

Ossi Keränen

**PIENTALON MAALÄMPÖJÄRJESTELMÄN KULUTUKSEN VERTAILU SÄHKÖ-
LÄMMITYKSEEN**

PIENTALON MAALÄMPÖJÄRJESTELMÄN KULUTUKSEN VERTAILU SÄHKÖ- LÄMMITYKSEEN

Ossi Keränen
Opinnäytetyö
Kevät 2016
Energiatekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Energiatekniikan koulutusohjelma

Tekijä: Ossi Keränen

Opinnäytetyön nimi: Pientalon maalämpöjärjestelmän kulutuksen vertailu sähkölämmitykseen

Työn ohjaaja: Veli-Matti Mäkelä

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2016

Sivumäärä: 62

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia maalämpöä ja sitä hyödyntävää lämmitysjärjestelmää. Työssä tutkittiin kohderakennusta, jolle tehtiin sähkönkulutusvertailu ennen maalämmön käyttöä ja käyttöönoton jälkeen. Tavoitteena oli laskea maalämmöllä toteutuneet säästöt käyttöönotosta helmikuuhun 2016 mennessä sekä takaisinmaksuaika järjestelmälle ja kaikille muutoksille. Pääkysymyksenä oli selvittää maalämmön todellinen taloudellinen hyöty sähkölämmitykseen verrattuna. Työssä tutkittiin maalämmön hyötyjä ja haittoja sekä käytiin läpi eri lämmönlähteet. Lämmitysjärjestelmästä selvitettiin maalämpöpumppujen toimintaperiaate ja lämmönkeruupiiriin liittyviä asioita. Lisäksi tutkittiin lämpöpumpumallien eroja.

Työssä oli tutkimuskohteena pientalo, jossa on kaksi asuntoa. Rakennuksen asuinpinta-ala on yhteensä 139 m². Rakennukseen on tehty lämmitysjärjestelmän muutos sähkölämmityksestä maalämpöön vuonna 2011. Lisäksi toiseen asuntoon on tehty patteri- ja putkiremontti, jotta maalämpö on saatu käyttöön vuonna 2013. Sähkönkulutusvertailu tehtiin ennen maalämpöjärjestelmän käyttöönottoa viikon välein itse kerättyjen sähkönkulutuslukujen mukaan. Maalämpöjärjestelmän käyttöönoton jälkeen on asennettu etäluettavat mittarit, joiden avulla sähkönkulutustiedot on saatu päivän tarkkuudella. Järjestelmälle tehtiin lyhyen jakson ajan mittauksia, joiden avulla lämpöpumpulle laskettiin myös lämpökerroin.

Sähkönkulutukseen on vaikuttanut useita tekijöitä, jotka täytyi huomioida vertailua tehtäessä. Toisessa asunnossa on varaava takka, jonka käyttömäärä on muuttunut maalämmön käyttöönoton jälkeen. Lisäksi vertailussa on huomioitu käyttösähkön määrä ja vertailuvuosien lämmitystarveluvut sekä niiden normitus. Maalämpöjärjestelmä otettiin myös käyttöön ensin vain toisessa asunnossa. Vertailun mukaan lämmitysjärjestelmän muutoksella on huomattavat vaikutukset rakennuksen lämmityskuluihin. Järjestelmän käyttöönoton yhteydessä tehty arvio takaisinmaksuajasta on tähän mennessä saatujen säästöjen mukaan onnistunut. Säästöä maalämmöllä kertyy vuoden aikana noin 2930 euroa, kun sähkönhinta on 0,12 €/kWh. Maalämpöjärjestelmän takaisinmaksuajaksi laskettiin vähän yli kahdeksan vuotta. Toisen asunnon putki- ja patteriremontti mukaan laskettuna takaisinmaksuajaksi saatiin noin 10,8 vuotta. Saadut tulokset olivat odotettuja ja onnistuneita.

Asiasanat: maalämpö, pientalo, sähkönkulutus, lämpökerroin, lämpöpumppu, energiasäästö, takaisinmaksuaika, kestävä kehitys

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
SISÄLLYS	4
1 JOHDANTO	6
2 MAALÄMPÖ	8
2.1 Maalämmön historia ja hyödyntäminen	8
2.1.1 Hyödyt ja haitat	9
2.1.2 Luvat ja huomiot	10
2.2 Lämmönlähteet	10
2.2.1 Kallio	10
2.2.2 Maaperä	13
2.2.3 Vesistö	15
2.3 Maalämpöpumppu	17
2.3.1 Toimintaperiaate	17
2.3.2 Maalämpöpumppujen mallit	19
2.3.3 Lämmönkeruupiiri	22
2.3.4 Pumpun ja lämmönkeruupiirin tehomitoitus	22
2.3.5 Lämpökerroin	23
3 TUTKIMUSKOHDE	26
3.1 Kohderakennus	26
3.2 Lämmitysmuodon muutos	26
3.3 Kohteen maalämpöjärjestelmä	27
3.3.1 Lämpöpumppu Oilon Geopro GT 11	27
3.3.2 Lämpöparoni Oilon VB 9001	29
3.3.3 Lämminvesivaraaja ja kiertovesipumput	29
4 MITTAUKSET	31
4.1 Mittaustoimenpiteet	31
4.2 Käytetyt mittalaitteet	31
4.2.1 Lämpöpumpun energiamittari A-Collection EM23 DIN	31
4.2.2 Lämpöparonin sähköanalysaattori Fluke 434	32
4.2.3 Kimo Kistock -dataloggerit	33
4.3 Mittaustulokset	34

4.3.1 Ulko- ja sisätilojen sekä lämmönkeruunesteen lämpötilat	35
4.3.2 Lämpöpumpun sähkönkulutus	38
4.3.3 Lämpöparonin sähkönkulutus	38
5 LASKENTA	40
5.1 Lämpöpumpun lämpökerroin	40
5.1.1 Teoreettinen lämpökerroin	40
5.1.2 Todellinen lämpökerroin	41
5.1.3 Yhteenveto	42
5.2 Pumpun tehon riittävyys	42
6 KULUTUSVERTAILU JA INVESTOINTI	44
6.1 Kulutusvertailu mittausjakson aikana	44
6.2 Sähkönkulutus lämmitysmuodonmuutosta ennen ja jälkeen	44
6.2.1 Käyttösähkön ja varaavan takan huomiointi	45
6.2.2 Vertailu	46
6.3 Maalämmön investointikustannukset ja takaisinmaksuaika	50
7 TULOKSET JA HAVAINNOT	57
8 YHTEENVETO	59
LÄHTEET	60

1 JOHDANTO

Maalämpöä on käytetty Suomessa jo 1970–80-luvuilla, mutta sen suosio on lisääntynyt paljon vasta viime vuosien aikana. Tekniikka on kehittynyt nopeasti, ja pientalojen lisäksi myös suuret kiinteistöt siirtyvät maalämpöön. Maalämpöä markkinoidaan helppona ratkaisuna, jota ei tarvitse juurikaan huoltaa hyvin tehdyn asennuksen jälkeen. Myös käyttökustannuksien alhainen hinta houkuttelee asiakasta. Investointikustannukset ovat kuitenkin kalliit maalämmössä, jos verrataan esimerkiksi sähkö- tai öljylämmitykseen. Tässä työssä tutkitaan, kuinka kannattavia nämä suu-remmat investointikustannukset pientalon lämmitysjärjestelmään ovat.

Maalämpö on uusiutuvaa energiaa, mutta maalämpöpumpun kuluttama sähkö ei välttämättä ole tuotettu uusiutuvalla energialla. Lämpöpumppu kerää hyödynnettävän maalämmön joko kalliosta, maaperästä tai vedestä kylmäaineen avulla. Lämpö siirretään lämpöpumpun avulla lämmityspiiriin. Maalämmön hyödyntäminen on ekologinen ja erinomainen vaihtoehto pientalon lämmitysmuodoksi. Työssä kerrotaan maalämmön hyödyistä ja haitoista sekä käydään läpi järjestelmän ja lämpöpumpun toimintaperiaate. Myös maalämmön eri lämmönlähteet ja niiden erot selvitetään.

Tutkintakohteena on kaksiosainen omakotitalo. Vanhempi puoli rakennuksesta on rakennettu vuonna 1963 ja sen asuinpinta-ala on 44 m². Toinen uudempi puoli on kooltaan suurempi. Sen asuinpinta-ala on 95 m² ja se on rakennettu vuonna 1985. Rakennuksessa on vanhalla puolella ollut aiemmin varaava sähkölämmitys vesikiertoisilla lämpöpattereilla. Vuonna 1985 rakennetulla puolella on ollut suora sähkölämmitys pattereilla sekä varaava takka, jota lämmitettiin ennen muutosta paljon. Energiansäästöyiden vuoksi rakennukseen suunniteltiin uusi lämmitysmuoto ja valinnaksi päättyi kallioperäinen maalämpö. Maalämpö mitoitettiin kohteeseen täystehoisena ja sen käyttö aloitettiin kesäkuussa vuonna 2012. Käytön aikana järjestelmä on toiminut erinomaisesti. Järjestelmässä on myös lämpöparoni varalämmitysmuotona, jos lämpöpumppuun tulee toimintaongelmia.

Työn tarkoituksena on vertailla sähkölämmityksen ja maalämmityksen energiankulutusta kohde-rakennuksessa vuosien ajalta kerättyjen energiankulutusmäärien perusteella. Pyrkimyksenä on selvittää maalämmön todellinen taloudellinen hyöty sähkölämmitykseen verrattuna. Lisäksi tehdään lyhytaikaisia tarkempia mittauksia huonelämpötiloista ja pumpun toiminnasta. Mittaustietojen perusteella lasketaan erot lämmitysmuotojen välillä lyhyellä ajalla. Kohteen maalämpöpum-

pun toimintaa ja tehokkuutta tutkitaan sekä arvioidaan, miten käytössä olevan lämpöpumpun teho riittää kohderakennukseen.

2 MAALÄMPÖ

Maalämpö on uusiutuvaa lämpöenergiaa, joka on varastoitunut maaperään, kallioon tai veteen. Suomessa auringon säteilyn tuottama lämpö varastoituu maaperään. Porakaivoista ja kalliope-
rystä saatava maalämpö on auringon säteilystä ja maan sisällä syntyvää geotermistä lämpöä. Syvällä kalliope-
rässä lämpö johtuu kallioon maapallon ytimestä, jossa syntyy lämpöenergiaa
fissioenergiasta. Lisäksi lämpöä johtuu lämpimistä pohjavesivirtauksista. Maaperään ja vesistöi-
hin noin metrin syvyyteen asennettavien vaakaputkistojen lämpöenergia on peräisin vain aurin-
gosta. Maalämpöä hyödynnettäessä tuotetusta lämpöenergiasta kuitenkin noin kolmannes on
sähköä, joka voi olla tuotettu uusiutumattomilla energiamuodoilla. (1; 2, s. 60.)

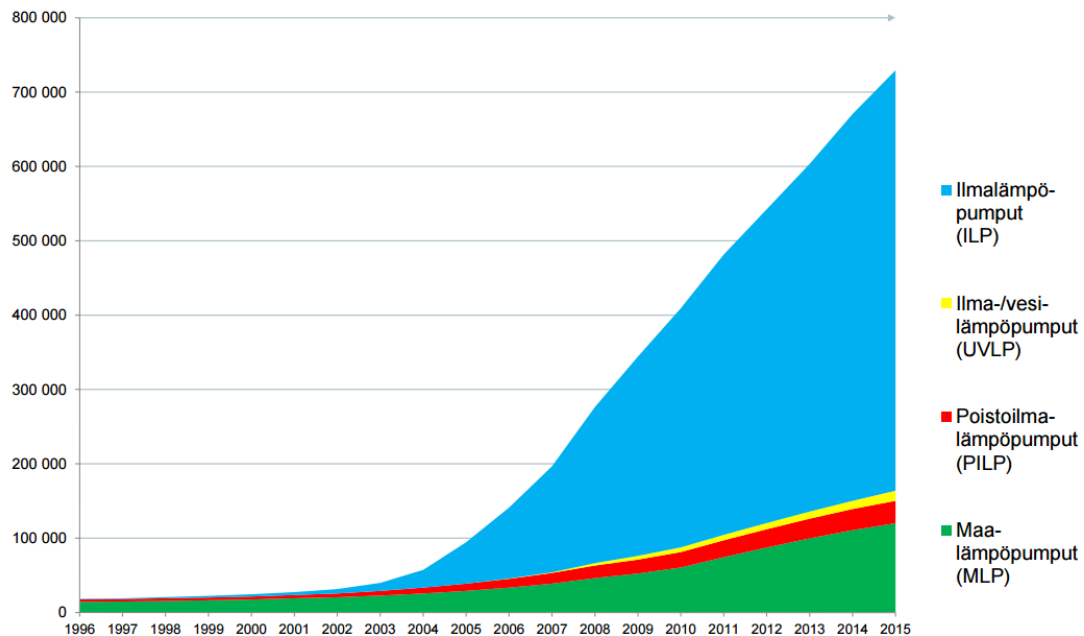
2.1 Maalämmön historia ja hyödyntäminen

Lämpöpumput eivät ole nopeasta yleistymisestä huolimatta kovin uusi keksintö. Lämpöpumpun
toiminta perustuu termodynaamiseen kiertoprosessiin, jonka on esitellyt jo vuonna 1824 ranska-
lainen fyysikko Sadi Carnot. Muutaman vuoden myöhemmin lämpöpumpun toimintaperiaatteen
esitteli englantilainen fyysikko William Thomson. Rakennuksiin ensimmäiset lämpöpumput asen-
nettiin kuitenkin vasta 1920-luvulla. Laajaa käyttöä maalämpöpumpuilla oli ensimmäisen maail-
mansodan aikana mm. Sveitsissä. Sodan jälkeen lämpöpumppuja ei hyödynnetty, mutta niistä
kiinnostuttiin uudelleen vuosien 1979–1980 öljykriisin aikana. Öljyn hinnan laskettua kiinnostus
pumppuihin vähentyi uudelleen ja on lisääntynyt vasta viime vuosien aikana voimakkaasti. Syinä
nopeaan kasvuun on muiden energiamuotojen hinnan nousu ja maalämmön ekologisuus. Maa-
lämpöpumppujen kehitys on ollut viime vuosina nopeaa. (2, s. 20.)

Maalämpöä käytetään rakennusten lämmittämiseen sekä myös käyttöveden lämmitykseen. Läm-
pö saadaan hyötykäyttöön maalämpöpumpun avulla. Lämpö kerätään keruuputkiston ja lämmön-
keruuaineen avulla, josta lämpö siirtyy kylmäaineeseen lämpöpumpussa. Sen jälkeen lämpö
siirtyy kylmäaineen lauhtuksessa lämmönjakoverkkoon. Lämpöpumpun ja lämmönkeruupiirin
toimintaperiaate käydään läpi tarkemmin luvussa 2.3. (1.)

Maalämmön hyödyntäminen on taloudellisesti kannattavaa pienissäkin rakennuksissa. Järjestel-
mä on kuitenkin selvästi kannattavampi, kun rakennus on suurempi ja myös energiankulutus
suurempaa. Nykyisin uusiin pientaloihin valitaan usein lämmitysjärjestelmäksi maalämpöpumppu,
kun lämmönjako tapahtuu vesikiertoisena esimerkiksi lattialämmityksenä. Kuvassa 1 näkyy maa-

lämpöpumppujen määrän kasvu viime vuosina. Maalämpö valittiin vuonna 2011 melkein 50 prosenttiin uusista pientaloista. (1; 3, s. 3.)



KUVA 1. Lämpöpumppujen määrän kehitys vuosina 1996–2015, maalämpöpumput eritelty vihreällä värillä (4, s. 1)

2.1.1 Hyödyt ja haitat

Maalämmöllä on paljon hyviä puolia, kuten sen uusiutuvuus ja ekologisuus. Kuluttajan ja käyttäjän kannalta parhaita puolia ovat maalämpöjärjestelmän helppokäyttöisyys ja käyttökustannukset. Kun maalämpöjärjestelmä rakennetaan ja säädetään heti käyttöönoton yhteydessä hyvin, ei huollon tarvetta pitäisi juurikaan tulla ja käyttö on huoletonna. Maalämpöpumput on yleensä mitoitettu 25 vuoden käyttöikä varten, ja lämmönkeruuputkistot ovat lähes ikuisia. Maalämpöjärjestelmät ovatkin toimintavarmoja tekniikan kehittyttyä. Järjestelmä ei myöskään tarvitse välttämättä erillistä teknistä tilaa, mikä on kuitenkin suositeltavaa. Lisäksi maalämpö on mahdollista asentaa vanhaankin rakennukseen helposti, varsinkin jos rakennuksessa on jo vesikiertoinen lämmönjakojärjestelmä. (1; 3, s. 3; 5, s. 55–56.)

Investointikustannukset on yksi maalämpöjärjestelmän heikkous. Investointikustannukset ovat huomattavan suuret verrattuna esimerkiksi sähkölämmitykseen. Uudisrakennuksiin investointi-

kustannukset eivät ole niin suuret kuin saneerauskohteissa. Esimerkkinä 150 m²:n kokoiseen rakennukseen maalämpöjärjestelmän investointikustannukset ovat noin 12 000–16 000 euroa. Kun samankokoiseen rakennukseen tehdään lämmitysmuodon muutos, on investointi noin 15 000–22 000 euroa. Ero johtuu vanhan järjestelmän purkutöistä sekä mahdollisista lisätöistä, joita voi kertyä, kun maalämpöjärjestelmä liitetään esimerkiksi vanhaan vesikiertoverkoston. (1.)

Maalämpöpumppu tuottaa lämpöenergiaa sähkön avulla. Tuotetun lämmön hinta on sähköllä tuotetusta lämmöstä noin kolmasosa. Lämmityksen kustannukset ovat tilanteesta ja järjestelmästä riippuen noin 3–6 snt/kWh. Sitä voidaan verrata esimerkiksi sähköllä tai öljyllä lämmittämiseen, jonka hinta on noin 12–18 snt/kWh. Näihin vaikuttaa kuitenkin muuttuva sähkön ja öljyn hinta. Pitkällä aikavälillä investointi maksaa itsensä takaisin. Lisäksi maalämpöjärjestelmän rakentaminen lisää yleensä kiinteistön jälleenmyyntiarvoa. (1; 6.)

2.1.2 Luvat ja huomiot

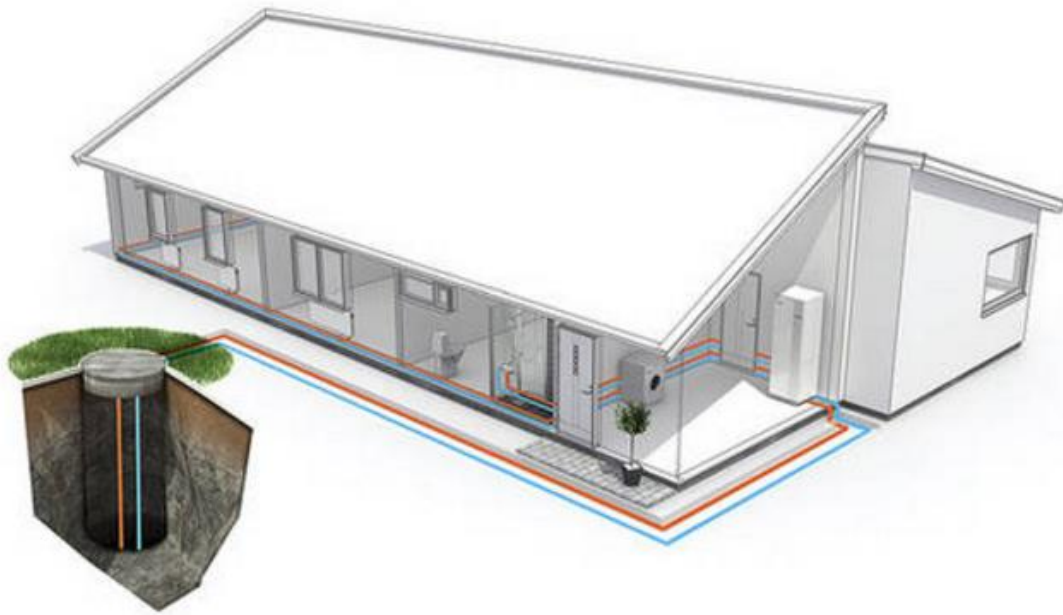
Maalämpöpumpun hankinnassa ja asentamisessa on asioita, jotka täytyy huomioida. Maalämpöputkiston asentaminen edellyttää toimenpideluvan saantia kunnalta. Lupavaatimus on otettu käyttöön 1.5.2011, ja siihen vaikuttavat muun muassa maanalaiset rakenteet, pohjavesialueet ja suojaetäisyydet tontin rajoihin, rakennuksiin ja muihin kaivoihin. Vesistöön asennettaessa vesialueen omistajalta täytyy saada lupa. (1; 5, s. 81.)

2.2 Lämmönlähteet

Maalämpöjärjestelmä hyödyntää lämmönlähteinään kallioon, maaperään ja veteen varastoitunutta auringon säteilemää lämpöä sekä geotermistä lämpöä. Jokaisen lämmönlähteen järjestelmä on hieman erilainen, ja niissä täytyy huomioida eri asioita. Kaikilla vaihtoehdoilla on hyviä ja huonoja puolia.

2.2.1 Kallio

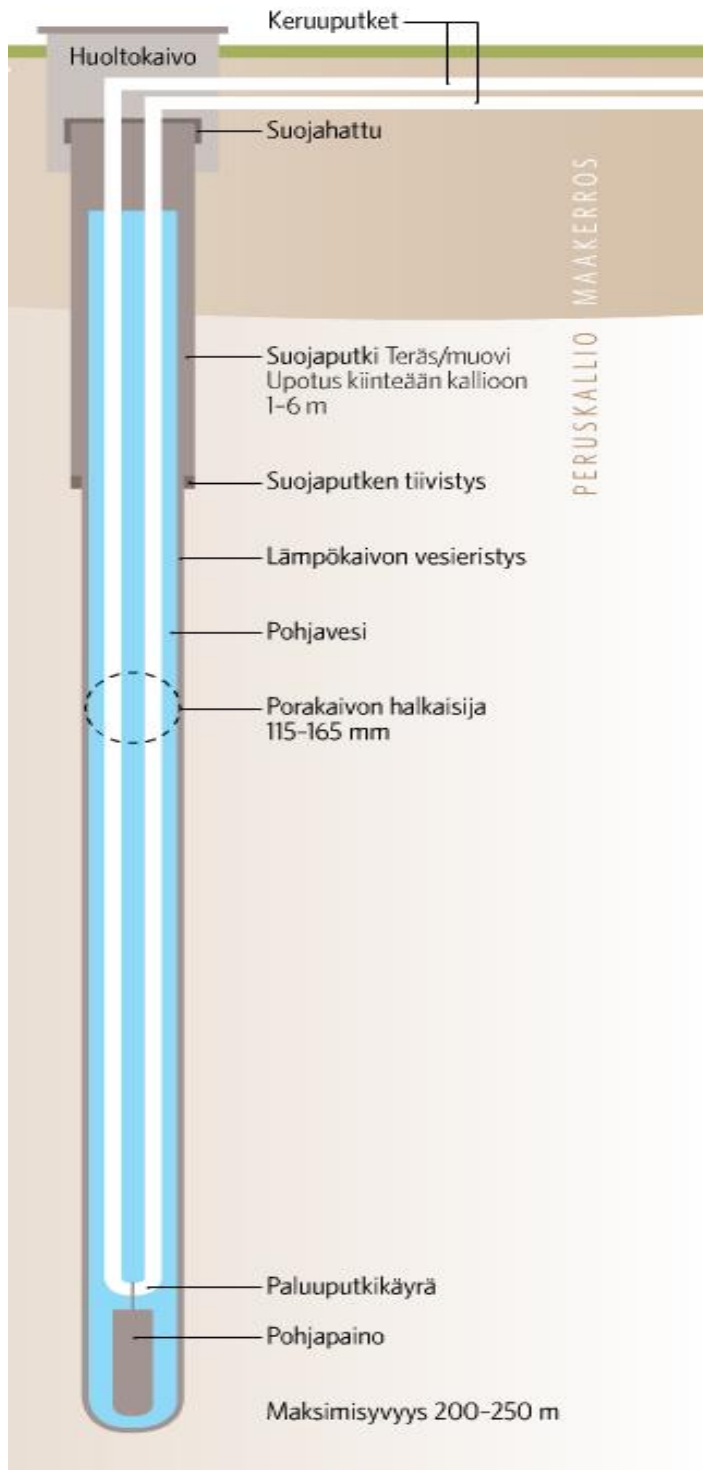
Kallioperäisessä maalämmössä kallioon porataan mitoituksen mukainen porakaivo. Tässä vaihtoehdossa hyödynnetään syvälle kallioon varastoitunutta lämpöenergiaa. Porakaivon syvyys on yleensä noin 150–200 metriä mitoituksesta riippuen. On kuitenkin mahdollista tehdä jopa 250 metriä syviä kaivoja. Ulkohalkaisija porakaivossa on 115–165 mm. Porakaivoon asennetaan kuvassa 2 näkyvä lämmönkeruuputkisto, jossa lämmönkeruuliuos kiertää. (7; 3, s. 4; 1.)



KUVA 2. Porakaivon ja putkistojen asennus pientaloon (8)

Porauksessa hintaan vaikuttavat maaperän ominaisuudet. Maahan porattaessa porausreikään työnnetään suojaputki, jonka tarkoituksena on pitää reikä auki, ja jolla estetään pintavesien pääsy pohjaveteen. Kallioon poraaminen on huomattavasti halvempaa ja helpompaa, koska suojaputkea ei tarvitse laittaa. Suojaputkea asennetaan porauksessa niin syväälle, että kallioperä alkaa ja sitä ei enää tarvita syvemmällä maaperässä. (3, s. 4.)

Porakaivon syvyys määräytyy rakennuksen lämmöntarpeen ja mahdollisen vedentuoton mukaan. Kaivon ei tarvitse tuottaa vettä, mutta sen tuotto lisää kaivosta talteen otettavan energian määrää. Jos kaivosta ei saada vettä, se yleensä täytetään vedellä. Talousvetenä porakaivon tuottamaa vettä ei saa käyttää. Kaivon syvyyttä, joka on vuoden ympäri veden täyttämä, kutsutaan aktiiviseksi syvyudeksi. Kuvassa 3 on esitetty porakaivon tietoja leikkauskuvan avulla. Rakennuksissa, joissa lämmöntarve on niin suuri, ettei yhden kaivon tuottama lämpöenergia riitä, porataan useampia kaivoja. Kaivojen välillä tulee olla etäisyyttä vähintään 15–20 metriä. Myös naapuriton-
teilla olevien kaivojen etäisyys on otettava huomioon. (3, s. 4.)



KUVA 3. Porakaivon leikkauskuva (9)

Porakaivossa lämpötila on 100 metrin syvyydessä noin 5–7 °C. 200 metrin syvyydessä lämpötila kasvaa 6–9 °C. Lämpötila pysyy vuoden ympäri lähes vakiona, eikä suuria muutoksia lämmönsaantiin tule. Vaihtelu on yleensä vain 2–3 °C koko vuoden aikana. Porakaivon lämpöenergian riittävyys ja syvyys arvioidaan sekä lasketaan mitoituksen yhteydessä. Riittävyys lasketaan läm-

mönkeruuputkiston tarvittavan pituuden ja maaperässä olevan lämmön määrän mukaan. Kaivon syvyys on yleensä noin 200 metriä. (7; 9, s. 4–5.)

Kaivon tehokkuutta voi heikentää kaivossa olevan veden laaja jäätyminen pitkäksi aikaa. Jäätyminen voi muun muassa litistää putkia. Tämä voi tapahtua talvella kovissa ylikuormitustilanteissa, kun veden lämpötila laskee alhaiseksi. Jäätyneen kaivon lämmönkeruuliuos on paluuvaiheessa lämpötilaltaan selkeästi miinuksen puolella. Kaivo sulaa, kun lämpöpumpun kompressorin pysäytetään ja maaliuoksen pumppu jätetään päälle. Yleensä tästä tilanteesta ei aiheudu teknistä haittaa lämpöpumpulle. (7; 9, s. 4–5.)

Porakaivo sopii hyvin saneerauskohteisiin tai jos tontin koko on pieni, koska sitä asennettaessa tontin pintaa ei tarvitse kaivaa laajalta alueelta. Lämpökaivolla ei siis ole suurta vaikutusta tontin ulkonäköön. Muina etuina porakaivolla on sen hyödyntäminen rakennuksen sisälämpötilan viilentämiseen kesäaikana. Nykyisin yli 60 prosenttia maalämpöjärjestelmistä tehdään lämpökaivoilla. (7; 1.)

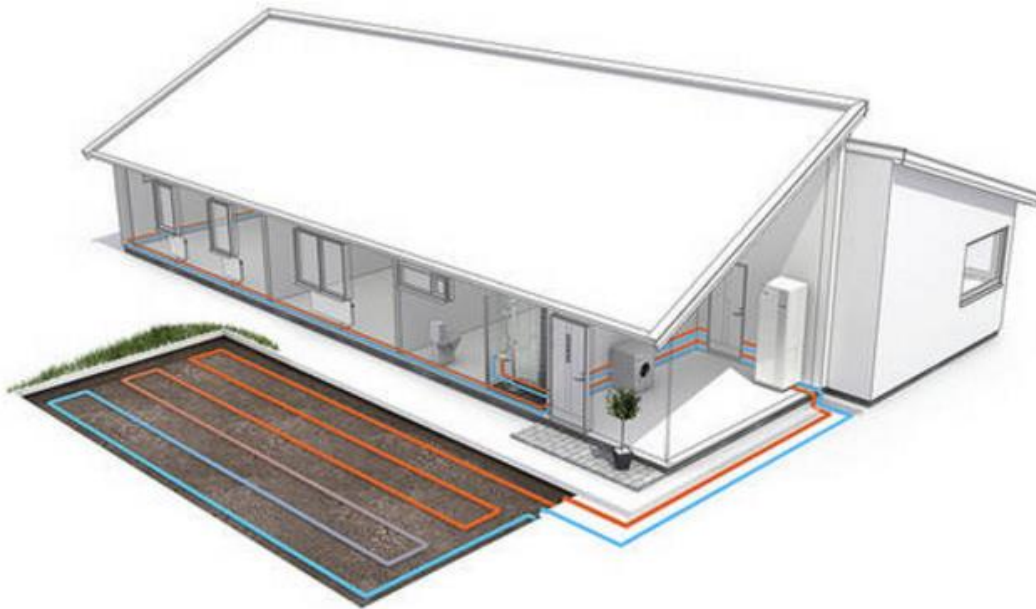
2.2.2 Maaperä

Maaperän pintakerrokseen varautunutta auringon säteilemää lämpöenergiaa voidaan hyödyntää vaakaputkistoa käyttäen. Lämmönkeruuputkisto asennetaan noin metrin syvyyteen routarajan alapuolelle. Asennussyvyys riippuu ilmastovyöhykkeestä. Esimerkiksi Pohjois-Suomessa putkisto asennetaan syvemmälle. (1.)

Vaakaputkiston käyttö on mahdollista, kun käytettävissä olevan tontin koko on riittävän suuri. Porakaivoon verrattuna kustannukset ovat pienemmät. Maaperän ominaisuudet vaikuttavat vaakaputkiston kannattavuuteen. Kosteaa savimaa on hyvä lämmön hyödyntämiseen, koska siitä saadaan paremmin lämpöä kuin esimerkiksi hiekkamaasta. Jos maaperä on kivinen, ei vaakaputkistoa suositella. Routa voi liikuttaa kiviä ja muokata maastoa niin, että kivet vaurioittavat putkistoa. Tehokkain maalaji on siis savimaa ja heikoin on hiekkamaa. Maalaji vaikuttaa huomattavan paljon lämmönsaantiin. Putkimetrejä tarvitaan savimaahan jopa noin 30–40 prosenttia vähemmän verrattuna hiekkamaahan. (1; 3, s. 4.)

Vaakaputkisto asennetaan tontille kuvan 4 mukaan. Asennus tehdään niin, että etäisyys viereiseen putkilenkkiin on vähintään 1,5 metriä. Asentaminen pihateiden ja kulkureittien alle ei ole suositeltavaa ja kannattavaa. Tämä johtuu siitä, että reittien alla putkisto on suojattava roudalta eikä niiden kohdalta saada talteen lämpöä. Putkiston pituuden ja tontin koon tarpeiden määrä

voidaan arvioida laskemalla rakennuksen tilavuudesta. Yhtä rakennuskuutiota varten putkea tarvitaan noin 1–2 metriä. Tonttimaata tarvitaan yhtä putkimetriä kohti noin 1,5 neliometriä. Putkiston pituuteen vaikuttaa lisäksi lämpöpumpun koko. (7; 3, s. 4–5.)



KUVA 4. Vaakaputkiston asennus maaperään (8)

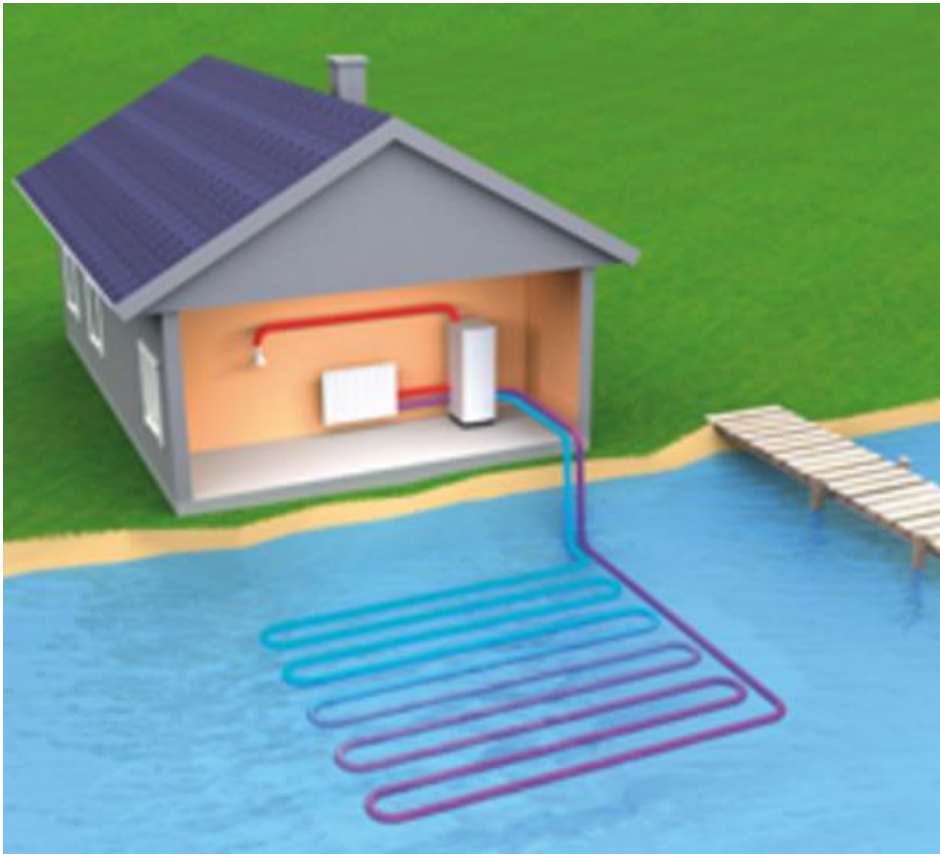
Lämpötilan vaihtelu vuoden sisällä on vaakaputkistossa huomattavaa verrattuna porakaivoon. Vaihtelu on koko vuoden aikana pintamaassa noin kymmenen astetta, kun porakaivossa se on vain muutaman asteen. Kesällä maan lämpötila nousee, mutta silloin lämmitystäkään ei tarvita niin paljon kuin talvella. Talvella pintamaan lämpötila laskee lämmönkeruupiiriin ja sään vaikutuksesta. Lämpötilan suurempi vaihtelu on siis vaakaputkiston heikkous verrattuna porakaivoon. Lämpöenergiaa ei saada niin hyvin pintamaasta vaihtelun takia. (3, s. 4–5.)

Maalämpökohteista noin 30 prosenttia tehdään maaperän pintakerrokseen asennettavalla vaakaputkistolla. Yleensä vaakaputkisto on edullisin vaihtoehto lämmönkeruuseen pientaloihin. Sanerauskohteisiin vaakaputkisto kuitenkin on tontin ulkonäön kannalta huono valinta, koska tonttia täytyy muokata ja kaivaa niin laajalta alueelta. Uudisrakennuksissa tontin kaivuu onnistuu aiheuttamatta ongelmia. Vaakaputkisto ei haittaa pihan myöhempää muuta käyttöä. (1; 3, s. 4–5.)

2.2.3 Vesistö

Lämpöä hyvin sitova vesi on myös yksi maalämmön lämmönlähde. Vesistöistä voidaan saada lämpöenergiaa yhtä paljon kuin esimerkiksi porakaivoistakin. Keruuputkistolle täytyy kuitenkin olla sopiva ranta, jotta putkiston asennus onnistuu. Veden syvyys täytyy olla vähintään kaksi metriä heti rannan lähellä. Asennussyvyyden tulisi kuitenkin mielellään olla yli kaksi metriä, että vesi liikkuu tarpeeksi vapaasti talvellakin putkiston ympärillä. Erityisesti virtaavissa vesistöissä täytyy tarkistaa, ettei veden lämpötila ole liian matala. Virtaavan veden lämpötila voi olla yllättävänkin matala. Putkisto ei saa jäätä kiinni jääpeitteeseen mahdollisten vaurioiden takia. (3, s. 5; 1.)

Vesistön käyttö lämmönlähteenä kannattaa huomioida yhtenä vaihtoehtona, jos vesistön etäisyys rakennuksesta on alle 50 metriä. Lisäksi pitää tarkastaa, ettei kaivuureitillä vesistöä rakennukseen ole vaikeaa maastoa eikä suuria korkeuseroja. Putkiston asennussyvyyden täytyy olla riittävä, ettei keruuputki ala jäädyttämään putken ympärillä olevaa vettä, jolloin hyötysuhde heikkenee. Vesistön jälkeen putkisto on eristettävä koko matkalta rakennukseen asti. Muuten lämpöä menetetään varsinkin jos meno- ja paluuputkisto ovat asennettu samaan kaivantoon. Lämmönkeruuputkisto täytyy ankkuroida vesistön pohjaan käyttäen painoja noin 3–5 metrin välein. Lisäksi putkisto kannattaa merkitä selvästi esimerkiksi veneiden ankkuroinnista aiheutuvien vaurioiden takia. Putkisto asennetaan veteen kuvan 5 mukaan ankkuroinnit ja merkinnät huomioiden. (9, s. 4–5; 3, s. 5.)



KUVA 5. Lämmönkeruuputkisto vesistössä (10)

Maaputkistoon verrattuna veteen asennetusta vastaavasta putkistosta saadaan hyödynnettyä suurempia energiamääriä ja tehoja. Tämä johtuu siitä, että vedellä on paremmat lämmönsiirto-ominaisuudet kuin maalla. Suunnittelussa on kuitenkin huomioitava, että vesistön lämpötila ei saa laskea kylmimpinäkään aikoina alle 1 °C:n. Lämpötilan laskiessa liian alhaiseksi saattaa putkien pintaan kertyä jäätä, jonka vuoksi putkistoon voi aiheutua noste. Nosteen takia putkisto nousee veden pinnalle. (3, s. 5.)

Yleensä vesistöön asennettava lämmönkeruuputkisto on pientaloon kustannuksiltaan vähän porakaivoasennusta halvempi mutta vaativampi tapa. Täytyy kuitenkin huomioida, että jokainen kohde on tapauskohtainen ja kustannukset eivät ole samanlaiset kaikissa kohteissa. Suuremmis- sa kohteissa vesistöasennus on kannattavampi, koska energiantarve on suurempi ja sen vuoksi vaativammat asennukset saadaan hyödynnettyä paremmin. Vesistöjen ja varsinkin jokien sovel- tuvuus lämmönlähteeksi kannattaa kysyä paikalliselta ympäristökeskukselta. Vesistöihin asennet- tavien lämmönkeruupiirien osuus on selvästi pienempi kuin porakaivojen ja maaperäisten vaaka- putkistojen. Vain noin 5 prosenttia vuosittaisista putkistoista asennetaan vesistöihin. (1.)

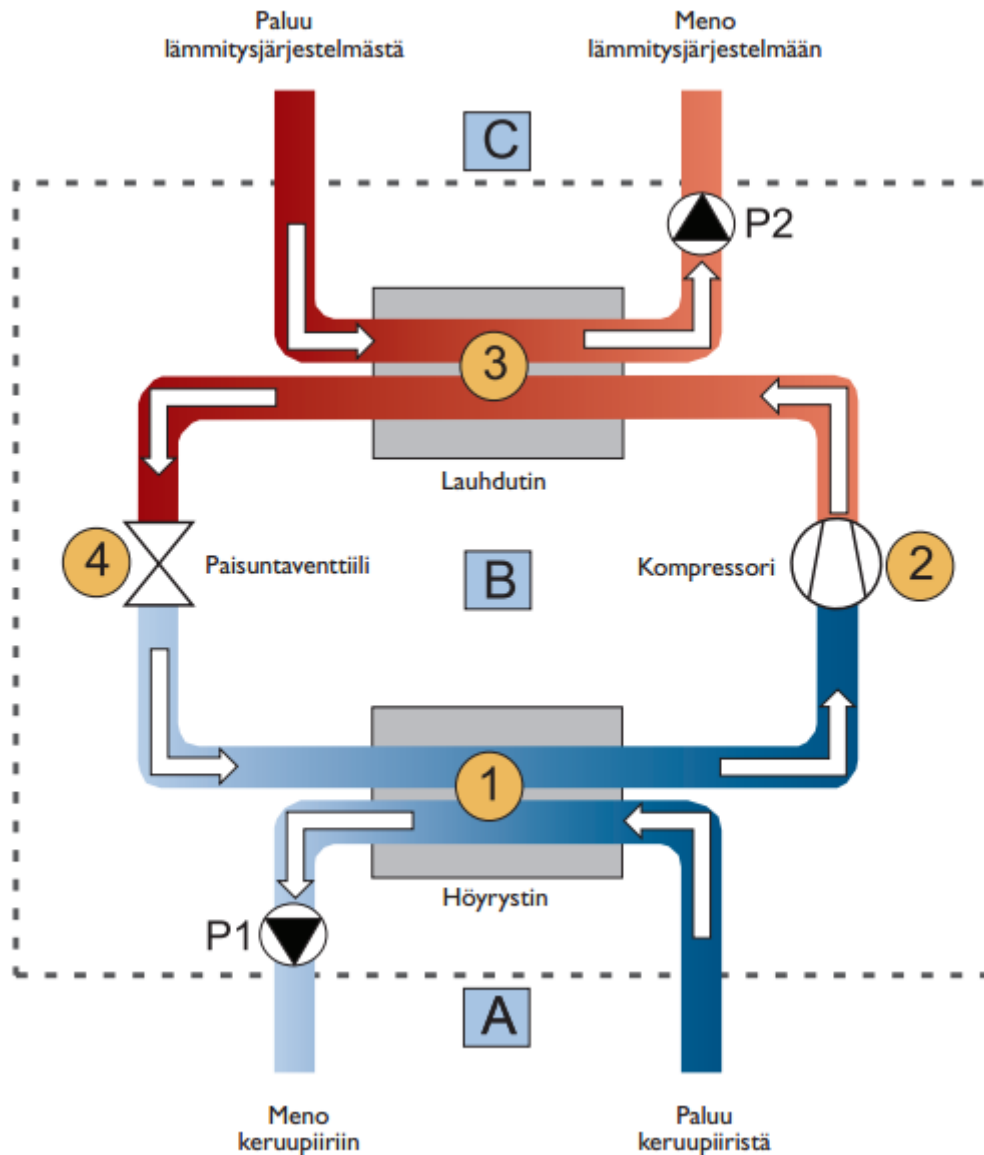
2.3 Maalämpöpumppu

Maalämpö kerätään lämmönlähteestä ja siirretään lämmitysverkostoon lämpöpumpun avulla. Maalämpöpumpun lisäksi järjestelmään kuuluvat lämminvesivaraaja ja lämmönkeruuputkisto. Lämmönkeruuputkiston sisällä kiertää vesi-etanoliliuos. Lämminvesivaraaja voi olla joissakin pumpuissa integroituna sen sisälle. Maalämpöpumppuun kuuluu pääkomponenttien lisäksi kylmäainepiiri ja mallista riippuen integroitu varaaja. Lämmönsiirtoon käytetään pumpuissa levylämmönsiirtimiä. Lämmönsiirtiminä toimivat höyrystin ja lauhdutin. Maalämpöpumppua voidaan käyttää myös rakennuksen tilojen viilennykseen. Se sijoitetaan yleensä tekniseen tilaan, mutta mahdollisesti myös kodinhoitohuoneeseen. (3, s. 3–4; 11, s. 4; 12.)

2.3.1 Toimintaperiaate

Lämpöpumpuissa toimintaperiaate on samanlainen kuin kylmälaitteissa. Lämpöpumppu siirtää lämmön viileämmästä lämpimämpään. Jääkaappi on yleisin sovellus tästä tekniikasta ja toiminnasta. Maalämpöpumpussa lämpö siirtyy lämmönlähteestä rakennuksen lämmitysjärjestelmään. Pääkomponentteja maalämpöpumpun toiminnassa ovat kompressori, lauhdutin, paisuntaventtiili, höyrystin sekä joissakin pumpuissa tulistin. (3, s. 2–3; 13, s. 225–226.)

Kuvassa 6 on esitetty maalämpöpumpun toimintaperiaatteen vaiheet. Ensimmäisessä vaiheessa lämmönkeruuneste kerää lämpöenergiaa ympäristöstään. Liuos lämpenee noin muutaman asteen kierron aikana. Lämmönkeruun jälkeen liuos menee lämpöpumpun höyrystimeen, jossa lämpö siirtyy keruuliuksesta pumpun kylmäaineeseen. Siirtyessään lämpö höyrystää kylmäaineen nesteestä kaasuksi. Ennen höyrystintä kylmäaineen lämpötila on noin -10 °C . (3, s. 3; 14; 15, s. 11.)



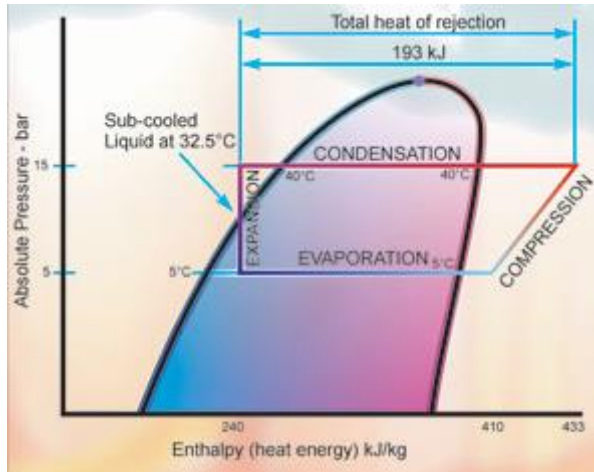
KUVA 6. Maalämpöpumpun toimintaperiaate ja rakenne (15, s. 11)

Seuraavaksi höyrystynyt kylmäaine johdetaan lämpöpumpussa kompressorille. Kompressori imee kylmäainehöyryä ja puristaa sitä pienempään tilavuuteen. Näin kylmäaineen paine nousee, minkä vuoksi sen lämpötila voi kohota sataankin asteeseen. (3, s. 3; 14; 15, s. 11.)

Puristuksen jälkeen kuuma ja paineistettu kylmäainehöyry menee lauhduttimeen. Lauhduttimessa tapahtuu lämpöenergian siirtyminen lämmitysverkoston. Rakennuksen lämmitysvesi jäädyttää kylmäainetta, ja se muuttuu takaisin nestemäiseksi. Kylmäaineesta lämpö siirtyy lämmitysveeten. Kylmäaine kulkee paisuntaventtiilin kautta ennen palautumista höyrystimelle ja uuden kierron alkua. Paisuntaventtiilissä kylmäaineen paine ja lämpötila laskevat. Lämpötila laskee takaisin

noin $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tämän jälkeen alkaa kylmäaineen uusi kierto höyrystimestä. Tulistinlämpöpumpuissa olevasta erillisestä lisälämmönsiirtimestä kerrotaan luvussa 2.3.2.2. (3, s. 3; 14; 15, s. 11.)

Kylmäaineen olomuoto muuttuu maalämpöpumpun prosessin aikana kaksi kertaa. Kuvassa 7 on esitetty paine-ominaisentalpiadiagrammissa kylmäaineen muutokset eri vaiheissa.



KUVA 7. Kylmäaineen kiertoprosessi p–h -diagrammissa (16)

Höyrystymisessä kylmäainehöyry muuttuu kosteasta kylläiseksi, kun se absorboi itseensä lämpöä. Seuraavaksi kompressorin puristuksessa paine ja lämpötila kasvavat. Muutos on isentrooppinen, eli entropia on vakio. Lauhtumisessa lämpötila laskee ja paine ei muutu, eli prosessi on isobaarinen. Tulistettu höyry muuttuu ensin kylläiseksi höyryksi ja siitä edelleen kosteaksi höyryksi ja nesteeksi. Viimeisessä vaiheessa eli paisunnassa paine ja lämpötila laskevat. Paisunta on isentalpinen prosessi eli ominaisentalpia pysyy vakiona.

2.3.2 Maalämpöpumppujen mallit

2.3.2.1 Vaihtuvan lauhdutuksen pumppu

Lämpöpumppuja on kehitetty eri malleja. Osa malleista lämmittää vuorotellen kahta eri vettä. Pumppu lämmittää siis vuoroittain käyttövedtä ja lämmitysvedtä. Varaaja on niin sanottu kaksoisvaippavaraaja, jonka ulommassa vaipassa on käyttöveden ja sisemmässä vaipassa lämmitysveden lämmitys. Näissä järjestelmissä käyttöveden lämmitys tehdään huonommalla lämpökertoimella verrattuna rakennuksen tilojen lämmitysveden lämmitykseen. Tämä johtuu siitä, että lauhduslämpötila käyttövedtä lämmitettäessä on yleensä korkeampi kuin lämmönjakoverkon vettä

lämmittettäessä. Ensisijaisena lämmitetään kuitenkin käyttövesi, jos se on mahdollista. Vuorottain lämmittävää pumppumallia käytetään sekä patteri- että lattialämmityskohteissa. (17; 3, s. 7.)

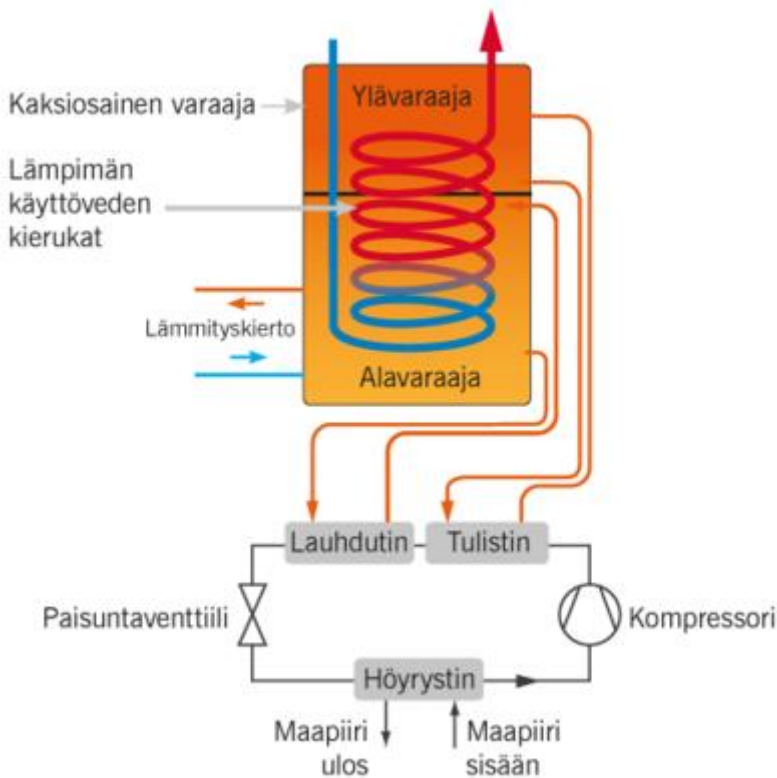
Lauhdutuspiirin kiertovettä lämmitetään eri lämpötiloihin. Lämpötilan määrittää se, lämmitetäänkö lämmitysvettä vai käyttövettä. Etuna vaihtuvalla lauhdutuksella on se, että lämmitysverkoston vettä lämmitettäessä lauhdutuslämpötila voi olla alhainen. Pumpun lämpökerroin on siis tiloja lämmitettäessä hyvä. Käyttöveden lämmitys on kuitenkin tärkeämpää kuin lämmitysverkoston veden. Käyttövesivaraajan veden lämpötilan laskiessa alhaiseksi sitä lämmitetään lauhduttimesta saatavalla noin 55-asteisella vedellä. Tässä tilanteessa lämmitysverkostoon ei mene lämpöä ollenkaan, koska tilojen lämmitys pystytään hetkellisesti katkaisemaan. Rakennuksen huoneiden lämpötila ei ehdi juurikaan laskea varaajan lämpötilan noston aikana. (3, s. 7.)

Kaksoisvaippavaraajien toiminnassa lämmin vesi kierrätetään eristetyn varaajan ulko-osan läpi. Käyttövesi, joka on varaajan sisemmässä osassa, lämpenee. Käyttöveden lämmitettyä riittävälle tasolle, se johdetaan suoraan verkostoon. Lämmitysveden lämpötila määrittyy tarpeen mukaan. Kun lämmönjakona on käytössä vesikiertoinen lattialämmitys, on verkoston veden lämpötila yleensä noin +25–35 °C ja korkeimmillaan +40 °C. Kun lämmitettävien vesien lämpötilat ovat riittävän korkealla tasolla, pumppu pysähtyy. Lämpimän käyttöveden lämpötila saadaan nostettua +55–60 °C:seen kompressorilla. Jos lämpötila täytyy saada korkeammaksi, tarvitaan lisäksi sähkövastus. Kun tiedetään, että lämmintä käyttövettä tarvitaan normaalia enemmän, voidaan sähkövastus laittaa päälle tarvittavaksi ajaksi käsikäytöllä. Sähkövastuksen käyttöä ei kuitenkaan tarvita normaalitilanteissa. (3, s. 7.)

2.3.2.2 Tulistinlämpöpumppu

Osa maalämpöpumpuista on malliltaan tulistinlämpöpumppuja. Tulistinlämpöpumpuissa on erillinen lämmönsiirrin, joka on kompressorin ja lauhduttimen välissä. Lämmönsiirtimessä siirretään kaikkein kuumimmillaan olevasta kylmäaineen höyrystä lämpöä käyttöveden lämmitystä varten. Tulistinlämpöpumpuissa on yleensä myös käyttövesikierukka ja tulistimella saatava lämpö käytetään hyödyksi käyttöveden jälkilämmityksessä. Käyttövesi ensin esilämmitetään lämmitysvaraajassa ja lopulliseen tasoon lämpötila nostetaan tulistinpiirissä. Lämmitysvaraaja on myös voitu jakaa ylä- ja alavaraajaan. Näissä tapauksissa alavaraajaan tulee lauhdutinpiirin vesi ja ylävaraajaan tulee tulistinpiirin kuumin vesi (kuva 8). Näin käyttöveden jälkilämmitys tapahtuu varaajassa kuuminta tulistinpiirin vettä hyödyntäen. (3, s. 7; 17; 18.)

Tulistinlämpöpumpuissa kaasumuodossa oleva kylmäaine jäähtyy tulistuslämmönsiirtimessä. Kylmäaineen jäähtyttyä, se menee lauhduttimeen. Kuvassa 8 on tulistinlämpöpumpun periaatekuva, jossa näkyy tulistimen ja lauhduttimen kohdat kylmäaineen kierrossa. Lauhduttimessa höyry muuttuu nesteeksi ja lämpöenergia siirtyy lämmitysvaraajaan. Kuumakaasulämmönsiirrin onkin toinen nimitys tulistinlämmönsiirtimelle. (3, s. 7.)



KUVA 8. Tulistinlämpöpumpun periaatekuva (18)

Tulistuslämpöpumpuilla saadaan parempi vuosilämpökerroin ja samanaikaisesti myös käyttövedelle korkea yli 70 °C:n lämpötila. Tulistuslämpöpumput sopivatkin normaalia lämpöpumppua paremmin kohteisiin, joissa on lattialämmitys. Patterijärjestelmissä on korkea lämpötila-alue, joka aiheuttaa ongelmia tulistinlämpöpumpuille. Lämmönjakoverkkoon menevän veden lämpötilan täytyisi olla vain hieman matalampi kuin lauhdutuslämpötilan. (3, s. 7; 17.)

Tulistinlämmönsiirtimissä lämmitysvaraaja voi olla joko erillinen tai suoraan integroitu lämpöpumpuun. Yleensä tulistinlämpöpumput mitoitetaan täysteholle. Osatehomitoituksia voidaan kuitenkin myös tehdä tälle pumppumallille. Etuna tulistinlämpöpumpulla on sen lauhdutuslämpötilan pysyminen alhaisena, kun lämmitystarve sen sallii. Tämä parantaa pumpun lämpökerrointa.

Lisäksi kuumaa käyttövedtä saadaan tuotettua tulistinlämpöpumpulla ilman sähkövastuksia. (3, s. 7.)

2.3.3 Lämmönkeruupiiri

Lämmönkeruupiiri on lämmönlähteeseen asennettava putkisto, jossa kiertää lähteen olosuhteissa jäätymätön liuos. Liuoksena käytetään yleensä vesi ja alkoholin sekoitusta, kuten esimerkiksi 30-prosenttista etanoliliuosta, joka jäätyy noin -17 °C :ssa. Putkisto on suljettu, eikä se aiheuta päästöjä maaperään. Liuos lämpenee putkiston kierron aikana noin muutaman asteen.

Lämpöpumppujen toimittajat laskevat kohteena olevan rakennuksen lämmöntarpeen. Sen jälkeen osa- tai täystehomitoituksen mukaan määritetään, kuinka laaja lämmönkeruupiirin on oltava riittävälle lämpöenergian saannille. Jos lämmönkeruupiiri tehdään mitoitusvirheen tai muun syyn vuoksi liian vahaaksi, loppuu maasta lämpö eikä se riitä rakennukselle. Tämän vuoksi rakennukseen tarvitaan lisäksi muu lämpöenergiaa tuottava vaihtoehto. Putkiston materiaalina on yleensä muovi, ja halkaisija putkistolla on 32–50 mm. (3, s. 4; 1; 19, s. 15–16.)

2.3.4 Pumpun ja lämmönkeruupiirin tehomitoitus

Maalämpöpumppuja voidaan mitoittaa rakennuksille kahdella tavalla. Täys- ja osatehomitoitukset soveltuvat molemmat hyvin pientalojen lämmitysjärjestelmiksi. Jokainen järjestelmä ja energiantuotannon mitoitus tehdään tapauskohtaisesti. (3, s. 5.)

Täystehomitoituksessa rakennuksen kaikki tarvitsema lämpöenergia tuotetaan maalämpöpumpun avulla. Sekä rakennuksen tilojen että lämpimän käyttöveden lämmitys tapahtuu kokonaan pumpun tuottamalla lämmöllä kovillakin talvipakkasilla. Tässä työssä tutkittavan kohteen lämpöpumppu on mitoitettu täystehomitoituksella. (3, s. 5.)

Osatehomitoituksessa maalämpöpumppu tuottaa kovalla pakkasilmalla noin 60–80 % mitoituksesta, joka määräytyy rakennuksen vaatiman lämmön mukaan. Lämpöpumppu tuottaa kuitenkin vuoden aikana noin 95 % rakennuksen tarvitsemasta lämmöstä. Ideana on tuottaa maalämmöllä lähes kaikki lämpöenergia, mutta ääriolosuhteissa käyttää toista lämmöntuotantoa apuna riittävään määrään. Tarkoituksena on tehdä pumpulle optimimitoitus, jossa maalämpöpumpun hyötysuhde on parempi. Pumpussa oleva pienempi kompressori ei tarvitse niin paljon sähköenergiaa kuin täystehomitoituksen kompressori. Optimimitoitukseen kuitenkin vaikuttaa tapauskohtaisesti lämpöpumpun hinnan suhde sen tehoon ja lisäksi myös sähkön hinnalla on vaikutusta. Yleensä

toisena lämmöntuotantoratkaisuna on varaajan sähkövastus. Sähkövastus kytkeytyy päälle, kun lämpöpumppu ei tuota riittävää energiamäärää kylmän ulkoilman vuoksi. (3, s. 5.)

Maalämpöjärjestelmän toimivuuden kannalta lämmönkeruupiirin mitoitus on yhtä tärkeää kuin lämpöpumpunkin. Mitoitus tehdään rakennuksen vuotuisen lämmityksen ja käyttöveden vaatiman energiamäärän mukaan. Kun lämmönkeruupiiri mitoitetaan reilusti riittäväksi, se maksaa sijoitus-
kulut takaisin jonkin verran paremman lämpökertoimen ansiosta nopeammin. Maaperään asennettavassa vaakaputkistossa maaperän kosteusmäärä vaikuttaa paljon lämmönkeruupiirin mitoitukseen. Porakaivoissa ja vesistöissä olevien keruuputkistojen mitoitukseen vaikuttaa vesivirtauksen määrä. Vesivirtaukset parantavat keruupiirin tehoa huomattavasti. Lämmönkeruupiirin mitoitukseen lämpöpumpun tehomitoituksella ei ole suurta vaikutusta. (3, s. 4; 1.)

2.3.5 Lämpökerroin

Lämpöpumppu tarvitsee toimiakseen sähköä, mutta sen tuottama energiamäärä on suurempi kuin kuluttama. Lämpökertoimella ilmoitetaan pumpun toiminnan tehokkuus. Lämpökertoimella on lyhenne COP, joka tulee englannin kielen sanoista Capacity Of Performance. Pumpun COP-luku ilmoittaa, kuinka monikertaisena se tuottaa lämpöenergiaa suhteessa kuluttamaansa sähköenergiaan. Pumpun kuluttama energia menee kompressorin toimintaan lähes kokonaan, kun se nostaa kylmäaineen lämpötilan. Lämpökertoimesta puhuttaessa täytyy varmistaa, onko kyseessä koko lämpöpumpun vai vain kompressorin lämpökerroin. Lisäksi on tärkeää, missä olosuhteissa lämpökertoimen arvo on ilmoitettu. Energiatase lämpöpumppuprosessissa voidaan laskea kaavan 1 mukaan. (2, s. 30; 20, s. 113–114; 13, s. 224–225.)

$$Q_{pumppu} = Q_{lähde} + W - Q_{häviöt} \quad \text{KAAVA 1}$$

Q_{pumppu} = pumpun tuottama energia [J]

$Q_{lähde}$ = lämmönlähteestä saatu lämpöenergia [J]

W = pumpun kuluttama sähköenergia [J]

$Q_{häviöt}$ = pumpun energiahäviöt [J]

Laskuissa lämpökerrointa COP merkitään ε -merkillä. Teoreettinen lämpökerroin ε_{teor} , jossa ei huomioida lämpöhäviöitä, lasketaan kaavalla 2.

$$\varepsilon_{teor} = \frac{Q_{pumppu}}{Q_{pumppu} - Q_{lähde}} = \frac{T_{anto}}{T_{anto} - T_{otto}} \quad \text{KAAVA 2}$$

Q_{pumppu} = pumpun tuottama energia [J]

$Q_{lähde}$ = lämmönlähteestä saatu lämpöenergia [J]

T_{anto} = varaajaan menevän veden lämpötila [K]

T_{otto} = lämmönlähteen lämpötila [K]

Tällä laskutavalla lämpökertoimista saadaan kuitenkin liian hyviä arvoja, koska laskussa oletetaan lämpöpumpun laitteiden, kuten kompressorin hyötysuhteeksi 100 %. Todellisuudessa lämpöpumpun kompressori sekä muut laitteet kuluttavat sähköä ja aiheuttavat häviöitä huonontaen lämpökerrointa. Lisäksi laskennallista lämpökerrointa alentaa myös käytettyjen lämpötilojen mitauskohdat. Laskelmissa tulisi käyttää keruulämpötilana heti paisuntaventtiilin jälkeistä kylmäaineen lämpötilaa, koska se on alhaisempi kuin kauempana keruuputkistossa. Luovutuslämpötilana tulisi käyttää heti kompressorin jälkeistä, joka on korkeampi kuin käyttöön saatu lämpö. Näistä syistä johtuen todellinen lämpökerroin on teoreettista kerrointa pienempi. (2, s. 30; 19, s. 16–19; 20, s.113–114.)

Lämmönlähteen lämpötila T_{otto} on ideaalisessa tilanteessa sama höyrystymislämpötilan T_h kanssa. Lauhtumislämpötila T_l on sama kuin lämmönluovutuslämpötila T_{anto} . Todellisen lämpökertoimen laskennassa on otettava huomioon häviöt, jotka aiheuttavat eroja lämpötiloihin pienentäen lämpökerrointa. Höyrystymislämpötila on noin 5–10 K vähemmän kuin lämmönlähteen lämpötila on. Lauhtumislämpötila on korkeampi lämmönluovutuslämpötilaan verrattuna. Todellinen lämpökerroin, jossa on huomioitu häviöt lasketaan kaavalla 3. (19, s. 16–19; 20, s.113–114.)

$$\varepsilon = \eta_c \cdot \frac{T_l}{T_l - T_h}$$

KAAVA 3

η_c = Carnot-hyötysuhde, arvo on noin 0,45–0,55

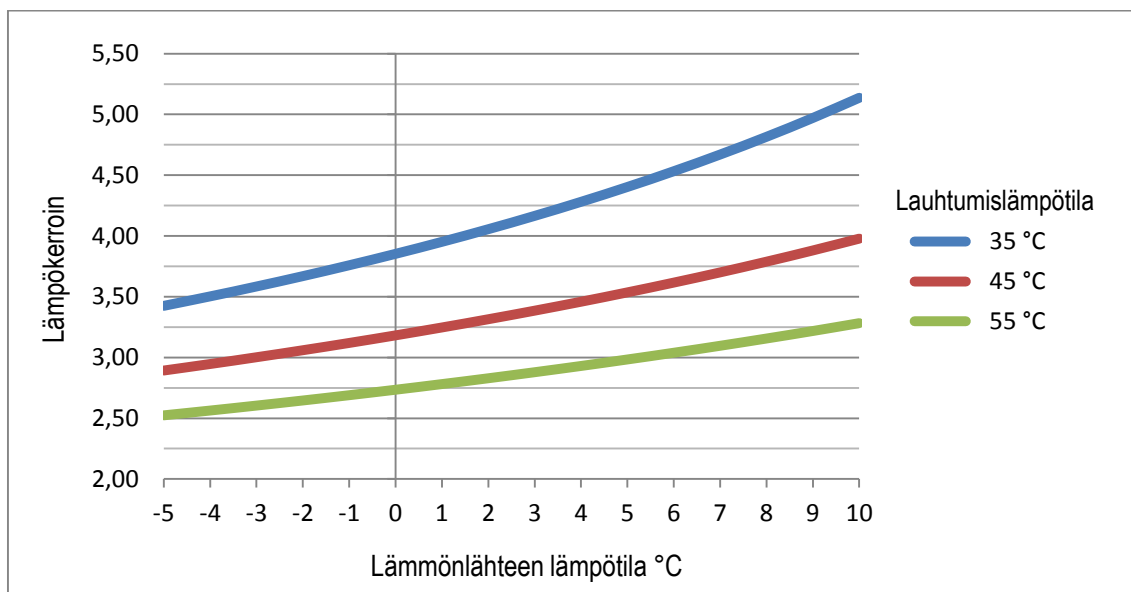
T_l = lauhtumislämpötila [K]

T_h = höyrystymislämpötila [K]

Lämpöpumppu toimii tehokkaammin, kun lauhtumislämpötila on alhainen ja höyrystymislämpötila on korkea. Kun lauhtumis- ja höyrystymislämpötilojen ero on siis pienempi, toimii pumppu paremmalla hyötysuhteella. Lämmönlähteen lämpötilaan ei voida vaikuttaa, mutta tärkeää olisi pitää rakennuksen luovutuslämpötila mahdollisimman alhaisena. Lämmönjakojärjestelmä vaikuttaa lauhtumislämpötilaan. Lauhtumislämpötila on yleensä vesikiertoisella lattialämmityksellä 35 °C, vesikiertoisella patterilämmityksellä 55 °C ja ilmalämmityksellä 45 °C. Lämpöpumpun toiminnan

kannalta paras vaihtoehto on siis alhaisimman lauhtumislämpötilan omaava järjestelmä eli vesikiertoinen lattialämmitys. (19, s. 17–18; 2, s. 30–31.)

Höyrystyslämpötilaan vaikuttaa lämmönlähteen lämpötila. Lämpökerroin paranee pumpulla, kun lämmönlähteestä saatava lämpötila on suurempi. Kaavalla 3 voidaan laskea tietyillä lauhtumislämpötiloilla saatavat lämpökertoimet höyrystyslämpötilan muuttuessa. Kuvassa 9 on esitetty eri lauhtumislämpötilojen kuvaajat lämpökertoimen muuttumisesta lämmönlähteen lämpötilan vaihtuessa. Laskuissa Carnot-hyötysuhde on 0,5 ja lämmönlähteen lämpötila 5 K korkeampi kuin höyrystyslämpötila. (19.)



KUVA 9. Lämpökertoimen muuttuminen lauhtumis- ja lämmönlähteen lämpötilan mukaan (19)

Lämmönlähteen lämpötilaolot muuttuvat vuodenajan mukaan. Tämän vuoksi maalämpöpumpuille ilmoitetaan lämpökertoimen keskiarvo vuoden ajalle eli vuosilämpökerroin. Lyhenteenä vuosilämpökertoimella on SPF, joka tulee englannin kielen sanoista season performance factor. Suomessa yleinen vuosilämpökerroin lämpöpumpuilla on noin kolme. Siihen vaikuttavat paikkakunta, lämmönlähde ja lämmönjakojärjestelmä. (19, s.18–19.)

3 TUTKIMUSKOHDE

Tutkimuskohteena tässä työssä on kaksiosainen omakotitalo. Rakennukseen on tehty lämmitysmuodon muutos liian suurien lämmityskulujen ja vanhentuneiden järjestelmän osien vuoksi.

3.1 Kohderakennus

Kohderakennus koostuu kahdesta omakotitalon osasta. Ensimmäinen ja vanhempi puoli rakennuksesta on rakennettu vuonna 1963. Sen tilavuus on 100 m³ ja asuinpinta-ala 44 m². Lisäksi vanhan puolen rakennuksessa on kellarikerros, jossa on kattilahuone, työtila, suihkutilat ja varastohuone. Kellarikerroksen pinta-ala on sama kuin asuinpinta-ala. Tilavuus on 80 m³. Toinen ja uudempi puoli rakennuksesta on rakennettu vuonna 1985. Uusi puoli on rakennettu vanhan yhteyteen, joten kyseessä on paritalo. Uudemman puolen tilavuus on 238 m³ ja asuinpinta-ala on 95 m². Tässä työssä rakennuksen vanhaa puolta kutsutaan jatkossa asunto 1:ksi ja uudempaa puolta asunto 2:ksi.

3.2 Lämmitysmuodon muutos

Lämmitysmuodon muutos tehtiin kohteeseen vaiheittain. Tämä johtui siitä, että rakennuksessa oli molemmilla puolilla oma lämmitysjärjestelmä. Asunto 1:n lämmitysjärjestelmänä oli varaava sähkölämmitys vesikiertoisilla pattereilla. Asunto 2:ssa oli käytössä suora sähkölämmitys pattereilla ja lisäksi varaava takka. Ennen järjestelmän muutosta takalla lämmitettiin asuntoa paljon.

Maalämpöjärjestelmää suunniteltaessa ajatuksena oli rakennuksen molempien puolien liittäminen samaan maalämpöjärjestelmään. Asunto 1:ssä oli jo valmiiksi vesikiertoinen patterilämmitys, joka helpotti taloudellisesti ja aikataulullisesti muutosta. Asunto 2:een täytyi tehdä vesikiertoinen patteri- ja putkiremontti sekä vanhan sähkölämmityksen purkutyöt maalämpöjärjestelmän asennuksen lisäksi.

Koko järjestelmän suunnittelussa päädyttiin ratkaisuun, jossa maalämpöä tuotetaan koko rakennukselle ja lämmönlähteenä käytetään porakaivoa. Lämmitysmuodon vaihto tehtiin suunnitellusti osissa. Maalämpöjärjestelmä tehtiin ensin vain asunto 1:lle kuitenkin niin, että porakaivo ja lämpöpumppu mitoitettiin koko rakennukselle. Asunto 2:n patteri- ja putkiremontti tehtiin kaksi vuotta myöhemmin, minkä jälkeen maalämpöjärjestelmä liitettiin myös asunto 2:een. Kahden ensimmäisen vuoden ajan maalämpöjärjestelmä oli siis käytössä vain asunto 1:ssä ylimitoitettuna. Asunto

1:ssa maalämpöjärjestelmä otettiin käyttöön 19. päivä kesäkuussa 2011 ja asunto 2:ssa 16. päivä kesäkuussa 2013.

3.3 Kohteen maalämpöjärjestelmä

Maalämpöjärjestelmän lämmönlähteeksi päädyttiin valitsemaan porakaivo huolimatta sen suurista investointikustannuksista. Vaakaputkiston asennus tontille olisi tarkoittanut koko pihan kaivamista ja tähän ei haluttu ryhtyä. Porakaivo mitoitettiin koko rakennukselle ja syvyydeksi sille tuli 200 metriä. Vanha 1500 litran tilavuuden lämminvesivaraaja vaihdettiin, koska sen koko oli liian suuri. Uuden varaajan tilavuudeksi valittiin 600 litraa. Vanha varaaja ei olisi toiminut maalämpöjärjestelmän kanssa hyvin, koska liian suuren koon vuoksi vesi ei olisi kiertänyt verkostossa tehokkaasti ja varaaja olisi hukannut lämpöä.

Maalämpöjärjestelmä on mitoitettu täystehoiseksi rakennukselle. Tarkoituksena on, että maalämmöllä saadaan tuotettua riittävästi lämpöä lämmitysverkostolle ja käyttövedelle myös kovilla pakkasilla. Lisäksi lämminvesivaraajaan on asennettu sähkölämmityselementti siltä varalta, että maalämpöpumppuun tulee toimintahäiriö. Lämmitysjärjestelmässä on lisäksi hakekattila ja kiertovesipumppu vara- ja lisälämmitysjärjestelmänä.

Lämpöpumpuksi valittiin vertailun perusteella Oilonin valmistama Geopro GT 11. Lisäksi lämminvesivaraajaksi valittiin Oilon Geopro Geo600. Muita järjestelmän komponentteja ovat 9 kW:n lämpöpäroni Oilon VB 9001, lämpimän käyttöveden kiertovesipumppu Grundfos Alpha 2, lämmitysverkoston kaksi Grundfos Comfort PM -pumppua, Esbe Ara651 -moottoriventtiili sekä Reflexin kaksi 50 litran paisuntasäiliötä.

Kohderakennuksen järjestelmä on ollut käytössä hieman yli 4,5 vuotta, ja ensimmäiset huoltotarpeet tulivat juuri tätä työtä tehtäessä. Järjestelmän lämmönkeruuaineen paluulämpötilan anturi meni rikki ja lämpöpumppu ilmoitti virhetilasta. Lisäksi 4-tieventtiilin moottori oli rikkoontunut. Molemmat osat vaihdettiin, laitteiston huolto onnistui ja järjestelmä saatiin taas käyntiin.

3.3.1 Lämpöpumppu Oilon Geopro GT 11

Järjestelmän lämpöpumppuna on Geopro GT 11 -malli. Tässä mallissa ei ole tulistinta kompressorin ja lauhtuttimen välissä. Pumpun lämmitysteho on 11 kW ja kompressorin ottoteho 2,4 kW. Lämpöä maasta saadaan siis 8,6 kW. COP-luvuksi ohjeessa ilmoitetaan 3,6 lauhtumislämpötilan ollessa 45 °C. Jos lauhtumislämpötila olisi 35 °C, olisi COP-luku 4,5. Kyseisessä järjestelmässä

on patterilämmitys, joten lauhtumislämpötila on kuitenkin 45–55 °C. Kylmäaineena pumpussa on käytössä R407C. Maapiirin putkistot ja lauhtuttimen vesiputkistot ovat halkaisijaltaan 28 mm. Käyttöveden maksimilämpötilaksi on määritetty 60 °C. Pumpun mitat ovat syvyys 700 mm, leveys 600 mm ja korkeus 1450 mm (kuva 10). Koko ei siis ole suuri, joten se voidaan asentaa pienempiinkin tiloihin. Tilalle on kuitenkin määritetty vaadittavat minimimitat ja varoetäisyydet. Geopro GT -malli sopii sekä saneerauskohteisiin että uudisrakennuksiin. (21; 22.)



KUVA 10. Maalämpöpumppu Oilon Geopro GT 11 asennettuna lämmönjakotiloihin

Geopro GT-pumpussa on ohjausautomaatiikka ja sitä on helppo käyttää. Asunnon lämmityksestä ei tarvitse huolehtia, koska automaatiikka säätelee lämmitystä ulkolämpötilan ja käyttöveden kuluksen mukaan. Lämpöpumppuun on mahdollista myös yhdistää muita lämmönlähteitä, kuten aurinkolämpökeräimiä. Automaatiikan avulla pumppu hyödyntää edullisinta mahdollista käytössä olevaa lämmönlähdettä. Lisäksi pumppuun on mahdollista hankkia lisävarusteena kauko-ohjain, jolla voi esimerkiksi muuttaa huonelämpötilan asetusarvoa tai kytkeä automaattikäytön päälle. (22.)

3.3.2 Lämpöparoni Oilon VB 9001

Lämpöparoniksi valittiin Oilonin VB 9001 -malli (kuva 11). Malli on kaksiportainen ja yhteisteholtaan 9 kW. Siinä on kaksi kappaletta 4,5 kW:n sähkövastuksia ja kokonaisteho kytkeytyy tarpeen mukaan kaksiportaisena. Lämpöparoni-sähkölämmityselementtiin kuuluvat R2"-kierreyhde, sähkövastus ja ohjauskeskus. Sähkövastus ja ohjauskeskus on asennettu kierreyhteeseen. Ohjauskeskuksessa on pääkytkin, rajoitintermostaatti mahdollisen ylikuumentumisen estämiseksi ja kaksi merkkivaloa. Merkkivalot ilmoittavat, ovatko sähkövastukset päällä. Lisäksi lämpöparonissa on säätökytkin, jolla voidaan säätää vedenlämmityksen raja-arvo. Kun varaajan veden lämpötila laskee alle asetusarvon, lämpöparoni käynnistyy. (23.)

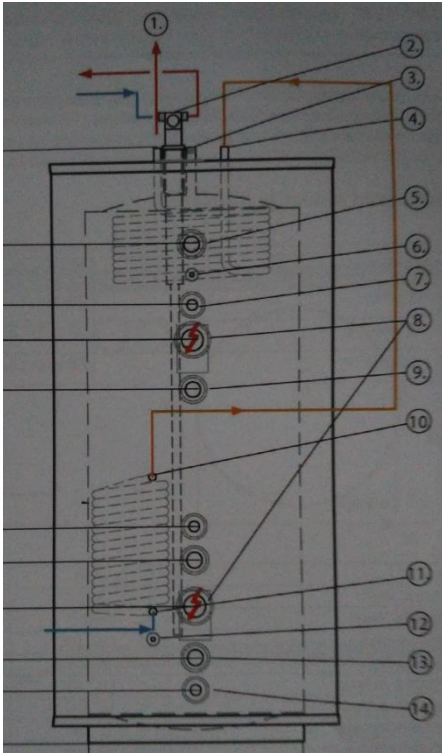


KUVA 11. Oilon VB9001 lämpöparoni

3.3.3 Lämminvesivaraaja ja kiertovesipumput

Lämminvesivaraajana on käytössä Oilonin 600 litran tilavuuden Geo-malli. Kuvassa 12 on varaajan poikkileikkaus, josta näkyy lämpimän käyttöveden kierukat ja niiden sisään- ja ulostulot. Käyttövesi menee ensin varaajan alaosaan, jossa se esilämmitetään. Esilämmityksen jälkeen käyttövesi tulee ulos varaajasta, minkä jälkeen se menee varaajan päältä sisään takaisin yläosaan toiseen kierukkaan. Lämpötila on korkeampi varaajan yläosassa kuin alhaalla. Kaksivaiheisen käyttöveden lämmityksen avulla vesi saadaan tehokkaammin riittävän lämpimäksi. Varaajaan

vesi kulkee sisään maalämpöpumpulta kuvan kohdasta 5. Ulos maalämpöpumpulle vesi menee kohdasta 13. Patterikiertoon vesi lähtee kohdasta 7 ja palaa takaisin varaajan alaosaan.



KUVA 12. Lämminvesivaraajan leikkauskuva

Lämminvesiverkoston kiertovesipumppuina järjestelmässä on käytössä Grundfosin Comfort PM -pumput. Molempien asuntojen verkostoilla on oma pumppu. Lämpimän käyttöveden kierrolle on käytössä Grundfos Alpha2 L -pumppu. Pumput on suunniteltu veden kierrättämiseen rakennusten käyttövesi- ja lämminvesijärjestelmissä. Ne ovat energiatehokkaita ja valmistukseen on käytetty korkealuokkaisia materiaaleja. Comfor PM -mallin energiankulutus on vain 8 W. Alpha2 L -pumpun voi myös kytkeä kesätilaan, jolloin energiankulutus pienenee entisestään.

4 MITTAUKSET

Lämpöpumpun toiminnan analysointia ja tutkimista varten tehtiin mittauksia. Mittauksia tehtiin lämpöpumpun energiankulutuksesta, ulkolämpötilasta, lämmönkeruuaineen tulo- ja paluulämpötiloista, lämminvesivaraajan tulo- ja paluulämpötiloista sekä sisälämpötiloista rakennuksen useassa huoneessa.

4.1 Mittaustoimenpiteet

Mittaustoimenpiteitä varten lämpöpumppuun asennettiin kiinteä energiankulutusmittari. Lämpötilojen mittaustoimenpiteet tehtiin mittaustiedot tallentavilla mittareilla, joiden mitta-anturit asennettiin vesi- ja lämmönkeruuputkien pintaan eristeiden alle. Sisälämpötilan mittaukset tehtiin huoneen keskiosasta noin metrin korkeudesta.

Mittausjakson ajalle lämpöpumppu sammutettiin, jotta saatiin mitattua veden lämmitykseen kuluvaa energiankulutus, kun käytettiin sähkölämmitystä. Tämä tehtiin mittaamalla sähköanalyysointilaitteen varaajan lämpöparonin kuluttama sähkö. Tarkoituksena on verrata sähkönkulutusta lämpöpumpun kanssa ja ilman sitä, kun keskilämpötila on mittausjakson aikana sama.

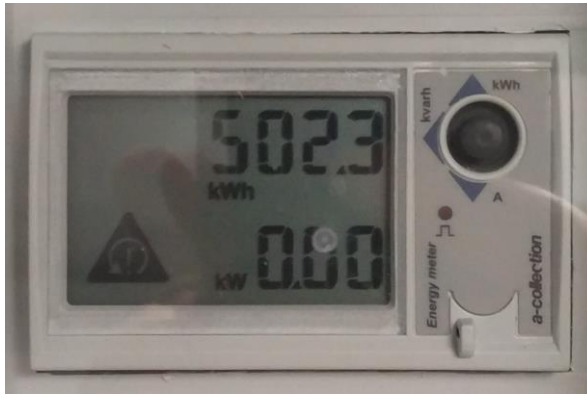
4.2 Käytetyt mittalaitteet

4.2.1 Lämpöpumpun energiamittari A-Collection EM23 DIN

Lämpöpumppuun asennettiin sähkömittari mittauksia varten. Mittarina käytettiin A-Collectionin EM23 DIN -3-vaihe-energiamittaria, joka ei tarvitse ohjelmointia. Mittari soveltuu energianmittaukseen sähkön kulutuksesta teollisuuteen tai myös asuntoihin. (24.)

Mittarilla voidaan mitata energiankulutuksen (kWh) lisäksi hetkellistä käytettävää tehoa (kW) ja virtaa vaihetta kohden (A). Mittarissa näkyy myös symbolilla, jos kytketty vaihejärjestys on väärä. Laitte ei tarvitse ulkoista virtamuuntajaa. (24.)

Käyttöliittymä on yksinkertainen. Mittarissa on vain yksi vipupainike, jota kääntämällä eri suuntiin näytön asetus muuttuu kolmen annetun tiedon välillä (kuva 13).



KUVA 13. A-Collection energiamittarilla mitattiin lämpöpumpun kuluttama sähköenergia

4.2.2 Lämpöparonin sähköanalysaattori Fluke 434

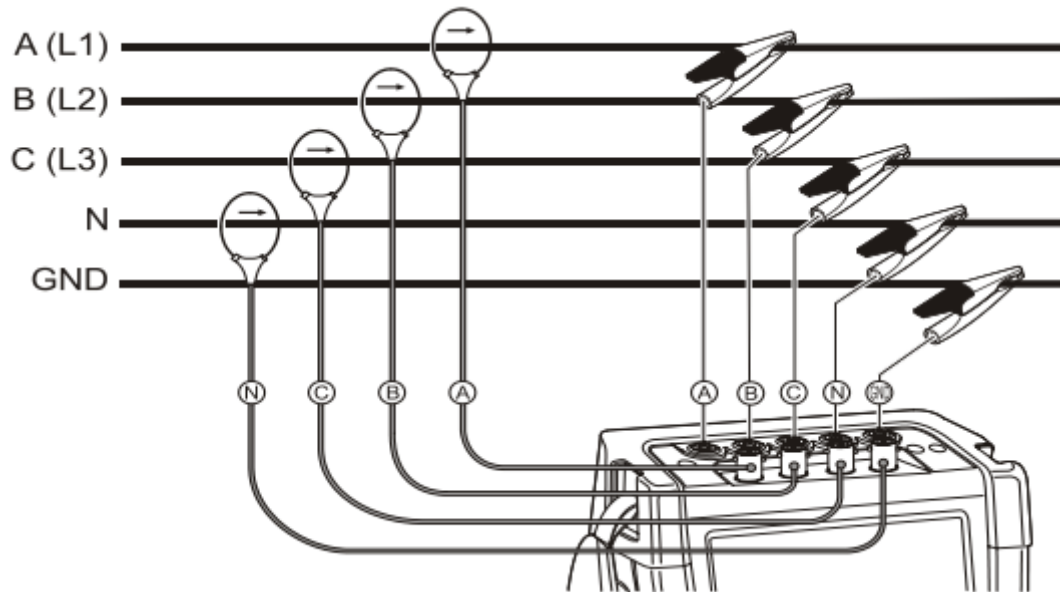
Lämpöparonin sähkönkulutuksen mittaukseen käytettiin Fluken valmistamaa 3-vaiheista energia- ja sähkönlaatuanalysaattoria Fluke 434:ää. Kuvassa 14 on mittalaite kytkettynä ja toiminnassa. Laitetta voidaan käyttää moneen eri tarkoitukseen energian tiedonkeruussa. Analysaattorissa on esimerkiksi laskuri, jolla voidaan laskea huonon sähkönlaadun aiheuttamat kustannukset.



KUVA 14. Sähköanalysaattori mittaa lämpöparonin kuluttamaa sähköä.

Laitteen käyttöliittymä on helppokäyttöinen, ja sillä on myös mahdollista tallentaa mittaustulokset sekä siirtää mittausdatat, trendit ja näytönkopiot Power Log -ohjelmiston avulla analysoitavaksi tietokoneelle. (25.; 26, s. 25–4.)

Analysaattori kytkettiin lämpöparoniin ohjeiden mukaisesti. Kuvassa 15 on esitetty analysaattorin kytkentä 3-vaihejärjestelmään.



KUVA 15. Fluke 434 sähköanalysaattorin kytkentä 3-vaihejärjestelmään (26)

4.2.3 Kimo Kistock -dataloggerit

Lämpötilojen mittaamiseen käytettiin Kimo Kistock -loggereita, joita oli käytössä kahta eri mallia. Mallit olivat Kimo Kistock KT 110 ja KT 220. Eroa malleilla oli se, että KT 220 -mallilla pystyttiin mittaamaan samaan aikaan yhteensä neljää eri anturia käyttäen. KT 110 -mallissa antureita oli vain yksi.

Loggerin rakenne ja käyttöliittymä ovat erittäin yksinkertaisia, ja painikkeita ei ole kuin kaksi kappaletta. OK-painikkeella mittaus käynnistetään ja lopetetaan sekä toisella painikkeella voidaan vaihtaa näytössä näkyvää arvoa (kuva 16). Loggerin alaosan liittimiin asetetaan haluttu määrä mittausantureita.



KUVA 16. Kimo Kistock KT 210 -dataloggeri mittaa varaajan meno- ja paluulämpötiloja

Loggereiden käyttö on helppoa ja yksinkertaista. Jokainen loggeri konfiguroitiin ennen mittauksia käyttäen tietokoneelle asennettua ohjelmistoa Kimo Kilog Kistock 4.6.1. Ohjelma käynnistettiin ja loggeri liitettiin tietokoneeseen USB-liitintä käyttäen. Konfiguroinnissa loggerille tehtiin asetukset, mitä mitataan ja millä aikavälillä. Asetustiedot siirrettiin loggerille, minkä jälkeen se asetettiin haluttuun mittauspaikkaan. Mittausten aloitus voidaan säätää myös asetuksista. Aloitus voidaan ajastaa tai asettaa käsinohjattavaksi.

4.3 Mittaustulokset

Lämpötilojen mittauksia tehtiin 21.1.2016–11.2.2016. Lämpöpumpun sähkönmittaus aloitettiin 27.1.2016 klo 12.00 mittarin asennuksen jälkeen. Lämpötilojen tiedot saatiin automaattisesti Kimon ohjelmiston avulla, mutta lämpöpumpun ja lämpöparonin sähkönkulutustiedot täytyi lukea mittareista ja kirjata ylös.

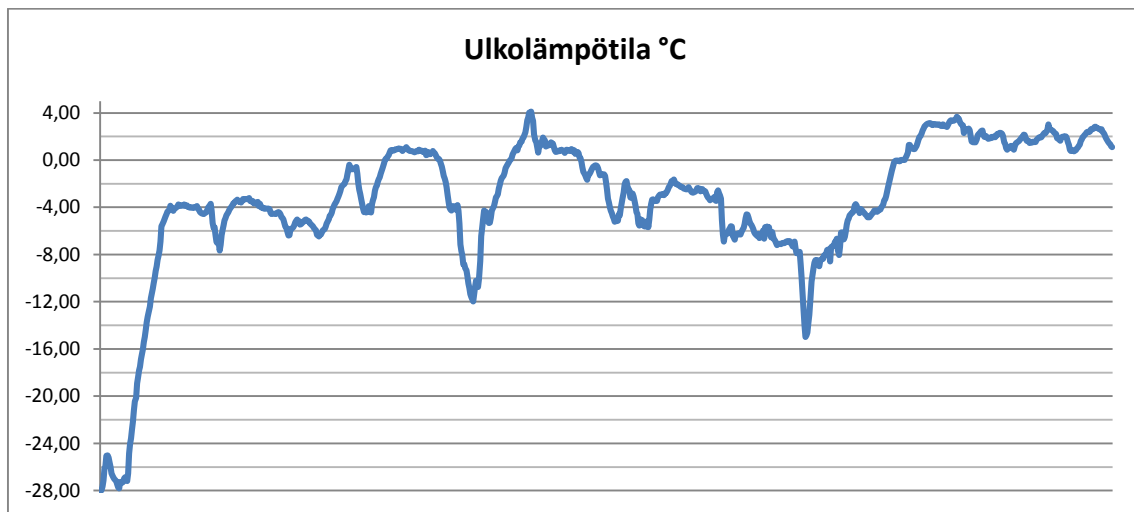
Mittaukset onnistuivat hyvin, mutta myös joitakin ongelmia oli. Lämpöparonin sähkönkulutuksen mittauksessa tuli ongelma, josta kerrotaan luvussa 4.3.3. Lisäksi lämpötilojen mittauksessa osa ulko- ja sisätilojen antureista ei toiminut koko mittauksen ajan. Tästä syystä loggereiden mittaustuloksissa oli joitakin mittausaikoja, jolloin anturi ei antanut arvoa ollenkaan. Mittaustiedot siirrettiin Excel-taulukkoon ja tuloksista poistettiin mittauspisteet, missä anturit eivät antaneet lämpötila-

tietoja. Kimo Kilog -ohjelmiston avulla saadut mittaustietojen käyrät ovat liitteessä 1, joista näkee hyvin antureiden mittauskatkot.

4.3.1 Ulko- ja sisätilojen sekä lämmönkeruunesteen lämpötilat

Mittausjaksolla pyrittiin siihen, että saataisiin mahdollisimman kylmän ulkolämpötilan mukaiset mittaustulokset ja niiden avulla laskettua lämpöpumpun ja järjestelmän toiminnan kannalta tärkeitä tietoja. Mittausjakso saatiinkin aloitettua juuri, kun kylmä pakkasjakso oli meneillään. Lämpötilamittaukset on otettu 30 minuutin välein.

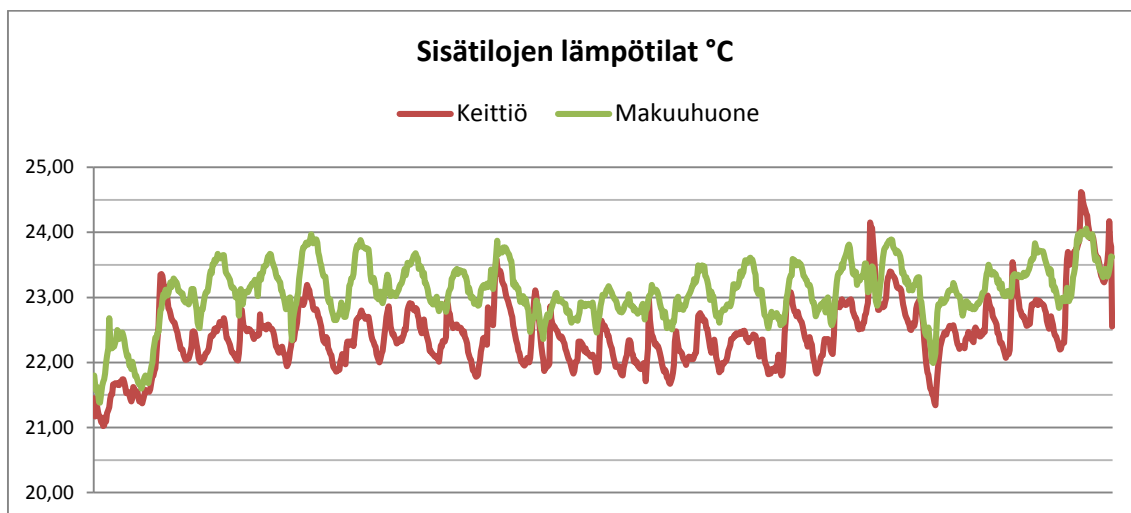
Ulkolämpötila vaihteli koko mittausjakson aikana välillä $-28,05 - +4,10$ °C. Keskiarvolämpötilaksi saatiin $-3,43$ °C. Kuvassa 17 näkyy ulkolämpötilan vaihtelu mittausjakson aikana. Kylmä pakkasjakso kesti mittausten aikana vain yhden vuorokauden.



KUVA 17. Ulkolämpötilan vaihtelu mittausjakson aikana

Matalin ulkolämpötila $T_{u,min}$ oli mittausjakson alussa $-28,05$ °C. Kylmimmän vuorokauden keskilämpötila oli $-23,71$ °C. Kyseisen vuorokauden ajalta on tutkittu lämpöpumpun tehon riittävyyttä luvussa 5.2.

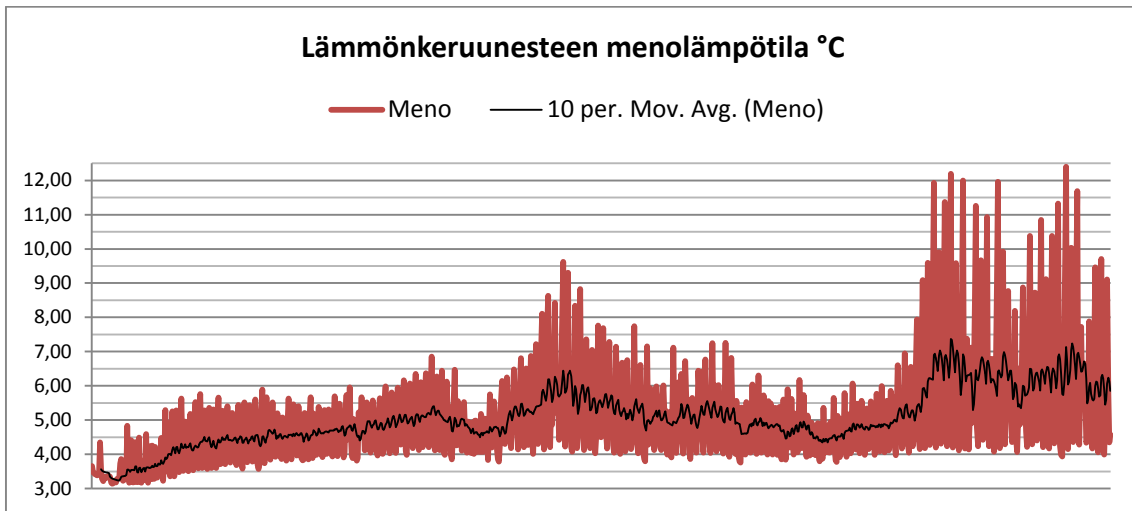
Sisälämpötilojen mittaukset tehtiin samalla tavalla ja samaan aikaan kuin ulkoilmankin. Sisätilojen lämpötilamuutokset näkyvät kuvassa 18. Keittiön lämpötila vaihteli välillä $21,02-25,56$ °C. Keskiarvoksi keittiön lämpötilalle saatiin $22,45$ °C. Makuuhuoneen lämpötila vaihteli välillä $21,38-24,06$ °C ja keskiarvo oli $23,08$ °C. Sisätilojen lämpötilat olivat hyvät koko mittausjakson ajan.



KUVA 18. Rakennuksen sisätilojen lämpötilat

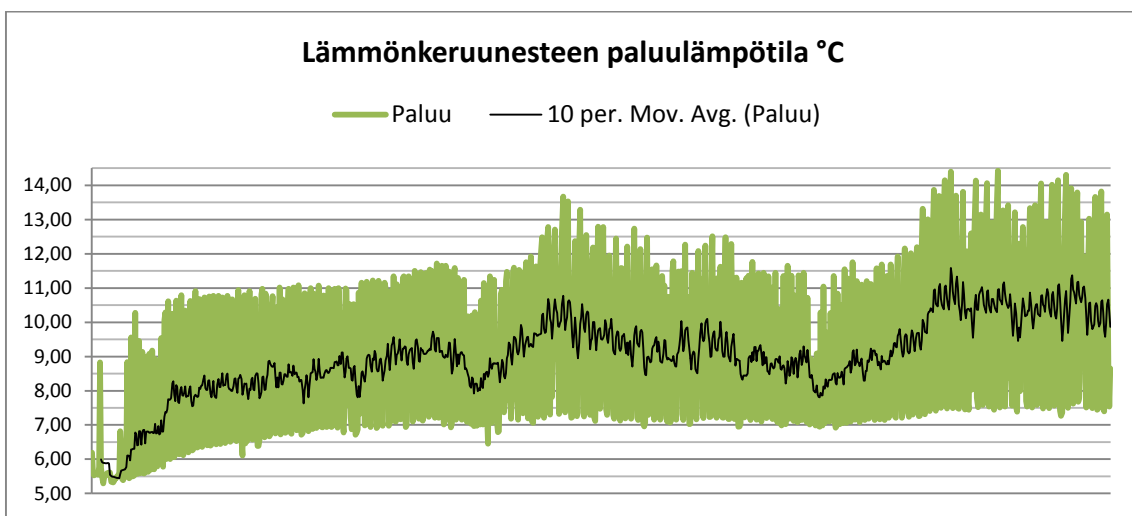
Keittiön lämpötila oli lähes koko mittausjakson ajan hieman matalampi kuin makuuhuoneen. Molempien huoneiden lämpötilat olivat koko ajan yli vaadittavan 21 °C:n rajan. Kuvan 18 lämpötiläkäyristä on huomattavissa, kuinka ne muuttuvat koko ajan noin 0,5–1,0 °C:n erolla. Tämä selittyy osittain rakennuksen käyttölaitteiden päiväkäytöstä sekä lämpöpumpun toimintatavasta. Maalämpöpumppu toimii jaksoittain eli se käynnistyy ja lämmitteää varaajan veden määritettyyn asetusarvoon asti. Tämän jälkeen rakennus lämpenee varaajasta patteriverkoston kulkevalla vedellä. Vesi palaa viileämpänä takaisin varaajaan, mutta lämpöpumppu ei lämmitä vettä heti. Lämpöpumppu käynnistyy uudelleen vasta, kun varaajan alaosan lämpötila laskee alle asetusarvon. Näin patteriverkoston kulkeutuvan veden lämpötila on heti lämpöpumpun käynnissäolon jälkeen korkeampi kuin ennen pumpun käynnistymistä.

Lämmönkeruunesteen lämpötilojen mittauksessa ei tullut ongelmia. Lämpöparonin mittauksia varten lämpöpumppu suljettiin, mikä aiheutti sen, ettei lämmönkeruuneste kiertänyt ollenkaan ja sen lämpötila nousi lähes huonelämpötilaan asti. Tuloksista on poistettu aikavälin mittaukset, jolloin lämpöpumppu oli suljettu. Kuvassa 19 on lämmönkeruunesteen menolämpötilat mitattuna 30 minuutin välein. Kuvissa 19 ja 20 sekä meno- että paluunesteellä on musta trendiviiva, joka on 10 perättäisen mittauspisteen keskiarvon mukaan laskettu.



KUVA 19. Lämmönkeruunesteen menolämpötila

Kuvassa 20 näkyy lämmönkeruunesteen paluulämpötilan mitatut arvot. Paluulämpötilan vaihtelu on suurempaa kuin menolämpötilalla.



KUVA 20. Lämmönkeruunesteen paluulämpötila

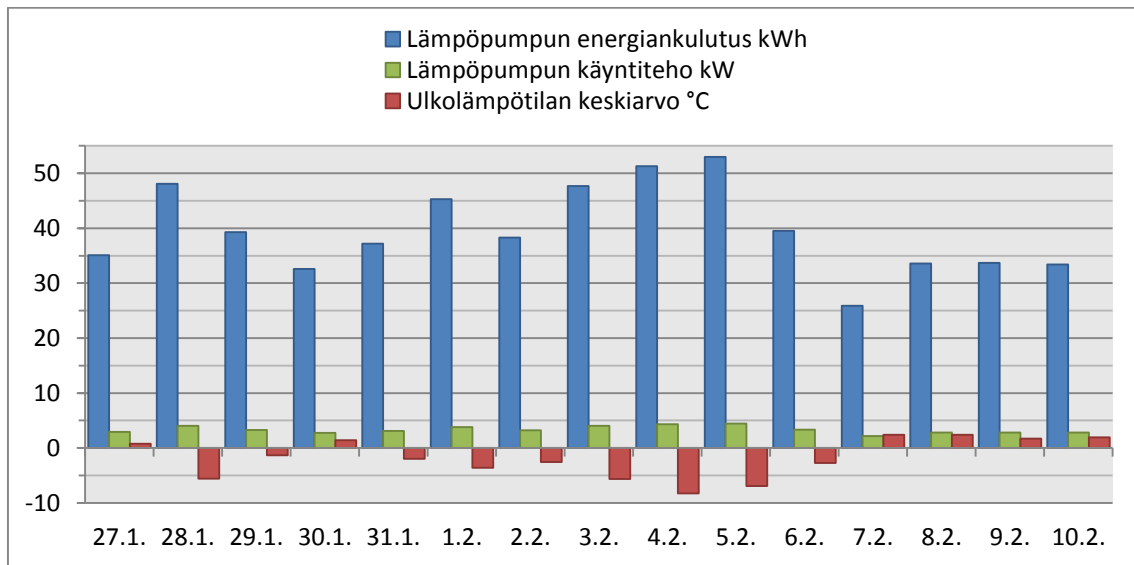
Keskiarvo lämmönkeruunesteen menolämpötilalla oli 4,58 °C ja paluulämpötilalla 9,08 °C. Lämpökaivosta saatiin siis keskimäärin 4,50 °C lämpimämpää keruunestettä kierron avulla mittausjakson aikana. Ulkolämpötila oli mittausjakson alussa matalimmillaan, mikä näkyy myös selvästi lämmönkeruunesteen lämpötilassa. Rakennus vaati enemmän lämpöenergiaa ja lämpöpumppu hyödynsi lämmönkeruunesteestä saatavaa energiaa enemmän.

4.3.2 Lämpöpumpun sähkönkulutus

Lämpöpumpun sähkönkulutusta varten asennettu mittari ei tallenna tietoja automaattisesti. Mittarista luettiin mittausjakson ajan mahdollisimman usein sähkönkulutustiedot ja kirjattiin talteen.

Sähkönkulutuksen mittausjakso on hieman lämpötilamittauksia lyhyempi, koska sähkömittaria ei ollut asennettuna lämpöpumpussa, kun työ aloitettiin.

Kuvassa 21 on esitetty mittausjakson ajalta lämpöpumpun energiankulutuksen ja lämpöpumpun käyntitehon keskiarvo vuorokautta kohti. Lisäksi diagrammissa on ulkolämpötilan keskiarvo vuorokautta kohti. Sitä tarkasteltaessa nähdään kylmemmän ulkoilman vaikutus lämpöpumpun kulutuksessa ja käyntitehossa. 7. päivä helmikuuta lämpöpumppu on sammutettu lämpöparonin mittauksia varten, joten kyseisen päivän lämpöpumpun kulutus ja käyntiteho ovat normaalia alhaisempia.



KUVA 21. Lämpöpumpun energiankulutuksen ja käyntitehon sekä ulkolämpötilan keskiarvot vuorokautta kohti mittausjakson ajalta

4.3.3 Lämpöparonin sähkönkulutus

Lämpöpumppu suljettiin 7. helmikuuta, jotta voitaisiin mitata lämpöparonin kuluttama sähköenergia yhden vuorokauden aikana. Tarkoitus oli verrata lämpöparonin ja lämpöpumpun kuluttamaa sähköenergiaa lämpötilaltaan ja energiankulutukseltaan lähes samanlaisten vuorokausien aikana.

Mittaustoimenpide ei kuitenkaan onnistunut ja haluttuja tuloksia ei saatu, koska lämpöpumppu ohjaa patteriverkoston menevän veden moottorilla toimivaa 4-tieventtiiliä. Kun lämpöpumppu

suljettiin, myös moottorilla toimiva 4-tieventtiili sulkeutui ja patteriverkoston ei kulkenut lämmintä vettä ollenkaan. Käyttövesi lämpeni normaalisti, kun lämpöparoni lämmitti lämminvesivaraajan ylälämmön 55 °C:seen. Varaajan alalämpö jäi vain 22 °C:seen, koska lämmintä vettä ei kiertänyt patteriverkoston ollenkaan.

Moottorilla toimivan 4-tieventtiin pystyy vaihtamaan automaattisesta ohjauksesta manuaaliseksi, mutta vesikierto patteriverkostossa ei olisi samanlainen kuin lämpöpumpun automaattisella ohjauksella. Tästä syystä energiankulutus järjestelmällä on erilainen, eikä lämpöparonin ja lämpöpumpun sähkönkulutuksen vertailua voida tehdä samoissa olosuhteissa. Mittaustulosten mukainen vuorokauden mittainen energiankulutuksen todellinen vertailulaskenta jouduttiin jättämään pois työstä.

5 LASKENTA

5.1 Lämpöpumpun lämpökerroin

Kohteessa käytössä olevan lämpöpumpun lämpökerroin voidaan laskea luvussa 2.3.5 olevilla kaavoilla. Lämpökertoimet lasketaan Excel-ohjelmistolla saatuja mittaustuloksia käyttäen. Esimerkkilaskut lasketaan mittausjakson aikana olleen kovan pakkasjakson hetkellisellä lämpötilalla.

5.1.1 Teoreettinen lämpökerroin

Teoreettisessa lämpökertoimessa ei huomioida häviöitä eli esimerkiksi kompressorin hyötysuhde on 100 %. Tästä syystä pumpulle saadaan todellisesta poikkeava ja liian hyvä lämpökerroin. Teoreettinen lämpökerroin ε_{teor} lasketaan tietyllä hetkellä kaavan 2 mukaan, kun varaajaan menevän veden lämpötila on 52,26 °C ja lämmönlähteen lämpötila on 6,19 °C.

$$\varepsilon_{teor} = \frac{Q_{pumppu}}{Q_{pumppu} - Q_{lähde}} = \frac{T_{anto}}{T_{anto} - T_{otto}} = \frac{325,41 \text{ K}}{(325,41 - 279,34) \text{ K}} = 7,063 \quad \text{KAAVA 2}$$

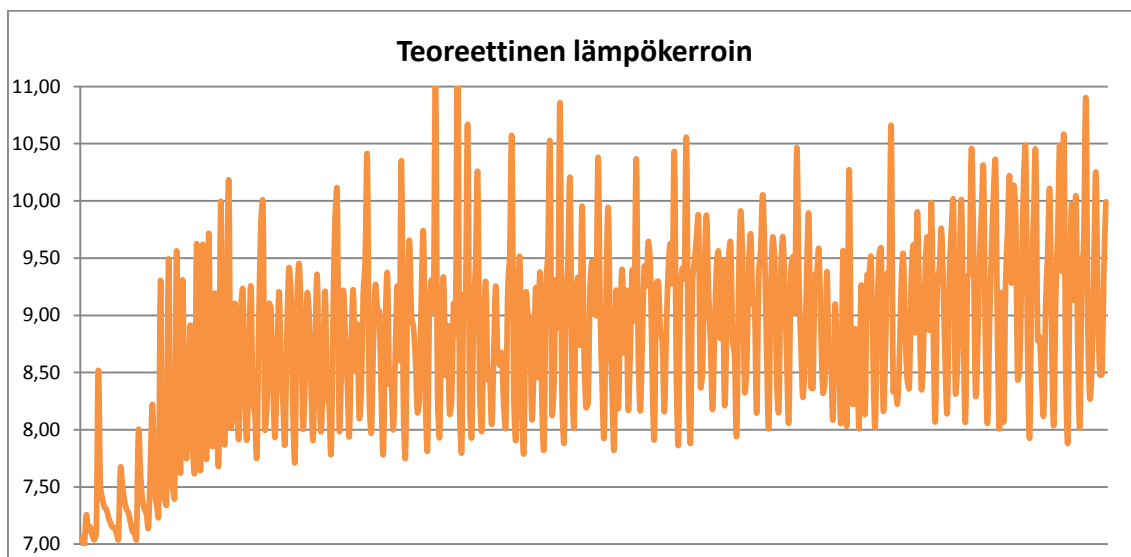
Q_{pumppu} = pumpun tuottama energia [J]

$Q_{lähde}$ = lämmönlähteestä saatu lämpöenergia [J]

T_{anto} = varaajaan menevän veden lämpötila mittaustuloksista [K]

T_{otto} = lämmönlähteen lämpötila mittaustuloksista [K]

Teoreettiseksi lämpökertoimeksi saadaan 7,063 ulkolämpötilan ollessa –28,05 °C. Vertailuna ulkolämpötilan ollessa esimerkiksi –4,83 °C teoreettinen lämpökerroin on 8,652. Teoreettinen lämpökerroin vaihtelee välillä 6,992–11,700. Lämpökertoimen keskiarvoksi mittausjaksolla saadaan 9,006. Kuvassa 22 on esitetty pumpun teoreettisen lämpökertoimen vaihtelun kuvaaja mittausjakson ajalta. Kovia pakkasia on vain mittausjakson alussa vähän yli vuorokauden ajan. Kuvaajasta näkee, miten pumpun lämpökerroin on selvästi huonompi kovan pakkasilman aikaan.



KUVA 22. Lämpöpumpun teoreettinen lämpökerroin mittausjakson aikana

5.1.2 Todellinen lämpökerroin

Todellinen lämpökerroin lasketaan kaavalla 3. Tällä kaavalla laskemalla lämpöpumpun häviöt huomioidaan ja tuloksena saadaan todellinen lämpökerroin. Laskennassa käytetään Carnot-hyötysuhteena arvoa 0,45. Seuraavassa lasketaan todellinen lämpökerroin lauhtumislämpötilan ollessa 52,26 °C ja höyrystyslämpötilan ollessa 10 kelviniä pienempi kuin lämmönlähteen lämpötilan (6,19 °C).

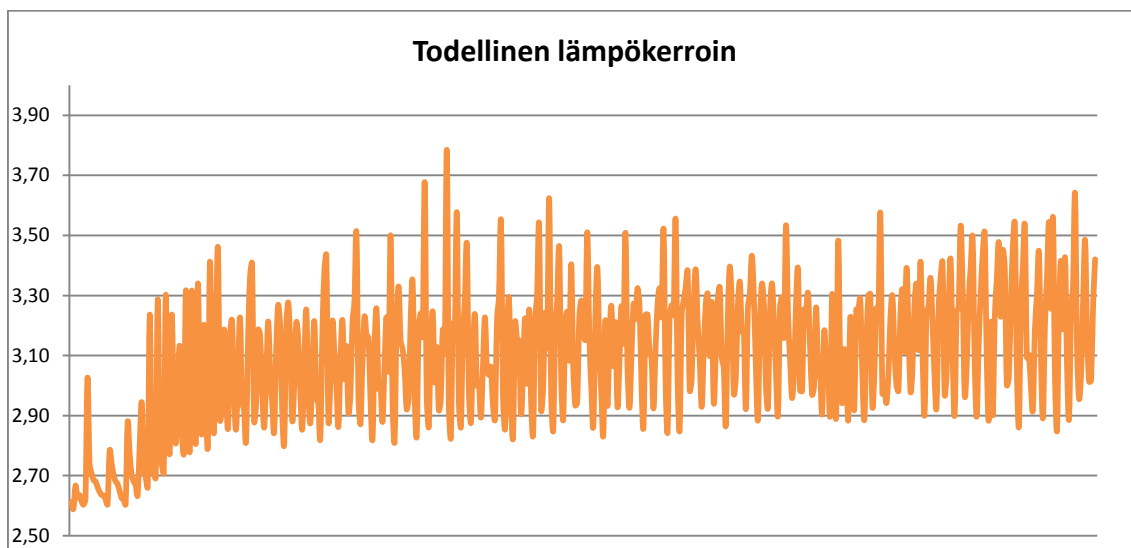
$$\varepsilon = \eta_c \cdot \frac{T_l}{T_l - T_h} = 0,45 \cdot \frac{325,41 \text{ K}}{(325,41 - 269,34) \text{ K}} = 2,612 \quad \text{KAAVA 3}$$

η_c = Carnot-hyötysuhde, arvo on 0,45

T_l = lauhtumislämpötila mittaustuloksista [K]

T_h = höyrystyslämpötila mittaustuloksista [K]

Todellinen lämpökerroin pumpulla on 2,612, kun hetkellinen ulkolämpötila on –28,05 °C. Sama vertailukohta kuin teoreettisella lämpökertoimella eli –4,83 °C antaa todelliseksi lämpökertoimeksi 3,059. Pienin saatu lämpökerroin on 2,590 ja suurin 3,835. Keskiarvoksi lämpökertoimelle saadaan 3,153. Kuvassa 23 on todellisen lämpökertoimen kuvaaja mittausjaksolta. Kuvaaja on hyvin samanmallinen kuin teoreettisellakin lämpökertoimella. Myös todellinen lämpökerroin on selkeästi alhaisempi kovalla pakkasella.



KUVA 23. Lämpöpumpun todellinen lämpökerroin mittausjakson aikana

5.1.3 Yhteenveto

Todellisen lämpökertoimen vaihteluväli on huomattavasti pienempi kuin teoreettisella lämpökertoimella. Teoreettisella suurin vaihteluväli on 4,708 ja todellisella 1,245. Mittausjakson aikana lämpökerroin vaihtuu kokoajan korkeaksi ja matalaksi, joka näkyy hyvin kuvaajista.

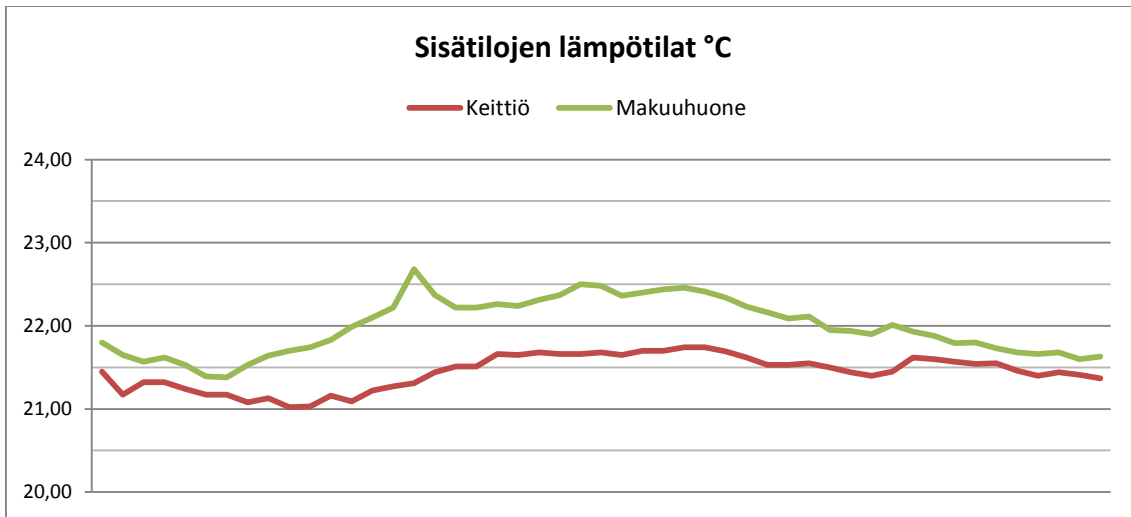
Valmistaja lupaa ohjekirjassa kyseiselle lämpöpumpulle 45 °C:n lauhdutuslämpötilalla lämpökertoimeksi 3,6. Laskettu todellinen lämpökerroin on keskiarvoltaan (3,153) jonkin verran alle sen. Lyhyen mittausjakson johdosta pakkasjakson vaikutus keskiarvoon on huomioitava. Valmistajan lupaama arvo pumpun lämpökertoimesta on lähellä todellista arvoa suurella todennäköisyydellä. Tarkempaa arviolaskentaa varten tarvittaisiin pidemmän ajan mittaukset. Lauhdutuslämpötilan keskiarvo mittausjakson aikana oli 44,72 °C.

5.2 Pumpun tehon riittävyys

Lämpöpumppu on mitoitettu täystehomitoituksella, joten sen täytyisi pystyä tuottamaan tarvittava lämpöenergia rakennuksen sekä käyttöveden lämmitykseen myös kovilla pakkasilmoilla. Toteutettu mittausjakso saatiin aloitettua sopivasti kovien pakkasilmojen aikaan, joten rakennuksen lämpötiloja ja varaajan veden lämpötilaa seuraamalla pystyttiin tutkimaan, riittääkö pumpun teho. Yleensä näissä tilanteissa pumpulla on käytössä sähkövastus, joka menee päälle kovilla pakkasilloilla. Tässä järjestelmässä on haluttu kuitenkin, että pumppu tuottaa kaiken lämmön myös kovilla

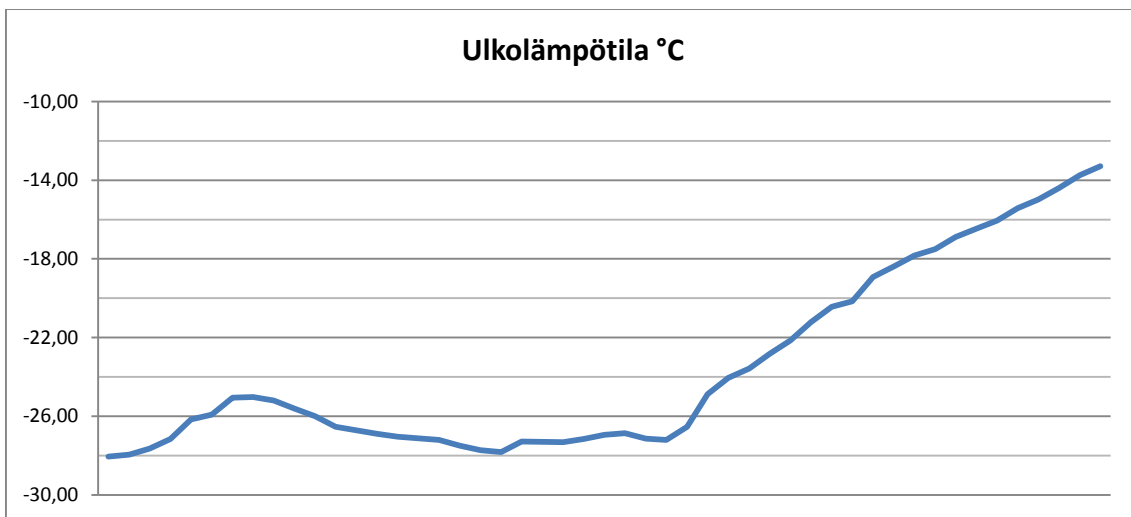
pakkasilla. Sähkövastus on kytketty pois päältä, ja se ei kytkeydy päälle automatiikan avulla, kun lämmitystarve on suuri.

Kuvassa 24 on mittausjakson kylmimmän vuorokauden ajalta rakennuksen keittiön ja makuuhuoneen lämpötilat. Kuvaajasta nähdään, että rakennuksen sisälämpötilat pysyvät määräysten mukaisen 21 °C:n asetusarvon yläpuolella kovallakin pakkasella. (27, s. 21.)



KUVA 24. Mittausjakson kylmimmän vuorokauden sisätilojen lämpötilat

Kuvassa 25 näkyy kylmimmän vuorokauden ulkolämpötilat. Mittaukset on tehty 30 minuutin välein. Vuorokauden keskilämpötila oli -23,49 °C.

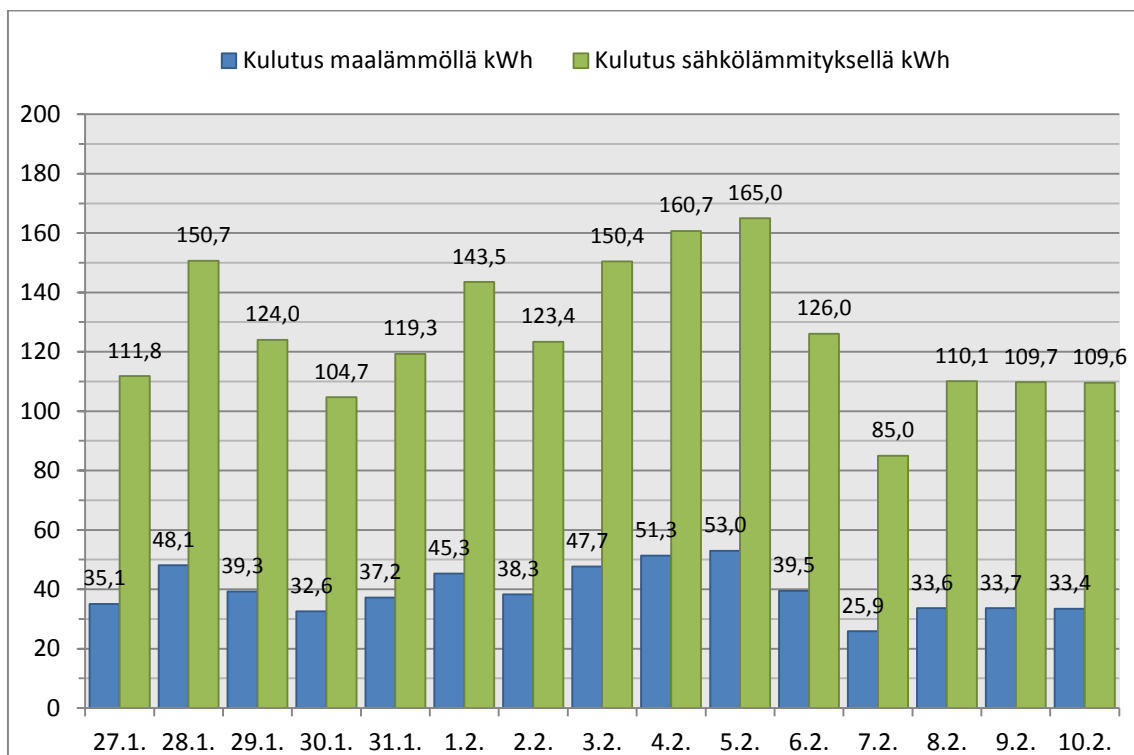


KUVA 25. Mittausjakson kylmimmän vuorokauden ulkolämpötilat

6 KULUTUSVERTAILU JA INVESTOINTI

6.1 Kulutusvertailu mittausjakson aikana

Kuvassa 26 vertaillaan järjestelmän sähkönkulutusta mittausjakson ajalta maalämmöllä ja suoralla sähkölämmityksellä. Kaikki kulutuslaskelmat on tehty Excel-ohjelmistolla. Maalämmön sähkönkulutus on saatu mittaustuloksista ja sitä vastaava suora sähkölämmityksen kulutus on laskettu jokaiselle päivälle lämpöpumpun lämpökertoimen mukaan. Yhteensä kulutus oli maalämmöllä 594 kWh ja suoralla sähkölämmityksellä 1894,1 kWh.



KUVA 26. Rakennuksen energiankulutuksen vertailu maalämmöllä ja sähkölämmityksellä mittausjakson aikana

6.2 Sähkönkulutus lämmitysmuodonmuutosta ennen ja jälkeen

Rakennuksen toteutunutta energiankulutusta verrataan etäluettavien mittareiden tilastotietojen ja itsekerättyjen kulutustietojen mukaan. Etäluettavat sähkömittarit asennettiin rakennukseen 30.10.2012. Maalämpöjärjestelmä ei siis ole ollut käytössä rakennuksen molemmissa asunnoissa etäluettavien mittarien käyttöä ennen. Asunto 1:ssä maalämpö on ollut käytössä 19.6.2011 eteenpäin ja asunto 2:ssa 16.6.2013 eteenpäin.

6.2.1 Käytösähkön ja varaavan takan huomiointi

Vertailulaskelmissa ongelmia aiheutti käytösähkön määrä, koska sillä ei ole erillistä kulutusmittaria asunnoissa. Maalämpöjärjestelmän sähkönkulutus kertyy asunto 1:n kulutusmittariin. Asunto 2:ssa maalämpö otettiin käyttöön 16.6.2013. Tämän jälkeen asunto 2:n käytösähkön määrä saatiin tarkasti tietoon, koska sen lämmityskulut siirtyivät asunto 1:n kulutusmittarille. Käytösähkön keskiarvoksi saatiin asunto 2:ssa kahden vuoden mittaustuloksilla noin 5000 kWh.

Asunto 1:n käytösähkön määrää ei saada tarkasti kulutusmittarista lainkaan. Se voidaan kuitenkin arvioida hyvin. Molemmissa asunnoissa asuu sama määrä henkilöitä ja sähköä kuluttavat käyttölaitteet ovat lähes samat. Kulutuksen arvioidaan olevan saman verran molemmilla asunnoilla lukuun ottamatta suuren eron tekevää asunto 2:ssa olevaa sähkökiuasta. Kiukaan käytösähkö voidaan laskea, kun sen käyttömäärä on arvioitu seuraavanlaiseksi: 6 kW:n sähkökiuas, jota pidetään kolme kertaa viikossa noin kaksi tuntia päällä. Lisäksi sitä ei käytetä noin 4 kuukauden ajan vuodessa, kun käytössä on puulämmitteinen pihasauna. Sähkökiukaan osuus asunto 2:n käytösähköstä on noin 1200 kWh. Tämän avulla saatiin laskettua asunto 1:n käytösähkön määrä: $5000 \text{ kWh} - 1200 \text{ kWh} = 3800 \text{ kWh}$. Kuukausikeskiarvoksi saatiin 733 kWh.

Maalämpöpumpulle asennettiin kulutusmittari 27.1.2016. Tämän avulla saatiin laskettua lyhyelle ajalle, kuinka paljon käytösähköä kului asunnoissa. Molempien mittareiden sähkönkulutus yhteensä oli 2049 kWh helmikuussa. Lämpöpumpun kuluttama sähkö oli 1267 kWh. Tästä saatiin helmikuun käytösähkäksi 782 kWh. Talvella kuukauden käytösähkö on esimerkiksi valaistuksen johdosta hieman suurempi kuin kesäisin. Arvioitu kuukausikeskiarvo käytösähkölle on tämän lyhyen jakson todellisen kulutuksen mukaan hyvä.

Asunto 2:ssa on suuri varaava takka. Sitä lämmittämällä tuotettu lämpöenergia voidaan arvioida asunnon suunnittelutietojen mukaisen energiantarpeen ja sähkönkulutustilastojen mukaan. Asunnon energiantarve käyttövesi kahdelle hengelle mukaan luettuna on noin 15 000 kWh. Myös esimerkiksi Pistoke Oy:n energialaskuri antaa saman arvion rakennuksen kulutukselle sen tiedoilla (28). Käytösähkön määrä vuodessa on kahden eri vuoden aikana ollut noin 5000 kWh ja sähkönkulutus noin 11 000 kWh. Lämmitykseen on kulunut siis noin 6000 kWh sähköä. Tämä vähennettynä asunnon energiantarpeesta jää jäljelle 9000 kWh. Puuta on poltettu takassa arviolta 5 pino-m³ vuodessa, mikä vastaa noin 3,33 kiinto-m³. Kiinto-m³ puuta sisältää noin 2500 kWh energiaa riippuen esimerkiksi puun kuivuudesta (29). Laskujen perusteella takan tuottamaksi lämpöenergiaksi arvioitiin noin 8000 kWh vuodessa. Maalämmön käyttöönoton jälkeen puuta

poljetaan hieman yli 1 pino-m³ eli 0,8 kiinto-m³ ja takan tuottama lämpöenergia on arviolta noin 2000 kWh vuodessa.

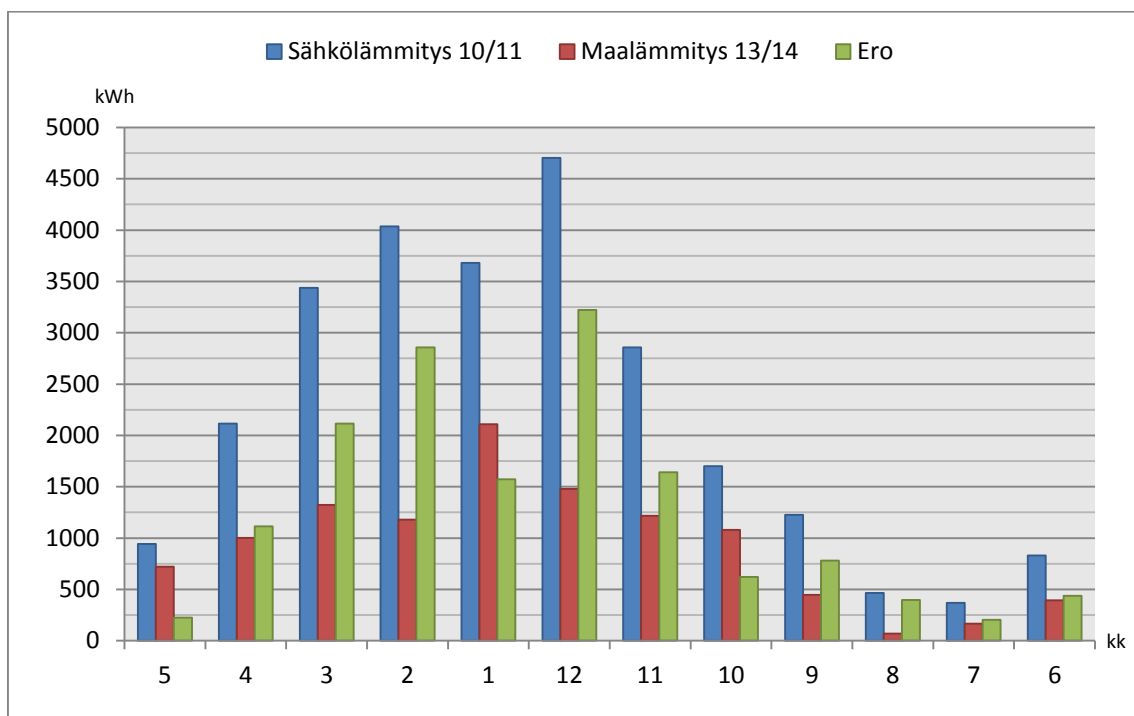
6.2.2 Vertailu

Vertailulaskelmissa käyttösähkön määrä on vähennetty kokonaiskulutuksesta, jotta se ei sekoita lämmitysvertailua. Lisäksi takan tuottama lämpö ennen maalämmön käyttöönottoa pitää huomioida tuloksissa. Taulukoissa on kuukauden lämmitystarveluvut, jotka on saatu Ilmatieteenlaitoksen tilastoista (30). Vertailua tehtiin kahdella eri sähkölämmityksen vuodella maalämmön vuoteen 2013–2014. Taulukossa 1 on vuosien 2010/2011 sähkölämmityksen vertailu. Lämmitystarveluvun erot vuosien välillä huomioiden tehtiin myös normitettu vertailu molemmilla sähkölämmityksen vuosilla. Normituksessa lämmitystarveluku muutetaan normaalivuoden mukaiseen lämmitystarpeeseen, ja energiankulutus lasketaan sen mukaan.

TAULUKKO 1. Vuosien 2010/2011 ja 2013/2014 sähkönkulutuksen ja lämmitystarveluvun vertailu

Sähkölämmitys 06/10-05/11			Maalämpö 07/13-06/14			Säästövertailu (13/14) - (10/11)		
Kuukausi	kWh	Läm.tarveluku	Kuukausi	kWh	Läm.tarveluku	Kuukausi	Säästö kWh	Läm.tarveluku
05/2011	944	182	05/2014	720	225	5	224	-43
04/2011	2116	420	04/2014	1002	439	4	1113	-19
03/2011	3437	653	03/2014	1322	536	3	2115	117
02/2011	4037	933	02/2014	1181	511	2	2856	422
01/2011	3681	820	01/2014	2109	849	1	1571	-29
12/2010	4703	952	12/2013	1480	586	12	3223	366
11/2010	2859	678	11/2013	1217	510	11	1641	168
10/2010	1702	409	10/2013	1081	408	10	621	1
09/2010	1228	204	09/2013	446	108	9	782	96
08/2010	467	107	08/2013	70	25	8	397	82
07/2010	368	0	07/2013	165	11	7	202	-11
06/2010	831	52	06/2014	393	91	6	437	-39
	26369	5410		11186	4299		15183	1111

Sähkölämmityksen ensimmäisen vertailuvuoden säästöt verrattuna maalämmön vuoteen olivat 15183 kWh. Lämmitystarvelukujen ero on kuitenkin suuri. Sähkölämmityksen vuosi on ollut selvästi kylmempi ja lämmitystä on tarvittu enemmän. Lämmitystarvelukujen erotus on 1111 °C. Sähkönkulutuksen erossa lämmitysmuotojen välillä on huomattavissa lämmitystarpeen määrän vaikutus. Kuvasta 27 näkyy, että kylminä kuukausina säästö määrä kasvaa huomattavasti ollen noin 65 % sähkölämmityksen määrästä. Muiden kuukausien aikaan ero on keskimäärin noin 50 %. Kesäkuukausina käytössä on pihasauna, jonka käyttö vähentää myös huomattavasti käyttöveden kulutusta. Vesi lämmitetään pihasaunassa puulämmityksellä. Tästä syystä sähkönkulutus on heinä–elokuussa selvästi vähäisempää.



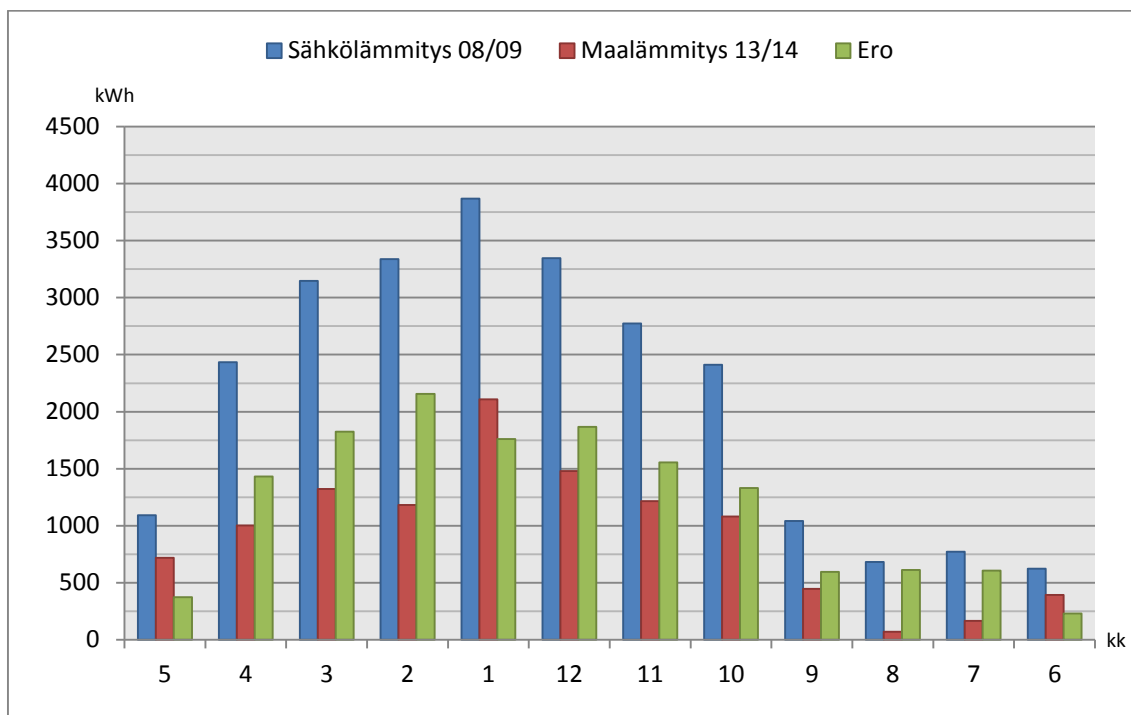
KUVA 27. Sähkölämmityksen 2010/2011 ja maalämmityksen 2013/2014 kulutukset ja erot

Taulukossa 2 koko vuoden lämmitystarvelukujen ero on pienempi 2008/2009 vuosien sähkölämmityksen vertailussa. Ero on 488 °C, joka on yli puolet vähemmän kuin aiemmassa vertailussa. Se on kuitenkin noin 10 % vuoden kokonaismäärästä. Tämä täytyy huomioida sähkönkulutuksessa. Toisen vertailuvuoden sähkölämmityksen säästöt verrattuna maalämmön vuoteen olivat 14 343 kWh.

TAULUKKO 2. Vuosien 2008/2009 ja 2013/2014 sähkönkulutuksen ja lämmitystarveluvun vertailu

Sähkölämmitys 06/08-05/09			Maalämpö 07/13-06/14			Säästövertailu (13/14) - (08/09)		
Kuukausi	kWh	Läm.tarveluku	Kuukausi	kWh	Läm.tarveluku	Kuukausi	Säästö kWh	Läm.tarveluku
05/2009	1093	182	05/2014	720	225	5	373	-43
04/2009	2435	492	04/2014	1002	439	4	1432	53
03/2009	3146	674	03/2014	1322	536	3	1824	138
02/2009	3338	733	02/2014	1181	511	2	2157	222
01/2009	3869	775	01/2014	2109	849	1	1759	-74
12/2008	3347	570	12/2013	1480	586	12	1867	-16
11/2008	2773	535	11/2013	1217	510	11	1555	25
10/2008	2413	374	10/2013	1081	408	10	1332	-34
09/2008	1041	283	09/2013	446	108	9	595	175
08/2008	682	81	08/2013	70	25	8	612	56
07/2008	772	37	07/2013	165	11	7	606	26
06/2008	624	51	06/2014	393	91	6	230	-40
	25529	4787		11186	4299		14343	488

Kuvassa 28 on taulukon 2 tietojen pohjalta pylväsdiagrammi, jossa on verrattu jokaisen kuukauden sähkönkulutuksia ja niiden eroa. Ero vaihtelee kuukausittain selvästi. Useiden kuukausien aikana ero on hieman yli puolet sähkölämmityksen kulutuksesta. Kesäkuukausina rakennusta ei tarvitse juurikaan lämmittää ja maalämmityksen sähkönkulutus onkin huomattavan vähäistä silloin. Joinakin kuukausina sähkö- ja maalämmityksen kulutuksien ero on pieni kuten esimerkiksi toukokuussa. Se selittyy ainakin osittain sillä, että lämmitystarveluku on maalämmityksen vuotena ollut kyseisenä kuukautena selvästi suurempi kuin sähkölämmityksen vuonna.



KUVA 28. Sähkölämmityksen 2008/2009 ja maalämmityksen 2013/2014 kulutukset ja erot

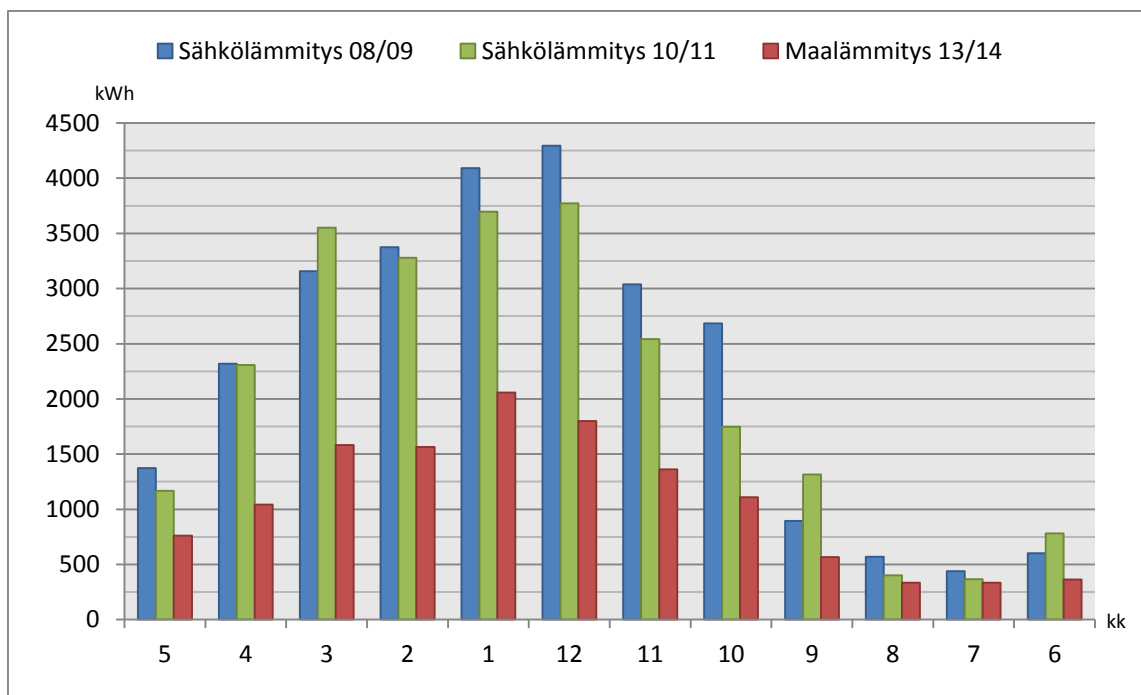
Taulukossa 3 on laskettu normitetun lämmitystarveluvun mukaiset vertailut sähkölämmityksen ja maalämmityksen vuosien välillä. Normitetussa vertailussa lämmitystarvelukujen erot ja lämmitysenergiatarpeet on tasattu normaalivuoden lämmitystarvelukujen mukaan. Normaalivuoden lämmitystarveluvut ovat vuosien 1981–2010 keskimääräiset arvot.

TAULUKKO 3. Normitetulla lämmitystarveluvulla lasketut sähkönkulutukset ja vertailu

Kuukausi	Sähkölämmitys 06/08-05/09 (kWh)		Sähkölämmitys 06/10-05/11 (kWh)		Maalämpö 07/13-06/14 (kWh)		Normitettujen sähkö - maalämpö ero (kWh)	
	Toteutunut	Normitettu	Toteutunut	Normitettu	Toteutunut	Normitettu	Säästö 08/09- 13/14	Säästö 10/11- 13/14
5	1093	1372	944	1168	720	761	611	407
4	2435	2319	2116	2307	1002	1042	1278	1265
3	3146	3158	3437	3551	1322	1582	1576	1969
2	3338	3375	4037	3279	1181	1564	1811	1715
1	3869	4092	3681	3697	2109	2057	2035	1640
12	3347	4293	4703	3771	1480	1799	2494	1972
11	2773	3037	2859	2542	1217	1361	1676	1181
10	2413	2685	1702	1749	1081	1108	1577	640
9	1041	893	1228	1315	446	567	326	749
8	682	570	467	402	70	333	237	69
7	772	440	368	368	165	333	107	34

6	624	601	831	783	393	364	237	419
	25529	26836	26369	24931	11186	12871	13965	12060

Kuvassa 29 on esitetty kuukausien energiankulutukset normitetulla lämmitystarveluvulla laskettuna. Normitettujen lämmitystarvelukujen ja energiankulutuksen mukaan maalämmityksen vuoden kokonaissästöksi saatiin 2008–2009 jaksoon verrattuna 13 965 kWh. 2010–2011 jaksoon verrattuna säästöä kertyi 12 060 kWh.



KUVA 29. Normitetulla lämmitystarveluvulla lasketut sähkölämmityksen ja maalämmityksen kulutukset

Säästöä kertyy 08/09–13/14 vertailuvuosien välillä yhteensä 378 kWh vähemmän kuin vuosien todellisessa vertailussa. 10/11–13/14 normeerattujen vertailuvuosien välillä säästöä kertyy 2693 kWh vähemmän kuin todellisten lämmitystarpeiden vertailussa. Toisessa vertailussa säästöä kertyy selvästi vähemmän kuin toteutuneiden lämmitystarvelukujen laskennan mukaan, koska lämmitystarvelukujen erot ovat niin suuret vuosien välillä.

6.3 Maalämmön investointikustannukset ja takaisinmaksuaika

Maalämpöjärjestelmä rakennettiin kohteeseen siis kahdessa osassa. Ensimmäisessä osassa tehtiin maalämpöjärjestelmä koko rakennukselle mitoitettuna. Toisessa osassa asunto 2:lle tehtiin

muutos, jossa asennettiin putket ja vesikiertopatterit sähköpattereiden tilalle. Taulukossa 4 on eriteltynä maalämpöjärjestelmän muutoksen investointikustannukset ja vähennykset.

TAULUKKO 4. Maalämpöjärjestelmän remontin investointikustannukset

Maalämpöjärjestelmän remontti, investointikustannukset	
Maalämpöpumppu, varaaja, 4-tieventtiili ja moottori	8 430,00 €
Lämpökaivon poraus (työt 5500 €)	6 409,00 €
Lämmitysjärjestelmän putket ja osat	3 926,94 €
Työt	3 896,00 €
Lupamaksut	230,00 €
Muut asennustarvikkeet ja materiaalit	746,59 €
Työkaluvuokrat	24,00 €
	23 662,53 €
Vähennykset investointikustannuksista	
Energia-avustus	2 577,00 €
Kotitalousvähennys (n. 29% työkustannuksista)	2 729,30 €
	5 306,30 €
Nettokustannukset	18 356,23 €

Taulukossa 5 on asunto 2:n putki- ja patterimuutosten investointikustannukset ja vähennykset. Kotitalousvähennys on saatu muutoksen työkustannuksista.

TAULUKKO 5. Putki- ja patteriremontin investointikustannukset asunto 2:ssa

Putki- ja patteriremontti asunto 2, investointikustannukset	
Patterit, putket, liittimet	6 166,93 €
Muut asennustarvikkeet ja materiaalit	639,54 €
Työkaluvuokrat	138,30 €
Työt	4 112,00 €
	11 056,77 €
Vähennykset investointikustannuksista	
Kotitalousvähennys	782,00 €
Nettokustannukset	10 274,77 €

Maalämpöremontti maksoi yhteensä 18 356,23 euroa ilman patteriverkoston remonttia rakennuksen uudemmalle puolelle. Vähennyksiä saatiin energia-avustuksesta 2577,00 euroa ja kotitalousvähennystä työstä noin 29 % eli 2729,00 euroa. Putki- ja patteriasennukset asunto 2:ssa maksoivat yhteensä 10 274,77 euroa. Kotitalousvähennyksiä tästä muutoksesta saatiin työn osuudesta noin 20 % eli 782,00 euroa. Yhteensä koko rakennuksen lämmitysjärjestelmän muutoksen investointikustannukset ovat 28 631,00 euroa.

Kohderakennuksen investoinnissa täytyy kuitenkin huomioida myös vanhan sähkölämmityksen tarvitsemat uudistukset, jotka olisi täytynyt toteuttaa. Mikäli maalämpöjärjestelmää ei olisi rakennettu, olisi asunto 2:n vanhat sähköpatterit täytynyt uusiksi. Sähköpattereiden termostaatteja oli mennyt jo useita rikki ja varaosia ei vanhoihin pattereihin löytynyt. Myös asunto 1:n lämminvesivaraaja oli jo yli 20 vuotta vanha, joten sekin olisi täytynyt uusiksi. Lämmitysjärjestelmään olisi siis jouduttu investoimaan myös ilman maalämpöön siirtymistä. Maalämpöjärjestelmän kokonaisinvestoinnin määrä on laskettu taulukossa 6.

TAULUKKO 6. Koko rakennuksen investointikustannukset yhteensä

Koko rakennuksen järjestelmän investointikustannukset	
Maalämpöjärjestelmä	18 356,23 €
Putki- ja patteriremontti asunto 2	10 274,77 €
	28 631,00 €

Ennen järjestelmän käyttöönottoa maalämpöjärjestelmän takaisinmaksuaika arvioitiin. Säästösummaksi vuoden aikana arvioitiin noin 2280 euroa vuodessa sähkön hinnan ollessa 0,12 €/kWh. Energiansäästö vuodessa arviointien mukaan oli noin 19 000 kWh. Investointikustannukset olivat 18 356 euroa. Näiden lukujen perusteella takaisinmaksuajan arvioksi saatiin hieman yli kahdeksan vuotta. Tässä arviossa ei ole mukana asunto 2:n putkiremonttia vaan ainoastaan maalämpöjärjestelmä.

Takaisinmaksuajan toteutuminen voidaan arvioida tähän mennessä toteutuneiden säästöjen mukaan. Ensin on arvioitu vain maalämpöjärjestelmän takaisinmaksuaika ja sen jälkeen myös koko remontin takaisinmaksuaika, jossa on mukana myös asunto 2:n putkiremontti. Sähköhinnat on laskettu kuukausikeskiarvona jokaisen päivän hinnan mukaan. Sähköhinnat on saatu Energiaviraston tilastoista (31). Vertailuna maalämmityksen kulutukselle on käytetty sähkölämmityksen

aikaväliä kesäkuu 2008–toukokuu 2009 normeerattuna eli lämmityskäyttöluvut muutettuna normaalivuoteen.

Taulukossa 7 on esitetty sähkönkulutus ja säästöt maalämmön ollessa käytössä vain asunto 1:ssä. Säästöä kertyi asunto 1:n lämmityksessä kahden vuoden aikana yhteensä 3353 euroa eli keskimäärin noin 140 euroa kuukaudessa. Vuoden aikana säästö on 1680 euroa.

TAULUKKO 7. Kulutus ja säästöt ajalla 07/2011–06/2013, kun maalämpö oli käytössä vain asunto 1:ssä

Vuosi	Kuukausi	snt/kWh	Maalämpö		Sähkölämmitys		Säästö	Kumulatiivinen
			Kulutus	Hinta	Kulutus	Hinta		
2011	7	12,14	167	20,23 €	334	40,51 €	20,28 €	20,28 €
2011	8	12,07	167	20,12 €	456	55,08 €	34,97 €	55,24 €
2011	9	12,01	167	20,01 €	678	81,38 €	61,37 €	116,61 €
2011	10	11,93	501	59,74 €	2218	264,71 €	204,97 €	321,58 €
2011	11	11,76	678	79,77 €	2319	272,66 €	192,89 €	514,47 €
2011	12	11,63	809	94,14 €	3102	360,85 €	266,71 €	781,18 €
2012	1	11,44	950	108,61 €	3040	347,72 €	239,11 €	1 020,30 €
2012	2	11,41	904	103,12 €	2585	294,85 €	191,74 €	1 212,03 €
2012	3	11,45	807	92,39 €	2408	275,79 €	183,41 €	1 395,44 €
2012	4	11,40	530	60,40 €	1841	209,89 €	149,49 €	1 544,93 €
2012	5	11,31	484	54,74 €	1117	126,30 €	71,55 €	1 616,48 €
2012	6	11,18	237	26,44 €	606	67,71 €	41,27 €	1 657,76 €
2012	7	11,22	167	18,71 €	334	37,45 €	18,75 €	1 676,50 €
2012	8	11,35	167	18,91 €	456	51,78 €	32,87 €	1 709,37 €
2012	9	11,50	224	25,80 €	678	77,95 €	52,15 €	1 761,52 €
2012	10	11,42	377	43,05 €	2218	253,35 €	210,30 €	1 971,82 €
2012	11	11,34	570	64,66 €	2319	262,88 €	198,21 €	2 170,03 €
2012	12	11,32	872	98,78 €	3102	351,20 €	252,42 €	2 422,46 €
2013	1	11,46	896	102,75 €	3040	348,47 €	245,72 €	2 668,17 €
2013	2	11,46	741	84,89 €	2585	296,23 €	211,34 €	2 879,52 €
2013	3	11,49	760	87,30 €	2408	276,77 €	189,48 €	3 068,99 €
2013	4	11,53	490	56,48 €	1841	212,20 €	155,72 €	3 224,71 €
2013	5	11,40	258	29,36 €	1117	127,31 €	97,95 €	3 322,66 €
2013	6	11,28	340	38,32 €	606	68,35 €	30,04 €	3 352,70 €
			12260	1 408,69 €	41407	4 761,39 €	3 352,70 €	

Taulukossa 8 on laskettu maalämpöjärjestelmän tuottamat säästöt, kun se on ollut käytössä monimissa asunnoissa. Säästöä on kertynyt sen aikana yhteensä noin 5500 euroa. Kuukauden keskimääräiset säästöt ovat noin 105 euroa.

TAULUKKO 8. Kulutus ja säästöt ajalla 07/2013–02/2016, kun maalämpö käytössä koko rakennuksessa

Vuosi	Kuukausi	snt/kWh	Maalämpö		Sähkölämmitys		Säästö	Kumulatiivinen
			Kulutus	Hinta	Kulutus	Hinta		
2013	7	11,22	333	37,38 €	521	58,45 €	21,07 €	3 373,77 €
2013	8	11,26	333	37,50 €	796	89,62 €	52,12 €	3 425,89 €
2013	9	11,37	743	84,44 €	1157	131,47 €	47,03 €	3 472,92 €
2013	10	11,45	1013	115,94 €	3062	350,50 €	234,56 €	3 707,48 €
2013	11	11,33	1221	138,35 €	3406	385,80 €	247,45 €	3 954,94 €
2013	12	11,22	1543	173,23 €	4731	530,95 €	357,71 €	4 312,65 €
2014	1	11,45	1888	216,13 €	4446	508,90 €	292,77 €	4 605,41 €
2014	2	11,42	1604	183,18 €	3712	423,82 €	240,63 €	4 846,05 €
2014	3	11,32	1532	173,45 €	3493	395,39 €	221,94 €	5 067,99 €
2014	4	11,22	1079	121,07 €	2634	295,55 €	174,48 €	5 242,47 €
2014	5	11,30	875	98,87 €	1828	206,61 €	107,74 €	5 350,22 €
2014	6	11,35	463	52,59 €	908	103,04 €	50,44 €	5 400,66 €
2014	7	11,37	502	57,09 €	521	59,21 €	2,11 €	5 402,77 €
2014	8	11,49	552	63,40 €	796	91,46 €	28,06 €	5 430,83 €
2014	9	11,61	730	84,76 €	1157	134,30 €	49,54 €	5 480,37 €
2014	10	11,52	1026	118,28 €	3062	352,82 €	234,55 €	5 714,92 €
2014	11	11,39	1325	150,93 €	3406	388,07 €	237,15 €	5 952,07 €
2014	12	11,41	1608	183,49 €	4731	539,69 €	356,20 €	6 308,27 €
2015	1	11,73	1760	206,54 €	4446	521,76 €	315,22 €	6 623,49 €
2015	2	11,56	1590	183,83 €	3712	429,13 €	245,30 €	6 868,79 €
2015	3	11,51	1461	168,11 €	3493	401,93 €	233,82 €	7 102,61 €
2015	4	11,46	1014	116,13 €	2634	301,80 €	185,67 €	7 288,28 €
2015	5	11,31	834	94,34 €	1828	206,74 €	112,40 €	7 400,67 €
2015	6	11,20	540	60,50 €	908	101,64 €	41,14 €	7 441,82 €
2015	7	11,16	397	44,31 €	521	58,11 €	13,79 €	7 455,61 €
2015	8	11,16	454	50,67 €	796	88,85 €	38,18 €	7 493,79 €
2015	9	11,01	698	76,91 €	1157	127,37 €	50,46 €	7 544,25 €
2015	10	10,88	980	106,56 €	3062	333,07 €	226,51 €	7 770,76 €
2015	11	10,78	1267	136,56 €	3406	367,25 €	230,70 €	8 001,45 €
2015	12	10,76	1542	165,97 €	4731	509,06 €	343,10 €	8 344,55 €
2016	1	10,72	1739	186,38 €	4446	476,54 €	290,16 €	8 634,71 €
2016	2	10,58	1443	152,69 €	3712	392,86 €	240,17 €	8 874,88 €
		11,27		3 839,59 €		9 361,76 €	5 522,18 €	

Säästöä on kertynyt maalämmön noin 4,5 vuoden käytön aikana yhteensä 8875 euroa. Ajasta kaksi vuotta maalämpö on ollut käytössä vain asunto 1:ssä ja 2,5 vuotta molemmissa asunnoissa. Vuoden aikana säästöjä on tullut sähkönkulutuksessa keskimäärin noin 1970 euroa, kun molemmat asunnot on lämmitetty maalämmöllä. Tämä on vain hieman enemmän kuin järjestelmän

ollessa käytössä vain asunto 1:ssä maalämpöpumpun ensimmäisten kahden käyttövuoden aikana.

Asunto 2:n liittäminen maalämpöön ei ole siis vähentänyt sen sähkönkulutusta lämmityksessä. Tässä tulee huomioida asunto 2:ssa käytössä oleva takka, jota lämmitettiin ennen maalämmön käyttöönottoa huomattavan paljon. Takan lämpöenergian tuotto arvioitiin noin 8000 kWh vuodessa. Nykyisin takkaa ei lämmitetä rakennuksen lämmitystarkoitukseen kuin kovemmilla pakkasilla ja satunnaisesti muulloin. Maalämmön käyttöönoton jälkeen takan lämmöntuotto arvioitiin noin 2000 kWh vuodessa eli 6000 kWh vähemmän kuin aiemmin.

Maalämmöllä tuotetaan vuodessa lämpöä noin 6000 kWh enemmän kuin sähkölämmityksellä. Takaisinmaksuaikaa varten laskettiin, kuinka paljon sähkölämmitys olisi maksanut enemmän, kun takasta saatu lämpöenergia olisi ollut 2000 kWh. Sähköhinnan keskiarvolla 11,27 snt/kWh saatiin sähkölämmityksen lisähinnaksi vuodessa 675 euroa, joka on 56 euroa kuukaudessa. Maalämpö on ollut käytössä koko rakennuksessa maaliskuuhun 2016 mennessä 32 kuukautta. Taulukoiden 7 ja 8 mukaisten säästöjen lisäksi saadaan maalämmöllä sähkölämmitykseen verrattuna 1792 euroa lisäsäästöä helmikuuhun 2016 mennessä, kun takan tuottama lämpöenergia huomioidaan saman suuruisena.

Taulukossa 9 on maalämmön käytöstä saatujen säästöjen yhteenveto. Tähän mennessä maalämpöjärjestelmän investoinnista on säästetty takaisin 58,1 %. Asunto 2:n putkiremontti mukaan luettuna investoinnista on säästetty takaisin 37,2 %.

TAULUKKO 9. Maalämmöstä helmikuuhun 2016 mennessä saadut säästöt kulutuksessa

Maalämmitys vain asunto 1:ssä 07/11 - 06/13	3 350 €
Maalämmitys molemmissa asunnoissa 07/13 - 02/16	5 520 €
Takan lämmöntuoton huomiointi asunto 2:ssa 07/13 - 02/16	1 790 €
	10 660 €

Taulukossa 10 on yhteenveto muutoksen investoinneista, säästöistä ja takaisinmaksuajasta. Maalämmön hyödyntäminen molemmissa asunnoissa on säästänyt kulutuksessa yhteensä noin 65 100 kWh ja 7325 euroa ja käyttö on kestänyt 32 kuukautta. Kuukauden keskimääräiseksi säästökseksi saatiin noin 2035 kWh ja 244 euroa sähköhinnan ollessa 0,12 €/kWh.

TAULUKKO 10. Investoinnin kustannuksien, energiankulutuksen, säästöjen ja takaisinmaksuajan yhteenveto

Maalämpöjärjestelmän investointi	18 360 €
Asunnon 2 putkiremontin investointi	10 275 €
Investoinnit yhteensä	28 630 €
Järjestelmän vuosittainen huolto	0 €
Rakennuksen energiantarve vuodessa	34 500 kWh
Takaisinmaksua helmikuuhun 2016 mennessä	10 660 €
Energiansäästö kuukaudessa	2 035 kWh
Energiansäästö vuodessa	24 420 kWh
Säästö kuukaudessa (sähkö 0,12 €/kWh)	244 €
Säästö vuodessa (sähkö 0,12 €/kWh)	2 930 €
Takaisinmaksuaikaa jäljellä maalämpöjärjestelmälle	2,63 vuotta
Takaisinmaksuaikaa jäljellä koko muutokselle	6,13 vuotta

Vuoden aikana säästöä saadaan noin 2930 euroa. Takaisinmaksua oli saatu tähän mennessä 4,5 vuoden aikana yhteensä 10 660 euroa, josta kahden vuoden ajanjakso jolloin maalämpö oli vain asunto 1:ssä käytössä, oli 3350 euroa. Investoinnista ehdittiin säästää 18,2 %, ennen kuin toinenkin asunto saatiin maalämmön piiriin. Koko rakennuksen energiantarve vuodessa on noin 34 500 kWh käyttövesi mukaan luettuna ja maalämpöjärjestelmää käytettäessä energiansäästö vuodessa on noin 24 420 kWh.

Maalämpöjärjestelmälle takaisinmaksuajaksi helmikuusta 2016 eteenpäin saatiin noin kaksi vuotta ja seitsemän kuukautta. Yhteensä arvioitu takaisinmaksuaika järjestelmälle on noin seitsemän vuotta ja kaksi kuukautta. Järjestelmän käyttöönoton yhteydessä tehty arvio kahdeksan vuoden takaisinmaksuajasta näyttäisi pitävän paikkansa tähän mennessä saatujen säästöjen mukaan.

Putkiremontin kustannukset huomioituna takaisinmaksuaikaa koko remontilla on jäljellä vielä kuusi vuotta ja kaksi kuukautta. Yhteensä sen takaisinmaksuaika on 10 vuotta ja kahdeksan kuukautta.

7 TULOKSET JA HAVAINNOT

Tuloksia saatiin vanhojen ja nykyisten kulutusmäärien sekä mittaustoimenpiteiden avulla. Niiden ansiosta tuloksia pystyttiin vertailemaan ja arvioimaan, pitävätkö ne paikkansa. Mittaukset onnistuivat hyvin lukuun ottamatta lämpöparonin kulutuksen mittausta. Sen avulla olisi saatu tarkempia sähkönkulutuksen vertailutuloksia lyhyelle aikavälille. Mittaus ei onnistunut 4-tieventtiin automaation ja patteriverkoston veden kierron erilaisuuden johdosta. Tulokset eivät olisi olleet vertailukelpoisia.

Kulutuksen vertailua ei voitu tehdä täysin tasavertaisena useiden syiden johdosta. Syitä olivat käyttösähkön tarkkojen kulutuksien tietojen puuttuminen asunto 1:ssä, takan tuottaman lämpöenergian määrien arviot ja lisäksi muut vähemmän vaikuttavat tekijät kuten käyttöveden kulutuksen vaihtelut.

Kulutusvertailussa lämmitystarvelukujen eron tulisi olla mahdollisimman pieni, jotta vertailu olisi tasainen. Rakennuksen sähkölämmityksen vuosien 2010–2011 välisenä aikana koko vuoden lämmitystarveluku oli 5410. Maalämmityksen ensimmäisen vuoden 2013–2014 aikana luku oli 4299 eli ero on huomattavan suuri. Tästä syystä tehtiin myös toinen vertailu, jossa sähkölämmityksen vuosien 2008–2009 välisenä aikana lämmitystarveluku oli 4787. Tämä on jo paljon lähempänä samaa arvoa kuin maalämmön vertailuvuotena. Lämmitystarvelukujen erojen vuoksi vertailua tehtiin normeeraamalla kyseisten vuosien energiankulutukset normaalivoteen.

Käyttösähkön määrälle saatiin kulutusmäärä mittarista vain asunto 2:lle, kun sen lämmitykseen kulunut sähkö siirtyi toisen asunnon mittariin maalämpöjärjestelmään siirryttäessä. Asunto 1:ssä sähkömittarissa on käyttösähkö sekä maalämpöjärjestelmän kuluttama sähkö. Tästä syystä asunto 1:n tarkkoja käyttösähkön lukemia ei voitu saada. Se arvioitiin kuitenkin toisen asunnon mukaan lähes samanlaiseksi lukuun ottamatta sähkökiuasta. Käyttösähkön arviolaskelma asunto 1:lle on hyvä.

Varaavan takan käyttö on vaikuttanut sähkönkulutukseen huomattavan paljon. Ennen maalämpöön siirtymistä takkaa lämmittämällä on tuotettu suuri määrä rakennuksen energiantarpeesta. Takassa poltetun puun energiamäärä on kuitenkin hyvin arvioitu, kun kuluneen puun määrä on tiedetty ja niitä on kuivattu useampi vuosi.

Lämpöpumpun lämpökertoimeksi saatiin mittaustuloksien ja laskelmien mukaan keskiarvoksi 3,15. Sähkönkulutustietoja vertaamalla takan lämpöenergia myös huomioiden lämpökertoimeksi saatiin 3,03, mutta tässä täytyy huomioida takan tuottaman lämpöenergian määrän arviointi ja muut erot. Tulokset ovat siis suuntaa antavia erojen johdosta. Lämpökerroin on noin kahden viikon mittaustuloksien mukaan vähän parempi verrattuna kulutusvertailuun. Lämpökertoimen laskussa mittaustuloksien avulla on käytetty Carnot-hyötysuhteen arvona 0,45 sekä lämmönkeruun tulolämpötilan ja höyrystymislämpötilan erona 10 K. Höyrystymislämpötilan mittauksella tämä olisi voitu laskea tarkemmin. Se ei kuitenkaan ollut mahdollista lämpöpumpussa.

Sähkönkulutuksen vertailussa ennen ja jälkeen maalämpöön siirtymistä on huomioitava takan lämpöenergia. Sen arviota ei ole laskettu mukaan sähkövertailussa, koska tarkoituksena oli verrata toteutuneiden sähkönkulutuksien tarkkoja määriä toisiinsa. Takan tuottama lämpöenergian määrä ennen maalämpöä oli 8000 kWh ja jälkeen 2000 kWh. Tasaisesti jaettuna koko vuodelle sähkölämmitykseen pitäisi jokaiselle kuukaudelle lisätä 500 kWh. Takkaa on kuitenkin lämmitetty vain vuoden kylmemmillä ajanjaksoilla, joten tasainen jako ei antaisi hyviä vertailuarvoja. Lisäksi on muitakin pieniä vaikuttavia tekijöitä, kuten käyttöveden tarve kesäkuukausina. Käyttöveden tarve vähenee ulkosaunan käytön myötä, jossa käyttövesi lämmitetään puilla. Se näkyy kesäkuukausien sähkönkulutuksen määrässä.

Lämmitysjärjestelmän muutoksella on huomattavat vaikutukset rakennuksen lämmityskuluihin. Takaisinmaksuajan ja säästöjen laskennassa täytyi huomioida useita asioita, kuten maalämpöjärjestelmän käytön aloitus ensin vain asunto 1:ssä ja kahden vuoden käytön jälkeen molemmissa asunnoissa. Ennen maalämpöjärjestelmän käyttöönottoa tehty arvio sen takaisinmaksuajasta on tähän mennessä saatujen säästöjen mukaan onnistunut. Takaisinmaksuajaksi saatiin säästöjen mukaan maalämpöjärjestelmälle seitsemän vuotta ja kaksi kuukautta. Putki- ja patteriremontti asunto 2:ssa mukaan laskettuna takaisinmaksuaika on 10 vuotta ja kahdeksan kuukautta. Säästöä vuodessa kertyy noin 2930 euroa sähkönhinnan ollessa 0,12 €/kWh. Saadut tulokset ja arviot ovat onnistuneita useista kulutukseen vaikuttavista tekijöistä huolimatta.

8 YHTEENVETO

Tämän työn tavoitteena oli vertailla sähkölämmityksen ja maalämmityksen kulutuksien eroja ja arvioida maalämmön kannattavuutta investoinnin määrään nähden. Lisäksi tavoitteena oli maalämmön selvittäminen ja toiminnan läpikäynti. Lämmitysjärjestelmän lämmönlähteistä ja toiminnasta saatiin hyvin tietoa monipuolisista lähteistä.

Sähkökulutuksen vertailulaskennassa täytyi huomioida kaksiosaisen rakennuksen eri lämmitysmuodot tiettyinä aikoina, kun maalämpö otettiin käyttöön ensin vain toisessa asunnossa. Vertailua vaikeuttivat useat asiat, joiden arviointi oli haastavaa. Käyttösähkön arviointi ja erottaminen kulutusmittareiden määristä oli yksi tehtävä, jotta saatiin lämmitykseen kuluneen energian määrä tietoon. Lisäksi sähkökulutukseen vaikutti toisessa asunnossa varaava takka, jonka tuottama energia arvioitiin kuluneen polttoaineen mukaan. Vertailussa täytyi myös huomioida vertailuvuosien lämmitystarveluku.

Tehtyjen arviointien ja laskelmien mukaiset tulokset olivat onnistuneita. Lämpöpumpun lämpökertoimen tuloksissa oli pieniä eroja, kun se laskettiin kahdella eri tavalla. Mittaustuloksien mukaan laskettu lämpökertoimen oli kuitenkin huomattavan lyhyeltä ajanjaksolta verrattuna sähkökulutuksen erolla laskettuun lämpökertoimeen. Lämpökertoimen laskenta on tehty ohjeiden ja lähteiden mukaisesti mittausjakson tulosten avulla.

Maalämmön käyttöönotto on kannattavuudeltaan hyvä kohderakennuksessa. Energiankulutuksen säästöt (noin 240 €/kk) ovat huomattavat. Takaisinmaksuaika ei ole maalämpöjärjestelmällä liian pitkä. Asunto 2:een täytyi kuitenkin tehdä lisäksi putki- ja patteriremontti, joka kasvattaa takaisinmaksuaikaa lisää.

Maalämpö antaa kulutussäästöjen lisäksi myös muita hyötyjä kohteessa. Takan lämmitykseen on kulunut paljon aikaa ja puupolttoainetta ennen maalämpöjärjestelmän käyttöä. Järjestelmän käyttöönoton jälkeen takan lämmitys on vähentynyt jopa neljännekseen aiemmasta. Tämän johdosta esimerkiksi puupolttoaineen hankinnan ja lämmitystyön tarve on vähentynyt. Maalämmön käyttäjältä ei vaadita näin juurikaan toimenpiteitä verrattuna aiempaan sähkölämmitykseen.

LÄHTEET

1. Maalämpöpumppu, MLP. Saatavissa: http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/maalampopumppu_mlp. Hakupäivä 26.1.2016.
2. Perälä, Osmo – Perälä, Rae 2013. Lämpöpumput, Suomalainen käsikirja aikamme lämmitysjärjestelmästä. 3. uudistettu painos. Tallinna: Alfamer/Karisto Oy.
3. Lämpöä omasta maasta. Motiva Oy. Saatavissa: http://www.motiva.fi/files/7965/Lampo_omasta_maasta_Maalampopumput.pdf. Hakupäivä 26.1.2016.
4. Käytössä olevat lämpöpumput. 2015. Suomen lämpöpumppuyhdistys. Saatavissa: <http://www.sulpu.fi/documents/200906/0/Lampopumpputilasto%202015%2C%20kuvaajat%20.pdf>. Hakupäivä 23.3.2016.
5. RIL 265-2014. 2014. Uusiutuvien lähienergioiden käyttö rakennuksissa. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL.
6. Lämpöpumput. Sulpu ry. Saatavissa: <http://www.sulpu.fi/lampopumput>. Hakupäivä: 26.1.2016.
7. Neljä lämmönlähdettä. Thermia lämpöpumput. Saatavissa: <http://www.thermia.fi/lampopumppu/Nelja-eri-lammonlahdetta.asp>. Hakupäivä: 27.1.2016.
8. NIBE Geothermal Heat Pumps. Green-house. Saatavissa: <http://www.green-house.ie/index.php/nibe-geothermal-heat-pumps>. Hakupäivä: 27.1.2016.
9. Hanki hallitusti maalämpöjärjestelmä. Motiva Oy. Saatavissa: <http://www.digipaper.fi/Motiva/78085/>. Hakupäivä 26.1.2016.
10. Lämmön keruujärjestelmä. 2010. Suomen uusiutuva energia Oy. Saatavissa: <http://www.uusiutuva.fi/perustieto-maalammosta/lammon-keruujarjestelma.aspx>. Hakupäivä 28.1.2016.
11. Lämpöässä Vsi 6-14. 2015. Käyttö-, asennus- ja huolto-opas. Suomen Lämpöpumpputekniikka Oy. Saatavissa: <http://www.lampoassa.fi/wp-content/uploads/2015/03/Kayttoohje-Vsi-web-12-2015.pdf>. Hakupäivä 29.1.2016.
12. Lämpöpumput. Energiateollisuus ry. Saatavissa: <http://energia.fi/koti-ja-lammitys/sahkolammitys/lampopumput>. Hakupäivä 5.2.2016.

13. Hakala, Pertti – Kaappola, Esko 2007. Kylmälaitoksen suunnittelu. 2. tarkistettu painos. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
14. Näin lämpöpumppu toimii. Thermia lämpöpumput. Saatavissa: <http://www.thermia.fi/lampopumppu/nain-lampopumppu-toimii.asp>. Hakupäivä 5.2.2016.
15. Juvonen, Janne 2009. Ympäristöopas. Lämpökaivo, Maalämmön hyödyntäminen pientaloissa. Suomen ympäristökeskus. Saatavissa: http://www.pistoke.fi/sites/default/files/yo_2009_lampokaivo_12_11_09.pdf. Hakupäivä 5.2.2016.
16. Masterclass: Refrigeration Cycles. ACR-news.com. Saatavissa: <http://legacy.acr-news.com/news/print.asp?id=663>. Hakupäivä 23.2.2016.
17. Maalämpöpumppu. Energiatehokas koti. Saatavissa: http://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/lammitys/ilmalampo_ ja_maalampopumput/maalampopumppu. Hakupäivä: 29.1.2016.
18. Lämpöässä VSI. Tekninen kuvaus. Suomen lämpöpumpputekniikka Oy. Saatavissa: <http://www.lampoassa.fi/tuotteet/vsi-mallisto/>. Hakupäivä: 1.2.2016.
19. Leppäharju, Nina 2008. Kalliolämmön hyödyntämiseen vaikuttavat geofysikaaliset ja geologiset tekijät. Pro gradu -tutkielma. Oulu: Oulun yliopisto, fysikaalisten tieteiden laitos, geofysiikka.
20. Erat, Bruno – Erkkilä, Vesa – Löfgren, Timo – Nyman, Christer – Peltola, Seppo – Suokivi, Hannu 2001. Aurinko-opas – Aurinkoenergiaa rakennuksiin. Aurinkoteknillinen yhdistys ry. Nurmijärvi: Kirjakas Ky.
21. Oilon Geopro GT –käyttöohje. Oilon Home Oy.
22. Maalämpöpumppu Geopro GT. Oilon Home Oy. Saatavissa: http://www.lampovinkki.fi/DowebEasyCMS/Sivusto/Dokumentit/ladattavatesitteet/Oilon_Geopro_GT.pdf. Hakupäivä: 14.2.2016.
23. Lämpöparoni – sähkölämmityselementit. Oilon Home Oy. Saatavissa: <http://www.oilon.com/oilon-home/tuotteet/sahkolammityslaitteet/>. Hakupäivä 14.2.2016.
24. Energiamittari A-Collection EM23 -DIN 3-vaihe 4-MOD 65A. Ahlsell Oy. Saatavissa: <https://www.ahlsell.fi/34/sahko/sahkonjakelu/66-energiamittarit-ja-laskurit/kwh-mittarit-a-collection/sf6602010/>. Hakupäivä: 26.1.2016.
25. Fluke 434 II -sarjan energia-analysaattori. Fluke Corporation. Saatavissa: <http://www.fluke.com/fluke/fifi/sahkonlaatutyokalut/kolmivaiheinen/fluke-434-series-ii-energy-analyzer.htm?pid=73937>. Hakupäivä: 26.1.2016.

26. Fluke 434 3-vaiheinen energia- ja sähkönlaatuanalysointilaite. Käyttöohje. Fluke Corporation. Saatavissa: http://assets.fluke.com/manuals/F430-II_umfin0100.pdf. Hakupäivä 26.1.2016.
27. D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2012. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Saatavissa: http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012_Suomi.pdf. Hakupäivä 9.3.2016.
28. Energialaskuri. Pistoke Oy. Saatavissa: <http://www.pistoke.fi/node/22>. Hakupäivä 21.3.2016.
29. Alakangas, Eija – Erkkilä, Ari – Oravainen, Heikki 2008. Tehokas ja ympäristöä säästävä tulisijalämmitys. VTT. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2008/VTT-R-10553-08.pdf>. Hakupäivä 21.3. 2016.
30. Lämmitystarveluvut. Ilmatieteenlaitos. Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut>. Hakupäivä: 21.3.2016.
31. Sähkö hinnat. Energiavirasto. Saatavissa: <http://www.sahkonhinta.fi>. Hakupäivä 21.3.2016.