



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

ASUINKERROSTALOJEN PILP-JÄRJESTEL- MÄT

Jäspi LTO-järjestelmän LVI-suunnittelun teoria ja
käytäntö

Tuomas Korkee

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2017
Talotekniikan koulutusohjelma
LVI-tekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Talotekniikan koulutusohjelma
LVI-tekniikka

KORKEE TUOMAS:

Asuinkerrostalojen PILP-järjestelmät
Jäspi LTO-järjestelmän LVI-suunnittelun teoria ja käytäntö

Opinnäytetyö 119 sivua, joista liitteitä 41 sivua
Huhtikuu 2017

Suomalaisten asuinkerrostalojen poistoilman lämmön talteenottojärjestelmien saneeraus-
toteutukset ovat viime vuosina saavuttaneet selkeän nousujohteisuuden. Kuitenkaan jul-
kisesti saatavaa ja luotettavaa lähdeaineistoa järjestelmien LVI-suunnitteluun ei juurikaan
ole, vaan järjestelmien toteutusmalleja on lähes yhtä paljon kuin toteuttajiakin.

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli työn tilaajana toimineen Kaukora Oy:n tarve val-
takunnallisesti vakauttaa, selkeyttää ja yhtenäistää kehittämänsä Jäspi LTO-järjestelmän
LVI-suunnittelua. Ratkaisuna tähän kehitettiin LVI-suunnittelijoille kohdennettu käsi-
kirja, jossa selvitetään lämpöpumppuperusteisen poistoilman lämmön talteenottojärjes-
telmän suunnitteluperusteet järjestelmävalinnoista aina putkimitoituksiin.

Työssä perehdyttiin laitevalintojen ja mitoituskriteereiden teoreettiseen puoleen sekä näi-
den soveltamiseen käytännön toteutuksissa. Myös viranomaisten ja kaukolämmön toimit-
tajien järjestelmille asettamat vaatimukset huomioitiin.

Tulevaisuudessa kaukolämpöjärjestelmään liitettävien lämmön talteenottoratkaisujen to-
teutukseen kiinnitetään varmasti nykyistä enemmän huomiota ja niiden vaikutus kauko-
lämmön hinnoitteluun kasvattaa rooliaan, sillä oikein toteutettuna ne vähentävät kauko-
lämpöenergian kulutusta merkittävästi.

Asiasanat: lämpöpumppu, lämmön talteenotto, poistoilma, suunnittelu

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Building Services Engineering
HVAC Building Services Engineering

KORKEE TUOMAS:

EAHP-Systems for Apartment Houses
Jäspi-LTO system's HVAC-Designing's Theoretical and Practical Levels

Bachelor's thesis 119 pages, appendices 41 pages
April 2017

Renovations of exhaust air heat recovery systems in Finnish apartment houses are increasing. However, there are not too many reliable and public sources for HVAC designer's aid.

The main aim for this thesis was the commissioner's (Kaukora Ltd) need to stabilize and clarify Jäspi LTO-system's HVAC designing. As a solution for this, manual for HVAC designers was developed. This manual contains all needed instructions for the system's HVAC designing, including guides to choosing correct pipe dimensions, heat pumps and other components.

In this thesis, main principles for the choice of components and measurement criteria were studied in theoretical level as well as their appropriateness in practical applications. Authorities' and district heating suppliers' demands for the systems were also noted.

In the future, heat pump based heat recovery systems, which are connected to district heating, will most likely draw more attention in the group of HVAC designers. These will also have a greater role in the pricing of district heating energy, as the need of it will decrease due to effect of heat recovery systems.

Key words: heat pump, heat recovery, exhaust air, designing

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
1.1	Opinnäytteen tausta.....	7
1.2	Tutkimusongelma	8
1.3	Opinnäytteen tavoitteet ja rajaus.....	8
2	LÄMPÖPUMPPUJÄRJESTELMÄN TOIMINTAPERIAATTEET.....	9
2.1	Lämpöpumpun pääkomponentit ja toiminta	9
2.2	Log p,h -tilapiirros	10
2.2.1	Kylmäaineen kiertoprosessi teoriassa	12
2.2.2	Kylmäaineen kiertoprosessi käytännössä.....	14
2.3	Lämpöpumpputerminologiaa.....	15
2.3.1	Lämpökerroin.....	15
2.3.2	Vuoden keskimääräinen lämpökerroin	18
2.4	Lämmönlähteenä geoenergia	19
2.5	Lämmönlähteenä rakennuksen poistoilma.....	27
2.6	Lämmönlähteenä ulkoilma	30
2.7	Lämmönkeruunesteen vaikutus lämmöntuotantoon	31
3	POISTOILMAN LÄMPÖENERGIAN HYÖDYNTÄMINEN KAUKOLÄMMITEISESSÄ ASUINKERROSTALOSSA.....	32
3.1	Toimintamallit ja potentiaali Suomessa.....	33
3.1.1	Lupakäytäntö Tampereella.....	33
3.2	Toimintamallit maailmalla.....	35
3.3	Harrastetoimintaa vai järkevää energiataloutta?.....	36
3.4	Kustannukset ja elinkaari.....	37
4	POISTOILMALÄMPÖPUMPUT JA KAUKOLÄMPÖ.....	39
4.1	Asiakkaan näkökanta	39
4.2	Kaukolämmön toimittajan näkökanta	39
4.3	Ympäristöarvojen näkökanta	40
4.4	Kaukolämmityksen nykytilanne ja tulevaisuus Suomessa	41
4.5	Kaukolämmön alajakokeskuksen uusiminen PILP-hankkeen yhteydessä 43	
5	OLEMASSA OLEVAN RAKENNUKSEN LÄMMITYSTEHONTARPEEN MÄÄRITTÄMINEN.....	44
5.1	Lämmitystehontarve laskennallisesti	44
5.2	Lämmitystehontarve graafisesti	48
6	SULJETTUJEN PUTKIVERKOSTOJEN MITOITUS.....	50
6.1	Kitkapainehäviöt.....	50
6.2	Kertapainehäviöt.....	52

6.3 Kokonaispainehäviö.....	52
6.4 Vaikutus LVI-suunnitteluun	53
7 JÄSPI LTO-JÄRJESTELMÄ.....	55
7.1 LVI-suunnittelu.....	56
7.2 Järjestelmän pääkomponentit.....	57
7.3 Putkimitoitukset ja -kytkennät	61
7.4 Mittaukset ja valvonta.....	62
7.5 Kytkevävaihtoehdot	63
7.6 Järjestelmämitoitus kohteeseen.....	64
8 YHTEENVETO	70
9 POHDINTA.....	72
LÄHTEET.....	73
LIITTEET	78
Liite 1. PILP-järjestelmän rinnankytkentä lämmityspiiriin erillisellä lämmönvaihtimella	78
Liite 2. PILP-järjestelmän sarjakytkentä lämmityspiiriin.	79
Liite 3. Jäspi LTO, LVI-suunnittelijan käsikirja	80
Liite 4. Jäspi-LTO, peruskytkentä.....	117
Liite 5. Jäspi LTO, peruskytkentä + IVLP	118
Liite 6. Jäspi LTO, kytkentä MLP-järjestelmään	119

LYHENTEET JA TERMIT

ASHRAE	yhdysvaltalainen LVI-alan järjestö (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers)
CAD	tietokoneavusteinen suunnittelu (computer-aided design)
COP	lämpökerroin (coefficient of performance)
DWG	CAD-suunnittelutiedostojen formaatti
EED	maaperän mallintamisohjelmisto (Earth Energy Designer)
IEA	kansainvälinen energiajärjestö (International Energy Agency)
IVLP	ilma/vesilämpöpumppu (myös vesi/ilmalämpöpumppu)
KL	kaukolämpö
KV	kylmävesi
LP	lämpöpumppu
LTO	lämmön talteenotto
LV	lämminvesi
LVK	lämpimän veden kierto
MLP	maalämpöpumppu
PILP	poistoilmalämpöpumppu
RK	ryhmäkeskus
SPF	vuotuinen lämpökerroin (seasonal performance factor)
TRT	maaperän terminen vastetestti (thermal response test)
VAK	valvonta-alakeskus

1 JOHDANTO

1.1 Opinnäytteen tausta

Suomen teollisuusalalla poistoilman lämmön talteenottojärjestelmiä käytettiin ensimmäisiä kertoja jo 1960-luvulla, mutta asuinrakentamisen osalta tätä poistoilman sisältämää hukkaenergian hyödyntämistä alettiin määräysten valossa pitää pakollisena vasta 2000-luvun alkupuolella (Pihlajamaa 2014, 573). Näiden vuosikymmenten välissä Suomeen rakennettiin valtava määrä rakennuksia, jossa potentiaalista hukkaenergiaa ajetaan kirjaimellisesti taivaan tuuliin – vieläpä varsin merkittäviä määriä.

Perinteinen ratkaisu tämän ongelman poistamiseksi on ollut poistoilman lämmön talteenottojärjestelmä (LTO), jonka avulla osa poistoilman energiasisällöstä otetaan takaisin hyötykäyttöön, yleisimmin tuloilman lämmittämiseksi. Suomen asuinkerrostalokannassa tyypillinen tilanne kuitenkin on, että ilmanvaihto hoidetaan ainoastaan koneellisena poistoilmana.

Lämpöpumpputekniikan avulla saadaan näidenkin rakennusten poistoilman hukkaenergiaa hyödynnettyä lämmityksen ja lämpimän käyttöveden tarpeisiin. Poistoilmalämpöpumppujen (PILP) avulla toteutetut LTO-järjestelmät ovatkin yleistyneet lähivuosina merkittävästi, vaikkakin niiden toteutus todelliseen potentiaaliin onkin toistaiseksi marginaalista. Kohderakennuksena näissä toteutuksissa on yleisimmin 1960-2003 välillä rakennettu asuinkerrostalo, jossa poistoilma puhalletaan käsittelemättömänä takaisin ulkoilmaan. Lämmitysjärjestelmänä näissä kohderakennuksissa on yleisimmin kaukolämpö.

Tänä päivänä selkeästi yleisin lämpöpumpputekniikalla toteutettu päälämmitysmuoto on geoenergiaa hyödyntävä järjestelmä eli maalämpöpumppu. Ne ovatkin voimakkaasti vakiinnuttaneet asemaansa kansankielessä 2000 ja 2010 -luvulla ja lähivuosina vallanneet, etenkin pientalorakentamisessa, markkinaosuutta merkittävästi. Nykyään yli puolet suomalaisista pientalorakentajista päätyy lämpöpumppuratkaisuun ja maalämpöjärjestelmä onkin tavalliseen omakotirakentamiseen lähes perustoimitus (Kaappola, Kauppila & Silvan 2014, 270). Maalämpöterminologia liikkuukin pintapuolisin jo valtamediassa ja lähes jokaisella on siitä jonkinlainen tietämys.

Täten ehkä hieman jopa yllättäen, on vanhimmat Suomessa edelleen toiminnassa olevat maalämpöratkaisut toteutettu kuitenkin jo 1970-1980 lukujen taitteessa (Kaappola ym. 2014, 268). Näiden vuosikymmenten välissä on tapahtunut paljon ja järjestelmien tekninen toteutus on stabiloitunut huomattavasti. Tähän aikaikkunaan nähden kuitenkin julkisesti saatavaa ja ennen kaikkea luotettavaa tutkimustietoa on kyseisistä järjestelmistä Suomessa saatavilla yllättävän vähän.

1.2 Tutkimusongelma

Poistoilmalämpöpumppujärjestelmiä suunnittelevia tahoja on enemmissä määrin markkinoilla ja kaikilta toimijoilta ei välttämättä löydy tarpeellista määrää teknillistä osaamista. Järjestelmä tyypillisemmin liitetään olemassa olevan päälämmitysmuodon rinnalle, joka yleensä on kaukolämmitys, joten rakennusvalvonnan lisäksi suunnitelmien hyväksyntäprosessi kulkee lämmötoimittajan kautta. Täten mahdollisesti virheelliset suunnitelmat työllistävät molempia tahoja ja suunnitteluprosessin kokonaisvaltaisen ajankäytön tehostamiseksi olisi korrektimpaa, että suunnitelmat olisivat jo alkujaan toteutuskelpoisia ilman korjauskehotuksia rakennusvalvonnasta ja/tai lämmötoimittajalta.

1.3 Opinnäytteen tavoitteet ja rajaus

Tämän insinööriyön päätavoitteena on PILP-perusteisen lämmön talteenottojärjestelmän LVI-suunnittelun selkeyttäminen. Työn alussa käsitellään lämpöpumppujen toimintaperiaatteita teoreettisesti ja loppupuolella painotutaan käytännön sovelluksiin ja järjestelmien suunnittelukriteereihin.

Työn lopputuotoksena on suunnittelutoimistojen käyttöön tuleva tekninen suunniteluopas, jonka tarkoituksena on valtakunnallisesti vakauttaa Jäspi LTO-järjestelmän LVI-suunnittelua. Jäspi LTO-järjestelmän peruskytkentä toteutetaan kaukolämmityksen rinnalle, mutta vaihtoehtona on myös kytkentä maalämpöjärjestelmään tai kytkennän täydentäminen ilma/vesilämpöpumpulla. Täten työssä käsitellään myös maa- ja ilma/vesilämpöpumppuja ja PILP-kytkentöjen vaikutuksia kaukolämpöverkostoon. Työn ohessa tilaajalle tuotetaan myös taulukkolaskentapohjainen mitoitusyökalu ja suunnitteludokumentit sisältävä DWG-kirjasto. Työn tilaajan on Kaukora Oy.

2 LÄMPÖPUMPPUJÄRJESTELMÄN TOIMINTAPERIAATTEET

Ilmassa, nesteessä ja muissa aineissa on lämpötilasta riippumatta aina molekyylien liikettä, ts. lämpöenergiaa. Termodynamiikan toisen säännön mukaan lämpö ei milloinkaan itsestään siirry kylmästä lämpimään (Otavan Opisto 2015). Lämpöpumpun tarkoitus on ulkoisen työn avulla hallitusti siirtää lämpöenergiaa kylmemmästä tilasta lämpimämpään. Ulkoinen työ lämpöpumppujen yhteydessä on käytännössä sähköllä toimiva kompressori.

Nykyään lämpöpumppuja on markkinoilla lukuisia ja lämmönlähteestä huolimatta on niiden pääperiaate ja tarkoitus aina sama – siirtää lämpöenergiaa. Käytännön sovelluksien lämmönlähteenä on tyypillisesti ilma, vesi tai maa, mutta ainakin teoriassa voidaan lämpöenergia ottaa melkein mistä vain.

2.1 Lämpöpumpun pääkomponentit ja toiminta

Erilaisten lämpöpumppujen osat ja kytkentätavat vaihtelevat tyypistä riippuen merkittävästi, mutta ns. peruskomponentit kaikista kuitenkin löytyvät. Näihin voidaan luokitella ainakin kompressori, lämmönvaihtimet (höyrystin ja lauhdutin) ja paisuntalaite, joka lämpöpumpussa yleensä on paineenalennusventtiili. Käytännössä järjestelmiin usein kuuluu myös lukuisia muita komponentteja, mm. lämmönsiirtoaineita liikuttavia pumppuja ja/tai puhaltimia, lämpö- ja painemittareita, painerajoittimia ym.

Nämä mekaaniset peruskomponentitkaan eivät itsessään toteuta lämpöpumpun toimintaa, vaan järjestelmän toiminta perustuu kylmäainekierto, tarkemmin sanottuna sen olomuodonmuutoksiin. Nämä faasimuutoksiksiin kutsutut olomuodonmuutokset sitovat ja vapauttavat paljon energiaa, joten niitä hyväksikäytetään lämpöenergian siirtämisessä. Käytännössä lämpöenergia siis siirtyy kylmäainevirran mukana. Termodynamiikan sääntöjen mukaisesti fluidin lauhtumis- ja höyrystymislämmöt ovat paineella tietyissä rajoissa hyvin säädeltävissä.

Höyrystin

Höyrystimen tehtävä lämpöpumppujärjestelmässä on ottaa ulkoisen lämmönlähteen lämpöenergiaa vastaan. Lämmönsiirtoaineena on kompressoripiirin kylmäaine, jonka täytyy lämmönsiirron edellyttämiseksi olla lämmönlähdettä kylmemmässä lämpötilassa. Kylmäaine on höyrystimelle tullessaan nestemäisessä muodossa, mutta alhaisen höyrystymislämpötilan johdosta se alkaa höyrystyä, johon tarvittavan energian se sitoo ympäristöstään (Nydal 2002, 61).

Kompressor

Kompressorilla on kylmäaineen kiertoprosessissa kolme tehtävää – kierrättää kylmäainetta halutulla massavirralla, pitää höyrystimellä riittävän matala paine, jotta kylmäaineneste saadaan höyrystymään halutussa lämpötilassa ja lauhduttimella vastaavasti pitää haluttu korkeapaine, jossa kylmäainehöyry lauhdutetaan halutulla lämpötilalla. Kompressor on siis koko prosessin kriittisin osa (Nydal 2002, 60).

Lauhdutin

Lauhduttimella höyryn muodossa oleva kylmäaine lauhtuu (tiivistyy) nesteeksi, jolloin se luovuttaa viileämpään ympäristöönsä höyrystymislämmön verran energiaa. Lauhtumispistettä alemmassa lämpötilassa olevaa nestettä kutsutaan alijäähtyneeksi.

Paisuntalaite

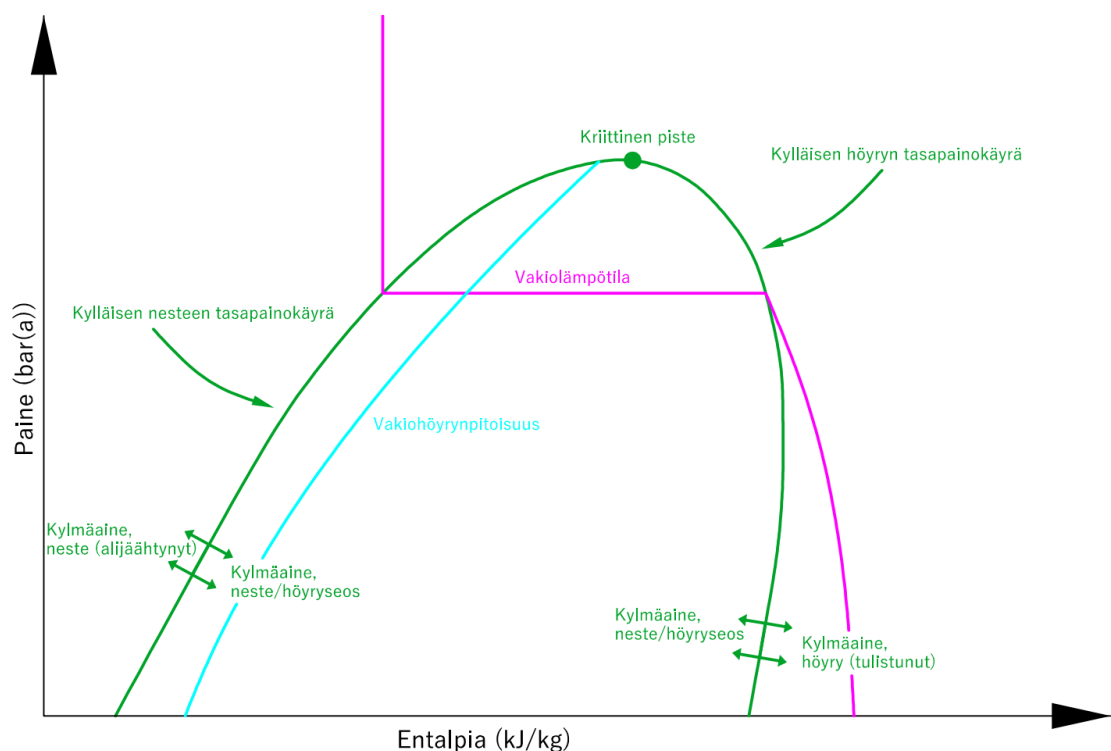
Lauhduttimelta nestemäinen (tai neste/höyryseos) kylmäaine johdetaan paisuntalaitteelle (paineenalennusventtiilille), jossa sen paine ja lämpötila laskevat. Lisäksi paisuntalaitteen tehtävänä on hallita höyrystimelle virtaavan kylmäaineen määrää ja ylläpitää paine-eroa korkea- ja matalapainepuolen välillä (Nydal 2002, 60).

2.2 Log p,h -tilapiirros

Eräs käytännöllinen tapa esittää kylmäaineen kiertoprosessi kompressoripiirissä on Log p,h -tilapiirros (kuva 1). Piirroksen vaaka-akselilla on esitetty kylmäaineen entalpia ja pystyakselilla absoluuttinen paine. Piirroksen tarkkuuden säilymiseksi koko piirtoalueella, on paineen arvot esitetty logaritmisena asteikon avulla.

Hallitsevana käyränä piirroksessa on kylmäaineen kyllästyskäyrä, joka jakaa kylmäaineen eri olomuotoihin. Kylläisen nesteen tasapainokäyrän vasemmalla puolella kylmäaine on alijäähtyneen nesteen muodossa, kylläisen höyryn tasapainokäyrän oikealla puolella se on tulistunutta höyryä ja näiden välissä nesteen ja höyryn seoksena. Kylmäaineen kriittinen piste toimii näiden käyrien yhdistävänä tekijänä. (Hirvelä, Jokela, Kaappola, & Kianta 2014, 9.)

Markkinoilla olevat lämpöpumpot ovat usein pitkälle tuotteistettuja, (eikä kylmäaineprosessin suunnittelu ole siinä määrin olennaista) joten tässä työssä nämä käydään läpi vain periaatteellisesti.

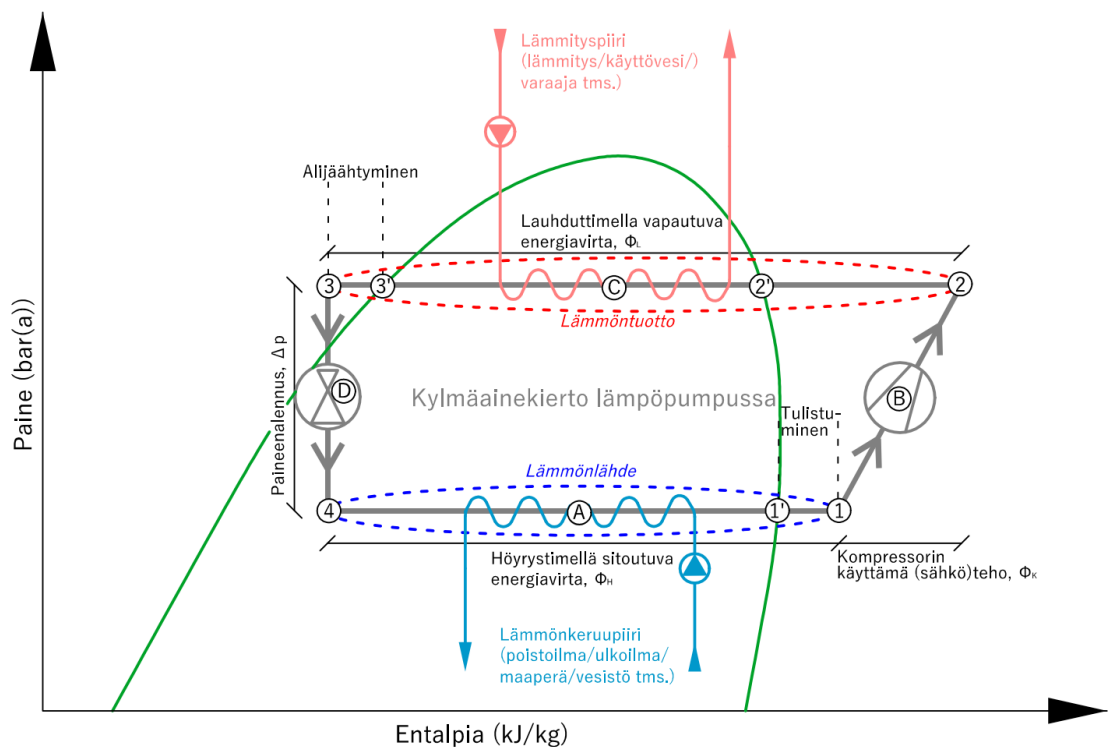


KUVA 1. Kylmäaineen teoreettinen $\log p, h$ -tilapiirros (kuvan alkuperäinen idea: Nydal 2002, 63)

2.2.1 Kylmäaineen kiertoprosessi teoriassa

Tarkastellaan lämpöpumpun teoreettista toimintaa vaiheittain, kun kylmäainevirran ”lähtöpisteeksi” kuvitellaan paineenalennusventtiilin ja höyrystimen välinen piste. Kostea höyry siirtyy höyrystimelle, jossa se höyrystyy kylmäaineen alhaisen höyrystymislämpötilan johdosta. Höyrystymiseen tarvittava energia otetaan höyrystimen ympäristöstä, jonka luonnollisesti täytyy olla kylmäainetta korkeammassa lämpötilassa. Höyrystynyt (järjestelmästä riippuen jo hieman tulistunut) kylmäaine siirtyy kompressorille, joka puristaa kylmäainehöyryn suurempaan paineeseen samalla tulistaen höyryä. Tulistunut kylmäainehöyry luovuttaa energiaansa lauhduttimen ympäristöön, jolloin se lauhtuu (alijäähtyneeksi) nesteeksi. Lauhtuneen kylmäaineen painetta alennetaan paineenalennusventtiilissä, jossa sen lämpötilakin alenee merkittävästi. Nyt kylmäaineen kierto alkaa alusta.

Kuvassa 2 on esitetty kylmäaineen kiertoprosessin etenemistä. Kuvassa osa A on höyrystin, B kompressor, C lauhdutin ja D paineenalennusventtiili. Sovelluksesta riippuen järjestelmässä voi näiden lisäksi olla myös erillisiä tulistus- ja alijäähtymislämpöjä hyödyntäviä lämmönvaihtimia, joita ei kuitenkaan tässä esitellä.



KUVA 2. Kylmäaineen teoreettinen Log p,h -tilapiirros ja lämpöpumpun pääkomponentit (kuvan alkuperäinen idea: Nydal 2002, 63)

Kuvasta 2 voidaan määrittellä lämmönsiirtoprosessien ja kompressorin puristuksen tehot (kW) seuraavasti:

$$\text{Lauhduttimen teho} = \phi_L = \dot{m}\Delta h_L = \dot{m}(h_2 - h_3) \quad (1)$$

$$\text{Höyrystimen teho} = \phi_H = \dot{m}\Delta h_L = \dot{m}(h_1 - h_4) \quad (2)$$

$$\text{Kompressorin puristusteho} = \phi_K = \dot{m}\Delta h_K = \dot{m}(h_2 - h_1) \quad (3)$$

joissa \dot{m} on kylmäaineen massavirta (kg/s), Δh_H on höyrystimessä tapahtuva entalpiamuutos (kJ/kg), Δh_L on lauhduttimessa tapahtuva entalpiamuutos (kJ/kg) ja Δh_K on kompressorissa tapahtuva entalpiamuutos. (Hirvelä ym. 2014, 27–28.)

Lauhduttimen teho voidaan lisäksi määrittää höyrystimen ja kompressorin tehojen avulla

$$\text{Lauhduttimen teho} = \phi_L = \phi_H + \phi_K \quad (4)$$

Yllä oleviin yhtälöihin täytyy tapauskohtaisesti eritellä käytettävät laskentapisteet, mikäli järjestelmässä on tulistusta tai alijäähdytystä hyödyntäviä lämmönvaihtimia. Lisäksi osa lauhdumisesta tai höyrystymisestä voi tapahtua putkistossa.

Järjestelmän höyrystymis- ja lauhdumislämpötiloja säädellään kylmäainepiirin paineella. Näiden riippuvuus toisistaan voidaan lukea kylmäainekohtaisesti omasta Log p,h -kuvaajasta. Taulukkoon 1 on esimerkinomaisesti kuvattu erään kylmäaineen lämpötiloja prosessin eri pisteissä, jotka on merkattu kuvaan 2. Taulukoidut tiedot on saatu CoolPack -ohjelmasta.

TAULUKKO 1. Kylmäaineen kiertoprosessin olomuodot

Kiertoprosessin kohta kuvassa 2	Kylmäaineen olomuoto	Lämpötila (°C)	Paine (bar(a))
1'	Höyry	-4	2,5
1	Höyry (tulistunut)	2	2,5
2	Höyry (tulistunut)	59	13
2'	Höyry	50	13
3'	Neste	50	13
3	Neste (alijäähtynyt)	45	13
4	Neste/höyryseos	-4	2,5

2.2.2 Kylmäaineen kiertoprosessi käytännössä

Edellisessä kappaleessa esitetty kiertoprosessin kuvaus on täysin teoreettiseen tilanteeseen, jossa häviöitä ei otettu huomioon. Käytännössä kaikissa järjestelmän osissa kuitenkin esiintyy painehäviöitä ja kompressorilla on lisäksi sähköisiä ja mekaanisia häviöitä. Nämä häviöt merkitsevät säännöllisesti lisääntynyttä energiankulutusta ja näin heikentävät myös järjestelmän tehokkuutta (Nydal 2002, 80).

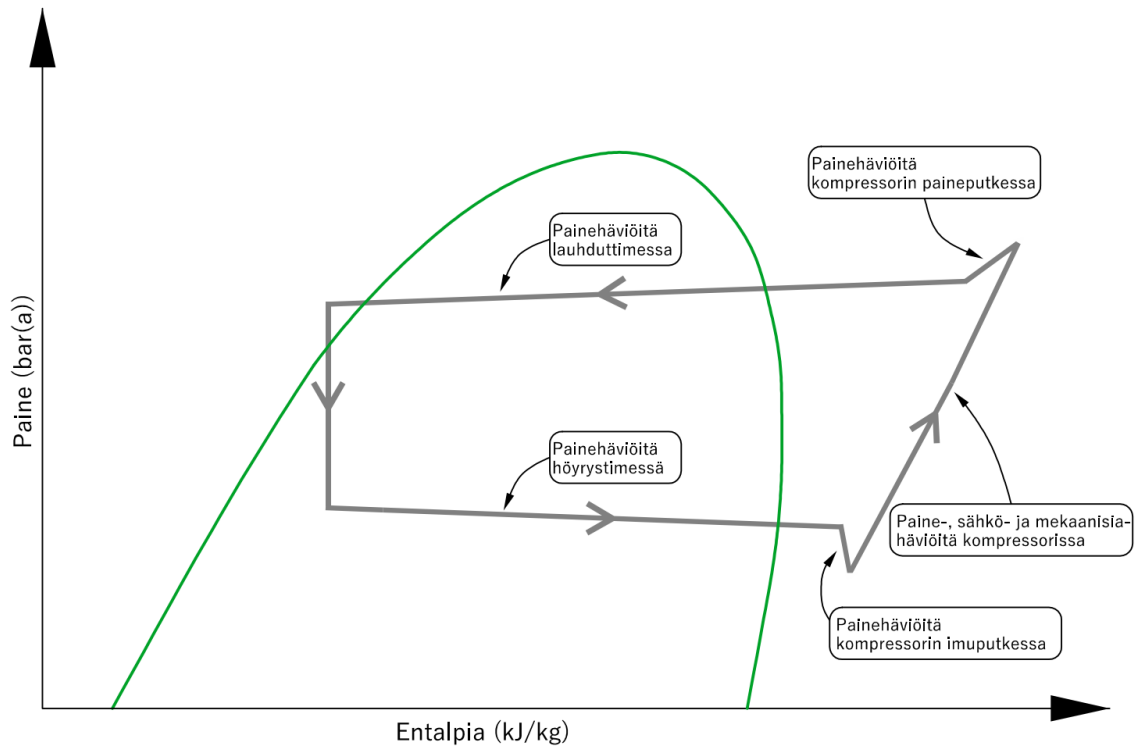
Painehäviöitä järjestelmässä syntyy:

- kompressorissa (puristus ja venttiilit)
- lämmönvaihtimissa
- putkissa ja putkiosissa (Hakala & Kaappola 2013, 12).

Kompressorin ja sen osien tuottamat painehäviöt johtavat suurempaan puristustyöhön, joka käytännössä Log p,h -piirroksessa näkyy kompressoriosuuden kaartumisena enemmän oikealle. Lämmönvaihtimien painehäviöt puolestaan johtavat siihen, että lauhtuminen ja höyrystyminen eivät tapahdu vakioaineessa. Kylmäaineen tyypistä johtuen (ei käsitellä tässä työssä) nämä faasimuutokset eivät välttämättä tapahdu myöskään vakioämpötilassa.

Putkien ja putkiosien painehäviöt näkyvät kuvaajassa puolestaan ns. epäjatkuvuuskohtina ja käytännössä ne vaikuttavat järjestelmän energiatehokkuuteen. Jotta lämpöpumppujärjestelmästä saataisiin mahdollisimman suuri teho, mahdollisimman pienellä energialla, täytyy putkiston ja putkiosien painehäviöiden olla mahdollisimman pieniä. Mikäli painehäviöt ovat suuria täytyy kompressorin tehdä enemmän puristustyötä päästäkseen samaan lopputulokseen kuin pienillä painehäviöillä, sillä painehäviöt pienentävät kompressorille menevän kaasun tiheyttä ja kylmäaineen kierto pienenee koko laitoksessa.

Kylmätekniikassa on yleistä käyttää painehäviöiden yksikkönä lämpötilaa (°C tai K). Tämä on käytännöllistä, sillä korkeilla höyrystymislämpötiloilla sallitaan suurempia painehäviöitä kuin matalilla, koska tietty lämpötilanmuutos ei vastaa samaa paineenpudotusta eri olosuhteissa vaan näiden riippuvuus vaihtelee sekä höyrystymislämpötilan, laitoksen ja käytetyn kylmäaineen mukaan. (Nydal 2002, 89.) Kylmäaineen kiertoprosessin häviöitä on osin karrikoidusti havainnollistettu kuvassa 3.



KUVA 3. Kylmäaineen kiertoprosessin todellinen Log p,h -tilapiirros (kuvan alkuperäisideä: Hirvelä ym. 2014, 29)

2.3 Lämpöpumpputerminologiaa

2.3.1 Lämpökerroin

Keskeisin lämpöpumppujärjestelmän toimintaa kuvaava käsite on lämpökerroin eli COP, joka kuvaa lauhduttimen tuottaman lämpötehon ja kompressorin käyttämän sähkötehon suhdetta. Eritellysti se voidaan laskea vain lämpöpumpulle:

$$\text{COP}_{LP} = \frac{\phi_L}{P_K} = \frac{\phi_L}{\phi_K/\eta_K} \quad (5)$$

jossa P_K on kompressorin käyttämä sähköteho (kW) ja η_K on kompressorin sähköinen hyötysuhde (-).

Mikäli tarkempaa tietoa ei ole saatavilla, voidaan yhtälössä (5) käyttää valmistajan ilmoittamia arvoja, jotka yleensä löytyvät ko. lämpöpumpun käsikirjasta. Tällaisesta esimerkki kuvassa 4.

Tekniset tiedot



3x400 V

3x400V		24	30	40	60
Tehotiedot nimellisvirtauksella Ilmaisee lämpöpumpun suorituskyvyn ilman kiertovesipumppuja					
0/35					
Antoteho	kW	23,91	31,55	39,96	60,12
Jäähdytysteho	kW	19,14	24,99	31,79	47,53
Sähköteho	kW	4,77	6,56	8,17	12,60
COP	-	5,01	4,81	4,89	4,77
0/50					
Antoteho	kW	22,57	30,37	38,68	58,41
Jäähdytysteho	kW	16,27	21,54	28,03	43,35
Sähköteho	kW	6,30	8,83	10,64	15,06
COP	-	3,58	3,44	3,63	3,88

KUVA 4. Tyypillisesti lämpöpumppuvalmistajat ilmoittavat laitteiston suoritusarvot asennus- tai käyttöohjekirjassaan tmv. (Jämä Star 2017)

Valmistajien oppaita tulkittaessa tietty lähdekritiikki tulee kuitenkin muistaa, sillä laitevalmistajien ilmoittamien lämpökertoimien mitoitusympäristöistä ei ole aina varmuutta. Etenkin ilma/ilmalämpöpumppujen yhteydessä on yleistä, että COP-arvot ilmoitetaan Keskieurooppalaisen standardien mukaisesti tehtyjen mittauksien tuloksina, jotka eivät anna todellista kuvaa laitteen toiminnalle pohjoisempiin oloihin. Suomen lämpöpumppuyhdistys ry:n toiminnanjohtaja Jussi Hirvonen toteaaakin, että ”on mahdollista, että +7 asteessa [Keskieurooppalaisen standardin mitoitusympäristö] hyvän COP-arvon saava ilmalämpöpumppu ei säästä –10 asteessa enää juuri mitään.” Lisäksi Hirvonen suosittelee antamaan COP:tä enemmän painoarvoa toteutuneille näytöille laitteen toiminnasta ja laitevalmistajan ammattitaidolle. (Sulpu 2017.)

Kompressorin lisäksi järjestelmässä on kuitenkin lähes aina apulaitteita (kiertovesipumppuja, mittalaitteita ym.), joiden käyttämä sähköteho tulee huomioida koko järjestelmän lämpökerrointa laskettaessa:

$$\text{COP}_{\text{järjestelmä}} = \frac{\phi_L}{P_K + P_{\text{apulaitteet}}} \quad (6)$$

jossa $P_{\text{apulaitteet}}$ on apulaitteiston käyttämä sähköteho (kW).

Laitteiston täsmällisen valvonnan perusteeksi voidaan siihen erikseen kytkeä asianmukainen energiamittauslaitteisto, jonka avulla lämpökerroin saadaan oikein ohjelmoituna määritettyä esim. valvomoon.

Lämpöpumppujärjestelmän lämpökerrointa määritettäessä lämmöntuottolinjaan ja lämpöpumpun sähkönsyöttöön asennetaan erilliset energiamittarit, joista järjestelmän lämpökerroin voidaan määrittää:

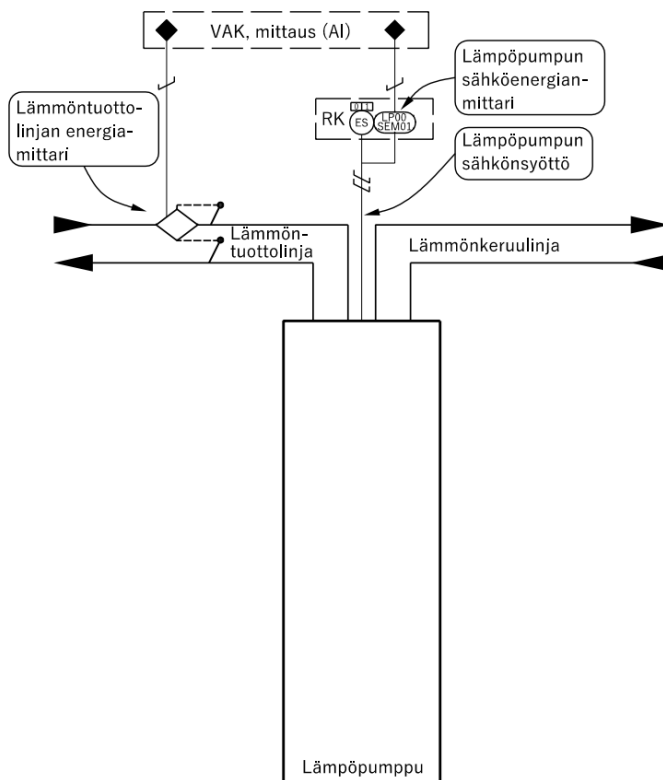
$$\text{COP}_{\text{järjestelmä}} = \frac{\text{Tuotettu lämpöenergia}}{\text{Käytetty sähköenergia}} = \frac{Q_L}{W_{\text{järjestelmä}}} \quad (7)$$

jossa Q_L on lauhduttimen tuottama lämpöenergia (kWh) ja $W_{\text{järjestelmä}}$ on järjestelmän käyttämä sähköenergia (kWh).

Yhtälön (7) nimittäjään voi tulla lisätermiä, mikäli jonkin laitteistoon kuuluvan osan käyttämä sähköenergia mitataan erillisellä sähköenergiamittarilla. Tämä voi tulla kyseeseen, mikäli järjestelmässä on esim. ulkoinen lämmönkeruupiirin kiertovesipumppu.

Laskennassa kaikkien mittausajanjaksojen on oltava yhtä suuria.

Kuvassa 5 on havainnollistettu energiamittarien sijaintia käytännön tilanteessa. Kuvassa VAK on valvonta-alakeskus, RK on lämpöpumppua syöttävä ryhmäkeskus ja ES on siinä sijaitseva käyttökytkin. Mittarien kytkentätavat tulee aina tapauskohtaisesti selvittää laitteen valmistajalta.



KUVA 5. Lämpöpumpun lämmitys- ja sähköenergioiden mittausperiaate

2.3.2 Vuoden keskimääräinen lämpökerroin

Tyypillisesti lämpöpumppujärjestelmän toimintaolosuhteet ja -lämpötilat vaihtelevat runsaasti vuodenajasta riippuen. Täten kertaluontoisesti edellä esitellyn laskentamenettelyn mukaisesti laskettu lämpökerroin niin ikään vaihtelee, eikä välttämättä ole täsmällinen laitteiston todellista suorituskykyä kuvaamaan.

Lämpöpumppujärjestelmän todellista suorituskykyä arvioitaessa on korrektimpaa käyttää vuoden keskimääräistä lämpökerrointa (SPF), joka huomio järjestelmän tuottaman ja sen käyttämän energian suhteen tietyllä ajanjaksolla (esim. kalenterivuodessa). (Nylund 2010, 38.)

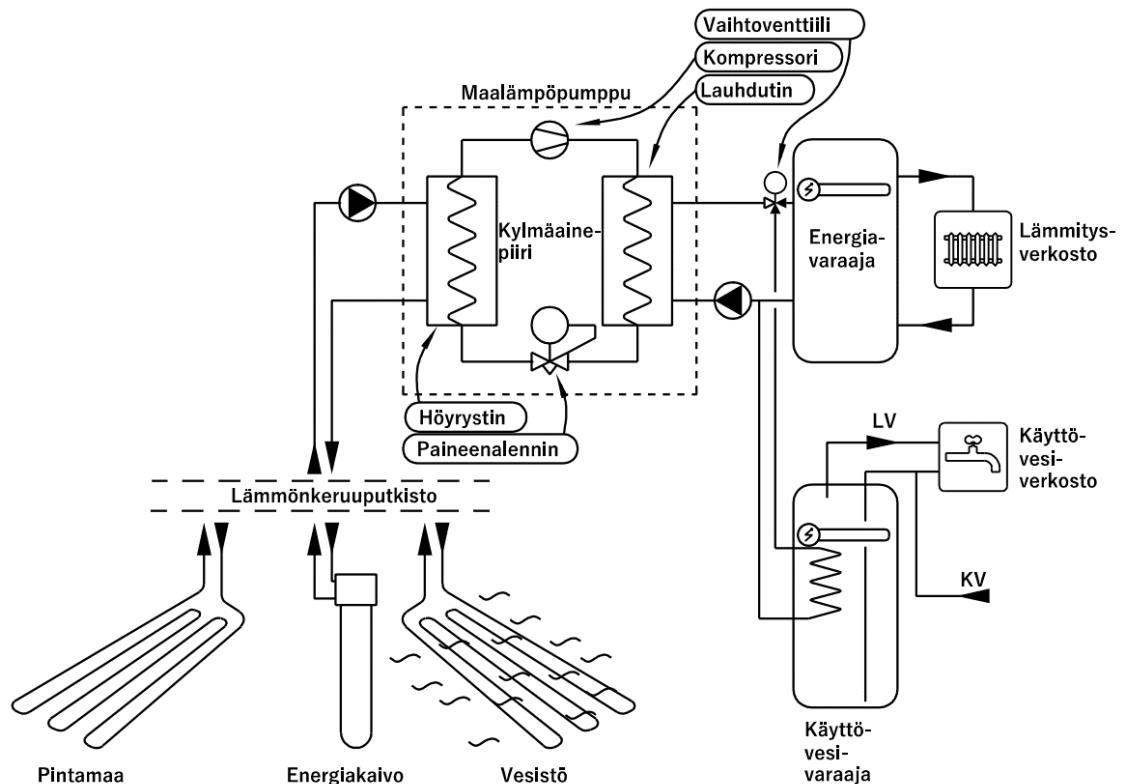
Integroimalla energiamittauksia laskenta-ajanjakson yli voidaan SPF määrittää (Wemhöner & Afjei 2003):

$$SPF = \frac{\int_{t_{alku}}^{t_{loppu}} Q_L dt}{\int_{t_{alku}}^{t_{loppu}} W_{järjestelmä} dt} \quad (8)$$

2.4 Lämmönlähteenä geoenergia

Geoenergiaa hyödyntävät lämpöpumput eli maalämpöpumput keräävät lämpöenergiaa maaperästä, peruskalliosta tai vesistöistä, josta se hyödynnetään rakennuksen lämmityksen tarpeisiin. Lämmönlähteisiin varastoitunut lämpöenergia on pääosin peräisin aurinosta, mutta osa siitä on myös maapallon ytimeistä säteilevää energiaa ja pieni osa myös radioaktiivisten kaasujen, kuten radonin, tuottamaa (Kaappola ym. 2014, 269).

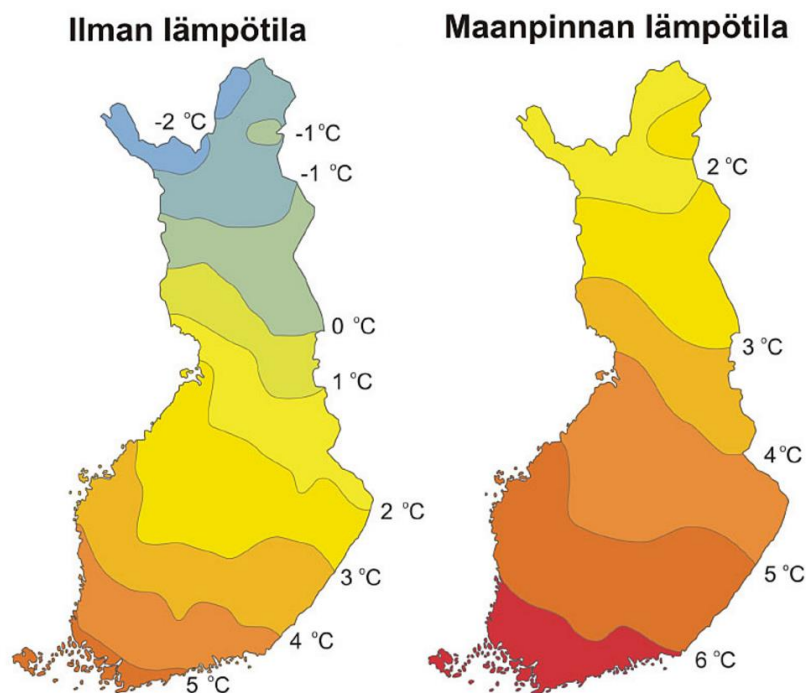
Kuvassa 6 on havainnoitu yksinkertaisen maalämpöjärjestelmän toimintaperiaatetta. Kuva on viitteellinen, eikä sisällä kaikkia järjestelmään vaadittavia putkivarusteita tai järjestelmäosia. Suuremmissa järjestelmissä voi lisäksi olla useita lämpöpumppuja, varaajia ja kiertovesipumppuja (ns. piiskapumppuja). Energiakaivoja voi myös olla useita – kymmeniä tai erittäin suurissa järjestelmissä jopa satoja. Pienemmissä järjestelmissä ei lämmityspuolen varaajaa ole välttämättä lainkaan tai varaajat voivat olla yhdistetty ns. vaippamalliseksi.



KUVA 6. Yksinkertaisen maalämpöpumppujärjestelmän osat. Maalämpöpumpun sisältämät varusteet merkattu katkoviivalla, järjestelmästä riippuen myös kiertovesipumput ja vaihtoventtiili voivat olla maalämpöpumpun sisällä. Kuvan kytkennät esimerkinomaisia ja ne usein vaihtelevat valmistaja- tai järjestelmäkohtaisesti. Varaajissa on sähkövastukset lisäenergian tuottoon, mutta myös muita energianlähteitä (öljy, KL, puu jne.) on mahdollista käyttää.

Keskeisin asia maalämpöjärjestelmää suunniteltaessa on oikea höyrystinpiirin putkimitoitus. Käytännössä tämä tarkoittaa lämmitystehontarpeen määrittämistä ja lämmönkeruuputkiston korrekta mitoittamista. Rakennuksen lämmityksen energiantarvetta käsitellään tarkemmin kappaleessa 5.

Suomessa pintamaan keskilämpötila on keskimäärin 2 °C korkeampi kuin ko. vyöhykkeen ilman lämpötila. Geoenergiaa on siis hyödynnettävissä koko maassa, mutta sen hyöty on eteläisessä Suomessa lämpötiloista johtuen selkeästi suurempi. (Kaappola ym. 2014, 270.) Kuvassa 7 on vyöhykekohtaisesti esitetty Suomen pintamaan keskilämpötilat.



KUVA 7. Suomen ulkoilman ja maan pinnan vuotuisia keskilämpötiloja säävyöhykeittäin (GTK 2017a).

Laskennallisesti sama asiasisältö voidaan esittää paikkakuntaakohtaisesti yhtälön (9) mukaisesti (Kallio 2009, 4):

$$t_{maa} \approx 0,71 \cdot t_{ilma} + 2,93 \text{ °C} \quad (9)$$

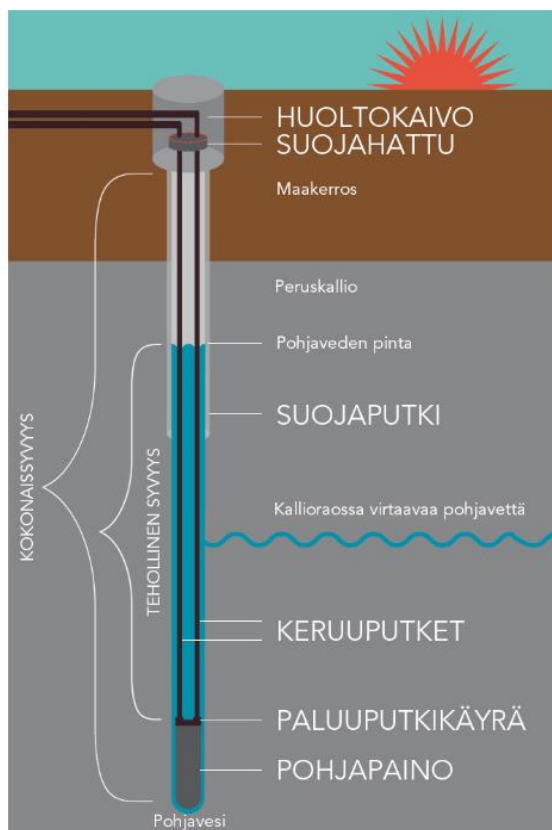
jossa t_{maa} on maaperän vuotuinen keskilämpötila laskenta-alueen paikkakunnalla (°C) ja t_{ilma} vastaavasti ilman keskimääräinen vuotuinen lämpötila (°C). Ilman keskimääräisen lämpötilan voi selvittää esim. Ilmatieteenlaitoksen verkkosivuilta.

Sääolojen vaikutukset päättyvät ns. stabiilisyvyYTEEN, jota alempana ne eivät vaikuta maaperän lämpötilaan. Suomessa tämä syvyys on keskimäärin 15 metriä (Kallio 2009, 4).

Pintamaasta alaspäin mentäessä maaperän lämpötila nousee geotermisen lämpövuon vaikutuksesta Suomen alueella n. 0,8...1,5 °C 100 metriä kohden eli lämpötila nousee keskimäärin 1 °C / 100 m (Kaappola ym. 2014, 270). Kallioperän lämpötila Etelä-Suomessa 100 metrin syvyydessä on noin 7...8 °C, mutta Rovaniemen korkeudella enää 4...5 °C (Kallio 2009, 4; Lapon 2017).

Energiakaivot

Energiakaivojen (kuva 8) mitoitukselta vastaa maalämpöjärjestelmän suunnittelija ja niiden mitoitukseen käytetään usein esim. lämpöpumpputoimittajien kehittämiä laskentaohjelmia. Tärkeitä lähtökohtia suunnitteluun ovat oikeankokoinen lämpöpumppu tai -pumput, keruuputkiston pituus ja määrä, energiakaivojen porareikien syvyydet sekä määrä ja niiden fyysiset minimietäisyydet taulukon 2 mukaisesti.



KUVA 8. Energiakaivon rakenne (Geodrill 2017).
Tehollisesta syvyydestä käytetään myös nimitystä aktiivisyvyys.

TAULUKKO 2. Energiakaivon porareian suositeltavat minimietäisyydet eri kohteisiin (Juvonen & Lapinlampi 2013, 25, taulukko 1).

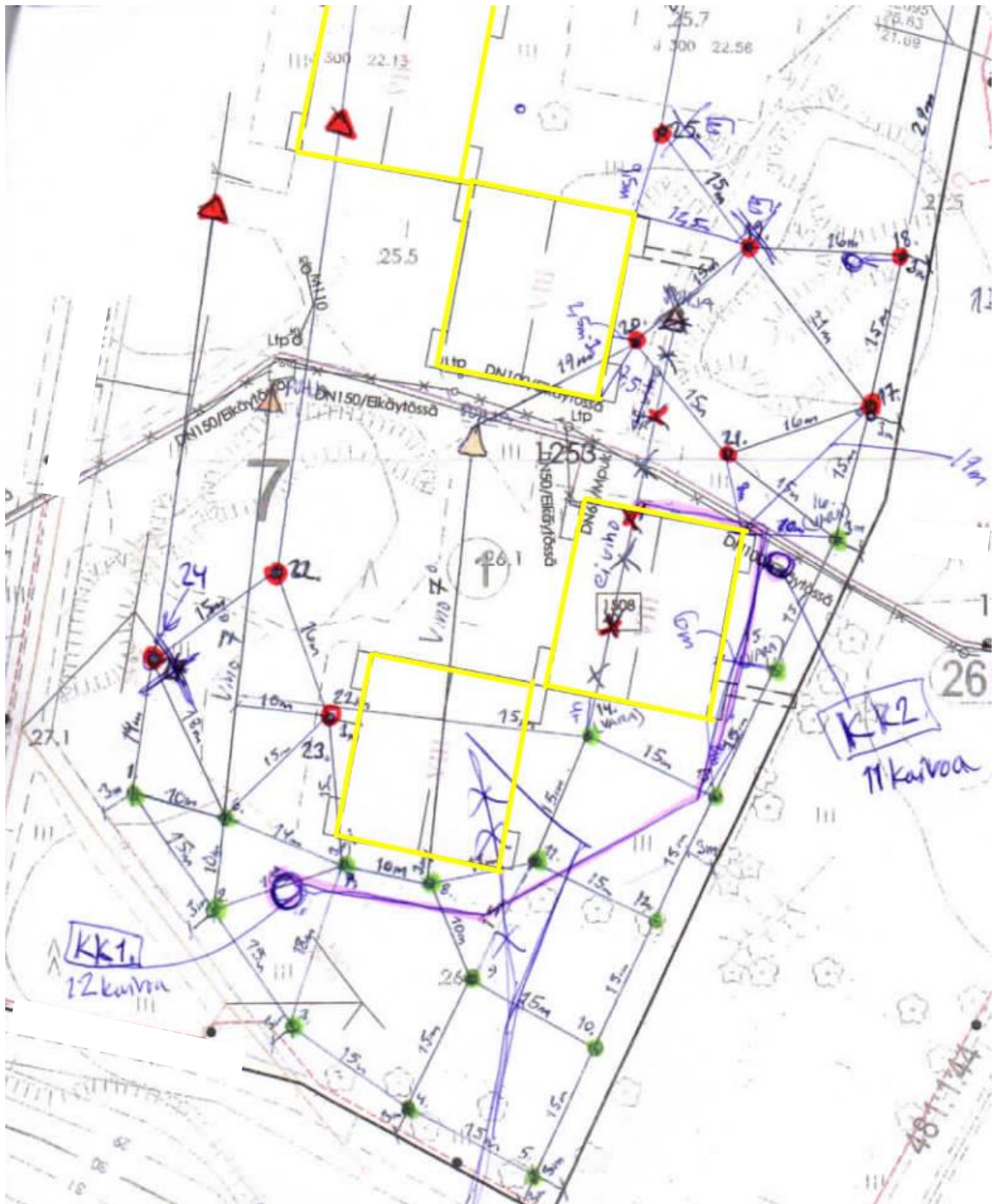
Kohde	Suosittelu minimietäisyys
Energiakaivo	15 m*
Lämpöputket ja kaukolämpöjohdot	3 m**
Kallioporakaivo	40 m
Rengaskaivo	20 m
Rakennus	3 m
Kiinteistön raja	7,5 m*
Kiinteistökohtaisen jätevedenpuhdistamon purkupaikka	Kaikki jätevedet 30 m, Harmaat vedet 20 m ^[14]
Viemärit ja vesijohdot	3 m (omat putket)-5 m (muiden putket)**
Tunnelit ja luolat	25 m, etäisyys selvitetään tapauskohtaisesti

* porareian ollessa pystysuora

** etäisyys riippuu maaperän laadusta, kaivusyvytydestä ja kaivantoon sijoitettavista putkista

Etenkin suuremmissa saneerauskohteissa näitä suosituksia on usein jopa mahdoton noudattaa, mikäli tonttia ei alun perin ole suunniteltu maalämpökohteeksi ja näin ollen fyysinen tila tontilla suositusetäisyyksien täyttämiseksi loppuu usein kesken. Lämpö-Nurmi Oy:n vastaava työnjohtaja Mikko Nurmi toteaaakin, että kaikkia suositusetäisyyksiä ei juuri koskaan päästä saneerauskohteessa toteuttamaan, vaan niitä joudutaan soveltamaan. Lyhyemmistä etäisyyksistä tuleekin tapauskohtaisesti neuvotella rakennusvalvonnan edustajan kanssa. (Nurmi 2017a). Kuvassa 9 on havainnollistettu saneerauskohteen tontin ahtautta energiakaivojen suhteen.

Kaupunkien rakennusvalvontatahoilla on usein myös omia näkemyksiään energiakaivojen suojaetäisyyksien liittyen ja ne kannattaakin aina ottaa jo suunnittelun alkuvaiheissa huomioon.

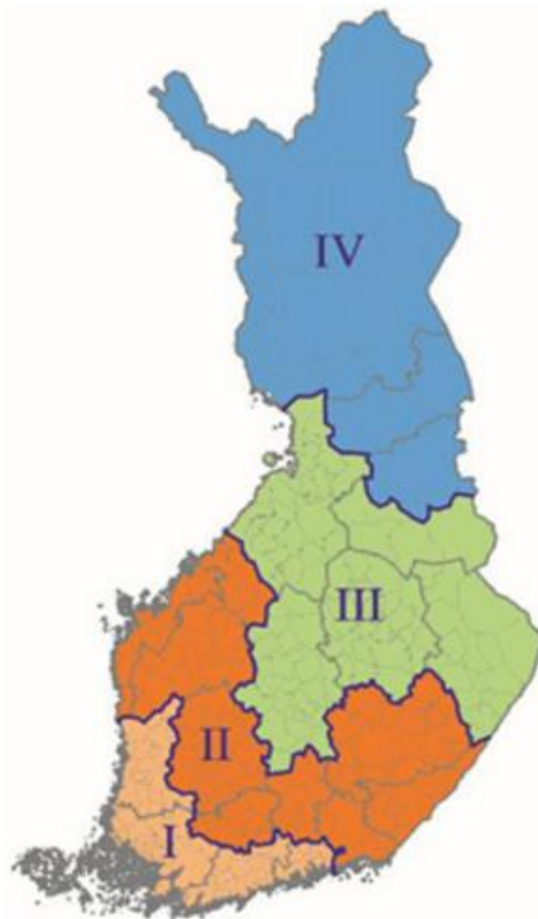


KUVA 9. Saneerauskohteen tontin tila ei yleensä ole optimaalinen maalämpöjärjestelmään liitettävien energiakaivojen sijoittelun kannalta. Kuvassa on erään saneerauskohteen urakanaikainen piirros energiakaivojen sijainnista tontilla. Kuvaa on keltaisella hahmoteltu rakennusten ulkoseinien rajat sekä punaisella ja vihreällä on merkattu toteutuneiden energiakaivojen sijainnit. (Nurmi 2017b, muokattu).

Energiakaivon tai -kaivokentän mitoitus perustuu usein kokemuspohjaisiin suunnittelu-arvoihin, jotka vaihtelevat maaperän ominaisuuksien mukaan. Taulukossa 3 on esitetty maalämpöjärjestelmän suuntaa-antavat metriset mitoitusastot Suomen säävyöhykkeille (kuva 10). Metrinen mitoitusaste tarkoittaa maasta kerättävää lämpötehoa tehollista kaivometriä kohden.

TAULUKKO 3. Suomen säävyöhykekohtaiset ulkoilman mitoituslämpötilat ja energiakaivojen metriset mitoitusastot (Korpela 2017b)

Mitoittavia tekijöitä säävyöhykeittäin		
Säävyöhyke	Ulkoilman mitoituslämpötila (° C)	Energiakaivon mitoitus (W/m _{eff})
I	-26	42
II	-29	38
III	-32	35
IV	-38	32



KUVA 10. Ulkoilman mitoituslämpötilat ja energiakaivon mitoitus Suomen säävyöhykeittäin (Ilmatieteenlaitos 2017a)

Maaperän tutkimukset

Eri maaperälajit johtavat lämpöä eri tavalla, joten suuren kokoluokan maalämpöjärjestelmiin suositellaan taulukkomitoituksen tueksi erillistä maaperän termistä vastetestiä eli TRT-mittausta. Mittauksen avulla selvitetään maaperän lämmönjohtavuus energiakentän suunnittelua varten. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että tulevalle kaivokentälle porataan yksi testikaivo, josta mitataan peruskallion lämmönjohtokyky ja keskilämpötila. (Geodrill 2017.)

TRT-mittauksessa jäljitellään maalämpöpumpun toimintaa käänteisesti. Tulevan kaivokentän porattuun testikaivoon syötetään lämmintä nestettä ja laitteiston avulla analysoidaan, kuinka paljon maaperä pystyy lämpöenergiaa vastaanottamaan. (Pistoke 2017.) Suomessa TRT-mittauksia toteuttaa energiakaivoja poraavat yritykset ja Geologian tutkimuskeskus eli GTK. Testien suorittamiseen on olemassa myös kansainvälisiä suosituksia, mm. ASHRAE- ja IEA -yhteisöjen suositukset (Anttila 2014, 26).

Maaperän lämmönjohtavuus on Suomessa keskimäärin 3,0 W/(mK) vaihteluvälin ollessa 2...5 W/(mK). Lämmönjohtavuudella on suuri merkitys kallioperästä saatavissa olevaan energiaan. (Lapon 2017.) Kuvassa 11 on erään kohteen TRT-mittauksen tuloksia.

Mittauspäivämäärä	12.6.2014
Pohjaveden pinnan korkeus [m]	3,4
Lämpötila pohjaveden pinnalla [°C]	9,0
Lämpötila kaivon pohjalla [°C]	10,7
Koko kaivon lämpötilan painotettu keskiarvo [°C]	9,0
Kaivon lämpötilan painotettu keskiarvo vuodenaikaisvaihtelun alapuolella [°C]	9,0
Geoterminen gradientti [°C/100 m]	1,4
Mittauksen ajankohta	13.-16.6.2014
Tehollinen lämmönjohtavuus [W/(m·K)]	3,2
Lämpövastus [K/(W/m)]	0,09

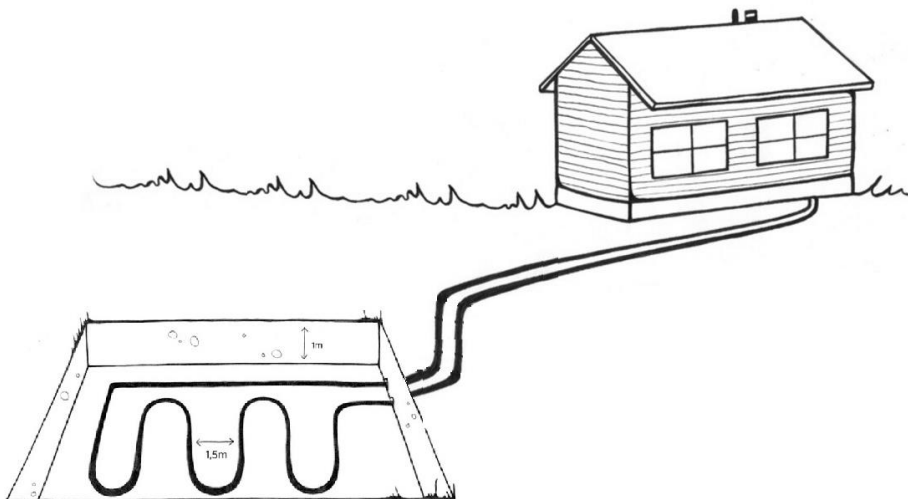
KUVA 11. Erään kohteen TRT-mittauksen tuloksia (Nurmi 2017c)

Mitattuja tuloksia voidaan hyödyntää esim. EED-simulointiin, jonka avulla voidaan selvittää kaivokentän optimi rakenne ja kaivojen syvyys. Simuloinnilla selvitetään myös kaivokentän käyttäytymistä sen elinkaaren aikana. Näin vältetään kaivokentän ali- tai yli- mitoittamiselta, joka suuren kokoluokan kohteissa johtaisi merkittäviin taloudellisiin menetyksiin. (Openenergy 2017.)

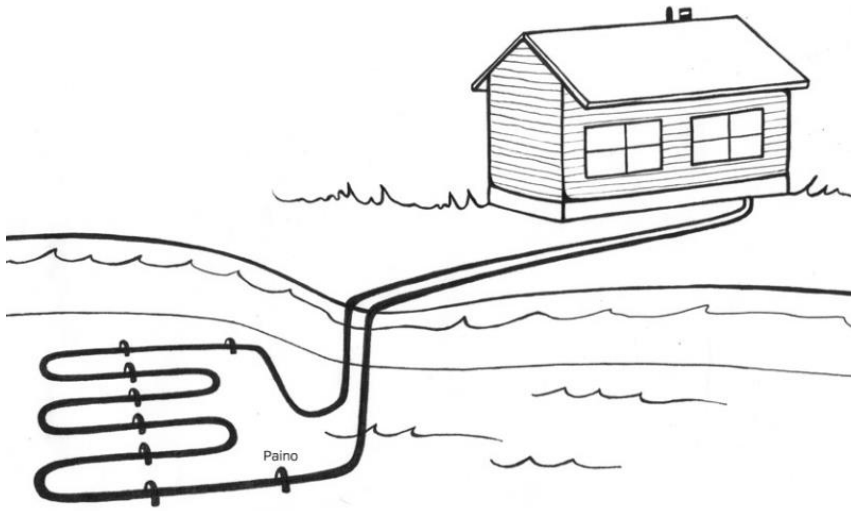
Nurmi toteaa, että asuinkerrostalojen kokoisissa maalämpöhankkeissa TRT-mittauksen tuottamat hyödyt jäävät usein vähäisiksi, sillä urakkahinnan puitteissa kaivokentältä ei tyypillisesti saada tarpeeksi mittausdataa luotettavan kokonaiskuvan saamiseksi (Nurmi 2017a). Suuremmissa kohteissa TRT-mittausten kustannukset tulisikin huomioida jo hinnoitteluvaiheessa, jotta kattavat mittaukset voidaan toteuttaa.

Pintamaa ja vesistö

Maalämpöpumpun vaihtoehtoisina lämmönlähteinä voidaan käyttää myös maaperän pintamaahan (kuva 12) tai vesistön sedimenttiin (kuva 13) sijoitettua keruuputkistoa. Yleensä näiden hankintakustannukset ovat energiakaivoja edullisempia, mutta suuremman kiinteistön isompi lämmöntarve käytännössä rajaa pintamaa-asennuksen kohtuuttoman tilantarpeen puitteissa pois ja toisaalta sopivaa vesistöä on harvoin lähellä käytettävissä. Näin ollen asuinkerrostalojen ympäristössä näiden käyttö on äärimmäisen harvinaista.



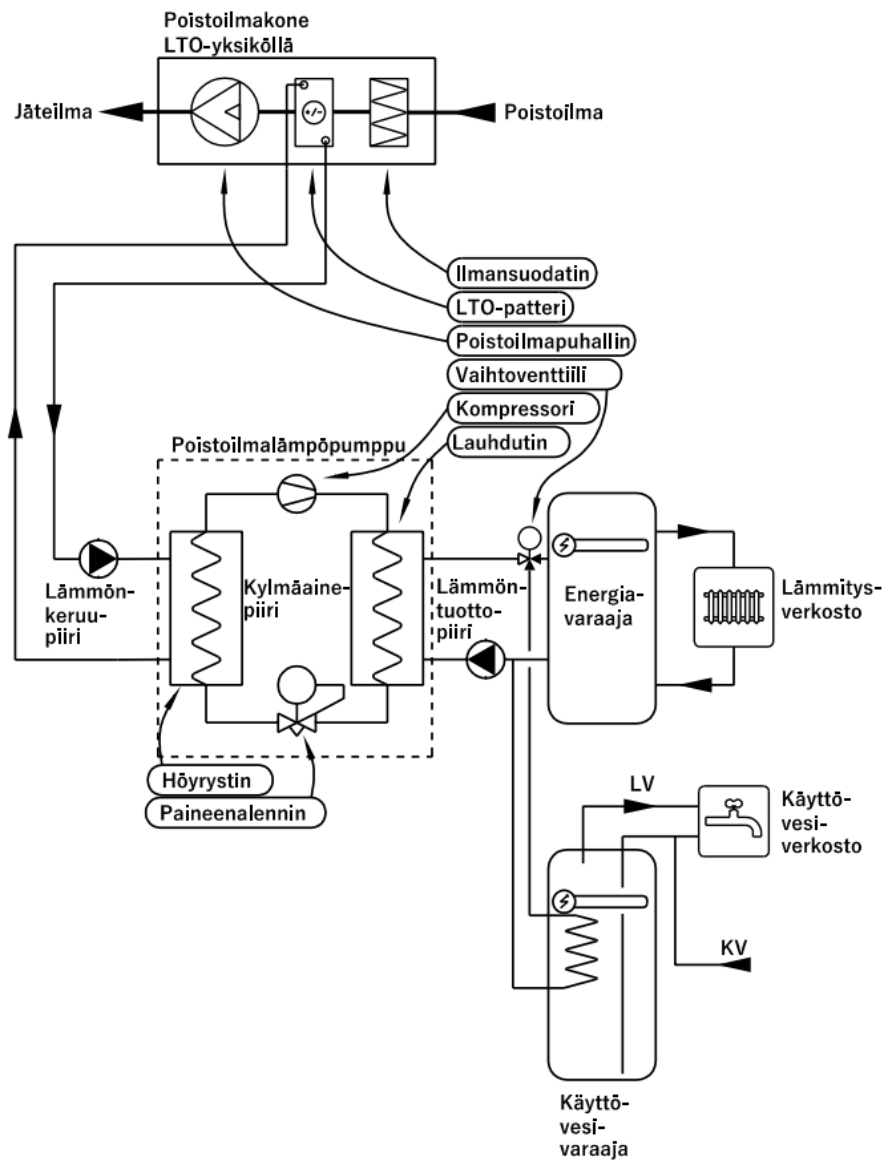
KUVA 12. Maalämpöpumpun lämmönlähteenä pintamaa, periaatekuva. Putkisto asennetaan n. metrin syvyyteen ja putkilenkkien keskinäinen etäisyys on n. 1,5 metriä. Väliputket rakennukselle eristetään. (Nordic Ekolämpö 2017, muokattu.)



KUVA 13. Maalämpöpumpun lämmönlähteenä vesistö, periaatekuva. Keruuputkisto ankkuroidaan vesistön pohjaan tai sedimenttiin. Väliputket rakennukselle eristetään. Vesistön on oltava massaltaan tarpeeksi suuri jäätyksen ehkäisemiseksi. (Nordic Ekolämpö 2017.)

2.5 Lämmönlähteenä rakennuksen poistoilma

Rakennuksen poistoilmaa lämmönlähteenään hyödyntävä lämpöpumppu eli poistoilma-
lämpöpumppu (PILP) on toimintaperiaatteeltaan (kuva 14) maalämpöpumpun kaltainen,
sillä eroavaisuudella, että se kerää tarvitsemansa energian rakennuksen poistoilmasta.
Maalämpöjärjestelmästä poiketen PILP-järjestelmä on poikkeuksetta mitoittettava osate-
holle, sillä poistoilman sisältämä lämpöenergia ei riitä kattamaan kaikkia rakennuksen
lämmitystarpeita. Lisäenergia voidaan kattaa maalämpöjärjestelmän tavoin esim. kauko-
lämmöllä, sähköllä, öljyllä, puulla jne. Tässä työssä käsitellään vain kahta ensinnä mai-
nituista, sillä ne ovat selkeästi yleisimmät toimintamallit.



KUVA 14. PILP-järjestelmän toimintaperiaate. Kuva viitteellinen eikä sisällä kaikkia putkivarusteita. Putkikytkennöissä on usein valmistajakohtaisia eroavaisuuksia.

PILP-sovelluksia voidaan hyödyntää kaikissa rakennuksissa, jossa poistoilman lämpötila ja puhtaus sen mahdollistavat. Yleisimmät PILP-kohteet ovat uudisrakenteiset omakotitalot ja saneeraustoimenpiteenä toteutettavat asuinkerrostalot, mutta sovelluksia löytyy myös teollisuuden rakennuksiin. PILP-järjestelmää voidaan pitää myös LTO-ratkaisuna, sillä ns. perinteisten LTO:n (kuutio- tai kiekkovaihdin, nestekiertoinen järjestelmä) tavoin sen käyttövoimana on rakennuksen poistoilma.

Tyypillisesti LTO-patterit mitoitetaan talviolojen kuivalle sisäilmalle, jolloin poistoilman kondensoitumista patterilla ei juurikaan tapahdu (Fältberg 2016). Täten poistoilmasta talteen otettava energiavirta lasketaan yhtälöllä (10):

$$\Phi_{LTO} = q_{v,i} \rho_i c_{p,i} \Delta t_i \quad (10)$$

jossa

Φ_{LTO} = poistoilmasta talteen otettava energiavirta (kW)

$q_{v,i}$ = poistoilman tilavuusvirta (m³/s)

ρ_i = poistoilman tiheys (kg/m³)

$c_{p,i}$ = poistoilman ominaislämpökapasiteetti vakioaineessa (kJ/(kg °C))

Δt_i = poistoilman jäähtymä LTO-patterilla (°C)

Poistoilmasta talteen otettu energiavirta siirtyy keruupiirin liuokseen, joten liuosvirta saadaan laskettua yhtälöllä (11):

$$q_{v,l} = \frac{\Phi_{LTO}}{\rho_l c_l \Delta t_l} \cdot 1000 \quad (11)$$

jossa

$q_{v,l}$ = liuosnesteen tilavuusvirta (l/s)

ρ_l = liuosnesteen tiheys (kg/m³)

c_l = liuosnesteen ominaislämpökapasiteetti (kJ/(kg °C))

Δt_l = liuosnesteen lämpenemä LTO-patterilla (°C)

1000 = laatumuunnos

Virtaavan nesteen virtausnopeus pyöreässä putkessa voidaan laskea tilavuusvirran ja putken hydraulisen halkaisijan avulla yhtälöllä (12)

$$v = \frac{q_v}{A} = \frac{4 q_v}{\pi d^2} \quad (12)$$

jossa v on virtaavan nesteen virtausnopeus (m/s), A on putken pinta-ala (m²) ja d on putken hydraulinen sisähalkaisija (m).

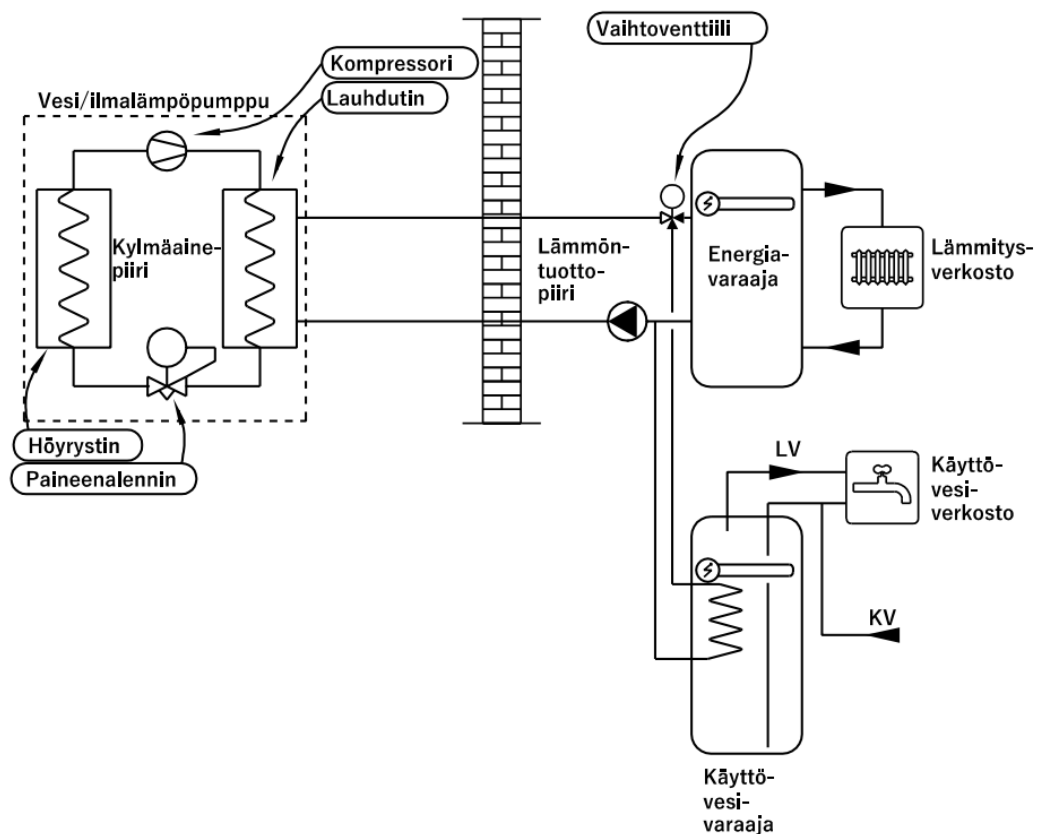
Yhtälöstä 12 voidaan selvittää myös putken halkaisija, kun virtaamakriteerit tiedetään:

$$d = \sqrt{\frac{4 q_v}{\pi v}} \quad (13)$$

2.6 Lämmönlähteenä ulkoilma

Ilma/vesilämpöpumppu (IVLP) käyttää lämmönlähteenään ulkoilmaa (kuva 15). Poistoilmalämpöpumpun tavoin se on aina mitoitettava osateholle, sillä ulkoilman energiasisältö ei mitoitusoloissa riitä kattamaan rakennuksen kokonaislämpötehon tarvetta.

Ilma/vesilämpöpumppua voidaan hyödyntää suuremmissakin järjestelmissä, mutta yleisimmin sitä käytetään pientalojen lämmitysratkaisuissa.



KUVA 15. IVLP-järjestelmän toimintaperiaate. Kuva viitteellinen eikä sisällä kaikkia putkivarusteita. Putkikytkennöissä on usein valmistajakohtaisia eroavaisuuksia.

2.7 Lämmönkeruunesteen vaikutus lämmöntuotantoon

Edellä esitettyihin lämpöpumppujärjestelmiin vesi ei jäätympisteensä johdosta sinällään sovellu lämmönsiirtonesteeksi, vaan sen jäätympistettä tulee alentaa siihen soveltuvalla nesteellä. Lämmönsiirtonestettä valittaessa tulee huomioida seuraavat seikat:

- viskositeetti ei saa kasvaa liian suureksi alhaisissakaan lämpötiloissa (Kaappola ym. 2014, 270)
- sen tulee sisältää tarvittava määrä korroosionestoaineita (Koskinen 2017)
- lopputuotteen jäätympiste tulee olla sellainen, että se ei missään olosuhteissa pääse jäätymään
- sen tulee soveltua toimivaksi myös muiden järjestelmävalintojen kanssa (esim. energiamittarit eivät sovellu kaikille nestetyypeille)
- sillä tulee olla hyvä lämmönjohtavuus ja korkea ominaislämpökapasiteetti
- kemiallisesti stabiili ja pitkäikäinen
- palamaton, myrkytön ja biologisesti hajoava. (Juvonen & Lapinlampi 2013, 46.)

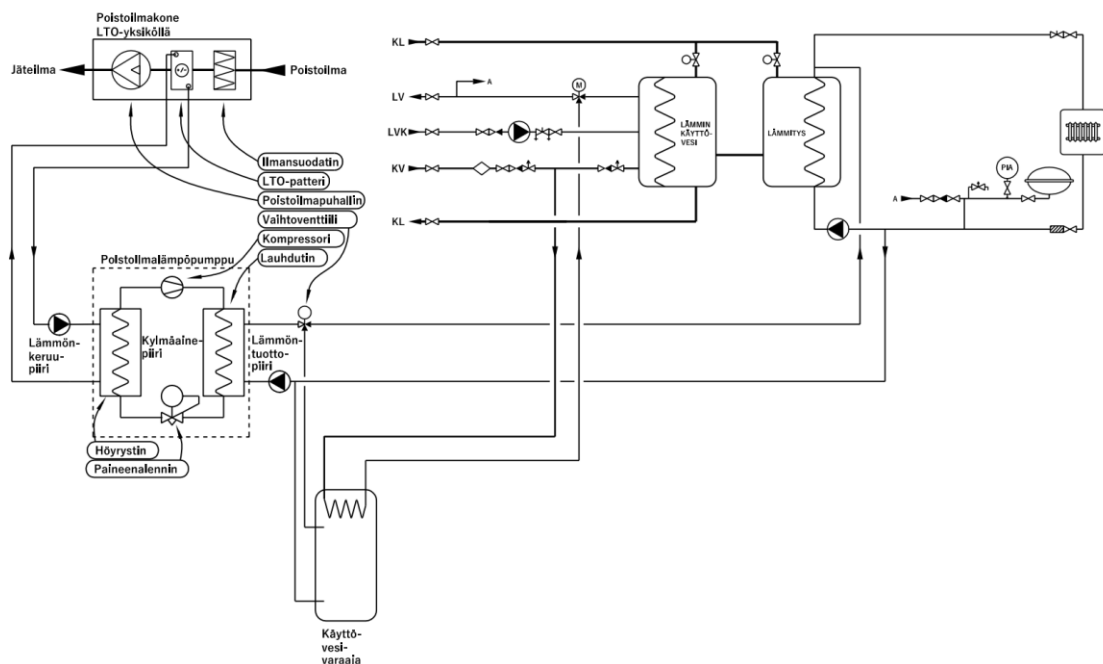
Järjestelmiin soveltuvia lämmönsiirtonesteitä on useita, mutta selkeästi yleisimmin käytetty on 28 p-% vesi-etanoliliuos, jonka jäätympiste on -17 °C (Kaappola ym. 2014, 270). Tällaisia valmisseoksia on markkinoilla useita, joista yksi yleisimmin käytetty on Altian valmistama Naturet, johon on tehdasvalmisteisesti sekoitettu tarvittavat korroosionestoaineet. Poikkeustapauksissa seoksen voi valmistaa itse etanolia ja tislattua vettä sekoittamalla, mutta tällöin siihen tulee erikseen lisätä korroosionestoaineet ja sekoitus itsessään tulee tehdä erittäin huolellisesti, sillä etanoliin sekoittumaton vesi verkostossa aiheuttaa jäätyessään järjestelmään merkittävän vikatilanteen. Seosta itse valmistamalla on suositeltavaa tapauskohtaisesti varmistaa tarvittavat korroosionestoaineet ja niiden määrät alan asiantuntijalta.

Järjestelmän mitoitus tulee aina tehdä siinä käytettävän lämmönsiirtonesteen aineominaisuudet huomioiden. Esim. väärän ominaislämpökapasiteetin tai viskositeetin käyttäminen tuottaa laskelmien lopputuloksiin turhaa virhemarginaalia.

3 POISTOILMAN LÄMPÖENERGIAN HYÖDYNTÄMINEN KAUKOLÄMMITEISESSÄ ASUINKERROSTALOSSA

PILP-järjestelmiä on markkinoilla myös suora höyrysteisinä, mutta yleisin ja tässäkin työssä ainoana ratkaisuna esitelty on välillinen järjestelmä, jossa lämpöpumpun höyrystinpiiriin poistoilman lämpöenergia johdetaan lämmönkeruunesteeseen avulla. Kuvassa 16 on lämpöpumpputjärjestelmän rinnankytkennän liittämisperiaate kaukolämpöjärjestelmään. Tässä peruskytkennässä ei ole lämmityspiirin puskurivaraajia tai ”ylimääräisiä” lämmönvaihtimia, vaan lämpöpumpun lämmöntuotantoputket kytetään lämmityspiirin rinnalle ilman erillisiä putkivarusteita. Tämän kytkennän toimintaa ja mitoitusperiaatteita käsitellään tarkemmin kappaleessa 7.

Vaihtoehtoisia kytkentätapoja lämpöpumpputjärjestelmän liittämiseen kaukolämmön toisioverkkoon on useita ja näistä muutamia on esitelty työn liitteenä. Rinnankytkennässä voidaan käyttää erillisiä lämmönvaihtimia erottamaan lämpöpumpputverkosto muista verkostoista (liite 1) tai järjestelmä voidaan kytkeä myös lämmitysverkoston kanssa sarjaan (liite 2). Molemmat em. liitteet ovat periaatekuvia eivätkä sisällä kaikkia putkivarusteita. Lisäksi käyttöveden kytkentään on muutamia tästä eroavia vaihtoehtoja.



KUVA 16. PILP-järjestelmän liittäminen kaukolämmön alajakokeskukseen. Kuva on periaatteellinen eikä sisällä kaikkia putkivarusteita tai mittauspisteitä. Kytkennän yksityiskohtaisempi kuva on liitteenä (liite 4).

3.1 Toimintamallit ja potentiaali Suomessa

Kaukolämpölämmitteisten asuinkerrostalojen PILP-järjestelmien käytännölliset toimintamallit ovat Suomessa pitkälti lämmötoimittajasta riippuvia – suunnittelijan tulisi aina ennen kohteen suunnittelua selvittää kohteen lämmötoimittajalta hyväksyttävissä olevat kytkentä- ja suunnitteluperiaatteet. Joidenkin lämmötoimittajien verkkosivuilta löytyy LVI-suunnittelijoille kohdennettuja suunnitteluohjeita näihin ns. hybridikytkentöihin.

Tilastokeskuksen mukaan Suomessa on yli 15 000 vuosina 1960-1999 rakennettua asuinkerrostaloa, joissa valtaosassa on oletetusti ilmanvaihtojärjestelmänä koneellinen pois-toilmanvaihto (Tilastokeskus 2017). VTT puolestaan arvio, että todellinen potentiaali PILP-hankkeiden tuomalle kaukolämmön energiansäästölle olisi valtakunnallisesti n. 2,7 TWh, joka on n. 8 % Suomessa vuonna 2015 tuotetusta kaukolämpöenergiasta (Niemi, Rämä & Similä 2015, 1; Energiategollisuus 2016, 1).

Tarjonta ei ainakaan toistaiseksi vastaa potentiaalın mukaiseen ”kysyntään”. Tampereella PILP-hankkeisiin haettiin vuonna 2016 yhteensä 26 rakennuslupaa ja vastaavasti pääkaupunkiseudulla (Fortumin lämmönjakelupiirissä olevat asuinkerrostalot) vain kahdeksan (8) (Brunnila 2017; Rautio 2017b).

3.1.1 Lupakäytäntö Tampereella

PILP-järjestelmien toteutus on valtakunnallisesti rakennusluvanvaraista, mutta eri kaupunkien rakennusvalvonnoilla voi olla erilaisia näkemyksiä prosessin etenemisestä ja vaadittavista dokumenteista. Tampereen rakennusvalvonta vaatii suunnitteludokumenttien lisäksi lupakäsittelyyn hallituksen pöytäkirjan, kaupparekisteriotteen sekä valtakirjan, mikäli luvanhakijana on esim. urakoitsija.

Rakennusvalvonnan lupakäsittelyn mukaisiin suunnitteludokumentteihin puolestaan kuuluvat:

- kohteen asemapiirustus
- lämmönjakuhuoneen pohjakuva
- lämpöpumppujärjestelmän LVI-tasokuvat

- lämpöpumppujärjestelmän LVI-kytkentäkaavio
- palo-osastointisuunnitelmat (erillinen, jos palokatkoja on useita)
- julkisivupiirustuksen (mikäli julkisivuun tulee muutoksia, esim. lämpöpumppujärjestelmän keruuputkiston sijoittelu julkisivulla). (Brunnilla 2017.)

Rakennusvalvonnan ja lämmötoimittajan yhteistyö hybridilämmitysjärjestelmien (ml. PILP-järjestelmät) osalta Tampereen piirissä on pääpiirteittäin:

- 1) asiakas hakee rakennusluvan PILP-järjestelmän rakentamiselle ja toimittaa sovitut dokumentit rakennusvalvontaan verkkopohjaisen Lupapiste -palvelun kautta.
- 2) rakennusvalvonta lähettää lausuntopyynnön lämmötoimittajalle Lupapistein kautta
- 3) suunnitelmat tarkastetaan molempien tahojen toimesta ja lämmötoimittaja antaa lausunnon (mahdolliset korjauskierrokset)
- 4) suunnitelmat dokumentoidaan lämmötoimittajan järjestelmään
- 5) rakennusvalvonta myöntää rakennusluvan järjestelmän toteutukselle. (Tampereen Sähkölaitos 2016, 3.)

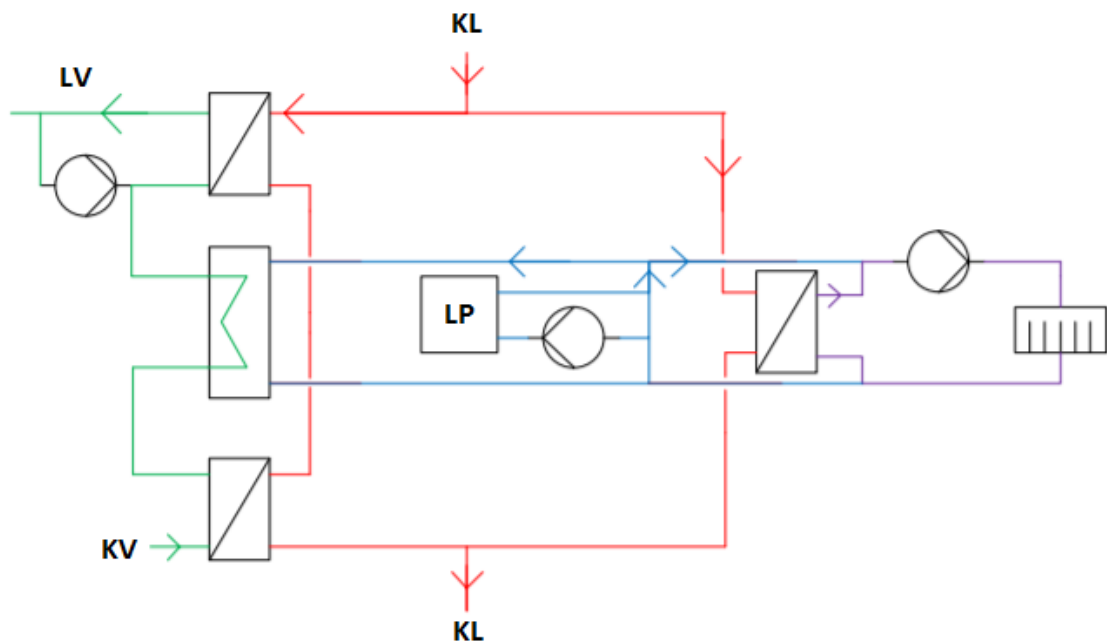
Nykyisellään korjauskehotuksia suunnitelmiin tulee useimmin käyttövesijärjestelmän kytkentöjen osalta (Brunnilla 2017; Manner 2017). Tampereella käytäntönä on, että verkoston toimivuuden takaamiseksi lämpimän käyttöveden kierto lämmitetään kokonaisuudessaan kaukolämpöenergialla. PILP-järjestelmän ns. suoran rinnakkaiskytkennän raja-arvona puolestaan käytetään neljäsosaa rakennuksen kokonaislämmöntarpeesta mitoitusoloissa. Tämä laskenta tulee esittää LVI-suunnitelmissa seuraavasti: (Tampereen Sähkölaitos 2016, 6.)

$$25 \% \geq \frac{\text{PILP-järjestelmän mitoituslämmitysteho}}{\text{Rakennuksen lämmitystehontarve mitoitusolosuhteissa}} \cdot 100 \quad (14)$$

3.2 Toimintamallit maailmalla

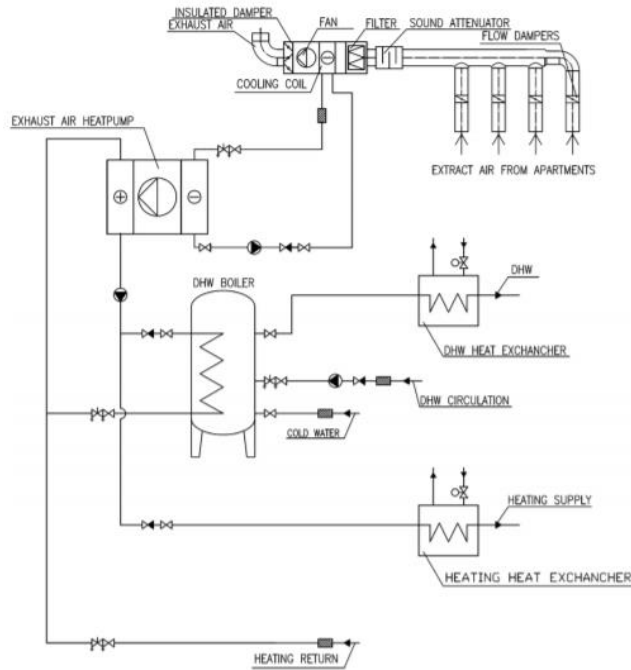
Ruotsissa PILP-järjestelmien toiminta- ja kytkentämallit ovat pitkälti samankaltaisia, kuin Suomessakin (kuva 17). Siellä säästöpotentiaali PILP-kohteille on suurempi kuin Suomessa, sillä n. puolet ruotsalaisista asuu vuosina 1950-75 rakennetussa kerrostalossa, joissa valtaosasta on koneellinen poistoilmanvaihto.

Vuonna 2013 tehdyssä tutkimuksessa arvioitiin, että vuosittainen säästöpotentiaali ajalle 2010-2020 olisi n. 1 TWh, joten kokonaissäästöpotentiaali olisi suuruusluokkaa 10 TWh (vrt. Suomen 2,7 TWh). (Berggren, Rydstedt, Wahlström 2013, 1168.) Ruotsin lämpöpumppumarkkinat yleisesti ovat huomattavasti Suomen tasoa edellä, sillä yli 90 % ruotsalaisista valitsee uudisomakotitaloon poistoilmalämpöpumpun (Future-Energyservices 2017). Suomessa vastaavasti omakotitalorakentajista hieman yli puolet päätyy lämpöpumppuratkaisuun ylipäättään (Kaappola ym. 2014, 270).



KUVA 17. Ruotsin kaukolämmön alajakokeskukseen kytkettävän rinnakkaislämmön kytkentä muistuttaa pitkälti vastaavaa kotimaista mallia (Boss 2012, 18, muokattu)

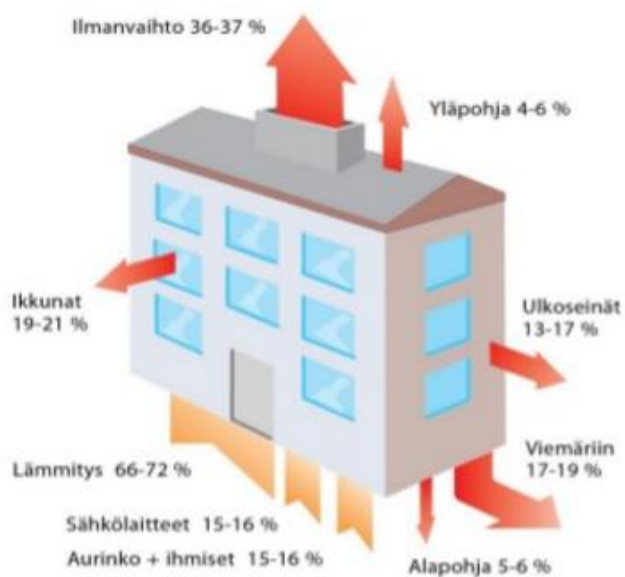
Virolaisista vastaavasti n. 60 % asuu kerrostaloissa, joista valtaosa on rakennettu vuosina 1961-90. Virossa kuitenkin käytettiin painovoimaista ilmanvaihtoa huomattavasti Ruotsia ja Suomea pidemmälle, joten todellinen säästöpotentiaali ei suhteellisesti ole yhtä suuri. Järjestelmien kytkentätavat kuitenkin muistuttavat Suomessakin käytettyjä (kuva 18). (Mikolo 2014, 1038.)



KUVA 18. PILP-järjestelmän hyödyntäminen virolaisessa kiinteistössä (Mikolo 2014, 1040)

3.3 Harrastetoimintaa vai järkevää energiataloutta?

Asuinkerrostalon energiataaseen (kuva 19) mukaisesti PILP-kohderakennusten suurin energiämenekki kohdistuu ilmanvaihtoon, joten säästämöhdöllisyydet ovat suuria.



KUVA 19. 1960-80 luvuilla rakennetun asuinkerrostalon viitteellinen energiataase (Kurnitski, Pylsy & Virta 2012, 3)

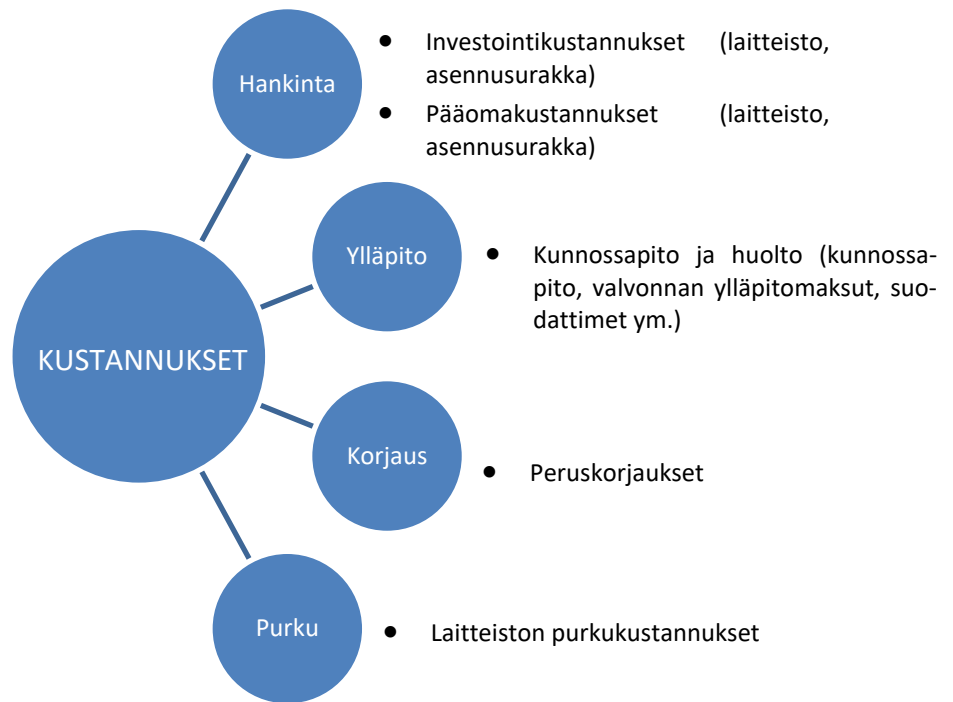
Asuinkerrostalorakennuksen energiataloutta parantavana korjaustoimenpiteenä PILP-järjestelmillä on mm. seuraavia etuja:

- vähäinen vaikutus rakennuksen käytettävyyteen (lämmitys- ja vesikatkot kokemuseräisesti enimmillään muutamia päiviä, usein vain tunteja)
- vuotuiset rahalliset säästöt usein tuhansia tai isossa kiinteistössä kymmeniä tuhansia euroja (Heinonen 2016)
- takaisinmaksuajat keskimäärin alle 10 vuotta (Jormakka 2015, 65)
- järjestelmän kokonaisvaltainen valvonta saadaan hallitusti järjestettyä
- usein vähäinen vaikutus rakennuksen julkisivuun
- asuinmukavuuden parantuminen, kun hankkeen yhteydessä huoneistokohtaiset poistoilmavirrat säädetään
- ei vaadi käytönaikaisia toimenpiteitä asukkailta.

PILP-hankkeiden haasteiksi puolestaan voidaan luokitella mm. vanhojen järjestelmien usein hankalasti mitattavissa olevien poistoilmavirtojen todentaminen, LVI-suunnittelijoiden tietämättömyys lämpöpumppulaitteiston todellisesta toiminnasta ja investointilaskelmiin liittyvät epävarmuustekijät. Myös lämpöpumppujärjestelmän tilantarve voi tuottaa haasteita, sillä usein kohderakennuksien lämmönjakohuoneet ovat ahtaita.

3.4 Kustannukset ja elinkaari

Investointilaskelmia ei tässä työssä esitellä, mutta pääpiirteittäin PILP-järjestelmän elinkaaren aikaiset kustannukset voidaan luokitella hankinta-, ylläpito-, korjaus- ja purkukustannuksiin (Kuvio 1).



KUVIO 1. PILP-järjestelmän elinkaaren kustannukset (asisisällön lähde: Kurnitski ym. 2012, 7)

Järjestelmän investointilaskelmat tehdään esim. nykyarvomenetelmällä, jossa laskentakorkokannan käyttöön perustuen investoinnin kannattavuus lasketaan diskonttaamalla tuottojen ja menojen rahalliset summat nykyarvoon ja vertaamalla näitä keskenään (VirtuaaliAMK 2017).

Laskelmiin koostuu virhemarginaalia mm:

- kustannuksien arvioinnista
- energiahintojen muutoksien arvioinnista
- järjestelmän tuoton arvioinnista
- laskentajakson pituudesta
- laskentakorosta (Kurnitski ym. 2012, 8).

Investointilaskelmat ovat puhtaasti taloudellinen mittari järjestelmän kannattavuudelle. Laskelmilla ei oteta kantaa mm. sisäilman laadun parantumiseen, huoneistojen arvonnoussuun tai hiilijalanjäljen pienentymiseen.

4 POISTOILMALÄMPÖPUMPUT JA KAUKOLÄMPÖ

Kaukolämpöjärjestelmän rinnalle asennettu poistoilmalämpöpumppulaitteisto vaikuttaa kaukolämpöverkoston tyypillisesti kahdella tapaa – vähentäen kaukolämpöenergian tarvetta ja nostaen paluulämpötilaa (Niemi M., Rämä R. & Similä L. 2015, 11). Näiden keskinäinen hyöty/haittasuhde riippuu oleellisesti tarkastelijan näkökulmasta – asiakkaan ensisijaisena intressinä on yleensä taloudellinen säästö, kaukolämmön toimittajaa puolestaan kiinnostaa kaukolämpöverkoston optimaalinen toimivuus ja myyntituotteen säilyminen.

4.1 Asiakkaan näkökanta

Asiakkaan ensisijaisena tavoitteena on tyypillisesti taloudellinen säästö. Tästä syystä taloyhtiöt kilpailuttavat PILP-laitteiston toteuttajia aktiivisesti.

Usein lopputulokseen vaikuttaa hinnan lisäksi myös toteutusta tarjoavan yrityksen imago. Asiakkaalle tärkeää on, että rakennuksen käytettävyyteen ei tule muutoksia, mutta rahallisia säästöjä syntyy.

4.2 Kaukolämmön toimittajan näkökanta

Ojasen mukaan suurissa kaukolämpöverkostoissa (putkikoot luokkaa DN150) lämpöhäviöt ovat suuruudeltaan välillä 4...10 % ja vastaavasti pienemmissä verkostoissa (putkikoot luokkaa DN50) välillä 10...20 % kokonaislämpötehosta. Energiataloudellisesti ajatellen näiden kasvattaminen ei ole järkevää, toisaalta valtaosa häviöistä syntyy suuremman lämpötilaeron johdosta menoputkesta (Ojanen 2014, 14.). Kokemusperäisten mitausten perusteella PILP-järjestelmien osuus kokonaislämmitystehontarpeesta vanhakoissa asuinkerrostaloissa on alle neljäsosan, joten kaukolämpöverkoston lämpöhäviöiden kasvua ei voida pitää merkitsevänä tekijänä järjestelmän kokonaistarkastelussa. Myöskään lämmöntoimittajat eivät ole tästä huolissaan (Heikkilä 2017a; Rautio 2017a)

Valtakunnallisesti PILP-järjestelmien kytkennöissä kaukolämpöjärjestelmän rinnalle on esiintynyt useita variaatioita ja niiden vaikutukset kaukolämpölinjojen lämpötilatasoihin

ovat aina tapauskohtaisia. VTT:n tutkimuksen yhtenä loppupäätelmänä on, että sarjakyt-kentäiset järjestelmät vaikuttavat huomattavasti enemmän kaukolämmön paluulämpötilaan kuin rinnankytketyt järjestelmät (Niemi ym. 2015, 27). Rinnankytkentä onkin ensisijainen suositus myös Energiategollisuuden julkaisussa ”Rakennusten kaukolämmitys, K1”, eikä tässäkään työssä muita kytkentämalleja käsitellä (K1 2014, 89). Valtakunnallisesti PILP-järjestelmiin ja muihin kaukolämmön rinnalle liitettäviin rinnakkaislämmityksiin suhtaudutaan hyvin vaihtelevasti.

Paluulämpötilan vaikutus kaukolämmön tuotantoon

Kaukolämmön tuotantolaitoksen toimintaan menoveden lämpötilataso vaikuttaa paluulämpötilaa merkittävästi enemmän (Seppänen 2001, 267; Niemi M., Rämä R. & Similä L. 2015, 11). Nykyään kuitenkin useat kaukolämpölaitokset ovat varustettu savukaasupesureilla, joiden toimintaperiaatteena on puhdistaa savukaasut ja ottaa niistä hukkalämpöenergiaa talteen. Tämä puolestaan onnistuu suhteellisesti paremmin, mitä matalampi kaukolämpöverkoston paluulämpötila on, sillä tällöin latenttilämpö (kondensoituminen) saadaan hyödynnettyä. Keskimäärin 10 °C:een alenema kaukolämmön runkolinjan paluulämpötilassa parantaa laitoksen kokonaishyötysuhdetta 5 %. (Heikkilä 2017b.)

4.3 Ympäristöarvojen näkökanta

Taloudellisen hyödyn lisäksi asiakkaan arvomaailmassa voi enemmän tai vähemmän olla myös ympäristöajattelu. Omistautuneen ympäristöajattelijan maailmassa ekologisuus voikin nousta jopa taloudellista muutosta suurempaan arvoasemaan. Tälle ajattelulle PILP-järjestelmät antavatkin aihetta, sillä lämpöpumpputekniikalla saadaan rakennuksen lämmitystarpeisiin käytettyä energiaa vähennettyä merkittävästi, joka puolestaan pienentää ympäristökuormaa ja täten edesauttaa dekarbonisaatiota.

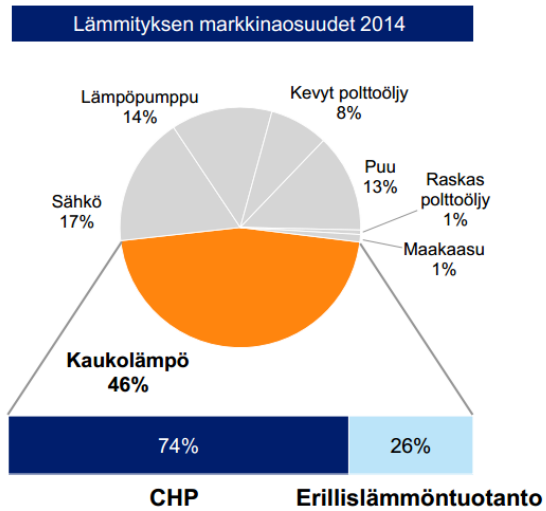
Päästökertoimet ovat tuottajakohtaisia, mutta esim. Tampereella sähkölaitos ilmoittaa vuonna 2016 tuotetun kaukolämpöenergian hiilidioksidipäästöiksi 186 kg/MWh ja vastaavasti tuotetulle sähköenergialle 117 kg/MWh (Tampereen Sähkölaitos 2017a, 2017b). Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että kaukolämmöllä tuotettu lämpöenergia tuottaa sähköenergiaan verraten 69 grammaa enemmän hiilidioksidia kilowattitunnilta.

Valtakunnallisessa mittakaavassa vastaavat päästökertoimet Motivan mukaan ovat kaukolämpöenergialle (kolmen vuoden liukuvalla keskiarvolla) 183 kg/MWh ja sähköenergialle (viiden vuoden liukuvalla keskiarvolla) 209 kg/MWh (Motiva 2017c). VTT puolestaan arvio pitkän aikavälin potentiaaliksi Suomen rakennuskannalle PILP-järjestelmien säästävän kaukolämpöenergiaa kokonaisuudessaan 2,7 TWh ja järjestelmien sähköenergiannousuksi puolestaan 0,8 TWh (Niemi ym. 2015, 1). Näistä saadaan nettosäästöksi $327 \cdot 10^6$ kgCO₂, joka on yli 0,5 % vuonna 2014 Suomessa tuotetuista päästöistä (Korhonen & Partanen 2016, 23).

Laskelmissa ei ole huomioitu lämpöpumppujärjestelmien ja niiden osien valmistuksen tai sähköverkon muutoksien tuottamia päästöjä. Jonkinlaisia ajatuksia sen olisi kuitenkin tarkoitus herättää.

4.4 Kaukolämmityksen nykytilanne ja tulevaisuus Suomessa

Kaukolämmityksen tulevaisuus on Suomen energia-alalla puhututtanut pitkään ja kaukolämmön toimittajat elävätkin jatkuvassa murroksessa. Käytettävien polttoaineiden kirjon kasvaminen ja toisaalta ilmaston lämpeneminen tuovat selkeää epävarmuustekijää skenaariotarkasteluihin. Lähivuosina myös PILP-järjestelmät ovat olleet roolissa näissä ns. tulevaisuuden ennusteissa (Heikkilä 2017a). Em. tekijät vaikuttavat myös kaukolämmön hinnoitteluun, joka nykyisellään on valtakunnallisesti melko monimuotoista lämmöntoimittajasta riippuen. Suomen lämpömarkkinoilla kaukolämmön osuus kaikesta tuotetusta lämpöenergiasta on lähes puolet (kuvio 2).



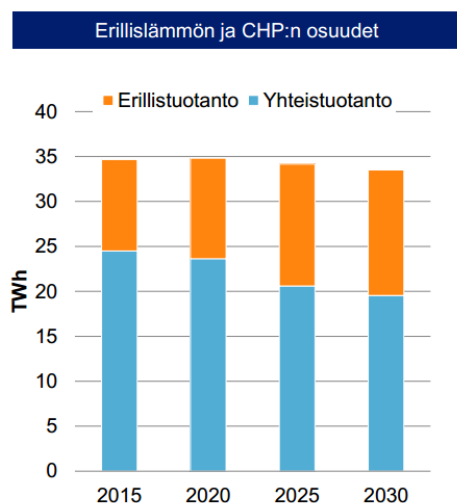
KUVIO 2. Lämmityksen markkinaosuudet vuoden 2014 Suomessa (Patronen 2016)

Totuus on, että tarkimmatkaan laskelmat eivät voi tulevaisuutta tarkalleen ennustaa, mutta skenaarioiden yhtenä punaisena lankana on CHP-tuotannon väheneminen lähivuosina tai vuosikymmeninä.

Pöyry Management Consulting Oy:n toiminnanjohtaja Jenni Patrosen esittämässä skenaariotarkastelussa (kuvio 3) todetaan, että

Yhteistuotantoinvestoinnin kannattavuus erilliseen lämmöntuotantoon nähdessä on lähivuosina hyvin epävarmaa. Ilman hintojen nousua nykytasosta lämmön erillistuotanto on selvästi yhteistuotantoa houkuttelevampaa. — Puupolttoaineiden rooli kaukolämmön tuotannossa kasvaa päästöoikeuksien hinnan noustessa. CHP:n osuus laskee, mutta jää edelleen merkittäväksi (Patronen 2016).

Tampereen sähkölaitoksen näkemys on niin ikään se, että CHP-laitoksia tullaan lähitulevaisuudessa muuttamaan erillistuotannoksi merkittäviä osuuksia (Heikkilä 2017a).



KUVIO 3. Erillis- ja CHP-tuotantojen osuudet kaukolämmön tuotannossa lähivuosisikymmeninä (Patronen 2016)

4.5 Kaukolämmön alajakokeskuksen uusiminen PILP-hankkeen yhteydessä

Mikäli kaukolämmön alajakokeskuksen tekninen käyttöikä on tiensä päässä tai siihen lähivuosina menossa, on se usein kannattavaa uusia PILP-hankkeen yhteydessä. Näin toimiessa saadaan niin taloudellisia kuin käytännöllisiäkin etuuksia – asennustunteina mitattuna on perusteltua uusia alajakokeskus PILP-töiden yhteydessä ja toisaalta ”ylimääräisiltä” käyttökatkoksilta välttyään. Lämpöpumppulaitteistonkin kannalta on optimaalisempaa ottaa se käyttöön uuden kaukolämpöpaketin kanssa, koska esim. tukkeutuneiden lämmönsiirtimien vaikutus peilautuu myös sen toimintaan. Kaukolämmön alajakokeskuksen toimittajan kanssa voidaan keskustella myös kokonaisvaltaisesta tehdasvalmiista paketista, jossa PILP-laitteiston vaatimat yhteet asennetaan kaukolämpöpakettiin jo tehtaalla.

Perinteinen menetelmä on uusia kaukolämpöjärjestelmän lämmönvaihtimet vanhoja vastaaviksi. Kokemusperäiseksi ongelmaksi tässä ilmenee se, että vanhan rakennuskannan lämmöntarvetta laskettaessa valitettavan usein lopputulosta on vääristetty joskus suurilakin lisäkertoimilla ja näin lämmitysjärjestelmän lämmönvaihtimet ovat selkeästi todellista tarvetta suuremmat. Ylimitoitettu lämmönvaihdin on suuremman investointikustannuksensa lisäksi myös toiminnaltaan ja säädöiltään epäoptimaalinen, joten sitä uusittaessa olisi suotavaa saattaa se todellista tarvetta vastaavaksi. Olemassa olevan rakennuksen lämmitystehontarpeen laskentaa käsitellään seuraavassa kappaleessa.

5 OLEMASSA OLEVAN RAKENNUKSEN LÄMMITYSTEHONTARPEEN MÄÄRITTÄMINEN

Lämmitystehontarpeella tarkoitetaan mitoitusulkolämpötilassa tarvittavaa lämmitystehoa, jolla rakennuksen rakenteet, sisäilma ja lämmin käyttövesi saadaan lämmitettyä haluttuun lämpötilaan. Uudisrakennuksiin sen määrittäminen tapahtuu laskennallisesti tai simulointiohjelmiston avulla jo suunnitteluvaiheessa. Rakennustyyppistä riippuen se koostuu seuraavista tekijöistä:

- rakennusvaipan johtumislämpöhäviöt
- vuotoilman lämpenemisen lämpötehon tarve
- tilassa tapahtuvan tuloilman lämpenemisen lämpötehon tarve
- korvausilman lämpenemisen lämpötehon tarve
- ilmanvaihtokoneen lämmityspatterin tehon tarve
- käyttöveden lämmityksen lämpötehon tarve. (SrakMk D5 2012, s60.)

Mikäli rakennuksesta puuttuu jokin yllä listatuista lämmitystarpeista, se jätetään laskennassa huomioimatta. Esim. rakennuksessa, jossa ei ole koneellista tuloilmaa sen osuus jätetään laskennan ulkopuolelle. Lämmitystehontarve voidaan määrittää myös graafisesti esim. kaukolämpölaitokselta saadun mittausdatan perusteella.

5.1 Lämmitystehontarve laskennallisesti

Olemassa olevaan rakennukseen lämmitystehontarpeen määrittäminen osatekijöistä laskemalla on erittäin työlästä ja epätarkkaa, sillä laskennan lähtötietojen tulisi oikean lopputuloksen takaamiseksi olla totuudenmukaisia. Etenkin vuosikymmeniä vanhaan rakennukseen näin ei yleensä ole, sillä rakenteiden ja eristeiden aineominaisuudet saattavat muuttua ajan kuluessa, eikä kaikkia rakenteisiin tai LVI-tekniikkaan tehtyjä muutoksia ole aina välttämättä asianmukaisesti dokumentoitu. Täten olemassa olevan rakennuksen lämmitystehontarve saadaan selvitettyä helpommin ja tarkemmin toteutuneen (ja normeeratun) lämmitysenergian kulutuksen perusteella. Tämän lisäksi laskentaan tarvitaan lähtötiedoiksi myös käyttöveden mitattu tai esim. asuntojen määrästä arvioitu kulutus, joista jälkimmäistä käytetään vain, mikäli mitattua kulutusta ei ole saatavana. Lopputuloksen

oikeellisuutta puolestaan voi arvioida esim. lämpöindeksillä, jonka määrittämiseen tarvitaan rakennustilavuus.

Laskennan voi suorittaa eri järjestyksessä, mutta pääpiirteittäin se suoritetaan seuraavasti:

- 1) etsitään laskentaan tarvittavat lähtötiedot
- 2) lasketaan käyttöveden kulutuksesta sen tarvitsema vuotuinen lämmitysenergia
- 3) normeerataan lämmitysenergiankulutus
- 4) eritellään kokonaiskulutuksesta lämpimän käyttöveden ja muun lämmityksen osuus
- 5) määritetään lämpimän käyttöveden tuottamisen tehontarve
- 6) määritetään lämmityksen tehontarve
- 7) arvioidaan tulosten oikeellisuus

Lämpimän käyttöveden vuotuinen lämmitysenergian tarve

Lämpimän käyttöveden lämmityksen vuotuisen energiantarpeen voi määrittää mitatusta kulutuksesta tai arvioida esim. asuntojen määrästä. Tyypillisesti lämpimän käyttöveden kulutusta ei ole erikseen mitattu, vaan se arvioidaan kylmän veden kulutuksesta. Kokeemusperäisesti arvioituna asuinkerrostaloissa se on käyttöveden kokonaiskulutuksesta luokkaa 30...40 %. Laskuissa käytetään ylempää raja-arvoa, sillä se on Motivankin ilmoittama arvio lämpimän veden kulutukselle (Motiva 2017a).

Käyttöveden kokonaiskulutuksesta lämpimän käyttöveden tarvitsema vuotuinen lämmitysenergiankulutus saadaan laskettua yhtälöllä (15):

$$Q_{lv} = \frac{0,4V_{kv}c\rho\Delta t}{3,6 \cdot 10^6} \quad (15)$$

jossa

Q_{lv} = lämpimän käyttöveden tuottamiseen vaadittava vuotuinen energiatarve (MWh)

0,4 = kerroin lämpimän käyttöveden osuudelle kokonaiskulutuksesta (-)

V_{kv} = vuotuinen käyttöveden kokonaiskulutus (m³)

c = veden ominaislämpökapasiteetti (kJ/(kg°C))

Δt = kylmän ja lämpimän käyttöveden lämpötilaero (°C)

Käyttöveden kulutusta voidaan arvioida myös henkilömäärän perusteella, kun tiedetään, että keskimääräinen henkilöperusteinen kulutus on suuruusluokkaa 140 l/hlö/vrk (Motiva 2017b)

Normeerattu tilojen lämmityksen vuotuinen energian tarve

Laskennassa käytettävä vuotuinen lämmitysenergiantarve täytyy normeerata (lämpötilakorjata), jotta kulutuksesta saadaan rajattua sääolosuhteiden vaikutus pois. Laskennan pohjana on Motivan laskentaoppaan mukainen järjestely, jossa lämmitystarve lasketaan + 17 °C:een sisälämpötilaan ja oletetaan lämpökuormien kattavan loppuosuus.

Rakennuksen normeerattu tilojen tarvitsema lämmitysenergiankulutus voidaan laskea yhtälöllä (16):

$$Q_{lä,norm} = \frac{S_{N,vpkunta}}{S_{tot,vpkunta}} \cdot Q_{lä,tot} = \frac{S_{N,vpkunta}}{S_{tot,vpkunta}} \cdot (Q_{kok} - Q_{lv}) \quad (16)$$

jossa

$Q_{lä,norm}$ = normitettu tilojen lämmitysenergiankulutus (MWh)

$S_{N,vpkunta}$ = normaalivuoden (1981-2010) lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla (°Cvrk)

$S_{tot,vpkunta}$ = toteutunut lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla (°Cvrk)

$Q_{lä,tot}$ = tilojen lämmittämiseen käytetty vuotuinen kokonaisenergiankulutus (MWh)

Q_{kok} = lämmityksen vuotuinen mitattu kokonaisenergiankulutus (MWh). (Motiva 2016.)

Lämpimän käyttöveden tehon tarve

Yhtälöllä (15) lasketusta vuotuisesta käyttöveden lämmityksen energiantarpeesta saadaan laskettua huipputehontarve yhtälöllä (17):

$$\Phi_{lv} = \frac{Q_{lv} \cdot 1\,000}{H_{lv}} \quad (17)$$

jossa Φ_{lv} on käyttöveden tuotannon huipputehontarve (kW) ja H_{lv} on käyttöveden huipukäyttöaika (h) (LVI 10-10306, 6).

Tilojen lämmityksen tehon tarve

Tilojen lämmityksen tehon tarve lasketaan käyttöveden laskennan tavoin huippukäyttö-aikaa käyttäen yhtälöllä (18):

$$\Phi_{l\ddot{a}} = \frac{Q_{l\ddot{a},norm} \cdot 1\,000}{H_{l\ddot{a}}} \quad (18)$$

jossa $\Phi_{l\ddot{a}}$ on tilojen lämmityksen huipputehontarve (kW) ja $H_{l\ddot{a}}$ huippukäytönaika (h), joka lasketaan yhtälöllä (19) (LVI 10-10306, 5):

$$H_{l\ddot{a}} = \frac{h_d S}{t - t_{u,mit}} \quad (19)$$

jossa

h_d = käyttöaika vuorokaudessa (h/d)

S = lämpötilaan t laskettu lämmitystarveluku tarkasteluajanjaksolle (kalenterivuodelle) (°Cd)

t = rakennuksen lämpötila, johon se lämmityslaitteistolla lämmitetään (°C)

$t_{u,mit}$ = paikkakunnan mitoitusulkolämpötila (°C) (LVI 10-10306, 5.).

Laskennan selkeyttämiseksi voidaan yhtälöt (18) ja (19) yhdistää yhtälöksi (20)

$$\Phi_{l\ddot{a}} = \frac{(t - t_{u,mit}) Q_{l\ddot{a},norm} \cdot 1\,000}{h_d S} \quad (20)$$

Tulosten arviointi

Laskennan tuloksia voidaan arvioida esim. lämpöindeksin avulla, joka suhteuttaa rakennuksen vuotuisen kokonaislämmitysenergiankulutuksen rakennustilavuuteen:

$$LI_{l\ddot{a}} = \frac{Q_{l\ddot{a},norm} \cdot 1000}{V_{rakennus}} \quad (21)$$

jossa $LI_{l\ddot{a}}$ on rakennuksen lämpöindeksi (kWh/r-m³) ja $V_{rakennus}$ on rakennuksen rakennustilavuus (r-m³).

Tulosta voidaan verrata tilastoihin, joiden mukaan Etelä-Suomessa 1960-1990 -luvuilla rakennettujen kerros- ja rivitalojen lämpöindeksi on tyypillisesti luokkaa 45...65

kWh/m³. Kylmemmän ilmaston seurauksena Keski-Suomessa vastaavat indeksit ovat n. 10...15 % ja Pohjois-Suomessa n. 25...30 % suurempia. (Motiva 2017b.)

Vastaavasti eritellysti lämpimän käyttöveden lämpöindeksi voidaan määrittää lämpimän käyttöveden tuotannon vuotuisen energiankulutuksen ja rakennustilavuuden suhteena:

$$LI_{lv} = \frac{Q_{lv} \cdot 1000}{V_{rakennus}} \quad (22)$$

jossa LI_{lv} on lämpimän käyttöveden tuotannon lämpöindeksi (kWh/m³).

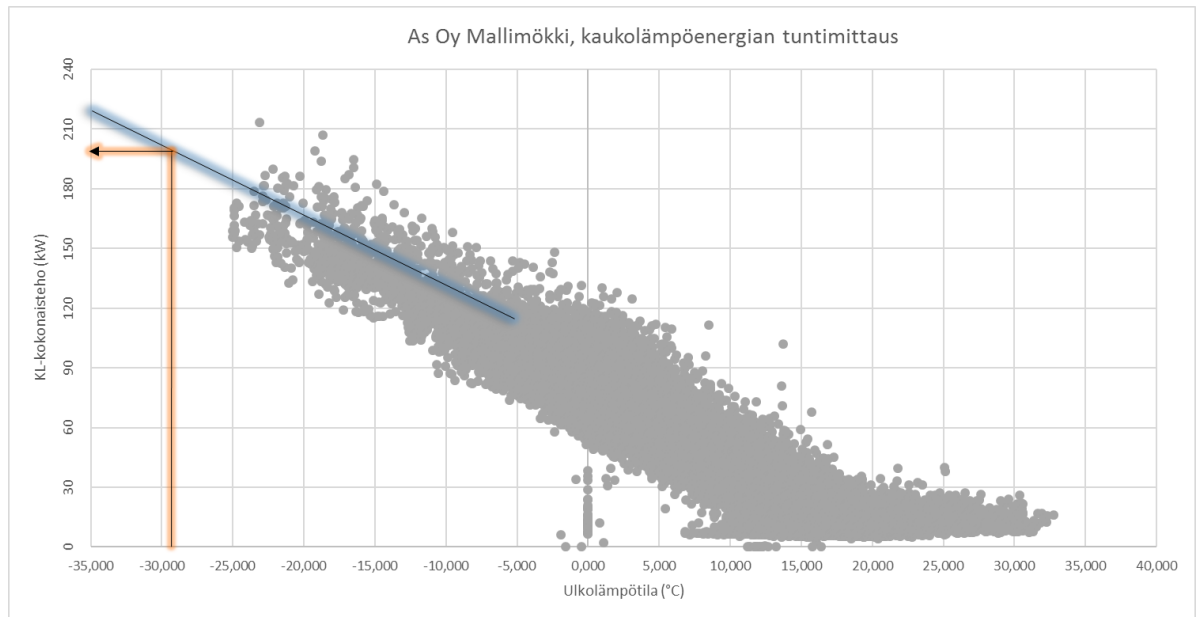
Tätä voidaan verrata asuinkerrostalon tilastolliseen tietoon, jonka mukaan lämpimän käyttöveden lämpöindeksin normaaliarvo on luokkaa 7 kWh/m³ (LVI 10-10306, 6.).

5.2 Lämmitystehontarve graafisesti

Toteutuneesta kaukolämmönkulutuksesta voidaan graafisesti määrittää tarvittava mitoitusteho lämmönvaihtimelle, kun lämmönoimittajalta saadaan seuraavat kaukolämpöjärjestelmän tiedot:

- tulolämpötila (°C)
- paluulämpötila (°C)
- virtaama (m³/h tai l/s)
- ulkoilman lämpötila (°C). (Tampereen Sähkölaitos 2016, 3.)

Kuviossa 4 on esitetty toteutuneeseen kaukolämmön kulutukseen perustuva graafinen tulkinta uuden lämmityspiirin lämmönsiirtimen mitoituksesta. Kuvassa mittauspisteet edustavat tuntimittausdataa kohderakennuksen toteutuneesta kaukolämpöenergian kulutuksesta kolmelta kalenterivuodelta. Lämmityskaudella mittauspistejoukon alareuna kuvastaa ns. pohjakulutusta ja samalla ulkolämpötilalla esiintyvät vaihtelut puolestaan käyttöveden tuottamisesta johtuvaa huojuntaa. Lämmityspiirin lämmönsiirtimen mitoitusteho saadaan määritettyä piirtämällä mittauspisteiden joukolle regressiosuora -5 °C :sta alkaen ja katsomalla tämän leikkauskohta mitoitusulkolämpötilaa vastaavasta kohdasta. (Heikkilä 2017b.)



KUVIO 4. Kaukolämmitteisen rakennuksen lämmityksen lämmitystehontarpeen määrittäminen graafisesti. Tämän esimerkkikohteen lämmityspuolen lämmönsiirtimeltä tarvittaisiin mitoitusulkolämpötilassa (-29 °C) n. 195 kW:n teho.

Graafinen tulkinta voidaan laskennallisesti vielä tarkastaa LVI-ohjekortin 10-10306 mukaisesti redusoimalla tietyssä ulkolämpötilassa toteutunut siirrinteho mitoitusulkolämpötilaan:

$$\phi_{LM,RED.} = \frac{t_S - t_{U,RED.}}{t_S - t_{U,MITATTU}} \cdot \phi_{LM,MITATTU} \quad (23)$$

jossa

$\phi_{LM,RED.}$ = lämmönsiirtimen mitoitusteho (kW)

$\phi_{LM,MITATTU}$ = mitattu lämmönsiirtimen teho ko. lämpötiloilla (kW)

t_S = lämmitettävien tilojen sisälämpötila (°C)

$t_{U,RED.}$ = ulkolämpötila, johon lämmitysteho redusoidaan (tässä mitoitusulkolämpötila) (°C)

$t_{U,MITATTU}$ = mittausajankohdan ulkolämpötila (°C). (LVI 10-10306, 7.)

6 SULJETTUJEN PUTKIVERKOSTOJEN MITOITUS

Poistoilmalämpöpumpputjärjestelmissä on kaksi erillistä putkiverkostoa – lämpöpumpun höyrystimen ja lauhduttimen piirit, joista jälkimmäinen jaetaan vaihtoventtiilillä lämmityksen ja käyttöveden tuotannon osuuksiin. Vaadittaviin paineenkorotuksiin ei staattisia korkeuseroja huomioida, sillä verkostot ovat suljettuja (meno- ja paluuputket yhdistyvät muodostaen suljetun piirin). Toisin sanoen järjestelmän virtausvastukset muodostavat tarvittavan kiertovesipumpun nostokorkeuden.

Suljetussa verkostossa verkoston virtausvastukset koostuvat putkiston ”tuottamasta” kitkapainehäviöstä sekä putkiosien, venttiilien ja laitteiden muodostamista kertapainehäviöistä. Yleisesti kitkapainehäviöitä kuvataan alaindeksillä λ ja kertapainehäviöitä vastaavasti alaindeksillä ζ .

Kitkapainehäviöihin vaikuttavat

- virtaavan nesteen virtausnopeus, viskositeetti ja tiheys
- virtausputken koko, muoto, pinnan karheus ja pituus

Kertapainehäviöihin vaikuttavat

- virtaavan nesteen virtausnopeus ja tiheys
- virtausmuutoksen tuottavan osan koko ja geometria
- kertavastuksien lukumäärä. (Ripatti & Sandberg 2014, 88.)

6.1 Kitkapainehäviöt

Nesteen virratessa suorassa putkessa se tuottaa putken seinän ja nesteen rajapinnalle kitkaa, joka vastustaa nesteen virtausta. Tähän vaikuttavia tekijöitä ovat kitkakerroin, putken sisähalkaisija sekä virtaavan nesteen aineominaisuudet ja virtausnopeus:

$$\Delta p_{\lambda} = L \frac{\lambda}{d} \frac{\rho}{2} v^2 \quad (24)$$

jossa

$\Delta p_\lambda =$ kitkapainehäviö (Pa)

$L =$ putken pituus (m)

$\lambda =$ kitkakerroin (-)

$d =$ putken sisähalkaisija (m)

$\rho =$ virtaavan nesteen tiheys (kg/m³)

$v =$ virtaavan nesteen virtausnopeus (m/s). (Seppänen, 2001, 137.)

Virtauksen luonnetta kuvataan yleisesti Reynoldsin luvulla, joka on virtausnopeuden ja putken sisähalkaisijan suhde virtaavan nesteen kinemaattiseen viskositeettiin:

$$Re = \frac{vd}{\nu} \quad (25)$$

jossa ν on virtaavan nesteen kinemaattinen viskositeetti (m²/s). (Seppänen 2001, 138.)

Reynoldsin luku indikoi suuruudellaan virtauksen luonteesta siten, että sen ollessa alle 2300 virtaus on täysin laminaarista, välillä 2300-4000 virtaus on epämääräistä ja tästä ylöspäin turbulenttista eli pyörteilevää (Engineertoolbox 2017). Näiden raja-arvojen määrittäminen on kuitenkin haastavaa ja ne ovatkin lähinnä suuntaa-antavia. LVI-tekniikassa yleisesti pyritään turbulenttiseen virtaukseen ja täten Reynoldsin luku onkin usein selkeästi yli yllä mainitun turbulenttisen virtauksen raja-arvon.

Yhtälössä 24 esiintyvä kitkakerroin määräytyy tapauskohtaisesti erikseen ja se riippuu putken sisäpinnan karheudesta, virtauksen luonteesta ja putkidimensiosta:

$$\lambda = \left(\frac{1}{-2 \cdot \lg \left(\frac{\lambda/d}{3,7} + \frac{2,51/Re}{\sqrt{\lambda}} \right)} \right)^2 \quad (26)$$

Yhtälöä (26) voidaan käyttää vain turbulenttiselle virtaukselle. (MagiCAD 2017.)

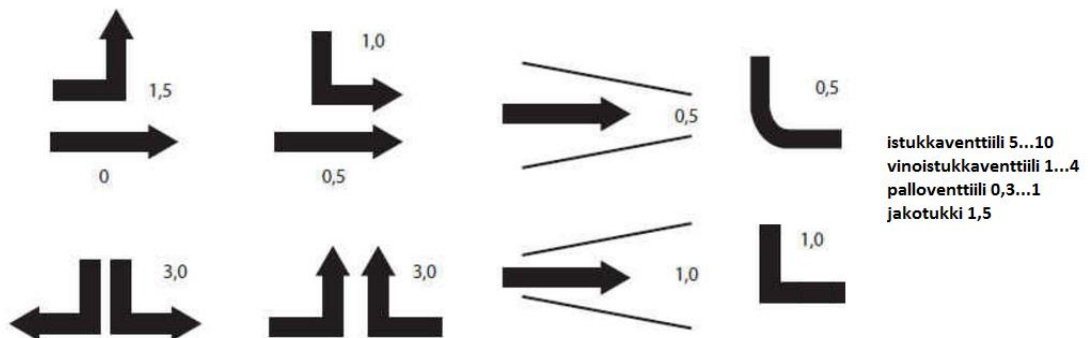
6.2 Kertapainehäviöt

Putkivirtauksen epäjatkuvuuskohtissa (suunnanmuutokset, venttiilit ym. putkiosat) syntyy virtaukseen pyörteilyä, joka kuluttaa energiaa. Käytännössä tämä tarkoittaa paikallisia painehäviöitä putkiosissa, joiden vaikutus paineeseen ilmaistaan tyypillisesti häviökertoimella ζ . Painehäviö saadaan dynaamisen paineen ja häviökertoimen tulona:

$$\Delta p_{\zeta} = \zeta \frac{\rho}{2} v^2 \quad (27)$$

jossa Δp_{ζ} on kertapainehäviön synnyttämä painehäviö (Pa) ja ζ kertapainehäviön häviökerroin (-).

Painehäviökertoimia on kokeellisesti määritelty ja niitä on esitetty kirjallisuudessa ja valmistajien dokumenteissa (kuva 20). Se on suuri niissä osissa ja varusteissa, joissa virtausnopeus ja virtauksen suunta muuttuvat runsaasti. Supistuvissa kappaleissa yleissääntö on, että häviökerroin määritetään suuremman nopeuden mukaan. Huomattavaa on myös, että kahden perättäisen putkiosan painehäviö ei ole sama kuin niiden summa yksittäin lasketuina, mikäli virtaus ei ehdi tasoittua putkiosien välissä. (Seppänen 2001, 139).



KUVA 20. Kertapainehäviökertoimia muutamille putkiosille (Cupori 2017, muokattu)

6.3 Kokonaispainehäviö

Suljetun putkiverkoston kokonaispainehäviö on kaikkien putkiosuuksien ja osien kitka- ja kertapainehäviöiden summa (Ripatti & Sandberg 2014, 88):

$$\Delta p = \Sigma \Delta p_\lambda + \Sigma \Delta p_\zeta = \Sigma \left(L \frac{\lambda}{d} \frac{\rho}{2} v^2 \right) + \Sigma \left(\zeta \frac{\rho}{2} v^2 \right) \quad (28)$$

Painehäviöt ovat siis suoraan verrannollisia virtaavan nesteen tiheyteen ja virtausnopeuden neliöön. Lisäksi Nuora huomauttaa opinnäytteessään, että kitkapainehäviö on likimain kääntäen verrannollinen putkihalkaisijan viidenteen potenssiin:

$$\Delta p_\lambda \sim \frac{1}{d^5} \quad (29)$$

Nuoran mukaan kertapainehäviöt ovat vastaavasti likimain kääntäen verrannollisia putkihalkaisijan neljänteen potenssiin (Nuora 2008, 12.):

$$\Delta p_\zeta \sim \frac{1}{d^4} \quad (30)$$

6.4 Vaikutus LVI-suunnitteluun

Edellä esitettyjen painehäviöyhtälöiden konkreettinen käyttäminen on nykyään melko harvinaista, sillä tyypillisesti mitoitukset suoritetaan LVI-suunnitteluun tarkoitetuilla CAD-ohjelmistoilla. Suunnitteluohjelmistoihin vastaavat kaavat ovat ”sisäänrakennettu”, joten niiden todellinen luonne jää helposti LVI-suunnittelijalta ymmärtämättä. Suunnittelijan tulisi kuitenkin aina ymmärtää ohjelmistoilla tehtyjen mitoituksien periaatteet ja järjestelmävalintojen vaikutukset.

Käytännössä suunnitteluohjelmistoon syötetään valitut mitoituskriteerit (metrinen painehäviö, virtausnopeus), jonka perusteella ohjelma automaattisesti valitsee sopivat putkidiensiot ja -varusteet. Tästä esimerkki kuvassa 21.

General Calculations

Calculations

Flow sum Balancing

Sizing

Sizing Method

Maks. painehäviö 50 Pa/m

Balancing

Minimum dp for radiator valves: 2.000 kPa

Minimum dp for zone valves: 3.000 kPa

Warning limit of high dp: 99.000 kPa

Balancing to minimum pressure

Balancing to pump pressure

Balancing to given pressure

Pump pressure: 0.000 kPa

Liquid

Vesi 70/40°C

Temperatures

Supply pipe: 70 °C

Return pipe: 40 °C

Ok Cancel

KUVA 21. Esimerkki LVI-suunnitteluohjelmistoon syötettävistä mitoituskriteereistä (MagiCad 2017).

7 JÄSPI LTO-JÄRJESTELMÄ

Jäspi LTO -järjestelmä on Kaukora Oy:n pitkälle tuotteistama ja asennusvalmis poistoilman lämmöntalteenoton järjestelmäkokonaisuus. Järjestelmä hyödyntää poistoilman sisältämää hukkaenergiaa lämpöpumpun välityksellä kiinteistön tai tuloilman lämmitykseen ja käyttöveden esilämmittämiseen. Poistoilman hyödynnettävissä oleva energia kerätään talteen poistoilmayksikköön sijoitettavalla lämmöntalteenottopatterilla. Lämmönsiirtoprosessin väliaineena toimii 28 p-% vesi-etanoliseos.

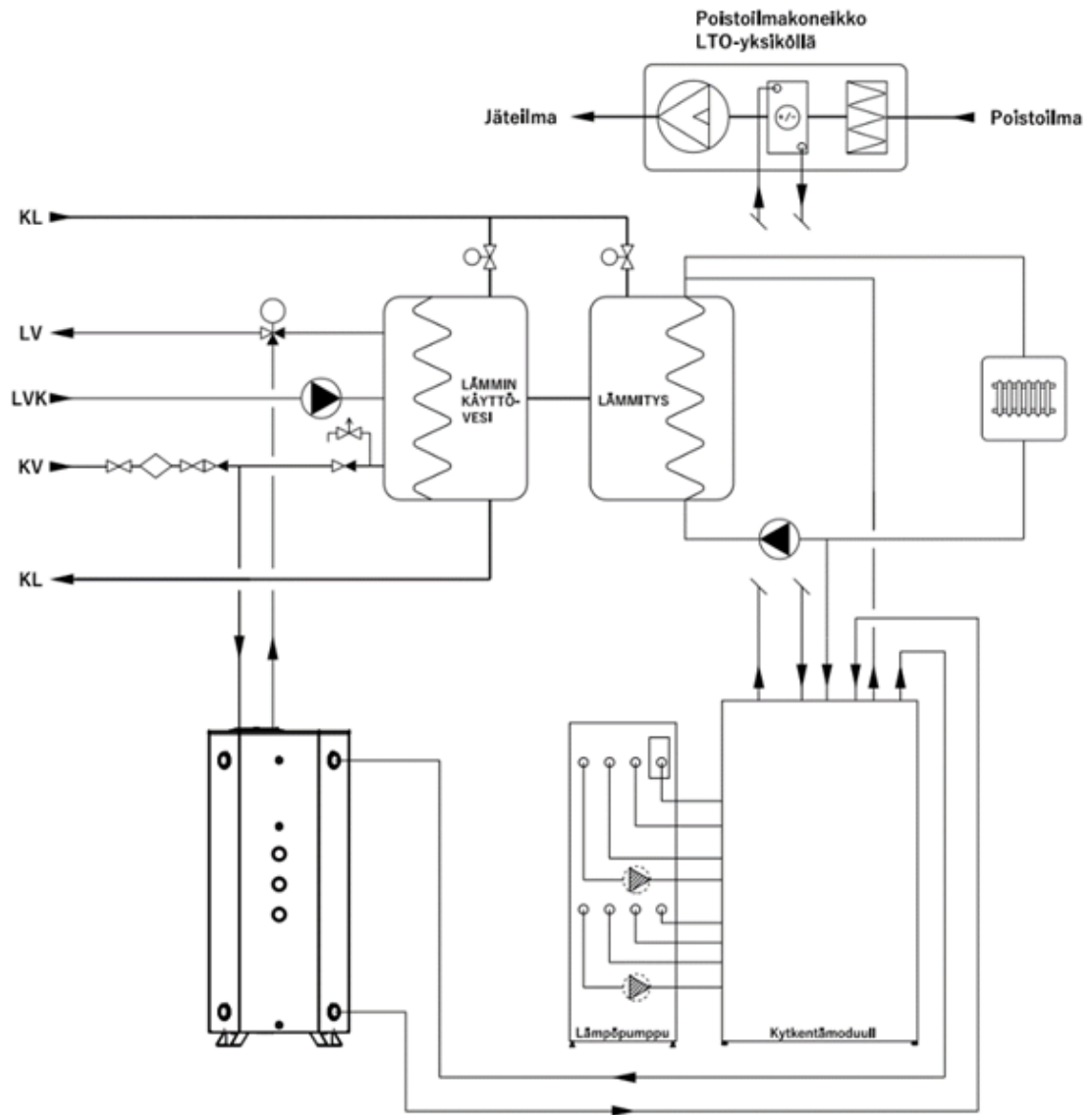
Energiaa voidaan kerätä yhdestä keskitetystä poistoilmakoneikosta tai vaihtoehtoisesti monesta pienemmästä yksiköstä. Kohderakennuksissa nämä yleensä ovat vesikatolle sijoitettuja huippuimureita.

Käyttökohteeseen energia johdetaan lämpöpumpun lauhdepuolelta suoraan tai energiavaarajan välityksellä. Tyypillisesti Jäspi LTO kytketään ensisijaisen lämmöntuottojärjestelmän rinnalle, sillä se tuottaa vain osan kiinteistön tarvitsemasta lämmitysenergiasta.

Asennustyön helpottamiseksi Jäspi LTO -järjestelmän perustoimitukseen kuuluu erillinen kytkentämoduuli, johon on tehdasasenteisesti sisällytetty kaikki välttämättömät putkivarausteet. Kytkentämoduulin kyljessä on Talotohtorin valvonta-alakeskus (VAK), jonka kautta hoidetaan laitteiston kaapeloinnit kokonaisuudessaan.

Kuvassa 22 on esitetty Jäspi LTO-järjestelmän peruskytkennän periaatekaavio.

Liitteessä 3 on tämän insinööriyön ohessa valmistunut suunnitteluopas Jäspi LTO-järjestelmän LVI-suunnitteluun, joka täydentää tässä kappaleessa esitettyjä asioita.



KUVA 22. Jäspi LTO-järjestelmän periaatteellinen kytkentä kaukolämmön alajakokeskuksen rinnalle. Kuvaan ei ole piirretty kaikkia putkivarusteita. Yksityiskohtaisempi kuva liitteenä (liite 4).

7.1 LVI-suunnittelu

Jäspi LTO-järjestelmän suunnitteluvaiheessa LVI-suunnittelijan tehtävänä on määrittää kohteeseen sopiva LTO-laitteisto, mitoittaa järjestelmä ja putkistot sekä tuottaa näistä tarvittavat dokumentit.

LVI-suunnittelun mahdollistamiseksi tulee suunnittelijalla olla tiedossa ainakin seuraavat lähtötiedot:

- yleiskuvaus tehtävistä toimenpiteistä
- LTO-piiriin liitettävien poistoilmakoneiden ilmavirtojen ajantasaiset mittauspöytäkirjat
- kohteen LVI-tekniinen dokumentointi
 - ✓ kaukolämpölaitteiston kytkentäkaavio (sis. säätimien säätökäyrät)
 - ✓ tasokuvat tarvittavilta osin
- kohteen arkkitehtikuvat
 - ✓ asemapiirros
 - ✓ vesikattokuva
 - ✓ julkisivukuva tarvittaessa.

Lisäksi mahdolliset ennakoajatukset putkireittien ja laitteiston sijoittelusta on hyvä huomioida jo alkuvaiheessa. Kattava valokuvadokumentaatio helpottaa kohteen kokonaisuuden hallitsemista etenkin, mikäli kohdekäynti ei ole mahdollinen.

Huomattavaa on, että kaikkien PILP-järjestelmien keskeisenä toimintaperiaatteena on siirtää lämpöenergiaa poistoilmasta rakennuksen lämmitykseen. Täten ennen kohteen suunnittelua tulisi aina varmistua siitä, että ilmavirtojen mittauspöytäkirjat ovat todenmukaisia ja ajan tasalla.

7.2 Järjestelmän pääkomponentit

LTO-yksiköt

Poistoilman lämpöenergia kerätään talteen Ventus AHU -ilmankäsittely-yksiköillä (kuva 23), jotka sisältävät G4-luokan ilmansuodattimen, lämmöntalteenottopatterin ja taajuusmuuttajaohjatun poistoilmapuhaltimen. Yksiköitä voidaan kytkeä rinnan ja yhden yksikön mitoitusilmavirta-alue on 0,6...3,3 m³/s.



KUVA 23. Jäspi LTO-järjestelmän LTO-yksikkö VTS AHU (Kuva: Janne Heinonen 2015).

LTO-järjestelmän ilmankäsittely-yksiköt määräytyvät tarvittavan poistoilmavirran perusteella alla olevan taulukon 4 mukaisesti.

TAULUKKO 4. Jäsپی LTO-järjestelmän ilmankäsittely-yksikön mitoitus (Fältberg 2016a)

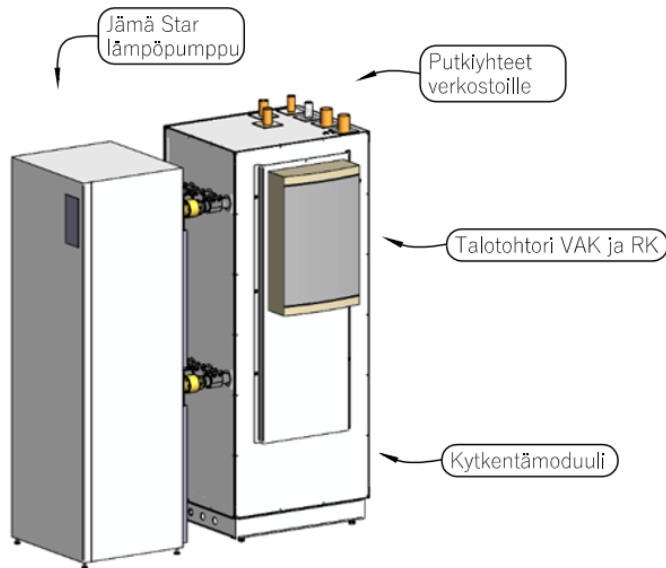
VTS AHU	Mitoitusilmavirta (m ³ /s)	Suurin ilmavirta (m ³ /s)	Suositeltu ilmavirta- alue (m ³ /s)		SFP-luku (mitoitusilmavirralla) (kW/(m ³ /s))
			min.	max.	
VS21-R-G	0,6	0,8	0,45	0,66	1,0
VS30-R-G	0,8	1,1	0,60	0,88	0,9
VS40-R-G	1,1	1,4	0,83	1,21	1,0
VS55-R-G	1,5	2,0	1,13	1,65	1,0
VS75-R-G	2,0	2,7	1,50	2,20	0,9
VS100-R-G	2,7	3,7	2,03	2,97	1,0
VS120-R-G	3,3	4,5	2,48	3,63	1,0

Poistoilmakoneikon sijoituksessa on huomioitava, että se tulee olla huollettavissa ja sen luo tulee järjestää turvallinen kulkureitti. Tyypillisesti rakennus itsessään määrittää, tulee kyseeseen ulko- vai sisäasennus. Sisäasennuksessa poistoilmakoneikkoon liitetään Vacon 100 HVAC-sarjan taajuusmuuttaja ja ulkoasennuksissa Vacon 100X -sarjan taajuusmuuttaja.

Olemassa olevan järjestelmän aikaohjelmat tulee huomioida myös uuteen laitteistoon. Mikäli poistoilmakoneikon kokoojakammioon liitetään useita osahaaroja, tulee ne olla tasapainotettavissa erillisin säätöelimin. Suositeltava ilmavirran otsapintanopeus koneikossa on luokkaa 1,5 m/s. Järjestelmään liitetään poistoilmakoneikon toiminnan katkaiseva hätäseis -kytkin, joka sijoitetaan vaaratilanteessakin helposti luokse päästävään paikkaan, yleensä tuulikaappiin. Ilmavirran mitoitusilanteen mukainen jäähtymä LTO-patterilla on 17 °C.

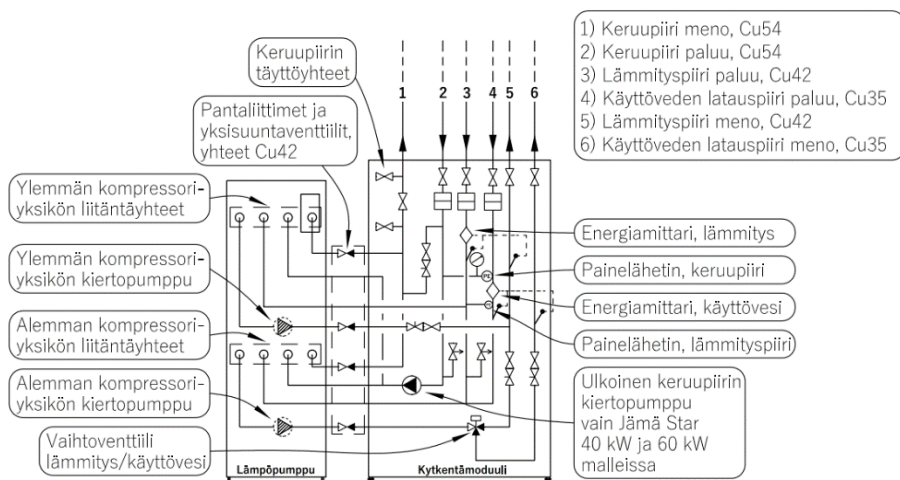
Lämpöpumppu ja kytkentämoduuli

Lämpöpumpun järjestelmässä on Jämä Star maalämpöpumppu, jonka kokovaihtoehtoina on 24, 30, 40 ja 60 kW mallit. Saman automatiikan kanssa voidaan rinnankytkä enintään yhdeksän lämpöpumppua (540 kW). (Fältberg 2016a). Lämpöpumpun perään kytketään kaikki välttämättömät putkivarusteet sisältävä Kaukora Oy:n kehittämä kytkentämoduuli kuvan 24 mukaisesti.



KUVA 24. Lämpöpumppu ja kytkentämoduuli (Fältberg 2016a)

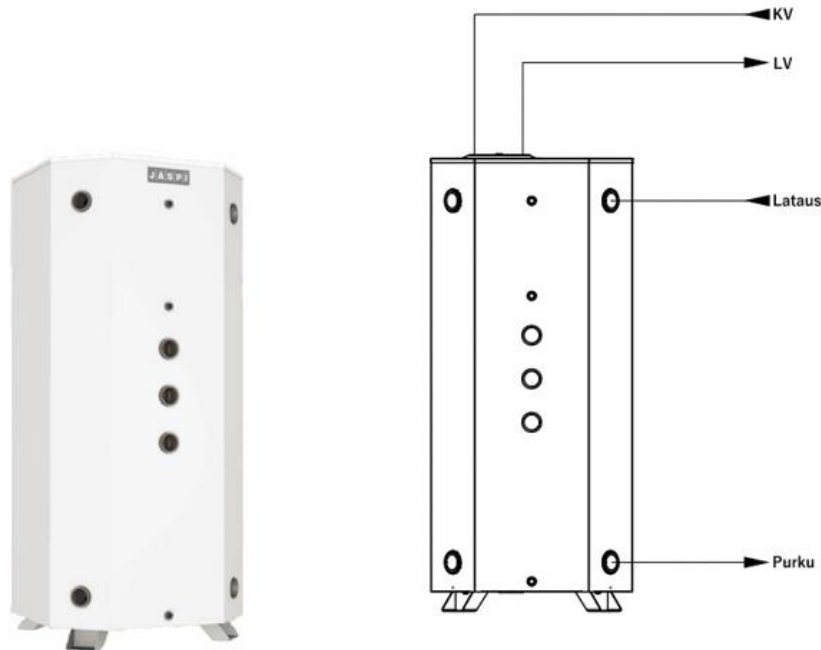
Kuvassa 25 on esitetty kaaviotyypisesti kytkentämoduulin ja lämpöpumpun sisältämät putkivarusteet.



KUVA 25. Lämpöpumpun ja kytkentämoduulin osierittely (Fältberg 2016a, muokattu)

Lämminvesivaraaja

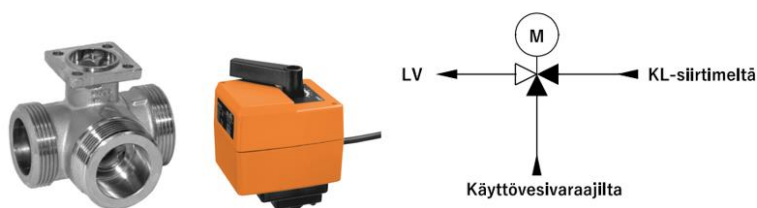
Jäspi LTO-järjestelmän peruskytkennän mukaisessa järjestelmässä käyttöveden lataukseen käytetään Jäspi Buffer 500 L -puskurivaraajaa, jossa on sisäinen käyttöveden esilämmittävä kierukkamallinen lämmönvaihdin (kuva 26).



KUVA 26. Jäspi Buffer 500 L (Kaukora 2016)

Lämpimän veden sekoitusventtiili

Lämpöpumpplaitteistolla tuotettu lämmin käyttövesi sekoitetaan runkolinjaan heti kaukolämpövaihtimen jälkeen. Sekoitus tehdään 3-tie venttiilillä, jota ohjataan moottroidulla toimilaitteella (kuva 27). Venttiiliä ohjaava ja olemassa olevan kaukolämpösäätimen lämpötila-anturit kytketään välittömästi venttiilin jälkeen verkostoon lähtevään putkeen.



KUVA 27. Lämpimän käyttöveden 3-tie säätöventtiili, sen toimilaitte ja kaaviokuva (Belimo 2017a; Belimo 2017b)

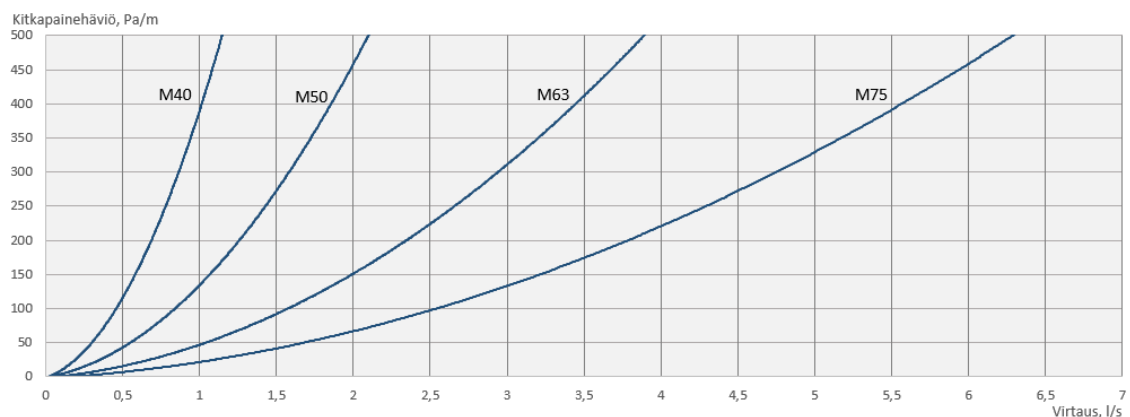
7.3 Putkimitoitukset ja -kytkennät

Keruupiiri

Järjestelmän keruupiiri suunnitellaan liitteen 4 mukaisesti. Verkoston kaikkien osahaarojen virtaamat tulee olla mitattavissa ja helposti tasapainotettavissa. Rakenteeltaan putkisto suunnitellaan siten, että sinne kertynyt liukenematon ilma johdetaan automaattisten ilmanpoistimien kautta pois. Putkiston nousut poistoilmakoneikoille sijoitetaan palo-osastoinnit ja esteettisyys huomioiden esim. rappukäytävään tai rakennuksen julkisivuun. Ulkoasennuksissa putkisto tulee suojata sääoloilta ja rappukäytävään asennettaessa palavien eristeiden (solukumi) osalta putkisto koteloidaan esim. tuplakipsilevykotelolla, jonka saumat tiivistetään palo-osastointi huomioiden. Rakennuksen ulkopuoliset asennukset suositellaan tehtäväksi tehdasvalmiilla, eristetyllä putkielementillä.

Keruupiirin paisunta-astia mitoitetaan lämpötilaerolle 30 °C, esipaineeksi suositellaan staattista korkeutta, johon lisätään liuosnesteiden aineominaisuuksista johtuen hieman normaalia vesijärjestelmää enemmän, 30...50 kPa. Paisunta-astian tilavuudeksi valitaan 3...5 % järjestelmän kokonaistilavuudesta.

Keruupiirin putkistot mitoitetaan enimmillään 180-250 Pa/m metriselle painehäviölle (putken pituudesta ja järjestelmärakenteesta riippuen). Painehäviöitä eri putkidimensioille voidaan arvioida kuviosta 5. Tarkemmat laskelmat tehdään esim. LVI-suunnitteluohjelmiston mitoitustyökalulla.



KUVIO 5. Keruupiirin painehäviö muoviputkessa virtaaman funktiona. Vastaavat kuvaajat eri putkilaaduille on esitetty liitteessä 3. Kuvaajat on tehty yhtälöitä (26) ja (27) sekä LVI-suunnitteluohjelmistoja hyödyntäen.

Lämmityspiiri

Lämmitysverkoston tehdään muutoksia vain lämpöpumppulaitteiston haaroitusten ja anturointien osalta liitteen 4 mukaisesti. Mikäli järjestelmän olemassa oleva paisunta-astia uusitaan hankkeen yhteydessä, voidaan tähän huomioida lämpöpumppulaitteiston vaatima paisuntatilavuus ja jättää toinen paisunta-astia pois. Peruskytkenässä lämpöpumppulaitteiston paisuntatilavuudeksi riittää 50 l. Esipaine ja varoventtiilit olemassa olevien mukaisesti.

Kytkeämoduulin ja lämmitysverkoston väliset kytkentäputket mitoitetetaan lämpöpumpun kokonaislämpötehon perusteella virtausnopeudelle 0,5...0,8 m/s lämpötilaeron ollessa 8 °C.

Lämpimän veden tuotanto

Kytkeämoduulin ja lämminvesivaraajan väliset latauspiirin kytkentäputket mitoitetetaan puolelle lämpöpumpun kokonaislämpötehosta, virtausnopeudelle 0,5...0,8 m/s lämpötilaeron ollessa 8 °C. Käyttövesiputket mitoitetetaan kolmasosalle lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaamasta, virtausnopeudelle 0,9...1,2 m/s.

7.4 Mittaukset ja valvonta

LTO-järjestelmän jatkuvan toiminnan ylläpitämiseksi sitä tulee asianmukaisesti valvoa. Järjestelmän suorituskykyä tulee aktiivisesti tarkkailla optimaalisen toiminnan takaamiseksi. Suunnitellun toiminnan edellyttämiseksi ulkoiseen valvontajärjestelmään tulee liittää vähintään lämpöpumpun tai -pumppujen käyntitunnit, verkostojen lämpötilat varajineen sekä ulkolämpötila.

Hallitun ja kokonaisvaltaisen valvonnan edellyttämiseksi järjestelmästä voidaan lisäksi valvoa mm:

- poistoilmakoneikon toimintaa
 - ✓ puhaltimen suorituskykyä (paineenkorotus, käynti, ilmavirta)
 - ✓ suodatinvahtia
 - ✓ lämpötiloja
- verkoston käyttöpaineita ja paisuntajärjestelmän hälytyksiä
- kiertovesipumppujen käyntitiloja.

Lisäksi valvomoon voidaan tuottaa järjestelmän suorituskykyä mittaavia raportteja mm. tuotetusta ja käytetystä energiasta sekä hyötysuhdelaskennasta. Jäsپی LTO-järjestelmän peruskytken edellyttämät anturoinnit kytkentöineen on esitetty liitteessä 4.

Taloyhtiössä PILP-järjestelmät tarvitsevat erityistä valvontaa, sillä lämpöpumpun katkottunnit, huono hyötysuhde, häiriöt ja muut vikatilanteet eivät muuten tule ilmi. Käytännössä valvonnan puute voi pahimmillaan vuositasolla aiheuttaa taloyhtiölle tuhansien eurojen rahallisen menetyksen. (Heinonen 2016.)

7.5 Kytkenävaihtoehdot

Peruskytkenä

Peruskytkenässä (liite 4) lämpöpumpun molemmilla kompressorisyksiköillä tuotetaan lämmitystä ja kytkentämoduulissa sijaitsevalla vaihtoventtiilillä alemman kompressorisyksikön lämmöntuotanto voidaan vaihtaa käyttövedeen. Lämpöpumppu priorisoi käyttöveden lämmityksen puolella teholla (alempi kompressorisyksikkö) vaihtoventtiilin kautta. Kun puskurisäiliö on lämmitetty, vaihtoventtiili ohjaa lämmitysvirran lämmityspiiriin. Kun tarvitaan lämmitystä, ylempi kompressorisyksikkö käynnistyy ensin. Kun lämmitystarve on suuri, myös alemmalla kompressorisyksiköllä tuotetaan lämmitystä. Vaihtoventtiilin toimintaa voidaan ohjata lämpöpumpun asetuksista.

Lämmityskaudella käyttöveden puskurivaraajien lämpötila pidetään vakioarvossaan ja lämmitysverkoston tuotantoa ohjataan erillisen säätökäyrän mukaisesti ulkolämpötilasta riippuvana. Olemassa oleva kaukolämpöjärjestelmä hoitaa tarvittavan loppulämmityksen, joten erillisiä sähkövastuksia ei peruskytkenässä tarvita.

Peruskytkenän lisälämmöksi ilma/vesilämpöpumppu

LTO-järjestelmää voidaan täydentää Jämä Moon -ilma/vesilämpöpumpulla (14/20 kW). Tällöin järjestelmän lämmityspiiri on varustettava Jäsپی Buffer 500 L -puskurivaraajalla ja erillisellä shunttiryhmällä (liite 5).

Jämä Moon -lämpöpumppu sijoitetaan vakaalle alustalle rakennuksen ulkoseinälle ja sen sijoituksessa tulee huomioida sääolosuhteiden vaikutus. Tarvittaessa se tulee suojata esim. katolta putoavan lumen aiheuttamalta tai muulta vastaavalta mekaaniselta vauriolta.

Jämä Moonin lämmönkeruulähteenä on ulkoilma, joten kondenssiveden muodostuminen on etenkin kostealla ilmalla erittäin voimakasta. Kondenssiveden pois kuljettaminen tulee suunnitella kivipesään, sadevesikaivoon tai lattiakaivoon. (Jämä Moon 2013.)

Maalämpöjärjestelmän rinnalle

LTO-järjestelmä voidaan kytkeä myös maalämpöpumppujärjestelmän rinnalle (liite 6). Tällöin lämmityspuolella käytetään Buffer 500 L -puskurivaraajaa ja käyttövesipuolella VLM Star 500 L -käyttövesivaraajia, jotka on varustettu 6 kW sähkövastuksella ajoittaisen ns. legionellakuumennuksen mahdollistamiseksi. Lisälämmöksi voidaan kytkeä esim. sähkökattila (Jäspi FIL SPL 31,5-400 kW) tai öljykattila. Myös käyttövesipiirissä käytetään erillistä lisälämmön tuottavaa sähkövastuksilla (3 x 7,5 kW) varustettua VLM 500 L -varaajaa.

Sopiva käyttövesivaraajien yhteenlaskettu vesitilavuus on puolet vuorokautisen lämpimän käyttöveden kulutuksesta (Korpela 2017b). Lämpöpumppujärjestelmän liuospiiriin liitetään erillinen käsikäyttöisellä täyttöpumpulla varustettu tiivis lämmönkeruunesteen astia.

7.6 Järjestelmämitoitus kohteeseen

Mitoitetaan järjestelmän vaatimat osat esimerkkikohteeseen. Kohteesta on saatu seuraavat lähtötiedot:

- asuinkerrostalo Tampereella, rakennettu vuonna 1972
- huoneistoja 40 kpl, joista yksiöitä 25 kpl ja kaksioita 15 kpl
- käyttöveden kulutus keskimäärin 3950 m³/a
- mitattu kaukolämpöenergiankulutus vuonna 2015 oli 425 MWh
- kaksi huippuimuria, á 550 l/s, poistoilmavirta yhteensä 1 100 l/s
- lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaama 1,02 l/s
- lämpimän käyttöveden asetusarvo 55 °C
- lämmityksenä 60/40 °C radiaattoriverkosto
- rakennustilavuus 10 500 m³

Jäspi LTO-peruskyltöntä

Poistoilmasta saadaan yhtälön (10) mukaisesti energiavirta

$$\Phi_{LTO} = q_{v,i} \rho_i c_{p,i} \Delta t_i = 1,1 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1,006 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot (22 - 5)^\circ\text{C} = 23 \text{ kW}$$

Tämä energiavirta siirtyy keruuverkoston liuosnesteeseen, joten liuosnesteeseen tilavuusvirta voidaan laskea yhtälön (11) avulla

$$q_{v,l} = \frac{\Phi_{LTO}}{\rho_l c_l \Delta t_l} \cdot 1000 = \frac{23 \text{ kW}}{968,6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 3,75 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot (6-1)^\circ\text{C}} \cdot 1000 = 1,3 \text{ l/s}$$

Liitteen 3 sivun 35 mukaisesti tämä liuosvirtaama toteutuu parhaiten 30 kW lämpöpumpulle, joten järjestelmän lämpöpumpuksi valitaan Jämä Star 30 kW lämpöpumppu.

Poistoilmakoneikoiksi valitaan kappaleen 7.2 taulukon 4 mukaisesti kaksi (2) kappaletta VTS AHU VS30-R-G koneikkoja.

Liitteen 3 sivulla 16 on yhtälöiden (26) ja (27) avulla määritetyt valmiit kuvaajat, joiden perusteella valitaan poistoilmakoneikoiden kytkentäputkien dimensioksi M50 ja vastaavaksi runkoputkeksi M63.

Paisuntatilavuudeksi määritettäisiin järjestelmän todellisesta liuostilavuudesta 3...5 %. Varolaitteisto ja paisunnan esipaine mitoitetaan LVI-ohjekortin 11-10472 laskentamenetelyn mukaisesti. Lähtötietojen mukaiseen asuinkerrostaloon tämän tyyppisen verkoston liuostilavuus voisi olla 150...300 litraa ja paisuntatilavuus yleensä kannattaa valita läheltä ylempää raja-arvoa, joten vakiokokoisista astioista valittaisiin esim. 18 litrainen kiinteäkalvoinen astia.

Kappaleessa 7.3 esitettiin lämmityspiirin sopivaksi virtausnopeudeksi 0,5...0,8 m/s ja liitteen 3 sivun 35 mukaisesti 30 kW lämpöpumpun lämmityspiirin tuottovirtaama on 0,73 l/s, joten sopiva putkidimensio voidaan laskea yhtälön (13) avulla

$$d = \sqrt{\frac{4 q_v}{\pi v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,73 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{\pi \cdot 0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}}} = 0,043 \text{ m} = 43 \text{ mm}$$

Vastaavasti laskettuna 0,8 m/s virtausnopeudelle saadaan putken sisähalkaisijaksi 34 mm. Täten lämmitysverkoston liitäntäputkiksi voidaan valita esim. ZnFe42 sähkösinkitty putki, jonka sisähalkaisija on 39 mm (Onninen 2017).

Käyttöveden lataukseen käytetään vain toista lämpöpumpun kompressoriyksikköä, joten sen laskentaperusteena on latauspuolen virtaama 0,365 l/s. Tälle saadaan yllä esitetyin menettelyin määritettyä tarvittavaksi virtausputken halkaisijaksi 24...30 mm, joten putkeksi valitaan esim. ZnFe28, jonka sisähalkaisija on 25 mm (Onninen 2017).

Lähtötietojen mukaan lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaama on 1,02 l/s, joten mitoitettava tekijä on 0,34 l/s. Tästä saadaan laskettua vastaavasti 0,9...1,2 m/s virtausnopeudelle 13,4...15,5 mm sisähalkaisijan omaava virtausputki. Käyttövesiputket tehdään tyypillisesti kuparista, jonka kokovalikoimasta ei tässä tapauksessa täysin sopivaa putkidimensiota löydy. Valitaan seuraavaksi lähin putkikoko eli Cu18, jonka sisähalkaisija on 16 mm (Cupori 2017a).

Tähän kytkentään käytetään liitteen 4 mukaista kytkentäkaaviota, jota täsmennetään yllä lasketuin tiedoin. Lisäksi järjestelmä putkineen esitetään tasokuviissa ja verkosto tasapainotetaan. Kohteen luonteesta riippuen myös tarvittavat julkisivu-, detalji- ja palokatkokuvat piirretään. Valmiit LVI-dokumentit toimitetaan rakennusvalvonnan ja tarvittaessa erikseen lämmötoimittajan tarkastettavaksi.

Jäspi LTO, kytkentä maalämpöjärjestelmän rinnalle

Kohteessa ei ole erikseen mitattu lämpimän käyttöveden tuotantoon käytettyä kaukolämpöenergiaa, joten se täytyy arvioida yhtälöllä (15):

$$Q_{lv} = \frac{0,4V_{kv}c\rho\Delta t}{3,6 \cdot 10^{-6}} = \frac{0,4 \cdot 3950 \text{ m}^3 \cdot 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 994,9 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} (55-10)^\circ\text{C}}{3,6 \cdot 10^6} = 82 \text{ MWh}$$

Ilmatieteenlaitoksen verkkosivujen mukaan Tampereen lämmitystarveluku vertailukaudella 1981–2010 on ollut 4424 °Cvrk ja mitatun kulutuksen vuonna (2015) vastaavasti 3619 °Cvrk (Ilmatieteenlaitos 2017b).

Normeerataan kaukolämpöenergian kulutus yhtälöllä (16)

$$Q_{lä,norm} = \frac{S_{N,vpkunta}}{S_{tot,vpkunta}} \cdot (Q_{kok} - Q_{lv}) = \frac{4424 \text{ }^{\circ}\text{Cvrk}}{3619 \text{ }^{\circ}\text{Cvrk}} \cdot (425 - 82) \text{ MWh} = 419 \text{ MWh}$$

Ennen järjestelmävalintoja arvioidaan lämmityksen normeerattua kulutuslukemaa lämpöindeksillä yhtälön (21) mukaisesti

$$LI_{lä} = \frac{Q_{lä,norm} \cdot 1000}{V_{rakennus}} = \frac{419 \text{ MWh} \cdot 1000}{10\,500 \text{ r} - \text{m}^3} = 39 \frac{\text{kWh}}{\text{r} - \text{m}^3}$$

Lämpimän käyttöveden indeksi lasketaan vastaavasti yhtälön (22) mukaan

$$LI_{lv} = \frac{Q_{lv} \cdot 1000}{V_{rakennus}} = \frac{82 \text{ MWh} \cdot 1000}{10\,500 \text{ r} - \text{m}^3} = 8 \frac{\text{kWh}}{\text{r} - \text{m}^3}$$

Lämpöindeksien perusteella rakennuksen lämmitykseen kuluu muihin vastaaviin rakennuksiin nähden vähemmän energiaa, mutta käyttövettä kulutetaan vertailuarvoa enemmän (kts. kohta ”Tulosten arviointi” kappaleesta 5.1).

Normeerattua lämmitysenergian kulutusta hyödyntäen lasketaan lämmitykseen tarvittava huipputeho yhtälön (20) avulla, kun tiedetään Tampereen mitoituslämpötilan olevan $-29 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (Ilmatieteenlaitos 2017a):

$$\Phi_{lä} = \frac{(t - t_{u,mit}) Q_{lä,norm} \cdot 1\,000}{h_d S} = \frac{(17 - (-29))^{\circ}\text{C} \cdot 419 \text{ MWh} \cdot 1\,000}{24 \frac{\text{h}}{\text{vrk}} \cdot 3619 \text{ }^{\circ}\text{Cvrk}} = 221 \text{ kW}$$

LTO-laitteistolta saadaan aiemman mukaan lämmitystehoa 30 kW, joten muulta laitteistolta tarvitaan 191 kW lämmitysteho. Arvioidaan, että 65 % tehopeitolla saadaan kateuksi n. 95 % vuotuisesta lämmitysenergian tarpeesta, joten valitaan maalämpöpumppujen kokonaislämmitystehoksi 124 kW (St1 2017). Maalämpöpumppujen vakiokokojen mukaisesti valitaan lämpöpumpuiksi siis kaksi (2) 60 kW Jämä Star maalämpöpumppua. Heinosen mukaan tämän kokoluokan maalämpöjärjestelmissä lisälämmön tuottavan sähkökattilan lämmitystehon tulisi olla suuruusluokkaa 50 % kokonaistarpeesta, joten vakiokokojen mukaisesti valitaan järjestelmään 105 kW sähkökattila, esim. Jäspi FIL (Heinonen 2016).

Geoenergialla tuotettu lämmitysteho mitoitusolanteessa on siis 120 kW ja valmistaja ilmoittaa (kuva 4 kappaleessa 2.3.1) lämpöpumpun lämpökertoimeksi mitoitusoloissa 3,88. Yhdistämällä yhtälöt (4) ja (5) saadaan selville maasta tarvittava höyrystinteho seuraavasti

$$\phi_H = \phi_L \left(1 - \frac{1}{\text{COP}_{LP}}\right) = 120 \text{ kW} \left(1 - \frac{1}{3,88}\right) = 89 \text{ kW}$$

Tampereen säävyöhykkeelle ”turvallinen” mitoitusraja on kappaleen 2.4 taulukon 3 mukaisesti 38 W/m_{eff}, joten aktiivisyvyyttä kaivokentälle tarvittaisiin yhteensä n. 2340 metriä. Tyypillisesti tämä tieto riittää porausurakan toteuttavalle taholle, mutta käytännössä tämä toteutuisi esim. 12:lla 195 m syvällä (aktiivisyvyys) energiakaivolla. Porausfirma toimittaa myös toteuttamansa kaivokentän painehäviölaskelmat ja muut suunnitteludokumentit.

Lähtötietojen mukaan kohteessa kuluu käyttövedtä 3950 m³ vuodessa, josta oletusarvallisesti arvioidaan lämpimän veden osuudeksi 40 % eli 1580 m³ (Motiva 2017b). Vuorokausitasolla tämä on siis n. 4,3 m³, joten lämpimän käyttöveden varaajatilavuudeksi määritellään yhteensä 2,15 m³ (kappale 7.5). Vakiokokoisilla lämminvesivaraajilla tämä käytännössä tarkoittaa neljää (4) 500 litraista lämminvesivaraajaa (esim. Jäspi VLM-Star). Lämpimän veden linjaan kytketään vielä erillinen sähkövastuksilla lämmitettävä ”päävaraaja”, joka varmistaa lämpimän käyttöveden saannin kaikissa olosuhteissa (esim. Jäspi VLM, 3 x 7,5 kW).

Liitteen 3 sivun 34 mukaisesti 30 kW lämpöpumpun liuosvirtaama on 1,62 l/s ja 60 kW lämpöpumpun vastaavasti 3,1 l/s. Järjestelmässä on yksi 30 kW ja kaksi 60 kW lämpöpumppua, joten liuosverkoston kokonaisvirtaama on 7,82 l/s. Annettujen painehäviörajojen puitteissa liuosverkoston runkoputkeksi valitaan M110, johon syntyy ko. virtaamalla kitkapainehäviötä n. 110 Pa/m (liite 3, s.16).

Paisuntatilavuudeksi määritettäisiin järjestelmän todellisesta liuostilavuudesta 3...5 %. Varolaitteisto ja paisunnan esipaine mitoitetaan LVI-ohjekortin 11-10472 laskentamenetelyn mukaisesti. Lähtötietojen mukaiseen asuinkerrostaloon tämän tyyppisen verkoston liuostilavuus voisi olla 4 500...5 500 litraa, joten paisunnaksi valittaisiin vakiokokojen mukaisesti esim. 200 litrainen kiinteäkalvoinen astia.

Lämmitysjärjestelmän lisääntynyt putkitilavuus, puskurivaraaja ja sähkökattila kasvattavat järjestelmän kokonaistilavuutta, joten olemassa olevaa paisuntalaitteistoa ei sinällään voi hyödyntää, vaan sen tilavuutta tulee kasvattaa 3...5 %. Lämmitysjärjestelmän varolaitteisto valitaan olemassa olevien mukaisesti.

Tähän kytkentään käytetään liitteen 6 mukaista kytkentäkaaviota, jota täsmennetään yllä lasketuin tiedoin ja järjestelmävalinnoin. Lisäksi järjestelmä putkineen esitetään tasokuvissa ja verkostot tasapainotetaan. Kohteen luonteesta riippuen myös tarvittavat julkisivu, detajji- ja palokatkokuvat piirretään. Valmiit LVI-dokumentit toimitetaan rakennusvalvonnan tarkastettavaksi.

8 YHTEENVETO

PILP-järjestelmän keskeinen toimintaperiaate on hyödyntää rakennuksen poistoilman lämpöenergiaa lämmitystarpeisiin. Käytännön ongelmana on, että muutoin hyvin suunnitellussa kohteessa tavoiteltuun lopputulokseen ei päästä, mikäli lähtötiedot eivät alkuaankaan ole kunnossa. Ilmavirtojen mittauspöytäkirjojen oikeellisuus tulisi siis aina varmistaa ennen suunnittelun aloittamista. PILP-järjestelmä voidaan kaukolämmön lisäksi kytkeä myös muun päälämmityslähteen rinnalle ja sitä voidaan täydentää esim. ilma/vesilämpöpumpulla. Kaukolämpöjärjestelmään liiittäessä tulee lämmönoimittajalta aina tapauskohtaisesti varmistaa mahdolliset erityisvaatimukset ja -toiveet.

Nykyään LVI-suunnittelu ja osa järjestelmävalinnoista tapahtuu enemmän tai vähemmän tietokoneavusteisesti ja sellaisilla ohjelmistoilla, joiden peruskäyttö ei välttämättä vaadi asian teoreettista osaamista. Suunnittelijan tulisi kuitenkin aina ymmärtää mitoituskriteerien ja järjestelmävalintojen teoreettinen tausta, jotta niitä voisi paremmin soveltaa käytännön tilanteissa. Mm. tästä syystä tämä työ oli melko teoriapainotteinen. Kappaleessa 7.6 esitetyt laskelmat toteutettaisiin käytännössä laitevalmistajan mitoitusohjelmalla, mutta tässä työssä nekin haluttiin esittää teoreettisemmin. Lämpöpumppulaitteiston teknisistä tiedoista tulee aina varmistaa, ettei keruu- tai lämmitysverkoston enimmäispainehäviörajat ylity.

Tämän insinööriyön ohessa tuotettiin tilaajan kriteerien mukainen suunnitteluopas Jäspi LTO-järjestelmien suunnitteluun (liite 3), jossa esitetään laitteiston suunnitteluperusteita huomattavasti suoraviivaisemmin. Tilaajalle tuotettiin myös Jäspi LTO-järjestelmän mitoitukseen soveltuva laskentatyökalu (kuva 28) ja erillinen DWG-kirjasto suunnittelutiedoille. Excel-pohjaisen laskentatyökalun tuottamiseen sovellettiin kappaleissa 2 ja 6 esitettyjä laskentamenettelyjä.

Kohde: As Oy Mallimökki, Puistokatu 99, Sastamala
12.3.2017 19:28

Täytä/valitse vain siniset kentät

LTO-yksikköjen tiedot

	Ilmavirta (m ³ /s)	Keruuteho (kW)	Liuosvirta (l/s)
Puhallin 1	0,6	12,4	0,68
Puhallin 2	0,5	10,3	0,57
Puhallin 3	0,5	10,3	0,57
Puhallin 4	0,5	10,3	0,57
Puhallin 5	0,5	10,3	0,57
Puhallin 6	0,5	10,3	0,57
Puhallin 7	0,5	10,3	0,57
Puhallin 8	0,5	10,3	0,57
Yhteensä	4,1	84,5	4,65

Lämpöpumpun tehot (kW)

Höyrystinteho	84,5	Valitse lämpöpumppu tai -pumput tämän mukaan
Sähköteho	34,7	
Lämpöpumpputeho	119,2	
Lämpöpumppu 1	60,0	
Lämpöpumppu 2	60,0	
Lämpöpumppu 3	Ei valittuna	
Lämpöpumppu 4	Ei valittuna	

Keruuverkoston lähtötiedot (28 p-% etanoliseos)

	Etäisyys (m)	Putkimateriaali	Putkikoko (mm)	Valitun putken soveltuvuus
Runkoputkisto	50	ZnFe	88,9	Putkivalinta OK!
Putkiosuus 2	30	ZnFe	76,1	Putkivalinta OK!
Putkiosuus 3	10	ZnFe	88,9	Putkivalinta OK!
Putkiosuus 4	10	ZnFe	76,1	Putkivalinta OK!
Putkiosuus 5	10	ZnFe	76,1	Putkivalinta OK!
Putkiosuus 6	10	ZnFe	54	Putkivalinta OK!
Putkiosuus 7	10	ZnFe	54	Putkivalinta OK!
Putkiosuus 8	5	ZnFe	42	Putkivalinta OK!

Keruuputkistossa 90 ° suunnanmuutoksia (kpl)

Keruuverkoston mitoitus tiedot

	Painehäviö (Pa/m)	Painehäviö (kPa)	Suhteellinen osuus (%)
Runkoputkisto	88	8,8	32,5
Putkiosuus 2	144	8,6	32,0
Putkiosuus 3	51	1,0	3,7
Putkiosuus 4	79	1,6	5,8
Putkiosuus 5	53	1,1	3,9
Putkiosuus 6	169	3,4	12,5
Putkiosuus 7	83	1,7	6,2
Putkiosuus 8	89	0,9	3,3

Putkiston painehäviö (kPa)
Verkoston kokonaispainehäviö (kPa)

Verkoston painehäviömitoitus OK!

KUVA 28. Jäsپی LTO-järjestelmän mitoitukseen kehitetty laskentatyökalu, jota ei vielä kirjoitushetkellä ole julkisesti saatavana

9 POHDINTA

Opinnäytetyölle asetetut tavoitteet täyttyivät hyvin ja aiheena työ oli erittäin ajankohtainen. Haasteita kertyi sisällön laaja-alaisuudesta, sillä kaikkea tarvittavaa tietoa PILP-järjestelmiin liittyen oli haastavaa saada yhteen opinnäytteeseen mahtumaan. Tästä syystä joitain aihealueita käsiteltiin vain pintapuolisesti ja mm. hyötysuhde- ja investointilaskelmat sekä maaperän latauksen lauhdelämmöllä käsittelevät osuudet jouduttiin jättämään kokonaan pois. Em. aiheet ovat itsessään niin laaja-alaisia, että soveltuisivat sinällään opinnäytteen tutkimusaiheeksi, joten niiden pintapuolinen tarkastelu ei olisikaan ollut mielekäästä.

Suomen rakennuskannalla olisi todellista potentiaalia PILP-järjestelmien toteutukseen huomattavasti nykyistä toteutustahtia enemmän. Järjestelmien teknisten toteutusten vaikiintuessa ja markkinoinnin tehostuessa oletettavissa on, että kaukolämmitteisten asuin-kerrostalojen PILP-sovellukset tulevat lähivuosina merkittävästi yleistymään. Kaukolämpöyhtiöt kuitenkin haluavat myyntituotteensa säilyvän, joten valtakunnallisen säästöpotentiaalin hyödyntäminen ei tule olemaan yksiselitteistä.

LÄHTEET

Anttila, R. 2014. TRT-laitteiston suunnittelu. Talotekniikka. LVI-tekniikka. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Belimo. 2017a. 3-tie säätöventtiili. Luettu 10.4.2017. [http://www.belimo.ch/pdf/d/R5..\(K\)_datasheet_de-ch.pdf](http://www.belimo.ch/pdf/d/R5..(K)_datasheet_de-ch.pdf)

Belimo. 2017b. Säätöventtiilin toimilaitte. Luettu 10.4.2017. http://www.belimo.fi/pdf/fi/HRY24-SR_1_0_fi.pdf

Berggren T, Rydstedt T, Wahlström Å. 2013. Technical Procurement of Heat Recovery Systems in Existing Apartment Blocks in Sweden. Luettu 7.4.2017. http://proceedings.eceee.org/papers/proceedings2013/5A-104-13_Wahlstrom.pdf?returnurl=http%3A%2F%2Fproceedings.eceee.org%2Fvisabstrakt.php%3Fevent%3D3%26doc%3D5A-104-13

Boss, A. 2012. Fjärrvärmecentral och frånluftsvärmepump i combination. Fjärrsyn. Luettu 10.4.2017. http://www.svenskfjarrvarme.se/Global/FJ%20C3%84RRSYN/Rapporter%20och%20resultatblad/Rapporter%20teknik/2012/2012_11%20Fr%20C3%A5nluftv%20C3%A4rmepump%20och%20fj%20C3%A4rrv%20C3%A4rmecentral%20i%20combination/Fj%20C3%A4rrv%20C3%A4rmecentral%20och%20fr%20C3%A5nluftsv%20C3%A4rmepump.pdf

Brunnila, J. 2017. LVI-vastaava. Tampereen kaupunki. Puhelinkeskustelu 2.2.2017.

Cupori. 2017a Kupariputkien dimensiot. Luettu 9.4.2017. <http://www.cupori.com/tuotteet>

Cupori. 2017b. Putkiosien kertavastuskertoimia. Luettu 9.4.2017. http://www.cupori.com/kupariputkien-asennus/asennus-suunnitteluopas/mitoitus-lampojohdot/laskennallinen-mitoitus-lampojohdot_copy

Energiateollisuus. 2016. Vuoden 2015 kaukolämpötilastot. Luettu 8.4.2017. http://energia.fi/files/1184/Kaukolampotilasto_2015.pdf

Engineertools. 2017. Reynoldsin luvusta. Luettu 1.4.2017. http://www.engineering-toolbox.com/reynolds-number-d_237.html

Future-Energyservices. 2017. Ruotsin lämpöpumpuista. Luettu 7.4.2017. <http://www.futureenergyservices.co.uk/docs/Heat%20Recovery%20Heat%20Pumps.pdf>

Fältberg, J. 2016a. Suunnitteluinsinööri. Kaukora Oy. Laitteiston kuvia ym. Sähköpostiviesti. Luettu 9.6.2016.

Fältberg, J. 2016b. Suunnitteluinsinööri. Kaukora Oy. Haastattelu 10.10.2016. Haastattelija Korkee, T. Raisio.

Fältberg, J. 2017. Suunnitteluinsinööri. Kaukora Oy. Haastattelu 22.1.2017. Haastattelija Korkee, T. Raisio.

Geodrill. 2017a. Porakaivon rakenne. Luettu 5.2.2017. <http://www.geodrill.fi/maalampo/lampokaivo/>

Geodrill. 2017b. TRT-mittaus. Luettu 8.4.2017. <http://www.geodrill.fi/trt-mittaus/>

GTK. 2017. Lämpökartat. Geologian tutkimuskeskus. Luettu 10.1.2017. <http://www.gtk.fi/geologia/luonnonvarat/geoenergia/>

Hakala, P. & Kaappola, E. 2013. Kylmälaitoksen suunnittelu. 3. painos. Helsinki: Opetushallitus.

Heikkilä, T. 2017a. Myyntipäällikkö. Tampereen Sähkölaitos Oy. Haastattelu 6.2.2017. Haastattelija Korkee, T. Tampere.

Heikkilä, T. 2017b. Myyntipäällikkö. Tampereen Sähkölaitos Oy. Kaukolämpömateriaalia. Sähköpostiviesti. Luettu 20.1.2017.

Heinonen, J. 2016. Toimitusjohtaja. Enermix Oy. Haastattelu 20.10.2016. Haastattelija Korkee, T. Tampere.

Hirvelä, A., Jokela, M., Kaappola, E. & Kianta, J. 2014. Kylmätekniikan perusteet. 3.painos. Helsinki: Opetushallitus.

Ilmatieteenlaitos. 2017a. Suomen säävyöhykekartta ja mitoituslämpötilat. Luettu 2.2.2017. <http://ilmatieteenlaitos.fi/energielaskennan-testivuodet-nyky>

Ilmatieteenlaitos. 2017b. Lämmitystarveluvut. Luettu 2.2.2017. <http://ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut>

Jormakka, J. 2015. Lämmöntalteenotto kerrostalon poistoilmasta poistoilmalämpöpumpulla. Talotekniikan koulutusohjelma. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö

Juvonen J. & Lapinlampi T. 2013. Energiakaivo. Ympäristöministeriö. Luettu 6.3.2017. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40953/YO_2013.pdf?sequence=4

Jämä Moon. 2013. Jämä Moon IVLP esite. Luettu 5.1.2017. <http://www.kaukora.fi/sites/default/files/kaukorafiles/J%C3%84M%C3%84%20Moon%207%20%209%20k%C3%A4ytt%C3%B6ohje%20asentajalle.pdf>

Jämä Star. 2017. Jämä Star kiinteistömaalämpöpumppujen käsikirja. Ei saatavana julkisesti. Luettu 10.9.2017.

K1. 2014. Energiateollisuus. Rakennusten kaukolämmitys. Määräykset ja ohjeet. Luettu 7.1.2017 http://energia.fi/files/502/JulkaisuK1_2013_20140509.pdf

Kaappola, E., Kauppila, K., & Silvan, J. 2014. Maaperän käyttö jäähdytykseen ja lämmitykseen. Teoksessa Sandberg, E. (toim.). Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. Ilmastointitekniikka osa 1. Helsinki. Talotekniikka-Julkaisut Oy, 268–279.

- Kallio, J. 2009. Geoenergian hyötykäyttö suurkohteissa ja yhdyskuntasuunnittelussa. GTK:n esitys. Luettu 10.2.2017.
http://www2.jkl.fi/kaavakartat/uusiutuvat_energiamuodot_seminaari/jk_esitys_190809.pdf
- Kaukora. 2016. Puskurivaraajasta. Luettu 10.2.2017. http://kaukora.fi/sites/default/files/kaukorafiles/esitteet/Jama_Maalampopumput_esite_0116.pdf
- Korhonen, M & Partanen, R. 2016. Musta hevonen. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Kosmos.
- Korpela, T. 2017a. Myyntineuvottelija. Kaukora Oy. Haastattelu 22.1.2017. Haastattelija Korkee, T. Raisio.
- Korpela, T. 2017b. Myyntineuvottelija. Kaukora Oy. Energiakaivojen mitoituksesta. Sähköpostiviesti. teemu.korpela@kaukora.fi. Luettu 24.2.2017
- Koskinen, J. 2017. Toimitusjohtaja. TPI Control Oy. Haastattelu 15.2.2017. Haastattelija Korkee, T. Pirkkala.
- Kurnitski, J., Pylsy, P. & Virta, J. 2012. Energiatehokkuudesta liiketoimintaa. Sitra & Kiinteistöliitto. Luettu 9.4.2017. <https://www.slideshare.net/Tekesslide/225-jarek-kurnitski>
- Lapon. 2017. TRT-mittaus. Luettu 8.4.2017. <http://www.lapon.fi/trt-mittaus>
- MagiCad. 2017. LVI-suunnitteluohjelmisto. Ostettavissa : <https://www.magicad.com/fi/>
- Manner, P. 2017. Kaukolämmön asiantuntija. Tampereen Sähkölaitos Oy. Haastattelu 6.2.2017. Haastattelija Korkee, T. Tampere.
- Mikolo, A. 2014. The Efficiency Analysis of the Exhaust Air Heat Pump System. Luettu 10.4.2017. http://file.scirp.org/pdf/ENG_2014122916095810.pdf
- Motiva. 2016. Kulutuksen normitus. Luettu 2.2.2017. https://www.motiva.fi/files/12186/Kulutuksen_normitus_Laskentakaavat_ja_ohjeet_Motiva_Oy_12-2016.pdf
- Motiva. 2017a. Lämpöindeksit ym.. Luettu 1.2.2017.
https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiot/energiaeksperttitoiminta/tietoa_energian_ja_vedenkulutuksesta/lammitysenergiankulutus
- Motiva. 2017b. Veden kulutuksesta. Luettu 1.2.2017. http://www.motiva.fi/julkinen_sektori/energiankayton_tehostaminen/kiinteistojen_energiahallinta/kulutuksen_normitus/laskukaavat_lammin_kayttovesi
- Motiva. 2017c. Päästökertoimet. Luettu 10.2.2017. https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiankaytto_suomessa/co2-laskentaohje_energiankulutuksen_hilidioksidipaastojen_laskentaan/co2-paastokertoimet
- Niemi M., Rämä R. & Similä L. 2015. Poistoilmalämpöpumput kaukolämpöjärjestelmässä. Asiakasraportti. VTT. Luettu 6.3.2017.

- NordicEkolämpö. 2017. Maalämpöinfoa. Luettu 7.4.2017. <http://www.nordicekolampo.fi/maalampoinfo>
- Nuora, H. 2008. Suljettujen putkiverkoston mitoitusperusteiden tarkastelu. Energiatekniikan koulutusohjelma. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.
- Nurmi, M. 2017a. LVI-työnjohtaja. Lämpö-Nurmi Oy. Haastattelu 12.2.2017. Haastattelija Korkee, T. Turku.
- Nurmi, M. 2017b. LVI-työnjohtaja. Lämpö-Nurmi Oy. Kaivot, toteutuneet. Sähköpostiviesti. Mikko@lamponurmi.fi. Luettu 2.1.2017.
- Nurmi, M. 2017c. LVI-työnjohtaja. Lämpö-Nurmi Oy. TRT-mittausten tulokset. Sähköpostiviesti. Mikko@lamponurmi.fi. Luettu 13.1.2017.
- Nydal R. 2005. Käytännön kylmäteknikka. 3.painos. Suom. Muuronen M. Jyväskylä: Gummerus kirjapaino Oy. Alkuperäinen teos 1994.
- Nylund, J. 2010. Kalliolämpö osana uusiutuviin energioihin perustuvaa arktista lämmitysjärjestelmää. Energiatekniikan laitos. Aalto-yliopisto. Diplomityö.
- Ojanen, T. 2014. Lämpöhäviöiden määrittäminen kaukolämpöverkostossa. Puolustushallinnon rakennuslaitos. Talotekniikan koulutusohjelma. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö
- Onninen. 2017. ZnFe putkikoot. Luettu 9.4.2017. http://onninen.procus.fi/catalog/203103/TER%C3%84SPUTKI%20S%C3%84HK%C3%96SINKITTY_FIN1.html
- Openenergy. 2017. EED-simulointi. Luettu 8.4.2017. <http://openenergy.fi/fi/case/geo-energiaselvitys>
- Otavan Opisto. 2015. Termodynamiikan pääsäännöt. Luettu 15.4.2017. http://opinnot.internetix.fi/fi/materiaalit/fy/fy2/10._termodynamiikan_paasaannot/10_3_toinen?C:D=g7fJ.g7eB&m:selres=g7fJ.g7eB
- Patronen, J. Toiminnanjohtaja. Pöyry Management Consulting Oy. Lämpömarkkinat ja CHP:n kehitys Suomessa – voidaanko polttamalla tuotettu energia korvata muilla energialähteillä? Energiakongressi 26.10.2016. Tampereen messu- ja urheilukeskus. Pirkkala.
- Pihlajamaa, P. 2014. Tavanomaiset tehdashallit. Teoksessa Sandberg, E. (toim.). Ilmastointilaitoksen mitoitus. Ilmastointitekniikka osa 2. Helsinki. Talotekniikka-Julkaisut Oy, 570–576.
- Pistoke. 2017. TRT-mittaus. Luettu 8.4.2017. <http://www.pistoke.fi/tietopankki/tietoa-ratkaisuista/lampokaivo>
- Rautio, I. 2017a. Tekninen asiantuntija. Fortum Oy. Haastattelu 3.3.2017. Haastattelija Korkee, T. Vantaa.
- Rautio, I. 2017b. Tekninen asiantuntija. Fortum Oy. PILP-kohteista. Sähköpostiviesti. ilkka.rautio@fortum.com. Luettu 30.30.2017.

Ripatti, H. & Sandberg, E. 2014. Virtaustekniset perusteet. Teoksessa Sandberg, E. (toim.). Ilmastointilaitoksen mitoitus. Ilmastointitekniikka osa 2. Helsinki. Talotekniikka-Julkaisut Oy, 87–101.

Seppänen, O. 2001. Rakennusten lämmitys. 2.painos. Jyväskylä: Gummerus kirjapaino Oy.

St1. 2017. Maalämmön tehopeitto. Luettu 3.4.2017.
<http://st1maalampo.fi/maalampo/maalampopumppu-toiminta/>

Sulpu. 2017. Tietoa COP:stä ja Jussi Hirvosen haastattelu. Luettu 12.4.2017.
http://www.sulpu.fi/uutiset/-/asset_publisher/WD1ExS3CMra3/content/cop-cop-tosi-o-1

Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D5. 2012. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta.

Tampereen Sähkölaitos. 2016. Hybridikytkennät kaukolämmössä – Tampereen Sähkölaitos. Luettu 10.12.2016. <https://www.tampereensahkolaitos.fi/suunnittelija2016/Documents/20160418%20Hybridikytkenn%C3%A4t%20Tampereen%20S%C3%A4hk%C3%B6laitos.pdf>

Tampereen Sähkölaitos. 2017a. Kaukolämmön alkuperä. Luettu 10.1.2017.
<https://www.tampereensahkolaitos.fi/kaukolampojaahdytysjamaakaasu/lampo/kaukol%C3%A4mm%C3%B6n%20alkuper%C3%A4/Sivut/default.aspx#.WO5jTNLyhPY>

Tampereen Sähkölaitos. 2017b. Sähkön alkuperä. Luettu 10.1.2017. <https://www.tampereensahkolaitos.fi/sahkonmyynti/sahkonalkupera/Sivut/default.aspx#.WO5iv9LyhPY>

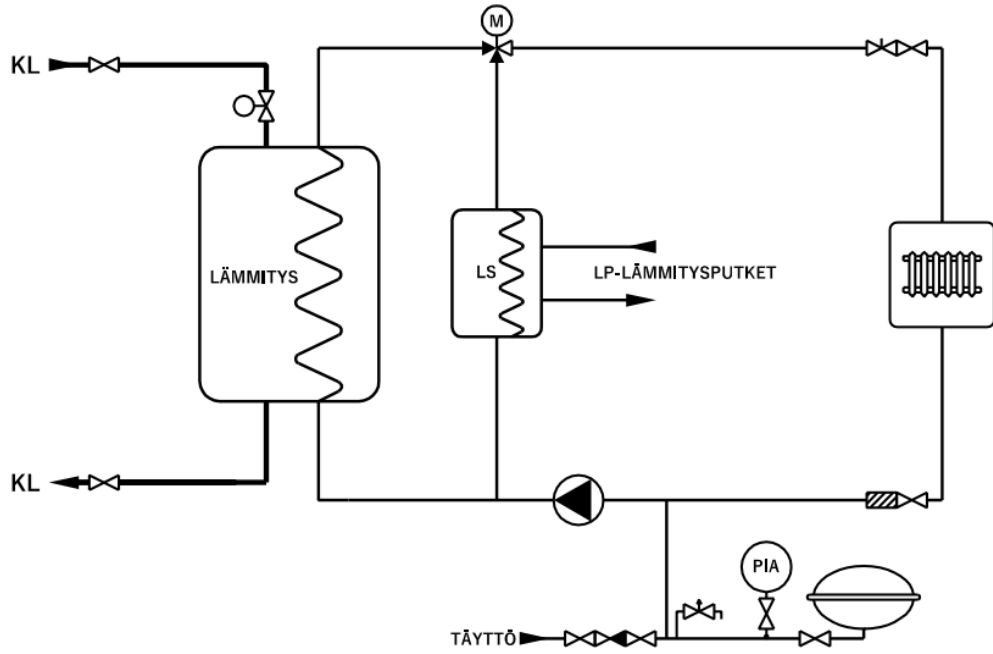
Tilastokeskus. 2017. Suomen rakennuskannasta. Luettu 3.4.2017.
http://www.stat.fi/til/asyta/2010/asyta_2010_2011-09-16_kat_001_fi.html

VirtuaaliAMK. 2017. Nykyarvomenetelmästä. Luettu 2.4.2017.
<http://www2.amk.fi/digma.fi/eetu/www.amk.fi/opintojak-sot/500/1138278559722/1138279515236/1138279720180/1138284629391.html>

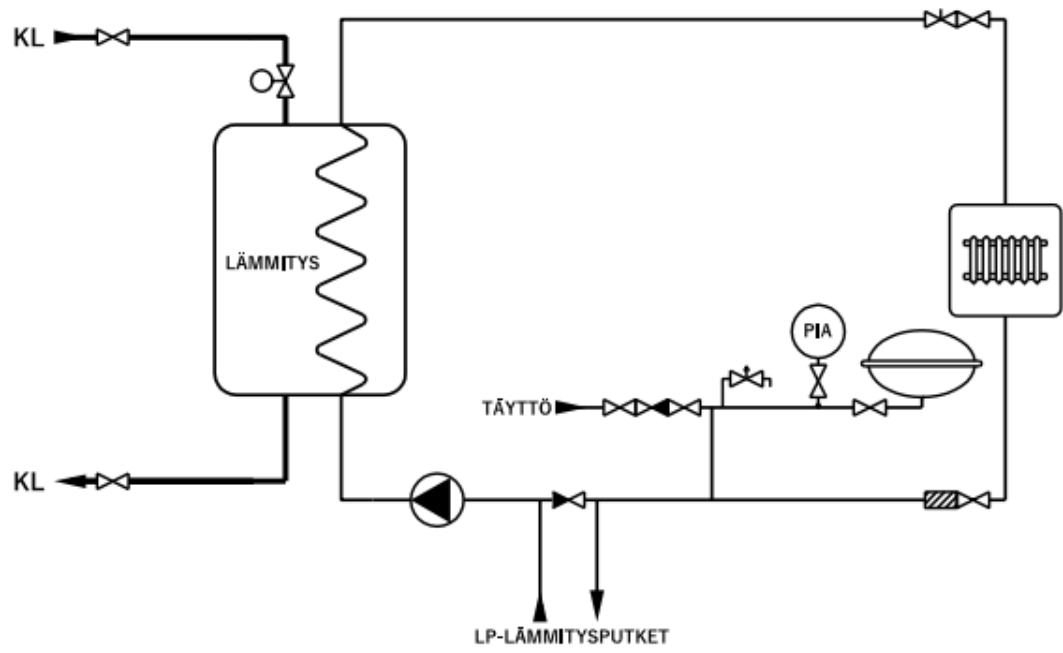
Wemhöner, C. & Afjei, T. Seasonal Performance Calculation for Residential Heat Pumps with Combined Space Heating and Hot Water Production (FHBB Method). 2003. Verkkosivu vanhentunut. Tähän viitattu Nylund, J. 2010, 38.

LIITTEET

Liite 1. PILP-järjestelmän rinnankytkentä lämmityspiiriin erillisellä lämmönvaihtimella



Liite 2. PILP-järjestelmän sarjakytkentä lämmityspiiriin.

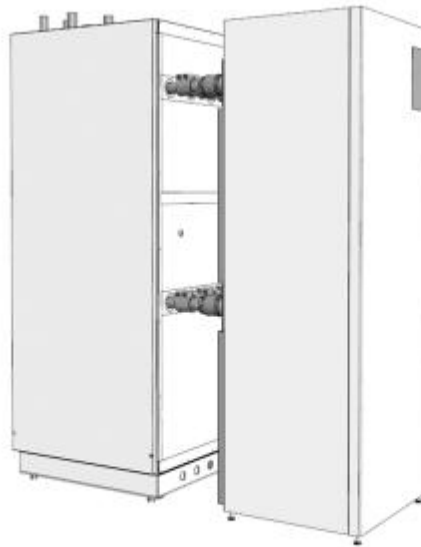


KAUKORA OY
JÄSPI LTO

OPAS
1

JÄSPI LTO

LVI-SUUNNITTELIJAN KÄSIKIRJA



Sisällys

1. Tärkeää	4
2. Laitteiston rakenne ja yleisesittely.....	5
3. Pääkomponentit	6
Lämpöpumppu ja kytkentämoduuli.....	7
Ilmankäsittely-yksiköt	9
Lämminvesivaraajat	9
Lämpimän veden sekoitusventtiili	10
4. Yleiset lähtötietovaatimukset ja vaadittava dokumentointi	10
5. Laitteiston määrittely	12
Lämpöpumppu ja kytkentämoduuli.....	12
Ilmankäsittely-yksiköt	13
6. Putkimitoitukset ja -kytkennät.....	14
Kerupiiri	14
Lämmityspiiri	18
Lämpimän käyttöveden tuotanto	20
Eristykset.....	21
Esimerkkikytkentä.....	22
7. Järjestelmän valvonta.....	23
8. Lisälämmöksi ilma/vesilämpöpumppu	24
Esimerkkikytkentä.....	25
9. Maalämpöjärjestelmän rinnalle	26
Kytkeä ja mitoitus.....	26
Esimerkkikytkentä.....	27
10. Mitoitusohjelmat	28
11. Mittakuvat	29
Jämä Star 24-60 kW	29
Kytkeämoduuli.....	29
Jämä Star 24-60 kW ja kytkentämoduuli	30
Buffer 500 L.....	31
VLM-Star	32
Ventus AHU.....	32
Jämä Moon 14/20 kW.....	33
12. Tekniset tiedot	34
Jämä Star 24-60 kW	34
Jämä Moon 14/20 kW.....	36

1. Tärkeää

Tässä käsikirjassa esitetään ohjeistuksia ja suosituksia Jäspi LTO-järjestelmän LVI-suunnitteluun. Mitkään tässä esitettävät ohjeet tai suunnitteluarvot eivät korvaa suunnitteluajankohtana voimassaolevia määräyksiä, lakeja tai asetuksia.

Jokainen kohde tulee yksilöllisesti suunnitella ja kohteen vastuullinen suunnittelija on vastuussa suunnitelmien oikeellisuudesta ja järjestelmän kokonaisvaltaisesta toimivuudesta. Suunnitelmat tulee hyväksyttää myös kohteen kaukolämmön toimittajalla.

Tämä opas on osa Jäspi LTO-laitteiston käsikirjojen julkaisusarjaa:

Opas 1, LVI-suunnittelijan käsikirja

Opas 2, Automaatio- ja sähkösuunnittelijan käsikirja

Opas 3, Asentajan käsikirja



TÄRKEÄÄ!

Näissä korostuskentissä on kerrottu tärkeitä kriteerejä laitteistoon liittyen.



HUOM!

Näissä huomiokentissä on kerrottu oheishuomioita käsiteltävään asiasisältöön liittyen.

Symboliavain

Symboli	Merkitys	Symboli	Merkitys	Symboli	Merkitys
	Sulkuventtiili		Kiertovesipumppu (yleismerkki)		Ilmansuodatin
	Yksisuuntaventtiili (virtaama vasemmalta oikealle)		Virtausmittari		LTO-patteri
	Linjasäätöventtiili		Energiamittari (virtausmittari ja lämpötila-anturit)		Puhallin (portaattomasti säätävä)
	Linjasäätöventtiili tyhjennyshanoin		Anturi- tai mittaripiste (täsmennetään laitetunnuksella)		Viemäripiste
	Varoventtiili		Painemittari		Lämmönvaihdin
	Tyhjennysventtiili		VAKin kytkentäpiste (ohjelmallinen)		Lämmönvaihdin (KL)
	Automaattinen ilmanpoistin		VAKin kytkentäpiste (fyysinen)		Kompressori
	Lianerotin (mutatasku)		Paisunta-astia (kalvallinen)		
	Moottoroitu 3-tiesäätöventtiili (vakiovirtaaman haara valkoisella)				
	Moottoroitu 3-tievaihtoventtiili (vakiovirtaaman haara valkoisella)				
	Moottoroitu 2-tiesäätöventtiili				

2. Laitteiston rakenne ja yleisesittely

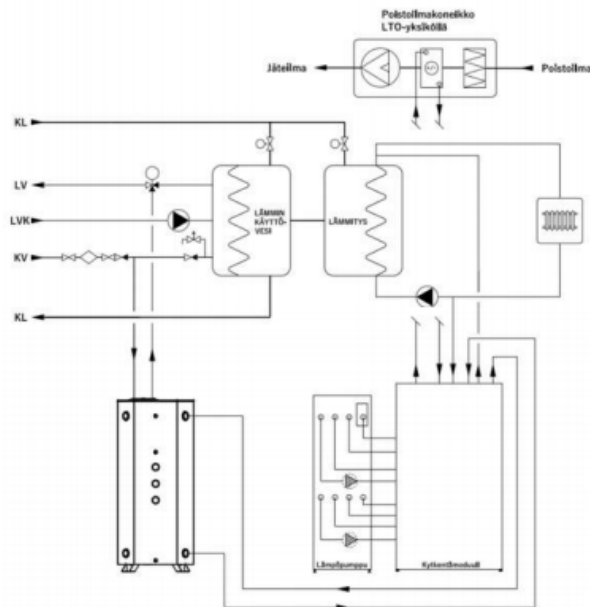
Jäspi LTO on pitkälle tuotteistettu ja asennusvalmis poistoilman lämmöntalteenoton järjestelmäkokonaisuus.

Järjestelmä hyödyntää poistoilman sisältämää hukkaenergiaa lämpöpumpun välityksellä kiinteistön tai tuloilman lämmitykseen ja käyttöveden esilämmittämiseen. Poistoilman hyödynnettävissä oleva energia kerätään talteen poistoilmayksikköön sijoitettavalla lämmöntalteenottopatterilla. Lämmönsiirtoprosessin väliaineena toimii jäätymisenestoaineen ja veden nesteseos.

Energiaa voidaan kerätä yhdestä keskitetystä poistoilmakoneikosta tai vaihtoehtoisesti monesta pienemmästä yksiköstä, jotka tyypillisesti ovat vesikatolle tai ullakkotilaan sijoitettavia yksikköjä.

Käyttökohteeseen energia johdetaan lämpöpumpun lauhdepuolelta suoraan tai energiavaraajan välityksellä. Perustoimituksen mukainen Jäspi LTO -paketti kytketään ensisijaisen lämmöntuottojärjestelmän rinnalle, sillä se tuottaa vain osan kiinteistön tarvitsemasta lämmitysenergiasta.

Asennustyön helpottamiseksi Jäspi LTO -järjestelmän perustoimitukseen kuuluu Kaukora Oy:n kehittämä kytkentämoduuli, johon on tehdasasenteisesti sisällytetty kaikki välttämättömät putkivarusteet.



Havainnekuvan mukaisessa peruskytkenässä lämpöpumpun molemmilla kompressorisyksiköillä tuotetaan lämmitystä ja kytkentämoduulissa sijaitsevalla vaihtoventtiilillä alemman kompressorisyksikön lämmöntuotanto voidaan vaihtaa käyttövedeen. Lämpöpumppu priorisoi käyttöveden lämmityksen puolella teholla (alempi kompressorisyksikkö) vaihtoventtiilin kautta. Kun puskurisäiliö on lämmitetty, vaihtoventtiili ohjaa lämmitysvirran lämmityspiiriin. Kun tarvitaan lämmitystä, ylempi kompressorisyksikkö käynnistyy ensin. Kun lämmitystarve on suuri, myös alemmalla kompressorisyksiköllä tuotetaan lämmitystä. Vaihtoventtiilin toimintaa voidaan ohjata lämpöpumpun asetuksista.

Lämmityskaudella käyttöveden puskurivaraajien lämpötila pidetään vakioarvossaan ja lämmitysverkoston tuotantoa ohjataan erillisen säätökäyrän mukaisesti ulkolämpötilasta riippuvana. Olemassa oleva kaukolämpöjärjestelmä hoitaa tarvittavan loppulämmityksen, joten erillisiä sähkövastuksia ei peruskytkenässä tarvita.

**HUOM!**

Järjestelmään voidaan rinnankytkä useita lämpöpumppeja, kytkentämoduuleita ja ilmkäsittely-yksiköitä.

**HUOM!**

Lämmönoimittajalla voi paikkakuntakohtaisesti olla erityisvaatimuksia kaukolämpöjärjestelmään liitettävän lämpöpumpplaitteiston osalta.

3. Pääkomponentit

Kaukora Oy:n toimittamaan laitteiston perustoimitukseen sisältyy seuraavat komponentit

- Jämä Star maalämpöpumppu
- Kytkentämoduuli
- Käyttövesivaraajat
- VTS ilmkäsittely-yksikkö
- Käyttöveden 3-tieventtiili ja toimilaite
- Lämmönjakuhuoneen anturipaketti
 - ✓ Kaapelianturi 4 kpl
- Kammiohuoneanturipaketti (tarvittaessa)
 - ✓ Kaapelianturi
 - ✓ Ulkolämpötila-anturi
 - ✓ Kanava-anturi
 - ✓ Paine-eroanturi 2 kpl
- Kattoasennusanturipaketti (tarvittaessa)
 - ✓ Kanava-anturi 2 kpl
 - ✓ Kaapelianturi
 - ✓ Paine-eroanturi
- Ouman ModBus 200 (tarvittaessa)

**HUOM!**

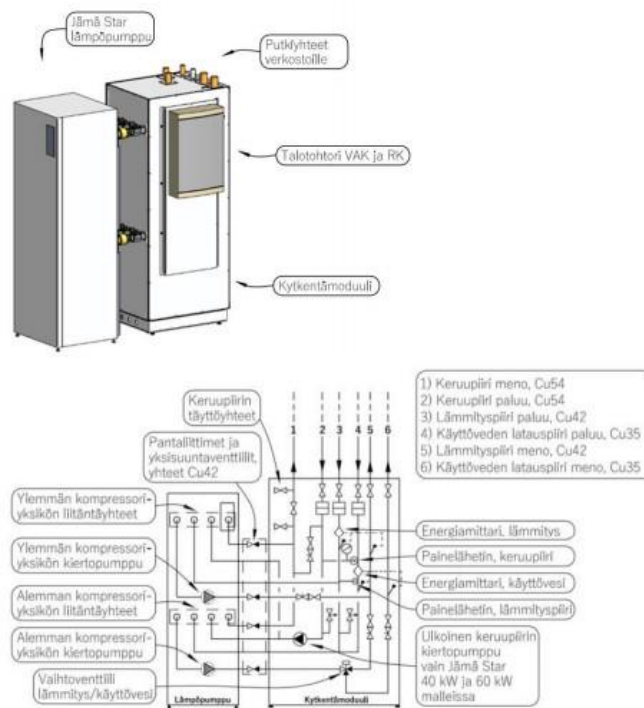
Toimitussisältöä muokataan tapauskohtaisesti vastaamaan kohteen tarpeita.

Lämpöpumppu ja kytkentämoduuli

Lämpöpumppuna järjestelmässä on Jämä Star maalämpöpumppu, jonka kokovaihtoehtoina on 24, 30, 40 ja 60 kW mallit. Saman automatiikan kanssa voidaan rinnankytkä enintään yhdeksän lämpöpumpua (540 kW).

Kaikissa lämpöpumpumalleissa on kaksi erillistä höyrystin- ja lauhdutintehoiltaan samanlaista kompressoriyksikköä, joiden käynti porrastetaan oletusarvona -60 asteminuutin välein.

Kytkeämoduuli kytketään mukana toimitettavilla pantaliittimillä lämpöpumpun perään. Verkostoille lähtevät kytkentäyhteet ovat kytkentämoduulin päällä.



HUOM!
Laitteiston sijoittelussa on huomioitava kappaleessa 11 esitettävät huolto- ja suojaetäisyydet ja se tulee sijoittaa lattiakaivolliseen tilaan.

Kytkeämoduulin sisältyvät komponentit:

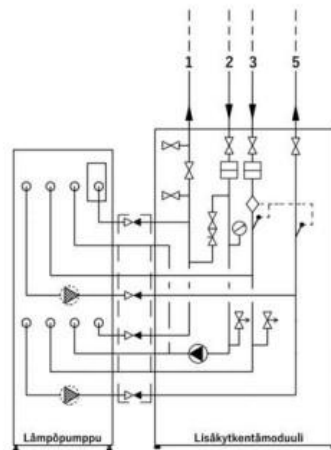
- Keruupiirin kiertovesipumppu (vain Jämä Star 40 kW ja 60 kW lämpöpumput)
- Ryhmäkeskus ja Talotohtori VAK
- Linjasäätöventtiilit, 2 kpl
- Mutataskut, 3 kpl
- Sulkuventtiilit, jokainen piiri täysin suljettavissa
- Lämpöenergiamittarit, 2 kpl anturitaskuineen.
- Painelähtimet, 2 kpl
- Varoventtiilit, 2 kpl
- Tyhjennysventtiilit, 2 kpl
- Keruupiirin täyttöventtiilit
- Keruupiirin painemittari
- Lämmöntuoton vaihtoventtiili (lämmityksen / käyttöveden tuotanto)
- Lämpöpumpun ja kytkeämoduulin väliset pantaliittimet, 8 kpl
- Lämpöpumpun ja kytkeämoduulin väliset yksisuunta-venttiilit, 4 kpl
- Lämpöpumpun liitäntäosat, 8 kpl
- Eristetyt putkiosat

Lämpöpumppu priorisoi käyttöveden lämmityksen puolella teholla (alempi kompressoriyksikkö) vaihtoventtiilin kautta. Kun puskurisäiliö on lämmitetty, vaihtoventtiili ohjaa lämmitysvirran lämmityspiiriin. Kun tarvitaan lämmitystä, ylempi kompressoriyksikkö käynnistyy ensin. Kun lämmitystarve on suuri, myös alemmalla kompressoriyksiköllä tuotetaan lämmitystä. Vaihtoventtiilin toimintaa voidaan ohjata lämpöpumpun asetuksista.



HUOM!

Järjestelmään voidaan kytkeä myös lisäkytkeämoduuli, mikäli vaihtoventtiilille ei ole tarvetta.



Ilmankäsittely-yksiköt

Poistoilman lämpöenergia kerätään talteen Ventus AHU -ilmankäsittely-yksiköillä, jotka sisältävät G4-luokan ilmansuodattimen, lämmöntalteenottopatterin ja taajuusmuuttajaohjatun poistoilmapuhaltimen. Yksiköitä voidaan kytkeä rinnan ja yhden yksikön mitoitusilmavirta-alue on 0,6...3,3 m³/s.

Ilmankäsittely-yksiköissä on tehdasvalmisteiset mittausnipat ilmavirran mittausta varten. Ulkoasennuksessa mittausnipat suositellaan suojattavaksi sääolosuhteilta koneen sisälle.

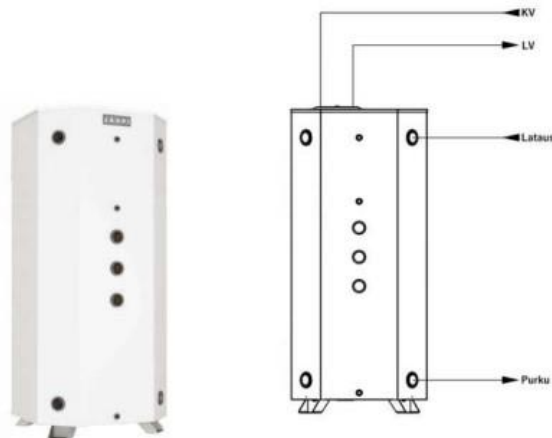


HUOM!

Ilmankäsittely-yksiköitä on saatavana sisä- ja ulkoasennuksiin, vasen- ja oikeakätisenä.

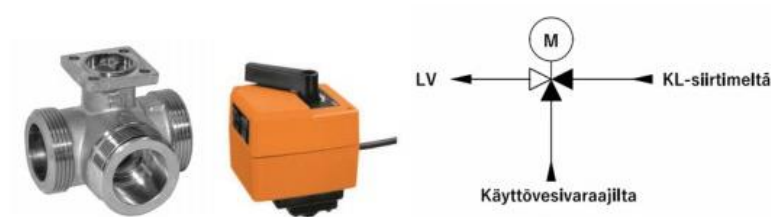
Lämminvesivaraajat

Perustoimituksen mukaisessa järjestelmässä käyttöveden lataukseen käytetään Jäspi Buffer 500 L -puskurivaraajaa, jossa on sisäinen käyttöveden esilämmittävä kierukkamallinen lämmönvaihdin.



Lämpimän veden sekoitusventtiili

Lämpöpumpplaitteistolla tuotettu lämmin käyttövesi sekoitetaan runkolinjaan heti kaukolämpövaihtimen jälkeen. Sekoitus tehdään 3-tie venttiilillä, jota ohjataan moottoroidulla toimilaitteella.



HUOM!

Lämpimän veden sekoitusventtiili toimilaitteineen (Belimo R531+HRY-SR) sisältyy Kaukoran toimitukseen, joten niitä ei tarvitse erikseen mitoittaa.

4. Yleiset lähtötietovaatimukset ja vaadittava dokumentointi

LVI-suunnittelun mahdollistamiseksi tulee suunnittelijalla olla tiedossa ainakin seuraavat lähtötiedot:

- Yleiskuvaus tehtävistä toimenpiteistä
- LTO-piiriin liitettävien poistoilmakoneiden ilmavirtojen ajantasaiset mittauspöytäkirjat
- Kohteen LVI-tekninen dokumentointi
 - ✓ Kaukolämpölaitteiston kytkentäkaavio (sis. säätimien säätökäyrät)
 - ✓ Tasokuvat tarvittavilta osin
- Kohteen arkkitehtikuvat
 - ✓ Asemapiirros
 - ✓ Vesikattokuva
 - ✓ Julkisivukuva tarvittaessa

Lisäksi mahdolliset ennakoajatukset putkireittien ja laitteiston sijoittelusta on hyvä huomioida jo alkuvaiheessa. Kattava valokuvadokumentaatio helpottaa kohteen kokonaiskuvan hallitsemista, etenkin, mikäli kohdekäynti ei ole mahdollinen.

**HUOM!**

LTO-järjestelmää mitoittaessa siihen liitettävien poistoilmakoneikkojen ilmavirrat ovat kriittisimmät sen toimintaan vaikuttavat seikat. Tarkista IV-mittauspöytäkirjan oikeellisuus ja huomio mahdolliset muutokset LTO-laitteiston mitoitukseen. Asuinkerrostalon kokonaispoistoilmavirta on luokkaa 30 l/s per asunto.

Järjestelmästä tuotettavien LVI-suunnitelmien tulee myöhempää tulkintaa varten kattaa kokonaisvaltaisesti ymmärrettävissä oleva tekninen kuvaus järjestelmän laitteistosta, toiminnasta ja fyysisestä sijainnista. Tämän edellyttämiseksi vaaditaan seuraava LVI-dokumentaatio:

- Kytkenäkaavio (sisältäen myös säätökäyrät ja toimintaselosteen)
- Tasokuvat (laitteiston ja putkiston sijainti sekä linjasäätöjen esisäätöarvot ym.)
- Laiteluettelo (laitteisto kokonaisuudessaan spesifioitu)
- Julkisivukuvat (ulkoasennuksiin)

Tapauskohtaisesti voi olla tarvittavaa esittää myös erillinen palokatkosuunnitelma tai laitteiston detaljikuvia.

**HUOM!**

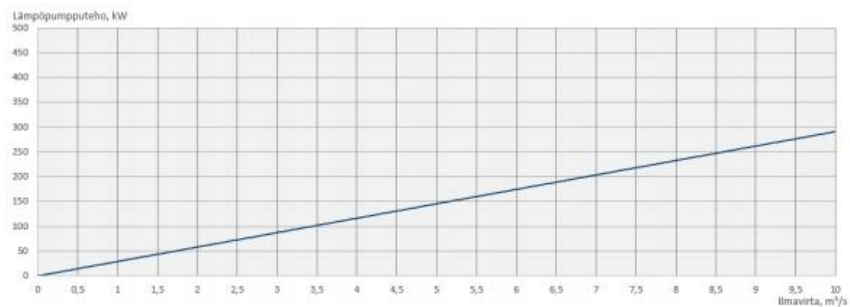
Vaadittavaa dokumentointia ja LTO-laitteiston suunnittelukriteerejä voidaan etukäteen selvittää kohdepaikkakunnan rakennusvalvonnasta tai lämmöntoimittajalta.

5. Laitteiston määrittely

Lämpöpumppu ja kytkentämoduuli

Käytettävä Jämä Star -lämpöpumppulaitteisto määrytyy LTO-järjestelmään liitettävien poistoilmakoneiden ilmavirtojen perusteella alla olevan taulukon mukaisesti. Tarkempaan laskentaan voi hyödyntää Jäspi LTO-järjestelmän verkkosivuilta löytyvää laskuria.

Laskennan perustana on ilmavirran jäähtyminen mitoitustilanteessa +22 °C:sta +5 °C:een.



Jämä Star -lämpöpumppujen suurin lauhdepuolen tuottolämpötila on 65 °C ja järjestelmän katkaisuraja 58 °C paluulämpötila lauhduttimelle. Lämpöpumpulla pystytään yhtäjaksoisesti tuottamaan 65 °C menovettä lämmitysverkostoon niin kauan, kuin paluulämpötila pysyy alle raja-arvon (58 °C). Lauhduttimelle palaavan nesteen lämpötilan ylittäessä 58 °C, laitteiston käynti katkaistaan, tämä ei kuitenkaan vaikuta lämpöpumpun ulkoisiin ohjauksiin (esim. sähkökattila).



HUOM!

Lämpöpumpputeho (lauhdutinteho) on n. 29 kW per 1 m³/s poistoilmavirtaa. Keruupiirin liuosvirtaamana tämä on n. 1,13 l/s ($\Delta t = 5 \text{ °C}$).



HUOM!

Käytettävissä olevat lämpöpumput ovat lauhdutinteholtaan 24, 30, 40 ja 60 kW.



HUOM!

Lämpöpumppujärjestelmän säätökäyrä asetellaan 2-3 °C kaukolämpösäätimen käyrää korkeammaksi.

Ilmankäsittely-yksiköt

LTO-järjestelmän ilmankäsittely-yksiköt määräytyvät tarvittavan poistoilmavirran perusteella alla olevan taulukon mukaisesti.

VTS AHU	Mitoitusilmavirta (m ³ /s)	Suurin ilmavirta (m ³ /s)	Suositeltu ilmavirta- alue (m ³ /s)		SFP-luku (mitoitusilmavirralla) (kW/(m ³ /s))
			min.	max.	
VS21-R-G	0,6	0,8	0,45	0,66	1,0
VS30-R-G	0,8	1,1	0,60	0,88	0,9
VS40-R-G	1,1	1,4	0,83	1,21	1,0
VS55-R-G	1,5	2,0	1,13	1,65	1,0
VS75-R-G	2,0	2,7	1,50	2,20	0,9
VS100-R-G	2,7	3,7	2,03	2,97	1,0
VS120-R-G	3,3	4,5	2,48	3,63	1,0

Poistoilmakoneikon sijoituksessa on huomioitava, että se tulee olla huollettavissa ja sen luo tulee järjestää turvallinen kulkureitti. Tyypillisesti rakennus itsessään määrittää, tuleeko kyseeseen ulkovi- tai sisäasennus. Sisäasennuksessa poistoilmakoneikkoon liitetään Vacon 100 HVAC-sarjan taajuusmuuttaja ja ulkoasennuksissa Vacon 100X -sarjan taajuusmuuttaja.

Olemassa olevan järjestelmän aikaohjelmat tulee huomioida myös uuteen laitteistoon. Mikäli poistoilmakoneikon kokoojakammioon liitetään useita osahaaroja, tulee ne olla tasapainotettavissa erillisin säätöelimin. Suositeltava ilmavirran otsapintanopeus koneikossa on luokkaa 1,5 m/s. Järjestelmään liitetään poistoilmakoneikon toiminnan katkaiseva hätäseis -kytkin, joka sijoitetaan vaaratilanteessakin helposti luokse päästävään paikkaan, yleensä tuulikaappiin.



HUOM!

Laitteiston sijoittelussa on huomioitava kappaleessa 11 esitettävät huolto- ja suojaetäisyydet.



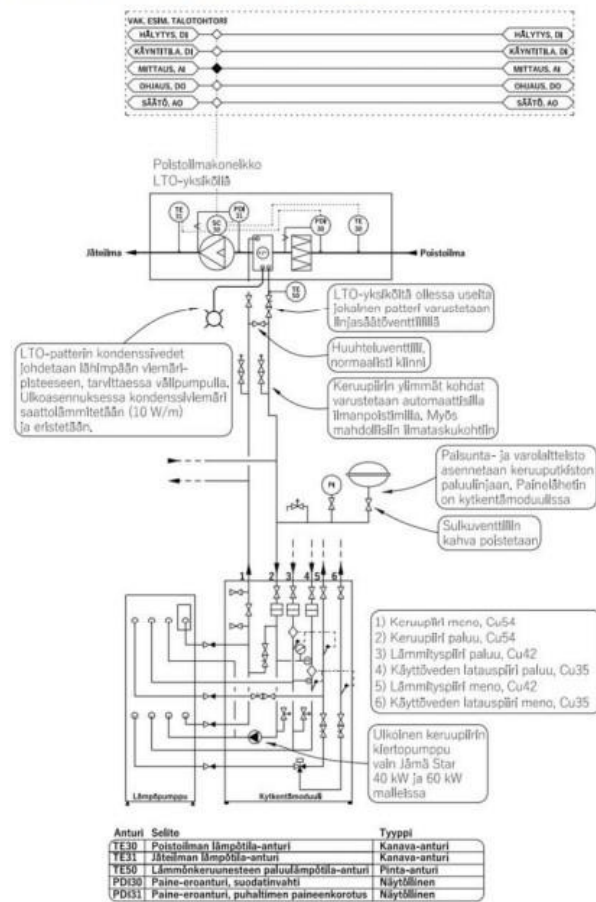
TÄRKEÄÄ!

Suunnitellusti toimiva LTO-patteri tuottaa käyttötilanteessa merkittävän määrän kondenssivettä, joten sen viemäroinnistä on huolehdittava. Kondenssivedet voidaan johtaa lähimpään viemäripisteeseen, tarvittaessa saattolämmitettynä ja eristettynä ja/tai kondenssipumpulla.

6. Putkimitoitukset ja -kytkennät

Keruupiiri

Järjestelmän keruupiiri suunnitellaan alla olevan kuvan mukaisesti. Verkoston kaikkien osahaarojen virtaamat tulee olla mitattavissa ja helposti tasapainotettavissa. Rakenteeltaan putkisto suunnitellaan siten, että sinne kertynyt liukenematon ilma johdetaan automaattisten ilmanpoistimien kautta pois. Putkiston nousut poistoilmakoneikoille sijoitetaan palo-osastoinnit ja esteettisyys huomioiden esim. rappukäytävään tai rakennuksen julkisivuun. Ulkoasennuksissa putkisto tulee suojata sääoloilta ja rappukäytävään asennettaessa palaviien eristeiden (solukumi) osalta putkisto koteloidaan esim. tuplakipsilevykotelolla, jonka saumat tiivistetään palo-osastointi huomioiden. Rakennuksen ulkopuoliset asennukset suositellaan tehtäväksi tehdasvalmiilla, eristetyllä putkielementillä, esim. RauHeat.



**TÄRKEÄÄ!**

LTO-patteri kytketään vastavirtaperiaatteella (lämmönkeruunesteen menoputki ilmavirtauksen jättöpuolelle).

**HUOM!**

Kuvaan merkityt anturit johdotetaan taajuusmuuttajan (SC30) kautta VAKille. Kaikki anturit sisältyvät Kaukoran toimitukseen.

Keruupiirin lämmönsiirtoaineeksi suositellaan käytettäväksi valmista inhibiittorit sisältävää vesi-etanoliseosta, jonka jäätymispiste on -17 °C (n. 28 p-%). Muita lämmönsiirtoaineita käytettäessä tulee sen soveltuvuudesta keskustella laitetoimittajan kanssa.

**HUOM!**

Liian vahva etanolipitoisuus heikentää lämmönkeruunesteen lämmönsiirtokykyä ja nostaa pumppauskustannuksia.

Keruupiirin paisunta-astia mitoitetaan lämpötilaerolle 30 °C , esipaineeksi suositellaan staattista korkeutta, johon lisätään liuosnesteen aineominaisuuksista johtuen hieman normaalia vesijärjestelmää enemmän, 30...50 kPa. Paisunta-astian tilavuudeksi valitaan alla olevan kuvaajan mukaisesti 3...5 % järjestelmän kokonaistilavuudesta. Laskennassa käytetään alla olevan taulukon mukaisia arvoja.

Tilavuus paisuntasäiliö (l)



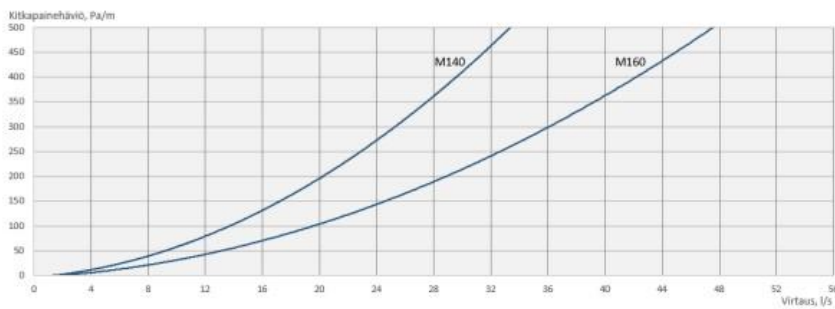
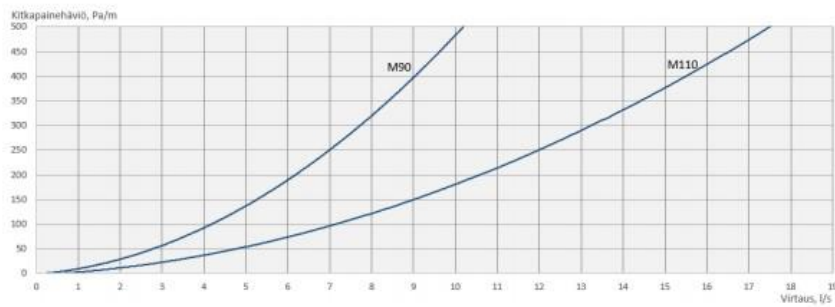
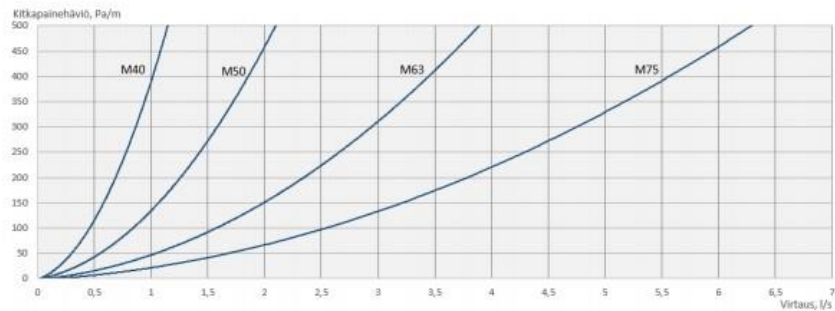
Lämmönsiirtoaine	Tiheys (kg/m^3)	Ominaislämpökapasiteetti ($\text{J}/(\text{kg}^{\circ}\text{C})$)	Kin. Viskositeetti (m^2/s)	Dyn. Viskositeetti (cP)
28 p-% etanoliseos	968,6	3750	$1,79 \cdot 10^{-6}$	1,73

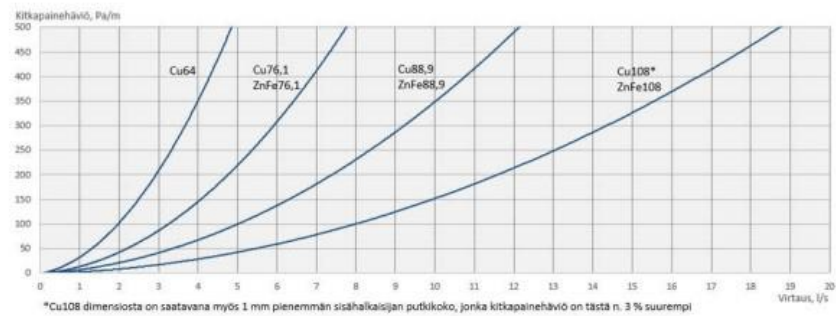
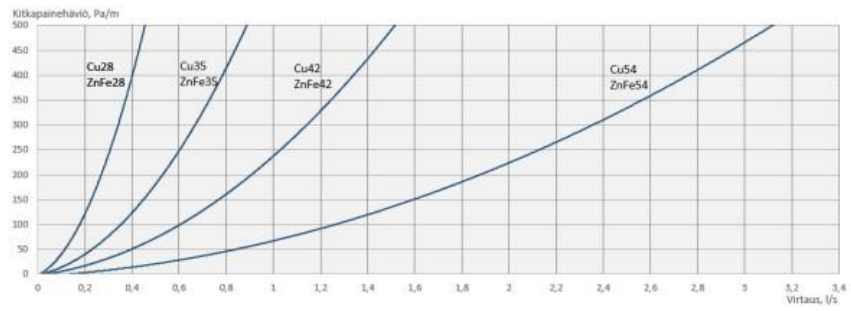
Keruuupiirin putkistot mitoitetaan enimmillään 180-250 Pa/m metriselle painehäviölle (putken pituudesta ja järjestelmärakenteesta riippuen). Painehäviöitä eri putkilaaduille voidaan arvioida seuraavista kuvaajista. Tarkemmat laskelmat tehdään esim. LVI-suunnitteluohjelmiston mitoitustyökalulla.



HUOM!

Lämmönkeruupiirin painehäviölaskennassa ja putkivalinnoissa voi hyödyntää Jäspi LTO-järjestelmän verkkosivuilta löytyvää laskentaohjelmaa.

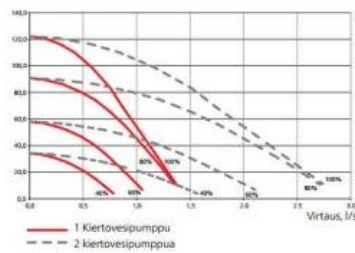




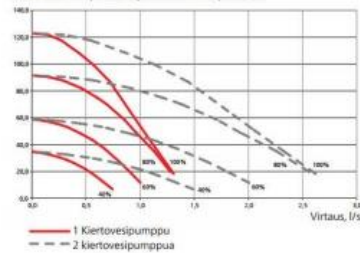
Keruupeirissä käytettävissä olevan paineen voi lämpöpumppukohtaisesti katsoa alla olevista kuvaajista. Käyttötilanteessa keruupuolen kiertovesipumppua ohjataan automaattisella lämpötilaerosäädöllä, jonka arvona käytetään putkimitoituksien perustana ollutta suunnitteluarvoa 5 °C.

STAR 24 kW

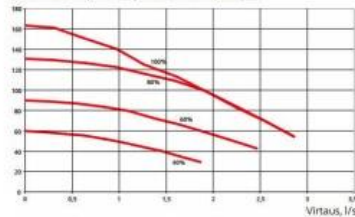
Lämmönkeruupeirissä käytettävissä oleva paine, kPa

**STAR 30 kW**

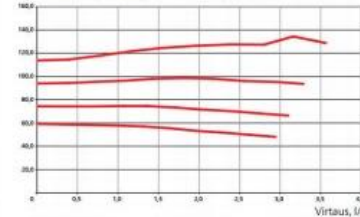
Lämmönkeruupeirissä käytettävissä oleva paine, kPa

**STAR 40 kW**

Lämmönkeruupeirissä käytettävissä oleva paine, kPa

**STAR 60 kW**

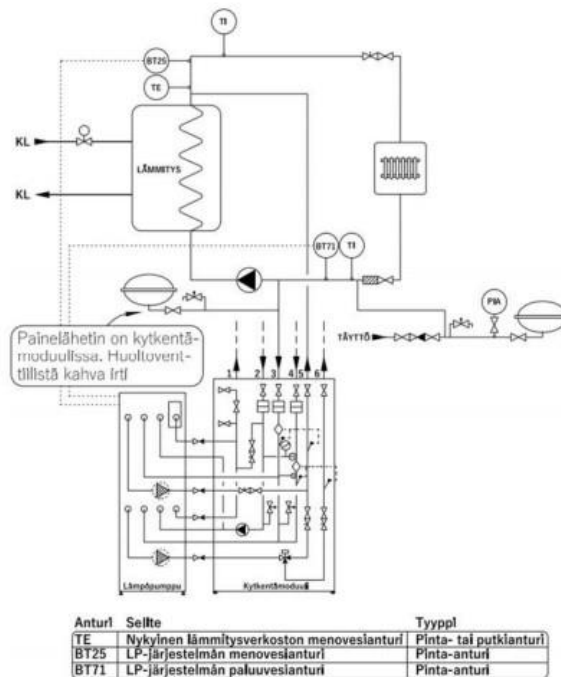
Lämmönkeruupeirissä käytettävissä oleva paine, kPa



Lämmityspiiri

Lämmitysverkostoon tehdään muutoksia vain lämpöpumppulaitteiston haaroitusten ja anturointien osalta alla olevan kuvan mukaisesti. Mikäli järjestelmän olemassa oleva paisunta-astia uusitaan hankkeen yhteydessä, voidaan tähän huomioida lämpöpumppulaitteiston vaatima paisuntatilavuus ja jättää toinen paisunta-astia pois. Peruskytkennässä lämpöpumppulaitteiston paisuntatilavuudeksi riittää 50 l. Esipaine ja varoventtiilit olemassa olevien mukaisesti.

Kytentämoduulin ja lämmitysverkoston väliset kytkentäputket mitoitetetaan lämpöpumpun kokonaislämpötehon perusteella virtausnopeudelle 0,5...0,8 m/s lämpötilaeron ollessa 8 °C.

**TÄRKEÄÄ!**

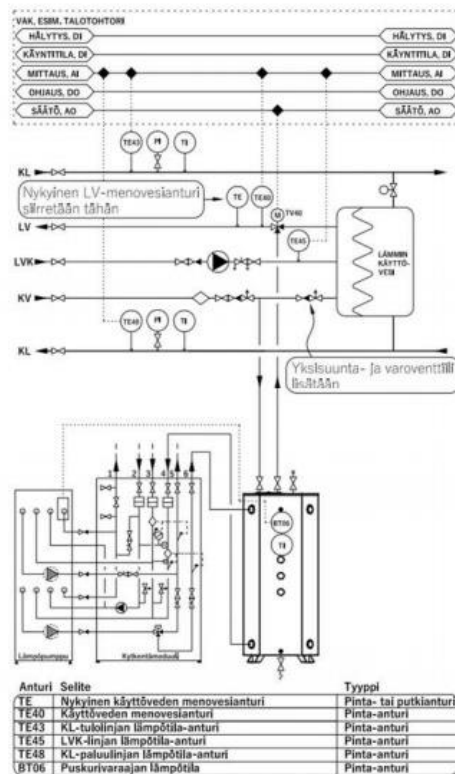
Lämpöpumpulta tuleva haara sijoitetaan mahdollisimman lähelle kaukolämpösiirrintä. Kaukolämpösäädintä ohjaava anturi siirretään lämpöpumpulaitteiston haaran välittömään läheisyyteen, kuitenkin lämpösilta huomioiden.

**HUOM!**

Mikäli olemassa olevaa paisunta-astiaa ei uusita, on sen esipaine tarkastettava. Lämpöpumpulaitteiston lämmityksen ja käyttöveden tuotantoon riittää yhteinen paisunta-astia (ei sisälly Kaukoran toimitukseen).

Lämpimän käyttöveden tuotanto

Kytkentämoduulin ja lämminvesivaraajan väliset latauspiirin kytkentäputket mitoitetaan puolelle lämpöpumpun kokonaislämpötehosta, virtausnopeudelle 0,5...0,8 m/s lämpötilaeron ollessa 8 °C. Käyttövesiputket mitoitetaan kolmasosalle lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaamasta, virtausnopeudelle 0,9...1,2 m/s.



HUOM!

Mikäli käytetään useampaa puskurivaraajaa, on niiden lataus- ja käyttövesilinjat tasapainotettava putkikytkennöin tai linjasäätöventtiilein.



TÄRKEÄÄ!

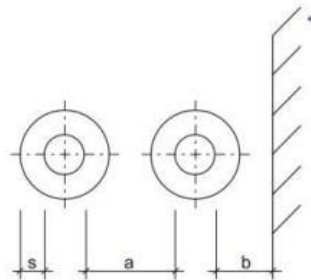
Olemassa oleva käyttöveden menovesianturi siirrettävä kuvan osoittamaan paikkaan mahdollisimman lähelle sekoitusventtiiliä.

Eristykset

LTO-hankkeeseen liittyvät putket suositellaan eristettäväksi alla olevien taulukoiden vähimmäiseristyspaksuuksien mukaisesti. Kaukolämmöntoimittajalla saattaa olla erillisiä vaatimuksia kaukolämpöputkiston eristyksen osalta. Jäsäpi LTO-järjestelmän kytkentämoduulin putket ovat eristetty tehtaalla 13 mm umpisolukumieristeellä.

Järjestelmä	Eristys	
Kaukolämpöputket	Sarja 25	
Lämpöputket	Sarja 24	
Lämmivesiputket	Sarja 23	
LVK-putki	Sarja 25	
Kylmävesiputket	Sarja 22 (höyrytiivis)	
LTO-liuosputket	$\varnothing_{\text{u}} = 20...50 \text{ mm}$	13 mm umpisolukumi tai 40 mm höyrytiivis mineraalivilla
	$\varnothing_{\text{u}} = 50...100 \text{ mm}$	19 mm umpisolukumi tai 50 mm höyrytiivis mineraalivilla
	$\varnothing_{\text{u}} > 100 \text{ mm}$	25 mm umpisolukumi tai 60 mm höyrytiivis mineraalivilla

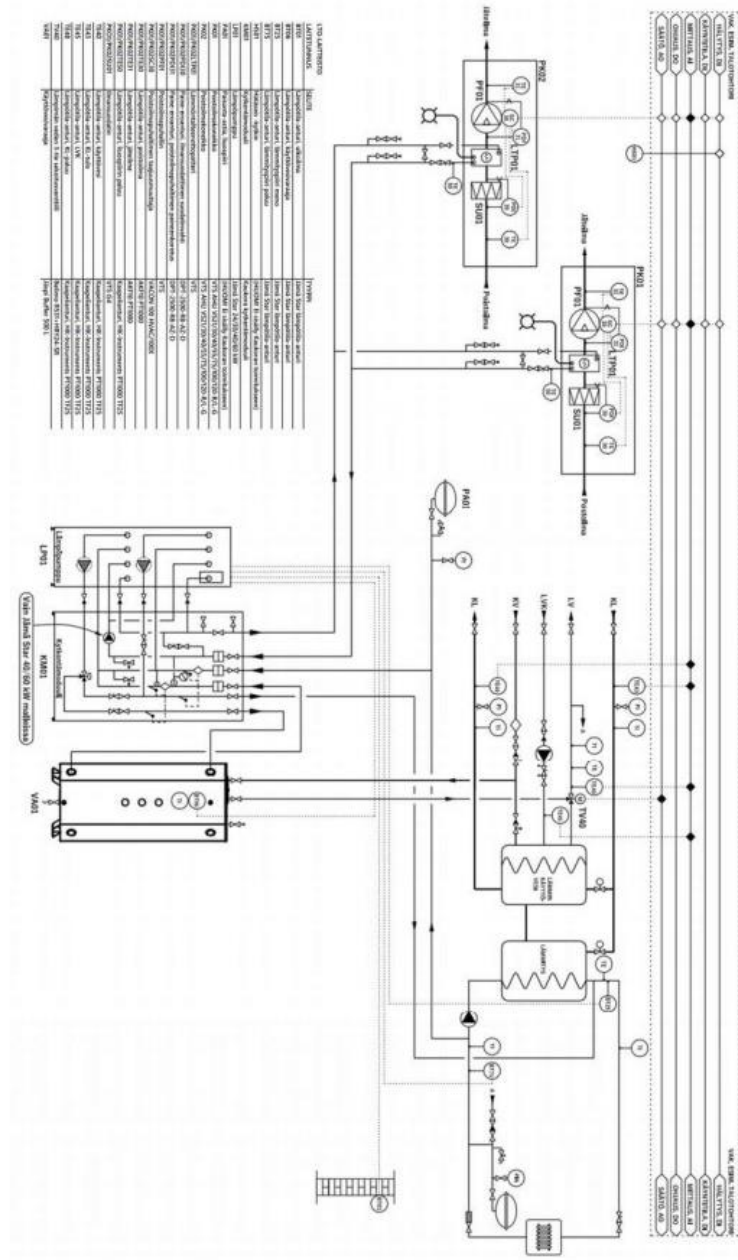
Putken ulkohalkaisija mm	Sarja 21			Sarja 22			Sarja 23			Sarja 24			Sarja 25		
	s	a	b	s	a	b	s	a	b	s	a	b	s	a	b
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
10...49	20	90	60	30	110	70	40	130	80	50	150	90	60	170	100
50...89	30	110	70	40	130	80	50	150	90	60	170	100	80	210	120
90...169	40	130	80	50	150	90	60	170	100	80	210	120	100	260	140

**TÄRKEÄÄ!**

LTO-järjestelmän liuosputkiston lämpötila on sisäasennuksissa selkeästi alle ympäröivän huoneilman kastepisteen, joten sen höyrynsulun tulee olla ehdottoman tiivis.

*kuvallähde LVI-ohjekortti 12-10370

Esimerkkikytentä



7. Järjestelmän valvonta

LTO-järjestelmän jatkuvan toiminnan ylläpitämiseksi sitä tulee asianmukaisesti valvoa. Järjestelmän suorituskykyä tulee aktiivisesti tarkkailla optimaalisen toiminnan takaamiseksi. Suunnitellun toiminnan edellyttämiseksi ulkoiseen valvontajärjestelmään tulee liittää vähintään lämpöpumpun tai -pumppujen käyntitunnit, verkostojen lämpötilat varaajineen sekä ulkolämpötila. Hallitun ja kokonaisvaltaisen valvonnan edellyttämiseksi järjestelmästä voidaan lisäksi valvoa mm:

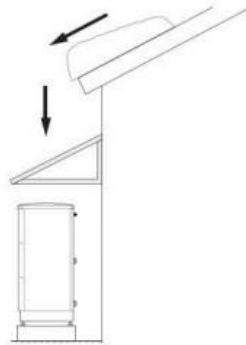
- Poistoilmakoneikon toimintaa
 - ✓ Puhaltimen suorituskykyä (paineenkorotus, käynti, ilmavirta)
 - ✓ Suodatinvahtia
 - ✓ Lämpötiloja
- Verkoston käyttöpaineita ja paisuntajärjestelmän häilytyksiä
- Kiertovesipumppujen käyntitiloja

Lisäksi valvomoon voidaan tuottaa järjestelmän suorituskykyä mittaavia raportteja mm. tuotetusta ja käytetystä energiasta sekä hyötysuhdelaskennasta.

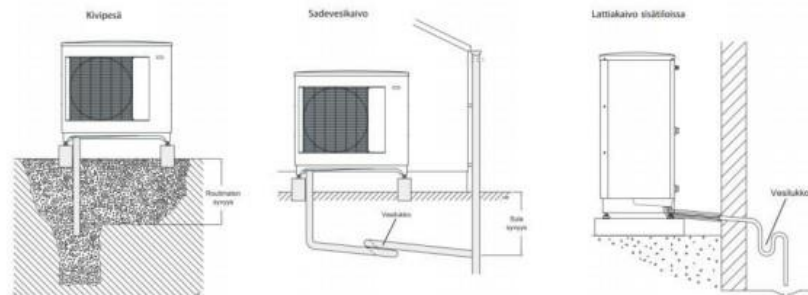
8. Lisälämmöksi ilma/vesilämpöpumppu

LTO-järjestelmää voidaan täydentää Jämä Moon -ilma/vesilämpöpumpulla (14/20 kW). Tällöin järjestelmän lämmityspiiri on varustettava Jäspi Buffer 500 L -puskurivaraajalla ja erillisellä shunttiryhmillä.

Jämä Moon -lämpöpumppu sijoitetaan vakaalle alustalle rakennuksen ulkoseinälle ja sen sijoituksessa tulee huomioida sääolosuhteiden vaikutus. Tarvittaessa se tulee suojata esim. katolta putoavan lumen aiheuttamalta tai muulta vastaavalta mekaaniselta vaurioilta.



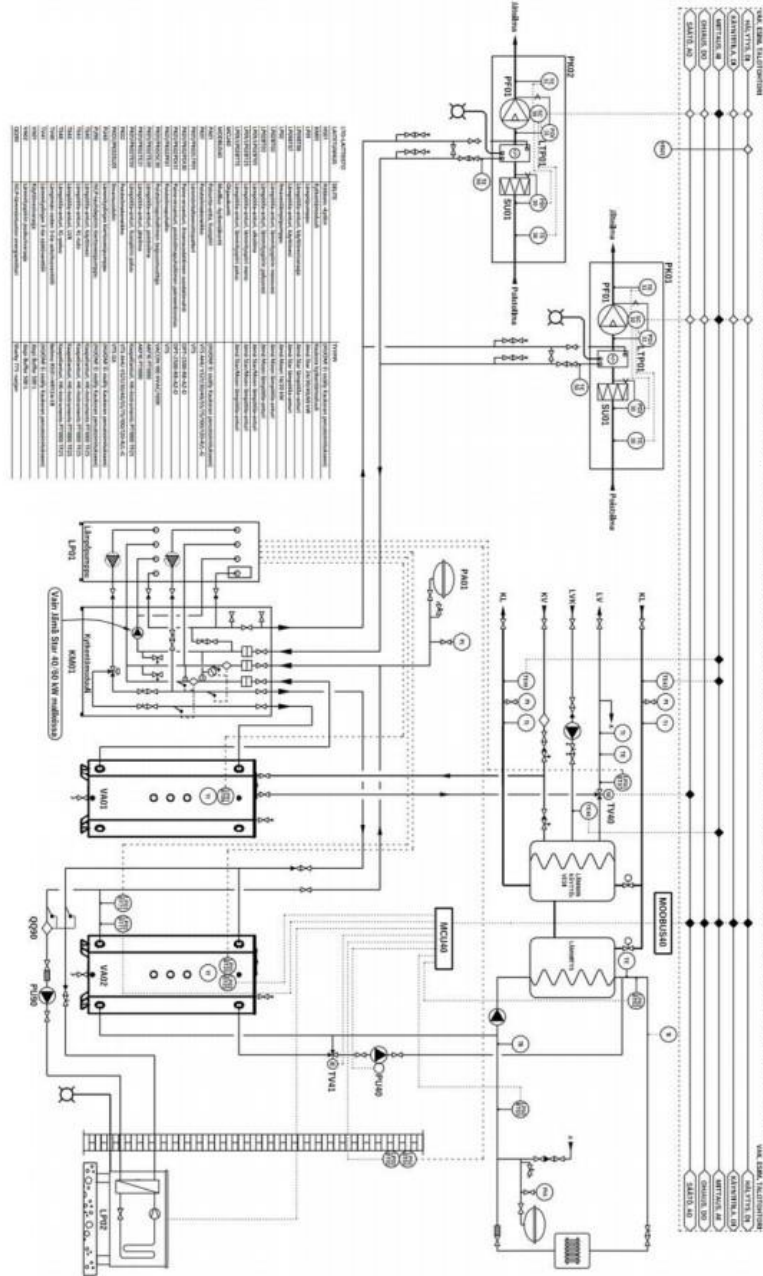
Jämä Moonin lämmönkeruulähteenä on ulkoilma, joten kondenssiveden muodostuminen on etenkin kostealla ilmalla erittäin voimakasta. Kondenssiveden pois kuljettaminen tulee suunnitella kivipesään, sadevesikaivoon tai lattiakaivoon. Kondenssiveden poistoon suositellaan käytettäväksi KVR10 -vedenpoistoputkea (lisävaruste).



HUOM!

Kondenssiviemäröinnin putki on tarvittaessa varustettava lämmityskaapelilla.

Esimerkkikytkentä



9. Maalämpöjärjestelmän rinnalle

LTO-järjestelmä voidaan kytkeä myös maalämpöpumppujärjestelmän rinnalle. Tällöin lämmityspuolella käytetään Buffer 500 L -puskurivaraajaa ja käyttövesipuolella VLM Star 500 L -käyttövesivaraajia, jotka on varustettu 6 kW sähkövastuksella ajoittaisen legionellakuumennuksen mahdollistamiseksi. Lisälämmöksi voidaan kytkeä esim. sähkökattila (Jäspi FIL SPL 31,5-400 kW) tai öljykattila. Myös käyttövesipiirissä käytetään erillistä lisälämmön tuottavaa sähkövastuksilla (3 x 7,5 kW) varustettua VLM 500 L -varaajaa.

Sopiva käyttövesivaraajien yhteenlaskettu vesitilavuus on puolet vuorokautisen lämpimän käyttöveden kulutuksesta.

Lämpöpumppujärjestelmän liuospiiriin liitetään erillinen käsikäyttöisellä täyttöpumpulla varustettu tiivis lämmönkeruunesteestä.

**HUOM!**

Maalämpöjärjestelmän mitoituksessa voi hyödyntää KaukoraDIM -mitoitushjelmaa.

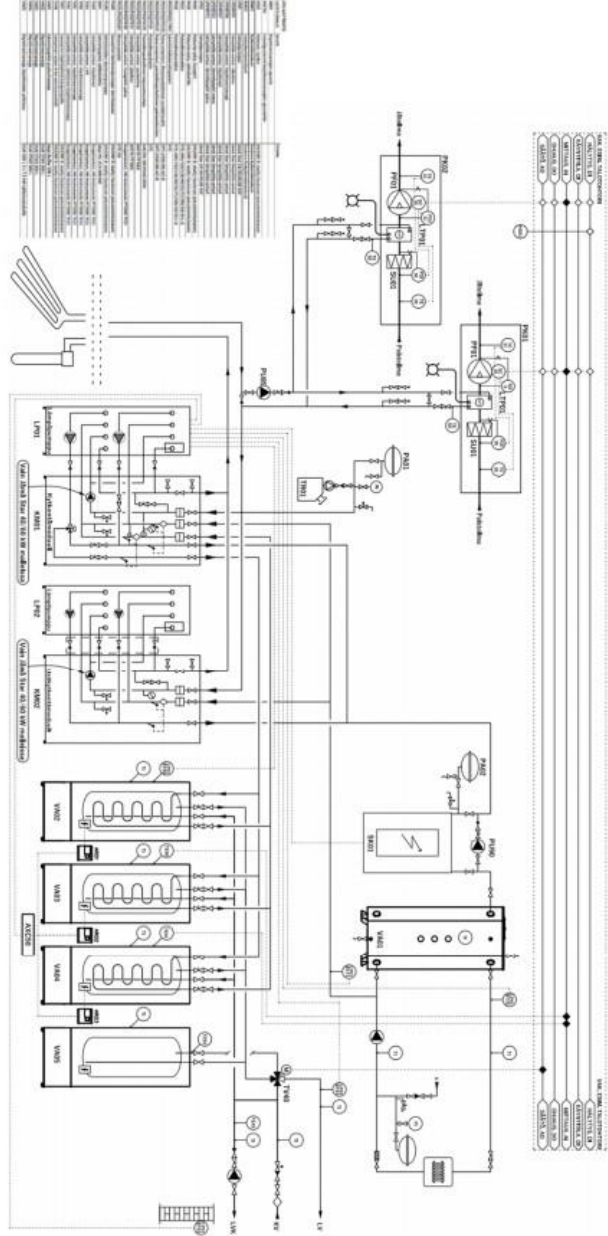
**HUOM!**

Lämmityspiiriin puskurivaraajaan voidaan tarvittaessa kytkeä max. 3 x 7,5 kW sähkövastukset.

**HUOM!**

Käyttövesivaraajien sähkövastusten ohjaukseen käytetään AXC50 -lisävarustekorttiin kytkettyjä apureleitä.

Esimerkkikytkentä



10. Mitoitusohjelmat

Järjestelmän mitoituksen tueksi Jäspi LTO-järjestelmän verkkosivuilta löytyy laskentaohjelma keruuverkoston mitoitukseen sekä mitoitusohjelma (KaukoraDIM) lämpöpumpun valintaan.

JÄSPI LTO KÄYTTÖOHJE SIMULAKKIONEN TULOSTA

Katso: As Oy Mäkelin, Kauhava, 85, Kauhava

27.12.2017 10:28

Yhteyshenkilön nimi:

LTO-järjestelmän tiedot

Puutalo	Ilmavirta (m³/s)	Keräilyala (m²)	Ulkovuoto (W)
Puutalo 1	0,8	11,2	2,08
Puutalo 2	0,8	11,2	2,07
Puutalo 3	0,8	11,2	2,07
Puutalo 4	0,8	11,2	2,07
Puutalo 5	0,8	11,2	2,07
Puutalo 6	0,8	11,2	2,07
Puutalo 7	0,8	11,2	2,07
Puutalo 8	0,8	11,2	2,07
Yhteensä	6,4	89,6	16,68

Lämpöpumpun tiedot (kW)

Ilmavirta: 35,0
 Keräilyala: 35,0
 Lämpökapasiteetti: 110,0
 Lämpöteho 1: 60,0
 Lämpöteho 2: 50,0
 Lämpöteho 3: 40,0

Keräilyverkoston lämpötehot (28 p-ik standardissa)

Puutalo	Etäisyys (m)	Keräilyala (m²)	Puutalon teho (kW)	Valittu putken spesifiteetti
Puutalo 1	30	11,2	2,08	Puutalo 1 LTO
Puutalo 2	30	11,2	2,07	Puutalo 2 LTO
Puutalo 3	30	11,2	2,07	Puutalo 3 LTO
Puutalo 4	30	11,2	2,07	Puutalo 4 LTO
Puutalo 5	30	11,2	2,07	Puutalo 5 LTO
Puutalo 6	30	11,2	2,07	Puutalo 6 LTO
Puutalo 7	30	11,2	2,07	Puutalo 7 LTO
Puutalo 8	30	11,2	2,07	Puutalo 8 LTO

Erityisohjeita:

Keräilyverkoston mitoitus tiedot

Puutalo	Putken lämpötila (°C)	Putken halka (mm)	Keräilyalan massa (kg)
Puutalo 1	60	6,8	11,2
Puutalo 2	55	6,8	11,2
Puutalo 3	51	6,8	11,2
Puutalo 4	46	6,8	11,2
Puutalo 5	41	6,8	11,2
Puutalo 6	36	6,8	11,2
Puutalo 7	31	6,8	11,2
Puutalo 8	26	6,8	11,2

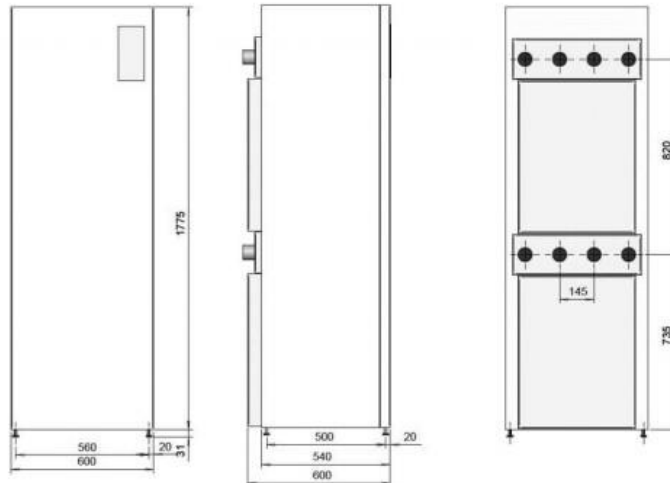
Putken painovoika (kPa): 28,0
 Verkoston kokonaispainovoika (kPa): 45,0



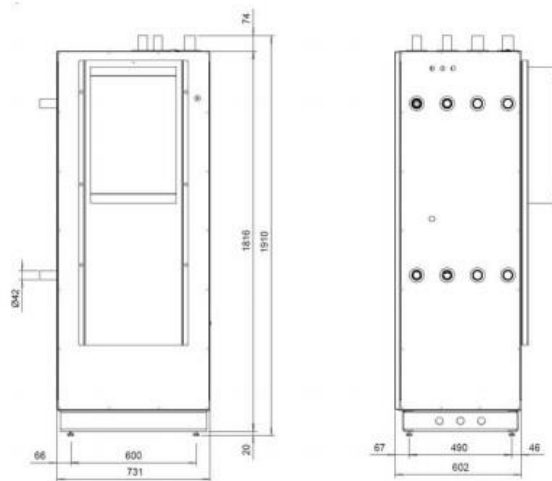
Vasemmalla keruuverkoston laskentaohjelman pääikkuna ja oikealla KaukoraDIM.

11. Mittakuvat

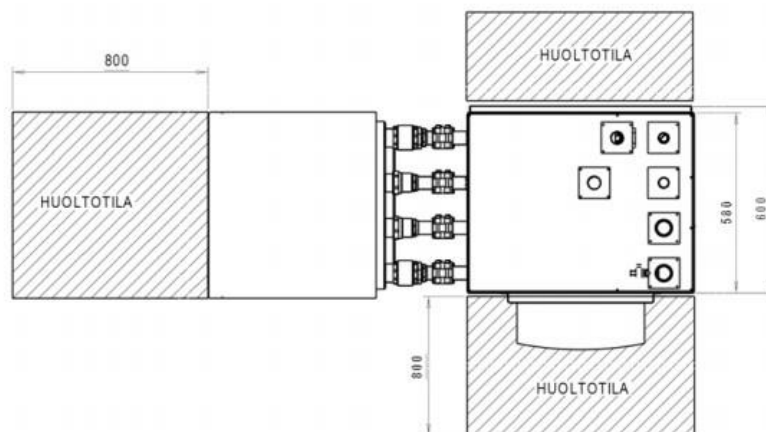
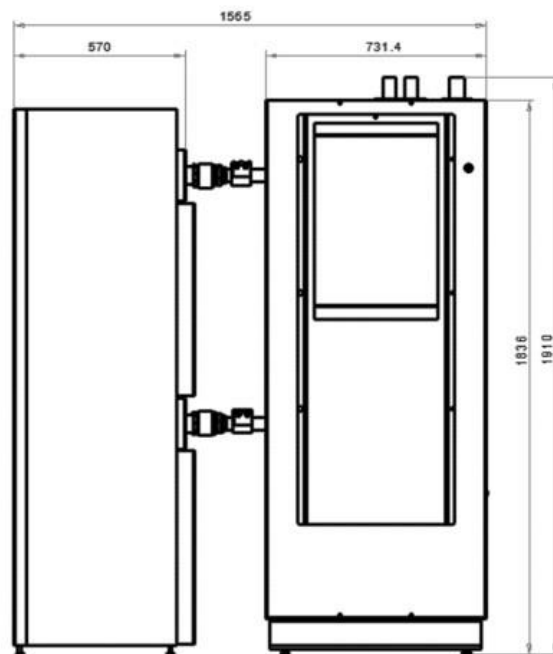
Jämä Star 24-60 kW



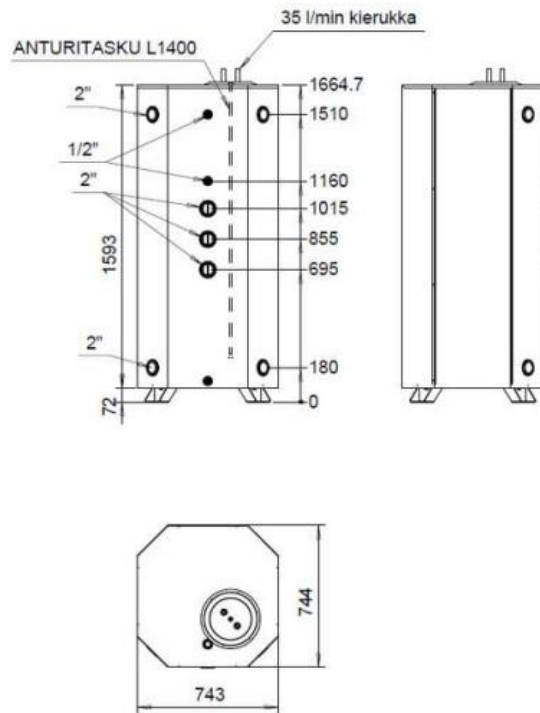
Kytentämoduuli



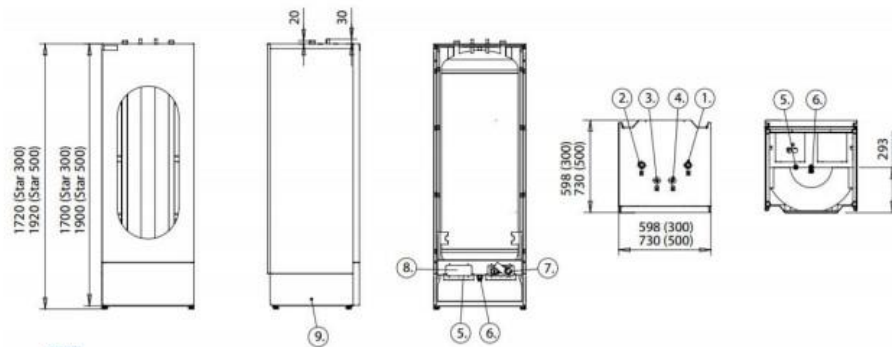
Jämä Star 24-60 kW ja kytkentämoduuli



Buffer 500 L



VLM-Star



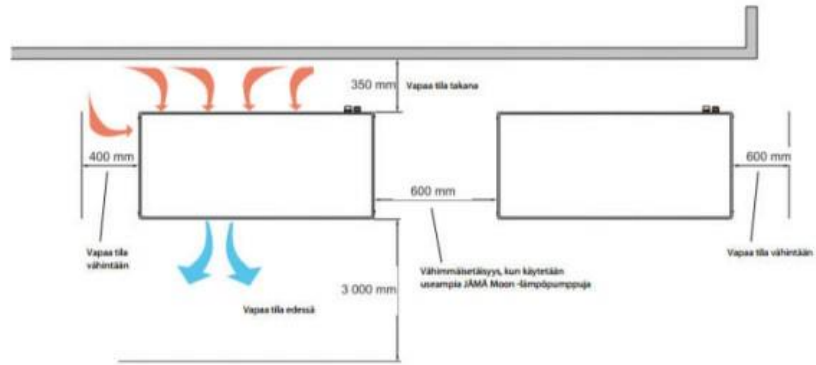
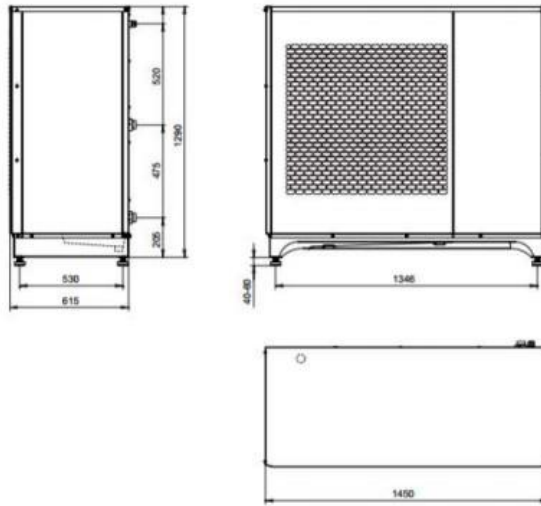
OSAT

1. Kylmä vesi ulos (paluu lämpöpumpulta) R1" uk
2. Lämmin vesi sisään (lämpöpumpulta) R1" uk
3. Lämmin käyttövesi ulos Ø18 (DN32)
4. Kylmä käyttövesi sisään Ø18 (DN32)
5. Anturitasku Ø10
6. Tyhjennysyhde R1/2"
7. Sähkövastus 3 kW
8. Varaus aurinkokierukalle (lisävaruste)
9. Avattavat alasisivulevyt (Star 300)

Ventus AHU

Malli	Leveys (mm)	Pituus (mm)	Korkeus (mm)	Massa (kg)
VS21-R-G	961	1490	538	120
VS30-R-G	961	1490	670	125
VS40-R-G	1168	1490	670	160
VS55-R-G	1339	1856	805	155
VS75-R-G	1480	1856	925	295
VS100-R-G	1660	2221	1025	380
VS120-R-G	1891	2221	1062	430

Jämä Moon 14/20 kW



12. Tekniset tiedot

Jämä Star 24-60 kW



3x400 V

3x400V		24	30	40	60
Tehotiedot nimellisvirtauksella Ilmasee lämpöpumpun suorituskyvyn ilman kiertovesipumppuja					
0/35					
Antoteho	kW	23,91	31,55	39,96	60,12
Jäähdytysteho	kW	19,14	24,99	31,79	47,53
Sähköteho	kW	4,77	6,56	8,17	12,60
COP	-	5,01	4,81	4,89	4,77
0/50					
Antoteho	kW	22,57	30,37	38,68	58,41
Jäähdytysteho	kW	16,27	21,54	28,03	43,35
Sähköteho	kW	6,30	8,83	10,64	15,06
COP	-	3,58	3,44	3,63	3,88
Tehotiedot EN 14511 mukaan					
0/35					
Antoteho (P _H)	kW	23,0	30,72	39,94	59,22
Sähköteho (P _E)	kW	4,94	6,92	8,90	13,72
COP _{EN14511}	-	4,65	4,44	4,49	4,32
0/45					
Antoteho (P _H)	kW	21,98	29,74	38,90	56,12
Sähköteho (P _E)	kW	5,96	8,34	10,61	16,02
COP _{EN14511}	-	3,69	3,57	3,67	3,50
10/35					
Antoteho (P _H)	kW	30,04	40,08	51,71	78,32
Sähköteho (P _E)	kW	5,30	7,24	9,81	15,08
COP _{EN14511}	-	5,67	5,53	5,27	5,19
10/45					
Antoteho (P _H)	kW	29,28	39,16	50,79	74,21
Sähköteho (P _E)	kW	6,34	8,84	11,82	17,60
COP _{EN14511}	-	4,62	4,43	4,30	4,22
Sähkötiedot					
Nimellisjännite		400V 3NAC 50 Hz			
Maks. käyttövirta, lämpöpumppu ³⁾	A _{rms}	20,5	25,3	29,5	44,3
Maks. käyttövirta, kompressori	A _{rms}	8,4	11,1	13,1	19,9
Suosittelava varoke	A	25	30	35	50
Käynnistysvirta	A _{rms}	29	30	42	53
Kokonaisteho, LK-pumput ³⁾	W	6 – 360	6 – 360	35 – 730	40 – 1250
Kokonaisteho, LJ-pumput	W	5 – 174	5 – 174	5 – 174	5 – 174
IP-luokka		IP21			
Kylmäainepiiri					
Kylmäaineen tyyppi		R407C			R410A
Täytösmäärä	kg	2 x 2,0	2 x 2,0	2 x 1,7	2 x 1,7
Katkaisu-arvo, ylipaineensäädin	MPa	3,2 (32 bar)			4,2 (42 bar)
Ero, ylipaineensäädin	MPa	-0,7 (-7 bar)			

3x400V		24	30	40	60
Katkaisuarvo, alipaineensäädin	MPa	0,08 (0,8 bar)			0,2 (2 bar)
Ero, alipaineensäädin	MPa	0,07 (0,7 bar)			
Katkaisuarvo, paineanturi LP	MPa	0,08 (0,8 bar)			0,2 (2,0 bar)
Ero, matalapaineestaatti	MPa	0,01 (0,1 bar)			
Lämmönkerupiiri					
Suurin järjestelmäpaine, lämmönkeruuliuos	MPa	0,6 (6 bar)			
Minimivirtaus	l/s	0,92	1,23	1,59	2,36
Nimellisvirtaus	l/s	1,18	1,62	2,09	3,10
Suurin ulkoinen käytettävissä oleva paine nimellisvirtauksella ²⁾	kPa	92	75	92	78
Maks./min. lämmönkeruuliuksen tulolämpötila	°C	diagrammi			
Min. lämmönkeruuliuksen menolämpötila	°C	-12			
Läminvesipiiri					
Suurin järjestelmäpaine, lämmitysvesi	MPa	0,6 (6 bar)			
Minimivirtaus	l/s	0,37	0,50	0,64	0,92
Nimellisvirtaus	l/s	0,54	0,73	0,93	1,34
Suurin ulkoinen paine nimellisvirtauksella	kPa	78	72	70	50
Maks./min. lämmitysveden lämpötila	°C	diagrammi			
Äänitehotaso (L_{WA}) EN 12102 mukaan lämpötiloilla 0/35	dB(A)	47	47	47	47
Äänenpainetaso (L_{PA}) lasketut arvot EN ISO 11203 mukaan lämpötiloilla 0/35 ja 1 m etäisyydellä	dB(A)	32	32	32	32
Putkiliitännät					
Lämmönkeruuliuos, CU-putki		G50 (2" ulkoinen) / G40 (1 1/2" naaras)			
Lämmitysvesi, ulkohalk. CU-putki		G50 (2" ulkoinen) / G40 (1 1/2" naaras)			

Muut

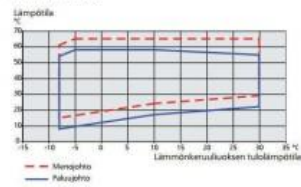
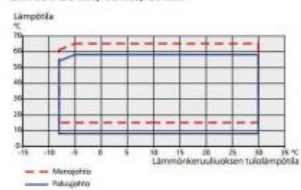
Muut		24	30	40	60
Kompressoriöljy					
Öljytyyppi		POE	POE	POE	POE
Täytösmäärä	l	2 x 1,89	2 x 1,1	2 x 1,9	2 x 1,9
Mitat ja painot					
Leveys	mm	600			
Syvyys	mm	620			
Korkeus	mm	1800			
Vaadittu vapaa korkeus ²⁾	mm	1950			
Paino, lämpöpumppu	kg	320	330	345	346
Paino, jäähdytysmoduuli	kg	130	135	143,5	144
Osanumero, 3x400V ilman lämmönkeruujärjestelmää		065 304	065 305	065 306	065 307
Osanumero, 3x400V lämmönkeruujärjestelmällä				065 413	065 414

²⁾Jalat irrotettuna korkeus on n. 1930 mm.

³⁾Malleille 40 ja 60 kW nämä tekniset tiedot koskevat mukana toimitettuja lämmönkeruupumppuja.

Työalue, lämpöpumppu, kompressikäyttö

Suurin kompressorilla tuotettava menolämpötila 65 °C.

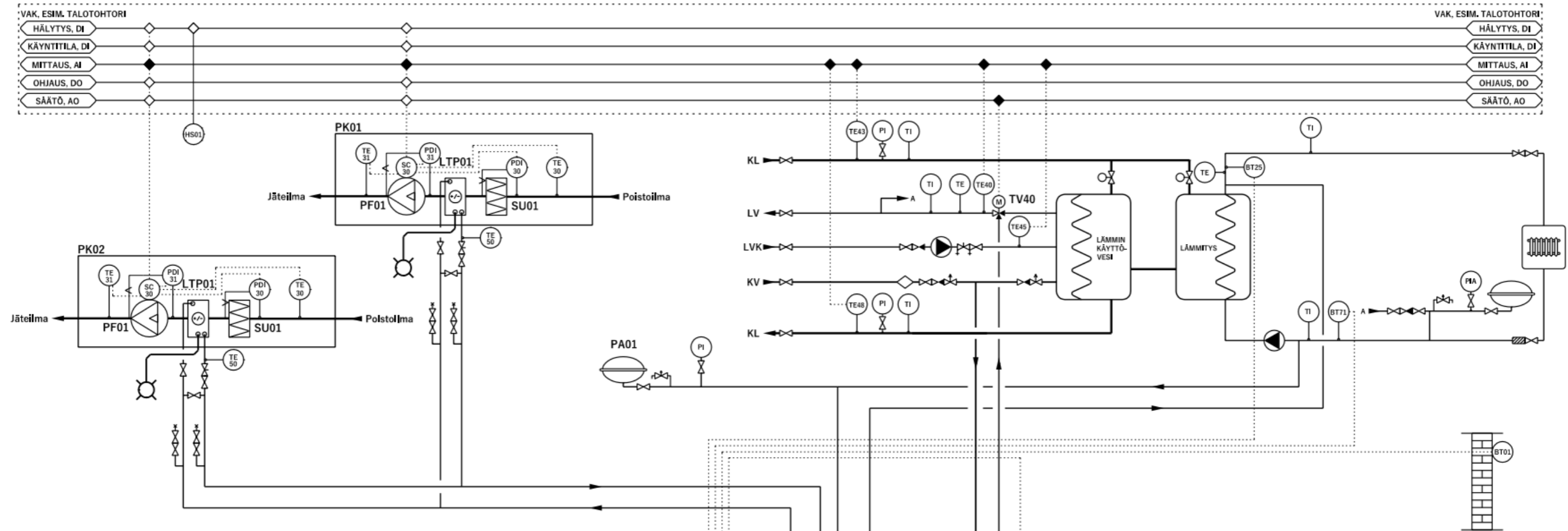
3x400V 24 kW**3x400V 30 kW, 40 kW, 60 kW****Jämä Moon 14/20 kW**

	JÄMÄ Moon 14	JÄMÄ Moon 20
Korkeus jalustan kanssa [mm]*	1290	1290
Leveys [mm]	1450	1450
Syvyys [mm]	615	615
Paino [kg]	225	230
COP lämpötiloissa -15/55 °C**	1.94	1.92
COP lämpötiloissa -7/45 °C**	2.67	2.60
COP lämpötiloissa 2/35 °C**	3.86	3.50
COP lämpötiloissa 2/55 °C**	2.75	2.59
COP lämpötiloissa 7/35 °C**	4.32	3.96
COP lämpötiloissa 7/45 °C**	3.70	3.34
COP lämpötiloissa 7/55 °C**	3.22	2.92
COP lämpötiloissa 15/35 °C**	5.19	4.74
Alin käyttölämpötila, ulkoilmakäyttö [°C]	-25/63 (-10/65)	-25/63 (-10/65)
Lämmitysveden max. menolämpötila [°C]	65	65
Kylmäainemäärä (R407 C) [kg]	2.2	2.8
Lämmitysvesiliitäntä uros	G 1 1/4"	G 1 1/4"
Käyttöjännite	3x400 V+N+PE 50Hz	3x400 V+N+PE 50Hz
Kotelointiluokka	IP 24	IP 24
Varoke	16 A	16 A
Pehmökäynnistysrele	vakiovaruste	vakiovaruste
Kompressor	Scroll EVI	Scroll EVI
LVI-numero	5360108	5360127

* + säätöjalat

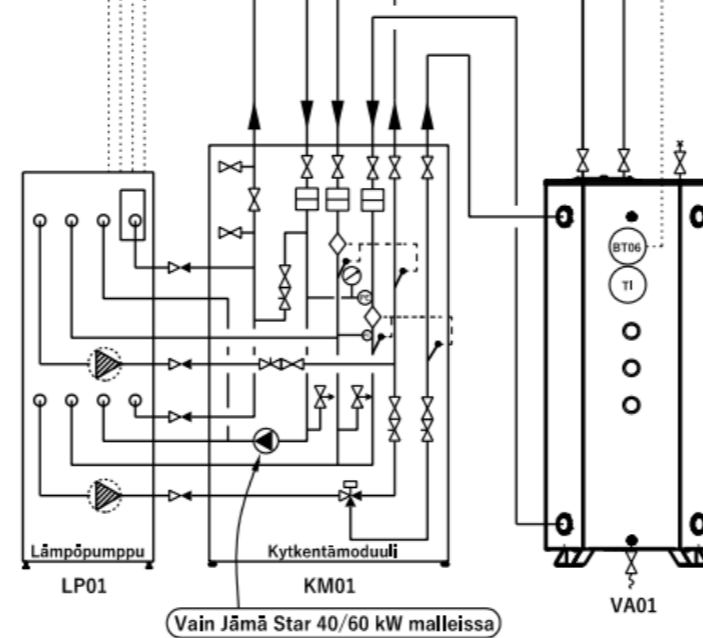
** Standardin EN 255 mukaan

Liite 4.Jäspi-LTO, peruskytkentä

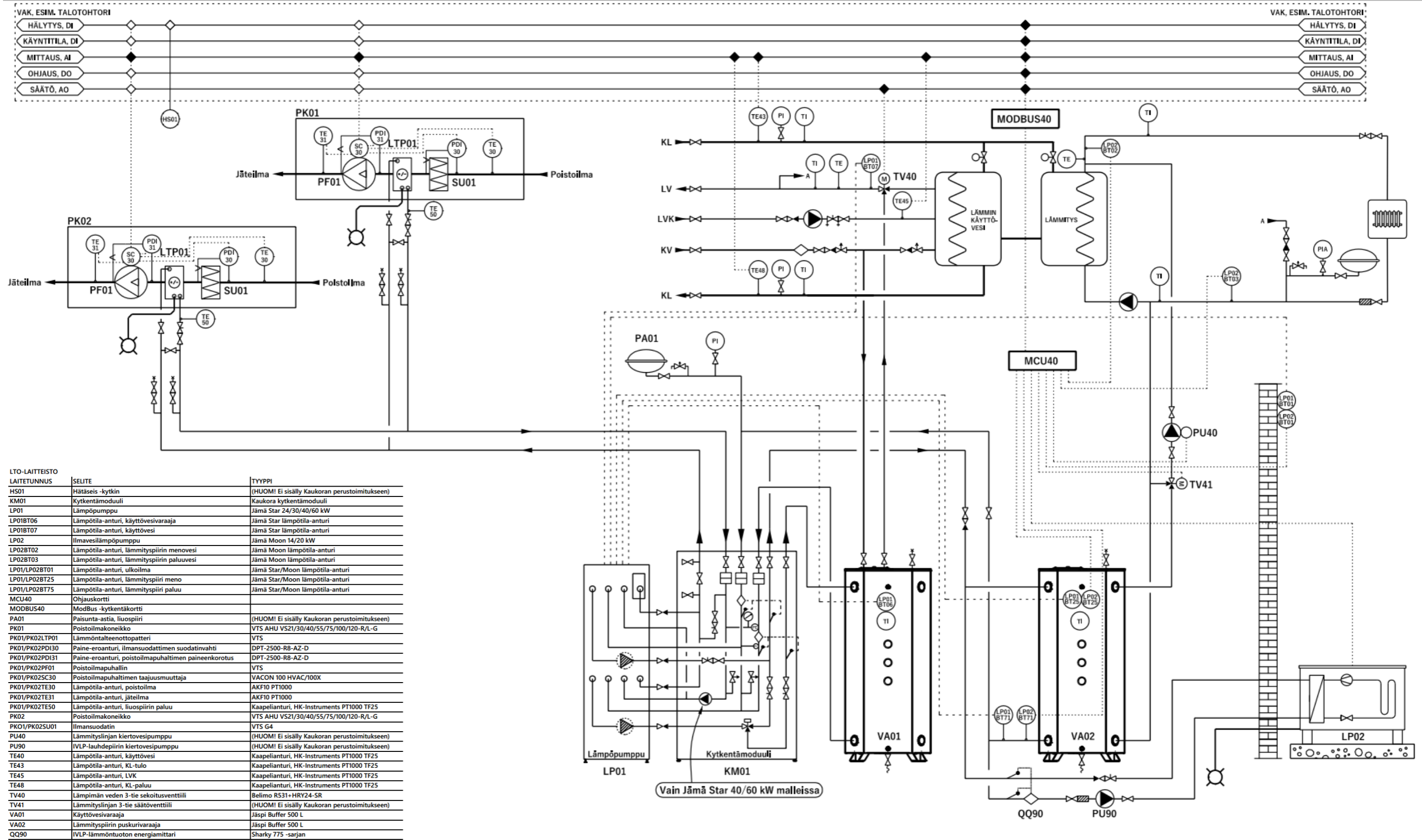


LTO-LAITTEISTO

LAITETUNNUS	SELITE	TYYPPI
BT01	Lämpötila-anturi, ulkoilma	Jämä Star lämpötila-anturi
BT06	Lämpötila-anturi, käyttövesivaraaja	Jämä Star lämpötila-anturi
BT25	Lämpötila-anturi, lämmityspiiri meno	Jämä Star lämpötila-anturi
BT75	Lämpötila-anturi, lämmityspiiri paluu	Jämä Star lämpötila-anturi
HS01	Hätäseis -kytkin (HUOM! Ei sisälly Kaukoran toimitukseen)	
KM01	Kytentämoduuli	Kaukora kytentämoduuli
LP01	Lämpöpumppu	Jämä Star 24/30/40/60 kW
PA01	Paisunta-astia, liuospiiri (HUOM! Ei sisälly Kaukoran toimitukseen)	
PK01	Poistoilmakoneikko	VTS AHU VS21/30/40/55/75/100/120-R/L-G
PK02	Poistoilmakoneikko	VTS AHU VS21/30/40/55/75/100/120-R/L-G
PK01/PK02LTP01	Lämmöntalteenottopatteri	VTS
PK01/PK02PDI30	Paine-eroanturi, ilmansuodattimen suodatinvahti	DPT-2500-R8-AZ-D
PK01/PK02PDI31	Paine-eroanturi, poistoilmapuhaltimen paineenkorotus	DPT-2500-R8-AZ-D
PK01/PK02PF01	Poistoilmapuhallin	VTS
PK01/PK02SC30	Poistoilmapuhaltimen taajuusmuuttaja	VACON 100 HVAC/100X
PK01/PK02TE30	Lämpötila-anturi, poistoilma	AKF10 PT1000
PK01/PK02TE31	Lämpötila-anturi, jäteilma	AKF10 PT1000
PK01/PK02TE50	Lämpötila-anturi, liuospiirin paluu	Kaapelianturi, HK-Instruments PT1000 TF25
PK01/PK02SU01	Ilmansuodatin	VTS G4
TE40	Lämpötila-anturi, käyttövesi	Kaapelianturi, HK-Instruments PT1000 TF25
TE43	Lämpötila-anturi, KL-tulo	Kaapelianturi, HK-Instruments PT1000 TF25
TE45	Lämpötila-anturi, LVK	Kaapelianturi, HK-Instruments PT1000 TF25
TE48	Lämpötila-anturi, KL-paluu	Kaapelianturi, HK-Instruments PT1000 TF25
TV40	Lämpimän veden 3-tie sekoitusventtiili	Belimo R531+HRV24-SR
VA01	Käyttövesivaraaja	Jäspi Buffer 500 L

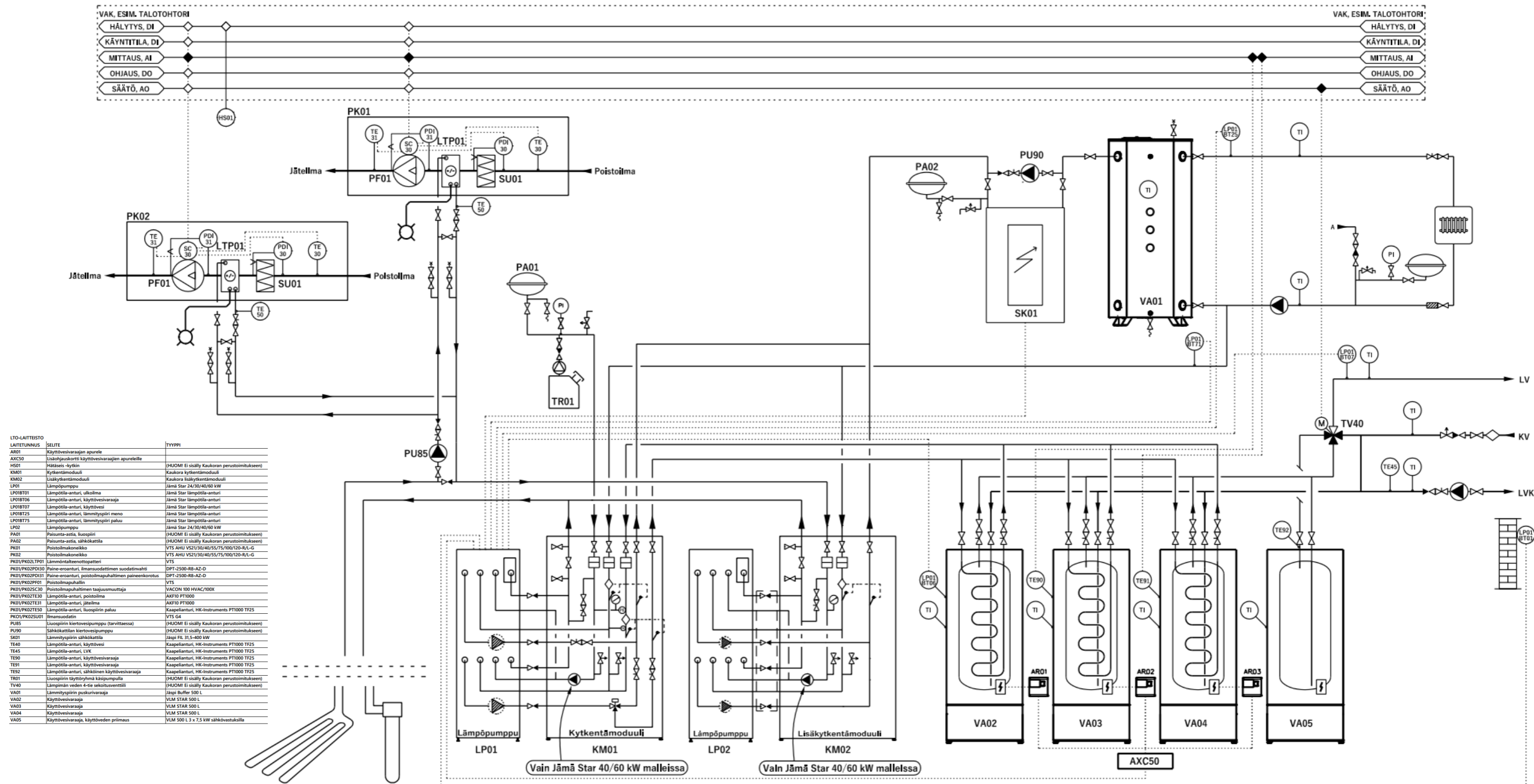


Liite 5. Jäsپی LTO, peruskyltöntä + IVLP



LTO-LAITTEISTO LAITETUNNUS	SELITE	TYYPPI
HS01	Hätäseis -kytkin	(HUOM! Ei sisälly Kaukoran perustoitukseen)
KM01	Kytentämoduuli	Kaukora kytentämoduuli
LP01	Lämpöpumppu	Jämä Star 24/30/40/60 kW
LP01BT06	Lämpötä-anturi, käyttövesivaraaja	Jämä Star lämpötä-anturi
LP01BT07	Lämpötä-anturi, käyttövesi	Jämä Star lämpötä-anturi
LP02	Ilmanvesilämpöpumppu	Jämä Moon 14/20 kW
LP02BT02	Lämpötä-anturi, lämmityspiirin menovesi	Jämä Moon lämpötä-anturi
LP02BT03	Lämpötä-anturi, lämmityspiirin paluovesi	Jämä Moon lämpötä-anturi
LP01/LP02BT01	Lämpötä-anturi, ulkoilma	Jämä Star/Moon lämpötä-anturi
LP01/LP02BT25	Lämpötä-anturi, lämmityspiiri meno	Jämä Star/Moon lämpötä-anturi
LP01/LP02BT75	Lämpötä-anturi, lämmityspiiri paluu	Jämä Star/Moon lämpötä-anturi
MCU40	Ohjaukorkortti	
MODBUS40	ModBus -kytöntäkortti	
PA01	Paisunta-astia, liuospiiri	(HUOM! Ei sisälly Kaukoran perustoitukseen)
PK01	Poistoilmakoneikko	VTS AHU VS21/30/40/55/75/100/120-R/L-G
PK01/PK02LTP01	Lämmöntalteenottopatterri	VTS
PK01/PK02PDI30	Paine-eroanturi, ilmansuodattimen suodatinvahäi	DPT-2500-R8-AZ-D
PK01/PK02PDI31	Paine-eroanturi, poistoilmahuhtäimen paineenkorotus	DPT-2500-R8-AZ-D
PK01/PK02PF01	Poistoilmahuhtälin	VTS
PK01/PK02SC30	Poistoilmahuhtälinen taajuusmuuttaja	VACON 100 HVAC/100X
PK01/PK02TE30	Lämpötä-anturi, poistoilma	AKF10 PT1000
PK01/PK02TE31	Lämpötä-anturi, jäteilma	AKF10 PT1000
PK01/PK02TE50	Lämpötä-anturi, liuospiirin paluu	Kaapelianturi, HK-Instruments PT1000 TF25
PK02	Poistoilmakoneikko	VTS AHU VS21/30/40/55/75/100/120-R/L-G
PK01/PK02SU01	Ilmansuodatäin	VTS G4
PU40	Lämmityslinjän kiertovesipumppu	(HUOM! Ei sisälly Kaukoran perustoitukseen)
PU90	IVLP-lauhdepiirin kiertovesipumppu	(HUOM! Ei sisälly Kaukoran perustoitukseen)
TE40	Lämpötä-anturi, käyttövesi	Kaapelianturi, HK-Instruments PT1000 TF25
TE43	Lämpötä-anturi, KL-tulo	Kaapelianturi, HK-Instruments PT1000 TF25
TE45	Lämpötä-anturi, LVK	Kaapelianturi, HK-Instruments PT1000 TF25
TE48	Lämpötä-anturi, KL-paluu	Kaapelianturi, HK-Instruments PT1000 TF25
TV40	Lämpimän veden 3-tie sekoitusventtiili	Belimo R531+HR24-SR
TV41	Lämmityslinjän 3-tie säätöventtiili	(HUOM! Ei sisälly Kaukoran perustoitukseen)
VA01	Käyttövesivaraaja	Jäsپی Buffer 500 L
VA02	Lämmityspiirin puskurivaraaja	Jäsپی Buffer 500 L
QQ90	IVLP-lämmöntuoton energiämittäri	Sharky 775 -sarjan

Liite 6. Jäsipi LTO, kytKentä MLP-järjestelmään



LTO-LAITTEISTO

LAITETUNNUS	SELITE	TYYPPI
AR01	Käyttövesivaraajan apurille	
AXC50	Lisäohjauksortti käyttövesivaraajan apurille	
HS01	Hätäsis-kytisin	(HJOMI Ei sisälly Kaukoran perustoiutukseen)
KM01	KytKentämoduuli	Kaukora kytKentämoduuli
KM02	LisäkytKentämoduuli	Kaukora lisäkytKentämoduuli
LP01	Lämpöpumppu	Jämä Star 24/30/40/60 kW
LP01B701	Lämpölä-anturi, läikolma	Jämä Star lämpölä-anturi
LP01B706	Lämpölä-anturi, käyttövesi	Jämä Star lämpölä-anturi
LP01B707	Lämpölä-anturi, lämmitysvesi	Jämä Star lämpölä-anturi
LP01B725	Lämpölä-anturi, lämmitysvesi meno	Jämä Star lämpölä-anturi
LP01B775	Lämpölä-anturi, lämmitysvesi paluu	Jämä Star lämpölä-anturi
LP02	Lämpöpumppu	Jämä Star 24/30/40/60 kW
PA01	Paisunta-astia, luospiiri	(HJOMI Ei sisälly Kaukoran perustoiutukseen)
PA02	Paisunta-astia, sähkökattila	(HJOMI Ei sisälly Kaukoran perustoiutukseen)
PK01	Poistollmakoneikko	VYS AHU VS2/30/40/55/75/100/120-KV-G
PK02	Poistollmakoneikko	VYS AHU VS2/30/40/55/75/100/120-KV-G
PK01/PK02LTP01	Lämmöntalteenottopatteri	VYS
PK01/PK02PDI30	Paine-eranturi, lämsuodattimen suodatinvaiht	DPT-2500-RB-AZ-D
PK01/PK02PDI31	Paine-eranturi, poistollmapuhallimen paineenkorotus	DPT-2500-RB-AZ-D
PK01/PK02PFI01	Poistollmapuhallin	VYS
PK01/PK02SC30	Poistollmapuhallimen taajuusmuuttaja	VACON 100 HVAC/100X
PK01/PK02TE30	Lämpölä-anturi, poistollma	AKF10 PT1000
PK01/PK02TE31	Lämpölä-anturi, jätellma	AKF10 PT1000
PK01/PK02TE50	Lämpölä-anturi, luospiirin paluu	Kaapelianturi, HK-Instruments PT1000 TF25
PK01/PK02SU01	lämsuodatin	VYS G4
PU85	Luospiirin kiertovesipumppu (tarvittaessa)	(HJOMI Ei sisälly Kaukoran perustoiutukseen)
PU90	Sähkökattilan kiertovesipumppu	(HJOMI Ei sisälly Kaukoran perustoiutukseen)
SK01	Lämmitysvesi sähkökattila	Jäspi FIL 31.5-400 kW
TE40	Lämpölä-anturi, käyttövesi	Kaapelianturi, HK-Instruments PT1000 TF25
TE45	Lämpölä-anturi, LVK	Kaapelianturi, HK-Instruments PT1000 TF25
TE90	Lämpölä-anturi, käyttövesivaraaja	Kaapelianturi, HK-Instruments PT1000 TF25
TE91	Lämpölä-anturi, käyttövesivaraaja	Kaapelianturi, HK-Instruments PT1000 TF25
TE92	Lämpölä-anturi, sähkökattilan käyttövesivaraaja	Kaapelianturi, HK-Instruments PT1000 TF25
TR01	Lämpölä-anturi, lämmitysvesi	(HJOMI Ei sisälly Kaukoran perustoiutukseen)
TV40	Lämpölä-anturi, 4-tie sekoitusventtiili	(HJOMI Ei sisälly Kaukoran perustoiutukseen)
VA01	Lämmitysvesi puskurivaraaja	Jäspi Buffer 500 L
VA02	Käyttövesivaraaja	VLM STAR 500 L
VA03	Käyttövesivaraaja	VLM STAR 500 L
VA04	Käyttövesivaraaja	VLM STAR 500 L
VA05	Käyttövesivaraaja, käyttöveden primaus	VLM 500 L 3 x 7.5 kW sähkövastuksilla