelmän mitoitus..... | 24 |
| 4 SUUNNITTELUKOHTTEEN TIEDOT | 26 |
| 5 JÄRJESTELMÄN MITOITUS KOHTEESEEN | 28 |
| 5.1 Järjestelmän mitoitus | 28 |
| 5.2 Lämmitysenergian kulutus kohteessa..... | 28 |
| 5.3 Järjestelmän valinnat | 29 |
| 5.3.1 Maalämpöpumppu..... | 29 |
| 5.3.2 Lämmönkeruupiiri..... | 30 |
| 6 KUSTANNUSLASKELMAT | 33 |
| 6.1 Järjestelmän käyttökustannukset..... | 33 |
| 6.2 Säästöt..... | 34 |
| 6.3 Investointikustannukset ja takaisinmaksuaika..... | 34 |
| 7 POHDINTA | 36 |
| LÄHTEET | 37 |
| LIITTEET | 39 |

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

| | |
|-----|--------------------------------|
| MUT | mitoittava ulkoilman lämpötila |
| MLP | maalämpöpumppu |
| TEM | työ- ja elinkeinoministeriö |

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuvio 1. Maaperään varastoituneen energian lähteet ja keruutavat

Kuvio 2. Ilman ja maanpinnan vuotuinen keskiarvolämpötila

Kuvio 3. Sähkön ja kevyen polttoöljyn hinnan sekä maalämpöpumppujen lukumäärän kehitys 1976–2015

Kuvio 4. Maalämpöpumppujen osuus uusien pientalojen lämmitysjärjestelmistä

Kuvio 5. Suomessa myydyt lämpöpumput 2003–2016

Kuvio 6. Lämpöpumppujen kokonaismäärän kehitys vuoteen 2020

Kuvio 7. Lämmönlähteiden suhteelliset osuudet erillisissä pientaloissa vuosina 1995–2015

Kuvio 8. Erillisten pientalojen keskikoko lämmitysmuodon mukaan

Kuvio 9. Yli 26 kW maalämpöpumppujen osuus kokonaismyynnistä

Kuvio 10. Arvio kumulatiivisista kokonaiskustannuksista eri lämmitysmuodoilla pientalossa

Kuvio 11. Maalämpöpumpun osat ja toimintaperiaate

Kuvio 12. Maalämpöpumpun rakenne kiinteällä lauhdutuksella

Kuvio 13. Maalämpöpumpun rakenne vaihtuvalla lauhdutuksella

Kuvio 14. Puskurivaraaja vaihtuvalauhduksessa maalämpöpumpussa

Kuvio 15. Puskurivaraajan jatkuva kierto, kun lämmitetään käyttövärtä

Kuvio 16. Tulistusmaalämpöpumpun rakenne

Kuvio 17. Lämmönkeruuputkiston sijoituspaikat

Kuvio 18. Maaperään sijoitettu putkisto

Kuvio 19. Vesistöön sijoitettava keruuputkisto

Kuvio 20. Lämmönkeruupiiri kahdella energiakaivolla

Kuvio 21. Energiakaivon rakenne

Kuvio 22. Hotelli Ylläsrinne Oy:n julkisivu

Kuvio 23. Högfors 21 -öljykattila sekä öljysäiliöt

Kuvio 24. Ouman lämmönsäätöyksikkö

Taulukko 1. Maasta vuotuisesti saatavan lämpöenergian ohjeellisia arvoja

Taulukko 2. Lämmönkeruuputkiston mitoituksen raja-arvot eri alueilla

Taulukko 3. Lämmitysenergian kuluttajahintoja joulukuussa 2017

1 JOHDANTO

Maalämpö on nykyään yksi suosituimmista vaihtoehtoista uudisrakennusten lämmitysmuotona sekä lämmitykseen paljon energiaa kuluttavissa saneerauskohteissa Suomessa. Se on ympäristöystävällinen ja energiatehokas ratkaisu, joka on merkittävä tekijä lämmitysjärjestelmän valinnassa nykyisten energiatehokkuusmääräysten sekä ekologisuuden kannalta. Maalämpöjärjestelmän investointikustannukset ovat korkeammat kuin muiden lämmitysjärjestelmien, mutta sen energiatehokkuuden takia takaisinmaksuaika monessa tapauksessa on huomattavasti lyhyempi ja pitkällä aikavälillä kannattavuus parempi.

Opinnäytetyön aiheena on maalämpöjärjestelmän mitoitus ja kustannusarvio Hotelli Ylläsrinteelle. Työn tavoitteena on perehtyä maalämpöön ja sen toimintaan sekä mitoittaa ja suunnitella mahdollisimman tarkasti hotellin maalämpöjärjestelmä ja arvioida lämmitysjärjestelmän vaihdon kustannukset sekä takaisinmaksuaika sekä auttaa toimeksiantajaa (Safartica Oy) järjestelmän valinnassa.

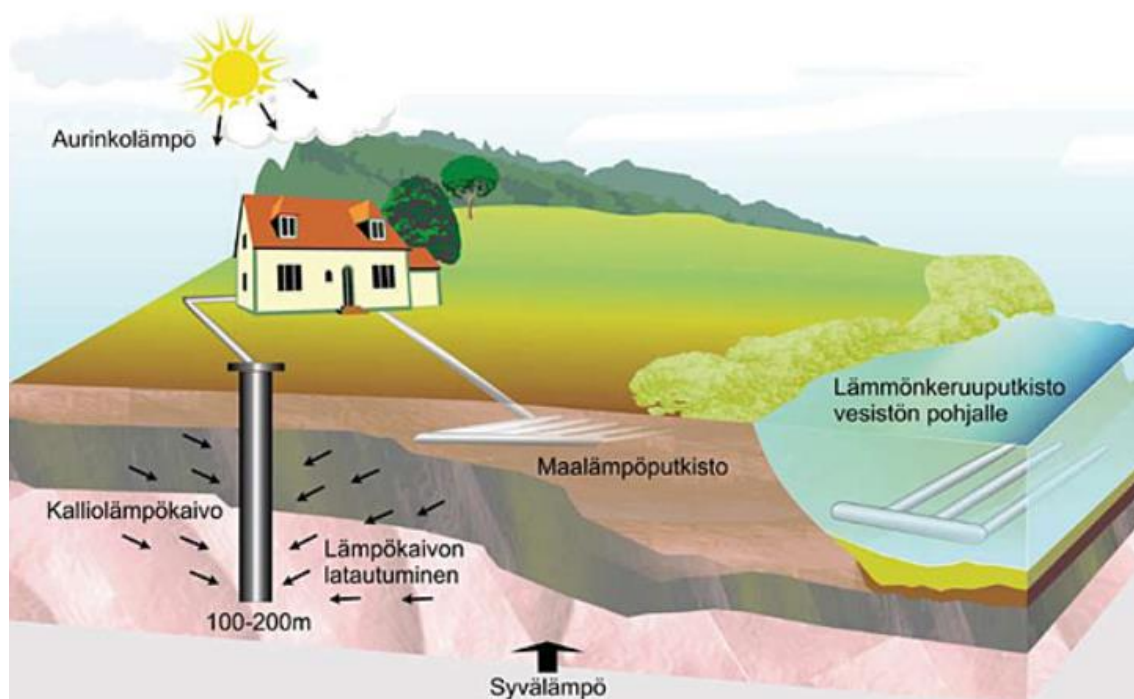
Kyseessä on vuonna 1988 rakennettu öljylämmitteinen vesikiertoisella patterijärjestelmällä varustettu suurkiinteistö, joka kuluttaa paljon energiaa lämmitykseen. Kiinteistön vuotuinen öljynkulutus on suuri ja näin ollen myös sen käyttökustannukset suuret. Hotellin uusi omistaja Safartica Oy haluaa investoida kiinteistön päivittämiseen ja yksi erinomainen päivitys- ja säästökohde on lämmitysjärjestelmän vaihto maalämpöön.

Aihe syntyi Safartica Oy:n toimitusjohtaja Raimo Kurun kanssa käydyissä puhelinkeskusteluissa koskien hotellin saneerausta. Lämmitysjärjestelmän saneeraus on ollut heillä harkinnassa ja sen toteutusta on mietitty lähitulevaisuudessa. Opinnäytetyön on tarkoitus auttaa investointipäätöksessä sekä järjestelmän valinnassa.

2 MAALÄMPÖ

2.1 Yleistietoa maalämmöstä

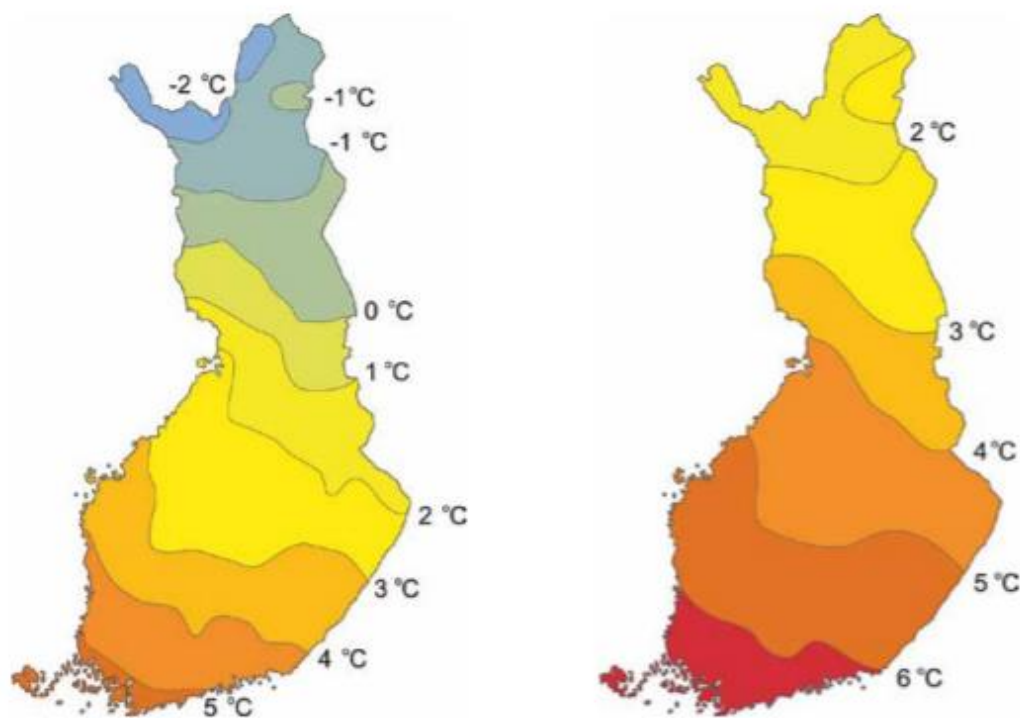
Maalämpö on maaperään, kalliioon ja vesistöön varastoitunutta auringon energiaa sekä radioaktiivisenhajoamisen tuottamaa geotermistä lämpöenergiaa. Auringon säteilystä peräisin oleva lämpöenergia ulottuu vain pintamaahan, Suomessa keskimäärin noin 10–15 m syvyyteen ja syvemmillä kallioperässä se on geotermistä lämpöenergiaa eli kalliolämpöä. Kuvio 1 havainnollistaa maaperän kohteita, jonne lämpöenergia varastoituu. (Heikkinen 2009.)



Kuvio 1. Maaperään varastoituneen energian lähteet ja keruutavat (Heikkinen 2009)

Suomessa maaperä on keskimäärin 2 astetta ilman keskilämpötilaa korkeampi ja yleensä aina plussan puolella. Lämpötilaan vaikuttaa vuosittainen ilmalämpötilan vaihtelu. Kuvio 2 nähdään maantieteellisen sijainnin vaikutus ilman ja maanpinnan vuotuisen keskilämpötilaan. Etelä-Suomessa noin 14–15 m

syvyydellä maan lämpötila vakiintuu 5–6 asteeseen ja syvemmillä kallioperässä se nousee n. 0,5–1 astetta/100 m geotermisen energian vuoksi. (Juvonen & Lapinlampi 2013, 7.)

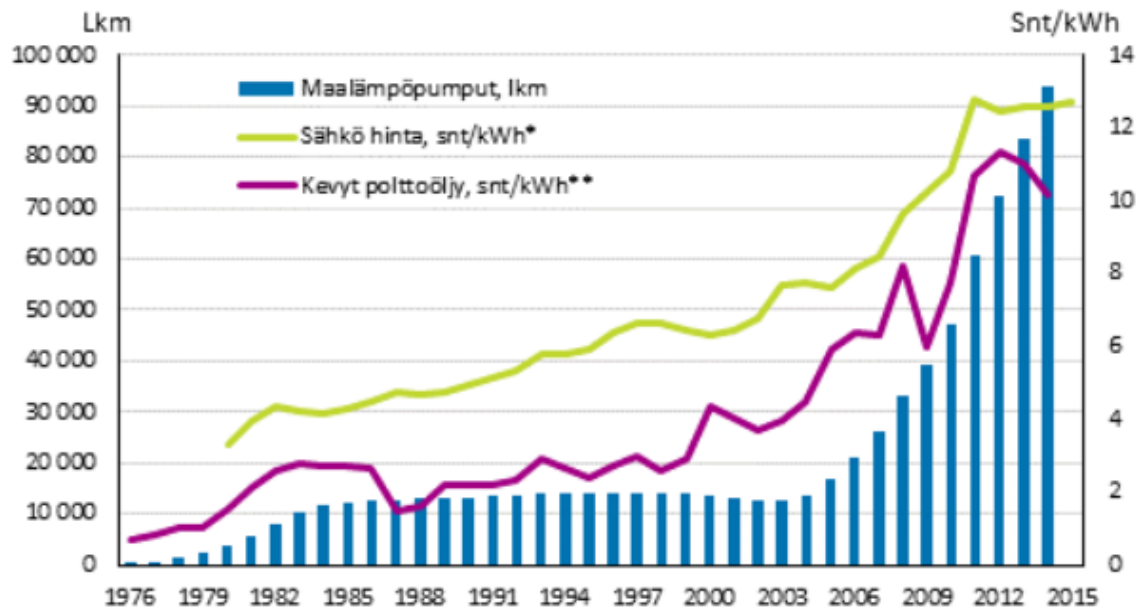


Kuvio 2. Ilman ja maanpinnan vuotuinen keskiarvolämpötila (Juvonen & Lapinlampi 2013, 7)

Maalämpö voidaan hyödyntää keruuputkiston ja lämpöpumpputekniikan avulla rakennusten lämmittämiseen ja viilentämiseen. Se on täysin uusiutuvaa lämpöenergiaa ja nykyisten maalämpöpumppujen tuottamasta lämpöenergiasta n. 3/4 on maasta ja loput 1/4 sähköllä tuotettua. (Ympäristöhallinto 2016.)

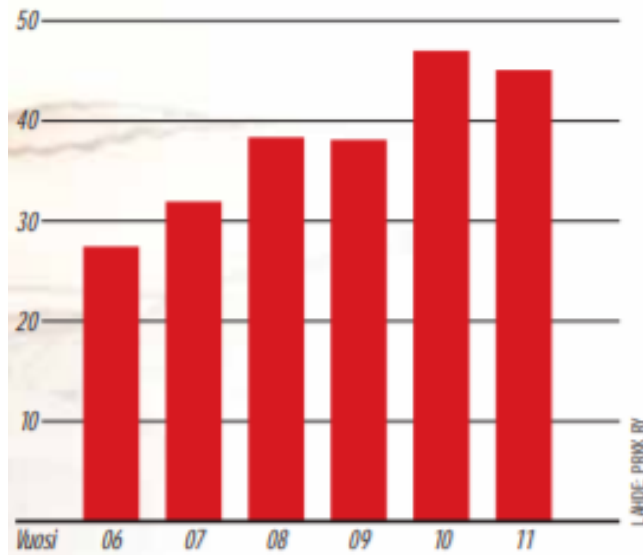
2.2 Maalämmön kasvu ja kehitys

Maalämpöä on käytetty pientaloissa 1970-luvulta alkaen, ja sen suosio on kasvanut entisestään 2000-luvulla. Maalämpö on edullista ja uusiutuvaa lämmitysenergiaa, minkä vuoksi isona tekijänä sen yleistymiseen on ollut sähkön ja öljyn hinnan nousu (Kuvio 3) sekä lämpöpumppu tekniikan kehittyminen ja lattialämmityksen yleistymisen. Kuvion 4 mukaan 2010-luvun alkupuolella noin 45 % uusista pientaloista valitsi lämmitysjärjestelmäkseen maalämmön. (Motiva 2012.)



Kuvio 3. Sähkön ja kevyen polttoöljyn hinnan sekä maalämpöpumppujen lukumäärän kehitys 1976–2015 (Tilastokeskus 2016)

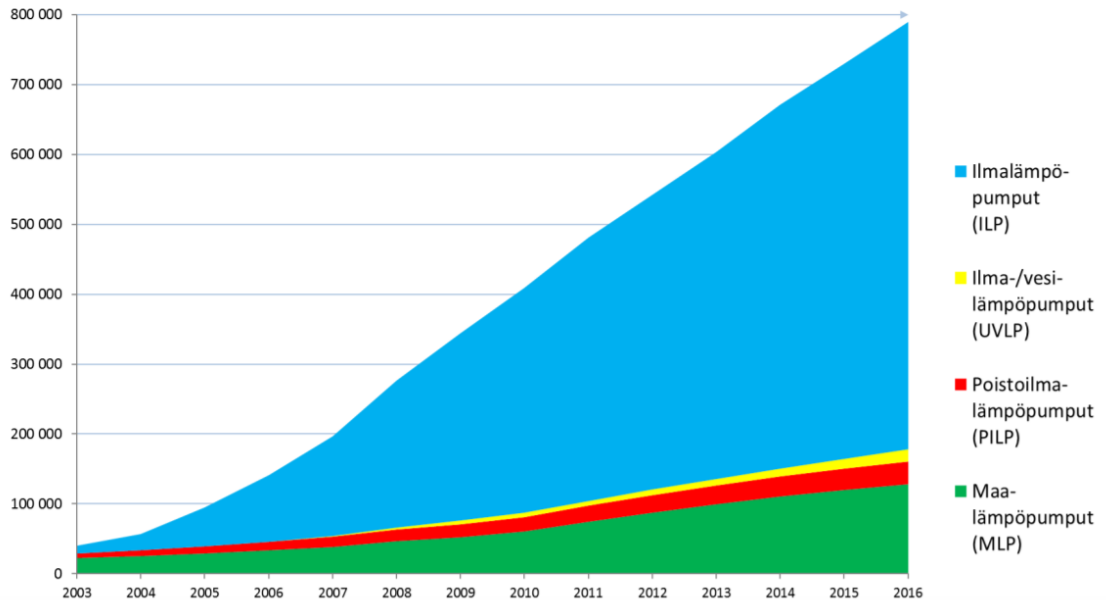
Maalämpöpumppujen osuus uusien pientalojen lämmitysjärjestelmissä, %



Kuvio 4. Maalämpöpumppujen osuus uusien pientalojen lämmitysjärjestelmissä (Motiva 2012)

Maalämpöjärjestelmien kasvuun 2010-luvulla on vaikuttanut erityisesti 1.7.2012 voimaan tullut rakennusten kokonaisenergiatarkastelu.

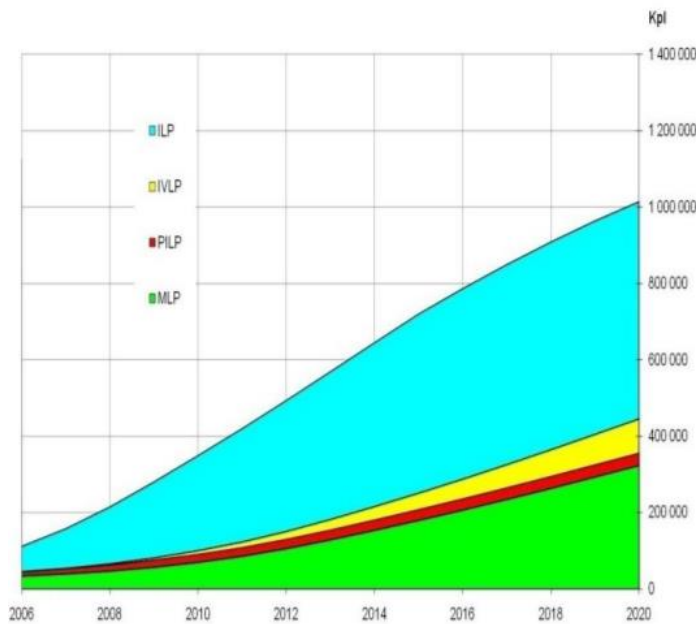
Kokonaisenergiakulutustarkastelussa lasketaan E-luku, johon vaikuttaa huomattavasti lämmitysmuoto ja näin ollen on myös maalämpöpumppujen kokonaismäärä Suomessa lisääntynyt lähes kaksinkertaiseksi vuoden 2010 jälkeen (Kuvio 5). (Energiatehokas koti 2017.)



Kuvio 5. Suomessa myydyt lämpöpumput 2003–2016 (Suomen lämpöpumppuyhdistys 2018b)

Maalämpöpumppujen lisääntymiseen vaikuttavat myös työ- ja elinkeinoministeriön myöntämät energia- ja investointituet sekä EURES-direktiivin velvoitteet Suomelle 2020 (TEM 30.6.2010), jotka tulevat ennusteiden mukaan lisäämään maalämpöpumppujen lukumäärää huomattavasti tulevaisuudessa (Kuvio 6). (Suomen lämpöpumppuyhdistys 2018a.)

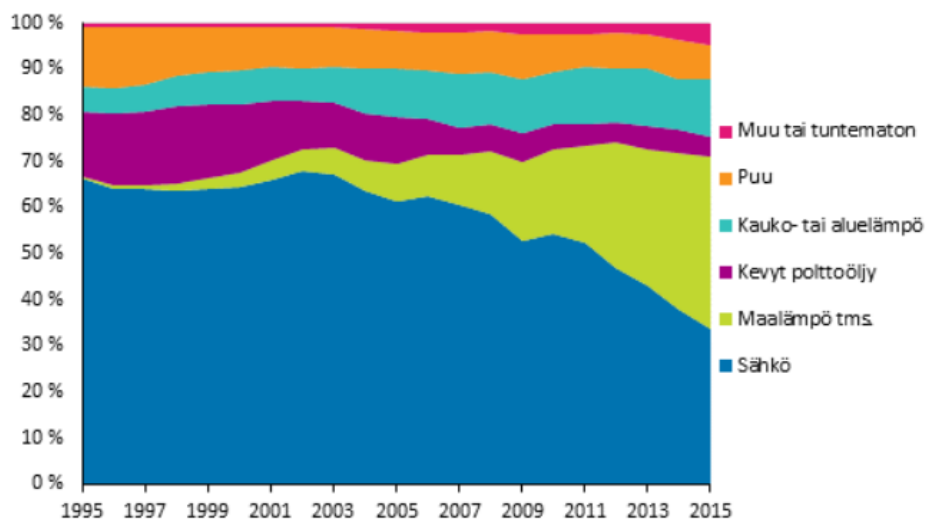
Lämpöpumppujen kokonaismäärän kehitys 2006- 2020



Kuvio 6. Lämpöpumppujen kokonaismäärän kehitys vuoteen 2020 (Suomen lämpöpumppuyhdistys 2018a)

2.3 Maalämpö verrattuna muihin lämmitysmuotoihin

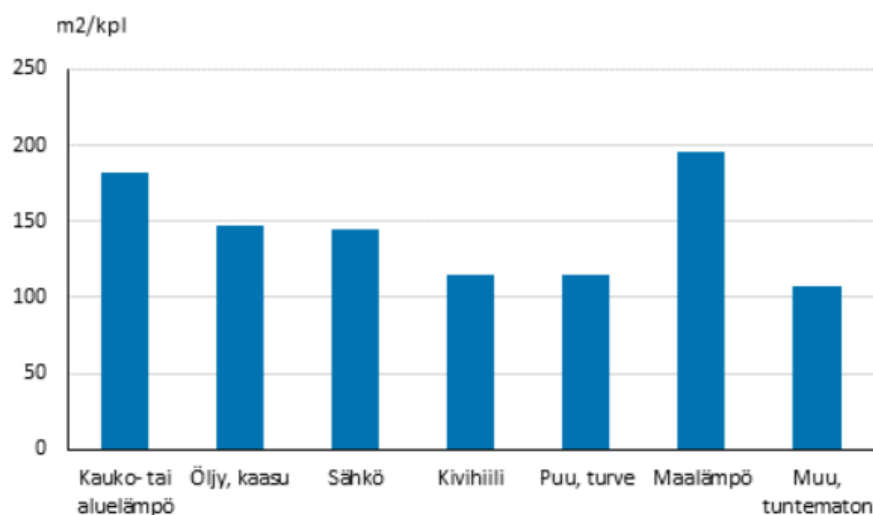
Maalämpö on kasvattanut suosiotaan, ja sen suhteellinen osuus pientalojen lämmitysmuotona on noussut suuresti, kun taas sähkölämmitteisten osuus on laskenut huomattavasti, muiden lämmitysmuotojen osuus on muuttunut noin +/-5 %. Muutokset näkyvät selvästi kuviossa 7. (Tilastokeskus 2016.)



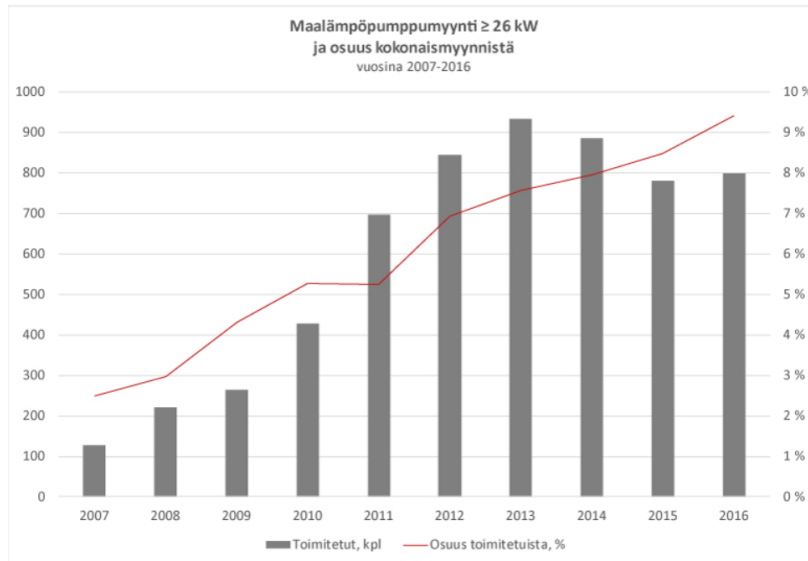
Kuvio 7. Lämmönlähteiden suhteelliset osuudet erillisissä pientaloissa vuosina 1995–2015 (Tilastokeskus 2016)

Maalämmön kannattavuus on parempi mitä isompi ja enemmän energiaa lämmitykseen kuluttava kiinteistö on. Kuvio 8 selviää, että maalämpöä käyttävät pientalot ovat keskiarvoltaan hieman alle 200 neliöisiä, kun taas muita lämmitysmuotoja käyttävät ovat sitä huomattavasti pienempiä. (Tilastokeskus 2016.)

Pientalojen lisäksi maalämpö on alkanut kasvattaa suosiotaan myös suurissa kiinteistöissä. Yli 26 kilowattisten maalämpöpumppujen tuonti Suomessa on yli kuusinkertaistunut yhdeksän vuoden aikana (2007–2016) ja kuvion 9 mukaan niiden osuus oli 8 % maalämpöpumppujen kokonaismyynnistä vuonna 2016. Lisääntyneestä kysynnästä huolimatta Suomessa on vielä paljon öljy- ja sähkölämmitteisiä suurkiinteistöjä, joiden muuttaminen maalämmölle toisi jopa 60–70 % säästöjä niiden lämmityskuluissa. (Gebwell 2017a.)

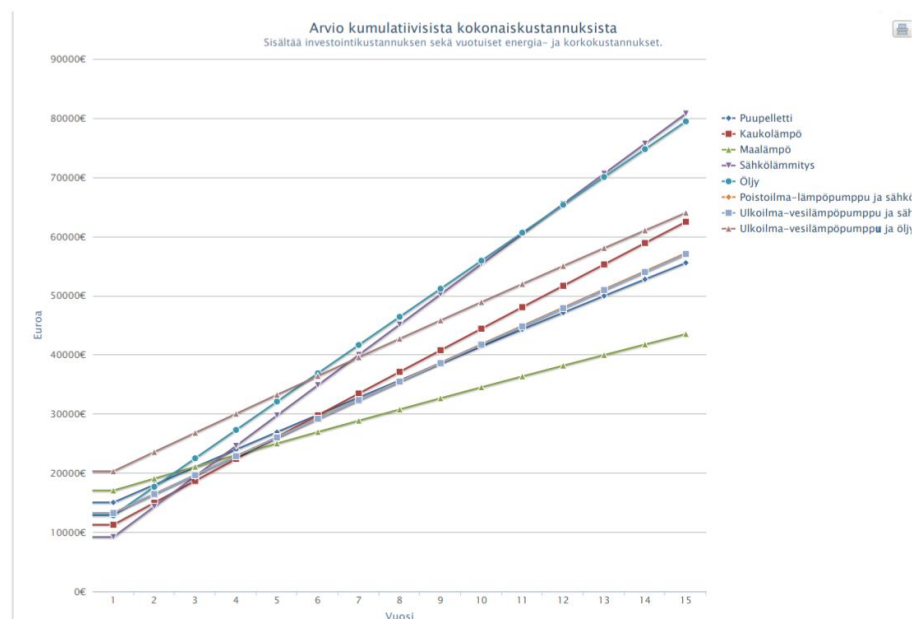


Kuvio 8. Erillisten pientalojen keskikoko lämmitysmuodon mukaan (Tilastokeskus 2016)



Kuvio 9. Yli 26kW maalämpöpumppujen osuus kokonaismyynnistä (Gebwell 2017a)

Maalämpöpumpun investointikustannukset ovat muihin lämmitysmuotoihin nähden huomattavat, mutta energiatehokkuuden vuoksi se on pitkällä aikavälillä kannattavampi kuin moni muu vaihtoehto ja sen takaisinmaksuaika on yleensä noin 5–10 vuotta riippuen kohteesta (Kuvio 10). Lisäksi nykyaikaisella laitteistolla se on huoltovapaa ja luotettava sekä erittäin ympäristöystävällinen lämmitysmuoto. (Ekolämpö 2018.)

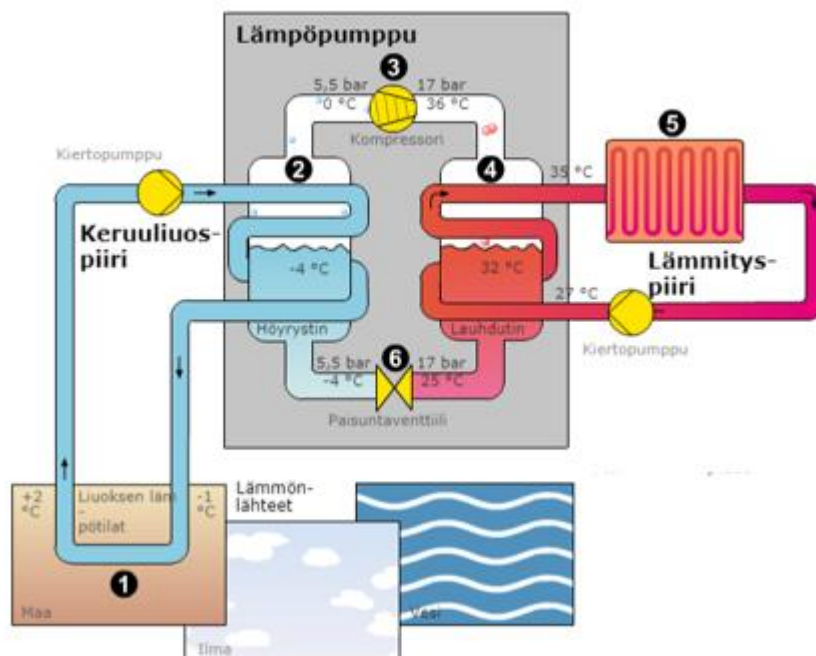


Kuvio 10. Arvio kumulatiivisista kokonaiskustannuksista eri lämmitysmuodoilla pientalossa (Motiva 2018)

3 MAALÄMPÖJÄRJESTELMÄ

3.1 Toiminta ja rakenne

Maalämpöjärjestelmä (Kuvio 11) koostuu maahan sijoitetusta keruuputkistosta eli keruupiiristä, maalämpöpumpusta sekä nestekiertoisesta lämmönjakojärjestelmästä. Keruuputkistossa virtaava bioetanoliliuos johtaa maaperästä, vesistöistä tai kalliosta saatua lämpöenergiaa maalämpöpumpulle, missä se välitetään höyrystimellä kylmäaineeseen (noin 3 asteen verran) joka höyrystyy. Höyrystynyt kylmäaine puristetaan kompressorilla korkeaan paineeseen, minkä seurauksena sen lämpötila nousee ja siitä tulee kuumaa kaasua. Lauhduttimessa (lämmönvaihdin) kuuman kaasun lämpöenergia johdetaan lämmitysjärjestelmässä kiertävään nesteeseen ja käyttöveden energiavaraajalle. Lauhduttimen jälkeen kylmäaine palautetaan normaaliin olomuotoonsa paisuntaventtiilillä. Kylmäaineen paine ja lämpötila laskee, minkä seurauksena siitä tulee taas nestemäistä, ja se menee takaisin höyrystimelle. (Dimplex 2018.)



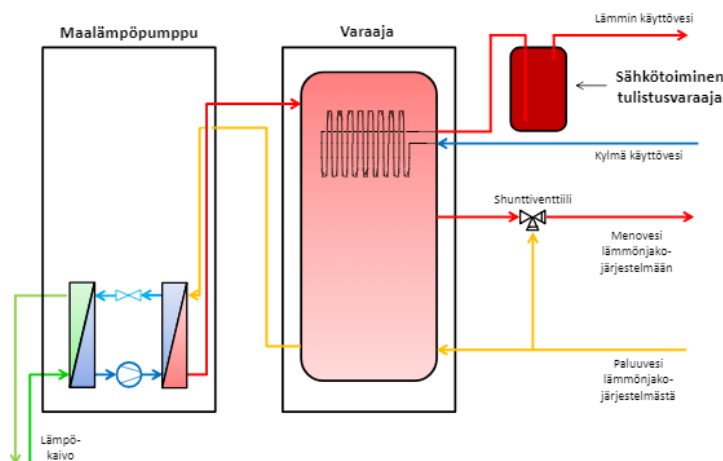
Kuvio 11. Maalämpöpumpun osat ja toimintaperiaate (Dimplex 2018)

3.2 Erilaiset vaihtoehdot

3.2.1 Suomessa käytetyt maalämpöpumput

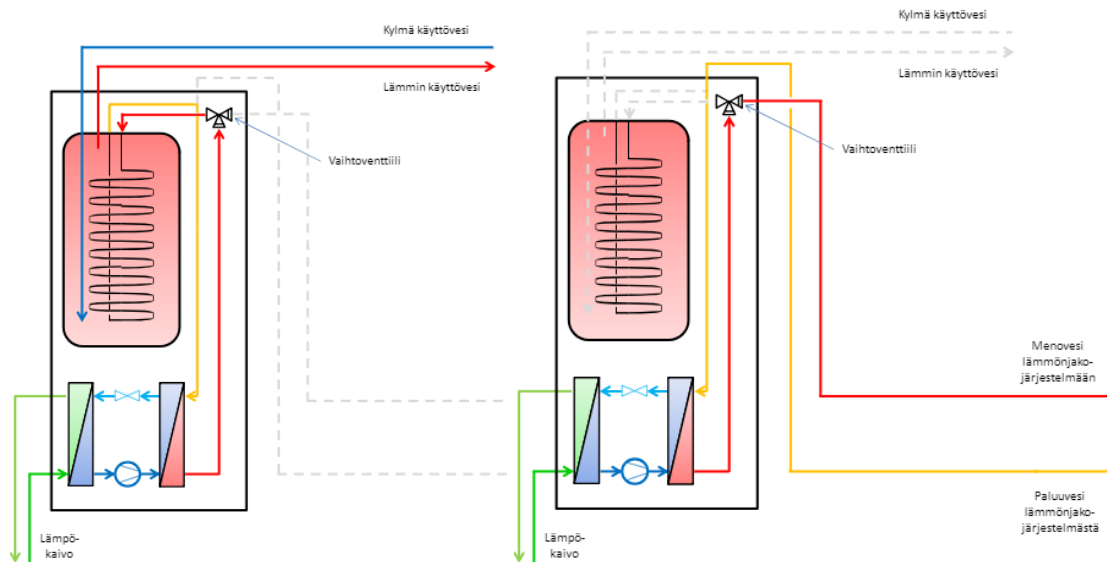
Maalämpöpumpputyypit Suomessa voidaan karkeasti jakaa kahteen osaan niiden toimintatavan perusteella. Yleisesti käytössä ovat kiinteänlauhdutuksen maalämpöpumput, joita suomalainen lämpöpumpputeollisuus kannattaa sekä vaihtuvan lauhdutuksen maalämpöpumput, jotka ovat suuressa suosiossa isojen ruotsalaisten lämpöpumppuvalmistajien keskuudessa. Lisäksi on olemassa kumpaankin edellä mainittuun maalämpöpumpputekniikkaan sovellettava tulistuksen poistolauhdutin, ja silloin puhutaan tulistusmaalämpöpumpusta. (St1 2018.)

Kiinteän lauhdutuksen maalämpöpumppu (Kuvio 12) tekee lämmitysveden kiinteästi samaan lämpötilaan ympäri vuoden käyttöveden lämpötilan mukaan. Maalämpöpumppu tekee lämpimän veden erilliseen suureen varaajaan, mistä lämpö ohjataan yhtä aikaa käyttövedelle sekä lämmönjakojärjestelmään. Lämmin käyttövesi lämpenee varaajassa kulkevan kierukan avulla. Lämmönjakojärjestelmä ei tarvitse ympäri vuoden yhtä suurta lämpötilaa kuin lämmin käyttövesi, joten järjestelmässä on 3-tie-venttiili (shunttiventtiili) ohjaamassa lämmitysveden lämpötilaa halutulle tasolle. Kiinteälauhdutteen maalämpöpumpun varaajan lämmittäminen korkeaan lämpötilaan käyttöveden vuoksi ympäri vuoden nostaa sähkönkulutuksen huomattavasti suuremmaksi kuin muissa pumpputyypeissä. (Lehtinen 2013, 5–6.)



Kuvio 12. Maalämpöpumpun rakenne kiinteällä lauhdutuksella (Lehtinen 2013, 5)

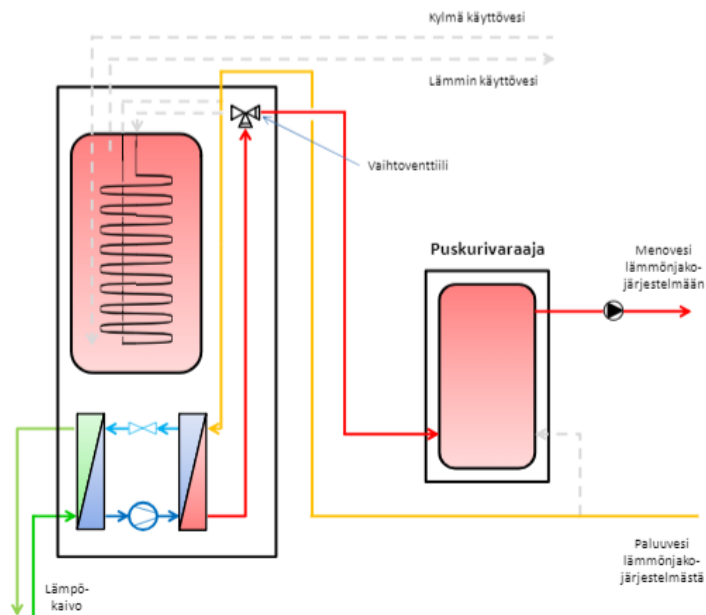
Vaihtuvan lauhdutuksen maalämpöpumpulla (Kuvio 13) tehdään lämpöä erikseen lämmitysjärjestelmälle ja käyttövedelle niiden tarpeen mukaan. Tarvittaessa pumppu ohjaa lämmintä käyttövettä koko tehon lämminvesivaraajan kierukkaan ja saadaan nopeasti lämmintä käyttövettä. Kun lämminvesivaraajan lämpötila saavuttaa asetusarvonsa pumppu ohjaa vaihtventtiilillä lämpimän veden lämmitysverkostoon ja muuttaa sen lämpötilaa suoraan oikeaan arvoon ulkolämpötilan mukaan. Lämmitysverkosto tarvitsee korkeita lämpötiloja vain pienen osan vuodesta, joten järjestelmässä käytetään pääsääntöisesti matalalämpöistä vettä, jonka tuottaminen on energiatehokkaampaa, ja tämä antaa pumpputyypille hyvän vuosilämpökertoimen. (Lehtinen 2013, 8–9.)



Kuvio 13. Maalämpöpumpun rakenne vaihtuvalla lauhdutuksella (Lehtinen 2013, 8–9)

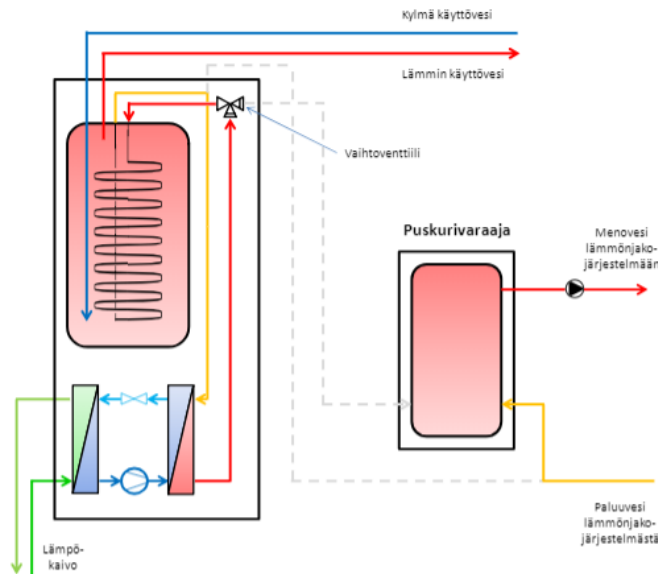
Puskurivaraajan lisääminen järjestelmään (Kuvio 14) voi olla tarpeellinen pattereilla varustellussa lämmönjakojärjestelmässä, etenkin öljylämmitykselle mitoitetuissa järjestelmissä. Tällaisessa järjestelmässä lämmitysvesi lämpenee nopeasti, mutta siihen varastoitunut lämpöenergia myös häviää nopeasti pattereiden luovuttamana. Maalämpöpumppu käy jatkuvasti lyhyitä käyntiaikoja, joka ei ole eduksi laitteiston kestävyydelle. Puskurivaraajalla lisätään lämmönjakojärjestelmän vesimassan määrää, joten myös sen energiamäärä kasvaa. Maalämpöpumppu joutuu käymään pidempiä käyntiaikoja

lämmittääkseen suuremman vesimäärän, ja sen seurauksena myös laitteiston kestävyys ja hyötysuhde paranee. (Lehtinen 2013, 9–10.)



Kuvio 14. Puskurivaraaja vaihtovaluhdutteisessa maalämpöpumpussa (Lehtinen 2013, 9)

Kun maalämpöpumppu lämmittää käyttövettä, patteriverkoston vesi jäähtyy. Jatkuvalle kierrolla patteriverkoston vesi kiertää puskurivaraajan läpi käyttöveden lämmityksen aikana, ja tällä vähennetään järjestelmän lämmönvaihtelua (Kuvio 15). Yksinkertaisimmissa asennustavoissa jatkuvaa kiertoa ei ole ja patteriverkoston kierto pysähtyy käyttöveden lämmityksen ajaksi aiheuttaen huomattavia lämpötilavaihteluja patteriverkostossa. (Lehtinen 2013, 9–10.)



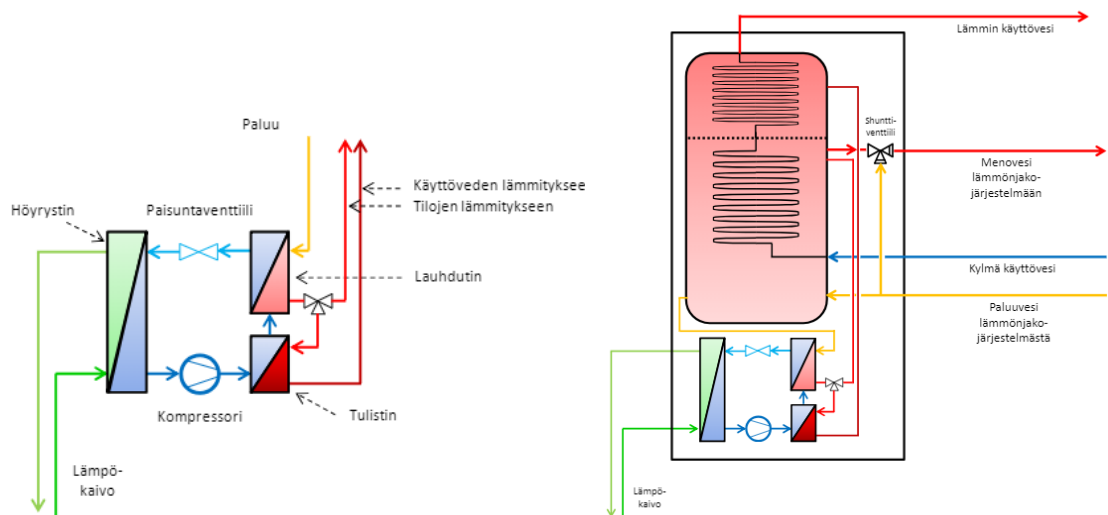
Kuvio 15. Puskurivaraajan jatkuva kierto, kun lämmitetään käyttövettä (Lehtinen 2013, 10)

Vaihtuvalauhdutteinen maalämpöpumppu voi olla myös kierroslukuohjattu. Kyseisessä pumpputyypissä kompressoria ja kiertovesipumppuja ohjataan lämmitystarpeen mukaan. Järjestelmän tehoa säädellään, jotta se käy kaikissa tapauksissa tilanteenvaatimalla teholla. Kierroslukuohjatun pumpun ominaisuuksia on vähäiset käynnistykset ja pitkät käyntiajat, joilla taataan energiatehokkuus ja pitkä käyttöikä. (Lehtinen 2013, 10–11.)

Tulistusmaalämpöpumpulla (Kuvio 16) lämmön tuotanto toteutetaan aiemmin läpikäytyjen pumpputyypin tapaan, mutta tässä tapauksessa maalämpöpumpussa on kaksi lauhdutinta. Lauhduttimista ensimmäinen (kompressorin jälkeen) on ns. tulistin, jossa otetaan kylmäainekaasusta kuumin osa heti kompressorin jälkeen esilämmitettyyn käyttöveden lämmitysveteen. Tulistimella saadaan vähäinen määrä erittäin kuumaa lämmitysvettä käyttöveden tulistukselle. Tulistimen jälkeisessä lauhduttimessa otetaan jäljelle jäänyt lämpöenergia talteen tilojen lämmitykseen. Tulistusmaalämpöpumpun lämminvesivaraaja on tehty reikälevyllä kaksiosaiseksi, jotta niiden lämpötilat pysyvät erisuuruisina ja vesi kuitenkin pääsee liikkumaan niiden välillä. Tulistimen erittäin kuuma lämmitysvesi vieään varaajan yläosaan, kun taas lauhduttimen matalalämpöisempi vesi virtaa sen alaosaan, josta kiertää lämmönjakojärjestelmän vesi. Käyttövesi kulkee varaajan läpi kahdessa erillisessä kierukassa, jotka on sijoitettu molempiin osioihin. Alaosan kierukassa

käyttövesi esilämmitetään, jonka jälkeen se kulkee yläosan kierukan läpi tulistuen ja jatkaen matkaa käyttövesiverkoston. (Lehtinen 2013, 6–7.)

Tulistusmaalämpöpumpussa lämmönjakojärjestelmää varten lämmitettävän veden sivutuotteena syntyy tarvittava lämpö käyttöveden lämmitykseen. Tulistin on teholtaan pieni (n. 15–20 % kompressorin tehosta), joten käyttöveden lämmitys on hidasta ja tarvitaan pitkää käyntiaikaa pumpulta. Kompressorin tehosta n. 80–85 % menee lauhduttimelle, jolla tuotetaan lämmönjakojärjestelmän lämpö. Tämä saadaan hyödynnettyä lämmityskaudella, mutta kesällä lämmitysenergia menee hukkaan ja sen seurauksena tulistusmaalämpöpumpun kokonaishyötysuhde kärsii. (Lehtinen 2013, 9–10.)



Kuvio 16. Tulistusmaalämpöpumpun rakenne (Lehtinen 2013, 6–7)

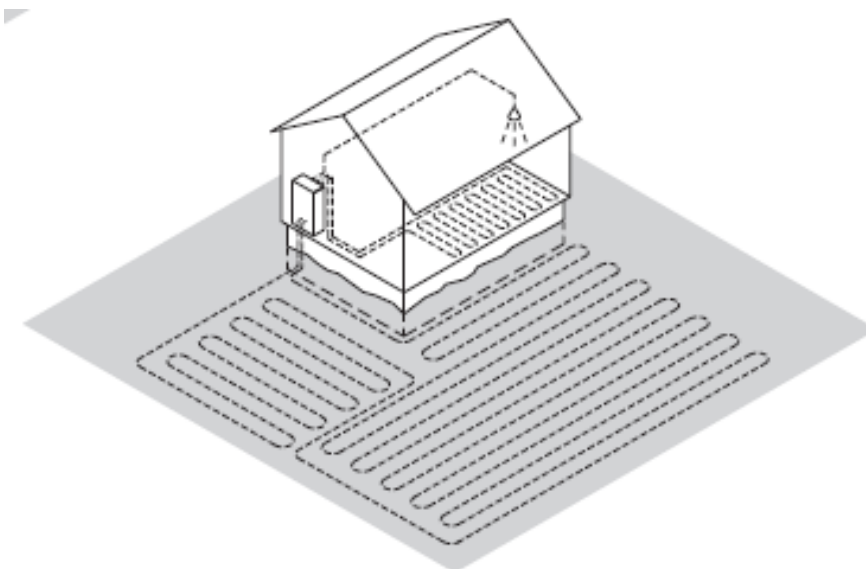
3.2.2 Lämmönkeruupiirit

Maalämpöpumppu vaatii toimiakseen lämmönkeruuputkiston, josta se ottaa lämpöenergiaa. Keruuputkistossa kiertää yleensä bioetanoliliuos (n. 30 % bioetanolia ja n. 70 % puhdasta vettä), joka kestää jäätymättä noin -15 asteen pakkasta. Lämmönkeruuputkiston voidaan sijoittaa joko maaperään, vesistöön tai kallioon porattavaan energiakaivoon (Kuvio 17), jonne varastoitunut lämpöenergia siirtyy johtumalla lämmönkeruunesteeseen. (St1 2018.)



Kuvio 17. Lämmönkeruuputkiston sijoituspaikat (Suomen lämpöpumppuyhdistys 2018c)

Maakeruuputkistolla tarkoitetaan lämmönkeruuputkistoa, joka on sijoitettu maaperään vaakatasoon noin 0,7–1,2 metrin syvyyteen (Kuvio 18). Pintamaahan asennettu keruuputkisto vaatii paljon tilaa ja se ei estä pihan normaalia käyttöä, kuten puutarhan hoitoa, mutta se rajoittaa alueella rakentamista ja kaivamista. Tärkeimpänä tekijänä keruuputkiston mitoituksessa on huomioida maaperän ominaisuudet ja laatu, kuten lämmönjohtavuus ja kosteus. Maakeruuputkisto soveltuu lähes kaikille maalajeille, mutta yleensä liian kuivia ovat vain soraharjut. Lämpöenergian saannin kannalta paras vaihtoehto on kostea ja vetinen savimaa, joka sitoo itseensä paljon auringon lämpöenergiaa. Taulukossa 1 on esitetty ohjeellisia arvoja maasta saatavalle lämpöenergialle. (Rakennustieto 2002, 4.)

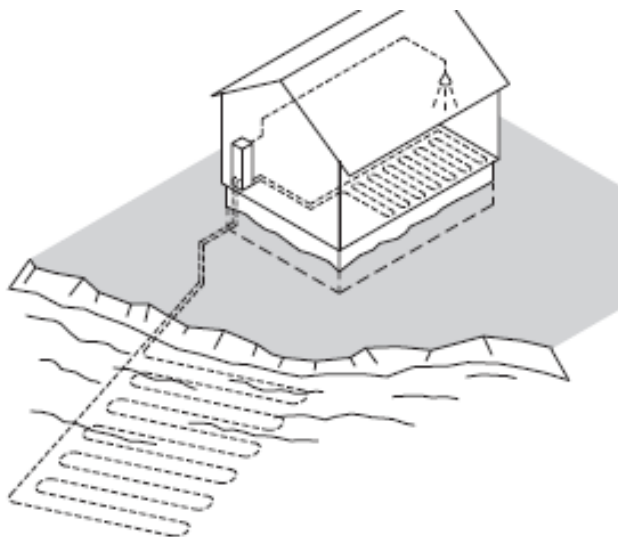


Kuvio 18. Maaperään sijoitettu putkisto (Rakennustieto 2002, 3)

Taulukko 1. Maasta vuotuisesti saatavan lämpöenergian ohjeellisia arvoja (Rakennustieto 2002, 4)

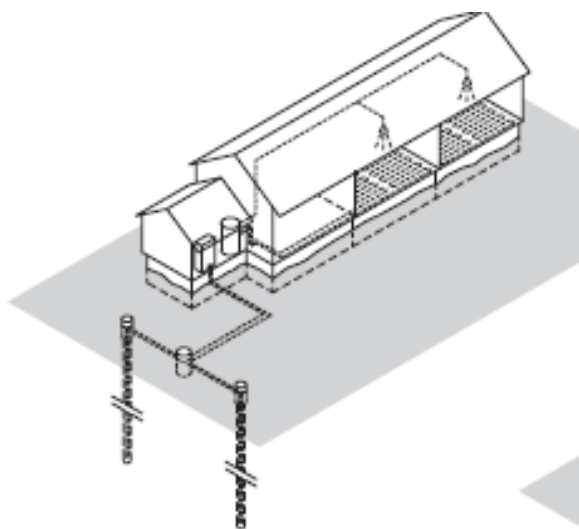
| Sijainti | Lämpöenergia kWh/putkimetri | |
|---------------|--------------------------------|---------|
| | Savi | Hiekka |
| Etelä-Suomi | 50...60 | 30...40 |
| Keski-Suomi | 40...45 | 15...20 |
| Pohjois-Suomi | 30...35 | 0...10 |

Lämmönkeruuputkisto voidaan sijoittaa myös vesistöön, kuten järveen, lampeen tai merenrantaan (Kuvio 19). Putket vietään routarajan alapuolella vesistöön, joten sen täytyy olla vähintään 2 metriä syvä jo rannan tuntumassa, ja jotta jäät eivät rikkoisi putkia, tulisi syvyyttä olla kuitenkin vähintään 3 metriä keruuputkiston asennuspaikassa. Vesistöön asennettava keruuputkisto sijoitetaan samalla tavalla vaakatasoon kuin maaperään asennettava keruupiiri ja se ankkuroidaan vesistön pohjaan putken ympärille kiinnitettävillä betonipainoilla. Rannassa pitää olla varoitus kyltti estämässä ankkurointia ja putkistosta on piirrettävä kartta, josta selviää sen sijainti. Vesi sitoo hyvin lämpöä ja vesistöön sijoitetulla keruupiirillä saadaankin hieman enemmän lämpöenergiaa putkimetrillä vuodessa kuin maaperään sijoitetulla, mutta hieman vähemmän kuin energiakaivosta kuitenkin jopa 70–80 kWh/putkimetri. (Rakennustieto 2002, 4.)



Kuvio 19. Vesistöön sijoitettava keruuputkisto (Rakennustieto 2002, 3)

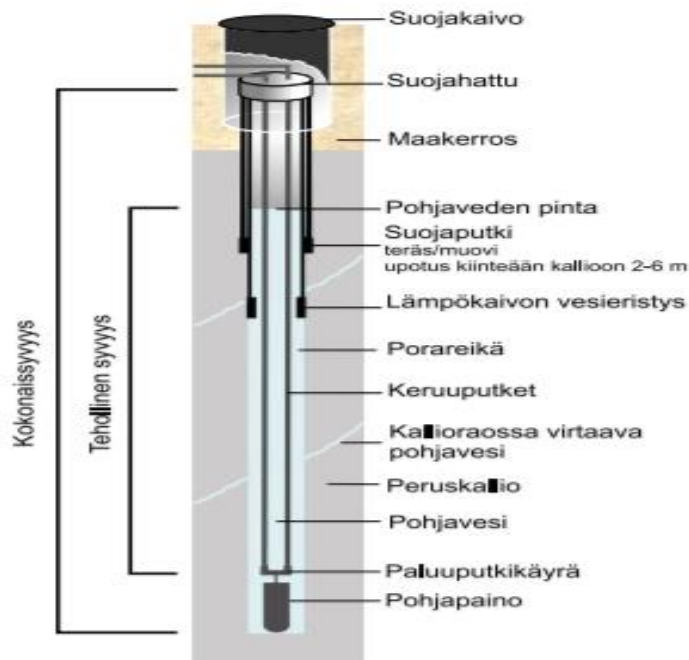
Kallioon porattava energiakaivo on yleisin ja tehokkain käytössä oleva tapa kerätä maalämpöä, mutta sen perustamiskustannukset ovat korkeat. Energiakaivo on pystysuoraan porattu (voidaan porata myös viistoon) porakaivo, josta johdetaan pohjaveteen ja kallioon varastoitunutta lämpöenergiaa keruuputkiston avulla maalämpöpumpulle. Energiakaivo ei vaadi isoa tonttia tai vieressä sijaitsevaa vesistöä, ja siitä saatava energiamäärä maakeruuputkistoon verrattuna on melkein kaksinkertainen putkimetriä kohti ja se mahdollistaa myös jäähtytyksen. Suomessa energiakaivojen syvyydet vaihtelevat yleensä n. 100–300 m välillä, mutta myös syvempiäkin porataan, kaivon teholliseksi syvyydeksi lasketaan sen vedellä täyttynyt osuus ja tätä kutsutaan aktiivisyvyudeksi. Suurissa kohteissa lämpöenergiaa tarvitaan enemmän, ja kaivoja voidaan porata yhden syvän sijaan useampia (Kuvio 20) ja ne rinnan kytketään kytkentäkaivoissa. (Rakennustieto 2002, 3.)



Kuvio 20. Lämmönkeruupiiri kahdella energiakaivolla (Rakennustieto 2002, 3)

Suomessa energiakaivojen määrä ja syvyys vaihtelee kohteen energian tarpeen mukaan, niiden syvyys on n. 120–300 m ja halkaisija välillä 105–165 mm. Energiakaivon yläosaan ns. pehmeänmaan osuudelle asennetaan suoja-putki, joka estää irtoaineksen pääsyn porareikään ja pohjaveteen. Suoja-putki viedään muutaman metrin verran kallioon (n. 2–6 m) johon se tiivistetään ja vesieristetään vähintään 6 m syvyyteen pintamaasta. Energiakaivon pohjalla on paino, joka pitää keruuputkiston suorassa, sillä putkisto ja sen sisällä oleva neste on vettä

kevyempää ja pyrkii nousemaan ylöspäin. Energiakaivon yläpäähän asennetaan suojarahattu ja kaivon ympärille tulee suoja/tarkastuskaivo. Energiakaivon rakenne esitettyinä kuviossa 21. (Juvonen & Lapinlampi 2013, 33.)



Kuvio 21. Energiakaivon rakenne (Juvonen & Lapinlampi 2013, 35)

3.2.3 Järjestelmän mitoitus

Maalämpöjärjestelmän mitoittaminen perustuu energiamäärään, joka kuluu rakennuksen/kiinteistön lämmittämiseen ja käyttöveden lämmittämiseen. On tärkeää mitoittaa maalämpöpumpusta oikean tehoinen, jotta mahdollisen lisäenergian tarve ei kasvaisi liian suureksi heikentäen maalämpöpumpun vuosihyötysuhdetta ja kannattavuutta, tai liian suureksi mitoitettun pumpun tapauksessa sen käyntijaksot jäävät liian lyhyiksi heikentäen myös sen hyötysuhdetta sekä käyttöikä. (St1 2018.)

Maalämpöpumpun mitoitukseen käytettäviä vaihtoehtoja ovat täys- ja osatehomitoitus. Mitoituksen valintaan vaikuttavat monet tekijät ja näin ollen maalämpöpumpun valintaa tehdessä onkin tärkeää miettiä tarkoin, kumpi vaihtoehtoista soveltuu parhaiten juuri kyseessä olevaan kohteeseen. Täystehomitoitettu maalämpöjärjestelmä on hieman osatehomitoitettua kalliimpi. Hintaa nostavia tekijöitä ovat mm. lämmönkeruupiirin/energiakaivon

pituus/syvyys sekä suurempien maalämpöpumppujen kalliimpi hinta. Vaikka täysteho mitoitettujen laitteiston investointikustannukset ovatkin suuremmat, täytyy myös huomioida osatehomoitettussa laitteistossa tarvittavan lisälämmitysenergian kustannusten vaikutus järjestelmän vuosikustannuksiin. (St1 2018.)

Täystehomitoituksessa maalämpöpumppu on teholtaan niin suuri, että se riittää yksinään tuottamaan tarvittavan energiamäärän ilman minkäänlaista lisälämmitysmuotoa, kuten sähkövastuksia sekä lämmityksen että lämpimän käyttöveden osalta kulutuksen huippujaksoillakin. Täystehomitoitettulla maalämpöjärjestelmällä saadaan tuotettua 100 % koko kiinteistön lämmitysenergiatarpeesta ympärivuoden. (Motiva 2012.)

Osatehomoitatuksessa maalämpöpumppu yleensä mitoitetaan täyttämään noin 60–80 % lämmitystehontarpeesta, ja se riittää kattamaan tapauskohtaisesti kuitenkin noin 80–95 % lämmitysenergian kokonaisvuositarpeesta. Yleensä osatehomoitettussa järjestelmässä loppuosa lämpöenergiasta saadaan käyttämällä sähkövastusta silloin, kun lämmitystehontarve on suurimmillaan ja maalämpöpumpun teho ei enää riitä. Osatehomoitatuksessa voidaan myös tapauskohtaisesti käyttää kiinteistön vanhaa lämmitysjärjestelmää lisälämmitysenergian tuottamiseen, kuten öljyä maalämmön rinnalla. (Motiva 2012.)

4 SUUNNITTELUKOHTTEEN TIEDOT

Hotelli Ylläsrinne Oy (Kuvio 22) on vuonna 1989 valmistunut suurkiinteistö, joka on hotellikäytössä pääsääntöisesti vain talviesongin aikaan. Kiinteistön pohjapinta-ala on n. 2750 m² ja tilavuus n. 13800 m³. Hotelli rakennus on rakennettu kolmeen tasoon, joista alin kerros (kellarikerros) on osittain maan alla, sillä kyseessä on rinnetalo. Lämmitysenergian tarpeeseen huomattavasti vaikuttavia tiloja hotellissa on 300 paikkainen ravintola, 50 kpl hotellihuoneita (kaikki huoneet varusteltu wc:llä ja suihkulla), joiden kapasiteetti on yhteensä 140 henkilöä sekä saunaosasto ja pesula (pesula ei enää päivittäisessä käytössä). (Saarijärvi 2016, 3&14.)



Kuvio 22. Hotelli Ylläsrinne Oy:n julkisivu (Saarijärvi 2016)

Kiinteistön nykyinen lämmitysmuoto on kevytpolttoöljy ja lämmönjakojärjestelmänä on pääsääntöisesti vesikiertoinen patterilämmitys, mutta osassa rakennuksen tiloja, kuten saunatiloissa ja pesulassa, on vesikiertoinen lattialämmitys. Lämmitysenergian tuottoa varten on kaksi Högfors 21 -öljykattilaa vuodelta 1988 ja niille on kaksi 10m³ teräksistä öljysäiliötä, jotka näkyvät kuviossa 23. Öljykattiloiden Oilon-merkkiset polttimet on uusittu 2000-luvulla. Rakennuksen alkuaikoina kummatkin öljykattilat ovat olleet yhtä aikaa käytössä, mutta nykyään vain toinen kattiloista on jatkuvassa käytössä ja toinen varalla, sillä vuosiansaatossa lämmitysenergian kulutusta on saatu optimoitua ja järjestelmä on ollut selvästi ylimitoitettu (tontilla rakennusoikeutta vielä n. 1400 m²). Lämmitysjärjestelmää ohjataan nykyaikaisella Ouman-merkkisellä säätöyksiköllä (Kuvio 24). (Saarijärvi 2016, 18–19.)



Kuvio 23. Högfors 21 -öljykattila sekä öljysäiliöt (Saarijärvi 2016, 18)



Kuvio 24. Ouman-lämmönsäätöyksikkö (Saarijärvi 2016, 19)

5 JÄRJESTELMÄN MITOITUS KOHTEESEEN

5.1 Järjestelmän mitoitus

Saneerauskohteen maalämpöjärjestelmää mitoittaessa tulee huomioida pitkältä aikaväliltä vuotuiset lämmitysenergian kulutukset, jotta saadaan suhteellisen tarkka keskiarvotieto, ja nähdään myös kulutuksen vaihteluväli, mihin pitää varautua. Tilojen ja käyttöveden lämmittämiseen kuluva energiamäärää laskettaessa vuotuisesta kevyen polttoöljyn kulutuksesta, pitää öljykattilan hyötysuhde ottaa huomioon realistisesti. Mitoituksessa on huomioitava myös kiinteistöön tulevat lämpöarvoa parantavat saneeraukset sekä mahdolliset lämpimien tilojen laajennukset/lisäykset. (St1 2018.)

Kustannusten optimoimiseksi työssä tarkastellaan kahta erilaista lämmitysjärjestelmävaihtoehtoa. Ensimmäisessä vaihtoehdossa järjestelmä osateho mitoitetaan maalämpöjärjestelmälle, jonka rinnalla on sähkövastuksella varusteltu puskurivaraaja ja toisessa vaihtoehdossa maalämpöjärjestelmän rinnalle jätetään kiinteistön vanha öljykattila (vain toinen) lisäenergiantuottoon.

5.2 Lämmitysenergian kulutus kohteessa.

Hotellin öljynkulutuksen seuranta on tehty päivittäin ruutuvihkoon (useita vihkoja) talonmiehen toimesta jo vuodesta 1993 alkaen. Seuranta perustuu öljysäiliöiden mittarilukemaan ja lukematietojen perusteella laskettuun kulutukseen. Kyseiseen työhön liittyen mittarilukemia on tarkasteltu kuuden vuoden ajalta aikajaksolla 1.1.2011–31.12.2016 vihkosta ”Öljynkulutukset 22.7.2010 alkaen”, jotta saadaan riittävä tarkkuus vuotuiselle öljynkulutukselle.

Tarkasteluaikajaksolla kevyen polttoöljyn kokonaiskulutus oli n. 205 500 litraa (205 497 l), josta saadaan keskiarvo vuosikulutukseksi n. 34 250 litraa (34 249,5 l/a). Kevyen polttoöljyn energiasisältö on n. 10,02 kWh/litra, joten vuosittain kulutetaan n. 343 MWh (343 179,99 kWh/a) energiaa, josta lämmitysenergian osuus on n. 275 MWh (274 543,992 kWh/a) kun öljykattilan hyötysuhteeksi oletetaan 80 %. NIBE Energysystems Oy:lta tilatuissa energialaskelmissa (Liitteet 1 ja 2) on käytetty lämmitysenergian kokonaistarpeelle arvoa 274 400

kWh/a ($343 \text{ MWh} \times 0,8 = 274,4 \text{ MWh}$), josta arvioitu lämpimän käyttöveden osuus on 42 000 kWh/a ja kiinteistön lämmitystehontarve 94,8 kW.

5.3 Järjestelmän valinnat

5.3.1 Maalämpöpumppu

Tässä työssä esitetyissä maalämpöjärjestelmäratkaisuissa käytetään NIBE F1345-30- ja NIBE F1345-60 -maalämpöpumppuja, joiden tekniset tiedot sekä järjestelmänkuvaus on liitteessä 3. Kyseinen lämpöpumppumalli on tarkoitettu suuriin asuin- ja teollisuuskiinteistöihin, jotka vaativat paljon lämpöä. Lämpöpumpun valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat sen ominaisuudet ja soveltuvuus kohteeseen sekä laitevalmistajan suositukset ja energialaskelmat (Liitteet 1 ja 2) kyseisellä lämpöpumppumallilla.

Kohde voidaan toteuttaa kahdella maalämpöpumpulla, joiden rinnalle on kytketty sähkövastuksilla varusteltu puskurivaraaja lämmönjakojärjestelmään, jolloin vanha öljylämmitysjärjestelmä puretaan kokonaan pois. Energialaskelman mukaan lämmitystehontarve on 94,8 kW, joten valitaan NIBE F1345 -mallisarjan 30 kW ja 60 kW maalämpöpumput, joiden yhteisteho on 90 kW. Valmistajan ilmoittama lämpöpumppujen teho MUT:ssa on kuitenkin vain 76 kW, joten lämpöpumppujen tehopeitto on n. 80 % lämmitystehontarpeesta ja lisätehoa tarvitaan 18,8 kW, joka tuotetaan puskurivaraajan sähkövastuksilla (saatavilla 6 kW, 9 kW ja 12 kW, joten valitaan $1 \times 9 \text{ kW} + 1 \times 12 \text{ kW} = 21 \text{ kW}$). Lämpöpumpuilla saadaan tuotettua n. 99,5 % (273 223 kWh/a) lämmitysenergian tarpeesta, jolloin sähkövastuksilla tuotetun lisäenergian määräksi jää 1177 kWh/a ja kokonaistehopeitto järjestelmällä on 100 %. Kokonaisuudessaan järjestelmä (MLP + lämmityksen kiertopumppu + lisäenergia) kuluttaa 86 676 kWh/a sähköenergiaa tuottaakseen koko lämmitysenergian tarpeen. Lämmönkeruupiiristä saatava energiamäärä kyseisessä järjestelmässä on 189 638 kWh/a (MLP:n tuottama energia - MLP:n kuluttama energia, MLP:n vuosilämpökerroin on 3,3). Tässä järjestelmä vaihtoehdossa on käytetty energialaskelman (Liite 1) tietoja ja liitteessä 4 on esitetty kyseisen järjestelmän kytkentäkaavio.

Toinen vaihtoehto on toteuttaa lämmitysjärjestelmä yhdellä NIBE f1345-60 (60 kW) maalämpöpumpulla ja kiinteistön vanhalla käytössä olevalla öljykattilalla (yhdellä öljykattilalla), jolloin purkutyöt vähenevät, kun vain toinen öljykattiloista ja mahdollisesti toinen öljysäiliöistä joudutaan poistamaan. Tässä järjestelmässä päälämmitysmuotona toimii maalämpöpumppu, joka riittää yksinään vielä ulkolämpötilan ollessa noin -13 astetta, jonka jälkeen lisäenergian tuottoon tarkoitettu öljylämmitys kytkeytyy automaattisesti päälle tukemaan maalämpöä. Laittevalmistajan mukaan lämpöpumpun teho MUT:ssa on 49,2 kW, joka peittää n. 52 % lämmitystehon tarpeesta, joten lisätehoa vuoden kylmimpinä päivinä öljykattilalta vaaditaan 45,7 kW. Lämpöpumpulla pystytään tuottamaan n. 93 % (256 450 kWh/a) tarvittavasta lämmitysenergian määrästä ja loput 17 950 kWh tuotetaan tukilämmityksellä eli tässä tapauksessa öljyllä. Kokonaisuudessaan järjestelmän kuluttaa (MLP + lämmityksen kiertopumppu + öljykattila) 81 457 kWh/a sähköenergiaa ja n. 2240 l/a kevyttä polttoöljyä (17 950 kWh/a: $10,02 \text{ kWh/l} \times 1,25 (\eta=80 \%) = 2239,27 \dots \text{l/a}$) tuottaakseen koko lämmitysenergian tarpeen. Lämmönkeruupiiristä saatava energiamäärä kyseisessä järjestelmässä on 176 880 kWh/a (MLP:n tuottama energia - MLP:n kuluttama energia, MLP:n vuosilämpökerroin on 3,2). Tässä järjestelmä vaihtoehdossa on käytetty energialaskelman (Liite 2) tietoja ja liitteessä 5 on esitetty kyseisen järjestelmän kytkentäkaavio.

5.3.2 Lämmönkeruupiiri

Lämmönkeruupiirin valintaan vaikuttaa vahvasti kohteen sijainti, maaperä sekä maalämpöjärjestelmän vaatima (maaperästä, vesistöistä tai kallioperästä saatava) lämpöenergian määrä. Kohteen kokoluokan, sijainnin ja käytössä olevan tontin vuoksi energiakaivoilla toteutettu lämmönkeruupiiri (usean energiakaivon muodostama energiakenttä) osoittautuu parhaaksi vaihtoehdoksi.

Lämmönkeruupiirin tehollinen pituus/syvyys voidaan laskea taulukon 2 raja-arvojen avulla, kun maasta vaadittava lämpöenergian määrä tiedetään. Kohde sijaitsee alueella 4 (taulukko 2), joten lämpökaivosta saatava energiamäärä on 120 kWh/m, valittujen lämmitysjärjestelmä ratkaisujen maaperästä vaatimat energiamäärät ovat 189638 kWh/a (2 x MLP) ja 176880 kWh/a (MLP + Öljy). Näin ollen teholliseksi porausvyvydeksi saadaan n. 1580 m ja n. 1480 m

järjestelmävalinnasta riippuen. Energiakaivojen poraussyvyyteen vaikuttaa kuitenkin tapauskohtaisesti maaperän ominaisuudet, ja tarkan poraussyvyyden määrittäminen vaatiikin maaperätutkimuksia ja mittauksia. Taulukon 2 raja-arvoilla lasketun keruupiiri mitoituksen sijaan on suositeltavaa käyttää laitevalmistajan antamia/kohteeseen mitoittamia tietoja, kuten kyseisen kohteen energialaskelmista käy ilmi, laitevalmistajan järjestelmille asettamat aktiiviset poraussyvyydet ovat 1939 m ja 1394 m.

Taulukko 2. Lämmönkeruuputkiston mitoituksen raja-arvot eri alueilla (NIBE 2018, 18)

| | I alue | II alue | III alue | IV alue |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Keskilämpötila, °C sulkeissa D5 2012 tiedot | +5 (5,4) | +4 (4,7) | +2 (3,3) | 0 (-0,3) |
| Mitoittava ulkolämpötila, °C | -26 | -29 | -32 | -38 |
| Lämpökaivo | | | | |
| kWh/m | 150 | 140 | 130 | 120 |
| W/m | 42 - 43 | 38 - 41 | 34 - 38 | 30 - 35 |
| Liuoksen keskilämpötila, °C | -2,5...+1 | -2,5...+1 | -2,5...+1 | -2,5...+1 |
| Pintamaa | | | | |
| kWh/m | 60 | 50 | 45 | 35 |
| W/m | 12 - 15 | 11 - 14 | 10 - 13 | 10 - 12 |
| Liuoksen keskilämpötila, °C | -2,5...+1 | -2,5...+1 | -2,5...+1 | -2,5...+1 |
| Vesistö | | | | |
| kWh/m | 90 | 80 | 70 | 50 |
| W/m | 20 | 20 - 25 | 15 - 20 | 15 - 20 |
| Liuoksen keskilämpötila, °C | +1...+2 | +1...+2 | +1...+2 | +1...+2 |



Kohteen alueella yhden energiakaivon teholliseksi syvyydeksi saadaan arviolta n. 170–200 m ja koko syvyydeksi n. 180–200 m. (Seppälä 2018.) Järjestelmä, joka koostuu kahdesta maalämpöpumpusta ja puskurivaraajasta, vaatii laitevalmistajan mukaan energiakaivojen aktiivisyvyydeksi yhteensä 1939 m, joten energiakaivojen määrä energiakentässä tulisi olla n. 10–12 kpl. Kohteen toisessa suunnitellussa lämmitysvaihtoehdossa, jossa öljylämmitys jää tukemaan maalämpöpumppua, laitevalmistajan mitoittama energiakaivojen aktiivisyvyys tulisi olla 1394 m, jolloin energiakaivoja tarvittaisiin n. 7–9kpl.

Energiakentän kokoluokan vuoksi toimivan maalämpöjärjestelmän edellytyksiä ovat sen huolellinen suunnittelu, ja se kannattaakin teettää energiakaivokenttien

suunnitteluun, mittaamiseen ja simulointiin perehtyneellä ammattilaisella. Energiakentän suunnittelun kustannukset ovat hyvin pienet maalämpöjärjestelmän investointikustannuksissa (n. 1–2 %), ja hyvällä suunnittelulla voidaan varmistaa maalämpöjärjestelmän varma toimivuus koko sen elinkaaren aikana. Parhaassa tapauksessa lisäinvestointi huolelliseen suunnitteluun ison energiakentän yhteydessä tuo huomattavia säästöjä energiakaivojen oikein mitoituksen vuoksi. (Gebwell 2018.)

6 KUSTANNUSLASKELMAT

6.1 Järjestelmän käyttökustannukset

Tällä hetkellä käytössä olevalla kiinteistön alkuperäisellä öljylämmitysjärjestelmällä kuluu öljyä keskimäärin n. 34 250 litraa vuodessa, tämä on lämmitysenergiaksi muutettuna n. 343 MWh. Taulukon 3 kevytpolttoöljyhinnalla laskettuna käyttöveden ja kiinteistön lämmittäminen maksaa n. 31 500 € (31 503,92 €) vuodessa nykyisellä lämmitysjärjestelmällä. Öljylämmitysjärjestelmän käyttökustannuksissa ei ole huomioitu järjestelmän vaatimia vuosittaisia huolto- ja puhdistuskuluja, jotka nostavat hieman käyttökustannuksia.

Taulukko 3. Lämmitysenergian kuluttajahintoja joulukuussa 2017 (Tilastokeskus 2018)

| Energia ²⁾ | ¹⁾ Hinta €/MWh | Vuosimuutos -% |
|--|----------------------------------|-----------------------|
| Kevyt polttoöljy (alv 24 %) | 91,8 | 4,3 |
| Kotitaloussähkö, L2 (alv 24 %) | 123,5 | 3,4 |
| Puupelletti (alv 24 %) | 57 | -0,5 |
| Kaukolämpö, rivitalo / pienkerrostalo (alv 24 %) | 78,64 | 0,5 |

Opinnäytetyössä suunnitellun maalämpöjärjestelmän käyttökustannukset koostuvat maalämpöpumppujen, lisälämmityksen ja lämmitysjärjestelmän kiertopumpun sähköenergian kulutuksesta. Maalämpöjärjestelmän vuosittainen ostoenergian kulutus on energialaskelman mukaan 86 676 kWh/a ja taulukon 3 kotitaloussähköhinnalla vuotuiset lämmitysenergian kustannukset ovat n. 10 700 € (10 704,49 €). Maalämpöjärjestelmä on luotettava ja huoltovapaa lämmitysmuoto, joten siitä ei aiheudu ylimääräisiä huoltokustannuksia.

Maalämpöjärjestelmä, jonka rinnalle on jätetty nykyinen öljylämmitys, kuluttaa ostoenergiaa 99 407 kWh/a, tästä kulutuksesta öljylämmityksen osuus on 17 950 kWh/a ja maalämpöpumpun sekä lämmitysjärjestelmän kiertopumpun sähköenergian kulutus 81 457 kWh/a. Öljykattilan hyötysuhteeksi on oletettu $\eta=80\%$, joten vaadittavan lämmitysenergian tuottaminen tarvitsee 22 437,5

kWh/a kevyellä polttoöljyllä tuotettua lämmitysenergiaa. Taulukon 3 hinnoilla ostettavan sähköenergian osuus on n. 10 060 €/a (10 059,93 €/a) ja kevyenpolttoöljyn osuus n. 2060 €/a (2059,76 €/a). Lämmitysjärjestelmän vuotuiset kokonaiskustannukset ovat n. 12 120 €/a (12 119,70 €/a), hintaan ei ole huomioitu öljylämmitysjärjestelmän vaatimia vuosittaisia huolto- ja puhdistuskuluja, jotka nostavat hieman käyttökustannuksia.

6.2 Säästöt

Maalämpöjärjestelmän energiatehokkuus ja ekologisuus ovat huomattavasti käytössä olevaa öljylämmitysjärjestelmää paremmat. Kohteeseen suunnitelluilla maalämpöjärjestelmillä syntyisi huomattavia säästöjä taloudellisesti ja ekologisuuden kannalta, sillä ostoenergiankulutus ja haitalliset CO₂-päästöt pienenisivät huomattavasti. Lämmitysjärjestelmän muuttaminen kokonaan maalämpöön vaikuttaisi taloudelliseen säästöön n. 20 800 €/a (20 799,44 €/a) ja CO₂-päästöt häviäisi lämmitysjärjestelmän osalta kokonaan (84 576 kg/a) sekä hieman säästöä lisää myös järjestelmän huoltovapaus. Kohteeseen suunnitellulla maalämpöjärjestelmän jossa on jätetty öljylämmitys lisäenergian tuottoa varten säästöä syntyisi taloudellisesti n. 19 400 €/a (19 384,22 €/a) ja CO₂-päästöt vähenisivät 82 024 kg/a.

6.3 Investointikustannukset ja takaisinmaksuaika

Uuden lämmitysjärjestelmän arvioitu investointikustannus sisältää vanhan laitteiston purkamisen, lämmönkeruupiirin rakentamisen, uuden laitteiston ja sen asennustyöt sekä järjestelmän käyttöönoton. Kustannusarvio perustuu laitteiden, niiden vaatimien asennuksien/töiden ja energiakaivojen keskiarvohintoihin 5/2018 sekä yrityksiltä saatuihin arvioihin. Arviossa ei ole otettu huomioon mahdollisia lisäkuluja ylimääräisistä maanrakennustöistä, maaperätutkimuksista, viranomaismaksuista, vanhan patteriverkoston saneerauksesta ja lämminvesivaraajien vaihdosta.

Investointikustannusten suuruutta yrityksen osalta saadaan pienennettyä, kun yritys voi hakea hankkeelle investointitukea Business Finlandilta. Kyseisille

energiatehokkuutta ja vähähiilisyttä parantaville investointihankkeille myönnettävän investointituen suuruus on 15 %. (Business Finland 2018.)

Kahden maalämpöpumpun järjestelmälle arvioidut kokonaiskustannukset ovat n. 120 000 € (sis. alv24 %), arvio on tehty koko järjestelmälle asennettuna ja kymmenelle 200 m energiakaivolle. Kun 15 %:n investointituki huomioidaan kustannusarviossa, yritykselle koituvat investointikustannukset ovat n. 102 000 €. Maalämpöjärjestelmän vuotuinen säästö nykyiseen lämmitysjärjestelmään verrattuna on n. 20 800 € vuodessa, joten uuden lämmitysjärjestelmän takaisinmaksuajaksi jäisi noin 5 vuotta (4,9 vuotta). Takaisinmaksuajassa ei ole huomioitu mahdollisia investoinnille syntyviä korkoja sekä energian hintojen vaihtelua.

Maalämpöpumppu + öljykattilaratkaisussa kustannukset ovat hieman alhaisemmat, sillä järjestelmä vaatii vain yhden maalämpöpumpun ja vähäisemmän määrän energiakaivoja. Kyseisen järjestelmän arvioidut kokonaiskustannukset ovat n. 20 000 € matalammat kuin pelkkään maalämpöön siirryttäessä eli n. 100 000 € (sis. alv24 %). Kun 15 %:n investointituki huomioidaan kustannusarviossa, yritykselle koituvat investointikustannukset ovat n. 85 000 €. Maalämpöjärjestelmän vuotuinen säästö nykyiseen lämmitysjärjestelmään verrattuna on n. 19 400 € vuodessa, joten uuden lämmitysjärjestelmän takaisinmaksuajaksi jäisi noin 4,5 vuotta (4,38 vuotta). Takaisinmaksuajassa ei ole huomioitu mahdollisia investoinnille syntyviä korkoja sekä energian hintojen vaihtelua.

7 POHDINTA

Opinnäytetyössä perehdyttiin yleisesti maalämpöön ja sen hyödyntämiseen ympäristöystävällisenä lämmitysenergian lähteenä. Työssä kerrotaan yleistietoa maalämmöstä, sen hyödyntämiseen vaadittavasta järjestelmästä sekä käydään läpi erilaisia toteutusmahdollisuuksista ja kuinka ne tulisi suunnitella ja mitoittaa. Pääpainona työllä oli kuitenkin auttaa suunnittelemaan Hotelli Ylläsrinne Oy:n kiinteistöön toimiva maalämpöjärjestelmä sekä arvioida sen kustannuksia ja kannattavuutta ja olla osana mahdollista investointipäätöstä.

Työssä esitetyt maalämpöjärjestelmäratkaisut ovat tyypillisiä toteutusmalleja kohteen kaltaisissa suurkiinteistöissä, ja järjestelmän valintaa tehdessä kannattaakin vertailla eri vaihtoehtoja, jotta lopullinen investointipäätös on pitkällä aikavälillä mahdollisimman kannattava ja järjestelmä toimiva. Työn kohteen tapauksessa tulee miettiä tarkoin olemassa olevan öljylämmitysjärjestelmän hyödyntämistä lisäenergian tuottoon, sillä pitkällä aikavälillä järjestelmä vaatii huoltoa ja lopulta kokonaan uusimista, mikä vaikuttaa huomattavasti järjestelmän kannattavuuteen. Vaikka kyseisen järjestelmän investointikustannukset ovatkin pelkkään maalämpöön siirtymistä alhaisemmat, ei takaisinmaksuajassa ole merkittävää eroa, sillä kumpikin järjestelmä maksaa arvioitujen investointikustannusten ja säästöjen perusteella itsensä takaisin noin 4–5 vuodessa.

Työn tulosten perusteella kohteen kaltaisissa suurkiinteistöissä lämmitysjärjestelmän saneeraus osoittautuu erittäin kannattavaksi ja säästöjä syntyisi paljon. Suurien kiinteistöjen maalämpöjärjestelmistä löytyvä vähäinen tiedon määrä on luultavasti osasyynä, miksi maalämpöön siirtymistä ei ole vielä työn kohteeseenkaan toteutettu. Laittevalmistajien ja lämmitysjärjestelmiä myyvien yritysten tulisi panostaa enemmän paljon lämmitysenergiaa kuluttavien kiinteistöjen tiedottamiseen ympäristöystävällisestä ja energiatehokkaasta maalämmöstä.

LÄHTEET

- Business Finland 2018. Energiatuki. Viitattu 25.5.2018
<https://www.businessfinland.fi/suomalaisille-asiakkaille/palvelut/rahoitus/pk-ja-midcap-yritys/energiatuki/>.
- Dimlex 2018. Lämpöpumput. Viitattu 25.5.2018
<http://www.dimplex.de/fi/ammattilaisille/tekniikan-selitykset/laempeopumput/naein-laempeopumppu-toimii.html>.
- Ekolämpö 2018. Lämmitysmuotojen vertailu. Viitattu 21.5.2018
<https://ekolampo.fi/lammitysmuotojen-vertailu/>.
- Energiatehokas koti 2017. Rakentamismääräykset. Viitattu 17.5.2018
<http://www.energiatehokaskoti.fi/perustietoa/maaraykset/rakentamismaaraykset>.
- Gebwell 2017a. Maalämmön toimintaperiaate. Viitattu 22.5.2018
<https://www.gebwell.fi/maalampo/maalammon-toimintaperiaate/>.
- 2017b. Maalämpö suurten kiinteistöjen lämmityksessä. Viitattu 22.5.2018
<https://www.gebwell.fi/maalampo-suurten-kiinteistojen-lammityksessa/>.
- Gebwell 2018. Kerrostalojen maalämpöjärjestelmiin tehokkuutta kaivokentän suunnittelulla. Viitattu 24.5.2018
<https://www.gebwell.fi/kerrostalojen-maalampojarjestelmiin-tehokkuutta-kaivokentan-suunnittelulla/>.
- Heikkinen, S. 2009. Lämpöä maasta. Viitattu 14.5.2018
<http://www.geofoorumi.fi/retkella/lampoamaasta.html>.
- Juvonen, J. & Lapinlampi, T. 2013. Energiakaivo. Maalämmön hyödyntäminen pientaloissa. Ympäristöopas 2013. Viitattu 20.5.2018
https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40953/YO_2013.pdf?sequence=4.
- Lehtinen, J. 2013. Maalämpöpumpun ja maalämmön valinta. Lämpövinkki Oy. Viitattu 20.5.2018
<http://docplayer.fi/110904-Maalampopumpun-ja-maalammon-valinta.html>.
- Motiva 2018. Lämmitystapojen vertailulaskuri. Viitattu 20.5.2018
<http://lammitysvertailu.eneuvonta.fi/>.
- Motiva 2012. Lämpöä omasta maasta. Viitattu 18.5.2018
https://www.sulpu.fi/documents/184029/190695/Motiva%2C%20Lampoa_omasta_maasta-1.pdf.
- NIBE 2018. Maalämpöpumppuopas. Viitattu 24.5.2018
https://www.nibe.fi/Documents/haato_fi/NIBE%20MLP%20JA%20VPDIM%20PAS%201137-1.PDF.
- Rakennustieto 2002. LVI 11-10332. Lämpöpumput.

Saarijärvi, E. 2016. Kuntoarvio Hotelli Ylläsrinne. Rovaniemi: Kiinteistö ja insinööritoimisto Eero Saarijärvi Oy. Raportti 6/2016.

Seppälä, J. 2018. Lapin maalämpö ja porakaivo Oy. Työntekijän haastattelu 8.5.2018.

St1 2018. Maalämpöpumppu ja sen toimintaperiaatteet. Viitattu 16.5.2018 <http://st1maalampo.fi/maalampo/maalampopumppu-toiminta/>.

Suomen lämpöpumppuyhdistys 2018a. Lämpöpumppujen merkitys ja tulevaisuus. Viitattu 24.5.2018 <https://www.sulpu.fi/documents/184029/209175/Lampopumppujen-merkitys-ja-tulevaisuus-SULPU.pdf>.

– 2018b. Myydyt lämpöpumput 2016. Viitattu 24.5.2018 <https://www.sulpu.fi/documents/184029/208772/Myydyt%20%C3%A4mp%C3%B6pumput%202016%2C%20kaaviot%2C%20f.pdf.1>

– 2018c. Yleistä lämpöpumpuista. Viitattu 24.5.2018 <https://www.sulpu.fi/documents/184029/209175/Yleista-l%C3%A4mp%C3%B6pumpuista-SULPU.pdf>.

Tilastokeskus 2016. Maalämmön osuus lämmönlähteenä kasvussa. Viitattu 24.5.2018 http://www.stat.fi/til/ras/2016/09/ras_2016_09_2016-11-25_kat_001_fi.html.

Tilastokeskus 2018. Lämmitysenergian kuluttajahintoja joulukuussa 2017. Viitattu 24.5.2018 https://www.stat.fi/til/ehi/2017/04/ehi_2017_04_2018-03-13_tau_003_fi.html.

Ympäristöhallinto 2016. Maalämpö. Viitattu 15.5.2018 <http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Korjaustieto/Pientalot/Energiatehokkuus/Energialahteet/Maalampo>.

LIITTEET

- Liite 1. Energialaskelma 2xMLP
- Liite 2. Energialaskelma MLP+Öljy
- Liite 3. NIBE F1345 tekniset tiedot sekä järjestelmän kuvaus
- Liite 4. Kytkenäkaavio 2xMLP
- Liite 5. Kytkenäkaavio MLP+Öljy

ENERGIALASKELMA

KOHTEEN TIEDOT

| | | |
|---------------------------|--------|-----------|
| Tilojen lämmityksen tarve | 274400 | kWh/vuosi |
| -Öljy | 274400 | kWh/vuosi |
| - josta käyttöveden osuus | 42000 | kWh/vuosi |
| Lämmitystehontarve | 94,8 | kW |

LÄMPÖPUMPUN ASENNUKSEN JÄLKEEN

| | | |
|-------------|-------|-----------|
| Ostoenergia | 86676 | kWh/vuosi |
|-------------|-------|-----------|

SÄÄSTÖT

| | | |
|----------------|--------|-----------|
| Energiansäästö | 192692 | kWh/vuosi |
| CO2 säästöt | 84576 | kg/vuosi |

SÄÄTIEDOT

| | | |
|-------------------------------|-------|----|
| Vuoden keskilämpötila | 0,0 | °C |
| Mitoittava ulkolämpötila, MUT | -38,0 | °C |

RAKENNUKSEN OLOSUHTEET

| | | |
|---------------------------|------|----|
| Sisälämpötila | 21,0 | °C |
| Tilojen lämmitys pysähtyy | 15,0 | °C |
| Lämmitys meno MUT:ssa | 55 | °C |
| Lämmitys paluu MUT:ssa | 45 | °C |

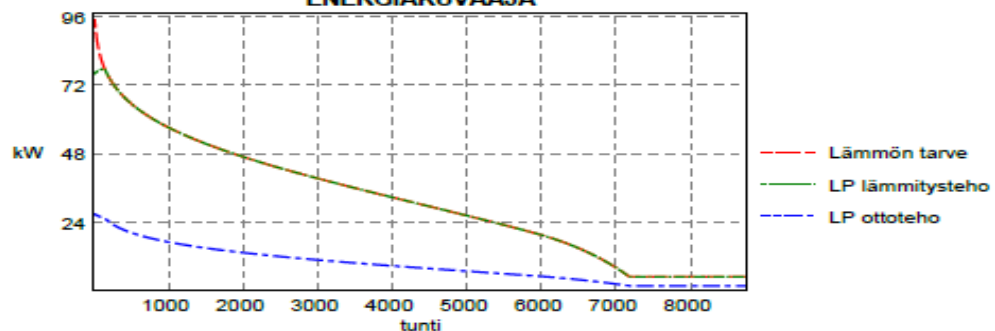
1XNIBE F1345-60, 1XNIBE F1345-30

| | | |
|---------------|---|-----|
| NIBE F1345-60 | 1 | kpl |
| NIBE F1345-30 | 1 | kpl |

ENERGIALASKENNAN TULOKSET 1XNIBE F1345-60, 1XNIBE F1345-30

| | | |
|--|------------|-----------|
| LP:n tuottama energia | 273223 | kWh/vuosi |
| LP:n kuluttama energia | 83585 | kWh/vuosi |
| Lisäenergia | 1177 | kWh/vuosi |
| Lisäenergia, hyötysuhdekorjattu | 1177 | kWh/vuosi |
| Lämmityksen kiertopumppu | 1914 | kWh/vuosi |
| Muulla kuin LP:llä lämmitetty käyttövesi | 0 | kWh/vuosi |
| Energianpeitto | 100 | % |
| Vuosilämpökerroin, LP | 3,3 | |
| Vuosilämpökerroin, järjestelmä | 3,2 | |
| Kiinteä tai vaihteleva lauhdutus | Vaihteleva | |
| Lämpöpumpun teho MUT:ssa | 76,0 | kW |
| Ottoteho MUT:ssa | 26,8 | kW |
| Laskennallinen lisäteho | 18,8 | kW |
| Tehopeitto | 80 | % |

ENERGIAKUVAAJA



ENERGIKAIVO

| | | |
|-------------------------------------|------|-------|
| Aktiivinen poraussyvyys | 1939 | m |
| Energian otto | 101 | kWh/m |
| Tehon otto | 30 | W/m |
| Lambda kallio | 3,0 | W/mK |
| Tulevan keruuliuksen keskilämpötila | -2,0 | °C |

ENERGIALASKELMA

KOHTEEN TIEDOT

| | |
|---------------------------|------------------|
| Tilojen lämmityksen tarve | 274400 kWh/vuosi |
| -Öljy | 274400 kWh/vuosi |
| - josta käyttöveden osuus | 42000 kWh/vuosi |
| Lämmitystehontarve | 94,8 kW |

LÄMPÖPUMPUN ASENNUKSEN JÄLKEEN

| | |
|-------------|-----------------|
| Ostoenergia | 99407 kWh/vuosi |
|-------------|-----------------|

SÄÄSTÖT

| | |
|----------------|------------------|
| Energiansäästö | 179961 kWh/vuosi |
| CO2 säästöt | 82024 kg/vuosi |

SÄÄTIEDOT

| | |
|-------------------------------|----------|
| Vuoden keskilämpötila | 0,0 °C |
| Mitoittava ulkolämpötila, MUT | -38,0 °C |

RAKENNUKSEN OLOSUHTEET

| | |
|---------------------------|---------|
| Sisälämpötila | 21,0 °C |
| Tilojen lämmitys pysähtyy | 15,0 °C |
| Lämmitys meno MUT:ssa | 55 °C |
| Lämmitys paluu MUT:ssa | 45 °C |

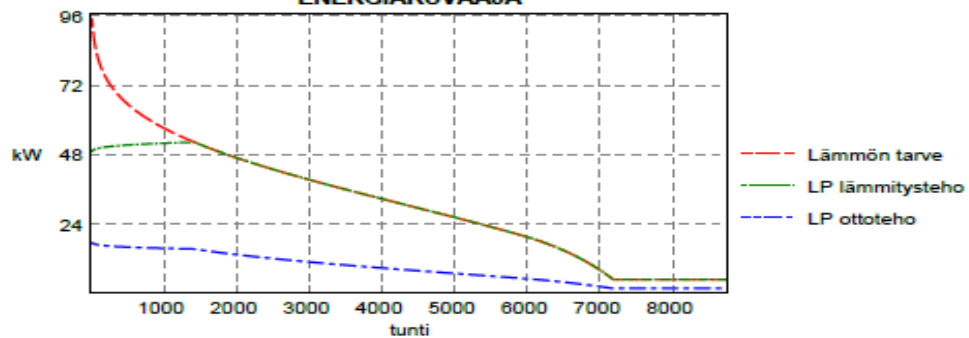
LÄMPÖPUMPUN MALLI

| | |
|---------------|-------|
| NIBE F1345-60 | 1 kpl |
|---------------|-------|

ENERGIALASKENNAN TULOKSET NIBE F1345-60

| | |
|--|------------------|
| LP:n tuottama energia | 256450 kWh/vuosi |
| LP:n kuluttama energia | 79570 kWh/vuosi |
| Lisäenergia | 17950 kWh/vuosi |
| Lisäenergia, hyötysuhdekorjattu | 17950 kWh/vuosi |
| Lämmityksen kiertopumppu | 1887 kWh/vuosi |
| Muulla kuin LP:llä lämmitetty käyttövesi | 0 kWh/vuosi |
| Energianpeitto | 93 % |
| Vuosilämpökerroin, LP | 3,2 |
| Vuosilämpökerroin, järjestelmä | 2,8 |
| Kiinteä tai vaihteleva lauhdutus | Vaihteleva |
| Lämpöpumpun teho MUT:ssa | 49,2 kW |
| Ottoteho MUT:ssa | 17,4 kW |
| Laskennallinen lisäteho | 45,7 kW |
| Tehopeitto | 52 % |

ENERGIAKUVAAJA



ENERGIKAIVO

| | |
|-------------------------------------|-----------|
| Aktiivinen poraussyvyys | 1394 m |
| Energian otto | 131 kWh/m |
| Tehon otto | 27 W/m |
| Lambda kallio | 3,0 W/mK |
| Tulevan keruuliuksen keskilämpötila | -2,0 °C |

Tekniset tiedot

NIBE™ F1345

| Tyyppi | | NIBE F1345-24 | NIBE F1345-30 | NIBE F1345-40 | NIBE F1345-60 |
|--------------------------------------|------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Ottoteho* (B 0 /W 35) | (kW) | 2 x 2.52 | 2 x 3.5 | 2 x 4.44 | 2 x 7.05 |
| Lämmitysteho* (B 0 /W 35) | (kW) | 22.5 (2 x 11.3) | 30.7 (2 x 15.4) | 40.0 (2 x 20.0) | 57.7 (2 x 28.8) |
| COP* kun B0/W35 14511 | | 4.42 | 4.36 | 4.51 | 4.10 |
| Jännite | | 400 V (3 V+0) | | | |
| Kylmäaine | | R407C | R407C | R407C | R410A |
| Kylmäaineen määrä | (kg) | 2 x 2.2 | 2 x 2.3 | 2 x 2.4 | 2 x 2.4 |
| Lämmitysveden enimmäislämpötila | (°C) | 65/58 | 65/58 | 65/58 | 65/58 |
| Korkeus (ilman säätöjalkoja 30-50mm) | (mm) | 1800 | 1800 | 1800 | 1800 |
| Leveys | (mm) | 600 | 600 | 600 | 600 |
| Syvyys | (mm) | 620 | 620 | 620 | 620 |
| Nettopaino | (kg) | 325 | 335 | 352 | 353 |

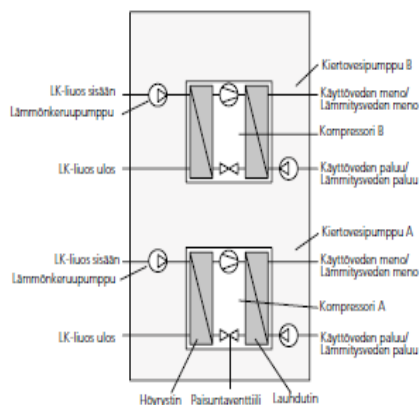
* Standardin EN 14511 mukaan tuloämpötilalla 0° C / käyttövesilämpötilalla 35° C. Kiertovesipumppujen syöttö sisältyy.

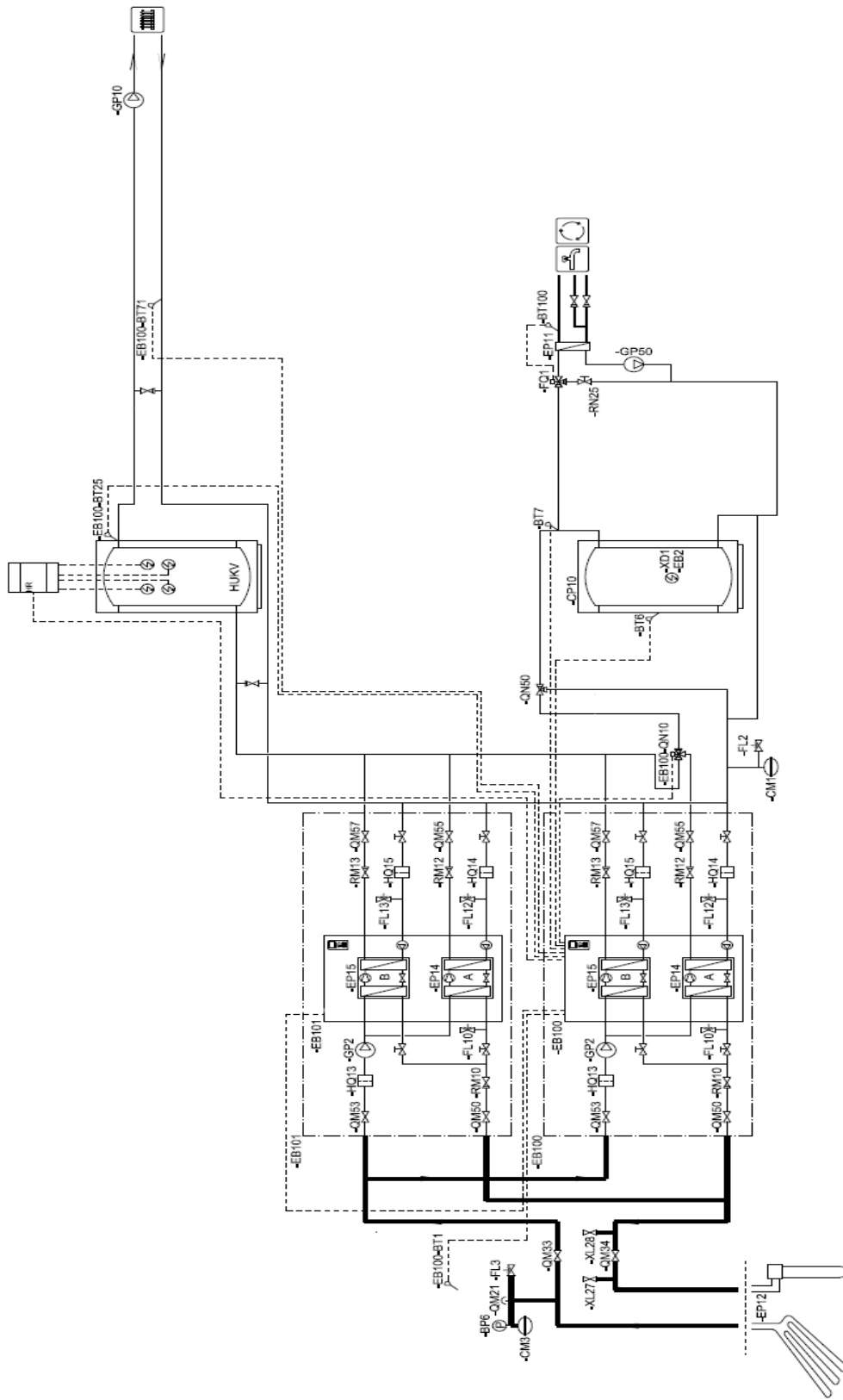
Järjestelmän kuvaus

F1345 koostuu kahdesta lämpöpumppuyksiköstä ja näytöllä varustetusta keskusyksiköstä, joka ohjaa lämpöpumppua ja mahdollista lisälämmitystä. NIBE F1345:ssa on sisäänrakennetut kiertovesipumput*, mikä helpottaa kytkentää lämmitys- ja lämmönkeruupiireihin. Energia otetaan talteen lämmönlähteestä suljetulla keruujärjestelmällä, jossa kiertää veden ja pakkasnesteen seos. Lämmönlähde voi olla kallio, maaperä, järvi, poistoilma tai muu prosessilämmitys.

Lämmönlähteenä voi käyttää myös pohjavettä. Tämä vaatii välilämmönvaihtimen. Keruuliuos luovuttaa lämpönsä kylmäaineeseen lämpöpumpun höyrystimessä. Sitten kylmäaine höyrystyy ja puristetaan kokoon kompressorissa. Lämmennyt kylmäaine johdetaan lauhduttimeen, jossa se luovuttaa energiansa lämmityspiiriin.

* 40 – 60 kW ulkoisella lämmönkeruupumpulla.





Labels according to IEC 81346-2

[] = Toiminnallisuuksija. Katso toimitusraja laitteen ohjelehti/asta.

