

Tero Tuomi

Poistoilman lämmön hyödyntäminen lämpöpumpulla asuinkerrostalossa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

12.5.2015

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Tero Tuomi Poistoilman lämmön hyödyntäminen lämpöpumpulla asuinkerrostalossa 46 sivua + 8 liitettä 12.5.2015
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI-suunnittelu
Ohjaajat	myyntijohtaja Juha Lyyra yliopettaja Jukka Yrjölä
<p>Insinööriyössä tutkittiin poistoilman lämmön talteenottojärjestelmän hyödyntämistä poistoilmalämpöpumpulla asuinkerrostalossa, jossa sen lämpöenergialla lämmitetään käyttöväettä sekä lämmitysverkostoa kaukolämmön rinnalla. Kohteeseen tehtiin suunnitelmat, mittaukset sekä mitoitukset poistoilmalämpöpumpujärjestelmälle. Aiheessa käsiteltiin ensin teoriaa pääkomponenteista, minkä jälkeen tarkasteltiin laskelmia, suunnitelmia sekä kytkentöjä. Suunnitteluvaiheessa käytiin läpi vaiheittain pääkomponenttien mitoitukset.</p> <p>Suunnittelun jälkeen työstä laskettiin kohteen energiakustannuksia ja poistoilmalämpöpumpujärjestelmän kannattavuutta. Lisäksi tutkittiin myös jäädytyksen käyttömahdollisuutta asuinkerrostalossa poistoilmalämpöpumpulla.</p> <p>Tavoitteena työssä oli toteuttaa toimiva kokonaisuus sekä kerätä tietoa järjestelmän toiminnasta ja kannattavuudesta. Lisäksi projektin tarkoituksena oli parantaa kohteen energiatehokkuutta ja asumisviihtyvyyttä.</p> <p>Kohteessa suoritettiin poistoilman lämpötilamittaukset huippuimurista, mittaustulokset osoittivat poistoilman lämpötilan olevan halutuissa arvoissa, eikä hajonta ole suurta. Suunnitelmat toteutettiin CADS-planner-ohjelmistolla, jolla tehtyjä kytkentä- ja säätökaavioita on esitelty työssä.</p> <p>Lopputuloksista havaittiin järjestelmän takaisinmaksuajan olevan yllättävän suuri. Tuloksista saatiin arvokasta tietoa järjestelmän kannattavuudesta sekä tulevaisuuden kohteiden suunnittelusta. Tulokset myös osoittivat järjestelmän hintatason kokonaisuudessaan suunnittelusta toteutukseen. Työn aikana todettiin myös järkeväksi ratkaisuksi vaihtaa koko lämmönjakokeskus, lämmönsiirrinten lisäämisen sijasta. Jäädytyksen poistoilmalämpöpumpulla todettiin olevan mahdollinen, mutta sen toteutus nostaisi projektin hintaa huomattavasti.</p>	
Avainsanat	lämmön talteenotto, poistoilmalämpöpumppu, poistoilma

Author Title Number of Pages Date	Tero Tuomi The use of exhaust air heat with a heat pump in a multi-storey building 46 pages + 8 appendices 12 May 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC Engineering, Design Oriented
Instructors	Juha Lyyra, Sales Manager Jukka Yrjölä, Principal Lecturer
<p>The purpose of the final year project was to study the use and profitability of exhaust air heat recovery with a heat pump in a multi-storey building. The recovered heat was used to preheat both the domestic hot water of the building and the heating water of the radiator system. The main heat source was district heating and the heat pump was installed with parallel coupling along with it. Another goal of the project was to determine if a heat pump can be used for cooling in a multi-storey building.</p> <p>The methods used in the project were planning, calculations and measurements of the building's heat system. The temperature of the exhaust air was measured with a data logger from the exhaust air fan. The profitability was calculated from the energy consumption of the previous year and from the savings provided by the heat pump. The schematics were made with the CADS Planner program.</p> <p>The project proved that cooling with a heat pump is possible but multiplies the price. It was shown that even without cooling the payback period of the system is quite long. The results provide valuable information for the planning of similar solutions in the future. The results also indicate profitability and the price range of the system.</p>	
Keywords	exhaust air heat pump, heat recovery, multi-storey building

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Lämpöpumput	2
2.1	Toimintaperiaate	2
2.2	Lämpökerroin	3
2.3	Kylmäaineet	4
2.4	Poistoilmalämpöpumput	4
2.4.1	Käyttö	4
2.4.2	Toimintaperiaate	4
2.5	Poistoilmalämpöpumpun liittäminen LTO-järjestelmään	5
2.5.1	Toteutusvaihtoehdot	5
2.5.2	Toimintaperiaate	7
2.5.3	Kytkevävaihtoehdot	9
3	Lämmön talteenotto	11
3.1	Poistoilman lämmön talteenotto	11
3.2	LTO-huippuimurit	12
3.2.1	Toiminta	12
3.2.2	Huolto	14
4	Jäähdytys	14
4.1	Jäähdytys lämpöpumpulla	14
4.2	Puhallinkonvektorit	14
5	Kohteen esittely	15
5.1	Rakennuksen lähtötiedot	15
5.2	Saneerausvaihtoehdot kohteessa	16
5.2.1	Ehdotukset	16
5.2.2	Poistoilmalämpöpumppu LTO-huippuimuri yhdistelmä	16
5.2.3	Tuloilman esilämmitys LTO-patterilla	16
5.2.4	Asuntokohtainen ilmanvaihto	17
5.3	Lähtötiedot laskentaan	17
5.3.1	Kulutustiedot	17
5.3.2	Poistoilmavirrat	17

5.3.3	Tilavaraukset	18
6	Mittaukset	20
7	Mitoitukset	21
7.1	LTO-huippumuri	21
7.2	Poistoilmalämpöpumppu rinnakkaislämpönä	22
7.3	Kaukolämpölaitteisto	23
7.3.1	Kaukolämpöpaketti	23
7.3.2	Säätöventtiilit	24
7.4	Paisunta-astiat	27
7.5	Viilennys	29
7.5.1	Verkosto	29
7.5.2	Kytkenät	30
7.5.3	Lämpimän käyttöveden vaikutus	32
7.6	Jäähdytystehontarve	33
7.7	Puhallinpatterit	36
8	Lopputulokset	36
8.1	Kustannukset	36
8.2	Säästöt	37
8.3	Takaisinmaksuaika	41
9	Yhteenveto	43
	Lähteet	45
	Liitteet	
	Liite 1. HögforsGST, kytkentäkaavio	
	Liite 2. Poistoilman lämmön talteenoton säätökaavio	
	Liite 3. Kaukolämpölaitteiston mitoitus	
	Liite 4. Poistoilman lämmön talteenoton säätökaavio viilennyksellä	
	Liite 5. Lauhduttimen mitoitusajo	
	Liite 6. Chiller-puhallinpattereiden mitoitusajo	
	Liite 7. Chiller-puhallinpattereiden toimintakaavio	
	Liite 8. Viilennysverkon asennusperiaate ja putkireitit kerroksissa	

Lyhenteet

COP	<i>Coefficient of performance</i> . Suomeksi lämpökerroin, kuvaa lämpöpumpun hyötysuhdetta.
HFC	Hydro-fluori-hiili. Yhdiste, jota käytetään kylmäaineissa.
KL	Kaukolämpö. Energialaitoksen tuottama lämmitysmuoto.
LKV	Lämmin käyttövesi. Vesi, joka on lämmitetty vesimittarilta saadusta kylmästä vedestä.
LS	Lämmönsiirrin. Lämmönsiirtoon tarkoitettu paketti, jossa eri nesteet eivät pääse kosketuksiin toistensa kanssa, mutta siirtävät energiaa.
LTO	Lämmön talteenotto. Järjestelmä, joka kerää lämpöä talteen esimerkiksi poistoilmasta.
LTOH	Lämmön talteenoton huippuimuri. Huippuimuri, johon on yhdistetty lämmön talteenottojärjestelmä.
PILP	Poistoilmalämpöpumppu. Lämpöpumpputyyppi, joka hyödyntää poistoilman lämpöenergiaa.
SPF	Vuoden keskimääräinen lämpökerroin.
VAK	Valvonta-alakeskus. Toimii kiinteistöautomaatiojärjestelmänä.

1 Johdanto

Insinööriyön on tilannut talotekniikkatoimisto GHS Group Oy. Työn aihe valittiin sen ajankohtaisuuden takia, sillä vastaavat järjestelmät ovat kasvattamassa suosiotaan. Lisäksi työn tuloksia voidaan mahdollisesti hyödyntää myös tulevissa vastaavanlaisissa kohteissa. Työssä ovat mukana lisäksi NIBE Energy Systems Oy sekä Chiller Oy.

Kohteena on Järvenpäässä sijaitseva seniorikerrostalo, jossa on tällä hetkellä päälämmönlähteenä kaukolämpö. Kaukolämmön rinnalle suunnitellaan ja asennetaan poistoilman lämmön talteenottojärjestelmä vesikatolle, josta sen lämpöenergia hyödynnetään poistoilmalämpöpumpulla käyttöveden ja patteriverkoston lämmitykseen sekä mahdollisesti myös rakennuksen viilennykseen jälkitoteutuksena. Suunnittelun jälkeen työstä kerätään tiedot lopputuloksia varten, jossa lasketaan järjestelmän kannattavuutta.

Insinööriyön tavoitteena on tutkia poistoilman lämpöenergian hyödyntämistä poistoilmalämpöpumpulla asuinkerrostalossa. Työn tarkoituksena on tehdä suunnitelmat, mittaukset, mitoitukset sekä laitevalintoja kohteen energiatehokkuuden sekä asumisviihtyvyyden parantamiseksi. Työssä käydään myös läpi, millä muilla vaihtoehdoilla kohteen energiatehokkuutta ja asumisviihtyvyyttä voisi parantaa sekä tarkastellaan, miksi päädyttiin juuri tähän ratkaisuun. Työssä tutkitaan myös viilennyksen mahdollisuutta poistoilmalämpöpumpulla kesällä, kuin patteriverkostolle ei ole käyttöä. Lisäksi työssä tarkastellaan, millaisilla eri kytkentävaihtoehdoilla järjestelmän voi toteuttaa.

Kohteessa mitataan poistoilman lämpötilaa dataloggereilla vesikatolla sijaitsevasta huippuimurista.

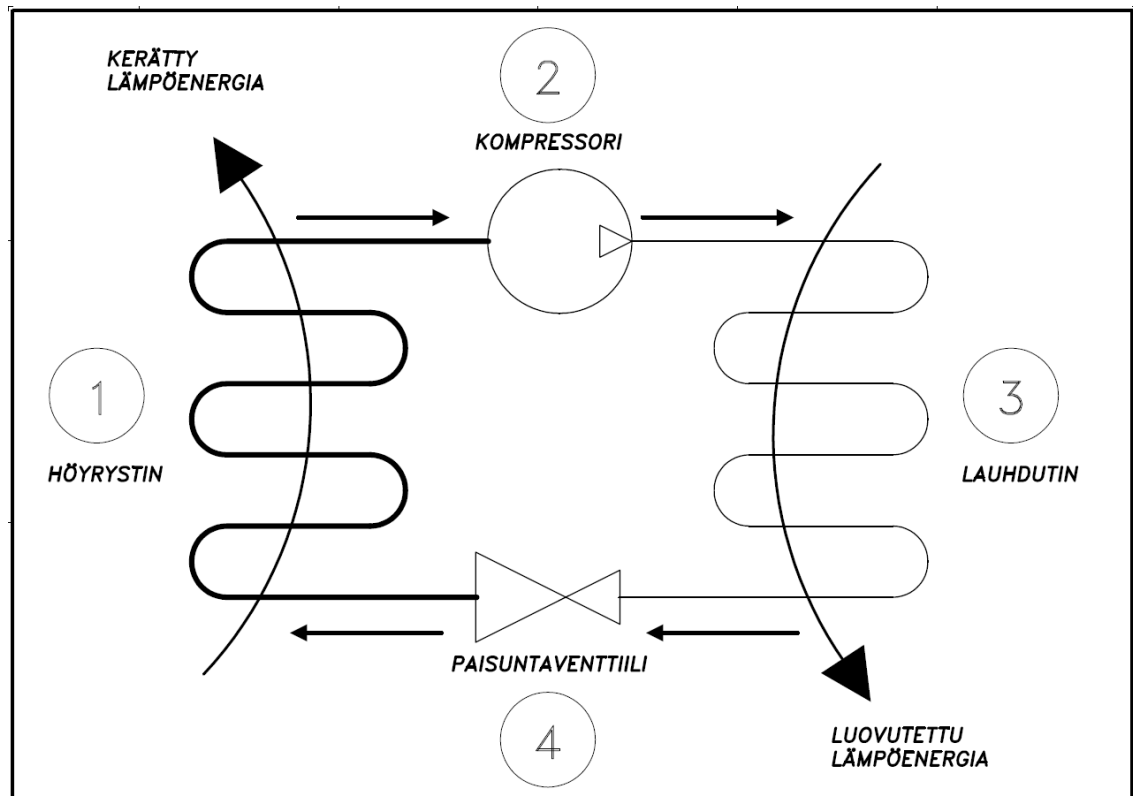
Työssä ei ole tarkoitus käydä läpi jokaista eri laitevalmistajan mallia tai ratkaisua vastaavan järjestelmän toteutuksesta. Työssä ei myöskään käydä läpi muiden lämpöpumppulaitteiden ratkaisuja kuin poistoilmalämpöpumpun.

2 Lämpöpumput

2.1 Toimintaperiaate

Lämpöpumpun toimintaperiaate on samanlainen kuin jääkaapilla, toisin sanoen se sitoo ja siirtää lämpöä kylmemmästä lämpötilasta lämpimämpään. Lämpöpumpun tarkoitus on pitää rakennusta lämpimänä sitomalla lämpöä ulkotilasta ja siirtämällä se sisätilaan. [1, s. 28.] Lämpöpumpuilla kerätään lämpöenergiaa maasta, kalliosta, vedestä tai ilmasta ja talteen saatu energia siirretään rakennusten tai käyttöveden lämmittämiseen. Lämpöpumppua voidaan käyttää myös rakennusten viilennykseen. [2.] Lämpöpumpun laitteet itsessään toimivat sähköllä [3]. Lämpöpumpun toiminta perustuu suljettuun kylmäaineen kiertoprosessiin. Kiertoprosessissa kylmäaine kiertää lämpöpumpun neljän pääkomponentin kautta. Ne ovat höyrystin, kompressori, lauhdutin sekä paisuntaventtiili. Kiertoprosessissa kylmäainevirta vuoroittain höyrystyy keräten lämpöä ja lauhtuu, jolloin se luovuttaa lämpöä. [4, s. 377.]

Kuvassa 1 on esitetty kylmäaineen kiertoprosessi eli lämpöpumppuprosessi. Lämpöenergian ympäristöön luovuttanut neste kiertää höyrystimen kautta, jonka seurauksena kylmäaine höyrystyy, kun se kerää lämpöä nesteestä. Kompressori saa aikaan kylmäaineenkierron sekä imee höyrystimeltä tulevan höyryn puristaen sen korkeaan paineeseen, jolloin höyry lämpenee. Lauhduttimessa höyry puolestaan lauhtuu eli alkaa nesteytyä, jolloin siihen sidottu lämpö voidaan luovuttaa lauhduttimessa kiertävään veteen. Lopuksi lauhduttimessa nesteeksi muuttunut kylmäaine johdetaan paisuntaventtiiliin, jossa sen paine laskee. Tämän johdosta osa kylmäaineesta höyrystyy ottaen höyrystymiseen tarvittavan lämmön aineesta itsestään. Siksi kylmäaineen lämpötila laskee voimakkaasti ja äkillisesti jäähdytettävän tilan tai virtauksen lämpötilan alapuolelle. Osittain höyrystynyt kylmäaine johdetaan seuraavaksi höyrystimelle, josta kierto alkaa uudelleen. [5, s. 230.]



Kuva 1. Lämpöpumppprosessi [1, s. 28].

2.2 Lämpökerroin

Lämpöpumpun tehokkuudesta kertoo sen lämpökerroin, eli COP-arvo. COP-arvo ilmaisee, kuinka moninkertaisen määrän lämpöä lämpöpumppu tuottaa sen omaan energiankulutukseen verrattuna. Mikäli lämpöpumpun COP-arvo olisi 3, pumppu luovuttaisi jokaista sähkön kulutettua kilowattituntia kohti lämmitykseen kaksi lisä kilowattituntia. [1, s. 30.]

Lämpökertoimen arvo on riippuvainen lämmön keruu- ja luovutuslämpötiloista. Lämpökerroin voidaan laskea kaavalla 1 [5, s. 230–231]:

$$\text{Lämpökerroin} = \frac{\text{Tuotettu lämpö (kWh)}}{\text{Käytetty sähkö (kWh)}} \quad (1)$$

Lämpökerrointa laskiessa on syytä varmistaa, sisältyykö kaavaan vain kompressorin sähkönkulutus vai koko lämpöpumppulaitteiston sähkönkulutus [5, s. 230].

2.3 Kylmäaineet

Toimiakseen lämpöpumppu tarvitsee sopivan kylmäaineen, joka pystyy sitomaan lämpöä ympäristöstä ja höyrystymään, kun lämpötila laskee matalaksi. Kylmäaineen tulee myös pystyä luovuttamaan lämpönsä sekä tiivistymään, kun lämpötila nousee korkeaksi lauhduttimessa. [1, s. 29.] Yleisesti kylmäaineena lämpöpumpuissa käytetään synteettisiä fluorihilivetyjä, jotka ovat HFC-yhdisteitä. Tällaisia ovat mm. R404A sekä R410A. [1, s. 46.]

2.4 Poistoilmalämpöpumput

2.4.1 Käyttö

Poistoilmalämpöpumpun käyttö edellyttää sopivaa lämmönlähdettä, joka on tässä tapauksessa poistoilmavirta. Poistoilmalämpöpumppu soveltuu hyvin kohteisiin, joissa ei ole koneellista tuloilmajärjestelmää. Edullisinta poistoilmalämpöpumpulle on tilanne, jossa kohteen poistoilma poistuu vain yhdestä paikasta. Poistoilmalämpöpumpulla kerätyllä lämmöllä voidaan lämmitellä joko käyttövettä tai lämmitysverkoston vettä, paras käyttökohde on se, jonka lämpötila on matalin. Matalan toimintalämpötilan takia lattialämmitys on hyvä käyttökohde poistoilmalämpöpumpulle. [4, s. 380–383.]

2.4.2 Toimintaperiaate

Kuvassa 2 on esitetty poistoilmalämpöpumpun toimintaperiaate asuintalossa, jossa korvausilma tuodaan rakennukseen korvausilmaventtiileillä tai karmiventtiileillä. Aluksi huoneilma tulee sisätilaan alipaineen avulla, minkä jälkeen se päätyy huoneenlämpöisenä poistoilmakanavistoon ja sitä kautta poistoilmalämpöpumppuun. Poistoilmalämpöpumppu lämmittelee lämpöpumppuprosessin avulla käyttövettä ja patteriverkostoa. Tämän jälkeen lämpöenergiaa luovuttanut poistoilma ohjataan ulos. Liesituulettimen likainen poistoilma ohjataan erikseen ulos. [6.]

Poistoilmalämpöpumppuja saa myös erimallisina, joissa tuloilma tuotetaan poistoilmalämpöpumpulla. Tässä tapauksessa ulkoilma tuodaan raitisilmakanavistossa suoraan poistoilmalämpöpumppuun, jossa sitä lämmitetään poistoilmasta saadulla lämmitysenergialla ja puhalletaan rakennukseen tuloilmana. [6.]



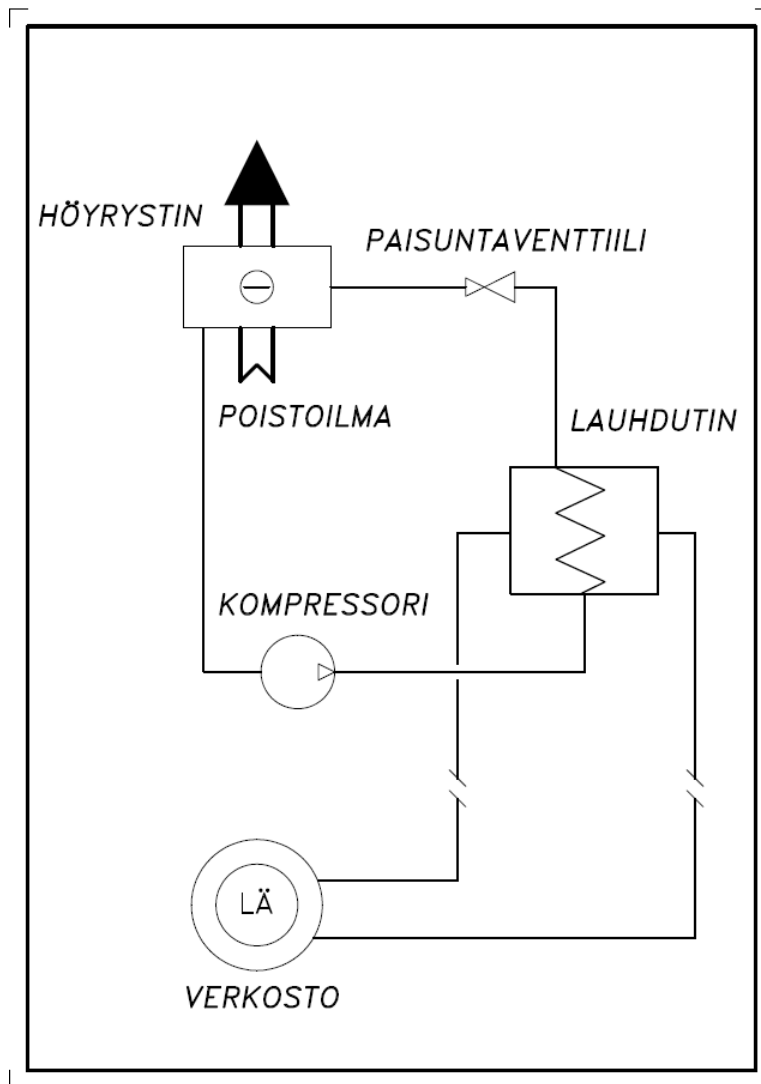
Kuva 2. Niben poistoilmalämpöpumpun toimintaperiaate [6].

2.5 Poistoilmalämpöpumpun liittäminen LTO-järjestelmään

2.5.1 Toteutusvaihtoehdot

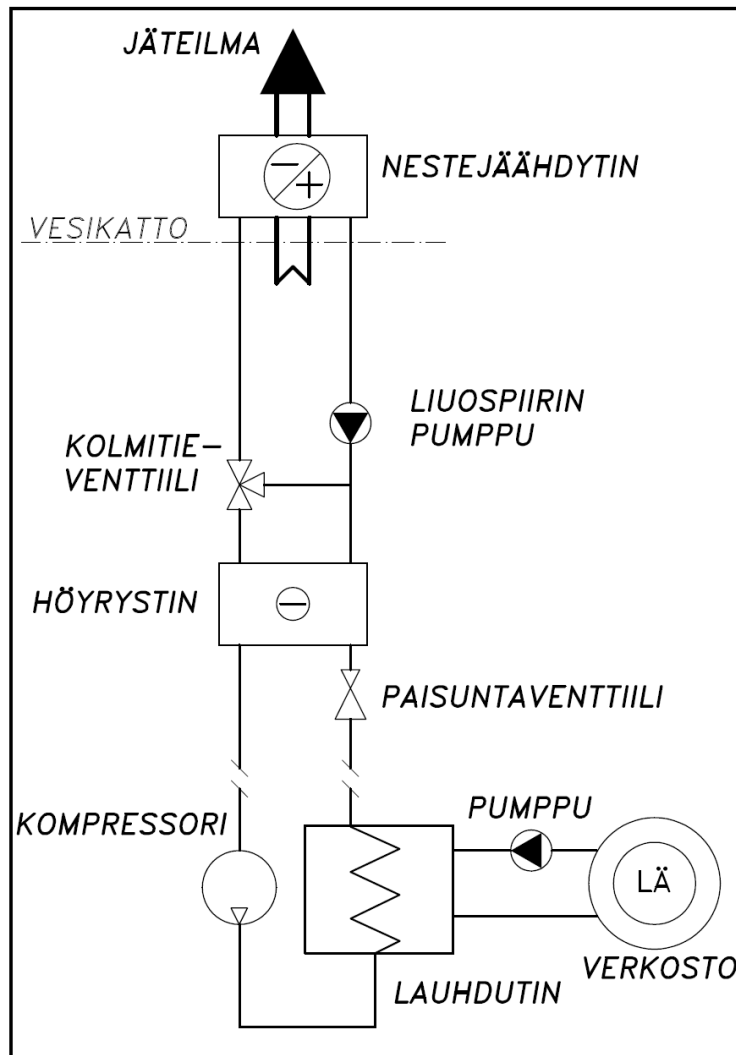
Asuinrakennuksissa poistoilman lämmön talteenotto voidaan toteuttaa keskitetysti tai huippuimureihin asennettavilla lämmön talteenottopattereilla. Talteen saatu lämpöenergia hyödynnetään lämpökeskuksessa, joka melkein poikkeuksetta sijaitsee rakennuksen alimmassa kerroksessa. Tämä tarkoittaa sitä, että lämpöenergia on siirrettävä katolta alas.

Lämpöenergian siirtämiseen katolta lämpökeskukseen on kaksi tapaa. Ensimmäisessä vaihtoehdossa lämpöpumpun höyrystin sijoitetaan katolle poistoilmavirtaan, tätä kutsutaan suoraksi höyrystykseksi. Suoran höyrystyksen periaate on esitetty kuvassa 3. [4, s. 382.]



Kuva 3. Suora höyrystys [4 s. 383].

Toisessa vaihtoehdossa höyrystin sijaitsee lämpökeskuksessa, josta se yhdistetään putkistolla poistoilma-aukkoon sijoitettuun LTO-patteriin. Tätä kutsutaan epäsuoraksi höyrystykseksi, joka on esitetty kuvassa 4. [4, s. 382.]



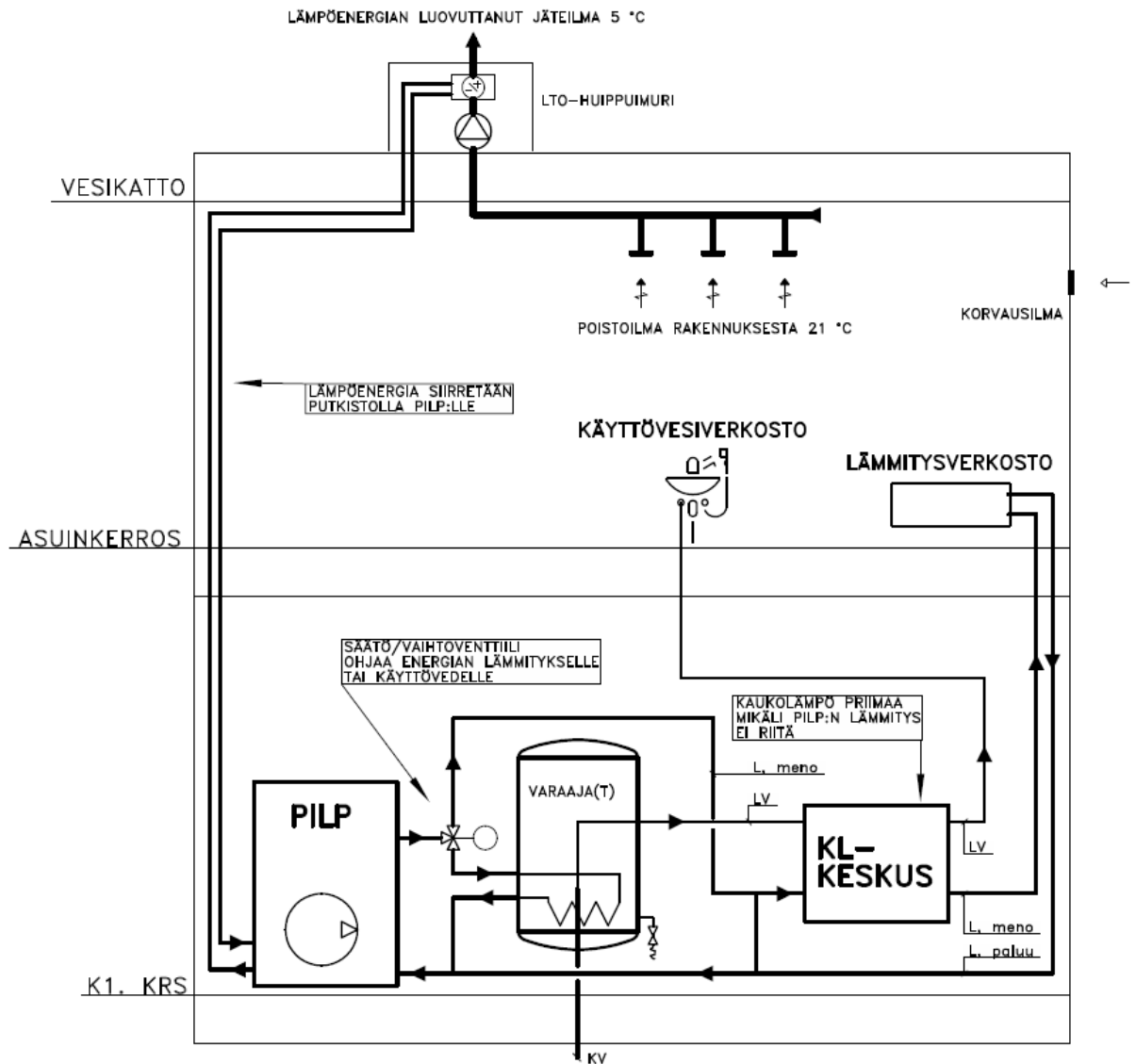
Kuva 4. Epäsuora höyrystys [4, s. 382].

Putkitus jäteilma-aukon ja lämpökeskuksen välillä voidaan toteuttaa usealla eri tavalla, paras vaihtoehto on aina tapauskohtainen. Sijoituspaikkoja voivat olla muun muassa ilmanvaihdon vanhat pystyhormit, vanha roskakuilu, hissikuilu tai rakennuksen ulkoseinä. [4, s. 382.]

2.5.2 Toimintaperiaate

Kuvassa 5 on esitetty toimintaperiaate, jossa on poistoilmalämpöpumppu yhdistettynä LTO-järjestelmään. Järjestelmä jakaantuu kolmeen eri yksikköön. Kattoyksikössä poistoilman lämpöenergia otetaan talteen sen virratessa lämmönsiirtimen läpi. Poistoilman lämpötila laskee sen luovuttaessa lämpöenergian keruupiirin liuokseen. Katolta saatu lämpöenergia siirretään poistoilmalämpöpumpun höyrystimeen, jossa se

päätyy lämpöpumpppuun. Lämpöpumpppuun seurauksena lauhduttimesta saatu lämpöenergia siirretään käyttöveden ja patteriverkoston lämmitykseen. Järjestelmän rinnalla toimii kaukolämpö, josta saadaan lisäenergiaa, silloin kuin lämpöpumpppujärjestelmän lämmitysenergia ei riitä. [7.]



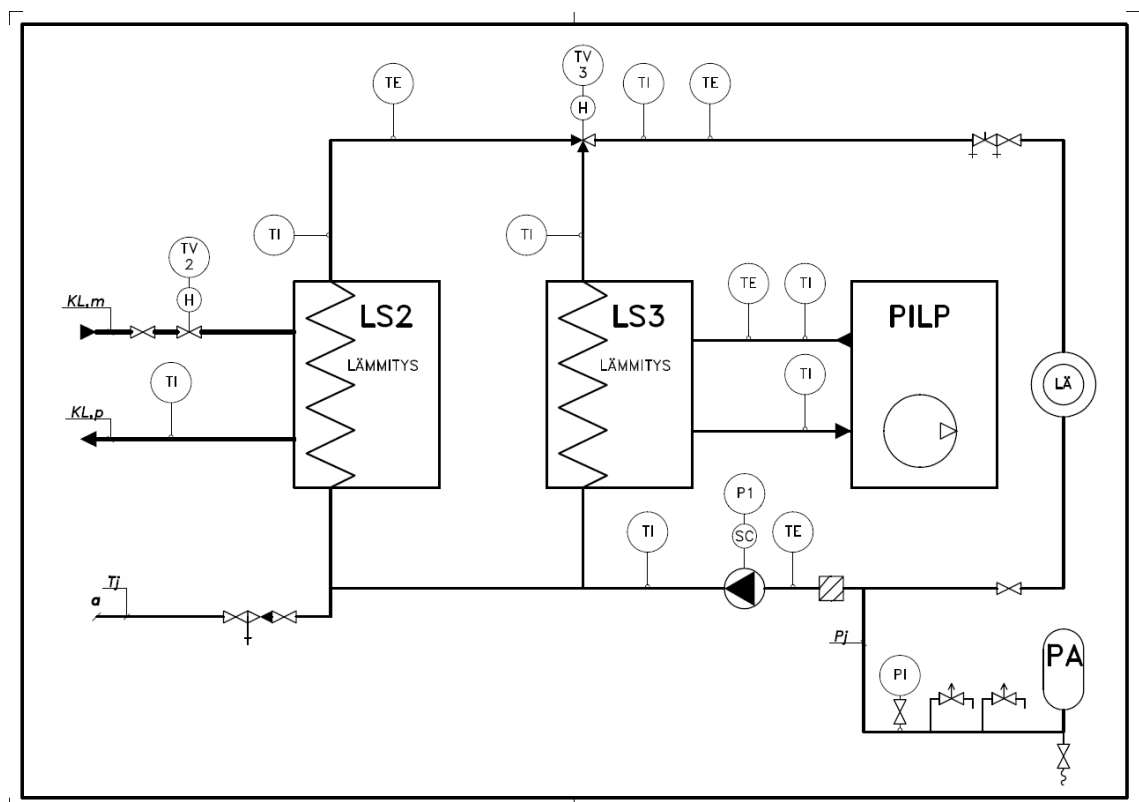
Kuva 5. Poistoilmalämpöpumppu ja LTO-järjestelmän toimintaperiaate [7].

On myös huomioitava, että toimintalämpötilat vaihtelevat tapauskohtaisesti ja että eri laitevalmistajat käyttävät eri lämpötiloja. Lisäksi eri laitevalmistajilla on erilaisia lämmön talteenottojärjestelmiä.

2.5.3 Kytchentävaihtoehdot

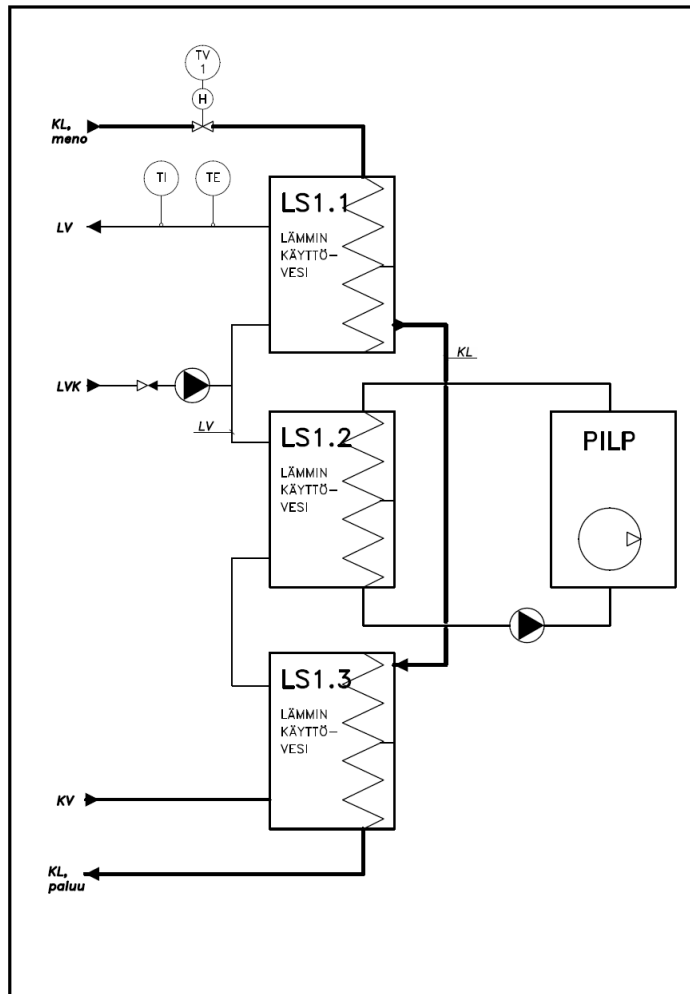
Kytettäessä poistoilmalämpöpumppua tai muuta rinnakkaislämpöä lämmittämään käyttöväettä tai lämmitysverkostoa kaukolämpölaitteiston rinnalle täytyy huomioida Energiategollisuuden julkaisun Rakennusten Kaukolämmitys K1 määräykset ja ohjeet. Rinnakkaiskytettämallit on suunniteltu niin, että kaukolämmön paluuväsi ei jäähtyäsi merkittävästi. [8.]

Kuvassa 6 on esitetty Energiategollisuuden esimerkkykytettä tilojen lämmitykselle. Kytettäessä kaukolämmöllä ja poistoilmalämpöpumpulla on omat lämmönsiirtimet. Lämmitys toteutetaan ensisijaisesti PILP:n lämmönsiirtimellä, mutta mikäli se ei pysty tuottamaan tarvittavaa lämmityskuormaa, otetaan lisälämpö kaukolämmönsiirtimeltä. Kolmitieventiili ohjaa tarvittavat virtaamat lämmönsiirtimiltä mittausantureiden lukemien perusteella. [8.] Vanhoissa rakennuksissa on niin korkeat lämmitysverkoston toimintalämpötilat, että huippupakkasilla poistoilmalämpöpumppu ei pysty tuottamaan riittävä lämmintä menovettä patteriverkostolle. Yleisesti ottaen voidaan lämpöpumpun ylimpänä menoväden lämpötilana pitää 65 °C.



Kuva 6. Energiategollisuuden kytettäesimerkki tilojen lämmitykselle [8].

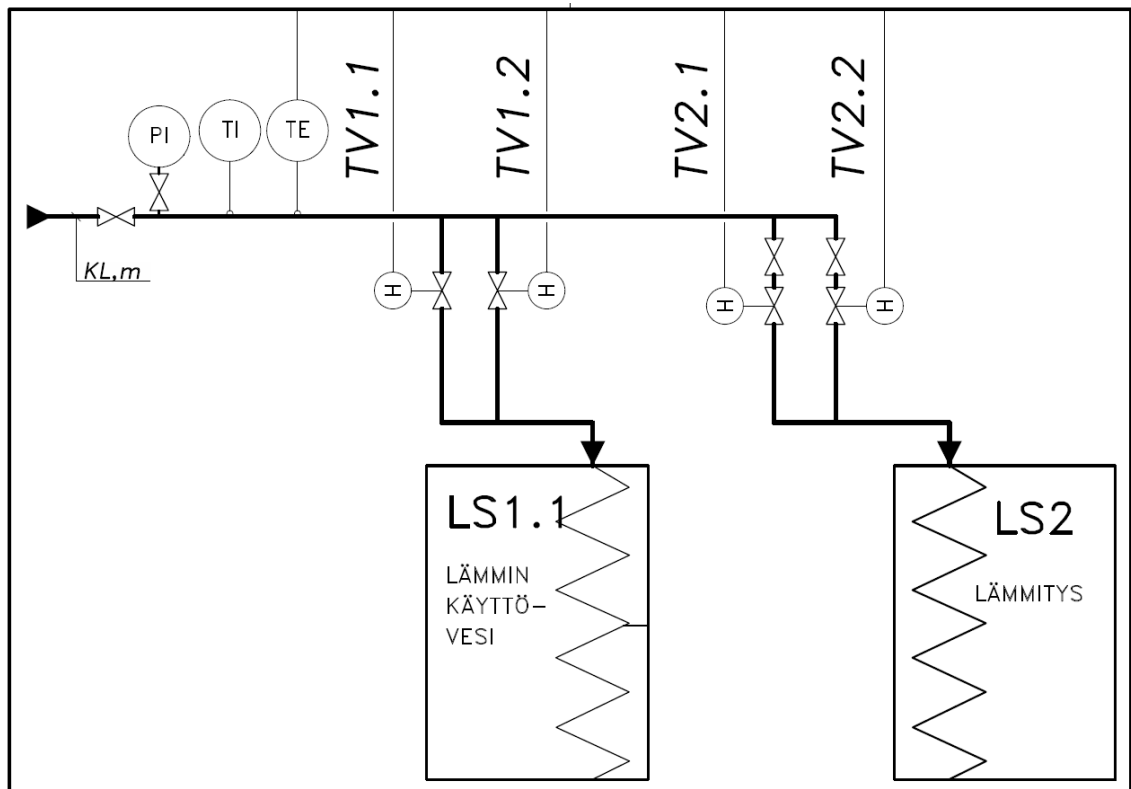
Kuvassa 7 on esitetty Energiategollisuuden antama esimerkkikytkentä käyttöveden lämmitykselle. Poistoilmalämpöpumpun säätökeskus ohjaa laitteistoa pyrkien pitämään käyttöveden lämpötilan asetusarvon mukaisena. Mikäli poistoilmalämpöpumpulla ei pystytä tuottamaan asetusarvon mukaista lämpimän käyttöveden lämpötilaa, kaukolämmön säätökeskus avaa säätöventtiiliä TV1 varmistaen käyttövedelle riittävän suuren lämpötilan. Lämpötila-anturin asetusarvona voidaan yleisesti pitää lämpötilaa 58 °C. [8.]



Kuva 7. Energiategollisuuden kytkentäesimerkki käyttöveden lämmitykselle [8].

Kaukolämpöpakettien valmistajat ovat alkaneet myös myymään erillisiä hybridikaukolämpökeskuksia, joissa on mukana tarvittavat lisäsiirtimet rinnakkaislämmönlähteelle. HögforsGST:n esimerkkikytkentäkaavio hybridikaukolämpöpaketille on esitetty liitteessä 1. Kytkentäkaavio tulee silti räätälöidä kohteeseen sopivaksi.

Mikäli kaukolämpöpaketti uusitaan PILP:n asennuksen yhteydessä, kannattaa miettiä toisen säätöventtiilin lisäämistä etenkin käyttövesiverkostolle, sillä kaukolämmön kuormitus vaihtelee rinnakkaislämmön asennuksen jälkeen. Lisäksi kahdella säätöventtiilillä varustettu ensiöpiiri takaa paremman säädön. [9.] Kuvassa 8 on esitetty kytkentä kahdella säätöventtiilillä. Ensimmäinen säätöventtiili voidaan mitoittaa esimerkiksi 1/3-virtaamalla kokonaisvirtaamasta, jolloin säätöjärjestelmä avaa ensin tätä venttiiliä. Toinen venttiili mitoitetaan 2/3-virtaamalla, joka aukeaa silloin, kuin ensimmäisen venttiilin virtaama ei riitä.



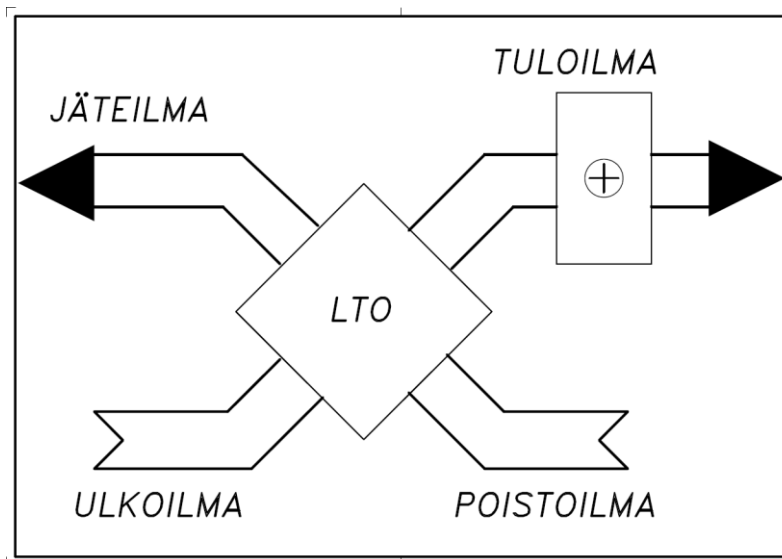
Kuva 8. Kaukolämmön säätöventtiilit, jotka ovat kaukolämmön menojohdossa.

3 Lämmön talteenotto

3.1 Poistoilman lämmön talteenotto

Poistoilman lämmön talteenotolla tarkoitetaan rakennuksen jäteilmasta kerättyä lämpöä. Tyypillisesti jäteilmasta kerätyllä lämmöllä lämmitetään ulkoilmaa, joka

puhalletaan rakennuksen tiloihin tuloilmana. Lämmön talteenoton periaatekuva on esitetty kuvassa 9. [10, s. 104–105.]



Kuva 9. Poistoilman lämmön talteenoton periaatekuva, jossa esilämmitetään tuloilmaa.

Suomessa koneellinen tuloilma on yleistynyt rakennuksiin 1990-luvulla, vaikka kokeiluja on ollut jo aikaisemmin. [11, s. 233]. Tällä hetkellä ennen 1990-lukua rakennetut rakennukset alkavat olla peruskorjauksen tarpeessa. Paras tapa lisätä energiatehokkuutta rakennuksissa on lisätä lämmön talteenottojärjestelmä, jos sitä ei vielä ole. Ulospuhallettu jäteilma ilman minkäänlaista lämmön talteenottoa on hukkaan heitettyä energiaa. Mikäli koneellista tuloilmaa ei ole rakennuksessa, voidaan poistoilmasta saatu lämpöenergia käyttää hyväksi rakennuksen tai käyttöveden lämmitykseen.

3.2 LTO-huippuimurit

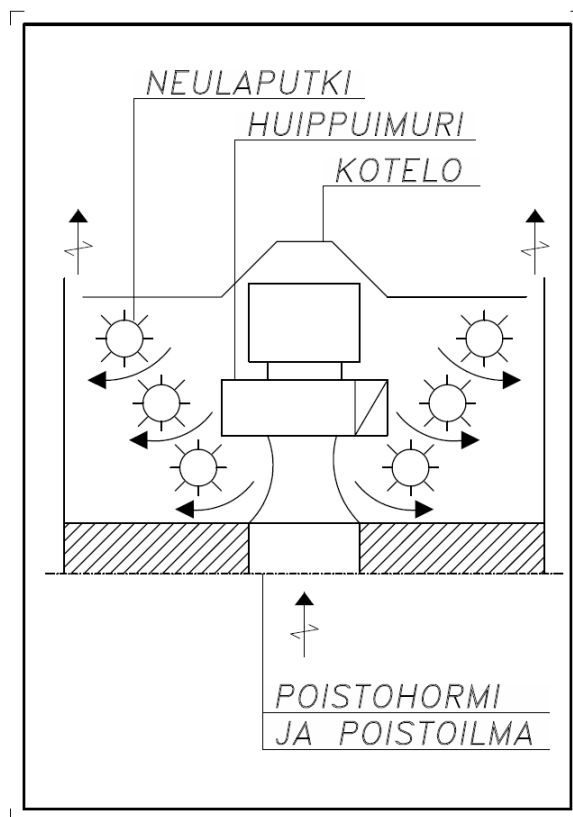
3.2.1 Toiminta

LTO-huippuimurin toiminta perustuu huippuimurin ympärille rakennettavaan lämmönsiirtimeen. Rakennuksesta tuleva poistoilma ohjataan poistoilma-aukosta kanavalla LTO-laitteelle, jossa se kulkee lämmönsiirtopinnan läpi ja sen lämpöenergia siirtyy lämmönsiirtimessä kiertävään nesteeseen. Kuvassa 10 on esitetty Retermia Oy:n LTO-huippuimuri. [12.]



Kuva 10. Retermian Oy:n LTO-huippumuri kahdella puhaltimella [12].

Kuvassa 11 on esitetty neulaputkilämmönsiirtimillä varustettu huippumuri ja sen toimintaperiaate.



Kuva 11. LTO-huippumuri neulaputkilämmönsiirtimillä [5, s. 382].

3.2.2 Huolto

LTO-huippuimureiden lämmönsiirripinta on syytä puhdistaa ainakin kerran vuodessa, sillä se kerää likaa ympärilleen mm. liikenteestä. Epäpuhtaudet lämmönsiirripinnassa lisäävät ilmapuolen painehäviötä sekä heikentävät lämmönsiirtoa. Käytännössä jo suunnitteluvaiheessa tulisi tarkastaa, että vesikatolla LTO-huippuimurin läheisyydessä on sekä pistorasia että vesipiste. Puhdistus suoritetaan ensin imurilla, jolla pystytään poistamaan isoimmat epäpuhtaudet. Tämän jälkeen lämmönsiirtopinta tulee pestä painepesurilla pesuun soveltuvalla suuttimella. Kondenssi- ja pesuedet johdetaan katolle laitteen kulmissa olevista aukoista. [13.]

4 Jäähdytys

4.1 Jäähdytys lämpöpumpulla

Keruupiirin nesteen ollessa kylmää, poistoilmalämpöpumpun tapauksessa n. 2 °C, voidaan sillä jäähdyttää tiloja erillisten puhaltimien avulla. Jäähdytyskäytössä olevan lämpöpumpun tehotaso riippuu kiertoaineen lämpötilasta, joten voidaan enemmän puhua viilennyksestä. Tämän takia viilennystä tulisi käyttää pitkiä aikoja, niin ettei rakennus pääse lämpenemään liikaa, sillä viilennyksellä ei välttämättä voida kattaa koko jäähdytystehontarvetta. Viilennyksellä on enemmänkin tarkoitus laskea sisälämpötilaa muutamalla asteella sekä kuivattaa sisäilmaa. Mikäli tiloihin tuotetaan sekä lämmitystä että viilennystä, on syytä varmistaa, ettei järjestelmä viilennä ja lämmitä tilaa samaan aikaan. Järjestelmät on mahdollista asentaa kommunikoimaan keskenään, jotta tätä ei tapahdu. [14.]

4.2 Puhallinkonvektorit

Puhallinkonvektoreilla voidaan toteuttaa tasokas huonekohtainen jäähdytys ja halutessa myös lämmitys. Puhallinkonvektoreilla kierrätetään huoneilmaa jäähdytyspatterin läpi, jolloin takaisin huoneeseen puhallettava ilma jäähtyy. Yleensä konvektoreissa on kolme eri nopeutta, ja jäähdytysteho mitoitetaan vastaamaan nopeutta kaksi, kunhan äänitasot pysyvät sallituissa rajoissa. Puhallinkonvektorin jäähdytysteho määritetään huoneen lämpökuormien mukaan. Kiertoaineena laitteen

lamellipattereissa on kylmä vesi. Puhaltimia voidaan ohjata huonekohtaisilla säätimillä, josta käyttäjä voi itse säätää lämpötilaa. Tarvittaessa ilmanvaihto voidaan liittää laitteen sisään puhallukseen, jolloin patteri jäähdyttää tuloilmaa. [15, s 137–139.]

5 Kohteen esittely

5.1 Rakennuksen lähtötiedot

Työssä tarkastellaan Järvenpäässä osoitteessa Lääkärinkuja 3 sijaitsevaa seniorikerrostaloa. Rakennus on rakennettu 1979, ja siinä on kuusi kerrosta sekä 58 asuntoa, joista 57 on yksiöitä ja yksi asunto on kolmio. Lääkärinkujan peruskorjaus on valmistunut vuonna 1997. Rakennuksen ilmatilavuus on 7 860 m³ ja lämmitetty nettoala on 2 408 m².

Rakennus on liitetty Fortumin kaukolämmönjakeluun, kaukolämpöpaketti on vaihdettu 2008. Kohteessa on patterilämmitys, jonka toimintalämpötilat ovat 80/60 °C (meno/paluu). Kohteen poistoilmanvaihto on toteutettu yhdellä huippuimurilla, joka on esitetty kuvassa 12. Kohteessa ei ole koneellista tuloilmaratkaisua, vaan se on toteutettu asunnoissa korvausilmaventtiileillä. Lämmönjakohuoneessa on Fidelixin VAK.



Kuva 12. Huippuimuri Vallox MUH 50-6/8.

5.2 Saneerausvaihtoehdot kohteessa

5.2.1 Ehdotukset

Kohteeseen ehdotettiin alun perin kolmea eri saneerausvaihtoehtoa, joilla voitaisiin parantaa asumisviihtyvyyttä sekä energiatehokkuutta. Poistoilmalämpöpumppu ja LTO-huippuimuri yhdistelmään päädyttiin loppujen lopuksi sen edullisuuden vuoksi. Lisäksi tässä työssä tutkitaan kohteen viilennyksen mahdollisuutta lämpöpumpulla, jolla voidaan myöhemmin lisätä asumisviihtyvyyttä. Muut vaihtoehdot olisivat myös olleet huomattavasti haastavampia toteuttaa. Kohteessa uusitaan myös vesikatto, jonka yhteydessä on hyvä tehdä esimerkiksi läpivientejä sekä LTO-huippuimurin vaatima tukipiippu.

5.2.2 Poistoilmalämpöpumppu LTO-huippuimuri yhdistelmä

Tämän vaihtoehdon pystyy toteuttamaan suora höyrysteisenä tai epäsuoralla höyrystyksellä. Toisin sanoen poistoilmalämpöpumppu voidaan asentaa vesikatolle, jossa poistoilma ohjattaisiin suoraan sen höyrystimeen tai vaihtoehtoisesti poistoilmalämpöpumppu asennetaan pyörävarastoon ja LTO-huippuimuri vesikatolle, josta sen lämpöenergia tuodaan putkitettuna poistoilmalämpöpumpun höyrystimelle. Lämpöenergia hyödynnetään käyttöveden sekä patteriverkoston lämmitykseen. Tässä vaihtoehdossa asumismukavuutta parannetaan vain varmistamalla riittävä poisto- ja korvausilmavirrat. Tämän ratkaisun lämpöpumpun hyötysuhdetta heikentää patteriverkoston korkeat lämpötilatasot.

5.2.3 Tuloilman esilämmitys LTO-patterilla

Tuloilman esilämmitysvaihtoehdossa ehdotettiin tuloilmakoneen asennusta vesikatolla sijaitsevaan saneerattavaan koppiin. Lisäksi kohteeseen suunniteltiin asennettavaksi LTO-huippuimuri, jonka talteen otettu energia käytettäisiin hyväksi tuloilman esilämmitykseen. Tämän vaihtoehdon ongelmaksi koitui tuloilman kanavointi asuntoihin sekä pystyhormin sijoitus. Rakennus- ja LVI-tekniiset työt olisivat myös kalliit. Vaihtoehto parantaisi asumisviihtyvyyttä huomattavasti, mutta energiatehokkuus ei paranisi tuloilmakoneen kulutuksen vuoksi, vaikka lämmön talteenotolla saadaan energiaa talteen.

5.2.4 Asuntokohtainen ilmanvaihto

Tässä vaihtoehdossa suunniteltiin jokaiseen asuntoon asennettavaksi erillinen ilmanvaihtokone, jossa on tulo- ja poistoilma. Koneet voitaisiin sijoittaa joko kylpyhuoneisiin tai vaihtoehtoisesti keittiöihin voidaan asentaa ns. maustekaappikoneet. Raitis- ja jäteilma tulisi ottaa ulkoseinistä. Huoneistoissa tulisi tulpata vanhat poistoilmakanavat. Asumisviihtyvyyttä paransi huomattavasti myös tällä vaihtoehdolla koneellisen ilmanvaihdon ansiosta. Vaihtoehtona tämä ratkaisu on kallis, johtuen jokaisen asunnon ulkoseiniin porattavista rei'istä sekä pieniä ilmanvaihtokoneita tulisi hankkia yhteensä 58 kpl. Lisäksi kanavointi asunnoissa voi osoittautua haasteelliseksi.

5.3 Lähtötiedot laskentaan

5.3.1 Kulutustiedot

Rakennuksen lämpöenergian, sähkön ja veden kulutustiedot vuosittain on esitetty taulukossa 1. Vuoden 2013 ja 2014 sähkönkulutuksen tietoja ei ollut saatavilla rikkoutuneen mittarin vuoksi.

Taulukko 1. Kulutustiedot vuosittain.

Vuosi	Lämpö, MWh	Vesi, m ³	Sähkö, kWh
2012	402,5	2 817	38 898
2013	370	3 008	
2014	369	2 858	

5.3.2 Poistoilmavirrat

Huippuimurin poistoilmavirrat saatiin selvitettyä vuonna 2008 tehdyistä mittauspöytäkirjoista. Huippuimuri käy kahdella eri nopeudella aikaohjelman mukaan, joka on esitetty taulukossa 2. Poistoilmavirraksi laskettiin 1,132 m³/s puolinopeudella ja 2,264 m³/s täydellä nopeudella.

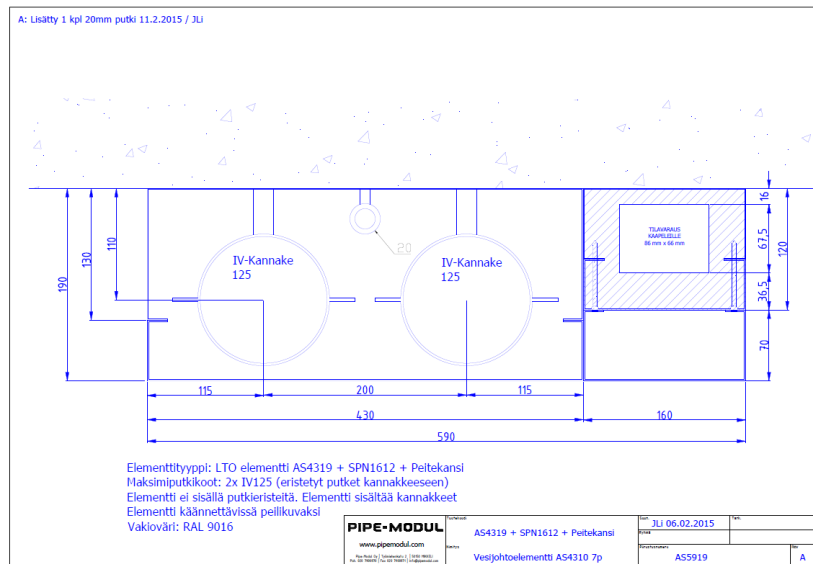
Taulukko 2. Huippuimurin käyntitila ja tilavuusvirrat, jotka on esitetty kellonaikoina.

Aika (h)	Tila	qv, m ³ /s
07–09	1/1	2,264
09–11	½/1	1,132
11–13	1/1	2,264
13–16	½/1	1,132
16–21	1/1	2,264
21–07	½/1	1,132

5.3.3 Tilavaraukset

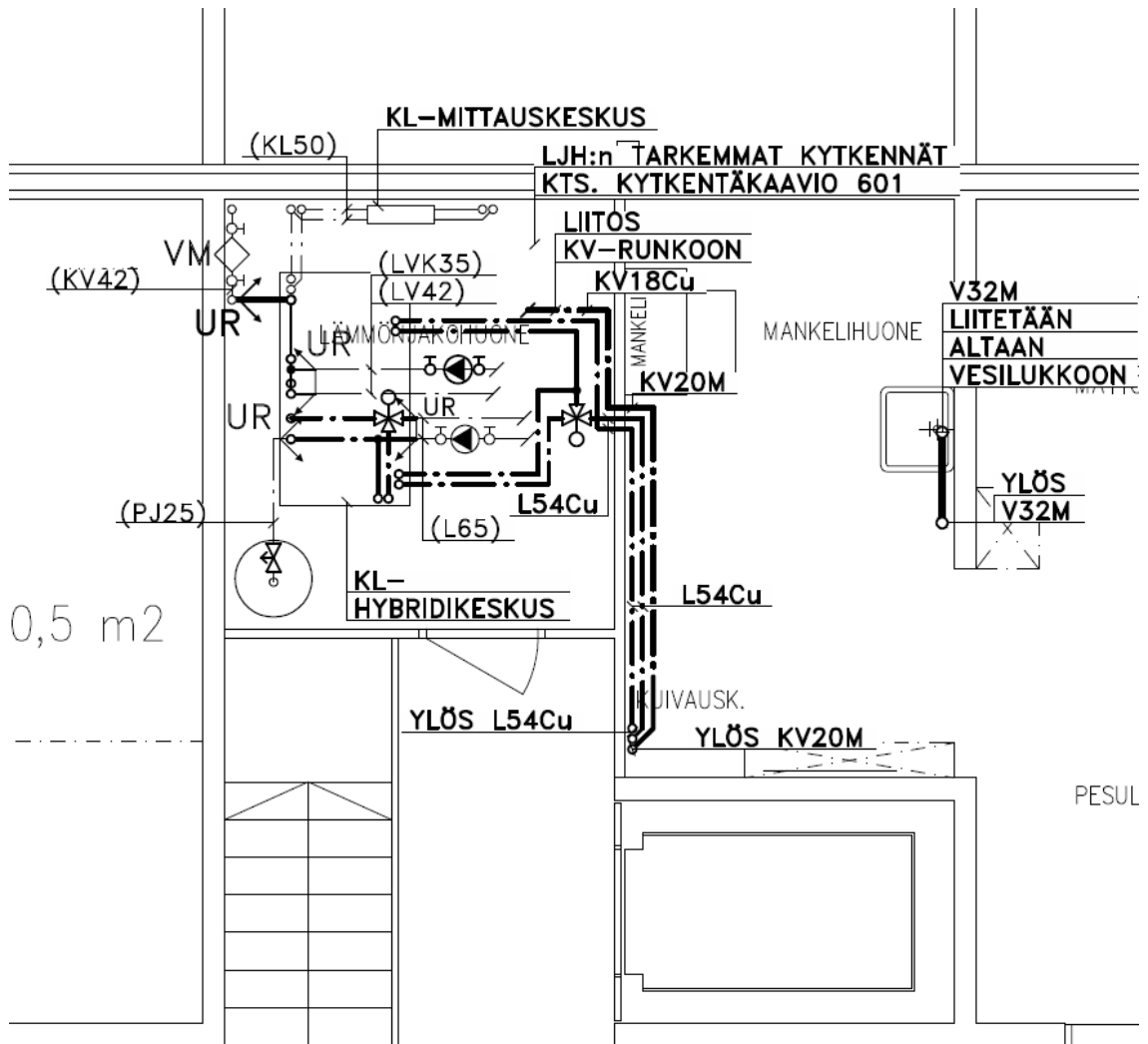
Tilavarauksia tarkasteltaessa poistoilmalämpöpumppulaitteisto varaajineen päätettiin sijoittaa epäsuoralla höyrystyksellä 1. kerroksen pyörävarastoon, josta tehtiin laitetila. Lämmönjakohuone sijaitsee kellarikerroksessa, ja putket sinne voidaan asentaa rakennuksen pesutuvan kautta.

Pyörävaraston optimaalisen sijainnin seurauksena keruupiirin putket suunniteltiin vietäväksi ylös vesikatolle LTO-huippuimurille porraskäytävässä, jossa ne koteloidaan. Koteloon tulee keruupiirin putkien lisäksi kylmävesijohto LTO-huippuimurin pesulaitteistolle sekä sähköjohdot. Kotelon malli ja mitat on esitetty kuvassa 13.



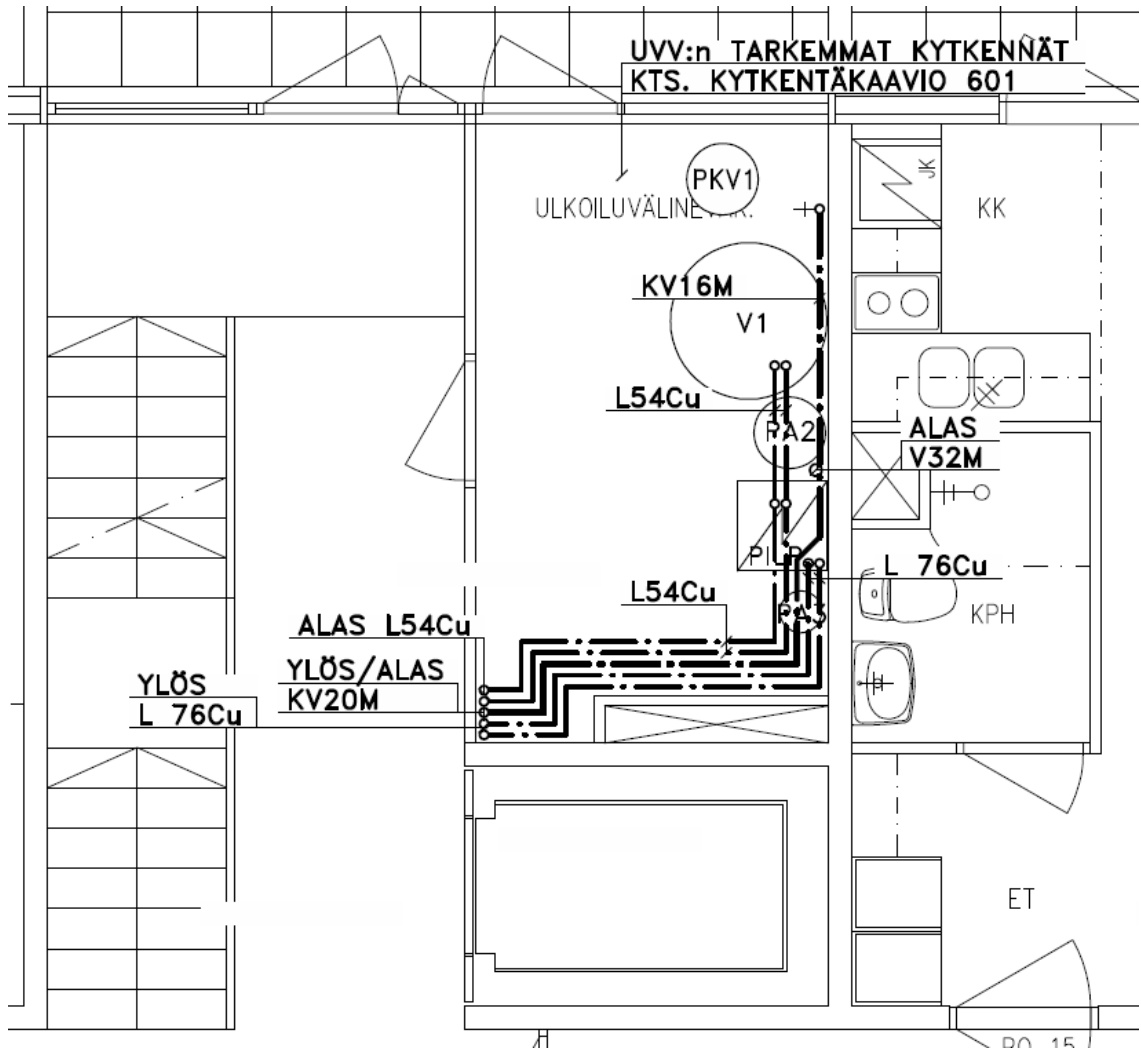
Kuva 13. Kotelointi rappukäytävän oleskelutiloissa.

Lämmönjakohuoneen pohjakuva on esitetty tilavarauksineen kuvassa 14. Lämmönjakohuoneeseen tulee uusittava kaukolämmön hybridialakeskus sekä kaksi 3-tieventtiiliä. Lisäksi lämmönjakohuoneeseen jää vanhat lämmityksen, ja lämpimän käyttöveden kiertopumput, lämmityksen paisunta-astia, vesimittari sekä kaukolämmön mittauskeskus.



Kuva 14. Lämmönjakohuoneen pohjapiirustus, jossa on esitettyä tilavaraukset.

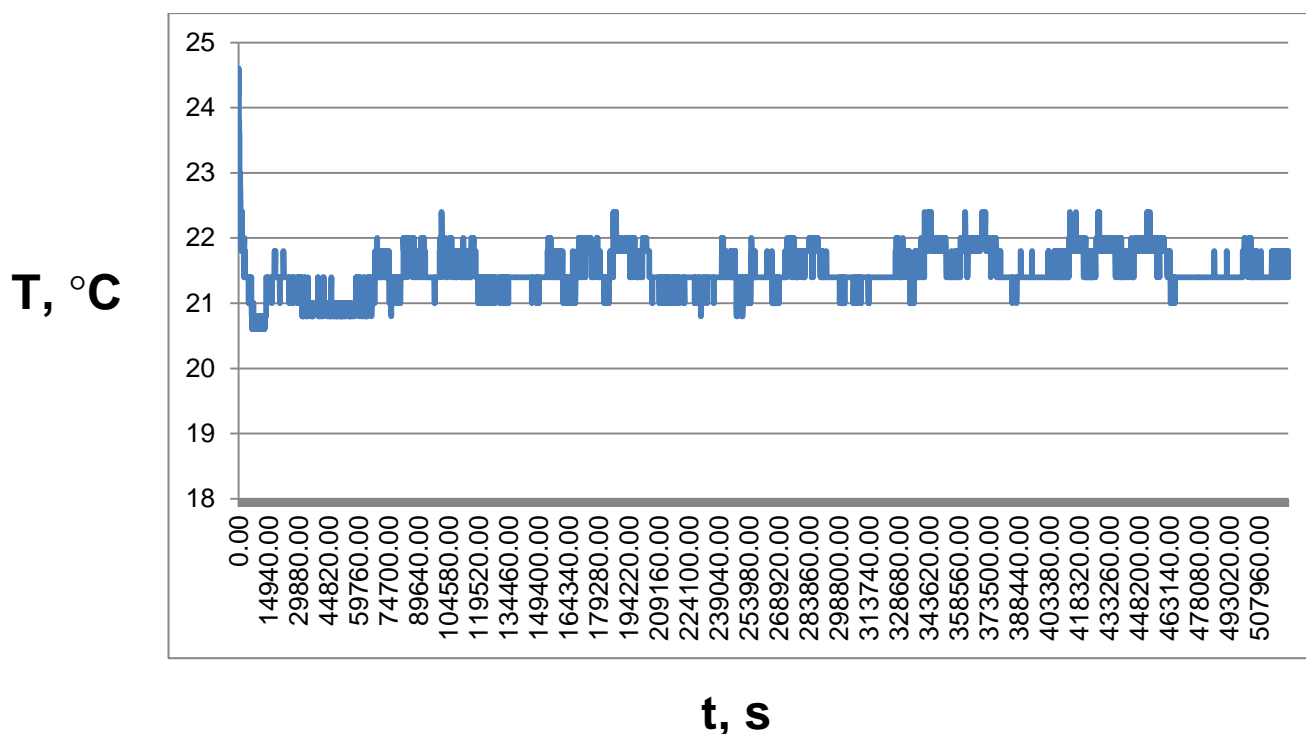
Pyörävaraston pohjakuva ja tilavaraukset on esitetty kuvassa 15. Pyörävarastoon tulee poistoilmalämpöpumppu, energiavaraaja, keruu- ja LTO-verkoston paisunta-astiat sekä vesipiste verkoston täyttöä varten. Keruupiirin putket voidaan viedä pyörävaraston vasemmassa alakulmassa hissien vieressä aina vesikatolle asti samassa kohdassa, jossa ne eristetään ja koteloidaan. Kuvassa on esitetty myös alas lämmönjakohuoneelle menevät putket PILP:itä sekä kylmävesiputki ylös vesikatolle, LTO-huippumurin pesua varten.



Kuva 15. Pyörävaraston pohjakuva, jossa on esitetty laitesijoittelut.

6 Mittaukset

Kohteessa mitattiin poistoilman lämpötilaa vesikatolla olevasta huippuimurista, mittarina käytettiin Eltek Squirrel dataloggeria. Mittausväliksi asetettiin 60 s ja mittaukset suoritettiin aikavälillä 13.1.2015–19.1.2015. Ulkoilman lämpötila vaihteli +5...–5 °C välillä. Mittaustulokset vaihtelivat välillä 20,5–22,5 °C, ja tuloksista poistoilman lämpötilan keskiarvoksi laskettiin 21,5 °C. Poistoilman lämpötila on esitetty kuvassa 16.



Kuva 16. Poistoilman lämpötilat, jotka on mitattu huippuimurista

7 Mitoitukset

7.1 LTO-huippuimuri

LTO-huippuimuri suunniteltiin asennettavaksi vanhan huippuimurin tilalle samaan kohtaan. LTO-huippuimurin mitoittamiseen käytettiin poistoilman lämpötilan ja tilavuusvirran mittaustuloksia. Mitoituksessa käytettiin huippuimurin pienempää ilmamäärää. LTO-huippuimurin mitoituksesta vastasi Retermia Oy. Neulaputkimääräksi saatiin 230 m ja neulalämmönsiirtimen lämpötehoksi laskettiin 25,1 kW. Keruupiirin lämpötiloiksi saatiin 6,2/2 °C (meno/paluu). Lisäksi jäteilman lämpötilaksi laskettiin 4,4 °C lämmön talteenoton jälkeen.

Talteen saatu energia voidaan laskea kaavalla 2 [10, s. 105].

$$Q_{lto} = \Sigma \rho_i c_{pi} q_{v, poisto} (T_{poisto} - T_{jäte}) \Delta t \quad (2)$$

Q_{lto} on ilmanvaihdosta talteen otettu energia, kWh

- ρ_i on ilman tiheys, $1,2 \text{ kg/m}^3$
 c_{pi} on ilman ominaislämpökapasiteetti, 1 kJ/kgK
 $qv, poisto$ on poistoilman tilavuusvirta, m^3/s
 T_{poisto} on poistoilman lämpötila, $^{\circ}\text{C}$
 $T_{jäte}$ on jäteilmän lämpötila LTO:n jälkeen, $^{\circ}\text{C}$
 Δt on huippuimurin käyntiaika, h

Käyttäen kaavaa 2 voidaan arvioida LTO-patterilla talteen kerätty energia.

$$Q_{lto} = 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * 1,132 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * (21,5 - 4,4) ^{\circ}\text{C} * 8\,760 \text{ h} = 203\,483 \text{ kWh}$$

Keruupiirin kiertoaineeksi valittiin 30 % etyleeniglykoli jäätyksen estämiseksi, sillä keruupiirin loppuosa asennetaan ulkotilaan vesikatolle. Massavirta valittiin Niben 30 kW F1345 -lämpöpumpulle sopivaksi, eli $1,62 \text{ kg/s}$, josta laskettiin tilavuusvirta kaavalla 3.

$$qv = \frac{qm}{\rho_{g30\%}} \quad (3)$$

- qv on tilavuusvirta, l/s
 qm on massavirta, kg/s
 $\rho_{g30\%}$ on 30 % glykoliveden tiheys kg/l

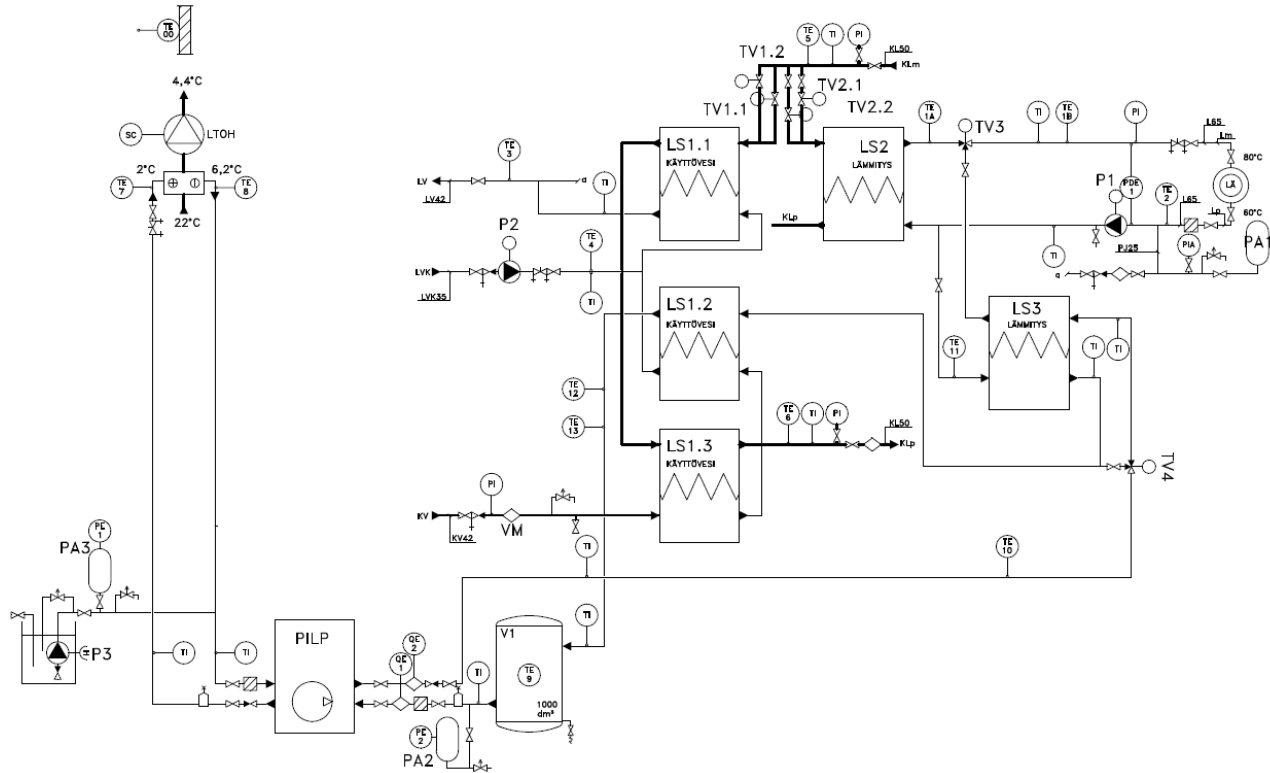
$$qv = \frac{1,62 \text{ kg/s}}{1,044,6 \text{ kg/l}} = 1,55 \text{ l/s}$$

7.2 Poistoilmalämpöpumppu rinnakkaislämpönä

Poistoilmalämpöpumpuksi suunniteltiin Niben 30 kW F1345 -lämpöpumppu. Lämpöpumpun esitteestä saatiin lämpöpumpulta lämmitykselle lähtevän putkiston nimellisvirtaamaksi $0,73 \text{ dm}^3/\text{s}$.

Kuvassa 17 on esitetty kohteeseen suunniteltu kytkentäkaavio. LTO-huippuimuri kerää lämmitysenergiaa talteen jäteilmasta, josta se ajetaan PILP:lle. Lämpöpumppuprosessin seurauksena PILP lämmittää käyttövettä ja

lämmitysverkostoa ohjaamalla omalla ohjauskeskuksellaan vaihtoventtiiliä TV4, josta lämpö jaetaan lämmönsiirtimille 1.2 ja 3. Muut ohjaukset tapahtuvat kiinteistön säätöjärjestelmän kautta, TV4:n ohjausarvo luetaan PILP:n säätimeltä ModBus-väylää pitkin. Paluuvesi PILP:lle tuodaan varaajan V1 kautta, mikä lisää PILP:n käyntiaikaa sekä verkoston tilavuutta. Varaaja on mitoitettu periaatteella $30 \text{ dm}^3/\text{kW}$, joten varaajaksi valittiin $1\ 000 \text{ dm}^3$:n varaaja. Projektin säätökaavio on esitetty kokonaisuudessaan liitteessä 2.



Kuva 17. Projektin kytkentäkaavio.

7.3 Kaukolämpölaitteisto

7.3.1 Kaukolämpöpaketti

Kohteen kaukolämpösiirtimet oli uusittu vuonna 2007 ja 2008, joten aluksi oli tarkoitus vain lisätä siirtimiä, mutta se osoittautui haastavaksi lämmönjakohuoneen pienen koon sekä kytkentöjen takia. Vanhassa paketissa oli yksi siirrin käyttövedelle ja uudessa kytkennässä se tulisi pilkkoa kahteen osaan. Lämpimän veden kierto olisi pitänyt asentaa näiden väliin tarkoittaen sitä, että vanhaa pakettia olisi pitänyt purkaa. Tässä

tilanteessa tultiin siihen tulokseen, että on helpompi ratkaisu uusia koko paketti, vaikka siirtimet olivat vasta puolessa välissä elinkaartaan.

Nyt kun lämpöpumpun ja LTO-huippumurin tehot ja virtaamat olivat selvillä sekä kytkentäkaavio oli suunniteltu, voitiin mitoittaa kaukolämpölaitteisto. Kaukolämpölaitteiston tarkemmat mitoitukset on esitetty liitteessä 3.

7.3.2 Säätoventtiilit

Kaukolämpöpaketin vaihdon yhteydessä päätettiin lisätä toiset säätoventtiilit paremman säädön takaamiseksi, sillä PILP:n lisäys vähentää kaukolämmityksen käyttöä. Säätoventtiilit voidaan mitoittaa teoksen K1/2013 Rakennusten kaukolämmitys antamalla kaavoilla [8.]

Käyttövesipuolella kaukolämmön on tarkoitus ainoastaan priimata PILP:lla esilämmitetty vesi. Ensiksi mitoitetaan käyttöveden säätoventtiili TV1.1, joka aukeaa ensimmäisenä. Säätoventtiilin mitoituspaine voidaan laskea kaavalla 4 [8]. Lämmönmyyjän ilmoittama paine-ero vaihtelee alueittain, Lääkärinkujalle se on 70 kPa. Putkiston painehäviö saa olla enimmillään 5 kPa [8]. Lisäksi lämmönsiirtimen painehäviön saa kaukolämpölaitteiston mitoituksesta. Säätoventtiili TV1.1 mitoitetaan 1/3 virtaamalle, joten sille on laskettava myös 1/3 painehäviötä putkistosta sekä siirtimestä. Kokonaisvirtaaman ollessa 1,5 l/s käytetään TV1.1:lle virtaamaa 0,5 l/s.

$$\Delta p = \Delta p_{ilm} - \Delta p_{siirrin} - \Delta p_{putkisto} \quad (4)$$

Δp on säätoventtiilin mitoituspaine-ero, kPa

Δp_{ilm} on lämmönmyyjän ilmoittama käytettävissä oleva paine-ero, kPa

$\Delta p_{siirrin}$ on lämmönsiirtimen painehäviö, kPa

$\Delta p_{putkisto}$ on putkiston painehäviö, kPa

Lämmönsiirtimen painehäviö 1/3 virtaamalla voidaan laskea kaavalla 5 [8]:

$$\Delta p_{siirrin, \frac{1}{3}} = \frac{\Delta p_{siirrin}}{3^2} \quad (5)$$

$$\Delta p_{\text{siirrin},\frac{1}{3}} = \frac{18,2 \text{ kPa}}{3^2} = 2 \text{ kPa}$$

Putkiston painehäviö 1/3 virtaamalle voidaan laskea kaavalla 6 [8]:

$$\Delta p_{\text{putkisto},\frac{1}{3}} = \frac{\Delta p_{\text{putkisto}}}{3^2} \quad (6)$$

$$\Delta p_{\text{putkisto},\frac{1}{3}} = \frac{5 \text{ kPa}}{3^2} = 0,6 \text{ kPa}$$

Nyt, kun on tiedossa putkiston ja siirtimen painehäviöt, voidaan laskea säätöventtiilin TV1.1 mitoituspainero kaavalla 4 [8].

$$\Delta p = 70 - 2 - 0,6 \text{ kPa} = 67,4 \text{ kPa}$$

Säätöventtiilin kv-arvo voidaan laskea kaavalla 7:

$$k_v = \frac{qv}{\sqrt{\Delta p}} \quad (7)$$

qv on lämmönsiirtimen ensiöpuolen virtaama, m^3/h

$$k_{v1} = \frac{1,8 \text{ m}^3/\text{h}}{\sqrt{0,674 \text{ bar}}} = 2,2 \text{ m}^3/\text{h}$$

Valitaan TV1.1 kvs-arvoksi 2,5 m^3/h pyöristäen laskettua kv-arvoa ylöspäin. Taulukossa 3 on esitetty kvs-arvot, joihin tulos voidaan pyöristää. On olemassa myös isompia kvs-arvoja, mutta niitä ei tässä projektissa tarvita.

Taulukko 3. Kvs-arvot, joihin kv-arvo voidaan pyöristää.

kvs-arvot	
0,63	m ³ /h
1	m ³ /h
1,6	m ³ /h
2,5	m ³ /h
4	m ³ /h
6,3	m ³ /h
10	m ³ /h
16	m ³ /h

Seuraavaksi selvitetään mikä olisi käyttöveden kv-arvo, jos käytettäisiin vain yhtä säätöventtiiliä. Lasketaan säätöventtiilin mitoituspainero-ero kaavalla 4.

$$\Delta p = 70 - 18,2 - 5 \text{ kPa} = 46,8 \text{ kPa}$$

Lasketaan kv-arvo yhdelle säätöventtiilille kaavalla 7.

$$k_v = \frac{5,4 \text{ m}^3/\text{h}}{\sqrt{0,468 \text{ bar}}} = 7,9 \text{ m}^3/\text{h}$$

Säätöventtiilin TV1.2 kv-arvo voidaan laskea vähentämällä säätöventtiilin TV1.1 kvs-arvo yhteisestä kv-arvosta [8]:

$$k_{v2} = 7,9 - 2,5 \text{ m}^3/\text{h} = 5,4 \text{ m}^3/\text{h}$$

Pyöristetään säätöventtiilin TV1.2 kv-arvo ylöspäin ja valitaan kvs-arvoksi 6,3 m³/h taulukon 4 mukaan. Todellinen painehäviö säätöventtiiliyhdistelmälle voidaan laskea kaavalla 8 [8]:

$$\Delta p_{tod} = \left(\frac{q_v}{k_{vs1} + k_{vs2}} \right)^2 \quad (8)$$

Δp_{tod} on säätöventtiiliyhdistelmän todellinen painehäviö, bar

Nyt kun otetaan huomioon molemmat venttiilit, voidaan käyttää kokonaisvirtaamaa, joka on 5,4 m³/h.

$$\Delta p_{tod} = \left(\frac{5,4 \text{ m}^3/\text{h}}{2,5+6,3 \text{ m}^3/\text{h}} \right)^2 = 0,38 \text{ bar}$$

Säätöventtiilyhdistelmän auktoriteetti, eli vaikutusaste voidaan tarkastaa kaavalla 9 [8]:

$$\beta = \frac{\Delta p_{tod}}{\Delta p_{ilm}} \quad (9)$$

β on säätöventtiilyhdistelmän vaikutusaste, suhdeluku

Tarkastetaan vaikutusaste, vaikutusasteen tulee olla vähintään 0,5.

$$\beta = \frac{38 \text{ kPa}}{70 \text{ kPa}} = 0,54$$

Lämmityksen säätöventtiilien arvot lasketaan samoilla kaavoilla. Lämmityksen säätöventtiilien kvs-arvot on esitetty liitteessä 3.

7.4 Paisunta-astiat

Paisunta-astiat mitoitettiin RT-kortin LVI-11-10472 ohjeiden sekä kaavojen mukaan [16]. Taulukossa 4 on esitetty PILP:n paluupuolen tulokset. Paisunta-astian tilavuudeksi valittiin PILP:n paluupuolelle 80 dm³.

P_{sv} on	varoventtiilin avautumispaine
P_{max} on	verkoston enimmäispaine
P_{min} on	verkoston vähimmäispaine
P_e on	paisunta-astian esipaine
P_{st} on	laitoksen staattinen korkeus
g on	putoamiskiihtyvyyys, 9,81 m/s ²
h on	korkeusero, m
ρ on	nesteen tiheys, kg/m ³
P_i on	ilmanpaine, 100 kPa
V_0 on	laitoksen nestetilavuus
H_{brutto} on	paisunta-astian bruttotilavuus, suhdeluku
H_{vara} on	paisunta-astian vuotovaran tilavuus, suhdeluku
H_{netto} on	paisunta-astian nettotilavuus, suhdeluku

K_{mit} on mitoituskerto
 a on nesteen lämpölaajenemiskerto

Taulukko 4. PILP:n paluupuolen paisunta-astian mitoitus.

PILP, paluu				
g	9,81	m/s^2		
h	5	m		
ρ	1000	kg/m^3		
P_i	100	kPa		
Vvaraaja	1000	dm^3		
V	65	dm^3		
V_0	1065	dm^3		
P_{st}	49,05	kPa	149,05	kPa (Abs.)
P_e	70	kPa	170	kPa (Abs.)
P_{sv}	300	kPa	400	kPa (Abs.)
P_{max}	250	kPa	350	kPa (Abs.)
P_{min}	120	kPa	220	kPa (Abs.)
Hbrutto	0,514			
Hvara	0,227			
Hnetto	0,287			
K_{mit}	3,48			
a	0,0171	%		
V	63,45	dm^3		
Valitaan	80	dm^3		

Taulukossa 5 on esitetty keruupiirin tulokset. Paisunta-astian tilavuudeksi valittiin keruupiirille $50 dm^3$.

Taulukko 5. Keruupiirin paisunta-astian mitoitus.

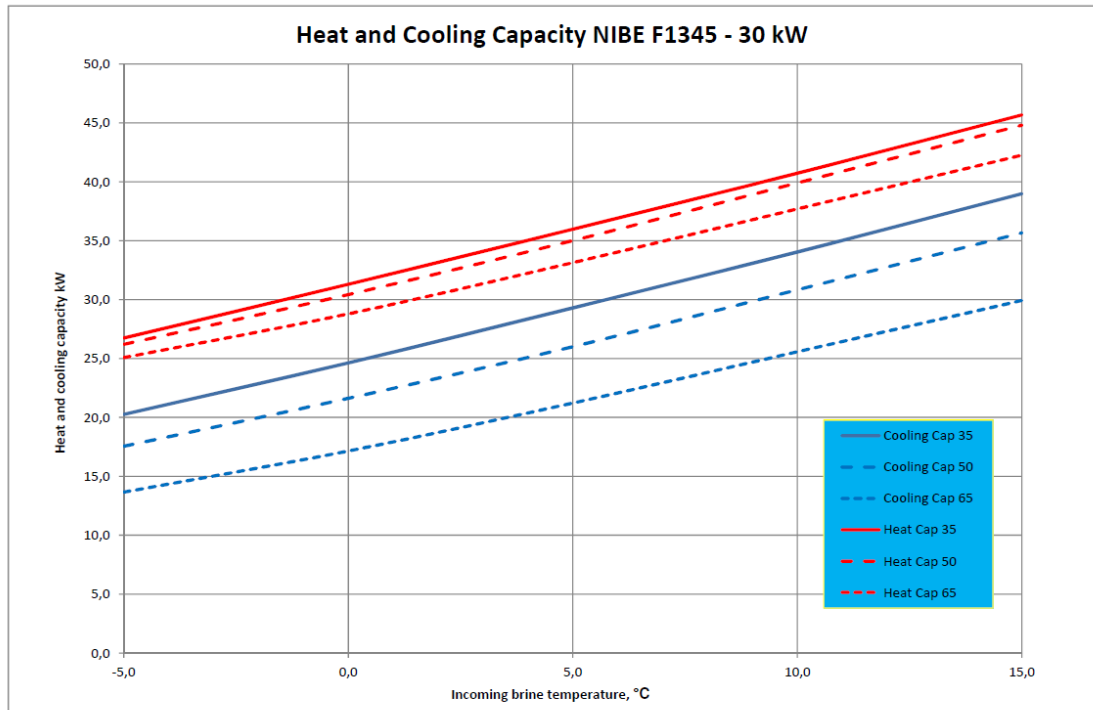
Keruupiiri Etyleeniglykoli 30%				
g	9,81	m/s ²		
h	20	m		
ρ	1044	kg/m ³		
Pi	100	kPa		
V0	316	dm ³		
Pst	204,83	kPa	304,83	kPa (Abs.)
Pe	220	kPa	320	kPa (Abs.)
Psv	400	kPa	500	kPa (Abs.)
Pmax	350	kPa	450	kPa (Abs.)
Pmin	270	kPa	370	kPa (Abs.)
Hbrutto	0,289			
Hvara	0,135			
Hnetto	0,154			
Kmit	6,504			
a	0,0188	%		
V	38,64	dm ³		
Valitaan	50	dm ³		

7.5 Viilennys

7.5.1 Verkosto

Viilennysverkoston toimintalämpötiloiksi suunniteltiin 10/15 °C (meno/paluu), jotta putkikoot eivät kasvaisi liian suuriksi laitetilassa sekä pystynousun kotelossa. Lisäksi puhallinpattereista saadaan enemmän tehoa isommalla lämpötilaerolla. Ongelmana näillä lämpötiloilla on kondensointi, minkä vuoksi puhallinpatterit tulisi varustaa kondenssipoistolla.

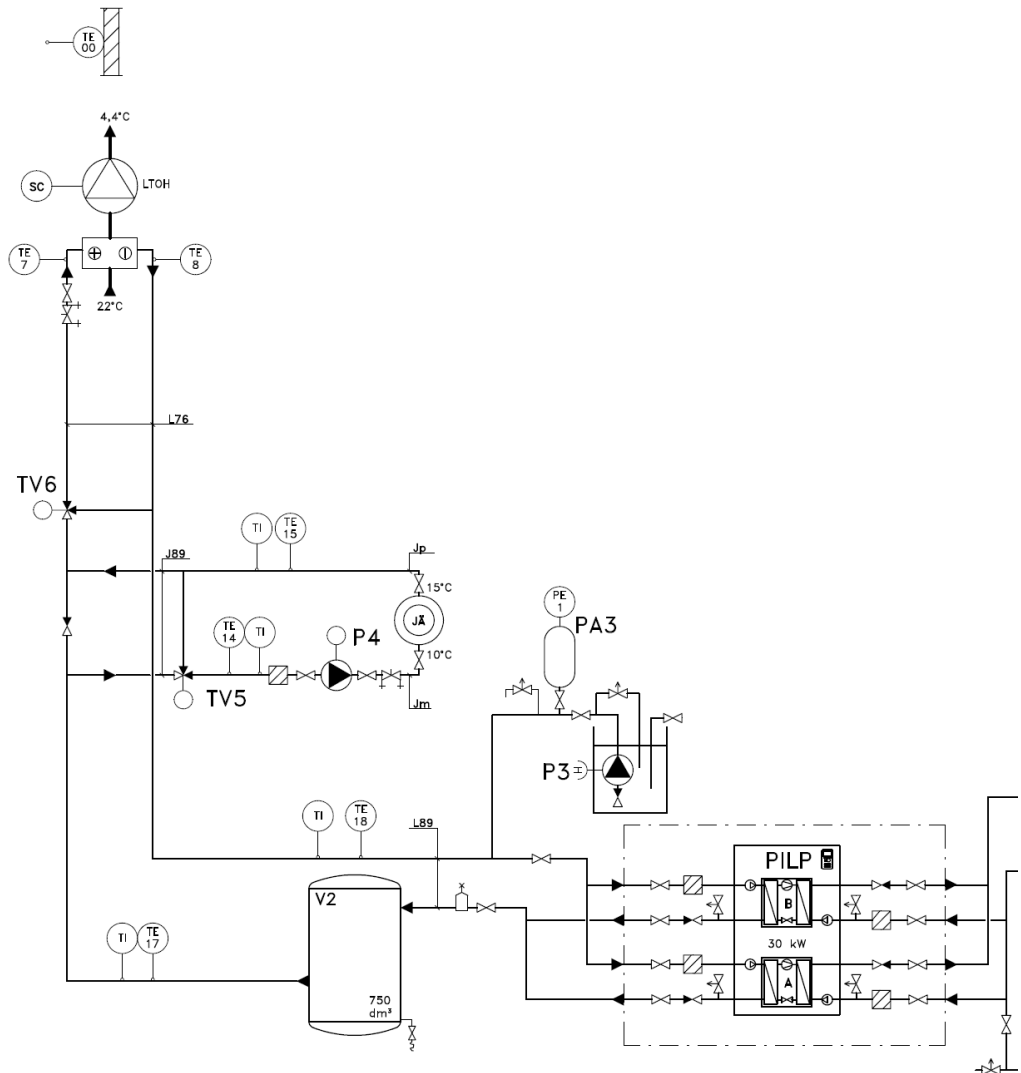
Kuvassa 18 on esitetty Niben F1345 -lämpöpumpun jäähdytys- ja lämmitystehot. Tulevan liuoksen lämpötilana voidaan käyttää 6,2 °C:ta keruupiirin mitoituksen mukaan. Käyränä voidaan käyttää jäähdytyksen lämpötilaa 50 °C, joka tarkoittaa poistoilmalämpöpumpun lämmitykseen tuotettua lämpötilaa. Näillä arvoilla saadaan jäähdytystehoksi n. 26 kW. [17.]



Kuva 18. Nibe F1345 30 kW lämpöpumpun jäähdytysteho [18].

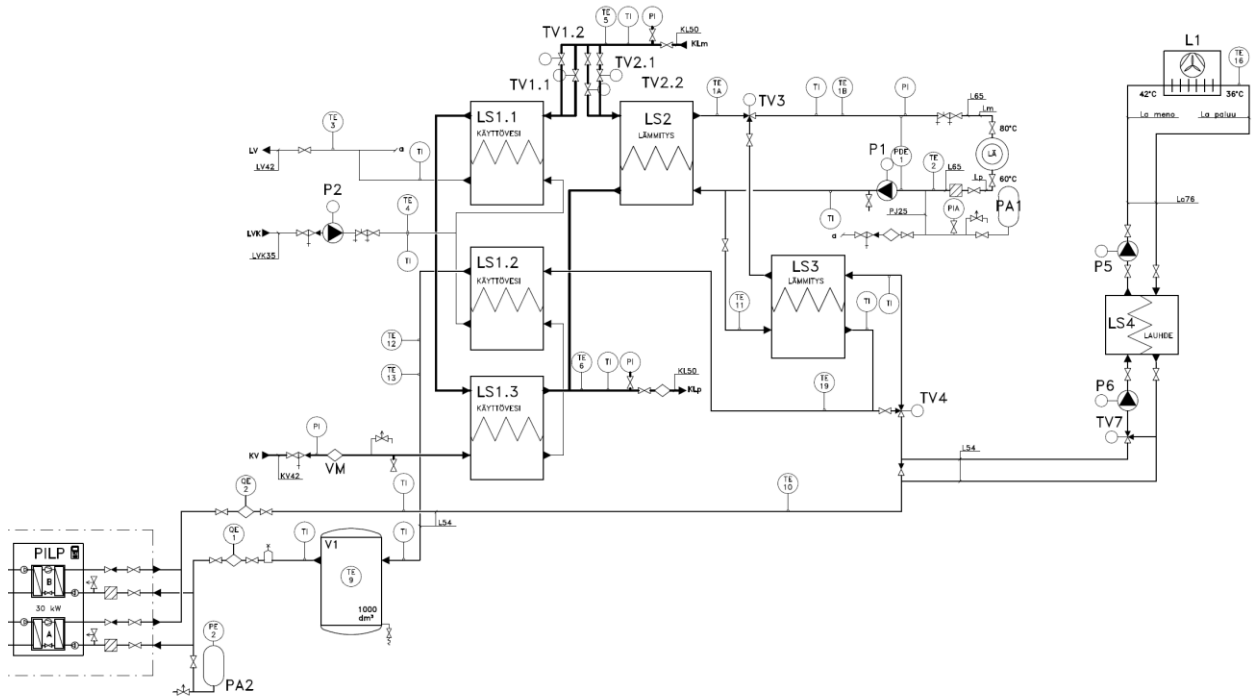
7.5.2 Kytkenät

Kuvassa 19 on esitetty viilennysverkoston kytkennät. Poistoilmalämpöpumpun ohjauskeskus ohjaa säätöventtiiliä TV6, muut ohjaukset liitetään alakeskukseen. PILP:n ohjauskeskuksella on myös mahdollista ohjata viilennysverkoston pumppua. Alakeskus saa tilatiedot ModBus-väylää pitkin. Viilennykselle on syytä lisätä oma varaaja lämpöpumpun käyntiajan ja tilavuuden lisäämiseksi. Varaaja on mitoitettu 30 dm³/kW, jäähdytystehon ollessa n. 26 kW sen kooksi on valittu 750 dm³. Laskutoimitus on kokemuseräisesti hyväksi havaittu muissa kohteissa ja se takaa mahdollisimman suuren käyntiajan lämpöpumpulle [17]. Viilennysverkoston kytkentä on toteutettu omana putkilinjana laitetilasta, mutta sen voisi toteuttaa myös niin, että jokaisessa asuinkerroksessa otetaan keruupiiristä haara asunnoille, johon tulisi lisätä pumppu ja säätöventtiili. Projektin säätökaavio viilennyspiirillä kokonaisuudessaan on esitetty liitteessä 4.



Kuva 19. Viilennysverkoston kytkennät.

Mikäli poistoilmalämpöpumpulla tuotetaan kylmää viilennysverkostoon, kun lämmitysverkostolle ei ole käyttöä ja käyttövedelle ei ole juuri käyttöä, suunniteltiin järjestelmään lauhdutuspiiri, mihin ylimääräinen energia voidaan tällöin ajaa. Lauhdutin suunniteltiin asennettavaksi vesikatolle, ja sen kytkennät on esitetty kuvassa 20. Lauhdutinpiiri tarvitsee oman lämmönsiirtimen, sillä katolla täytyy kiertää glykoli jäätyksen estämiseksi. Tällä estetään myös glykolin sekoittuminen käyttövedeen lämmönsiirtimen rikkoutuessa. Lisäksi tarvitaan kiertopumput lämmönsiirtimen molemmin puolin. Lauhduttimen mitoitusajo on esitetty liitteessä 5. Lämmönsiirrin mitoitettiin lauhduttimen mukaan samalle tehomäärälle, joka on 36,1 kW.

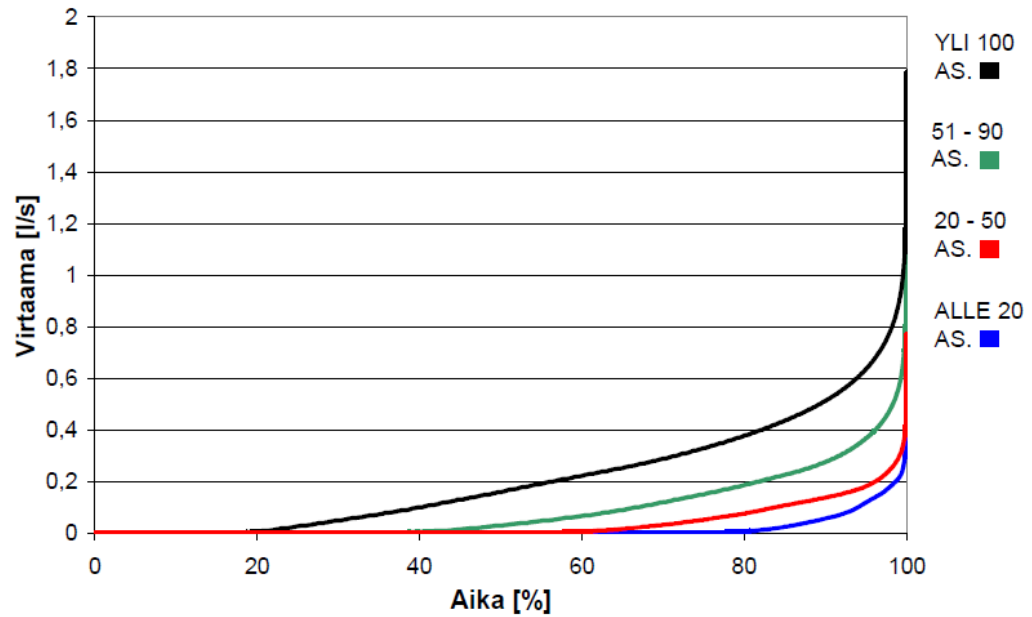


Kuva 20. Lauhdutuspiirin kytkentä.

7.5.3 Lämpimän käyttöveden vaikutus

Koivuniemi [19] on diplomityössään tutkinut erikokoisten asuinrakennusten lämpimän veden käyttöä. Lämpimän veden keskkulutukseksi Koivuniemi on saanut 57,9 l/vrk/asukas. Kuvassa 21 on esitetty erikokoisten kerrostaloasuntojen lämpimän käyttöveden tilavuusvirtojen käyttömäärien keskiarvoja. Asunnot ovat jaettu ryhmiin asuntomäärien perusteella. [19, s. 59–60.]

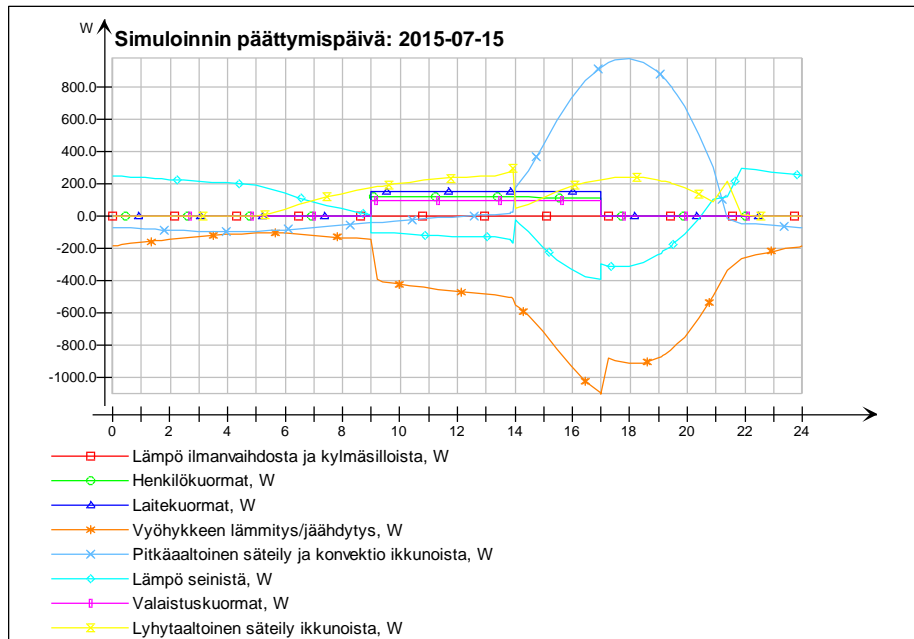
Koivuniemen [19] taulukosta nähdään, että suurissa kerrostaloissa lämpimälle käyttövedelle on käyttöä 80 % päivästä. Lääkärinkuja 3 osuu ryhmään 51–90 asuntoa, jolla on kuvaajan perusteella kulutusta 60 % päivästä. On tosin syytä ottaa huomioon, että Lääkärinkujassa on 57 yksiötä ja vain yksi kolmio, joten asukasmäärä on todennäköisesti huomattavasti pienempi, kuin normaalissa kerrostalossa. Lisäksi asunto määrä osuu ryhmän haarukan alakastiin. Kuvaajasta voidaan kuitenkin päätellä, että lämpimälle käyttövedelle on paljon käyttöä, joka tarkoittaa sitä, että lauhdutuspiiriin ajettaisiin harvemmin energiaa. Lisäksi lämpimän käyttöveden käyttö vie energiaa viillennyspiiriltä.



Kuva 21. Lämpimän käyttöveden kiinteistökohtaisen virtaaman pysyvyyskäyrät [19, s. 60].

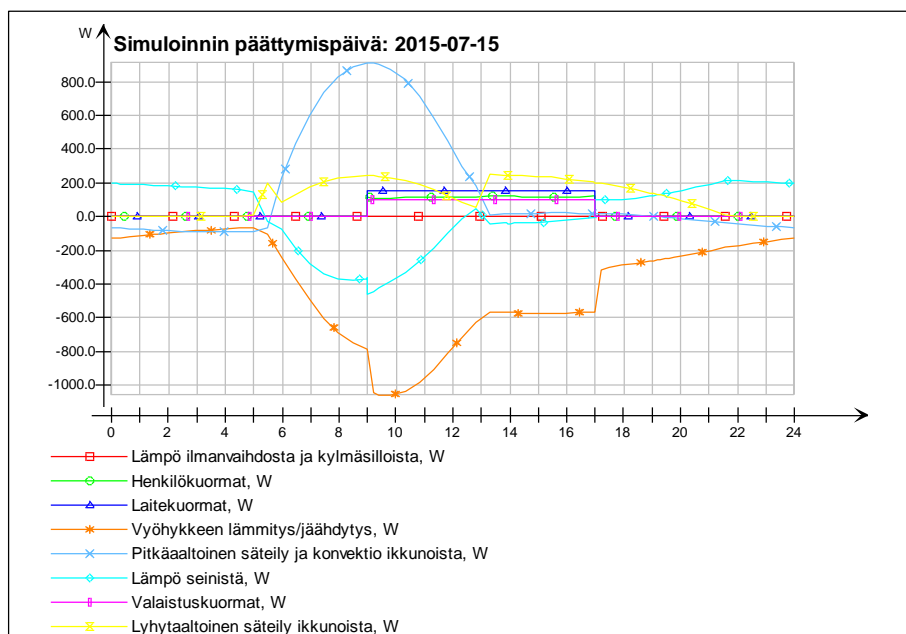
7.6 Jäähdytystehontarve

Jäähdytystehontarpeet laskettiin Ida Icen IdaRoom -ohjelmalla, kohteessa on kahden kokoisia yksiöitä, joista asuntojen, joiden pinta-ala on 30,5 m², ikkunaseinät on suunnattu länteen. Länteen suunnattujen asuntojen lämpötase on esitetty kuvassa 22. Kuvasta nähdään, että länteen suunnattujen asuntojen suurin jäähdytystarve on iltapäivällä klo 17 aikoihin, jolloin se on n. 1 100 W.



Kuva 22. Asuntojen lämpötase, jotka ovat suunnattuna länteen.

Asunnot, joiden ikkunaseinät ovat suunnattuna itään, ovat kooltaan 28 m². Itään suunnattujen asuntojen lämpötase on esitetty kuvassa 23. Kuvasta nähdään, että suurin jäähdytystehontarve on aamulla klo 9–10, jolloin se on n. 1 050 W.



Kuva 23. Asuntojen lämpötase, jotka ovat suunnattuna itään.

Laskelmissa käytettiin kahta esimerkkiasuntoa, jotka on esitetty taulukossa 6. Niille laskettiin myös jäähdytystehot neliöiden mukaan, laskennassa käytetystä neliömäärästä on poistettu kylpyhuoneiden pinta-ala. Asunnolle 35 jäähdytystehontarpeeksi saatiin 1 060 W ja asunnon 27 jäähdytystehontarpeeksi laskettiin 1 102 W.

Asuntojen mittatiedot sekä ikkunapinta-alat pystyttiin laskemaan pohja- ja leikkauskuvista.

Taulukko 6. Jäähdytystehontarpeet, jotka on laskettu Ida lcellä, sekä asuntojen mittatiedot.

Asunto	35 (Itä)		27 (Länsi)	
L, seinä 1 (ikkuna)	5,225	m	5,225	m
L, seinä 2	5,5	m	5,925	m
A, huoneisto/tila	28	m ²	30,5	m ²
A, laskenta	24,919	m ²	26,825	m ²
huonekorkeus	2,6	m	2,6	m
V, asunto/tila	72,8	m ³	79,3	m ³
L, ikkuna	1,4	m	1,4	m
h, ikkuna	1,8	m	1,8	m
A, ikkuna1	2,52	m ²	2,52	m ²
A, ikkuna(ovi)	1	m ²	1	m ²
A, ikkuna yht.	3,52	m ²	3,52	m ²
KPH	35		27	
L, seinä1	1,45	m	1,6	m
L, seinä2	2,125	m	2,075	m
A, huone	3,081	m ²	3,675	m ²
Jäähdytystehot	35		27	
Arvio	40	W/m ²	40	W/m ²
Φ, arvio	996,75	W	1 073	W
Φ, lidalce	1 060	W	1 102	W
Φ/a, lidalce	42,538	W/m ²	41,081	W/m ²
Φ, Mitoitus	1 090	W	1 090	W
Φ/a, Mitoitus	43,742	W/m ²	40,634	W/m ²

Tuloksista huomataan, että kokonaisjäähdytystehontarve asunnoissa on n. 61 kW, mutta sen suurin tarve jakautuu tasaisesti aamu- ja iltapäivälle. PILP:ltä saatavalla 26 kW:n jäähdytysteholla pystyttäisiin kattamaan suuri osa koko rakennuksen jäähdytyksestä.

7.7 Puhallinpatterit

Puhallinpattereiden toimintaa voidaan verrata luvussa 4.2 esitettyjen puhallinkonvektoreiden toimintaan. Puhallinpatterit mitoitettiin Chillerin valintaohjelmalla, kohteeseen suunniteltiin Chillerin GrandVari-puhaltimia, eli ns. hotellipuhaltimia, jotka kierrättävät asunnon huoneilmaa jäähdyttäen ja kuivattaen sitä. Jäähdytystehon asunnoissa ollessa n. 1 kW ja toimintalämpötilojen ollessa 10/15 °C päädyttiin GrandVari 70-M -puhaltimeen, jonka mitoitus on esitetty liitteessä 6. Puhallinpattereiden ohjaukset toimivat huonekohtaisella säädöllä, jonka toimintakaavio on esitetty liitteessä 7. Kondenssipoisto toteutetaan puhaltimiin asennettavilla kondenssivesipumpuilla, joten kerroksissa ei tarvitse tehdä kaatoja viemäröinnille. Yhden puhallinpatterin kondenssiveden virtaus on maksimissaan n. 2 l/h. Puhallinpattereiden asennus asuinkerroksissa on esitettyä liitteessä 8.

8 Lopputulokset

8.1 Kustannukset

Projektin kokonaiskustannukseksi arvioitiin aluksi n. 70 000–120 000 € ALV 0 % ja takaisinmaksuajaksi 10–15 vuotta. Suunnitelmissa tyypitettyjen laitteiden suositushinnat ovat esitettyinä taulukossa 7.

Taulukko 7. Pääkomponenttien suositushinnat.

Laite	ALV 0 % / €	ALV 24 % / €
Nibe F1345-30 kW	13452	16680,5
Retermia LTOH	10600	13144
HögforsGST Hybridipaketti	12000	14880
yhteensä	36052	44704,5

Urakoitsijoiden tarjoukset vaihtelivat välillä 103 040–282 720 €, joista laskennassa käytetään 108 000 € tarjouksen tehnyttä urakoitsijaa. Lisäksi suunnitteluun kului n. 5 500 €. Urakan kokonaiskustannuksena voidaan pitää 113 500 €.

Taulukossa 8 on esitetty hinta-arvio mitä hanke kustantaisi jäädytyksellä. Yhden puhallinpatterin hintana asennettuna on käytetty 2 000 € ALV 0 %. Taulukosta havaitaan, että jäädytyksen lisäys kohteeseen nostaisi hinnan n. 2,5-kertaiseksi.

Taulukko 8. Hinta-arvio hankkeelle, jossa on laskettu mukaan jäädytys.

Laite/työ	ALV 0 % / €	ALV 24 % / €
Laskennassa käytetyn urakoitsijan hinta	87 097	108 000
Suunnittelu	7 500	9 300
Puhallinpatterit 61 kpl sis. asennustyöt	122 000	151 280
Lauhdutin	4 000	4 960
Viilennyksen putkityöt	10 000	12 400
yhteensä	230 597	285 940

8.2 Säästöt

Lämpöpumpun sähkönkulutus voidaan arvioida Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 taustamateriaalina olevan Lämpöpumppujen energialaskentaoppaan avulla. Taulukossa 9 on esitetty poistoilmalämpöpumpun SPF-luku jäteilmän alimman lämpötilan mukaan. Jäteilmän ollessa 4,4 °C, SPF-lukuna voidaan käyttää 1,9. SPF-lukua voisi myös interpoloida, kun 4,4 °C lämpötilalle ei löydy omaa lukua, mutta muutos olisi hyvin pieni.

Taulukko 9. Poistoilmalämpöpumpun SPF-luvut [20].

Poistoilmalämpöpumppu	SPF-luku
Jäteilmän min. lämpötila °C	
-3	2,4
1	2,1
3	2
5	1,9

Rakennuksen lämmitetyksi nettoalaksi on laskettu 2 408 m² ja viime vuoden lämmitysenergian kulutuksen ollessa 369 000 kWh voidaan laskea tilojen ja käyttöveden lämmitykseen kuluva energia neliometriä kohden vuodessa kaavalla 10.

$$Q_{\text{Lämmitys,tilat,lkv}} = \frac{\text{Lämmitysenergian kulutus, kWh}}{\text{Lämmitetty nettoala, m}^2} \quad (10)$$

$Q_{Lämmitys,tilat,lkv}$ on tilojen ja käyttöveden lämmitykseen kuluva energia, kWh/m²/a

$$Q_{Lämmitys,tilat,lkv} = \frac{369\,000\text{ kWh}}{2\,408\text{ m}^2} = 153 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}, a$$

Taulukossa 10 on annettu poistoilmalämpöpumpun kattama osuus lämmityksen tarpeesta prosentteina. Aiemmin laskettujen tulosten perusteella nähdään, että PILP:lla voidaan kattaa 60 % kaikesta lämmitystarpeesta.

Taulukko 10. Poistoilmalämpöpumpun kattama osuus lämmityksen tarpeesta [20].

Qlämmitys, tilat, lkv	QLP/Qlämmitys, tilat, lkv				
kWh/m ² , a	SPF=2				
	Tjäte -3 °C	Tjäte 1 °C	Tjäte 3 °C	Tjäte 5 °C	
100	0,99	0,95	0,9	0,84	
150	0,82	0,72	0,66	0,6	
200	0,66	0,56	0,51	0,46	
250	0,55	0,46	0,41	0,37	

Käyttöveden kulutuksen vuonna 2014 ollessa 2 858 m³ voidaan lämpimän käyttöveden energian kulutus arvioida Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaan kaavalla 11. Lämpimän käyttöveden kulutuksena voidaan käyttää 40 %:a käyttöveden kokonaiskulutuksesta [21].

$$Q_{lkv,netto} = \frac{\rho_v c_{pv} V_{lkv} (T_{lkv} - T_{kv})}{3\,600} \quad (11)$$

$Q_{lkv,netto}$ on lämpimän käyttöveden lämpöenergian nettotarve, kWh

ρ_v on veden tiheys, 1 000 kg/m³

c_{pv} on veden ominaislämpökapasiteetti, 4,2 kJ/kgK

V_{lkv} on lämpimän käyttöveden kulutus, m³

T_{lkv} on lämpimän käyttöveden lämpötila, °C

T_{kv} on kylmän käyttöveden lämpötila, °C

3 600 on yksikkömuunnosta varten, s/h

$$Q_{lkv,netto} = \frac{1\,000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * 1\,143 \text{ m}^3 * (58 - 10)^\circ\text{C}}{3\,600} = 64\,008 \text{ kWh}$$

Tilojen lämmityksen osuus voidaan laskea erottamalla käyttöveden lämmityksen määrä kokonaislämmitysenergian kulutuksesta kaavalla 12:

$$Q_{Lämmitys,tilat} = 369\,000 - 64\,008\text{ kWh} = 304\,992\text{ kWh} \quad (12)$$

$Q_{Lämmitys,tilat}$ on lämmitysverkoston tarvitsema lämmitysenergia, kWh

Tilojen lämmityksen lisäenergian kulutus voidaan laskea kaavalla 13 [20]:

$$Q_{Lisälämmitys,tilat} = (1 - Q_{LP}/Q_{Lämmitys,tilat,lkv})Q_{Lämmitys,tilat} \quad (13)$$

$Q_{Lisälämmitys,tilat}$ on tilojen lisälämmitysjärjestelmän kuluttama energia, kWh

$$Q_{Lisälämmitys,tilat} = (1 - 0,6) * 304\,992\text{ kWh} = 121\,997\text{ kWh}$$

Lämpimän käyttöveden lämmityksen lisäenergian kulutus voidaan laskea kaavalla 14 [20]:

$$Q_{Lisälämmitys,lkv} = (1 - Q_{LP}/Q_{Lämmitys,tilat,lkv})Q_{lkv,netto} \quad (14)$$

$Q_{Lisälämmitys,lkv}$ on lämpimän käyttöveden lisälämmitysjärjestelmän kuluttama energia, kWh

$$Q_{Lisälämmitys,lkv} = (1 - 0,6) * 64\,008\text{ kWh} = 25\,603\text{ kWh}$$

Lämpöpumpulla tuotettavaksi jäävä lämmitysenergia tiloille voidaan laskea kaavalla 15 [20]:

$$Q_{LP,lämmitys,tilat} = Q_{Lämmitys,tilat} - Q_{Lisälämmitys,tilat} \quad (15)$$

$Q_{LP,lämmitys,tilat}$ on lämpöpumpun tuottama lämmitysenergia tiloille, kWh

$$Q_{LP,lämmitys,tilat} = 304\,992 - 121\,997\text{ kWh} = 182\,995\text{ kWh}$$

Lämpöpumpulla tuotettavaksi jäävä lämmitysenergia käyttövedelle voidaan laskea kaavalla 16 [20]:

$$Q_{LP,lämmitys,lkv} = Q_{Lämmitys,lkv} - Q_{Lisälämmitys,lkv} \quad (16)$$

$Q_{LP,lämmitys,lkv}$ on lämpöpumpun tuottama lämmitysenergia käyttövedelle, kWh

$$Q_{LP,lämmitys,lkv} = 64\,008 - 25\,603 \text{ kWh} = 38\,405 \text{ kWh}$$

Lämpöpumpun tuottama lämmitysenergia kokonaisuudessa voidaan laskea kaavalla 17:

$$Q_{LP,lämmitys,tilat,lkv} = Q_{LP,lämmitys,tilat} + Q_{LP,lämmitys,lkv} \quad (17)$$

$Q_{LP,lämmitys,tilat,lkv}$ on lämpöpumpun kokonaisenergian tuotanto, kWh

$$Q_{LP,lämmitys,tilat,lkv} = 182\,995 + 38\,405 \text{ kWh} = 221\,400 \text{ kWh}$$

Lämpöpumpun kuluttama sähköenergia voidaan laskea kaavalla 18 [20]:

$$W_{LP,lämmitys} = \frac{Q_{LP,lämmitys,tilat}}{SPF_{tilat}} + \frac{Q_{LP,lämmitys,lkv}}{SPF_{lkv}} \quad (18)$$

$W_{LP,lämmitys}$ on lämpöpumpun kuluttama sähköenergia, kWh

$$W_{LP,lämmitys} = \frac{182\,995 \text{ kWh}}{1,9} + \frac{38\,405}{1,9} = 116\,526 \text{ kWh}$$

Fortumin kaukolämmön kokonaishinnaksi pienelle kerrostalolle Järvenpäässä on annettu 88,53 €/MWh [21]. Tällaisessa kohteessa sähkön hintana voidaan pitää karkeasti n. 11 c/kWh sisältäen siirtomaksut.

Lämmitysenergian kulutuksen ollessa 369 MWh ja PILP:llä tuotetun energian ollessa 221 MWh voidaan arvioida kaukolämmön hinta vuodelle 2015:

$$\frac{\text{Kaukolämmön hinta}}{a} = (369 \text{ MWh} - 221 \text{ MWh}) * 88,53 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} = 13\,102 \text{ €}$$

PILP:n kuluttaman sähköenergian ollessa 116 526 kWh voidaan PILP:n sähköenergian hinta arvioida vuodelle 2015:

$$\frac{\text{Sähköenergian hinta}}{a} = 116\,526 \text{ kWh} * 0,11 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 12\,818 \text{ €}$$

Lämpöpumpun vuotuinen säästö voidaan laskea kaavalla 19 [23]:

$$T = E - A \tag{19}$$

T on vuotuinen säästö, €/a

E on PILP:lla saatu säästö, €/a

A on PILP:n käyttökustannukset, €/a

PILP:lla saatu vuotuinen säästö voidaan laskea kaavalla 20.

$$E = \text{Kaukolämmön hinta} \frac{\text{€}}{\text{MWh}} * \text{PILP:n tuottama energia MWh/a} \tag{20}$$

$$E = 88,53 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} * 221 \frac{\text{MWh}}{a} = 19\,565 \text{ €/a}$$

PILP:n vuotuiset käyttökustannukset voidaan laskea kaavalla 21. Vuotuisten huoltokustannusten oletetaan olevan 2 % LTO-huippumurin suositushinnasta.

$$A = \text{PILP:n sähköenergian hinta/a} + \text{huoltokustannukset/a} \tag{21}$$

$$A = 12\,818 + 263 \text{ €} = 13\,081 \text{ €/a}$$

$$T = 19\,565 - 13\,081 \frac{\text{€}}{a} = 6\,484 \text{ €/a}$$

8.3 Takaisinmaksuaika

Takaisinmaksuaika voidaan laskea kaavalla 22. Yhtälö ei ota huomioon korkoa, Koron huomioon ottamiseksi voidaan laskea jokaiselle vuodelle koron mukainen nykyarvo, minkä jälkeen saadaan tarkempi takaisinmaksuaika. [24.] Investoinnin hintana pidetään koko projektin hintaa suunnittelusta toteutukseen.

$$\text{Takaisinmaksuaika} = \frac{\text{Investointi}}{\text{Nettotuotto/a}} \quad (22)$$

$$\text{Takaisinmaksuaika} = \frac{113\,500\text{ €}}{6\,484\text{ €}} = 17,5 \text{ vuotta}$$

Korollinen takaisinmaksuaika voidaan laskea kaavalla 23 [23]:

$$n = \frac{\ln\left(\frac{T}{T-Hi}\right)}{\ln(1+i)} \quad (23)$$

n on korollinen takaisinmaksuaika, v

T on vuotuisten kustannusten erotus, €

H on hankintahintojen erotus, €

i on reaalikorko, 2 %

$$n = \frac{\ln\left(\frac{6\,484\text{ €}}{6\,484 - 113\,500\text{ €} \cdot 0,02}\right)}{\ln(1+0,02)} = 22 \text{ vuotta}$$

Toisaalta kaukolämpöpakettia ei ole pakko vaihtaa järjestelmän asennuksen yhteydessä, ja siirrinten lisääminen maksaisi vain murto-osan kaukolämpöpaketin vaihdosta. Muutenkin kaukolämpöpaketilla on käytännössä oma elinkaarensa. Poistaen kaukolämpöpaketin taulukossa 11 annettu suositushinta urakan hinnasta, voidaan urakan hinta arvioida uudelleen. Lisäksi arvioidaan työkustannusten vähenevän 11 000 €. Lasketaan takaisinmaksuaika kaavalla 22.

$$\text{Takaisinmaksuaika} = \frac{113\,500 - 14\,880 - 11\,000\text{ €}}{6\,484\text{ €}} = 13,5 \text{ vuotta}$$

Arvioidaan lisäksi korollinen takaisinmaksuaika kaavalla 23.

$$n = \frac{\ln\left(\frac{6\,484\text{ €}}{6\,484 - 87\,620\text{ €} \cdot 0,02}\right)}{\ln(1+0,02)} = 16 \text{ vuotta}$$

9 Yhteenveto

Insinööriyössä tutkittiin poistoilman lämmön talteenoton hyödyntämistä poistoilmalämpöpumpulla asuinkerrostalossa. Esimerkkikohteeseen tehtiin suunnitelmat, mitoitukset ja kannattavuuslaskelmat. Lisäksi työssä tutkittiin viilennysmahdollisuutta poistoilmalämpöpumpulla.

Insinööriyön kannattavuus- ja kustannuslaskelmia voidaan hyödyntää tulevissa kohteissa pohjatietona arvioitaessa vastaavien järjestelmien kannattavuutta. Kannattavuuslaskelmat toisaalta perustuvat vain arvioituihin lukuihin, ja tarkemmat tiedot saadaan vasta, kun järjestelmä on ollut toiminnassa. Työtä voidaan jatkaa tekemällä kannattavuuslaskelmat uudelleen vuoden käytön jälkeen kerätyillä tiedoilla. Lisäksi työssä tutkittuja kytkentävaihtoehtoja ja tehtyjä kytkentäkaavioita voidaan myös käyttää hyväksi jatkossa. Työn tekeminen myös selkeytti huomattavasti suunnittelun eri vaiheita ja järjestystä.

Poistoilmalämpöpumpulla rakennuksen viilentäminen todettiin olevan mahdollinen ratkaisu, mutta hintataso tulee olemaan yhtä suuri, kuin tekisi koneellisen tuloilmajärjestelmän. Molemmat parantavat asumisviihtyvyyttä omalla tavallaan. Järjestelmää voidaan miettiä jatkossa esiteltäväksi muihin kohteisiin tai asennettavaksi tähän kohteeseen myöhemmässä vaiheessa. Suurissa kerrostaloissa en näe viilennysratkaisua kannattavana.

Tutkimusta olisi voinut parantaa tekemällä patteriverkoston meno- ja paluulämpötilojen mittaukset kovilla pakkasilla. Lisäksi olisi voitu selvittää, kuinka usein patteriverkoston tarvitaan yli 60 °C lämmintä menovettä. Lisäksi tutkimusta voisi jatkaa toteuttamalla poistoilmalämpöpumpulla viilennyksen kohteeseen, josta saataisiin konkreettista tietoa sen toimivuudesta.

Kohde oli kaikkiaan aika optimaalinen poistoilman lämmön talteenottojärjestelmälle, kohteessa oli vain yksi huippuimuri, keruupiirin putket saatiin sijoitettua helposti rappukäytävään ja pyörävarasto voitiin ottaa käyttöön laitetilaksi. Ongelmaksi koitui lämmönjakuhuoneen pienehkö tila ja lisäksi kaukolämpökeskuksen uusinta korotti kustannuksia. Myös lämmitysverkoston korkeat toimintalämpötilat heikentävät poistoilmalämpöpumpun hyötysuhdetta.

Järjestelmän takaisinmaksuajaksi saatiin alkuperäistä arviota pitempi aika, vaikka laskuissa ei huomioitu isompia huoltokustannuksia, jotka saattavat vielä lisätä takaisinmaksuaikaa.

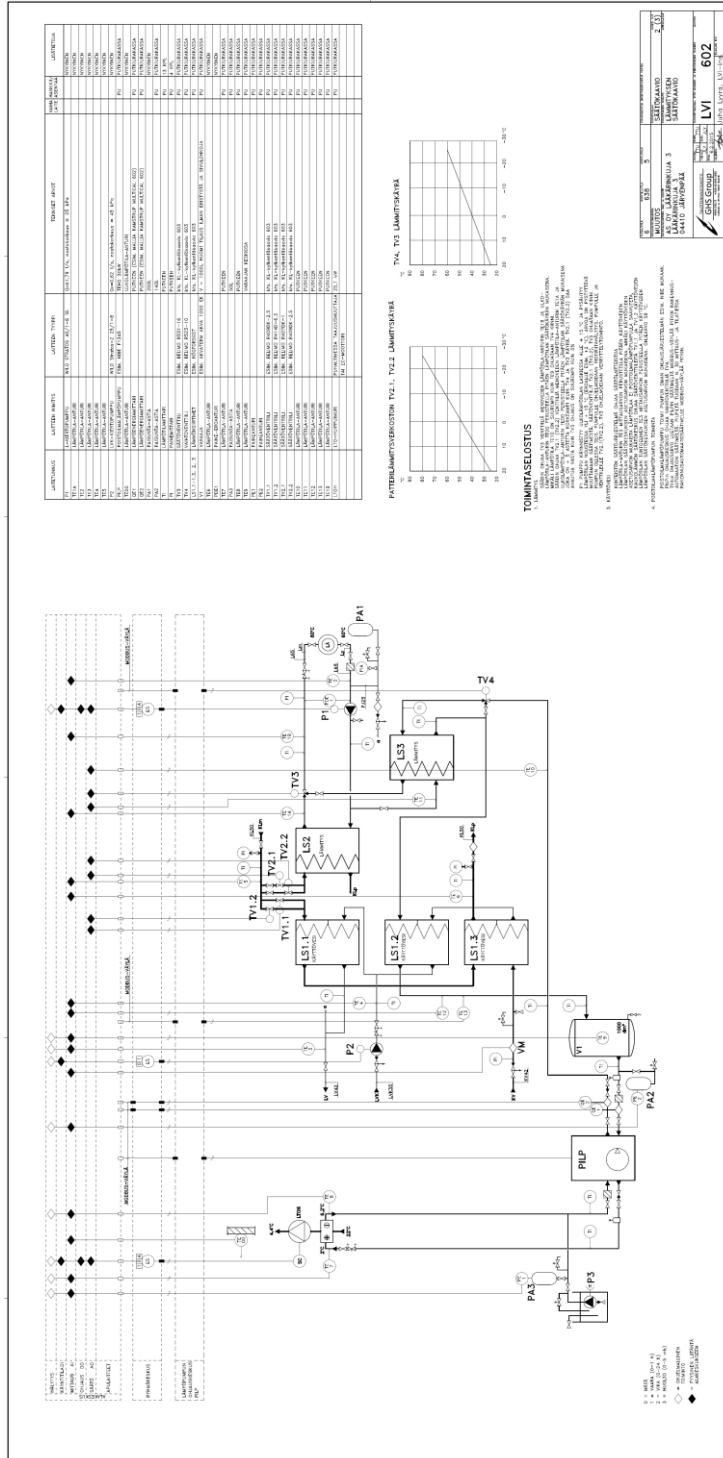
Lähteet

- 1 Perälä, Osmo; Perälä, Rae. 2013. Lämpöpumput. Helsinki: Alfamer Oy.
- 2 Lämpöpumput. 2015. Verkkodokumentti. Sulpu ry. <<http://www.sulpu.fi/lampopumput>>. Luettu 10.3.2015.
- 3 Lämpöpumpputeknologiat. 2014. Verkkodokumentti. Motiva Oy. <http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat>. Luettu 13.3.2015.
- 4 Seppänen, Olli. 2001. Rakennusten lämmitys. Helsinki: Suomen LVI-liitto ry.
- 5 Hakala, Pertti; Kaappola, Esko. 2013. Kylmälaitoksen suunnittelu. Helsinki: Opetushallitus.
- 6 Poistoilmalämpöpumpun toiminta. 2015. Verkkodokumentti. NIBE Energy Systems Oy. <<http://www.nibe.fi/Tuotteet/Poistoilmalampopumput/Toiminta/>>. Luettu 14.3.2015.
- 7 Ota hukkalämpö talteen – tee ympäristöteko, joka kannattaa myös taloudellisesti. 2012. Verkkodokumentti. Naavatar. <http://naavatar.fi/wp-content/uploads/2012/09/naavatar_esite_K_LR.pdf >. Luettu 17.3.2015.
- 8 Rakennusten Kaukolämmitys K1. 2013. Verkkodokumentti. Energiateollisuus ry. <http://energia.fi/sites/default/files/julkaisuk1_2013_20140509.pdf >Luettu 22.3.2015.
- 9 Lyyra, Juha. Myyntijohtaja, GHS Group Oy, Helsinki. Keskustelu 7.4.2015.
- 10 Seppänen, Olli. 2004. Ilmastoinnin suunnittelu. Helsinki: Suomen LVI-liitto.
- 11 Neuvonen, Petri. 2008. Kerrostalot 1880-2000: arkkitehtuuri, rakennustekniikka, korjaaminen. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- 12 LTO-huippuimuri (LTOH). Verkkodokumentti. 2015. Retermia Oy. <<http://www.retermia.fi/html/kuvat/paino/LTOH.pdf>>.Luettu 26.3.2015.
- 13 Retermia lämmönsiirtimien pesuohje. 2002. Verkkodokumentti. Retermia Oy. <<http://www.retermia.fi/html/kuvat/paino/Pesuohje.pdf>>. Luettu 27.3.2015.
- 14 Cool-IN maaviilennysjärjestelmä. 2014. Verkkodokumentti. NIBE Energy Systems Oy. <<http://www.nibe.fi/upload/haato/Ohjeet/Cool-IN%20k%C3%A4ytt%C3%B6ohje%20v1.0.pdf>>. Luettu 6.4.2015.

- 15 Sandberg, Esa. 2014. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy.
- 16 RT-LVI-11-10472. Paisuntajärjestelmän valinta ja mitoitus. 2011.
- 17 Olander, Markus. Projektimyyntipäällikkö, NIBE Energy Systems Oy, Vantaa. Keskustelu 10.4.2015.
- 18 Jäähdytystehot. 2015. Verkkodokumentti. NIBE Energy Systems Oy. <http://www.nibe.fi/Documents/Heat-Cooling_Capacity/Cooling-Cap-F1345-30kW.pdf>. Luettu 6.4.2015.
- 19 Koivuniemi, Janne. 2005. Lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaama ja lämpötila kriteerit veden mikrobiologisen laadun kannalta kaukolämmitetyissä asuinrakennuksissa. Diplomityö. Espoon teknillinen korkeakoulu.
- 20 Eskola Lari, Jokisalo Juha, Sirén Kai. 2012. Lämpöpumppujen energialaskentaopas. Verkkodokumentti. Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 taustamateriaali. Luettu 4.4.2015.
- 21 Rakennusten energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D5. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 22 Kaukolämmön hinta 1.1.2015 alkaen. Verkkodokumentti. Energiateollisuus ry. <http://energia.fi/sites/default/files/hinta_010115_0.pdf>. Luettu 31.3.2015.
- 23 Sormunen, Piia. 2014. Talotekniikan elinkaaritalous 5. laskuharjoitus. Metropolia ammattikorkeakoulu.
- 24 YT22 Investoinnin laskentaopas. 2011. Verkkodokumentti. Yritystulkki. <http://www.yritystulkki.fi/files/yt22_investoinnin_laskenta_pre.pdf>. Luettu 27.3.2015.

Suunniteltu säätökaavio

Kohteeseen suunniteltu ja toteutuva säätökaavio, jossa ei ole mukana jäädytystä.


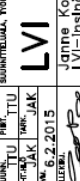
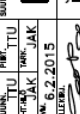


Kaukolämpölaitteiston mitoitus

Kaukolämpölaitteiston mitoitusarvot.

LÄMMÖNJAKOKESKUKSEN LAITTEIDEN MITOITUS										
VALMISTAJA	YKSIKÖKÄYTTÖVESI LS1.1&1.2	KÄYTTÖVESI LS1.3	LÄMMITYS LS2	LÄMMITYS LS3						
	HögforsGST	HögforsGST	HögforsGST	HögforsGST						
malli	IC28x86 + IC28x86	IC28Hx66	IC16Hx90	IC16Hx90						
TEHO	kW		150	30						
VIRTAUS	ENSIO	TOISIO	ENSIO	TOISIO	ENSIO	TOISIO				
tilavuus	1,50	1,55	0,73	1,55	0,71	1,83	0,73	1,82		
lämpötilat	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C		
paneeliväli	70 / 20	10 / 58	60 / 30,2	28 / 42	80 / 60	60 / 80	60 / 50	49 / 53		
suunnittelupaine	MPa	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6		
RAKENNEINE	EN1.4401	EN1.4401	EN1.4401	EN1.4401	EN1.4401	EN1.4401	EN1.4401	EN1.4401		
SÄÄTÖVENTTIILIT	KÄYTTÖVESI	KÄYTTÖVESI LTO	LÄMMITYS	LÄMMITYS LTO						
VALMISTAJA	BELIMO	BELIMO	BELIMO	BELIMO						
malli	R409DK-2.5/R414D-6.3	R523-10	R407DK-1/R409DK-2.5	R531-16						
VIRTAUS	dm ³ / s	0,73	0,71	1,83						
paneeliväli	38	7	53	17						
KOKO/KYS-ARVO	DN/kvs	10/15/2.5/6.3	25/10	10/10/1/2.5						
KIERTOVEDISPUMPUT	KÄYTTÖVESI P 2	KÄYTTÖVESI LTO	LÄMMITYS P 1	LÄMMITYS LTO						
VALMISTAJA	WILLO	WILLO	WILLO	WILLO						
malli	STRATOS Z 25/1-8	STRATOS Z 25/1-12	STRATOS 40/1-12	STRATOS 40/1-12						
VIRTAUS	dm ³ / s	0,62	1,83	1,83						
NOGSTOKORKEUS	kPa	45/68	26/108	26/108						
JÄNNITE	V	230	230	230						
MOOTTORIN TEHO	kW	0,125	0,45	0,45						
VERKOSTO, PAISUNTA- JA VAROLAITTEET	YKSIKÖ	KÄYTTÖVESI	LÄMMITYSVERKOSTO	LÄMMITYSVERKOSTO						
VERKON TILAVUUS	dm ³	1700	1700	1700						
PAISUNTASÄILIÖN TILAVUUS/ESIPAINE	dm ³ / kPa	/	200/180	200/180						
VAROVENTTIILIN KOKO/AVAUTUMISPAINE	DN/kPa	/	2x25/300	2x25/300						
N:o	LAITE									
1	2	MITOITUS								
1	2	BELIMO TRC24A-SR / LRC24A-SR								
2	1	BELIMO HRYD24-SR								
3	2	BELIMO HRC24-SR / HRC24-SR								
4	1	BELIMO HRYD24-SR								
LISÄTIETOJA: PED-luokka: 1										
Purkkilohot: Ensio 50, KY22, LV42, LVK 35, KY(LTO)54, L65, L(LTO)54										
LÄMPÖLAITOKSEN ILMOITAMA KÄYTETTÄVISSÄ OLEVA PAINE-ERO	kPa									

LÄMMITYSTEKNISEET TIEDOT										
RAKENNUKSEN KÄYTTÖTARKOITUS	ASUINRAKENNUS									
RAKENNUSTEN LUKUMÄÄRÄ	1KPL									
RAKENNUSTILAVUUS (SFS 5139)	7860 m ³									
SISÄLÄMPÖTILAT	21°C									
ASUINTOJEN LUKUMÄÄRÄ (UIKEHUONEISTOJEN YMS. LUKUMÄÄRÄ)	58 KPL									
LÄMPIMÄN KÄYTTÖVEDEN MITOITUSVIRTAAMA	LÄMMITYSTEHOON ERITTELY 1,55 dm ³ /s									
KAUKOÄLÄMMITYKSEN LÄMMITYSTEHOT LAITERYHMÄKOHTAISESTI ERITELTYNÄ	TÄYDEN ILMAVAIHDON LÄMPÖTILASSA °C									
LAITERYHMÄ	MIITOITUS °C - °C	YHT. JA VUOTO VAHIO	YHT. JA VUOTO VAHIO	YHT. JA VUOTO VAHIO	YHT. JA VUOTO VAHIO	YHT. JA VUOTO VAHIO	YHT. JA VUOTO VAHIO	YHT. JA VUOTO VAHIO	YHT. JA VUOTO VAHIO	YHT. JA VUOTO VAHIO
KÄYTTÖVESIPILIN LÄMMITYSLAITTEET	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LÄMMITYSPATTERIT	80 -60	-	-	-	-	-	-	-	-	150
LÄMMITYS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	150
KIERRÄTSLÄMMITYS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	150
ILMAVAIHTOPATTERIT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	150
JÄLKILÄMMITYSPATTERIT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	150
TARVITTAVA KAUKOÄLÄMPÖTEHO + TEHO LÄMMÖNTALTEENOSTA	dm ³ /s									
+ MIU LÄMMITYSTEHO	dm ³ /s									
LÄMMITYSTEHOT YHTEENSÄ	dm ³ /s									
KAUKOÄLÄMPÖVESIVIRTA (ILMAN KÄYTTÖVETÄ)	dm ³ /s									
KAUKOÄLÄMPÖENERGIAN KULUTUS	MWh/a									
LISÄTIETOJA:										

URAKOITSIJAN MERKINNÄT	LÄMMÖNNYTYJÄN MERKINNÄT									
TEHDYSN:o	6	TEHDYSN:o	3	TEHDYSN:o	3	TEHDYSN:o	3	TEHDYSN:o	3	TEHDYSN:o
RAKENNUSKORTIN N:o	638	RAKENNUSKORTIN N:o	3	RAKENNUSKORTIN N:o	3	RAKENNUSKORTIN N:o	3	RAKENNUSKORTIN N:o	3	RAKENNUSKORTIN N:o
MUUTOS	LÄMPÖJOHDOT									
AS OY LÄÄKÄRIKUJUA 3	KÄYTTÖKÄÄVIO									
LÄÄKÄRIKUJUA 3	KÄYTTÖKÄÄVIO									
04410 JÄRVENPÄÄ	KÄYTTÖKÄÄVIO									
										
										
										
SUUNNITTELU, TÖN NUMERO JA PÄIVÄYS: 603 LVI LVI-Instituutti (AMK) LVI-Instituutti (AMK)										

Lauhduttimen mitoitusajo

Vesikatolle suunniteltu lauhdutin ylimääräistä energiaa varten (viilennys).



C-id: 118-1141
20.02.2015

ECHL-DRYCOOLER-560/1x3/Y/F827-2700-900-Z4-2.5-DN40-16-T7F18

Lääkärinkuja 3

SUORITUSKYKY

	TOTEUTUNUT	
Teho	36,2	kW
Ilmavirta	3,5	m ³ /s
Tuleva ilma	30,0	°C
Lähtävä ilma	38,9	°C
Tuleva neste	42,0	°C
Lähtävä neste	36,1	°C
Nestevirta	1,6	l/s
Nesteen painehäviö	18	kPa
Etyl.glykoli	35	%

TAVOITE

36,2	kW
30,0	°C
42,0	°C
36,1	°C
18	kPa

LÄMMÖNSIIRTO-OSA

Lämmönsiirtopinta-ala	204	m ²
Lamellijako	2,5	mm
Sisätilavuus	40	l
Paino tyhjänä	220	kg
Kokoojan liityntä	DN40	
Vesisuuttimet	Ei	

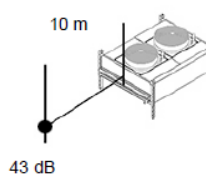
SÄHKÖLIITÄNTÄTIEDOT

Liitäntäteho	0,6	kW
Syöttöjännite	3~400	V/50 Hz
Vaihevirta (nim./max.)	1,1 / 1,4	A

PUHALTIMET

Puhaltimia	3	Kpl
Kierrosuku	630	1/min
Taajuussäätö	100	%
Puhallintyyppi	AC	

ÄÄNEN PAINETASO



Chiller-puhallinpattereiden mitoitusajo

Puhallinpattereiden mitoitus.



19/2/2015

Asiakas:
Kohde:
Tunnus:

Valinnan laskija: Tero Tuomi

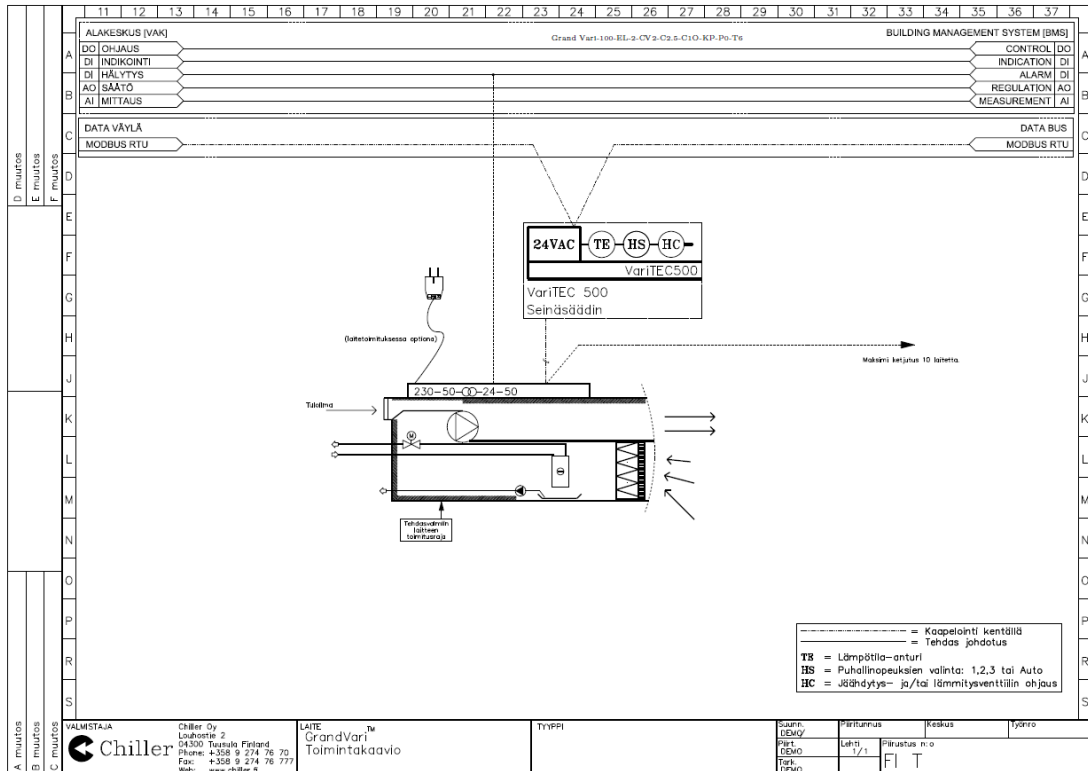
Puhallinpatteri GrandVari

Valinta: Grand Vari-70-M-2-CV2-C2.5-C1O-KP-P0-T6

Suoritusarvot	Piste 1	Piste 2	Piste 3	
Ilmamaara	0,064	0,072	0,080	m ³ /s
Jäähdytys				
Teho	1,00	1,09	1,17	kW
Tuntuva teho	0,92	1,00	1,07	kW
Patterille tuleva ilma		24,0 / 50		°C/%
Neste virtaama (vesi)		0,052		l/s
Nesteen lämpötila tuleva		10,0		°C
Nesteen lämpötila lähtevä	14,6	15,0	15,4	°C
Nestepuolen painehäviö (lämmönsiirrin)		4,1		kPa
Säätöventtiilin painehäviö		0,6		kPa
Sähkötiedot (puhallin)				
Liitäntä		230-50-1		V/Hz/Ph
Tehonkäyttö	12,3	15,8	20,6	W
Maksimiteho		36,2		W
Maksimivirta		0,25		A
Mittatiedot				
Paino		37,0		kg
Pituus x leveys x korkeus		690 x 700 x 250		mm
Ääni				
Tehotaso L _{W(A)}	38,0	41,0	44,0	dB(A)
Painetaso 10 m ² Sabine L _{p(A)}	34,0	37,0	40,0	dB(A)
Painetaso 100 m ³ tila ¹ L _{p(A)}	29,0	32,0	35,0	dB(A)
Lisävarusteet				
CV2 Jäähdytyksen 2-tiesäätöventtiili kvs 2,5 24 V toimilaitteella (C1O) 5 W 0,02 A				
KP Kondenssipumppu 10 W 0,08 A				
P0 Ei kytkentäkaapelia tai turvakytintä				
T6 Säädin VariTec501				

Chiller-puhallinpattereiden toimintakaavio

Puhallinpattereiden toimintakaavio.



Viilennysverkoston asennuseriaate ja putkireitit kerroksissa

Puhallinpattereiden asennukset.

