



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

# CO<sub>2</sub>-poistoilmalämpöpumpun automaatio ja ohjaukset

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (YAMK)

Talotekniikka

Opinnäytetyö

12.4.2021

Tekijä Otsikko	Pekka Kauppinen CO <sub>2</sub> -poistoilmalämpöpumpun automaatio ja ohjaukset
Sivumäärä Aika	53 sivua + 1 liite 12.4.2021
Tutkinto	insinööri (YAMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Ammatillinen pääaine	LVI-tekniikka
Ohjaajat	suunnittelupäällikkö Olli Nummelin yliopettaja Aki Valkeapää, DI Esko Kaappola
<p>Tämän opinnäytetyön tarkoitus on kehittää CO<sub>2</sub> poistoilmalämpöpumpun rakennusautomaatiokonsepti osana Caverion Suomi Oy:n Smart ProHeat -projektia. Rakennusautomaatiokonseptissa on tarkoitus luoda vakioratkaisut, joiden mukaan hiilidioksidia kylmäaineenaan käyttäviä poistoilmalämpöpumppuja integroidaan rakennusautomaatiojärjestelmään ja ohjataan osana rakennuksen lämmitysjärjestelmiä.</p> <p>Opinnäytetyössä käydään läpi keskeiset määräykset ja asetukset, jotka ovat johtaneet hiilidioksidin käyttöön kylmäaineena. Euroopan unionin asettama F-kaasuasetus asettaa uudenlaisia rajoituksia kylmäaineiden käyttöön, joka johtaa ympäristöystävällisempien vaihtoehtojen käyttöön.</p> <p>Hiilidioksidin käyttö lämpöpumpun kylmäaineena muuttaa prosessin erilaiseksi perinteisiin kylmäaineisiin verrattuna. Opinnäytetyössä käydään perinteinen ja hiilidioksidia kylmäaineenaan käyttävä kylmäprosessi läpi. Kylmäprosessin ja lämpöpumpun toiminnan ymmärtäminen on tärkeää automaatio suunnittelussa, jotta prosessista osataan ottaa ja sinne osataan antaa rakennusautomaatiojärjestelmästä tarpeelliset tiedot.</p>	
Avainsanat	CO <sub>2</sub> , R744, automaatio, PILP, poistoilmalämpöpumppu

Author Title Number of Pages Date	Pekka Kauppinen Automation and Control of CO <sub>2</sub> Exhaust Air Heat Recovery Pump 53 pages + 1 appendix 12 April 2021
Degree	Master of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Professional Major	HVAC Engineering
Instructors	Olli Nummelin, Design Manager Aki Valkeapää Principal Lecturer, Esko Kaappola, MSc.
<p>The purpose of this final year project was to develop building automation for a CO<sub>2</sub> exhaust air heat recovery pump system. The goal was to create a standard design solution for the integration of exhaust air heat recovery pumps that use carbon dioxide as their refrigerant in the building automation system.</p> <p>The most important legislation leading to the use of carbon dioxide as a refrigerant were reviewed. It was recognised that the EU F-Gas Regulation restricts the introduction of refrigerants in a novel way. Therefore, environmentally friendly alternatives must be introduced.</p> <p>The thesis established that the use of carbon dioxide as a refrigerant in heat pumps changes the process when compared to traditional refrigerants. This thesis explained both a traditional refrigeration process and a process that uses carbon dioxide as its refrigerant as the importance of understanding the cold process and heat pump functioning for an automation designer was recognised.</p> <p>The result of the project is a control diagram which can be used as a basis of the automation design of new renovation projects in the future.</p>	
Keywords	CO <sub>2</sub> , R744, building automation, exhaust air heat recovery

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Kylmäaineiden lainsäädäntö ja standardit	3
2.1	Euroopan unionin F-kaasuasetus	3
2.2	F-kaasuasetuksen vaikutus lämpöpumppuihin	4
2.3	SFS EN 378 -standardi kylmäkoneistoista ja lämpöpumpuista	5
3	Kylmäaineet	7
3.1	HFC-kylmäaineet	7
3.1.1	R134a-kylmäaine	7
3.1.2	R410A-kylmäaine	8
3.2	Alhaisen GWP-arvon kylmäaineet	8
3.2.1	Kylmäaineet R1234ze ja R450A	8
3.2.2	Hiilidioksidi (R744)	9
3.3	Log p, h -tilapiirros	9
4	Lämpöpumppuprosessit	12
4.1	Perinteinen lämpöpumppu	12
4.1.1	Höyrystin	12
4.1.2	Lauhdutin	13
4.1.3	Kompressori	14
4.1.4	Paisuntalaite	15
4.2	Lämpöpumppuprosessi hiilidioksidilla	15
4.2.1	Prosessin pääkomponentit	15
4.2.2	Ejektorit	17
5	Smart ProHeat -projekti	20
5.1	Kehityshankkeen tavoitteet	20
5.2	Demokiinteistö	23
6	Laitteisto	25

6.1	Lämmöntalteenottoyksikkö HiLTO EC 09 / 18	25
6.2	CO <sub>2</sub> -lämpöpumppu Green & Cool	28
6.3	Kiinteistönhallintajärjestelmä Caverion Drive	29
6.3.1	Caverion Niagara ja Niagara Framework	30
6.3.2	Distech ECY S1000 ja muut EC-sarjan säätimet	31
6.3.3	MIO52	32
6.4	Langattomat Sigfox-huoneanturit	35
7	Poistoilmalämpöpumppuprosessi	36
7.1	Lämmöntalteenotto	36
7.2	Lämpöpumppu	37
7.3	Lämmin käyttövesi	39
7.4	Lämmitysverkosto	40
8	Automaation säädöt ja ohjaukset	41
8.1	Asuntojen ilmanvaihto ja poistoilman lämmöntalteenotto	41
8.1.1	Lämmöntalteenottoyksiköiden ohjaus	41
8.1.2	Energiaventtiilin käyttö lämmöntalteenottoyksiköissä	43
8.2	Lämpöpumpun ohjaukset	44
8.2.1	Lämpöpumpun liittäminen valvonta-alakeskukseen	44
8.2.2	Hiilidioksidin mittaus lämmönjakohuoneessa	45
8.3	Valvonta-alakeskus	45
8.4	Lämmitysverkoston menoveden säätö	45
8.4.1	Lämmitysverkoston varaajasäiliön lämmitys	45
8.4.2	Säätökäyrän poikkeutus	47
8.5	Lämpimän käyttöveden lämmitys	47
8.6	Sähkö ja erillispisteet sekä muu kiinteistön automaatio	48
9	Yhteenveto	50
	Lähteet	52
	Liitteet	
	Liite 1. CO <sub>2</sub> -poistoilmalämpöpumpun automaatio ja ohjaukset RA6101 säätökaavio lämmönjakolaitteet	

## Lyhenteet

BACNet	Rakennusautomaation väyläprotokolla LVI-laitteiden väliseen kommunikointiin
Modbus	Sarjaliikenneprotokolla automaatiolaitteiden väliseen kommunikointiin
oBIX	Open Building Information Exchange, rakennusautomaatiojärjestelmien avoin rajapinta tiedonsiirtoon verkon yli
PWM	Pulse Width Modulation, pulssin leveys modulaatio
GWP	Global warming potential, eli kasvihuonekaasun lämmitysvaikutus verrattuna hiilidioksidin vaikutukseen
KPI	Key Performance Indicator, tehokkuutta mittaava arvo
positiotunnus	Automaatiojärjestelmässä laitteelle annettu tunnus, joka yksilöi sen automaatiojärjestelmässä ja kertoo käyttäjälleen, mihin osajärjestelmään se kuuluu
RS-485	Standardoitu sarjaliikenteen tiedonsiirtomalli
Sigfox	Langaton tiedonsiirto matalataajuusverkossa

## 1 Johdanto

Tässä opinnäytetyössä on tarkoitus kehittää Caverion Suomi Oy:n Smart ProHeat -kehitysprojektin yhteydessä rakennusautomaatiojärjestelmän konsepti, jolla ohjataan järjestelmään liitettyä CO<sub>2</sub>-kylmäaineella toimivaa poistoilmalämpöpumppua ja poistoilmakanaviin asennettuja lämmöntalteenottoyksiköitä saneerauskohteissa. Konseptissa luotujen vakioratkaisuiden kautta, rakennusautomaatio voidaan toteuttaa erilaisten kiinteistöjen lämmitysjärjestelmäksi asennettavaan CO<sub>2</sub>-poistoilmalämpöpumppujärjestelmään aina samalla tavalla, eikä aikaa ja rahaa kulu automaation kohdekohtaiseen suunnitteluun.

Vakioidut automaatiotratkaisut parantavat lopputuotteen laatua ja niitä voidaan kehittää uusien kokemusten myötä. Valmiilla poistoilmalämpöpumpun rakennusautomaatiokonseptilla on mahdollista toteuttaa erikokoisia saneeraushankkeita, koska konsepti mahdollistaa lämmöntalteenottolaitteiden lisäämisen helposti rakennusautomaation ohjauksen piiriin.

Opinnäytetyö tutkii myös, kuinka hiilidioksidia kylmäaineenaan käyttävää poistoilmalämpöpumppua tulisi ohjata rakennusautomaatiojärjestelmällä ja minkälaista dataa sieltä pitäisi tallentaa rakennusautomaatiojärjestelmään, jotta sen toiminta olisi mahdollisimman tehokasta ja laitteisto toimisi hyvällä hyötysuhteella. Mielenkiintoisia seikkoja on muun muassa se, tuoko hiilidioksidin käyttö kylmäaineena erityispiirteitä lämpöpumpun ohjaukseen vai onko se käytännössä rakennusautomaation kannalta sama laite kuin perinteiset lämpöpumput?

Toteutettavan pilottihankkeen lämpöpumpun kylmäaineena tulee olemaan R744 eli hiilidioksidi (CO<sub>2</sub>). Kylmäaineiden kiristyvät määräykset johtavat siihen, että hiilidioksidista tulee tulevaisuudessa yhä yleisemmin käytetty kylmäaine. Sen ympäristöystävällisyys ja helppo saatavuus ovat ominaisuuksia, joiden vuoksi se yleistyy lämpöpumppujen kylmäaineena.

Mitenkään uusi keksintö hiilidioksidin käyttö kylmäaineena ei kuitenkaan ole. Hiilidioksidia on käytetty kylmäaineena jo 1800-luvun puolivälistä, kun Alexander Twining sen

patentoi. [1, s. 3.] Hiilidioksidi soveltuu hyvin käytettäväksi kylmäkoneissa, jotka sijaitsevat ihmisten oleskelualueella koska se on vain hieman myrkyllinen eikä se syty palaamaan.

Caverion on vuonna 2013 syntynyt kiinteistötekniikkaa ja teollisuuden palveluita suunnitteleva ja toteuttava Pohjoismaissa, Keski-Euroopassa, Venäjällä ja Baltian maissa tarjoava yritys. Sen liikevaihto on noin 2,1 miljardia euroa. Caverionilla työskentelee noin 16 000 työntekijää, ja sen pääkonttori sijaitsee Vantaalla. [2]



## 2 Kylmäaineiden lainsäädäntö ja standardit

Kylmäaineala on tarkoin säädeltyä, ja tämän vuoksi on hyvä tuntee hieman perusteita siitä, miksi tiettyjä kylmäaineita käytetään ja toisia taas ei. Moni ennen yleisesti käytössä ollut kylmäaine on lainsäädännöllä kielletty kokonaan tänä päivänä. Kylmäaineista ja kylmälaitteista on olemassa paljon standardeja, kansallisia määräyksiä ja kansainvälisiä määräyksiä. Euroopan unionin alueella yksi tärkeimmistä kylmäaineita määrittävistä säädöksistä on Euroopan unionin F-kaasuasetus. Koska Suomi kuuluu Euroopan unioniin, on Suomen alueella luonnollisesti noudatettava asetuksen määräyksiä. F-kaasuasetuksessa puhutaan kasvihuonekaasuista.

Kasvihuonekaasuiksi määritellään kaikki sellaiset ilmakehässä esiintyvät yhdisteet, jotka päästävät auringon lämpösäteilyä maan pinnalle mutta estävät sen säteilyn ulos avaruuteen. Tärkeimpiä kasvihuonekaasuja ovat vesihöyry ja hiilidioksidi. Nykyisen tieteen käsityksen mukaan, jos kasvihuonekaasuja on ilmakehässä liikaa, johtaa se ilmaston lämpenemiseen. [4]

Erityisen voimakkaita kasvihuonekaasuja ovat fluorisoivat hiilivedyt, joita useat kylmäaineet kemiallisilta ominaisuuksiltaan ovat. Osa vanhoista CFC-kylmäaineista sisältää myös ilmakehän otsonikerrosta tuhoavaa klooria. Otsonikerros suojaa maata auringon ultraviolettisäteilyltä, ja sen tuhoutumisella olisi epäsuotuisia vaikutuksia elämäämme. [4]

### 2.1 Euroopan unionin F-kaasuasetus

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus fluoratuista kasvihuonekaasuista (EU) N:o 517/2014 on annettu 16 huhtikuuta 2014 ja se kumoaa aiemman asetuksen (EY) N:o 842/2006. Sitä sovelletaan 1.1.2015 alkaen [14, s. 1].

Asetuksen tavoitteena vähentää fluorattujen kasvihuonekaasujen (F-kaasu) päästöjä ja siten suojella ympäristöä. Fluoratuilla kasvihuonekaasuilla tarkoitetaan asetuksen liitteessä 1 lueteltuja fluorihilivetyjä, perfluorihilivetyjä, rikkiheksafluoridia ja muita fluoria sisältäviä kasvihuonekaasuja tai seoksia [14, s. 5.] Osittain halogenoidut HFC- ja täysin halogenoidut PFC-kylmäaineet ovat otsonihaitattomia mutta omaavat merkittävän

kasvihuonehaitallisuuden. Ne kuuluvat f-kaasuihin, sillä ne ovat ns. fluorattuja hiilivetyjä. [3, s. 35.]

Asetuksen liitteessä III on asetettu päivämääriä, jolloin fluorattuja kasvihuonekaasuja sisältävien tuotteiden markkinoille saattamisen kieltoja astuu voimaan. Viimeisimpänä kohta 12:

Kiinteät jäähdytyslaitteet, jotka sisältävät fluorihilivetyjä tai joiden toiminta perustuu niihin ja, joiden GWP on vähintään 2 500, lukuun ottamatta laitteita, jotka on tarkoitettu sovelluksiin, joita käytetään tuotteiden jäähdyttämiseen alle -50 celsiusasteen lämpötiloihin.

Kielto astui voimaan 1.1.2020.

Lämmitysvaikutus eli GWP (engl. Global Warming Potential) on määritelty asetuksen 2. artiklassa. Se tarkoittaa kasvihuonekaasun vaikutusta ilmaston lämpenemiseen verrattuna siihen, kuinka paljon vastaava määrä hiilidioksidia vaikuttaa ilmaston lämpenemiseen. Luku saadaan laskemalla yhden kilogramman kasvihuonekaasun lämmitysvaikutus suhteessa yhden kilogramman hiilidioksidimäärän lämmitysvaikutukseen 100 vuoden ajanjaksolla. Tämän mukaan siis hiilidioksidin GWP-arvo on 1. Eri kasvihuonekaasujen ja näiden seosten GWP-arvoja on lueteltu asetuksen liitteessä II ja III. Menetelmä seoksen GWP:n laskemiseksi on esitetty asetuksen liitteessä IV. [14, s. 5.]

Asetuksessa määrätään myös, että fluorattujen kasvihuonekaasujen tahallinen, mikäli se ei ole teknisesti välttämätöntä aiottua käyttötarkoitusta varten, päästäminen ilmakehään on kielletty. Asetuksen mukaan kasvihuonekaasuja sisältävien laitteiden haltijoiden on toteutettava varotoimia, joiden on tarkoitus estää näiden kaasujen tahaton pääsy ilmakehään.

## 2.2 F-kaasuasetuksen vaikutus lämpöpumppuihin

Euroopan unionin asettamien kieltojen mukaan lämpöpumppujen maahantuontia EU:n alueelle rajoitetaan. Esimerkiksi vuoden 2020 jälkeen ei Euroopan unionin alueelle saa

tuoda uusia siirrettäviä jäähdytyslaitteita, joissa kylmäaineen GWP-arvo on suurempi tai yhtä suuri kuin 150.

Vuodesta 2025 eteenpäin Euroopan unionin alueelle ei saa tuoda uusia split-ilmastointilaitteita, joissa kylmäainetäytös on yli 3 kilogrammaa ja kylmäaineen GWP-arvo suurempi tai yhtä suuri kuin 750.

### 2.3 SFS EN 378 -standardi kylmäkoneistoista ja lämpöpumpuista

SFS EN 378 standardi sisältää eurooppalainen standardin EN 378-1:2016 "Refridgeration systems and heat pumps. Safety and environmental requirements. Part 1: Basic requirements, definations, classification and selection criteria".

Standardi koostuu neljästä osasta. Sen ensimmäinen osa 1: Perusvaatimukset, määritelmät, luokittelu ja valintakriteerit käsittelee erilaisia termejä, kuten "kylmäkoneikko" tai "välillinen jäähdytys- tai lämmitysjärjestelmä". Standardin ensimmäisessä osassa on määritelty suureita ja vakioita. Siinä on määritelty kylmäkoneistojen sijaintipaikkojen luokitukset, kylmäaineiden nimitykset ja luokitukset ja määritelty kylmäainetäytösten määrää koskevia kriteerejä.

Esimerkiksi osan 1, liitteen C taulukon 3 mukaan R744-kylmäaineen kokonaistäytös jaettuna huonetilavuudella ei saa ylittää QLMV-arvoa ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) 0,074, tai jos alin kerros on maanpinnan alapuolella, sallitun pitoisuuden ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) RCL-arvoa 0,072. Mikäli näin käy, on tehtävä standardin muissa kohdissa vaaditut asiaankuuluvat toimenpiteet. Standardin kohdassa C3.2.1 sanotaan:

"Asiaankuuluvan toimenpiteen on oltava ilmanvaihto (luonnollinen tai koneellinen, turvasulkuventtiilit ja hälytin, yhdessä kaasunilmaisimen kanssa". [15, s. 39.]

Standardin toinen osa, osa 2: Suunnittelu, rakenne, testaus, merkintä ja dokumentointi määrittelee laitekokonaisuuksien suunnittelussa ja komponenttien valinnassa vaadittavia asioita. Näitä ovat varsinkin paineenrajoituslaitteisiin ja varotoimenpiteisiin liittyvät asiat. Standardin mukaan kylmäkoneistot ja komponentit on suunniteltava ja

rakennettava siten, että ihmisille, omaisuudelle ja ympäristölle ei aiheudu vaaraa, vaan vaarat ovat poistettu.

Kolmannessa osassa, osa 3: Asennuspaikka ja henkilökohtainen suojaus käsitellään kylmätekniisten laitteiden sijoittelua rakennuksen ulko- ja sisäpuolella. Osassa kolme määritellään myös konehuoneet, millainen pääsy niihin pitää olla ja millaisia vaatimuksia konehuoneilla on esimerkiksi ilmanvaihdon suhteen. Standardin kohdassa 5.13 mainitaan muun muassa, että konehuoneiden ilmanvaihdon on oltava riittävä sekä normaaleissa että hätätilanteissa. Kylmäainevuodon varalta ilmanvaihtojärjestelmän on tuuletettava ilma ulos koneellisesti ja ilmanvaihtojärjestelmän täytyy olla riippumaton muusta kohteen ilmanvaihtojärjestelmästä. Kohdassa 9 Tunnistimet standardi määrittelee, millaisia vaatimuksia kylmäainevuodon tunnistavilla antureilla on ominaisuuksiensa ja asennuspaikan suhteen. Tunnistimen täytyy käynnistää hälytys ja konehuoneessa koneellinen hätäilmanvaihto.

### 3 Kylmäaineet

Kylmäaineet jaotellaan kolmeen ryhmään. Ryhmät ovat yksikomponenttiset kylmäaineet, aseotrooppiset kylmäaineet ja tseotrooppiset kylmäaineet. Ensimmäinen on nimensä mukaisesti yhdestä aineesta koostuva kylmäaine, kun taas kaksi jälkimmäistä ovat yhdisteitä. Aseotrooppisen ja tseotrooppisen kylmäaineen ero on höyrystymisen ja lauhtumisen aikana tapahtuva lämpötilamuutos. Aseotrooppisella kylmäaineella lämpötilamuutosta ei ole, mutta tseotrooppisella kylmäaineella lämpötila muuttuu olosuhdemuutoksen aikana. [3, s. 33.]

Kylmäaineet jaotellaan myös niiden kemiallisen koostumuksen mukaan ja niiden halogeenimolekyylin mukaan. Halogeenimolekyylin perusteella kylmäaineet jakautuvat neljään ryhmään. Ryhmät ovat

- CFC-kylmäaineet (chloro-fluoro-carbon)
- HCFC-kylmäaineet (hydro-chloro-fluoro-carbon)
- HFC-kylmäaineet (hydro-fluoro-carbon)
- PFC-kylmäaineet (per-fluoro-carbon)

HFC- ja PFC-kylmäaineet sisältävät fluoria eli ovat ns. fluorihilivetyjä. [3, s. 35.]

#### 3.1 HFC-kylmäaineet

##### 3.1.1 R134a-kylmäaine

R134a eli tetrafluorietaani ( $C_2H_2F_4$ ) on fluorihilivety-yhdiste ja sitä käytetään kylmäaineena mm. jääkaapeissa ja ilmastointilaitteissa. Se on yksikomponenttinen kylmäaine, eli sen höyrystyminen ja lauhtuminen tapahtuu vakioämpötilassa. R134a luokitellaan HFC-kylmäaineiden ryhmään. R134a-kylmäaineen GWP-arvo on 1430 ja ODP-arvo 0, eli se on haitallinen kasvihuoneilmiön kannalta, mutta otsonikerrokselle siitä ei ole vaaraa. F-kaasu asetus sallii sen käytön vuoteen 2030 asti. [5]

Sen kriittinen piste on paineessa 40,7 bar ja lämpötilassa 101,1 °C.

### 3.1.2 R410A-kylmäaine

R410A-kylmäainetta käytetään kevyissä ilmastointilaitteissa ja lämpöpumpuissa. Se soveltuu korkeapaineisiin järjestelmiin kuten vedenjäähdytyskoneet ja vakioilmastointikoneet. Sitä käytetään myös kauppojen ja teollisuuden kylmäsovelluksissa. Se on sekoitus difluorimetaani R32- ja pentafluorietaani R125 -kylmäainetta. Sekoitussuhde on 50 % kumpaakin kylmäainetta. R410A-kylmäaineella on alhainen lämpötilaliukuma. R410A-kylmäaineen kriittinen lämpötila on 74,7 °C ja kriittinen paine 51,7 bar. [5]

R410A kylmäainetta saa vielä käyttää rajoitteita, sillä sen GWP-arvo on 2088, mikä jää alle 2500:n. ODP-arvo R410A kylmäaineella on 0.

## 3.2 Alhaisen GWP-arvon kylmäaineet

### 3.2.1 Kylmäaineet R1234ze ja R450A

R1234ze on ilmastoystävälliseksi mainostettu monipuolinen kylmäaine. Se korvaa R134a-kylmäaineen, ja sitä käytetään monissa keskilämpötilan sovelluksissa. Näitä ovat esimerkiksi lämpöpumput ja teolliset kylmäsovellukset kuten ruokakaupan kylmälaitteet. Sen kiehumispiste, -18,95 °C, on kuitenkin korkeampi kuin R134a-kylmäaineen kiehumispiste, joka on -26,3 °C, joten suoraan se ei voi toimia korvaavana kylmäaineena kaikissa sovelluksissa. [5]

R1234ze on kehitetty vastaamaan EU:n f-kaasusetuksen vaatimuksia. Sen GWP-arvo on ainoastaan 7 ja ODP-arvo 0. Sen vuoksi se on ekologinen vaihtoehto kylmäaineeksi. Se on myös turvallinen käyttää; tosin se syttyy palamaan, jos se on yli 30 °C:n ympäristössä. Myrkyllinen se ei ole. Kylmäaineen R1234ze kriittinen lämpötila on 109,4 °C ja kriittinen paine 36,4 bar. [5]

R450A on sekoite R134a- ja R1234ze-kylmäaineita. Sen GWP-arvo on 547, joka on huomattavasti korkeampi kuin R1234ze-kylmäaineen mutta kuitenkin reilusti alle R134a kylmäaineen GWP-arvon. ODP-arvo on 0. R450A-kylmäaineen kiehumispiste, -23,1 °C

astetta on lähellä R134a-kylmäaineen kiehumispistettä. Sen vuoksi sitä voidaan hyvin käyttää R134a:n korvaajana. Se soveltuu muun muassa vedenjäähdytyskoneisiin ja lämpöpumppuihin.

### 3.2.2 Hiilidioksidi (R744)

Hiilidioksidi (CO<sub>2</sub>) eli kylmäaine R744 on ympäristöystävällinen aine lämpöpumppuihin. Sen ODP on 0 ja GWP-arvo määritelmänsä vuoksi 1. Sillä on siis huomattavasti monia muita kylmäaineita alhaisemmat vaikutukset kasvihuoneilmiön syntyyn. Sitä myös esiintyy luonnostaan ilmassa. Hiilidioksidia on nykyisin ilmakehässä noin 400 ppm.

Hiilidioksidi ei ole aivan samanlainen kuin muut kylmäaineet ominaisuuksiltaan. Sillä on ilmakehän paineessa vain kaksi olomuotoa, kaasu ja kiinteä. Kuvassa 4 R744-kylmäaineen log p, h -tilapiirroksesta havaitaan, että käyttöpaineet kohoavat erittäin korkeaksi. Toisaalta sillä päästään erittäin kylmiin höyrystymislämpötiloihin, jopa -50 °C:n lämpötilat ovat mahdollisia.

Hiilidioksidi on turvallinen käyttää, eikä se sisällä ihmisille haitallisia myrkyjä. Kaasuhälytyksen ylärajaksi asetellaan 5 000 ppm, mutta edes pitoisuudet noin 20 000 ppm eivät vielä aiheuta ongelmia lyhyestä altistumisesta. Suuremmat pitoisuudet, yli 30 000 ppm, alkavat aiheuttaa hengitysvaikeuksia, kohonnutta pulssia ja päänsärkyä. suurilla määrillä tilavuudesta (yli 30 000 ppm) hiilidioksidi aiheuttaa myös väsymyksen oireita ihmisille. Pitoisuuden tarpeeksi kasvaessa (100 000 ppm) se alkaa aiheuttaa narkoottista tilaa ja tajuttomuutta. Pidempi altistus yli 10 %:n pitoisuudella johtaa kuolemaan. [1, s. 8.]

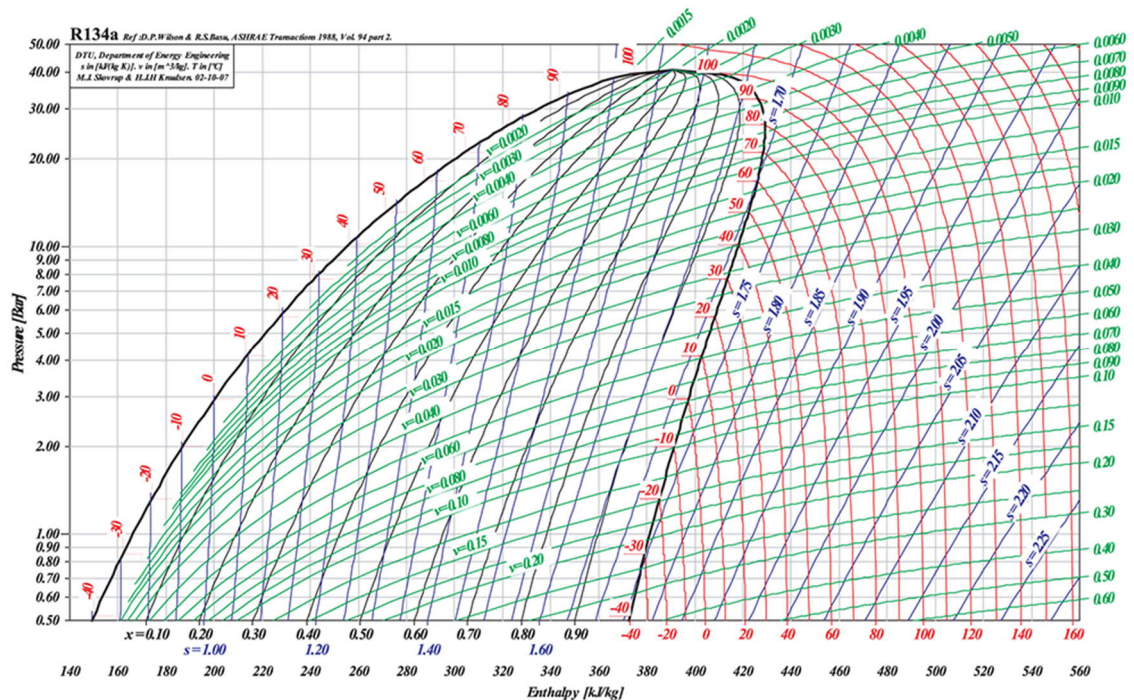
### 3.3 Log p, h -tilapiirros

Log p, h -tilapiirroksella esitetään kylmäaineen paineen ja entalpian, eli kylmäaineen lämpösisällön suhdetta. Sen pystyakselilla on logaritmisesti kasvava paine p ja vaakakselilla entalpia h. Paine on ilmoitettu yleensä baareina ja se on absoluuttinen paine. Näin ollen käytännön laskelmissa ja mitoituksissa täytyy muistaa ottaa myös ilmanpaine huomioon.

Log p, h -tilapiirroksessa ilmenee rajakäyrä, joka piirretään kylmäaineen niihin tiloihin, jossa aineen olomuoto muuttuu. Käyrä muistuttaa taipunutta paraabelia ja sen vasemmalle puolelle jää kaikki kylmäaineen tilat, jolloin sen olomuoto on nestemäinen. Käyrän oikealle puolelle taas jää kaikki tilat, jolloin se on höyryä. Käyrän lakipistettä kutsutaan kriittiseksi pisteeksi. Tilapiirroksen keskelle, käyrän rajaaman tilan sisään jäävät ne kylmäaineen olomuodot, jotka ovat jotakin höyryyn ja nesteen seosta.

Kylmätekniikan prosessien esittämistä varten log p, h -tilapiirrokseseen on piirretty myös vakioämpötila-, vakioentropia-, vakiohöyrypitoisuus- ja vakiotiheyskäyrät. Ilman niitä kylmätekniistä prosessia ei voisi esittää piirroksessa. Vakiotiheyskäyrät esitetään ainoastaan tulistuneen höyryn alueella, samoin kuin vakioentropiakäyrät. Höyrypitoisuuskäyrät esitetään käyrän keskellä ja niiltä voidaan lukea, kuinka paljon kylmäaineen massaosuudesta on höyryä. [3, s. 19-23.]

Kuvissa 1 ja 2 on esitetty kahden tyypillisen kylmäaineen R134a ja R744 log p, h -tilapiirrookset.



Kuva 1. R134a-kylmäaineen log p, h -tilapiirros [25].





## 4 Lämpöpumppuprosessit

Lämpöpumppuprosessi perustuu aineen olomuodon muutokseen. Olomuoto muuttuu, kun aineen molekyyli rakenne muuttuu. Olomuotoja on kolme, ne ovat kiinteä, nestemäinen ja kaasu. Kun aineen olomuoto muuttuu, se joko sitoo itseensä energiaa ympäristöstä tai luovuttaa sitä ympäristöön. Aineen ominaisuudet määrittävät missä lämpötilassa ja paineessa olosuhteen muutos tapahtuu. Lämpöpumpuissa ja jäähdytyskoneissa käytettävää ainetta kutsutaan kylmäaineeksi. [3, s. 11-12.]

Kylmäaineen höyrystyessä kaasuksi, aine sitoo itseensä ympäristöstään energiaa, joka johtaa ympäristön jäähtymiseen. Aineen lauhtuessa tapahtuu päinvastoin. Kaasumaisen aineen luovuttaessa energiaa ympäristöön, se muuttuu nesteeksi ja sen sisältämä energia vapautuu ympäristöön ja lämmittää sitä. Lämpöpumppujen kiertoprosessissa hyödynnetään tätä fysikaalista ilmiötä. [3, s. 12.]

### 4.1 Perinteinen lämpöpumppu

Lämpöpumppu sisältää neljä pääkomponenttia. Pääkomponentit ovat höyrystin, kompressori, lauhtutin ja paisuntalaite. Näiden avulla laitteisto mahdollistaa kiertoprosessin, jossa höyrystynyttä kylmäainekaasua puristetaan korkeampaan paineeseen sähkövoimalla toimivan kompressorin avulla. Korkeapaineinen kuuma höyry johdetaan lauhtuttimelle, jossa se luovuttaa siihen sitoutuneen energian ympäristöön muuttuen samalla takaisin nestemäiseen muotoon. Lauhtuttimelta nestemäinen kylmäaine virtaa paisuntalaitteelle, missä sen paine ja lämpötila laskevat. Paineen laskiessa kylmäaine jäähtyy ja alkaa höyrystyä. Se höyrystyy lopullisesti kaasumaiseen olomuotoon höyrystimessä. Näin kiertoprosessi alkaa alusta.

#### 4.1.1 Höyrystin

Höyrystimessä neste-höyryseos jatkaa höyrystymistä, sitoen samalla ympäristöstään lämpöä itseensä. Tämän takia ympäristö, jossa höyrystin sijaitsee, jäähtyy. Höyrystimiä on erilaisia. Ne voivat olla ilmakiertoon perustuvia, jolloin ympäristön ilma virtaa höyrystimen lävitse ja jäähtyy kylmäksi. Kylmä ilma valuu alaspäin ja saa luonnostaan aikaan

kiertoliikkeen ympäröivässä tilassa. Höyrystimeen on voitu myös kiinnittää puhallin tehostamaan höyrystimen toimintaa.

Höyrystin voi olla myös levylämmönsiirrin, joita käytetään välillisissä järjestelmissä. Tällöin kylmäaine johdetaan höyrystymään levylämmönsiirtimeen, jonka läpi virtaa lämmin neste. Levylämmönsiirtimessä neste jäähtyy, kun sen lämpösisältö siirtyy kylmäainehöyryyn. Nesteen on syytä olla pakkasen kestävä, jottei se jäädy levylämmönsiirtimeen kohdatessaan lämpötilaltaan alle 0 °C:n kylmäaineen.

#### 4.1.2 Lauhdutin

Lauhduttimella kompressorin puristama kuuma höyry luovuttaa lämpösisältönsä lauhduttimen ympäristöön tai sen sisällä kulkevaan nesteeseen. Höyryn lauhtuessa lauhduttimella sen olomuoto muuttuu takaisin nesteeksi.

Lauhduttimen tyyppi riippuu käyttökohteesta. Edullisin vaihtoehto on ilmalauhdutin, jossa lauhduttimeen on yleensä kiinnitetty puhallin, mikä kierrättää ilmaa lauhduttimen läpi. Lauhdutus toimii, kun ympäristön ilma on kylmäainehöyryä viileämpää. Puhaltimen pyörimisnopeutta muuttamalla voidaan säätää lauhduttimen tehoa.

Lauhdutin voidaan toteuttaa myös nestejäähdytteisenä. Silloin lauhduttimen läpi virtaa neste, johon kylmäainehöyryn sisältämä energia siirtyy lämmittäen sen. Nestelauhdutin voi olla ns. moniputkilauhdutin, jossa lauhduttava neste virtaa lauhduttimen vaipan sisässä kulkevassa putkistossa ja kylmäainehöyry putkien ympärillä vaipassa.

Toinen tapa toteuttaa nestelauhdutin on levylämmönsiirrin, kuten kuvassa 3 näkyvä kuparinen levylämmönsiirrin. Siinä lauhdutin koostuu useasta poimutetusta levystä, jotka on juotettu toisiinsa. Joka toisessa levyvälissä virtaa kylmäainehöyry ja joka toisessa lauhduttava neste. Neste ja kylmäainehöyry virtaavat toisiaan vastaan levylämmönsiirtimen sisällä. [3, s. 56.]



Kuva 3. CO<sub>2</sub>-käyttöön suunniteltu kuparinen levylämmönsiirrin.

#### 4.1.3 Kompressori

Kompressorin tehtävä on puristaa matalapaineinen höyrystynyt kylmäaine korkeampaan paineeseen. Tämän työn vaikutuksena kylmäainehöyryn lämpötila nousee höyrystymislämpötilasta lauhtumislämpötilaan.

Lämpöpumpuissa käytettävä kompressori on pääsääntöisesti hermeettinen. Se tarkoittaa, että kompressori on pakattu tiiviin hitsatun metallikuoren sisään eikä sitä voi avata. Kylmäainehöyry johdetaan höyrystimeltä kompressorin kuoren sisään, josta se imetään sylinteriin. Kylmäainehöyry myös jäähdyttää kompressorin sähkömoottoria. [3, s. 51.]

Kerrostalon poistoilmalämpöpumpussa kompressori voi olla myös puolihhermeettinen, jolloin kompressorin moottori ja itse kompressori ovat avattavissa olevan kuoren sisällä ja siten huollettavissa, mikäli se vikaantuu.

#### 4.1.4 Paisuntalaite

Paisuntalaite sijaitsee lauhduttimen ja höyrystimen välisessä putkessa höyrystimen menopuolella.

Paisuntalaitteen tehtävänä on pudottaa lauhduttimelta tulevan korkeapaineisen kylmäaine nesteen paine. Paineen laskiessa kylmäaine alkaa höyrystyä, jolloin myös sen lämpötila laskee. [3, s. 50.]

Paisuntalaitteita eli paisuntaventtiileitä on monenlaisia. Termostaattiset paisuntalaitteet toimivat mekaanisesti johtamalla höyrystimeltä saatava lämpö tuntoelimeen, jonka paine kasvaa sen lämmitessä. Paine johdetaan kapillaariputkea pitkin venttiilin kalvolle, joka taas ohjaa venttiilin sisällä olevaa neulaventtiiliä ja päästää enemmän nestettä virtaamaan venttiilin lävitse höyrystimeen.

Jotkut termostaattiset paisuntalaitteet ovat varustettu ulkoisella paineentasauksella. Tämä tarkoittaa, että höyrystimen jälkeistä painetta käytetään hyväksi venttiilin sulkemiseen. Tämän ansiosta venttiili on vähemmän altis painehäviöiden vaikutuksille.

Isommissa järjestelmissä käytetään elektronisia paisuntaventtiileitä. Niissä erillinen säädin säättää venttiiliä säätimelle johdettujen mittausten perusteella. Osa elektronisista venttiileistä toimii ns. PWM-säädöllä (pulse width modulation), eli ne ovat tietyn ajanjakson auki ja tietyn ajanjakson kiinni. Elektronisia paisuntaventtiileitä on myös portaittain säätäviä ja portaattomasti säätäviä. Elektronisia venttiileitä käytetään varsinkin kaupan kylmälaiteistoissa ja vedenjäähdytyskoneissa. [3, s. 58.]

## 4.2 Lämpöpumppuprosessi hiilidioksidilla

### 4.2.1 Prosessin pääkomponentit

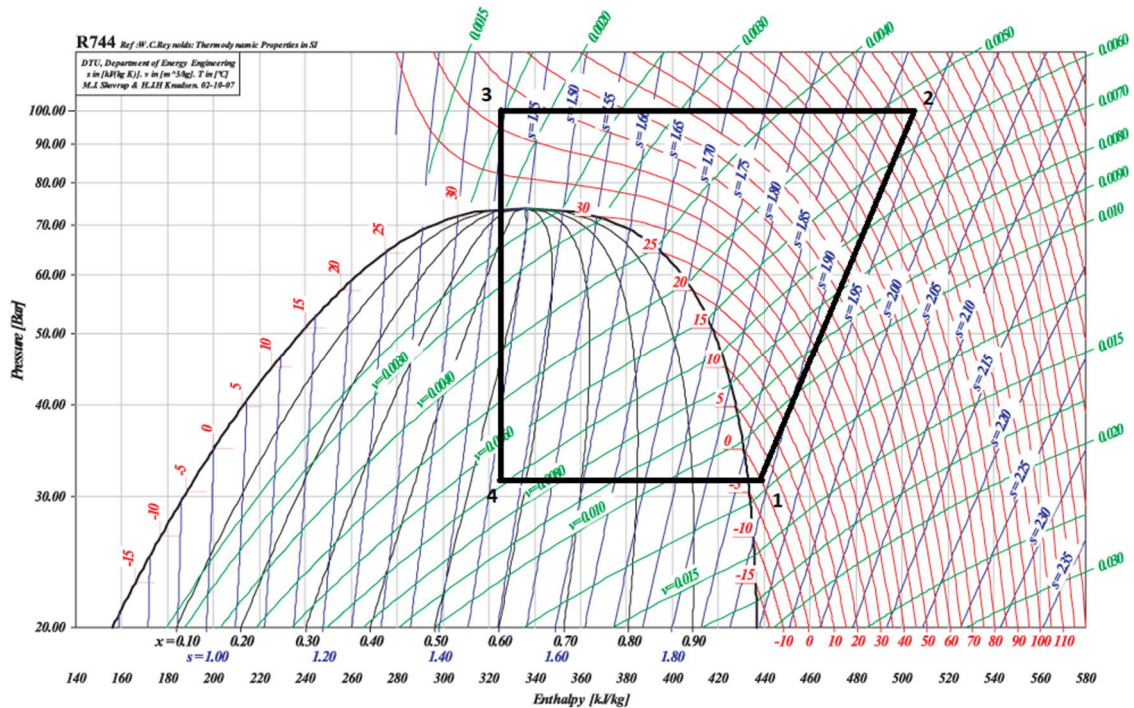
Hiilidioksidin ominaisuudet muuttavat lämpöpumppuprosessia muilla kylmäaineilla toimiin lämpöpumppuihin nähden. Kriittinen piste on vain 31 °C 73,6 baarin paineessa. Koska hiilidioksidin kriittinen piste on hyvin matala, puhutaan niin kutsutusta ylikriittisestä prosessista, jossa kylmäaineena toimiva hiilidioksidikaasu ei koskaan lauhdu

kokonaan nestemäiseksi. Kun perinteisessä lämpöpumpussa kylmäaine nesteytyy jo lauhduttimella, hiilidioksidin kanssa näin ei käy, vaan se tulee ulos edelleen kaasuna. Sen vuoksi lauhdutinta kutsutaankin hiilidioksidilaitteissa kaasunjäähdyttimeksi.

Kaasunjäähdyttimestä ulos tullessaan hiilidioksidi on korkeassa paineessa ja kaasumaisessa muodossa kunnes sen painetta aletaan laskea. Tällöin hiilidioksidi alkaa muuttua nesteen ja kaasun seokseksi. Paineenalennus tehdään säätöventtiilillä, minkä jälkeen matalapaineinen hiilidioksidi johdetaan nesteenerotussäiliöön, jossa nestemäinen hiilidioksidi kertyy säiliön pohjalle ja kaasu säiliön yläosaan. [22]

Säiliöstä nestemäinen hiilidioksidi johdetaan paisuntaventtiilin kautta höyrystimeen, jossa se muuttuu takaisin kaasuksi, jonka kompressorin voi taas puristaa korkeaan paineeseen ja lämpötilaan. Kompressorin puristaa hiilidioksidikaasun erittäin korkeaan, jopa noin 100 baarin paineeseen, minkä jälkeen se ohjataan korkeapaineputkistoa pitkin kaasunjäähdyttimeen missä lämmönluovutus tapahtuu.

Säiliössä oleva kaasumainen hiilidioksidi sen sijaan ohjataan säiliöstä ohitusputkistoa pitkin säätöventtiilin kautta suoraan takaisin kompressorille. Jotta laitteiston kompressorin ei tarvitsisi työskennellä niin paljon, asennetaan hiilidioksidilämpöpumppuihin usein rinnakkaiskompressorin, joka puristaa ohitusputkistosta tulevan kaasun suoraan kaasunjäähdyttimelle. Rinnakkaispuristuksella parannetaan CO<sub>2</sub>-laitteiston hyötysuhdetta lämpimissä olosuhteissa. [22]



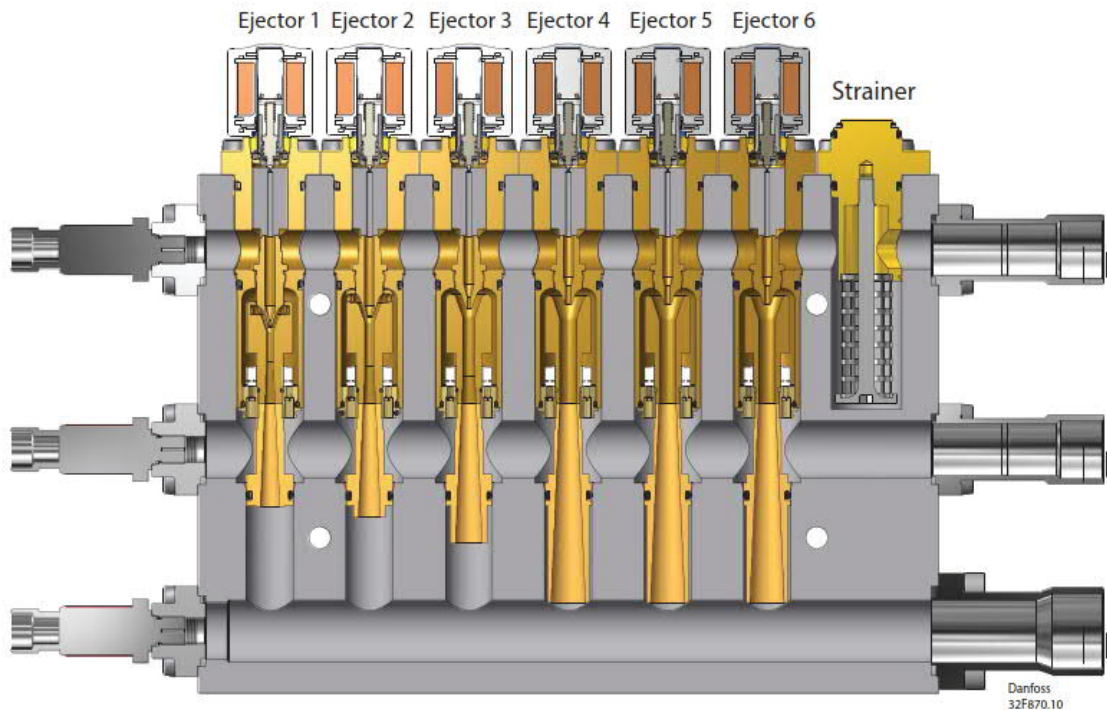
Kuva 4. Yksinkertaistettu ylikriittinen prosessi hiilidioksidikylmäaineella.

Kuvassa 4 on esitetty hiilidioksidin log p, h -kaavioon yksinkertaistettu esimerkki prosessista. Pisteiden 1 ja 2 välillä nähdään kompressorin tekemä puristustyö, joka teoriassa etenisi vihreää vakioentropiakäyrää pitkin mutta todellisessa prosessissa kaartuu vähän oikealle. Kompressorin puristaa hiilidioksidikaasun noin 100 baarin paineeseen, jossa sen lämpötila on noin 100 °C. Pisteiden 2 ja 3 välillä kaasunjähdyttimessä tapahtuva lämpötilan muutos. Pisteiden 3 ja 4 välillä tapahtuu paineensäätö ja paisunta ja lopuksi pisteiden 4 ja 1 välillä höyrystyminen höyrystimellä.

#### 4.2.2 Ejektorit

Hiilidioksidin matalan kriittisen pisteen vuoksi sen käyttö on haastavaa erityisesti lämpimissä maissa, joissa ympäristön lämpötila saattaa olla usein jopa kriittisen pisteen yläpuolella eikä hiilidioksidin olomuodon muutos kaasusta nesteeksi ole mahdollista. [22] Rinnakkaispuristuksen lisäksi CO<sub>2</sub>-laitteiston hyötysuhdetta voidaan parantaa ejektorilla. Tällainen on esimerkiksi kuvassa 5 esitetty Danfoss Multi Ejector.

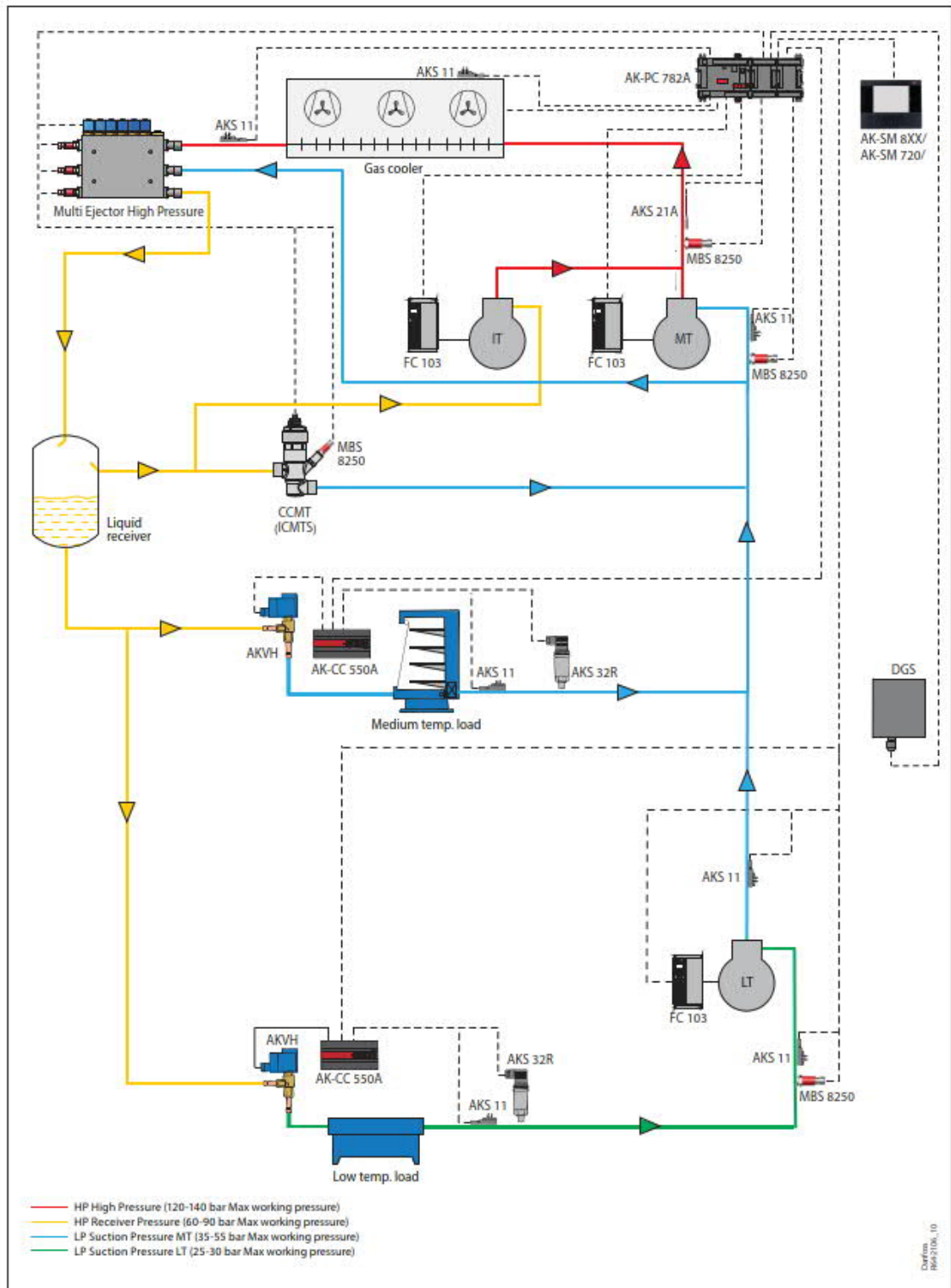
Ejektori on mekaaninen laite, johon ohjataan osa imupuolen putkistossa kompressorille menevästä kaasusta. Ejektorissa se sekoittuu kaasunjäähdyttimeltä tulevaan korkeapainoiseen kaasuun. Tämän seoksen ejektori ohjaa nesteenerotussäiliöön.



Kuva 5. Danfoss Multi Ejector -laitteen leikkauskuva [22].

Jotta paras mahdollinen hyötysuhde saavutettaisiin, täytyy ejektorin mukautua prosessiin eri tehoilla. Multiejektorissa on monta sisäänrakennettua ejektoria, joita käytetään solenoidiventtiilien avulla. Multiejektoria ohjaa oma älykäs automaatio, joka prosessin painetta ja lämpötilaa tarkkailemalla avaa ja sulkee venttiileitä oikeassa suhteessa prosessiin verrattuna. Kuvassa 6 Multiejektori on esitetty kylmälaiteprosessikaaviossa kuvan vasemmassa yläreunassa. Ejektorin ansiosta rinnakkaiskompressorille menevän imukaasun paine kasvaa, eikä niiden tarvitse työskennellä niin paljon, ja näin ollen laitteen hyötysuhde paranee. [23]





Kuva 6. Prosessikaavio Danfoss Multi Ejector -laitteella varustetusta lämpöpumpusta [22].

## 5 Smart ProHeat -projekti

### 5.1 Kehityshankkeen tavoitteet

Smart ProHeat -projekti on Caverion Suomi Oy:n kehityshanke, joka toteutetaan Business Finlandin osittain rahoittamana tutkimuksena. Business Finland on matkailua ja investointeja edistävä suomalainen toimija. Se tarjoaa yrityksille innovaatorahoitusta ja kansainvälistymispalveluja. [11]

Smart ProHeat -projekti keskittyy rakennusten saneerauksen yhteydessä tehtävään tilalämmityksen ja lämmöntalteenoton uusimiseen sekä rakennusautomaatiojärjestelmän saneeraukseen. Projektin tavoite on järkeistää rakennuksen teknisten järjestelmien saneerausta uusien innovaatioiden, esivalmistettujen tehokkaiden saneerausprosessien ja rakennusautomaation avulla. [15]

Projektilla halutaan saavuttaa saneerauskonsepti, joka käyttää modulaarisia hybridiratkaisuja vähentämään ostoenergian tarvetta tilalämmityksessä peräti 50–80 prosenttia nykyisestä. Tavoitteena on muun muassa kehittää lämmöntalteenotto, joka hyödyntää tehokkaasti sisälämpötilojen hallintaa. Luoda liiketoimintamalleja, jotka mahdollistavat paikallisesti tuotetun uusiutuvan energian ja ostoenergian, kuten kaukolämmön, yhdistämisen kustannustehokkaasti. [15]

Luodut mallit halutaan voida monistaa ketterästi kohteesta toiseen. Tavoitteena on, että uusi konsepti olisi toteutettavissa 60 %:ssa asuinrakennuksista, jotka ovat rakennettu vuosina 1946–2000. Investoinnin tulisi olla järkevän hintainen, jotta se voidaan näihin rakennuksiin toteuttaa ja takaisinmaksuajaksi tavoitellaan alle 15 vuotta. [15]

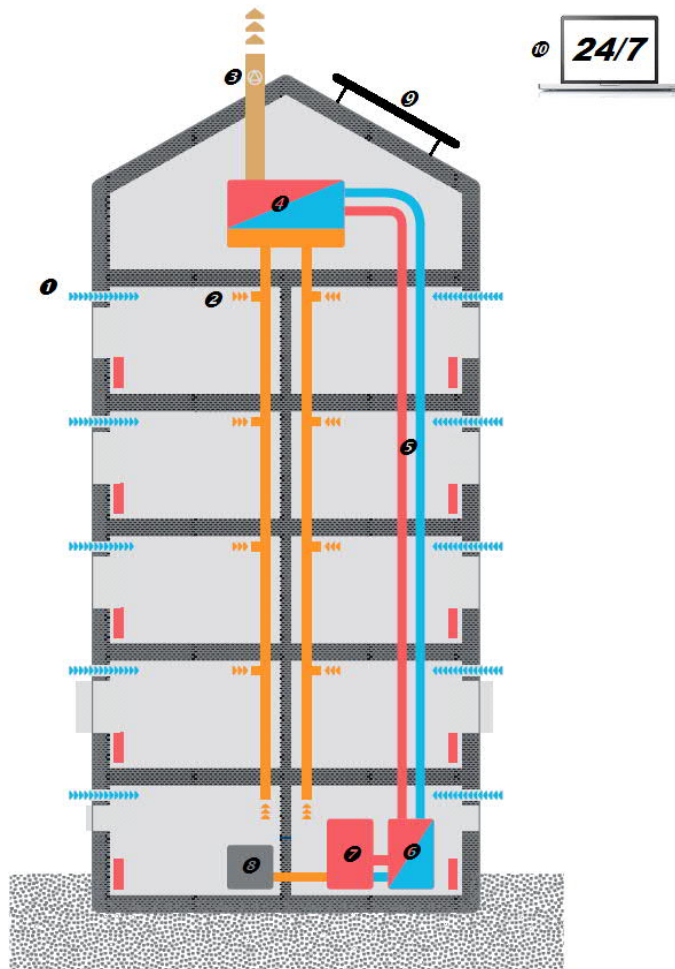
Järjestelmän asennusten pitäisi tuottaa mahdollisimman vähän harmia ja vaivaa asukkailla. Tämän vuoksi projektissa halutaan kehittää sellaisia esivalmisteita, jotka voidaan helposti viedä kohteeseen ja asentaa nopeasti paikalleen. Tavoite on vähentää saneeraukseen käytettyä aikaa peräti 30 %. [15]

Lopullisesta konseptista halutaan kehittää indikaattoreita, ”*Key Performance Indicators (KPI's)*”, joiden avulla saneerauksen onnistumista voidaan mitata ja todentaa. Lisäksi

indikaattorit, kuten energiamittaukset, hyödyntävät rakennusautomaatiojärjestelmää, joka optimoi laitteiston toimintaa ja pyrkii vähentämään turhaa energian kulutusta. Yksi KPI on esimerkiksi ostoenergian kulutus.

Käytännössä Smart ProHeat -projektissa on tarkoitus rakentaa demokiinteistöksi valikointuneeseen asuinkerrostaloon poistoilmalämpöpumppu, jonka lämmöntalteenottolaitteisto kerää lämpöä talteen asuntojen poistoilmasta. Lämmönjakohuoneeseen asennettu hiilidioksidia kylmäaineenaan käyttävä lämpöpumppu käyttää poistoilmasta alkoholiliuoksen avulla johdettua lämmintä liuosta hiilidioksidin höyrystämiseen. Höyrystyneellä kuumalla hiilidioksidikaasulla tehdään lämminvesivaraajiin lämmintä käyttövettä ja radiaattoriverkostoon lämmintä vettä tilalämmitystä varten. Järjestelmä mitoitetaan siten, että kylmimmillä pakkaskeleillä lisälämmöksi otetaan ostoenergiaa kaukolämmöstä.

Kaukolämpö toimii myös varalämmitysmuotona, mikäli laitteisto jostain syystä vikaantuu. Silloin järjestelmä ohjaa kaukolämpöventtiilin auki, ja lämmitys hoituu kaukolämpösiirtimen välityksellä, eikä lämmönjakelu katkea aiheuttaen harmia asukkaille.



Kuva 7. Smart ProHeat -konseptin tekninen diagrammi

Kuvassa 7 on esitetty Smart ProHeat -konseptin tekninen diagrammi, jossa on numeroituna esitetty 1) tuloilma 2) poistoilma 3) poistoilmapuhallin 4) lämmöntalteenotto 5) liuos putkisto 6) lämpöpumppu 7) lämminvesivaraaja 8) lisäenergian lähde 9) aurinkopaneelit kompensointiin 10) rakennusautomaatiojärjestelmä 24/7-valvomolla.

Asunnoista ulos johdettavan poistoilman lämpötila on tyypillisesti 20–25 °C. Aiemmat kokemukset poistoilmalämpöpumpuista ovat osoittaneet Caverionin tutkimusten mukaan, että tekniikalla voidaan kattaa 72 prosenttia energian tarpeesta.

Smart ProHeat -projekti myös tutkii aurinkoenergian käyttömahdollisuuksia. Niillä voidaan kompensoida lämpöpumppujen ja lämmöntalteenottolaitteiston kuluttamaa sähköä.

## 5.2 Demokiinteistö

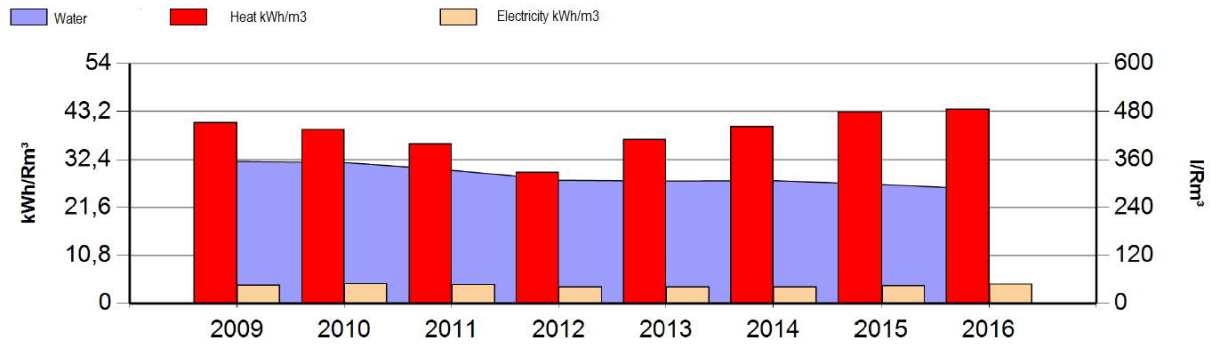
Smart ProHeat -projektin tulokset on tarkoitus pilotoida demokiinteistössä. Smart ProHeat -projektin demokiinteistöksi on kaavailtu Keravalla sijaitsevaa asuinkerrostaloa. Kohde sijaitsee osoitteessa Palokorvenkatu 7, ja se on kuusikerroksinen tilavuudeltaan noin 13 000 m<sup>3</sup> ja pinta-alaltaan noin 3 200 m<sup>2</sup>:n asuinrakennus, jonka omistaa Asuntosäätiö Asokodit. Asuntoja siinä on yhteensä 51 (kuva 8).



Kuva 8. Palokorvenkatu 1, Kerava

Palokorvenkadun ostoenergiankulutus vuonna 2016 kaukolämmön osalta oli 568 MWh ja kiinteistösähkön osalta 58 MWh. Smart ProHeat -projektin tavoitteena on laskea kaukolämpöenergian kulutus 150 megawattituntiin, jolloin kiinteistösähkön kulutus olisi myös 150 megawattituntia.

Kuvan 9 kulutushistoriakaaviossa on esitetty kiinteistön sähkön, veden ja lämmitysenergian kulutukset vuosilta 2009–2016.



Kuva 9. Palokorvenkadun veden-, sähkön- ja lämpöenergiankulutukset

## 6 Laitteisto

Smart ProHeat -projektin konsepti muodostuu yhteen integroitavista laitteistoista. Jotta lämpö saadaan kerättyä kiinteistön poistoilmasta talteen, tarvitaan lämmöntalteenottoyksikkö. Lämmöntalteenottoyksiköt keräävät lämmön poistoilmasta ja välittävät sen lämpöpumpulle. Lämpöpumppu taas jalostaa talteen kerätystä energiasta kiinteistölle lämmintä käyttövettä ja lämmitysverkoston tarvitseman lämpimän veden. Laitteet integroidaan yhteen rakennusautomaation avulla.

### 6.1 Lämmöntalteenottoyksikkö HiLTO EC 09 / 18

HiLTO EC -lämmöntalteenottoyksikkö on suomalaisen Kojan valmistama tuote poistoilman lämmöntalteenottoon. Se koostuu poistoilmapuhaltimesta ja lämpöä talteen ottavasta kanavapatterista. HiLTO EC -lämmöntalteenottoyksiköt saa useassa eri koossa ja eri tavoin varusteltuna. Ilmavirroiltaan se soveltuu tilavuuksiin 0,2 – 4,0 m<sup>3</sup>/s. Pienemmät laitteet HiLTO EC 09:ään asti on varustettu yhdellä patterilla, ja siitä isommat mallit keräävät lämpöä talteen kahdella patterilla. Valmistaja lupaa, että sillä voidaan ottaa talteen jopa puolet poistoilman lämpöenergiasta. [6, s. 2.]

HiLTO EC-lämmöntalteenottoyksikkö toimitetaan varustettuna kestromagneettisella ns. EC-moottorilla ja integroidulla taajuusmuuttajalla. Puhaltimen kierrosnopeutta voidaan säätää portaattomasti hyvällä hyötysuhteella. Puhallinta voidaan ohjata Modbus RTU -väylän avulla tai 0-10 V:n jänniteviestillä rakennusautomaatiojärjestelmästä. [6, s 2.]

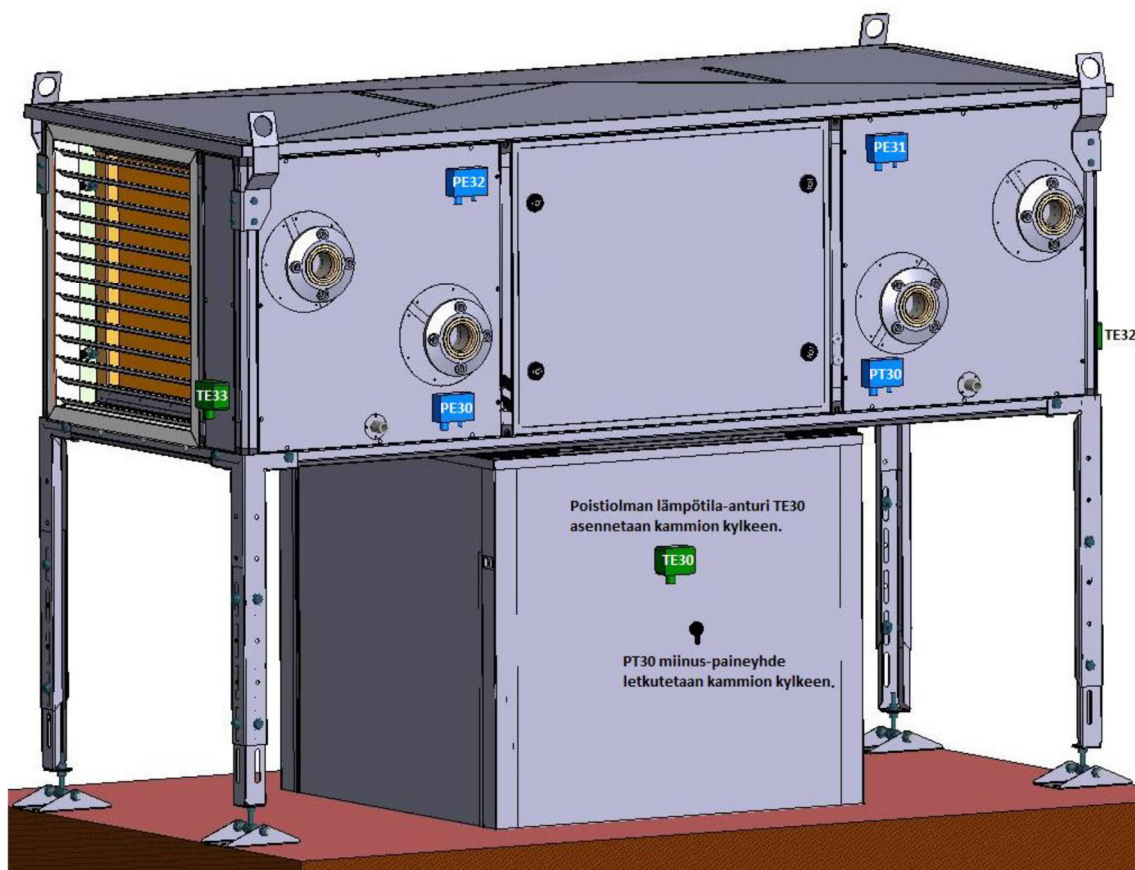
HiLTO EC voidaan toimittaa asiakkaan niin halutessa tehdasasennetulla automaatiolla, jolloin lämmöntalteenottoyksikkö on varustettu valmiiksi tarvittavin anturein ja se sisältää säätimen, johon on ohjelmoitu tarvittavat säätöpiirit ja hälytykset. Säädin voidaan vielä varustaa lisäksi Modbus RTU- tai Modbus TCP/IP -lisäkortilla, jolloin sen mittaukset, parametrit ja hälytykset voidaan välittää rakennusautomaatiojärjestelmään. Kuvan 10 taulukossa on lueteltu lämmöntalteenottoyksikön automaatiolaitteistoon kuuluvat laitteet ja niiden positiotunnukset. [7, s. 5.]

HiLTO EC -automaatiolaitteisto		
Positio	Laite / anturi	Laitteisto
AK/RK01	Sähkö- ja automaatiokeskus	HiLTO EC 09, 18, 36
SC01	Integroitu taajuusmuuttaja	HiLTO EC 09, 18, 36
PT30	Poistokanavan paine	HiLTO EC 09, 18, 36
TE30	Poistoilman lämpötila	HiLTO EC 09, 18, 36
PE30/FE30	Puhaltimen virtauspaine	HiLTO EC 09, 18, 36
PE31	Suodattimen 1 paine-ero	HiLTO EC 09, 18, 36
TE32	Jäteilman 1 lämpötila	HiLTO EC 09, 18, 36
PE32	Suodattimen 2 paine-ero	HiLTO EC 18, 36
TE33	Jäteilman 2 lämpötila	HiLTO EC 18, 36
TE00	Ulkoilman lämpötila	Lisävaruste HiLTO EC 09, 18, 36
TE41	Menonesteen lämpötila	Lisävaruste HiLTO EC 09, 18, 36
TE42	Paluunesteen lämpötila	
MB RTU	Modbus RTU -lisäkortti	Lisävaruste HiLTO EC 09, 18, 36
MB TCP IP	Modbus TCP IP -lisäkortti	Lisävaruste HiLTO EC 09, 18, 36

Kuva 10. HiLTO EC -automaatiolaitteisto, kun se toimitetaan tehdasasennettuna

Automaatiolaitteisto sisältää sähkökeskuksen, johon kaikki HiLTO EC:n automaatiolaitteet on johdotettu ja kytketty. Jos HiLTO EC varustetaan tehdasasenteisella automaatiolaitteistolla, käyttäjä voi valita itse säätimeltä ohjataanko puhallinta kanavapaineseen, virtaukseen vai ainoastaan puhaltimen pyörimisnopeuteen perustuen. Perusmallissa kanavapainelähetin (PT30) on koneen alaosassa (kuva 11). Sen paineyhteen letku kiinnitetään kokoojakammioon mahdollisimman häiriöttömään paikkaan. Muutkin anturien sijoitukset on ohjeistettu Kojan asennusohjeessa, ja niitä on syytä noudattaa huolellisesti, jotta mittaus tulokset olisivat luotettavia. Tehdasasenteinen säädin huolehtii myös kondenssivesiputken sulana pidosta talviaikaan. Toimiakseen HiLTO EC -automaatiolaitteisto tarvitsee ulkolämpötilatiedon. Se voidaan ottaa säätimeen omalla anturilla tai vaihtoehtoisesti se voidaan tuoda esimerkiksi rakennusautomaatiojärjestelmästä säätimelle Modbus-väylän välityksellä. [7, s. 5–6]





Kuva 11. Koja HiLTO EC -anturien asennuspaikat [7, s. 8]

Jos laitteistoa ei haluta liittää Modbus-väylän kautta rakennusautomaatiojärjestelmään, tai se ei ole mahdollista rakennuksessa jo olevan järjestelmän kanssa, voidaan säätimeen tuoda ulkoisilla potentiaalivapailta kytkimillä ulkoinen lukitus, käyntiajan esto, kesäviilennys ja sulanapitovastuksen ohjaus. Lisäksi säätimeltä rakennusautomaatiojärjestelmään päin saadaan lämpöpumpun ohjaustieto ja kolme hälytystä. [7, s. 9]

HiLTO EC:n saa myös tilattua kokonaan ilman omaa automatiikkaa. Silloin toimittaja varustelee laitteiston tarvittavilla antureilla ja johdottaa ne riviliitinkoteloon. Riviliitinkotelo on edullisempi ratkaisu kuin täydellä automaatiolaitteistolla varusteltu HiLTO EC, mutta silloin tilaaja joutuu itse hankkimaan säätölaitteiston, joka ohjaa lämmöntalteenottolaitteen toimintaa.

## 6.2 CO<sub>2</sub>-lämpöpumppu Green & Cool

Green & Cool on maailman johtava ylikriittisten jäähdytysjärjestelmien toimittaja. Yritys on perustettu vuonna 2002 Ruotsissa, ja nykyään sen tehtaat ovat Aubagnessa, Ranskassa.

Green & Cool tarjoaa jäähdytysratkaisuja julkiselle ja yksityiselle sektorille. Heidän tuotevalikoimansa kattaa koko valikoiman pienistä ravintolakokoluokan jäähdyttimistä isojen kauppakeskusten kylmälaitoksiin. Kuvassa 12 on esitetty kompaktisti paketoitu Green & Cool lämpöpumppu. Green & Coolilta on saatavissa myös teollisuuden ratkaisuja.

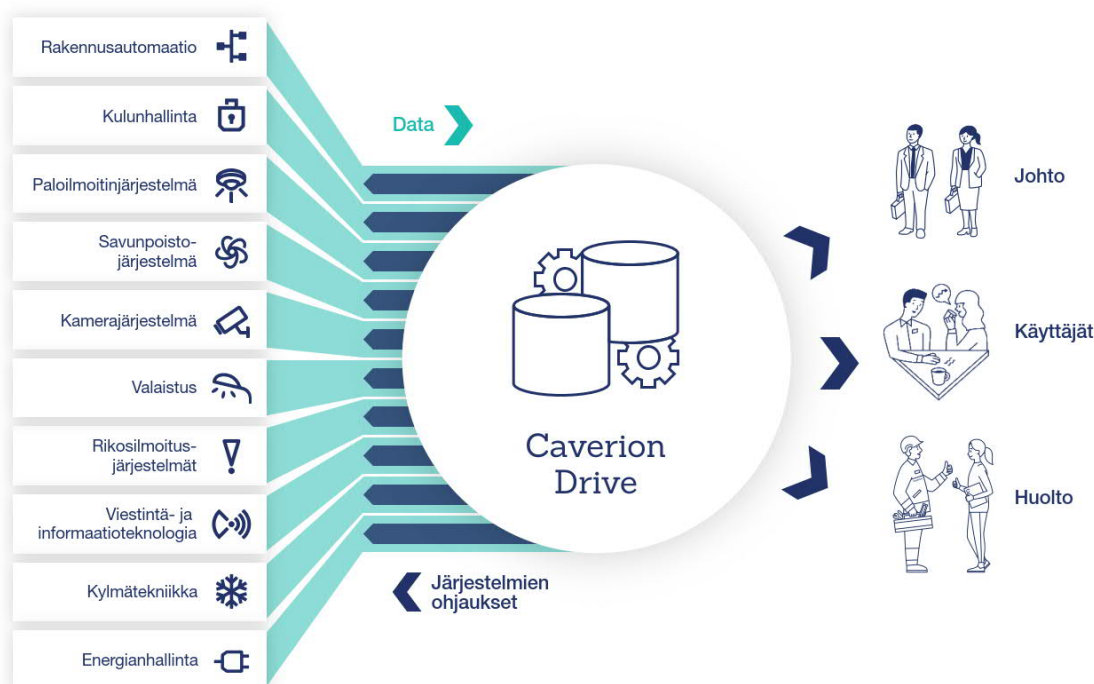
Green & Cool on panostanut erityisesti älykkäiden säätöjärjestelmien kehitykseen ja laitteistojen käyttöösiintymien käyttäjäystävällisyyteen. Lämpöpumppujen käyttöösiintymät on tehty sellaiseksi, että niihin voidaan ottaa etäyhteys internetin välityksellä ja ne voidaan saumattomasti yhdistää muiden laite-toimittajien säätöjärjestelmiin, esimerkiksi rakennusautomaatiojärjestelmään. [9]



Kuva 12. Projektiin suunnitellun Green & Cool -lämpöpumpun kuva [9]

### 6.3 Kiinteistönhallintajärjestelmä Caverion Drive

Caverion Drive on Caverionin kehittämä kiinteistönhallintajärjestelmä, joka integroi kiinteistön toiminnot käyttäjäystävälliseen muotoon niin että kiinteistöä käyttävien henkilöiden on helppo käyttää ja havaita kiinteistöään. Caverion Drive integroi yhteen käytännössä kaikki kiinteistön tekniset järjestelmät kuten rakennusautomaatiojärjestelmä, paloilmoinjärjestelmä, kameravalvonta, kulunvalvonta, savunpoisto ja sprinklerit (kuva 13). Integroimalla yhteen järjestelmiä niitä voidaan hallita kokonaisuutena siten, ettei energiaa kulu hukkaan. Yhden järjestelmän mallissa esimerkiksi päällekkäistä jäähdytystä ja lämmitystä ei pääse helposti tapahtumaan.



Kuva 13. Caverion Drive yhdistää talotekniset järjestelmät helposti hallittavaksi kokonaisuudeksi.

Caverion Driven web-pohjaisen käyttöliittymän avulla eri järjestelmien toimintaa voidaan valvoa etäyhteyksien avulla tai paikan päältä paikallisilta käyttöpäätteiltä. Web-pohjaisuus tarkoittaa, että järjestelmään pääsee käsiksi tavallisen internet-selaimen avulla. Caverion Driveen liittyvien analysointityökalujen kuten Caverion Cream ja Caverion

SmartView, avulla kiinteistön prosesseista saadaan muodostettua raportteja. Raporttien avulla on helppo tutkia prosessien toimintaa ja vertailla niitä historiatietoon tai vastaaviin muihin kiinteistöihin.

### 6.3.1 Caverion Niagara ja Niagara Framework

Niagara Framework on amerikkalaisen Tridium -yhtiön 1990-luvun lopussa kehittämä automaatiojärjestelmä. Se sai alkunsa vuonna 1999 ja levinnyt sen jälkeen ympäri maailman yhtenä johtavana automaatiojärjestelmänä rakennusautomaatioalalla. Vuonna 2005 Honeywell osti Tridiumin, mutta se on jatkanut omana liiketoimintayksikkönään Tridium brandin alla. [8]

Niagara -järjestelmä sisältää automaatiojärjestelmäympäristön Niagara Frameworkin, ja se toimii Tridiumin omissa QNX-käyttöjärjestelmää käyttävissä sulautetuissa JACE-säätimissä. Lisäksi Niagara -ohjelmisto voidaan asentaa mihin tahansa nykyaikaiseen Windows -ympäristöön, jolloin käytössä on käytännössä rajoittamaton laskentateho PC -laitteistojen laajennettavuuden ansiosta. Niagaran uusin versio kulkee nimellä Niagara 4.9.

Järjestelmä mahdollistaa lukuisien eri automaatio- ja kenttävyölien yhdistämisen samaan järjestelmään. Järjestelmän sisällä mistä hyvänsä datalähteestä tuleva tieto näyttää ohjelmointiympäristössä samalta, ja sen vuoksi Niagaralla onkin erityisen helppo tehdä järjestelmäintegraatioita. Ei ole mitenkään tavatonta, että esimerkiksi BACNet-väylältä tulevat viestit ohjaavat Modbus RTU -väylässä olevia laitteita.

Niagara Framework -ympäristössä ja JACE-säätimissä on sisäänrakennettu Web-palvelin, joka mahdollistaa HTML5:sta hyödyntävien selainpohjaisten käyttöliittymien teon. Järjestelmässä on myös oBIX-rajapinta (Open Building Information Exchange) mahdollisuus, jonka avulla automaatiojärjestelmän mittaamaa ja keräämää dataa voidaan välittää muihin kolmannen osapuolen järjestelmiin. oBIX-rajapinta on rakennusautomaatiojärjestelmiä varten luotu RESTful Web Services -pohjainen standardi. oBIX-rajapinnan kautta ulkopuoliset, yleensä web-portaalit tai muut verkkopalvelut, voivat lukea ja kirjoittaa tietoja hyödyntäen sen XML rakennetta ja HTTP request -metodeja.

Tridium JACE-säätimiä ja Niagara Framework -ohjelmistoa käytetään yleisesti Caverionin toteuttamien rakennusautomaatiojärjestelmien prosessinohjauksen toteutuksessa varsinkin asuntotuotannossa.

### 6.3.2 Distech ECY S1000 ja muut EC-sarjan säätimet

Distech ECY S1000 on BACNet -väylätekniikkaan perustuva automaatiojärjestelmän säädin. ECY S1000 toimii kuten sulautettu ohjelmitava logiikka. Laitteessa on ARM Cortex A8 Core 1GHz:n prosessori ja 512 megatavua keskusmuistia.

ECY S1000-säätimeen voidaan liittää valmistajan omia IO-yksiköitä, jotka kasataan modulaarisesti laitteen perään. IO-yksiköiden muodostama maksimi IO-määrä on 280 IO-pistettä tai 320 inputpistettä. IO-yksiköt voidaan jakaa laitekotelon sisällä useammalle DIN-kiskoriville erillisellä HD15-kytkentäkaapelilla (kuva 14).



Kuva 14. ECY S-1000 asennettuna laitekoteloon ja varustettuna neljällä IO-yksiköllä, kahdella virtalähteellä ja Wi-Fi-adapterilla.

Säätimessä lisäksi on sisäänrakennettu HTTPS Web -palvelin, jonka avulla voidaan esittää säätimeen ohjelmoituja visuaalisia käyttöliittymiä. Käyttöliittymät tehdään HTML5-tekniikalla ENVYSION-ohjelmistolla, joka on asennettu säätimen muistiin ja sen käyttö onnistuu tavallisella internet selaimella kuten Google Chrome. Web palvelin sisältää myös REST API rajapinnan, jonka avulla ulkopuoliset järjestelmiä voidaan liittää säätimeen.

ECY S1000-säätimessä on sisään rakennettu verkkokortti kahdella RJ-45-portilla. Portti mahdollistaa IP-kytkennän ketjuttamisen laitteelta toiselle (ns. daisy-chain -topologia). Tämä mahdollistaa lyhyemmän verkkokaapeloinnin ja kaapelointikustannusten minimoinnin, kun kaapelia ei tarvitse vetää jokaiselta säätimeltä erikseen kytkimelle.

Verkkokortin lisäksi ECY S1000 voidaan varustaa USB-liittimeen asennettavalla Wi-Fi-adapterilla. Wi-Fi-adapteri mahdollistaa langattoman internet yhteyden hyödyntämisen, jolloin laite voidaan vapaammin sijoittaa paikkaan, jossa verkkoliitännästä ei välttämättä ole saatavilla. Yhteyden lisäksi laite voi luoda Wi-Fi Hot Spot yhteyspisteen, johon voi ottaa yhteyden esimerkiksi PC:llä, jolla laite on tarkoitus ohjelmoida. Wi-Fi Access Pointin kautta ECY S1000 voi laajentaa rakennuksen IP-verkkoa lähellä oleville muille säätimille. Se toimii tukiasemana esimerkiksi langattomille ilmapääsätimille, jotka voivat sijaita ilmanvaihtokanavistossa lähellä alakeskusta tai säätölaitekoteloita, johon ECY S1000 on asennettu.

ECY S1000-säädin sisältää myös yhden RS485-sarjaliikenneportin, jonka kautta siihen voidaan kytkeä sarjaliikennettä käyttäviä, esimerkiksi Modbus RTU-, BACNet MSTP -väylälaitteita. Näitä ovat useimmiten huonesäätimet, taajuusmuuttajat tai IO-laitteet. RS485-portteja voidaan lisätä säätimeen erillisen RS485 moduulin avulla. Moduuli liitetään säätimeen samalla tavalla kuin laitteen omat IO-moduulit.

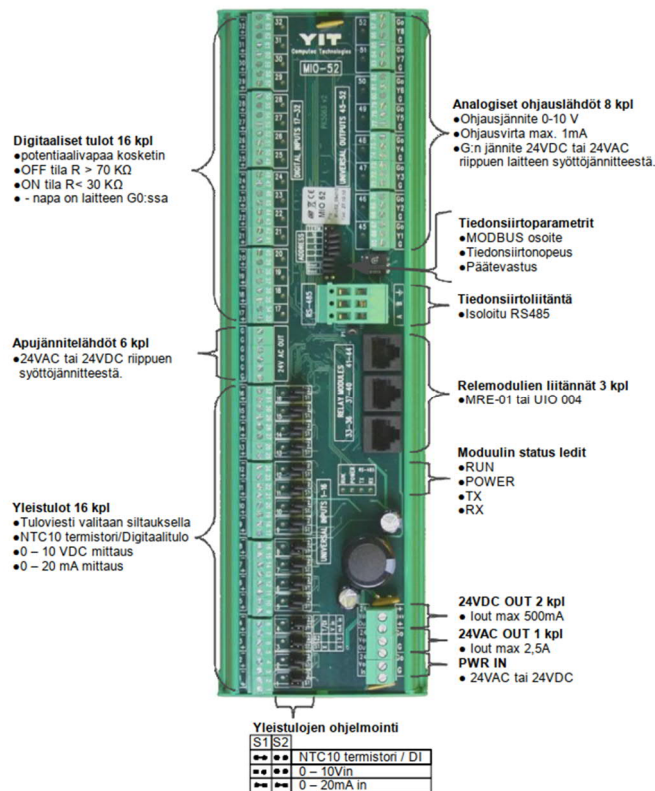
### 6.3.3 MIO52

MIO52 on Modbus RTU -väylää käyttävä IO-laite, jossa on nimensä mukaisesti 52 kpl IO-liitännät. Se käyttää tiedonsiirtoliitännänä isoletua RS485-liitännää, ja siihen voidaan asettaa siltaamalla tiedonsiirtoasetukset eli Modbus-osoite ja tiedonsiirtonopeus. RS485-liitännää varten laitteessa on liittimet sekä tulevalle että lähtevälle väyläkaapelille.

Lisäksi laitteessa on sisäänrakennettu päätevastus, jonka käyttäjä voi kytkeä päälle, mikäli laite sattuu olemaan väylän viimeinen Modbuslaite. [10, s. 2–6.] MIO52-laitetta ei voi itse ohjelmoida, vaan se toimii ainoastaan kenttälaitteiden mittausten ja ohjausten välittäjänä esimerkiksi rakennusautomaatiojärjestelmälle.

Laitteen 52 IO-liitäntää ovat

- 16 kappaletta digitaalituloja
- 16 kappaletta analogiatuloja (termistori/V/mA)
- 8 kappaletta analogialähtöjä
- 12 kappaletta digitaalilähtöjä



Kuva 15. MIO52 Modbus IO-laite

Kenttälaitteet kytketään suoraan laitteen sivussa sijaitseviin vihreisiin ruuviliittimiin (kuva 15). Analogiatulopisteet 1–16 ovat yleiskäyttöisiä mittaustuloja ja tulon tyyppi valitaan ns. ”jumpperoimalla” tulon alla olevat siltaukset valinnan mukaan termistori/digitaalituloksi, 0–10 V:n jänniteviestiksi tai 0–20mA:n virtaviestiksi. Termistorimittauksen mitta-anturina käytetään NTC10-lämpötila-anturia tai 10kΩ:n potentiometriä. Tulopisteitä 1–16 voidaan käyttää myös digitaalitulona, jolloin anturin tilalla on potentiaalivapaa kosketin. Tulopisteen indikointiledi loistaa, kun tulopisteeseen on kytketty lämpötila-anturi tai se on ON-tilassa. 0–10V:n jänniteviestillä tai 0–20mA:n virtaviestillä indikointiledin kirkkaus säätyy tulosignaalin mukaan. [10, s. 3.]

Pisteet 17–32 ovat digitaalituloja, joihin voi kytkeä potentiaalivapaita koskettimia. Laitteeseen on ohjelmoitu kutakin digitaalituloa varten Modbus-rekisteri, joka toimii ns. pito-piirinä, pitäen tulon aktiivisena 10 sekuntia tai kunnes isäntälaitte on lukenut rekisterin. Lisäksi jokaista digitaalituloa varten on ns. Pulse count -rekisteri, josta voidaan lukea pulssilaskurin laskema tulojen pulssien määrä. Pulssien minimipituus on 30ms, ja rekisterin arvo voi olla 0–65535. Rekisteriarvon ylittäessä maksimimäärän, se nollaantuu. Laitteesta löytyy oma rekisteri sekä 0-tilojen laskennalle että 1-tilojen laskennalle. [10, s. 4.]

Lähdöt 33–44 ovat digitaalilähtöjä releohjauksia varten. Ne toimivat avokollektorilähtöinä ja ne on jaettu kolmelle RJ-45-liittimelle. Liittimeen voidaan kytkeä relemoduuli MRE-1 tai UIO-004. Relemoduulin tyypistä riippuen lähdöllä voidaan ohjata esimerkiksi 230 V:n ja 10 A:n sähkökuormia, tyypillisesti esimerkiksi ryhmäkeskusten kontaktorilähtöjä. [10, s. 5.]

Yleislähdöt 45–52 ovat 0–10V:n ohjauslähtöjä. Kullakin lähdöllä on kolme liitintä, jolloin niihin saadaan kytkettyä esimerkiksi säätöventtiilin tarvitsema 24 VAC:n syöttö ja ohjausviesti. Laitteen Modbus-rekistereissä on kullekin ohjauslähdölle kaksi rekisteriä. Toisesta voidaan lukea lähdön tila (off-on) ja toisesta lähdön arvo (0...1000), jonka voi itse skaalata vastaanottavassa järjestelmässä. [10, s. 5.]

Laite on fyysisiltä mitoiltaan 90 mm korkea ja 290 mm leveä. Se voidaan asentaa sähkökeskuksen tai laitekotelon DIN-kiskoon, jolloin se tulee 65 mm ulos DIN-kiskosta. Käyttöympäristö on lämpötilassa 0...+40 °C. Jos laite asennetaan ulkotiloihin, tulee laitekotelon olla sisältä lämmitetty.



#### 6.4 Langattomat Sigfox-huoneanturit

Langattomat AirWits-huoneanturit keskustelevat Sigfox-verkkoteknologialla pitkän kantaman radioverkossa 868 megahertsin taajuudella palvelimen kanssa, Sigfox on maailmanlaajuinen IoT-verkkoteknologia, joka toimii 70 eri maassa ja lupaa Suomessakin, että kuuluvuus kattaa 90 % väestöstä. [20]

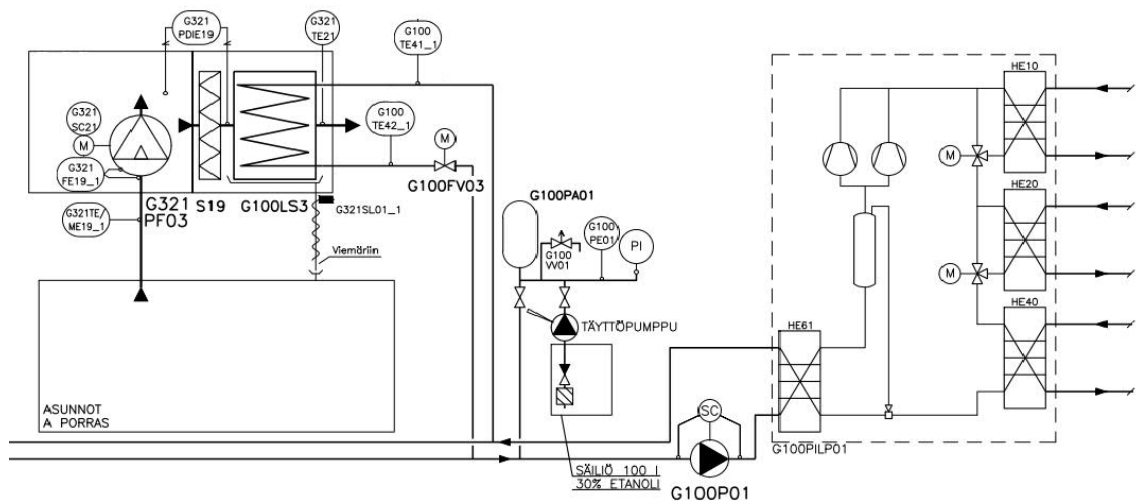
Connected AirWits on pitkällä toiminta-ajalla toimiva Sigfox-verkkoyhteydellä varustettu anturi. Siitä saadaan lämpötila ja ilmankosteus. Se soveltuu sisätila-asennuksiin, esimerkiksi asuinkerrostaloihin. Sigfox-verkko läpäisee mikroaallon pituutensa vuoksi helposti rakenteita, joten sen kuuluvuus kerrostaloasunnosta on varmatoimista. [21]

Connected AirWits -laitteen lämpötilamittauksen alue on -40...60 °C ja ilmankosteuden mittaus 0...95 %. Laitteen paristonkesto on 5 vuotta. [21]

## 7 Poistoilmalämpöpumpprosessi

### 7.1 Lämmöntalteenotto

Lämmöntalteenottolaitteeksi suunniteltiin Kojan HiLTO EC 09 -kokoluokan lämmön talteenottopatterilla varustetut poistoilmapuhaltimet. Puhaltimelta tarvittava ilmavirta on noin 500–990 l/s ja kanaviston painehäviö noin 200 pascalia. Väliaineena lämmöntalteenottopattereiden ja lämpöpumpun höyrystimen (HE61) välisessä putkistossa toimii Naturet-alkoholiliuos. Liuos pumpataan erillisellä pumpulla (G100P01) lämmöntalteenottopattereille (G100LS1-LS3). Liuospiiriin (kuva 16) asennetaan paisuntasäiliö (G100PA01) ja varoventtiili sekä painemittaus (G100PE01). [12]



Kuva 16. Alkoholiliuospiiri johtaa lämmön talteenottopattereilta (G100LSx) höyrystimelle (HE61) pumpulla G100P01.

Lämmöntalteenottopatterit on mitoitettu siten, että niiltä saadaan noin +0 °C:n lämpöinen alkoholiliuos höyrystimelle, josta se lähtee takaisin lämmöntalteenottopatterille noin –4 °C:n lämpöisenä. Koska alkoholiliuos jäähtyy höyrystimellä alle 0 °C:n, alkaa kosteassa poistoilmassa oleva vesi jäätyä pikkuhiljaa lämmöntalteenottopatteriin. Tämän vuoksi lämmöntalteenottopatteria täytyy sulattaa määräajoin. Sulamisvesiä varten HiLTO EC 09- poistoilman lämmöntalteenottolaitteelta lähtevä viemäri varustetaan sähkölämmityskaapelilla (SL01). [12]

Jos poistoilmakanavan ilmamäärät ovat suuremmat kuin HiLTO EC 09 laitteen kokoluokka sallii, on käytettävä isompaa kokoluokan HiLTO EC 18 laitetta. Tällöin lämmöntalteenottopattereita on kaksi kappaletta. Tämä vaikuttaa tarvittavien mittausten määrään, koska paine-ero on mitattava kahdesta suodattimesta ja jäteilma puhalletaan kahden eri suuntaan.

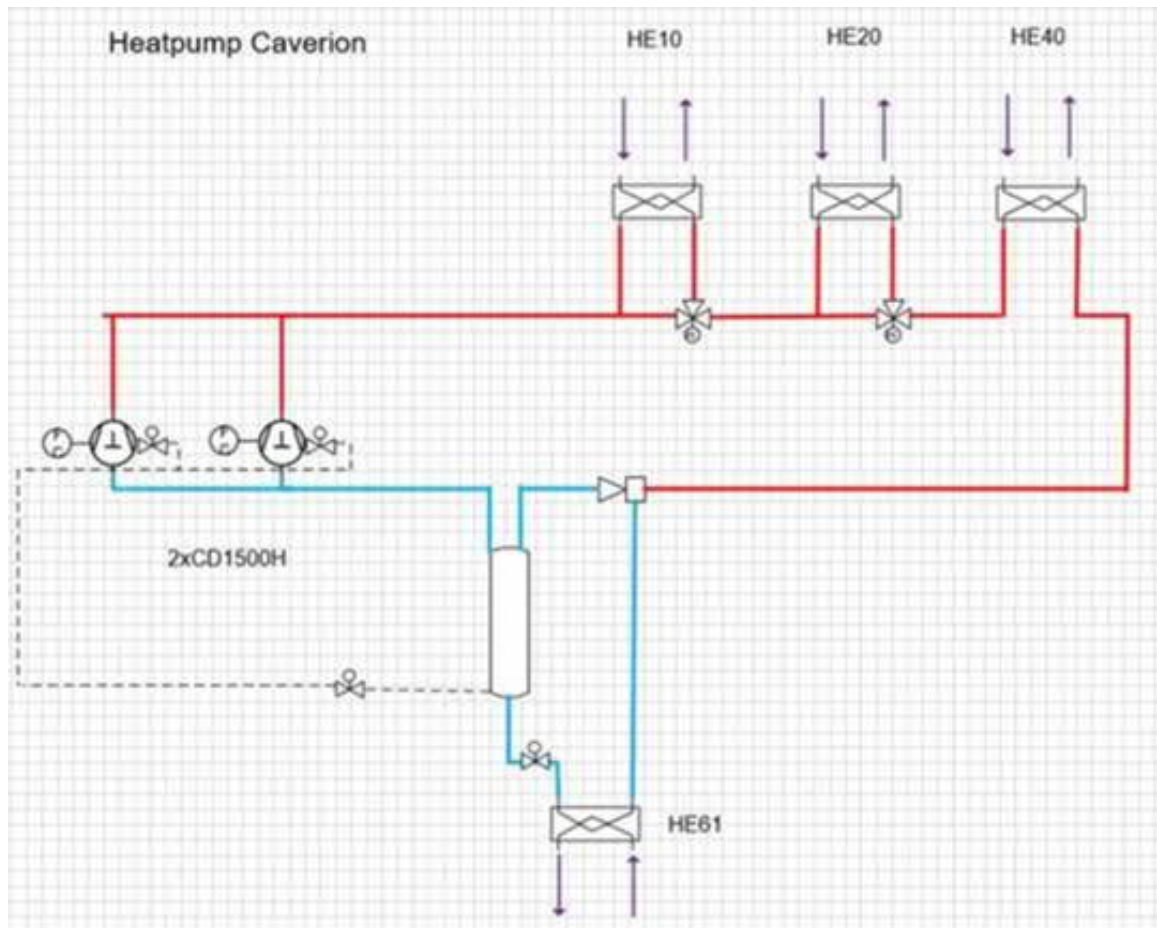
## 7.2 Lämpöpumppu

Lämpöpumpuna toimii Green & Coolin toimittama Mistral CO2VINPACK -lämpöpumppu, johon tulee kolme kaasunjäähdytintä ja yksi höyrystin. Kompessoreja laitteistossa on kaksi kappaletta. Lämpöpumppuprototyypin kytkentä on esitetty kuvassa 17.

Ensimmäinen vaihdin (HE10) on teholtaan 20,75 kW:n tulistuslämmönpoistin, jonka läpi virtaa 100 °C:n lämpöinen hiilidioksidi höyry ja jäähtyy vaihtimessa 79 °C:seen. Toisipuolella virtaava vesi lämpenee vaihtimessa 65 °C:seen ja se pumpataan lämpimän käyttöveden varaajasäiliöön.

Seuraava vaihdin (HE20) on lämmitysverkoston varaajasäiliötä lämmittävä kaasunjäähdytintä jossa 100 °C:n lämpöinen kuuma höyry jäähtyy 43 °C:seen, lämmittäen toisipuolen radiaattoriverkoston varaajasäiliöstä 39 °C:n lämpöisenä palaavan veden aina 65 °C saakka. Lämmitysteho on 101,00 kW.

Lopuksi hiilidioksidihöyry ajetaan kaasunjäähdyttimen (HE40) läpi, jossa 43 °C:n lämpöinen hiilidioksidihöyry jäähtyy 25 °C:seen, mikäli tarpeeksi viileää vettä on saatavilla. Lämmönsiirtimellä esilämmitetään käyttövettä käyttöveden esilämmitysvaraajassa, johon virtaa kylmää vettä vesijohdosta, kun lämmintä käyttövettä kulutetaan. Lämmönsiirtimen teho on 54,2 kW.



Kuva 17. Green & Cool -prototyypin lämpöpumppukaavio

Kaasunjäähdyttimeltä (HE40) hiilidioksidikaasu virtaa ejektoriin, jonka läpi se menee nesteenerotus säiliöön. Säiliöstä neste virtaa paisuntalaitteen lävitse höyrystimeen (HE61) josta kaasuksi muuttunut hiilidioksidi palautuu ejektorille korkeapaineisen kuumakaasun muodostaman imun vaikutuksesta ja sekoittuu takaisin säiliöön menevään seokseen. Säiliön yläosasta kaasu imetään kompressoreille puristettavaksi takaisin kiertoon.

Höyrystin (HE61) on teholtaan 55 kW ja sen läpi toisiopuolella virtaava alkoholiliuos jäähtyy 0 °C:n lämpötilasta –4 °C lämpötilaan.

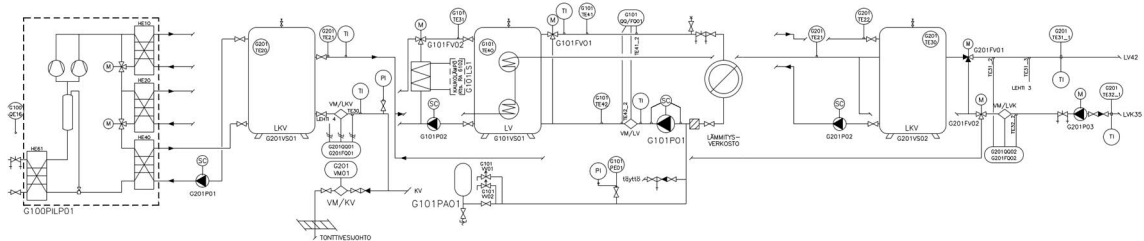
Mitoitustiedot ovat lämpöpumpun alustavasta prototyypistä (kuva 17), ja ne voivat vielä muuttua projektin edetessä.

### 7.3 Lämmin käyttövesi

Lämmin käyttövesi virtaa päävesimittarin jälkeisestä haarasta lämpimän käyttöveden esilämmitysvaraajaan (G201VS01), jossa se lämpenee noin 40 °C:seen. Esilämmitysvaraajan ja lämpöpumpun alijäähdyytimenä toimivan lämmönvaihtimen (HE40 kuvassa 15) välillä on pumppu (G201P01), joka pumppaa vettä jatkuvasti lämmönvaihtimen läpi pitäen esilämmitysvaraajasäiliön lämpimänä. Lämpimän käyttöveden esilämmitysvaraajasta vesi kulkee putkea pitkin lämmitysverkoston varaajasäiliön sisällä olevaan kierukkaan, jossa se lämpenee lisää ennen päätymistä varsinaiseen lämminvesivaraajaan (G201VS02). Lämminvesivaraajassa (G201VS02) lämmin käyttövesi lämmitetään lopulliseen lämpötilaansa tulistuslämmönpoistimella (HE10), jolle vesi pumpataan erillisellä pumpulla (G201P02). Rakennusautomaatiojärjestelmä säätelee pumpun kierrosnopeutta isommaksi lisäten virtaamaa, mikäli lämpöpumpulta varaajasäiliölle menevän veden lämpötila alkaa nousta.

Kiertopumppu (G201P03) pumppaa lämpimän käyttöveden kiertoputkessa olevaa paluuvettä takaisin varaajasäiliöön ja suoraan takaisin menopotkeen. Varaajasäiliöön ja suoraan takaisin menopotkeen menevän veden suhdetta ohjataan 3-tiesäätöventtiilillä (G201FV01), jolla pidetään menoveden lämpötila asetusarvossaan eli 58 °C:ssa.

Vaihtventtiilinä toimiva 3-tieventtiili (G201FV02) ohjaa kierron varaajasäiliön sijaan lämmitysverkoston varaajasäiliön kierukalle. Tällä kytkennällä käyttövesi voidaan pitää lämpimänä mahdollisessa lämpöpumpun vikatilanteessa, jolloin käyttövesi joudutaan lämmittämään varalämmönlähteellä eli kaukolämmöllä. Lämpimän käyttöveden valmistusprosessi näkyy kuvassa 18.



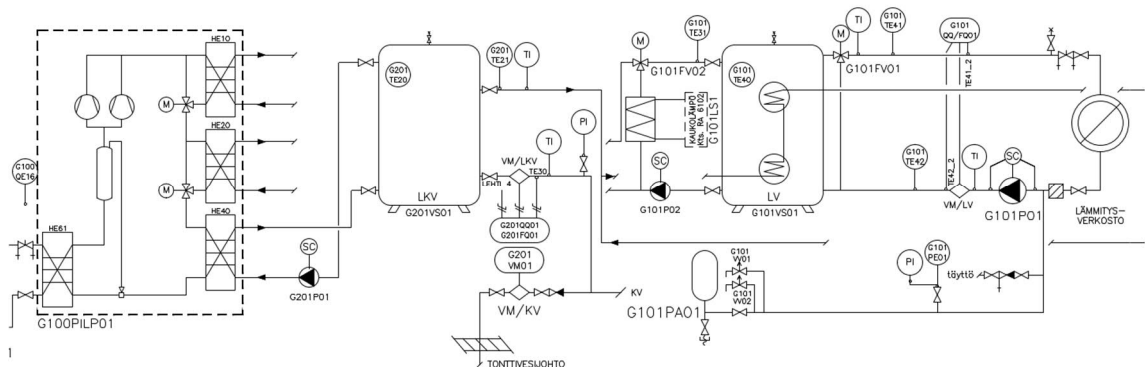
Kuva 18. Käyttöveden lämmitysprosessi

## 7.4 Lämmitysverkosto

Lämmitysverkoston varaajasäiliön (G101VS01 kuvassa 19) lämpötila pidetään muuttaman asteen korkeamana kuin lämmitysverkostoon menevän menoveden lämpötila. Pumppu (G101P02) pumpppaa vettä varaajasäiliöstä lämpöpumpun vaihtimelle (HE20) jatkuvasti. Rakennusautomaatiojärjestelmä ohjaa pumpun kierrosnopeutta suuremmaksi lisäten virtaamaa, jos lämpöpumpulta varaajasäiliöön palaavan veden lämpötila alkaa nousta.

Lämpöpumpun vikatilanteessa, tai jos sen teho ei riitä, vesi ohjataan kaukolämmön vaihtimen läpi avaamalla venttiiliä (G101FV02). Menoveden lämpötilan asetusarvo muuttuu ulkolämpötilan funktiona rakennusautomaatiojärjestelmään asetellun säätökäyrän mukaisesti. Rakennusautomaatiojärjestelmä poikkeuttaa menoveden lämpötilakäyrää asuntoihin asennettujen lämpötilamittausten keskiarvon perusteella siten, että asuntoja ei yli lämmitetä turhaan tai asunnoissa ei ole liian kylmä.

Lämmitysverkoston kiertopumppu (G101P01) pumpppaa lämmitysvettä lämmitysverkostoon, jossa radiaattorit luovuttavat lämmön rakennuksen eri tiloihin, kuten asuntoihin. Asunnoissa radiaattorit on varustettu omavoimaisin termostatein. Menoveden lämpötilaa säädellään 3-tiesäätöventtiilillä (G101FV01).



Kuva 19. Lämmitysverkoston lämmitysprosessi

## 8 Automaation säädöt ja ohjaukset

### 8.1 Asuntojen ilmanvaihto ja poistoilman lämmöntalteenotto

#### 8.1.1 Lämmöntalteenottoyksiköiden ohjaus

Lämmöntalteenottoyksiköt varustetaan yksikön ulkopintaan asennettavilla säätölaitekoteloidella, joihin asennetaan ECY S1000-säädin ja MIO52 IO -yksikkö yhdellä 230 voltin käyttöjännitteen kestäväällä MRE-1-relemoduulilla varustettuna. Taulukossa 1, on esitetty IO-yksikköön liitettävät IO-pisteet. ECY S1000-säätimen kautta laitteisto voidaan liittää osaksi rakennusautomaatiojärjestelmää BACnet IP-väylän kautta ja säädin on verkko-yhteyden kautta vapaasti etäohjelmoitavissa. TCP/IP-yhteys muodostuu Cat 6. -verkko-kaapeloinnin avulla, joka täytyy viedä lämmönjakohuoneesta vesikatolle lämmöntalteenottoyksikön säätölaitekoteloon. Rakennusautomaatiojärjestelmään saadaan lämmöntalteenottoyksiköiden säätimiltä käyntitila. Mikäli käyntitila poistuu, tapahtuu hälytys. Jos kaikki käyntitilat ovat pois, pysäyttää rakennusautomaatiojärjestelmä myös lämpöpumpun. Säätimet toimivat kuitenkin itsenäisesti oman ohjelmansa ohjaamana, joten lämmöntalteenottoyksikkö itse ei ole riippuvainen ulkopuolisesta järjestelmästä.

Taulukko 1. Lämmöntalteenottolaitteiston IO-pisteet

Positio	DI	DO	AI	AO
G321TE/ME19_x			2	
G321FE19_x			1	
G321SC21_x	1			1
G321PDIE19_x			1	
G321TE21_x			1	
G321SL01_x		1		
G100TE41_x			1	
G100TE42_x			1	
G100FV01				1
Yhteensä	1	1	7	2

ECY S1000-säädin pitää poistoilmapuhaltimen (G321PF0x) ilmavirran asetusarvossaan ohjaamalla poistopuhaltimen EC-moottoria 0–10 V:n jänniteviestillä. Asetusarvoa voidaan muuttaa rakennusautomaatiojärjestelmän grafiikalta ja sille voidaan tehdä

aikaohjelma, jolloin puhallin käy tehostetulla nopeudella esimerkiksi aamulla ja illalla. Kanavassa on lämpötila ja kosteusmittaus (G321TE/ME19\_x), joka tallennetaan trendinä rakennusautomaation historiatietokantaan. Jos puhaltimen ilmvirtamittaus poikkeaa asetusarvostaan, saadaan säätimeltä rakennusautomaatiojärjestelmään hälytys. Samoin jos puhaltimen käyntitila poistuu, seuraa hälytys.

Lämmöntalteenottopatteria edeltävä suodatin (S19) varustetaan paine-eromittauksella (G321PDIE19\_x). Paine-eron pysyessä hälytysviipeen verran yli hälytysrajaksi asetellun asetusarvon, säädin antaa rakennusautomaatiojärjestelmään suodatinvahtihälytyksen.

Mikäli lämmöntalteenottopatterille menevän liuoksen lämpötilan (G100TE41\_x) ja siltä palaavan liuoksen lämpötilan (G100TE42\_x) ero alkaa pienentyä alle sulatusrajan (esimerkiksi alle 2 °C), alkaa säädin rajoittaa lämmöntalteenottopatterille menevää liuosvirtaa ohjaamalla venttiiliä (G100FV0x) kiinni. Säädin ei kuitenkaan ohjaa sulatustilanteessa venttiiliä täysin kiinni, vaan antaa sen jäädä esimerkiksi 5 % auki, jotta virtaama lämmöntalteenottopatterin lävitse ei kokonaan tyrehdy. Kun lämpötilaero alkaa taas kasvaa, säädin alkaa avata venttiiliä. Venttiilin toimilaitetta ohjataan 0–10 V:n jänniteviestillä. Rakennusautomaatiojärjestelmään saadaan tieto, kun lämmöntalteenottopatterin sulatustoiminto on aktiivinen. Jos sulatus on aktiivisena liian monessa patterissa samaan aikaan, rakennusautomaatiojärjestelmä estää sulatustoiminnon kunnes ”sulatusvuoro” vapautuu toiselta lämmöntalteenottopatterilta.

Säätimelle tuodaan rakennusautomaatiojärjestelmästä ulkolämpötilatieto (G101TE00). Mikäli ulkolämpötila laskee alle asetusarvon (0 °C), ohjaa säädin sähköisen viemärin saattolämmityskaapelin (G321SL01\_x) päälle. Lämmityksen päälle ja pois kytkeytymisellä on asetettava eroalue, esimerkiksi 2 °C. Sulatus on päällä aseteltavia ajanjaksoja, esimerkiksi yhden tunnin päällä ja kolme tuntia pois. Lämmityksen päällä oloa voidaan rajoittaa aikaohjelmalla, samoin kesä/talvialueohjelmalla. Saattolämmityskaapeli estää kosteasta poistoilmasta lämmöntalteenottopatteriin kondensoituneen veden jääytymisen viemäriputkeen talvella.

Liuospiirin pumppu (G100P01) käy jatkuvasti, ja se liitetään rakennusautomaatioon väylän kautta. Lämpöpumpun höyrystimelle menevän liuoksen ja sieltä palaavan liuoksen lämpötilat saadaan rakennusautomaatiojärjestelmään lämpöpumpun väylärekistereistä. Niille ei siis tarvitse asentaa omia lämpötilamittauksia. Liuospiirin paine mitataan

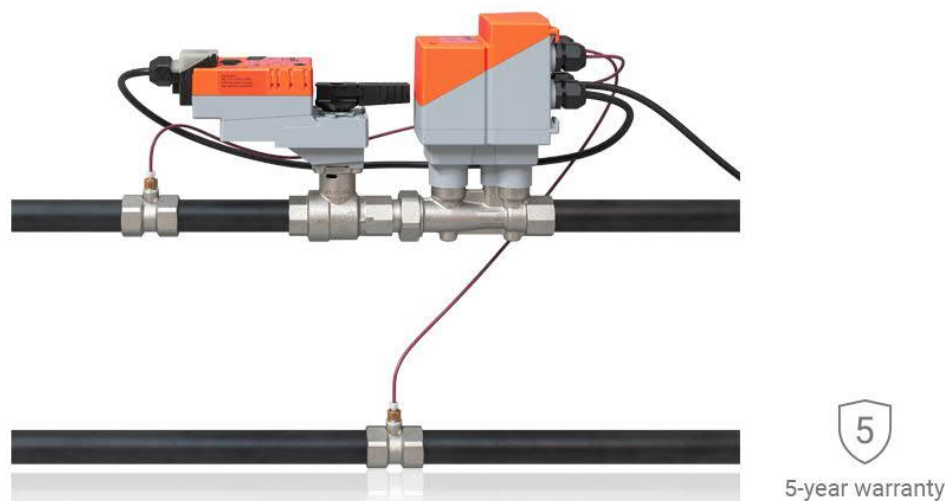


lämmönjakohuoneessa paisuntasäiliölle menevästä haarasta. Jos verkostopaine laskee tai nousee yli hälytysrajan, tapahtuu rakennusautomaatiojärjestelmässä hälytys.

### 8.1.2 Energiaventtiilin käyttö lämmöntalteenottoyksiköissä

Lämmöntalteenottopatterille menevän liuksen säätöön voidaan käyttää myös energiaventtiiliä. Belimon energiaventtiili (kuva 20), Belimo Energy Valve™ on laite, joka sisältää säätöventtiilin, virtausmittauksen ja meno- ja paluupuolen lämpötilamittaukset. Virtausmittaus perustuu ultraäänimittaukseen. [17]

Energiaventtiili on paineriippumaton ja sen sisäänrakennettu logiikka pystyy pitämään asetellun meno- ja paluupuolen lämpötilaeron vakiona. Sillä on siis mahdollista hoitaa lämmöntalteenottopatterien tehokas käyttö ja huurtumisen esto. Energiaventtiili automaattisesti säätäisi virtauksen pienemmäksi, jos lämpötilaero (delta T) alkaisi kaventua. Lämmöntalteenottopatterista talteen saatu energia ja teho saadaan rakennusautomaatiojärjestelmään, jossa sitä voidaan hyödyntää esimerkiksi lämpöpumpun todellista COP-lukua laskettaessa. [17]



Kuva 20. Belimon energiaventtiili

Belimon energiaventtiili toimii käyttöjännitteellä 24VAC/DC. Se kommunikoi joko TCP/IP-pohjaisesti BACnet IP -protokollalla tai Modbus TCP -protokollalla. Vaihtoehtoisesti sen saa myös RS485-sarjaliikenteeseen perustuvalla BACnet MS/TP- tai Modbus-protokollalla. [18] Lämmöntalteenottoyksikön säätölaitekotelolla se voidaan yhdistää sarjaliikenneväylän kautta säätimeen ja lukea väylämuuttujien tiedot säätimelle, tai se voidaan yhdistää suoraan säätimille tuotavaan rakennusautomaation TCP/IP-verkkoon, jolloin sen tiedot ovat käytettävissä esimerkiksi Belimon omassa Belimo Cloud -palvelussa.

Käyttöolosuhteiltaan se soveltuu ulos vesikatolle asennettavaan lämmöntalteenottoyksikköön, sillä se voidaan asentaa  $-30...+50$  °C:n ympäristön lämpötiloihin ja sen kotelointiluokka on IP54, kun käytetään suojusta tai suojaläpivientirengasta RJ45-liittimelle. Putkistossa kulkeva neste voi olla vettä tai enintään 50-prosenttista vesiglykoliseosta, ja sen lämpötila saa olla  $-10$  °C:n ja  $120$  °C:n välillä. [18]

Väyläpohjaisen energiaventtiilin käyttö säästää kaksi mittauspistettä ja yhden säätöpisteen säätimeltä, joten koko lämmöntalteenottoyksikön IO-liityntöjen tarve vähenee. Silloin on mahdollista käyttää Distech ECY-S1000 -säädintä kevyempää ja kustannustehokkaampaa, esimerkiksi Distech ECY-PTU -mallista säädintä, jossa on sisäänrakennettuna laitteiston mittauksia ja ohjauksia varten tarvittavat tulot ja lähdöt.

## 8.2 Lämpöpumpun ohjaukset

### 8.2.1 Lämpöpumpun liittäminen valvonta-alakeskukseen

Lämpöpumppu (G100PILP01) toimii kokonaisuudessaan oman ohjauskeskuksensa ja omien logiikkapiiriensä ohjaamana. Lämpöpumppu liitetään rakennusautomaatiojärjestelmään Modbus-väylän kautta. Rakennusautomaatioon otetaan hälytykset kompressorien toiminnasta, öljynpaineista, öljyn lämpötiloista sekä lämpöpumppuprosessin lämpötiloista saatavia ylä- ja alarajahälytyksiä. [19]

Rakennusautomaation käyttöliittymän grafiikalle tuodaan lämpöpumppuprosessin tärkeät mittaukset, kuten höyrystimelle ja lauhduttimelle menevän ja niiltä palaavan liuoksen tai veden lämpötilat. Grafiikalla esitetään myös kompressorien tilatiedot ja lämpöpumpulta saatavat tehomittaukset.

Rakennusautomaatiojärjestelmä kirjoittaa lämpöpumpun kirjoitettaviin pitorekistereihin asetusarvopoikkeutukset.

### 8.2.2 Hiilidioksidin mittaus lämmönjakohuoneessa

Lämpöpumpun läheisyyteen lämmönjakohuonetilassa asennetaan hiilidioksidimittaus (G100QE16). Pitoisuuden noustessa rakennusautomaatiojärjestelmään saadaan hälytys hiilidioksidivuodosta.

### 8.3 Valvonta-alakeskus

Valvonta-alakeskuskotelo (VAK 1) asennetaan lämmönjakohuoneen seinälle laitekoteloon. Kotelon sisään asennetaan ECY S1000-säädin ja MIO52 IO -yksiköt. Kaikki kenttälaitteet ja ryhmäkeskuksen ohjaus ja hälytysrunkojohdot kaapeloidaan valvonta-alakeskukseen. Valvonta-alakeskuksessa ne kytketään IO-yksikköön, ja ECY S1000 säätimen ohjelmat ohjaavat prosessia.

Valvontagrafiikkaan päästään käsiksi millä tahansa nykyaikaisella Internetselaimella. Valvonta-alakeskus pystyy tallentamaan prosessin historiatietoja keskimäärin seitsemän edeltävän vuorokauden ajalta. Historiatiedot ovat kuitenkin siirrettävissä Caverion Cream -palveluun, johon sitä voidaan tallentaa rajoittamaton määrä. Cream -palvelussa siitä voidaan luoda trendejä ja graafisia analyysyjä. Palvelun API-rajapinnan kautta tiedot ovat myös siirrettävissä muihin ulkopuolisiin tietojärjestelmiin.

### 8.4 Lämmitysverkoston menoveden säätö

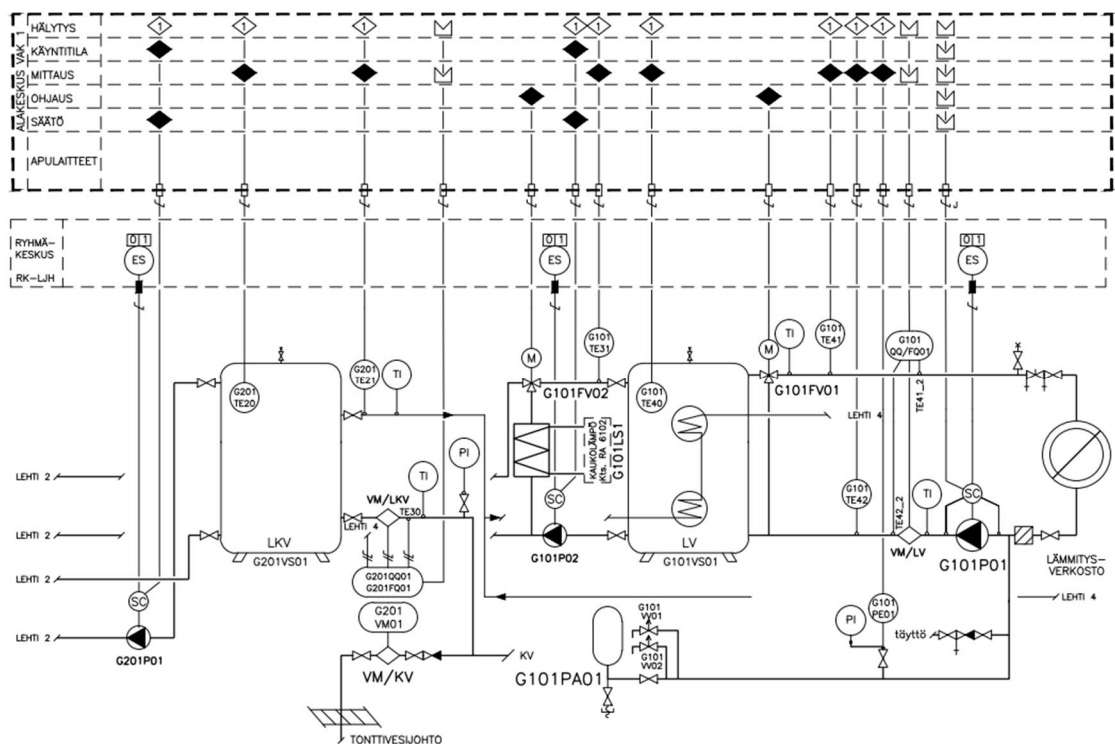
#### 8.4.1 Lämmitysverkoston varaajasäiliön lämmitys

Asuntojen ja yleisten tilojen lämmittämiseen tarkoitettujen radiaattorien läpi virtaava lämmin vesi lämmitetään varaajasäiliössä (G101VS01). Radiaattorit on varustettu paikallisin termostaatein tai käsisäätöpyörin. Varaajasäiliön vesi ajetaan lämpöpumpun lauhduttimelle (HE20) pumpulla (G101P02), joka käy jatkuvasti. Pumpun tilatietoa tarkkaillaan rakennusautomaatiolla, ja mikäli tilatieto poistuu, tapahtuu hälytys. Varaajasäiliön

lämpötila (G101TE40) pidetään rakennusautomaatioon asetellun (esimerkiksi +2 °C) arvon verran lämpimämpänä kuin menoveden (G101TE41) asetusrvo. Menoveden asetusrvo muuttuu ulkolämpötilan (G101TE00) mittauksen perusteella lasketun säätökäyrän mukaisesti. Lämmitysverkoston prosessikaavio on esitetty kuvassa 21.

Mikäli varaajasäiliön lämpötilan asetusrvoa ei saavuteta, rakennusautomaatiojärjestelmä kääntää kolmitieventtiilin (G101FV02) toiseen asentoon ja lämmitys tapahtuu kaukolämpösiirtimellä (G101LS01). Lisälämmitystilanteessa, mikä siis tarkoittaa sitä, että lämpöpumpun teho ei riitä pitämään varaajasäiliön lämpötilaa asetusrvossaan, kaukolämpöventtiili (G101FV03) alkaa avautua. Kaukolämpöventtiilillä on rakennusautomaatiojärjestelmässä oma säätöpiiri, jonka asetusrvona toimii varaajasäiliön lämpötilan asetusrvo ja mittaavana suurena varaajasäiliön lämpötila. Kun varaajasäiliön asetusrvo saavutetaan, kolmitieventtiili kääntyy takaisin lämpöpumppulämmitysasentoon. Lisälämmityksen kytkeytymisellä on rakennusautomaatiojärjestelmään aseteltava hystereesi (esimerkiksi +2 °C), jonka verran varaajasäiliön lämpötilan täytyy laskea alle asetusrvon, ennen kuin lisälämmitys voi taas alkaa.

Lämmitysverkoston painetta valvotaan paineanturilla (G101PE01). Paineen saavuttaessa rakennusautomaatiojärjestelmään asetellun ylä- tai alarajan, tapahtuu hälytys.



Kuva 21. Lämmitysverkoston menoveden säätö

#### 8.4.2 Säätekäyrän poikkeutus

Rakennusautomaatiojärjestelmä poikkeuttaa automaattisesti lämmitysverkoston säätökäyrää langattomien huonelämpötilamittausten (G101TE16\_As) perusteella. Huonelämpötilat saadaan Sigfox-verkon kautta erilliseltä palvelimelta rakennusautomaatiojärjestelmään.

Poikkeutusohjelma laskee säätekäyrää huonelämpötilojen keskiarvon mukaan niin että huonelämpötilojen tavoitekeskiarvo saavutetaan. Ohjelma kuitenkin estää poikkeutuksen lisäämisen, mikäli joku huonelämpötiloista ajautuu rakennusautomaatiojärjestelmään asetettuun huoneistolämpötilan alarajaan (esimerkiksi +19 °C). Poikkeutukselle on aseteltavissa maksimimäärä minkä verran järjestelmä saa enintään käyrää nostaa tai laskea (esimerkiksi  $\pm 3$  °C).

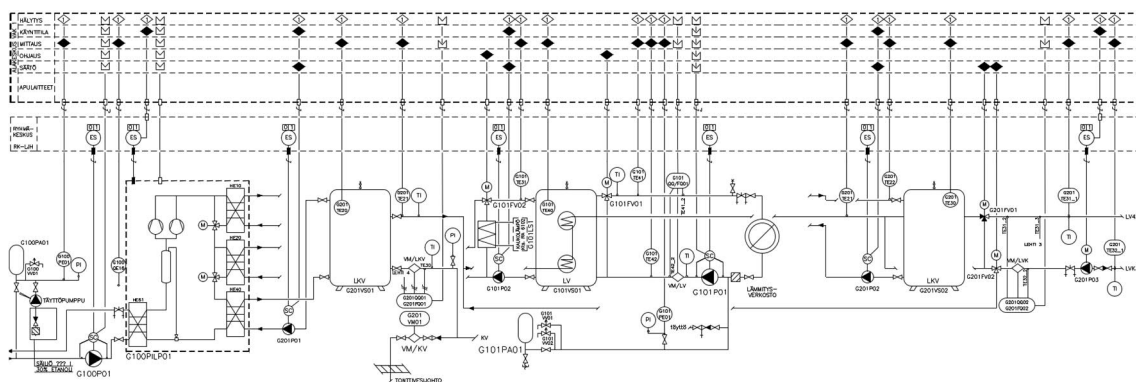
#### 8.5 Lämpimän käyttöveden lämmitys

Lämmin käyttövesi lämmitetään kolmessa eri varaajasäiliössä. Ensimmäisenä käyttövesi kulkee esilämmitysvaraajasäiliöön (G201VS01), josta sitä pumpataan kiertopumpulla (G201P01) lämpöpumpun lauhduttimelle (HE40). Käyttövesiverkoston lämpimän veden haaraan asennetaan energiamittari (G201QQ01) josta saadaan myös virtaama eli lämpimän veden kulutus koko kiinteistössä. Lämpimän käyttöveden lämmitysprosessi näkyy kuvassa 22.

Esilämmitysvaraajalta lämmin käyttövesi ajetaan lämmitysvaraajasäiliön (G101VS01) sisällä kulkevan kierukan lävitse lämpimän käyttöveden varaajasäiliöön (G201VS02). Tämän varaajasäiliön lämpötila pidetään rakennusautomaatioon asetellun arvon (esimerkiksi +2 °C) korkeamana kuin lämpimän käyttöveden asetuservo (esimerkiksi +58 °C). Rakennusautomaatiojärjestelmä kirjoittaa varaajasäiliön lämpötilan asetuservon lämpöpumpun välilärekisteriin pyyntinä ja lämpöpumppu tekee pyydetyn lämpöistä vettä oman ohjauslaitteistonsa ohjaamana tulistuslämmönpoistimen toimivan lauhduttimen (HE10) venttiiliä ohjaamalla.

Lämpimän käyttöveden kiertopumppu (G201P01) käy jatkuvasti. Jos pumpun tilatieto katoaa, tapahtuu hälytys. Rakennusautomaatiojärjestelmä pitää lämpimän käyttöveden menoveden asetusarvossaan ohjaamalla kolmitieventtiiliä (G201FV01). Normaalitytilanteessa vesi virtaa vaihtventtiiliin (G201FV02) lävitse takaisin lämpimän käyttöveden varajasäiliöön. Mikäli lämpöpumpun tila poistuu tai se menee häiriöön, vaihtventtiili vaihtaa asentoaan ja lämpimän käyttöveden kierto ohjataan kulkemaan lämmitysvaraajan kierukan lävitse. Tällä toiminnolla turvataan lämpimän käyttöveden saanti myös lämpöpumpun vikatilanteessa, vaikka se ei säätökäyrän mukaan välttämättä enää asetusarvoonsa pääsisikään.

Lämpimän käyttöveden kiertoon kuluva energia mitataan erillisellä energiamittarilla (G201QQ02).



Kuva 22. Lämpimän käyttöveden lämmitys

## 8.6 Sähkö ja erillispisteet sekä muu kiinteistön automaatio

Poistoilmalämpöpumpun yhteydessä tulevaan uuteen valvonta-alakeskukseen liitetään kohdekohtaisesti vanhan automaation ohjaukset. Useimmiten asuinrakennuksissa joihin poistoilmalämpöpumppusaneerauksia tehdään, on jo jokin rakennusautomaatiojärjestelmä ennestäään. Se on kuitenkin järkevä purkaa pois, sillä kahden järjestelmän yhtäaikainen käyttö ei olisi esimerkiksi huollon kannalta järkevää.

Tyypillisesti asuinkiinteistöissä automaatiojärjestelmään liitetty ulkovalo-ohjauksia, erilaisia sulanapitolämmityksiä kuten kattokaivot ja syöksytorvet, pumppaamoiden, kuten

perusvesipumppaamo tai jätevesipumppaamo hälytyksiä, saunojen aikatauluohjauksia, ovien sähkölukkojen ohjauksia, pesulalaitteiden ohjauksia ja mahdollisesti muita erillispisteitä. Nämä joudutaan tapauskohtaisesti selvittämään, mutta niihin täytyy varautua varaamalla alakeskuskoteloon tarpeeksi tilaa tarvittaville MIO52 IO -yksiköille ja releille.

Vakioidut rakennusautomaation ohjelmat mahdollistavat näiden ohjausten helpon ja nopean käyttöönoton projektin rakennusvaiheessa.

## 9 Yhteenveto

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin, kuinka poistoilmanlämmöntalteenottolaitteet, hiilidioksidia kylmäaineena käyttävä lämpöpumppu ja kerrostalorakennuksen lämmönjakolaitteet saadaan integroitua rakennusautomaatiojärjestelmän avulla yhteen toimivaksi kokonaisuudeksi. Opinnäytetyössä luotiin rakennusautomaatiokonsepti, jolla laitekokonaisuus voidaan toteuttaa erilaisiin kiinteistöihin, joissa poistoilmalämpöpumppu mahdollistaa energiansäästöä.

Työssä tutkittiin laitevalmistajien poistoilmanlämmöntalteenottolaitteiden sekä lämpöpumpun toimintaa ja mahdollisia automaatioliitännöitä sekä sitä, millaisella varustelulla laitteita on mahdollista saada ja kuinka niitä tulisi ohjata, jos ohjaus toteutetaan rakennusautomaation kautta.

Hiilidioksidia kylmäaineena käyttävä lämpöpumppu toimii itsenäisesti oman ohjauslaitteiden ja säätölaitteiden ohjaamana. Siitä voidaan lukea tietoja rakennusautomaatiojärjestelmään ja sille voidaan antaa asetusarvoja mutta muutoin se toimii itsenäisesti.

Opinnäytetyötä tehdessä lämpöpumppuprosessin läpikäynnin aikana havaittiin, että lämpöpumpun lämpökerroin on varsin huono, jos hiilidioksidikaasua ei saada jäähdytettyä tarpeeksi kylmäksi. Lämpimän käyttöveden kulutus ei ole jatkuvaa ja yöaikaan sitä ei välttämättä kulu lainkaan. Tämä johtaa siihen, että viilein tarjolla oleva vesi kaasun jäähdyttämiseen on pahimmillaan yli 40 °C:n lämpöistä. Tyypillisesti paluuvesi radiaattoriverkostosta on noin 30–35 °C, mutta sekin on varsin korkea lämpötila kaasun jäähdyttämiseen.

Prosessia täytyisi kehittää niin että hiilidioksidikaasu saataisiin jatkuvasti jäähdytettyä esimerkiksi 25 °C:seen. Sen toteuttaminen vaatisi kuitenkin lisälaitteita, esimerkiksi toisen lämpöpumpun, joka jäähdyttäisi hiilidioksidikaasua ja tekisi lämpöä johonkin, missä sitä tarvitaan. Jos kaasua ei saada tarpeeksi viileäksi, jää lämpökerroin niin huonoksi, ettei järjestelmää ole järkevä lähteä toteuttamaan. Tätä ei voida pelkästään rakennusautomaation ohjauksilla ratkaista.

Rakennusautomaation avulla voidaan kuitenkin edesauttaa lämpöpumpun toimintaa huolehtimalla, että pumpun käyntiolosuhteet pysyvät järkevällä tasolla eri tilanteissa.



Tällainen ohjaus tehtiin esimerkiksi lämpöpumpun ja varaajasäiliöiden välillä olevien pumppujen nopeuden säätöön, jossa pumpun nopeutta kasvatetaan, kun lämpöpumpun vaihtimilta lähtevän veden lämpötila kasvaa.

Moderni rakennusautomaatiojärjestelmä mahdollistaa hyvät analysointi- ja tiedonkeruumahdollisuudet prosessille. Sen ulkoisten liitännöiden avulla on mahdollista toteuttaa ulkopuoliseen, esimerkiksi tekoälyyn perustuvia ohjauksia.

Rakennusautomaatiojärjestelmän voisi nykyaikaisen HTML5-pohjaisen käyttöliittymän grafiikalla esittää reaaliaikaista log p, h -diagrammia CO<sub>2</sub>-kylmäaineesta. Lämpöpumpun rekistereistä voidaan lukea tarvittavat lämpötilat ja käyttöpaineet, joten järjestelmägrafiikka voisi esittää sitä piirroksena suoraan log p, h -diagrammiin, johon olisi merkattu normaalia toimintaa indikoivat pisteet. Jos prosessi lähtisi näistä poikkeamaan, se voitaisiin havaita ns. piirturin tapaan grafiikalta.

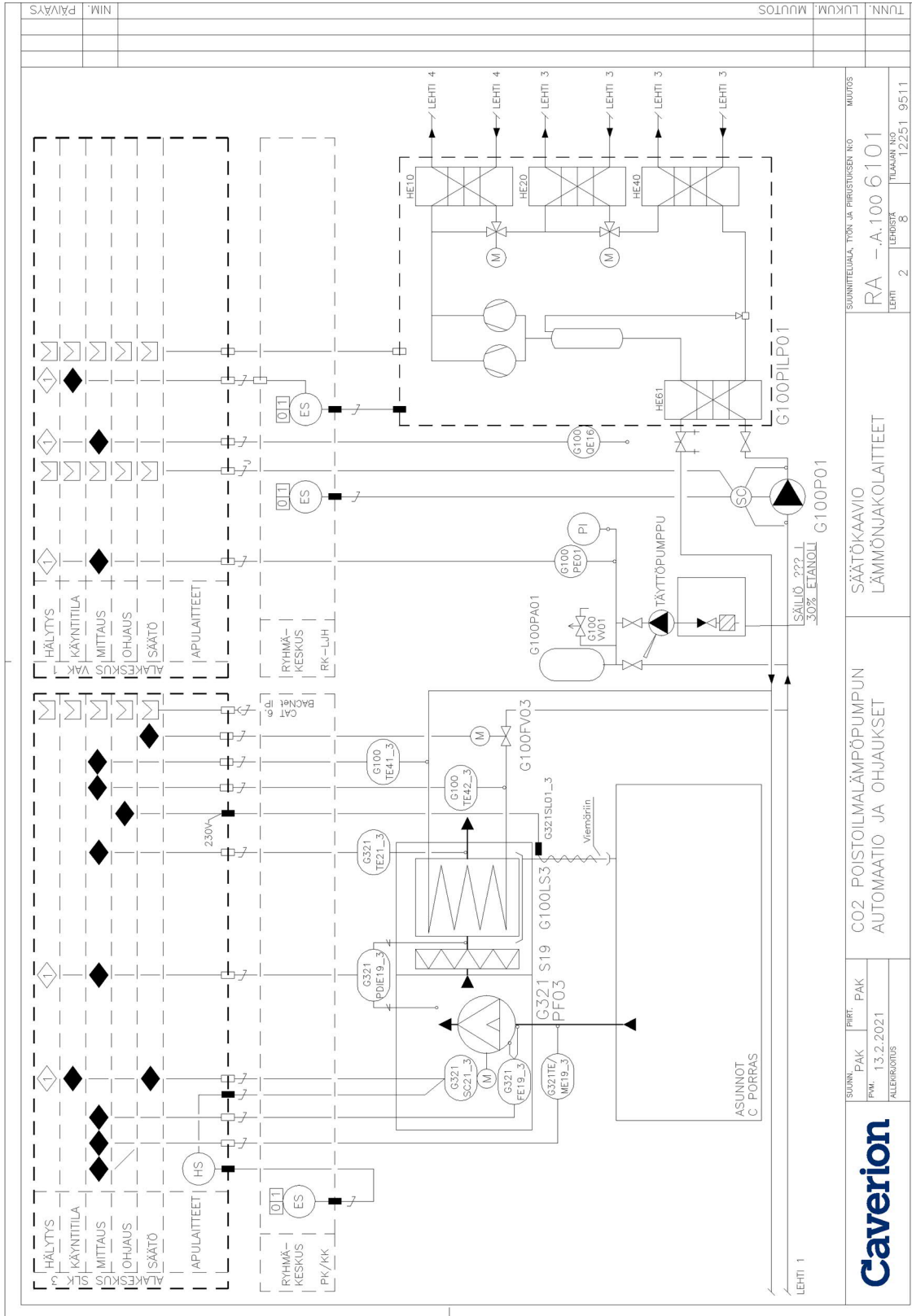
Säädätään perustuvan ennakkoinnin avulla varaajasäiliöiden lämmitystä voitaisiin ennakoita esimerkiksi Ilmatieteen laitoksen sääennustuksen mukaan. Mikäli sää olisi kylmemässä lähiaikoina, voitaisiin varaajasäiliöitä etukäteen lämmittää tavanomaista kuumemmaksi, jotta kuumaa vettä olisi saatavilla, kun sitä tarvitaan. Vastaavaa ominaisuutta voidaan hyödyntää muuhunkin, vaikka kysyntäjoustop tarpeisiin.

## Lähteet

- 1 Kaappola, Esko. 2019. CO2 kylmäaine ja koneistot.pdf. Luentomateriaali. Metropolia. Helsinki
- 2 Tietoa meistä. Verkkoaineisto. Caverion Oyj. <<https://www.caverion.fi/tietoa-caverionista/caverion-lyhyesti>>. Luettu 22.3.2020.
- 3 Kaappola, Esko, Hirvelä, Aulis, Jokela, Matti, Kianta, Jani. 2014. Kylmätekniiikan perusteet, 3. painos. Helsinki: Opetushallitus.
- 4 Ilmastonmuutostieto luotettavasti. Verkkoaineisto. Ilmasto-opas. <<https://ilmasto-opas.fi>>. Luettu 6.8.2020.
- 5 Kylmäaineet. Verkkoaineisto. Darment Oy <<https://darment.fi/kylmäaine/xxxxx>>. Luettu 16.8.2020.
- 6 HiLTO EC Korkean hyötysuhteen lämmöntalteenottoyksikkö. Koja
- 7 HiLTO EC:n automaatio, Asennus-, käyttö- ja huolto-ohje. Koja.
- 8 About us. Verkkoaineisto. Tridium Inc. <<https://www.tridium.com/en/about-us/corporate-info>>. Luettu 14.9.2020.
- 9 Why go Green & Cool? Verkkoaineisto. Green & Cool. <<https://www.greenandcool.com/en/about-us/go-green-cool/>>. Luettu 19.9.2020.
- 10 Tekninen seloste MIO-52. 2011. YIT Kiinteistötekniikka Oy.
- 11 Tietoa Business Finlandista. Verkkoaineisto. Business Finland. <<https://www.businessfinland.fi/suomalaisille-asiakkaille/tietoa-meista/lyhyesti>>. Luettu 3.10.2020
- 12 Palaverimuistio ”PILP Palaveri” 31.1.2020. Caverion Suomi Oy. Vantaa.
- 13 Kaappola, Esko, Hakala Pertti. 2013. Kylmälaitoksen suunnittelu. 3. painos. Helsinki: Opetushallitus.
- 14 Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) N:o 517/2014
- 15 SFS-EN 378-1:2016 Kylmäkoneistot ja lämpöpumput. 6. painos. 2016. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS ry.

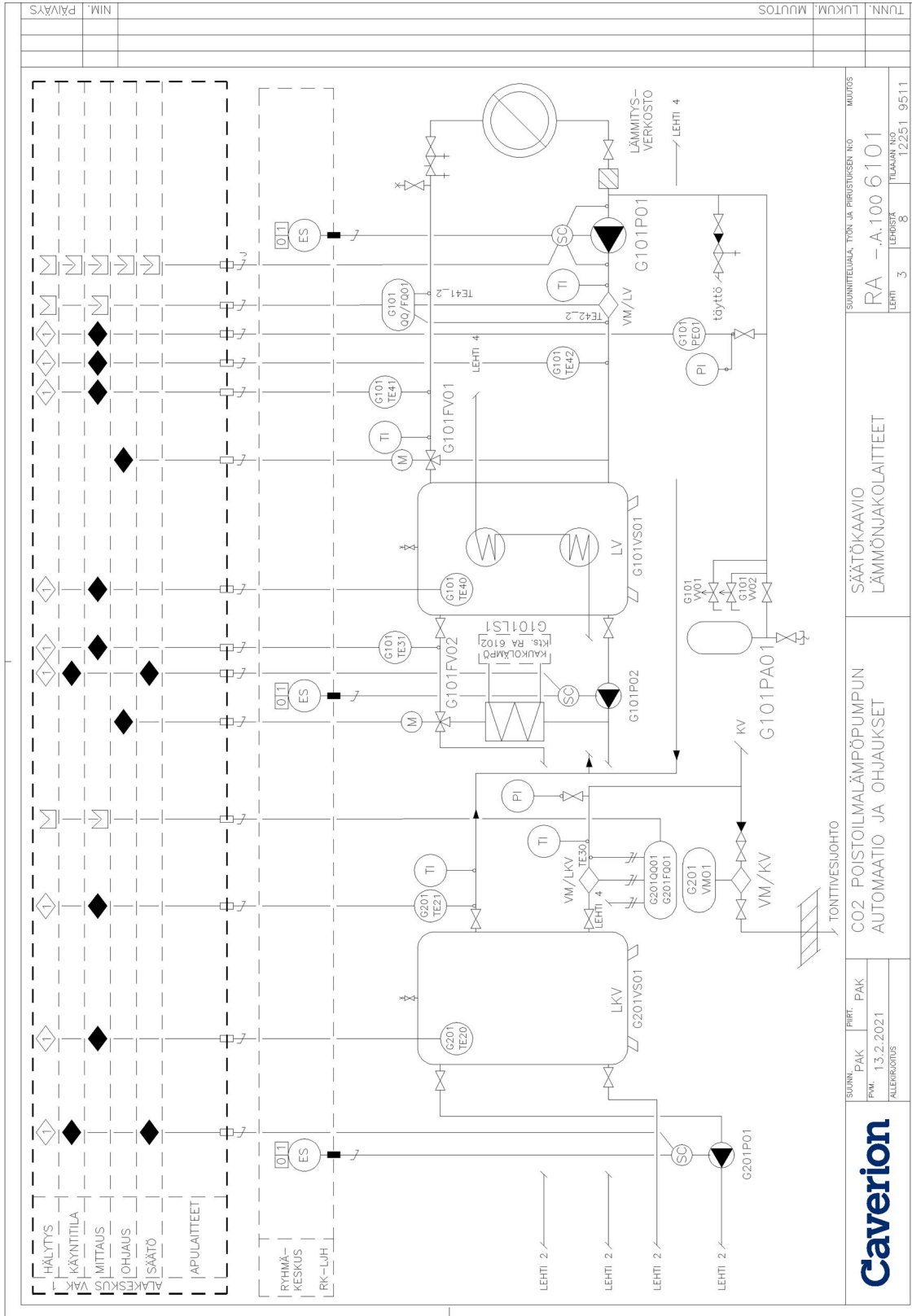
- 16 Smart Proheat projektin muistiot ja dokumentit. 2020. Yrityksen sisäinen dokumentti. Caverion Suomi Oy.
- 17 Belimo Energy Valve™. Verkkoaineisto. Belimo Oy. <[https://www.belimo.fi/fi\\_FI/products/valves/product-documentation/energy-valve](https://www.belimo.fi/fi_FI/products/valves/product-documentation/energy-valve)>. Luettu 31.10.2020.
- 18 Belimo. 2020. Belimo EV...R+KBAC1 Tekninen tuote-esite.
- 19 Green & Cool. 2020. Modbus – Parameter list
- 20 Suomen IoT-operaattori. Verkkoaineisto. Connected Finland Oy. <[www.connectedfinland.fi](http://www.connectedfinland.fi)>. Luettu 9.11.2020.
- 21 AirWitsR4\_Brochure-1pageFIN-1.pdf. Laitteen tekninen esite. Connected Finland Oy.
- 22 Multi Ejector Solution for R744 (CO2).pdf. Laitteen tekninen esite. 2019. Danfoss.
- 23 How multi ejectors work. Verkkoaineisto. The Engineering Mindset.com. <<https://theengineeringmindset.com/how-multi-ejectors-work>>. Luettu 17.1.2021.
- 24 F-kaasuasetus. Verkkoaineisto. Scanoffice. <<https://www.scanoffice.fi/f-kaasuasetus>>. 6.7.2020. Luettu 21.1.2021
- 25 Appendix B - Log P/h diagrams for refrigerants. Verkkoaineisto. SWEP. <<https://www.swep.net/refrigerant-handbook/appendix/appendix-b>>. Luettu 8.4.2021





SUUNNITTELU- TÖN JA PIIRUSTUKSEN NÖ		MUUTOS	
RA -A.100 6101		LEHTI 2	
LEHTI 8		12251 9511	
SÄÄTÖKAAVIO		LÄMMÖNJAAKOLAITTEET	
C02 POISTOILMALÄMPÖPUMPUN		AUTOMAATIO JA OHJAUKSET	
SUUNNITTELU-PAK	PIIRIT-PAK		
PVM: 13.2.2021	PAK		
ALUEKIRJOTOIS			





TUNN.	LUKUM.	MUUTOS

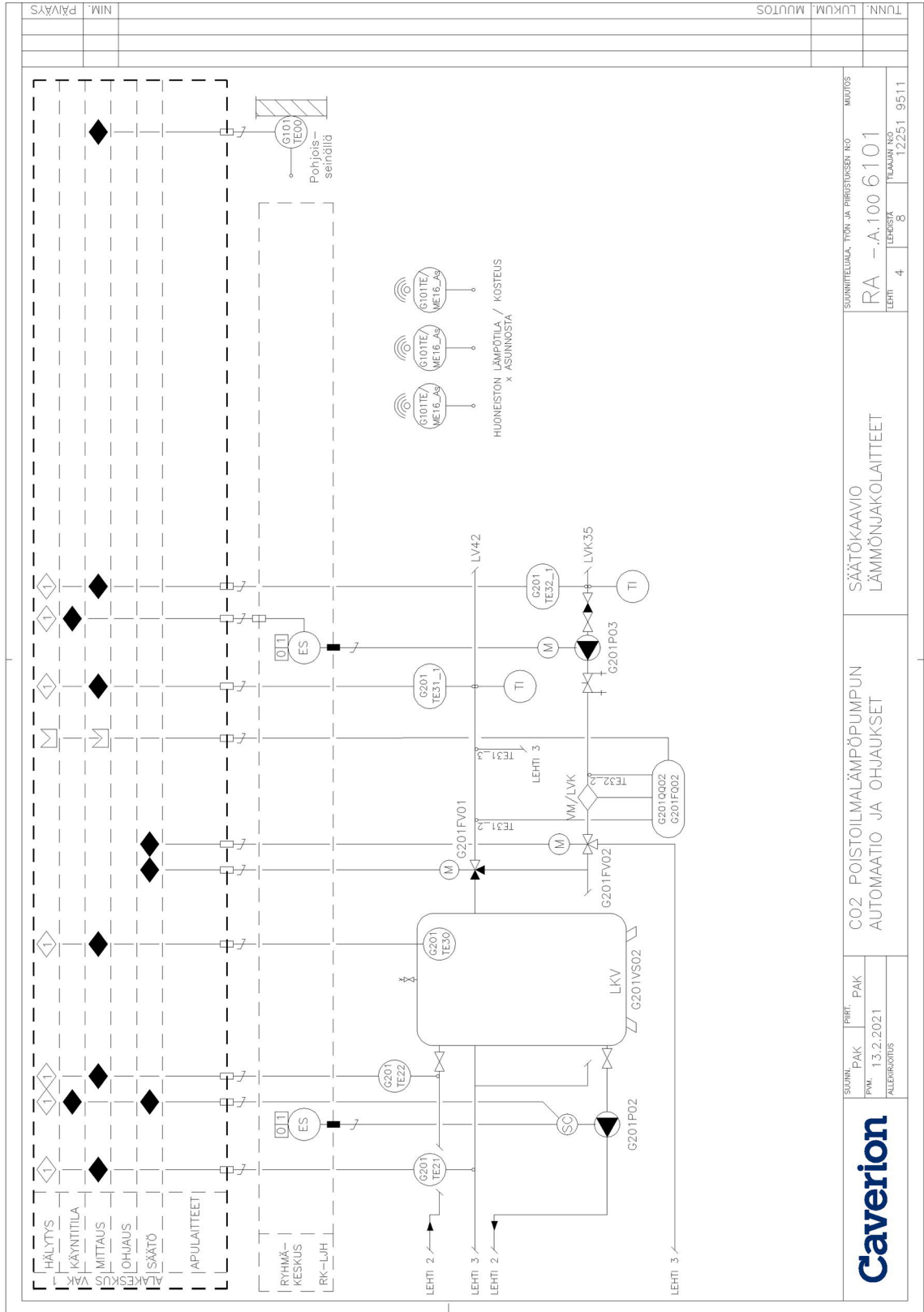
SUUNNITTELUKÄYNNÄN JA PIIRUSTUKSEN NÖ	MUUTOS
RA -A.100 6101	
LEHTI 3	LEHTI 8
12251	9511

SÄÄTÖKAAVIO  
LÄMMÖNJAAKOLAITTEET

C02 POISTOLLALÄMPÖPUMPUN  
AUTOMAATIO JA OHJAUKSET

SUUNN.	PAK	PIIRI	PAK
P.W.	1.3.2.2021		
ALUEKIRJOTUS			





TOIMINTAKUVAUS	SUUNNITTELUKÄSIKIRJA	PIIRIT	PAK	PAK	CO2 POISTOILMALÄMPÖPUMPUN AUTOMAATIO JA OHJAUKSET	SÄÄTÖKAAVIO LÄMMÖNJAKOLAITTEET	SUUNNITTELUKÄSIKIRJA JA PIIRITUKSEN N:o	MUUTOS
YLEISTÄ	PW:	1.3.2.2021				RA --A.100 6101	LEHDISTÄ	TILAAJAN N:o
	TALLENNUS:					LEHTI	5	12251
							8	9511
<p>Mikäli varaosasiiliön lämpötila (G101TE40) ei saavuta asetusarvoaan, RA-järjestelmä ohjaa kolmitieventiliiniin (G101FV02) "lisälämmitys" -asentoon ja varaosasiiliön lämmittämään kaukolämmöllä (kts. kaavio RA 6102) asetusarvoonsa. Asetusarvoon päästään kolmitieventiliini kääntäytäkään "lämpöpumppu" asentoon.</p> <p>RA-järjestelmä poikkeuttaa lämmitysverkoston säätökäyrrää automaattisesti huonelämpötilojen (G101TE16_As) keskiarvon mukaan. Poikkeutuksen maksimimäärä on aseteltavissa (esim. maks. 3 °C). Mikäli jokin asunon asuinosa on alle asetellun minimihuonelämpötilan (esim. 19 °C) RA-järjestelmä keskeyttää poikkeutuksen.</p> <p>VAROTOIMINNAT JA HÄLYTYKSET</p> <p>Pumput G100P01, G201P01, G201P02, G201P03, G101P01 ja G101P02 on kytketty pumppukeskukseen. Pumppukeskus on varustettu potentiaalivapailla käyttöliikkeitmillä, joiden välityksellä pumppujen tilatiedot saadaan RA-järjestelmään. Tilatiedon poistuu tapahtuu ristiritähtälyys.</p> <p>Pumpussa (G100P01 ja G101P01) on integroitu taajuusmuuttaja. Indikoititieto ja muut pumpun diagnostiikkaan liittyvät tiedot saadaan RA-järjestelmään pumpun väyläliittimen kautta.</p> <p>Lämmöntalteenottopatterien meno- ja paluuveden (G100TE41_x ja G100TE42_x) lämpötilaeron pienentyessä alle asetellun sulatusrajan (esim. 2 °C) alkaa RA-järjestelmä sulkea venttiiliä (G100FV0x). Sulatustilanteessa venttiiliä suljetaan siten, että se jää enintään 5% auki. Lämpötilaeron kasvaessa RA-järjestelmä aikka uudelleen avata venttiiliä. Tntäkaaisesti sulatuksessa olevien pattereiden määrä on rajoitettu RA-järjestelmässä.</p> <p>Lämpöpumpun (G100PLP01) omat ohjaukset huolettavat lämpöpumpun varatoiminnoina. RA-järjestelmään saadaan väylämuuttajina lämpöpumpun vika ja hälytystiedot.</p> <p>Lämpöpumpun häiriötilanteissa käyttöveden kierto ohjataan kolmitieventiliiniä (G201FV02) lämmitysvaraosasiiliön kierukan lävitse.</p> <p>Ohjelmallinen termostaatti ohjaa sulanapöytälämmityksen (G321SL01_x) päälle, kun ulkolämpötila (G101TE00) on alle asetellun (esim 0 °C) lämmityksen päälle ja poiskytkemismisellä on aseteltava eroalue (2 °C). Sulatus on päällä aseteltava aikajaksoja (esim 1 t päällä / 3 t pois). Aikajaksoilla voidaan rajoittaa lämmityksen päälläoloaika. Samoin kesä-/talvialueohjelmalla.</p>	<p>TOIMINTAKUVAUS</p> <p>YLEISTÄ</p> <p>Poistoilmalämpöpumppu (G100PLP01) käy oman ohjauskeskuksensa ohjaamana. Ohjauskeskus pitää lämpimän käyttöveden varaosasiiliöiden (G201VS01, G201VS02) ja lämmitysverkoston varaosasiiliön (G101VS01) lämpötilan asetusarvoon ohjaamalla lämpöpumpun kompressorit ja venttiilit.</p> <p>Asetusarvot annetaan väylämuuttajana RA-järjestelmässä. Ohjauskeskuksen mittaukset, tilat ja hälytykset saadaan väylämuuttajina RA-järjestelmään.</p> <p>Lämmitysverkoston varaosasiiliön lämmityspumppu (G101P02) on varustettu taajuusmuuttajalla. Lämpimän käyttöveden varaosasiiliöiden lämmityspumput (G201P01 ja G201P02) on varustettu taajuusmuuttajalla.</p> <p>OHJAUKSET</p> <p>Poistoilman lämmöntalteenottolaitteiston liuospiirin pumppu (G100P01) käy RA-järjestelmän asetellulla vakio paineella jatkuvasti. Pumpun oma automatiikka pitää paineen vakiona.</p> <p>Lämmöntalteenottopattereiden venttiilit (G100FV0x) on normaalisti 100% auki.</p> <p>Lämpimän käyttöveden kiertovesipumppu (G201P03) käy jatkuvasti.</p> <p>KÄYTTÖVESIVERKOSTON LÄMMITYKSEN SÄÄTÖ</p> <p>Ohjelmallinen säädin pitää lämpimän käyttöveden menoveden lämpötilan (G201TE31_1) asetusarvoon (+58 °C) ohjaamalla suhteellisesti säätöventtiiliä (G201FV01).</p> <p>RA-järjestelmä antaa poistoilmalämpöpumpun ohjauskeskukselle käyttövesisiiliön (G201VS02) lämpötilan asetusarvon. Asetusarvo on maks. +2 °C korkeampi kuin aseteltu menoveden lämpötila.</p> <p>Käyttövesiverkoston varaosasiiliön lämmityspumppu (G101P02) käy jatkuvasti. RA-järjestelmä säätää pumpun nopeutta pitäen varaosasiiliön menevän veden (G201TE22) lämpötilan asetusarvoon (sama kuin varaosasiiliön asetusarvo). Menevän veden lämpötilan noustessa pumpun kierroksia lisätään.</p> <p>Käyttövesi esilämmitetään käyttöveden esilämmitysvaraajassa (G201VS01) ja lämmitysverkoston varaosasiiliön (G101VS01) kierukassa.</p> <p>LÄMMITYSVERKOSTON SÄÄTÖ</p> <p>Ohjelmallinen säädin pitää lämmitysverkoston menoveden lämpötilan (G101TE41) asetusarvoon ohjaamalla venttiiliä (G101FV01). Menoveden lämpötilan asetusarvo muuttuu ulkolämpötilan (G101TE00) mittaus tuloksen funktiona kuvan 1 säätökäyrän mukaisesti.</p> <p>RA-järjestelmä antaa lämpöpumpulle (G100PLP01) varaosasiiliön asetusarvon joka on asetellun (esim. +2 °C) korkeampi kuin menoveden lämpötilan asetusarvo.</p> <p>Lämmitysverkoston varaosasiiliön lämmityspumppu (G101P02) käy jatkuvasti. RA-järjestelmä säätää pumpun nopeutta pitäen varaosasiiliön menevän veden (G101TE31) lämpötilan asetusarvoon (sama kuin varaosasiiliön asetusarvo). Menevän veden lämpötilan noustessa pumpun kierroksia lisätään.</p>	<p>ASETUSARVO G101TE41</p> <p>KUVA 1</p>	<p>LUKUMUUTOS</p> <p>TUNN.</p>					





ALAKESKUS: SLK0x	Sijainti: VESIKATTO	LITYNTÄTIEDOT, PERUSTIEDOT										OHJELMOINTITIEDOT										MUUT TIEDOT																
		DIG.LÄHDÖT 00		DIG.TULOT DI		ANALOG.LÄHDÖT AO		ANALOG.TULOT AI		OHJELMOINTITIEDOT										MUUT TIEDOT																		
SÄÄTÖ-, VALVONTA- JA OHJAUSKOHTEET		KÄY/SEIS (VÄRÄPISTETÄ)	HIDAS/NOPEA	AUKI/KIINNI	HÄTÄ-SEIS PYSÄYTYS	KÄYNTTILA	KÄYNTTILA HIDAS	HÄLYTYS	PULSSITULO	PULSSITULO	SÄÄTÖPELTI	VENTTIILI	KAUKOASETTELU	LTO SÄÄTÖ	PYÖRIMISNOPEUS	LÄMPÖTILA	KOSTUS	PAINE/PAINE-ERO	VIRTAUS	ENERGIAN KULUTUS	RISIRIITÄHÄLYTYS	RAYA-ARVONHÄLYTYS+	RAYA-ARVONHÄLYTYS-	AIKAOHJELMA	TAPAHTUMAOHJELMA	HÄLYTYSVINE	HYÖTYSUHDELASKENTA	KÄYTTÖAIKALASKENTA	RAFORIINTIOHJELMA	TREND - SEURANTA	VÄYLÄLIITÄNTÄ	PISTEEN Sijainti	HUOM.					
1	POISTOILMAN LÄMPÖTILA	G321 TE19_x														X																						
2	POISTOILMAN KOSTEUS	G321 ME19_x															X																					
3	POISTOILMA VIRTAAUS	G321 FE19_x																X																				
4	POISTOILMAPUHALLIN	G321 SC21_x																																				
5	SUODATINVAHTI	G321 PDIE21_x																																				
6	JÄTEILMAN LÄMPÖTILA	G321 TE21_x																																				
7	MENOVEDEN LÄMPÖTILA	G100TE41_x																																				
8	PALUUVEDEN LÄMPÖTILA	G100TE42_x																																				
9	MOOTTORVENTTIILI	G100FV0x																																				
10																																						
11																																						
12																																						
13																																						
14																																						
15																																						
16																																						
17																																						
18																																						
19																																						
20																																						
21																																						
22																																						
23																																						
24																																						
YHTEENSÄ KPL						1					1																											
LISÄSELVITYKSIÄ:																																						
		SUUNNITTELU- JA PIIRUSTUKSEN N:o		RA -A.100 6101		LEHDYKÄ		7		8		12251		9511																								
		SÄÄTÖKAAVIO		LÄMMÖNJAKOLAITTEET		C02 POISTOILMALÄMPÖPUMPUN		AUTOMAATIO JA OHJAUKSET																														
		SUUNNITTELU- JA PIIRUSTUKSEN N:o		RA -A.100 6101		LEHDYKÄ		7		8		12251		9511																								

**Caverion**

SUUNNITTELU- JA PIIRUSTUKSEN N:o  
RA -A.100 6101  
LEHDYKÄ  
7  
8  
12251 9511

SÄÄTÖKAAVIO  
LÄMMÖNJAKOLAITTEET

C02 POISTOILMALÄMPÖPUMPUN  
AUTOMAATIO JA OHJAUKSET

SUUNNITTELU- JA PIIRUSTUKSEN N:o  
RA -A.100 6101  
LEHDYKÄ  
7  
8  
12251 9511

