



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Miikka Ursin

Poistoilman lämmöntalteenottojärjestelmä kiinteistössä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

28.2.2021

Tekijä Otsikko	Miikka Ursin Poistoilman lämmöntalteenottojärjestelmä kiinteistössä
Sivumäärä Aika	71 sivua + 6 liitettä 28.2.2021
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Ammatillinen pääaine	LVI-suunnittelu
Ohjaajat	yliopettaja Aki Valkeapää
<p>Insinööriyössä käsitellään kiinteistöjen poistoilman lämmöntalteenottojärjestelmän toimintaperiaatetta ja suunnitteluun sekä mitoitukseen vaikuttavia asioita. Työssä käydään pääpiirteittäin läpi mitoituksessa vaadittavat kaavat ja kiinteistön lähtötiedot. Työ rajattiin koskemaan pääasiassa vain kiinteistöjä, joissa on jo valmiina lämmöntalteenottojärjestelmän vaatima koneellinen poisto. Työssä tutkittiin hybridikytkentöjä kaukolämpöön, maalämpöön sekä mahdollisuutta niin kylmälaitteiden lauhteen talteenottoon, kuin poistoilman lämmöntalteenottojärjestelmän käyttöä osana kiinteistön jäähdytystä.</p> <p>Insinööriyössä selvitettiin hybridiratkaisujen keskeisiä ongelmakohtia, joihin tulee suunnittelussa kiinnittää erityistä huomiota. Järjestelmän suunnittelussa joutuu väistämättä tekemään kompromisseja, jotta järjestelmä toimisi mahdollisimman energiatehokkaasti sekä erinäisten vaatimusten mukaisesti.</p> <p>Insinööriyön esimerkkikohteeksi liitettiin Espoon Olarissa sijaitseva Kiinteistö Oy Irmelinpesä. Kohde valmistui pääosin 1976 ja käsittää 3 asuintornitaloa, joissa 76 asuinhuoneistoa, 4 toimistoa sekä 2 859 m² liiketiloja. Kohteessa poistoilman lämmöntalteenottojärjestelmä otettiin käyttöön loppukesästä 2016 kaukolämmön rinnalle. Kohteesta saatiin kulu- ja tuottolaskelmia neljältä vuodelta.</p>	
Avainsanat	poistoilman lämmöntalteenotto, poistoilmalämpöpumppu, energiansäästö, lämmitys

Author Title	Miikka Ursin Design of Exhaust Air Heat Recovery Systems
Number of Pages Date	71 pages + 6 appendices 28 February 2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Professional Major	HVAC Engineering
Instructors	Aki Valkeapää, Principal lecturer
<p>The purpose of this final year project was to discuss the operation of heat recovery systems and to recognise issues affecting the design and sizing of the systems. The necessary formulas and building data required for sizing is discussed in broad terms. The ultimate goal was to what needs to be considered in the design of a heat recovery system for an existing building with mechanical extract ventilation.</p> <p>Possible problematic points to take into account to ensure an optimal solution in the design of extract heat recovery and hybrid systems were demonstrated by examples. Examples were also used to illustrate how different solutions affect the energy efficiency of the whole system.</p> <p>The final year project introduced a property built in 1976 and consisting of three blocks of flats with 76 apartments, four business units and 2859 m² commercial space as a sample case. The district heating system of the property was complemented with an exhaust air recovery system at the end of the summer 2016.</p> <p>The thesis established how important part the design is in the project of planning exhaust air recovery system to the property.</p>	
Keywords	exhaust air recovery, exhaust air heat pump, energy saving, heating

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Poistoilman lämmöntalteenottojärjestelmä kiinteistössä	2
2.1	Yleistä	2
2.2	PILP-järjestelmät Suomessa	2
2.3	Toimintaperiaate	3
2.4	Lainsäädäntö	4
2.5	Poistoilman lämmöntalteenoton soveltuvuus kiinteistöön	5
2.5.1	Ilmanvaihtojärjestelmä	5
2.5.2	Lämmönjakojärjestelmä	6
2.5.3	Rakennustyyppi	7
2.5.4	Suunnitteluperusteet	7
2.5.5	Järjestelmätoimittajat	8
2.6	Lämpöpumppu	9
2.6.1	Lämpöpumpun toimintaperiaate	9
2.6.2	Lämpöpumpun log p, h -tilapiirros	11
2.6.3	Lämpökertoimet COP ja SCOP	15
2.7	LTO-yksikkö	16
2.7.1	Epäsuorahöyrysteinen LTO	17
2.7.2	Suorahöyrysteinen LTO	17
2.7.3	Poistoilmankosteuden vaikutus lämmöntalteenottoon	18
2.7.4	Kuiva ja kostea lämmöntalteenotto	22
2.7.5	LTO-yksikön mitoitus	22
2.7.6	LTO-yksikön suodatin	25
2.8	Keruupiiri	26
2.8.1	Keruuputkiston lämmönsiirtoneste	27
2.8.2	Keruuputkiston materiaali	30
2.8.3	Keruuputkien mitoitus	33
2.8.4	Keruuputkiston eristys	36
3	PILP-järjestelmän kytkentä	39

3.1	PILP kaukolämmön rinnalla	40
3.1.1	Rinnan- ja sarjaankytkentä	40
3.1.2	Kaukolämmönsiirtimet ja säätöventtiilit	43
3.1.3	Lämmitysverkoston lämpötilat	47
3.2	PILP maalämmön rinnalla	50
3.3	PILP jäähdytyskäytössä	52
3.4	Kylmäkoneiden lauhde	53
4	KOy Irmelinpesä, Espoo	54
4.1	Kohteen tiedot	54
4.2	Lämmönjakohuone	55
4.2.1	Kaukolämmön alajakokeskus	56
4.2.2	Lämpöpumput	59
4.2.3	Kytkentämoduulit	59
4.2.4	Varaajat	61
4.3	LTO-yksiköt	62
4.4	Etävalvonta	64
4.5	Järjestelmän kannattavuus	64
5	Yhteenveto	68
	Lähteet	70
	Liitteet	
	Liite 1. Lämmönsiirtonesteiden soveltuvuus muovien ja kumien kanssa	
	Liite 2. Etyleeniglykoli-vesiseoksen tyypilliset ominaisuudet	
	Liite 3. Moodyn diagrammi	
	Liite 4. Putken lämpöhäviö-, jäähtymis-, jäätymisen alkamisajankohta- ja eristeen pinta- lämpötilalaskelmat	
	Liite 5. KOy Irmelinpesä	
	Liite 6. KOy Irmelinpesä energiankäyttö	

Lyhenteet

COP	Coefficient of Performance
LTO	Lämmöntalteenotto
PILP	Poistoilmalämpöpumppu
SCOP	Seasonal Coefficient Of Performance

1 Johdanto

Suomessa olevissa kiinteistöissä nykyaikainen koneellinen tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmää on rakennettu jo 1970-luvun lopulla, mutta se on yleistynyt vasta 1990-luvulle mentäessä. Vanhemmissa 1960–1990-luvun kiinteistöissä hyvin yleinen tapa on ollut toteuttaa pelkkä koneellinen poistoilmanvaihto.

Poistoilmanvaihdossa kiinteistön tuloilma otetaan yleisesti suoraan rakenteiden läpi, tai erillisten raitisilmaventtiilien kautta. Poistoilmanvaihtojärjestelmässä huippumuri kuljettaa ilmaa poistoilmakanavien/hormien kautta suoraan ulos. Korvausilmana otettu ulkoilman lämmitys on tyypillisesti laskettu lämmitettäväksi kiinteistön lämmönjakojärjestelmällä, esimerkiksi vesikiertoisen patteriverkoston avulla.

Ulospuhallettavan poistoilman lämpötila on tyypillisesti 22–24 astetta, ja se kattaa noin 35–45 % kiinteistön käyttämästä lämmitysenergiasta [1]. Poistoilman voidaan käsitellä poistoilmanvaihdollisessa kiinteistössä hukkalämpönä.

Energiatehokkuuden parantamiseksi kiinteistöissä on alettu ottamaan käyttöön erilaisia ratkaisuja hukkalämmön hyödyntämiseen, esimerkiksi poistoilman lämmöntalteenottojärjestelmiä. Poistoilman lämmöntalteenottojärjestelmissä kiinteistöön ei tarvitse rakentaa erillistä tuloilmakanavistoa, vaan poistoilmasta otetaan lämpöä talteen, joka ohjataan hyötykäyttöön. Talteen otetusta energiasta tehdään lämpöpumpuilla lämpöä. Lämpöpumpuilla tuotettua lämpöä siirretään kiinteistön lämpöjohtoverkoston sekä lämmitetään kiinteistön lämmintä käyttöväettä.

Tämän insinööriyön tavoitteena on perehtyä kiinteistöjen poistoilman lämmöntalteenottojärjestelmien toimintaan, suunnitteluun ja sen vaiheisiin sekä järjestelmän mitoittamiseen. Työ rajataan koskemaan yleisimpiä poistoilman lämmöntalteenotto hybridiratkaisuja kiinteistöissä, joissa koneellinen poistoilmanvaihto. Insinööriyö sisältää Espoossa sijaitsevan esimerkkikohteen, jossa asennettiin poistoilman lämmöntalteenottojärjestelmä kaukolämmön rinnalle vuonna 2016.

2 Poistoilman lämmöntalteenottojärjestelmä kiinteistössä

2.1 Yleistä

Kiinteistöjen poistoilman lämmöntalteenottojärjestelmiä suunnitellessa tulee päättää, halutaanko käyttää valmista kokonaisratkaisua vai suunnitellaanko koko järjestelmä eri valmistajien komponenteista. Kokonaisvaltaisia ratkaisuja on Suomessa saatavilla usealta eri laitetoimittajalta.

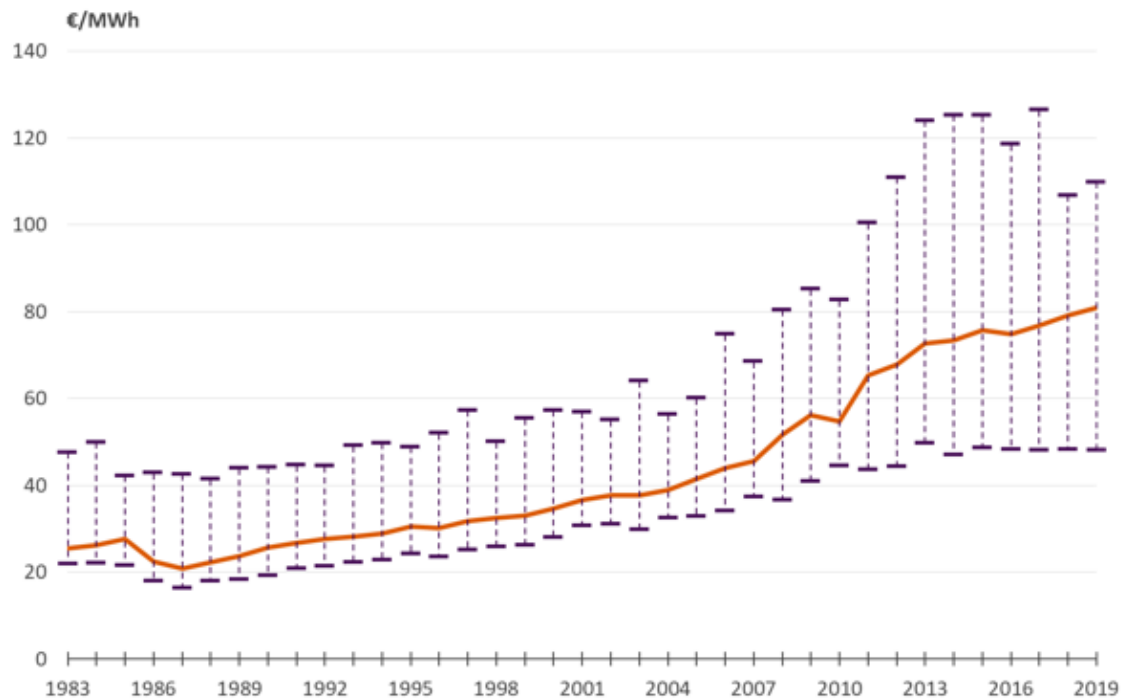
Eri valmistajien tarjoamien kokonaisratkaisuiden etuna on järjestelmän laitteiden yhteensopivuus. Valmistajien paketeissa mukana toimitetaan myös kaikki tarvittavat kytkentäkaaviot, automaatio sekä johdotusluettelo, jolloin välttyään suurelta työltä suunnitella kaikki täysin alusta asti. Myös laitteiden takuut sekä tarvittavat varaosat tulevat yhdeltä toimijalta.

Poistoilman lämmöntalteenottojärjestelmät ovat kasvavissa määrin LVI-suunnittelijan perusosaamiseen kuuluvaa asiaa. Suunnitellessa PILP-laitteistoa tulee LVI-suunnittelijan ja järjestelmätoimittajan tehdä tiivistä yhteistyötä. LVI-suunnittelijan ei ole järkevää suunnitella tai mitoittaa lämpöpumppulaitteistoa kokonaan, vaan hyödyntää järjestelmätoimittajan osaamista. Mikäli ei haluta käyttää järjestelmätoimittajien kokonaispakettia, vaaditaan suunnittelijalta entistä enemmän ammattitaitoa ja perehtyneisyyttä järjestelmään.

2.2 PILP-järjestelmät Suomessa

Poistoilman lämmöntalteenottojärjestelmiä on Suomessa myyty kiinteistöihin vajaat 10 vuotta kasvavissa määrin. Järjestelmien lukumäärää ei kuitenkaan ole tilastoitu, kuten pientaloissa. Arvion mukaan vuonna 2020 kiinteistö PILP-järjestelmiä myytiin 300–500 kappaletta. Kiinteistö PILP-järjestelmien kokonaismäärä arvioidaan 1 500–2 000 kohteen välille. Myydyistä järjestelmistä noin puolet toteutetaan poistoilmalämpöpumpun ja maalämmön yhdistelmänä ja irrottaudutaan kaukolämmöstä. [2]

Poistoilman LTO-järjestelmien myynnissä ja kiinteistöjen energiansäästämässä on edelleen valtava kasvupotentiaali. Alueellisten, melko suurienkin kaukolämmön hintojen eron vuoksi järjestelmän laskennallinen kannattavuus saattaa jäädä liian matalaksi tällä hetkellä osassa maata. Kaukolämmön hintakehitys on ollut tasaisesti nousevaa viimeisen 10 vuoden aikana.



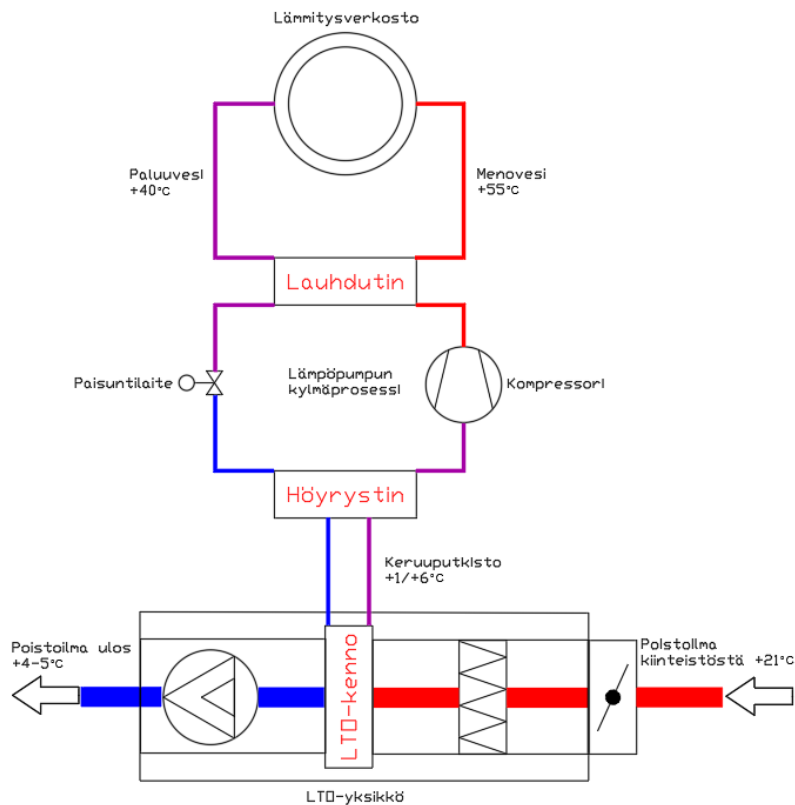
Kuva 1. Kaukolämmön hintakehitys [3, s. 19].

Kuvassa 1 on keskimääräinen kaukolämmön hintakehitys vuosien 1983–2019 välillä. Hinnat sisältävät kaikki vuotuiset maksut. Kaukolämmön hinnan noustessa paranee myös PILP-järjestelmien kannattavuus. Myös muiden energiamuotojen, kuten öljyn, hinta ja verotus on nousussa, joten uudet energiaa säästävät järjestelmät tulevat väistämättä kiinteistöjen harkintaan.

2.3 Toimintaperiaate

Poistoilman lämmöntalteenottojärjestelmän toiminta perustuu kiinteistön poistoilmasta talteen otettavan lämmön hyödyntämiseen. Poistoilman lämpötila saadaan LTO-järjestelmällä laskettua esimerkiksi 21 asteesta 4–5 asteeseen. Yksinkertaisesti

lämmöntalteenotto patterilla talteen otettava lämpö siirretään kiinteistön poistoilmasta lämmönsiirtonesteeseen. Lämmennyt lämmönsiirtoneste siirretään keruuputkistoja pitkin lämpöpumpun höyrystimelle, joka toimii osana kylmäprosessia. Lämpöpumpussa kompressori tuottaa kuumakaasua, joka lämmittää lauhduttimella olevaa nestettä. Lauhduttimella jäähtynyt kylmäaine ohjataan paisuntalaitteen kautta takaisin höyrystimelle.



Kuva 2. Epäsuorahöyrysteisen poistoilman LTO-järjestelmän toimintaperiaate.

Kuvassa 2 on esitetty yksinkertaista poistoilman lämmöntalteenottojärjestelmän toimintaperiaate.

2.4 Lainsäädäntö

Uudis- ja korjausrakentaminen perustuu maankäyttö- ja rakennuslakiin. PILP-järjestelmien asentamista ohjaavat niin viranomais määräykset ja ohjeet, kuin Rakennussäätiön LVI-ohjekortit. Ympäristöministeriö on myös julkaissut PILP-opaan ja -laskimen 2018.

Energiatehokkuutta koskevat vähimmäisvaatimukset, siinä määrin kuin ne ovat järkevästi toteutettavissa, on laajennettu koskemaan myös korjausrakentamista direktiivissä 2010/31/EU. Myös korjausrakentamisessa tulee siis huomioida vaihtoehtoisten energia- tehokkaiden järjestelmien toteutettavuus.

2.5 Poistoilman lämmöntalteenoton soveltuvuus kiinteistöön

Poistoilman LTO-järjestelmää suunnitellessa tulee ottaa huomioon kiinteistön erityispiirteet. Järjestelmän suunnitteluun vaikuttaa rakennuksen perustiedot, kuten rakennustyyppi, lämmönjakojärjestelmä ja ilmanvaihtojärjestelmä.

Kiinteistössä tulisi olla koneellinen poistoilmanvaihto sekä vesikiertoinen lämmitysjärjestelmä. Järjestelmää suunniteltaessa rakennuksessa olisi hyvä olla vähintään 3 kerrosta ja 15–25 asuntoa [4, s. 31].

2.5.1 Ilmanvaihtojärjestelmä

Poistoilman lämmöntalteenottojärjestelmää varten kiinteistössä tulisi olla olemassa oleva poistoilmanvaihtojärjestelmä. Myös painovoimaisella ilmanvaihdolla varustettu kiinteistöön pystyy asentamaan koneellisen poistoilman lämmöntalteenoton, kunhan varmistutaan tarvittavasta korvausilman saannista, sekä olemassa olevien hormien kunnosta. Vanhan rakennuksen rakenneaineiset kanavat voivat olla niin hataria, etteivät ne sovi koneelliseen poistoon ilman kunnostusta. Hormien saneerauksessa käytetään yleisesti kolmea eri tapaa: massausta, putkitusta tai sukutusta.

Poistoilman LTO-järjestelmää suunnitellessa tulee ottaa huomioon kiinteistön poistoilmamäärät. Yhden puhaltimen ilmavirta tulisi olla vähintään $250\text{--}500 \frac{l}{s}$ [4, s. 31]. Poistoilmapuhaltimen tai -puhaltimien sijainti voi olla vesikatolla, puhallinhuoneessa tai ullakolla.

Suunnitelmissa tulee ottaa huomioon mahdollinen ilmanvaihdon kello-ohjaus. Kello-ohjauksessa kiinteistön ilmanvaihtoa tehostetaan esimerkiksi kolme kertaa päivässä tietyn määräajaksi. Vaihtoehtoina ovat muun muassa kello-ohjauksesta luopuminen ja

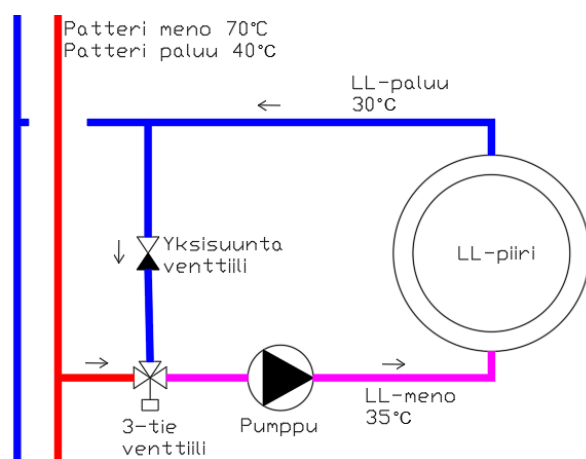
ilmavirtojen kasvattaminen kokoaikaisesti, mikäli kiinteistö sitä vaatii. Kello-ohjaus voidaan jättää myös toimintaan, mutta se tulee ottaa huomioon puhaltimen tehossa, säätömahdollisuuksissa sekä automaatiokytkennässä.

2.5.2 Lämmönjakojärjestelmä

Lämmönjakojärjestelmän tulee olla vesikiertoinen PILP-järjestelmissä, mikäli järjestelmää halutaan käyttää käyttöveden lämmityksen lisäksi kiinteistön lämmittämiseen. Yleisimpiä vesikiertoisia lämmönjakojärjestelmiä saneerauskohteissa ovat patteriverkostot, kierrätysilmakoneet, sekä lattialämmitys etenkin märkätiloissa.

Vesikiertoisessa lämmitysjärjestelmässä vettä kierrätetään lämmitysverkostossa kiertovesipumpun avulla, joka on lämmitetty esimerkiksi kaukolämmönvaihtimessa tai lämpöpumpussa. Lämmitysverkoston menovesi lämmittää radiaattoreita ja lattialämmössä lattiaa, jotka luovuttavat huoneisiin tarvittavan määrän lämpöä.

Lattialämpöjärjestelmissä lämpötilat ovat huomattavasti alhaisempia, kuin patteriverkostossa. Saneerauskohteisiin vesikiertoisen lattialämmityksen toteutus vaatii erillisen matalalämpö kiertopiirin tai sekoitusryhmät aluekohtaisesti. Sekoitusryhmissä, eli shuntti-ryhmissä, patteriverkoston menupuolen vettä sekoitetaan lattialämmityspiiriin sen verran, että haluttu lämpötila saavutetaan. Kuvassa 3 on esitetty yksinkertaistettu sekoitusryhmä.



Kuva 3. Lämmitysverkoston sekoitusryhmä.

PILP-järjestelmän kannalta edullisinta on lämmitysverkoston mahdollisimman matala palaavan veden lämpötila. Lämmitysverkostoon palaavan veden lämpötila tulisi kovimmissa pakkasilla olla mielellään alle 55 °C [4, s. 31]. Vanhassa kiinteistössä, joissa 80/60 °C:n verkosto, tämä ei kuitenkaan aina ole mahdollista kasvattamatta radiaattoreiden kokoa.

2.5.3 Rakennustyyppi

LTO-järjestelmän investoinnin kannalta edullisinta on, jos jäteilmän ulospuhalluspaikkoja on mahdollisimman vähän. PILP-järjestelmälle erityisen hyvin soveltuva kohde on koneellisella poistoilmanvaihdolla yhdellä puhaltimella toteutettu yksirappuinen, 3–6-kerroksinen kerrostalo [4, s. 31].

PILP-järjestelmä on mahdollista toteuttaa myös kohteeseen, jossa on useampi kuin yksi huippuimuri. Kustannusteknisistä syistä ei aina ole järkevää asentaa useampaa LTO-yksikköä palvelemaan samaa rakennusta, mikäli ilmamäärät riittävät yhdessä yksikössä. Useampaa hormia palvelevan LTO-yksikön asennuksessa vanhat huippuimurit puretaan, rakennetaan kokoojalaatikko ja hormit kanavoidaan yhteen LTO-yksikköön. Mikäli päädytään käyttämään hormikohtaisia LTO-yksiköitä, yhdistetään vain keruupiirien putket samaan runkolinjaan, josta edelleen tekniseen tilaan.

Samassa yhtiössä voi olla useampi kuin yksi erillinen rakennus. Kaikkiin olemassa oleviin rakennuksiin on mahdollista toteuttaa poistoilman lämmöntalteenottojärjestelmä. Rakennuksista, joissa ei ole erillistä lämmönjakohuonetta, putkitetaan keruupiirin putket maan alla rakennukseen, jossa lämpöpumppulaitteistot sijaitsevat.

2.5.4 Suunnitteluperusteet

Poistoilman LTO-järjestelmää varten on hyvä tiedostaa jo hankesuunnitteluvaiheessa asiat, jotka vaikuttavat järjestelmän kannattavuuteen. Kiinteistöstä on tärkeää kerätä mahdollisimman paljon lähtötietoja, jonka pohjalta LTO-järjestelmää lähdetään suunnittelemaan. Suunnitteluvaiheessa voi tulla ilmi, ettei järjestelmää ole järkevää toteuttaa esimerkiksi huomattavan pitkän takaisinmaksuajan vuoksi. Suunnitellessa PILP-

järjestelmää kiinteistöön tulee pyrkiä kokonaisvaltaisesti toimivaan ja energiatehokkaiseen ratkaisuun.

Suunnittelussa on hyvä ottaa selville ainakin seuraavia asioita:

- kaukolämpöenergian ja perusmaksun hinta
- sähköenergian hinta
- ilmanvaihdon ilmavirrat
- lämmitysenergian kulutus
- käyttöveden lämmityksen osuus kokonaiskulutuksesta
- lämmitysverkoston lämpötilat
- laitteiden ja putkistojen tilavaraukset
- LTO-järjestelmän sähköntarve
- kiinteistön sulakekoko, sähköjärjestelmän tiedot
- kylmän- ja lämpimän veden lämpötilatasot
- kiinteistön lämmitystapa
- LVK virtaama
- kattotyyppi, kunto ja kuormankantokyky
- ilmanvaihdon ohjaustapa
- ilmanvaihtojärjestelmän hormien/kanavien kunto
- korvausilmaratkaisut
- huippuimureiden määrä.

2.5.5 Järjestelmätoimittajat

Poistoilman lämmöntalteenotto ratkaisuja on Suomessa tarjolla monella eri toimijalla. Järjestelmän toiminnan, takuun sekä varaosien kannalta järkevin ratkaisu on usein järjestelmän kokonaisratkaisu yhdeltä toimittajalta. Kokonaisvaltaiseen järjestelmään kuuluu usein järjestelmätoimittajan kautta saatavilla oleva etävalvonta/hallinta-järjestelmä.

Kaukora Oy, Jäspi LTO

Kaukora Oy toimittaa koko poistoilman LTO-järjestelmän etävalvontajärjestelmineen. Myös etävalvontajärjestelmä Talotohtori on asiakkaan käytössä. Järjestelmä on tehtaalla

kasattu mahdollisimman valmiiksi paketiksi. Järjestelmän pääkomponentit LTO yksikkö, kytkentämoduuli, lämpöpumppu ja varaaja. LTO-yksikön toimittaa VTS Group.

Gebwell Oy

Gebwell Oy tarjoaa kokonaisvaltaisen PILP-järjestelmän etäseuranta ja -hallintajärjestelmiseen. Toimitus sisältää LTO-yksikön, lämpöpumpun, KVL hybrid-käyttövedenlämmittimet, puskurivaraajan ja hybridikeskuksen. Pilpit LTO -yksikön toimittaa suomalainen Oy Pamon Ab.

HögforsGST Oy, HybridLTO

HögforsGST Oy toimittaa kokonaisvaltaisen PILP-järjestelmän. Palveluihin kuuluu myös erikseen tilattava etävalvontapalvelu. Järjestelmä testataan tehtaalla ja konfiguroidaan valmiiksi ennen toimitusta.

2.6 Lämpöpumppu

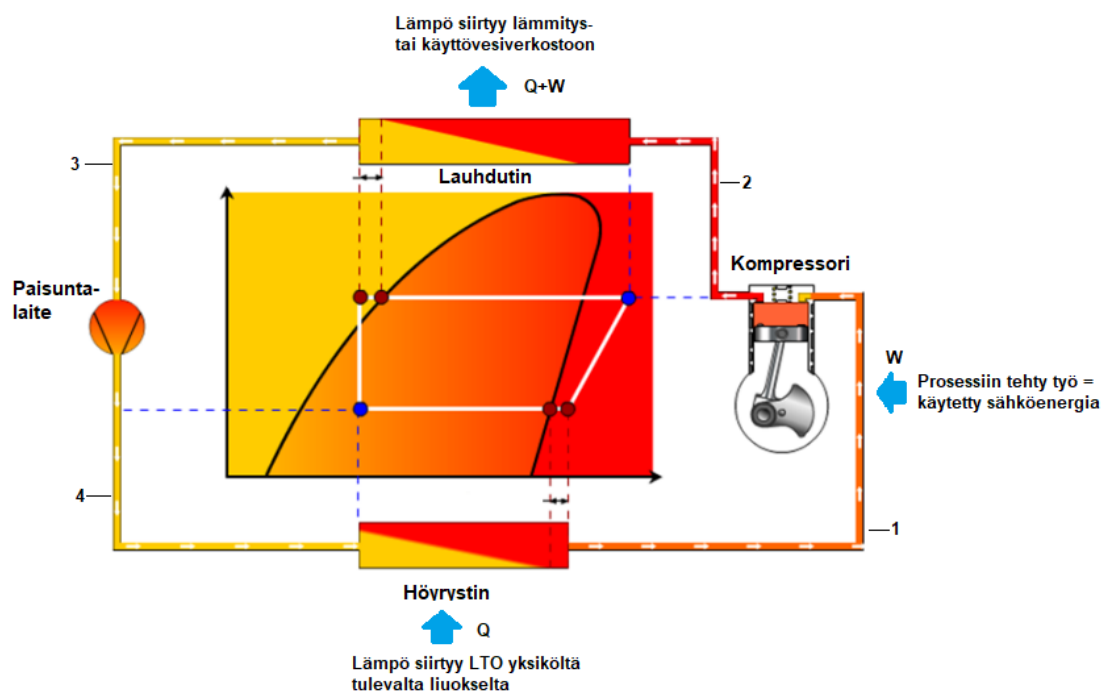
Poistoilman lämmöntalteenottojärjestelmän tärkeimpiin laitteisiin kuuluu lämpöpumppu. Järjestelmän lämpöpumpulla otetaan poistoilmasta energiaa talteen. Lämpöpumpun höyrystin sijoitetaan joko poistoilmavirtaan, tai erilleen siitä. PILP-järjestelmissä käytetään useammin ilmavirrasta erillään olevaa höyrystintä. Lämpöpumppu sijaitsee yleensä lämmönjakohuoneessa kiinteistön alimmissa kerroksissa, joten höyrystimen sijaitessa poistoilmavirrassa, tulisi kylmäainepiiristä tarpeettoman pitkä. Höyrystimen sijaitessa erillään jäteilmavirrasta, tuodaan jäteilmasta talteen otettu energia lämpöpumpulle keruuputkistoja pitkin. Keruuputkistojen lämmönsiirtonesteinä käytetään tyypillisesti glykolipohjaista nestettä, jotta jäätyminen riski pystytään minimoimaan.

2.6.1 Lämpöpumpun toimintaperiaate

Lämpöpumpun toimintaperiaate pohjautuu kylmätekniseen kiertoprosessiin, jossa työaineena toimii kylmäaine. Lämpöpumpun kylmäteknisessä kiertoprosessissa siirretään

lämpöä matalammasta lämpötilasta korkeampaan tehdyn työn avulla. Kiertoprosessi perustuu kylmäaineen höyrystämiseen ja lauhduttamiseen eri painetasoilla.

PILP-järjestelmän kiertoprosessin aikana höyrystimessä matalapaineinen ja lämpötilainen kylmäaine sitoo lämpöä LTO-yksiköltä palaavasta nesteestä ja höyrystyy. Höyrystynyt kylmäaine imetään kompressoriin, joka puristaa kylmäaineen korkeampaan paineeseen ja lämpötilaan. Kompressorin tuottama tulistunut höyry johdetaan lauhduttimeen, jonka kautta lämpö siirretään lämmitys- tai käyttövesiverkostoon. Lauhduttimessa kylmäaine tiivistyy takaisin nesteeksi luovuttaessaan lämpöä. Lauhduttimesta nestemäinen kylmäaine johdetaan paisuntalaitteelle, jossa kylmäaineen paine ja lämpötila laskevat ja osa höyrystyy jo ennen höyrystintä. Tämän jälkeen prosessi alkaa uudelleen höyrystimeltä. [5, s. 17–18.] Kuvassa 4 esitetään PILP-järjestelmän kylmätekninen kiertoprosessi.

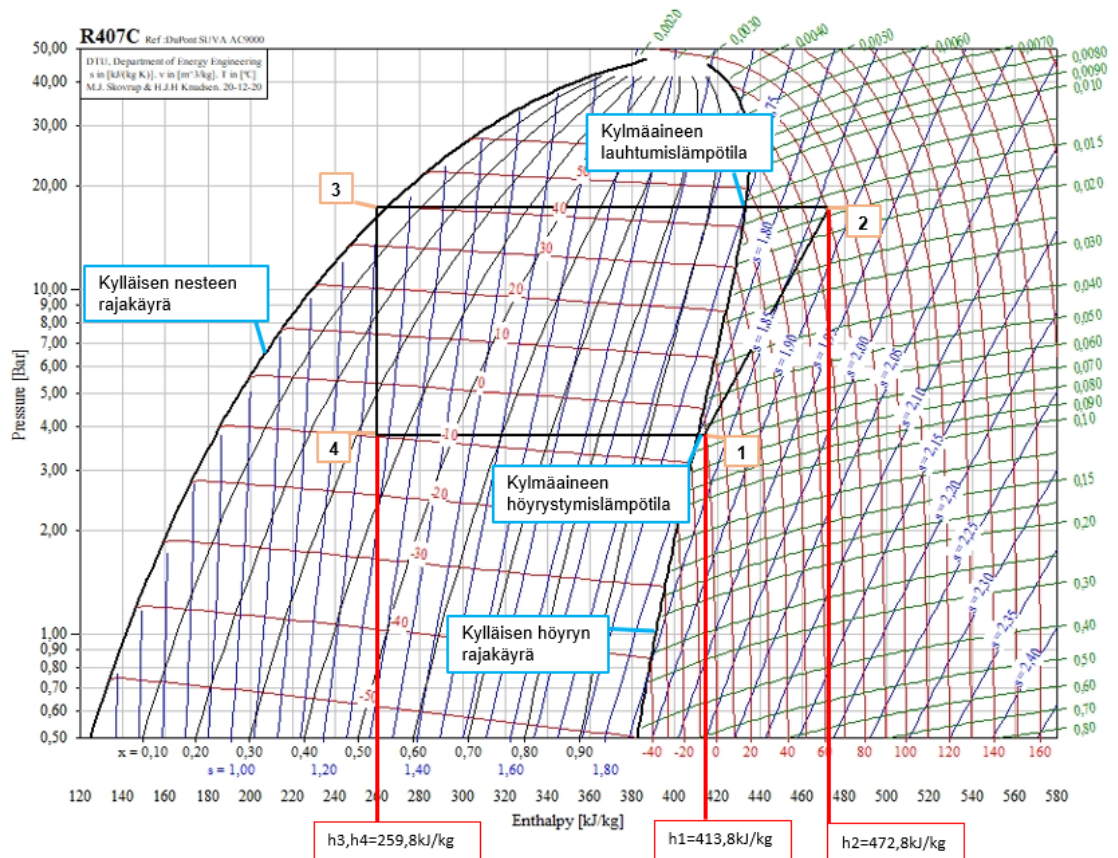


Kuva 4. Kylmätekninen kiertoprosessi [5, s. 17].

Lämpöpumpulla saadaan tuotettua sitä enemmän energiaa, mitä enemmän poistoilmaa pystytään jäähdyttämään. Liiallisella jäähdyttämällä ongelmaksi tulee muun muassa kastepiste.

2.6.2 Lämpöpumpun log p, h -tilapiirros

Kylmätekniinen kierto prosessi esitetään kylmäainakohtaisena paine- entalpia- tilapiirroksen avulla. Log p,h -tilapiirrokselta voidaan päätellä, miten lämpöpumpun lämpökerroin muuttuu höyrystymis- tai lauhtumislämpötilan muutoksilla. Tilapiirroksessa rajakäyrä jakaa kylmäaineen eri olomuotoihin. Kuvassa 5 on esitetty kylmäaineen kierto prosessi log p, h-tilapiirroksessa.



Kuva 5. Tseotrooppisen kylmäaineen R407C log p, h -tilapiirros [6].

R407C lukeutuu tseotrooppisiin, eli seos kylmäaineisiin, joiden yhteydessä tapahtuu lämpötilaliukumaa. Liukuman syynä kylmäaineen sisältävien yksikomponenttisten kylmäaineiden erisuuret höyrystymislämpötilat. R407C on lämpöpumpuissa paljon käytetty kylmäaine.

Kuvan 5 esimerkin lähtöarvot ovat

- Lauhtumislämpötila: 45 °C
- Höyrystymislämpötila: –5 °C
- Kylmäaineen tulistuminen: 4 °C
- Kylmäaineen alijäähtyminen: 2 °C
- Kompressorin isentrooppinen hyötysuhde: 0,65
- Lämpöpumpun antoteho 20 kW
- Lauhduttimen asteisuus 4 °C.

josta saadaan log p, h -tilapiirroksen avulla entalpiat lämpöpumpun kiertoprosessin eri vaiheista (kuva 5.)

$$h_1 = 413,8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad h_2 = 472,8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad h_3 = 259,8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad h_4 = 259,8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Log p, h -tilapiirrokselta pystytään kuvan 5 esimerkin lähtöarvoilla selvittämään lauhduttimen luovuttama lämpö, joka saadaan pisteiden 2 ja 3 entalpioiden erotuksesta. Kompressorin tekemä työ saadaan pisteiden 1 ja 2 erotuksesta. Entalpioiden lukemiseen voi käyttää esimerkiksi Coolpack-ohjelmaa tai lukea likiarvot suoraan kuvasta.

Log p,h -tilapiirrokselta voidaan laskea entalpioiden avulla lämpöpumpun lämpökerroin kaavalla 1.

$$\varphi = \frac{\dot{Q}_L}{P_k} = \frac{Q_L}{W} \quad (1)$$

φ on lämpöpumpun lämpökerroin

\dot{Q}_L on lauhduttimen teho $\text{kW} = \frac{\text{kJ}}{\text{s}}$

P_k on kompressorin ottoteho kW

Q_L on lauhduttimen luovuttama lämpö, $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

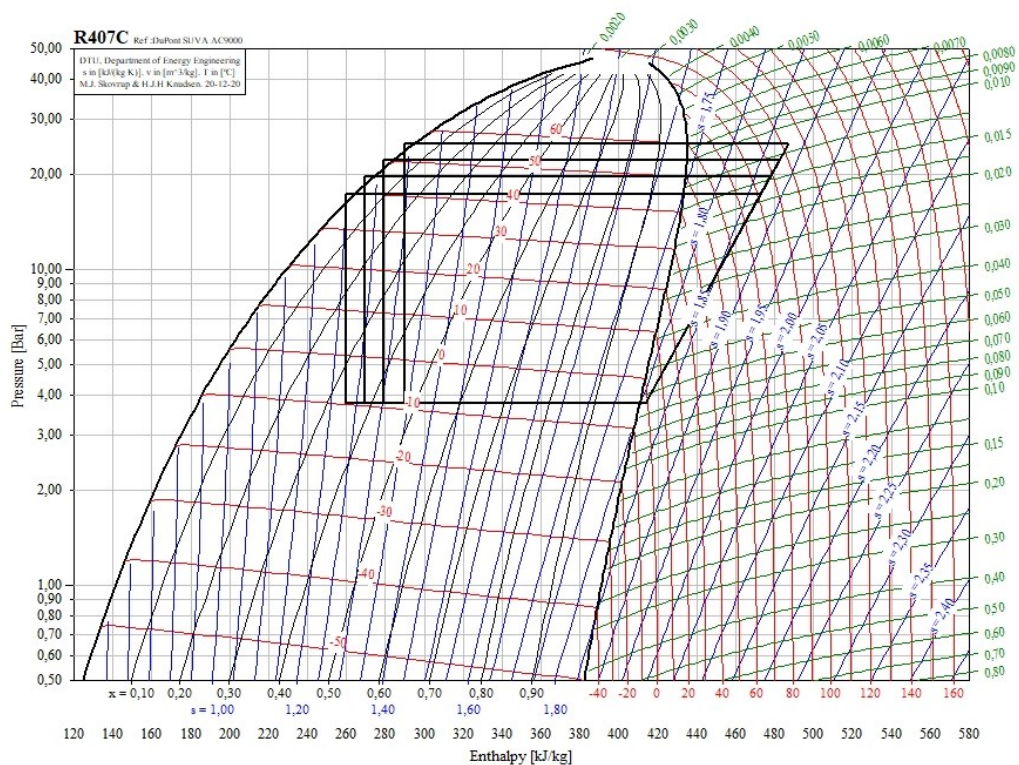
W on kompressorin tekemä työ, $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

tällöin

$$\varphi = \frac{472,8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 259,8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{472,8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 413,8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}$$

$$\varphi = 3,61$$

Log p,h -tilapiirroksen avulla voidaan myös selvittää, miten höyrystymis- tai lauhtumis- lämpötilan muutos vaikuttaa järjestelmän lämpökertoimeen. Kuvassa 6 on piirretty neljän eri lämmitysverkoston lämpötiloilla toimivan kylmäaineen kiertoprosessi. Lähtöarvot ovat kuten kuvassa 5, mutta lauhtumislämpötilaa on muutettu.



Kuva 6. R407C-kylmäaineen log p, h -tilapiirros eri lauhtumislämpötiloilla [6].

Lauhtumislämpötilan noustessa log p, h -tilapiirroksessa voi päätellä hyötysuhteen pienenevän merkittävästi. 60 asteen lämpötilalla, kompressorin isentrooppisen hyötysuhteen ollessa 0,65, joutuu kompressorin tuottamaan yli 100-asteista tulistunutta höyryä.

Esimerkeissä ei ole huomioitu kierto-prosessin häviöitä. Taulukossa 1 on laskettu kuvan 6 mukaisilla lauhtumislämpötiloilla järjestelmän lämpökertoimet. Lauhtumislämpötilan ja lauhtuttimen asteisuuden erotuksella saadaan laskettua verkostoon menevän veden lämpötila.

Taulukko 1. Lauhtumislämpötilan vaikutus lämpökertoimeen.

Lauhtumislämpötila	Verkoston menovesi	Entalpia ennen kompressorin (1)	Entalpia kompressorin jälkeen (2)	Entalpia lauhtuttimen jälkeen (3)	Kompressorin tekemä työ	Lauhtuttimen luovutettava lämpö	Lämpökerroin
°C	°C	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	φ
45	41	413,8	472,8	259,8	59	213	3,61
50	46	413,8	477,8	269,4	64	208,4	3,26
55	51	413,8	482,6	279,3	68,8	203,3	2,95
60	64	413,8	487,3	289,8	73,5	197,5	2,69

PILP-järjestelmän lähtöarvojen ollessa määriteltynä, helpoin tapa parantaa lämpökeroainta on selvittää mahdollisuus verkoston säätökäyrien alentamiseen, jolloin voidaan alentaa myös lauhtumislämpötilaa. Lauhtumislämpötilan alentaminen tosin tarkoittaa, ettei lämpöpumpulla voida tuottaa yhtä lämmintä käyttövedettä. Lämpöpumpulle paras tilanne on, kun höyrystymis- ja lauhtumislämpötilan erotus on mahdollisimman pieni.

Lämpöpumpun antotehon, eli lauhtuttimen tehon, sekä entalpioiden avulla voidaan laskea myös höyrystimen teho ja kompressorin ottoteho. Ensin lasketaan massavirta lauhtuttimen tehosta ja lauhtuttimen entalpian muutoksesta kaavalla 2.

$$q_m = \frac{\phi_l}{h_2 - h_3} \quad (2)$$

q_m on massavirta $\frac{kg}{s}$

Höyrystimen teho, eli keruupiirin liuoksesta otettu teho, saadaan laskettua massavirran ja höyrystimen entalpian muutoksen avulla kaavalla 3.

$$\phi_h = q_m \cdot (h_1 - h_4) \quad (3)$$

ϕ_h on höyrystimen teho $kW = \frac{kJ}{s}$

Kompressorin ottoteho, eli kulutettu sähköenergia, saadaan laskettua massavirran ja kompressorin tekemän työn entalpioiden muutoksen avulla kaavalla 4.

$$P_k = q_m \cdot (h_2 - h_1) \quad (4)$$

Lauhduttimen tehon pysyessä samana mutta lauhtumislämpötilan noustessa massavirta ja kompressorin ottoteho kasvavat. Höyrystimen teho laskee samassa suhteessa kompressorin ottotehon kasvaessa. Taulukossa 2 havainnollistetaan muutosta.

Taulukko 2. Lauhtumislämpötilan vaikutus höyrystimen tehoon ja kompressorin ottotehoon

Lauhtumislämpötila	Lauhduttimen teho	Entalpia ennen kompressoria (1)	Entalpia kompressorin jälkeen (2)	Entalpia lauhduttimen jälkeen (3)	Entalpia ennen höyrystintä (4)	Massavirta	Höyrystimen teho	Kompressorin ottoteho	Lämpökertoain
°C	<i>kW</i>	<i>kJ/kg</i>	<i>kJ/kg</i>	<i>kJ/kg</i>	<i>kJ/kg</i>	q_m	<i>kW</i>	<i>kW</i>	φ
45	20	413,8	472,8	259,8	259,8	0,094	14,46	5,54	3,61
50	20	413,8	477,8	269,4	269,4	0,096	13,86	6,14	3,26
55	20	413,8	482,6	279,3	279,3	0,098	13,23	6,77	2,95
60	20	413,8	487,3	289,8	289,8	0,101	12,56	7,44	2,69

2.6.3 Lämpökertoimet COP ja SCOP

Lämpöpumppujen hyötysuhteita ilmoitettaessa käytetään kahta erilaista hyötysuhdelukemaa: COP-hyötysuhde sekä SCOP-vuosihyötysuhde. Poistoilmalämpöpumppu ottaa energiansa kiinteistön poistoilmasta, joten hyötysuhteeseen eivät vaikuta ilmasto-olosuhteet samalla tavalla, kuin ilmalämpö- tai vesi-ilmalämpöpumppuun.

COP (Coefficient Of Performance), eli lämpöpumpun hyötysuhde, kertoo käytetyn sähköenergian ja tuotetun lämpöenergian suhteen. COP-luku määritetään yleisesti EN 14511 -standardia käyttäen, mutta jotkin valmistajat käyttävät edelleen vanhaa EN 255 -standardia, joka antaa suuremmat COP-lukemat. Esimerkiksi COP 3 tarkoittaa, että yhdellä kilowatilla sähköenergiaa lämpöpumppu tuottaa 3 kilowattia lämpöenergiaa. Lämpöpumpun hyötysuhde voidaan laskea kaavalla 5.

$$COP = \frac{Q_{out}}{W_{in}} \quad (5)$$

COP on lämpökerroin

Q_{out} on lämpöpumpusta hyödyksi saatava lämpöenergia kW

W_{in} on lämpöpumpun käyttämiseksi tehty työ kW

SCOP (Seasonal Coefficient Of Performance), eli vuosihyötysuhde, kertoo koko lämmityskauden hyötysuhteen, mutta ottaa huomioon vain talon lämmityksen. SCOP-luku kertoo laitteen oikean hyötysuhteen markkina-alueella, ja se ottaa huomioon lämmityskausien vaihtelut. SCOP-luvun laskennassa huomioidaan maantieteelliset ilmasto-
vyöhykkeet ja lasketaan neljälle eri lämmityskaudelle. SCOP-luku noudattaa standardia EN 14825.

2.7 LTO-yksikkö

LTO-yksiköllä otetaan poistoilman sisältämä lämpöenergia talteen. LTO-yksikön läpi virtaava 21–23 °C:n lämpöinen poistoilma imetään yksikössä sijaitsevien puhaltimien avulla lämmönsiirtimen läpi ja siitä edelleen puhalletaan ulkoilmaan. Lämmönsiirtimessä lämpöpumpulta tulevaa jäähtynyttä lämmönsiirtonestettä lämmitetään, tai kylmääainetta höyrytetään, riippuen siitä, onko järjestelmä epäsuoralla- vai suoraahöyrytyksellä.

LTO-yksikössä on usein sisäänrakennettuna muun muassa liuospariteri/höyrystin, poistoilmapuhallin ja suodattimet. Neulaputkilämmönsiirtimillä varustetuissa yksiköissä suodatinta ei tarvita. Yksiköt toimitetaan joko yhtenä kokonaisuena yksikkönä tai moduulirakenteisena, riippuen valmistajasta ja yksikön mallista.

LTO yksikkö voi olla suoraan asennettu vanhan huippuimurin tai hormin paikalle, josta johdetaan liuospiirin tai kylmäpiirin putket lämpöpumpulle. Toisena vaihtoehtona on yhdistää useampi vanha hormi yhteen kokoojalaatikkoon, joka liitetään LTO yksikköön. Tällä ratkaisulla vältytään useamman LTO-yksikön hankinnalta, mutta huomioon tulee ottaa muun muassa tarvittavat ilmamäärät ja palotekniset yksityiskohdat.

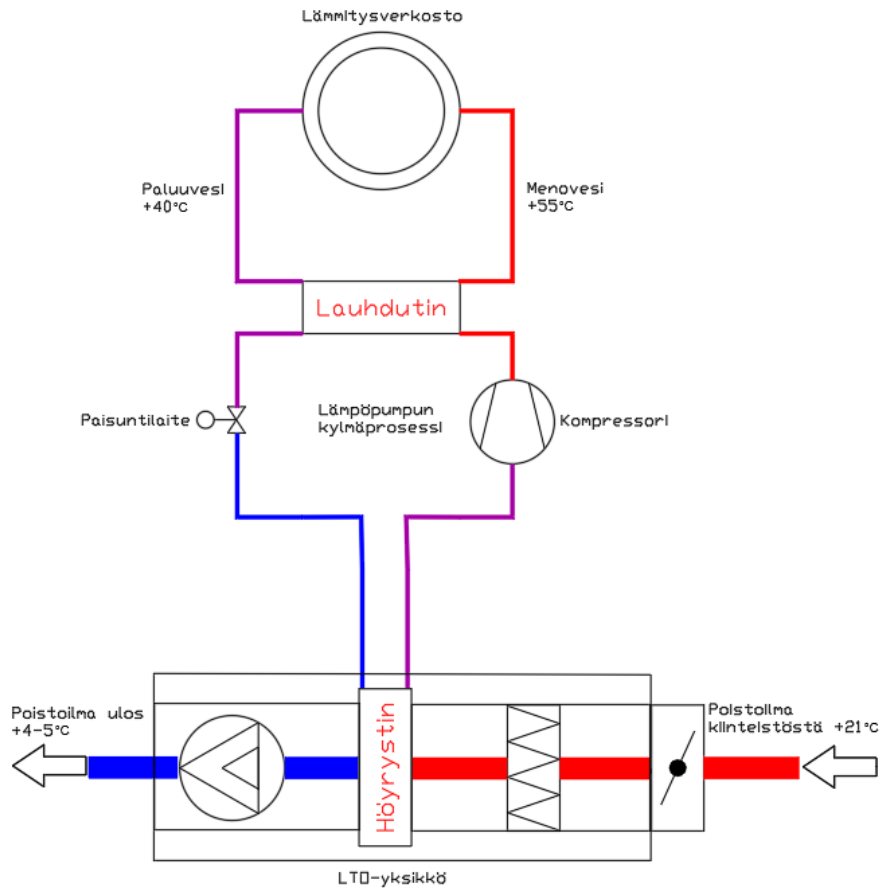
2.7.1 Epäsuorahöyrysteinen LTO

Suomessa toteutetut PILP-järjestelmät ovat suurimmalta osin epäsuorahöyrysteisiä. Epäsuorahöyrysteisessä järjestelmässä poistoilman sisältämä energia otetaan talteen keruupiirin liuokseen lämmönsiirtimen avulla. Lämmennyt keruupiirin lämmönsiirtoneste kuljetetaan keruuputkistoja pitkin lämpöpumpulle, jossa se höyrystää kylmäaineen lämpöpumpun höyrystimellä. Epäsuorahöyrysteinen järjestelmä mahdollistaa helpommin useamman LTO-yksikön käytön, koska kylmäainepiiriä ei tarvitse rakentaa useampaan paikkaan. Epäsuorahöyrysteinen järjestelmä on esitetty tämän työn luvussa 2.3 kuvassa 2.

2.7.2 Suorahöyrysteinen LTO

Suorahöyrysteisissä LTO-yksiköissä kylmäaineprosessi ulottuu lämmöntalteenottoyksikköön asti. Kiinteistön poistoilma kulkee höyrystinpatterin läpi höyrystäen kylmäaineen. Kylmäainepiirin pituuden minimoimiseksi tulisi höyrystimen ja lauhduttimen sijaita mahdollisimman lähellä toisiaan.

Suorahöyrysteisten järjestelmien suurimpina etuina ovat parempi lämpöpumpun hyötysuhde, mahdollinen korkeampi höyrystymislämpötila, suurempi LTO-teho sekä vähemmän komponentteja järjestelmässä. Merkittävimmiksi haitoiksi voidaan mainita herkempi höyrystymispatterin jäätyminen ja vaikeampi PILP-järjestelmän säätäminen. Myös lämmöntalteenotto saattaa olla hankalampaa useasta poistoilmapistestä, jolloin poistoilmapistet kannattaa liittää kokoojalaatikon kautta yhteen LTO-yksikköön. Lisäksi kylmäaineen määrä saattaa nousta yli 3 kg:n, jolloin tarvitaan enemmän huoltoja kylmäkooneikolle.



Kuva 7. Suorahöyrystein poistoilman lämmöntalteenottojärjestelmä.

Kuvassa 7 on esitetty yksinkertainen suorahöyrystein poistoilman LTO-järjestelmä. Höyrystin vieään LTO-yksikölle asti.

2.7.3 Poistoilmankosteuden vaikutus lämmöntalteenottoon

Kiinteistön poistoilma on aina kosteaa. Poistoilman kosteuspitoisuus vaihtelee vuodenaikasta riippuen, ja siihen vaikuttavat myös kiinteistössä olevat vaihtelevat käyttäjistä aiheutuvat kosteuskuormat. Sisäilman suhteellisen kosteuden ja lämpötilan perusteella lasketaan ilman kosteussisältö $\frac{g}{m^3}$. Lisäksi kosteussisältöön lasketaan mukaan sisä- ja ulkoilman kosteussisältöjen erotuksen mukainen kosteuslisä. Kosteuslisä on tyypillisesti asuinhuoneistoissa n. $1 - 3 \frac{g}{m^3}$ ja toimistoissa $< 2 \frac{g}{m^3}$. Huoneilman eli myös poistoilman kosteussisältö voidaan laskea kaavalla 6 [7, s. 62, 106].

$$v_s = v_u + \frac{G}{nV} \quad (6)$$

v_s on sisäilman kosteuspitoisuus $\frac{g}{m^3}$

v_u on ulkoilman kosteuspitoisuus $\frac{g}{m^3}$

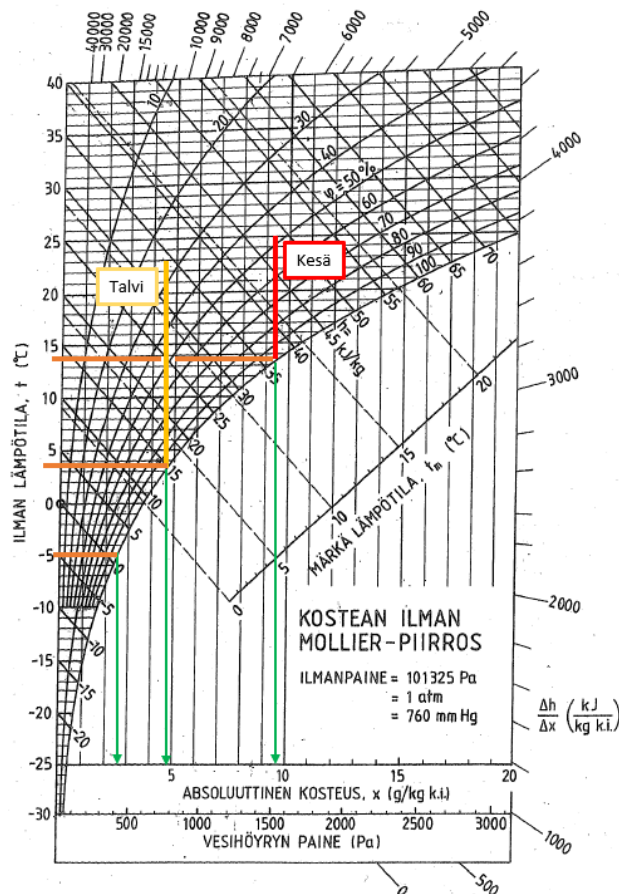
G on sisätilan kosteustuotto $\frac{g}{h}$

n on ilmanvaihtokerroin $\frac{1}{h}$

V on huoneen tilavuus m^3

Sisäilman kosteuspitoisuus vaikuttaa LTO-yksikön lämmönsiirtojen huurtumiseen. Kosteuspitoisuuden suuren vaihtelun takia voidaan käyttää kesän ja talven sisä- ja ulkolämpötilojen-, sekä suhteellisen kosteuden keskiarvoa. Tampereen teknillisen yliopiston ja Teknillisen korkeakoulun tutkimuksessa kerrotaan asuinkerrostalojen kesäajan sisäilman lämpötilan ja suhteellisen kosteuden keskiarvoksi 24,7 °C ja 47 % RH. Talviajan vastaavat keskiarvot olivat 22,9 °C ja 26 % RH [8, s. 52–54].

Kosteuspitoisuuden vaikutusta lämmönsiirtojen huurtumiseen voidaan arvioida kostean ilman h-x-piirroksella, eli Mollier-diagrammilla. Mollier-diagrammista voidaan lukea riittävän tarkat lukemat.



Kuva 8. Kostean ilman h-x-piirros, eli Mollier-diagrammi

Käytettäessä talviaikaisia keskiarvoja ilman lämpötilasta ja suhteellisesta kosteudesta voidaan Mollier-diagrammista huomata, että ilman kastepiste on noin $+3,5$ °C. Lämmönsiirtonesteen lämpötila tulisi siis pitää yli $+3,5$ °C, jolloin kondensoitumista ei teoriassa tapahdu. Kesäajan keskiarvoilla vastaava teoreettinen kondensoimaton tilanne saadaan lämmönsiirtonesteen ollessa yli $+14$ °C. Käytännössä kondensoimatonta tilannetta on hyvin hankala toteuttaa, koska ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus poikkeavat huomattavasti keskiarvosta.

Mikäli höyrystimeltä palaavan lämmönsiirtonesteen lämpötila olisi -5 °C, tapahtuisi lämmönsiirto talvellakin märkälämmönsiirtona. Märkälämmönsiirrossa lämmönsiirtopinnoille alkaa tiivistyä kosteutta. Tiivistynyt kosteus voidaan laskea Mollier-diagrammin absoluuttisen kosteuden viivalle vedettyjen nuolien avulla (kuva 8). Tiivistyneen veden määrää

$\frac{l}{h}$ arvioidaan kaavalla 7.

$$K_1 = \frac{\Delta x \cdot q_{v,i} \cdot \rho_i}{\rho_v} \quad (7)$$

K_1 on tiivistyneen veden määrä $\frac{l}{h}$

Δx on absoluuttisen kosteuden muutos $\frac{kg}{kg}$

$q_{v,i}$ on ilman tilavuusvirta $\frac{m^3}{s}$

ρ_i on ilman tiheys $\frac{kg}{m^3}$

ρ_v on veden tiheys $\frac{kg}{m^3}$

Kuvan 8 perusteella voidaan arvioida absoluuttisen kosteuden arvoksi kastepisteen lämpötilan ollessa -5 °C noin $2,7 \frac{g}{kg}$. Talvella kosteus on $+3,5\text{ °C}$ / $4,7 \frac{g}{kg}$ ja kesällä 14 °C / $9,6 \frac{g}{kg}$. Ilmanvaihdon tilavuusvirta vaikuttaa tiivistyvän veden määrään. Ilman tilavuusvirtana voidaan esimerkissä pitää $0,8 \frac{m^3}{s}$ ja poistoilman tiheyttä $1,2 \frac{kg}{m^3}$. Veden tiheys esimerkissä on 1 000.

jolloin

$$K_{1Talvi} = \frac{\left(4,7 \frac{kg}{kg} - 2,7 \frac{kg}{kg}\right) \cdot 0,8 \frac{m^3}{s} \cdot 1,2 \frac{kg}{m^3}}{1000 \frac{kg}{m^3}} \cdot 3600 = 6,9 \frac{l}{h}$$

$$K_{1Kesä} = \frac{\left(9,6 \frac{kg}{kg} - 2,7 \frac{kg}{kg}\right) \cdot 0,8 \frac{m^3}{s} \cdot 1,2 \frac{kg}{m^3}}{1000 \frac{kg}{m^3}} \cdot 3600 = 23,8 \frac{l}{h}$$

Liuksen mitoituslämpötilat kannattaakin valita niin, että mahdollisimman vähän huurtumista tapahtuu, kuitenkin järjestelmän hyötysuhteen pysyessä hyvänä. Liiallinen liuksen lämpötilan laskeminen aiheuttaa huomattavaa kondensointia ja lämmönsiirtopintojen jäätymistä, joka laskee hyötysuhdetta LTO-patterin sulatuksen takia. LTO-yksikön

lämmönsiirtopintojen sulatus voidaan tehdä esimerkiksi paine-eromittauksilla, joiden mitausten perusteella liuospiirin virtaamaa pystytään hetkellisesti pienentämään. Liuospiirin virtaaman pienentämisellä, saadaan LTO-patteri sulatettua poistoilmalla, eikä erillisiä sulatusvastuksia tarvita. LTO-patterin sulatus voidaan tehdä myös tehostamalla poistoilmavirtaa.

LTO-patterissa kondensoituva vesi johdetaan usein tuuletusviemäriin tai kattokaivoon, jos LTO-yksikkö sijaitsee katolla. Kondenssiputki tulee eristää ja varustaa lämmityskaapelilla jäätymisen ehkäisemiseksi.

2.7.4 Kuiva ja kostea lämmöntalteenotto

Lämmöntalteenottojärjestelmässä puhutaan tuntuvasta (kuiva-) ja latentista (märkälämmönsiirto). Siirtimen pintalämpötilan ollessa ilman kastelämpötilaa korkeampi ei kondensoitumista tapahdu ja puhutaan kuivalämmönsiirrosta. Pintalämpötilan ollessa kastepistelämpötilaa matalampi tapahtuu lämmönsiirto märkänä. Märkälämmönsiirrosta, eli kosteuden tiivistyessä siirtimen pintaan, siirtyy energiaa huomattavasti enemmän.

Talviolosuhteissa halutaan välttää märkälämmönsiirtoa. Siirtimen pintaan tiivistynyt kosteus jäätyy ja se huonontaa lämmöntalteenottoyksikön ja koko järjestelmän hyötysuhdetta.

Kesäolosuhteissa märkälämmönsiirrolla ilmasta on saatavissa huomattavasti enemmän energiaa, kuin kuivalämmönsiirrolla. Kesällä lämmitykselle ei kuitenkaan ole niin paljon tarvetta, joten tehokkaammalla siirtimellä ei välttämättä saada huomattavaa hyötyä vuoden aikajaksolla.

2.7.5 LTO-yksikön mitoitus

Koko poistoilman LTO-järjestelmän mitoitus lähtee liikkeellä LTO-yksikön mitoituksella. LTO-yksikön mitoitus tapahtuu poistoilmamäärien, sekä poistoilman lämpötilan mukaan. Poistoilmamäärät voidaan käydä mittaamassa paikan päällä ja käyttää ajantasaisia pöytäkirjoja, joista ilmamäärät saadaan selville tai käyttää ajantasaisien

ilmanvaihtosuunnitelmien ilmamääriä. LTO-yksikön asennuksen ohessa tulisi huomioida mahdollinen tarve säätää koko kiinteistön ilmamäärät.

Monesti vanhemmissa asuinkerrostaloissa ilmanvaihto on suunniteltu normaaliteholla ja tehostuksella. Tehostettua ilmanvaihtoa käytetään tavallisesti kellokytkimellä 4–8 h/vrk. Mitoituksessa tulee pohtia, käytetäänkö mitoitusperusteena normaalitehoa vai tehostusta. Pääsääntöisesti on järkevämpää mitoittaa LTO-yksikkö normaalitehon mukaan, vaikka tehostusjaksoilla osa lämmöstä meneekin hukkaan ja nostaa lämmityskustannuksia. Toisaalta tehostetun ilmanvaihdon aikana normaaliteholle mitoitettu järjestelmä toimii paremmalla COP-arvolla.

Yksikön mitoittaminen on monesti hyvä jättää laitetoimittajalle, joka mitoittaa LTO-yksikön patterin koon ja liuospiirin lämpötilat sekä virtaamat. Liuospiirin lämpötiloissa tulee huomioida myös patterin huurtuminen ja jäätyminen talviolosuhteissa, jota halutaan välttää. Myös LTO-patterin hyötysuhde vaikuttaa liuospiirin lämpötiloihin ja virtaamiin. LTO-patteri voidaan mitoittaa lämpötilojen sekä entalpiaerojen avulla.

LTO-patterin teho lasketaan entalpiaerojen avulla kaavalla 8

$$\Phi = \rho q_v \Delta h \quad (8)$$

Φ on patterin teho kW

ρ on ilman tiheys $\frac{kg}{m^3}$

q_v on ilman virtaama $\frac{m^3}{s}$

Δh on ilman alku- ja lopputilapisteen entalpiaero $\frac{kJ}{kg}$

Tällöin poistoilman jäähtyessä +4 asteeseen kesä- ja talviajan lämpötilan ja ilmankosteuden keskiarvoista sekä ilmavirran ollessa $1 \frac{m^3}{s}$ saadaan tehoksi

$$\dot{\phi}_{Kesä} = 1,2 \frac{kg}{m^3} \cdot 1 \frac{m^3}{s} \cdot \left(48 \frac{kJ}{kg} - 15 \frac{kJ}{kg} \right) = 39,6 kW$$

$$\dot{\phi}_{Talvi} = 1,2 \frac{kg}{m^3} \cdot 1 \frac{m^3}{s} \cdot \left(34 \frac{kJ}{kg} - 15 \frac{kJ}{kg} \right) = 22,8 kW$$

Mitoittaessa lämpötilaerolla LTO-patterin teho lasketaan kaavalla 9

$$\dot{\phi} = \rho q_v c_p \Delta t \quad (9)$$

Δt on ilman lämpötilaero °C

c_p on ilman ominaislämpökapasiteetti $\frac{kJ}{kgK}$

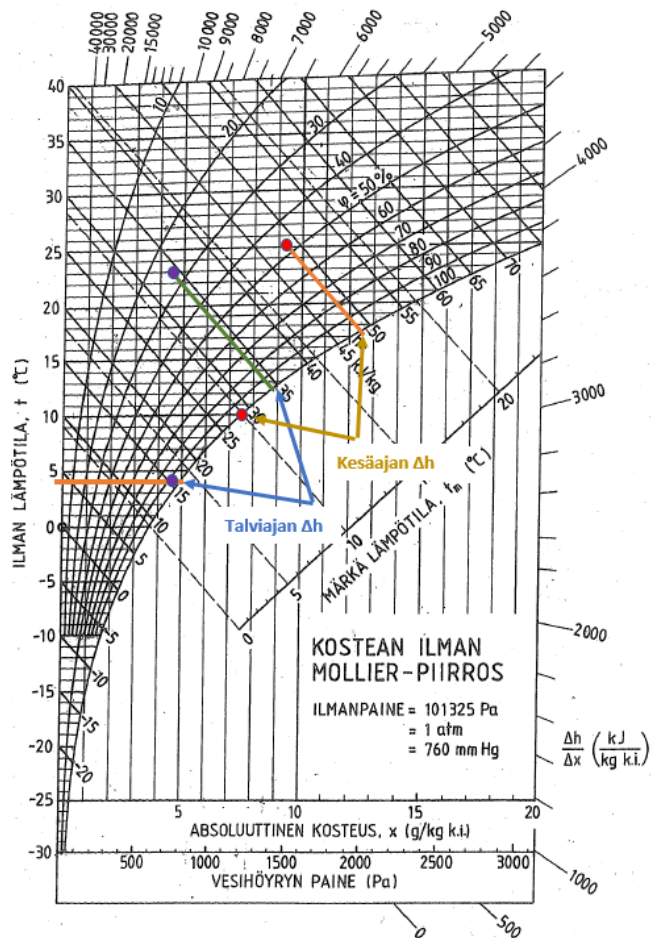
$$\dot{\phi}_{Kesä} = 1,2 \frac{kg}{m^3} \cdot 1 \frac{m^3}{s} \cdot 1 \frac{kJ}{kgK} \cdot (24,7^\circ C - 4^\circ C) = 24,8 kW$$

$$\dot{\phi}_{Talvi} = 1,2 \frac{kg}{m^3} \cdot 1 \frac{m^3}{s} \cdot 1 \frac{kJ}{kgK} \cdot (22,9^\circ C - 4^\circ C) = 22,7 kW$$

Lämpötilaerolla mitoittaessa märkälämmönsiirtoa ei pääsääntöisesti tapahdu, mutta patterin teho jää vajaatehoiseksi, jolloin patteri olisi käytännössä väärin mitoitettu. Väärin mitoitettujen patterien jälkeisen ilmavirran lämpötila saadaan Mollierista entalpiaeron avulla. Entalpiaero voidaan laskea kaavalla 10

$$\Delta h = \frac{\dot{\phi}}{q_v \rho} \quad (10)$$

jolloin patterin kesäajan entalpiaeroksi saadaan $20,7 \frac{kJ}{kg}$ ja talviajan entalpiaeroksi $18,9 \frac{kJ}{kg}$. Sijoittamalla entalpiat Mollier-diagrammiin saadaan LTO-patterin jälkeiset ulospuhalluslämpötilat. Ulospuhalluslämpötilat (kuva 9) ovat kesällä noin $+10^\circ C$ ja talvella päästään haluttuun $+4^\circ C$:seen.



Kuva 9. Kostean ilman h-x-piirros. Väärin mitoitetun LTO-patterin ulospuhalluslämpötilat.

Mollier-piirroksesta sekä esimerkkilaskuista voidaan huomata, ettei mitoitustyyliillä ole talviolosuhteissa merkitystä suhteellisen kosteuden ja lämpötilan ollessa keskiarvon suuruiset. Talviaikana ei saavuteta kastepistettä esimerkkituloissa.

Poistoilman suhteellisen kosteuden (RH) kasvaessa 40 % tapahtuisi märkälämmönsiirtoa. Mitoituksessa on tärkeää miettiä, onko suuremmalle patterimitoitukselle tarvetta. Entalpiaeroilla mitoitettaessa normaalissa asuinkerrostalossa hyöty suuremmalle patterille osuu kesäajalle, jolloin lämmöntarvetta ei juurikaan ole.

2.7.6 LTO-yksikön suodatin

Useasti LTO-yksiköissä käytössä on pussisuodatin. Pussisuodattimen etuna on muuan muassa sen suuri suodatuspinta-ala. LTO-yksikön suodatin suodattaa likaisen

poistoilman ennen lämmöntalteenottoyksikköä. Mikäli suodatinta ei olisi, vaatisi LTO-patteri jatkuvaa puhdistusta sen tukkeutumisen vuoksi. Suodattimen vaihtoväliä seurataan suodattimen yli mitattavalla paine-erolla. Paine-eron kasvaessa tiedetään suodattimen likaantumisasaste. Suodattimen likaantuminen vaikuttaa suoraan energiankulutukseen ja koko järjestelmän hyötysuhteeseen. Suodattimen energiankulutusta voidaan arvioida kaavalla 11 [9, s. 239].

$$E = (q_v \cdot \Delta p \cdot t / \eta) / 1000 \quad (11)$$

E on kasvanut energiankulutus kWh

Δp on kasvanut paine-ero Pa

q_v on ilmavirta suodattimen läpi $\frac{m^3}{s}$

t on ajanjakso h

η on LTO-yksikön puhaltimen kokonaishyötysuhde

Paine-eron kasvaessa 50 Pa sekä ilmavirran ollessa $1 \frac{m^3}{s}$, ajanjakson 7 vuorokautta eli 168 h ja LTO-yksikön puhaltimen kokonaishyötysuhteen 0,5 (50 %) saadaan kasvanneeksi energiankulutukseksi 16,8 kWh. Suodattimen vaihtamisesta ja puhdistuksesta tuleekin huolehtia säännöllisin väliajoin.

2.8 Keruupiiri

Poistoilman lämmöntalteenottojärjestelmä varustetaan erillisellä keruuputkistolla epäsuorahöyrysteisessä järjestelmissä. Keruuputkisto siirtää lämpöenergiaa LTO-yksikön patterin ja lämpöpumpun höyrytimen välillä. Keruuputkisto voidaan asentaa kiinteistön sisätiloihin tai vaihtoehtoisesti kulkemaan kiinteistön ulkoseinällä. Ulkoseinään asennettaessa tulee ottaa selvää paikalliselta rakennusvalvonnalta mahdolliset rajoitteet ja määräykset.

2.8.1 Keruuputkiston lämmönsiirtoneste

LTO-järjestelmän keruuputkistossa kulkee lämmönsiirtoneste, joka siirtää lämpöä höyrystimen ja LTO-patterin välillä. Yleisin ja ominaisuuksiltaan paras lämmönsiirtoneste on vesi, jota ei kuitenkaan voida käyttää kohteissa, joissa keruupiirin käyttölämpötilat ovat alle +3 °C. Lämmönsiirtonesteen valintaan vaikuttaa muun muassa LTO-yksikön sijaintipaikka ja käyttölämpötilat.

LTO-yksikön sijainnin ollessa tilassa, joka ei pääse pakkaselle, tulee lämmönsiirtonesteen silti kestää alle 0 °C:n lämpötiloja. Lämpöpumpun kylmäaineen ja höyrystimen lämpötila voi laskea alle 0 °C:n. LTO-yksikön sijaitessa katolla lämmönsiirtonesteen valinnassa tulee huomioida Suomen talviolosuhteet. Eri valmistajien lämmönsiirtonesteitä ei ikinä tulisi sekoittaa keskenään.

LTO-järjestelmässä käytettävän lämmönsiirtonesteen tulisi täyttää seuraavat ominaisuudet, jotta lämmönsiirto olisi mahdollisimman tehokasta ja taloudellista [10, s. 11]:

- alhainen jäätymispiste, viskositeetti, erottumiskyky ja diffuusiotaipumus
- hyvä lämmönjohtavuus
- korkea ominaislämpökapasiteetti ja pintajännitys
- ei korrosoiva, sisältää järjestelmän vaatimat korroosioinhibiitit
- kemiallisesti stabiili, palamaton, myrkytön, biologisesti hajoava
- edullinen.

Pakkaskestävyyttä vaativissa järjestelmissä on tyypillisesti käytetty eri alkoholien, glykoolien tai suolojen vesiliuoksia. Lämmönsiirtonesteen jäätymispisteen tulee olla 7–10 °C alhaisempi kuin alin käyttölämpötila.

Kylmäliuosten materiaalien syöpymistä tulisikin seurata vähintään joka toinen vuosi. Liuosten materiaalien syöpymistä analysoidaan selvittämällä esimerkiksi sen metalli-ionipitoisuudet. [10, s. 24.]

Betaiini

Betaiini, eli trimetyyliglysiini on ympäristöystävällinen luonnontuote. Betaiinia käytetään myös esimerkiksi lisäaineena ruoassa ja eläinrehussa. Betaiini on erittäin biohajoavaa aerobisissa olosuhteissa. Palamaton. Myydään Suomessa muun muassa tuotemerkillä Thermera [10, s. 14].

Orgaaniset suolaliuokset

Orgaanisten suolaliuoksien heikkoutena on korkean pH:n vuoksi alumiini ja sinkki. Oikeilla korroosioinhibiiteilla voidaan pienentää korroosiota etenkin alumiinin kanssa. Orgaanisia liuoksia on esimerkiksi kaliumformiaatti. Kaliumformiaatti liukenee veteen, on myrkytön ja melkein hajuton. Kaliumformiaattia myydään muun muassa tuotemerkeillä Freezium, Hycool ja Tyfoxit F. Markkinoilla on myös kaliumformiaatin ja kaliumasetaatin yhdistelmä tuotemerkeillä Temper ja Pekasolar 50 [10, s. 18].

Glykoliliuokset

Glykoliliuoksien heikkoutena on mahdollinen hajoaminen ajansaatossa. Glykoliliuoksen hajoamisen seurauksena muodostuu aggressiivisia happoja, jotka syövyttävät metalleja korroosioinhibiiteistä riippumatta. Liuosten hajoamista tapahtuu yleensä vasta korkeissa lämpötiloissa. Glykoliliuoksiin kuuluu etyleeniglykoli ja propyleeniglykoli. Glykoliliuosten kanssa ei suositella kierrelitoksia vuotoherkkyiden vuoksi [10, s. 24].

Etyleeniglykoli on väritön ja hajuton neste, joka liukenee hyvin veteen. LTO-järjestelmissä etyleeniglykoli on hyvin yleisesti käytetty lämmönsiirtoneste. Aine on yli 25 %:n vahvuisena myrkyllistä. Ulkona kulkevassa keruupiirissä tulee seoksen olla yli 30 %:n vahvuista. Palavaa, mutta ei syty helposti. Tuotemerkkejä on esimerkiksi Antifrogen N, Dowcal 10 [10, s. 16].

Propyleeniglykoli on väritön ja hajuton neste, joka liukenee hyvin veteen. Etyleeniglykolista poiketen, propyleeniglykoli ei ole myrkyllistä. Propyleeniglykolissa on huomattavan korkea dynaaminen ja kinemaattinen viskositeetti. Palavaa, mutta ei syty helposti. Tuotemerkkejä ovat esimerkiksi Antifrogen L, Dowcal 20, Tyfocor L [10, s. 16].

Kloridiliuokset

Klorideja sisältävien lämmönkeruunesteiden ongelmana on metallien pistekorrosio, pois lukien titaani. Liuoksen pH:n kanssa tulee olla huolellinen, jotta voidaan estää vaapaata suolahapon muodostumista. Kloridiliuoksia on esimerkiksi kalsiumkloridi, jota myydään tuotemerkillä Brineguard ja Chlorisol [10, s. 17].

Taulukko 3. Lämmönsiirtonesteiden ominaisuuksia –15 °C [10, s. 115–159].

Lämmönsiirtoneste	%	Tiheys ρ kg/m ³	Ominaislämpökapasiteetti kJ/kgK	Lämmönjohtavuus W/mK	Dynaaminen viskositeetti $\text{Pas} \cdot 10^{-3}$	Kinemaattinen viskositeetti $\nu \text{ mm}^2/\text{s}$
Etyylialkoholivesi	24,5	976	4,28	0,413	15,4	15,8
Ammoniakkivesi	10,8	962	4,25	0,465	3,25	3,38
Antifrogen KF-vesi	41	1175	3,19	0,515	3,99	3,4
Etanoliamiiniasettaatti	30	1074	3,34	0,464	11,53	10,73
Freeziumvesi	24	1155	3,32	0,49	3,65	3,16
Etyleeniglykoli-vesi	30,5	1049	3,62	0,43	8,6	8,2
Propyleeniglykoli-vesi	33	1039	3,86	0,404	21	20
Hycool-vesi	20*	1209	2,92	0,49	4,5	4,4
Kalsiumkloridivesi	17,9	1168	3,105	0,525	4,7	4
Peksolar 50-vesi	60	1163	3,508	0,489	5,8	5
Temper-vesi	15*	1121	3,38	0,483	4,37	3,9
Thermera-vesi	35	1074	3,07	0,317	8,88	8,27
Tyfoxit F-vesi	15*	1236	3,16	0,501	4,68	3,79
* = jäätymispiste °C						

Taulukosta 3 voidaan huomata, että lämmönsiirtonesteiden tyypilliset ominaisuudet voivat olla keskenään hyvin erilaiset, vaikka käyttölämpötila pysyy samana. Käyttölämpötilan pysyessä samana vaihtelee liuoksen vahvuus nesteen tyypistä sekä tuotemerkestä riippuen [10, s. 115–155].

Lämmönsiirtoneste vaikuttaa järjestelmän eri metalli-, kumi- ja muovimateriaaleihin. Järjestelmän komponenttien kestävyys tulisi varmistaa käytetyn lämmönsiirtonesteen mukaan. Taulukossa 4 ja liitteessä 1 lämmönsiirtonesteiden sopivuuksia eri metallien ja kumien/muovien kanssa [10, s. 115–155].

Taulukko 4. Lämmönsiirtonesteiden soveltuvuus metallien kanssa [10, s. 115–159].

Lämmönsiirtoneste	Ku- pari	Mes- sinki	Ti- taani	RST/HS T	Alu- miini	Pron- si	Magne- sium	Hiilite- räs	Puname- talli	Valu- rauta
Etyylialkoholi-vesi	x	x		x	x	x		x		x
Ammoniakki-vesi				x	x	x		x		x
Antifrogen KF-vesi	x			x		x				
Etanoliamiiniase- taatti	x			x		x				
Freezium-vesi	x			x		x			x	
Etyleeniglykoli-vesi	x	x		x		x				x
Propyleeniglykoli- vesi	x	x		x		x				x
Hycool-vesi	x			x		x	x			
Kalsiumkloridi-vesi	x		x	x HST		x				x
Peksolar 50-vesi	x			x		x				
Temper-vesi	x			x		x				
Thermera-vesi	x	x		x				x		x
Tyxfit F-vesi	x			x		x				

2.8.2 Keruuputkiston materiaali

Keruuputkiston materiaaliin vaikuttavat keruupiirissä käytettävän liuoksen ominaisuudet. Pääsääntöisesti kaikki talotekniikan yleisimmät materiaalit soveltuvat keruuputkiston materiaaliksi. Valmistajien taulukoiden perusteella suuremmat ongelmat ovat puristettavien liitosten tiivisteiden kanssa, joihin tulee kiinnittää erityistä huomiota [10, s. 29]. Myös kierrelitokset ovat etenkin glykolipohjaisten lämmönsiirtonesteiden kanssa vuotoherkkiä.

Materiaalin valinnassa myös kustannustehokkuus sekä eri putkijärjestelmien painehäviöt tulee ottaa huomioon. Putkimateriaaleissa on eri seinämävahvuuksia, jolloin putken kooka saatetaan joutua kasvattamaan liian suuren painehäviön välttämiseksi. Ahtaiden tilojen vuoksi putken koon kasvattaminen ei välttämättä aina voi tulla kyseeseen. Putkiston painehäviöön vaikuttaa myös käytettävä keruupiirin lämmönsiirtoneste.

Putkistoa suunnitellessa tulee tiedostaa mahdollinen tarve happidiffusiosuojalle, jota ei kaikissa materiaaleissa ole. Huoneenlämpötilassa vesiliuoksiin liukenee noin 8 mg/kg happea. Hapen liukoisuus pienenee lämpötilan tai suolapitoisuuden kasvaessa.

[10, s. 22.] Kierreosia tiivistäessä tulee huomioida lämmönsiirtonesteen rajoitteet käyttää tiettyjä tiivistysmenetelmiä.

Kupari

Kupari on yleisimpiä talotekniikassa käytettäviä materiaaleja. Kupariputken hyviä puolia on muun muassa hyvä lämmönjohtavuus, hyvä korroosionkesto ja helppo työstettävyys. LTO-järjestelmissä kupariputken liitännässä voidaan käyttää juotosmenetelmää tai puristusliitoksia. Kupariputkissa virtausnopeus ei saa ylittää yli 2 m/s eroosikorroosion lisääntymisen takia. Kupariputken heikkouksina voidaan pitää korkeahkoa hintaa ja painoa.

Kuparin juottamisessa tärkeää on huomioida lämmönsiirtonesteen rajoitukset juottamiselle. Pääasiassa yleisesti käytetty kuparin kovajuotos-menetelmä sopii lämmönsiirtonesteiden kanssa. Kovajuotos luetaan tulitöihin, joten saneerauskohteissa menetelmän käyttö ei välttämättä ole paloturvallista. [10, s. 69.]

Puristusliitoksien tiivisteiden kestävyys tulee varmistaa käytettävän lämmönsiirtonesteen kanssa. Geberitin Mapress-järjestelmässä vakiona ovat CIIR tiivisteet, mutta ne on mahdollista vaihtaa myös EPDM-, FKM- ja HNBR-tiivisteisiin [11]. Eri kumien ja muovien soveltuvuus lämmönsiirtonesteiden kanssa esitetty liitteessä 1.

Kuparin jalouden vuoksi se ei syövy liuoksissa, joissa ei ole happea. Liian suuret määrät happea tai hapettavia aineita nopeuttavat sen korroosiota, mutta pieni määrä saattaa edesauttaa pinnalle muodostuvan suojakerroksen muodostumista. [10, s. 22.]

Teräs

Teräs on yksi käytetyimmistä materiaaleista lämmitysjärjestelmissä. Teräksen ehdottomana etuna on sen lujuus, hinta sekä helppo työstettävyys. Teräsputkia voidaan liittää toisiinsa hitsaamalla tai kierreliitoksin. Koska alle 0 °C:n lämpötiloissa teräsputkien tulee olla laadultaan tiivistettyä terästä, tämä vaatimus pätee myös lämmöntalteenottojärjestelmiin. Teräsputkien huonoina puolina on sen huono korroosionkesto sekä paino.

Hitsauksessa tulee huomioida tulityöt ja kierreliitoksissa tiivisteiden soveltuvuus lämmönsiirtonesteelle. Teräsputkien seinämät ovat yleensä suhteellisen paksuja. [10, s. 29.]

Hiiliteräsputkistot kestävät, jos järjestelmään ei pääse happea tai happipitoista vettä. Tästä syystä tulee varmistaa, että kaikki järjestelmän osat ovat happidiffuusiosuojattuja. Happi kuluu korroosioreaktioihin nopeasti ja ilmenee magneettiina. [10, s. 22.]

Sähkösinkitty hiiliteräs

Sähkösinkityn hiiliteräksen etuina ovat sen ohutseinämäisyys, hyvä lämmönluovutuskyky, helppo asennettavuus sekä taloudellisuus. Järjestelmän liitokset tehdään puristusliittimin, kuten kuparissakin, mutta on huomattavasti edullisempaa. Puristusliittimet toimitetaan CIIR-tiivisteillä, mutta saatavilla on myös FKM-tiivisteitä. Tiivisteiden soveltuvuus tulee huomioida lämmönsiirtonesteen kanssa [10, s. 24, 90].

Keruupiirissä oleva happi (yli $0,1 \text{ g/m}^3$) kasvattaa putken korroosiovaaraa [12, s. 52]. Ulkotiloihin asennettaessa ulkoisen korroosion välttämiseksi, kyseeseen voi tulla saman järjestelmän muovipinnoitettu tai ruostumattomasta teräksestä valmistettu putki. Sinkkerros suojaa vain lyhytkestoiselta kosteusvaikutukselta, joka ei käytännössä ulkotiloissa ole mahdollista edes eristyksen tiiviydellä.

Komposiitti, eli monikerrosputki

Komposiittiputket koostuvat kahden tai useamman materiaalin yhdistelmästä. Komposiittiputken tyyppinen rakenne on muovi-alumiini-muovi. Alumiinikerroksen ansiosta putki saavuttaa happidiffuusiosuojan sekä paremman paineenkeston. Uponor-komposiittijärjestelmässä hyväksyttäviksi lämmönsiirtonesteiksi ilmoitetaan Freezium ja Thermanera. Vesi-glykoliliuoksissa liuoksen vahvuudeksi ilmoitetaan 25–80 % liittimien korroosion välttämiseksi. [13, s. 9.]

Komposiittiputkien etuina sen kevyt paino, nopea asennettavuus ja kestävyys. Huonoina puolina putkien ja liittimien hinta, palosuojaus, voimakas lämpölaajeneminen, sekä mahdollinen soveltuvuus muiden lämmönsiirtonesteiden kanssa. Komposiittiputkien seinämävahvuus on yksi paksuimmista.

PE

PE, eli polyeteeniputket ovat yksi parhaimmista vaihtoehdoista LTO-järjestelmän keruupiiriin. Liitokset tehdään pääasiassa sähköhitsaamalla ja kyseisellä menetelmällä saavutetaan sama kestävyys, kuin itse putkimateriaalilla. Polyeteeniputket eivät usein sisällä suojaa happea vastaan, joten se tulee ottaa suunnittelussa huomioon.

Hyvä kemiallinen kestävyys, alhainen kitkakerroin, edullinen hinta ja helppo käsiteltävyys ovat PE-putken etuina. Huonoja puolia ovat lämpötilojen ja paineen kestävyys, lämpölaajeneminen ja palaminen [10, s. 32–33].

2.8.3 Keruuputkien mitoitus

Kiinteistön PILP-järjestelmän keruuputkisto mitoitetaan siten, että putkiston painehäviö ei ole liian suuri ja lämpöpumpun höyrystimen läpi on riittävä virtaama. Poistoilman lämmöntalteenottojärjestelmän keruuputket voidaan ajatella niin, että lämpöpumpun höyrystimellä jäähdytetään keruuliuosta, jolla edelleen poistoilmaa. Keruuputkien mitoitus voidaankin pääsääntöisesti tehdä, kuten jäähdytysputkistojen mitoitus yleensä. Keruuputkiston lämpötilat, jotka LTO-yksikön toimittaja yleensä ilmoittaa, tarvitaan myös keruuputkiston mitoitukseen. Putkiston mitoitus aloitetaan laskemalla tilavuusvirta kaavalla 12.

$$q_v = \frac{\emptyset}{(\rho \cdot 1000)c_p \Delta t} \quad (12)$$

q_v tilavuusvirta $\frac{l}{s}$

\emptyset on LTO-patterin teho kW

ρ on keruuliuoksen tiheys $\frac{kg}{m^3}$

c_p on keruuliuoksen ominaislämpökapasiteetti $\frac{kJ}{kg}$

Δt on keruuliuoksen mitoituslämpötilojen ero $^{\circ}C$

1 000 on yksikönmuunnos $m^3 \rightarrow dm^3$

Mitoitustilanteessa keruuliuksen mitoituslämpötilojen ollessa +1/+6 °C, käytettäessä etyleeniglykoli-vesiseosta 30,5 p-% ja LTO-patterin teholla 23 kW saadaan tilavuusvirraksi $1,21 \frac{l}{s}$.

Keruupiirissä kohtuullisena pidettävä painehäviö on $50\text{--}150 \frac{Pa}{m}$ ja virtausnopeus $0,5\text{--}1 \frac{m}{s}$ [14]. Putkikoko voidaan määrittää putkimateriaalin mitoituskäyrästä avulla, jolloin ongelmana on, että ne ovat yleensä vain vedelle suunnattuja. Putkikoko voidaan myös vaihtoehtoisesti laskea määrittämällä virtausnopeus. Virtausnopeuden määrittämiseksi valitaan putkeksi Uponorin komposiittiputki 63x6, jolloin sisämitta on 51 mm eli 0,051 m. Putken virtauspoikkipinta-ala lasketaan kaavalla 13.

$$A = \frac{\pi \cdot d_s^2}{4} \quad (13)$$

A on virtauspoikkipinta-ala m^2

d^s on putken sisähalkaisija m

Tällöin putken virtauspoikkipinta-ala on $0,00204 m^2$. Tämän jälkeen lasketaan virtausnopeus kaavalla 14

$$v = \frac{q_v}{A} \quad (14)$$

v on virtausnopeus m/s

Esimerkin virtausnopeudeksi tulee $0,59 \frac{m}{s}$, jolloin putken koko olisi virtausnopeuden mitoituskriteerin $0,5\text{--}1 \frac{m}{s}$ mukaan hyvä. Virtausnopeuden lisäksi lasketaan painehäviö metriä kohden, koska keruupiirin liuoksien tiheydet, ja viskositeetit ovat erilaisia. Etyleeniglykolin tiheys ja kinemaattinen viskositeetti nähdään taulukosta 3, joiden avulla voidaan laskea Reynoldsin luku kaavalla 15.

$$Re = \frac{v \cdot d_s}{\nu} = 3684 \quad (15)$$

ν on kinemaattinen viskositeetti mm^2/s

Kyseessä on laminaarinen virtaus, kun $Re \leq 2000$, siirtymäalueella kun $2000 \leq Re \leq 4000$, ja turbulenttista, kun $Re \geq 4000$. Laminaarinen virtaus on kuitenkin harvinaista käytännössä. Reynoldsin luku vaikuttaa kitkavastuskertoimen laskentaan. Laminaarisen virtauksen kitkavastuskerroin lasketaan kaavalla 16.

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (16)$$

λ on kitkavastuskerroin

Turbulenttisen virtauksen kitkavastuskertoimen laskenta on hieman hankalampaa. Kitkavastuskerroin voidaan laskea Colebrookin yhtälöstä Excelin tavoitteen haku -toiminnolla. Excelin tavoitteen haussa etsitään kaavalle 17 tulosta 0 muuttamalla kitkavastuskerrointa.

$$0 = \frac{1}{\sqrt{\lambda}} + 2 * \lg \left[\frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} + \frac{k/d_s}{3,71} \right] \quad (17)$$

k on putken karheus. Uponor komposiitti 0,0004.

Kitkavastuskertoimen laskenta turbulenttisissa putkivirtauksissa on melko työlästä, joten vaihtoehtoisesti kitkavastuskerroin voitaisiin lukea Moodyn piirrokselta Reynoldsin luvun ja suhteellisen karheuden $\frac{k}{d_s}$ avulla. Moodyn piirros on esitetty liitteessä 3. Kitkavastuskertoimen laskennan jälkeen lasketaan dynaaminen paine kaavalla 18.

$$p_d = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \quad (18)$$

p_d on dynaaminen paine

Dynaamisen paineen jälkeen voidaan laskea painehäviö putkimetriä kohden kaavalla 19.

$$R = \frac{\lambda}{d_s} \cdot p_d \quad (19)$$

R on putken kitkavastusten aiheuttama painehäviö putkimetriä kohti Pa/m

Tällöin esimerkin mukainen painehäviö Reynoldsin luvun ollessa siirtymäalueella olisi turbulenttisella virtauksella laskettuna $148 Pa/m$ ja laminaarisella virtauksella $63 Pa/m$. Taulukkoon 5 on laskettu kolmelle eri lämmönsiirtonesteelle turbulenttiset ja laminaariset painehäviöt putkimetriä kohden, kolmella eri komposiittiputkikoolla. Vertailun vuoksi painehäviöt on laskettu myös vedelle 0 °C :n lämpötilassa, jolla kinemaattinen viskositeetti on huomattavasti alhaisempi.

Taulukko 5. Putken painehäviölaskelmat eri lämmönsiirtonesteillä jäätymispiste -15 °C .

Lämmönsiirtoneste -15 °C	q_v m ³ /s	d_u m	d_s m	k mm	v m/s	n m ² /s	r kg/m ³	p_d Pa	Re	Turbulenttinen			Laminaarinen	
										l	R	Goal	l	R
											Pa/m	Seek=0		Pa/m
Etyleeniglykoli-vesi 30,5p-%	0,0012 1	75	60	0,000 4	0,4 3	8,20E- 06	1049	96	3131	0,04 3	69	0,00	0,020	33
	0,0012 1	63	51	0,000 4	0,5 9	8,20E- 06	1049	18 4	3684	0,04 1	148	0,00	0,017	63
	0,0012 1	50	41	0,000 4	0,9 2	8,20E- 06	1049	44 1	4582	0,03 8	412	0,00	0,014	150
Propyleeniglykoli-vesi 33%	0,0012 1	75	60	0,000 4	0,4 3	2,00E- 05	1039	95	1284	0,05 7	91	0,00	0,050	79
	0,0012 1	63	51	0,000 4	0,5 9	2,00E- 05	1039	18 2	1510	0,05 4	194	0,00	0,042	151
	0,0012 1	50	41	0,000 4	0,9 2	2,00E- 05	1039	43 6	1879	0,05 0	537	0,00	0,034	363
Freezium- vesi 24%	0,0012 1	75	60	0,000 4	0,4 3	3,16E- 06	1155	10 6	8126	0,03 3	58	0,00	0,008	14
	0,0012 1	63	51	0,000 4	0,5 9	3,16E- 06	1155	20 3	9560	0,03 1	124	0,00	0,007	27
	0,0012 1	50	41	0,000 4	0,9 2	3,16E- 06	1155	48 5	1189 1	0,03 0	349	0,00	0,005	64
Vesi 0°C	0,0012 1	75	60	0,000 4	0,4 3	1,76E- 06	1000	92	1459 7	0,02 8	43	0,00	0,004	7

2.8.4 Keruuputkiston eristys

LTO-järjestelmän keruuputkiston eristys on syytä suunnitella ja toteuttaa huolella. Keruuputkiston käyttölämpötilan ollessa alle ympäröivän ilman kastepisteen, tapahtuu putken pinnalla kondensoitumista [10, s. 77]. Myös liian vähäinen eristys voi johtaa

huurteeseen putken pinnalla, joka tiivistyy kosteudeksi ja pahimmassa tapauksessa voi valua rakenteisiin ja kastella eristeet. Putken pintaan kondensoitunut vesi aiheuttaa myös korroosiota putken ulkopinnalla. Eristeen läpikastuminen voi nostaa lämmönjoh- tavuuden 20–30-kertaiseksi kuivaan eristeeseen verrattuna [15, s. 155]. Kosteuden tun- keutuminen eristeen sisään estetään tekemällä eristys täysin höyrytiiviisti. Lausuntokier- roksella olevassa kiinteistöjen poistoilmalämpöpumppuja käsittelevässä RT 103316 - kortissa mainitaan, että putkisto eristetään siten, ettei veden tiivistymistä putken pinnalle pääse tapahtumaan.

Yleisin eristysmateriaali LTO-järjestelmissä on solukumi- ja polyuretaanieristeet. Solu- kumilla saadaan helposti aikaan höyrytiivis eristys sen rakenteen vuoksi eikä vettymistä tapahdu kuten villassa. Ohjekortissa LVI 50-10345 on ilmoitettu lämmöntalteenottojär- jestelmien eristysmateriaaliksi 19 mm solukumi [16], mutta ulkona kulkevaan putkistoon eristys ei välttämättä riitä. Villakourulla eristäessä tulee huolehtia, että saumat ovat huo- lallisesti höyrytiiviksi teipattuja.

LTO-järjestelmissä tulee eristää putkien lisäksi myös muut putkivarusteet, ja niissä on käytettävä samaa eristysvahvuutta kuin itse putkistossakin. Ulkona kulkevissa putkissa pitää lisäksi huomioida UV-säteily, ulkoiset vauriot, lumi ja muu kosteus sekä kokonais- taloudellisuus. Ulkotiloissa eristeen päälle olisikin hyvä asentaa metallipäällyste.

Eristysvahvuutta ei taloudellisuuden vuoksi kannata kasvattaa loputtomiin. Eristystä etenkin ulkotiloissa suunnitellessa pitää miettiä lämpöhäviöissä häviöyntyneen energian sekä eristeen hinnan ja asennuskustannusten suhdetta. Huomioon tulee ottaa myös mahdol- linen ei toivottu keruupiirin pumpun pysähdys laiterikon tai sähkökatkon takia, jolloin ke- ruuputkiston neste voi jäätyä ilman ollessa pakkasella. Eristyksellä voidaan huomatta- vasti pidentää jäätyneen alkamisaikaa.

Solumuovi- ja polyuretaanieristeitä käytetään etenkin maan alla menevissä valmiiksi eristetyissä kanaaliputkissa. Kanaaliputket tulevat kyseeseen, kun monen rakennuksen LTO-yksiköiden talteen ottama energia johdetaan rakennusten yhteiseen tekniseen ti- laan.

Taulukko 6. LTO-järjestelmissä käytettävien eristeiden ominaisuuksia +10 °C:n lämpötiloissa [15, s. 155].

Eriste	Tiheys kg/m^3	Lämmönjohtavuus λ W/mK	Alin suositeltu käyttölämpötila °C
Kivivillakouru	25–200	0,033	-200
Polyuretaani	30–50	0,04	-160
Solukumi	50–100	0,04	-40
Solumuovi	20–200	0,035–0,04	-50

Lämmönkeruupiirien eristyksissä yleisimmin käytettyjen eristeiden lämmönjohtavuus on melkein sama, kuten taulukosta 6 voi huomata. Kivivillakourulla eristysvahvuutta on helpompaa lisätä kuin solukumilla. Solukumilla taas höyrytiivys on helpompaa saavuttaa.

Keruuputkiston eristeen pintalämpötila on syytä huomioida mitoittaessa kondenssieristystä. Mitoittamisessa lasketaan ympäristön kastelämpötila ja seuraavaksi eristepaksuus asettamalla kastelämpötila eristeen ulkopinnan lämpötilaksi. Kastelämpötila voidaan myös määrittellä Mollier-diagrammilla, kuten kuvassa 8. Eristeen ulkopinnan lämpötilaan vaikuttaa huomattavasti jo pienikin eristys [17].

Taulukko 7. Keruupiirin eristys ulko-olosuhteissa

<i>Komposiittiputki 63mm, $q_v = 1,21 \frac{l}{s}$, $T_{ulko} = -26^\circ C$, $T_{liuos,keskilämpötila} = 3,5^\circ C$,</i>					
Etyleeniglykoli-vesi -15 °C	Eristevahvuus	Lämpöhäviöteho	Keruuliuksen jäähtymä	Jäätymisen alkamishetkeen	Eristeen pinnan lämpötila
	mm	W/m	°C/m	h	°C
Eristämättömän putki	0	48,1	0,0105	1,7	-1,7
Kivivillakouru λ 0,035 W/mK	20	11,1	0,0024	7,3	-22,6
	40	7,3	0,0016	11,2	-24,4
	60	5,7	0,0013	14,2	-25
	80	4,9	0,0011	16,6	-25,3
Solukumi λ 0,040 W/mK	19	12,8	0,0028	6,4	-22

Taulukkoon 7 on laskettu eristeen vaikutuksia lämpöhäviöihin, keruuliuksen jäähtymään metriä kohden, eristeen pintalämpötila sekä aika jäätymisen alkamishetkeen virtauksen pysähtyessä. Laskelmat on esitetty liitteessä 4. Laskelmissa ei ole huomioitu

tuulen vaikutusta, eikä erillistä eristeen metalli- tai muovipäällystettä. Virtauksen las-
kiessa kasvaa lämpöhäviöt huomattavasti.

Taulukko 8. Keruupiirin eristys sisätiloissa

<i>Komposiittiputki 63mm, $q_v = 1,21 \frac{l}{s}$, $T_{sisä} = 22^\circ C$, $T_{liuos,keskilämpötila} = 3,5^\circ C$,</i>				
Etyleeniglykoli- vesi -15°C	Eristevahvuus	Jäähdytysteho sisätilaan	Keruuliuksen lämpenemä	Eristeen pinnan läm- pötila
	mm	W/m	°C/m	°C
Eristämätön putki	0	30,2	0,0066	6,8
Kivivillakouru $\lambda 0,035W/mK$	20	7	0,0015	19,8
Selukumi $\lambda 0,040W/mK$	19	8	0,0018	19,5

Taulukossa 8 on esitetty keruupiirin liuoksen lämpenemä ja siitä kohdistuva jäähdytys-
teho putkesta sisätiloihin. Kuvan 8 Mollier-diagrammista saadaan kesäajan keskiarvon
kastelämpötilaksi noin 14 astetta, jolloin eristämätön putki huurtuu pinnan lämpötilan ol-
lessa 6 astetta. Lisäämällä 19 mm solukumia eristeen pintalämpötila kasvaa yli kaste-
lämpötilan, jolloin kondensiota ei tapahdu.

3 PILP-järjestelmän kytkentä

Poistoilmalämpöpumppujärjestelmä on mahdollista liittää moneen erilaiseen kiinteis-
töön. Poistoilman LTO-järjestelmä ei kuitenkaan yksinään riitä kattamaan koko kiinteis-
tön tehontarvetta, vaan rinnalla täytyy olla myös päätoiminen lämmitysjärjestelmä. Ylei-
sin kytkentävariaatio on PILP kaukolämmön rinnalla, jossa lämpöpumpulla tuotetaan
lämpöä niin paljon kuin mahdollista. Myös poistoilman lämmöntalteenotto maalämmön
rinnalla on suhteellisen yleinen. Maalämpö tulee kyseeseen etenkin, kun kiinteistössä
ollaan luopumassa vanhasta lämmitystavasta kokonaan, esimerkiksi öljystä.

Kytkentätapoja eri lämmitysjärjestelmien kanssa on monia. Kytkennässä tärkeintä on
saada mahdollisimman suuri hyöty talteen otetusta energiasta tietyn rajoittein. Maaläm-
mön ja poistoilman lämmöntalteenoton yhdistelmä on mahdollinen myös kaukolämpö-
kiinteistöihin hybridikytkentänä.

3.1 PILP kaukolämmön rinnalla

Poistoilman LTO-järjestelmän yleisin kytkentätapa on kytkentä kaukolämmön rinnalle. Kiinteistön lämmitystehontarve pyritään ensisijaisesti kattamaan poistoilmasta talteen otetulla energialla. Koska talteen otettu energia ei yksistään aina riitä, lisälämmöntarve otetaan kaukolämmöstä. Järjestelmän suunnittelussa pyritään aina mahdollisimman suureen kaukolämmön paluuveden jäähtymään. Rinnakkaislämmönlähde ei saa nostaa paluuveden lämpötilaa.

Kytchentätapa vaikuttaa erittäin paljon PILP-järjestelmän tehokkuuteen ja sitä kautta kannattavuuteen. Koska kytkentätapaa rajoittaa kaukolämmön paluuveden jäähtymän vaatimus, ei lämpöpumpulla tuotettua lämmitettyä vettä voida lämmittää suoralla kytkennällä kaukolämmönsiirtimeen. Kaukolämmön lämmönsiirtimeet tulee mitoittaa täydelle teholle. Osateholle mitoitettu lämmönsiirrin nostaisi kaukolämmön paluulämpötilaa [18, s. 5].

Rinnakkaislämmönlähteen suunnittelussa tulee harkita, jätetäänkö vanha kaukolämmön alajakokeskus paikalleen ja tehdään tarvittavat muutokset, vai uusitaanko alajakokeskus kokonaan. Alajakokeskuksen uusiminen tulee kyseeseen esimerkiksi keskuksen ikäännyttymisen vuoksi tai jos kiinteistöön on tarkoitus lisätä myös matalalämpöverkosto, esimerkiksi kylpyhuoneiden lattialämmitykselle. Alajakokeskus kannattaa uusia ainakin, kun se on yli 10 vuotta vanha.

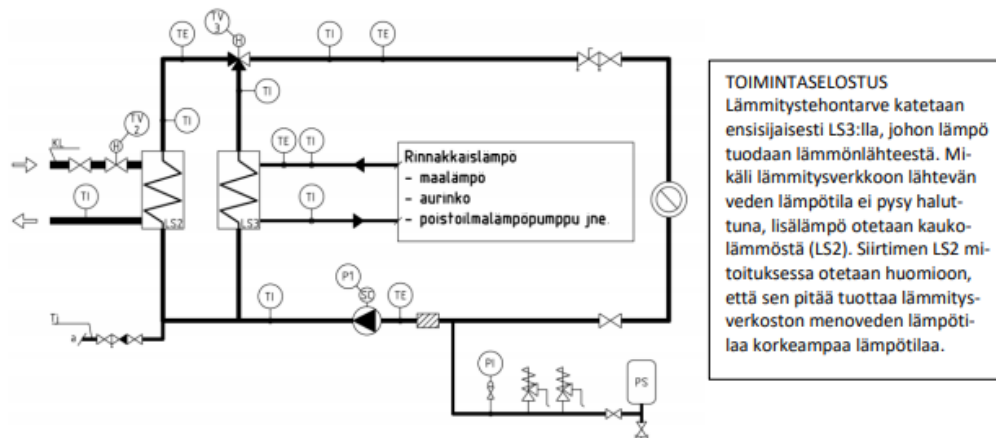
Suunnittelussa huomioitavaa on, että käyttöveden lämpötilan tulee olla yli 55 °C [19]. Käyttöveden kytkennät mitoitetaan ja suunnitellaan siten, että käyttöveden lämpötila on mitoitusvirtaamalla vähintään 58 °C [20, s. 9]. Rinnakkaislämmönlähteiden kytkentää kaukolämmön rinnalle ohjaa energiateollisuuden laatima K1.

3.1.1 Rinnan- ja sarjaankytkentä

Energiateollisuuden laatimissa määräyksissä ja ohjeissa rinnakkaislämmön kytkennälle on ohjeet sekä rinnan- että sarjaankytkentäperiaatteille.

Rinnankytkentä

Rinnankytkennän peruseriaatteena on, että kytkennällä ei tarpeettomasti heikennetä kaukolämpöveden jäähtymää tai lämmityksen toimintavarmuutta [20, s. 85]. Rinnakkaislämmönlähteellä ei lämmitetä toisiopuolen kaukolämmönsiirtimelle menevää paluuvettä, jolloin se ei vaikuta kaukolämmönveden jäähtymään.



Kuva 10. K1:n esimerkki rinnankytkennästä [20, s. 92].

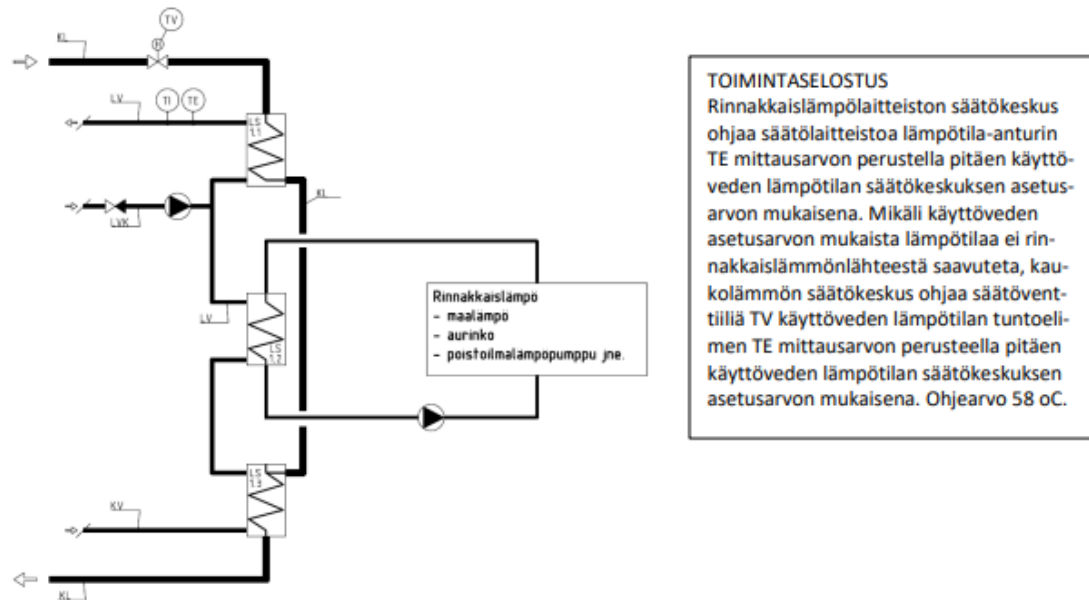
Kuvassa 10 on Energiategollisuus ry:n julkaiseman K1:n [20] mukainen esimerkkikytkentä rinnankytkennästä rinnakkaislämmönlähteelle. Rinnankytkennässä järjestelmä pystyy toimimaan täysin lämpöpumpulla tuotetulla energialla, mikäli kiinteistön lämmitystehontarve ei ole suuri. Tällöin 3-tiesäätöventtiili ohjaa toisiopuolen paluuv veden kulkemaan vain rinnakkaislämmönsiirtimen kautta. Tehontarpeen kasvaessa 3-tiesäätöventtiili ohjaa veden kulkemaan myös kaukolämmönsiirtimen kautta sellaisella suhteella, jolla saavutetaan haluttu verkoston menoveden lämpötila.

Rinnankytkennän sekoituksen käyttäminen ei välttämättä ehdi käyttövesipuolella reagoimaan lämpötilojen vaihteluihin tarpeeksi nopeasti, jolloin kyseeseen saattaa tulla sarjaankytkentä.

Sarjaankytkentä

Kuten rinnankytkennässä, myös sarjaankytkennän peruseriaatteena on, ettei kaukolämmön paluuv veden jäähtymää tarpeettomasti heikennetä. Sarjaankytkentää käytetään

etenkin käyttöveden lämmitykseen. Mikäli kaukolämmön alajakokeskusta ei ole järkevää uusaa rinnakkaislämmönlähteen asentamisen yhteydessä, ei sarjaankytkentä välttämättä ole järkevää. Sarjaankytkennässä rinnakkaislämmönlähde kytketään kahden kaukolämmönsiirtimen väliin (kuva 11).



Kuva 11. K1:n esimerkki sarjaankytkennästä [20, s. 92].

Sarjaankytkennässä kaukolämmön jäähtynyt paluuvesi lämmittää kiinteistön kylmää vettä kaukolämmön paluuveden jäähtymän takaamiseksi. Kaukolämmön paluuvedellä esilämmitetty kylmävesi syötetään rinnakkaislämmönlähteeseen, jonka jälkeen lämmin kiertovesi kytketään käyttövesiputkeen. Rinnakkaislämmönlähteellä lämmitetyn veden ja lämpimän kiertoveden sekoitus syötetään edelleen toiseen kaukolämmönsiirtimeen, johon syötetään kaukolämmön menovettä. Siirrin lämmittää veden haluttuun lämpötilaan, josta se syötetään kiinteistön lämpimän käyttöveden verkostoon.

Vaikka sarjaankytkennässä pyritään saamaan kaukolämmön jäähtymä pidettyä mahdollisimman suurena, on paluulämpötila kasvanut kaikissa tapauksissa VTT:n tutkimuksessa [18, s. 26].

3.1.2 Kaukolämmönsiirtimet ja säätöventtiilit

Kaukolämmönsiirtimet tulisi mitoittaa tai olla mitoitettu täydelle teholle. Osateholle mitoitettut siirtimet nostavat kaukolämmönpaluuveden lämpötilaa. Lämmönsiirtimien mitoitusta ohjaa Energiategollisuuden K1 julkaisu [20].

Käyttövedenlämmönsiirrin tai siirtimet mitoitetaan lämpimän käyttöveden mukaiselle täydelle teholle. Sarjaankytketyt siirtimet mitoitetaan esimerkiksi tehojen suhteessa kaukolämmön menopuolella oleva siirrin n. 60–65 %:n teholle ja kylmän veden esilämmityksessä oleva siirrin n. 35–40 %:n teholle [21]. Mitoittamisessa on kuitenkin alue- ja energiayhtiöiden välisiä eroja, ja tämä tulee aina varmistaa.

Mikäli kohteeseen jätetään vanha kaukolämmön alajakokeskus, tulee suunnittelijan varmistaa myös nykyisten lämmönsiirtimien soveltuvuus uudelle mitoitukselle. On hyvä myös pohtia, onko lämpöpumpulla järkevää lämmittää kovimmilla pakkasilla. Sekoitettaessa lämpöpumpulla tuotettua 45–55 °C:n lämpöistä vettä ja kaukolämmönsiirtimellä tuotettua vettä, voidaan joutua tuottamaan vettä korkeammalla lämpötilalla kuin vanhassa mitoitustilanteessa.

Vanhan alajakokeskuksen soveltuvuutta voidaan arvioida esimerkinomaisesti seuraavilla lähtötiedoilla:

- Lämmitysverkoston ja vanhan siirtimen teho 230 kW
- Lämmönsiirtimen asteisuus 3 °C
- Kaukolämpöverkoston mitoitustilapötilat 115/63 °C
- Lämmitysverkoston mitoitustilapötilat 80/60 °C
- Lämpöpumpun mitoitustilapötilat 45/35 °C
- Lämpöpumpun teho lämmitysjärjestelmään 40 kW.

Tällöin voidaan laskea virtaamat lämmitysjärjestelmälle, lämpöpumpulle ja lämmönsiirtimelle kaavalla 20 käyttämällä lämmönsiirtimen toisiopuolen mitoitustilapötilaeroa. Oletuksena, että lämpöpumpulla lämmitetään koko 40 kW:n edestä.

$$\frac{\dot{Q}}{\Delta t \cdot c_p \cdot \rho} \quad (20)$$

Tällöin lämmitysjärjestelmän virtaama on $2,75 \frac{l}{s}$ ja lämpöpumpun osuus virtaamasta $0,96 \frac{l}{s}$, eli siirtimen virtaukseksi jää $1,79 \frac{l}{s}$ ja tehoksi 190 kW. Lämmönsiirtimen toisiopuolen mitoituslämpötilaero uusilla arvoilla lasketaan kaavalla 21.

$$\frac{\phi}{c_p \cdot q_v \cdot \rho} \quad (21)$$

Uusi mitoituslämpötilaero on $25,4 \text{ }^\circ\text{C}$, josta saadaan uusi menoveden lämpötila $85,4 \text{ }^\circ\text{C}$.

Logaritmiset lämpötilaerot lasketaan kaavalla 22.

$$\theta_{ls} = \frac{(\Delta t_m - \Delta t_p)}{\ln \frac{\Delta t_m}{\Delta t_p}} \quad (22)$$

Δt_m on ensiö- ja toisiopuolen menolämpötilojen erotus $^\circ\text{C}$

Δt_p on ensiö- ja toisiopuolen paluulämpötilojen erotus $^\circ\text{C}$

Logaritmiseksi lämpötilaeroksi vanhassa tilanteessa saadaan $13,0 \text{ }^\circ\text{C}$ ja uudessa $11,6 \text{ }^\circ\text{C}$. Seuraavaksi lasketaan lämmönsiirtimen konduktanssi kaavalla 23.

$$\frac{\phi}{\theta_{ls}} \quad (23)$$

Tästä saadaan vanhan mitoituksen mukainen konduktanssi $17,7 \frac{kW}{^\circ\text{C}}$ ja uusi konduktanssi $16,4 \frac{kW}{^\circ\text{C}}$. Ensiöpuolen arvojen pysyessä samana voidaan lämmönsiirtimen teho laskea kertomalla vanhan tilanteen konduktanssi uuden tilanteen logaritmisella lämpötilaerolla, kaavalla 24.

$$17,7 \frac{kW}{^\circ\text{C}} \cdot 11,6^\circ = 205 \text{ kW} \quad (24)$$

Esimerkinomaisessa tilanteessa haluttu teho olisi 190 kW, joten lämmönsiirtimen teho riittäisi. Mikäli tilanne olisi verkostossa $70/40 \text{ }^\circ\text{C}$ ensiöpuolen lämpötiloilla $115/43 \text{ }^\circ\text{C}$, olisi siirtimen teho noin 144,6 kW, jääden näin alitehoiseksi. Lämmönsiirtimestä saatava teho

riippuu siis hyvin paljon alkuperäisistä mitoituslämpötiloista ja siirtimen soveltuvuus arvioida aina kohdekohtaisesti. Mikäli puuttuvaa tehoa ei kompensoida muuten järjestelmässä, saattaa kaukolämmön paluueden lämpötila nousta, koska säätöventtiili oletuksena lisää ensiöpuolen virtaamaa. Ensiöpuolen paluulämpötila saa olla enintään 3 °C korkeampi kuin toisiopuolen paluulämpötila.

Mikäli lämmönsiirtimestä haluttaisiin alitehoisessa tilanteessa tarvittavat tehot, voidaan se tehdä muuttamalla uuden tilanteen konduktanssi samaksi kuin vanhan tilanteen konduktanssi ja etsimällä uusi ensiöpuolen paluulämpötila. Ensiöpuolen paluulämpötila voidaan hakea iteroimalla ensiöpuolen paluueden lämpötiloja tai käyttämällä Excelin tavoitteenhakua. Paluueden lämpötilaksi tilanteessa 70/40–115/43 saadaan 46,3 °C, joten paluulämpötila nousisi 3,3 °C yli sallitun rajan. Tällöin paluueden lämpötila pitäisi saada alhaisemmaksi muilla tavoin.

Mitoituslämpötiloilla alitehoiseksi jääneen lämmönsiirtimen toimintaa voidaan parantaa muuttamalla lämpöpumpulta tulevaa virtausta pienemmäksi, jolloin LTO-järjestelmä käy pääasiassa osateholla riippuen käyttöveden tarpeesta. Useimmiten LTO-järjestelmää suunniteltaessa myös alajakokeskus uusitaan, jolloin kyseistä ongelmaa ei tule.

Säätöventtiilit

Ensiöpuolen virtaaman kasvatuksella säätöventtiilin auktoriteetti, eli vaikutusaste voi kasvaa liian suureksi, joten huonolla suunnittelulla voidaan saada koko järjestelmä sekaisin. Mikäli lämmönsiirtimen liian pieneksi jäänyt teho kompensoitaisiin ensiöpuolen virtaamaa kasvattamalla ja kaukolämmön paluueden jäähtymä hoidettaisiin muulla tavoin, tulee säätöventtiilin auktoriteetti laskea uudessa tilanteessa.

Laskuissa ovat edellisen esimerkin arvot mitoituslämpötiloilla 70/40–115/43. Vanhan tilanteen säätöventtiilin auktoriteettia lähdetään laskemaan laskemalla ensiöpuolen mitoitusvirtaama kaavalla 20 käyttämällä ensiöpuolen mitoituslämpötilaeroa. Virtaukseksi saadaan $0,76 \frac{l}{s} = 2,76 \frac{m^3}{h}$.

Seuraavaksi lasketaan säätöventtiilin mitoituspaine-ero seuraavilla arvoilla

- lämmönmyyjän ilmoittama paine-ero 60–150 kPa
- alajakokeskuksen putkiston painehäviö 5 kPa
- lämmönsiirtimen toisiopuolen painehäviö 18 kPa.

Kaukolämmönsiirtimen ensiöpuolen painehäviö lasketaan kaavalla 25.

$$\Delta p_{ensio} = \Delta p_{toisio} \cdot (q_{v,ensio} - q_{v,toisio})^2 \quad (25)$$

Siirtimen ensiöpuolen painehäviöksi tulee 3,13 kPa. Tämän jälkeen saadaan säätöventtiilin mitoituspaine-ero kaavalla 26

$$\Delta p_{mit} = \Delta p_{lm} - \Delta p_{ensio} - \Delta p_{kl} \quad (26)$$

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

Δp_{kl} on alajakokeskuksen putkiston painehäviö kPa

Mitoituspaine-ero muutetaan muotoon 0,82 bar. Lasketaan säätöventtiilin k_v -arvo kaavalla 27.

$$k_v = \frac{q_{v,ensio}}{\sqrt{\Delta p_{mit}}} \quad (27)$$

Säätöventtiilin k_v -arvoksi saadaan 3. Säätöventtiiliksi valitaan k_{vs} -arvoltaan sopiva venttiili. Yleensä lämmityspiirin säätöventtiiliksi valitaan seuraavaksi suurempi venttiili ja käytövedessä seuraavaksi pienempi. Säätöventtiilinä voisi tässä tapauksessa olla esimerkiksi Belimo R413D, jossa k_{vs} -arvo on 4. Seuraavaksi pienempi koko samalta valmistajalta jäisi k_{vs} -arvoltaan 2,5:een. Valinnan jälkeen lasketaan säätöventtiilin todellinen painehäviö kaavalla 28.

$$\Delta p_{sv} = \left(\frac{q_{v,ensio}}{k_{vs}} \right)^2 \quad (28)$$

Säätöventtiilin todellinen painehäviö on siis 0,47 bar = 47 kPa. Lopulta lasketaan venttiilin vaikutusaste kaavalla 29.

$$\beta = \frac{\Delta p_{sv}}{\Delta p_{lm}} \quad (29)$$

Säätöventtiilin auktoriteetiksi tulee 0,53. Säätöventtiilin auktoriteetin tulee olla suurempi kuin 0,5, joten mitoitus on oikein. Kun laitteistoon liitetään LTO-järjestelmä ja alitehoiseksi jääneen lämmönsiirtimen teho kompensoidaan ensiöpuolen virtauksella vaihtamalla säätöventtiiliä ja muuttamalla toisiopuolen virtausta lämpöpumpun kanssa, laskeaan auktoriteetti uusilla arvoilla. Säätöventtiilin auktoriteetiksi uudessa mitoitusilanteessa tulee 0,36, joten vaikutusaste jäisi liian pieneksi.

Käyttövesipuolella käytetään usein kahta tai useampaa rinnankytkettyä säätöventtiiliä, koska säädettävä teho vaihtelee laajalla alueella. Useampaa säätöventtiiliä suositellaan kun k_{vs} -arvoksi tulee suurempi kuin 6,3. Kahta säätöventtiiliä käytettäessä ensimmäiseksi avautuva venttiili mitoitetaan 1/3-virtaukselle [21, s. 17, 68]. Myös energialaitoksilla on usein omia ohjeistuksia lämpöpumppujen kytkentään kaukolämmön rinnalle.

3.1.3 Lämmitysverkoston lämpötilat

Lämpöpumppujärjestelmät toimivat parhaiten matalalämpöverkoissa, eikä niillä kannata tuottaa tarpeettoman lämmintä vettä. Järjestelmä kannattaakin optimoida niin, että lämpöpumpuilla tuotetaan mahdollisimman tehokkaasti hyvällä hyötysuhteella lämpöä. Vanhojen kiinteistöjen lämmitysverkoston toimintalämpötilat ovat lähes poikkeuksetta niin suuret, ettei lämpöpumpulla yksin voida tuottaa tarvittavaa lämpöä kovilla pakkasilla.

Vanhojen kiinteistöjen lämmitysverkostojen toimintalämpötilat ovat yleensä 80/60 °C, 80/50 °C ja 70/40 °C. Verkoston lämpötilojen nousu ulkolämpötilan mukaan rajoittaa lämpöpumpun käyttöä, koska paluulämpötila voi nousta korkeammaksi, kuin lämpöpumppu pystyy tuottamaan. Lämpöpumpun alinta toimintaulkolämpötilaa voidaan arvioida kaavalla 30.

$$T_u = \frac{-(T_{u,alin} - T_{u,mit})(T_{v,lp} - T_{v,alin})}{T_{v,mit} - T_{v,alin}} + T_{u,alin} \quad (30)$$

$T_{u,alin}$ on ulkolämpötila veden alimmalla lämpötilalla 20 °C

$T_{u,mit}$ on mitoitusulkolämpötila -26 °C

$T_{v,lp}$ on lämpöpumpulla tuotettava menoveden lämpötila 45 °C

$T_{v,alin}$ on veden alin lämpötila 20 °C

$T_{v,mit}$ on paluuveden mitoituslämpötila $60/50/40\text{ °C}$

Taulukossa 9 on laskettu lämpöpumpun alimmat toimintalämpötilat eri verkoston säätökäyrillä. Säätekäyrä vaikuttaa huomattavasti lämpöpumpusta saatavaan hyötyyn talvikaikana.

Taulukko 9. Lämpöpumpun alin toimintaulkolämpötila eri verkostoissa.

Verkosto °C	Alin ulkolämpötila °C
80/60	-8,8
80/50	-18,3
70/40	-37,5

Koska verkoston paluulämpötila vaikuttaa suuresti siihen, kuinka kovilla pakkasilla lämpöpumpun tuottamaa lämpöä voidaan hyödyntää, kannattaa suunnittelijan selvittää mahdollisuus alentaa lämmitysverkoston lämpötilaa. Verkoston lämpötilan laskeminen voi olla hankalaa, mutta se voi olla mahdollista selvittämällä, onko kiinteistön radiaattoreissa ylimitoitusta. Optimaalisin tilanne on, jos kiinteistöön ollaan tekemässä suurempi energiaremontti ja myös radiaattorit päätetään vaihtaa tai asentaa lattialämmitys.

Radiaattoreiden uusi teho on syytä laskea mitoittaessa uutta verkoston lämpötilaa. Tehon laskennassa käytettävän yllämpötilan laskentaan on käytetty 1990-luvulle asti aritmeettista yllämpötilaa ja nykyisin logaritmista yllämpötilaa. Logaritminen yllämpötila vanhassa ja uudessa verkostossa lasketaan kaavalla 31.

$$\Delta T_{ln} = \frac{t_m - t_p}{\ln \frac{t_m - t_h}{t_p - t_h}} \quad (31)$$

T_m on menoveden lämpötila °C

T_p on paluuv veden lämpötila °C

T_h on huonetilan lämpötila °C

Logaritmiseksi yllämpötilaksi huonelämpötilalla 21 °C ja verkoston lämpötiloilla 80/60 °C saadaan 48,3 °C ja 80/50 °C lämpötiloilla 42,2 °C. Radiaattorin lämmönluovutus teho muuttamalla verkosto 80/50 °C -verkostoksi lasketaan kaavalla 32.

$$\phi = \phi_{ref} \cdot \left(\frac{\Delta T_{ln}}{\Delta T_{ln,ref}} \right)^n \quad (32)$$

ϕ_{ref} on radiaattorin teho alkuperäisessä tilanteessa W

$\Delta T_{ln,ref}$ on radiaattorin yllämpötila alkuperäisessä tilanteessa °C

ΔT_{ln} on radiaattorin yllämpötila uudessa tilanteessa °C

n on patterin lämmönluovutuseksponentti $n \sim 1,3$

Radiaattorin tehon ja huoneen tehontarpeen ollessa alkuperäisessä tilanteessa 1 000 W, saadaan uuden mitoitustilanteen tehoksi 840 W. Tällöin olemassa olevan radiaattorin tulisi olla 16 % ylimitoitettu, jotta tarvittava lämpöteho saavutettaisiin. Monesti vanhemmissa kiinteistöissä on hieman ylimitoitettuja alkuperäisiä radiaattoreita, joten muutos saattaa olla mahdollinen. Taulukossa 10 on esitetty radiaattoreiden teho eri säätökäyrillä.

Taulukko 10. Radiaattoreiden lämmönluovutus teho eri säätökäyrillä

Alkuperäinen		Uuden verkoston lämpötilat ja patterin tehot							
Verkosto	Patterin teho W	80/50	Tarvittava	70/40	Tarvittava	55/45	Tarvittava	45/35	Tarvittava
		W	ylimitoitus	W	ylimitoitus	W	ylimitoitus	W	ylimitoitus
80/60	1000	840	16 %	577	42 %	508	49 %	242	76 %
80/50	1000	1000	0 %	688	31 %	605	39 %	343	66 %
70/40	1000			1000	0 %	880	12 %	499	50 %

Taulukosta 10 selviää, että verkoston lämpötilojen muuttaminen voi joissain tapauksissa olla mahdollista, mikäli pattereiden mitoitus sen sallii. Matalalämpöverkosto ei lähtökoh-
taisesti vanhoilla radiaattoreilla onnistu.

Verkoston lämpötiloja muutettaessa huomioitavaa on myös vanhojen lämmitysputkien, varusteiden ja radiaattoreiden kunto ja puhdistustarve. Laajaa remonttia tehdessä van-
hat radiaattorit on tapana maalata, joten päälle saattaa olla vuosien aikana maalattu useita paksuja maalikerroksia. Maalikerrokset eivät sinänsä haittaa, mutta teoriassa hi-
dastavat lämmönsiirtymistä vedestä huonetilaan. Radiaattoreiden uusinta kannattaakin suunnittelijan ottaa esille lämpöpumppujärjestelmää suunniteltaessa kiinteistöön. Van-
han yksilevyisen radiaattorin vaihto uuteen mitoiltaan vastaavaan 11-tyypin radiaattoriin paranee lämpöteho noin 60 %, samoin kuin kaksilevyisen vaihto uuteen 22-tyyppiin pa-
rantaa tehoa noin 50 %. Näiden muutosten avulla verkoston lämpötilaa voi olla mahdol-
lista alentaa mitoitusolosuhteissa jopa 10°C. [22]. Verkoston lämpötiloja tai radiaattoreita muuttaessa on syytä tehdä lämmitysjärjestelmän perussäätö.

Verkoston lämpötilojen muutosta voidaan miettiä myös silloin, kun rakennuksen vaipan energiatehokkuutta parannetaan. Vaipan energiatehokkuutta voidaan parantaa esimer-
kiksi ikkunoiden vaihdolla uudenaikaisiin tai ulkoseinien sekä ala- ja yläpohjan lisäläm-
möneristyksillä. Myös rakennuksen turhat ilmapuodot tukkimalla ja suunnittelemalla tar-
vittava korvausilmansaanti mahdollisimman järkevästi voidaan ylimääräistä lämpövirtaa sisätiloista ulkotiloihin rajoittaa.

3.2 PILP maalämmön rinnalla

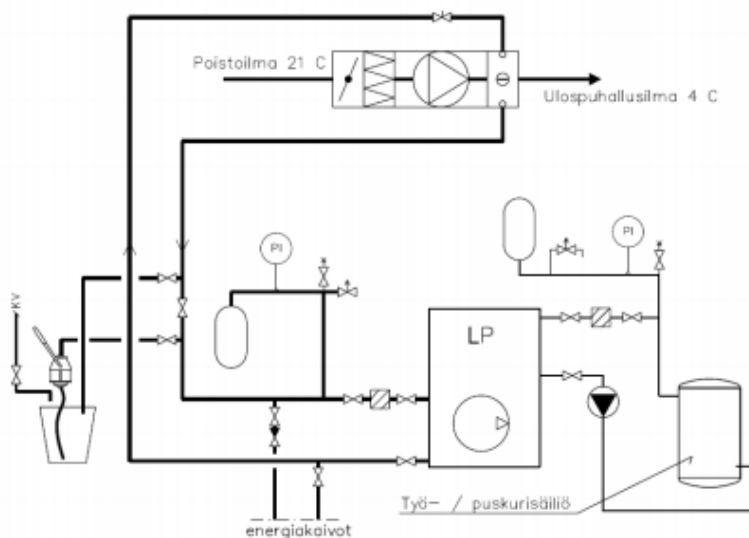
Uusissa kiinteistöissä maalämpö sekä kaukolämpö ovat nykyään suosiossa. Uusissa kiinteistöissä myös lämmöntalteenotto on hoidettu ilmanvaihtokoneella avulla, jolloin eril-
listä poistoilman LTO-järjestelmää ei ole. Poistoilman LTO-järjestelmä maalämmön rin-
nalla tulee kyseeseen etenkin suuremmissa energiaremonteissa, joissa tarkoituksena vaihtaa vanha lämmöntuotantotapa, esimerkiksi öljylämmitys, nykyaikaiseen ja ympäris-
töystävälliseen vaihtoehtoon. Vaikka kaukolämpö onkin saatavilla usealla alueella, on maalämpö varteenotettava vaihtoehto, jos asemakaava sen sallii.

Nykyisin kumottua maankäyttö- ja rakennuslain (132/1999) 57 a §, joka koski velvollisuutta liittyä kaukolämpöverkkoon asemakaavassa, sovelletaan edelleen alueilla, joiden asemakaava on asetettu julkisesti nähtäville, ennen kuin laki maankäyttö- ja rakennuslain 57 a §:n kumoamisesta tuli voimaan 1.1.2019. Kuitenkin kaupunkien ja kuntien rakennustarkastajat saattavat sallia maalämpöpumpun kaukolämmön sijasta tämmöisillä alueilla.

Maalämpöpumppu ja poistoilmalämpöpumppu kiinteistössä on käytännössä täysin sama kone, mutta keruupiiri tulee eri kautta. Kun maalämpöä aletaan suunnittelemaan vanhaan kiinteistöön, kannattaa suunnittelijan ottaa järjestelmään mukaan myös poistoilmalämpöpumppu, jos kiinteistössä on poistoilmanvaihto. Poistoilman LTO-järjestelmä vähentää tarvittavien lämpökaivojen määrää.

Lämpöpumppujärjestelmässä verkostojen lämpötilat ja niiden mahdolliset alentamiset tulee ottaa huomioon, jos vanhaa järjestelmää ei jätetä rinnalle tehostamaan toimintaa kovimmilla pakkasilla. Käyttövesi lämmitetään lämpöpumppujärjestelmissä lopulliseen lämpötilaan sähkövastuksilla, jos rinnalla ei ole muuta järjestelmää.

Kuvassa 12 on esimerkkikytkentä, kun maalämpö ja poistoilman lämmöntalteenotto on yhdistetty yhteen lämpöpumppuun.



Kuva 12. Esimerkkikytkentä, jossa rinnan poistoilman LTO ja maalämpö [23, s. 3].

Kun lämmitystehontarve on suuri ja kun lämpöpumppuja on enemmän kuin yksi, voidaan poistoilmasta talteen otettu ja energiakaivoista saatu lämpöenergia johtaa omille lämpöpumpuilleen. Useamman lämpöpumpun järjestelmät mahdollistavat myös kiinteistön jäähdytyksen tehokkaasti samalla, kun tuotetaan lämpöä esimerkiksi käyttövetä varten.

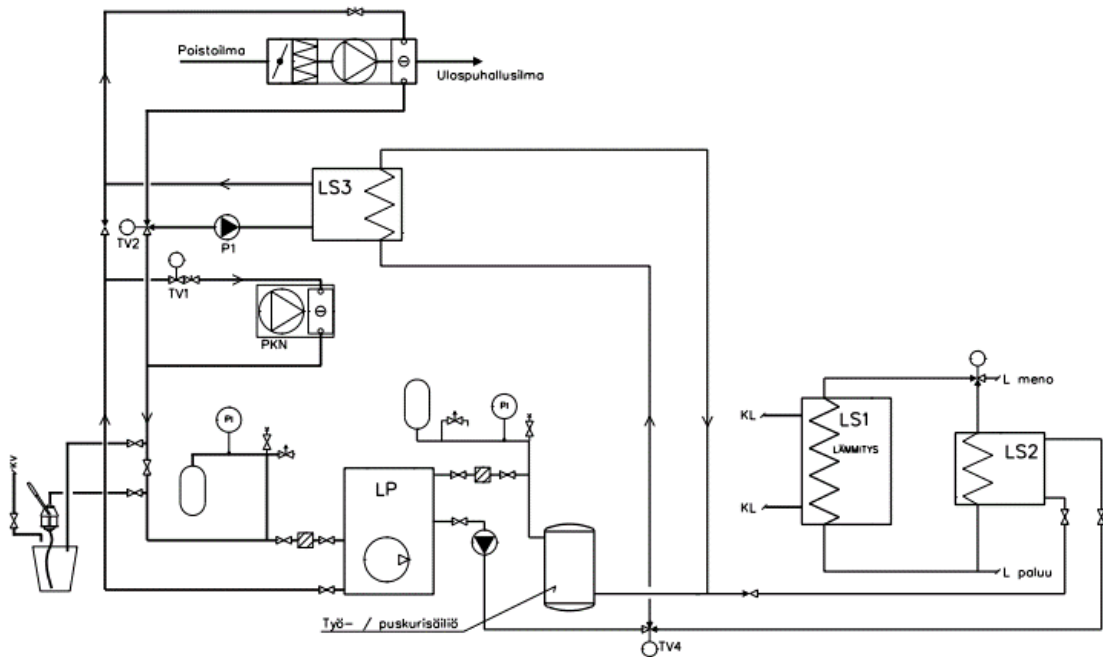
Hybridikytkennöissä kaukolämpöön tulee pohtia, onko maalämpöön järkevää investoida ja saadaanko siitä riittävä hyöty kiinteistölle. Energiayhtiöt eivät aina välttämättä laske perusmaksua, vaikka tarvittava kaukolämpöteho pieneneekin.

3.3 PILP jäähdytyskäytössä

Poistoilman LTO-järjestelmää, kuten muitakin lämpöpumppujärjestelmiä pystytään käyttämään myös jäähdytyksessä. Lämpöpumppujärjestelmissä, joissa pääasiallisena tarkoituksena on lämmitys, voidaan lämpöpumpun höyrystimeltä saatava kylmä käyttää jäähdytystarkoitukseen. PILP- ja maalämpöjärjestelmissä kylmäteho otetaan keruuputkistosta.

PILP-järjestelmissä jäähdytys voidaan toteuttaa ottamalla keruuputkistosta haarat jäähdytyspiirille. Keruunesteen ollessa mitoitettu esimerkiksi +1/+6 °C, ei nestettä kannata sellaisenaan käyttää suuren kondensoimisen vuoksi. Kiinteistön jäähdytysverkoston lämpötilat voivat olla esimerkiksi +10/+15 °C. Keruuneste tulisi ohjata erilliselle jäähdytyspiirin lämmönsiirtimelle, josta edelleen jäähdytysverkostoon.

Mikäli kohteessa ei ole lämmitystarvetta, ohjataan jäähdytyksen ohessa tuotettu ylimääräinen lämpö erillisen siirtimen kautta ulkoilmaan. Kuvassa 13 on esitetty lausuntokieroksella olevan RT-ohjekortin esimerkikykenttä PILP-jäähdytykseen.



Kuva 13. Esimerkkikytkentä PIP-kytkenästä, jossa on mukana myös jäähdytys [23, s. 7].

PIP:n jäähdytysteho ei välttämättä riitä yksistään kattamaan koko kiinteistön jäähdytystehontarvetta. Kiinteistöissä, joissa on käytössä myös kaukokylmä tai jäähdytystä tuotetaan muilla tavoin, voi kiinteistön PIP-järjestelmästä saatava jäähdytysteho alentaa hieman jäähdytyskustannuksia. Suunnittelussa kannattaa miettiä mahdollisen jäähdytysvaraajan mahdollisuutta.

Suunnittelijan olisi hyvä punnita erilaisia ratkaisuja PIP:n jäähdytyksen kytkemiseksi osaksi kiinteistön jäähdytystä, kuten olisiko kustannustehokasta tuottaa kylmää myös muutoin kuin lämmityksen sivutuotteena. Myös jäähdytysverkoston mitoituslämpötilat vaikuttavat jäähdytyksen kannattavuuteen. Pienemmällä lämpötilaerolla muun muassa lämmönsiirtopinta-alaa joudutaan kasvattamaan, eli siirtimestä voi tulla suuri, jotta saavutetaan keruuliuoksen mitoituslämpötila $+1/+6$ °C.

3.4 Kylmäkoneiden lauhde

Kiinteistöt, joissa on erillisiä jäähdyttimiä, tuottavat lauhdelämpöä, jota ei useinkaan käytetä hyödyksi. Asuinkerrostalojen yhteydessä saattaa olla liiketiloja, joissa sijaitsee esimerkiksi kauppa. Kaupan kylmäkoneet tuottavat lauhdelämpöä, joka tyypillisesti

ohjataan ulkoilmaan. Optimaalisessa tapauksessa lauhdutin sijaitsee katolla, josta voidaan helposti poistoilman LTO-järjestelmään saada lisää tehoa. Poistoilman LTO-järjestelmää suunnitellessa kannattaa suunnittelijan ottaa huomioon kiinteistön erikoisuudet ja mahdollisuudet hyödyntää kylmäkoneiden lauhdelämpöä.

Kylmäkoneiden lauhteen hyödyntämistä tulee kuitenkin harkita kannattavuuden kautta. Saadaanko lauhdelämmöstä tarpeeksi energiaa talteen, jotta takaisinmaksuaika pysyy kohtuullisena. Kun kiinteistö tarvitsee lämmitystehoa, ohjattaisiin keruupiirin liuosta myös kylmäkoneen lauhduttimen LTO-yksikön kautta. Kun kiinteistössä ei ole lämmitystehontarvetta, menee lauhdelämpö LTO-yksikön läpi suoraan ulkoilmaan.

Lauhteen talteenotossa huomioitavaa on myös, onko kyseessä suora vai välillinen lauhdutus. Suorassa lauhdutuksessa lämpöä voidaan ottaa talteen ulospuhallusilmasta tai muuttamalla kylmäpiiriä niin, että lämpöä voidaan ohjata halutussa tilanteessa lämmönsiirtimen kautta veteen.

Välillisessä lauhdutuksessa lämmöntalteenotto on helpompaa, koska lämpö siirretään muutenkin lämmönsiirtoliuokseen. Välillisessä lauhdutuksessa tulee ottaa huomioon, että kun lämmitystehontarvetta ei ole, tulee lämpö johtaa esimerkiksi ulkoilmaan.

4 KOy Irmelinpesä, Espoo

4.1 Kohteen tiedot

Todellisena esimerkkikohteena on Espoon Olarissa sijaitseva KOy Irmelinpesä. Irmelinpesä koostuu kolmesta asuintornitalosta, toimistoista sekä liiketiloista. Irmelinpesässä tavoiteltiin kustannussäästöjä lämmitysjärjestelmän remontilla ja suunnittelun jälkeen toteutettiin poistoilman lämmöntalteenottojärjestelmä Jäspin LTO-järjestelmällä. Kuvassa 14 näkyy Irmelinpesän julkisivu. PILP-järjestelmä toteutettiin vuoden 2016 kesän aikana.



Kuva 14. KOy Irmelinpesä [24].

- rakennuksen valmistumisvuosi 1976, A-tornin asunnot 1977
- 7 kerrosta, 3 asuintornitaloa
- asuinhuoneistoja 76 kpl, 4 471 m²
- toimistoja 4 kpl, 1 792 m²
- liiketila 2 859 m²
- kerrosala 10 800 m
- rakennuksen tilavuus 36 810 m³
- vanha kaukolämmönkulutus 1 870 MWh/v

Kohteen liiketila on pitkään ollut elintarvikemarkettina ja ravintolana, varastoineen. Irmelinpesän LTO-järjestelmän kytkentäkaaviot on esitetty liitteessä 5.

4.2 Lämmönjakohuone

Kohteen lämmönjakohuone sijaitsee kellarikerroksessa. Lämmönjakohuone kattaa koko kiinteistön käyttöveden ja lämmityksen. Lämmönjakohuone on poikkeuksellisen suurikokoinen, joten LTO-järjestelmän laitteet mahtuivat sinne. Kuvassa 15 näkyvät kohteen lämmönjakohuoneen kaukolämmön alajakokeskus, varaajat sekä lämpöpumput.



Kuva 15. KOy Irmelinpesä, lämmönjakuhuone.

Lämmönjakohuoneeseen sijoitettiin 2 kpl lämpöpumppuja, 2 kpl kytkentämoduuleita, 2 kpl 500 litran käyttövesivaraajia kierukalla, 1 kpl 500 litran lämmityksen puskurivaraaja ja 3 kpl 50 litran paisunta-astioita.

4.2.1 Kaukolämmön alajakokeskus

Kaukolämmön alajakokeskusta ei kohteessa uusittu, vaan olemassa olevaan keskuksen tehtiin tarvittavat muutokset hyvän lopputuloksen aikaansaamiseksi. Alajakokeskuksessa on omat säätöpiirit käyttövedelle, patteriverkostolle ja ilmanvaihdon lämmitysverkostolle. Alajakokeskus näkyy kuvassa 16.



Kuva 16. Kaukolämmön alajakokeskus.

Käyttövesi

Käyttövesi on rinnankytketty järjestelmään ja se pidetään 58 °C:n lämpöisenä kahdella kaukolämmön säätöventtiilillä. Kylmää käyttövettä lämmitetään kahden 500 litran kierukallisen varaajan kautta niin kauan, kuin varaajien lämpötilat pysyvät yli raja-arvon. Kierukoissa lämmennyt vesi ohjataan 3-tie-säätöventtiilin kautta lämpimään käyttöveteen kaukolämmönsiirtimen jälkeen. Varaajien lämpötilaa pidetään lämmityskaudella 40–45 °C:ssa lämpöpumpun hyvän hyötysuhteen varmistamiseksi. Lämmityskauden ulkopuolella varaajat ladataan 50–55 °C:seen.

Lämmitys

Myös lämmityspiirit ovat rinnankytketty kaukolämpöpakettiin 3-tie-säätöventtiileillä. Lämpöpumpuilla tuotettu lämpö varataan lämmityksen puskurivaraajaan, josta edelleen patteri- ja ilmanvaihtoverkoston. Kohteessa lämmityksen tasapainopiste on 0 °C, eli piste, jota korkeammissa ulkolämpötiloissa lämpöpumppu pystyy kattamaan rakennuksen lämmitystarpeen. Kaukolämmön säätökäyrää lasketaan 3 °C lämmitystarvetta alemmaksi tasapainopistettä korkeammissa lämpötiloissa.

Tasapainopistettä alemmilla ulkolämpötiloilla menoveden lämpötila säädetään kaukolämmön säätökäyrillä. Näissä olosuhteissa lämpöpumpun säätökäyrää nostetaan 3 °C lämmitystarvetta korkeammaksi, jotta lämpöpumppu pysyy päällä. Lämmitysverkoston paluueden ylittäessä 55 °C lämpöpumpujen kompressorit pysäytetään ja kaikki lämmitys tuotetaan kaukolämmöllä.

Lämmitysjärjestelmän mitoituslämpötilat ovat seuraavat:

- patteriverkosto 80/50 °C
- ilmanvaihtoverkosto 80/40 °C

Alajakokeskukseen tehdyt muutokset

Olemassa olevaan alajakokeskukseen ja sen läheisyyteen tehdyt muutokset pysyvät suhteellisen pieninä:

- Lämmityspiirien menovesianturit siirrettiin LTO-laitteiston haaran välittömään läheisyyteen.
- Kaukolämmön ensiöpuolelle lisättiin paluulämpötilan mittaukset lämmönsiirtimien läheisyyteen.
- Käyttöveden lämpötila-anturi siirrettiin 3-tie-säätöventtiin läheisyyteen mitaamaan lämpimän käyttöveden lämpötilaa heti venttiin jälkeen.
- Automaatioon tehtiin muutoksia.

Kaukolämmön paluulämpötilan mittauksilla tarkkaillaan lämmönsiirtimien asteisuutta, joka saa olla korkeintaan 5 °C.

4.2.2 Lämpöpumput

Kohteeseen asennettiin 2 kappaletta Jämä Star -lämpöpumppua. Molempien lämpöpumpun teho 60 kW, yhteenlaskettu teho siis 120 kW. Lämpöpumpuilla katetaan kiinteistön lämmitystarve kokonaan ulkolämpötilan ollessa korkeampi kuin 0 °C. Lämpöpumput näkyvät kuvassa 17.



Kuva 17. Irmelinpesän lämpöpumput.

Lämpöpumput on mitoitettu kohteessa lauhdepiirin virtaukselle 1,34 l/s, höyrystinpiirin virtaukselle 2,16 l/s ja lämpötiloille 1/6 °C. Lämpöpumpuilla tuotetaan energiaa siihen asti, kunnes paluuveden lämpötila ylittää 55 °C:n rajan.

4.2.3 Kytöntämoduulit

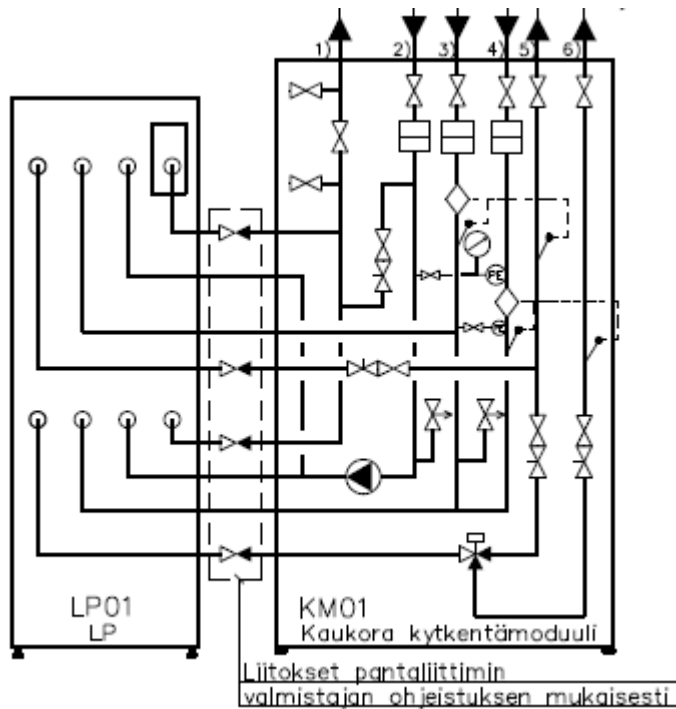
Kohteessa olevat kytkentämoduulit ovat tehdasvalmiita moduuleita, joiden avulla järjestelmän kytkentä on tehty helpoksi. Kytöntämoduulit liitetään tehdasvalmiilla

kytkentäosilla lämpöpumppeihin. Keruupiirin ja lämmityspiirin putket kytketään kytkentämoduuleihin. Moduulit sisältävät kaiken tarpeellisen mukaan lukien automaation.



Kuva 18. LTO-järjestelmän kytkentämoduuli.

Kuvassa 18 on kytkentämoduuli avattuna. Moduulissa kaikki tarvittava siirteistä pumpuun sekä linjasäätö- ja vaihtventtiileihin. Moduuli vastaa mitoiltaan lämpöpumpun kokoista kaappia, mutta se voidaan toimittaa myös osina, mikäli tila on ahdas [25].



Kuva 19. Kytkentämoduulin ja lämpöpumpun kytkentäkaavio.

Kuvassa 19 on lämpöpumpun sekä kytkentämoduulin kytkentäkaavio. Kytkentämoduulin sisältö hahmottuu kytkentäkuvasta paremmin. Kytkentämoduulin vaihtoventtiili ohjaa lämmitystä tarpeen mukaan joko käyttöveden tai lämmitykseen.

4.2.4 Varaajat

Järjestelmä sisältää kolme 500 l:n varaajaa. Kaksi varaajaa on käyttöveden lämmitykseen ja yksi lämmitysverkoston puskurivaraaja. Käyttöveden varaajat sisältävät kierukan, joka on lämmitysveden seassa varaajassa.



Kuva 20. Käyttöveden varaajat ja lämmityksen puskurivaraaja

Varaajilla (kuva 20) saavutetaan järjestelmään parempi tasapaino. Lämpöpumppujen ei tarvitse käydä jatkuvasti, koska varaajiin on ladattu kuumaa vettä eikä se purkaudu saman tien verkostoon.

4.3 LTO-yksiköt

Kohteessa on yhteensä 3 kappaletta VTS:n lämmöntalteenottoyksikköä. LTO-yksiköt sijaitsevat kunkin tornitalon katolla. Kuvassa 21 yksi LTO-yksikkö, johon on johdettu kiinteistön poistoilma ja keruupiirin putket.



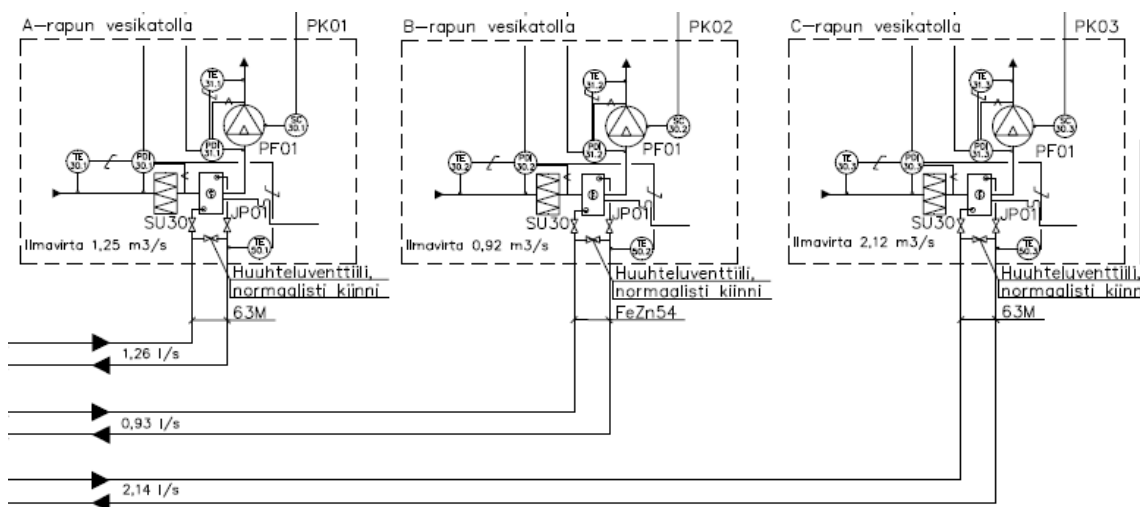
Kuva 21. LTO-yksikkö katolla.

Kuvassa 21 myös yksikön kondenssivesiputki on johdettu viemärin tuuletusputkeen eristettynä ja pellitettynä. Kondenssivesiputkessa itsesäätyvä saattolämmityskaapeli jääty-
misen ehkäisemiseksi. Taustalla näkyy kaupan kylmäkoneiden lauhdutin.



Kuva 22. LTO-yksikkö.

Kuvassa 22 LTO-yksikkö lähempää kuvattuna. LTO-yksikössä on puhallin-, LTO- ja suodatinlohkot ja keruuputkiston putket liitettynä ja eristettyinä.



Kuva 23. LTO-yksiköiden kytkentäkaavio.

Kuvassa 23 on esitetty yksiköiden kytkentäkaaviot. LTO-yksiköiden mitoituksissa on rappukohtaisia eroja. C-rapun ilma- ja vesivirta ovat huomattavasti A- ja B-rappuja suurempia.

4.4 Etävalvonta

Kohteessa on käytössä järjestelmätoimittajan käyttämä Talotohtori- etävalvonta- ja hallintajärjestelmä. Järjestelmän avulla kiinteistön päättäjät, valtuutetut henkilöt ja järjestelmän toimittaja voivat reaaliajassa seurata järjestelmän toimintaa. Talotohtorin kautta voidaan selvittää järjestelmän mahdolliset viat ja ongelmatilanteet menemättä paikan päälle.

4.5 Järjestelmän kannattavuus

Järjestelmän kannattavuus KOy Irmelinpesässä on osoittautunut erittäin hyväksi. Vuositasolla säästöt ovat olleet 20 000–30 000 euroa. Järjestelmään liitetty Talotohtori ohjaa kaukolämmön ja lämpöpumppujen käyttöä sen mukaan, kummalla on edullisempaa

tuottaa lämpöä. Taulukossa 11 on esitetty Enermix Oy:n tuottamien laskelmien energiahinnat. Kattavat toteutuneet ja normeeratut laskelmat on esitetty liitteessä 6.

Taulukko 11. Laskelmissa käytetyt energiahinnat.

Sähkö €/MWh ka.	115
KL energia €/MWh ka.	69,32
KL perusmaksu € 2017/2018	19680
KL perusmaksu € 2019/2020	18040

Energiahinnat ovat keskiarvoja, jotka on todennäköisesti saatu isännöitsijältä, eikä tietoja ole päivitetty vuosittain [26]. Perusmaksun muutos johtunee energiayhtiön päätöksestä.

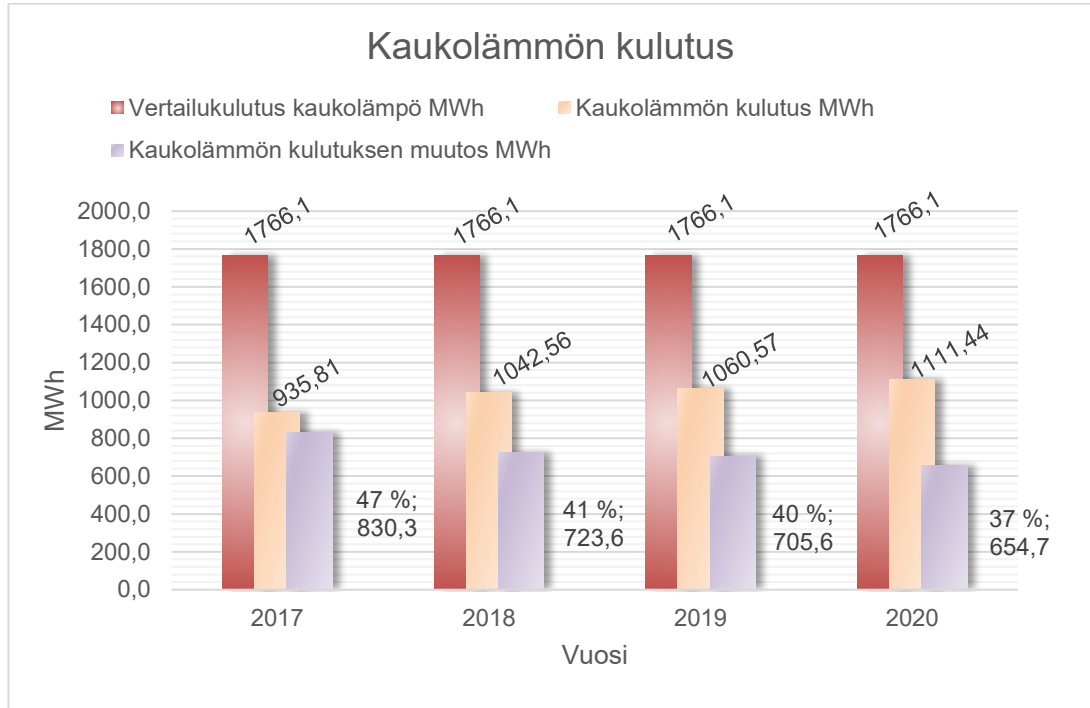
Vertailukulutuksena kohteessa on käytetty arvoa 1 766 130 kWh eli 1766,1 MWh. Kaukolämmön kulutusta on saatu laskettua jopa 47 % ensimmäisenä vuonna. Kaukolämmön kulutus on vuosittain hieman noussut, kun taas lämpöpumppujen tuotanto hieman laskenut. Eroa voi selittää järjestelmän kyky käyttää silloisena hetkenä edullisinta energiamuotoa. Taulukossa 12 on esitetty vuosittaiset energiankäytön muutokset.

Taulukko 12. Energiankäytön muutokset.

	2017	2018	2019	2020
Vuoden lämmitystarveluku Helsinki	3549	3552	3419	2906
Kaukolämmön kulutus MWh	935,8	1042,6	1060,6	1111,4
Lämpöpumppujen sähkönkulutus MWh	245,8	220,8	210,3	202,4
Kokonaiskulutus KL+Sähkö MWh	1181,6	1263,4	1270,9	1313,8

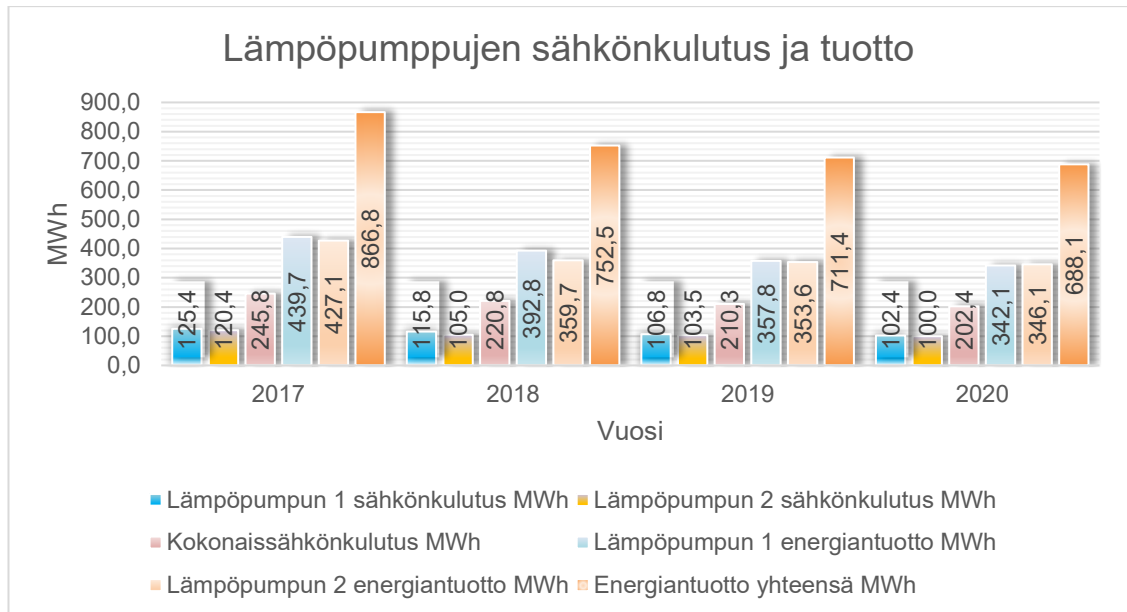
Vuosien 2017–2018 kulutuksen kasvu voi selittyä lämmitystarpeen kasvamisen myötä. Vuosina 2019–2020 lämmitystarveluku on laskenut huomattavasti, mutta energiankulutus kasvanut. Eroa voivat selittää mahdolliset muutokset kiinteistön lämmitystarpeissa, lämmityskäyrän nosto, muutokset ilmanvaihdossa, häiriöt lämpöpumpuissa tai suuri lämpimän käyttöveden kulutus.

Lämpimän käyttöveden lämmittäminen kuluttaa energiaa 1 MWh, kun lämmitetään vajaa 17 m³ vettä lämpötilasta 5 °C lämpötilaan 58 °C. Käyttöveden kulutustietoja ei ollut saatavilla.



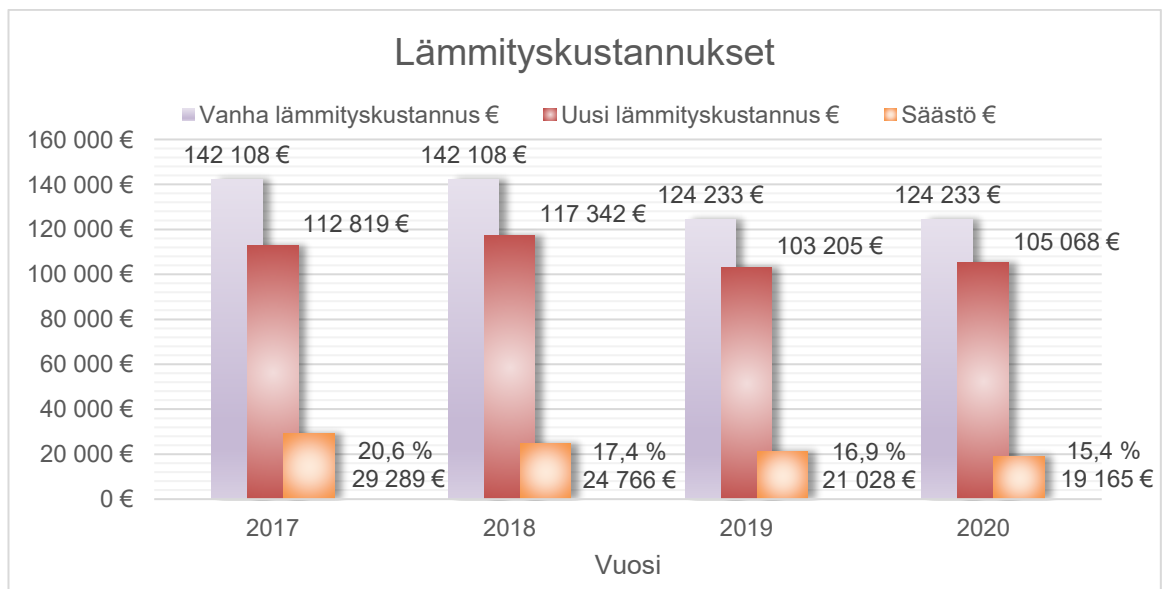
Kuva 24. Kaukolämmön kulutuksen muutos.

Kuvassa 24 on esitetty kaukolämmön kulutuksen muutos megawattitunteina vuosittain. Kuvasta huomaa vuosittaisen kulutuksen nousun ja kulutuksen muutoksen pienenemisen vertailukulutukseen nähden.



Kuva 25. Lämpöpumppujen energiankäyttö ja tuotto

Kuvassa 25 on esitetty lämpöpumppujen sähkönkulutuksen ja lämmöntuoton muutokset vuosittain. Lämpöpumppujen kulutus ja tuotto on keskenään joka vuosi lähes samat. Lämpöpumppujen COP on pysynyt 3,4 ja vuonna 2017 arvossa 3,5. Poistoilman LTO-järjestelmän käyttöönoton jälkeen vuosittaiset lämmityskustannukset ovat olleet laskussa kokonaisenergiankäytön lisääntymisen jälkeenkin.



Kuva 26. KOy Irmelinpesän lämmityskustannukset 2017–2020.

Kuvan 26 vanhan lämmityskustannuksen laskennalliselle alentumiselle vuosina 2019–2020 en saanut selitystä.

Kohteen takaisinmaksuajaksi ennen remonttia oli arvioitu noin 7 vuotta. Tarkempia tietoja järjestelmän rakentamiskustannuksista ja huoltokustannuksista ei ollut saatavilla, joten tässä työssä ei oteta kantaa takaisinmaksu-aikaan tai sen mahdollisiin muutoksiin.

5 Yhteenveto

Insinööriyön tarkoituksena oli syventyä asioihin, jotka vaikuttavat kiinteistöjen poistoilman lämmöntalteenoton toimintaan, suunnitteluun, mitoitukseen sekä kannattavuuteen. Työstä voi huomata, että lämmöntalteenottojärjestelmä vaikuttaa suurelta osin koko kiinteistön talotekniikkaan sekä sitä kautta energiatehokkuuteen. Energiatehokkuuden parantaminen on nykypäivän trendi ja aihe sopikin siihen mainiosti.

Insinööriyössä käsiteltiin PILP-järjestelmää LVI-suunnittelijan näkökulmasta eikä käsitelty järjestelmään kuuluvia rakennus- ja automaatio-suunnitteluun liittyviä asioita. Automaatio ja sen oikeanlainen toiminta onkin järjestelmän toimintaa ajatellen vähintään yhtä tärkeä asia kuin järjestelmän LVI-työt.

Työssä tuli ilmi useita asioita, jotka vaikuttavat poistoilmalämpöpumppulaitteiston tehokkuuteen. Väärä lämmöntalteenottoyksikön mitoitus tai lämmönsiirtonesteen valinta saattaa alentaa investoinnin kannattavuutta huomattavasti ja järjestelmä tulisikin suunnitella aina kohdekohtaisesti. Kiinteistöjen PILP-järjestelmien suunnitteluun ei voida käyttää valmista pohjaa, joka sopisi jokaiseen kohteeseen.

Haasteena saneerauskohteissa ovat usein lämmitysverkostojen lämpötilat, jotka ovat lämpöpumpuille liian korkeat kovimmilla pakkasilla. Puuttuvan lämmitystehon paikkaaminen päälämmitysjärjestelmällä tietyin ehdoin sekä mahdollisuudet verkoston lämpötilojen muutoksiin tulee huomioida suunnittelussa. Järjestelmän suunnittelussa joudutaan lähes väistämättä tekemään kompromisseja, jotta päästään mahdollisimman optimaaliseen ja energiatehokkaaseen ratkaisuun.

Insinööriyöhön liitettiin mukaan Espoossa sijaitseva esimerkikohde KOy Irmelinpesä, jossa PILP-järjestelmä on ollut käytössä yli neljän vuoden ajan. Järjestelmän kulutuksista, tuotoista sekä taloudellisesta kannattavuudesta saatiin dataa, joka tukee väitettä todellisesta energiansäästöstä sekä päästöjen vähennysmahdollisuudesta kiinteistössä.

Insinööriyön tavoitteet saavutettiin pääosin kokonaan, ja työtä pystyy hyödyntämään poistoilman LTO-laitteiston suunnittelun tukena. Työtä voisi olla mielenkiintoista jatkaa viemällä energiansäästötoimenpiteitä vielä pidemmälle erilaisilla hybridikytkennöillä sekä niiden eroilla säästöissä, kytkennöissä ja järjestelmän toiminnassa esimerkiksi aurinkopaneeleilla, aurinkokeräämillä sekä jäteveden lämmöntalteenotolla.

Lähteet

- 1 HybridLTO. 2020 Verkkoaineisto. HögforsGST Oy. <<http://www.hybridlto.fi>>. Luettu 20.12.2020.
- 2 Suomen lämpöpumppuyhdistys ry. Sähköpostikysely. 21.12.2020.
- 3 Kaukolämpötilasto 2019. Verkkoaineisto. Motiva Oy <https://energia.fi/files/5384/Kaukolampotilasto_2019.pdf>. Luettu 16.2.2021.
- 4 Lämpöpumppujen hankintaopas. 2018. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <https://www.motiva.fi/files/14752/Lampopumppujen_hankintaopas_kunnat_ja_taloyhtiot.pdf>. Luettu 21.12.2020.
- 5 Kaappola Esko, Aulis Hirvelä, Matti Jokela, Jani Kianta. 2020. Kylmätekniiikan perusteet. 6. painos. Helsinki: Opetushallitus.
- 6 CoolPack, versio. 1.5. 2012. Simulointiohjelma. IPU & Department of Mechanical Engineering Technical University of Denmark.
- 7 Kuntotutkimusopas. 2016. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/75517/YO_2016_Kuntotutkimusopas.pdf> Luettu 26.12.2020.
- 8 Vinha Juha, Korpi Minna, Kalamees Targo, Jokisalo Juha, Eskola Lari, Palonen Jari, Kumitski Jarek, Aho Hanna, Salminen Mikko, Salminen Kati, Keto Matias. Asuinrakennusten ilmanpitävyys, sisäilmasto ja energiatalous. 2009. Tutkimusraportti. Tampereen teknillinen yliopisto.
- 9 Sandberg, Esa. 2016. Ilmastointilaitoksen mitoitus. Forssa: Talotekniikka-Julkaisut Oy.
- 10 Välilliset jäähdytysjärjestelmät. 2019. Verkkoaineisto. Suomen kylmäyhdistys ry. <http://www.kylmaextra.fi/files/127/Valilliset_Jaahdytysjarjestelmat_2019.pdf>. Luettu 29.12.2020.
- 11 Geberit Mapress. 2020. Verkkoaineisto. Geberit Oy. <<https://www.geberit.fi/tuotteet/syottojarjestelmat/>>. Luettu 2.1.2021.
- 12 Tekninen esite Geberit Mapress. 2013. Verkkoaineisto. Geberit Oy. <<https://assets.geberit.fi/local-media/pdf/mepla-mapress-tekninen-esite.pdf>>. Luettu 2.1.2021.

- 13 Uponor komposiittikäsikirja. 2019. Verkkoaineisto. Uponor Oy. <<https://www.uponor.fi/UponorInternet/DirectDownload?did=CD161FCE39DB4F7BB1B5C59C41C4E4D1&v=05647339-769b-48e4-97f1-6333759ef17c>>. Luettu 3.1.2021
- 14 Valkeapää, Aki. 2020. Luentomateriaali. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 15 Hakala, Pertti; Kaappola, Esko. 2019. Kylmälaitoksen suunnittelu. 4. painos. Helsinki: Opetushallitus.
- 16 Taloteknisten eristysten mitoitus ja käyttö. 2002. Ohjetiedosto. LVI 50-10345. Helsinki: Rakennustietosäätiö.
- 17 Yrjölä, Jukka. 2019. Luentomateriaali. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 18 Rämä, Miika; Niemi, Rami; Similä Lassi. 2015. Poistoilmalämpöpumput kaukolämpöjärjestelmässä. Verkkoaineisto. VTT. <<https://www.vttresearch.com/sites/default/files/julkaisut/muut/2015/VTT-CR-00564-15.pdf>>. Luettu 20.1.2021.
- 19 YM1047/2017 6 §. Ympäristöministeriön asetus rakennusten vesi- ja viemärlaitteistoista. 2017. Helsinki: Ympäristöministeriö
- 20 Rakennusten kaukolämmitys. 2020. Verkkoaineisto. Määräykset ja ohjeet, julkaisu K1/2020. Helsinki: Energiateollisuus ry. <https://energia.fi/files/5423/JulkaisuK1_2020_Energiateollisuus_ry_%28paiv._20201119%29.pdf>. Luettu 5.2.2021.
- 21 Kaukolämmön hybridikytkentä. 2020. Verkkoaineisto. Alva Oy. <<https://www.alva.fi/kaukolammon-hybridikytkenta/>>. Luettu 6.2.2021
- 22 Molander, Anki. 2016. Kannattaako vaihtaa radiaattorit linjasaneerauksen yhteydessä? Verkkoaineisto. Purmo Oy. <<https://whatsapp.purmo.com/fi/vaihtaa-radiaattorit-linjasaneerauksen-yhteydessa/>>. Luettu 10.2.2021
- 23 Poistoilmalämpöpumput, kiinteistöjärjestelmät. 2021. Ohjeet. RT 103316. Helsinki: Rakennustietosäätiö.
- 24 Jäspi LTO. 2020. Verkkoaineisto. Kaukora Oy. <<http://www.jaspilto.fi>>. Luettu 20.12.2020.
- 25 Rauhala, Mikko. 2020. Projektimyyntipäällikkö. Kaukora Oy. Keskustelu 22.12.2020.
- 26 Enermix Oy. Sähköpostikysely. 24.2.2021.

Lämmönsiirtonesteiden soveltuvuus muovien ja kumien kanssa

Liitteessä eri lämmönsiirtonesteiden soveltuvuus muovien ja kumien kanssa.

Lämmönsiirtoneste	LDPE/HDPE	EPDM	PP	PS	PTFE	PVDF	FEP	PVC	ABS	PA	EP	PC	POM	NR	CR	IIR	NBR	NR	PB	CPE	SBR	FPM	PE	UP	UPVC	PMMA	MVQ	Akryyli	Si	
Etyylialkoholi-vesi	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x													
Ammoniakki-vesi	x	x	x						x																					
Antifrogeen-vesi	x	x	x	x																	x	x								
Etanoliamiiniasetaatti		x	x	x					x	x	x										x	x		x						
Freerium-vesi	x	x	x	x	x				x	x	x															x	x			
Etylaeeniglykoli-vesi	x	x	x	x					x	x	x										x	x		x						
Propyleeniglykoli-vesi	x	x	x	x					x	x	x										x	x		x						
Hycol-vesi	x	x	x	x					x	x	x										x	x		x						
Kaliumkloridi-vesi	x	x	x	x	x				x	x	x																			
Peksolar 50-vesi	x	x	x	x					x	x	x																			
Temper-vesi	x	x	x						x																					
Thermera-vesi	x	x	x	x					x	x	x																			
Tywofit F-vesi		x	x	x					x	x	x																			

LDPE/HDPE	pehmeä/kova polyeteeni	IIR	butyyli-kumi
EPDM	eteenipropreeni-kumi	NBR	nitriilibutadieeni-kumi
PP	polypropreeni	NR	luonnon kumi
PS	polystyreeni	PB	polybuteeni
PTFE	polytetrafluorieteeni	CPE	ristisilloitettu polyeteeni
PVDF	polyvinyydifluoridi	SBR	styreenibutadieeni-kumi
FEP	fluorisoitu eteenipropreeni	FPM	fluorihiihi-kumi
PVC	polyvinyylikloridi	PE	polyeteeni
ABS	akryylimitriilibutadieenistyreeni	VPE	vulkanoitu polyeteeni
PA	polyamidi	UP	kyllästämätön polyesteriharts
EP	epoksiharts	UPVC	polyvinyylikloridi, ei plastisoitu
PC	polykarbonaatti	PMMA	polymetyylimetakrylaatti
POM	polyasetaali	MVQ	pii-kumi
NR	luonnon kumi	Akryyli	
CR	kloropreeni-kumi	Si	pii-kumi
IR	isopreenikumi		

Etyleeniglykoli-vesiseoksen tyypilliset ominaisuudet

Etyleeniglykoli - vesi, $C_2H_4(OH)_2 + H_2O$

Pitoisuus [p-%]	14,0	23,6	30,5	36,2	41,1	45,4	49,3	52,8	56,1
Pitoisuus [til-%]	12,5	20,8	27,6	33,2	38,0	42,0	45,7	49,3	52,9
Jäätymispiste [°C]	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45

Tiheys, [kg/m³]

[°C]	14,0p-%	23,6p-%	30,5p-%	36,2p-%	41,1p-%	45,4p-%	49,3p-%	52,8p-%	56,1p-%
40	1010	1021	1030	1036	1043	1049	1053	1057	1060
30	1013	1026	1035	1042	1048	1054	1059	1063	1066
20	1017	1030	1039	1047	1054	1060	1065	1069	1073
10	1019	1033	1043	1051	1058	1065	1070	1074	1078
0	1020	1035	1046	1055	1062	1070	1074	1079	1083
-5	1021	1036	1047	1057	1064	1072	1076	1081	1085
-10		1037	1048	1058	1066	1074	1078	1083	1087
-15			1049	1059	1068	1076	1080	1085	1089
-20				1060	1069	1077	1082	1087	1091
-25					1070	1078	1084	1089	1093
-30						1079	1085	1090	1094
-35							1086	1091	1095
-40								1092	1096
-45									1097

Ominaislämpökapasiteetti, [kJ/kgK]

[°C]	14,0p-%	23,6p-%	30,5p-%	36,2p-%	41,1p-%	45,4p-%	49,3p-%	52,8p-%	56,1p-%
40	4,040	3,910	3,795	3,675	3,570	3,480	3,425	3,355	3,295
30	4,03	3,890	3,760	3,640	3,530	3,430	3,370	3,295	3,235
20	4,02	3,865	3,730	3,605	3,490	3,385	3,320	3,240	3,170
10	4,01	3,840	3,700	3,565	3,445	3,340	3,265	3,180	3,110
0	4,000	3,820	3,665	3,525	3,405	3,295	3,215	3,125	3,050
-5	4,000	3,808	3,650	3,508	3,383	3,273	3,188	3,095	3,020
-10		3,795	3,635	3,490	3,360	3,250	3,160	3,065	2,990
-15			3,620	3,470	3,340	3,228	3,135	3,038	2,960
-20				3,450	3,320	3,205	3,110	3,010	2,930
-25					3,300	3,183	3,083	2,980	2,900
-30						3,160	3,055	2,950	2,870
-35							3,030	2,925	2,840
-40								2,900	2,810
-45									2,780

Lämmönjohtavuus, [W/mK]

[°C]	14,0p-%	23,6p-%	30,5p-%	36,2p-%	41,1p-%	45,4p-%	49,3p-%	52,8p-%	56,1p-%
40	0,558	0,511	0,481	0,457	0,435	0,418	0,404	0,392	0,379
30	0,547	0,510	0,472	0,449	0,428	0,412	0,398	0,387	0,375
20	0,536	0,493	0,463	0,440	0,421	0,405	0,391	0,381	0,369
10	0,522	0,482	0,454	0,432	0,413	0,398	0,385	0,375	0,364
0	0,508	0,471	0,444	0,424	0,406	0,391	0,379	0,369	0,359
-5	0,501	0,466	0,440	0,420	0,404	0,388	0,376	0,367	0,357
-10		0,460	0,435	0,416	0,398	0,384	0,373	0,364	0,354
-15			0,430	0,412	0,395	0,381	0,370	0,361	0,352
-20				0,408	0,391	0,378	0,367	0,358	0,349
-25					0,387	0,375	0,364	0,355	0,347
-30						0,371	0,361	0,352	0,344
-35							0,358	0,349	0,341
-40								0,346	0,338
-45									0,336

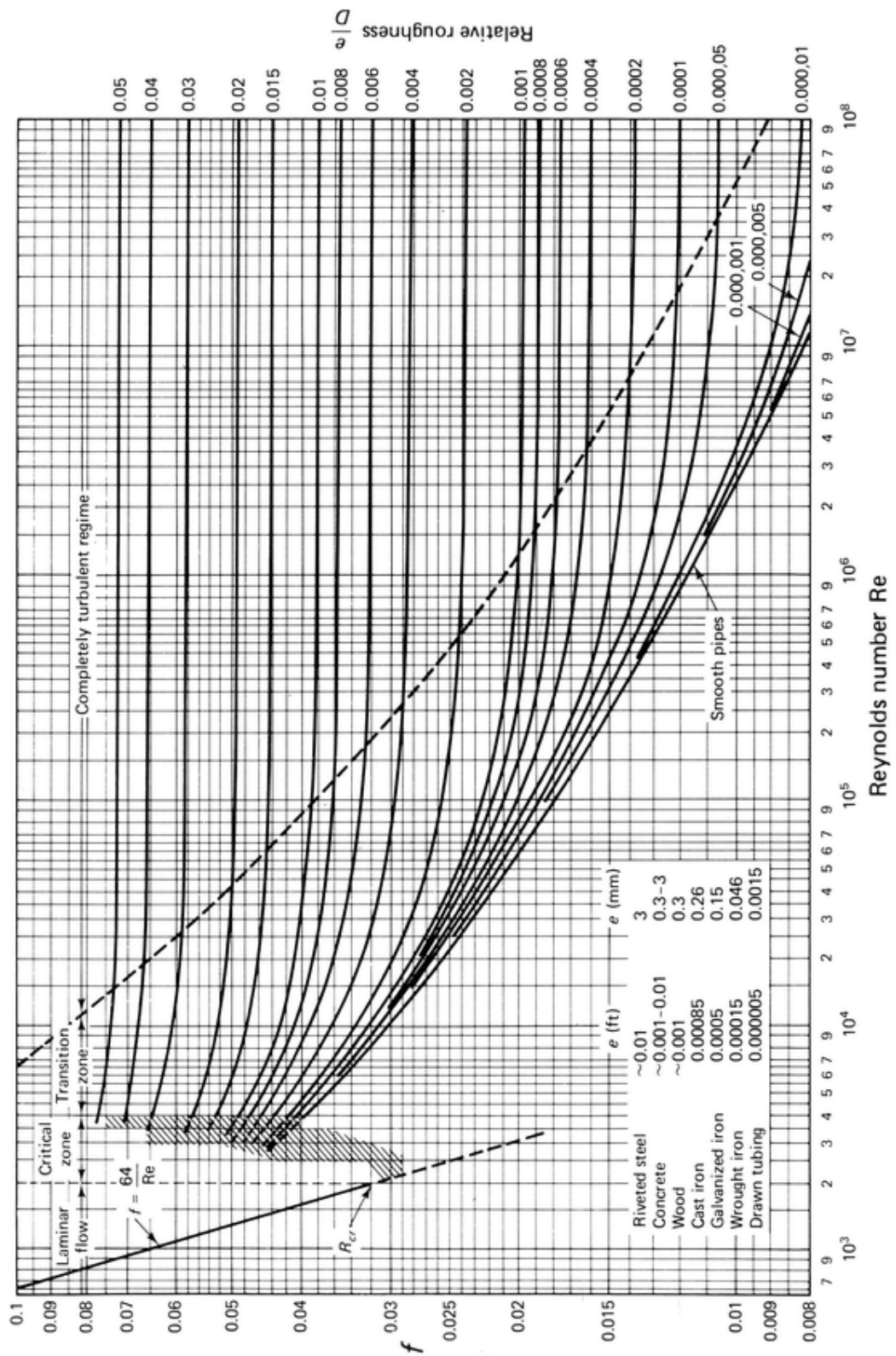
Dynaaminen viskositeetti, [Pas*10⁻³]

[°C]	14,0p-%	23,6p-%	30,5p-%	36,2p-%	41,1p-%	45,4p-%	49,3p-%	52,8p-%	56,1p-%
40	0,91	1,12	1,34	1,55	1,75	1,95	2,15	2,35	2,50
30	1,10	1,39	1,68	1,93	2,21	2,48	2,73	3,02	3,30
20	1,42	1,82	2,19	2,54	2,91	3,29	3,71	4,11	4,47
10	1,92	2,51	3,03	3,58	4,11	4,65	5,25	5,9	6,70
0	2,65	3,52	4,35	5,15	5,95	6,9	7,95	8,9	10,0
-5	3,18	4,44	5,58	6,53	7,63	8,8	10,3	11,7	13
-10		5,35	6,8	7,9	9,3	10,7	12,6	14,5	16,0
-15			8,6	10,6	12,5	14,4	16,9	19,5	22,5
-20				13,3	15,6	18,0	21,2	24,5	29,0
-25					21,2	25,5	30,4	36,3	42,5
-30						33,0	39,5	48,0	56,0
-35							57,0	74,0	88,0
-40								100,0	120,0
-45									230,0

Kinemaattinen viskositeetti, [mm²/s]

[°C]	14,0p-%	23,6p-%	30,5p-%	36,2p-%	41,1p-%	45,4p-%	49,3p-%	52,8p-%	56,1p-%
40	0,90	1,10	1,30	1,50	1,68	1,86	2,04	2,22	2,36
30	1,09	1,35	1,62	1,85	2,11	2,35	2,58	2,84	3,10
20	1,40	1,77	2,11	2,43	2,76	3,10	3,48	3,84	4,17
10	1,88	2,43	2,91	3,41	3,88	4,37	4,91	5,5	6,2
0	2,60	3,40	4,16	4,88	5,6	6,4	7,4	8,2	9,2
-5	3,11	4,28	5,33	6,19	7,15	8,2	9,55	10,8	12,1
-10		5,16	6,5	7,5	8,70	10,0	11,7	13,4	15,0
-15			8,2	10,0	11,65	13,5	15,65	17,95	21,0
-20				12,5	14,6	17,0	19,6	22,5	27,0
-25					19,8	24,0	28,0	33,25	39,0
-30						31,0	36,4	44,0	51,0
-35							52,0	68,0	80,0
-40								92,0	109,0
-45									210,0

Moodyn diagrammi



Putken lämpöhäviö-, jäähtymis-, jäätyminen alkamisajankohta- ja eristeen pintalämpötilalaskelmat

Taulukkojen 7 ja 8 lähtötiedot, laskukaavat ja tulokset. Esimerkissä käytetty kivivillakourun lämmönjohtavuutta. Putkipituutena (l) 1 metri.

Putkimateriaali	Komposiittiputki
Putken ulkohalkaisija d_2	0,063m
Putken sisähalkaisija d_1	0,051m
Putken tiheys ρ_{putki}	$946 \frac{kg}{m^3}$
Putken ominaislämpökapasiteetti $c_{p,putki}$	$2300 \frac{J}{kgK}$
Putken lämmönjohtavuus λ_1	$0,33 \frac{W}{Km}$
Eristeen lämmönjohtavuus λ_2	$0,035 \frac{W}{Km}$
Eristeen paksuus s	0.040m
Eristetyn putken halkaisija d_3	0,103m
Keruuliuos	<i>Etyleeniglykoli – vesi 30,5p%</i>
Keruuliuos tiheys ρ_{liuos}	$1049 \frac{kg}{m^3}$

Keruuliuos ominaislämpökapasiteetti $c_{p,liuos}$	$3620 \frac{J}{kgK}$
Keruuliuos keskilämpötila $^{\circ}C$	$3,5^{\circ}C$
Keruuliuos virtausnopeus v	$0,59 \frac{m}{s}$
Mitoitus ulkolämpötila $^{\circ}C$	$-26^{\circ}C$
Ulkopuolinen lämmönsiirtokerroin α_u	$10W/m^2K$
Sisäpuolinen lämmönsiirtokerroin α_s	$1000W/m^2K$

Lämpövirta putken läpi

$$\frac{\dot{Q}}{l} = \frac{t_s - t_u}{\left(\frac{1}{\alpha_s \pi d_1} + \frac{1}{2\pi\lambda_1} \ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right) + \frac{1}{2\pi\lambda_2} \ln\left(\frac{d_3}{d_2}\right) + \frac{1}{\alpha_u \pi d_3} \right)} = 7,3 \frac{W}{m}$$

Putken U-arvo

$$U' = \frac{1}{\left(\frac{1}{\alpha_s \pi d_1} + \frac{1}{2\pi\lambda_1} \ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right) + \frac{1}{2\pi\lambda_2} \ln\left(\frac{d_3}{d_2}\right) + \frac{1}{\alpha_u \pi d_3} \right)} = 0,246 \frac{W}{Km}$$

Keruuliuksen jäähtymä

Aluksi lasketaan putken virtauspoikkipinta-ala A josta edelleen \dot{C}

$$A = \frac{\pi d_1^2}{4} = 0,002043m^2$$

$$\dot{C} = vA\rho_{liuos}c_{p,liuos} = 4577 \frac{W}{K}$$

Josta lasketaan edelleen eksponentti

$$-\frac{U'}{\dot{C}}l = -0,0001$$

Seuraavaksi lasketaan loppulämpötilaero

$$\theta_l = (t_s - t_u)e^{-0,0004} = 29,498^\circ\text{C}$$

Jonka jälkeen saadaan keruuliuksen loppulämpötila ja jäähtymä metrin matkalle

$$t_l = t_u + \theta_l = 3,4984^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{jäähtymä}} = t_s - t_l = 0,0016^\circ\text{C}$$

Keruuliuksen jäätymisen alkamisajankohta

Lasketaan putken tilavuus putkimetriä kohti

$$\frac{V}{l} = \frac{\pi}{4}(d_2^2 - d_1^2) = 0,001074 \frac{\text{m}^3}{\text{m}}$$

Jonka jälkeen voidaan laskea C'

$$C' = C'_{\text{putki}} + C'_{\text{liuos}} = \left(\rho_{\text{putki}} \frac{V}{l}\right) c_{p,\text{putki}} + \left(\rho_{\text{liuos}} \frac{\pi d_1^2}{4}\right) c_{p,\text{liuos}} = 10095,1 \frac{\text{J}}{\text{Km}}$$

Lopuksi aika jäätymisen alkamiseen pysähtyneessä liuoksessa

$$\tau = \frac{\ln \frac{(t_j - t_u)}{(t_s - t_u)}}{-\frac{U'}{C'}} = 40415\text{s} = 11,2\text{h}$$

t_j on keruuliuksen jäätymislämpötila $^\circ\text{C}$

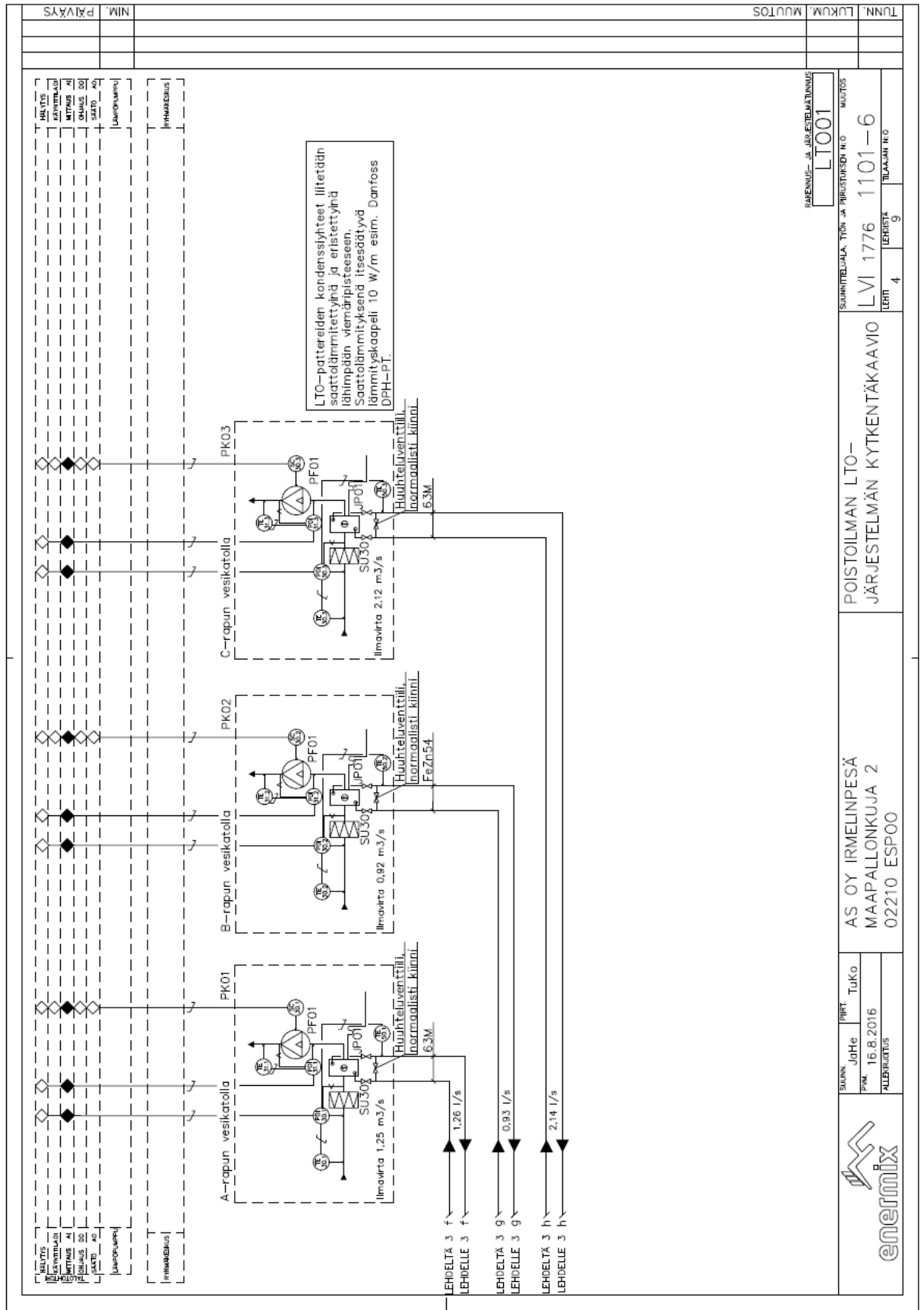
Eristeen pintalämpötila

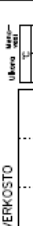



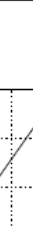
















Ratkaistaan ulkopinnan R-arvo

$$R_u = \frac{1}{\pi \alpha_u d_3} = 0,223 \frac{Km}{W}$$

Eristeen pintalämpötilaa voidaan arvioida R-arvon, ulkolämpötilan ja putken U-arvon kanssa

$$t_{ep} = R_u \frac{\Phi}{l} + t_u = -24,4^\circ C$$




TUNN. LUKUM. MUUTOS		PÄIVÄYS																																																	
TOIMINTASEUTUS																																																			
<p>YLEISTÄ Tämä toimintaseutus kuvaa Jämsä-LTO poistoilman lämmönalennusjärjestelmän toiminnan sekä myös kintestön kaukolämmön alajakoituksen toimintaa siltä osin kuin se liittyy lämmön talteenottoon. Lämmön talteenottojärjestelmässä on oma automaatio- sekä etävalvontalaitteisto (Taloohjotin). Kaukolämmön alajakoituksen toimintaa ohjaa olmassa oleva säädin Ouman EH-203, johon tehdään lämmitysjärjestystäkin muutoksia järempänä kuvattuna mukaisesti.</p>	<p>KYTKENTÄ Lämmön talteenottojärjestelmän kytkentä on suunniteltu noudattaa energiatallisuuden K3/2013 julkaisussa esitetyn esimerkkikytkentään 7 (rinnakkaislämmön kytkentä) periaatteita noudattaen, jossa lämmön talteenotto on kytketty kaukolämmön rinnalle.</p>	<p>KAUKOLÄMMÖN ALAJAKOKESKUSEEN Kaukolämmön alajakoituksen tehdään putkiliitosten lisäksi seuraavat kaksi muutosta: 1. lämmitysverkoston menoveden anturin paikka siirretään (ks. kytkentäkavio) 2. lämpimän käyttöveden menoveden anturin paikka siirretään (ks. kytkentäkavio)</p>	<p>KÄYTTÖVESI Käyttövesiverkoston menoveden lämpötila (TE1A) pidetään asetusarvoissaan 58°C ohjaamalla sarjassa kaukolämmön säätöventtiileillä TV1.1 ja TV1.2. Lämpöpumpulla lämmitetään mäsäraajia VA1 ja VA2, joiden käyttövesikeruukoitten tölpi johdetaan veteä seosilämpökeskukseen LVI1700 avulla riimikauan, kuin myös lämpöpumpun ja P11:n käyttövesiverkoston lämpötilaohjauksessa. Käyttövesiverkoston lämpötilaohjauksessa käytetään (TE1) ja (TE2) johdetaan lämmityskaudella alustena 40-45 astetta. Lämmityskauden alkupuolella automaatio nostaa varaajan lämpötilan 50-55 asteiseksi.</p>																																																
<p>LÄMMÖNSÄÄDÖN TOIMINTAPERIAATTE Lämmitysverkoston menoveden lämpötila ohjataan ulkolämpötilaohjauksella ja kaukolämmöllä havainnekuva (KUVA 1) mukaisesti. Kuvasa oleva TP tarkoitaa tasapainotettua, jota korkeammalla ulkolämpötilalla lämpöpumpun pystyy kokonaisuudessaan kattamaan rakennuksen lämpöohjontarpeen. Tällä alueella menoveden lämpötila säätetään lämpöpumpun säätökäyrällä ja kaukolämmön säätökäyrää lasketaan 3 astetta lämmitystapetta alemmaksi.</p>	<p>Tasapainotettua alemmalla ulkolämpötilalla menoveden lämpötila säädetään kaukolämmön säätökäyrällä. Tällä alueella lämpöpumpun säätökäyrä nostetaan 3 astetta lämmitystapetta korkeammaksi, jotta lämpöpumpun pystyy päällä. Mikäli lämmitysverkoston paluuv veden lämpötila ylittää lämpöpumpun suurimman sallitun lämpötilatason (+55°C), lämpöpumpun kompressorit pysäytetään.</p>	<p>PATTERIVERKOSTO Kaukolämmön osalta säädöstä vastaa kaukolämmösäädin Ouman EH-203, joka säätää sarjassa säätöventtiileillä TV2.1 ja TV2.2 patteriverkoston menoveden lämpötilan (TE2A) ja ulkolämpötilan (TE2B) perusteella. Kuvasa 3 on niiden lämpötilojen verrannollisuus. Säädin AXCI1 säätää venttiilin TV40 avausasteita menoveden lämpötilan (TE42) ja ulkolämpötilan (TE00) mukaisesti. Näiden verrannollisuus kuvasa 4.</p>	<p>Lämmönsiirrin kaukolämmön paluulinjan lähteen lämsätila-anturi TE2E, joka kytketään Ouman -säätimen. Tämän avulla tarkkailaan siirtimen asteisuutta (ensis- ja toispiirien paluulinjojen erotusta), joka saa olla korkeintaan 5 °C.</p>																																																
<p>ILMANVAIHTOVERKOSTO Kaukolämmön osalta säädöstä vastaa kaukolämmösäädin Ouman EH-203, joka säätää sarjassa säätöventtiileillä TV3.1 ja TV3.3 ilmanvaihtoverkoston menoveden lämpötilan (TE3A) ja ulkolämpötilan (TE3B) perusteella. Kuvasa 5 on näiden lämpötilojen verrannollisuus.</p>	<p>Lämpöpumpulla tuotettu lämpö varastuu puskurivaraajaan VA03 ja sieltä ohjataan patteriverkoston säätöventtiilin TV41 avulla. Säädin AXC2 säätää venttiilin TV41 avausasteita menoveden lämpötilan (TE41) ja ulkolämpötilan (TE00) mukaisesti. Näiden verrannollisuus kuvasa 6.</p>	<p>Lämmönsiirrin kaukolämmön paluulinjan lähteen lämpötila-anturi TE3E, joka kytketään Ouman -säätimeen. Tämän avulla tarkkailaan siirtimen asteisuutta (ensis- ja toispiirien paluulinjojen erotusta), joka saa olla korkeintaan 5 °C.</p>	<p>VAIHTOVENTTIILIN TOIMINTA Lämpöpumpun kytkentämoduulissa sijaitseva vaihtoventtiili on kytketty toiseen kompressorin ohjaamaan lämmön talteenottoon ohjaamaan joko lämmitysverkoston tai varaajille VA01 ja VA02.</p>																																																
<p>PAIKKASÄÄNTÖTOIMINTO Taloohjotin automaation paikkasäätö-toiminto huolehtii siitä, että otettomasta ei ole energiaa talteen ilolla tehoilla, joka voisi aiheuttaa talteenotto-patterin jäähtymisen ja poistoilman määrän alenemisen. Paikkasäätö toiminto perustuu höyrystimellä lähtevän nesteen lämpötilan seurantaan, raja-arvoa -5°C.</p>	<p>VAROTOIMINNAT JA HÄLYTYKSET Taloohjotin automaatiojärjestelmä valvoo lähtevän nesteen ja antaa hälytyksen mm. seuraavista virheilähteistä: - lämpöpumpun häiritseminen - keruupiirin tai lämmitysverkoston alhainen paine - raja-arvojen ylitykset/aliukset - LTO-yksiköiden sähkömoottorin lämpötilan lukeaminen - puhaltimen Tuuraväkimäen käyttö - LTO-yksikön suodattimen tukkeutuminen - LTO-yksikön suodattimen lämpötilan (LTO-Heikkin) ylijääminen - Lämmitysjärjestelmässä vika (lämpöpumpun vs kaukolämmön alajakoitus)</p>	<p>MITTAUKSET Taloohjotin automaatiojärjestelmä kerää seuraavat energia/kulutusmittaukset (luettavilla suluisia): - Lämpöpumpun sähkökulutus (1 h) - Lämpöpumpun tuottama energia lämmitysverkoston (1 h) - Lämpöpumpun tuottama energia käyttöveden (1 h) - Kaukolämmön kuutus (1 h) - Poistoilmasta talteen otettu energia (1 h) - Lämpöpumpun ja kompressorin EP24 ja EP15 käyttöaika (1 vrk) - Lämpöpumpun LP02 kompressorin EP24 ja EP15 käyttöaika (1 vrk)</p>	<p>ILMANVAIHTOVERKOSTO  <table border="1" data-bbox="941 560 973 784"> <tr><th>Ulkolämpötila (°C)</th><th>Käyttövesi (°C)</th></tr> <tr><td>-20</td><td>70</td></tr> <tr><td>-10</td><td>70</td></tr> <tr><td>0</td><td>70</td></tr> <tr><td>10</td><td>70</td></tr> <tr><td>20</td><td>70</td></tr> </table> </p>	Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)	-20	70	-10	70	0	70	10	70	20	70																																				
Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)																																																		
-20	70																																																		
-10	70																																																		
0	70																																																		
10	70																																																		
20	70																																																		
<p>LÄMPÖPUMPPU  <table border="1" data-bbox="973 560 1005 784"> <tr><th>Ulkolämpötila (°C)</th><th>Käyttövesi (°C)</th></tr> <tr><td>-20</td><td>78</td></tr> <tr><td>-10</td><td>67</td></tr> <tr><td>0</td><td>53</td></tr> <tr><td>10</td><td>39</td></tr> <tr><td>20</td><td>25</td></tr> </table> </p>	Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)	-20	78	-10	67	0	53	10	39	20	25	<p>HAIVANNEKUVA  <table border="1" data-bbox="1005 560 1037 784"> <tr><th>Ulkolämpötila (°C)</th><th>Käyttövesi (°C)</th></tr> <tr><td>-20</td><td>69</td></tr> <tr><td>-10</td><td>56</td></tr> <tr><td>0</td><td>45</td></tr> <tr><td>10</td><td>30</td></tr> <tr><td>20</td><td>17</td></tr> </table> </p>	Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)	-20	69	-10	56	0	45	10	30	20	17	<p>OUUMAN, L1, PATERIVERKOSTO  <table border="1" data-bbox="1037 560 1069 784"> <tr><th>Ulkolämpötila (°C)</th><th>Käyttövesi (°C)</th></tr> <tr><td>-20</td><td>72</td></tr> <tr><td>-10</td><td>59</td></tr> <tr><td>0</td><td>45</td></tr> <tr><td>10</td><td>33</td></tr> <tr><td>20</td><td>20</td></tr> </table> </p>	Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)	-20	72	-10	59	0	45	10	33	20	20	<p>AXCI, PATERIVERKOSTO  <table border="1" data-bbox="1069 560 1101 784"> <tr><th>Ulkolämpötila (°C)</th><th>Käyttövesi (°C)</th></tr> <tr><td>-20</td><td>70</td></tr> <tr><td>-10</td><td>62</td></tr> <tr><td>0</td><td>48</td></tr> <tr><td>10</td><td>34</td></tr> <tr><td>20</td><td>20</td></tr> </table> </p>	Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)	-20	70	-10	62	0	48	10	34	20	20
Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)																																																		
-20	78																																																		
-10	67																																																		
0	53																																																		
10	39																																																		
20	25																																																		
Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)																																																		
-20	69																																																		
-10	56																																																		
0	45																																																		
10	30																																																		
20	17																																																		
Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)																																																		
-20	72																																																		
-10	59																																																		
0	45																																																		
10	33																																																		
20	20																																																		
Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)																																																		
-20	70																																																		
-10	62																																																		
0	48																																																		
10	34																																																		
20	20																																																		
<p>OUUMAN, L2, IV-VERKOSTO  <table border="1" data-bbox="1101 560 1133 784"> <tr><th>Ulkolämpötila (°C)</th><th>Käyttövesi (°C)</th></tr> <tr><td>-20</td><td>70</td></tr> <tr><td>-10</td><td>59</td></tr> <tr><td>0</td><td>45</td></tr> <tr><td>10</td><td>31</td></tr> <tr><td>20</td><td>17</td></tr> </table> </p>	Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)	-20	70	-10	59	0	45	10	31	20	17	<p>AXC2, IV-VERKOSTO  <table border="1" data-bbox="1133 560 1165 784"> <tr><th>Ulkolämpötila (°C)</th><th>Käyttövesi (°C)</th></tr> <tr><td>-20</td><td>72</td></tr> <tr><td>-10</td><td>59</td></tr> <tr><td>0</td><td>45</td></tr> <tr><td>10</td><td>33</td></tr> <tr><td>20</td><td>20</td></tr> </table> </p>	Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)	-20	72	-10	59	0	45	10	33	20	20	<p>HAIVANNEKUVA  <table border="1" data-bbox="1165 560 1197 784"> <tr><th>Ulkolämpötila (°C)</th><th>Käyttövesi (°C)</th></tr> <tr><td>-20</td><td>78</td></tr> <tr><td>-10</td><td>67</td></tr> <tr><td>0</td><td>53</td></tr> <tr><td>10</td><td>39</td></tr> <tr><td>20</td><td>25</td></tr> </table> </p>	Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)	-20	78	-10	67	0	53	10	39	20	25	<p>OUUMAN, L1, PATERIVERKOSTO  <table border="1" data-bbox="1197 560 1228 784"> <tr><th>Ulkolämpötila (°C)</th><th>Käyttövesi (°C)</th></tr> <tr><td>-20</td><td>69</td></tr> <tr><td>-10</td><td>56</td></tr> <tr><td>0</td><td>45</td></tr> <tr><td>10</td><td>30</td></tr> <tr><td>20</td><td>17</td></tr> </table> </p>	Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)	-20	69	-10	56	0	45	10	30	20	17
Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)																																																		
-20	70																																																		
-10	59																																																		
0	45																																																		
10	31																																																		
20	17																																																		
Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)																																																		
-20	72																																																		
-10	59																																																		
0	45																																																		
10	33																																																		
20	20																																																		
Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)																																																		
-20	78																																																		
-10	67																																																		
0	53																																																		
10	39																																																		
20	25																																																		
Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)																																																		
-20	69																																																		
-10	56																																																		
0	45																																																		
10	30																																																		
20	17																																																		
<p>OUUMAN, L2, IV-VERKOSTO  <table border="1" data-bbox="1228 560 1260 784"> <tr><th>Ulkolämpötila (°C)</th><th>Käyttövesi (°C)</th></tr> <tr><td>-20</td><td>70</td></tr> <tr><td>-10</td><td>59</td></tr> <tr><td>0</td><td>45</td></tr> <tr><td>10</td><td>31</td></tr> <tr><td>20</td><td>17</td></tr> </table> </p>	Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)	-20	70	-10	59	0	45	10	31	20	17	<p>AXC2, IV-VERKOSTO  <table border="1" data-bbox="1260 560 1292 784"> <tr><th>Ulkolämpötila (°C)</th><th>Käyttövesi (°C)</th></tr> <tr><td>-20</td><td>72</td></tr> <tr><td>-10</td><td>59</td></tr> <tr><td>0</td><td>45</td></tr> <tr><td>10</td><td>33</td></tr> <tr><td>20</td><td>20</td></tr> </table> </p>	Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)	-20	72	-10	59	0	45	10	33	20	20	<p>HAIVANNEKUVA  <table border="1" data-bbox="1292 560 1324 784"> <tr><th>Ulkolämpötila (°C)</th><th>Käyttövesi (°C)</th></tr> <tr><td>-20</td><td>78</td></tr> <tr><td>-10</td><td>67</td></tr> <tr><td>0</td><td>53</td></tr> <tr><td>10</td><td>39</td></tr> <tr><td>20</td><td>25</td></tr> </table> </p>	Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)	-20	78	-10	67	0	53	10	39	20	25	<p>OUUMAN, L1, PATERIVERKOSTO  <table border="1" data-bbox="1324 560 1356 784"> <tr><th>Ulkolämpötila (°C)</th><th>Käyttövesi (°C)</th></tr> <tr><td>-20</td><td>69</td></tr> <tr><td>-10</td><td>56</td></tr> <tr><td>0</td><td>45</td></tr> <tr><td>10</td><td>30</td></tr> <tr><td>20</td><td>17</td></tr> </table> </p>	Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)	-20	69	-10	56	0	45	10	30	20	17
Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)																																																		
-20	70																																																		
-10	59																																																		
0	45																																																		
10	31																																																		
20	17																																																		
Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)																																																		
-20	72																																																		
-10	59																																																		
0	45																																																		
10	33																																																		
20	20																																																		
Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)																																																		
-20	78																																																		
-10	67																																																		
0	53																																																		
10	39																																																		
20	25																																																		
Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)																																																		
-20	69																																																		
-10	56																																																		
0	45																																																		
10	30																																																		
20	17																																																		
<p>OUUMAN, L2, IV-VERKOSTO  <table border="1" data-bbox="1356 560 1388 784"> <tr><th>Ulkolämpötila (°C)</th><th>Käyttövesi (°C)</th></tr> <tr><td>-20</td><td>70</td></tr> <tr><td>-10</td><td>59</td></tr> <tr><td>0</td><td>45</td></tr> <tr><td>10</td><td>31</td></tr> <tr><td>20</td><td>17</td></tr> </table> </p>	Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)	-20	70	-10	59	0	45	10	31	20	17	<p>AXC2, IV-VERKOSTO  <table border="1" data-bbox="1388 560 1420 784"> <tr><th>Ulkolämpötila (°C)</th><th>Käyttövesi (°C)</th></tr> <tr><td>-20</td><td>72</td></tr> <tr><td>-10</td><td>59</td></tr> <tr><td>0</td><td>45</td></tr> <tr><td>10</td><td>33</td></tr> <tr><td>20</td><td>20</td></tr> </table> </p>	Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)	-20	72	-10	59	0	45	10	33	20	20	<p>HAIVANNEKUVA  <table border="1" data-bbox="1420 560 1452 784"> <tr><th>Ulkolämpötila (°C)</th><th>Käyttövesi (°C)</th></tr> <tr><td>-20</td><td>78</td></tr> <tr><td>-10</td><td>67</td></tr> <tr><td>0</td><td>53</td></tr> <tr><td>10</td><td>39</td></tr> <tr><td>20</td><td>25</td></tr> </table> </p>	Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)	-20	78	-10	67	0	53	10	39	20	25	<p>OUUMAN, L1, PATERIVERKOSTO  <table border="1" data-bbox="1452 560 1484 784"> <tr><th>Ulkolämpötila (°C)</th><th>Käyttövesi (°C)</th></tr> <tr><td>-20</td><td>69</td></tr> <tr><td>-10</td><td>56</td></tr> <tr><td>0</td><td>45</td></tr> <tr><td>10</td><td>30</td></tr> <tr><td>20</td><td>17</td></tr> </table> </p>	Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)	-20	69	-10	56	0	45	10	30	20	17
Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)																																																		
-20	70																																																		
-10	59																																																		
0	45																																																		
10	31																																																		
20	17																																																		
Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)																																																		
-20	72																																																		
-10	59																																																		
0	45																																																		
10	33																																																		
20	20																																																		
Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)																																																		
-20	78																																																		
-10	67																																																		
0	53																																																		
10	39																																																		
20	25																																																		
Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)																																																		
-20	69																																																		
-10	56																																																		
0	45																																																		
10	30																																																		
20	17																																																		
<p>OUUMAN, L2, IV-VERKOSTO  <table border="1" data-bbox="1484 560 1516 784"> <tr><th>Ulkolämpötila (°C)</th><th>Käyttövesi (°C)</th></tr> <tr><td>-20</td><td>70</td></tr> <tr><td>-10</td><td>59</td></tr> <tr><td>0</td><td>45</td></tr> <tr><td>10</td><td>31</td></tr> <tr><td>20</td><td>17</td></tr> </table> </p>	Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)	-20	70	-10	59	0	45	10	31	20	17	<p>AXC2, IV-VERKOSTO  <table border="1" data-bbox="1516 560 1548 784"> <tr><th>Ulkolämpötila (°C)</th><th>Käyttövesi (°C)</th></tr> <tr><td>-20</td><td>72</td></tr> <tr><td>-10</td><td>59</td></tr> <tr><td>0</td><td>45</td></tr> <tr><td>10</td><td>33</td></tr> <tr><td>20</td><td>20</td></tr> </table> </p>	Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)	-20	72	-10	59	0	45	10	33	20	20	<p>HAIVANNEKUVA  <table border="1" data-bbox="1548 560 1580 784"> <tr><th>Ulkolämpötila (°C)</th><th>Käyttövesi (°C)</th></tr> <tr><td>-20</td><td>78</td></tr> <tr><td>-10</td><td>67</td></tr> <tr><td>0</td><td>53</td></tr> <tr><td>10</td><td>39</td></tr> <tr><td>20</td><td>25</td></tr> </table> </p>	Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)	-20	78	-10	67	0	53	10	39	20	25	<p>OUUMAN, L1, PATERIVERKOSTO  <table border="1" data-bbox="1580 560 1596 784"> <tr><th>Ulkolämpötila (°C)</th><th>Käyttövesi (°C)</th></tr> <tr><td>-20</td><td>69</td></tr> <tr><td>-10</td><td>56</td></tr> <tr><td>0</td><td>45</td></tr> <tr><td>10</td><td>30</td></tr> <tr><td>20</td><td>17</td></tr> </table> </p>	Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)	-20	69	-10	56	0	45	10	30	20	17
Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)																																																		
-20	70																																																		
-10	59																																																		
0	45																																																		
10	31																																																		
20	17																																																		
Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)																																																		
-20	72																																																		
-10	59																																																		
0	45																																																		
10	33																																																		
20	20																																																		
Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)																																																		
-20	78																																																		
-10	67																																																		
0	53																																																		
10	39																																																		
20	25																																																		
Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)																																																		
-20	69																																																		
-10	56																																																		
0	45																																																		
10	30																																																		
20	17																																																		
<p>OUUMAN, L2, IV-VERKOSTO <table border="1" data-bbox="1596 560 1596 784"> <tr><th>Ulkolämpötila (°C)</th><th>Käyttövesi (°C)</th></tr> <tr><td>-20</td><td>70</td></tr> <tr><td>-10</td><td>59</td></tr> <tr><td>0</td><td>45</td></tr> <tr><td>10</td><td>31</td></tr> <tr><td>20</td><td>17</td></tr> </table> </p>	Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)	-20	70	-10	59	0	45	10	31	20	17	<p>AXC2, IV-VERKOSTO <table border="1" data-bbox="1611 560 1596 784"> <tr><th>Ulkolämpötila (°C)</th><th>Käyttövesi (°C)</th></tr> <tr><td>-20</td><td>72</td></tr> <tr><td>-10</td><td>59</td></tr> <tr><td>0</td><td>45</td></tr> <tr><td>10</td><td>33</td></tr> <tr><td>20</td><td>20</td></tr> </table> </p>	Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)	-20	72	-10	59	0	45	10	33	20	20	<p>HAIVANNEKUVA <table border="1" data-bbox="1627 560 1596 784"> <tr><th>Ulkolämpötila (°C)</th><th>Käyttövesi (°C)</th></tr> <tr><td>-20</td><td>78</td></tr> <tr><td>-10</td><td>67</td></tr> <tr><td>0</td><td>53</td></tr> <tr><td>10</td><td>39</td></tr> <tr><td>20</td><td>25</td></tr> </table> </p>	Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)	-20	78	-10	67	0	53	10	39	20	25	<p>OUUMAN, L1, PATERIVERKOSTO <table border="1" data-bbox="1643 560 1596 784"> <tr><th>Ulkolämpötila (°C)</th><th>Käyttövesi (°C)</th></tr> <tr><td>-20</td><td>69</td></tr> <tr><td>-10</td><td>56</td></tr> <tr><td>0</td><td>45</td></tr> <tr><td>10</td><td>30</td></tr> <tr><td>20</td><td>17</td></tr> </table> </p>	Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)	-20	69	-10	56	0	45	10	30	20	17
Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)																																																		
-20	70																																																		
-10	59																																																		
0	45																																																		
10	31																																																		
20	17																																																		
Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)																																																		
-20	72																																																		
-10	59																																																		
0	45																																																		
10	33																																																		
20	20																																																		
Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)																																																		
-20	78																																																		
-10	67																																																		
0	53																																																		
10	39																																																		
20	25																																																		
Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)																																																		
-20	69																																																		
-10	56																																																		
0	45																																																		
10	30																																																		
20	17																																																		
<p>OUUMAN, L2, IV-VERKOSTO <table border="1" data-bbox="1659 560 1596 784"> <tr><th>Ulkolämpötila (°C)</th><th>Käyttövesi (°C)</th></tr> <tr><td>-20</td><td>70</td></tr> <tr><td>-10</td><td>59</td></tr> <tr><td>0</td><td>45</td></tr> <tr><td>10</td><td>31</td></tr> <tr><td>20</td><td>17</td></tr> </table> </p>	Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)	-20	70	-10	59	0	45	10	31	20	17	<p>AXC2, IV-VERKOSTO <table border="1" data-bbox="1675 560 1596 784"> <tr><th>Ulkolämpötila (°C)</th><th>Käyttövesi (°C)</th></tr> <tr><td>-20</td><td>72</td></tr> <tr><td>-10</td><td>59</td></tr> <tr><td>0</td><td>45</td></tr> <tr><td>10</td><td>33</td></tr> <tr><td>20</td><td>20</td></tr> </table> </p>	Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)	-20	72	-10	59	0	45	10	33	20	20	<p>HAIVANNEKUVA <table border="1" data-bbox="1691 560 1596 784"> <tr><th>Ulkolämpötila (°C)</th><th>Käyttövesi (°C)</th></tr> <tr><td>-20</td><td>78</td></tr> <tr><td>-10</td><td>67</td></tr> <tr><td>0</td><td>53</td></tr> <tr><td>10</td><td>39</td></tr> <tr><td>20</td><td>25</td></tr> </table> </p>	Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)	-20	78	-10	67	0	53	10	39	20	25	<p>OUUMAN, L1, PATERIVERKOSTO <table border="1" data-bbox="1707 560 1596 784"> <tr><th>Ulkolämpötila (°C)</th><th>Käyttövesi (°C)</th></tr> <tr><td>-20</td><td>69</td></tr> <tr><td>-10</td><td>56</td></tr> <tr><td>0</td><td>45</td></tr> <tr><td>10</td><td>30</td></tr> <tr><td>20</td><td>17</td></tr> </table> </p>	Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)	-20	69	-10	56	0	45	10	30	20	17
Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)																																																		
-20	70																																																		
-10	59																																																		
0	45																																																		
10	31																																																		
20	17																																																		
Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)																																																		
-20	72																																																		
-10	59																																																		
0	45																																																		
10	33																																																		
20	20																																																		
Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)																																																		
-20	78																																																		
-10	67																																																		
0	53																																																		
10	39																																																		
20	25																																																		
Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)																																																		
-20	69																																																		
-10	56																																																		
0	45																																																		
10	30																																																		
20	17																																																		
<p>OUUMAN, L2, IV-VERKOSTO <table border="1" data-bbox="1723 560 1596 784"> <tr><th>Ulkolämpötila (°C)</th><th>Käyttövesi (°C)</th></tr> <tr><td>-20</td><td>70</td></tr> <tr><td>-10</td><td>59</td></tr> <tr><td>0</td><td>45</td></tr> <tr><td>10</td><td>31</td></tr> <tr><td>20</td><td>17</td></tr> </table> </p>	Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)	-20	70	-10	59	0	45	10	31	20	17	<p>AXC2, IV-VERKOSTO <table border="1" data-bbox="1739 560 1596 784"> <tr><th>Ulkolämpötila (°C)</th><th>Käyttövesi (°C)</th></tr> <tr><td>-20</td><td>72</td></tr> <tr><td>-10</td><td>59</td></tr> <tr><td>0</td><td>45</td></tr> <tr><td>10</td><td>33</td></tr> <tr><td>20</td><td>20</td></tr> </table> </p>	Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)	-20	72	-10	59	0	45	10	33	20	20	<p>HAIVANNEKUVA <table border="1" data-bbox="1755 560 1596 784"> <tr><th>Ulkolämpötila (°C)</th><th>Käyttövesi (°C)</th></tr> <tr><td>-20</td><td>78</td></tr> <tr><td>-10</td><td>67</td></tr> <tr><td>0</td><td>53</td></tr> <tr><td>10</td><td>39</td></tr> <tr><td>20</td><td>25</td></tr> </table> </p>	Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)	-20	78	-10	67	0	53	10	39	20	25													
Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)																																																		
-20	70																																																		
-10	59																																																		
0	45																																																		
10	31																																																		
20	17																																																		
Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)																																																		
-20	72																																																		
-10	59																																																		
0	45																																																		
10	33																																																		
20	20																																																		
Ulkolämpötila (°C)	Käyttövesi (°C)																																																		
-20	78																																																		
-10	67																																																		
0	53																																																		
10	39																																																		
20	25																																																		

Positio	Nimitys	Vaihtuvualue	Sijainti	Huomaus	Tyyppi	Tekniset tiedot (AU)
LTO01AXC1	Lämmityksen lisävarustekortti	LTO-järi. & LS2 lämmityspiiri	LH	Sis. jäspi LTO-toimitukseen		
LTO01AXC2	Lämmityksen lisävarustekortti	LTO-järi. & LS3 lämmityspiiri	LH	Sis. jäspi LTO-toimitukseen		
LTO01KMO1	Kaukora kytkentämoduuli	LTO-järjestelmä	LH	Sis. jäspi LTO-toimitukseen	Kytkentämoduuli 40	***
LTO01KMO2	Kaukora kytkentämoduuli	LTO-järjestelmä	LH	Sis. jäspi LTO-toimitukseen	Kytkentämoduuli 40	***
LTO01LP01	Lämpöpumppu	LTO-järjestelmä	LH	Sis. jäspi LTO-toimitukseen	Jäspi Star 60kW	Lauhdempi 1,34 l/s, höyrystäjäpiiri 2,16 l/s, mitoitus 1 / 6 °C
LTO01LP02	Lämpöpumppu	LTO-järjestelmä	LH	Sis. jäspi LTO-toimitukseen	Jäspi Star 60kW	Lauhdempi 1,34 l/s, höyrystäjäpiiri 2,16 l/s, mitoitus 1 / 6 °C
LTO01PA01	Paisinta-astia	LTO-keruupiiri	LH		Esim. Reflex 50 NG	Eispaine 270 kPa / varoventtiilin laukaisupaine 4 bar / tilavuus 50 l
LTO01PA02	Paisinta-astia	LTO-lämmönjakopiiri	LH		Esim. Reflex 50 NG	Eispaine ja varoventtiili olennassa olevien mukaisesti, tilavuus 50 l
LTO01PA03	Paisinta-astia	LTO-käyttöveden lataus	LH		Esim. Reflex 50 NG	Eispaine ja varoventtiili olennassa olevien mukaisesti, tilavuus 50 l
LTO01PI	Painemittari	PA01 paisuntalinja	LH			
LTO01PI	Painemittari	PA02 paisuntalinja	LH			
LTO01PI	Painemittari	PA03 paisuntalinja	LH			
LTO01PIU45	Kiertovesipumppu	LS3 lämmitys, AXC2-ohjauksessa	LH		Yonos Maxo 40/0/5-8	
LTO01PIU46	Kiertovesipumppu	LS2 lämmitys, AXC1-ohjauksessa	LH		Yonos Maxo 40/0/5-8	
LTO01TE00	Lämpötila-anturi	Ulkolämpötila	LH	Sis. jäspi LTO-toimitukseen	Lämpöpumpun anturi BT1	
LTO01TE40	Lämpötila-anturi	Lämmityksen puskurivaraaja VA03	LH	Sis. jäspi LTO-toimitukseen	Lämpöpumpun anturi BT1	
LTO01TE41	Lämpötila-anturi	AXC2-kortin ohjaus, lämmitys LS2 meno	LH	Sis. jäspi LTO-toimitukseen	Lämpöpumpun anturi BT25	Kaappilanturi, asennetaan puolivälillä varaajaa
LTO01TE42	Lämpötila-anturi	AXC1-kortin ohjaus, lämmitys LS2 meno	LH			
LTO01TE43	Lämpötila-anturi	KL-tuloputki	LH	Sis. jäspi LTO-toimitukseen	Talotohtorin anturi BT100	Kaappilanturi PT1000
LTO01TE45	Lämpötila-anturi	Lämmityspiirin paluuputki	LH	Sis. jäspi LTO-toimitukseen	Lämpöpumpun anturi BT171	Kaappilanturi PT1000
LTO01TE46	Lämpötila-anturi	AXC2-kortin ohjaus, lämmitys LS2 paluu	LH			
LTO01TE47	Lämpötila-anturi	AXC1-kortin ohjaus, lämmitys LS2 paluu	LH			
LTO01TE48	Lämpötila-anturi	KL-paluuputki	LH	Sis. jäspi LTO-toimitukseen	Talotohtorin anturi BT101	Kaappilanturi PT1000
LTO01TE91	Lämpötila-anturi	VA01 lämpötila	LH	Sis. jäspi LTO-toimitukseen	Lämpöpumpun anturi BT6	Kaappilanturi, asennetaan puolivälillä varaajaa
LTO01TE92	Lämpötila-anturi	VA02 lämpötila	LH	Sis. jäspi LTO-toimitukseen	Lämpöpumpun anturi BT7	Kaappilanturi, asennetaan puolivälillä varaajaa
LTO01TI	Lämpömittari	VA01 lämpömittari	LH			
LTO01TI	Lämpömittari	VA02 lämpötila	LH			
LTO01VA40	3-tie säätöventtiili	LS2 lämmitys, AXC1-ohjauksessa	LH		Belimo R538-HR230A	DN40 UK, k _v , 16 m ³ /h
LTO01VA41	3-tie säätöventtiili	LS3 lämmitys, AXC2-ohjauksessa	LH		Belimo R538-HR230A	DN40 UK, k _v , 16 m ³ /h
LTO01VA01	Käyttövesivaraaja	LTO-järjestelmä	LH	Sis. jäspi LTO-toimitukseen	Jäspi Buffer 500-35	
LTO01VA02	Käyttövesivaraaja	LTO-järjestelmä	LH	Sis. jäspi LTO-toimitukseen	Jäspi Buffer 500-35	
LTO01VA03	Lämmityksen puskurivaraaja	LTO-järjestelmä	LH	Sis. jäspi LTO-toimitukseen	Jäspi Buffer 500 (ei lierukkaa)	
LTO01VA04	Käyttöveden sekoitusventtiili	Käytövesi	LH	Sis. jäspi LTO-toimitukseen	Belimo R531 3-tie säätöventtiili	+ Belimo HR24-SR toimilaitte

*** Sis. Lämmönkeruu- ja tuottojärjestelmän linjasäätö-, sulku-, varo- ja yksisuuntaventtiilit, sekä mutataaskut, täyttöventtiilit, paineanturit, keruupiirin kiertovesipumppu sekä vaihtoventtiilin

Keruupiirin paisunta-astia PA01 (kPa)	
Eispaine, P _e	270
Alapainehalvitys, P _{u1}	290
Verkoston vähimmäiskäyttöpaino, P _{u2}	320
Verkoston enimmäiskäyttöpaino, P _{u3}	350
Väpainehalvitys P _{u4} **	380
Varoventtiilin laukaisupaine, P _v	400


 SUUNNITTELU- JA PIIRUSTUKSEN N:o
 LVI 1776 1101-6
 LEHISTÄ 9
 TILAAJAN N:o

AS OY IRMELINPESÄ
 MAAPALLONKUJA 2
 02210 ESPOO

POISTOILMAN LTO-
 JÄRJESTELMÄN KYTKENTÄKAAVIO

LTO-JÄRJESTELMÄN LAITELUETTELO (R7)		SUUNNITTELUK. TUNNUSMERKINTÄ N.0		MÄÄRITTELY	
A-ryhmä LTO-yksikkö		LVI 1776		1101-6	
		LEHTI 9		LEHTI 9	
		TUNNUS		MÄÄRITTELY	
A-ryhmä LTO-yksikkö					
LTO01PK01	LTO-järjestelmä	LTO-järjestelmä	Sis. jäspi LTO-toimitukseen	VTS-AHU	Mitoitettava ilmavirta 1,25 m³/s
PK01JP01	LTO-patteri	PK01	Sis. jäspi LTO-toimitukseen		
PK01PD030.1	Paine-eroanturi	PK01SU30 suodatinvahti	Sis. jäspi LTO-toimitukseen		DPT-2500R8, HK-instruments
PK01PD031.1	Paine-eroanturi	PK01PF01 paineenkorotus	Sis. jäspi LTO-toimitukseen		DPT-2500R8, HK-instruments
PK01PF01	Poistolinjapuhallin	A-talo	Sis. jäspi LTO-toimitukseen		Radiaalipuhallin 1,25 m³/s
PK01SC30.1	Taajuusmuuttaja	PK01	Sis. jäspi LTO-toimitukseen		LS-G5A-4
PK01SU30	Suodatin	PK01	Sis. jäspi LTO-toimitukseen	Puhdistettava	PT1000
PK01TE30.1	Lämpötila-anturi	PK01PF01 poistolinja	Sis. jäspi LTO-toimitukseen		Kanava-anturi AKF10 PT1000
PK01TE31.1	Lämpötila-anturi	PK01 jäteilman lämpötila	Sis. jäspi LTO-toimitukseen		Kaappilanturi PT1000
PK01TE30.2	Lämpötila-anturi	PK01JP01 patterin paluulinja	Sis. jäspi LTO-toimitukseen		
B-ryhmä LTO-yksikkö					
LTO01PK02	LTO-järjestelmä	LTO-järjestelmä	Sis. jäspi LTO-toimitukseen	VTS-AHU	Mitoitettava ilmavirta 0,92 m³/s
PK02JP01	LTO-patteri	PK02	Sis. jäspi LTO-toimitukseen		
PK02PD030.2	Paine-eroanturi	PK02SU30 suodatinvahti	Sis. jäspi LTO-toimitukseen		DPT-2500R8, HK-instruments
PK02PD031.2	Paine-eroanturi	PK02PF01 paineenkorotus	Sis. jäspi LTO-toimitukseen		DPT-2500R8, HK-instruments
PK02PF01	Poistolinjapuhallin	B-talo	Sis. jäspi LTO-toimitukseen		Radiaalipuhallin 0,92 m³/s
PK02SC30.2	Taajuusmuuttaja	PK02	Sis. jäspi LTO-toimitukseen		LS-IC-5
PK02SU30	Suodatin	PK02	Sis. jäspi LTO-toimitukseen	Puhdistettava	PT1000
PK02TE30.2	Lämpötila-anturi	PK02PF01 poistolinja	Sis. jäspi LTO-toimitukseen		Kanava-anturi AKF10 PT1000
PK02TE31.2	Lämpötila-anturi	PK02 jäteilman lämpötila	Sis. jäspi LTO-toimitukseen		Kaappilanturi PT1000
PK02TE30.1	Lämpötila-anturi	PK02JP01 patterin paluulinja	Sis. jäspi LTO-toimitukseen		
C-ryhmä LTO-yksikkö					
LTO01PK03	LTO-järjestelmä	LTO-järjestelmä	Sis. jäspi LTO-toimitukseen	VTS-AHU	Mitoitettava ilmavirta 2,12 m³/s
PK03JP01	LTO-patteri	PK03	Sis. jäspi LTO-toimitukseen		
PK03PD030.3	Paine-eroanturi	PK03SU30 suodatinvahti	Sis. jäspi LTO-toimitukseen		DPT-2500R8, HK-instruments
PK03PD031.3	Paine-eroanturi	PK03PF01 paineenkorotus	Sis. jäspi LTO-toimitukseen		DPT-2500R8, HK-instruments
PK03PF01	Poistolinjapuhallin	C-talo	Sis. jäspi LTO-toimitukseen		Radiaalipuhallin 2,12 m³/s
PK03SC30.3	Taajuusmuuttaja	PK03	Sis. jäspi LTO-toimitukseen		LS-G5A-4
PK03SU30	Suodatin	PK03	Sis. jäspi LTO-toimitukseen	Puhdistettava	PT1000
PK03TE30.3	Lämpötila-anturi	PK03PF01 poistolinja	Sis. jäspi LTO-toimitukseen		Kanava-anturi AKF10 PT1000
PK03TE31.3	Lämpötila-anturi	PK03 jäteilman lämpötila	Sis. jäspi LTO-toimitukseen		Kaappilanturi PT1000
PK03TE30.2	Lämpötila-anturi	PK03JP01 patterin paluulinja	Sis. jäspi LTO-toimitukseen		

	SUUNNITTELUK. TUNNUSMERKINTÄ N.0 LVI 1776 LEHTI 9	POISTOILMAN LTO-JÄRJESTELMÄN KYTKENTÄKAAVIO TILAAJAN N.0
	AS OY IRMELINPESÄ MAAPALLONKUUA 2 02210 ESPOO	SUUNNITTELUK. TUNNUSMERKINTÄ N.0 LVI 1776 LEHTI 9

KOy Irmelinpesä energiankäyttö

Esimerkkikohteen KOy Irmelinpesän energiankäyttölaskelmat. Taulukossa toteutuneet ja normeeratut (N) laskelmat.

	2017	2017N	2018	2018N	2019	2019N	2020	2020N
Vertailukulutus kaukolämpö MWh	1766,1	1846,9	1766,1	1846,9	1766,1	1846,9	1766,1	1846,9
Kaukolämmön kulutus MWh	935,8	984,9	1042,6	1100,3	1060,6	1144,7	1111,4	1340,2
Kaukolämmön kulutuksen muutos %	47 %	47 %	41 %	40 %	40 %	38 %	37 %	27 %
Kaukolämmön kulutuksen muutos MWh	830,3	862,0	723,6	746,6	705,6	702,2	654,7	506,7
Lämpöpumpun 1 sähkönkulutus MWh	125,4		115,8		106,8		102,4	
Lämpöpumpun 2 sähkönkulutus MWh	120,4		105,0		103,5		100,0	
Kokonaissähkönkulutus MWh	245,8	266,7	220,8	239,3	210,3	236,8	202,4	264,9
Lämpöpumpun 1 energiantuotto MWh	439,7		392,8		357,8		342,1	
Lämpöpumpun 2 energiantuotto MWh	427,1		359,7		353,6		346,1	
Energiantuotto yhteensä MWh	866,8		752,5		711,4		688,1	
Kokonaiskulutus KL+Sähkö MWh	1181,6	1251,6	1263,4	1339,6	1270,9	1381,4	1313,8	1605,1
Ostoenergian kulutuksen muutos %	33,1 %	32,2 %	28,5 %	27,5 %	28,0 %	25,2 %	25,6 %	13,1 %
Ostoenergian kulutuksen muutos MWh	584,5	595,3	502,8	507,3	495,2	465,5	452,3	241,8
Vanha lämmityskustannus €	142108	147706	142108	147706	124233	147706	124233	147706
Uusi lämmityskustannus €	112819	118620	117342	123471	103205	126256	105068	143048
Säästö %	20,6 %	19,7 %	17,4 %	16,4 %	16,9 %	14,5 %	15,4 %	3,2 %
Säästö €	29289	29086	24766	24235	21028	21450	19165	4658