

Eetu Sainio

MAALÄMPÖPUMPUN KÄYTTÖÖNOTTO JA OPTIMOINTI

Rakennustekniikan koulutusohjelma

2015

MAALÄMPÖPUMPUN KÄYTTÖÖNOTTO JA OPTIMOINTI

Sainio, Eetu
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Helmikuu 2016
Ohjaaja: Sirèn, Pekka
Sivumäärä: 54
Liitteitä: 2

Asiasanat: LVI-ala, kylmätekniikka, maalämpöpumppu, optimointi, käyttöönotto

Opinnäytetyön aiheena oli suorittaa Oilonin RE-70 maalämpöpumpun käyttöönotto ja optimointi Panelian Satamunassa. Opinnäytetyö suoritettiin Vesi-Lammela nimiselle LVI-alan yritykselle. Tässä työssä kerrotaan laajasti maalämpöpumpun toimintaperiaatteesta, kylmäprosessista, kylmäaineista, Satamunan lämmitysjärjestelmästä, maalämpöpumpun käyttöönotosta, optimoinnista ja optimoinnin avuksi suoritetuista mittauksista.

Opinnäytetyön pääaiheena oli Satamunan uuden lämmitysjärjestelmän, eli maalämpöpumpun, ja vanhan lämmitysjärjestelmän, eli öljypolttimen, optimointi niin, että polttimen käyntiaika vähentyisi, ja sitä kautta säästettäisiin lämmityskaudella öljyä. Kyseisen optimoinnin avuksi suoritettiin useita mittauksia, joita tarkasteltiin tässä opinnäytetyössä.

Opinnäytetyössä saavutettiin haluttu tulos. Öljypolttimen käyntiaikaa saatiin lyhennettyä säätämällä maalämpöpumpun parametriasetykset kohdilleen mittaustuloksia tarkastelemalla. Nyt öljypoltin käynnistyy ainoastaan ulkolämpötilan laskiessa pakkasen puolelle ja pysähtyy aikaisemmin maalämpöpumpun käskystä.

IMPLEMENTING AND OPTIMIZING A GEOTHERMAL HEAT PUMP

Sainio, Eetu

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Construction Engineering

February 2015

Supervisor: Sirèn, Pekka

Number of pages: 54

Appendices: 2

Keywords: HVAC, cold process, geothermal heat pump, implementation, optimization, implementing

The purpose of this thesis was to implement and optimize a geothermal heat pump called Oilon RE-70 located in a company called Satamuna in Panelia. This thesis was made for a HVAC company called Vesi-Lammela. There is a lot of information in this thesis about geothermal heat pumps and how they work, how they are implemented and optimized and what kind of measurements needs to be done to help with the optimizing. Information on cold process, refrigerants and Satamuna's heating system are also a part of this thesis.

The main purpose of this thesis was to optimize Satamuna's new heating system (geothermal heat pump) and the old heating system (oil burner) so that the oil burner's operating time would be as short as possible to save oil during the heating period. Several measurements were made from the geothermal heat pump to help with the optimizing process. The measurements are observed in this thesis.

The results were successful. The operating time of the oil burner got shorter by adjusting the geothermal heat pump's parameter values. The parameter values were adjusted by observing the measurements taken from the geothermal heat pump. Now the oil burner starts up only when the temperature is below zero and stops earlier when the geothermal heat pump gives command.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	MAALÄMPÖPUMPUN TOIMINTA/TEORIA	7
2.1	Maalämpöpumpun toiminta	7
2.2	Maalämpöpumpun mitoitus	8
2.3	Porakaivo	8
2.4	Vaakaputkisto	9
3	KYLMÄPROSESSI, PÄÄKOMONENTIT JA KYLMÄAINE.....	10
3.1	Kylmäprosessi.....	10
3.2	Kompressori.....	11
3.3	Lauhdutin	12
3.4	Paisuntaventtiili.....	13
3.5	Höyrystin.....	14
3.6	Kylmäaine	14
3.6.1	Kylmäaineelta vaadittavat ominaisuudet.....	15
3.6.2	R407-kylmäaineet.....	16
4	OILON RE-70 MAALÄMPÖPUMPUN LAITTEET JA OHJAUS	17
4.1	Oilon RE maalämpöpumppu.....	17
4.2	Oilon RE-70 automatiikka	17
4.3	RE-70 osat.....	18
5	JÄRJESTELMÄN KUVAUS	19
5.1	Satamuna.....	19
5.2	Maalämpöpumpun mitoitus	20
5.3	Lämmitysverkosto.....	20
5.3.1	Lattialämmitysverkosto	20
5.3.2	Ilmastoinnin lämmitysverkosto	22
5.4	Maalämpöpumpun ja öljykattilan toiminta.....	23
6	MAALÄMPÖPUMPUN KÄYTTÖÖNOTTO JA OPTIMOINTI	25
6.1	Maalämpöpumpun käyttöönotto	25
6.1.1	Ennen käyttöönottoa	25
6.1.2	Käyttöönotto	26
6.2	Optimointi	26
6.2.1	Kylmäprosessin mittaus.....	27
6.2.2	Kylmäkoneikon säätö	30
6.2.3	Lämmityspiirien lisääminen	31

6.2.4	Lämpökäyrien kaltevuuden säätö	31
6.3	Vanhan öljykattilan ja kolmitieventtiilin TV04 lisääminen ohjausjärjestelmään ja optimointi	33
6.3.1	Öljykattilan ja kolmitieventtiilin TV04 lisääminen ohjausjärjestelmään	34
6.3.2	Öljypolttimen ja kolmitieventtiilin optimointi	35
7	MITTAUKSET JA NIIDEN TARKASTELU	38
7.1	Öljykattilan mittaukset	39
7.1.1	Mittaustulokset	40
7.1.2	Mittaustulosten tarkastelu	44
7.2	Mittaukset lämmityspiireistä	47
7.2.1	Mittaustulokset	48
7.2.2	Mittaustulosten tarkastelu	50
8	YHTEENVETO	51
	LÄHTEET	53

1 JOHDANTO

Idean lämpöpumpusta esitti ensimmäisenä Lordi Kelvin jo vuonna 1853 ja vuonna 1855 ensimmäisen lämpöpumpun valmisti Peter Ritter von Rittinger. 1940-luvun lopulla Robert C. Webber kehitti maalämpöpumpun. Ruotsissa maalämpöpumpusta tuli suosittu lämmitysjärjestelmä 1970-luvulla, ja on siitä asti kasvattanut suosiotaan ympäri maailmaa. (UMR Geothermal [www-sivut](#), 2015.) Suomessa maalämmöllä on lämmitetty pientaloja 1970-luvun puolivälistä lähtien. Maalämpöpumpun suosio lähti suureen kasvuun 2000-luvun alussa. (Motivan [www-sivut](#), 2015.) Maalämpöpumppu oli uusien omakotitalojen suosituin lämmitysjärjestelmä Suomessa vuosina 2006-2011 (UMR Geothermal [www-sivut](#), 2015).

Maalämpöpumput ottavat lämpöenergian maan tai veden massasta, johon on sitoutunut aurinkoenergiaa. Lämpöenergia, joka kerätään syvältä maasta, on vain muutamia lämpöasteita. Se ei vielä riitä lämmittämään taloa, joten maalämpöpumpun kylmäkoneiston avulla kyetään tuottamaan tarvittava lämpöenergia talon lämmitykseen. Maalämpöpumpulla tuotettu lämpöenergia on edullista, mutta sen järjestelmän hankintahinta on melko kallis. (Sulpu ry:n [www-sivut](#), 2015.)

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli optimoida ja käyttöönottaa Oilonin RE70-maalämpöpumppu, joka sijaitsee Satamuna Oy:n uudessa laajennusosassa. Tavoitteena oli myös tutustua kyseiseen pumppuun sekä kohteen lämmitysjärjestelmään ja selvittää miten käyttöönottoa voitaisiin tehostaa. Kyseisen yrityksen vanhassa osassa on entuudestaan LAKAN 100 kW öljykattila. Uusi lämmitysmuoto, eli maalämpöpumppu, palvelee vanhan öljykattilan kanssa vanhaa sekä uutta puolta. Opinnäytetyö tehtiin Vesi-Lammela -nimiselle LVI-alan yritykselle.

Satamuna Oy on osaava ja innovatiivinen munapakkaamo, jonka juuret ja tieto-taito kananmunien tuotannossa ulottuvat 1900-luvun alkuun. Yritys sijaitsee Panelian kylässä, Satakunnassa. (Satamuna Oy:n [www-sivut](#), 2015a.) Useampi, kuin joka kymmenes Suomessa tuotettu kananmuna pakataan Satamunan munapakkaamossa ja ne päätyvät sekä kotimaisten että ulkomaisten kuluttajien ruokapöytiin (Satamuna Oy:n [www-sivut](#), 2015b).

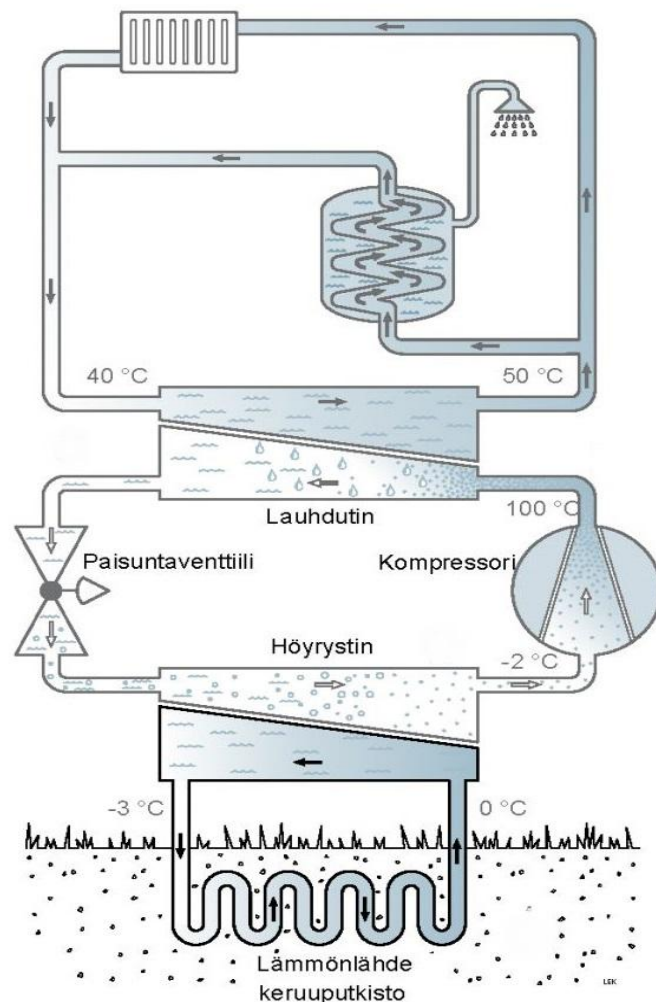
2 MAALÄMPÖPUMPUN TOIMINTA/TEORIA

2.1 Maalämpöpumpun toiminta

Maalämpöpumpun (kuva 1) tarkoitus on kerätä kalliosta, maasta tai vedestä auringonlämpöenergiaa lämmönkeruuputkiston avulla. Lämmönkeruuputkistoja voidaan asentaa poraamalla maahan tai kalliin jopa 250 metrin syvyinen pora-kaivo. Jos tontti on iso ja maaperä hiekkaa tai savea, niin on mahdollista asentaa vaakakeruuputkisto. Lämmönkeruuputkistossa kiertää jäätymätön neste, joka lämpenee muutaman asteen verran keruuputkiston kierrossa. Keruupiiristä saatava lämpö höyrystää lämpöpumpun sisällä kiertävän kylmäaineen. Höyrystyneen kylmäaineen paine nostetaan kompressorissa, jolloin kylmäaineen lämpötila nousee jopa 100 celsiusasteeseen. Tämän jälkeen kylmäaine luovuttaa lämpöenergiaa

lauhduttimessa lämmityspiiriin ja lämpimään käyttöveteen, jolloin kylmäaine lauhtuu ja muuttuu suurimmaksi osaksi takaisin nesteeksi. Maalämpöpumppu kuluttaa myös sähköenergiaa. Kompressorin toimii yleensä sähkömoottorilla, myös pumpuissa mahdollisissa vastuksissa kuluu sähköä. Lämpöpumpun hyötysuhdetta kuvataan lämpökertoimella, joka tarkoittaa kuinka paljon lämpöä saadaan koneistoon syötetyllä sähköllä. Lämpökertoimen voi laskea yksinkertaisella kaavalla:

$$\text{Lämpökertoimen} = \frac{\text{Tuotettu lämpö (kWh)}}{\text{Käytetty sähkö (kWh)}} \quad (\text{Motiva 2013, 2.})$$

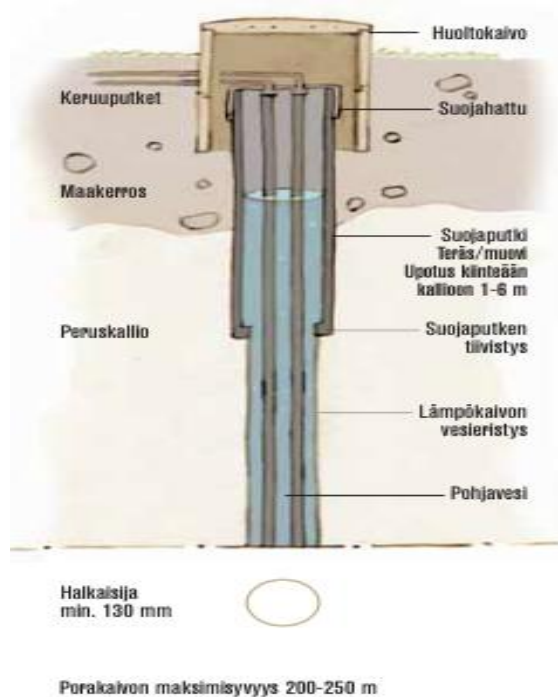


Kuva 1:Maalämpöpumpun toiminta. (Kaukoran www-sivut, 2014.)

Maalämpöpumppua voidaan myös käyttää tilojen jäähdyttämiseen, jos keruupiirin ratkaisuksi on valittu porakaivo. Keruupiirin viileän nesteen voi johtaa ilmastointikoneen jäähdytyspatteriin, jonka avulla viilennetään tuloilmaa. Rakennukseen voi asentaa oman vesikiertoisen jäähdytysverkoston. Siinä keruupiirin viileä neste kiertää erillisen lämmönvaihtimen läpi, joka viilentää jäähdytysverkoston vettä, joka taas kiertää passiivi- tai puhallinkonvektorissa. Tällä ratkaisulla huoneen lämpötilaa on mahdollista laskea jopa 6-8 astetta. (Motivan www-sivut, 2015.)

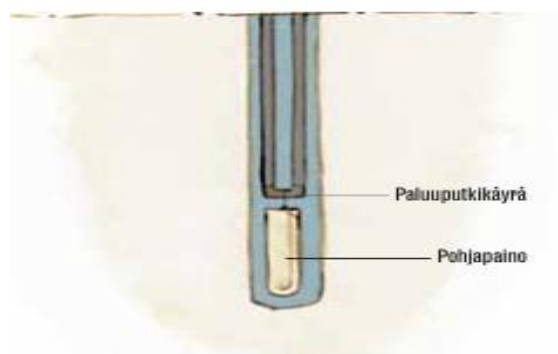
2.2 Maalämpöpumpun mitoitus

Maalämpöpumppu voidaan mitoittaa täysteholle tai osateholle. Kun maalämpöpumppu mitoitetaan osateholle (60-80%), niin silloin pumppu tuottaa noin 95 % vuoden koko lämpöenergian määrästä. Jos talon lämmitystehon tarve on 10 kW, niin silloin voidaan valita 8-9 kW:n maalämpöpumppu ja loput 1-2 kW tuotetaan lisälämmönlähteen avulla, esim. sähkövastuksen tai öljykattilan avulla, varsinkin kovimmilla pakkasilla. Kun pumppu mitoitetaan täysteholle, pitäisi tällöin pumpun kattaa rakennuksen koko lämmitystehon tarpeen sekä lämpimän käyttöveden lämmityksen kovimmillakin pakkasilla ilman vastuksia (Motiva 2013, 5.)



2.3 Porakaivo

Porakaivosta maalämpöpumppu nostaa maaperään tai kalliioon varastoitunutta aurinkolämpöä. Kaivon syvimmistä osista lämpöenergia saadaan pääosin lämpi-



Kuva 2: Porakaivo. (Maalämpö.infon www-sivut, 2015.)

mistä pohjavesivirtauksista sekä kallioon johtuvasta fissionenergiasta, joka on peräisin maapallon ytimeistä. Porakaivon poraaminen kallioon on helpompaa ja halvempaa kuin maaperään poraaminen, koska maaperään poraamisen yhteydessä tarvitsee kaivon asentaa suojaputki, joka pitää kaivon auki ja estää pintaveden sekoittumisen pohjaveteen. (Motiva 2013, 4.)

Porakaivo sopii erittäin hyvin pienille tonteille ja saneerauskohteisiin. Porakaivon ja keruuputkiston oikea mitoitus on erittäin tärkeää, koska oikea mitoitus vaikuttaa järjestelmän toimintaan lähes yhtä paljon kuin itse maalämpöpumppu. Liian pienellä keruuputkistolla ei pystytä tuottamaan tarpeeksi lämpöä. Porakaivoja voi tarpeen mukaan porata useampia vierekkäin, jos yksi kaivo ei riitä tuottamaan tarpeeksi lämpöä. Vierekkäisten reikien etäisyys toisistaan ei saisi olla alle 20 metriä koska silloin ne vaikuttavat liikaa toisiinsa (Motiva 2013, 4.)

Porakaivon syvyyteen vaikuttaa pääasiassa kaksi asiaa: rakennuksen lämmitystehon tarve sekä kuinka paljon vettä kaivo tuottaa. Mitä enemmän kaivo tuottaa vettä, niin sitä suurempi on kaivosta saatava lämpöenergia, mutta jos kaivo ei tuota vettä, niin tarvittaessa kaivoa voi täyttää vedellä. Porakaivon maksimi syvyys on noin 200-250 metriä. Porakaivossa on niin sanottu aktiivisyvyys, jolla tarkoitetaan kaivon osuutta joka on vuoden ympäri veden alla. (Motiva 2013, 4.)

2.4 Vaakaputkisto

Maalämpöpumppu ei aina vaadi syvää porakaivoa, vaan lämmön voi myös kerätä pintamaasta vaakaputkiston avulla (Motiva 2013, 4). Kesällä maaperään varastoituu auringon lämpöenergiaa noin 5-7 m syvyyteen (Aittomäki 2012, 351). Vaakaputkisto on hieman halvempi investointi kuin porakaivo. Vaakaputkisto on oiva vaihtoehto porakaivolle, jos tontti on riittävän suuri, koska jokaista rakennuskuutiota kohden tarvitaan 1-2 metriä keruuputkistoa ja jokaista putkimetriä kohden noin 1,5 m² tonttimaata. Putkisto asennetaan noin metrin syvyyteen ja noin 1,5 metrin välein. (Motiva 2013, 4.) Koska Suomessa maan pintakerroksen lämpötila laskee syksyisin ja talvisin jäätymisspisteeseen tai ainakin lähelle sitä, riippuen syksyn ja talven sääolosuh-

teista, putkiston jäähditysvaikutus voi aiheuttaa roudan syvenemisen (Aittomäki 2012, 351).

Kesällä on tärkeää antaa maaperän lämpötilan palautua takaisin normaaliksi, koska maaperä jäähtyy lämmönoton aikana normaalia enemmän. Lämpöä ei voida kuitenkaan ottaa liikaa maasta koska se voi synnyttää maahan pysyvän roudan. Etelä-Suomessa saviperäisestä maasta saadaan lämpöenergiaa 50-60 kWh/m vuodessa, Pohjois-Suomessa noin puolet tästä. Hiekkaperäisestä maasta saadaan lämpöenergiaa 25-30 kWh/m vuodessa (Aittomäki 2012, 351.)

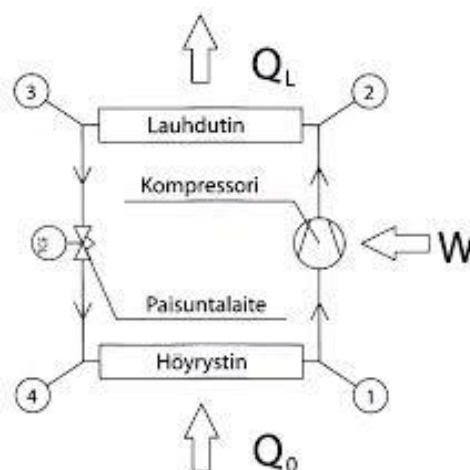
Yleisimmin lämpö kerätään maasta vesi/etanoli-liuoksella, jonka etanolipitoisuus on noin 25 %. Putkisto mitoitetaan niin, että virtaus on turbulenti, lämpötilamuutos 2-3 K ja virtausnopeus 0,5-0,8 m/s. Jos virtaus olisi laminaarista, olisi lämmön siirtymisen huomattavasti huonompaa. (Aittomäki 2012, 351.)

3 KYLMÄPROSESSI, PÄÄKOMPONENTIT JA KYLMÄAINE

3.1 Kylmäprosessi

Maalämpöpumppujen sisällä on kylmäkoneikko, jossa kiertää kylmäaine. Tätä kylmäaineen kiertoa kutsutaan kiertoprosessiksi, jossa kylmäaine höyrystyy ja lauhduu. Kylmäkoneikon pääkomponentit näkyvät kuvassa 3. Pääkomponentit ovat höyrystin, kompressori, lauhdutin ja paisuntalaite.

Ympäristöä matalammassa lämpötilassa oleva nestemäinen kylmäaine höyrystyy höyrystimessä, sitoen lämpöä ympäristöstä (4-1) (Kuva 3). Seuraavaksi matalapaineinen kylmäainehöyry johdetaan kompressoriin, jossa kompressori puristaa höyryn korkeampaan



Kuva 3: Kylmäkoneisto. (Hakala & Kaappola 2007, 10)

paineeseen, jolloin sen paine ja lämpötila kohoaa (1-2). Lauhduttimessa ympäristöä huomattavasti lämpimämpi kylmäainehöyry lauhtuu, eli jäähtyy, luovuttamalla lämmön ympäristöön, jolloin höyry muuttuu pääosin takaisin nesteeksi (2-3). Paisuntalaitteessa nestemäisen kylmäaineen paine laskee, jolloin nesteen lämpötila myös laskee ja kylmäaine muuttuu neste-höyryseokseksi (3-4). Ja kierto alkaa uudelleen. (Hakala & Kaappola 2007,10)

3.2 Kompressori

Lämpöpumpuissa käytetään pääosin hermeettisiä mäntä- ja scroll-kompressoreita jopa 100 kilowattiin asti. Puolihermeettisiä mäntäkompressoreita käytetään yleensä suurimmilla tehoilla. Mäntä- ja scroll-kompressorien paremmuutta hermeettisissä kompressoreissa on tutkittu. Kun kompressoreita vertaillaan ARI olosuhteissa, jotka ovat:

- Höyrystyslämpötila 7,2 °C
- Lauhtumislämpötila 54,4 °C
- Alijäähtyminen 8,3 K
- Tulistuminen 11,1 K,

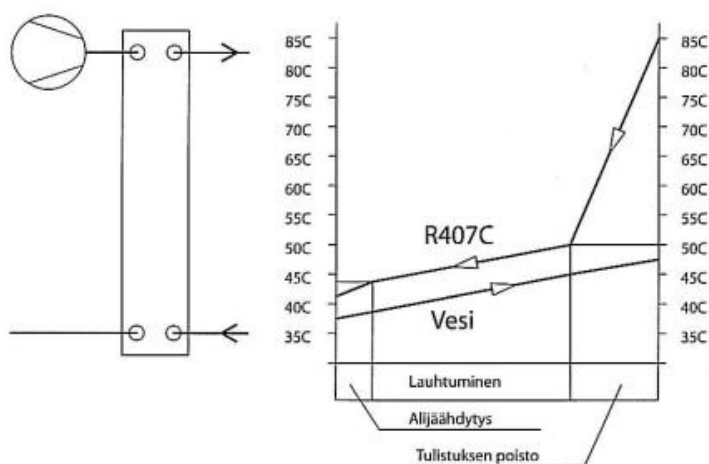
on scroll-kompressorien lämpökerroin jopa 10 prosenttia parempi. Sen sijaan kompressoreiden lämpökertoimet ovat hyvin lähellä toisiaan, kun kompressoreita vertaillaan lähellä todellisia käyttöolosuhteita, jotka ovat:

- Höyrystyslämpötila -5 °C
- Lauhtumislämpötila 55 °C
- Alijäähtyminen 5 K
- Tulistuminen 7 K.

Hermeettiset scroll-kompressorit ovat herkempiä märälle imuhöyrylle kuin hermeettiset mäntäkompressorit. Lämpöpumpun kompressorin valinnassa on otettava huomioon lämpökerroin, kestävyys, hinta, tilantarve, äänitaso, eristettävyys ja putkiliitännöiden sijainti. (Hakala & Kaappola 2007, 224-225)

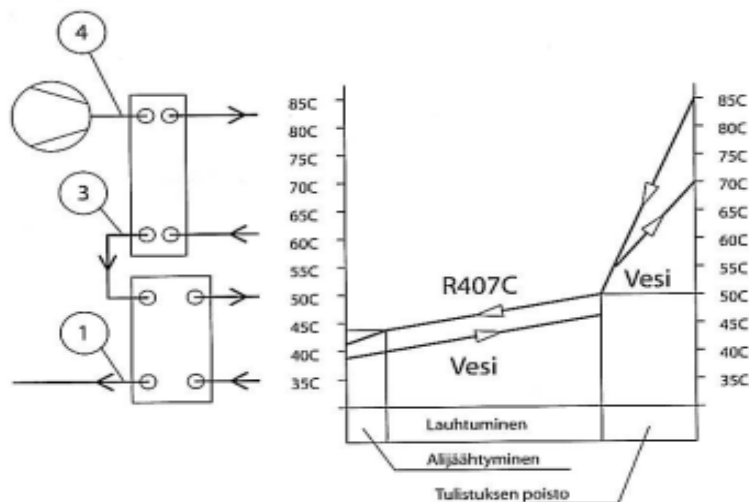
3.3 Lauhdutin

Lauhduttimet, joita käytetään lämpöpumpuissa, muistuttavat suuresti levylämmönsiirtimiä niiden pienen koon ja hyvän hinta-laatusuhteen vuoksi. Joissakin lämpöpumpuissa on lauhdutin putkikierukka, joka asennetaan erilliseen lämminvesivaraajaan. Joissakin lämpöpumpuissa on lauhduttimen lisäksi erillinen tulistuksen poistovaihdin, jonka avulla pystytään lämmittämään lämminkäyttövesi kuumemmaksi kuin pelkästään lauhduttimen avulla. Lämmintä käyttövettä voidaan esilämmittää alijäädyttimellä, jolloin kylmäkoneikon lämpökerroin paranee. (Hakala & Kaappola 2013, 231.)



Kuva 4: Lämpötilat lauhduttimessa kylmäaineella R407C. (Hakala & Kaappola 2007, 227)

Kuvassa 4 tulistuneen höyryn lämpötila on 85 celsiusastetta, kun se saapuu lauhduttimelle. Kun tulistus on poistettu kylmäaineesta, on lämpötila laskenut noin 50 celsiusasteeseen. Kylmäaine lauhtuu noin 6 K, jolloin lämpötila laskee 44 celsiusasteeseen ja 3 K:n alijäähtymisen jälkeen kylmäaineen lämpötila on noin 41 celsiusastetta. (Hakala & Kaappola 2013, 231.)



Kuva 5: Tulituksen poistovaihdin ja lauhdutin. (Hakala & Kaappola 2007, 228)

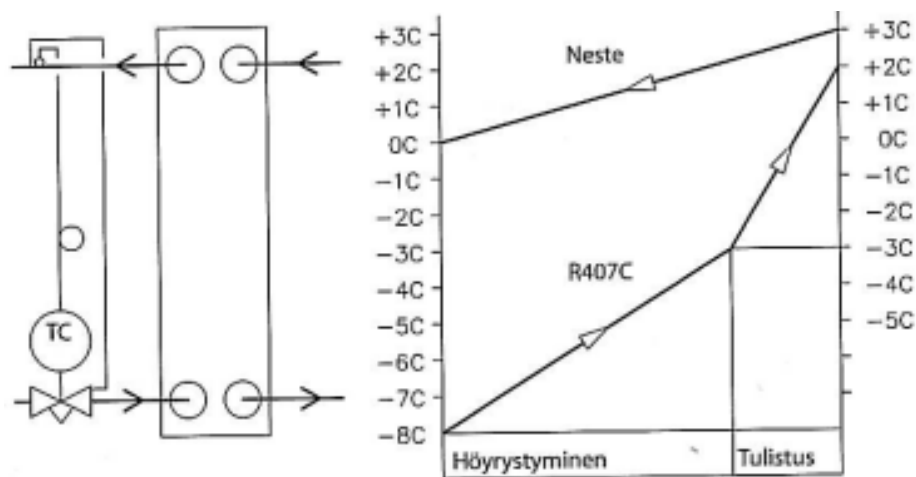
Kuvassa 5 esitetään kuinka tulistuslämpöä hyödynnetään lämpimän käyttöveden lämmittämiseen erillisellä tulituksen poistovaihtimella. Lauhduttimen luovuttamaa lämpöä käytetään pääosin lämmitysverkoston veden lämmittämiseen. (Hakala & Kaappola 2007, 224-228)

3.4 Paisuntaventtiili

Pienissä ja keskisuurissa lämpöpumpuissa selvästi yleisin paisuntaventtiili halvan hintansa vuoksi on perinteinen mekaaninen termostaattinen paisuntaventtiili. Suurissa lämpöpumpuissa käytetään elektronisia paisuntaventtiilejä, koska niillä mahdollistetaan mahdollisimman pieni vakaa tulistus mukautumalla vaihteleviin käyttöolosuhteisiin. Jos lämpöpumpussa käytetään termostaattista paisuntaventtiiliä, tulee lämpöpumppua koekäyttää kaikilla mahdollisilla toiminta-alueilla. Näin varmistetaan termostaatin luotettava toiminta. Termostaattisen paisuntaventtiilin teho riippuu mm. höyrystyslämpötilasta, venttiilin ylivaikuttavasta paine-erosta ja kylmäaineen alijäähtymisestä. (Hakala & Kaappola 2007, 225-226.)

3.5 Höyrystin

Lähes kaikissa lämpöpumpuissa käytetään levylämmön siirrintä muistuttavaa höyrystintä sen pienen koon ja hyvän hintalaatusuhteen vuoksi. Höyrystimet, joissa vesi ja kylmäaine kulkevat toisiaan vastaan, sopivat erityisen hyvin myös kylmäaineille, joilla on lämpötilaliukumaa. Lämpötilaliukumasta enemmän kappaleessa 3.6.2.



Kuva 6: Lämpötila höyrystimessä kylmäaineella R407C. (Hakala & Kaappola 2007, 226)

Kuvassa 6 paisuntalaitteen jälkeen ja höyrystimen alussa R407C kylmäaineen lämpötila on noin $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Kun nestemäinen kylmäaine on höyrystynyt kokonaan höyryksi, on kylmäaineen lämpötila $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Höyrystymisen jälkeen kylmäaine tulistuu 5 K, jolloin höyryn lämpötila on $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$, kun se poistuu höyrystimestä. (Hakala & Kaappola 2007, 226-227.)

3.6 Kylmäaine

Suomenkielinen nimitys kylmäkoneikon höyryprosessin kiertoaineelle on kylmäaine. Ensimmäisessä toimivassa kylmäkoneikossa 1800-luvulla kiertoaineena käytettiin eetteriä, mutta vaarallisuutensa takia siitä oli nopeasti luovuttava. Eetterin jälkeen kokeiltiin erilaisia hiilivetyjä, esim. matalissa lämpötiloissa etaania (C_2H_6) ja myrkyllistä etylkloridia ($\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$). Ammoniakki (NH_3), hiilidioksidi (CO_2) ja rikkidioksidi (SO_2) otettiin jo varhain käyttöön, ja olivat pitkään tärkeimmät kylmäaineet. Näistä kuitenkin luovuttiin osittain 1950-luvulla huonon hyötysuhteen ja korkean höyrinpaineen takia. (Aittomäki 2012, 102.) Nykykäytössä ammoniakkia ja hiilidi-

oksidia käytetään jääratojen jäädyttämiseen, pakastekoneistoissa ja suurissa lämpöpumpuissa.

3.6.1 Kylmäaineelta vaadittavat ominaisuudet

Kylmäaineet on jaoteltu eurooppalaisen normin (EN- 378-1) mukaan useaan ryhmään turvallisuutensa perusteella. Nämä turvallisuusluokat perustuvat palavuuteen ja myrkyllisyyteen.

Palavuusluokat ovat:

1. Ilmassa palamattomat
2. Alempi syttymisraja ilmassa on vähintään 3,5 til.-%
3. Alempi syttymisraja ilmassa on alle 3,5 til.-%

Myrkyllisuusluokat ovat:

- A. Aineet, joiden sallittu työpaikkapitoisuus on yli 400 ppm.
- B. Aineet, joille sallitaan työpaikkapitoisuus enintään 400 ppm.

Käyttöturvallisuuden perusteella luokkia on kuusi (Taulukko 3.1). Yksinkertaistettu turvallisuusluokitus jakaa aineet kolmeen luokkaan: luokka 1 (L1) = A1; luokka 2 (L2) = A2, B1 ja B2; luokka 3 (L3) = A3 ja B3. Koneistossa kylmäaineen sallittu määrä riippuu luokasta sekä tilan luonteesta (avoin/suljettu, ihmisten määrä konehuoneen tyyppi). (Aittomäki 2012, 102.)

Taulukko 1: Kylmäaineiden turvallisuusluokat (Aittomäki 2012, 103)

Taulukko 3.1. Kylmäaineiden turvallisuusluokat		
Palavuusluokka	Myrkyllisyysluokka	
	A	B
1	A1	B1
2	A2	B2
3	A3	B3

Kylmäaineelta vaaditaan erilaisia ominaisuuksia ja vaatimuksia, kuten termodynaamiset ominaisuudet, kemialliset ominaisuudet, fysiologiset vaatimukset, ympäristövaikutuksia ja käyttäytymistä veden ja öljyn kanssa (Aittomäki 2012, 103-104).

Termodynaamiset ominaisuudet määräävät kylmäaineen käyttäytymisen kiertoprosessissa. Termodynaamisia ominaisuuksia ovat esim. moolimassa, höyrystymislämpö, ominaislämmöt ja höyrynpaine. Painehäviöön ja lämmönsiirtymiseen vaikuttavia asioita ovat niin sanotut kuljetusominaisuudet, kuten tiheys, viskositeetti, pintajännitys ja lämmönjohtavuus. (Aittomäki 2012, 103-104.)

Kemiallisia vaatimuksia on monia, kuten hyvä stabiilisuus lämpötiloihin 150-200 celsiusasteeseen saakka. Palamattomuus on erittäin tarpeellinen ominaisuus kylmäaineelle suurissa laitoksissa sekä ilmastointikäytössä. (Aittomäki 2012, 104.)

Fysiologiset vaatimukset koskevat vaikutusta ihmisiin ja elintarvikkeisiin. Myrkyttömyys on toivottava ominaisuus. Valvotuissa olosuhteissa voidaan käyttää myrkyllisiä kylmäaineita. (Aittomäki 2012, 103-104.)

3.6.2 R407-kylmäaineet

R407-seoksiin kuuluu kolme eri kylmäaineseosta: R407A, R407B ja R407C, jotka tarkoitettiin korvaamaan R502 sekä R22. Nämä seokset perustuvat HFC-yhdisteeseen R32 (CH_2F_2), johon on sekoitettu komponentteja R125 ja R134a. R407A ja R407B on tarkoitettu matalalämpötila-alueelle. Näiden kolmen seoksen tuotossa ja kylmäkertoimessa on noin 5 %:n eroja. R407A:n puristuslämpötila on hieman korkeampi kuin R407B:n. R407C on yleisesti käytössä lämpöpumpuissa ja ilmastoinnin jäähdytyslaitteissa, koska se on tarkoitettu keskilämpötila-alueelle. (Aittomäki 2012, 103-104.)

Huonona puolena kyseisillä seoksilla on usean asteen, jopa 7 K, lämpötilaliukuma R407C kylmäaineella, mikä laskee höyrystimen ja lauhduttimen tehoja, verrattuna kylmäaineeseen, jolla on vähäinen lämpötilaliukuma. Suuri lämpötilaliukuma haittaa myös laitteen säädettävyyttä. Kylmäaineita, jolla on vähäinen lämpötilaliukuma, ovat vanhat yksikomponenttiset kylmäaineet, esimerkiksi R-12 ja R-22. Uusista kylmäaineista R-134a on yksikomponenttinen kylmäaine. Erot riippuvat suuresti toimintaolosuhteista, koneikon mitoituksesta ja lämmönsiirtimen rakenteesta. (Aittomäki 2012, 103-104.) Esimerkissä esitetään kylmäaineen lämpötilaliukuma veden kiehu-

misen ja jäätyksen avulla: vesi alkaa kiehua normaalissa ilman paineessa noin +100 celsiusasteessa ja jäätyy noin -0 celsiusasteessa. Ajatellaan, että vedellä olisi sama lämpötilaliukuma kuin kylmäaineella R407C, joka on noin 7 K. Se tarkoittaisi, että veden kiehumislämpötila olisi +100 celsiusastetta ± 7 K ja jäätyislämpötila -0 celsiusastetta ± 7 K.

4 OILON RE-70 MAALÄMPÖPUMPUN LAITTEET JA OHJAUS

4.1 Oilon RE maalämpöpumppu



Kuva 7 Oilon RE-malli. (Oilonin www-sivut, 2015a)

Oilonin RE-mallit on varustettu laadukkailla scroll-kompressoireilla, joilla taataan pumpun pitkäikäisyä ja luotettava toiminta (Oilonin www-sivut, 2015a.)

Oilon RE maalämpöpumppu malli on tarkoitettu suurikiinteistöille, joka sopii julkisten rakennusten, teollisuuskiinteistöjen sekä kerros- ja rivitalojen lämmönlähteeksi.

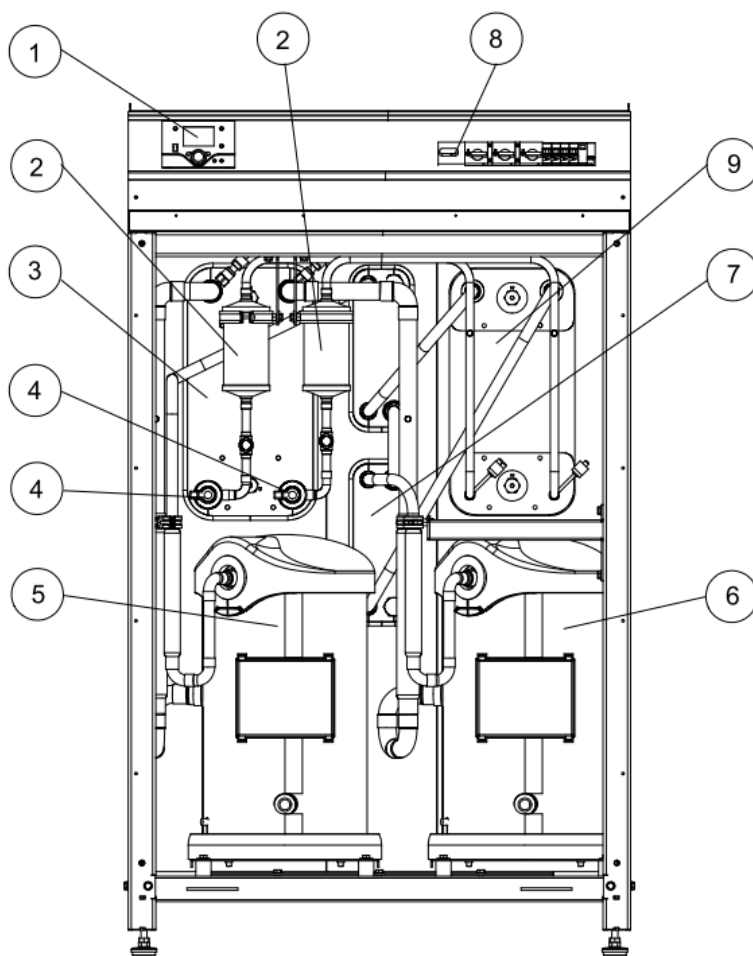
Oilonin RE-maalämpöpumput voidaan varustaa tulistimella. Tulistimella pystytään tuottamaan lämmintä käyttövettä erittäin hyvällä hyötysuhteella.

4.2 Oilon RE-70 automatiikka

Käyttöveden ja lämmityspiirin lämmitystä ohjaa lämpöpumpun automaattinen ohjausjärjestelmä. Ohjausjärjestelmään kuuluu lämpöpumpun sisään rakennetusta automaatiojärjestelmästä, siihen kytketyistä antureista ja ohjauspaneelistä.

Ohjausjärjestelmän lisävarusteena on saatavilla kaukosäädin, jonka avulla voi säätää järjestelmän tietoja ja asetuksia sekä kuitata virheilmoituksia. Ohjausjärjestelmässä on useita käyttäjätasoja. Ainoastaan loppukäyttäjä ja käyttöönotto eivät tarvitse salasanaa. (Oilonin www-sivut, 2015b.)

4.3 RE-70 osat



Kuva 8: Oilon RE-70 osat (Oilonin www-sivut. 2015b)

Taulukko 2: Selitys numeroille (Oilonin www-sivut. 2015b)

Nro	Osa	Nro	Osa
1	Käyttöpääte	6	Kompressori 2
2	Suodatinkuivain	7	Tulistin
3	Höyrystin	8	Päävirtakytkin
4	Elektroninen paisuntaventtiili	9	Lauhdutin
5	Kompressori 1		

5 JÄRJESTELMÄN KUVAUS

5.1 Satamuna

Satamunan laajennustyömaa sijaitsee Euran Paneliassa. Rakennusta käytetään kannunmunien lajitteluun ja pakkaamiseen. Satamunan munapakkaamon lämmitys hoidettiin ennen 100 kW öljykattilalla, jolla lämmitettiin niin lämmin käyttövesi kuin myös lattialämmitysverkoston vesi. Lämpimän käyttöveden tarve on erittäin vähäinen, koska vesipisteitä on vain muutama. Suurin lämpimänkäyttöveden kuluttaja on kennojen pesijä. Vanhalla ja uudella puolella on molemmilla lämmitettävää pinta-alaa noin 1560 m².

Satamunan laajennusosaan on valittu Oilonin RE-70 maalämpöpumppu, jolla lämmitetään niin vanha kuin uusi puolikin. Vanha öljykattila on jätetty avustamaan maalämpöpumppua kovimmilla pakkasilla. Uusi ja vanha puoli lämmitetään vesikiertoisella lattialämmitysjärjestelmällä ja uutta puolta lämmitetään myös ilmastoinnin avulla. Tuloilman lämmittää vesikiertoinen lämmityspatteri.



Kuva 9: Kuvan oikeassa reunassa Oilonin RE-70 maalämpöpumppu ja vasemmassa reunassa akvatermin 1400 l lämminvesivaraaja.



Kuva 10: LAK:n Öljykattila

5.2 Maalämpöpumpun mitoitus

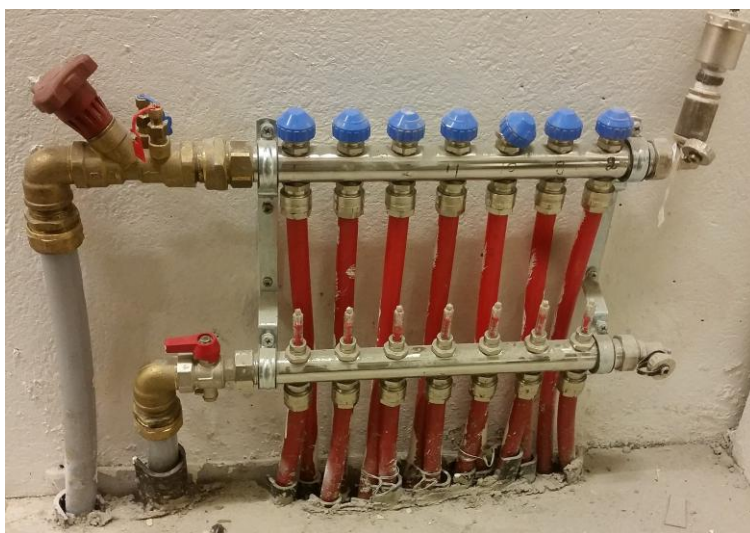
Satamunan maalämpöpumppu on mitoitettu täysitehoiseksi. Maalämpöpumpun ja porakaivojen syvyydet on mitoitettu Oilonin maalämpöpumpun mitoitusohjelmalla. Kyseiset mitoitukset on suorittanut Oilonin ammattitaitoinen henkilökunta.

5.3 Lämmitysverkosto

Satamunan laajennusosan kokonaislämmitystehon tarve on 64,3 kW, josta lattialämmitysverkoston osuus on 37,6 kW, ja loput 26,7 kW menee vesikiertoiselle ilmastointipatterille, jolla lämmitetään tuloilmaa. Molemmat lämmitysverkostot löytyvät kuvasta 17, sivulta 24, jossa on lämmitysjärjestelmien kytkentäkaavio. Koko järjestelmän kytkentäkaavio löytyy liitteestä 1.

5.3.1 Lattialämmitysverkosto

Satamunan laajennuksen lattialämmitysverkosto on toteutettu yhdeksällä jakotukilla. Jokaisessa jakotukissa on TA-venttiili, jolla säädetään jakotukille tulevaa vesivirtaa. Lattialämmitysverkoston kokonaisteho on 37,6 kW.

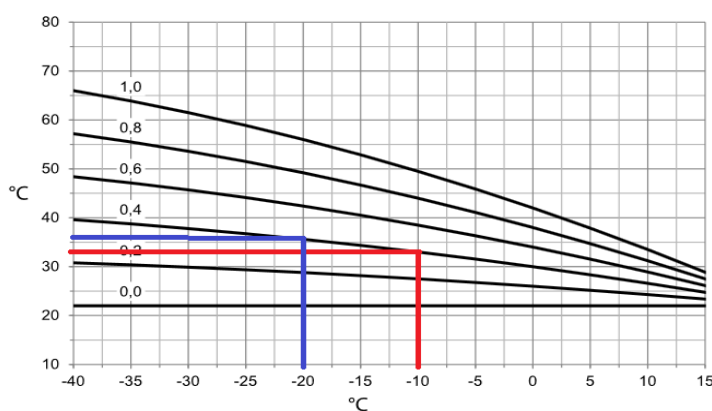


Kuva 11: Lattialämmitys järjestelmän jakotukki.

Lattialämmitysverkosto on mitoitettu lämpötiloilla 40 °C /30 °C, jolloin menoveden lämpötila on 40 celsiusastetta ja paluueden lämpötila 30 celsiusastetta. Lattialämmi-

tysverkoston menoveden lämpötilaa säädetään lämmityskäyrän kaltevuuden perusteella, joka asetetaan maalämpöpumpun automatiikkaan. Menovedenlämpötilaan vaikuttavat: huoneasetusarvo (Satumunassa +20 celsiusastetta), ulkolämpötila ja lämmityskäyrän kaltevuus. Kuvassa 12 on esitetty lämmityskäyriä eri kaltevuudella 0,0-1,0, tavoiteltavan huonelämpötilan +20 celsiusasteen mukaan. Vaakasuoralla akselilla on esitetty ulkolämpötila ja pystyakselilla lämmityspiiriin menevän veden lämpötila (Oilonin www-sivut. 2015b). Kuvaan on piirretty punaisella viivalla lämmitysverkoston menoveden lämpötilaksi noin 33 celsiusastetta, kun lämmityskäyrän kaltevuudeksi on valittu 0,4 ja ulkolämpötila on -10 celsiusastetta.

Menoveden lämpötila (huoneasetusarvo 20 °C, suuntaissiirto 2 °C)



Kuva 12: Lämmityskäyrä (Oilonin www-sivut. 2015b)



Kuva 13: Kuvan keskellä on 3-tieventtiili TV02 ja oikealla puolella on lattialämmitysverkoston pumppu PU02.

Maalämpöpumpun automatiikka mittaa kolmitieventtiilin jälkeisen veden lämpötilaa anturilla TE02 (kuva 17, s. 24) ja ulkoilmanlämpötilaa anturin TE00 avulla ja säättää

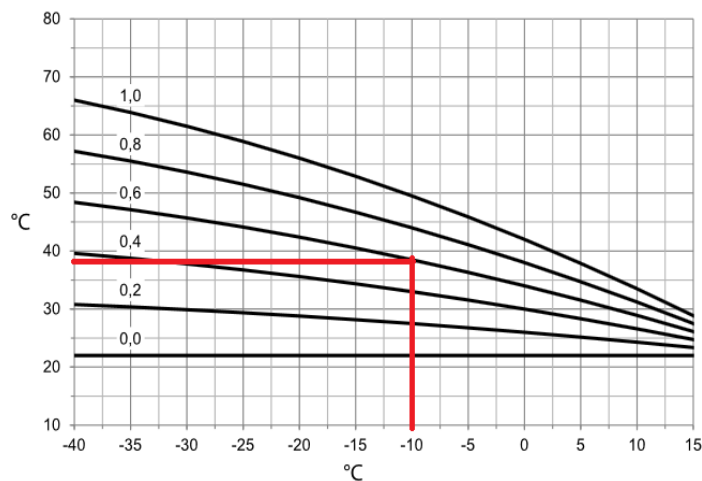
menovedenlämpötilaa kolmitieventtiilin TV02 (kuva 17, s. 24) avulla. Automatiikka säätää lämminvesivaraajasta lähtevää 55 celsiusasteista vettä lämmitystarpeen mukaiseksi kolmitieventtiilin avulla, kun lämmitystarve on suuri, esimerkiksi -20 celsiusasteen ulkolämpötilalla. Lämmityskäyrän kaltevuus on 0,4, jolloin menovedenlämpötilan tarve on noin +36 celsiusastetta (kuva 12, s. 21, sininen viiva). Tällöin varaajasta lähtevään kuumaan veteen sekoitetaan viileämpää verkostosta palaavaa vettä kolmitieventtiilin avulla niin paljon, että kolmitieventtiilin jälkeinen vesi on lämpötilaltaan +36 celsiusastetta.

5.3.2 Ilmastoinnin lämmitysverkosto

Tuloilman lämmitys hoidetaan kahdella eri lämmitysmuodolla. Lämpimästä poistoilmasta otetaan lämpöä talteen pyörivällä lämmön talteenotolla, jonka jälkeen esilämmitetty ilma johdetaan vesikiertoisen lämmityspatterin läpi ja lämmitetään haluttuun lämpötilaan.

Ilmastointikoneen vesikiertoisen lämmityspatterin lämmityspiiri on erillään lattialämmityksen piiristä, koska molempiin piireihin johdetaan erilämpöistä vettä. Lattialämmityspiiriin johdetaan viileämpää vettä kuin ilmastointikoneen patterille. IV-patterin menoveden mitoitustemperatuurit ovat 50 °C /30 °C.

Menoveden lämpötila (huoneasetusarvo 20 °C, suuntaissiirto 2 °C)



Kuva 14: Lämmityskäyrän kaltevuus IV (Oilonin www-sivut, 2015b)



Kuva 15: Ilmastointikoneen lämmityspatteri.

IV-lämmitysverkoston menoveden lämpötila säädetään aivan samalla tavalla kuin lattialämmityspiirinkin menoveden lämpötilaa. Maalämpöpumpun automatiikka mittaa kolmitieventtiilin TV01 (kuva 17, s. 24) jälkeistä menoveden lämpötilaa anturin TE01 (kuva 17, s. 24) avulla ja säättää menoveden lämpötilaa kolmitieventtiilin TV01 avulla tarvittavaan lämpötilaan, joka säädetään ulkolämpötilan ja asetetun lämmityskäyrän avulla.

Vertailemalla kuvia 12 ja 14 voidaan huomioda, että lämmityskäyrän kaltevuutta kasvattamalla voidaan nostaa menoveden lämpötilaa. Kuvassa 12 lattialämmityspiirin lämmityskäyrän kaltevuus on 0,4 ja ulkolämpötila -10 celsiusastetta, jolloin menoveden lämpötila on +33 celsiusastetta. Kuvassa 14 on ilmastointipiirin lämmityskäyrän kaltevuudeksi valittu 0,6 ja samalla ulkolämpötilalla -10 celsiusastetta menoveden lämpötila on +38 celsiusastetta.

5.4 Maalämpöpumpun ja öljykattilan toiminta

Maalämpöpumppu on mitoitettu täysitehoiseksi, jonka kokonaisteho on 67,8 kW. Kyseinen maalämpöpumppu kerää lämpöä viidestä eri porakaivosta, joiden aktiivisyvyys on 240 metriä. Maalämpöpumpun ja porakaivojen välinen putkitus, jota kutsutaan lämmönkeruuputkistoksi, on hoidettu niin, että jokaiselta porakaivolta lähtee yksikeruuputki sisälle,



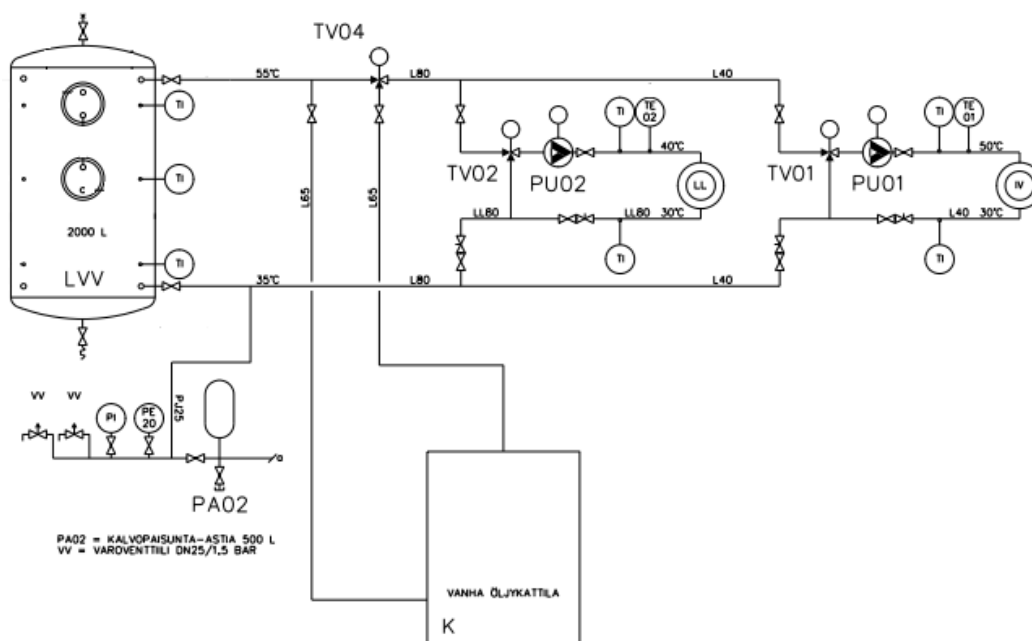
Kuva 16: Lämmönkeruuputkiston jakotukit, ylempi maalämpöpumpulle tuleva ja alempi maalämpöpumpulta lähtevä.

jossa kaikki viisi keruuputkea yhdistetään yhteen jakotukkiin (kuva 16) ja johdetaan siitä yhdellä putkella maalämpöpumppuun. Ulkona olevat lämmönkeruuputkistot on asennettu noin metrin syvyyteen ja metrin välein toisistaan.

Maalämpöpumpulla lämmitetään ainoastaan 1400 dm³ lämminvesivaraajaa. Maalämpöpumppu, jonka automatiikkaan on asetettu asetusrvo, lämmittää varaajan (ku-

va 9 s. 19) veden lämpötilaan +55 celsiusastetta. Maalämpöpumpun automatiikka mittaa varaajan ylälämpötilaa, eli käyttöveden lämpötilaa anturilla TEB3. Kun maalämpöpumppu saavuttaa +55 celsiusasteen lämpötilan, automatiikka pysäyttää maalämpöpumpun. Varaajan varastoitu lämminvesi alkaa heti jäähtyä, koska varaajan vesi kiertää molemmissa lämmityspiireissä. Palatessaan varaajaan, viileämpi paluuvesi, joka on jäähtynyt jopa 20 K, jäähdyttää varaajaa. Maalämpöpumppu käynnistyy uudelleen, kun varaajan ylälämpötila laskee noin +40 celsiusasteeseen ja lämmitteää taas varaajan lämpötilan +55 celsiusasteeseen. Maalämpöpumpun käynnistyessä käynnistyy vain yksi kompressor. Toinen kompressor käynnistyy vasta vähän ajan päästä, jos ensimmäinen kompressor ei jaksaa lämmitteää varaajan vettä riittävän nopeasti. Toisen kompressorin käynnistysaikaa voidaan säätää maalämpöpumpun automatiikasta. Kompressorien käyntiaika pyritään pitämään samana, joten ykköskompressorille asetetaan käyntiajaksi esimerkiksi 100 tuntia. Kun ykköskompressor on käynyt 100 tuntia, tulee kakkoskompressorista ykköskompressor.

Öljykattilalla (kuva 10 s. 19) lämmitetään tarvittaessa ainoastaan varaajasta lämmityspiireille lähtevää vettä, jos maalämpöpumppu ei itse pysty sitä lämmitteämään tarpeeksi nopeasti tai ollenkaan. Öljykattilalla ei siis pystytä lämmitteämään varaajaa tai lämmitteä käyttövettä.



Kuva 17: Öljykattilan kytkentä lämmityspiiriin.

Maalämpöpumpun automatiikalla ohjataan öljypoltinta ja kolmitieventtiiliä TV04, joiden avulla lämmitetään tarvittaessa varaajasta lämmitysverkostoille lähtevää vettä (kuva 17 s. 24). Maalämpöpumpun automatiikka mittaa molempien lämmityspiirien menoveden lämpötilaa antureista TE01 (IV) ja TE02 (LL). Jos maalämpöpumppu ei itse pysty tuottamaan tarpeeksi lämpöä tarvittavaan lämmitystehoon, tai maalämpöpumppu menee häiriöön tai rikki, maalämpöpumpun automatiikka antaa käskyn öljypolttimelle ja kolmitieventtiilille TV04, jolloin öljypoltin käynnistyy ja TV04 aukeaa. Öljypolttimen ollessa käynnissä ja kolmitieventtiilin auetessa varaajasta lähtevä lämmityspiirin vesi kiertää öljykattilan ja kolmitieventtiilin kautta lämmityspiireille (kuva 17 s. 24).

6 MAALÄMPÖPUMPUN KÄYTTÖÖNOTTO JA OPTIMOINTI

6.1 Maalämpöpumpun käyttöönotto

Maalämpöpumpun käyttöönotossa on monta eri vaihetta. Ennen käyttöönottajän kutsumista työmaalle on varmistettava, että kaikki putki-, sähkö- ja automaatiotyöt ovat valmiina. Käyttöönottajän on perehdyttävä käyttöönotettavaan lämmitysjärjestelmään. Käyttöönoton yhteydessä tarkastetaan pumppujen pyörimissuunnat, suoritetaan reletestejä ja erilaisia mittauksia kylmäpiiristä.

6.1.1 Ennen käyttöönottoa

Ennen maalämpöpumpun käyttöönottoa käyttöönottajän on erittäin tärkeää perehtyä maalämpöpumpun toimintaan, ohjausjärjestelmään ja parametrien muuttamiseen. Siksi suositellaan, että lämpöpumpun asiantuntija suorittaa käyttöönoton. Alla on listattu tarkastuksia, joita käyttöönottajän tulisi suorittaa ennen lämpöpumpun käyttöönottoa:

- Maakiertopiiri on valmis, täytetty ja ilmattu. (Huolellinen ilmaus on erittäin tärkeää, joten maapiirissä kulkevaa nestettä olisi erittäin hyvä kierrättää piirissä pidemmän aikaa, jotta kaikki mahdollinen ilma saataisiin pois piiristä.)

- Lämpöpumpun kaikki lämmitys- ja jäähdytyspiirit on kytketty, täytetty ja ilmattu.
- Varaajat ja lämmitysjärjestelmä on yhdistetty, täytetty ja ilmattu.
- Kaikki sähkönsyöttö- ja anturikytkennät on tehty.

Kyseisiä tarkastuksia helpottamiseksi on tehty start-up lista, joka helpottaa kyseisten tarkastusten tekemistä ennen käyttöönoton kutsumista paikalle. Start-up lista löytyy liitteestä 2.

6.1.2 Käyttöönotto

Ennen maalämpöpumpun käyttöönottoa on erittäin tärkeää tarkistaa, että yllämainitut tarkastukset ja tehtävät on suoritettu (Oilon www-sivut. 2015b). Varsinainen käyttöönotto aloitettiin asettamalla lämpöpumppuun kieli, päivämäärä ja kellonaika. Seuraavaksi määritettiin lämpökäyrien kaltevuudet, josta tarkemmin kappaleessa 6.2.4. Käyttöönotossa suoritettiin reletesti, jolla tarkastettiin pumppujen ja kompressoreiden pyörimissuunnat ja toiminta. Pumppujen pyörimissuunnan voi tarkastaa katsomalla kumpaan suuntaan sähkömoottori pyörii ja kompressoreiden pyörimissuunnan kuulee äänestä. Jos kompressorit pitävät kovaa ääntä, on niiden pyörimissuunta väärä. Uusissa Oilonin maalämpöpumpuissa ei ole mahdollista, että kompressorit pyörisivät väärään suuntaan, koska niille suoritetaan koeajo jo tehtaalla, jossa tarkastetaan kompressoreiden toiminta ja kylmäainepiiri mahdollisten vuotojen selvittämiseksi.

6.2 Optimointi

Maalämpöpumpun optimointi alkoi heti lämpöpumpun käyttöönottovaiheessa, jolloin tarkastettiin toimiiko kylmäkoneikon kiertoprosessi oikein. Tämän jälkeen lisättiin tarvittavat lämmityspiirit, joita on kaksi: lämmityspiiri 1 (ilmastointi) ja lämmityspiiri 2 (lattialämmitys). Lämmityspiirien lisäämisen jälkeen niille asetettiin lämpökäyrien kaltevuudet. Viimeiseksi kytkettiin öljykattila ja kolmitieventtiili TV04 lämpöpumpun ohjausjärjestelmään.

6.2.1 Kylmäprosessin mittaus

Maalämpöpumpun käyttöönoton yhteydessä tarkastetaan kylmäkoneikon toimintaa. Kylmäkoneikon toimintaa tarkastetaan mittaamalla kylmäaineen korkeapainetta, matalapainetta ja niiden lämpötiloja, tulistusta, alijäähtymistä ja kuumakaasun lämpötilaa. Kylmäaineiden painetta mitataan kylmäainemittarilla, kytkemällä mittari kylmäaineputkessa sijaitsevaan huoltonippaan. Kylmäaineen lämpötila mitataan putken päälle asennettavalla pinta-anturilla. Oilonin Re-70 maalämpöpumpussa on kaksi kompressoria, joilla molemmilla on omat kylmäainepiirit. Molemmat piirit on mitattava erikseen. Mittaustulokset on merkattava mittauspöytäkirjaan.

Kylmäaineen korkeapainetta (lauhtumispainetta) ja lauhtumislämpötilaa mitattiin lauhtuttimen ja paisuntaventtiilin välisestä putkesta. Lauhtumislämpötila on lauhtumispainetta vastaava lämpötila. Kylmäaineen korkeapainetta ja lauhtumislämpötilaa käytetään hyväksi, kun lasketaan kylmäaineen alijäähtyminen. Mittaustuloksia (mittaustulokset ovat absoluuttisia paineita):

- Korkeapaine (ykköspiiri) 14 bar.
- Korkeapaine (kakkospiiri) 14 bar.

Kylmäaineen matalapainetta (imupainetta) ja höyrystyslämpötilaa mitattiin höyrystytimen ja kompressorin välisestä putkesta. Höyrystyslämpötila on kylmäaineen matalapainetta vastaava lämpötila. Näitä mittaustuloksia käytetään hyödyksi kun lasketaan kylmäaineen tulistus. Mittaustuloksia (mittaustulokset ovat absoluuttisia paineita):

- Matalapaine (ykköspiiri) 3,2 bar.
- Matalapaine (kakkospiiri) 2,8 bar.

Kylmäaineen alijäähtymisellä tarkoitetaan kylmäaineen jäähtymistä alemmaksi kuin sen kiehumislämpötila sen hetkessä paineessa (Kianta 2013, 5). Alijäähtymisen voi selvittää mittaamalla kylmäaineen korkeapainetta vastaavan lämpötilan ja lämpötilan lauhtuttimen jälkeisestä putkesta, ja laskea näiden lämpötilojen erotus. Osa kylmäainemittareista näyttävät suoraan kylmäaineen alijäähtymisen. Mittaustuloksia:

- Alijäähtyminen (ykköspiiri) 1 K

- Alijäähtyminen (kakkospiiri) 0 K

Kylmäaineen tulistuksella tarkoitetaan sitä, kun kylmäainehöyry kuumenee painetaan vastaavaa lauhtumis pistettä korkeampaan lämpötilaan (Kianta 2013, 85). Tulistuksen voi selvittää laskemalla matalapainetta vastaavan lämpötilan ja höyrystimen jälkeisen kylmäaineen lämpötilan erotuksella. Myös jotkin kylmäainemittarit mittaavat suoraan tulistuksen. Mittaustuloksia:

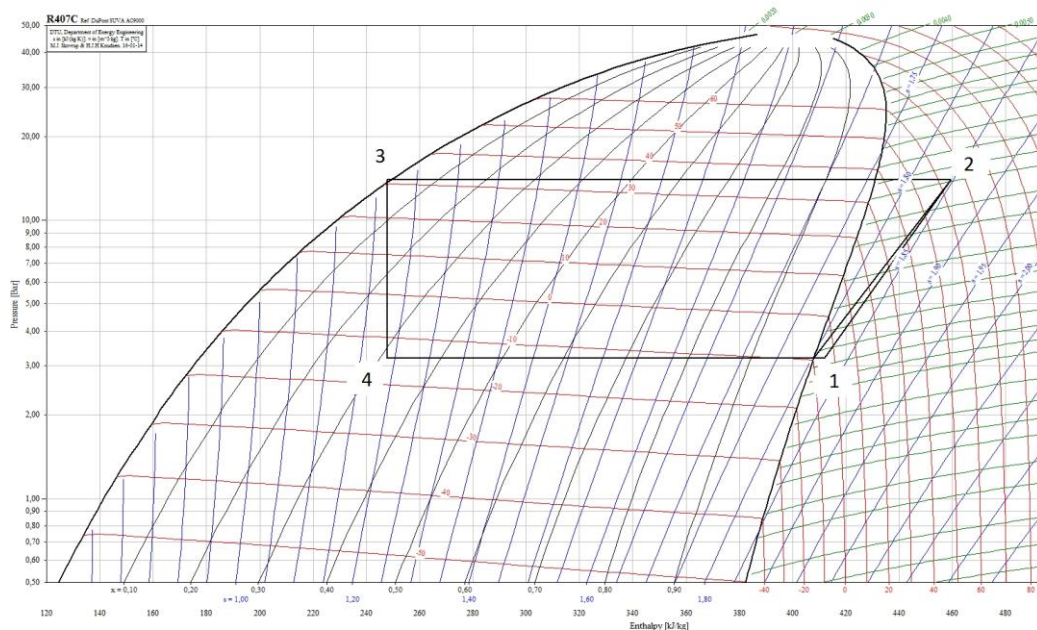
- Tulistus (ykköspiiri) 5 K
- Tulistus (kakkospiiri) 8 K

Kuumakaasu on tulistunut kylmäainehöyry, joka tulistuu kompressorin puristuksen jälkeen (Kianta 2013, 40). Kuumakaasun lämpötila mitataan heti kompressorin jälkeen putken päältä pinta-anturin avulla. Mittaustuloksia:

- Kuumakaasu (ykköspiiri) 64,7 °C
- Kuumakaasu (kakkospiiri) 69 °C

Osoite	Mykorantie 198,PANELIA		Kylmäaine	R407C
Pumpun malli ja sarja nro	RE70	105008	Kylmäaine määrä	14,2kg
Varaajan malli ja koko	Akvaterm		1400 dm ³	
Mittauskohde				
Mittaukset				
Piiri 1 Piiri 2				
Kuumakaasu °C	64,7	69		
Imukaasu °C	2	3		
Alijäähtyminen K	0,5	0		
Korkeapaine käynti/katkaisu bar	14/28	14/28		
Matalapaine käynti/katkaisu bar	3,2/1,7	2,8/1,7		
Tulistus K	5	8		
Nestelasi kupliminen/väri	ei/vihreä	ei/vihreä		
Kylmäaineen kuivaimen lämpötilaero K	0	0		
Kompressorin jännite V	231/231/231	231/231/232	Asetus A	
Kompressorin virta A	15,5/14,6/15,2	14,4/14,3/14,9	28	
Maakiertopumppu virta A	1,4/1,3/1,5		C4	
Maapiiri tuleva/lähtävä °C	5,5/2	B91		
Latauspiiri sisään °C	26,4	B71		
Lautauspiiri ulos °C	31,4	B21		

Kuva 18: Mittauspöytäkirja



Kuva 19: Log p, -tilapiirros, kylmäainepiiri 1

Kuva 19 on kylmäaineen R407C logaritminen paine-entalpia tilapiirros. Kuvaan on piirretty lämpöpumpun ykköspiirin kiertoprosessi, käyttäen mitattuja arvoja:

- Korkeapaine 14 bar
- Matalapaine 3,2 bar
- Tulistus 5 K
- Kuumakaasun lämpötila 64,7 °C
- Alijäähtyminen 0,5 K

Kuvaan 19 on numeroitu kiertoprosessin vaiheet: välillä 4-1 kylmäaine höyrystyy höyrystimessä ja tulistuu hieman. Välillä 1-2 kompressori imee tulistuneen kylmäaine höyryn ja puristaa sen korkeampaan paineeseen, jolloin höyry tulistuu lisää. Välillä 2-3 tulistunut höyry johdetaan lauhduttimelle, jossa kylmäainehöyrystä poistetaan tulistus ja höyry lauhtuu ja lopulta hieman alijäähtyy. Välillä 3-4 lauhtunut kylmäaine johdetaan paisuntaventtiilille, jossa sen paine laskee. (Hakala & Kaappola 2013, 12.)

Y-akselilla, eli pystyakselilla, on esitetty absoluuttinen paine ja x-akselilla entalpia. Tilapiirroksessa on rajakäyrä, joka jakaa kylmäaineen eri olomuotoihin. Rajakäyrän vasemmalla puolella on alijäähtynyttä nestettä ja käyrän oikealla puolella tulistunutta

höyryä. Rajakäyrän välissä kylmäaine on nestettä ja höyryä. (Hakala & Kaappola 2013, 11.)

6.2.2 Kylmäkoneikon säätö

Kylmäainetyöt ovat luvanvaraista työtä. Kylmäaineluvat jaetaan kahteen luokkaan: alle kolmen kilogramman luvat (e3) ja yli kolmen kilogramman luvat (y3). Luvat myöntää Turvallisuus ja kemikaalivirasto Tukes. Satamunan maalämpöpumppu vaatii asentajalta yli kolmen kilogramman kylmäaineluvat, koska kummassakin kylmäainepiirissä on yli 7 kilogrammaa R407C kylmäainetta.

Kylmäkoneikon tarkastamisessa voi tulla erilaisia ongelmia, esimerkiksi kylmäjärjestelmässä voi olla huojuntaa, imupaine liian korkea, imupaine liian matala, nesteiskuja kompressorissa ja liiallinen tulistus. Kyseisiä ongelmia voidaan korjata säätämällä paisuntaventtiiliä tai lisäämällä kylmäainetta. (Danfossin [www-sivut](#), 2014.)

Huojunta kylmäjärjestelmässä tarkoittaa sitä, että tulistus ja sitä myötä imupaine ei tasoitu ollenkaan. Tulistus voi tästä huolimatta pysyä kohtuullisissa rajoissa 5-8 K, mutta ei tasoitu ollenkaan. Jos tulistusta ei saada tasoittumaan, niin ei koko järjestelmääkään saada tällöin tasapainoon. Huojunta johtuu yleensä paisuntaventtiilissä sijaitsevasta liian suuresta suuttimesta tai paisuntaventtiilin tulistus on säädetty liian alhaiseksi, alle 4 K tulistus levylämmönvaihtimelle aiheuttaa huojuntaa. Nämä ongelmat voidaan korjata vaihtamalla paisuntaventtiiliin pienempi suutin tai säätämällä paisuntaventtiilistä tulistusta suuremmaksi. (Danfossin [www-sivut](#), 2014.)

Kylmäkoneikossa saattaa ilmetä liiallista tulistusta, joka voi johtua esimerkiksi kuplivasta kylmäaineesta, joka syötetään paisuntaventtiilille, paisuntaventtiilin liian pienestä suuttimesta tai jos järjestelmässä on liian vähän kylmäainetta. Liiallinen tulistus on helppo havaita nestelasin avulla, koska silloin höyrystyneessä kylmäaineessa näkyy kuplia. Korjaustoimenpiteinä voidaan säätää paisuntaventtiilistä tulistusta pienemmälle, lisätä kylmäainetta tai vaihtaa paisuntaventtiiliin suurempi suutin. (Danfossin [www-sivut](#), 2014.)

Satamunan maalämpöpumpun kylmäkoneikon tulistusta tarvitsi säätää molemmista kylmäainepiireistä suuremmaksi. Ennen tulistuksen säätöä tarvitsi molempiin piireihin lisätä kylmäainetta, koska nestelasissa näkyi kuplia. Tulistusta ei voi säätää, jos nestelasissa näkyy kuplia. Kylmäainetta R407C lisättiin molempiin piireihin niin paljon että kylmäaineen kupliminen nestelasissa saatiin loppumaan. Ykköspiirrin lisättiin noin 2,8 kilogrammaa ja kakkospiiriin noin 2 kilogrammaa. Kun kupliminen saatiin loppumaan, pystyttiin tulistus säätämään sopivaksi paisuntaventtiilistä.

6.2.3 Lämmityspiirien lisääminen

Oilonin ohjausjärjestelmään on asennettu yhden lämmityspiirin ohjaus. Tarvittaessa Oilonin ohjausjärjestelmään voidaan lisätä toinen lämmitysverkosto, jota tarvitsee ohjata, esimerkiksi lattialämmitysverkosto tai ilmanvaihtoverkosto. Molemmat tarvitsevat oman ohjauksen, koska näihin lämmitysverkostoihin menee eri lämpöistä vettä. (Oilon www-sivut. 2015b.)

Lämmityspiiri lisätään lämpöpumpun ohjausjärjestelmään lisäämällä sinne ensin tarvittavat säätöventtiilit TE01 ja säätöventtiilin moottori TV01 (kuva17, s24). Seuraavaksi lisätään vapaana oleva lämmityspiiri ja tallennetaan lämpötila-anturit ohjausyksikköön. Kun lämmityspiiri on lisätty ohjausjärjestelmään, säädetään lämmityspiirien käyrien kaltevuudet ja menoveden asetukset. Lämmityskäyrien kaltevuuden säädöt tarkemmin kappaleessa 6.2.4.

6.2.4 Lämpökäyrien kaltevuuden säätö

Lämmityskäyrien kaltevuuden säätäminen kohdalleen voi usein kestää yhden lämmitysjakson. Ajanjaksolla selviää kuinka matalalla käyrän kaltevuudella pystytään lämmittämään talo. Lämmityskäyrän kaltevuudella määritetään lämmitysverkostoon menevän veden lämpötilaa yhdessä mukavuuskäytön asetusarvon avulla. Mukavuuskäytön asetusarvo on lämpötila, jota tavoitellaan lämmitettävissä huonetiloissa. Lämpöpumpun valmistaja on antanut suositeltavaksi käyrän kaltevuudeksi omakotitaloihin:

- Lattialämmitys noin 0,4.

- Patterilämmitys noin 0,6.

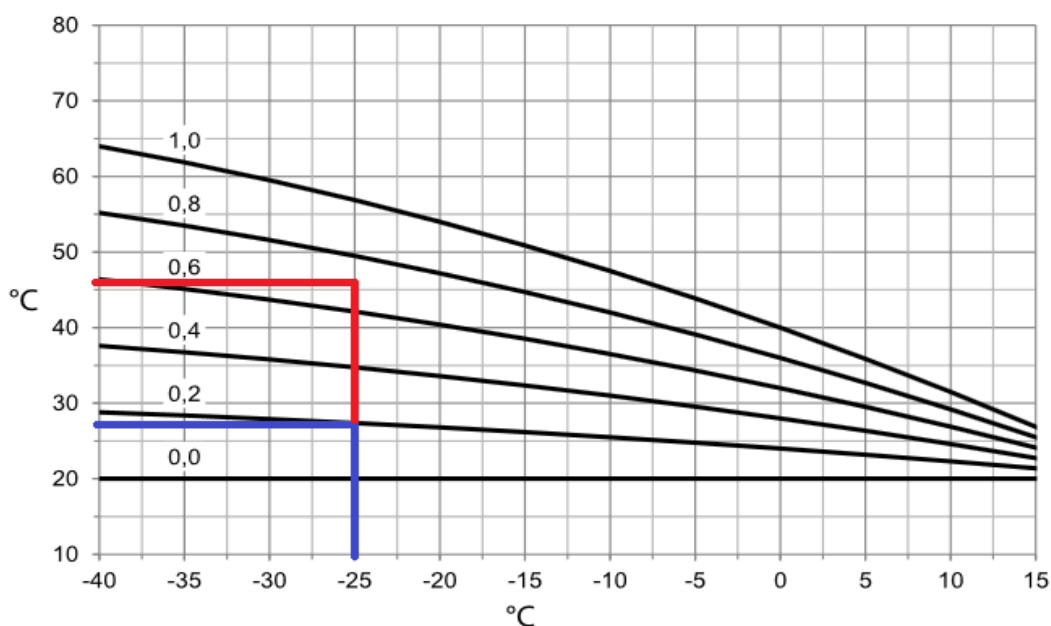
Eroavaisuus lattialämmityksen ja patterilämmityksen arvoihin on se, että suuremmalla käyrän kaltevuuden arvolla saadaan lämpimämpää vettä lämmityspiireihin. Patterilämmityspiiriin tarvitaan lämpimämpää vettä kuin lattialämmitykseen koska patterien lämmönluovutuspinna-ala on paljon pienempi kuin lattialämmityksen lämmönluovutuspinna-ala. Lämmityskäyrän kaltevuudeksi ei suositella suurempaa arvoa kuin 1,0.

Satamunassa on kaksi erillistä lämmityspiiriä, joita ovat ilmastointikoneen vesikiertoinen lämmityspatteri ja lattialämmitys. Satamunan mukavuuslämmitysarvoksi on valittu +20 celsiusastetta, jolloin pyritään pitämään vanhalla puolella ja uudella puolella +20 celsiusasteen lämpötila. Lämmityskäyrien kaltevuudeksi on valittu:

- Ilmastointipatteri 0,7.
- Lattialämmitys 0,2

Kyseisillä kaltevuuksilla ja -25 celsiusasteen ulkolämpötilalla menoveden lämpötila ilmastointipatterille on +46 celsiusastetta ja lattialämmitysverkoston +27 celsiusastetta. Kyseiset lämpötilat on esitetty kuvassa 20. Sinisellä viivalla lattialämmitys ja punaisella viivalla ilmastointipatteri. Pystyakselilla on menoveden lämpötila, vaak akselilla ulkolämpötila ja mustat käyrät kuvassa 0,0-1,0 on lämmityskäyrän kaltevuuksia.

Menoveden lämpötila (huoneasetusarvo 20 °C)



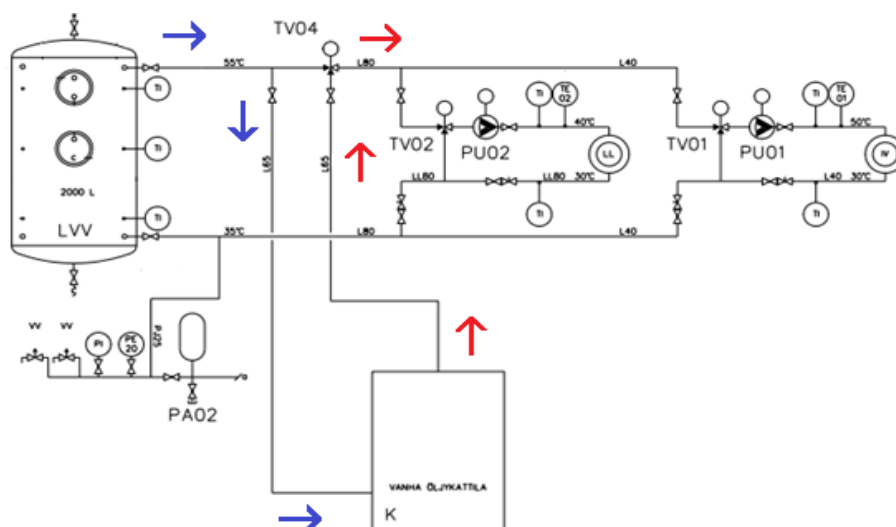
Kuva 20: Lämmityskäyrän kaltevuus huoneasetusarvolla +20 °C.

Satamunassa ilmastointipatteripiirin käyrän kaltevuuden suuruus voidaan osin selittää sillä, että patterista puhaltaa läpi 2600 litraa ilmaa sekunnissa, jolloin patteri vaatii lämpimämpää vettä lämmittääkseen kyseisen ilman noin 22 celsiusasteeseen.

Lämmityspiirin käyrän kaltevuus säädetään lämpöpumpun ohjausjärjestelmästä. Ohjausjärjestelmästä valitaan lämmityspiiri, jonka arvoja halutaan muokata, joko lämmityspiiri 1 tai lämmityspiiri 2. Lämmityspiirille valitaan mukavuuskäytön asetusarvo, jota käytetään lämpökäyrän määrittämiseen. Mukavuuskäytön asetusarvon jälkeen valitaan haluttu lämmityskäyrän kaltevuus 0,0-1,0. Menovedelle säädetään minimi- ja maksimiarvot.

6.3 Vanhan öljykattilan ja kolmitieventtiilin TV04 lisääminen ohjausjärjestelmään ja optimointi

Usein maalämpöpumpun avuksi asennetaan lämminvesivaraajaan sähköllä lämpenevät vastukset, joilla voidaan tukea maalämpöpumppua kovimmilla pakkasilla tai lämmittää koko varaaja yksin, jos maalämpöpumppu menee häiriöön. Satamunan lämminvesivaraajassa ei kuitenkaan ole kyseisiä vastuksia, vaan lisälämmönlähteeksi on jätetty vanha LAKA:n öljykattila. Öljykattilalla lämmitetään varaajasta lämmitysverkostoille lähtevää vettä. Öljykattilalla ei siis pystytä lataamaan lämpöä lämminvesivaraajaan ja sitä kautta lämmittämään lämmintä käyttövettä. Kolmitieventtiilin TV04 avulla pystytään ohjamaan varaajasta lähtevä vesi öljykattilalle ja sitä kautta lämmityspiireille. Tarkempi kuvaus löytyy kappaleesta 5.

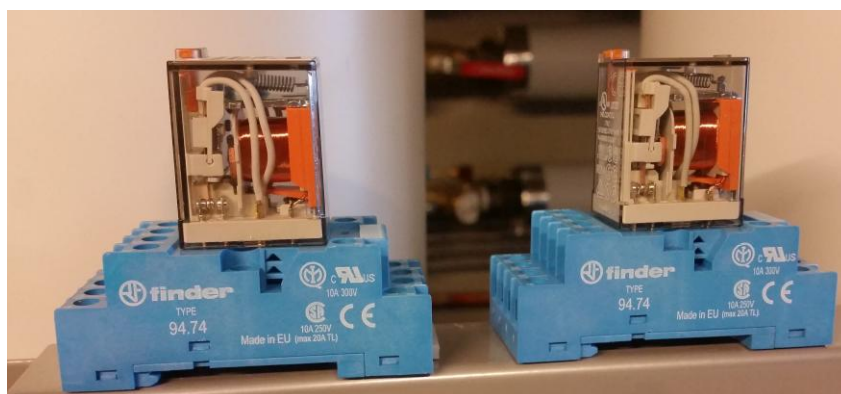


Kuva 21: Öljykattila ja kolmitieventtiili TV04.

Kuvaan 21 on merkattu sinisillä ja punaisilla nuolilla menoveden kierto öljykattilan kautta. Sinisillä nuolilla on merkattu lämminvesivaraajasta lähtevä vesi joka menee öljykattilalle ja punaisilla nuolilla öljykattilan lämmittämä vesi takaisin lämmitysverkostoon.

6.3.1 Öljykattilan ja kolmitieventtiilin TV04 lisääminen ohjausjärjestelmään

Öljykattila lisätään maalämpöpumpun ohjausjärjestelmään sähkövastuksena, koska ohjausjärjestelmästä ei ole määritelty muita lisälämmönlähteitä.



Kuva 22: Rele.

Lähdöistä QX1-QX7 otetaan 230V:n käsky öljypolttimelle ja kolmitieventtiilille. Öljypolttimella ja kolmitieventtiilillä tarvitsee olla omat releet (kuva 22), joihin käynti-

käsky tulee lämpöpumpulta ja releet antavat taas käyntikäskyn öljypolttimelle ja kolmitieventtiilille.

6.3.2 Öljypolttimen ja kolmitieventtiilin optimointi

Öljypolttimen optimointi on erittäin tärkeää, koska oikeilla säädöillä pystytään säästämään öljyä. Optimoinnilla pyritään minimoimaan öljypolttimen käyntiaika. Parametriasetuksia muuttamalla voidaan säätää sitä, kuinka kauan aikaa menee öljypolttimen käynnistymiseen siitä, kun maalämpöpumppu pyytää apua.

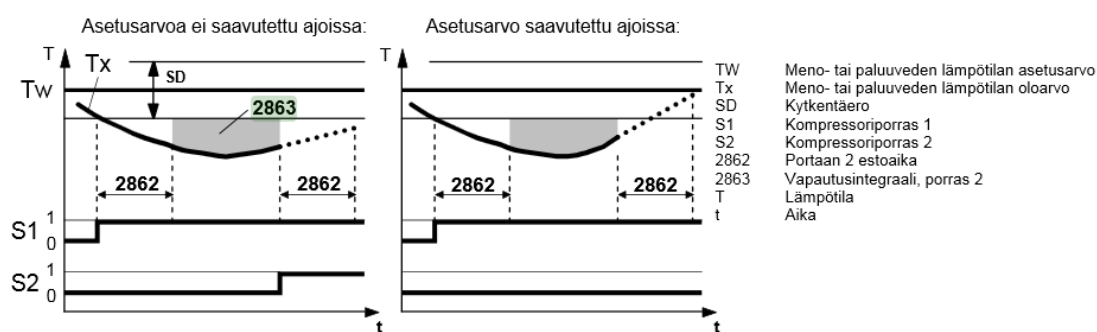
Usein ongelmana kyseisessä ratkaisussa on se, että öljykattila käynnistyy normaalisti, mutta ei sammu ollenkaan vaikka maalämpöpumppu jaksaisi itse tuottaa tarvittavan lämmön. Pahimmassa tapauksessa maalämpöpumppu lopettaa itse tuottamasta lämpöä ja kaikki lämpö tuotetaan öljykattilalla. Satamunan maalämpöpumpulla ilmeni tämä ongelma ja öljypoltin lähti käyntiin vaikka ulkolämpötila oli plussan puolella.

Näitä ongelmia ratkoessa tarvitsi päästä lämpöpumpun OEM2-tasolle, josta päästään muuttamaan tarpeellisia parametriasetuksia. OEM2-taso vaatii salasanan ja ainoastaan lämpöpumpun asiantuntijan tarvitsee päästä kyseiselle OEM2-tasolle, koska tämän tason takana olevien parametriasetusten muuttaminen vaatii erittäin hyvän perehdytyksen lämpöpumppuun ja sen toimintaan. Väärät asetukset voivat vahingoittaa esimerkiksi kompressoreita. Satamunan maalämpöpumpun OEM2-tason parametriasetuksia muutti opinnäytetyön tekijä Oilonin asiantuntijan opastuksella.

Lämpöpumpun ja öljykattilan optimointi tapahtui seuraavilla toimenpiteillä:
Kirjaututaan lämpöpumpun OEM2-tasolle ja etsitään sieltä kohta lämpöpumppu.
Lämpöpumpun takaa löytyy satoja eri parametriasetuksia.

Säätö aloitettiin parametriasetuksella 2862, jolla säädetään portaan 2 estoaikaa. Portaan 2 estoajalla tarkoitetaan aikaa, jonka kakkoskompressori odottaa käynnistyskäskynsä jälkeen. Tällä ajalla mahdollistetaan, että ykköskompressori saavuttaa vakaan toimitalan. Satamunan lämpöpumpun estoajaksi valittiin 10 min.

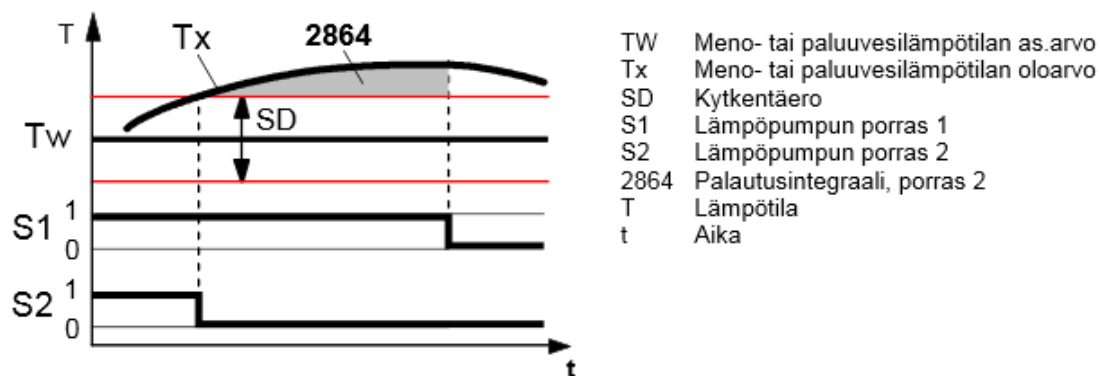
Portaan 2 estoajan määrittämisen jälkeen valitaan parametriasetus 2863, jolla säädetään portaan 2 vapautusintegraalia. Portaan 2 vapautusintegraalilla lämpöpumppu laskee mahdollista lämpövajetta, kun portaan 2 estoaika on kulunut umpeen. Vapautusintegraalin täytyessä lasketaan odotettavissa oleva oloarvo sen hetkisen lämpötilagradientin mukaan, jos seuraava portaan 2 estoaika umpeutuu. Kakkosporras vapautetaan, jos odotettavissa oleva oloarvo on tarvittavan asetusarvon alapuolella, kun toinen estoaika on mennyt umpeen. Kuvassa 23 on esitetty, jos asetusarvoa ei saavuteta ajoissa ja asetusarvo saavutetaan ajoissa (Oilonin [www-sivut](http://www.oilon.fi). 2015c.) Satamunan lämpöpumpun portaan kaksi vapautusintegraaliksi asetettiin arvo 50 °C/min .



Kuva 23: Portaan kaksi vapautusintegraalia. (Oilonin [www-sivut](http://www.oilon.fi). 2015c.)

Kaksi edellistä parametriasetusta vaikutti kakkoskompressorin käynnistymisaikaan ykköskompressorin avuksi. Mitä aikaisemmin toinen kompressor saadaan ykköskompressorin avuksi, sitä nopeammin saadaan tarvittava lämpö tuotettua ja estettyä öljypolttimen käynnistymisen.

Seuraavalla parametriasetuksella 2864 portaan 2 palautusintegraalilla säädetään ensimmäisen kompressorin pysähdysaikaa. Jos ylimääräistä lämpöä syntyy, tekee säädin siitä integraalin. Kun tämä integraalille asetettu arvo saavutetaan 10 °C/min , niin perutetaan toisen portaan vapautus ja ykköskompressor kytkeytyy pois päältä. Lämpötilan laskiessa lämmitysverkostossa liian alas, ohjausjärjestelmä antaa käyntikäskyn, jolloin ykköskompressor käynnistyy takaisin päälle. Jos kompressorit tuottavat liikaa tehoa, niin kakkosporras sammuu välittömästi. (Oilonin [www-sivut](http://www.oilon.fi). 2015c.) Satamunan lämpöpumpun portaan 2 vapautusintegraalia arvoksi on valittu 10 °C/min .



Kuva 24: Portaan kaksi palautusintegraali (Oilonin www-sivut. 2015c.)

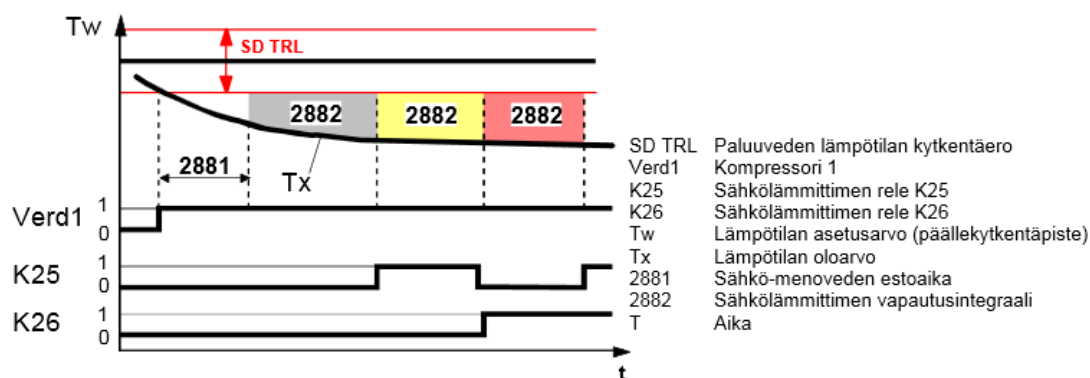
Seuraavissa neljässä parametriasetuksessa käsitellään öljypolttimen käynnistys- ja pysähdysaikojen säätämistä. Parametriasetuksissa puhutaan esimerkiksi sähkömenoveden vapautus-integraalista ja sähköllä tarkoitetaan sähkövastusta, mutta tässä tapauksessa öljypoltin on kytketty sähkövastusten tilalle. (Oilonin www-sivut. 2015c.)

Parametriasetus 2881 on sähkö-menoveden estoaika. Tällä asetuksella annetaan öljypolttimen käynnistymiselle estoaika 30 min. Tällä tarkoitetaan aikaa joka lähtee liikkeelle toisen kompressorin käynnistymisen jälkeen, kun kyseinen aika on kulunut loppuun saa öljypoltin tarvittaessa käynnistyä. (Oilonin www-sivut. 2015c.) Satamunan lämpöpumpulle asetettu aika on 30 min.

Parametriasetus 2884 on nimeltään sähkö-menoveden vapautus ulkolämpötilan alle, jolla tarkoitetaan ulkolämpötilaa, joka mahdollistaa öljypolttimen käynnistymisen. Annetaan arvo 0 celsiusastetta, joka tarkoittaa sitä, että öljypoltin ei voi käynnistyä yli 0 celsiusasteen ulkolämpötilassa, vaan vasta sitten kun ulkolämpötila laskee alle asetetun arvon öljypoltin tarvittaessa käynnistyy. (Oilonin www-sivut. 2015c.) Satamunan lämpöpumpulle asetettu lämpötila on 0 celsiusastetta.

Käytettäessä kaksi- tai kolmiportaista sähkölämmittintä, kyseiset portaavat vapautetaan sähkö-menoveden vapautusintegraalin 2882 ja sähkö-menoveden palautusintegraalin 2883 avulla. (Oilonin www-sivut. 2015c.)

Sähkö-menoveden estoajan mentyä umpeen, alkaa lämpöpumpun säädin laskea lämpövajetta. Ensimmäinen porrass vapautetaan, kun lämpövaje saavuttaa asetetun arvon (2882). Säädin vertaa öljypolttimen ykkösportaan vapautuksen jälkeen lämpötilan oloarvoa kytkentäpisteeseen ja muodostaa integraalin lämpövajeen avulla. Toinen porrass vapautetaan, kun kyseisen integraalin arvo saavuttaa asetetun (2882) maksimiarvon. Säädin laskee uudelleen vapautusintegraalin, vertaillen lämpötilan oloarvoa kytkentäpisteeseen. Vapautusintegraalin saavuttaessa asetetun arvon (2882), öljypolttimen kolmas porrass vapautetaan ja öljypoltin käynnistyy. (Oilonin www-sivut. 2015c.) Satamunan lämpöpumpussa sähkömenoveden vapautusintegraaliarvoksi (2882) säädettiin 75 °C/min. Tätä parametriasetusta säätämällä pienemmäksi öljypoltin lähtee aikaisemmin käyntiin.



Kuva 25: Sähkö-menoveden palautusintegraali (2883) (Oilonin www-sivut. 2015c.)

Sähkö-menoveden palautusintegraalilla (2883) säädin kytkee viimeiseksi kytketyn portaan pois päältä, jos oloarvo on kytkentäpisteeseen yläpuolella. Säädin alkaa samalla muodostamaan ylimääräisestä lämmöstä palautusintegraalin. Alempi porrass sammutetaan seuraavaksi, kun lämpöylimäärä saavuttaa asetetun palautusintegraalin (2883) (Oilonin www-sivut. 2015c.) Satamunassa arvoksi on valittu 5 °C/min. Tätä arvoa pienentämällä öljykattila käy pidempään.

7 MITTAUKSET JA NIIDEN TARKASTELU

Opinnäytetyön tekijä suoritti Satamunassa erilaisia mittauksia erilaisilla mittareilla lämmitysverkostosta. Mittausten tarkoituksena oli pääasiassa selvittää öljypolttimen

käyntijaksoja eri ulkolämpötiloilla ja näiden tulosten avulla optimoida maalämpöpumpun ja öljykattilan asetuksia, jotta voitaisiin lyhentää öljypolttimen käyntiaikaa.

Mittauksia suoritettiin lämminvesivaraajan ja öljykattilan välisestä putkesta (sininen nuoli) ja öljykattilan ja lämmitysverkoston välisestä putkesta (punainen nuoli) ja molemmista lämmityspiireistä. Nämä putket ja nuolet on esitetty kuvassa 21 s. 33. Mittareina käytettiin Krohne UFM 610P ultraäänimittaria, jolla mitattiin tilavuusvirtaa, kahta Eltekin 1000 series squirrel logger -mittaria ja TA-CMI virtausmittaria.

7.1 Öljykattilan mittaukset

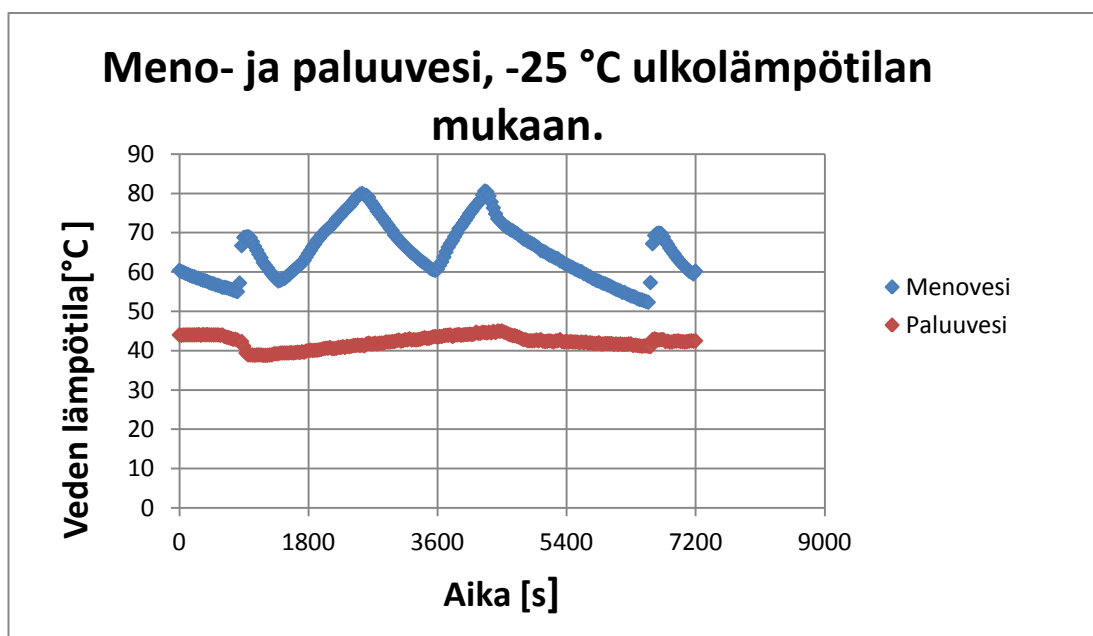
Öljykattilan mittaukset suoritettiin öljykattilalle menevästä ja lähtevästä putkesta. Veden lämpötiloja mitattiin molemmista putkista (kuva 26, pisteet 1-2) Eltekin 1000 series squirrel logger -mittarilla ja tilavuusvirta mitattiin öljykattilasta lämmitysverkostoon lähtevästä putkesta (kuva 26, piste 3) Krohne UFM 610P ultraäänimittarilla, neljällä eri ulkolämpötilalla -25 celsiusastetta, -20 celsiusastetta, -15 celsiusastetta ja -10 celsiusastetta. Mittarit mittasivat lämpötiloja ja vesivirtoja kolmen päivän ajan 30 sekunnin välein, jotta saatiin paljon mittausdataa eri ulkolämpötiloilla. Ulkolämpötilaa mitattiin toisella Eltekin logger -mittarilla, jolla mitattiin myös lämmitysverkoston meno- ja paluuveden lämpötiloja. Niistä lisää kappaleessa 7.3.



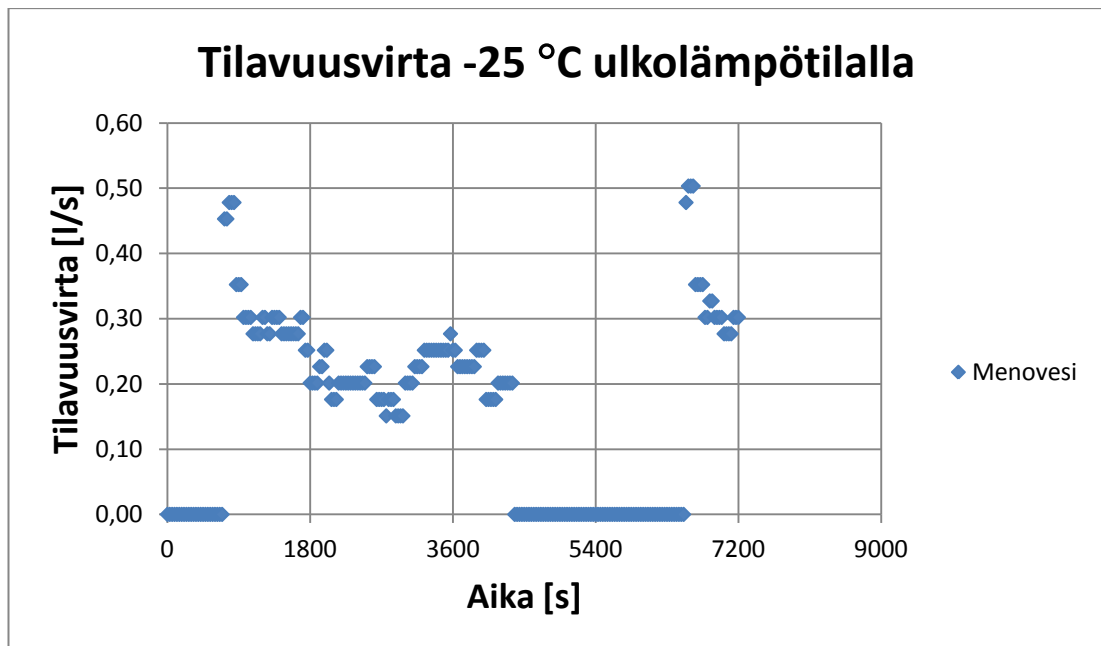
Kuva 26: Mittauspisteet.

7.1.1 Mittaustulokset

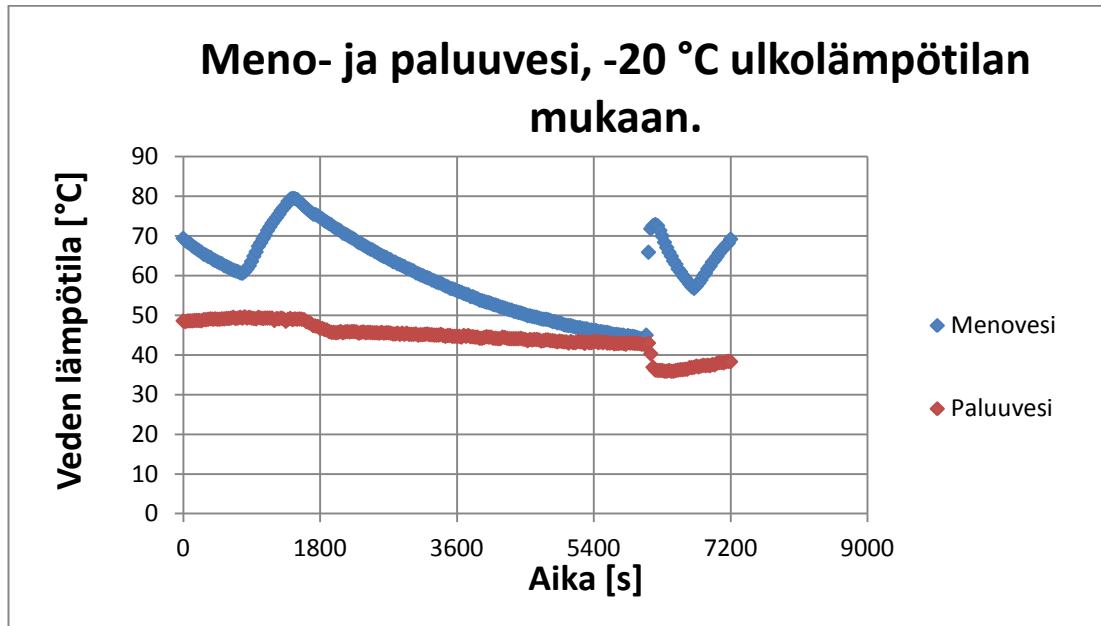
Mittaustulokset on piirretty piste- ja viivakaavioihin. Kaavioissa x-akselille on merkitty mitausaika 7200 sekuntia, eli kaksi tuntia, ja y-akselille on merkitty veden lämpötila [°C] tai tilavuusvirta [l/s]. Kaavioissa olevat mittauspisteet ovat 30 sekunnin välein mitattuja. Mittausdataa kertyi kolmen päivän aikana erittäin paljon. Kaavioihin on valittu ulkolämpötilan mukaan kyseinen mittausajanjakso, jolloin ulkolämpötila on pysynyt melko tasaisena ± 1 celsiusastetta. Kaaviot ovat kahden tunnin ajanjaksolta, sillä jos ajanjakso olisi pidempi, olisivat kuvaajat erittäin sekavia.



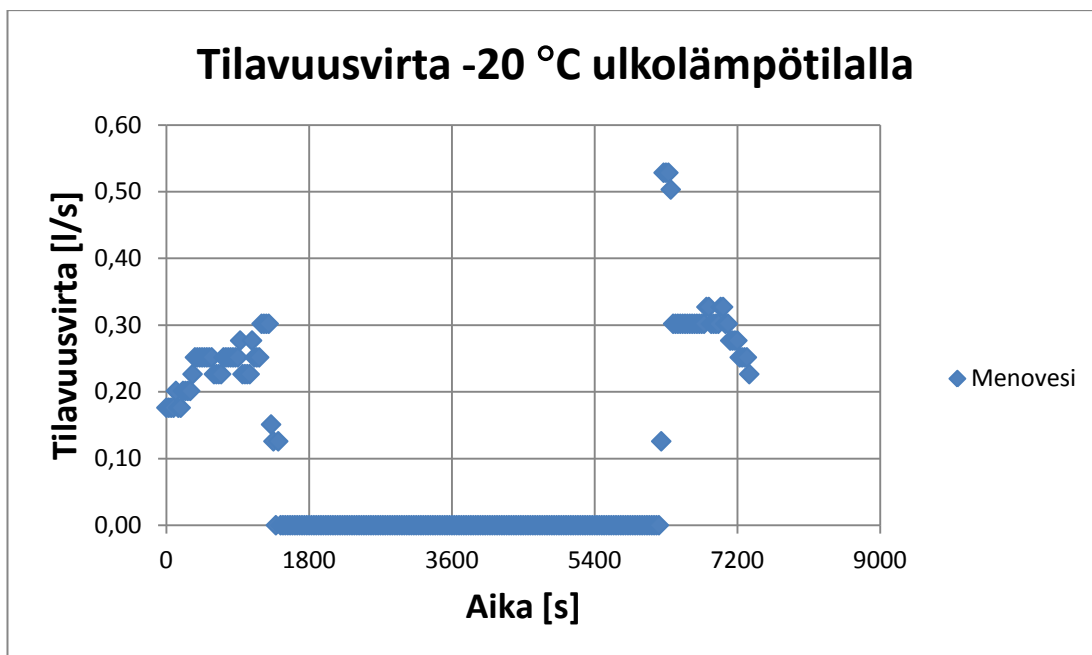
Kaavio 1: Meno- ja paluuveden lämpötiloja -25 °C ulkolämpötilalla.



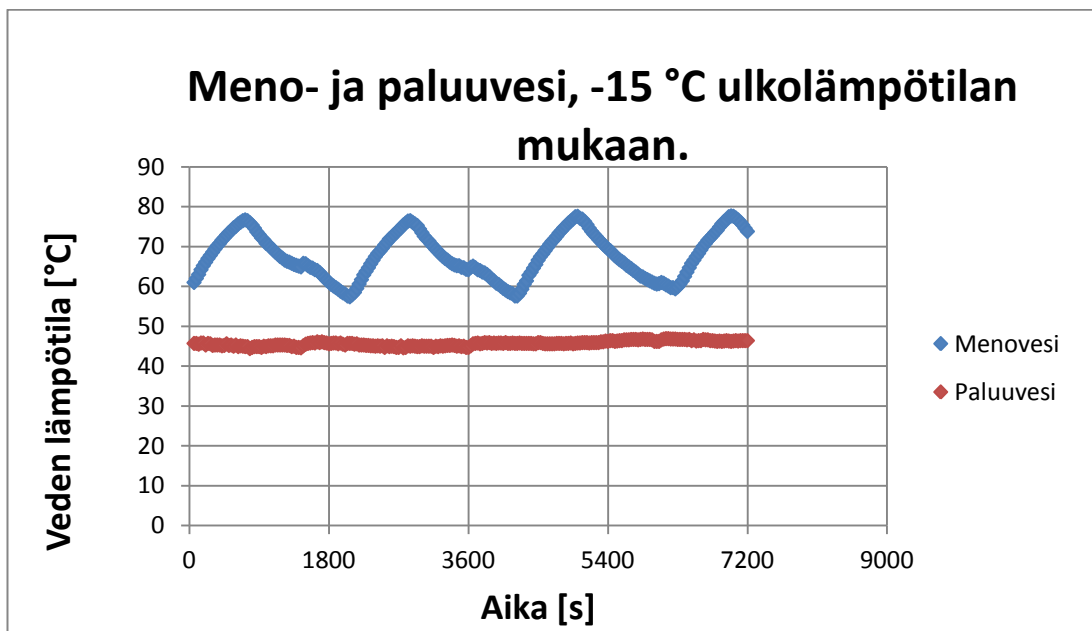
Kaavio 2: Öljykattilasta lähtevän veden tilavuusvirta [l/s] -25 °C ulkolämpötilalla.



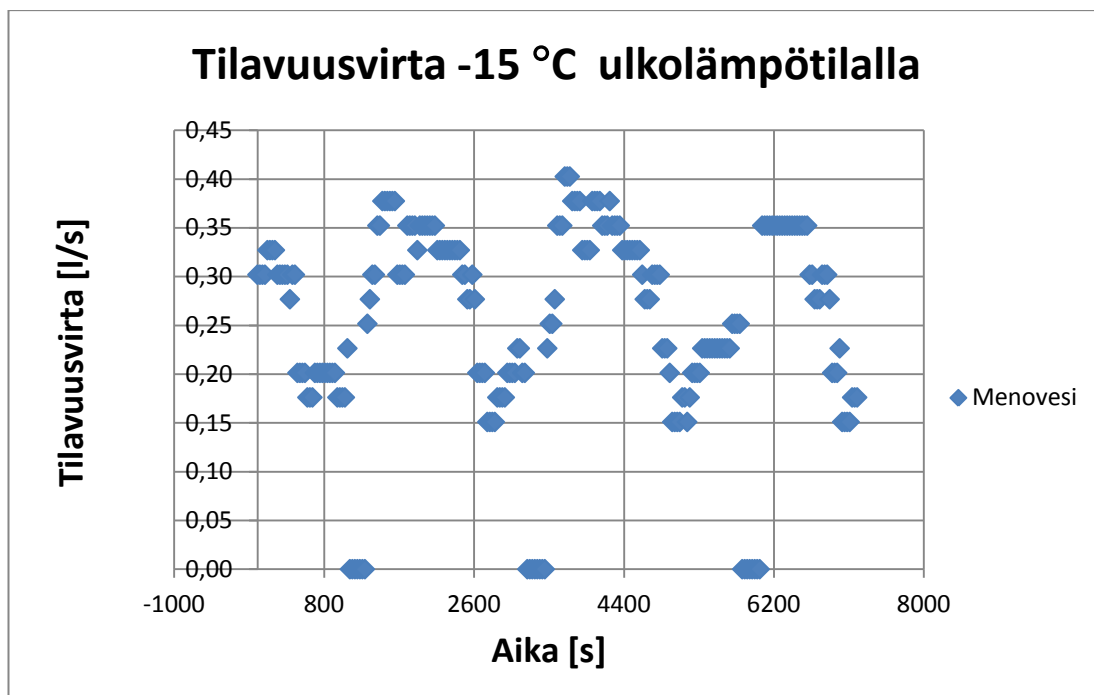
Kaavio 3: Meno- ja paluuvien lämpötiloja -20 °C ulkolämpötilalla.



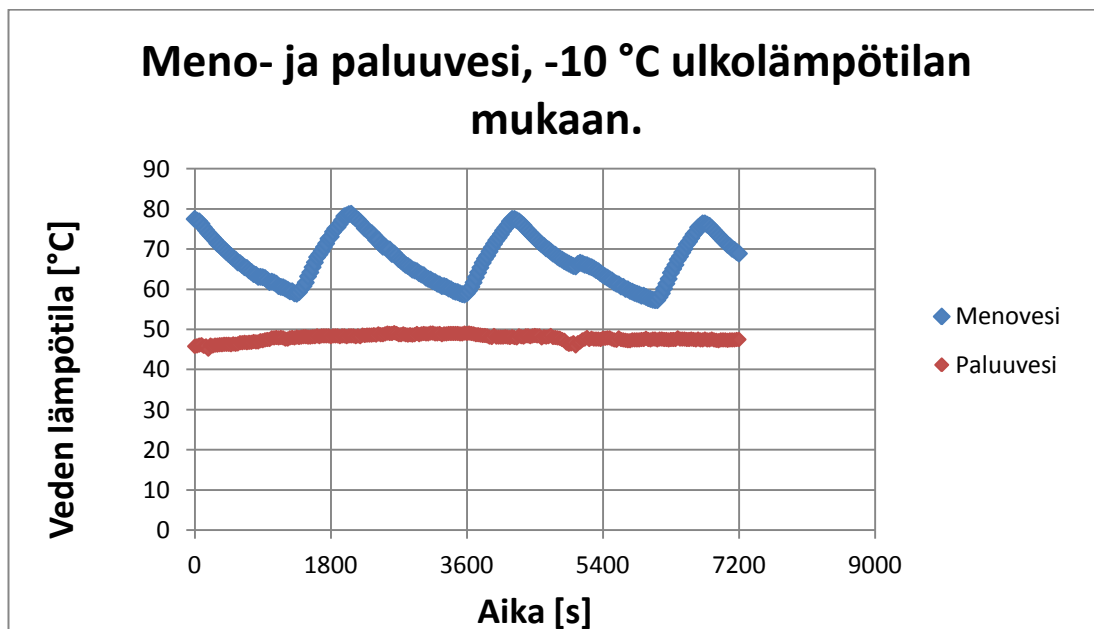
Kaavio 4: Öljykattilasta lähtevän veden tilavuusvirta [l/s] -20 °C ulkolämpötilalla.



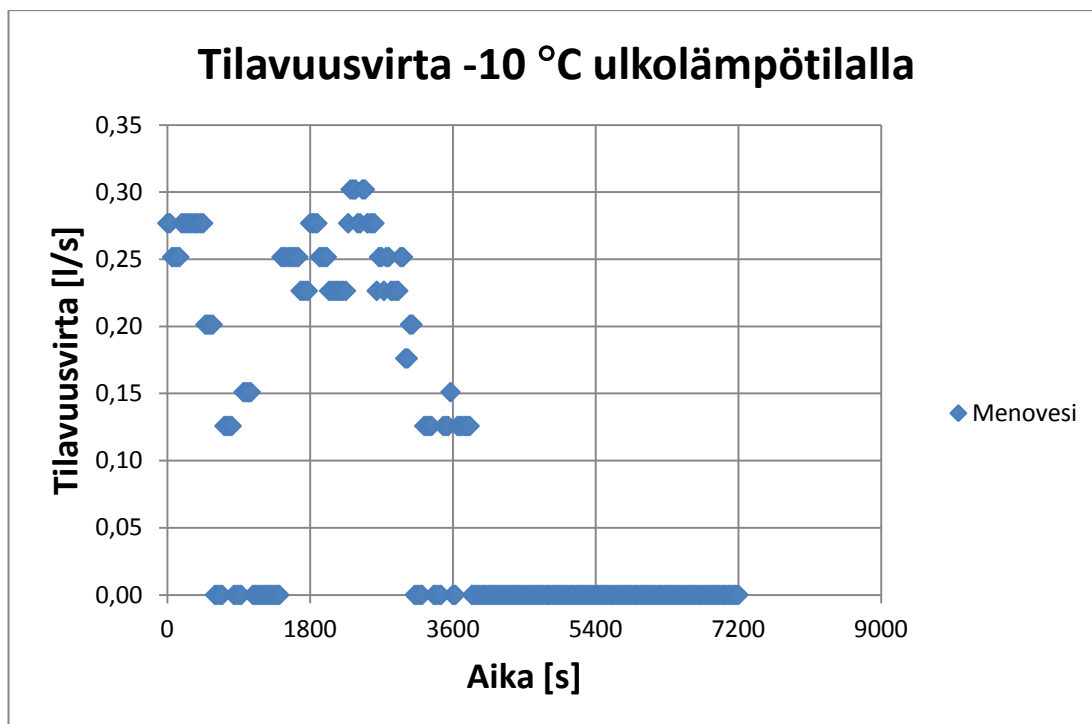
Kaavio 5: Meno- ja paluueden lämpötiloja -15 °C ulkolämpötilalla.



Kaavio 6: Öljykattilasta lähtevän veden tilavuusvirta [l/s] -15 °C ulkolämpötilalla.



Kaavio 7: Meno- ja paluuvien lämpötiloja -10 °C ulkolämpötilalla.



Kaavio 8: Öljykattilasta lähtevän veden tilavuusvirta [l/s] -10 °C ulkolämpötilalla.

7.1.2 Mittaustulosten tarkastelu

Mittauksia on tarkasteltu 9 h 30 min kestäneellä lämmitysajanjaksolla piirtämällä Excelillä suurempi kuvaaja kuin yllä olevat kuvaajat ja tarkastelemalla sitä. Tällä ajanjaksolla ulkolämpötila vaihtelee -23 celsiusasteen ja -25 celsiusasteen välillä. Öljypoltin on käynnistynyt tällä ajanjaksolla 9 kertaa. Öljypoltin kävi ensimmäisellä käynnistyskerralla 25 minuuttia ja lämmitti kattilalle tulevan veden +44 celsiusastetta +80 celsiusasteeseen, jonka jälkeen öljypoltin pysähtyi 35 minuutiksi. Toisen käynnistymisen jälkeen öljypoltin nosti kattilalle tulevan veden lämpötilan taas +80 celsiusasteeseen ja pysähtyi. Toisen käynnistyskerran jälkeen öljypoltin käynnistyi vasta 1 tunnin 14 minuutin kuluttua ja kävi ainoastaan viisi minuuttia ja nosti öljykattilalle tulevan veden lämpötilan +44 celsiusasteesta +74 celsiusasteeseen. Nämä kolme öljypoltin käynnistyskertaa ovat kaaviossa 1 ja 2.

Tämä kolmen käynnistymiskerran sarja toistuu kolme kertaa lähestulkoon identtisesti 9 h 30 min ajanjaksolla. Tästä voi päätellä, että öljypoltin pysähtyi aina, kun kattilan sisällä olevan veden lämpötila nousi 80 celsiusasteeseen, jolloin kattilan termostaatti pysäyttää polttimen. Poltin lähti uudelleen käyntiin noin 25 minuutin kuluttua, kun

lämpöpumppu antaa käskyn. Ultraäänimittarin mittaustuloksia tarkastellessa öljykattilan läpi kulkee 60 minuutin ajan erisuuruinen tilavuusvirta, jonka jälkeen 3-tie venttiili TV04 sulkeutuu 35 minuutiksi. Tästä voi todeta, että todennäköisesti öljypoltin käynnistyy 10 minuuttia ennen kuin 3-tieventtiili aukeaa, jotta verkostoon saadaan heti venttiilin auetessa lämmintä vettä.

Ulkolämpötilan vaihdellessa -21 celsiusasteen ja -18 celsiusasteen välillä, öljypolttimen käyntiajat tarkastettiin 4 h 30 min lämmitysajanjaksolla, jolloin öljypoltin käynnistyi kuusi kertaa. Ensimmäinen öljypolttimen käynti kesti vain kaksi minuuttia, jonka aikana öljykattilalle tulevan veden lämpötila nousi +48 celsiusasteesta +80 celsiusasteeseen, jonka jälkeen kattilan termostaatti sammutti polttimen. Kattilan veden lämpötila laski noin 22 celsiusastetta noin 17 minuutissa, jolloin öljypoltin käynnistyi uudelleen ja kävi 12 minuuttia, nostaen kattilalle tulevan +46 celsiusasteisen veden +80 celsiusasteiseksi. Öljypolttimen ollessa sammuneena 22 minuuttia, kattilan veden lämpötila laski 20 celsiusastetta. Öljypoltin käynnistyi kolmannen kerran ja nosti kattilalle tulevan veden lämpötilan +48 celsiusasteesta +80 celsiusasteeseen 11 minuutissa. Kolmannen käynnistyskerran jälkeen öljykattila oli pois päältä 1 h 17 min. Tämä kolmen käynnistymiskerran sarja toistuu melkein identtisesti toisen kerran kyseisellä ajanjaksolla. Kaaviossa 3 on esitetty menoveden ja paluueden lämpötila 2 tunnin ajanjaksolla -20 celsiusasteen ulkolämpötilalla. Kaaviossa 4 on esitetty tilavuusvirta 2 tunnin ajanjaksolla -20 celsiusasteen ulkolämpötilalla. Kyseisissä kaavioissa näkyy kolmen käynnistyskerran viimeinen käynnistys ja kun öljypoltin on kauan pois päältä.

Ulkolämpötilan vaihdellessa -16 celsiusasteen ja -13 celsiusasteen välillä tarkastellaan öljypolttimen neljän tunnin käyntiajanjaksoa. Tällä ajanjaksolla öljypoltin käynnistyi 7 kertaa. Kaikki käyntijaksot ovat lähes identtisiä; jokainen öljypolttimen käynti kestää 13-13,5 minuuttia ja on pois päältä 20 minuuttia. Erona kahteen edelliseen vertailuun on se, että kattilan veden lämpötila nousee +45 celsiusasteesta +75 celsiusasteeseen ja jokainen öljykattilan käyntijakso on identtinen.

Ulkolämpötilan vaihdellessa -12 celsiusasteen ja -9 celsiusasteen välillä mittausdataa saatiin vain kaksi tuntia, joten tätä käyntijaksoa tarkastellaan kaavion 7 ja 8 avulla. Kaaviosta voi huomata, että kahden tunnin ajanjaksolla öljypoltin käynnistyi kolme

kertaa. Öljypolttimen käyntiaika vaihtelee 10 minuutista 12 minuuttiin, jolloin kattilaan tulevan veden lämpötila nousi +48 celsiusasteesta +78 celsiusasteeseen. Öljypoltin on sammuksissa noin 30 minuuttia jokaisen käynnistyskerran välissä, jolloin kattilan vedenlämpötila laskee noin +58 celsiusasteeseen.

Teho jolla öljykattila käy jokaisella lämmitysjaksolla voidaan laskea kaavalla:

$$\dot{Q} = \rho q_v c_p \Delta t$$

- \dot{Q} teho, kW.
- C_p nesteen ominaislämpökapasiteetti, 4,2 kJ/kgK.
- Δt meno- ja paluuveden lämpötila ero, K.
- ρ veden tiheys, 1000 kg/m³
- q_v veden tilavuusvirta m³/s

Teho -25 celsiusasteen ulkolämpötilalla:

$$\dot{Q} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0,0002 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * 38\text{K} = \underline{31,9 \text{ kW}}$$

Teho -20 celsiusasteen ulkolämpötilalla:

$$\dot{Q} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0,0003 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * 30\text{K} = \underline{37,8 \text{ kW}}$$

Teho -15 celsiusasteen ulkolämpötilalla:

$$\dot{Q} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0,00015 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * 33\text{K} = \underline{20,8 \text{ kW}}$$

Teho -10 celsiusasteen ulkolämpötilalla:

$$\dot{Q} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0,00025 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * 33\text{K} = \underline{31,5 \text{ kW}}$$

Kyseiset tulokset eivät ole luotettavia, koska tilavuusvirta vaihtelee suuresti. Syy tähän johtuu siitä, kun öljykattilalta lähtevää kuuman veden virtausta säädetään kolmella eri kolmitieventtiilillä. Ensin TV04 säättää varaajalta ja öljykattilalta lähtevän veden kiertoa ja kolmitieventtiilit TV01 ja TV02 säättävät lämmitysverkostoille menevän veden lämpötilaa, ja lisäksi ennen iv-patteria on säätöventtiili TV03, joka säättää patterille menevää vesivirtaa. Kyseiset venttiilit TV04, TV02 ja TV01 löytyvät kuvasta 21, sivulta 33.

7.2 Mittaukset lämmityspiireistä

Molemmista lämmityspiireistä mitattiin meno- ja paluueden lämpötiloja Eltekin logger -mittarilla. Lämpötilat mitattiin putkien päälle asennettavien mittauspäiden avulla. Molemmista piireistä mitattiin verkoston paluupuolelta, ennen kolmitieventtiiliä sijaitsevasta Oraksen 4100 linjansäätöventtiilistä tilavuusvirta TA-CMI mittarilla. Näillä mittaustuloksilla laskettiin muutamalla eri ulkolämpötilalla lämmityspiirien tehot.



Kuva 27: Mittauspisteet lämmityspiireistä.

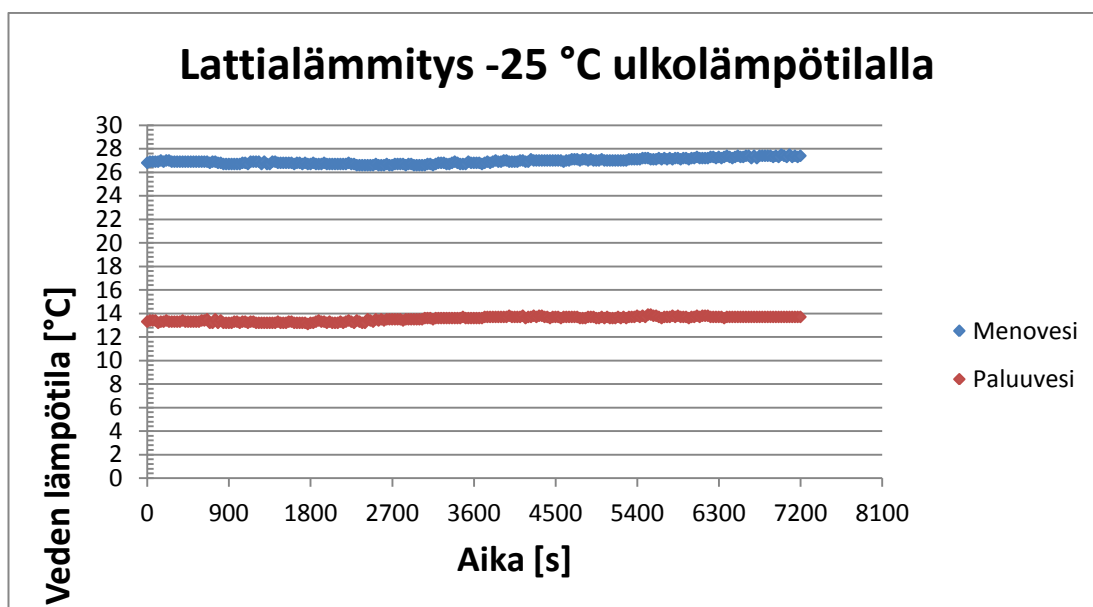
Kuvassa 27 on esitetty lattialämmityspiirin ja ilmastointilämmityspiirin mittauspisteet. Ylempi piiri on lattialämmitys, jossa ykköspisteestä mitattiin menoveden lämpötilaa, kakkospisteestä paluueden lämpötilaa ja kolmospisteestä verkoston tilavuusvirtaa. Alempi piiri on ilmastointipatterille menevä, jossa ykköspisteestä mitattiin menoveden lämpötilaa, kakkospisteestä paluueden lämpötilaa ja kolmospisteestä verkoston tilavuusvirtaa.

7.2.1 Mittaustulokset

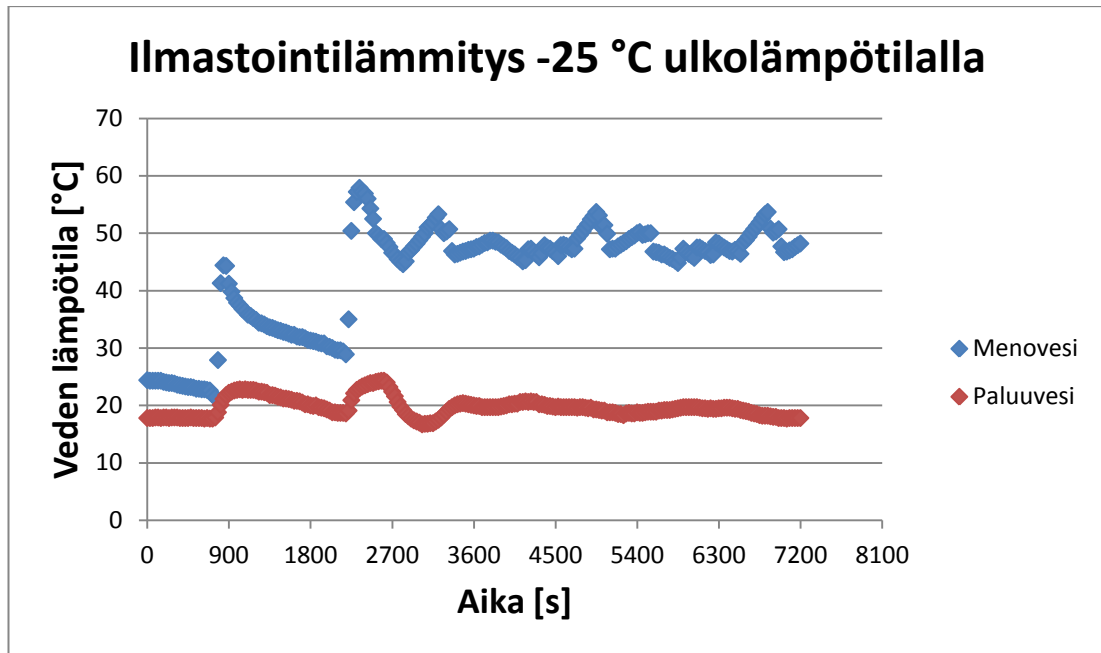
Mittaustulokset on piirretty piste-kaavioihin. Kaavioissa x-akselille on merkitty mittausaika 7200 sekuntia, eli kaksi tuntia ja y-akselille on merkitty veden lämpötila [°C]. Kaavioissa olevat mittauspisteet ovat 30 sekunnin välein mitattuja. Mittausdataa kertyi kolmen päivän aikana erittäin paljon, kaavioihin on valittu ulkolämpötilan mukaan kyseinen mittausajanjakso, jolloin ulkolämpötila on pysynyt melko tasaisena ± 1 °C. Kaaviot ovat kahden tunnin ajanjaksolta, jos olisi pidempi jakso, olisi kuvaaja erittäin sekava ja ulkolämpötila muuttuisi liikaa.

Taulukko 3: Vesivirtojen mittaustulokset.

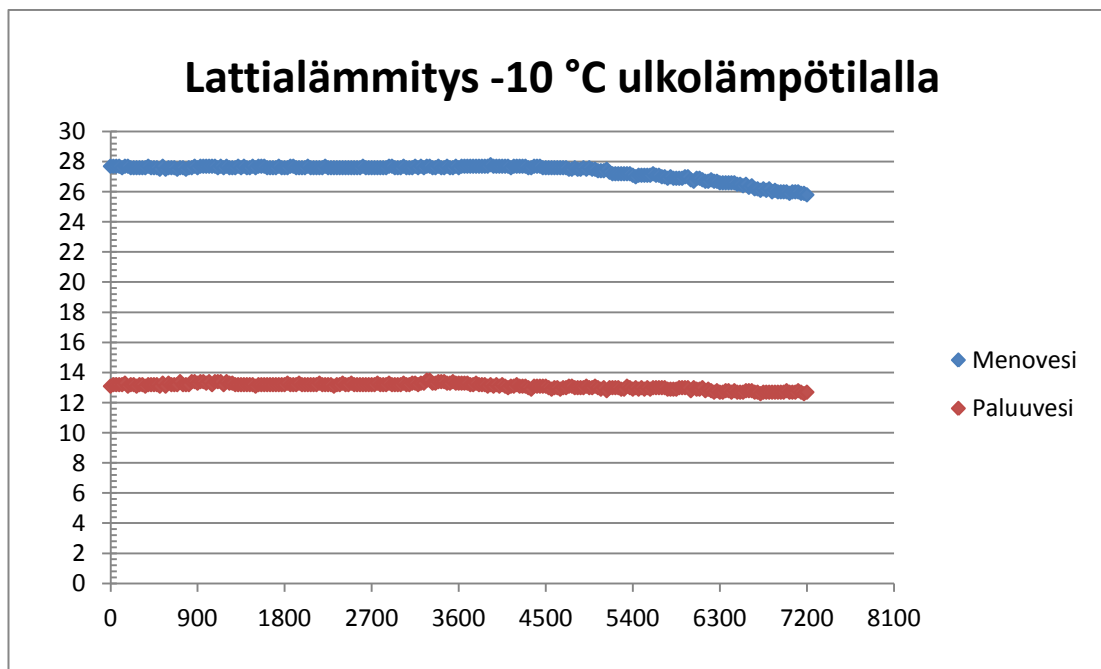
	Venttiili	Koko DN	Kv-arvo	Säätöasento	Paine-ero Δt	Tilavuusvirta q_v	Lämpökäyrän kaltevuus
					kPa	dm ³ /s	
Ilmastointi	Oras 4100	40	2,23	2,6	16	0,23	0,7
Lattialämmitys	Oras 4100	50	3,04	2,6	10,5	0,275	0,12



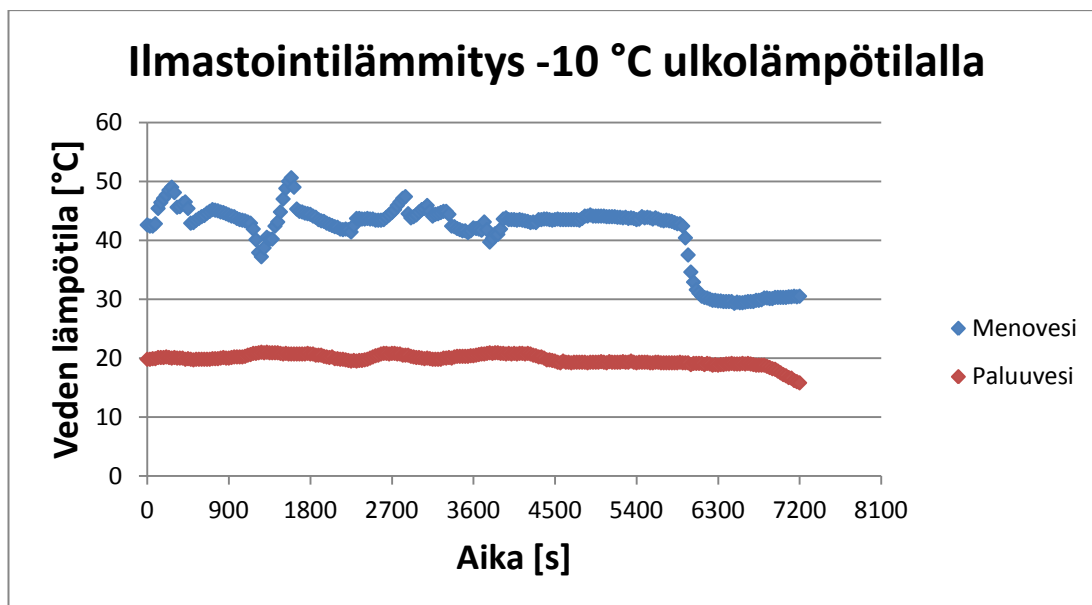
Kaavio 9: Lattialämmitys -25 °C ulkolämpötilalla.



Kaavio 10: Ilmastointilämmitys -25 °C ulkolämpötilalla.



Kaavio 11: Lattialämmitys -10 °C ulkolämpötilalla.



Kaavio 12: Ilmastointilämmitys -10 °C ulkolämpötilalla.

7.2.2 Mittaustulosten tarkastelu

Ilmastoinnin lämmityspiirin menoveden lämpötiloissa on suurta vaihtelua molemmilla ulkolämpötiloilla, kun taas lattialämmityspiireissä menoveden lämpötila on kahden tunnin ajanjaksolla lähestulkoon sama koko ajan. Tämän lämpötilavaihtelun voisi selittää ilmastointikoneen pumppuryhmässä sijaitseva moottoriventtiili, jolla säädetään patterin läpi kulkevaa vesivirtaa automatiikan avulla. Kuvassa 27 on esitetty, minkä lämpöistä vettä molempiin verkostoihin kuuluisi mennä -25 celsiusasteen ja -10 celsiusasteen ulkolämpötiloilla, kun lämmityskäyrän kaltevuudet ovat lattialämmityspiirissä 0,12 ja ilmastointipiirissä 0,7. Punaisella viivalla on merkitty lattialämmitys ja sinisellä viivalla ilmastointi. Lämmityspiirien tehot lasketaan samalla kaavalla, kuin öljykattilankin tehot.

Teho ulkolämpötilalla -25 celsiusastetta:

$$\text{Ilmastointi} \quad \dot{Q} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0,00022 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * 28\text{K} = \underline{25,9\text{kW}}$$

$$\text{Lattialämmitys} \quad \dot{Q} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0,00028 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * 14\text{K} = \underline{16,5\text{kW}}$$

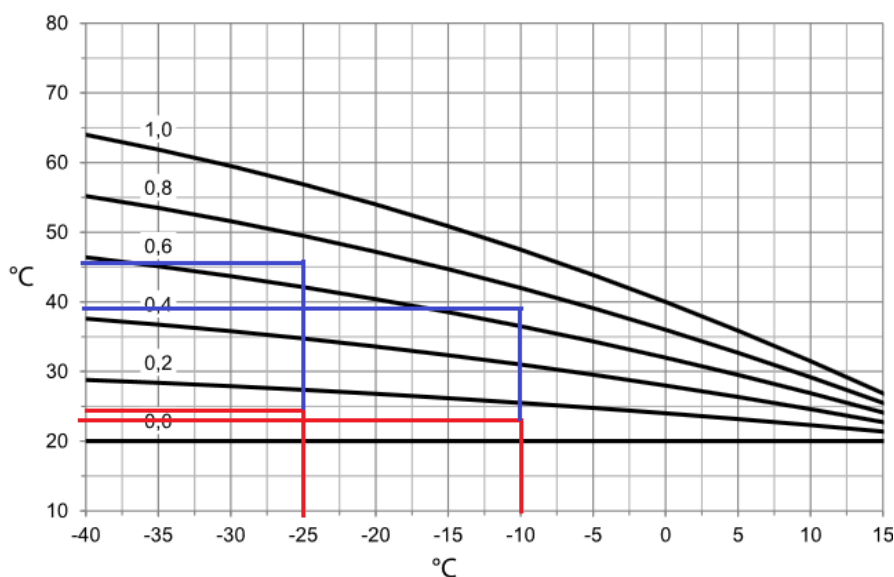
Teho ulkolämpötilalla -10 celsiusastetta:

$$\text{Ilmastointi} \quad \dot{Q} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0,00022 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * 20\text{K} = \underline{18,5\text{kW}}$$

$$\text{Lattialämmitys} \quad \emptyset = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0,00028 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * 14\text{K} = \underline{16,5\text{kW}}$$

Lasketut tulokset lattialämmityspuolella ovat realistiset, mutta ilmastointipiirin lasketut tulokset eivät, koska pumppuryhmässä sijaitseva moottoriventtiili säätelee veden virtausta. Tällöin vesivirta ei ole vakio kyseisen linjansäätöventtiilin kohdalla, josta vesivirta mitattiin. Lattialämmityspiirin vesivirta on vakio, koska kyseisessä verkostossa on ainoastaan TA:n linjansäätöventtiileitä.

Menoveden lämpötila (huoneasetusarvo 20 °C)



Kuva 28: Ilmastointi- ja lattialämmityspiirin menoveden lämpötilat -25 °C ja -10 °C ulkolämpötiloilla.

8 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön aiheena oli suorittaa maalämpöpumpun käyttöönotto ja optimointi Paneliassa sijaitsevassa Satamunan munapakkaamossa. Käyttöönoton yhteydessä tarkoituksena oli perehtyä kyseisiin toimenpiteisiin Oilonin ammattilaisen avustuksella. Optimoinnin tarkoituksena oli saada öljypoltin tukemaan maalämpöpumppua ainoastaan, kun lämpöpumppu sitä vaatii. Optimoinnin yhteydessä tehtiin monia mittauksia, joilla yritettiin selvittää öljypoltinmenon jaksoja.

Optimoinnin yhteydessä tehdyt mittaukset tuottivat ongelmia, koska mittaukset onnistuivat vasta kolmannella kerralla. Ensimmäisellä kerralla ultraäänimittari oli tallentanut mittausdataa ainoastaan kahden tunnin ajan, jonka jälkeen tallennus oli loppunut, kun taas Eltekin data logger -mittarit olivat tallentaneet mittausdataa kolmen päivän ajan. Toisella mittausyrityksellä öljykattilasta lähtevän putken päälle asennettu lämpötilamittausanturi oli irronnut noin tunnin päästä asennuksesta, joten nämäkin kolmen päivän mittaukset epäonnistuivat. Kolmannella mittauskerralla kaikki onnistui, niin kuin oli suunniteltu. Tämä mittausajanjakso oli erittäin hyvä, koska ulkolämpötila vaihteli -25 celsiusasteen ja -8 celsiusasteen välillä. Tästä johtuen saatiin erittäin hyvää mittausdataa, jota voitiin hyödyntää öljypolttimen käyntijaksojen selvittämisessä. Itse lämpöpumpun parametriasetuksia kävin säätämässä useita kertoja. Yleisin huolenaihe oli viileä lämminvesi, joka johtui siitä, että lämpöpumppu lämmitti varaajan vettä lämmitysverkoston pyynnin mukaan noin 45 celsiusastetta, eikä käyttövettä, joka olisi ollut 55 celsiusastetta.

Opinnäytetyö oli erittäin mielenkiintoinen tehdä. Se opetti paljon uutta lämpöpumpuista ja niiden kylmäkoneikosta. Muut lämmitysjärjestelmät olivat entuudestaan tuttuja, koska minulla on kolmen vuoden LVI-asentajan kokemus, ennen kuin aloitin Satakunnan ammattikorkeakoulussa.

LÄHTEET

UMR Geothermal www-sivut. 2015a. Viitattu 11.10.2015.

<http://umrgeothermal.com/geothermal-101/how-it-works/heat-pumps/history-of-heat-pumps/>

Motivan www-sivut. 2015a. Viitattu 11.10.2015.

http://www.motiva.fi/files/7965/Lampoa_omasta_maasta_Maalampopumput.pdf

Sulpu ry:n www-sivut. Viitattu 11.10.2015. <http://www.sulpu.fi/maalampopumppu>

Motivan www-sivut. 2015b. Viitattu 11.10.2015.

http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/maalampopumppu_mlp

Satamuna Oy:n www-sivut. 2015a. Viitattu 12.10.2015.

<http://www.satamuna.fi/yritys>

Satamuna Oy:n www-sivut. 2015b. Viitattu 12.10.2015.

<http://www.satamuna.fi/historia>

Kaukoran www-sivut. 2014. KUVA 1 Viitattu 14.10.2015.

<http://www.kaukora.fi/lampopumppulammitys/maalampopumput>

Maalämpö.info www-sivut. 2015. KUVA 2 Viitattu 14.10.2015.

<http://www.maalampo.info/tiedot-materiaalit/artikkelit/maalampo-asennus/>

Hakala, P. 2007. Kylmälaitoksen suunnittelu. Tampere: Juvens print.

Hakala, P. 2013. Kylmälaitoksen suunnittelu. Tampere: Juvens print.

Hakala, P. 2007. Kylmälaitoksen suunnittelu. Tampere: Juvens print. KUVA 3

Hakala, P. 2007. Kylmälaitoksen suunnittelu. Tampere: Juvens print. KUVA 4

Aittomäki, A. 2012. Kylmäteknikka. Porvoo: Bookwell OY.

Aittomäki, A. 2012. Kylmäteknikka. Porvoo: Bookwell OY. Taulukko 1

Oilonin www-sivut. 2015a. Viitattu 12.11.2015. <http://oilon.com/oilon-home/tuotteet/maalampopumput/oilon-re-kiinteistomaalampopumppu/>

Oilonin www-sivut. 2015b. Viitattu 13.11.2015.

<http://www.oilon.com/uploadedFiles/OilonHome/Materials/RE%20FI%20Operation%20manual.pdf>

Oilon www-sivut. 2015b. KUVA 12 Viitattu 5.1.2016.

<http://www.oilon.com/uploadedFiles/OilonHome/Materials/RE%20FI%20Operation%20manual.pdf>

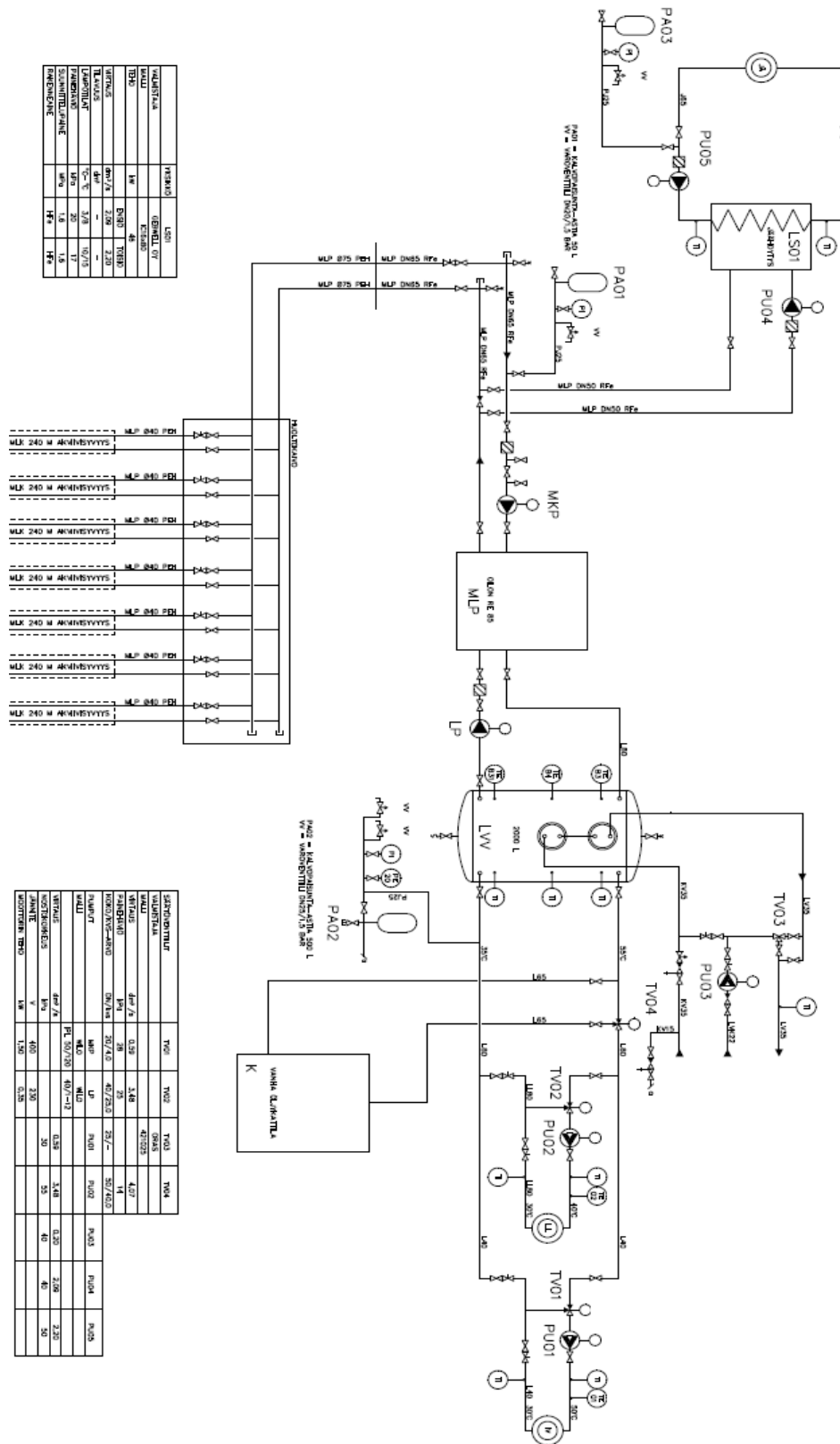
Kianta, J. 2013. Kylmätekniiikan käsikirja. Tampere: Eräsalon kirjapaino OY.

Danfossin www-sivut. 2014. Viitattu 18.1.2016.

<http://www.danfoss.com/NR/rdonlyres/C1179F6B-1C87-4A53-B448-3639664C5311/0/DANFOSSCIFI.pdf>

Oilonin www-sivut. 2015c. Viitattu 26.1.2016

http://www.oilon.com/uploadedFiles/OilonHome/Materials/Siemens_ohjain-B_sarja_ohjekirja_FI_2007-09-16.pdf



Liite 1: Satamunan lämmitysjärjestelmän kytkentäkaavio.

START UP

Työmaa: _____

LVI

- Lämmitysverkosto valmis
- Jäähdytysverkosto valmis
- Lämmönkeruuputkisto valmis
- Verkostot täytetty
- Verkostot ilmattu
- Verkostot koepainettu
- Lämmönkeruuputkisto ilmattu huolellisesti
- Lämmönkeruuputkiston lianeroitin putsattu ilmauksen jälkeen
- Verkostot tasapainoitettu / venttiilit säädetty
- Täyttösäiliöön varattu ylimääräistä nestettä, mahdollista ilmanpoistoa varten

Tarkastaja ja pvm: _____

Sähköurakka

- Sähkösyötön kytkentä suoritettu maalämpöpumppuun
- Sähkösyötön kytkentä suoritettu pumppuihin
- Sähkösyötön kytkentä suoritettu päätelaitteisiin
- Pumppujen pyörimissuunta tarkastettu
- Ohjaus- ja hälytyskaapeleiden kytkentä suoritettu
- Lämpötila-, virtaus- ja paineanturit kytketty

Tarkastaja ja pvm: _____

Liite 2: Start-up lista