

Opinnäytetyö AMK

Kone- ja tuotantotekniikka

Energia- ja polttomoottoritekniikka

2018

Sami Toivonen

TEKNISESTI LAADUKKAAN ASUINKERROSTALON KÄYTTÖÖNOTON SEURANTA JA DOKUMENTOINTI

– Maalämmön ja -kylmän hyödyntäminen
kaukolämpöenergian rinnalla

OPINNÄYTETYÖ AMK | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka | Energia- ja polttomoottoritekniikka

2018 | 54 sivua, 10 liitesivua

Sami Toivonen

TEKNISESTI LAADUKKAAN ASUINKERROSTALON KÄYTTÖÖNOTON SEURANTA JA DOKUMENTOINTI

- Maalämmön ja -kylmän hyödyntäminen kaukolämpöenergian rinnalla

Opinnäytetyössä tarkastellaan Optiplan Oy:n suunnitteleman rakenteilla olevan kerrostalon maalämpö- ja kaukolämpöjärjestelmän toimintaa. Opinnäytetyön tavoitteena on varmistaa toimiva lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmä rakennuksen käyttöönottovaiheessa. Työssä käsitellään yleisesti maalämpöpumpun toimintaa sekä mahdollisia maa- ja kaukolämmön hybridikytkentävaihtoehtoja.

Työssä esitellään osia rakennuksen lämmitys- jäähdytyskytkentäkaaviosta sekä selostetaan lämpöpumppulaitteiston toiminta lämmitys- ja jäähdytyskäytössä. Energiakaivojen ja maalämpöpumpun sopivuutta kohteeseen tarkastellaan laskennallisesti.

Ennen rakennuksen luovutusta käyttöön on tehty vaadittavat virtaamamittaukset laitteiston toimivuuden varmistamiseksi. Toteutuneita arvoja vertaillaan suunniteltuihin.

Maalämpöjärjestelmän toimintakokeet suoritettiin ennen rakennuksen käyttöönottoa ja laitteisto toimi halutulla tavalla. Maa- ja kaukolämmön hybridikytkentä mahdollistaa järjestelmien paremman optimoinnin mutta samalla lisää suunnittelijan vastuuta toimivan ja kustannustehokkaan järjestelmän luomisesta.

ASIASANAT:

Maalämpö, maakylmä, kaukolämpö, hybridijärjestelmä

BACHELOR'S / MASTER'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical and Production Engineering | Energy and Internal Combustion Engine Technology

2018 | 54 pages, 10 appendices

Sami Toivonen

MONITORING OF THE COMMISSIONING AND DOCUMENTATION OF A TECHNICALLY HIGH-QUALITY BUILDING

- Utilizing Geothermal Energy with District Heating

The thesis considers the operation of the geothermal and district heating system of a building designed by Optiplan Oy. The aim of the thesis was to ensure a functioning heating and cooling system during the deployment phase of the building. The thesis generally considers the operation of the geothermal heat pump and possible hybrid connection options for geothermal and district heating.

The thesis presents parts of the building's heating-cooling circuit diagram and describes the operation of the heat pump system in heating and cooling operation. The suitability of geothermal wells and the geothermal heat pump is examined computationally.

Before the commissioning of the building, the required flow measurement has been made to ensure the functionality of the equipment. The measured values are compared with the ones that have been designed.

The operation tests of the geothermal system were carried out before the introduction of the building and the equipment functioned in the desired way. A hybrid connection between geothermal and district heating makes a better optimization of the systems possible but at the same time increases the designer's responsibility for creating a functional and cost-effective system.

KEYWORDS:

Geothermal heating, Geothermal cooling, District heat, Hybrid system

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO	7
1 JOHDANTO	8
2 KOHTEEN ESITTELY	9
2.1 Rakenne	9
2.2 LVI-järjestelmät	10
3 LÄMPÖPUMPPU	11
3.1 Toimintaperiaate	11
3.2 Maalämpöpumppu	12
4 LÄMPÖPUMPUN JA KAUKOLÄMMÖN HYBRIDIKYTKENTÄ	13
4.1 Maa- ja kaukolämmön hybridikytkentä	13
4.2 Hybridikytkennän vaikutukset kaukolämpöön	16
5 MAALÄMPÖJÄRJESTELMÄ KOHTEESSA	18
5.1 Maalämpöpumppu	18
5.2 Maalämpöpumpun lämmitysteho	18
5.3 Maalämpöpumpun jäähdytysteho	21
5.4 Energiakaivot	22
5.5 Asuintilojen ja lämpimän käyttöveden lämmitysenergiantarve	24
5.6 Järjestelmän kuvaus	26
5.7 Maalämpöpumpun käyttötilat	27
5.7.1 Lämmityskäyttö	27
5.7.2 Vapaajäähdytyskäyttö	28
5.7.3 Aktiivijäähdytyskäyttö	30
5.7.4 Lämmitys- ja jäähdytystarve samansuuruinen	31
5.7.5 Lämmitystarve suurempi kuin jäähdytystarve	33
5.7.6 Lämmitystarve pienempi kuin jäähdytystarve	34
5.8 Lämpimän käyttöveden tuottaminen	36
5.9 Lattialämmitys	37
5.10 Autohallin patterilämmitys	38
5.11 Jäähdytysverkosto	39
5.12 Lämpökerroin COP	41

6 MAALÄMPÖJÄRJESTELMÄN KÄYTTÖÖNOTTO JA MITTAUSTULOKSET	42
6.1 Toimintakokeet	42
6.2 Maalämpöjärjestelmän toimintakokeet kohteessa	43
6.3 Maalämpölaitteisto toiminnassa	43
6.4 Maalämpöpiirin mittaustulokset	47
6.5 Jäähdytyksen mittaustulokset	49
6.6 Lattialämmityksen mittaustulokset	49
7 YHTEENVETO	51
LÄHTEET	53

LIITTEET

- Liite 1. Carrier-maalämpöpumpun mitoitusajo lämmityskäytössä.
- Liite 2. Carrier-maalämpöpumpun mitoitusajo jäähdytyskäytössä.
- Liite 3. Carrier-nestejäähdyttimen tekninen valinta.
- Liite 4. Chiller Grand Vari 100 -puhallinpatteri tekninen valinta.
- Liite 5. Chiller Grand Vari 70 -puhallinpatteri tekninen valinta.
- Liite 6. Maalämpöpiirin linjojen virtaamien mittaaminen.
- Liite 7. Lattialämmitysverkoston jakotukkien vesivirtojen säätö ja mittaaminen.
- Liite 8. Jäähdytyksen virtaamat.

KUVAT

Kuva 1. Asuinkerrostalon leikkauskuva (Arosuo Arkkitehdit Oy).	9
Kuva 2. Maalämpöpumpun toimintaperiaate (Aittomäki 2001, 6).	11
Kuva 3. Keruuputkiston pituus on riippuvainen maaperästä (LVI 11-10332 2002, 4).	12
Kuva 4. Yksinkertaistettu kuva kaukolämmön ja lämpöpumpun rinnankytkennästä (Rämä ym. 2015, 4).	13
Kuva 5. Yksinkertaistettu kuva kaukolämmön ja maalämmön sarjaankytkennästä (Rämä ym. 2015, 4).	14
Kuva 6. Kaukolämmön ja lämpöpumpun kytkentä tilojen lämmitykseen (Energiateollisuus ry K1/2013, 89).	15
Kuva 7. Lämpimän käyttöveden lämmitys kolmisiirrinkytkennällä (Energiateollisuus ry K1/2013, 89).	16
Kuva 8. Vesivirran tehon ja veden jäähdytymän funktiona (Energiateollisuus ry K15/2014, 22).	17
Kuva 9. Rakennuksessa olevan maalämpöpumpun kytkentäkaavio (Carrier).	18
Kuva 10. Lämpimän käyttöveden keskimääräinen lämmitystehontarve (Koivuniemi 2005, Holopainen ym. 2010, 16 mukaan).	19
Kuva 11. Lämmityskäyttö osa 1.	27

Kuva 12. Lämmityskäyttö osa 2.	28
Kuva 13. Vapaajäähdytyskäyttö osa 1.	29
Kuva 14. Vapaajäähdytyskäyttö osa 2.	29
Kuva 15. Aktiivijäähdytyskäyttö osa 1.	30
Kuva 16. Aktiivijäähdytyskäyttö osa 2.	31
Kuva 17. Lämmitys- ja jäähdytystarve samansuuruisia osa 1.	32
Kuva 18. Lämmitys- ja jäähdytystarve samansuuruisia osa 2.	32
Kuva 19. Lämmitystarve suurempi kuin jäähdytystarve osa 1.	33
Kuva 20. Lämmitystarve suurempi kuin jäähdytystarve osa 2.	34
Kuva 21. Lämmitystarve pienempi kuin jäähdytystarve osa 1.	35
Kuva 22. Lämmitystarve pienempi kuin jäähdytystarve osa 2.	35
Kuva 23. Lämpimän käyttöveden tuottaminen.	36
Kuva 24. Lattialämmityksen kytkentä.	37
Kuva 25. Patteriverkoston kytkentä.	39
Kuva 26. Asuintilojen jäähdytysverkoston kytkentäkaavio.	40
Kuva 27. Asuintilojen lattialämmityksen ja puhallinkonvektorin kytkentä.	41
Kuva 28. Kaavio LVI-järjestelmien käyttöönottovaiheesta (LVI 03-40002 1991, 1).	42
Kuva 29. Maalämpölaitteisto lämmityskäytöllä osa 1 (Turun Automaatiokeskus Oy).	44
Kuva 30. Maalämpölaitteisto lämmityskäytöllä osa 2 (Turun Automaatiokeskus Oy).	45
Kuva 31. Autohallin ja lämpimän käyttöveden lämmitys (Turun Automaatiokeskus Oy).	46
Kuva 32. Lattialämmityspiiri (Turun Automaatiokeskus Oy).	47

TAULUKOT

Taulukko 1. Rakennuksessa olevin puhallinkonvektorien määrä ja tehot asuintiloissa.	21
Taulukko 2. Lämpökaivojen likimääräiset mitoitus tiedot alueittain (NIBE maalämpöpumppuopas, 18).	23
Taulukko 3. Maalämpöpiirin suunnitellut ja todelliset virtaamat.	47
Taulukko 4. Puhallinkonvektorien suunnitellut ja todelliset arvot.	49
Taulukko 5. Lattialämmityksen suunnitellut ja todelliset arvot.	50

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

EER	Kylmäkerroin, joka on lämpöpumpusta saatavan jäähdytysenergian suhde kulutettuun sähköenergiaan (Ympäristöministeriö 2011, 14.)
COP	Lämpökerroin, joka on lämpöpumpusta saatavan lämmitysenergian suhde kulutettuun sähköenergiaan (Aittomäki 2001, 7.)
TE	Lämpötila-anturi, joka lähettää mittaustietoa valvonnan alakeskukseen
TV	Moottoriohjattu venttiili, joka säätty valvonnan alakeskuksen säätöohjelmalla

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on tehty Optiplan Oy:lle, joka on rakentamisen monialasuunnittelu-toimisto. Työpaikalla ohjaajana toimi LVI-suunnittelija Jouni Mantela (johtava konsultti, FISE AA) ja Turun ammattikorkeakoulussa ohjaajana oli yliopettaja Tommi Paanu. Opinnäytetyössä tarkasteltava rakennus on osittain Optiplan Oy:n suunnittelema. Optiplan Oy on tehnyt kohteeseen LVIA-, sähkö-, rakenne- ja elementtisuunnittelun.

Tässä opinnäytetyössä käsitellään rakenteilla olevan asuinkerrostalon LVI-järjestelmää. Nykyaikaisessa asuinrakentamisessa modernin ja monimutkaisen tekniikan osuus on jatkuvasti kasvussa. Uusissa asuinrakennuksissa voidaan automaation avulla säädellä jäähdytystä, lämmitystä ja ilmanvaihtoa sen hetkisen kuormituksen mukaan. Automaatio mahdollistaa asuintiloihin jatkuvasti laadukkaan sisäilman energiaa säästäen.

Automaatiotekniikka tarjoaa paljon mahdollisuuksia, mutta se tuo myös haasteita sekä suunnitteluvaiheessa että rakennusvaiheessa. Modernissa LVI-järjestelmässä on lukuisia pumppuja, moottoriohjattuja venttiileitä, mittausantureita ja muita toimilaitteita. Laitteiden on kyettävä keskustelemaan toistensa kanssa ja toimimaan eri käyttötilanteissa oikein. Tärkeässä osassa ovat selkeät automaatiojärjestelmäkaaviot ja toimintaselostukset. Opinnäytetyössä tarkasteltavassa asuinkerrostalossa on maalämpö-, maakylmä- ja kaukolämpöjärjestelmä ja aihe rajataan näihin järjestelmiin.

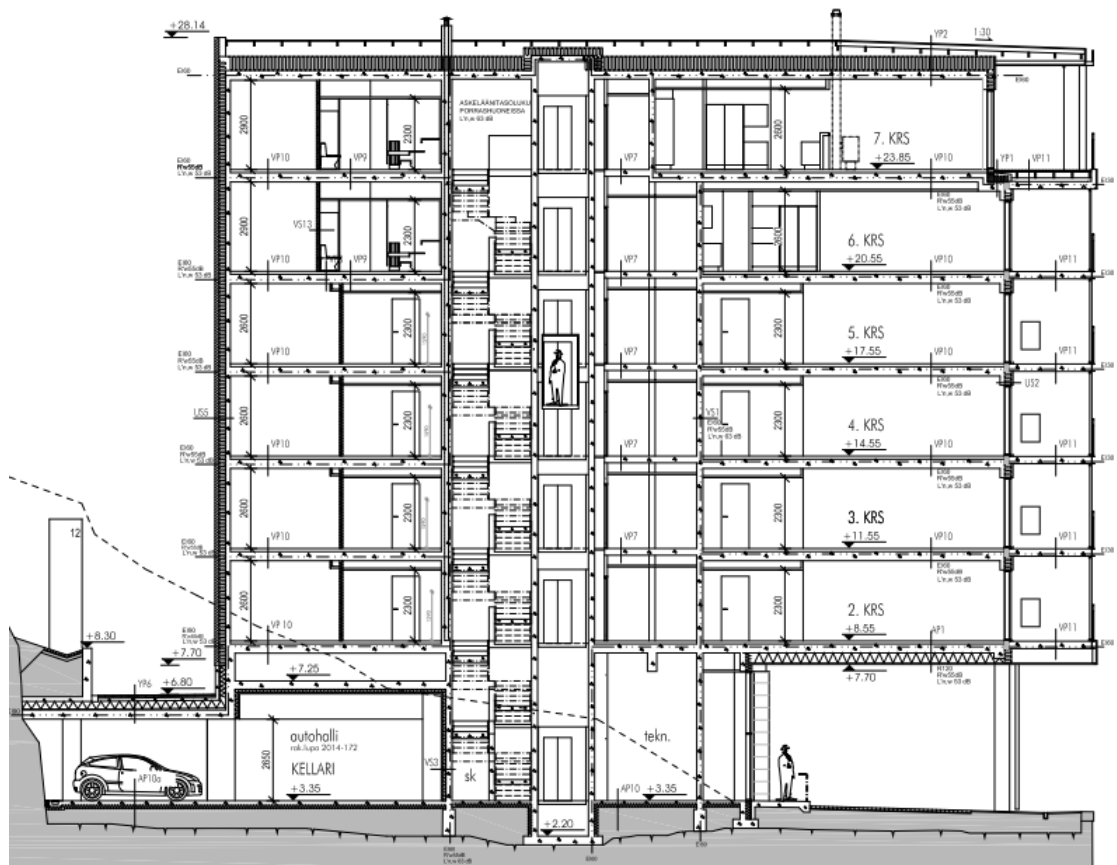
Rakennusten käyttööntöövaiheessa voi ilmetä ongelmia monimutkaisesta tekniikasta johtuen. Kyseessä voi olla aivan pieni virhe automaatiossa, esimerkiksi venttiili voi olla väärässä asennossa ja aiheuttaa vikatilän järjestelmään. Opinnäytetyön tavoitteena on varmistaa toimiva LVI-järjestelmä rakennuksen käyttööntöövaiheessa. Käyttööntöövaiheessa tehtäviä mittausarvoja verrataan suunniteltuihin arvoihin. Tarkoituksena on raportoida mahdolliset suunnitteluvaiheessa syntyneet epäkohdat, jotta ne voitaisiin välttää tulevilla kohteilla.

Opinnäytetyössä käydään läpi tarkasteltavan kohteen maalämpö- ja kaukolämpöjärjestelmän eri käyttötilanteet, kytkennät ja järjestelmien yhteistoiminta.

2 KOHTEEN ESITTELY

2.1 Rakenne

Opinnäytetyössä tarkasteltava asuinkerrostalo on paikallavalettu/betonielementtirakenteinen. Kuvassa 1 esitetään rakennuksen leikkauskuva. Rakennuksessa on seitsemän kerrosta ja yksi porraskäytävä. Kerrostalon hormit ovat tehdasvalmisteisia hormielementtejä. Rakennuksen kerrosala on 1647 m² ja asuntoja on 36 kpl. Autohalli on tehty alimpaan kerrokseen. Alueelle on porattu piirustusten mukaan edellisen rakennusvaiheen yhteydessä 3 kappalletta maalämpökaivoja. Opinnäytetyötä tehdessä kuitenkin ilmeni, että kahdessa maalämpökaivossa oli kaksi porausreikää vierekkäin eli reikiä tulikin yhteensä viisi.



Kuva 1. Asuinkerrostalon leikkauskuva (Arosuo Arkkitehdit Oy).

2.2 LVI-järjestelmät

Asuinkerrostalossa on kokonaisvaltainen maalämpöjärjestelmä, jolla hoidetaan lämmitys- ja jäähdytyskäyttö. Maalämpöpumppuyksikkö voi toimia kerrallaan ainoastaan lämmitys- tai jäähdytyskäytössä. Rakennuksessa on lämmitys- ja jäähdytysvedelle omat tasaussäiliöt. Huoneistokohtaisesti lämmityksen ja jäähdytyksen käyttö samanaikaisesti on estetty, ettei turhaan kuluteta energiaa. Jäähdytyskäyttö voidaan toteuttaa joko vapaa- tai aktiivijäähdytyksellä. Maalämpökaivoja on viisi kappaletta, ja ne ovat suunnitelmien mukaan 190 m syviä. Kaivojen tarkka todellinen poraussyvyys ei ole tiedossa. Maalämpökeruupiiriin on kytketty nestejäähdytin, joka on käytössä jäähdytyksen aikana, jos kaivojen lauhdutusteho ei muuten tule riittämään.

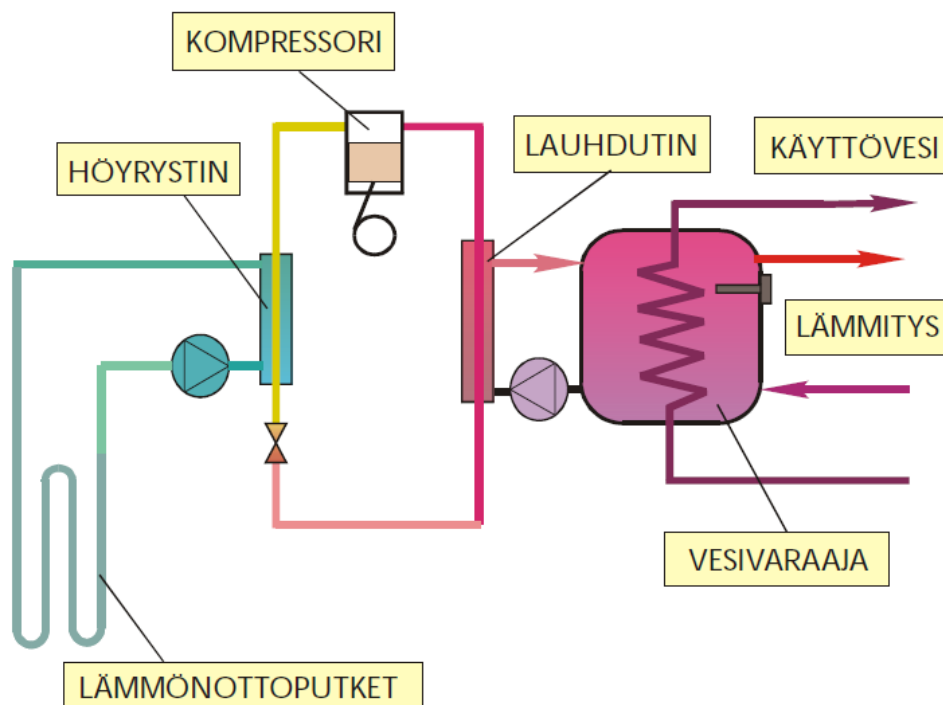
Asuinkerrostalon asuinhuoneiden lämmitys toteutetaan lattialämmityksellä, ja alakerassa sijaitseva autohallin lämmitys on toteutettu patteri- ja puhallinpatterilämmityksellä. Asuintilojen ensisijainen lämmönlähde on maalämpö mutta verkosto on toteutettu siten, että lämmityksenä voidaan käyttää myös kaukolämpöä. Autohalli lämmitetään kaukolämmöllä. Huoneistoissa on puhallinkonvektorit, joilla jäähdytys toteutetaan.

Asunnoissa on huoneistokohtaiset koneelliset ilmanvaihtokoneet. Porraskäytävissä on omat erillispoistot. Lämmin käyttövesi tuotetaan kolmisiirrinkytkenällä, jolloin maalämmöllä esilämmitetään vesi ja kahdella kaukolämmönsiirtimellä nostetaan veden lämpötila haluttuun arvoon.

3 LÄMPÖPUMPPU

3.1 Toimintaperiaate

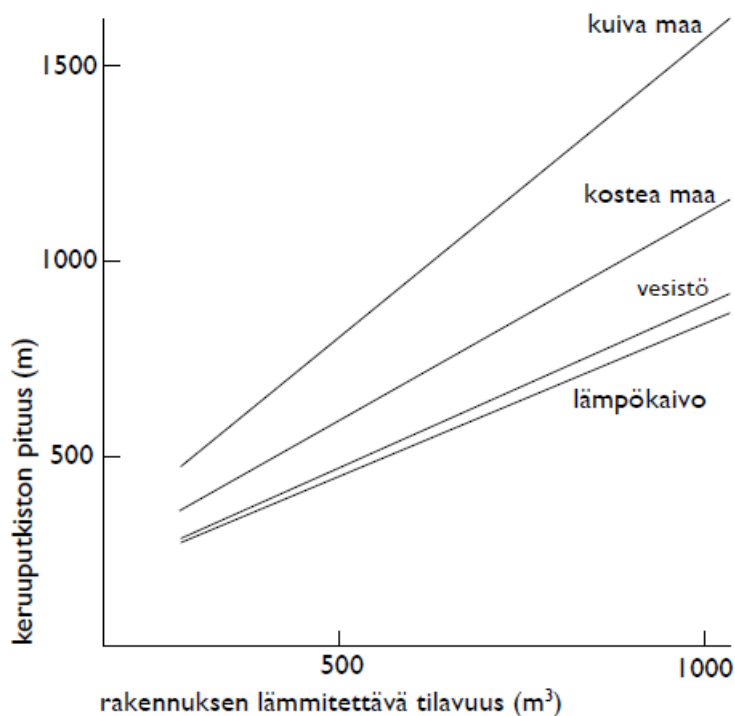
Lämpöpumpun pääkomponentit ovat kompressori, lauhdutin, paisuntaventtiili ja höyrystin. Lämpöpumpun toiminta perustuu kylmäaineen kiertoon laitteistossa. Kylmäaine höyrystyy höyrystimessä, ja höyrystymiseen vaadittavan energian kylmäaine ottaa toisesta väliaineesta esimerkiksi lämpökaivosta kiertävästä liuoksesta, jolloin liuoksen lämpötila laskee. Höyrystimen jälkeen kylmäaine siirtyy kompressorille, joka puristaa höyrystyneen kylmäaineen korkeampaan paineeseen, minkä johdosta sen lämpötila nousee. Lämmennyt ja paineistettu kylmäaine palautuu nesteeksi lauhduttimessa. Lauhtunut kylmäaine luovuttaa energiansa esimerkiksi veteen tai ilmaan käyttötarkoituksesta riippuen. Nesteeksi palautunut kylmäaine menee paisuntaventtiilin läpi, jolloin sen paine alentuu ja kierto alkaa uudelleen. Lämpöpumppu kuluttaa aina myös sähköä johtuen kompressorin tekemästä työstä, joka tuotetaan sähkömoottoreilla. (Aittomäki 2001, 6.) Kuvassa 2 on esitetty maalämpöpumpun toimintaperiaate.



Kuva 2. Maalämpöpumpun toimintaperiaate (Aittomäki 2001, 6).

3.2 Maalämpöpumppu

Maaperään, kallioperään ja vesistöihin kerääntynyttä lämpöenergiaa käytetään hyödyksi maalämpöpumpuilla. Maalämpöjärjestelmä koostuu lämpöpumpusta, keruuputkista ja siirtoputkista. Keruuputki on sijoitettu esimerkiksi lämpökaivoon, jossa piirissä kulkeva liuos luovuttaa/vastaanottaa energiaa riippuen käyttötilanteesta eli käytetäänkö lämpöpumppua jäähdytykseen vai lämmitykseen. Siirtoputkistossa kulkeva neste siirtää energian esimerkiksi rakennuksen lämmitykseen. Maalämpöpumppu soveltuu kokovuotiseen rakennuksen lämmittämiseen, jäähdyttämiseen sekä käyttöveden lämmitykseen. Lämpöpumppu toimii parhaalla hyötysuhteella matalan lämpötilan lämmönjakojärjestelmissä eli esimerkiksi lattialämmityksessä, koska suurempi lämpötilaero lauhduttimen ja höyrystimen välillä kasvattaa kompressorin puristustyötä ja sähkön kulutus kasvaa. Kuvassa 3 nähdään erilaisten maaperien vaikutus keruuputkiston pituuteen. Lämpökaivoissa keruuputkisto on vedessä, jolloin lämmön siirtyminen on hyvä. Siitä johtuen lämpökaivoissa keruuputkiston ei tarvitse olla yhtä pitkä kuin kuivaan maahan sijoitetut putket. (Juvonen & Lapinlampi 2013, 8–11.)



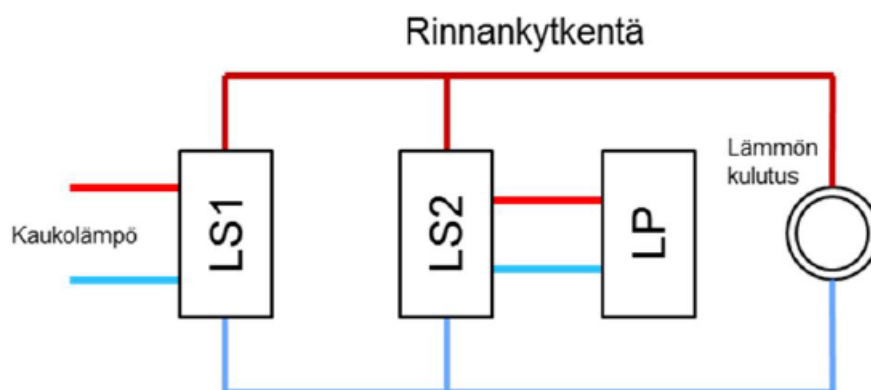
Kuva 3. Keruuputkiston pituus on riippuvainen maaperästä (LVI 11-10332 2002, 4).

4 LÄMPÖPUMPUN JA KAUKOLÄMMÖN HYBRIDIKYTKENTÄ

4.1 Maa- ja kaukolämmön hybridikytkentä

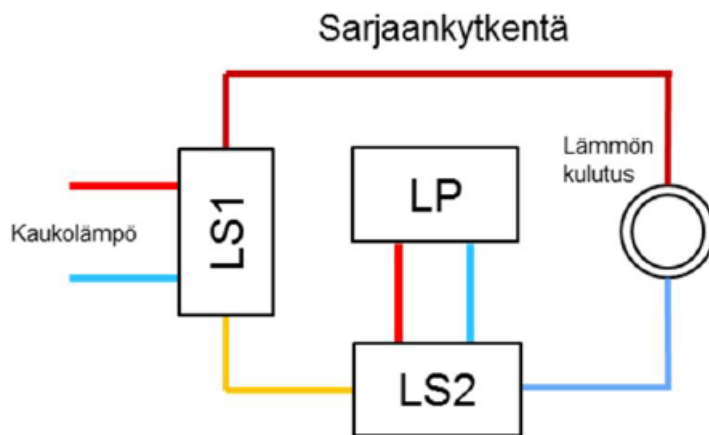
Hybridijärjestelmässä pyritään hyödyntämään kahden lämmönlähteen parhaat puolet ja saamaan kustannussäästöä asiakkaalle. Lämpöpumput toimivat parhaalla hyötysuhteella lämpötilaerojen ollessa pieniä ja siitä johtuen esimerkiksi käyttöveden lämmitys kannattaa tehdä kaukolämmöllä ja lämpöpumpulla vain esilämmittää vesi. Hybridijärjestelmän ohjausautomaattikka on monimutkaisempaa verrattuna yhden lämmönlähteen järjestelmiin. Suunnitteluvaiheessa on tärkeää miettiä oikeanlaiset kytkennät, jotta hybridijärjestelmästä saadaan paras käyttöhyöty irti. (Energiatehokaskoti 2017.)

Lämpöpumppu- ja kaukolämpöjärjestelmän kytkennässä on kaksi päätyyppiä, jotka ovat rinnankytkentä ja sarjaankytkentä. Kuvassa 4 on esitetty yksinkertaistettu kytkentä rinnankytkennästä. Kytkennässä kaukolämmön (LS1) ja lämpöpumpun (LS2) lämmönsiirtimet ovat rinnankytketty, jolloin ne lämmittävät lämpötilaltaan samaa paluupuolen vettä. Lämpöpumpun mitoituksesta riippuen lämmönkulutus voidaan kattaa kokonaan LS2:lla ja tarvittaessa mukaan otetaan LS1. Rinnankytkennässä leikataan kaukolämmön kulutusta mutta ei jäähtymää. (Rämä ym. 2015, 4–5.)



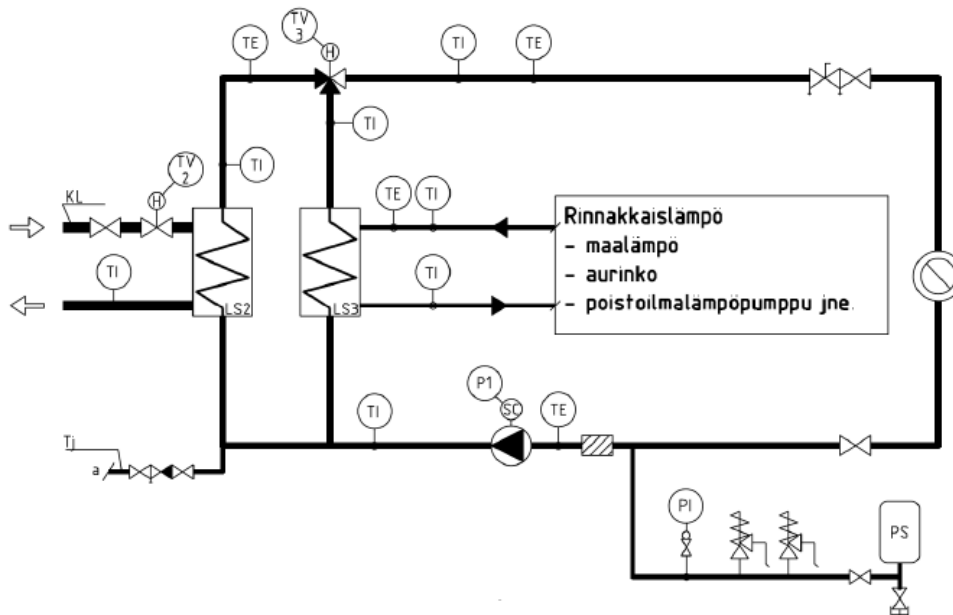
Kuva 4. Yksinkertaistettu kuva kaukolämmön ja lämpöpumpun rinnankytkennästä (Rämä ym. 2015, 4).

Kuvan 5 kytkennässä lämmönsiirtimet ovat kytkettyä sarjaan, jolloin lämpöpumppu toimii palaavan nesteen esilämmittimenä ennen kaukolämmön lämmönsiirintä. Sarjaankytkennässä lämpöpumppu toimii pienellä lämpötilaerolla, joka mahdollistaa sen tehokkaamman käytön. Kytkentä kuitenkin nostaa kaukolämmön paluulämpötilaa. (Rämä ym. 2015, 4–5.)



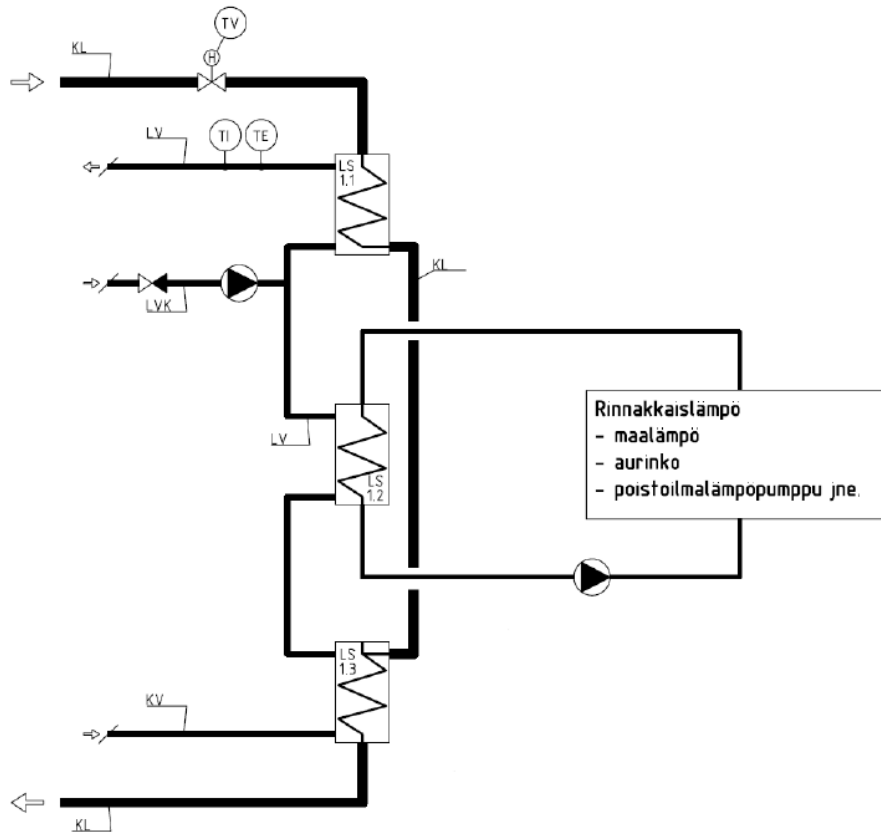
Kuva 5. Yksinkertaistettu kuva kaukolämmön ja maalämmön sarjaankytkennästä (Rämä ym. 2015, 4).

Energiäteollisuuden julkaisussa K1/2013, esitetään esimerkkikytkentä lämpöpumpun ja kaukolämmön yhdistämisestä rakennuksen lämmitysverkkoon. Kyseessä on rinnakkaisytkentä, ja se esitetään kuvassa 6. Kytkennässä on haluttu pitää kaukolämmön jäähtymä hyvänä. Rinnakkaislämmön toimintavarmuuden ja tehokkuudenparantamiseksi voidaan harkita varaajan lisäämistä kytkentäpiiriin. Kytkentäesimerkki on tarkoitettu kohteisiin, joissa ensisijaisena lämmitysmuotona toimii esimerkiksi rakennuskohdainen maalämpöpumppu. Rakennuksessa vaadittava lämmitysteho pyritään siirtämään LS3:lla, joka on kytketty esimerkiksi lämpöpumppuun. Jos LS3 ei pysty vastaamaan vaadittavaan lämmityskuormaan ja menoveden lämpötila alkaa laskemaan silloin lisälämmöntarve otetaan kaukolämmön lämmönsiirtimestä LS2. (Energiäteollisuus ry K1/2013, 82 ja 89.)



Kuva 6. Kaukolämmön ja lämpöpumpun kytkentä tilojen lämmitykseen (Energiateollisuus ry K1/2013, 89).

Energiateollisuuden K1/2013 julkaisussa esitetään esimerkkikytkentä rinnakkaislämmön kytkennästä käyttöveden lämmitykseen. Kuvassa 7 esitetään, miten käyttöveden lämmitys toteutetaan kolmella lämmönsiirtimellä. LS1.1 ja LS1.3 ovat kaukolämmön lämmönsiirtimiä, LS1.2 toimii rinnakkaislämmön lämmönsiirtimenä. Käyttöveden lämpötila pyritään pitämään jatkuvasti halutussa arvossa. Jos rinnakkaislämmön tuotto ei riitä lämmittämään lämmintä käyttövettä, otetaan tarvittava lämmöntarve kaukolämmönsiirtimillä. Kaukolämmön virtaama ohjataan säätöventtiilillä TV. Kaukolämmön lämmönsiirrin LS 1.1 nostaa veden lämpötilan haluttuun ohjearvoonsa ja LS 1.3 toimii kylmän veden esilämmittimenä. Käyttämällä kaukolämmössä kahta siirrintä saadaan parannettua jäähtymää. (Energiateollisuus ry K1/2013, 82 ja 89.)



Kuva 7. Lämpimän käyttöveden lämmitys kolmisiirrinkytkenällä (Energiateollisuus ry K1/2013, 89).

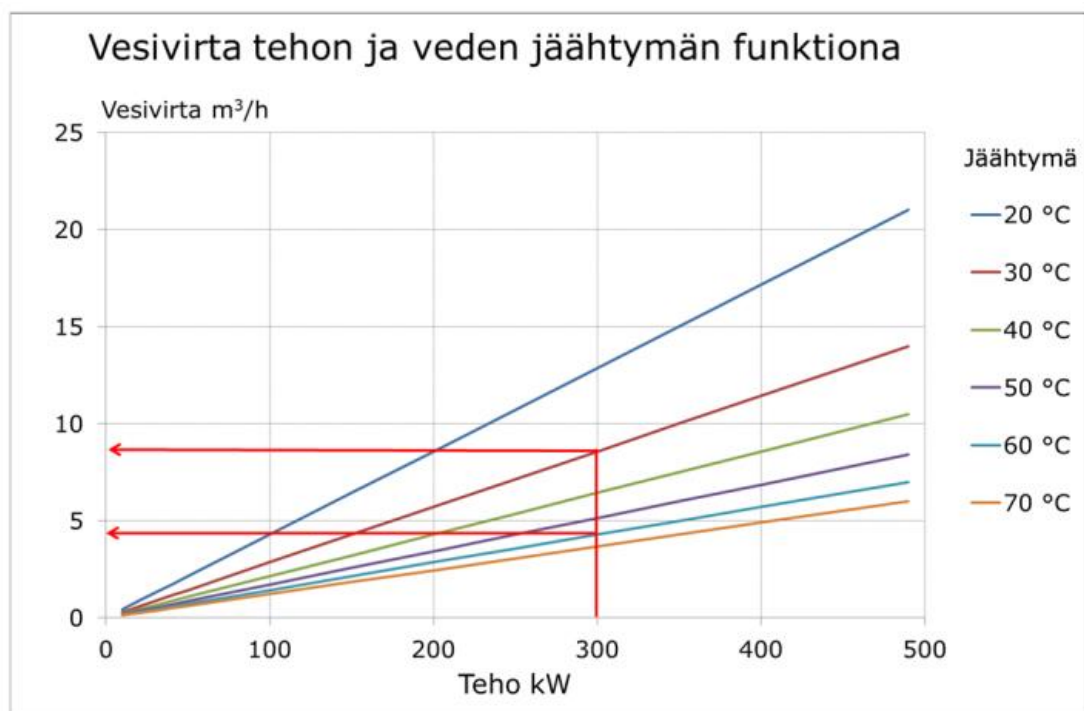
4.2 Hybridikytkenän vaikutukset kaukolämpöön

Hybridilämmitysjärjestelmien vaikutukset rakennuksen tehontarpeeseen vaihtelevat toisistaan, ja kaikki rinnakkaislämmitysjärjestelmät, esimerkiksi aurinkolämmitys, eivät pienennä kaukolämmön enimmäistehontarvetta lainkaan, koska aurinko ei pysty tuottamaan jatkuvaa tehoa koko vuorokautta. Osaa rinnakkaisjärjestelmistä pystytään hyödyntämään myös huipputarpeen aikana. (Energiateollisuus ry K15/2014, 2.)

Kaukolämmön tulo- ja paluueden lämpötilan erotuksella eli jäähtymällä on suuri vaikutus kaukolämmön vesivirtaan. Vesivirran kasvu vaikuttaa kaukolämpöyhtiöiden kustannuksiin seuraavasti:

- Kaukolämpöputket joudutaan mitoittamaan suuremmiksi
- Virtausnopeus kasvaa putkistossa, mikä lisää painehäviöitä ja vaatii pumppaus-tehojen nostoa
- Paluulämpötilan nousu huonontaa kaukolämpötuotannon kokonaistehokkuutta.

Kaukolämpömaksun perustuessa vesivirtaan aiheuttaa pieni jäähtymä kustannuksia asiakkaalle. Hybridijärjestelmä on suunniteltava siten, että kaukolämmön jäähtymä ei huonone olennaisesti kytkennästä. Kuvassa 8 on esitelty kaukolämmön jäähtymän vaikutus vesivirtaan. Kuvasta nähdään, että 300 kW lämpötehoon tarvitaan 60 °C:n jäähtymä ja n. 4 m³/h virtaama, vastaavasti 30 °C:n jäähtymällä saman tehon siirtoon tarvitaan n. 8 m³/h virtaama eli vesimäärä kaksinkertaistuu. Suunnitteluvaiheessa asia on huomioitava ja pyrittävä ratkaisuun, jossa lämpöpumpun ja kaukolämmön toiminta on optimoitu. (Energiateollisuus ry K15/2014, 5 ja 22.)

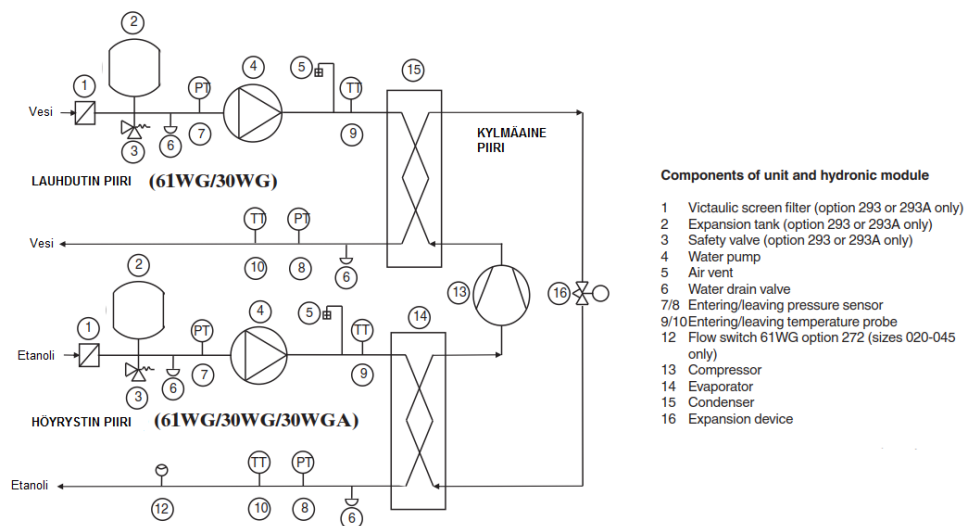


Kuva 8. Vesivirran tehon ja veden jäähtymän funktiona (Energiateollisuus ry K15/2014, 22).

5 MAALÄMPÖJÄRJESTELMÄ KOHTEESSA

5.1 Maalämpöpumppu

Kohteessa on Carrierin maalämpöpumppu 30 WG-060. Lämpöpumpusta on suoritettu mitoitusajot lämmitys- ja jäähdytyskäytölle, jotka on esitetty liitteissä 1 ja 2. Lämpökaivoissa kiertää 30-prosenttinen etanoliliuos ja lämmityspuolella kiertävä neste on vettä. Kylmäaineena lämpöpumpussa käytetään R-410A. Kuvassa 9 on esitetty Carrier-lämpöpumpun kytkentäkaavio. Lauhdutinpiiri siirtää lämmitetyn nesteen tasaajasäiliöön pumpun avulla ja höyrystinpiiri siirtää jäähdytetyn etanoliliuoksen energiakaivoihin. Kylmäainepiiri toimii samalla tavalla kuin on esitetty luvussa 3.1 Toimintaperiaate.

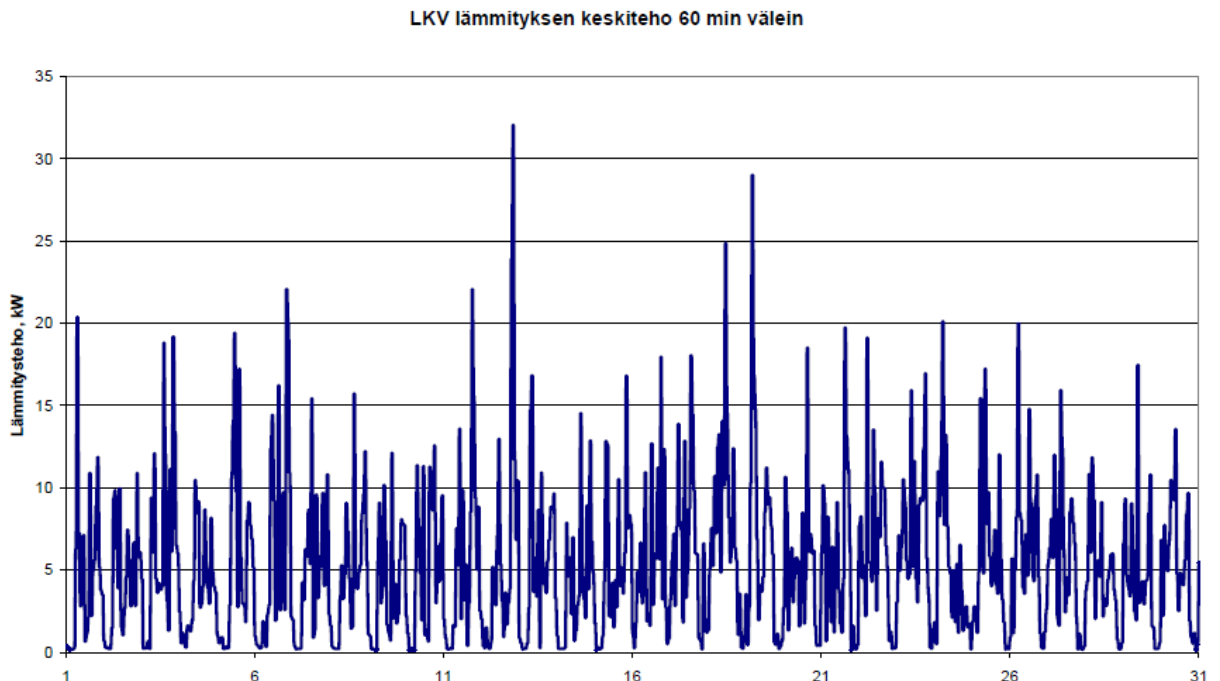


Kuva 9. Rakennuksessa olevan maalämpöpumpun kytkentäkaavio (Carrier).

5.2 Maalämpöpumpun lämmitysteho

Carrierin maalämpöpumpulle on suoritettu mitoitusajo (liite 1). Lämmityskäytöllä lämpöpumpulla pystytään tuottamaan lämmitystehoa 59,8 kW. Maalämpöpumppua käytetään lattialämmitykseen ja lämpimän käyttöveden esilämmitykseen. Lattialämmityksen mitoitusaste on 41 kW, joka on saatu Magicadin Room -mallilla. Käyttöveden esilämmitykseen vaadittavaa tehoa on vaikea arvioida, koska käyttö on hyvin jaksottaista ja se jakautuu tiettyihin kellonaikoihin, jolloin kulutus on suurempaa.

Lämpimän käyttöveden esilämmityksen tehoa voidaan kuitenkin arvioida Koivuniemen (2005) kuvasta 10 (ks. Holopainen ym. 2010, 16). Kuvassa esitetään yhden pienkerrostalon lämpimän käyttöveden lämmityksen keskiteho mitattuna esimerkkikuukautena. Kuvasta nähdään lämmityksen keskitehon olevan hieman yli 5 kW muutamia kulutuspiikkejä huomioimatta. Pienkerrostalossa on mittauksen aikana asunut 41 asukasta. Asukkaita on noin kolmasosa vähemmän kuin tässä opinnäytetyössä tarkasteltavassa kerrostalossa. Arvioidaan myös lämpimän käyttöveden lämmityksen keskitehon kasvavan kolmasosan, jolloin keskimääräinen lämmitysteho n. 7,5 kW. Käyttöveden esilämmitys muodostaa noin puolet tarvittavasta kokonaislämmitystehosta, joten arvioidaan lämpöpumpulla tuotettavan esilämmitettyä käyttövettä 4 kW:n keskiteholla.



Kuva 10. Lämpimän käyttöveden keskimääräinen lämmitystehontarve (Koivuniemi 2005, Holopainen ym. 2010, 16 mukaan).

Lämpöpumpulta vaadittava teho yhteensä:

$$\phi_{\text{lämmitysteho}} = \phi_{LL} + \phi_{LKV},$$

jossa

ϕ_{LL} on rakennuksen lattialämmityksen mitoitusteho

ϕ_{LKV} on rakennuksen lämpimän käyttöveden esilämmityksen teho.

Maalämpöpumpun tarvitsee tuottaa noin 45 kW lämmitysteho.

Maalämpöpumpulta vaaditaan noin 45 kW lämmitysteho, jonka Carrierin maalämpöpumppu pystyy tuottamaan. Lämpöpumpun mitoitusajo (liite 1) on tehty liuospiirin lämpötilojen erotuksen ollessa 4 °C, jolloin kaivoihin menevän liuoksen lämpötila on –2 °C ja palaavan liuoksen lämpötila on +2 °C. Keruuliuoksen keskilämpötilat eivät saisi laskea alle –2,5 °C:n, koska silloin on riskinä energiakaivojen jäätyminen (NIBE maalämpöpumppuopas, 18). Keruupiirissä kulkevan liuoksen mitoitusvirtaama on 3,02 l/s.

Maalämpöpumpulla keruupiiristä saatava teho mitoitusvirtaamalla saadaan laskettua kaavalla:

$$\dot{Q}_{LP \text{ keruupiiri}} = \rho * C_p * q_v * \Delta T,$$

jossa

ρ on etanoliliuoksen tiheys

C_p on etanoliliuoksen ominaislämpökapasiteetti

q_v on etanoliliuoksen mitoitusvirtaama

ΔT on etanoliliuoksen lämpötilan muutos.

Maalämpöpumpulla on mahdollista ottaa maaperästä energiaa huipputehoina 47 kW, jos kallioperä pystyy luovuttamaan tämän energian keruupiiriin. Rakennuksen lämmitykseen saatava teho on keruupiiristä saatava teho summattuna kompressorin sähköllä tuotettuun tehoon. Lämpöpumpun kompressoriteho on 15 kW, joka saadaan mitoitusajosta (liite1).

Maalämpöpumpun lämmitysteho lasketaan kaavalla:

$$\dot{Q}_{LP \text{ lämmitys}} = \dot{Q}_{LP \text{ keruupiiri}} + \dot{Q}_{\text{kompressori}},$$

jossa

$\dot{Q}_{LP \text{ keruupiiri}}$ on keruupiiristä saatava lämmitysteho

$\dot{Q}_{\text{kompressori}}$ on lämpöpumpun kompressorin teho.

Lämpöpumpun lämmitysteho on 62 kW. Tarvittava lämmitysteho on noin 45 kW. Lämmityskäyttöön Carrierin lämpöpumppu on hieman ylimitoitettu, mutta kohteessa määrävänä tekijänä on pidetty jäähdytystehontarvetta, jolloin lämpöpumppu on mitoitettu sen mukaan.

5.3 Maalämpöpumpun jäähdytysteho

Carrierin maalämpöpumpulle on suoritettu jäähdytyskäytölle mitoitusajo (liite 2). Jäähdytyskäytöllä lämpöpumpulla pystytään tuottamaan jäähdytystehoa 62 kW. Kohteen jäähdytystehontarvetta voidaan tarkastella asuintilojen puhallinkonvektorien tehontarpeella. Asuintiloihin on asennettu Chillerin Grand Vari 70 tai 100 -puhallinkonvektorit asunnon koosta riippuen. Puhallinkonvektoreista on tehty mitoitusajot (liite 4 ja 5). Taulukossa 1 on esitelty puhallinkonvektorien määrä ja tehot. Yhteensä puhallinkonvektoreilla pystytään tuottamaan jäähdytystehoa 59,1 kW, joka pitää pystyä tuottamaan maalämpöpumpulla. Jäähdytyskäytön mitoitusilanteessa energiakaivoon menevän ja palaavan liuoksen lämpötilan muutos on 5 °C. Keruupiirin liuos luovuttaa energian energiakaivolle, joka vastaanottaa energian ja varastoi sen maahan. Liuoksen mitoitusvirtaama on täydellä jäähdytysteholla 3,23 l/s.

	kpl	Mitoitusteho (kW)	Yhteensä (kW)
Grand Vari 70	16	1,2	19,2
Grand Vari 100	21	1,9	39,9
			59,1

Taulukko 1. Rakennuksessa olevin puhallinkonvektorien määrä ja tehot asuintiloissa.

Lämpöpumpun jäähdytysteho saadaan kaavalla:

$$\dot{Q}_{\text{jäähdytys}} = \rho * C_p * q_v * \Delta T,$$

jossa

ρ on etanoliliuoksen tiheys

C_p on etanoliliuoksen ominaislämpökapasiteetti

q_v on etanoliliuoksen mitoitusvirtaama

ΔT on etanoliliuoksen lämpötilan muutos.

Lämpöpumpun jäähdystystehoksi saadaan n. 62 kW.

Lämpöpumpun jäähdystysteho on 62 kW, mikä ylittää rakennuksessa vaaditun jäähdystystarpeen. Keruupiiriin paluupuolelle on myös kytketty nestejäähdytin, jos kaivot eivät pysty vastaanottamaan kaikkea lämpöpumpulta tulevaa lämpöenergiaa. Keruupiirin liuoksen lämpötilan ylittäessä sen hetkisen ulkolämpötilan alkaa nestejäähdytin jäähdyttämään liuosta viileämmällä ulkoilmalla.

Lämpöpumpun hyötysuhdetta jäähdystyskäytössä kuvataan EER-luvulla eli kylmäkerrotoimella. Kylmäkerroin muodostuu tuotetun jäähdystystehon ja siihen käytettävän sähkötehon suhteesta. (Ympäristöministeriö 2011, 9.)

$$\varepsilon = \frac{\Phi_{\text{jäähdystys}}}{\Phi_{\text{kompessori}}}$$

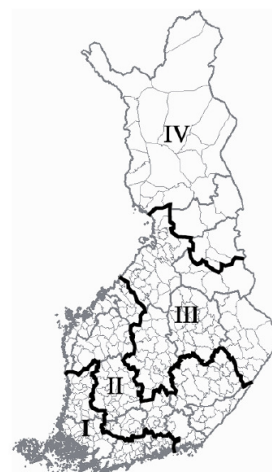
Kylmäkerroimeksi tulee lämpöpumpulaitteiston mitoitustilanteessa 4, mikä on hyvä lukema lämpöpumpulle. Kylmäkerroin antaa laitteen tehokkuuden vain yhdessä mitoitustilanteessa, joten se ei vielä anna varmaa tietoa laitteen todellisesta energiatehokkuudesta käyttötilanteessa (Ympäristöministeriö 2011, 11).

5.4 Energiakaivot

Maalämpöä suunniteltaessa kohteeseen on huomioitava myös energiakaivojen kyky luovuttaa energiaa. Edellisessä osiossa todettiin lämpöpumpun tehon riittävän hyvin tuottamaan vaadittava lämmitysteho. Seuraavaksi tarkastellaan maalämpökaivojen riittävyyttä kohteessa.

Rakennuksessa on 5 kappaletta energiakaivoja, jotka on oletettavasti porattu noin 190 m syvyyteen. Kaivoista saatavaa tehoa voidaan arvioida taulukon 2 avulla. Rakennus sijaitsee Turussa, jolloin taulukkoa luetaan kartalta I. alueelta. Taulukon 2 mukaan lämpökaivosta voidaan ottaa enimmillään noin 42 W/m.

	I alue	II alue	III alue	IV alue
Keskilämpötila, °C sulkeissa D5 2012 tiedot	+5 (5,4)	+4 (4,7)	+2 (3,3)	0 (-0,3)
Mitoittava ulkolämpötila, °C	-26	-29	-32	-38
Lämpökaivo				
kWh/m	150	140	130	120
W/m	42 - 43	38 - 41	34 - 38	30 - 35
Liuksen keskilämpötila, °C	-2,5...+1	-2,5...+1	-2,5...+1	-2,5...+1



Taulukko 2. Lämpökaivojen likimääräiset mitoitus tiedot alueittain (NIBE maalämpöpumppuopas, 18).

Kaivoista saatava lämmitysteho lasketaan kaavalla:

$$\emptyset_{kaivot} = x * L * P,$$

jossa

- x on kaivojen lukumäärä
- L on energiakaivon syvyys
- P on kaivoista saatava teho metriä kohden.

Laskennallisesti energiakaivoista olisi mahdollista saada jatkuvalla teholla 40 kW. Asuintilojen mitoituslämmitysteho oli 41 kW ja lämpimän käyttöveden esilämmitys 4 kW. Maalämmöllä on periaatteessa mahdollista tuottaa vaadittava teho. On huomioitava, että erittäin harvoin Turun seudulla alitetaan mitoitusulkolämpötila -26 °C . Jos maalämmöllä ei pystytä kattamaan lämmitystarvetta tuotetaan loput vaadittavasta energiasta kaukolämmöllä.

Energiakaivoista saatava energia on olennaista tietää suunniteltaessa maalämpöjärjestelmää. Taulukon 2 mukaan energiakaivoista voidaan ottaa energiaa noin 150 kWh/m. Kaivoja on viisi kappaletta, joiden arvioitu syvyys 190 m.

Kaivoista saatava energia lasketaan kaavalla:

$$Q_{kaivo} = x * L * Q,$$

jossa

x on energiakaivojen lukumäärä

L on energiakaivojen syvyys

Q on energiakaivoista saatava energia metriä kohden.

Energiakaivoista voidaan saada energiaa noin 143 MWh.

5.5 Asuintilojen ja lämpimän käyttöveden lämmitysenergiatarve

Maalämpöjärjestelmän toimivuutta suunniteltaessa on tärkeää huomioida järjestelmän energiaperite. Rakennuksen energiaselvityksen on toteuttanut Granlund Oy Riuska-ohjelmalla. Tilojen lämmityksen laskettu lämmitysenergiatarve vuodessa on noin 57 MWh.

Kerrostaloissa keskimääräinen kokonaisvedenkulutus henkilöä kohden on noin 155 l/vrk ja lämpimän veden osuus noin 40 % kokonaisvedenkulutuksesta (Motiva 2017). Tarkasteltavassa asuinkerrostalossa tulee asumaan noin 61 henkilöä asuntojen koon mukaan laskettuna.

Lämpimän vedenkulutus kohteessa vuorokaudessa lasketaan kaavalla:

$$q_{lkv} = x * q_{KV} * 0,4,$$

jossa

x on asukkaiden lukumäärä

q_{KV} on asukkaan kuluttama käyttövesi vuorokaudessa

0,4 on lämpimän käyttöveden prosenttiosuus kylmästä käyttövedestä.

Lämpimän käyttöveden kulutus rakennuksessa vuorokaudessa on noin $3,8 \text{ m}^3$. Oletetaan, että lämpimän käyttöveden esilämmityksessä vesi lämpenee 25 °C .

Lämpimän käyttöveden esilämmitykseen kuluva energia vuorokaudessa lasketaan kaavalla:

$$Q_{lkv} = q_{lvk} * \rho_{vesi} * C_p * \Delta T / 3600,$$

jossa

q_{lkv} on lämpimän käyttöveden kulutus vuorokaudessa

ρ_{vesi} on veden tiheys

C_p on veden ominaislämpökapasiteetti

ΔT on esilämmitetyn ja kylmän veden lämpötilaero

3600 on muuntokerroin kilowattitunneiksi.

Käyttöveden esilämmitykseen kuluu energiaa noin 110 kWh vuorokaudessa, joka on vuodessa yhteensä noin 40 MWh .

Rakennuksen kuluttama energia vuodessa asuintilojen lämmitykseen ja lämpimän käyttöveden esilämmitykseen lasketaan kaavalla:

$$Q_{koko} = Q_{tilat} + Q_{lv},$$

jossa

Q_{tilat} on asuintilojen lämmitykseen kuluva energia

Q_{lv} on lämpimän käyttöveden esilämmitykseen kuluva energia.

Asuintilojen lämmitykseen ja lämpimän käyttöveden esilämmitykseen kuluu noin 97 MWh vuodessa. Tämä energiamäärä on tarkoitus tuottaa maalämmöllä. Edellisessä kappaleessa laskettiin energiakaivoista saatavan laskennallisesti energiaa noin 143 MWh .

Energiakaivot pystyvät kattamaan asuintilojen ja lämpimän käyttöveden energian kuluuksesta:

$$\eta = \frac{Q_{kaivot}}{Q_{koko}} * 100$$

Maalämmön energiapetto on lähes 150 %, joten energiakaivojen pitäisi riittää kattamaan energiankulutus hyvin.

5.6 Järjestelmän kuvaus

Kohdissa 5.7–5.11 käsitellään Optiplan Oy:n suunnittelemaa lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmän kytkentäkaavioita sekä rakennusautomaation toimintaselostuksia. Opinnäytetyössä tarkasteltavassa kohteessa on maa- ja kaukolämpöjärjestelmä. Maalämmöllä on tarkoitus tuottaa ensisijaisesti asuintilojen lattialämmitys ja esilämmittää lämmintä käyttövetä. Kaukolämmöllä lämmitetään rakennuksen patteriverkosto sekä lämmin käyttövesi haluttuun arvoonsa. Lattialämmityspiiriin on kytketty myös kaukolämpösiirrin, joten rakennus on mahdollista lämmittää myös kaukolämmöllä.

Rakennuksessa tarvittava lämmitys- ja jäähdytyskuorma vaihtelee, joten lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmän on pystyttävä vastaamaan muutoksiin. Sen vuoksi maalämpöjärjestelmän toiminta on jaettu eri käyttötiloihin. Käyttötiloilla on omat asetusarvot, venttiiliasennot ja piirilämpötilat. Järjestelmässä on omat tasaussäiliönsä sekä jäähdytykselle että lämmitykselle. Tasaussäiliöiden lämpötilat pidetään asetusarvoissaan valitsemalla oikea käyttötila lämmitys- ja jäähdytystarpeen mukaan. Tasaussäiliöissä on tärkeää pyrkiä ylläpitämään nesteen lämpötilojen kerrostuneisuutta. Maalämpöpumpusta saatava tehokkuus on parhaimmillaan, kun tasaussäiliöstä lähtevän ja palaavan nesteen lämpötilaero on suurimmillaan.

Maalämpöpumppujärjestelmä pyrkii tuottamaan asetusarvon mukaista lämpötilaa säätämällä lämpöpumppuyksikön tehoa. Järjestelmä voi toimia kerrallaan vain lämmitys- tai jäähdytyskäytössä.

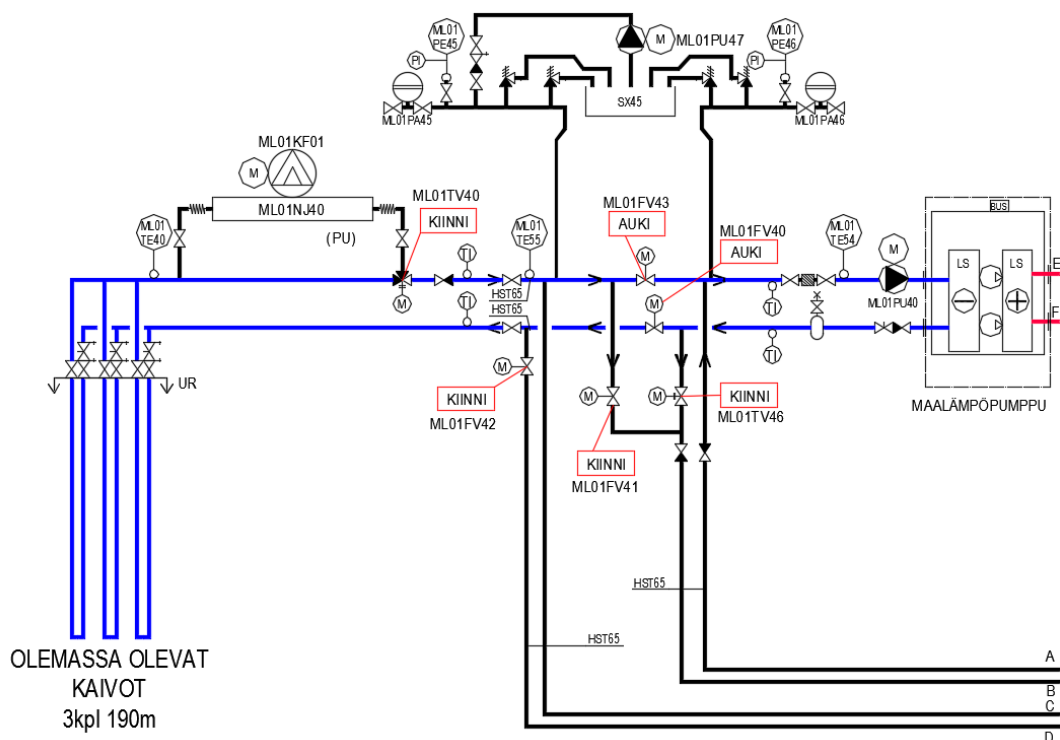
Jäähdytys voidaan toteuttaa maalämpöpumppujärjestelmällä kahdella tavalla: vapaajäähdytyksellä tai aktiivijäähdytyksellä. Aktiivijäähdytykselle siirrytään, kun riittävää jäähdytystehoa ei saavuteta vapaajäähdytyksellä.

5.7 Maalämpöpumpun käyttötilat

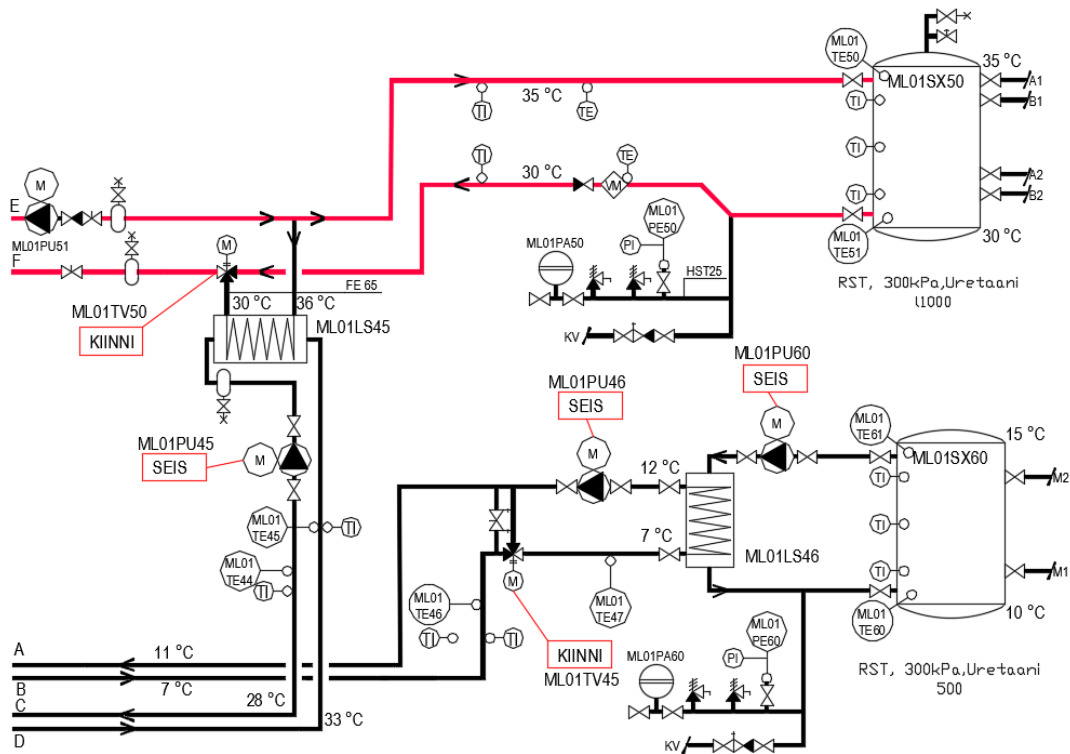
Kuvissa 11–22 on esitetty maalämpöjärjestelmän käyttötilat. Kytkentäkaaviot on jaettu osiin esittämisen helpottamiseksi, ja kytkentöjen jatkumiset seuraaviin kuviin on esitetty kirjaimin esimerkiksi A → A. Käyttötilojen vaihtelevat kiertopiirit on kuvattu eri väreillä: sininen kuvaa keruupiirin liuoksen kulkusuuntaa ja punainen kuvaa lämmityspiirin nesteen kulkusuuntaa.

5.7.1 Lämmityskäyttö

Kuvissa 11 ja 12 rakennuksessa on tarvetta ainoastaan lämmitykselle, jolloin lämpöpumput toimivat lämmityskäytössä. Lämmityksen tasaussäiliön lämpötila pyritään pitämään asetusarvossaan. Tasaussäiliön lämpötila-anturi ML01TE50 lähettää tiedon väylän yli lämpöpumppuyksikölle, joka säätää tehoaan sen mukaan. Lämpöpumpussa lämmennyt neste viedään kaikki lämmityksen tasaussäiliöön ja vastaavasti keruupuolen jäähtynyt liuos viedään lämpökaivoihin.



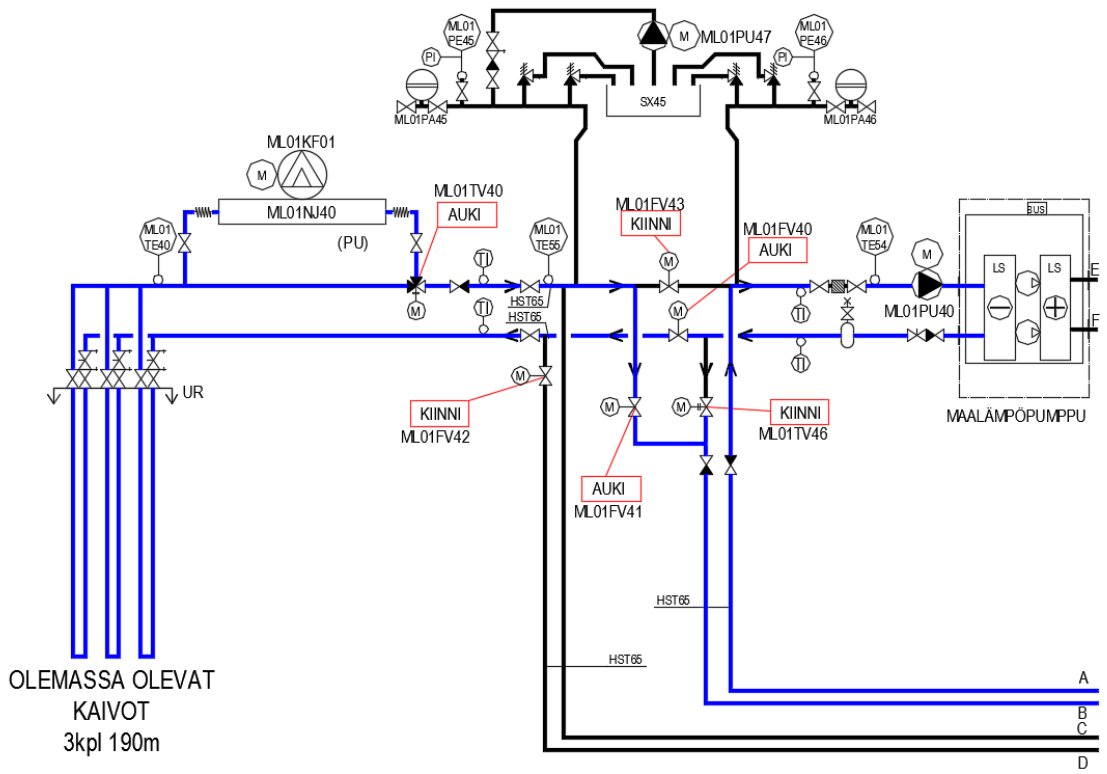
Kuva 11. Lämmityskäyttö osa 1.



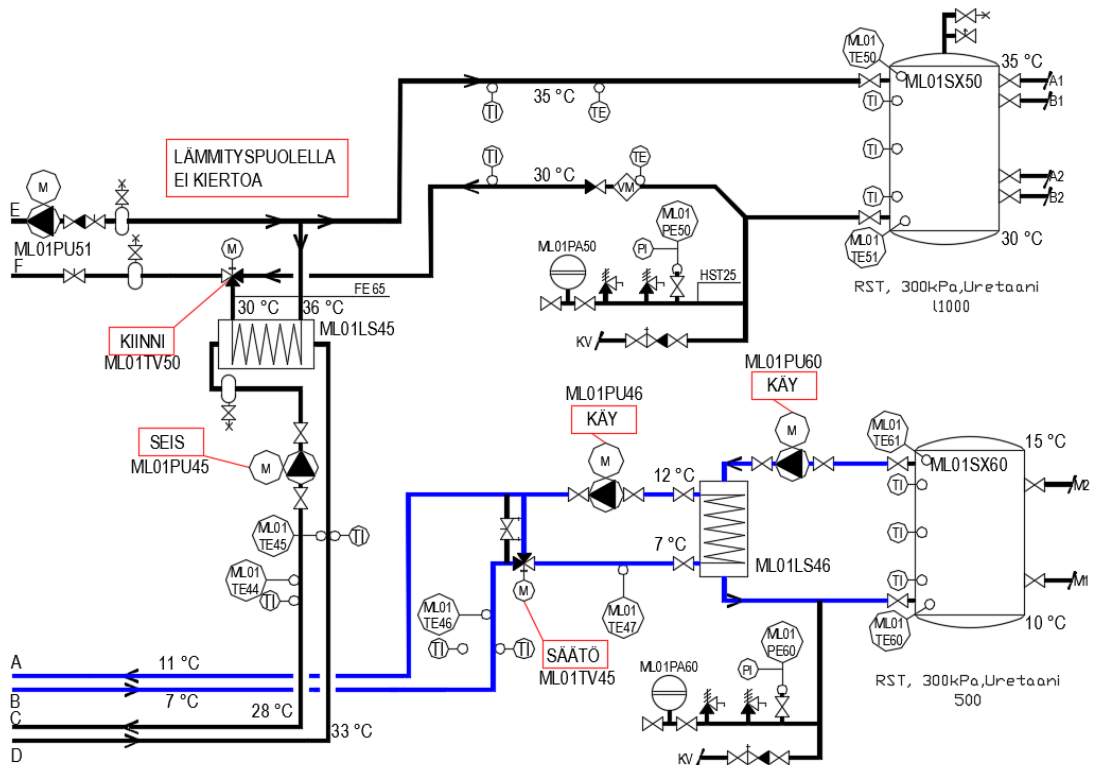
Kuva 12. Lämmityskäyttö osa 2.

5.7.2 Vapaajäähdytyskäyttö

Kuvissa 13 ja 14 rakennuksessa on tarvetta ainoastaan jäähdytykselle mutta lämpöpumput toimivat edelleen lämmityskäytössä. Lämmityksen tasaussäiliö pidetään asetusarvossaan samalla tavalla kuin käyttötilan ollessa lämmityskäytössä. Keruupuolen jäähtynyt liuos kierrätetään lämpökaivojen kautta jäähdytys siirtimelle ML01LS46, joka siirtää jäähdytysenergian tasaussäiliön ML01SX60 piiriin. Tasaussäiliön ML01SX60 lämpötilaa mitataan anturilla ML01TE61, jonka asetusarvo pidetään oikeana säätämällä kolmitieventtiiliä ML01TV45. Vapaajäähdytys on käytössä keruupiirin paluulämpötilan alittaessa raja-arvonsa esim. 7 °C anturissa ML01TE55. Keruupiiriin on kytketty nestejäähdytin ML01NJ40, joka kytkeytyy päälle, jos lämpökaivojen lauhtutusteho ei riitä ja paluunesteen lämpötila ML01TE55 rupeaa nousemaan annetusta asetusarvosta. Nestejäähdyttimellä ei ole käyntilupaa ulkoilmalämpötilan ollessa palaavan liuoksen lämpötilaa korkeampi.



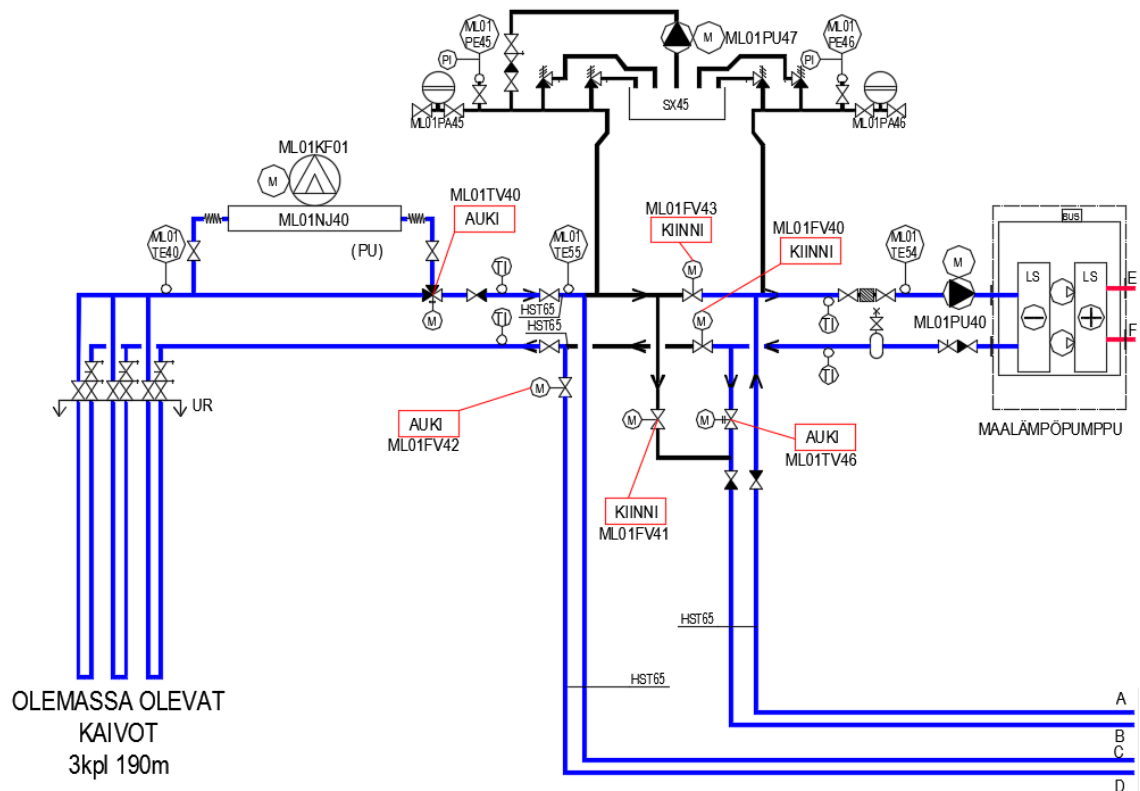
Kuva 13. Vapaajäähdytyskäyttö osa 1.



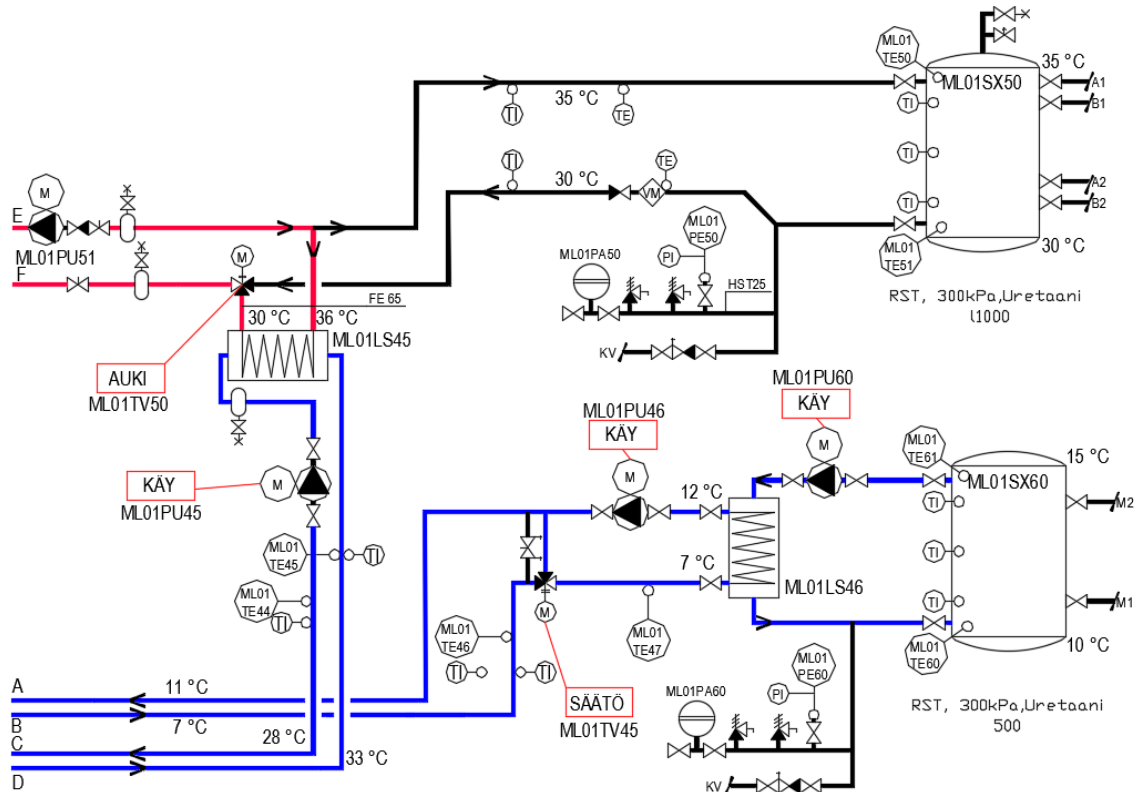
Kuva 14. Vapaajäähdytyskäyttö osa 2.

5.7.3 Aktiivijäähdytyskäyttö

Kuvissa 15 ja 16 rakennuksessa on tarvetta ainoastaan jäähdytykselle eikä vapaajäähdytyksellä pystytä kattamaan jäähdytystarvetta. Liuospiirin lämpötila-anturin ML01TE46 raja-arvo esimerkiksi 9 °C ylittyy, jolloin laitteisto siirtyy aktiivijäähdytykseen. Lämpöpumppu siirtyy jäähdytyskäyttöön, jolloin se pyrkii pitämään jäähdytyssiirtimelle ML01LS46 menevän liuoksen lämpötilan ML01TE46 asetusarvossaan lämpöpumpun tehoa muuttamalla. Keruupuolen jäähtynyt liuos kierrätetään täysin jäähdytyssiirtimellä ML01LS46. Kolmitieventtiilin ML01TV45 asentoa säätämällä saadaan tasaussäiliön lämpötila ML01TE60 asetusarvoonsa. Lämmitystarvetta ei ole, joten lämmennyt neste johdetaan kokonaisuudessaan lämmönsiirtimelle ML01LS45, josta lämpöenergia siirretään takaisin lämpökaivoihin. Nestejäähdyttimellä jäähdytetään paluunestettä kuten vapaajäähdytyskäytössä.



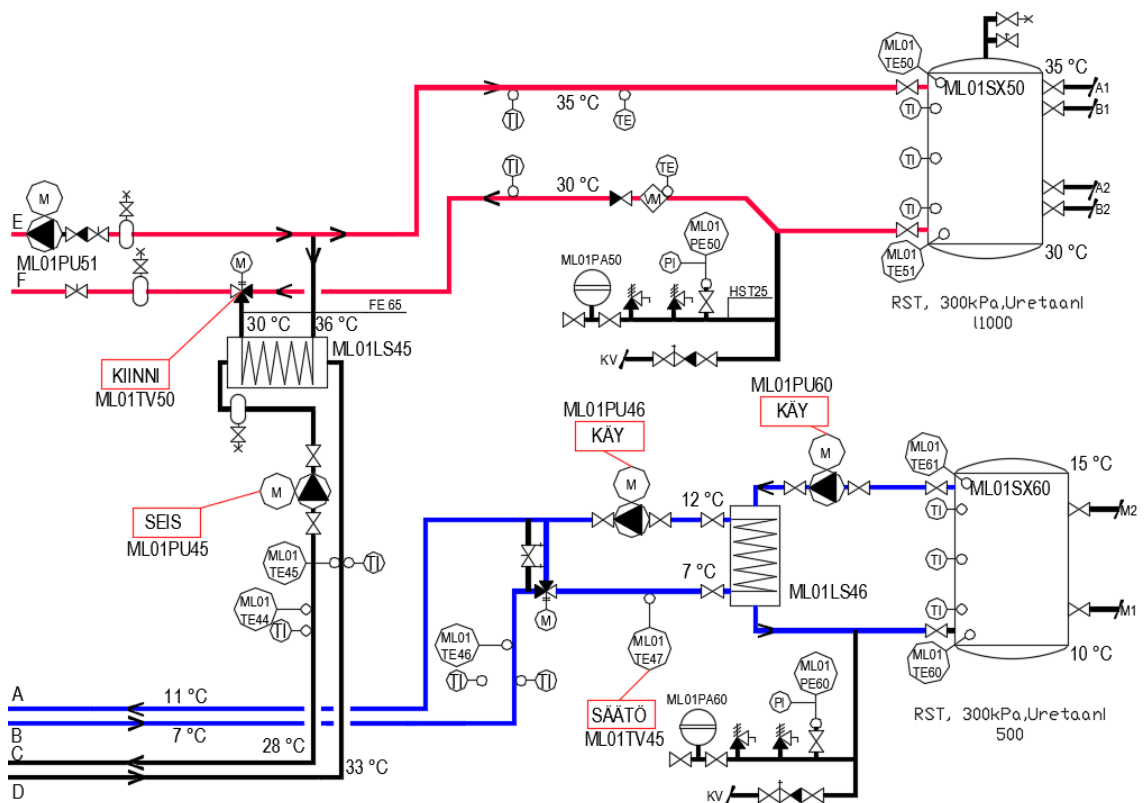
Kuva 15. Aktiivijäähdytyskäyttö osa 1.



Kuva 16. Aktiivijäähdytyskäyttö osa 2.

5.7.4 Lämmitys- ja jäähdytystarve samansuuruinen

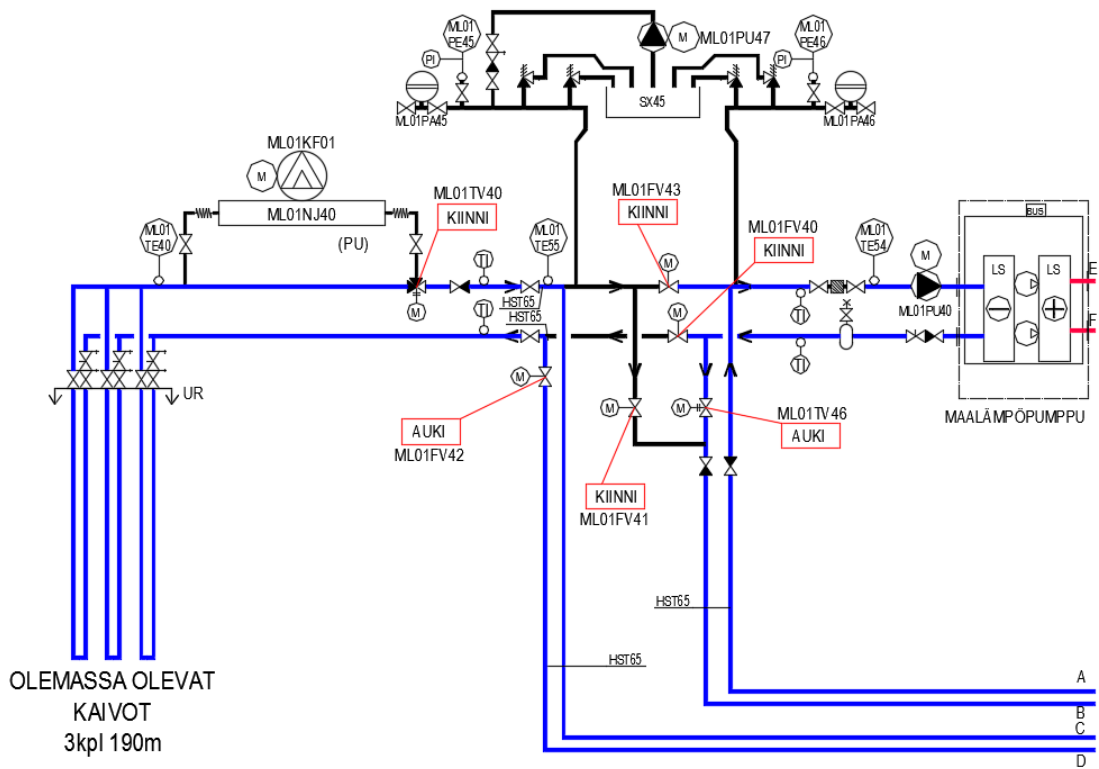
Kuvissa 17 ja 18 rakennuksen lämmitys- ja jäähdytystarve ovat yhtä suuret. Lämpöpumppu on lämmityskäytössä ja ylläpitää tasaussäiliön lämpötilaa ML01TE50 asetusarvoon säättämällä lämpöpumpun tehoa. Lämpöpumpussa lämmennyt neste kierrätetään lämmityksen tasaussäiliössä. Keruupuolella jäähtynyt liuos kierrätetään jäähdytys siirtimelle ML01LS46, jolloin kolmitieventtiiliä ML01TV45 säättämällä saadaan jäähdytyksen tasaussäiliön lämpötila asetusarvoonsa. Liuoksen luovutettua energiansa siirtimelle se palautuu takaisin lämpöpumpulle ja kierros alkaa alusta.



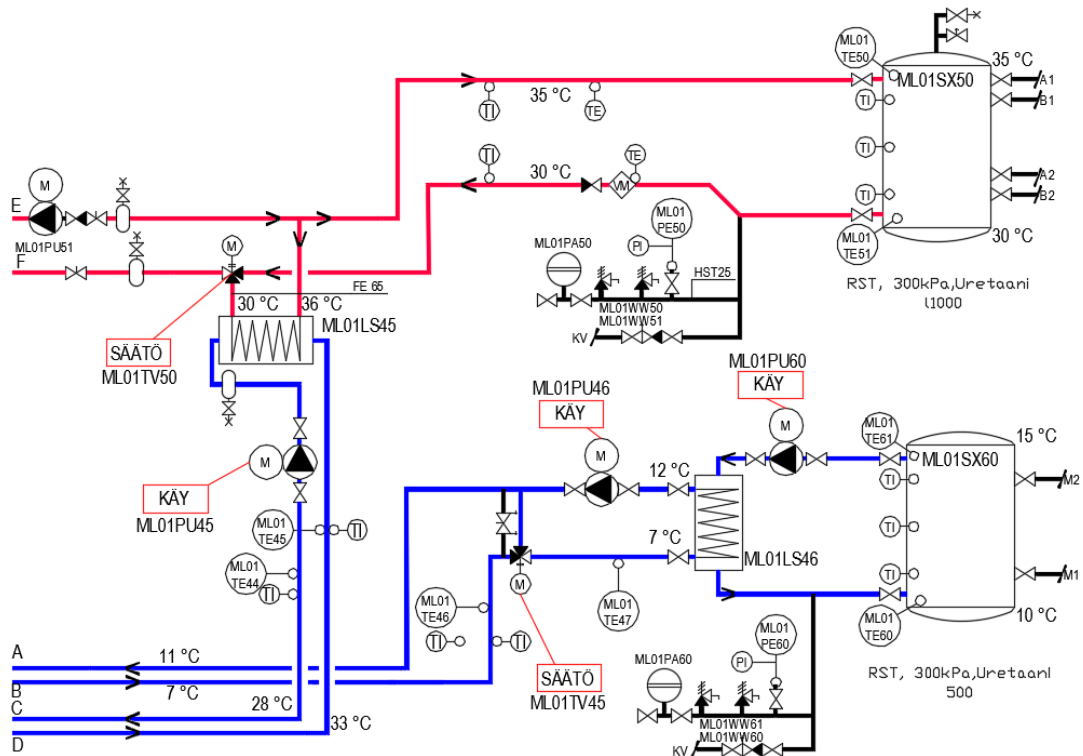
Kuva 20. Lämmitystarve suurempi kuin jäähdytystarve osa 2.

5.7.6 Lämmitystarve pienempi kuin jäähdytystarve

Kuvissa 21 ja 22 rakennuksella on pienempi tarve lämmitykselle kuin jäähdytykselle. Lämpöpumppu siirtyy jäähdytyskäyttöön, jolloin laitteiston teho säädetään pitämään jäähdytetyn liuoksen lämpötila ML01TE46 asetusarvossaan. Keruupiirin jäähtynyt neste ohjataan kokonaan jäähdytys siirtimelle ja kolmitieventtiili ML01TV45 säätyy jäähdytyksen tasaussäiliön lämpötilan asetusarvon mukaan. Lämpöpuolen neste pitää lämmityksen tasaussäiliön lämpötilan asetusarvossaan ja ylimääräinen lämpö johdetaan lämmönsiirtimellä ML01LS45 takaisin lämpökaivoihin. Sääto tapahtuu kolmitieventtiilin ML01TV50 avulla, jonka asentoa säädetään tasaussäiliön lämpötila-anturin ML01TE50 asetusarvon mukaan.



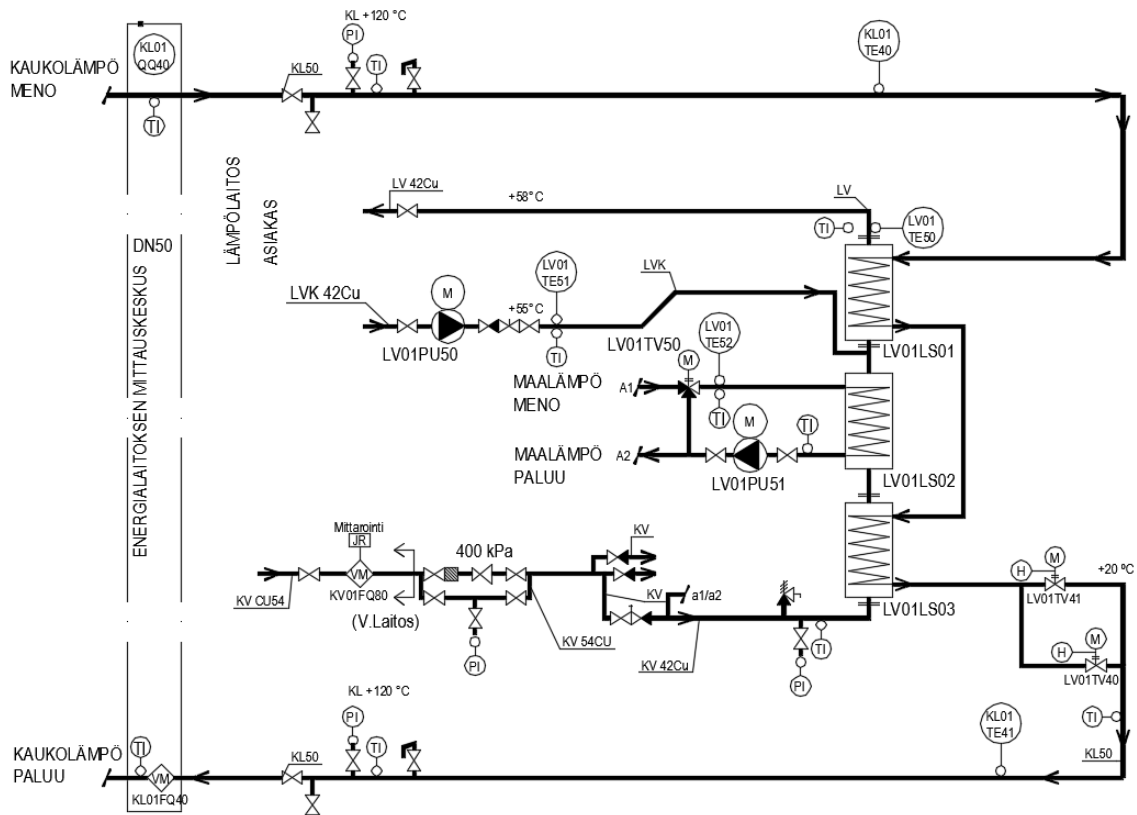
Kuva 21. Lämmitystarve pienempi kuin jäähdytystarve osa 1.



Kuva 22. Lämmitystarve pienempi kuin jäähdytystarve osa 2.

5.8 Lämpimän käyttöveden tuottaminen

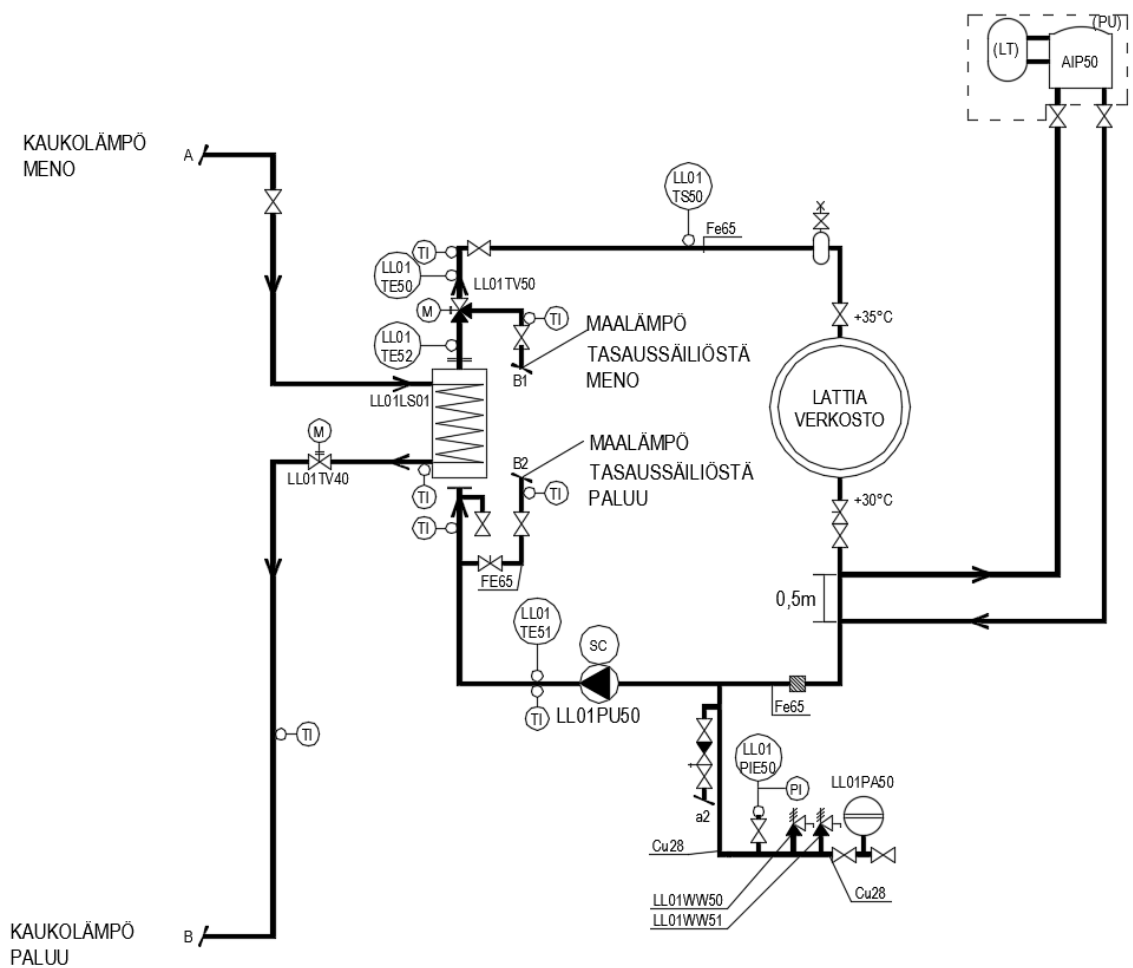
Rakennuksen lämmin käyttövesi tuotetaan kolmisiirrinkytkenällä ja kytkentä on samanlainen kuin energiateollisuuden julkaisemassa K1/2013. Kuvassa 23 on esitetty kohteen kytkentäkaavio. Lämmönsiirrit LS01 ja LS03 on kytketty kaukolämpöpiiriin ja kaukolämpö vastaa suurelta osin käyttöveden lämmityksestä. Maalämmönsiirrin LS02 toimii käyttöveden esilämmittimenä. Lämmönsiirrin LS02 nostaa veden lämpötilan maksimissaan samaan lämpötilaan kuin tasaussäiliössä oleva veden lämpötila on. Kytkeäntä on edullinen maalämpöjärjestelmälle, koska järjestelmä saa toimia jatkuvasti optimilämpötiloilla. Käyttämällä kaukolämpöpiirissä kahta erillistä lämmönsiirrintä saadaan virtaaman jäähtymää kasvatettua. Lämpötila-anturi TE50 mittaa käyttöveden lämpötilaa, joka halutaan pitää halutussa arvossa säätämällä moottoriventtiileitä TV40 ja TV41, jotka säätelevät kaukolämmön virtaamaa. Maalämpöpiirissä olevan kolmitieventtiilin TV50 tarkoituksena on pitää säiliöön palaavan nesteen lämpötila ainoastaan asteen pienempänä, jotta vältetään säiliön lämpötilakerrostuman turha sekoittuminen.



Kuva 23. Lämpimän käyttöveden tuottaminen.

5.9 Lattialämmitys

Kuvassa 24 esitetään rakennuksen lattialämmityksen kytkentäkaavio. Kohteen asuintiloissa lämmitys on toteutettu lattialämmityksellä, jonka lämmönlähteenä toimii ensisijaisesti maalämpö. Vaihtoehtoisesti voidaan myös käyttää kaukolämpöä. Maalämpö ja kaukolämpö on kytketty rinnan, Energiategollisuuden julkaiseman K1/2013 kytkentätavan mukaan. Verkoston menoveden lämpötilaa säädetään kolmitieventtiilillä LL01TV50 ja kaksitieventtiilillä LL01TV40, joita ohjataan lattialämmityksen menoveden ja ulkolämpötilan mittausantureilla.



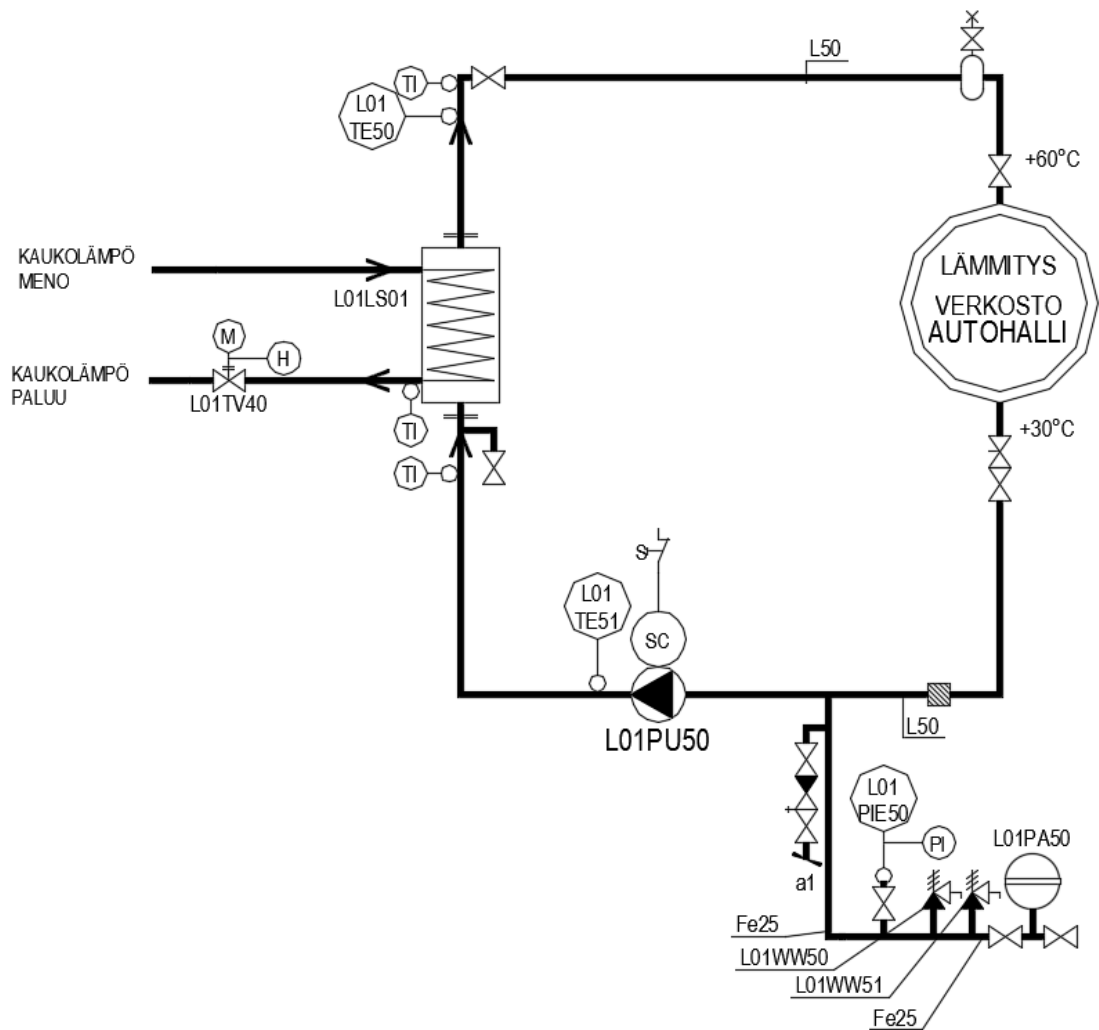
Kuva 24. Lattialämmityksen kytkentä.

Käyttötilanteessa, jossa lämmitys tulee ainoastaan lämpöpumpulta, kaukolämpöpiirin kaksitieventtiili on kiinni ja lämpöä ei siirry lämmönsiirtimellä LS01. Lattialämmityksen menoveden lämpötilaa mitataan anturilla TE50, joka ohjaa kolmitieventtiilin säätöasentoa halutun lämpötilan saamiseksi. Haluttu menoveden lämpötila tulee lattialämmityksen säätökäyrältä, joka on riippuvainen ulkolämpötilasta. Tasaussäiliöstä tulevan lämmitysveden ja lattiapiirin paluuedestä sekoitetaan kolmitieventtiilillä haluttu menoveden lämpötila.

Käyttötilanteessa, jossa lämpöpumpun lämmitysteho ei riitä lattialämmitykseen avataan kaukolämmön kaksitieventtiili TV40 ja otetaan lämmönsiirtimeltä LS01 tarvittava lisälämmitysenergia. Tasaussäiliöstä tulevan lämmitysveden ja kaukolämpösiirtimellä lämmitetystä paluuedestä sekoitetaan kolmitieventtiilillä haluttu menoveden lämpötila.

5.10 Autohallin patterilämmitys

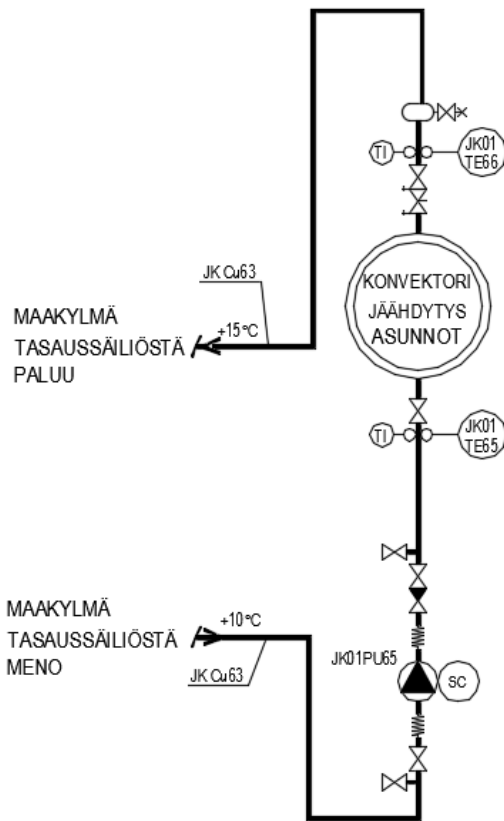
Autohallin lämmitys on toteutettu patteriverkostolla ja lämmitysmuotona toimii kaukolämpö. Kuvassa 25 on esitetty autohallin patterien kytkentäkaavio. Ulko- ja menoveden lämpötilaa mitataan antureilla ja mittaustuloksien perusteella ohjataan kaksitieventtiiliä L01TV40, joka säätää kaukolämmön virtaamaa. Patteripiirin pumppu pyrkii pitämään paine-eron pumpun yli asetusarvossaan taajuusmuuttajalla.



Kuva 25. Patteriverkoston kytkentä.

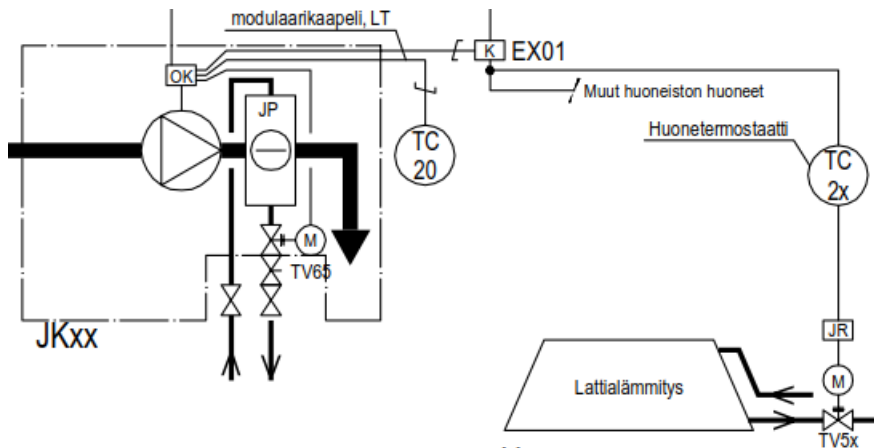
5.11 Jäähdytysverkosto

Kuvassa 26 on esitetty jäähdytyspiirin kytkentä. Kohteen asuintiloihin tuotetaan jäähdytys maakyllällä eli lämpöpumpun höyrystinpuolen jäähtynyt liuos johdetaan lämmönsiirtimellä jäähdytyksen tasaussäiliöön. Pumpulla PU65 kierrätetään maakyllää asuntojen puhallinkonvektoreille. Pumpua ohjataan taajuusmuuttajalla mittaamalla paineroa pumpun yli ja pitämällä erotuksen asetusarvossaan.



Kuva 26. Asuintilojen jäähdytysverkoston kytkentäkaavio.

Kuvassa 27 esitetään lattialämmityksen ja puhallinkonvektorin kytkentä. Puhallinkonvektori pyrkii pitämään huonelämpötilan asetusarvossaan laitteen sisäisellä lämpötilamittauksella. Lämpötilamittauksella ohjataan puhallinkonvektorin käyntinopeutta ja jäähdytysventtiilin TV65 toimintaa, jotta päästään haluttuun lämpötilan asetusarvoon. Huoneissa ei voida samanaikaisesti jäähdyttää puhallinkonvektorilla ja lämmittää lattialämmityksellä. Jäähdytyksen ollessa käytössä kontaktori EX01 katkaisee lattialämmityksen käyttöjännitteen. Kytkennällä varmistetaan laitteiston energiatehokas käyttö.



Kuva 27. Asuintilojen lattialämmityksen ja puhallinkonvektorin kytkentä.

5.12 Lämpökerroin COP

Lämpöpumpun hyötysuhdetta mitataan lämpökertoimella. Lämpökerroin on lämpöpumpusta saatavan lämmitysenergian ja sen kuluttaman sähköenergian suhde. Lämpökertoimeen vaikuttaa suuresti höyrytimen ja lauhduttimen lämpötilat. Lämpötilaeron kasvaessa lämpöpumpun kompressori joutuu puristamaan enemmän, joka kuluttaa sähköenergiaa ja samalla pienentää lämpökeroainta. Siitä johtuen lämmitysjärjestelmä kannattaa suunnitella pienille lämpötilaeroille. (Aittomäki 2001, 7.)

Esimerkkikohteessa lämpöpumpulla tuotetaan sekä lämmitystä että jäähdytystä. Lämpöpumpun lämpökerroin kohteessa saadaan selville seuraamalla sähkönkulutusta ja samalla tuotettua lämmitysenergiaa. Energiamittari mittaa lämminvesivaraajaan menevää virtaamaa sekä meno- ja paluuputken lämpötilaa. Näillä tiedoilla pystytään laskemaan lämpöpumpun tuottama lämpöenergia. Samaan aikaan mitataan lämpöpumpun kompressorien sähköenergian kulutus. Lämpökerroin saadaan laskettua tuotetun lämpöenergian suhteesta kulutettuun sähköenergiaan.

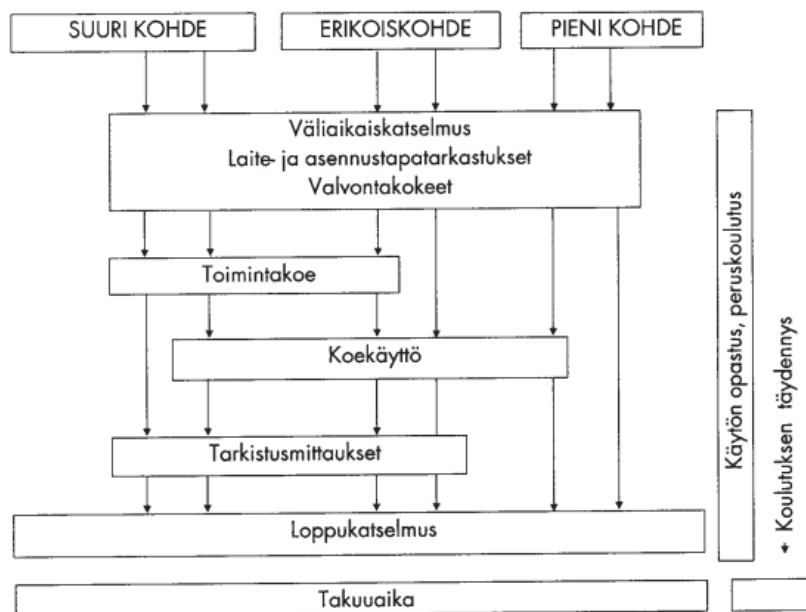
Lämpöpumpun hyötysuhde eli COP-luku saadaan laskettua kaavalla:

$$COP = \frac{\Phi_{LP \text{ lämmitys}}}{\Phi_{\text{kompressori}}}$$

Lämpöpumpun COP on 4. Käyttämällä 1kW sähköä lämpöpumppu pystyy tuottamaan 4 kW lämmitystehoa. COP-luku kuvastaa lämpöpumpun tehokkuutta tietyissä toimintaolosuhteissa, joten se ei ole aina paras tapa vertailla laitteen sopivuutta kohteessa. (www.thermia.fi)

6 MAALÄMPÖJÄRJESTELMÄN KÄYTTÖÖNOTTO JA MITTAUSTULOKSET

Kuvassa 28 on esitelty, miten LVI-laitteiden käyttöönottovaihe etenee kohteen koosta riippuen. Tarkastuksilla ja testauksilla varmistetaan LVI-järjestelmien toiminta luovuttaessa rakennuksen tilaajalle. Tarkastukset antavat myös mahdollisuuden reagoida mahdollisiin ongelmiin ajoissa. Isommilla kohteilla on luonnollisesti hieman enemmän testauksia ja tarkastuksia kuin pienillä kohteilla.



Kuva 28. Kaavio LVI-järjestelmien käyttöönottovaiheesta (LVI 03-40002 1991, 1).

6.1 Toimintakokeet

Toimintakokeet tehdään riittävän ajoissa ennen rakennuskohteen luovuttamista. Kokeilla varmistetaan LVI-järjestelmien toiminta ja mahdollisten epäkohtien huomaaminen ja korjaaminen ennen käyttöönottoa. Toimintakokeilla halutaan myös varmistaa, että kaikki kohteessa työskentelevät eri urakoitsijat pysyvät aikataulussa ja LVI-järjestelmien säädölle jää tarpeeksi aikaa. Toimintakokeissa tarkastetaan asennusten oikeat kytkentätavat. Lisäksi tarkistetaan, että hälytykset, käyntiluvat ja käynnistyshidastukset ovat kytketty oikein ja toimivat. Toimintakokeet suoritetaan, kun kaikki putki-, ilmanvaihto-, sähkö- ja säätölaitetyöt ovat lopullisesti asennettu ja tarvittavat tarkastuk-

set sekä esisäädöt laitteistolle on tehty. Rakennustyöt pitää olla siinä vaiheessa, että konehuoneet, sähkökeskukset ja valvomotilat ovat valmiita ja rakennuksen muissa tiloissa pystytään suorittamaan tarvittavat säätötyöt, kuten esimerkiksi IV-päätelaitteiden säätö. (LVI 03-40002 1991, 3.)

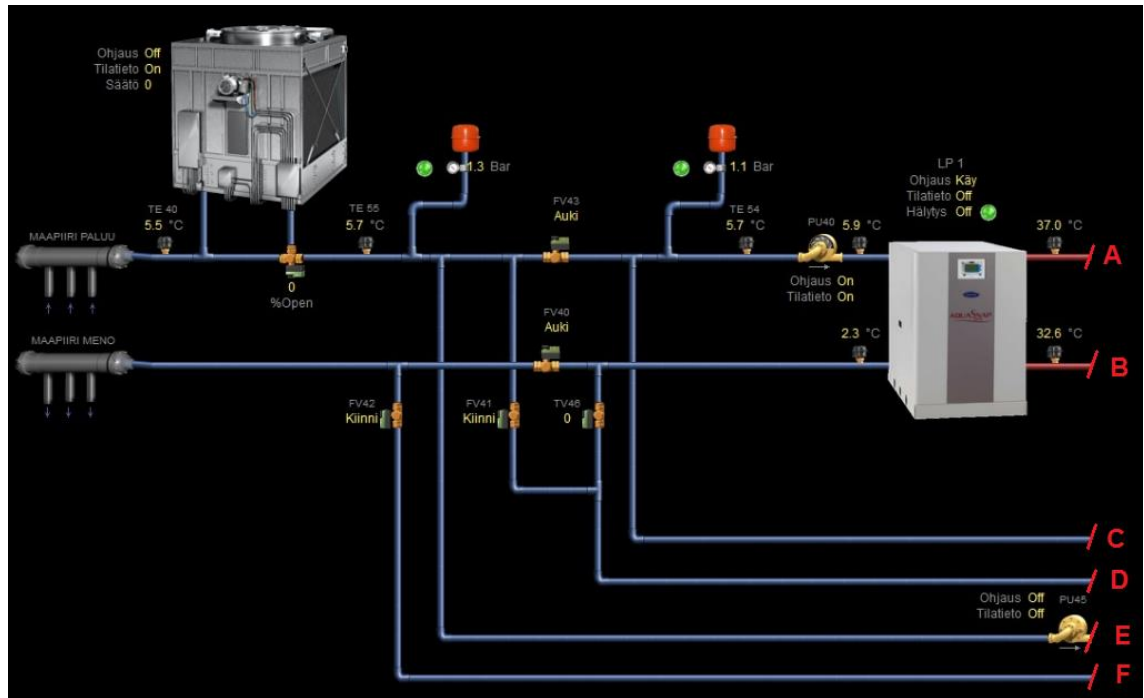
6.2 Maalämpöjärjestelmän toimintakokeet kohteessa

Opinnäytetyössä tarkasteltavaan rakennukseen tehtiin maalämpöjärjestelmän toimintakokeet, kun tarvittavat putki- ja automaatiokytkennät oli tehty. Maalämpölaitteistolla on monta eri käyttötilaa, jolloin moottoriventtiilien asennot ja nestepumppujen käyntitilat vaihtelevat. Maalämpölaitteiston toimintakokeissa testattiin näiden toimilaitteiden oikeanlainen toiminta. Toimintakokeita tehdessä ei ilmennyt ongelmia, joten laitteiston voidaan olettaa toimivan suunnitellulla tavalla.

6.3 Maalämpölaitteisto toiminnassa

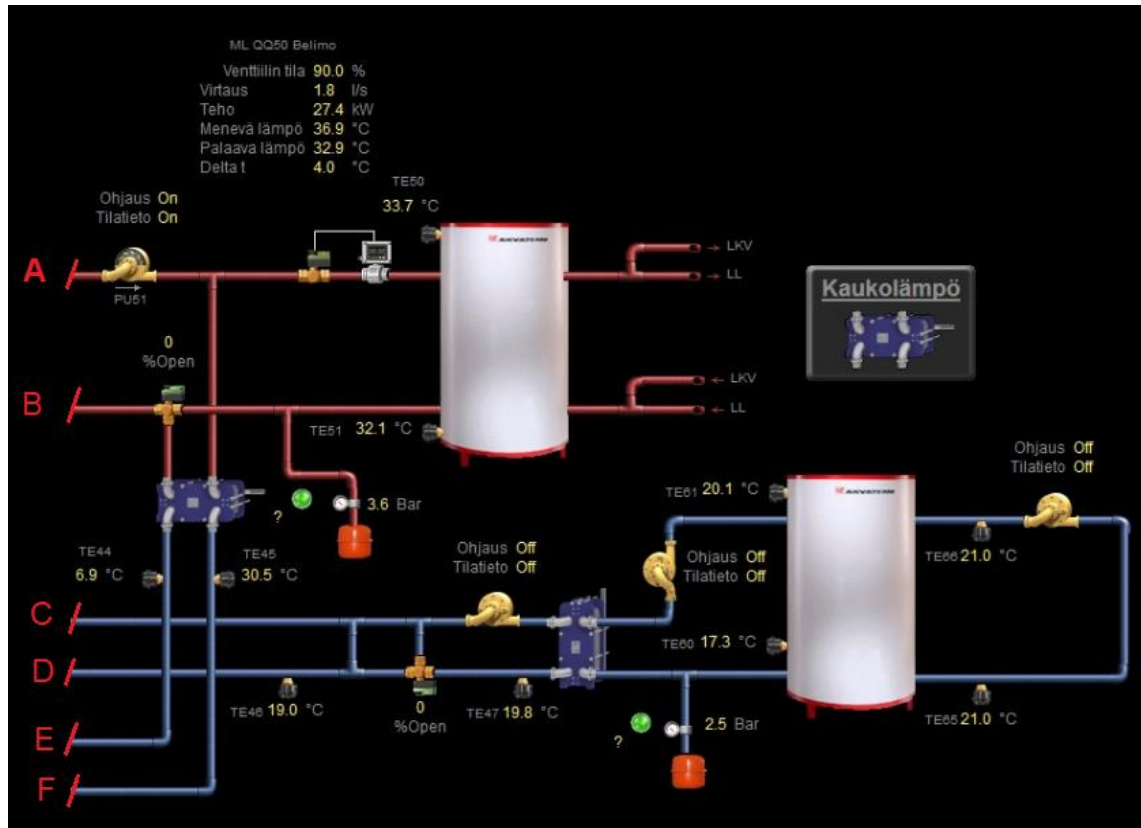
Opinnäytetyössä käsiteltävän rakennuksen LVI-järjestelmien automaatioasennuksen toteutti Turun automaatiokeskus Oy. Kuvissa 29–32 on esitetty Turun Automaatiokeskukselta saatua grafiikkaa kohteen maalämpö- ja kaukolämpöjärjestelmästä. Maalämmön käyttötilana kuvissa on lämmityskäyttö eli jäähdytys ei ole käytössä. Rakennuksessa ei ole mittausdatan aikana ollut vielä asukkaita, joten grafiikka ei vastaa täysin todellista käyttötilannetta.

Kuvassa 29 kuvataan maalämpöjärjestelmän keruupuolta. Venttiilit FV41 ja -42 sekä TV46 ovat kiinni, mikä tarkoittaa, ettei jäähdytysvaraajaan ladata maakylmää. Carrierin nestejäähdytin ei ole käytössä, koska järjestelmä on lämmityskäytössä. Energiakaivoihin menevän nesteen lämpötila on +2,3 °C ja kaivoista palaavan nesteen lämpötila on +5,5 °C. Maaperä luovuttaa energiaa lämpöpumpun käyttöön.



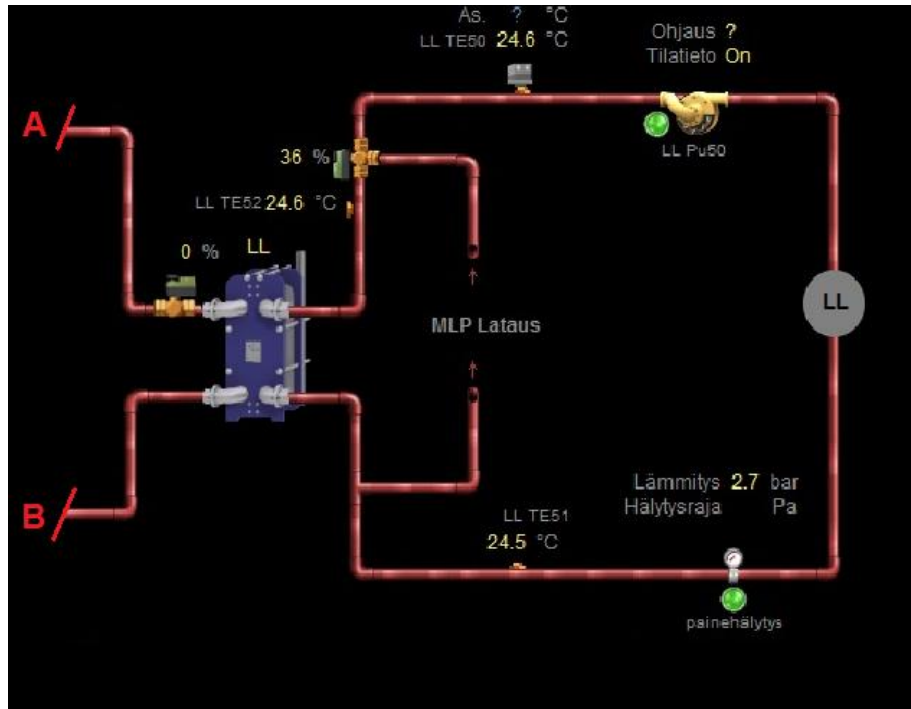
Kuva 29. Maalämpölaitteisto lämmityskäytöllä osa 1 (Turun Automaatiokeskus Oy).

Kuvan 29 kytkennät jatkuvat kuvassa 30. Kuvassa 30 esitetään lämmityksen ja jäähdytyksen varaajasäiliöt ja myös energiamittarin arvot näkyvät. Energiamittarin mukaan lämmitysteho on mittausaikana ollut noin 27 kW. Lämmitysvaraajan lämpötila yläosassa on noin +34 °C ja alaosassa +32 °C. Jäähdytyspuolen nestepumput ovat poissa käytöstä.



Kuva 30. Maalämpölaiteisto lämmityskäytöllä osa 2 (Turun Automaatiokeskus Oy).

Kuvassa 31 esitetään lämpimän käyttöveden tuottamiseen tarkoitettu kolmisiirrinkyt-kenttä sekä autohallin lämmönsiirrin. Lämpimän käyttöveden lämpötila-anturi (TE51) näyttää noin +58 °C, mikä suunnitelmissa on vaadittu. LKV-verkoston vesi palaa +56 °C.



Kuva 32. Lattialämmityspiiri (Turun Automaatiokeskus Oy).

6.4 Maalämpöpiirin mittaustulokset

Maalämpökaivoihin menevän putkiston virtaaman säädön ja mittauksen suoritti Tekno-Innovaatio Oy liite (6). Suunnitteluvaiheessa lähtötietoina oli kolme lämpökaivoa, jolloin yhden kaivon virtaama olisi 1,1 l/s. Lähtötiedot kaivojen määrästä muuttuivat ja todellinen määrä on viisi lämpökaivoa. Keruupiirin kokonaisvirtaama ei lähdetty kasvattamaan, koska kaivojen syvyydestä ei ole tarkempaa tietoa ja pumppu oli jo mitoitettu kolmen kaivon virtaamalle. Kaksi kaivoa on kytketty sarjaan, joten mitattavia ja säädettäviä maalämpöpiirejä on yhteensä neljä. Taulukossa 3 on esitetty saadut virtaamat lämpökaivoille.

Linja	Koko DN	KV-arvo	Suunnitellut arvot		Todelliset arvot	
			Virtaama (l/h)	Virtaama (l/s)	Virtaama (l/h)	Virtaama (l/s)
1	40	22,6	2970	0,83	2455	0,68
2	40	22,6	2970	0,83	2451	0,68
3	40	22,6	2970	0,83	2449	0,68
4	40	22,6	2970	0,83	2453	0,68
Yhteensä:				3,30		2,72

Taulukko 3. Maalämpöpiirin suunnitellut ja todelliset virtaamat.

Suunnitelluista arvoista poiketen maalämpöpiiristä ei saatu täysin haluttua virtaamaa. Linjasäätöventtiilit ovat säädetty mahdollisimman auki ja kiertovesipumput ovat maksimiarvoissa. Taulukosta 3 nähdään, että saatu virtaama on 2,7 l/s, kun suunniteltu on 3,3 l/s. Virtaaman pieneneminen vaikuttaa samassa suhteessa maalämpöpumpun jäähdytys- ja lämmitystehoon.

Todellisen ja suunnitellun virtaaman suhde jäähdytyskäytössä lasketaan kaavalla:

$$\eta_{\text{jäähdytys}} = \frac{q_{\text{todellinen}}}{q_{\text{suunniteltu}}} * 100\%$$

Jäähdytyskäytössä virtaama on 82 % suunnitellusta. Se tarkoittaa, että maalämpöpumpun todellinen jäähdytysteho on noin 51 kW. Mitoitustehontarve on noin 59 kW, joten suunniteltuja arvoja ei täysin saavuteta. On huomioitava, että jäähdytyskäytössä maapiiriin on kytketty myös nestejäähdytin, jonka tarkoituksena on toimia lisjäähdyttimenä, jos kaivojen teho ei siihen yksinään riitä. Energiakaivojen yhdessä nestejäähdyttimen kanssa pitäisi pystyä tuottamaan jäähdytystehoa tarpeeksi pienentyneestä virtaamasta huolimatta.

Maalämpöpumpun mitoittavana tekijänä on ollut jäähdytysteho, joten virtaaman pienemisellä ei ole suurta vaikutusta lämmitystehoon. Maalämpöpumpun lämmityskäytön mitoitusajoissa maapiirin virtaamana on käytetty 3,0 l/s.

Todellisen ja suunnitellun virtaaman suhde lämmityskäytössä lasketaan kaavalla:

$$\eta_{\text{lämmitys}} = \frac{q_{\text{todellinen}}}{q_{\text{suunniteltu}}} * 100\%$$

Lämmityskäytössä virtaama on 90 % suunnitellusta. Se tarkoittaa, että maalämpöpumpun todellinen lämmitysteho on noin 56 kW. Maalämpöpumppu on mitoitettu asuntojen lämmitykseen ja lämpimän käyttöveden esilämmitykseen ja mitoitustehontarve on noin 47 kW. Maapiirin virtaaman pienemisellä ei ole vaikutusta suunniteltuihin mitoitusarvoihin lämmityskäytössä.

Keruupiirin pienempi virtaama johtuu putkiston korkeammista painehäviöistä. Suunnitteluvaiheessa on oletettu painehäviön olevan pienempi. Alkuperäisen suunnitelman mukaan liuospiirin pumpulle on varattu nostokorkeutta 240 kPa ja virtaama on 3,3 l/s. Odotettua korkeampi painehäviö voi johtua sarjaankytketyistä energiakaivoista. Kytkenästä johtuen painehäviö kaksinkertaistuu kyseisessä putkiapiirissä. Lopuissa kolmessa kaivossa on pienempi painehäviö, joten kaivopiirien linjasäätöventtiileillä on

aiheutettava riittävä painehäviö keruupiirin putkiston virtaamien tasapainoon saamiseksi. Tieto kaivojen sarjaankytkennästä tuli vasta rakennusvaiheen loppuvaiheessa, joten siihen ei voitu enää suunnittelussa reagoida.

6.5 Jäähdytyksen mittaustulokset

Jäähdytyksen virtaamat on mitattu puhallinkonvektorien paluuputken linjasäätöventtiilistä. Mittauksen ja säädön suoritti Tekno-Innovaatio Oy. Liitteessä 8 on esitetty mittauspöytäkirja. Taulukossa 4 on esitetty kerroksittain suunnitellut ja todelliset virtaamat. Suunniteltu kokonaisvirtaama on 2,7 l/s ja toteutunut kokonaisvirtaama on 2,68 l/s. Tuloksista voidaan päätellä, että verkoston pumpun mitoittaminen on onnistunut. Jäähdytysverkosto on saatu hyvin tasapainoon, joka mahdollistaa halutun jäähdytystehon jokaiseen asuntoon.

Kerros	Suunnitellut arvot		Todelliset arvot	
	Virtaama (l/h)	Virtaama (l/s)	Virtaama (l/h)	Virtaama (l/s)
2.krs	1792	0,50	1787	0,50
3.krs	1792	0,50	1780	0,49
4.krs	1792	0,50	1760	0,49
5.krs	1792	0,50	1769	0,49
6.krs	1263	0,35	1253	0,35
7.krs	1296	0,36	1283	0,36
Yhteensä:		2,70		2,68

Taulukko 4. Puhallinkonvektorien suunnitellut ja todelliset arvot.

6.6 Lattialämmityksen mittaustulokset

Lattialämmityksen mittauksen ja säädön suoritti Tekno-Innovaatio Oy. Liitteessä 7 on esitetty mittauspöytäkirja. Säätö ja mittaus on suoritettu lattialämmityksen jakotukilta. Taulukossa 5 on esitetty suunnitellut ja toteutuneet virtaamat kerroksittain. Suunniteltu kokonaisvirtaama on 2,61 l/s ja toteutunut 2,60 l/s.

Kerros	Suunnitellut arvot		Todelliset arvot	
	Virtaama (l/h)	Virtaama (l/s)	Virtaama (l/h)	Virtaama (l/s)
2.krs	1636	0,45	1561	0,43
3.krs	1636	0,45	1642	0,46
4.krs	1639	0,46	1626	0,45
5.krs	1639	0,46	1648	0,46
6.krs	1598	0,44	1629	0,45
7.krs	1240	0,34	1250	0,35
Yhteensä:		2,61		2,60

Taulukko 5. Lattialämmityksen suunnitellut ja todelliset arvot.

Virtaamat on saatu säädettyä halutuiksi ja lattialämmitysverkosto on tasapainossa, mikä varmistaa periaatteessa asuintiloissa oikeat lämpötilat. Huomattakoon, että kerrostalon lattialämmityksen säätö ei ole ongelmaton, koska lämpöä siirtyy myös aina välipohjan lävitse alla olevaan kerrokseen. Erityisesti ylimmän kerroksen mitoitus, säätö ja käyttöönotto vaativat erityishuomiota.

7 YHTEENVETO

Tässä työssä tarkasteltiin Optiplan Oy:n suunnittelemaa maalämpöjärjestelmää rakenteilla olevaan asuinkerrostaloon. Tarkoituksena oli tutkia kyseisen rakennuksen lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmää sekä varmistaa laitteiston oikeanlainen toiminta käyttööntoivaiheessa. Laitteiston toimintakokeet suoritettiin opinnäytetyön kirjoittamisen aikana ja ongelmia ei ole ilmennyt tässä vaiheessa. Selkeillä automaatiokuvilla ja työohjeilla on tärkeä merkitys laitteiston oikeanlaisen toiminnan varmistamiseksi. Järjestelmässä on käytössä kuusi eri toiminta-asentoa riippuen rakennuksen käyttötilanteesta. Yhdessä käyttötilassa lämmitys- ja jäähdytystarve ovat samansuuruisia. Tätä käyttötilanetta arvioitiin harvoin tapahtuvaksi, ja sen olisi jopa voinut jättää pois. Maalämpöjärjestelmä on ollut rakennuksessa hetken aikaa käynnissä ja asuintilojen lämmitys on pystytty kattamaan maalämmöllä, kuten suunnitelmissa on haluttu. Hyvällä tehokkuudella toimiva maalämpöjärjestelmä tuo säästöä lämmityskustannuksissa pidemmällä aikavälillä laitteiston hieman korkeammasta hankintahinnasta huolimatta. Etuina voidaan pitää myös maakyilmän hyödyntämistä jäähdytykseen samalla laitteistolla.

Opinnäytetyössä tarkasteltiin myös maalämpö- ja kaukolämpöjärjestelmän yhteistoimintaa. Kaukolämpölaitos haluaa pitää verkoston paluulämpötilan mahdollisen matalana, jolloin kaukolämmön tuottaminen on kustannustehokkaampaa. Energiategollisuus on julkaissut kytkentämalleja käyttöveden ja lämmityksen toteuttamiseen yhdessä rinnakkaislämmön, kuten maalämmön, kanssa. Samantyyliä kytkentöjä on käytetty myös tässä kohteessa, jolloin varmistetaan eri lämmitysmuotojen tehokas yhteistoiminta. Kahden eri lämmitysjärjestelmän yhdistäminen parantaa toimintavarmuutta ja mahdollistaa lämmönlähteiden tehokkaamman käytön. Tarkasteltavassa kohteessa maalämmöllä tarvitsee tuottaa vain lattialämmitykseen +35 °C vettä, joka mahdollistaa kustannustehokkaan käytön. Vastaavasti kaukolämmöllä tuotetaan pääasiassa lämmin käyttövesi ja autohallin patteriverkosto, jotka vaativat huomattavasti korkeampaa lämpötilaa. Hybridikytkentä mahdollistaa järjestelmien paremman optimoinnin mutta samalla lisää suunnittelijan vastuuta toimivan ja kustannustehokkaan järjestelmän luomisesta.

Opinnäytetyötä tehdessä ilmeni, että alkutiedoista poiketen maahan oli porattu viisi energiakaivoa alkuperäisen kolmen sijaan. Lämmitysjärjestelmän suunnitelmat on tehty kolmen energiakaivon mukaan. Kaivoista ei saatu tarkempia poraustietoja johtuen siitä, että kaivot oli porattu aikaisemmassa vaiheessa eri projektissa. Energiakaivojen mää-

rän kasvu oli odottamaton tieto mutta se tarkoittaa myös, että maasta saatavaa ilmaisenergiaa voidaan hyödyntää enemmän kohteessa. Ylimääräiset kaivot päätettiin kytkeä maalämpöpuolen keruupiiriin ja hyödyntää niistä saatava energia.

Saaduista mittaustuloksista voidaan päätellä rakennuksen lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmän toimivan. Lattialämmityksen jakotukeille on saatu suunniteltu virtaama, kuten myös asuntojen puhallinkonvektoreille. Maalämpöpiiristä ei saatu aivan haluttua virtaamaa. Lämmityskäytössä pienemmän virtaaman ei pitäisi tuottaa ongelmia, koska lämpöpumppu oli hieman ylimitoitettu. Maapiirin pienemmästä virtaamasta johtuen jäähdytyskäytössä ei aivan saavuteta suunniteltua mitoitus-tehoa. On kuitenkin muistettava, että maapiiriin on kytketty myös nestejäähdytin, jonka tarkoituksena on jäähdyttää kaivoilta tulevaa liuosta. Nestejäähdytin toimii varajäähdyttimenä, jos kaivoissa kiertävä liuos ei jäähdy tarpeeksi. Kun maapiirin virtaama on hieman suunniteltua pienempi, osallistuu nestejäähdytin suunniteltu enemmän liuksen jäähdyttämiseen. Todennäköisesti lämpöpumpun jäähdytysteho tulee siis olemaan riittävä.

Tehdyistä toimintakokeista päätellen laitteisto toimii, kuten on suunniteltu. Todelliseen testiin maalämpöjärjestelmä pääsee vasta seuraavana talvena, kun sää kylmenee ja rakennuksen lämmitystehot kasvavat.

LÄHTEET

Aittomäki, A. 2001. Lämpöpumppulämmitys, Tampere 2001.

Arosuo Arkkitehdit Oy: Rakennuksen leikkauskuva

Carrier. Installation, operation and maintenance manual. Water-Cooled/Condenserless Liquid Chillers/Water-Sourced Heat Pumps with or without Integrated Hydronic Module.

Energiatehokas koti. Hybridilämmitys. Viitattu: 2.2.2018.

http://www.energiatehokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/lammitys/hybridilammitys

Energiateollisuus ry 2013. Rakennusten kaukolämmitys. Määräykset ja ohjeet. Julkaisu K1/2013. Viitattu: 18.1.2018. Saatavilla sähköisesti osoitteesta:

https://energia.fi/files/502/JulkaistuK1_2013_20140509.pdf

Energiateollisuus ry 2014. Teho ja vesivirta kaukolämmön maksuperusteina. Suositus K15/2014. Viitattu: 26.1.2018. Saatavilla sähköisesti osoitteesta:

https://energia.fi/files/586/Teho_ja_vesivirta_SuositusK15_2014.pdf

Granlund Oy: Rakennuksen energiaselvitys

Holopainen, R, M.; Vares, S.; Ritola, J. & Pulakka, S. 2010. Maalämmön ja -viilennyksen hyödyntäminen asuinkerrostalon lämmityksessä ja jäähdytyksessä. VTT. Viitattu: 23.4.2018. Saatavilla sähköisesti osoitteesta:

<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2010/T2546.pdf>

Huusko, A. Energiakaivokentän mitoituksen periaatteet. Suomen kylmäyhdistys ry, koulutuspäivät 2014.

Juvonen, J. & Lapinlampi, T. 2013. Energiakaivo, Maalämmön hyödyntäminen pientaloissa. Ympäristöopas 2013. Helsinki: Ympäristöministeriö. Saatavina sähköisesti osoitteesta:

https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40953/YO_2013.pdf?sequence=4

Koivuniemi J. Lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaama ja lämpötilakriteerit veden mikrobiologisen laadun kannalta kaukolämpitetyissä asuinrakennuksissa. Diplomityö. TKK Konetekniikan osasto 2005. Mitattu kohde K14

Motiva Oy. Vedenkulutus taloyhtiöissä. Viitattu: 29.1.2018, päivitetty: 22.3.2018
https://www.motiva.fi/koti_ ja_ asuminen/taloyhtiot/energiaeksperttitoiminta/tietoa_ energi an_ ja_ vedenkulutuksesta/vedenkulutus_ taloyhtiossa

NIBE Maalämpöpumppuopas. Viitattu: 30.1.2018
https://www.nibe.fi/Documents/haato_ fi/NIBE%20MLP%20JA%20VPDIM%20OPAS%201137-1.PDF

Optiplan Oy: Tarkasteltavan kohteen lämmitys- jäähdytysjärjestelmän kytkentäkaavio ja rakennusautomaation toimintaselostus.

Rakennustieto 2018. LVI 03-40002 1991 Rakennusten vastaan- ja käyttöönotto.

Rakennustieto 2018. LVI 11-10332 2002. Lämpöpumput.

Rämä, M.; Niemi, R. & Similä, L. 2015. Poistoilmalämpöpumput kaukolämpöjärjestelmässä. VTT. Viitattu: 18.1.2018. Saatavilla sähköisesti osoitteesta:
<http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2015/VTT-CR-00564-15.pdf>

Tekno-Innovaatio Oy: Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien mittauspöytäkirjat

Thermia. Viitattu: 4.5.2018 <http://www.thermia.fi/hyodyllista-tietoa/osta-lampopumppu/lampopumppu-kolme-tekijaa/>

Turun Automaatiokeskus Oy: Automaatiokuvat

Ympäristöministeriö 2011. Jäähdytysjärjestelmien energialaskentaopas. Viitattu: 5.2.2018. Päivitetty: 12.9.2011 Saatavilla sähköisesti osoitteesta:
<http://www.ym.fi/download/noname/%7BB9D6D2F2-A816-4ECF-BE33-B8D56869253D%7D/30752>

Summary Performance Report For Untitled1

Project: ~Untitled1
Prepared By:

11.24.2016
12:57



30WG-060 Water to Water Scroll Chiller

Cooling Mode

Performance Information

Cooling Capacity: 46,1 kW
Cooling Efficiency (EER): 3,10 kW/kW
Seasonal Efficiency (ESEER): 5,47 kW/kW
Seasonal Efficiency (IPLV.IP): 6,74 kW/kW
Heat Capacity To Reject: 59,8 kW
Unit Power Input: 14,88 kW

Evaporator Information

Fluid Type: Ethylene Glycol
Brine Concentration: 30,0 %
Fouling Factor: 0,0000 (sqm-K)/kW
Leaving Temperature: -2,0 °C
Entering Temperature: 2,0 °C

Evaporator Hydraulic Module Information

Type of Control: Constant pressure
Terminals Water Valves: 2-way valves
Ratio of Resistance in Terminals/Total: 0,90
External Static Pressure: 181,2 kPa
Pump Power Input: 1,57 kW
Fluid Flow: 3,02 l/s

Condenser Information

Fluid Type: Fresh Water
Fouling Factor: 0,0000 (sqm-K)/kW
Leaving Temperature: 40,0 °C
Entering Temperature: 30,0 °C

Condenser Hydraulic Module Information

External Static Pressure: 194,2 kPa
Pump Power Input: 1,24 kW
Fluid Flow: 1,44 l/s

Acoustic Information (cooling mode)

Sound Power Level (LwA): 70 dB(A)
Sound Pressure Level at 1,0m (LpA): 54 dB(A)

Unit Information

Manufacturing Source: Montluel, France
Refrigerant: R-410A
Capacity Control Steps: 2
Minimum Capacity: 50 %
Number of Refrigerant Circuit: 1
Operating/Shipping Weight: 516/498 kg
Unit Dimensions (LxWxH): 1474/880/1463 mm

Electrical Information

Unit Voltage: 400(+/-10%)-3-50 V-Ph-Hz
Standby Power: 0,03 kW
Power Factor: 0,82

Amps (Un)	Electrical Circuit 1	Electrical Circuit 2
Maximum Current In (A):	40	None
Start Up Current (A)	168	None
Current at Eurovent	36	None
Conditions (A)		

Accessories and Installed Options

Opt. 70F External Switch
Opt. 148C CCN to Bac-Net Gateway
Opt. 257 + Opt. 258 : Low Noise + Very Low Noise
Opt. 116V Evap Variable speed single pump HP
Opt. 270V Cond Variable speed single pump HP
Opt. 267 Cond connections (to be welded)
Opt. 266 Evap smooth connections (to be welded)
Opt. 6 Low brine

All performances are compliant with EN14511 – 3 : 2013. Sound power level according to ISO9614 – 1.



CARRIER participates in the ECP program for Liquid Chilling Packages and Hydronic Heat Pumps. Check ongoing validity of certificate: www.eurovent-certification.com.

Outside the scope of AHRI Water-Cooled Water-Chilling and Heat Pump Water-Heating Packages Certification Program, but is rated in accordance with AHRI Standard 550/590 (I-P) and AHRI Standard 551/591 (SI).

Summary Performance Report For Untitled1

Project: ~Untitled1
Prepared By:

11.24.2016
12:55



30WG-060 Water to Water Scroll Chiller

Cooling Mode

Performance Information

Cooling Capacity: 62,1 kW
Cooling Efficiency (EER): 4,03 kW/kW
Seasonal Efficiency (ESEER): 5,47 kW/kW
Heat Capacity To Reject: 76,4 kW
Unit Power Input: 15,40 kW

Evaporator Information

Fluid Type: Ethylene Glycol
Brine Concentration: 30,0 %
Fouling Factor: 0,0000 (sqm-K)/kW
Leaving Temperature: 7,0 °C
Entering Temperature: 12,0 °C

Evaporator Hydraulic Module Information

Type of Control: Constant pressure
Terminals Water Valves: 2-way valves
Ratio of Resistance in Terminals/Total: 0,90
External Static Pressure: 178,4 kPa
Pump Power Input: 1,59 kW
Fluid Flow: 3,23 l/s

Condenser Information

Fluid Type: Fresh Water
Fouling Factor: 0,0000 (sqm-K)/kW
Leaving Temperature: 40,0 °C
Entering Temperature: 30,0 °C

Condenser Hydraulic Module Information

External Static Pressure: 189,9 kPa
Pump Power Input: 1,30 kW
Fluid Flow: 1,84 l/s

Acoustic Information (cooling mode)

Sound Power Level (LwA): 70 dB(A)
Sound Pressure Level at 1,0m (LpA): 54 dB(A)

Unit Information

Manufacturing Source: Montluel, France
Refrigerant: R-410A
Capacity Control Steps: 2
Minimum Capacity: 50 %
Number of Refrigerant Circuit: 1
Operating/Shipping Weight: 516/498 kg
Unit Dimensions (LxWxH): 1474/880/1463 mm

Electrical Information

Unit Voltage: 400(+/-10%)-3-50 V-Ph-Hz
Standby Power: 0,03 kW
Power Factor: 0,82

Amps (Un)	Electrical Circuit 1	Electrical Circuit 2
Maximum Current In (A):	49	None
Start Up Current (A)	168	None
Current at Eurovent Conditions (A)	36	None

Accessories and Installed Options

Opt. 70F External Switch
Opt. 148C CCN to Bac-Net Gateway
Opt. 257 + Opt. 258 : Low Noise + Very Low Noise
Opt. 116V Evap Variable speed single pump HP
Opt. 270V Cond Variable speed single pump HP
Opt. 267 Cond connections (to be welded)
Opt. 266 Evap smooth connections (to be welded)
Opt. 6 Low brine

All performances are compliant with EN14511 – 3 : 2013. Sound power level according to ISO9614 – 1.



CARRIER participates in the ECP program for Liquid Chilling Packages and Hydronic Heat Pumps. Check ongoing validity of certificate: www.eurovent-certification.com.

Outside the scope of AHRI Water-Cooled Water-Chilling and Heat Pump Water-Heating Packages Certification Program, but is rated in accordance with AHRI Standard 550/590 (H-P) and AHRI Standard 551/591 (S1).

CarrierCARRIER Oy Puh. 09-613 131
Fax 09-6131 3500

Tulostettu: 24.11.2016 13:01:03

FincoilSelect v C4 Sr 113 / LC-1 3 (31-Dec-2014)

NESTEJÄÄHDYTTIMEN VALINTA**Valittu laite: 09GHCA-20-1 09-10-9-V -11-1R1 1/2**

Hinta: -

Jäähdytettävä neste:Etyleeniglykoli-vesi
- seossuhde: 30 %**Suoritusarvot**

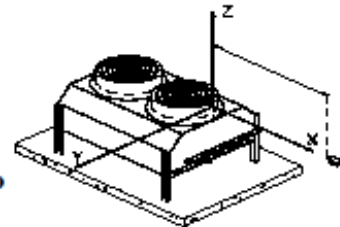
Suure:	Tavoite:	Totetutunut:
Jäähdytysteho:	35,0 kW	38,5 kW
Tuleva neste:	42,0 °C	42,0 °C
Lähtevä neste:	36,0 °C	35,8 °C
Nestevirta:		1,60 l/s
Painehäviö:	< 100 kPa	36 kPa
Tuleva ilma:		30,0°C / 60 %
Lähtevä ilma:		37,0°C / 41 %

Puhaltimet

Ilmavirta: 4,82 m³/s (kok.-ilmamäärä)
 Sijoitus: 1 x 1 kpl
 Halkaisija: Ø911 mm
 Pyörimisnopeus: 563 rpm
 Nim. ottoteho: 0,91 kW/kpl (+20°C)
 Ottoteho: 0,86 kW/kpl (käyttötilanteessa)
 Max. virta: 2,9 A (-30°C)
 Verkko: 3/400V/50Hz

Äänitiedot

Tavoitetaso: 60 dB(A)							
Painetaso: 46 dB(A)							
Havaintopiste: (10, 0, 0) m							
Eurovent (EN 13487): 47 dB(A)							
125	250	500	1000	2000	4000	8000	[Hz]
48	44	45	42	34	30	28	[dB] painetaso
73	71	75	75	71	65	58	[dB] tehotaso

**Mittatiedot**

Pituus: ~2000 mm	Pinta-ala: 160 m ²	Yhdekoko: R1 1/2
Leveys: 1630 mm	Sisätilavuus: 30 dm ³	Vesisuutin: Ei
Korkeus: 1650 mm	Nettopaino: 240 kg	
Lamellijako: 2.3 mm	Pakkauksen tilavuus: 5.7 m ³	

Muut tiedot: (katso symbolien merkitykset esitteestä)

Päämitat [mm]:	Kiinnitysmitat [mm]:	Energialuokka: D
B = 1630	Kiinnityspist. 4 kpl	
B1 = 1150	C = 1400	
H = 1650	C1 = 1400	
H1 = 1630	C2 = -	
L = 2000	C3 = -	
	E = 1590	
	E1 = 1150	





23/11/2016

Asiakas:
Kohde:
Tunnus:

Valinnan laskija: Jukka Mentula

Puhallinpatteri GrandVari

Valinta: Grand Vari-100-H-3-CV2-C2.5-C1O-KP0-P0-T5

Suoritusarvot	Piste 1	Piste 2	Piste 3	
Ilmamaara	0,101	0,114	0,128	m ³ /s
Jaahdytys				
Teho	1,77	1,94	2,10	kW
Tuntuva teho	1,58	1,73	1,87	kW
Patterille tuleva ilma		25,0 / 50		°C/%
Neste virtaama (vesi)		0,093		l/s
Nesteen lämpötila tuleva		10,0		°C
Nesteen lämpötila lähteva	14,6	15,0	15,4	°C
Nestepuolen painehäviö (lämmönsiirrin)		5,7		kPa
Säätöventtiilin painehäviö		1,8		kPa
Sähkötiedot (puhallin)				
Liitäntä		230-50-1		V/Hz/Ph
Tehonkäyttö	12,7	16,6	22,6	W
Maksimiteho		60,0		W
Maksimivirta		0,50		A
Mittatiedot				
Paino		52,0		kg
Pituus x leveys x korkeus		690 x 1000 x 250		mm
Ääni				
Tehotaso $L_{W(A)}$	37,0	40,0	43,0	dB(A)
Painetaso 10 m ² Sabine $L_{P(A)}$	33,0	36,0	39,0	dB(A)
Painetaso 100 m ³ tila ¹ $L_{P(A)}$	28,0	31,0	34,0	dB(A)
Lisävarusteet				
CV2 Jaähdytyksen 2-tiesäätöventtiili kvs 2,5 24 V toimilaitteella (C1O) 5 W 0,02 A				
KP0 Ei kondenssipumpua				
P0 Ei kytkentäkaapelia tai turvakytintä				
T5 Säädin VariTec300				

TEKNINEN VALINTA

Chiller Oy pidättää oikeuden muutoksiin

¹0,5 s jälkikaivunta-aika

► Innovative cooling, heating and energy solutions

www.chiller.fi



23/11/2016

Asiakas:
Kohde:
Tunnus:

Valinnan laskija: Jukka Mentula

Puhallinpatteri GrandVari

Valinta: Grand Vari-70-M-2-CV2-C2.5-C10-KP0-P0-T5

Suoritusarvot	Piste 1	Piste 2	Piste 3	
Ilmamaara	0,064	0,072	0,080	m ³ /s
Jaahdytys				
Teho	1,11	1,21	1,31	kW
Tuntuva teho	0,99	1,08	1,17	kW
Patterille tuleva ilma		25,0 / 50		°C/%
Neste virtaama (vesi)		0,058		l/s
Nesteen lämpötila tuleva		10,0		°C
Nesteen lämpötila lähteva	14,6	15,0	15,4	°C
Nestepuolen painehäviö (lämmönsiirrin)		5,0		kPa
Saatöventtiilin painehäviö		0,7		kPa
Sähkötiedot (puhallin)				
Liitäntä		230-50-1		V/Hz/Ph
Tehonkäyttö	12,3	15,8	20,6	W
Maksimiteho		55,0		W
Maksimivirta		0,50		A
Mittatiedot				
Paino		37,0		kg
Pituus x leveys x korkeus		690 x 700 x 250		mm
Aani				
Tehotaso L _{W(A)}	38,0	41,0	44,0	dB(A)
Painetaso 10 m ² Sabine L _{P(A)}	34,0	37,0	40,0	dB(A)
Painetaso 100 m ³ tila ¹ L _{P(A)}	29,0	32,0	35,0	dB(A)
Lisävarusteet				
CV2 Jaahdytyksen 2-tiesaatöventtiili kvs 2,5 24 V toimilaitteella (C10) 5 W 0,02 A				
KP0 Ei kondenssipumppua				
P0 Ei kytkentäkaapelia tai turvakytintä				
T5 Saadin VariTec300				

TEKNINEN VALINTA

Chiller Oy pidättää oikeuden muutoksiin

¹0,5 s jälkikäyntiaika

► Innovative cooling, heating and energy solutions

CPB HPB

www.chiller.fi



Mittauspöytäkirja

2. toukokuuta 2018

As Oy Turun Sataman Loiste
Erik Pommerilaisen Ranta 16
20810 Turku

MAALÄMPÖPIIRIN LINJOJEN VIRTAAAMIEN MITTAUS

*venttiilit ovat mallia Vexve

Säädetyt ja mitatut arvot

Linja	Koko	KV-arvo	l/h	kPa	l/h	Es
Lämmönjakokeskus						
1	40	22,60	2970	1,180	2455	9.0
2	40	22,60	2970	1,170	2451	9.0
3	40	22,60	2970	1,180	2449	9.0
4	40	22,60	2970	1,180	2453	9.0

Järjestelmän kiertovesipumput on asetettu maksimiarvoihin

Mittalaite: TA SCOPE (No. 03 370), kalibroitu 12.12.2017

Kunnioittaen,

Tekno-Innovaatio Oy
Jaakko Nummi

Tekno-Innovaatio Oy
Teronkatu 8
20540 Turku

jaakko.nummi@ti.fi | 058 400 065 330

Kaupparekisterinumero: 04752
Kotipaikka: Turku
Y-tunnus: 0530533-6
www.ti.fi



Mittauspöytäkirja

27. maaliskuuta 2018

As Oy Turun Sataman Loiste
Erik Pommerialaisen Ranta 10
20810 Turku

Lattialämmitysverkoston jakotukkien vesivirtojen säätö ja mittaus
Venttiilit ovat mallia TA TBV-C 20NF

Säädetyt ja mitatut arvot

Linja	Koko	KV-arvo	l/h	kPa	l/h	Es
7. Kerros						
As. 36	20	0,53	630	28.8	631	2.7
As. 35	20	0,53	300	25.2	304	2.2
As. 34	20	0,53	310	26.6	315	2.4
6. Kerros						
As. 33	20	0,48	230	23.5	250	1.7
As. 32	20	0,48	342	24.4	345	1.6
As. 31	20	0,48	126	23.6	134	1.2
As. 30	20	0,48	360	25.2	361	1.5
As. 29	20	0,48	540	25.8	539	1.7
5. Kerros						
As. 28	20	0,48	230	24.6	233	1.4
As. 27	20	0,48	342	24.8	345	1.7
As. 26	20	0,48	126	22.5	130	1.1
As. 25	20	0,48	237	23.7	231	1.5
As. 24	20	0,48	219	22.1	220	1.5
As. 23	20	0,48	248	24.5	249	1.5
As. 22	20	0,48	237	23.4	240	1.5

Tekno-Innovaatio Oy
Perurinkatu 8
20140 Turku

__aakko.hanninen@ti.fi | +358 400 365 330

Kaupparekisterinumero: 34712
Kotipaikka: Turku
Y-tunnus: 33836-91-6
www.ti.fi

Saaritelty ja mitatut arvot

Linja	Koko	KV-arvo	l/h	kPa	l/h	Es
4. kerros						
As. 21	20	0,48	230	23.3	229	1.5
As. 20	20	0,48	342	25.3	346	1.8
As. 19	20	0,48	126	23.3	128	1.1
As. 18	20	0,48	237	23.8	236	1.5
As. 17	20	0,48	219	23.2	216	1.3
As. 16	20	0,48	248	23.1	240	1.2
As. 15	20	0,48	237	25.1	232	1.5
3. Kerros						
As. 14	20	0,48	230	24.3	235	1.6
As. 13	20	0,48	342	25.1	341	1.7
As. 12	20	0,48	126	21.1	129	1.3
As. 11	20	0,48	237	22.3	240	1.7
As. 10	20	0,48	216	20.3	224	1.5
As. 9	20	0,48	248	23.9	244	1.8
As. 8	20	0,48	237	24.7	229	1.5
2. Kerros						
As. 7	20	0,53	230	23.9	233	2.2
As. 6	20	0,53	342	24.6	320	2.1
As. 5	20	0,53	126	20.0	120	2.0
As. 4	20	0,53	237	23.4	242	1.9
As. 3	20	0,53	216	23.0	183	2.2
As. 2	20	0,53	248	26.4	237	2.0
As. 1	20	0,53	237	25.3	226	2.0

Lämpöjohtopumppuna on Grundfos Magna3 32-120F. Edellä mainitut arvot toteutuvat pumpun asetusarvolla 6.0m, suhteellinen säätötapa.

Mittalaite: TA SCOPE (No. 03 370), kalibroitu 12.12.2017

Kunnioittaen,

Tekno-Innovaatio Oy
Jaakko Numi

KVV-TU

 TOMI KUUSELA

As Oy Turun Sataman Loiste
 Erik Pommerilaisen Ranta 16
 20810 Turku

Jäähdytyksen virtaamat
 Venttiilit ovat mallia Oras 4120

Säädetyt ja mitatut arvot

Linja	Koko	KV-arvo	l/h	kPa	l/h	Es
7. Kerros						
As. 36	20	0,68	648	47,8	643	3.2
As. 35	20	0,42	324	48,6	322	2.0
As. 34	20	0,42	324	48,0	318	2.0
6. Kerros						
As. 33	20	0,42	328	58,5	319	2.0
As. 32	20	0,42	328	58,4	322	2.0
As. 31	20	0,34	205	60,2	200	1.5
As. 30	20	0,34	205	69,8	203	1.5
As. 29	20	0,34	205	60,7	209	1.5
5. Kerros						
As. 28	20	0,34	324	57,0	320	1.7
As. 27	20	0,34	324	56,4	319	1.6
As. 26	20	0,27	205	59,0	201	1.0
As. 25	20	0,27	205	58,1	198	1.0
As. 24	20	0,27	205	69,3	211	1.0
As. 23	20	0,42	324	57,8	314	2.0
As. 22	20	0,27	205	58,5	206	1.0

Säädetyt ja mitatut arvot



Linja	Koko	KV-arvo	l/h	kPa	l/h	Es
4. kerros						
As. 21	20	0,34	324	58,8	318	1,6
As. 20	20	0,34	324	57,0	321	1,8
As. 19	20	0,27	205	58,0	200	1,0
As. 18	20	0,27	205	57,2	213	1,0
As. 17	20	0,27	205	58,1	201	1,0
As. 16	20	0,42	324	56,3	303	2,0
As. 15	20	0,27	205	57,4	204	1,0
3. Kerros						
As. 14	20	0,34	324	57,4	322	1,5
As. 13	20	0,34	324	56,7	319	1,5
As. 12	20	0,27	205	58,5	198	1,0
As. 11	20	0,27	205	58,8	210	1,0
As. 10	20	0,27	205	59,9	212	1,0
As. 9	20	0,42	324	57,2	302	2,0
As. 8	20	0,27	205	58,9	217	1,0
2. Kerros						
As. 7	20	0,34	324	58,2	314	1,5
As. 6	20	0,34	324	57,1	306	1,5
As. 5	20	0,27	205	59,0	211	1,0
As. 4	20	0,27	205	58,1	209	1,0
As. 3	20	0,27	205	60,3	210	1,0
As. 2	20	0,42	324	58,6	325	2,1
As. 1	20	0,27	205	61,2	212	1,0

Edellä mainitut arvot toteutuvat kiertovesipumpun Grundfos Magna3 32-120F, asetusarvolla 10.0m, suhteellinen säätötapa.

Mittalaite: TASCOPE (No. 03 370), kalibroitu 12.12.2017

Kunnioittaen,

Tekno-Innovaatio Oy
Jaakko Nurmi


KVV-TJ 
JAAKko NURMI