

# LÄMPÖPUMPPUJÄRJESTEL- MÄN SUUNNITTELUN JA LAI- TEVALINNAN PERUSTEET

TEKIJÄ: Teemu Mero

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Energiatekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä(t) Teemu Mero	
Työn nimi Lämpöpumppujärjestelmän suunnittelun ja laitevalinnan perusteet	
Päiväys	31.5.2019
Sivumäärä/Liitteet	48/4
Ohjaaja(t) Pentinsaari Tanja ja Mikkonen Ari	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Neo Energiat Oy	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Työn tavoitteena oli kuvata toimivan lämpöpumppujärjestelmän suunnittelun kannalta oleellisia asioita. Lämpöpumppujärjestelmä poikkeaa perinteisistä lämmitysjärjestelmistä siinä, että muun muassa lämmönkeruu- sekä lämmityspiirien virtaamat ja lämpötilatasot vaikuttavat laitteiston toimivuuteen oleellisesti. Kun nämä perusasiat tiedostetaan, ollaan suunnittelun onnistumisen kannalta jo varsin pitkällä.</p> <p>Työhön sisältyy kuvaus todellisen kohteen suunnittelun ja laitevalinnan toteutuksesta. Lämpöpumppujärjestelmän suunnittelussa on toimivan laitteiston aikaansaamiseksi hyvä tuntee koko järjestelmän prosessiketju. Yhden prosessiketjun osan toiminta määrää koko loppuketjun toimivuuden. Tämän vuoksi päätettiin kuvata laitevalinnan kannalta oleellisten lämpöpumppuprosessin komponenttien sekä prosessin osien toimintaa. Laitevalinnan ohella toimivan järjestelmän edellytyksiin kuuluvat myös onnistunut mitoitus ja siihen vaikuttavat tekijät. Varsinaisen mitoituksen ja valitun laitteiston kuvauksen lisäksi läpikäytiin erilaisten lämpöpumpputekniikoiden mitoitusperusteita ja soveltuvuutta erityyppisiin kohteisiin.</p> <p>Työn tuloksena kohteeseen toteutettiin toimiva maalämpöjärjestelmä. Laitteiston toiminnasta kerättyjen tietojen perusteella voidaan todeta, että komponenttien ja teknisten ratkaisujen valinnassa onnistuttiin varsin hyvin. Lämpöpumppuun liitettiin tiedonsiirtoväylän avulla aurinkovoimala, minkä toimintaan ei tässä työssä voida aiheen laajuuden vuoksi perehtyä kovinkaan tarkasti.</p> <p>Työn tilaaja on tyytyväinen työn tuloksiin. Hän on myöntänyt Savonia-ammattikorkeakoululle etäseuranta-oikeuden kohteen järjestelmään. Tämän toteutuessa opiskelijat voivat jatkossa seurata järjestelmän toimintaa opiskeluhinsaan liittyen koululta käsin.</p> <p>Jatkotutkimuksen kohteena voisi olla esimerkiksi aurinkosähköä varastoivan akuston järjestelmään lisäämisen kannattavuus.</p>	
Avainsanat Lämpöpumppu, uusiutuva energia, kylmätekninen kiertoprosessi, mitoitus, suunnittelu, energialaskelma	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Energy Engineering			
Author(s) Teemu Mero			
Title of Thesis Main Principles of Designing and Dimensioning Heat Pump-based Heating Systems			
Date	31 May 2019	Pages/Appendices	48/4
Supervisor(s) Lecturer Tanja Pentinsaari and lecturer Ari Mikkonen			
Client Organisation /Partners Neo Energiat Oy			
<p><b>Abstract</b></p> <p>The aim of this thesis was to describe the main principles of designing heat pump-based heating systems. Compared to a traditional heating system, heated for example by oil boiler, for example flow rates and heat levels of connected brine and heating circuits are essential when the goal is to create working and energy saving heat pump system. Therefore, it is important for a system designer to understand the main principles of refrigeration cycle process.</p> <p>The thesis includes a description of dimensioning and designing of a real heat pump system. As described above, it is important to know how the heat pump or part of the heat pump system should be designed and dimensioned to meet the needs of each installation site's needs. Because of that the main principles of different heat pump types and process components were included in this work.</p> <p>As a result, of this thesis, a working and energy saving ground source heat pump heating system was created. When looking at the data collected from the working system during the monitoring period, it can be said that the system planning and selection of system components were successful. During the project the heat pump system was connected to a photovoltaic solar plant via data bus. The solar part of the installation is not described in this work.</p> <p>The end customer is happy with the results of this project. He has granted Savonia University of Applied Sciences the right to remotely monitor the operation of the created heat pump system. That gives energy technology engineering students the possibility to follow how this system works in practice.</p> <p>Further study could be made for example about the profitability of installing a solar energy battery system to this heat pump-solar system.</p>			
<p><b>Keywords</b> Heat pump, renewable energy, refrigeration cycle process, dimensioning, designing</p>			

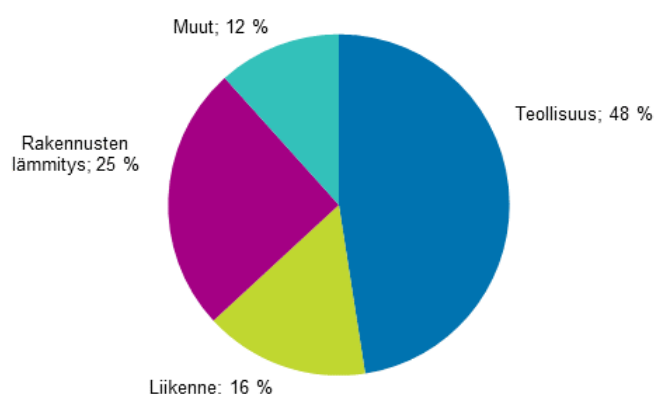
## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	6
	Lyhenteet ja määritelmät .....	8
2	LÄMPÖPUMPPUJÄRJESTELMÄN TOIMINTAPERIAATE .....	9
2.1	Kylmätekninen kiertoprosessi .....	9
2.2	Lämpökerroin COP .....	10
2.3	Lämpöpumpun pääkomponentit ja niiden toimintaperiaate .....	10
2.3.1	Höyrystin .....	11
2.3.2	Kompressori .....	12
2.3.3	Lauhdutin .....	13
2.3.4	Paisuntalaite .....	13
2.3.5	Muut komponentit .....	14
2.4	Lämpöpumpun toimintaperiaate .....	15
2.4.1	Maalämpöpumppu tulistinpiirillä .....	15
2.4.2	Maalämpöpumppu vaihtuvalla lauhdutuksella (on-off) .....	16
2.4.3	Invertterikäyttöinen maalämpöpumppu vaihtuvalla lauhdutuksella .....	17
2.5	Lämmönkeruujärjestelmät .....	18
2.5.1	Energiakaivo (lämpökaivo) .....	18
2.5.2	Pintamaakeräin .....	19
2.5.3	Vesistökeräin .....	19
3	MITOITUS SEKÄ SUUNNITTELUN PERUSTEITA .....	20
3.1	Uudiskohteen mitoittaminen .....	21
3.1.1	Lämmitystehontarve .....	21
3.1.2	Käyttöveden lämmittämisen energian tarve .....	21
3.2	Mitoitus saneerauskohteeseen .....	26
3.2.1	Lämmitystehontarve .....	26
3.3	Oheiskomponenttien valinta ja liittäminen .....	27
3.3.1	Käyttövesivaraajan valinta ja liittäminen käyttövesiverkkoon .....	27
3.3.2	Lämpöpumpun liittäminen lämmityspiiriin .....	28
3.3.3	Maalämpöpumpun liittäminen lämmönkeruupiiriin .....	29
3.3.4	Liittäminen sähköverkkoon .....	30
4	KOHTEEN KUVAUS .....	31
4.1	Pohjatiedot mitoitusta varten .....	31

4.2	Mitoitus mitoitushjelmalla .....	32
4.3	Mitoituksen tulokset .....	33
5	LAITTEIDEN VALINTA.....	34
5.1	Lämpöpumpun valintaperusteet.....	34
5.1.1	Osatehoinen järjestelmä .....	34
5.1.2	Perinteinen täysitehoinen maalämpöpumppu sisäisellä varaajalla ja tulituksen poistolla..	34
5.1.3	Täystehomitoitettu yhden tehoportaan vaihtoventtiilijärjestelmä .....	34
5.1.4	Täystehomitoitettu kahden tehoportaan vaihtoventtiilijärjestelmä.....	34
5.1.5	Täystehomitoitettu invertterimaalämpöpumppu.....	34
5.2	Valittu laite.....	34
5.2.1	NIBE F1355-28 tehonsäädön periaate.....	35
5.2.2	Lämpöpumpun ohjaus .....	36
5.2.3	Käyttövesivaraaja ja käyttöveden lämmitystekniikka .....	37
6	TULOKSET .....	39
6.1	Lämpöpumpun energiantuotto, sähkönkulutus sekä lämpökerroin .....	39
6.2	Lämpöpumpun invertterikylmäyksikön tehonsäädön käyttäytyminen .....	39
7	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	41
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT .....	42
	LIITE 1: ENERGIALASKELMA KORKEALÄMPÖINEN LÄMMÖNJAKO.....	44
	LIITE 2: ENERGIALASKELMA MATALALÄMPÖINEN LÄMMÖNJAKO.....	45
	LIITE 3: KÄYTTÖVESILÄMMÖNSIIRTIMEN MITOITUS.....	46
	LIITE 4: TYÖN KOHTEENA OLEVASTA KIINTEISTÖSTÄ LAADITTU ENERGIALASKELMA.....	47

## 1 JOHDANTO

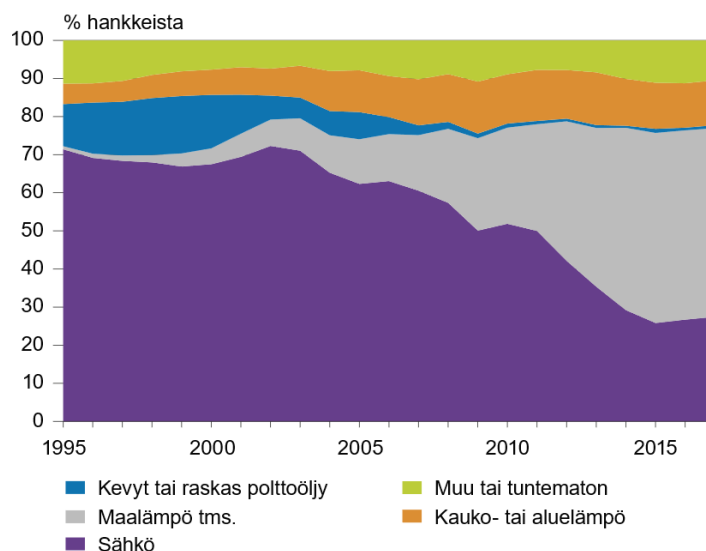
Suomi on EU:n ilmasto- ja energiapaketin mukaisesti sitoutunut vähentämään ihmisen toiminnasta aiheutuvien kasvihuonekaasujen päästöjä vähintään 20 prosenttia vuoden 1990 tasosta vuoteen 2020 mennessä. Lisäksi ilmastolakiin on kirjattu pitkän aikavälin tavoite ihmisen toiminnasta aiheutuvien kasvihuonekaasujen päästöjen vähentämisestä vähintään 80 prosenttia vuoteen 2050 mennessä verrattuna vuoteen 1990. Suomen kylmästä ilmastosta johtuen rakennusten lämmitys on merkittävä päästöjen lähde ja samalla myös potentiaalinen säästökohde. Tilastokeskuksen 2018 julkaiseman kuvion 1 mukaan rakennusten lämmitys kulutti 25 % Suomen koko energian kulutuksesta vuonna 2018. Liikenteen osuus oli vastaavasti 16 %. (Tiedot ovat ennakkollisia.)



\*ennakkollinen

KUVIO 1. Energian Loppukäyttö sektoreittain 2018\* (Suomen virallinen tilasto (SVT) 2018)

Lämpöpumput ovat viime vuosina kasvattaneet voimakkaasti suosiotaan rakennusten lämmitysmuotona. Kuten kuviosta 2 voidaan havaita, maalämpö on ollut omakotitaloissa uudiskohteissa jo usean vuoden ajan selvästi suosituin lämmitysmuoto.



KUVIO 2. Pääasiallinen lämmitysaine valmistuneissa omakotitalohankkeissa, osuus hankkeista (Tilastokeskus, 2018)

Tämän opinnäytetyön aiheena on lämpöpumppujärjestelmän mitoittamisen sekä laitevalinnan perusteet. Työssä käydään läpi mitoitus ja laitevalinnat olemassa olevaan huvilakiinteistöön. Työn tarkoituksena oli mitoittaa ja suunnitella kohteeseen energiatehokas ja toimintavarma lämmitysjärjestelmä siellä aiemmin olleen puu- ja sähkölämmityksen tilalle. Lämpöpumppujärjestelmä on oikein toteutettuna luotettava sekä tavallisesti myös taloudellisesti kannattava lämmitysmuoto. Olen työhistoriani aikana tavannut useita epäonnistuneita maalämpöhankkeita. Ensiksi väärin toteutettu ja sen jälkeen toimivaksi korjattu järjestelmä tulee aina kalliimmaksi, kuin kerralla oikein toteutettu järjestelmä. Lisäksi huonosti toimivat järjestelmät tuovat koko alalle huonoa mainetta. Lämpöpumppuihin liittyen liikkuu myös paljon uskomuksia ja disinformaatiota. Kun perusasiat ovat tiedossa ja ne otetaan huomioon, toteutetusta järjestelmästä tulee toimiva ja energiaa säästävä. Tämän lisäksi on olemassa kohde- ja projektikohtaisia erityisvaatimuksia, joiden hallinta vaatii toisinaan jo hieman enemmän osaamista. Tämän vuoksi olisi tärkeää, että lämpöpumppujärjestelmien parissa työskentelevien suunnittelijoiden ymmärrys koko järjestelmää ja sen sisällä toimivia prosesseja kohtaan lisääntyisi. Tietämys on viime vuosina selvästi lisääntynyt, mutta edelleen tavataan virheitä, mitkä olisi voinut välttää jopa laitteiden mukana toimitettuihin asennusohjeisiin perehtymällä.

Pääsin osallistumaan opiskelijaprojektiin, jonka yhteydessä idea tämän opinnäytetyön toteuttamisesta syntyi. Projektin aihe oli laajempi, sisältäen myös aurinkosähköjärjestelmän mitoittamisen kiinteistöön. Aurinkosähköjärjestelmä toteutettiin suunnitelman mukaisesti. Se liitettiin tavanomaisen kiinteistön sähkökeskukseen tehtävän sähkökytkennän lisäksi toteutettuun maalämpöjärjestelmään tiedonsiirtoväylän avulla. Näin lämpöpumppu osaa hyödyntää normaalisti valtakunnan verkkoon syötettävää sähköä lämmöntuotannossa. Aurinkosähköjärjestelmän käsittely jätetään tässä työssä aiheen laajuuden vuoksi vain pintapuoliseksi.

Työssä kuvataan lämpöpumppujärjestelmän toimintaan liittyvää teoriaa ja koko mitoitusprosessi. Toisessa luvussa käydään läpi lämpöpumppujen toiminnan perusteena olevan kylmäteknisen kierto-prosessin toiminta. Seuraavaksi käsitellään lyhyesti kylmäpiirin eri pääkomponentit sekä yleisimpien eri tekniikoilla toteutettujen lämpöpumppujen toimintaperiaatteet. Lisäksi esitellään yleisimpien lämmönkeruujärjestelmien periaatteet. Kolmannessa luvussa käydään läpi järjestelmän mitoittamiseen liittyviä perusasioita yleisellä tasolla. Mitoittamiseen liittyy jo usein laitevalintaa, lähinnä lämpöpumpun osalta. Mitoitusta käsittelevän osan jälkeen käydään läpi lämpöpumpun liittämistä niin lämmönkeruu- kuin myös lämmönluovutusjärjestelmiin. Neljännessä luvussa tutustutaan työn kohdekiinteistöön sekä laaditaan siihen mitoitus. Viides luku käsittelee kohteeseen valittua laitteistoa. Valinnan yhteydessä esitetään myös joitain valinnan perusteita. Samalla käydään lyhyesti läpi valitun laitteen ominaisuuksia ja sen päätoimintaperiaate. Kuudennessa luvussa käydään lyhyesti läpi projektin aikana tehtyjä havaintoja, sekä kootaan seurantajakson mittauksiloket. Seitsemäs luku käsittelee työn perusteella tehtyjä johtopäätöksiä.

## Lyhenteet ja määritelmät

COP (coefficient of performance)= Lämpöpumpun lämpökerroin, joka ilmaisee tuotetun energiamäärän yhtä kulutettua energiayksikköä kohden tietyissä lämpötiloissa, esimerkiksi keruuliuoksen lämpötila 0°C ja lauhduttimen menolämpötila +35°C. Arvolla mitataan lämpöpumpun energiatehokkuutta.

SCOP (seasonal coefficient of performance)= Lämpökerroin, joka ilmaisee tuotetun ja kulutetun energiamäärän keskimääräisen suhteen vuoden aikana.

MUT = Mitoittava ulkolämpötila, mikä kertoo suurimman lämmitystehontarpeen suunnittelun perusteena olevan ulkolämpötilan.

LKV = Lämmin käyttövesi

$Q_{lkv, netto}$  = Lämpimän käyttöveden lämpöenergian nettotarve, kWh

$\rho_v$  = Veden tiheys, 1000 kg/m<sup>3</sup>

$c_{pv}$  = Veden ominaislämpökapasiteetti, 4,2 kJ/(kg K)

$V_{lkv}$  = Lämpimän käyttöveden kulutus, m<sup>3</sup>

$T_{lkv}$  = Lämpimän käyttöveden lämpötila, °C

$T_{kv}$  = Kylmän käyttöveden lämpötila, °C

3600 = Kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos sekunneista tunneiksi, s/h

$Q_{lämmitys, lkv}$  = Lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve, kWh/a

$Q_{lkv, netto}$  = Lämpimän käyttöveden lämpöenergian nettotarve, kWh/a

$\eta_{lkv, siirto}$  = Lämpimän käyttöveden siirron hyötysuhde, -

$Q_{lkv, varastointi}$  = Lämpimän käyttöveden varastoinnin lämpöhäviö, kWh/a

$Q_{lkv, kierto}$  = Lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviö, kWh/a

$Q_{lkv, ulos}$  = Lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviö lämmittämättömään tilaan, kWh/a

$Q_{lkv, lto}$  = Jäteveden lämmöntalteenotolla talteen otettu ja käyttöveden lämmityksessä hyväksikäytetty energia, kWh

$\Phi_{lkv, kiertohäviö, omin}$  = Lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviön ominaisteho, W/m

$L_{lkv}$  = Lämpimän käyttöveden kiertojohdon pituus, m

$\Phi_{lkv, lämmitys, omin}$  = Lämpimän käyttöveden kiertojohtoon kytkettyjen lämmityslaitteiden ominaisteho, W/kpl

$n_{lämmityslaitte}$  = Lämpimän käyttöveden kiertojohtoon kytkettyjen lämmityslaitteiden lukumäärä, kpl

$t_{lkv, pumppu}$  = Lämpimän käyttöveden kiertojohdon pumpun käyttöaika, h/vrk

INVERTTERI = (lämpöpumpun yhteydessä) Vaihtosähkön taajuutta muuttava laite. Mahdollistaa esimerkiksi kompressorin pyörimisnopeuden säädön

INVERTTERI = (aurinkosähkön yhteydessä) Laite, joka vaihtosuuntaa aurinkopaneeleilta tulevan sähkön sähköverkkoon sopivaksi vaihtosähköksi

IoT = (Internet of Things) Esineiden tai asioiden Internet.



## 2 LÄMPÖPUMPPUJÄRJESTELMÄN TOIMINTAPERIAATE

Lämpöpumppujärjestelmän toiminnan ymmärtämisen kannalta on tärkeää ymmärtää myös siihen liittyvien prosessin osien toimintaa. Sen vuoksi seuraavaksi käsitellään lyhyesti kylmälaitteiden prosessin ja eri komponenttien toimintaa.

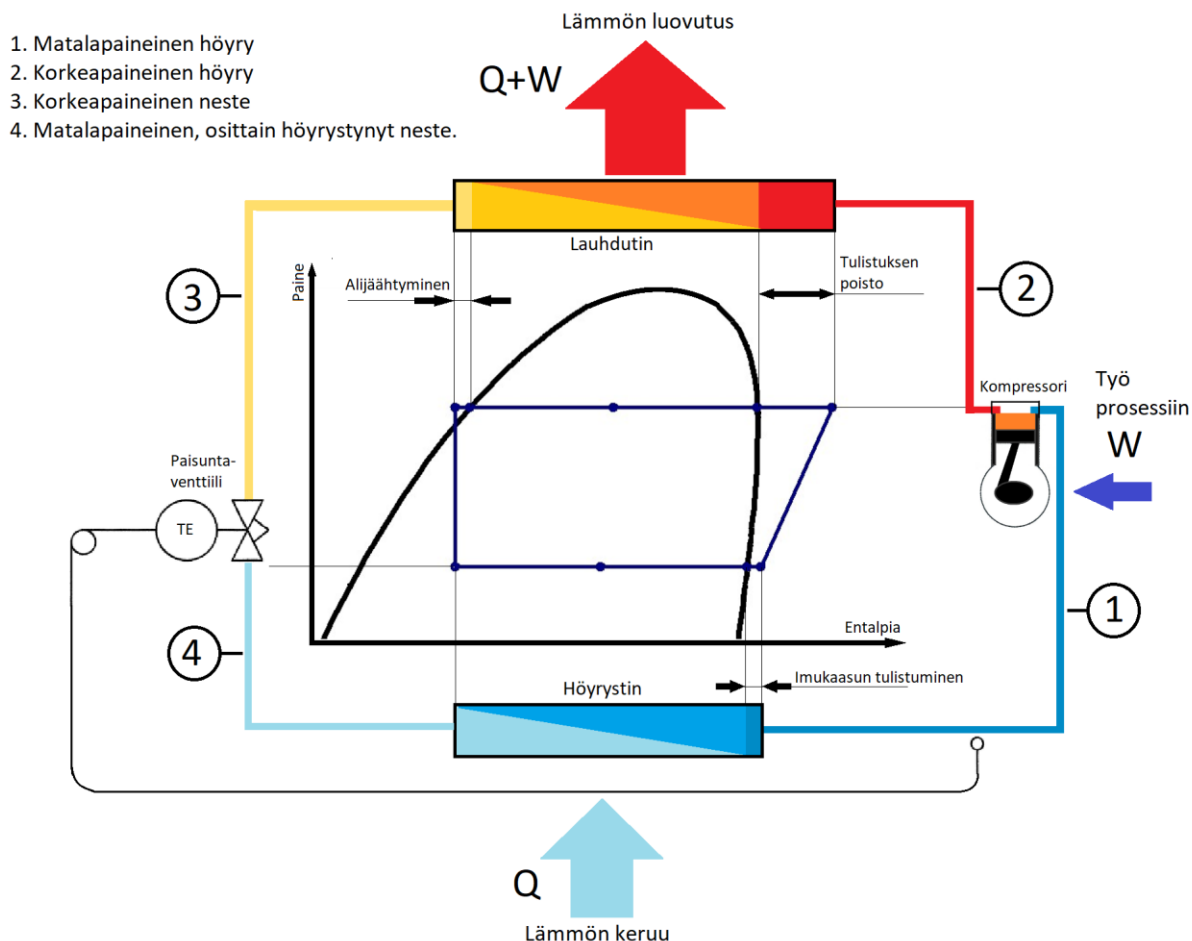
### 2.1 Kylmätekninen kiertoprosessi

Termodynamiikan 1. pääsäännön mukaan energia ei katoa, se ainoastaan muuttaa muotoaan. Edelleen 1. pääsäännön mukaan, mikäli systeemiin siirtyy energiaa, täytyy systeemin energian kasvaa. Mikäli energiaa siirtyy systeemistä, täytyy systeemin energian pienentyä. Systeemiin siirtyvä energia on merkkipositiivista ja systeemistä pois siirtyvä energia on negatiivista. Tästä johtuen voidaan todeta systeemin kokonaisenergian muutoksen olevan siirtymäenergioiden summa.

Lämpö siirtyy termodynamiikan 2. pääsäännön mukaan luonnollisesti aina korkeammasta lämpötilasta matalampaan. Tämän seurauksena on mahdotonta rakentaa laitetta, joka siirtäisi lämpöä matalammasta lämpötilasta korkeampaan tekemättä lainkaan työtä. Tästä johtuen jäähdytystekniikka kuluttaa aina energiaa. (Jaakkola 2014, 57-59.)

Lämpöpumppujen toiminta perustuu kylmätekniseen kiertoprosessiin. Tässä prosessissa lämpö siirtyy prosessiin tehdyn työn seurauksena matalammasta lämpötilasta korkeampaan. Prosessissa tehty työ välittyy kylmäaineen välityksellä, jonka faasimuutoksiin, höyrystymiseen ja lauhtumiseen vaihtelevilla painetasoilla koko kylmätekninen kiertoprosessi perustuu. Kuvassa 1 on esitetty prosessin periaate sisältäen avainkomponentit sekä prosessin vaihetta vastaavat kylmäaineen olomuodot. (Kaappola, Hirvelä, Jokela, Kianta 2012, 17.)

Koska prosessiin tehty työ  $W$ , toisin sanoen lähestulkoon kompressorin käyttämä sähköenergia, on paljon pienempi kuin lauhtuttimella luovutettava kylmäaineen höyrystymislämpö  $Q$  lisättynä kompressorin tekemällä työllä  $W$ , voidaan prosessia pitää energiataloudellisesti edullisena.



KUVA 1. Lämpöpumpuissa käytetyn kylmäteknisen kierto-prosessin periaate. (Mero 2019)  
(Alkuperäinen idea: Kaappola, ym. 2012, 17.)

## 2.2 Lämpökerroin COP

Lämpöpumpun tehokkuutta kuvataan lämpökertoimella ( $COP = \text{coefficient of performance}$ ). Se kertoo kuinka paljon lämpöpumppu tuottaa lämpöä kyseisellä hetkellä vallitsevissa olosuhteissa suhteessa lämpöpumpun käyttämään sähköenergiaan. Samankin lämpöpumpun *vuotuinen* lämpökerroin voi vaihdella suuresti riippuen eri kohteiden olosuhteista. (MOTIVA 2018, 33)

## 2.3 Lämpöpumpun pääkomponentit ja niiden toimintaperiaate

Kaikki kylmälaitokset, joihin tässä työssä käsiteltävät kiinteistöjen ja asuntojen lämpöpumputkin kuuluvat, koostuvat vähintään neljästä pääkomponentista: höyrystin, kompressori, lauhdutin ja paisunta-laite. Höyrystimessä matalapaineinen ja täten myös matalassa lämpötilassa oleva kylmäaine sitoo energiaa lämmönsiirtoaineena olevasta fluidista. Lämpöpumpputyypistä riippuen lämmönsiirtoaineena toimivat tavallisesti joko ilma, vesi tai jokin vesiliuos. Kompressori imee höyrystimeltä höyrystynyttä kylmäainetta ja korottaa sen painetta. Paineen korottamisen yhteydessä kylmäaineen lämpötila nousee. Kompressorin jälkeen korkeassa paineessa ja lämpötilassa oleva kylmäainehöyry virtaa lauhduttimeen. Lauhduttimessa kylmäaine luovuttaa lämpöenergiaa lämmityspuolen lämmönsiirtoaineeseen samalla tiivistyen nesteeksi eli lauhtuen. Lämpöpumpuissa lämmönsiirtoaineena lämmityspuolella on tavallisesti ilma tai vesi. Lauhduttimen jälkeen korkeapaineinen, nesteeksi lauhtunut kylmäaine joh-

detaan paisuntalaitteelle, jossa kylmäaineen paine laskee. Paineen laskiessa osa kylmäaineesta höyrystyy, minkä johdosta sen lämpötila laskee. Paisuntalaitteelta osittain höyrystynyt kylmäaine virtaa höyrystimeen, jolloin kylmäprosessi alkaa alusta. (Kaappola, ym. 2012, 50.)

### 2.3.1 Höyrystin

Höyrystimessä höyrystävä matalassa paineessa ja lämpötilassa oleva kylmäaine sitoo lämpöä käytetystä lämmönsiirtoaineesta, esimerkiksi ilmasta tai vedestä. Lämpöpumpuissa tavallisimmin käytetyt höyrystinmallit ovat lamellilämmönsiirrin varustettuna puhaltimella sekä levylämmönsiirrin. Ilmaa lämmönsiirtoaineena käytävissä lämpöpumpuissa lamellilämmönsiirrin ja levylämmönsiirrin nestettä lämmönsiirtoon käyttävän maalämpöpumpun tapauksessa.

Puhallinhöyrystin koostuu kupariputkista ja alumiinilamelleista (Kaappola, ym 2012, 50). Koska höyrystimen pinta on ympäristöä kylmempi, siirtyy siihen lämpöä ympäröivästä ilmasta. Samalla kuitenkin lämpötiloista ja vallitsevasta ilmankosteudesta riippuen saattaa lamellien pintaan alkaa muodostua huurretta. Huurre on poistettava aika-ajoin, jotta ilmankierto höyrystimen läpi ei estyisi. Yleisimmin käytettyjä sulatustapoja lämpöpumpuissa ovat vallitsevasta lämpötilasta riippuen mm. ilmasulatus ja kuumakaasusulatus. Ilmasulatuksessa kompressorin pysäytetään ja lämmönsiirtopinnat sulatetaan höyrystinpuhaltimen avulla. Edellytyksenä on riittävän korkea ilman lämpötila. Kuumakaasusulatuksessa kylmäprosessin kiertosuunta muuttuu. Toisin sanoen höyrystin ja lauhdutin vaihtavat paikkaa erityisen venttiilin avulla, ja kompressorilta tuleva kylmäainehöyry eli kuumakaasu virtaa höyrystimen läpi sulattaen sen pinnalle kerääntyneen huurteen. Kuumakaasusulatus ottaa kompressorin käyttämän sähkönsä lisäksi lämpöenergiaa lämmitettävästä piiristä heikentäen näin lämpöpumpun energian tuottoa. Tämä vaikuttaa lämpöpumpun SCOP-arvoon hieman tätä alentavasti. Levylämmönsiirrin koostuu poimutetuista, toisiinsa kuparilla tai nikkelillä juotetuista levyistä. Joka toisessa levyvälissä virtaa kylmäaine ja joka toisessa lämmönsiirtioneste. Paisuntalaitteelta tuleva kylmäaine johdetaan lämmönsiirtimeen sen alaosasta ja höyry poistuu sen yläosasta. Lämmönsiirtioneste puolestaan johdetaan siirtimeen sen yläosasta ja jäähtynyt neste poistuu siirtimen alaosasta. Virtaukset ja lämmönsiirrin kuvattu kuvassa 2. (Kaappola, ym. 2012, 60).

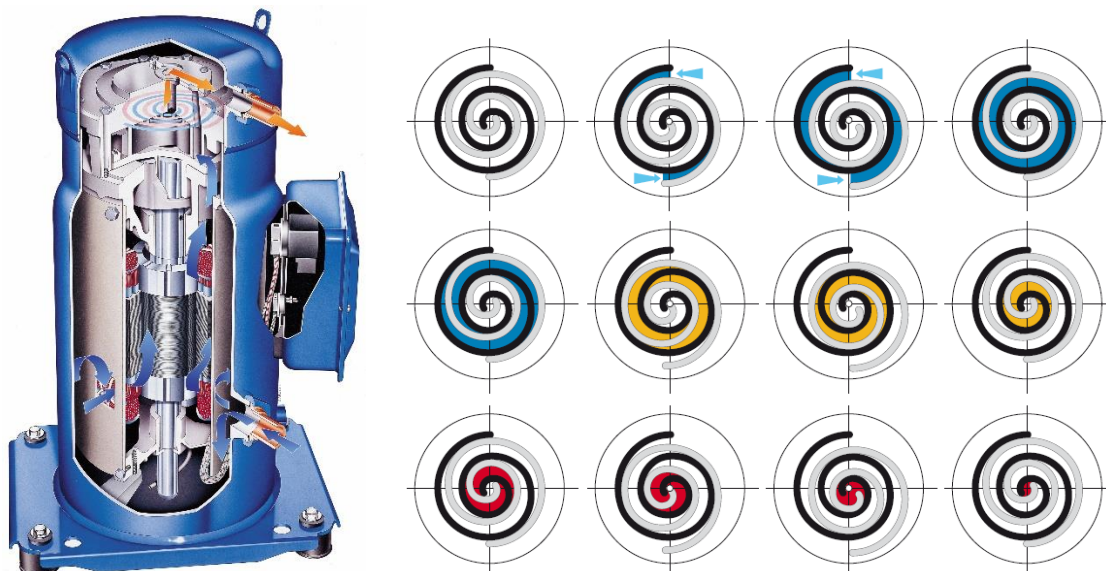
Maalämpöpumpuissa tavallisesti käytetty levylämmönsiirrin-höyrystin ei vaadi sulatusta, huolimatta siitä, että höyrystymislämpötila voi olla jopa  $-10^{\circ}\text{C}$ . Tämä johtuu siitä, että Suomessa käytetään lämmönsiirtoaineena tavallisesti veden 30% etanoliliuosta, minkä pakkasen kestävyys on noin  $-17^{\circ}\text{C}$ . Höyrystimen jäätyminen saattaisi levylämmönsiirtimen tapauksessa rikkoa siirtimen rakenteen.



KUVA 2. Levylämmönsiirrin höyrystin (Alfa-Laval)

### 2.3.2 Kompressorit

Kompressorin tehtävä on korottaa kylmäaineen painetta höyrystyslämpötilasta lauhtumislämpötilaan. Paine-eron johdosta kylmäaine siirtyy lauhtuttimesta höyrystimeen. Kompressorit jaotellaan hermeettisiin, puolihhermeettisiin ja avokompressoreihin. Hermeettisessä kompressorissa kompressorin ja sähkömoottori ovat molemmat kaasutiiviin, hitsatun kuoren sisällä. Tässä työssä käsitellyissä lämpöpumpuissa kompressorit ovat hermeettistä rakennetta. Nämä kompressorit jaetaan kahteen päätyyppiin: mäntä- ja scroll kompressoreihin. Mäntäkompressorissa sähkömoottori ja kompressorin osat ovat jousien varassa, jotta männän aiheuttamat värinät vaimenevat. Sähkömoottorin akseli toimii myös kampiakselina. Kiertokanki on laakeroitu tähän akseliin epäkeskeisesti, mikä saa moottorin pyöriessä aikaan männän edestakaisen liikkeen sylinterissä. Kylmäainehöyry tulee höyrystimeltä kuoren sisälle, missä se jäähdyyttää sähkömoottoria. Höyry imetään sylinteriin, missä mäntä nostaa sen paineen ja pumppaa sen paineputkea pitkin kompressorin kuoren läpi lauhtuttimelle. Kierukka- eli scroll-kompressorissa puristus tapahtuu kahden kierukan välissä. Toinen kierukoista on kiinteä ja toinen kiertävä. Kierukoiden väliin jäänyt höyry puristetaan kolmen kierroksen aikana imupuolelta painepuolelle kohti lauhtutinta. Riippuen mallista imuhöyry jäähdyyttää sähkömoottorin joko osittain tai täysin. Scroll kompressorin ja puristuksen vaiheet on kuvattu kuvassa 3. (Kaappola, ym. 2012, 51.)



KUVA 3. Scroll -kompressorin halkileikkaus ja puristuksen vaiheet (Danfoss)

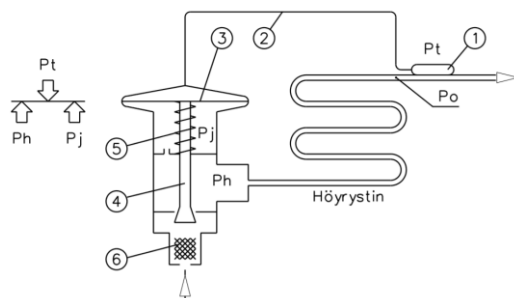
### 2.3.3 Lauhdutin

Lauhduttimen tehtävä on nesteyttää kompressorilta tuleva tulistunut kylmäainehöyry. Lämpöpumpuissa käytetään yleisesti ilma- (ilmalämpöpumput) ja nestejäähdytteisiä lauhduttimia (ilma-vesi-, poistoilma- ja maalämpöpumput). Ilmalauhduttimen kenno on tavallisesti valmistettu kupariputkista ja alumiinilamelleista. Neste- eli tavallisesti vesijäähdytteiset lauhduttimet ovat nykyisin useimmiten levylämmönsiirtimiä. Levylämmönsiirrin koostuu poimutetuista levyistä, mitkä on juotettu toisiinsa kuparilla tai nikkelillä. Joka toisessa levyvälissä virtaa kylmäaine ja joka toisessa lauhduttava neste, tavallisesti lämmitysverkoston vesi. Kompressorilta tuleva kylmäainehöyry virtaa lauhduttimeen sen yläosasta ja lauhtuu nesteeksi poistuen lauhduttimen alaosasta. Lauhduttava neste vastaavasti johdetaan lauhduttimeen siirtimen alaosasta ja se lämpenee lauhduttimessa poistuen siirtimen yläosasta. Rakenne vastaa aiemmin esitettyä höyrystintä. (Kaappola, ym. 2012, 55.)

### 2.3.4 Paisuntalaite

Paisuntalaitteen tehtävinä on pitää yllä paine-eroa kylmäprosessissa sekä syöttää oikea määrä kylmäainetta höyrystimelle oikean suuruisen ja vakaan imukaasun tulistuksen saavuttamiseksi. Oikea tulistuminen on ensiarvoisen tärkeää kompressorin turvallisen toiminnan sekä kylmäprosessista saatavan hyödyn vuoksi.

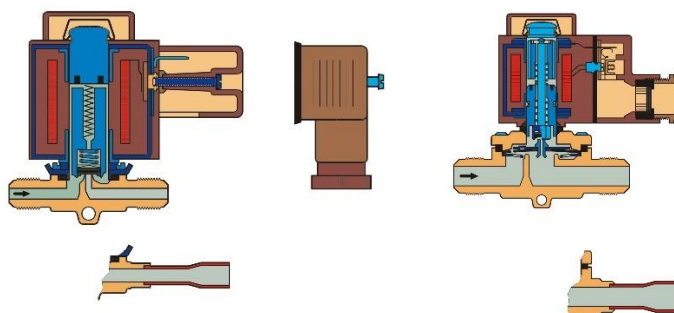
Lämpöpumpuissa käytetään paisuntalaitteena joko termostaattista tai elektronista paisuntaventtiiliä. Termostaattinen paisuntaventtiili, minkä toimintaperiaate on kuvattu kuvassa 4, säätelee kylmäaineen ruiskutusta höyrystimeen. Kylmäaineen tulistuminen ohjaa ruiskutusta. Kun tulistus suurenee, nousee lämpötila höyrystimeltä lähtevässä imuputkessa. Tällöin nousevat paine ja lämpötila myös höyrystimen jälkeen asennetussa tuntoelimessä, ”pulpissa” (1). Paine välittyy kapillaariputkea (2) pitkin venttiilissä sijaitsevan kalvon (3) yläpuolelle ja siitä edelleen suuttimessa olevaan neulaan (4). Tällöin venttiili avautuu lisää ja nestettä virtaa enemmän höyrystimeen. Kalvon toisella puolella vaikuttaa paisuntaventtiilin sisällä vallitseva paine. Tulistusta vastaava paine-ero määräytyy jousen (5) voimasta, mitä voidaan säätää säätöruuvilla. Kun tulistus pienenee, paine kalvon yläpuolella vastaavasti laskee, jolloin venttiili alkaa sulkeutua. (Kaappola, ym. 2012, 57.)



KUVA 4. Termostaattinen paisuntaventtiili sisäisellä paineentasauksella (Kaappola)

Elektroninen paisuntaventtiili voi olla toimintaperiaatteeltaan pulssittava, askelmoottorilla toimiva tai jatkuvasti säätävä. Kuvan 5 leikkauksessa näkyy suoratoimisen ja servotoimisen elektronisen magneettiventtiilin rakenne. Elektronisen paisuntaventtiilin toimintaa ohjaa säädin, mikä mittaa imuputken lämpötilaa lämpötila-anturilla ja saa painetiedon painelähtetimestä.

Pulssittava venttiili toimii jaksoittain. Jakson aikana venttiili voi olla kiinni tai auki. Esimerkiksi 50 prosentin teholla venttiili on 6 sekunnin jakson aikana auki 3 sekuntia ja kiinni 3 sekuntia. Askelmoottorilla toimiva venttiili avautuu ja sulkeutuu pienissä portaisissa. Riippuen venttiilin tehosta ja mallista voi moottorissa olla muutamasta sadasta muutamaankin tuhanteen säätöporrasta. Jatkuvasti säätävä venttiili säätää venttiiliä portaattomasti. (Kaappola, ym. 2012, 57.)



KUVA 5. Suoratoiminen ja servotoiminen magneettiventtiili (Danfoss)

### 2.3.5 Muut komponentit

Edellä mainittujen pääkomponenttien lisäksi kylmäteknisessä kiertoprosessissa on laitetypistä riippuen yleensä lukuisia muitakin komponentteja. Näitä ovat esimerkiksi kuivainsuodatin, näkölasia (Kuva 6), 4-tieventtiili, takaiskuventtiili, painelähtetimiä, korkeapaine- ja matalapaine-pressostaatti ja magneettiventtiili.



KUVA 6. Kosteusindikaattorilla varustettu näkölasia (Danfoss)

Kylmäaineen on mentävä paisuntalaitteelle täysin nestemäisenä, mikäli joukossa on kaasukuplia, paisuntalaitteen toiminta häiriintyy. Kaasun ja nesteen tiheyseron vuoksi myös kylmäaineen massavirta romahtaa, mikäli kylmäaine virtaa paisuntalaitteen läpi edes osittain kaasumaisena. Näkölasista on helppo todeta kylmäaineen olevan nestefaasissa. Kuplat näkyvät lasissa selvästi. Lisäksi näkölasissa on usein keskellä kylmäaineen kosteudesta kertova indikaattorinasta. Kuvassa 8 esitetyn näkölasin indikaattori on vihreä kylmäaineen ollessa kuivaa ja keltainen, kun sen joukkoon on päässyt kosteutta.

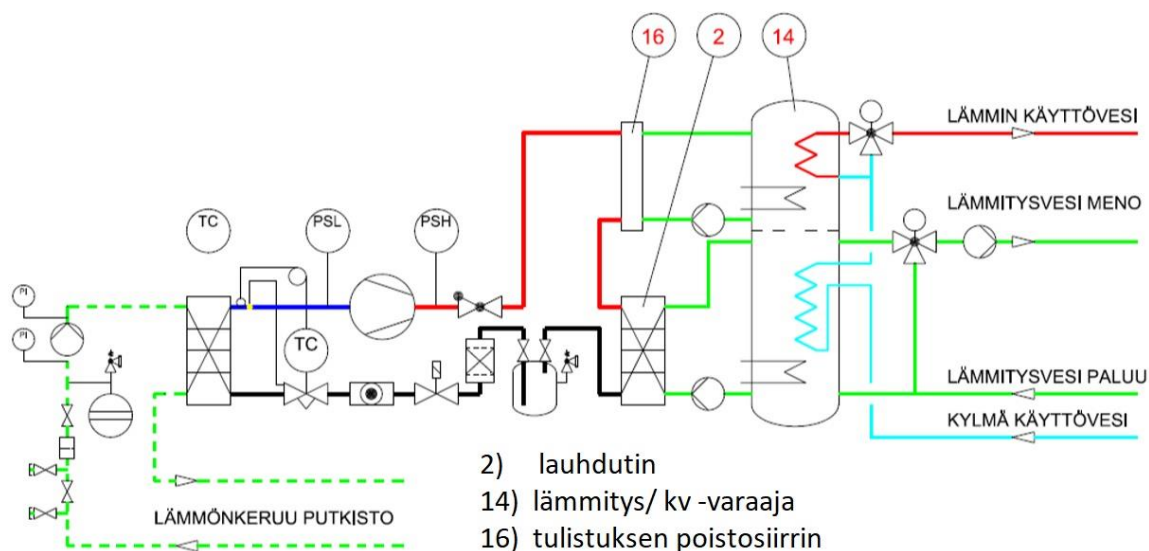
## 2.4 Lämpöpumpun toimintaperiaate

### 2.4.1 Maalämpöpumppu tulistinpiirillä

Tulistinpiirillä varustetussa maalämpöpumpussa käyttövesi esilämmitetään lämmitysverkoston varaajassa. Esilämmitetyn käyttöveden lämpötila nostetaan lopulliseen tasoon niin kutsutussa tulistinpiirissä. Lämpöpumpun varaaja on tavallisesti kaksiosainen. Lämmitys- ja käyttövesivaraaja on erotettu toisistaan välilevyllä. Käyttövesivaraajan lämpö otetaan kompressorilta tulevasta tulistuneesta kylmäainehöyrystä erityisellä tulistuksenpoistolämmönsiirtimellä. Tässä tulistinpiirissä esilämmitetyn käyttöveden lämpötila korotetaan lopulliseen tasoonsa. Kaasumainen tulistunut kylmäaine jäähtyy siirtimessä tulistuslämmön verran. Kaasumainen kylmäaine johdetaan seuraavaksi lauhduttimeen, missä se lauhtuu nesteeksi. Lauhdutinpiiri lämmittää lämmitysverkoston varaajaa. (Motiva, 2012, 7.)

Eriyisen huonosti tulistinlämpöpumpuille sopii korkea patterijärjestelmän menolämpötila. Lauhtumislämpötilan on oltava hieman korkeampi kuin lämmönjakoverkkoon vaadittava veden lämpötila. (MOTIVA, Energiatohokas Koti 2017.)

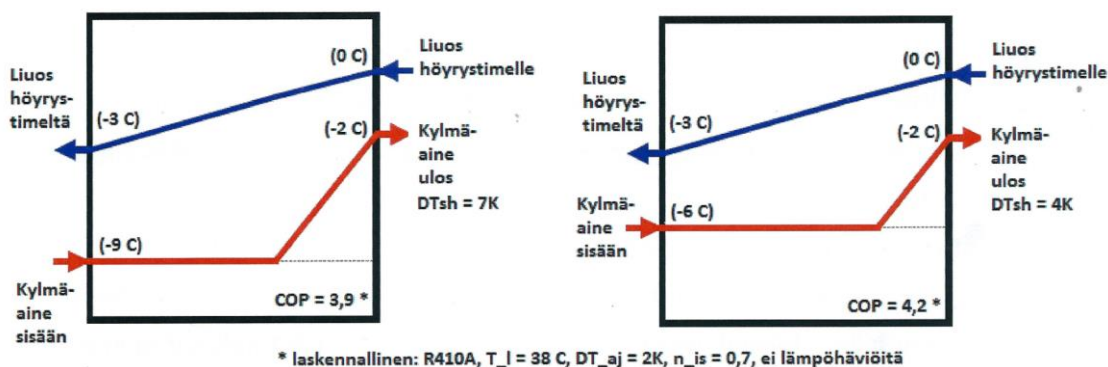
Tulistuksen poistopiirillä varustettu lämpöpumppu (kuva 7) ei välttämättä sovellu kohteisiin, missä on lämpimän käyttöveden kierto ja suuret häviöt kiertojohdossa. Tulistuksen poistolämmönsiirtimeltä saatava teho ei välttämättä riitä kattamaan kiertojohdon lämpöhäviöitä. Tämä tilanne korostuu varsinkin kesän aikana, jolloin lämmitystarpeen vähentyessä tulistuksen poistosta saatava energia vähenee huomattavasti. Tällöin käyttövettä joudutaan lämmittämään esimerkiksi sähkövastuksilla. Käyttöveden kulutuksen osuuden lämmittämiseen käytetty energiamäärä on tavallisesti 15-25 % kiinteistön kokonaislämmitysenergian tarpeesta. Mikäli tulistinlämpöpumpun tapauksessa joudutaan nostamaan lämmitysvaraajan lauhdutuslämpötilaa käyttöveden riittävyyden ehtoilla korkeammaksi kuin lämmityksen kannalta on tarpeellista, tehdään suurempi energiamäärä huonommalla lämpöker toimella kuin olisi tarpeen. Tällöin saatetaan menettää suurempi säästöpotentiaali lämmityspuolella, kun tavoitellaan pienemmän energiamäärän tarvitsevan käyttöveden lämmittämistä täysin kompressorin tuottamalla lämmöllä.



KUVA 7. "Tulistusmallisen" lämpöpumpun toimintaperiaatekuva (Kaappola)

Tulistusmallin lämpöpumpuissa on perinteisesti käytetty täyستهomitoitettuja "on/off"-kompresso-reita. Tällöin on syytä huolehtia lämmitysvaraajan riittävästä koosta. Liian pieni varaajatilavuus aiheuttaa kompressorille haitallista katkokäyntiä osakuormitustilanteissa. Tällöin kylmäprosessi ei ehdi saavuttaa parasta hyötysuhdettaan. Lisäksi käynnistykset kuluttavat kompressoria.

Edellisissä kappaleissa on kuvattu kuumakaasun tulistuslämmön hyödyntämistä erillisellä lämmönsiir-timellä. Kuumakaasun tulistusta ei pidä sekoittaa imukaasun tulistukseen. Vaikkakin imukaasun tulis-tuksen lisääminen lisää myös kuumakaasun tulistumista. Kuvassa 8 on esitetty imukaasun tulistuk-sen pienenkin lisäyksen vaikutus prosessin lämpökertoimeen. Liian pieni tulistus voi vaarantaa kompressorin voitelun nestemäisen kylmäaineen pienentäessä öljyn viskositeettia (Kaappola 2019). Liiallinen imukaasun tulistuksen lisääminen on kuitenkin laitteen energiatehokkuuden kannalta hai-tallista. Lisäksi liian suuri imukaasun tulistuminen voi vaurioittaa kompressoria tai myös kylmäai-neöljy voi alkaa hajota liian kuumassa lämpötilassa. Kompressorivalmistajat ilmoittavat teknisissä tiedoissa imukaasun tulistukselle sallitut arvot.



KUVA 8. Imukaasun tulistuksen vaikutus lämpökertoimeen (Pulkki 2013, 11)

#### 2.4.2 Maalämpöpumppu vaihtuvalla lauhdutuksella (on-off)

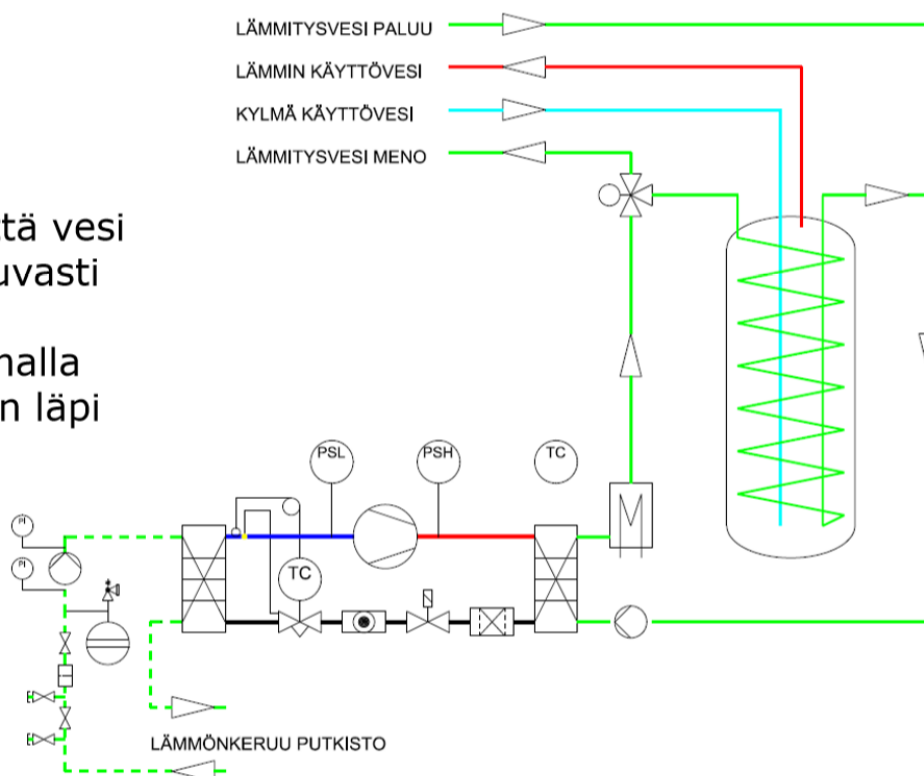
Vaihtuvan lauhdutuksen laitteessa (kuva 9) lauhdutinpiiriin vettä lämmitetään eri lämpötilatasoilla riippuen siitä, lämmitetäänkö käyttövedtä vai lämmitysverkon vettä. Käyttövesi lämmitetään joko kaksoisvaippavaraajalla, latauskierukalla, käyttövesikierukalla säiliössä tai nykyisin myös levyläm-mönsiirtimellä. Vaihtuvan lauhdutuksen lämpöpumppujen etu on, että lauhduttimen lämpötila voi olla hyvin alhainen huonetiloja lämmitettäessä. Tällöin lämpöpumppu toimii erittäin hyvällä lämpö-kertoimella. Vaihtuvan lauhdutuksen lämpöpumppu lämmittää joko lämmitysverkostoa tai käyttö-vettä. Lämpimän käyttöveden lämmitys priorisoidaan ennen huonetilojen lämmitystä. Kun käyttöve-sivaraajan lämpötila laskee, käyttövedtä lämmitetään lauhduttimesta saatavalla lämpimällä vedellä, jonka lämpö on normaalitilanteessa noin  $+55 \text{ }^\circ\text{C}$ . Käyttöveden lämmityksen aikana lämmitysverkos-toon ei mene lämpöpumpulta lainkaan lämpöä. Huoneiden lämpötila ei ehdi laskea käyttöveden läm-mityksen aikana merkittävästi. Kun käyttöveden lämpötila saavuttaa asetusravon, lämpöpumpun lämmittämä vesi lauhduttimelta johdetaan suoraan lämmitysverkostoon. Veden lämpötila määräytyy suoraan lämmitystarpeen mukaan ja on vesikiertoisen lattialämmityksen tapauksessa tyypillisesti



+25-35°C. Kun sekä käyttövesivaraajan että lämmityspiirin vesi saavuttavat asetusarvonsa, kompressori pysäytetään. (MOTIVA 2012.)

Vaihtuvan lauhdutuksen lämpöpumput voidaan mitoittaa joko osateholle tai täydelle teholle. Osatehomitoituksessa tehonpeitto on tavallisesti noin 70-85 % rakennuksen tehontarpeesta. Tällöin lämpöpumppu kattaa noin 92-98 % rakennuksen lämmitysenergian tarpeesta. Osatehomitoitetun lämpöpumpun kompressori käy vuodessa noin 3500-4000 tuntia. Vastaavasti täydelle teholle mitoitettun kompressorin käyttötuntimäärä vuodessa on noin 2400-2700 tuntia. (Rakennustieto Oy 2018, 5.)

Varmista, että vesi kiertää jatkuvasti lähes vakiovirtaamalla lauhduttimen läpi



KUVA 9. Vaihtuvalauhdutteinen maalämpöpumppu, missä latauskierukka käyttövesivaraajassa. (Kaappola)

#### 2.4.3 Invertterikäyttöinen maalämpöpumppu vaihtuvalla lauhdutuksella

Invertteriohjatun lämpöpumpun toimintaperiaate on samankaltainen kuin edellä 2.4.2 kohdassa kuvattu vaihtuvalauhdutteisen on/off -lämpöpumpun toimintaperiaate. Lämpöpumppu pystyy sopeutumaan rakennuksen tehontarpeeseen ja toimimaan näin parhaalla mahdollisella vuosilämpökertoimella. Kompressoria kuluttavia käynnistyksiä tulee mahdollisimman vähän, mikä pidentää sen käyttöikää (Perälä Rae 2013, 47). Verkosta otettu sähköteho ja energia ovat mahdollisimman pienet. Invertteriohjatut maalämpöpumput suositellaan mitoitettavaksi aina täyden tehontarpeen mukaan. Mitoittamisesta osateholle seuraa kompressorin käyminen suurilla taajuuksilla mahdollisesti pitkiäkin jaksoja (Rakennustieto Oy 2018, 5).

## 2.5 Lämmönkeruujärjestelmät

Lämpöenergiaa kerätään lämmönlähteestä keruupiirin avulla ja siirretään höyrystimelle. Lämmönsiirtoaineena käytetään tavallisesti etanolin ja veden liuosta. Maalämpöpumpun keruuputkisto tarvitsee aina luvan. Heti suunnittelun alussa varmistetaan, onko keruuputkiston asentaminen mahdollista.



KUVA 10. Maalämpöpumpun yhteydessä tavallisesti käytetyt lämmönkeruupiirit (Danfoss)

### 2.5.1 Energiakaivo (lämpökaivo)

Kuvassa 10 on esitelty tavallisesti käytetyt keruupiirit. Energiakaivo nykyisin yleisin lämmönkeruutapa. (RAKENNUSTIETO 2018). Energiakaivo on kallioon porattu reikä. Kallioperän lämpötilassa tapahtuu vaihtelua 10-15 metriin saakka, jossa lämpötila on Suomessa sijainnista riippuen 4-8 °C. Lämpötilan nousu on paksussa Suomen kalliokilvessä suhteellisen pieni, normaalisti 1-1,5 K sataa metriä kohden. Geotermisen lämpövirran tiheys on siis hyvin pieni, vain 0,03-0,04 W/m<sup>2</sup> (Kallion lämmönjohtavuus on 2,5-3,5 W/Km). Energiakaivosta saatava energia on siis pääosin auringon lämpöä maan pinnalta. Kaivosta saatavan lämmön määrä on riippuvainen myös pohjaveden virtauksista, mitkä puolestaan riippuvat kalliossa olevien halkeamien määrästä. Virtauksen määrä ei ole ennakoitavissa, se voi vaihdella paljonkin pienellä alueella. Mikäli kaivossa ei esiinny pohjaveden virtausta, eli kyseessä on ns. kuiva reikä, voi reikään kertyvä vesi jäätyä talvella. Mikäli kallion päällä on irto- maakerros, on maan osuudelle asennettava reikään suojaputki. Suojaputki tiivistetään kallioon 2-6m matkalta (SYKE 2013, 33). Pintaveden pääsy kaivoon estetään tiivistämällä kaivon yläpää asentamalla siihen erityinen suojahattu. Porareikään sijoitetaan lämmönkeruuputki tavallisesti U-lenkin muotoon. Pohjaveden pinnan yläpuolinen osa kaivosta on lähes tehotonta. Taulukossa 1 on kuvattu lämpökaivon minimietäisyydet. (Aittomäki, Aalto, Ailijoki, Hakala, Hirvelä, Kaappola, Mentula ja Seinelä 2012, 352.)

TAULUKKO 1. Suositellut minimietäisyydet (SYKE 2013, 6)

Kohde	Suosittelut minimietäisyys
Energiakaivon porareikä	15 m*
Lämpöputket	3 m**
Kallioporakaivo	40 m
Rengaskaivo	20 m
Rakennus	3 m
Kiinteistön raja	7,5 m*
Kiinteistökohtainen jätevedenpuhdistamo	Kaikki jätevedet 30 m, Harmaat vedet 20 m
Viemärit ja vesijohdot	Omat putket 3 m, muiden putket 5 m**
Tunnelit ja luolat	25 m, etäisyys selvitetään tapauskohtaisesti

\* porareian ollessa pystysuora

\*\* etäisyys riippuu maaperän laadusta, kaivusvyvyydestä ja kaivantoon sijoitettavista putkista

## 2.5.2 Pintamaakeräin

Kesän aikana auringon lämpö varastoituu maan pintakerrokseen noin 5-7 m syvyyteen saakka. Syvemmältä maan kuoresta nousevan lämmön eli geotermisen lämmön vaikutus on merkityksetön. (Aittomäki A. Kylmäteknikka 2012, 351). Lämmönkeruuputket sijoitetaan n. 0,8 – 1,5 metrin syvyyteen, vähintään 1,5 – 2 metrin etäisyydelle toisistaan.

Keruuputkiston jäädyttävä vaikutus voi aiheuttaa roudan syvenemistä. Aluksi maa alkaa jäätymään putken ympärillä. Mikäli luonnollinen routa etenee riittävän syvään, se voi kohdata putken ympärille muodostuneen roudan ja painua keruuputkiston alapuolelle. Koska maaperä lämmönoton vuoksi jäähtyy enemmän kuin luonnollisesti, on tärkeää, että lämpötila ehtii palautua kesän aikana. Mikäli lämpöä otetaan liikaa, voi maahan muodostua pysyvä routa. Lämmönoton suurin määrä on riippuvainen maalajista ja vallitsevasta ilmastosta. Parhaita maalajeja ovat hienorakeiset, esimerkiksi savi ja siltti. Hienorakeinen maa voi sitoa paljon vettä, jonka jäätyminen luovuttaa paljon lämpöä. (Aittomäki ym. 2012, 351.)

Pintamaakeräimen tapauksessa on huomioitava mahdollinen suuri keruunesteen lämpötilan vaihtelu kesän ja talven välillä. Tämä vaikuttaa usein suuresti lämpöpumpun antotehoon. Lisääntynyt antoteho voi koitua ongelmaksi, mikäli esimerkiksi käyttöveden latauskierukka on mitoitettu lämpöpumpun teholle normaalissa porakaivojärjestelmän keruulämpötilassa.

## 2.5.3 Vesistökeräin

Vesistökeräimen tapauksessa järven tai muun vesistön pohjaan asennetaan riittävin painoin ankkuroitu muoviputki. Putken sisällä kiertää liuos, aivan kuin muissakin keruupiireissä. Koska veden lämpötila pohjalla lähestyy talvella 0 °C:sta, muodostuu keruuputkien ympärille helposti jäätä. Jää lisää putkistoon kohdistuvaa nostetta ja tämä on huomioitava painotusta suunniteltaessa. Painot painavat putkiston vesistön pohjaa vasten, joten osa lämmöstä voidaan saada pohjasedimentistä, minne se on varastoitunut kesän aikana. Sallittu teho riippuu veden lämpötilasta ja virtauksista. Jokiin asennettaessa on huomioitava, että niissä virtaavan veden lämpötila voi olla jopa alle 0°C, eli vesi on alijäähtynyt. Tällöin vesi jäähtyy kylmään putkiston pintaan erityisen helposti. (Aittomäki ym. 2012, 353.) Lisäksi kylmästä lämpötilasta johtuen lämpöpumpun höyrystyslämpötila laskee heikentäen COP:ta.

## 3 MITOITUS SEKÄ SUUNNITTELUN PERUSTEITA

Taulukossa 2 esitetään ohjeellisia raja-arvoja keruujärjestelmän mitoittamiseksi. Isommissa, useamman keruupiirin järjestelmissä suositellaan käytettävän tapauskohtaisia, erillisen suunnittelun perusteella saatuja arvoja.

TAULUKKO 2. Lämmönkeruuputkiston mitoitusaulukko, maksimiarvot eri säävyöhykkeille. (NIBE Energy Systems Oy 2014, 20)

### Lämmönkeruuputkiston mitoitus

Taulukossa on lämmönkeruuputkiston mitoituksen raja-arvot eri alueille.

#### HUOM! Maksimi arvoja ei saa ylittää lämpökaivon mitoituksessa!

Ohjeelliset arvot lämmönjaon lämpötiloille

Lattialämmitys        meno +35°C / paluu +30°C  
Patterilämmitys      meno 55 °C / paluu 45 °C

Voidaan käyttää ellei tapauskohtaisia arvoja ole annettu. Pattereiden lämmitystehon, pinta-alan, riittävyys on aina tarkastettava.

	I alue	II alue	III alue	IV alue
Keskilämpötila, °C	+5,3	+4,6	+3,2	-0,4
Mitoittava ulkolämpötila, °C	-26	-29	-32	-38
<b>Energiakaivo</b>				
Liuksen keskilämpötila, °C	-2,5...+1	-2,5...+1	-2,5...+1	-2,5...+1
<b>F1226, F1145, F1245, F1345</b>				
kWh/m	150	140	130	120
W/m	42	38	34	30
<b>F1155 ja F1255</b>				
kWh/m	140	130	120	110
W/m	38	33	30	28
<b>Pintamaa</b>				
Liuksen keskilämpötila, °C	-2,5...+1	-2,5...+1	-2,5...+1	-2,5...+1
<b>F1226, F1145, F1245, F1345</b>				
kWh/m	50	40	35	30
W/m	14	13	12	10
<b>F1155 ja F1255</b>				
kWh/m	40	30	30	25
W/m	12	10	8	6
<b>Vesistö</b>				
Liuksen keskilämpötila, °C	+1...+2	+1...+2	+1...+2	+1...+2
kWh/m	90	80	70	50
W/m	20	18	16	14



Kaivojen toimivuuden varmistaminen esim. EED-ohjelmalla voi olla tarpeen kohteissa, joihin tehdään energiakaivokenttä.

Vesistön pohjan ollessa pehmeä putkisto mitoittava pintamaan arvoilla.

Sääsuureiden keskimääräiset arvot kuukausittain vyöhykkeellä III (Jyväskylä)

Vyöhyke III	Keskimääräinen lämpötila T, °C	Keskimääräinen suhteellinen kosteus RH, %	Auringon kokonaissäteilyenergian summa vaakatasolle Girad, MJ/m <sup>2</sup>	Normitukseen käytettävä lämmitystarveluku S17, Kd	Suoran säteilyn kokonaismäärä auringon sädetä vastaan kohtisuoralle pinnalle RD/R, MJ/m <sup>2</sup>	Hajasäteilyn kokonaismäärä vaakapinnalle RD/F, MJ/m <sup>2</sup>	Tuulen nopeus WS, m/s
Tammikuu	-8	88	19.4	775	11.2	18.4	3.2
Helmikuu	-7.1	90	72.4	675	124.2	46.4	2.6
Maaliskuu	-3.5	85	186.8	637	173.5	125.3	3.1
Huhtikuu	2.4	74	370.4	437	404.6	182.9	2.7
Toukokuu	8.8	61	617	210	725.8	244.8	2.9
Kesäkuu	13.4	66	572.8	60	525.6	283	3
Heinäkuu	15.8	73	569.5	22	609.1	243	2.4
Elokuu	13.8	81	410	78	421.9	204.5	2.2
Syyskuu	9.2	82	256	218	357.5	121	3.4
Lokakuu	4.1	87	91.1	401	127.4	56.2	2.9
Marraskuu	-1.8	94	26.3	563	30.2	22	3.2
Joulukuu	-5.9	89	11.5	711	4	10.8	3.1
Koko vuosi	3.4	81	3204	4787	3514	1559	2.9

KUVA 11. Sääsuureiden keskimääräiset arvot (Ilmatieteen laitos, 2019)

### 3.1 Uudiskohteen mitoittaminen

#### 3.1.1 Lämmitystehontarve

Lämpöpumpun mitoituksessa lähdetään tavallisesti liikkeelle kohdekiinteistön lämmitystehon tarpeesta. Uudiskohteessa rakennesuunnittelija määrittelee kohteen lämpöhäviöt. Lämpöhäviöitä ovat:

- 1) Ominaislämpöhäviö eri rakennusosien, esimerkiksi seinät, ylä- ja alapohja, ovet ja ikkunat, läpi.
- 2) Rakennuksen vaipan ilmavuotojen aiheuttama ominaislämpöhäviö.
- 3) Ilmanvaihdon aiheuttama ominaislämpöhäviö.

Edellä mainituista lämpöhäviöistä muodostuu yhteenlaskettuna kiinteistön ominaislämpöhäviö. Ominaislämpöhäviön yksikkö on W/K, (Wattia/Kelvin). Kelvin tarkoittaa tässä vallitsevien huone- ja ulkolämpötilan lämpötilojen erotusta. Watti kertoo tätä vastaavan ominaislämmitystehontarpeen. Laske-  
malla edellä mainitut lämpöhäviöt yhteen voidaan laskea lämmitystehontarve vallitsevissa sisä- ja ulkolämpötiloissa. Tämän perusteella voidaan laskea kiinteistön lämmitystehontarve mitoitus ulkolämpötilassa (MUT:ssa). Lämmitystehontarpeen laskennassa käytetään tavallisesti huonelämpötilana 21°C lämpötilaa. Ulkolämpötilana käytetään sijaintipaikkakunnan mitoittavan ulkolämpötilan MUT-arvoa. Yhdistämällä saatu ominaislämmitystehontarve sijaintipaikan vuoden säätietoihin saadaan laskettua kohteen laskennallinen lämmitysenergian tarve. (YMPÄRISTÖMINISTERIÖ 2018, 63-69.)  
Esimerkkinä lämmitystehontarpeen laskennasta kuvitteellinen kiinteistö säävyöhykkeellä III (Jyväskylä) MUT -32°C, ominaislämpöhäviö 100,00 W/K, Huonelämpötila 21°C.

$$\begin{aligned} \text{Lämmitystehontarve} &= \text{Ominaislämpöhäviöt [W/K]} * (\text{Sisä- ja ulkolämpötilojen (MUT) erotus [K]}) \\ &= 100,00 \text{ W/K} * (21 \text{ °C} - (-32 \text{ °C})) \\ &= 5300,00 \text{ W} \end{aligned}$$

#### 3.1.2 Käyttöveden lämmittämisen energian tarve

Käyttöveden energian tarve on omakotitaloissa tyypillisesti 10-25 % koko lämmitysenergiasta. Keskimäärin lämmintä vettä kulutetaan 35-50 l/vrk/asukas. (MOTIVA 2016.) Kulutustottumukset vaikuttavat kuitenkin kulutukseen suuresti.

Kulutetun lämpimän käyttöveden lämmittämiseen tarvittava energia saadaan laskettua kaavalla 1:

$$Q_{lkv,netto} = \rho_v c_{pv} V_{lkv} (T_{lkv} - T_{kv}) / 3600 \quad (1)$$

jossa

$Q_{lkv,netto}$	lämpimän käyttöveden lämpöenergian nettotarve, kWh
$\rho_v$	veden tiheys, 1000 kg/m <sup>3</sup>
$c_{pv}$	veden ominaislämpökapasiteetti, 4,2 kJ/(kg K)
$V_{lkv}$	lämpimän käyttöveden kulutus, m <sup>3</sup>
$T_{lkv}$	lämpimän käyttöveden lämpötila, °C
$T_{kv}$	kylmän käyttöveden lämpötila, °C
$3600$	kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi, s/h (YM 2018, 26)

Nettotarve sisältää kulutetun lämpimän käyttöveden lämmittämisen kylmän veden lämpötilasta lämpimän veden lämpötilaan ilman mahdollista lämmityslaitteen, varaajan tai putkiston lämpöhäviöenergiaa. Ellei perustelluista syistä ole tarvetta käyttää muita arvoja, käytetään lämpimän ja kylmän veden lämpötilaerona ( $T_{lkv} - T_{kv}$ ) arvoa 50 °C. (YM 2018, 26)

Edellisen kaavan perusteella yhden kuution vesimäärän lämpötilan nostaminen 50°C asteella kuluttaa energiaa noin 58 kWh. Eli Motivan julkaisun mukainen keskimääräinen kulutus 35-50l/vrk, asukas kuluttaisi vuodessa energiaa:

$$0,035 \text{ m}^3/\text{vrk} * 365 \text{ vrk} * 58,33 \text{ kWh/m}^3 \approx 745 \text{ kWh}$$

$$0,050 \text{ m}^3/\text{vrk} * 365 \text{ vrk} * 58,33 \text{ kWh/m}^3 \approx 1065 \text{ kWh}$$

Tavallisesti riittävään tarkkuuteen päästään käyttämällä mitoituksessa arvoa 1000 kWh/asukas, vuosi.

Lisäksi on otettava huomioon lämpöhäviöt lämpimän veden varastoinnista, siirrosta ja mahdollisesta kierrosta johtuen. Siirron hyötysuhde on esitetty taulukossa 3. Mikäli kohteessa on lämpimän käyttöveden kierto, muodostuu kiertojohdon lämpöhäviöistä usein vuodessa merkittävä energiamäärä. Omakotitalossa kiertojohdon lämpöhäviöistä aiheutuva vuotuinen energiantarve saattaa vastata jopa kulutetun käyttöveden lämmitykseen kuluvaan energiamäärään.

$$Q_{\text{lämmitys, lkv}} = \frac{Q_{lkv,netto}}{\eta_{lkv,siirto}} + Q_{lkv,varastointi} + Q_{lkv,kierto} + Q_{lkv,ulos} - Q_{lkv,lto} \quad (2)$$

jossa

$Q_{\text{lämmitys, lkv}}$	lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve, kWh/a
$Q_{\text{lkv, netto}}$	lämpimän käyttöveden lämpöenergian nettotarve, kWh/a
$\eta_{\text{lkv, siirto}}$	lämpimän käyttöveden siirron hyötysuhde, -
$Q_{\text{lkv, varastointi}}$	lämpimän käyttöveden varastoinnin lämpöhäviö, kWh/a
$Q_{\text{lkv, kierto}}$	lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviö, kWh/a
$Q_{\text{lkv, ulos}}$	lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviö lämmittämättömään tilaan, kWh/a
$Q_{\text{lkv, lto}}$	jäteveden lämmöntalteenotolla talteen otettu ja käyttöveden lämmityksessä hyväksikäytetty energia, kWh (YM, 2018 43)

TAULUKKO 3. Käyttöveden siirron vuosihyötysuhde (YM 2018, 44)

Rakennustyyppi	Kierto	$\eta_{\text{lkv, siirto}}$			
		eristämätön	suojaputkessa	eristetty, perustaso <sup>1)</sup>	eristetty, parempi <sup>2)</sup>
Erillinen pientalo sekä rivija ketjutalot	0,96	0,75	0,85	0,89	0,92
Asuinkerrostalo	0,97	0,76	0,86	0,90	0,94
Toimistorakennus	0,88	0,69	0,78	0,82	0,85
Liikerakennus	0,87	0,68	0,77	0,81	0,84
Majoitusliikerakennus	0,97	0,76	0,86	0,90	0,94
Opetusrakennus ja päiväkot	0,89	0,70	0,79	0,83	0,86
Liikuntahalli	0,98	0,77	0,87	0,91	0,95
Sairaala	0,94	0,74	0,84	0,88	0,91

<sup>1)</sup> Eristyksen perustaso tarkoittaa vähintään eristyspaksuutta 0,5 D, jossa D on putken halkaisija.

<sup>2)</sup> Eristyksen parempi taso tarkoittaa vähintään eristyspaksuutta 1,5 D, jossa D on putken halkaisija.

Ellei tarkempaa tietoa ole, voidaan käyttöveden varaajan lämpöhäviönä käyttää taulukon 4 mukaista tietoa.

TAULUKKO 4. Lämpimän käyttöveden varastoinnin vuotuinen häviö (YM 2018, 45)

Varaajan tilavuus, l	Varaajan lämpöhäviö, $Q_{\text{lkv, varastointi}}$ , kWh/a	
	40 mm eriste	100 mm eriste
50	440	220
100	640	320
150	830	420
200	1000	500
300	1300	650
500	1700	850
1000	2100	1100
2000	3000	1500
3000	4000	2000

Lämpimän käyttöveden kierto aiheuttaa usein merkittävän lämpöhäviön. Suuremmissa aluelämpöverkon omaavissa, varsinkin vanhemmissa kiinteistöissä, tämä häviö voi olla jopa yhtä suuri, kuin vuotuinen lämmitysenergian tarve. Määräykset vaativat kiertojohdon olevan koko matkaltaan yli 55°C lämpöinen (Vanhat rakennukset vähintään 50°C). Näin korkean lämpötilan tuottaminen on

lämpökertoimen kannalta epäedullista. Kaikki markkinoilla olevat lämpöpumput eivät edes kykene tuottamaan vaaditun lämpöistä käyttövedtä tämän määräyksen täyttämiseksi. Lisäksi korkean lämpötilan tuottaminen sekä lisääntyvän energiantarpeen aiheuttamat käynnistykset kuluttavat lämpöpumppua. Tästä johtuen järjestelmä kannattaa suunnitella ilman käyttöveden kiertoa, mikäli se vain on mahdollista, jotta arvokasta, huonommalla lämpökertoimella tuotettua energiaa ei hukattaisi. Mikäli kierto tarvitaan, on hyvä tiedostaa sen lämpöpumppujärjestelmälle asettavat vaatimukset. Lämpimän käyttöveden kiertojohtoon häviöt lasketaan kaavalla 3.

$$Q_{l_{kv},kierto} = \left( \varphi_{l_{kv},kiertohäviö,omin} L_{l_{kv}} + \varphi_{l_{kv},lämmitys,omin} n_{lämmitysläite} \right) \frac{t_{l_{kv},pumppu} 365}{1000} \quad (3)$$

jossa

$Q_{l_{kv},kierto}$	lämpimän käyttöveden kiertojohtoon lämpöhäviö, kWh/a
$\varphi_{l_{kv},kiertohäviö,omin}$	lämpimän käyttöveden kiertojohtoon lämpöhäviön ominaisteho, W/m
$L_{l_{kv}}$	lämpimän käyttöveden kiertojohtoon pituus, m
$\varphi_{l_{kv},lämmitys,omin}$	lämpimän käyttöveden kiertojohtoon kytkettyjen lämmityslaitteiden ominaisteho, W/kpl
$n_{lämmitysläite}$	lämpimän käyttöveden kiertojohtoon kytkettyjen lämmityslaitteiden lukumäärä, kpl
$t_{l_{kv},pumppu}$	lämpimän käyttöveden kiertojohtoon pumpun käyttöaika, h/vrk.

(YM 2018, 45)

Lämpimän käyttöveden kierron lämpöhäviö voidaan laskea putkipituuden ja vakiolämpöhäviön avulla. Putkipituuteen tulee laskea mukaan myös se osuus jakojohdosta, missä on lämpimän veden kiertoa. Ellei putkituksen eristystasoa tunneta, voidaan lämpöhäviön ominaistehon arvona käyttää arvoa 40W/m. Mikäli eristystaso on tiedossa, voidaan käyttää taulukon 5 mukaisia arvoja. Kierto-pumpun käyttöaikana  $t_{l_{kv},pumppu}$  käytetään arvoa 24h/vrk.

Mikäli kiertoon on kytketty kuivaukseen käytettyjä lämmityslaitteita, mutta niiden lukumäärää ei tiedetä, lisätään kiertojohtoon lämpöhäviön ominaistehoon +40W/m. Mikäli lukumäärä tiedetään, voidaan tarkemman tiedon puuttuessa käyttää yhden lämmittimen tehona arvoa 200W. (YM 2018, 45)



TAULUKKO 5. Lämpimän käyttöveden kiertojohtoon ominaisteho ja lämpimän käyttöveden kiertojohtoon kytkettyjen lämmityslaitteiden ominaisteho (YM2018, 46)

Eristystaso	Kiertojohtoon lämpöhäviön ominaisteho $\Phi_{lkv, kiertohäviö, omin}$ , W/m
ei tietoa	40
0,5 D	10
1,5 D	6
suojaputki	15
suojaputki + 0,5 D	8
suojaputki + 1,5 D	5
Lämmityslaitteiden lukumäärä	Kiertojohtoon kytkettyjen lämmityslaitteiden ominaisteho
lukumäärää ei tiedossa	lisäys kiertojohtoon lämpöhäviön ominaistehoon $\Phi_{lkv, kiertohäviö, omin} + 40$ W/m
lukumäärä tiedossa	lämpimän käyttöveden kiertojohtoon kytkettyjen lämmityslaitteiden ominaisteho $\Phi_{lkv, lämmitys, omin}$ 200 W/kpl

*Merkintä 0,5 D tarkoittaa eristyspaksuutta, joka on puolet eristettävän putken ulkohalkaisijasta. Merkintä 1,5 tarkoittaa eristyspaksuutta, joka on 1,5-kertainen eristettävän putken ulkohalkaisijaan nähden.*

Toisinaan tavataan asennuksia, missä lkv-kierto on asennettu omakotitaloon pelkästään tuollaista ohjeessa mainittua pyyhekuivainta varten. Ajatuksena on mahdollisesti ollut, että tällä tavoin saataisiin kuivattua pyyhekuivaimella pyykkiä edullisella, lämpöpumpun tuottamalla energialla. Todellisuudessa paljon edullisempaa ja energiataloudellisempaa olisi ollut asentaa sähkötoiminen pyyhekuivain. Perusteluna vesikiertoisen järjestelmän sähkötoimista kuivainta huomattavasti suuremmat investointikulut sekä sähkötoimisen kuivaimen tyypillisesti käyttämä varsin pieni sähköteho 60W. Lisäksi sähkötoimisen kuivaimen saa kytkettyä päälle tarpeen mukaan. Käyttövesikiertoinen kuivain on päällä määräysten mukaan aina, joten kiertopumppu käyttää sähköä, tämän lisäksi tulee kiertojohtoon lämpöhäviö ja kuivain aiheuttaa tilaan lämpökuormaa. Nämä kaikki siis vuorokauden ympäri vuoden jokaisena päivänä. Tämän lisäksi lämpöpumppu rasittuu enemmän lisääntyneistä käynnistyksistä ja käyttöveden valmistuksesta johtuen.

Esimerkkinä kiertojohtoon häviöistä kuvitteellinen omakotitalo 150 m<sup>2</sup>, kiertojohto suojaputkessa, ei lisäeristystä 30m. (kiertojohtoon ominaispituus on omakotitaloissa 0,2m/m<sup>2</sup> YM 2018, 46).

$$Q_{lkv,kierto} = (15 \text{ W/m} * 30 \text{ m}) * (24 \text{ h} * 365 / 1000)$$

$$= 3942 \text{ kWh/a}$$

Seuraavaksi lasketaan esimerkkitalon 4-henkisen perheen käyttöveden energian kulutus edellisen esimerkin talossa, kv-varaaja 200l 100mm eristeellä, 1000kWh/hlö, a:

$$Q_{lämmitys, lkv} = (4000 \text{ kWh}/0,96) + 500 \text{ kWh} + 3942 \text{ kWh}$$

$$\approx 8600 \text{ kWh/a}$$

Mikäli otetaan sama esimerkin talo ilman lkv-kiertoa, saadaan käyttöveden lämmityksen energian tarpeeksi:

$$Q_{lämmitys, lkv} = (4000 \text{ kWh} / 0,85) + 500 \text{ kWh}$$

$$\approx 5200 \text{ kWh/a}$$

Erotus ilman kiertoa olevan vaihtoehdon hyväksi on noin 3400 kWh vuodessa. Suunnittelussa on huomioitava kuitenkin muun muassa, että lämpimän veden odotusaika ei muodostu liian pitkäksi. Osa kierron hävittämästä energiasta saattaa tulla hyödynnetyksi lämmityskauden aikana, mutta vastaavasti lämmityskauden ulkopuolella vastaava energiamäärä muodostaa kiinteistöön turhaa lämpökuormaa. Lisäksi nykyaikaisissa matalalämpöisissä lämmitysjärjestelmissä sama energiamäärä tehtiisiin usein lämmityspiirin puolella huomattavasti paremmalla lämpökertoimella.

Eristämällä esimerkin talon lämmönjakoputkisto suojauputki + 1,5 D tasoon, saataisiin käyttöveden lämmittämisen energian kulutus putoamaan:

$$Q_{\text{lämmitys, lkv}} = (4000 \text{ kWh} / 0,92) + 500 \text{ kWh} \\ \approx 4850 \text{ kWh}$$

Kuten yllä olevasta yksinkertaistetusta esimerkistä voidaan todeta, sama talo ilman käyttöveden kiertoa kuluttaa jopa 40% vähemmän energiaa käyttöveden lämmittämiseen. Asukkaiden lukumäärä ja kulutustottumukset ja mahdollinen putkiston lisäeristäminen vaikuttavat merkittävästi tähän tulokseen.

## 3.2 Mitoitus saneerauskohteeseen

### 3.2.1 Lämmitystehontarve

Saneerauskohteessa paras tapa määrittää lämmitystehontarve on käyttää luotettavasti mitattuja kulutustietoja. Kulutustiedot olisi hyvä olla vähintään kolmelta vuodelta, vuosittain eriteltynä. Lisäksi mahdolliset kiinteistössä tehdyt remontit ja asukasmäärän muutokset on hyvä linkittää kerättyihin tietoihin. Kaukolämmön tapauksessa kaukolämpöyhtiöltä on saatavissa tarkat kuukausikohtaiset kulutustiedot. Saneerauskohteen onnistunut lämpöpumppumitoitus vaatii tavallisesti aina huolellisen tutustumisen kohteeseen ennakolta. Erityisesti aiemmin käsitelty käyttöveden lämmityksen energian tarve sekä suuremmissa kiinteistöissä myös ilmastoinnin jälkilämmitys voivat aiheuttaa järjestelmään suuriakin muutoksia verrattuna vastaavan energian kulutuksen omaavaan verokkiikiinteistöön, missä kulutusprofiili on erilainen. Esimerkiksi kohteessa, missä käyttöveden kierron häviöt ovat suuret, huipputehontarve lämmitykseen on huomattavasti pienempi kuin vastaavan energian kulutuksen kohteessa, missä ei ole käyttöveden valmistusta ollenkaan. Tästä esimerkkinä lämmitetty varastorakennus. Lisäksi on hyvä varmistua lämmitysverkoston todellisesta lämpötilavaatimuksesta mitoittavassa ulkolämpötilassa. Myös mahdolliset tulevat energiasaneeraukset on syytä ottaa huomioon. Esimerkiksi lämmönjakojärjestelmän saneeraus korkealämpöisestä matalalämpöiseen saattaa lisätä keruupiiristä tarvittavan ilmaisenergian määrää huomattavasti. Liitteenä 1 on energialaskelma pienessä mittakaavassa. Kuvitteellinen 100m<sup>2</sup> omakotitalo, jonka lämmitystehontarve on 5,3kW, ja sijainti Jyväskylässä. Ennen lämpösaneerausta menolämpötila pattereihin MUT:ssa on 65°C Liitteenä 2 on energialaskelma, missä lämpöverkkosaneerauksen seurauksena menolämpötila on pudonnut 35°C:een.

Vertaamalla näitä kahta laskelmaa keskenään voidaan huomata, että matalalämpöisen lämmönjaon tapauksessa sama talo vaatii 10m lisää porakaivoa, jotta metriltä otettava energiamäärä pysyisi samana. Tämä johtuu parantuneesta vuosilämpökertoimesta. Saman energiamäärän tuottamiseen käytetään siis uudessa tilanteessa vähemmän sähköä ja enemmän ilmaisenergiaa. Mikäli energia-kaivo olisi mitoitettu korkean lämpötilan jakojärjestelmällä aivan riittävyden rajoille, saattaisi uudessa tilanteessa kaivo jopa jäätyä käyttökelvottomaksi.

Mikäli muita tietoja ei ole käytettävissä, täytyy lämmitystehoa lähteä arvioimaan rakennuksen lämmitystehontarpeen simuloinnilla tai käyttämällä arviomenetelmää perustuen lämmitettävään ilmatilavuuteen ja toimiviksi todettuihin ominaiskulutuksiin. Taulukossa 6 on esitetty erään laitetoimittajan mitoitusohjeet erilaisille rakennuksille, kun kulutustietoja ei ole saatavilla.

TAULUKKO 6. Lämpöpumpun mitoitus lämpimän ilmatilavuuden mukaan (NIBE Energy Systems Oy, 2014, 19).

Säävyöhyke	Mitoittava ulkoilman lämpötila, °C
I	-26
II	-29
III	-32
IV	-38

	I alue	II alue	III alue	IV alue
Ominaiskulutus, W/m <sup>3</sup>	15	16	17	19
Matalaenergiatalot, W/m <sup>3</sup>	9	10	11	12

Rakennusvuosi	-60 luku	-70 luku	-80 luku	-90 luku
Kerroin	1,5	1,3	1,2	1,1
Hirsitalot kerroin	1,4 – 1,8	1,4 – 1,8	1,4 – 1,8	1,4 – 1,8



### 3.3 Oheiskomponenttien valinta ja liittäminen

Laittevalinnan yhteydessä varmistetaan ennakkoon mahdollisten lämpöpumpun sisäisten pumppujen virtaamien ja nostokorkeuksien riittävyys kohteen vaatimuksiin. Mahdolliset ulkoiset pumput mitoitetaan suunnitellun toimintapisteen mukaan, varmuuskerroin huomioiden. Tämän lisäksi pumppujen on sovelluttava pumpattavalle lämmönsiirtoaineelle ja tämän lämpötila-alueelle.

#### 3.3.1 Käyttövesivaraajan valinta ja liittäminen käyttövesiverkkoon

Oikean kokoisen käyttövesivaraajan valintaan tulee kiinnittää huomiota. Tähän vaikuttavat muun muassa asukkaiden määrä, mahdolliset porealtaat tai ammeet, lämpimän käyttöveden kierto sekä asukkaiden kulutustottumukset. Suurempi varaaja vie enemmän tilaa ja hukkaa hieman enemmän lämpöä. Investointikustannukset myös nousevat varaajan koon kasvaessa. Muutokset valmiiseen

järjestelmään jälkikäteen ovat usein kuitenkin kalliita. Varaajan koon lisäksi sen soveltuvuus järjestelmään on varmistettava. Esimerkiksi käyttöveden kierto saattaa sotkea säiliömallisen varaajan lämpökerrostuman tai käyttövesikierukalliset varaajat saattavat olla suunniteltu lämpöpumppukäyttöön liian korkeille varaajalämpötiloille. Nykyisin on kuitenkin jo saatavilla lämpöpumppukäyttöön suunniteltuja käyttövesikierukallisia varaajia, mitkä toimivat lämpöpumppukäytössä varsin hyvin. Uutena tai tähän mennessä vähemmän käytettynä järjestelmänä käyttöveden lämmittäminen tarpeen mukaan varaajan yhteyteen asennetulla levylämmönsiirtimellä (vrt. kaukolämpö) on nykyisin varsin varteenotettava vaihtoehto käyttöveden lämmittämiseen. Tavallisesti omakotitaloon ilman lkv-kiertoa, missä asuu 4-5 henkilöä, riittää usein ns. kompaktimallinen maalämpöpumppu, missä käyttövesivaraaja on integroitu itse lämpöpumppuun. Tällöin varaajan tyyppillinen koko on 180-200l. Tämä ratkaisu useimmiten säästää asennuskustannuksissa. Vedenkäyttötottumukset vaikuttavat maksimihenkilömäärään. Käyttöveden putkitus tehdään rakennusmääräysten mukaan, kohteeseen soveltuvista materiaaleista, kuten muidenkin lämmitysmuotojen yhteydessä. Putkistot on hyvä asentaa, kannakoida ja eristää hyvän asennustavan mukaisesti. Hyvä on kiinnittää huomiota myös varaajien paineluokkaan sekä korroosion suojaukseen. Euroopassa on käytetty yleisesti 6 bar maksimipainetta käyttövedelle, jolle mitoitettut varaajat eivät sovellu meidän 10 bar käyttövesijärjestelmään. Lisäksi Euroopassa yleinen emalointi ja siihen liittyvä yleistynyt sähkötoiminen katodinen suojaus korroosion suojana tarvitsee riittävän veden sähkönjohtavuuden, noin 30-100 mS/m, eli 300-1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , jotta katodinen suojaus varaajaa tehokkaasti (RYL 2002, 109). Talusvesiasetuksessa talusveden sähkönjohtokyvyille on asetettu vain yläraja 250mS/m, eli 2500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (STM 2015, Liite 1). Kuitenkin talusvedelle asetuksissa laatuvaatimuksissa mainitaan, että veden sähkönjohtavuuden tulisi putkistojen syöpymisen ehkäisemiseksi olla alle 25mS/m eli 250  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (VALVIRA 2018, 37.) Raudasta valmistetun, emaloidun säiliön suoja-anodin (magnesiumanodi), johon ei ole kytketty sähkövirtaa, on oltava riittävän suuri ja sen on oltava vaihdettavissa. (RYL 2002, 109). Anodi toimii uhrimetallina ja syöpyy.

Suomessa tiedetään olevan alueita, mihin katodisuojaattu emaloitu varaaja ei sovellu tai soveltuu huonosti. Ruostumattoman varaajan tapauksessa tiedetään Suomessa olevan vastaavasti alueita, missä vedessä on niin paljon klorideja tai kalkkia, ettei ruostumattomasta teräksestä valmistettuja varaajia välttämättä voida pistesyöpymien vaaran vuoksi käyttää. Tällöin ruostumaton varaaja täytyy olla erikoisvalmisteinen, suojattava katodisesti tai on käytettävä esimerkiksi emalia korroosiosuojana käytettävää varaajaa. Asiasta voidaan varmistua ennakkoon suoritettavalla vesianalyysillä ja vertaamalla tästä saatuja tuloksia varaajavalmistajan teknisiin tietoihin. Talusvesiasetuksessa määritellään ominaisuudet juomavedelle, mitkä ovat määriteltä ihmisten terveyden ja turvallisuuden näkökulmasta. Nuo vaatimukset täyttävän veden ominaisuudet saattavat kuitenkin olla esimerkiksi tietyn varaajan kestävyuden kannalta erittäin huonoja (Aaltonen 2019). Valmistajat ilmoittavat tavallisesti teknisissä tiedoissaan raja-arvot esimerkiksi turvalliselle sähkönjohtavuuden minimitasolle.

### 3.3.2 Lämpöpumpun liittäminen lämmityspiiriin

Kuten aiemmin tekniikkaa käsittelevässä osiossa todettiin, lämpöpumppuja on olemassa erilaisilla tekniikoilla toteutettuna. Tästä johtuen lämpöpumpun oikeaoppinen liittäminen eri lämmönjakojärjestelmiin vaihtelee sekä lämmönjakojärjestelmän että valitun laitetoimittajan mukaan. Jonkinlaisena

yleisohjeena voidaan pitää sitä, että vesivirta lämpöpumpun lauhduttimella täytyy pysyä oikealla tasolla. Tästä syystä lauhduttimen piirin putkistot, varusteet ja mahdolliset pumput mitoitetaan toimimaan vähintään lämpöpumpun nimellisvirtaamalla. Mikään ulkoinen syy ei saa rajoittaa lauhduttimen virtausta. Esimerkiksi patteritermostaattien yhtäaikainen sulkeutuminen saattaa aiheuttaa käytetystä tekniikasta ja kytkentätavasta riippuen lauhduttimen virtaaman loppumisen kokonaan. Tällöin kompressorin käydessä laite ei pääse syntyvästä lämmöstä eroon ja lämpöpumppu menee häiriötilaan suojellakseen kompressoria vauriolta (Aaltonen 2019). Lisäksi esimerkiksi vesikiertoisella lämmityspatterilla varustetut ilmanvaihtokoneet tarvitsevat jatkuvan virtaaman lämmityspatterille virtauksen mahdollisen katkeamisen aiheuttaman jäätymisvaaran vuoksi. Lämmityskiertoon liitettäessä saatetaan käyttää varaajaa, joka voi toimia mm. lämpövarastona, lämmityspiirin ja lämpöpumpun erisuuruisten virtausten tasaajana ja turvata lämpöpumpun kompressorille sopivan minimikäyntiajan on/off lämpöpumpun tapauksessa. Markkinoilla on käytössä laitteita, joissa käyttöveden lämmitystä ja kiinteistön lämmitystä tehdään vuoron perään. Patteritaloissa ja tämän kaltaisissa lämpöpumppuasennuksissa on suositeltavaa käyttää erillistä varaajaa tai puskurisäiliötä, jotta pattereiden ääniongelmia -niin sanottu ”napsuminen” vältetään. (Aaltonen 2019). Erityisesti liitettäessä lämpöpumppua esimerkiksi puu-, öljy-, tai kaasukattilan rinnalle, käytetään laitetoimittajan hyväksymiä kytkentätapoja. Lämmitysputkina käytetään joko diffuusiosuojattua muovia, komposiittia tai metallisia putkia. Jos on olemassa mahdollisuus, että kiertovedessä on tai tulee myöhemmin olemaan magnetiittia, suositellaan magnetiittisuodattimen asentamista. Magnetiitti voi toimia lämmönsiirintä kulluttavana hiovana aineena ja lisäksi se voi muodostaa eristävän kerroksen siirtimen lämmönsiirtopinnoille. Kiertoveden tulee lisäksi täyttää lämmitysverkoston vedelle asetetut kemialliset vaatimukset. Putkikoot mitoitetaan yleisten mitoitusohjeiden mukaan, jotta virtausnopeudet sekä painehäviöt pysyvät hallinnassa. Järjestelmä tasapainotetaan painehäviöiden suhteen ja pumppujen kierrosnopeudet säädetään oikein.

### 3.3.3 Maalämpöpumpun liittäminen lämmönkeruupiiriin

Liitettäessä lämpöpumppua lämmönkeruupiiriin on varmistettava riittävä, mielellään laitteen nimellisvirtauksen suuruinen liuosvirtaama höyrystimelle. Mikäli virtaama poikkeaa alaspäin nimellisvirtaamasta, ei lämpöpumppu enää täytä valmistajan sille antamia arvoja (Aaltonen 2019). Käytännössä tämä näkyy lämpöpumpun alentuneena antotehona, ja/tai lisääntyneenä sähkökäyttönä sekä liuospiiriin säätyvän pumpun että kompressorin käyttämän sähköenergian suhteen. Mikäli virtaama menee alle valmistajan ilmoittaman minimivirtaaman, on vaarana erilaiset toimintahäiriöt, voimakas sähkökulutuksen nousu ja kompressorin rikkoutuminen. Putkina käytetään tavallisesti joko ei-rautapitoisia metalliputkia, esimerkiksi kupari- tai ruostumattomat teräsputket tai muoviputkia esim. PE-putket.

Virtaamat kasvavat liuospuolella suuriksi lämpöpumpun tehon noustessa, koska yleisesti käytetty optimi lämpötilaero liuoskierron meno- ja paluuvirtauksen välillä on vain 3 K. Tämän vuoksi suunnitteluvaiheessa suositellaan koko liuospuolen putkiston ja siihen liittyvien komponenttien tarkkaa virtausteknistä tarkastelua. Lisäksi saman lämpöpumpunkin lämmönkeruupuolelta ottama teho vaihte-

lee yleensä huomattavasti riippuen vallitsevasta lauhtumislämpötilasta. Keruupiirin putket tulee eristää diffuusiotiiviillä eristeellä, esimerkiksi solukumi, kondensoinnin estämiseksi. Tarvittavat putkisto-varusteet, paisunta-astiat, varoventtiilit, lianerottimet on mitoitettava oikein ja oltava valitulle lämmönkeruuliuokselle soveltuvia malleja.

#### 3.3.4 Liittäminen sähköverkkoon

Sähköverkkoon liittäminen on tärkeä osa suunnittelua. Tulee varmistua siitä, että kiinteistön pääsulakekoko on riittävä. Tämä voi muodostua ongelmaksi siirryttäessä suuremman rakennuksen tapauksessa esimerkiksi öljystä maalämpöön. Toisinaan saatetaan joutua tekemään sähkökeskuksiin rakenteellisia muutoksia, jopa uusimaan koko keskus. Sähkösuunnittelun merkitys on maalämpöjärjestelmän ja myös koko kiinteistön sähköjärjestelmän toimivuuden kannalta tärkeä asia.

## 4 KOHTEEN KUVAUS

Kohdekiinteistö sijaitsee Varkauden alueella. Tällöin mitoittava ulkolämpötila on  $-32^{\circ}\text{C}$  ja vuoden keskilämpötila  $3,4^{\circ}\text{C}$  (ilmatieteen laitos). Kiinteistö on alun perin kaksikerroksinen 200mm pyöröhirrestä veistetty huvila, joka on rakennettu 80-luvulla. Kiinteistöä on laajennettu 90 -luvulla molemmista päistään alkuperäistä vastaavin hirsirakenteisin laajennuksin ja maanalaisella kellaritilalla, missä sijaitsevat oleskelutila sekä viinikellari. Kiinteistön omistaja, tämän työn tilaaja antoi Savonia-ammattikorkeakoululle projektiaiheen, missä tuli suunnitella kohteeseen energiaa säästävää lämmitystä. Tilaaja piti olevaa puulämmitystä hieman työläänä ja sähkölämmitystä hän ei kokenut mielekkääksi. Tilaaja myös halusi laitteiston, mikä tuottaisi mahdollisimman paljon energiaa maalämmöllä. Lisäksi kohteen sähkönkulutukseen toivottiin säästöä

### 4.1 Pohjatiedot mitoitusta varten

Kohteesta ei ollut saatavana mitään luotettavia kulutustietoja, mitä olisi voitu hyödyntää mitoituksessa. Lämmitys oli aiemmin tapahtunut puukattilalla, minkä yhteydessä oli 3000l varaaja. Varaajalla lämmitettiin kohteen molemmat lämmityspiirit sekä käyttöveden tarve. Vanhemmassa keskiosassa rakennusta sekä päätyjen laajennusosien toisessa kerroksessa lämmönjakotapa on vesikiertoiset radiaattorit. Päätyjen I-kerroksen laajennusosissa sekä kellarikerroksessa lämmönjakotapana on vesikiertoinen lattialämmitys. Tilaaja kertoi, että kohteen kellarikerros vaatii lämmitystä myös kesäisin, jotta kosteus ja lämpötila pysyvät sopivilla tasoilla kellarikerroksessa. Kohteeseen laajennuksen yhteydessä asennetussa varaajassa oli puukattilan lisäksi yhteensä 24kW sähkövastuksia.

Mitoituksessa lähdettiin liikkeelle selvittämällä kohteen lämmin ilmatila. I ja II -kerroksen osalta lämmin ilmatila on  $634\text{ m}^3$ . Kellarikerroksessa vastaavasti  $70\text{ m}^3$  ja uudisrakennuksena projektin yhteydessä rakennettavassa autotallissa  $168\text{ m}^3$ . Edellä mainittujen tietojen pohjalta määriteltiin kohteelle lämmitystehontarpeeksi 21 kW. Tämän lisäksi määriteltiin kohteen käyttöveden lämmittämiseen vaadittava energiantarve. Kohteessa on käyttöveden kierto rakennuksen toiseen päähän ulkopuolisella maanalaisella kanaalilla toteutettuna. Käyttöveden energiantarpeeksi arvioitiin 8900 kWh.

Taulukosta 6 saaduilla arvoilla arvioitiin kohteen lämmitystehontarvetta:

Lämmin ilmatilavuus  $\text{m}^3$  \* Ominaiskulutus  $\text{W}/\text{m}^3$  \* kerroin hirsitalot = lämmitystehontarve

I ja II-kerrosten lämmitystehontarpeen arvioitiin olevan:

$$634\text{ m}^3 * 17\text{ W}/\text{m}^3 * 1,6 = 17245\text{ W}$$

Kellarikerroksen lämmitystehontarpeeksi arvioitiin:

$$70\text{ m}^3 * 11\text{ W}/\text{m}^3 = 770\text{ W}$$

Autotallin lämmitystehontarpeeksi arvioitiin:

$$168\text{ m}^3 * 14\text{ W}/\text{m}^3 = 2352\text{ W}$$

Kanaalin lämpöhäviö (päärakennus):

$$25\text{ m} * 13,7\text{ W}/\text{m} \approx 350\text{ W (Uponor)}$$

Kanaalin lämpöhäviö (autotalli):

$$30\text{ m} * 7\text{ W}/\text{m} = 210\text{ W (Rauheat)}$$

YHTEENSÄ 20,9 kW

Käyttöveden energian tarvetta arvioitiin tilaajan kulutustottumuksien pohjalta. Tilaaja kertoi, että heillä saunotaan päivittäin. Tosin kesän aikana he käyttävät rantasaunaa, missä käyttövesi lämpenee sähkövaraajassa. Tämä pienentää käyttöveden lämmityksen energian tarvetta. Toisaalta 25m pitkä ulkona maan alla kulkeva kanaali lisää energian kulutusta.

Käyttöveden kulutus mitoitetaan kahden henkilön sijaan varmuudeksi 3,5 henkilön mukaan, koska kohteessa on poreallas.

Käyttöveden kiertojohtoon häviöt ulos ovat: 20 W / m (Uponor)

$$\begin{aligned} Q_{\text{lkv,kierto}} &= (20 \text{ W/m} * 25 \text{ m}) * (24 \text{ h} * 365 / 1000) \\ &= 4380 \text{ kWh/a} \end{aligned}$$

Käyttöveden lämmitykseen kuluva kokonaisenergia (mitoitus 3,5 henkilöä, 500l varaaja 100mm eristeellä, lkv-kierto):

$$\begin{aligned} Q_{\text{lämmitys, lkv}} &= (3500 \text{ kWh}/0,96) + 850 \text{ kWh/a} + 4380 \text{ kWh/a} \\ &= 8876 \text{ kWh/a} \\ &\approx 8900 \text{ kWh/a} \end{aligned}$$

#### 4.2 Mitoitus mitoitusohjelmalla

Kun pohjatiedot on ensiksi kerätty ja analysoitu, voidaan oikea lämpöpumppu ja tarvittava lämpökai-  
von aktiivisyvyys, pintamaakeräimen tai vesistökeräimen pituus helposti määrittää esimerkiksi läm-  
pöpumpputoimittajan mitoitusohjelman avulla. Tässä esimerkkinä on käytetty NIBE Energy Systems  
Oy:n NIBE DIM -ohjelmistoa. Vastaavia ohjelmistoja on saatavilla myös muilla toimittajilla. Myös lai-  
tetoimittajista riippumattomia ohjelmistoja on markkinoilla.

Ensimmäisellä sivulla ohjelma kysyy kohteen yksilöivät tiedot, eli osoitteen ja omistajan yhteystiedot  
jne. Samalla sivulla määritetään kohteen sijainti, joko kartalta, tai valitaan kohteen sijaintia vastaava  
säävyöhyke luettelosta. Tämän perusteella mitoitusohjelma osaa valita laskentaa varten oikeat vuo-  
den säätiedot.

Seuraavalle sivulle syötetään kohteen lämmitetty pinta-ala sekä tieto siitä, kuinka paljon asumisesta  
tuleva lämpö lämmittää rakennusta, haluttu sisälämpötila ja lämmityspiirin meno- ja paluulämpötilat  
MUT:ssa. Tässä voidaan käyttää myös yleisiä, painikkeisiin valmiiksi ohjelmoituja arvoja, mikäli ne  
soveltuvat.

Seuraavaksi määritellään, ollaanko mitoittamassa lämmitystehon mukaan (uudiskohteet ja sanee-  
rauskohteet ilman aiempia kulutustietoja) vai energian kulutustietoihin perustuen. Lämmitystehoon



perustuvaan ohjelmaan syötetään suoraan rakennuksen MUT:ssa vaatima lämmitysteho. Mitoituksessa aiemman, mitatun energiankulutuksen mukaan voidaan hyödyntää ohjelmaan eri lämmitysmuodoille valmiiksi syötettyjä, kuitenkin tarpeen mukaan päivitettävissä olevia eri lämmönlähteiden energiasisältöjä ja niiden hintoja. Esimerkkeinä kaasu, kaukolämpö, edellinen lämpöpumppu, öljy, puu ja sähkö. Näin lämmitysenergian arvioiminen ja kustannusten vertailu myöhemmin on helppoa. Samalla sivulla syötetään käyttöveden lämmittämiseen kuluva kokonaisenergiamäärä. Tässäkin on mahdollista käyttää apuna laskuria. Oleellista on huomata, että käytetään kulutukseen perustuvassa mitoituksessa sellaista käyttöveden lämmityksen energiamäärää, mikä on sisältynyt mitoituksen perusteena olevaan energian kulutukseen. Mikäli käyttöveden kulutusta halutaan muuttaa suuremmaksi, esimerkiksi asukasmäärän huomattavan muutoksen johdosta, täytyy aiemmin kulutettua energiamäärää joko lisätä aiemman lämmitystavan hyötysuhde huomioiden muuttuvaa veden lämmitysenergiaa vastaavalla määrällä, tai tehdä uusi lämmitystehtoon perustuva mitoitus uudella käyttöveden kulutuksella todellisen vedenkulutuksen perusteella tehdyn mitoituksen tehontarpeen mukaan. Mikäli käytettäisiin suoraan alkuperäistä, pienempään käyttöveden tarpeeseen perustuvaa energian kulutusta ja syötettäisiin suoraan uusi suurempi käyttöveden energian tarve, olisi ohjelmasta saatava rakennuksen tarvitsema lämmitystehto ja näin myös valittava lämpöpumppu mahdollisesti liian pieni. Käyttöveden lisäksi voidaan tällä sivulla määrittellä lämmityksen kiertopumpun käytämä energia, korjata lämmityksen pysäytyslämpötilaa, ja määrittää käytetty lisäenergiatyyppi. Seuraavalla sivulla määritellään, onko kyseessä kiinteän vai vaihtelevan lauhtuksen järjestelmä, sekä käytetty lämmönkeruutapa useista eri vaihtoehdoista. Lisäksi valitaan, onko kyseessä yhden vai useamman lämpöpumpun asennus sekä valitaan tarkoituksen mukainen laite tai laitteet. Lisäksi määritellään lämmönkeruupiirin keskilämpötila ja muut keruupiiriin liittyvät asetukset. Nämä ovat tehon- tai energiantarpeen totuudenmukaisuuden ja lämpöpumpun valinnan ohella tärkeimpiä mitoituksen onnistumiseen vaikuttavia asetuksia. Oleellista on seurata järjestelmän tehon- sekä energian peittoa, käytetyn lisäenergian määrää, käyntiaikaa, sekä metrikohtaista energian ja tehon ottoa. Mitoitusohjelman kaikkien ominaisuuksien läpikäyminen ei ole tässä yhteydessä mahdollista. Ohjelmalla saa kuitenkin mitoituksen yhteydessä laskettua lisäksi mm. investoinnin takaisinmaksuajan huomioiden tarvittaessa lainan ja sen korkojen vaikutuksen.

#### 4.3 Mitoituksen tulokset

Mitoituksen liitteenä 4 olevasta energialaskelmasta käy ilmi energian kokonaistarve 61 378 kWh vuodessa. Valittuna lämpöpumppuna mitoituksessa on NIBE F1355-28. Lämpöpumppu tuottaa tuosta energiasta 100 %. Lämpöpumpun antoteho on mitoitusulkolämpötilassa 22 kW ja ottoteho 6,2 kW. Lämpöpumpun vuosilämpökerroin on 4,1. Energiakaivon aktiivinen porausvyvyys on 485 m, energian otto 97 kWh/m ja tehon otto 22 W/m. CO<sub>2</sub> päästövähennys verrattuna sähkölämmitykseen on ohjelman mukaan 9257 kg vuodessa.

## 5 LAITTEIDEN VALINTA

### 5.1 Lämpöpumpun valintaperusteet

#### 5.1.1 Osatehoinen järjestelmä

Osatehoinen järjestelmä ei tullut kyseeseen, koska se vaatii verkosta lisälämmitystehoa tilaajan toiveen vastaisesti. Vaikkakin se olisi tässä, suhteellisen matalalämpöisen lämmitysjärjestelmän kohteessa, toiminut perinteistä täystehomaalämpöpumppua pienemmällä energian kokonaiskulutuksella.

#### 5.1.2 Perinteinen täysitehoinen maalämpöpumppu sisäisellä varaajalla ja tulistuksen poistolla

Perinteisessä täystehoisessa laitteistossa, missä on erillinen tulistuksenpoistolämmönsiirrin, ongelmaksi olisi voinut muodostua lyhyiden käyntijaksojen lisäksi kohteen melko suuret käyttöveden kiertäminen häviöt. Niiden vuoksi järjestelmään olisi todennäköisesti jouduttu asentamaan sähkökäyttöinen lämmitin. Tämäkään ei soveltunut tilaajan ajatukseen mahdollisimman paljon maalämpöä hyödyntävästä laitteistosta.

#### 5.1.3 Täystehomitoitettu yhden tehoportaan vaihtventtiilijärjestelmä

Täystehoisessa, nk. vaihtventtiilijärjestelmässä ongelmaksi olisi saattanut muodostua yhden tehoportaan on/off -järjestelmässä kompressorin lyhyet käyntijaksot osakuormitustilanteissa, lähinnä kevästä syksyyn. Tosin tähän on mahdollista vaikuttaa varaajan avulla.

#### 5.1.4 Täystehomitoitettu kahden tehoportaan vaihtventtiilijärjestelmä

Kahden tehoportaan laitteistossa saavutetaan yhden tehoportaan laitteistoa parempi mukautuvuus rakennuksen tehon tarpeeseen. Tästä seuraa muun muassa pidemmät käyntijaksot. Pidemmät käyntijaksot muun muassa parantavat laitteiston vuosilämpökerrointa. Osassa laitteita käyttöveden ja lämmityksen tuotanto on mahdollista samanaikaisesti.

#### 5.1.5 Täystehomitoitettu invertterimaalämpöpumppu

Invertteriohjattu lämpöpumppu pystyy sopeutumaan rakennuksen tehontarpeeseen ja toimimaan parhaalla mahdollisella vuosilämpökertoimella. Kompressoria kuluttavia käynnistyksiä tulee mahdollisimman vähän. Verkosta otettu sähköteho ja energia ovat mahdollisimman pienet. Mitoitettava mielellään vähintään täydelle teholle. Muutoin kompressori joutuu käymään pitkiäkin jaksoja suurilla taajuuksilla.

### 5.2 Valittu laite

Valinta tehtiin kahden portaan on-off laitteiston ja invertterikäyttöisen laitteiston välillä. Lopulta valituksi tuli NIBE:n valmistama kiinteistökokoluokan invertterimaalämpöpumppu, malliltaan F1355-28.

Laite sisältää saman helppokäyttöisen, värinäytöllä varustetun ohjaimen, kuin muutkin NIBE:n maalämpöpumput. Laite on kohteen tehontarpeeseen hieman ylimitoitettu, mutta siitä ei invertterilaitteen tapauksessa ole haittaa muuten kuin hieman korkeamman hankintahinnan muodossa. NIBE:n 1355-28 laite nimittäin pystyy toimimaan taloudellisesti tehoalueella 4-28 kW. Näin suuri antotehon skaalautuvuus ei ole tyypillistä invertterikäyttöisille scroll -kompressoreille hyvällä lämpökertoimella. Tämä johtuu siitä, että suurempia scroll kompressoreita ei tähän mennessä ole saatu toimimaan tehokkaasti pienillä pyörimisnopeuksilla. NIBE:n valmistama laite ei ole tähän poikkeus. Laite on nimittäin on-off -laitteen ja invertterilaitteen hybridi. Se sisältää 4-16kW:n invertterikäyttöisen sekä 12 kW:n on-off käyttöisen kylmäyksikön.

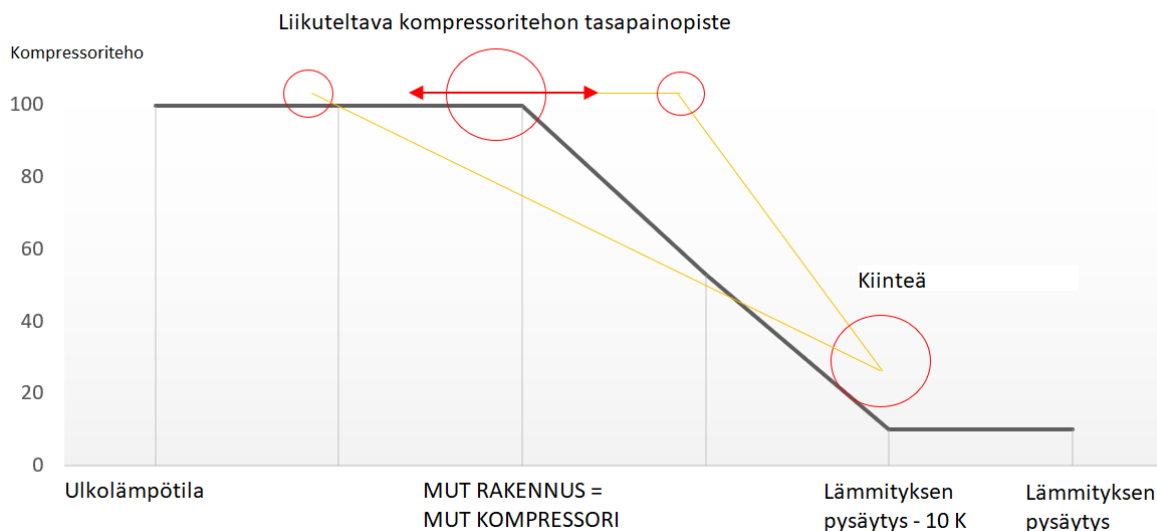
### 5.2.1 NIBE F1355-28 tehonsäädön periaate

Laite käynnistyy lämmityspiirin lämmitykseen ohjelmoitujen asetusten perusteella rakennuksen tehontarvetta vallitsevassa tilanteessa vastaavalla teholla. Oletetaan että laite käynnistyy minimiteholla 4kW. Tehontarpeen lisääntyessä laite lähtee ensin nostamaan invertterikylmäyksikön kompressorin kierroksia niin kauan kun yksikkö toimii parhaan lämpökertoimen alueella, noin 75% kierrosnopeuteen saakka (NIBE koulutusmateriaali, ei saatavana julkisesti). Tämän jälkeen invertteriohjattu yksikkö sammutetaan ja käynnistetään 12kW on/off kylmäyksikkö. Mikäli tehontarve jatkaa edelleen kasvamistaan, invertterikylmäyksikkö käynnistetään uudelleen. Tehontarpeen lisääntyessä, korotetaan invertteriyksikön tehoa on/off yksikön edelleen käydessä.

Samalla perusteella ohjain valitsee invertterikylmäyksikön tehon sen käynnistyshetkellä tai käynnistää vaihtoehtoisesti suoraan on/off yksikön ilman invertteriyksikköä. (NIBE koulutusmateriaali, ei saatavana julkisesti).

Lämpöpumpun säätö perustuu nk. asteminuuttisäätöön, joka on yleisesti käytössä muissakin NIBE:n lämpöpumpuissa. Kompressoreiden käynnistystä ja pysäytystä ohjataan ulkoisen lämpöanturin BT25 perusteella. Tämän arvoa verrataan lämpökäyrän perusteella muodostettuun laskettuun menolämpötilaan. Mikäli mitattu arvo poikkeaa lasketusta, säädin summaa joka minuutti näiden arvojen erotuksen asteminuuttilaskurin arvoon. Laskurin arvon muutosten perusteella ohjataan kompressoreita ja tarvittaessa lisälämmitystä päälle ja pois. Invertterikylmäyksikön tehoa käynnistyksen jälkeen ohjataan kylmäyksikön menolämpötilaa mittaavan BT12 lämpöanturin arvon ja lasketun menolämpötilan perusteella.

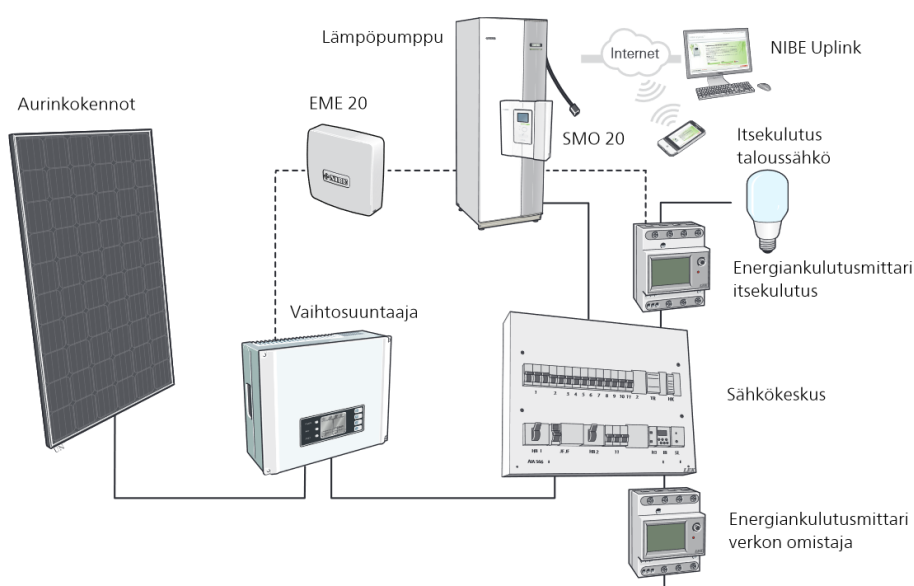
Lähtökohtaisesti lämpöpumpun ohjain olettaa, että maksimi kompressoriteho tarvitaan mitoittavassa ulkolämpötilassa MUT. Lämpöpumpun maksimiteho voi kuitenkin poiketa rakennuksen MUT:ssa tarvitsemasta tehosta. Kuvassa 12 näytetään, kuinka tämä voidaan kertoa lämpöpumpun ohjaimelle vastaavaa tasapainopistettä siirtämällä. Tällöin lämpöpumppu osaa käynnistyä juuri oikealla teholla kulloinkin vallitsevassa ulkolämpötilassa. (NIBE koulutusmateriaali, ei saatavana julkisesti).



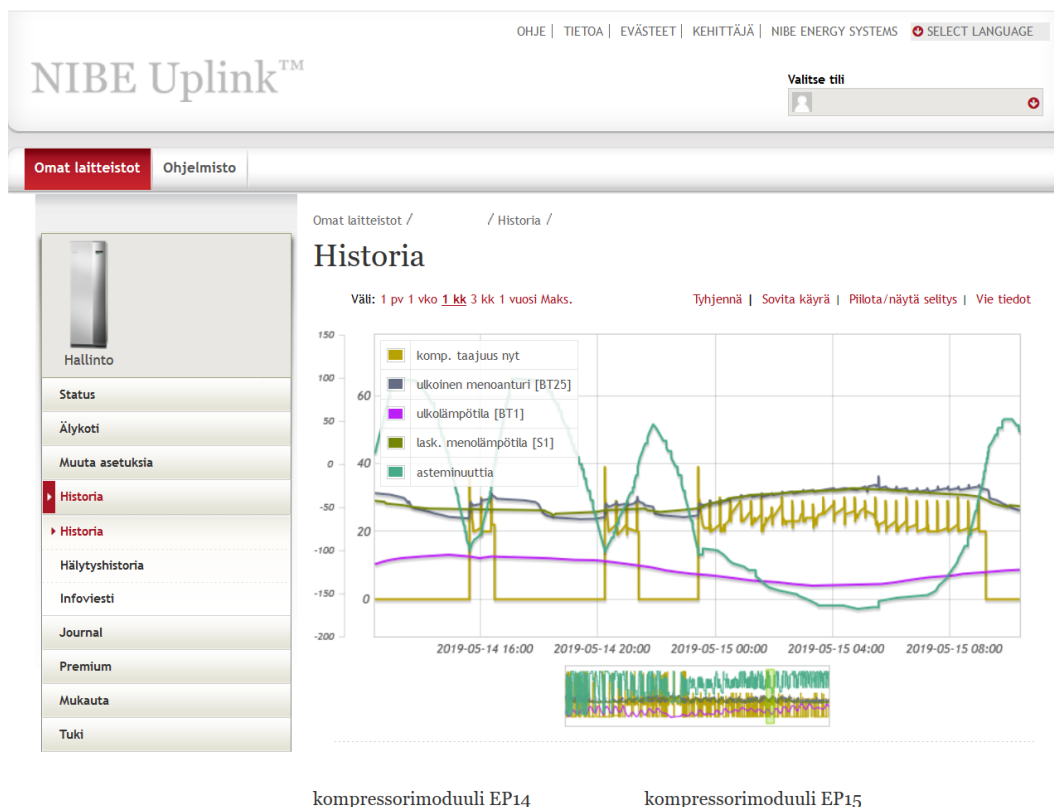
KUVA 12. Maksimikompressoritehon ja rakennuksen tehontarpeen välinen tasapainopiste. Saatu kuvaaja on yksi tekijä ohjaimen määrittäessä tarvittavaa kompressoritehoa. (NIBE, koulutusmateriaali)

### 5.2.2 Lämpöpumpun ohjaus

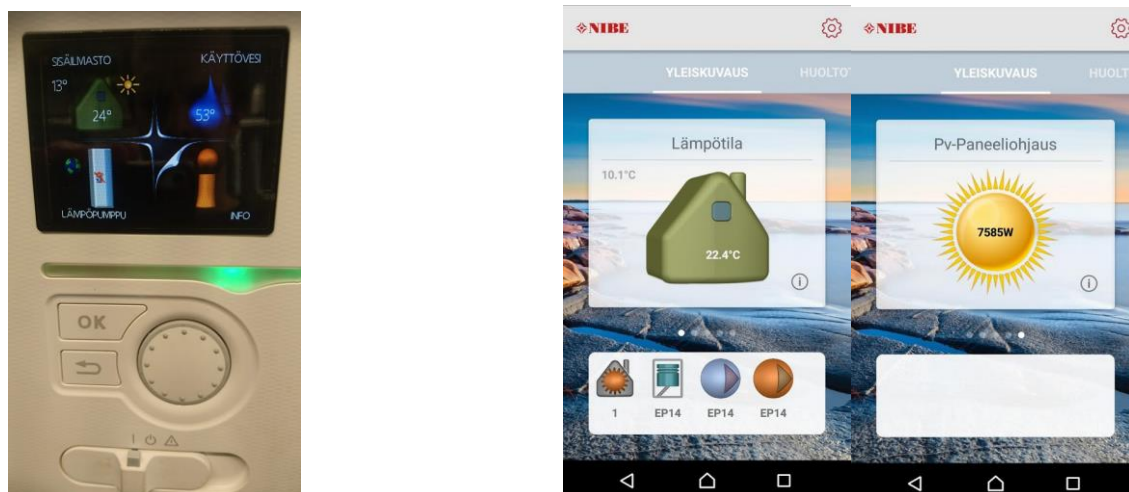
Laitteen valintaan vaikutti myös sen selkeä ja helppokäyttöinen ohjain. Lisäksi laitteen monipuoliset etähallintamahdollisuudet olivat myös yhtenä valinnan perusteena. Lisäksi laitteistoon liitettiin väylän välityksellä aurinkosähköpaneelijärjestelmän invertteri. Näin lämpöpumppu pystyy tuottamaan ylimääräisestä, valtakunnan verkkoon tavanomaisessa aurinkosähköjärjestelmässä syötettävästä sähköenergiasta, lämpöä. Kohteen 500 litran varaajat sekä käyttövesi, että lämmityspuolella mahdollistavat kohtuullisen ilmaisenergiamäärän varastoimisen varaajien veteen. Näin aurinkoenergian omakäyttöä voidaan lisätä ilman akustoa. Kuvassa 13 on esitetty aurinkosähkön ja maalämpöjärjestelmän liittämisperiaate.



KUVA 13. Maalämpö-aurinkojärjestelmän periaatekaavio (NIBE)



KUVA 14. Näkymä kohteen NIBE Uplink -etähallintapalvelusta selainversiona (2019)

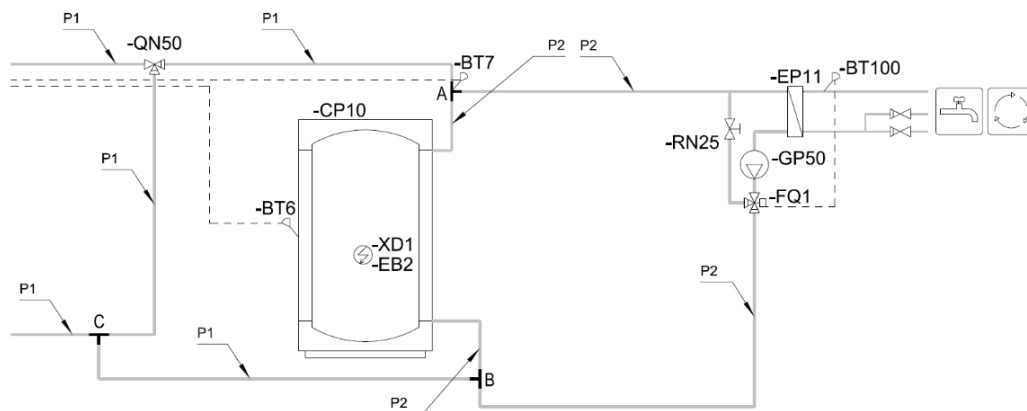


KUVA 15. Lämpöpumpun ohjain sekä NIBE Uplink etähallintasovellus Android -puhelimessa. Oikeanpuoleisessa kuvassa näkyy aurinkosähköpaneelien tuottama hetkellinen teho. (2019)

### 5.2.3 Käyttövesivaraaja ja käyttöveden lämmitystekniikka

Kohteessa olevan käyttöveden kierron sekä suurehkon hetkellisen käyttövedentarpeen vuoksi käyttöveden tuotantotavaksi valikoitui käyttöveden valmistaminen levylämmönsiirtimellä. Tässä kytkennässä kylmä käyttövesi virtaa siirtimessä alhaalta ylös samalla lämmiten kylmän veden lämpötilasta lämpimän käyttöveden lämpötilaan. Lämmittävä vesivirtaus puolestaan virtaa käyttövesivirtausta vastaan ylhäältä alas. Veden lämmittäminen lyhyessä ajassa vaatii paljon tehoa, tässä tapauksessa jopa 70 kW huippukuormitustilanteessa. Tästä syystä tarvitaan varaaja, mihin käyttöveden lämmittämistä varten varattua lämmityspiirin vettä varastoidaan. Varaajan koko määriteltiin kulutushuipun aikana tarvittavan vesimäärän sekä käyttöveden kierron lämpöhäviön perusteella. Varaajan koko on

500l. Kuvassa 16 on näytetty valmiin markkinoilta löytyvän järjestelmän toimintaperiaate. Toteutettu järjestelmä poikkeaa valmiista järjestelmästä siirtimen lämpötilan säädön osalta.



KUVA 16. Käyttöveden tuottaminen levylämmönsiirtimellä. Periaatekuva (NIBE Energy Systems Oy 2018, 4)

## 6 TULOKSET

Lämpöpumppu otettiin käyttöön juhannuksena 2018. Lämpöpumppu on toiminut seurantajakson ilman häiriöitä. Huonelämpötila on ollut sopiva sekä käyttövesi on riittänyt hyvin.

### 6.1 Lämpöpumpun energiantuotto, sähkönkulutus sekä lämpökerroin

Lämpöpumppuun on asennettu lisävarusteena energiamittarisarja EMK 500. Sen avulla mitataan lämpöpumpun käyttöveden sekä talon lämmittämiseen tuottama energia. Lämpöpumpun sähkökeskukseen asennettiin kilowattituntimittari, joka puolestaan mittaa lämpöpumpun käyttämän sähköenergian. Taulukkoon 7 on kerätty molempien mittareiden arvot mittausjaksolta. Niiden avulla on laskettu laitteiston lämpökerroin mittausjaksolta. Mittausjakso ei ole kokonainen vuosi, joten sen vuoksi tuloksesta ei voida käyttää SCOP -nimitystä, ainakaan vuosilämpökerroin -termiä käyttäen. Tilaaja on ollut laitteiston toimintaan erittäin tyytyväinen. Lisäksi energiaa on säästynyt jopa enemmän, kuin energialaskelman perusteella osattiin odottaa. Osaltaan tämä saattaa johtua siitä, että seurantajakso ei tässä ole kokonainen vuosi. Seurantajaksosta puuttuvan kesän ajalla käyttöveden valmistuksen suhteellinen osuus on lämmitysenergiaan verrattuna suuri, joten tämä jonkin verran tulee pienentämään laitteiston vuosilämpökerrointa mitattaessa kokonaisen vuoden ajalta. Tämä johtuu käyttöveden valmistamisen lämmitystä heikommasta lämpökertoimesta. Lisäksi seurantajaksoilla lämmitykseen on käytetty puuta, mikä vähentää lämpöpumpun tuottaman energian tarvetta. Myös autotallirakennuksen rakennusaikainen sähkölämmitys pienensi kuluneen seurantajakson lämpöpumpun tuottaman lämpöenergian määrää.

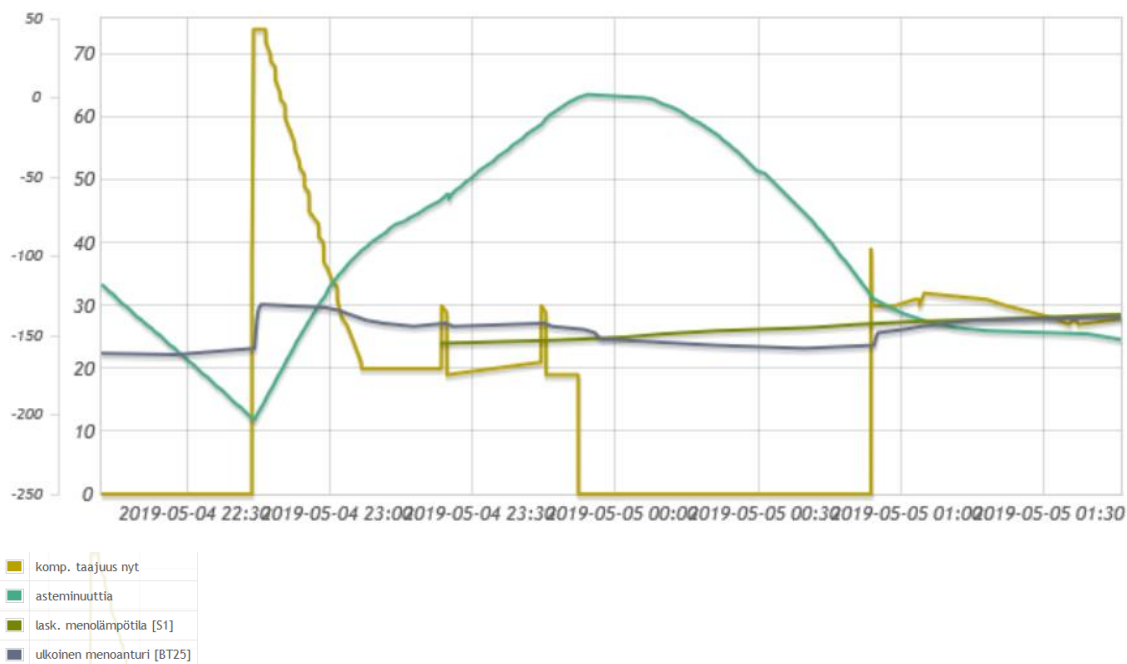
TAULUKKO 7. Lämpöpumpun mitattu energian tuotto, sähkönkulutus ja lämpökerroin

Lämpöpumpun tuottama ja kuluttama energia 19.7.2018 - 26.4.2019	Tuotettu energia, kWh	Käytetty sähköenergia, kWh
Lämmitys, kompressori	28179	
Käyttövesi, kompressori	6151	
Lämmitys, sähkövastus	0	
Käyttövesi, sähkövastus	0	
<b>YHTEENSÄ</b>	<b>34330</b>	<b>8087,9</b>
<b>Lämpökerroin ajalle 19.7.2018 - 26.4.2019</b>	<b>4,24</b>	

### 6.2 Lämpöpumpun invertterikylmäyksikön tehonsäädön käyttäytyminen

Lämpöpumpun havaittiin käynnistyvän verrattain suurella teholla, alkaen pudottaa tehoa pienemmäksi, koska BT12 lämpötila oli yli lasketun menolämpötilan. Suuri käynnistysteho ehti kuitenkin lämmittää varaajaa jopa niin paljon, että lämpöpumppu usein pysäytti invertterikylmäyksikön, koska varaajan lämpötila ylitti lasketun menolämpötilan reilusti. Tämän johdosta asteminuuttilaskuri saavutti nollan ja invertterikylmäyksikkö pysähtyi, vaikka tehontarvetta olisi ollut reilusti yli minimitehon. Tästä ei ollut muuta toiminnallista haittaa, kuin että kompressoreille kertyi turhia käynnistyksiä. Syytä haettiin ensiksi asetuksista ja myöhemmin ulkoista anturia BT25 siirrettiin hieman toiseen paikkaan. Anturin siirto paransi toimintaa hieman. Lopullinen selitys löytyi, kun sain NIBE:ltä taustatietoa tätä opinnäytetyötä varten. Koska kellarikerros tarvitsee lämmitystä aina, oli lämmityksen pysäytys -asetus korotettu maksimiarvoonsa. Tästä aiheutui, että säädin alkoi korottaa tarvittavaa kompressorin käynnistystehoa jo hyvin korkeassa ulkolämpötilassa normaalin noin +4°C - +7°C:n

sijaan. Säädön toiminta on selvitetty aiemmin ja tehokäyrä käy ilmi kuvasta 12. Tämän asetuksen muuttamisen jälkeen invertteriyksikön tehonsäätö on toiminut hyvin. Yksikkö pysyy käynnissä pysähtymättä jo noin +7°C:n ulkolämpötilassa, riippuen auringon paisteesta ja siitä onko rakennuksen tulisijoja lämmitetty. Kuvassa 17 voidaan nähdä asetusmuutoksen vaikutus käynnistystehoon sekä asteminuuttilaskurin toimintaan. Ennen asetuksen muutosta laite käynnistyi 74 Hz pyörimisnopeudella, tämä näkyy kuvassa vasemmalla. Kuvassa oikealla näkyy käynnistyminen 38 Hz taajuudella, minkä jälkeen invertteri säätää tehoa tarpeen mukaan. Tämä näkyy selvästi vihreän asteminuuttilaskurin käyttäytymisenä.



KUVA 17. Lämmityksen pysäytyslämpötilan asetuksen muuttamisen vaikutus invertterikylmäyksikön käynnistystaajuuteen, (NIBE Uplink etähallinnan selainversio 2019).



## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Työn tuloksena aikaansaatiin hyvin toimiva ja energiaa säästävä lämpöpumppujärjestelmä. Näin voidaan todeta seurantajakson aikana kerättyjen tietojen perusteella. Järjestelmän käyttöveden lämmittämisen energian tarpeen ja kaikki lämmöntuoton apulaitteet sisältävä SCOP oli tarkastelujaksolla jopa 4,24. Tämä on todella hyvä arvo ottaen huomioon, että kyseessä on alun perin 80 -luvulla 200mm pyöröhirrestä veistetty huvila, jonka lämmitys tapahtuu osittain radiaattoreiden avulla. Osittain tämä saattaa johtua lämpöpumppujärjestelmän mitoituksesta, joka on tehty niin lämpöpumpun kuin porakaivojenkin osalta niin, että teho tai energia eivät loppuisi kesken. Toisin sanoen varalämmityksenä toimivaan 15 kW sähkökattilaan ei tarvitse turvautua, kuin mahdollisessa vikatilanteessa. Jopa toisen kylmäyksikön vikaantuminen ei välttämättä tarkoita siirtymistä varajärjestelmän käyttöön, koska molemmilla kylmäyksiköillä on muun muassa omat liuos- ja kiertovesipumput. Järjestelmä on toiminut seuranta-ajan ilman häiriöitä. Tilaaja on tyytyväinen toteutettuun laitteistoon ja oli jopa yllätynyt siitä, kuinka vähän sähköä laitteisto käytännössä kuluttaa.

Lämpöpumppujärjestelmään tiedonsiirtoväylällä liitetty aurinkovoimala on tuottanut sähköä hyvin, ja tulee osaltaan vielä pienentämään laitteiston ostosähkön määrää. Koska aiemmin tässä työssäkin todettiin järjestelmän kallioperästä kerättävän maalämpöenergian olevan pääosin peräisin auringon säteilystä, voidaan laitteiston käydessä aurinkovoimalan tuottamalla sähköllä todeta, että käytössä on sillä hetkellä päästötön aurinkolämmitysjärjestelmä.

Työn toteutuksen näkökulmasta aihepiiri oli varsin laaja, ja sitä olisi voinut rajata vieläkin tiukemmin. Työhön sisältyy monta osaa, joista useista saisi oman opinnäytetyöaiheen. Esimerkkeinä mahdollisista aiheista käyttövesivaraajien korroosiosuojaus tai aurinkosähkön liittäminen lämpöpumppuun. Myös nykyaikaisen lämpöpumpun IoT:n, esimerkiksi älykoti ja etähallinnan mahdollisuuksissa on lähinnä rajana ohjelmistokehittäjien mielikuvitus.

Tutustuin työn aikana uuden lämpöpumppumallin kytkentä- ja ohjausperiaatteisiin. Työhön kerätyn aineiston avulla ratkaistiin jopa yksi kohteen laitteen säädön käyttäytymisessä ilmennyt epäloogisuus. Tässä tuli osoitettua käytännössä suunnittelu- tai asennusvirheen ohella kolmas ja samalla ehkä yleisin syy laitteen epätoivottuun käyttäytymiseen: Laitteen asentajan tai käyttäjän asettamat virheelliset tai toimimattomat asetukset, tai tietyn asetus-laitteistokokoonpanon yhdistelmät.

## LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

- SUOMEN VIRALLINEN TILASTO (SVT) 2018. Energian hankinta ja kulutus. Liitekuvio. [verkkajulkaisu] ISSN=1799-795X. 4. vuosineljännes 2018, Liitekuvio 14. Energian loppukäyttö sektoreittain 2018\*. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 28.5.2019].  
Saataavissa: [http://www.stat.fi/til/ehk/2018/04/ehk\\_2018\\_04\\_2019-03-28\\_kuv\\_014\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/ehk/2018/04/ehk_2018_04_2019-03-28_kuv_014_fi.html)
- TILASTOKESKUS 2018. [verkkajulkaisu] [viitattu: 4.5.2019]  
Saataavissa: <http://www.stat.fi/tietotrendit/artikkelit/2018/uusiutuva-energia-valtaa-alaa-pientalojen-lammityksessa/>
- JAAKKOLA, Pauli 2014. Opintomoniste termodynamiikan perusteet [viitattu: 4.5.2019.]  
Saataavissa: <http://www.students.tut.fi/~jaakkol4/ltplusplus/opintomonisteet/termodynamiikka.pdf>
- KAAPPOLA, Esko, HIRVELÄ, Aulis, JOKELA, Matti ja KIANTA, Jani 2012. Kylmätekniiikan perusteet. 2. tarkistettu painos. Helsinki: Opetushallitus.
- MOTIVA 2018. Lämpöpumppujen hankintaopas – kunnat ja taloyhtiöt [verkkajulkaisu] [viitattu 5.5.2019.] Saataavissa: [https://www.motiva.fi/files/14752/Lampopumppujen\\_hankinta-opas\\_kunnat\\_ja\\_taloyhtiot.pdf](https://www.motiva.fi/files/14752/Lampopumppujen_hankinta-opas_kunnat_ja_taloyhtiot.pdf)
- DANFOSS. Esite- ja koulutusmateriaali. Ei saatavana julkisesti.
- MOTIVA 2012, Lämpöä omasta maasta – Maalämpöpumput [verkkajulkaisu] [viitattu 5.5.2019.]  
Saataavissa: [https://www.motiva.fi/files/7965/Lampoa\\_omasta\\_maasta\\_Maalampopumput.pdf](https://www.motiva.fi/files/7965/Lampoa_omasta_maasta_Maalampopumput.pdf)
- MOTIVA 2017, Energiatehokas Koti. [verkkajulkaisu] [viitattu 5.5.2019.]  
Saataavissa: [https://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan\\_suunnittelu/lammitys/ilma-lampo-ja\\_maalampopumput/maalampopumppu](https://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/lammitys/ilma-lampo-ja_maalampopumput/maalampopumppu)
- KAAPPOLA, Esko 2019-05-31 Kylmätekniiikan DI, Kylmätekniiikan erityisasiantuntija, Danfoss [Haastattelu]
- SKLL ry, koulutuspäivät 2013. Luentomateriaali, PULKKI, Laura. Ei saatavana julkisesti.
- PERÄLÄ, Rae 2013. Lämpöpumput, Suomalainen käsikirja aikamme lämmitysjärjestelmästä. 3. uudistettu painos. Helsinki: Alfamer/Karisto Oy.
- RAKENNUSTIETO OY 2018, LVI ohjekortti 11-10623.
- KAAPPOLA, Esko koulutusmateriaali, ei saatavana julkisesti
- SYKE 2013, Energiakaivo-opas. Toivo Lapinlampi. [viitattu 5.5.2019.]  
Saataavissa: <https://www.sulpu.fi/documents/184029/1300198/4.%20Energiakaivo-opas,%20Toivo%20Lapinlampi.pdf>
- AITTOMÄKI, Antero, AALTO, Esa, AILIJOKI, Tapio, HAKALA, Pertti, HIRVELÄ, Aulis, KAAPPOLA, Esko, MENTULA, Jukka ja SEINELÄ Altti 2012. Kylmätekniiikka. 4. painos. Porvoo: Suomen Kylmäyhdistys ry.
- NIBE Energy Systems Oy 2014, Pientalojen maalämpöpumppuopas, [viitattu 6.5.2019.]  
Saataavissa: <https://www.nibe.fi/ammattilaiset/nibe-opaat/mlp-opaat/>
- ILMATIETEEN LAITOS, Sääsuureiden keskimääräiset arvot nykyilmastossa, vyöhyke III (TRY2012). [viitattu 8.5.2019.] Saataavissa: <https://ilmatieteenlaitos.fi/energialaskennan-testivuodet-nyky>
- YMPÄRISTÖMINISTERIÖ 2018, Suomen rakentamismääräyskokoelma, energiatehokkuus, Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. [Viitattu 19.5.2019.]  
Saataavissa: [https://www.edilex.fi/data/rakentamismaaraykset/Ohje\\_Rakennuksen\\_energiankulutuksen\\_ja\\_lammitystehontarpeen\\_laskenta\\_20-12-2017.pdf](https://www.edilex.fi/data/rakentamismaaraykset/Ohje_Rakennuksen_energiankulutuksen_ja_lammitystehontarpeen_laskenta_20-12-2017.pdf)

MOTIVA 2016, Mihin lämpöä tarvitaan. [verkkajulkaisu] [viitattu 18.5.2019.]

Saatavissa: [https://www.motiva.fi/koti\\_ ja\\_ asuminen/ rakentaminen/ lammitusjarjestelman\\_ va- liinta/ mihin\\_ lampoa\\_ tarvitaan](https://www.motiva.fi/koti_ ja_ asuminen/ rakentaminen/ lammitusjarjestelman_ va- liinta/ mihin_ lampoa_ tarvitaan))

RAKENNUSTIETOSÄÄTIÖ 2002, Rakentamisen yleiset ohjeet, RYL2002, Osa 1.

STM 2015. Asetus talousveden laatuvaatimuksista 1352/2015. Liite 1. [Viitattu 28.5.2019.]

Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20151352#Pidp447331568>

VALVIRA 2018, Talousvesiasetuksen soveltamisohje 16/2018. [viitattu 28.5.2019.]

Saatavissa [https://www.valvira.fi/documents/14444/6739502/Talousvesiasetuksen\\_ soveltamis- ohje\\_ osa\\_ 2. pdf/ ba3128f8-8697-8132-9834-65a2920a3492](https://www.valvira.fi/documents/14444/6739502/Talousvesiasetuksen_ soveltamis- ohje_ osa_ 2. pdf/ ba3128f8-8697-8132-9834-65a2920a3492)

AALTONEN, Rami 2019-05-28. DI, Tampereen Teknillinen Korkeakoulu, Tekninen johtaja, Kaukora Oy [Haastattelu]

NIBE Energy Systems Oy, EME 20 Tiedonsiirtomoduulin asennus- ja käyttöohje. [Viitattu 19.5.2019.]

Saatavissa: <https://www.nibe.fi/nibedocuments/25521/431668-4.pdf>

NIBE Energy Systems Oy 2018, Haato lämminvesilatausryhmä asennusohje, [viitattu 21.5.2019.]

Saatavissa: [https://www.nibe.fi/upload/haato/Suuret%20kiinteist%c3%b6t/Haato\\_LVLR\\_ohje\\_2018-03.pdf](https://www.nibe.fi/upload/haato/Suuret%20kiinteist%c3%b6t/Haato_LVLR_ohje_2018-03.pdf)

## LIITE 1: ENERGIALASKELMA KORKEALÄMPÖINEN LÄMMÖNJAKO



**NIBE** YHTEYSHENKIÖ

### Laskelmasta

Energialaskelma perustuu lämpöpumpun standardien mukaisiin testiarvoihin ja arvioon laitteen käyttöympäristöstä ja -tavasta rakennusmäärausten mukaisissa sääolosuhteissa. Lopullisessa asennuksessa energiankulutus vaihtelee sääolosuhteiden, rakennuksen ja lämmitysjärjestelmän toteutuksen ja käytön mukaan ja voi siten poiketa laskelmasta.

Lämmönlähteen ollessa energiakenttä (yli 3 kpl kaivoja) on aktiivisuuden laskenta suuntaa antava ja se on tarkennettava kaivokenttäsuunnittelijan kanssa.

Lisätietoja saat joko ottamalla yhteyttä tai vieraillemalla [www.nibe.fi](http://www.nibe.fi).

### ASIAKAS

Esimerkkimitoitus 100m<sup>2</sup>

## ENERGIALASKELMA

### KOHTEEN TIEDOT

Tilojen lämmityksen tarve	17617 kWh/vuosi
- josta käyttöveden osuus	4850 kWh/vuosi
Nykyinen lämmityksen pumppu	278 kWh/vuosi
Lämmitystehontarve	5,9 kW

### ENNEN LÄMPÖPUMPUN ASENNUSTA

Ostoenergia -Sähkö	17895 kWh/vuosi
--------------------	-----------------

### LÄMPÖPUMPUN ASENNUKSEN JÄLKEEN

Ostoenergia -Sähkö	5620 kWh/vuosi
--------------------	----------------

### SÄÄSTÖT

Energiansäästö	12275 kWh/vuosi
CO2 säästöt	2422 kg/vuosi

### SÄÄTIEDOT

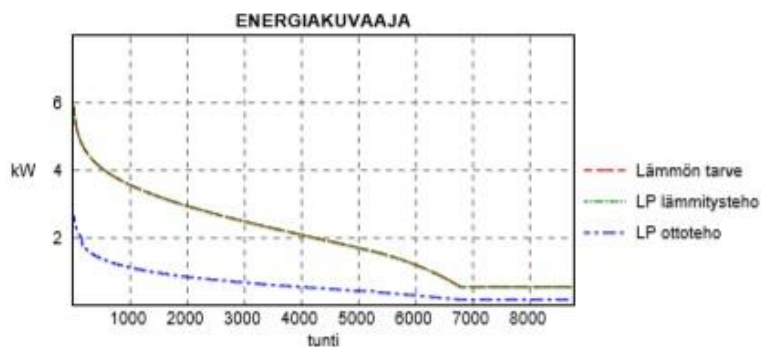
Vuoden keskilämpötila	3,4 °C
Mitoitettava ulkolämpötila, MUT	-32,0 °C

### RAKENNUKSEN OLOSUHTEET

Sisälämpötila	21,0 °C
Tilojen lämmitys pysähtyy	16,0 °C
Lämmitys meno MUT:ssa	65 °C
Lämmitys paluu MUT:ssa	55 °C

### ENERGIALASKENNAN TULOKSET

<b>-Lämpöpumppu NIBE F1255-6</b>	
LP:n tuottama energia	17616 kWh/vuosi
LP:n kuluttama energia	5509 kWh/vuosi
Lisäenergia, hyötysuhdekorjattu	0 kWh/vuosi
Lämmityksen kiertopumppu	111 kWh/vuosi
Energianpeitto	100 %
Vuosilämpökerroin, LP	3,2
Vuosilämpökerroin, järjestelmä	3,1
Kiinteä tai vaihteleva lauhdutus	Vaihteleva
Lämpöpumpun teho MUT:ssa	5,8 kW
Ottoteho MUT:ssa	2,6 kW
Laskennallinen lisäteho	0,1 kW
Tehopeitto	99 %



### ENERGIKAIVO

Aktiivinen poraussyvyys	131 m
Energian otto	94 kWh/m
Tehon otto	20 W/m
Lambda kallio	3,0 W/mK
Tulevan keruuliukuksen keskilämpötila	0,0 °C

## LIITE 2: ENERGIALASKELMA MATALALÄMPÖINEN LÄMMÖNJAKO



**NIBE** YHTEYSHENKILÖ

### Laskelmasta

Energialaskelma perustuu lämpöpumpun standardien mukaisiin testiarvoihin ja arvioon laitteen käyttöympäristöstä ja -tavasta rakennusmäärysten mukaisissa sääolosuhteissa. Lopullisessa asennuksessa energiankulutus vaihtelee sääolosuhteiden, rakennuksen ja lämmitysjärjestelmän toteutuksen ja käytön mukaan ja voi siten poiketa laskelmasta.

Lämmönlähteen ollessa energiakenttä (yli 3 kpl kaivoja) on aktiivisuuden laskenta suuntaa antava ja se on tarkennettava kaivokenttäsuunnittelijan kanssa.

Lisätietoja saat joko ottamalla yhteyttä tai vierailamalla [www.nibe.fi](http://www.nibe.fi).

### ASIAKAS

Esimerkkimitoitus 100m<sup>2</sup>

## ENERGIALASKELMA

### KOHTEEN TIEDOT

Tilojen lämmityksen tarve	17617 kWh/vuosi
- josta käyttöveden osuus	4850 kWh/vuosi
Nykyinen lämmityksen pumppu	278 kWh/vuosi
Lämmitystehontarve	5,9 kW

### ENNEN LÄMPÖPUMPUN ASENNUSTA

Ostoenergia -Sähkö	17895 kWh/vuosi
--------------------	-----------------

### LÄMPÖPUMPUN ASENNUKSEN JÄLKEEN

Ostoenergia -Sähkö	4356 kWh/vuosi
--------------------	----------------

### SÄÄSTÖT

Energiansäästö	13538 kWh/vuosi
CO <sub>2</sub> säästöt	2684 kg/vuosi

### SÄÄTIEDOT

Vuoden keskilämpötila	3,4 °C
Mitoitettava ulkolämpötila, MUT	-32,0 °C

### RAKENNUKSEN OLOSUHTEET

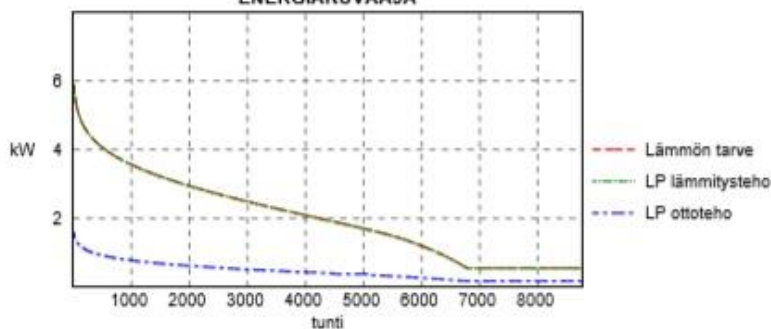
Sisälämpötila	21,0 °C
Tilojen lämmitys pysähtyy	16,0 °C
Lämmitys meno MUT:ssa	35 °C
Lämmitys paluu MUT:ssa	28 °C

### ENERGIALASKENNAN TULOKSET

#### -Lämpöpumppu NIBE F1255-6

LP:n tuottama energia	17617 kWh/vuosi
LP:n kuluttama energia	4198 kWh/vuosi
Lisäenergia, hyötysuhdekorjattu	0 kWh/vuosi
Lämmityksen kiertopumppu	159 kWh/vuosi
Energianpeitto	100 %
Vuosilämpökerroin, LP	4,2
Vuosilämpökerroin, järjestelmä	4,0
Kiinteä tai vaihteleva lauhdutus	Vaihteleva
Lämpöpumpun teho MUT:ssa	5,9 kW
Ottoteho MUT:SSA	1,8 kW
Laskennallinen lisäteho	0,0 kW
Tehopeitto	100 %

### ENERGIAKUVAAJA



### ENERGIKAIVO

Aktiivinen poraussyvyys	145 m
Energian otto	94 kWh/m
Tehon otto	20 W/m
Lambda kallio	3,0 W/mK
Tulevan keruuliuksen keskilämpötila	-0,1 °C

## LIITE 3: KÄYTTÖVESILÄMMÖNSIIRTIMEN MITOITUS

## LIITE 4: TYÖN KOHTEENA OLEVASTA KIINTEISTÖSTÄ LAADITTU ENERGIALASKELMA



**NIBE** YHTEYSHENKILÖ

### Laskelmasta

Energialaskelma perustuu lämpöpumpun standardien mukaisiin testiarvoihin ja arvioon laitteen käyttöympäristöstä ja -tapaista rakennusmääräysten mukaisissa sääolosuhteissa. Lopullisessa asennuksessa energiankulutus vaihtelee sääolosuhteiden, rakennuksen ja lämmitysjärjestelmän toteutuksen ja käytön mukaan ja voi siten poiketa laskelmasta.

Lämmönlähteen ollessa energiakenttä (yli 3 kpl kaivoja) on aktiivisuuden laskenta suuntaa antava ja se on tarkennettava kaivokenittäsuunnittelijan kanssa.

Lisätietoja saat joko ottamalla yhteyttä tai vieraillemalla [www.nibe.fi](http://www.nibe.fi).

### ASIAKAS

Maalämpö- ja aurinkoprojekti

## ENERGIALASKELMA

### KOHTEEN TIEDOT

Tilojen lämmityksen tarve	61383 kWh/vuosi
- josta käyttöveden osuus	8900 kWh/vuosi
Nykyinen lämmityksen pumppu	1100 kWh/vuosi
Lämmitystehontarve	22.0 kW

### ENNEN LÄMPÖPUMPUN ASENNUSTA

Ostoenergia -Sähkö	62484 kWh/vuosi
--------------------	-----------------

### LÄMPÖPUMPUN ASENNUKSEN JÄLKEEN

Ostoenergia -Sähkö	16718 kWh/vuosi
--------------------	-----------------

### SÄÄSTÖT

Energiansäästö	45765 kWh/vuosi
CO2 säästöt	9257 kg/vuosi

### SÄÄTIEDOT

Vuoden keskilämpötila	3,4 °C
Mitoitettava ulkolämpötila, MUT	-32,0 °C

### RAKENNUKSEN OLOSUHTEET

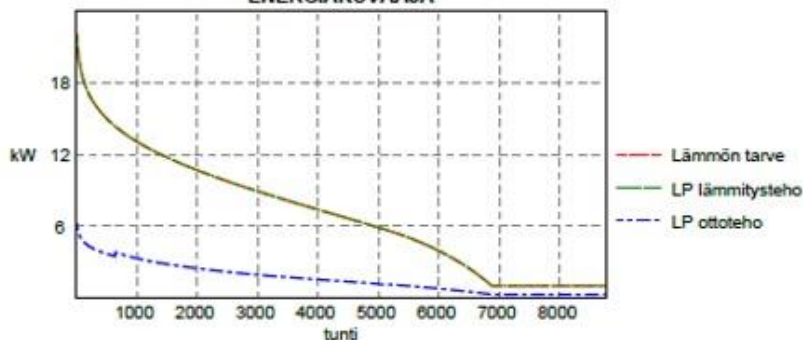
Sisälämpötila	23,0 °C
Tilojen lämmitys pysähtyy	17,0 °C
Lämmitys meno MUT:ssa	45 °C
Lämmitys paluu MUT:ssa	40 °C

### ENERGIALASKENNAN TULOKSET

#### -Lämpöpumppu NIBE F1355-28

LP:n tuottama energia	61378 kWh/vuosi
LP:n kuluttama energia	15097 kWh/vuosi
Lisäenergia, hyötysuhdekorjattu	0 kWh/vuosi
Lämmityksen kiertopumppu	1621 kWh/vuosi
Energianpeitto	100 %
Vuosilämpökerroin, LP	4,1
Vuosilämpökerroin, järjestelmä	3,7
Kiinteä tai vaihteleva lauhdutus	Vaihteleva
Lämpöpumpun teho MUT:ssa	22,0 kW
Ottoteho MUT:ssa	6,2 kW
Laskennallinen lisäteho	0,0 kW
Tehopeitto	100 %

### ENERGIAKUVAAJA



### ENERGIKAIVO

Aktiivinen poraussyvyys	485 m
Energian otto	97 kWh/m
Tehon otto	22 W/m
Lambda kallio	3,0 W/mK
Tulevan keruuliuksen keskilämpötila	1,2 °C