

Ilkka Hartikka

VEDENJÄÄHDYTTIMEN UUSIMINEN

VEDENJÄÄHDYTTIMEN UUSIMINEN

Ilkka Hartikka
Opinnäytetyö
Kevät 2021
Talotekniikka
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Talotekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä: Ilkka Hartikka

Opinnäytetyön nimi suomeksi: Vedenjäähdyttimen uusiminen

Opinnäytetyön nimi englanniksi: Replacing Water Chiller

Työn ohjaaja: Mikko Niskala

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2021

Sivumäärä: 53 + 4 liitettä

Tämän opinnäytetyön tilaajana oli SSAB Europe Oy Raahen terästehdas. Koksaaamon korjaamolla vedenjäähdyttimen toinen kompressoreista oli rikkoontunut, minkä vuoksi tuli tarve hankkia uusi vedenjäähdytin. Vedenjäähdytin jäähdyttää toimistotilojen sisäilmaa ilmastointikoneen jäähdytyspatterissa kiertävän jäähdytetyn liuoksen välityksellä.

Tässä työssä esitellään kylmäprosessi vedenjäähdyttimessä ja tutustutaan vedenjäähdyttimien yleisimpiin komponentteihin. Uusittavan koneikon kylmäaine R22 oli käyttökielossa, joten vaihtoehdoiksi jäi vaihtaa korvaava sallittu kylmäaine tai uusia koko koneikko. Tässä työssä perehdytään kylmäaineiden käytön rajoituksiin ja siihen, miten kylmäaineita vertaillaan. Kompressorin uusimista esitettiin korjaustoimenpiteeksi lähtötilanteessa, joten tässä opinnäytetyössä tutkittiin teoriapohjalta sitä, mitä asioita tulisi huomioida vedenjäähdyttimen korjaamiseksi.

Työn tavoitteena oli uusia vedenjäähdytin ja siihen liittyvä putkisto sekä putkistovarusteiden uusiminen. Työhön kuului hankkia mitoitus tiedot laitteistosta ja suorittaa niiden perusteella tarjouskysely. Tässä työssä tuodaan esille putkistovarusteiden mitoitukset uusitussa jäähdytysverko-
tossa sekä työn lopussa kerrotaan käytännön töiden kulusta.

Projektiin osallistui SSAB:n LVI-osaston lisäksi SSAB:n aliurakoitsijoita sekä uuden vedenjäähdyttimen toimittaneen yrityksen työntekijöitä. Lopputuloksena eri vaiheiden jälkeen saatiin uusi vedenjäähdytin toimintaan ja sitä kautta toimistotiloihin kesällä viileämpää sisäilmaa.

Asiasanat: jäähdytys, kylmäteknikka, kylmäaineet

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Building Services, Department of Engineering

Author: Ilkka Hartikka
Title of thesis: Replacing Water Chiller
Supervisor: Mikko Niskala
Term and year when the thesis was submitted: Spring 2021
Number of pages: 53 + 4 appendices

This Bachelor's thesis was commissioned by SSAB Europe Oy Raahe steelworks. One of the two compressors was broken in the coke oven plant, which is why there was a need to get a new water chiller. The water chiller chills the indoor air in the office space via a cooled solution circulating in the air conditioner's radiator.

This work introduces the cooling process in a water cooler and explores the most common components of water coolers. The refrigerant R22 of the machine to be replaced was prohibited from use, so the remaining option was to replace the replacement refrigerant with the permitted refrigerant or to replace the entire machine. This work is based on the limitations of the use of refrigerants and how to compare refrigerants. The remounting of the compressor was proposed as a remedy at baseline. Therefore, the theoretical part of this thesis examines the issues that should be taken into account when repairing a water chiller.

The aim of the work was to renew the water chiller and related piping, as well as to reconstruct the piping equipment. The job involved obtaining dimensioning information from the equipment and conducting call for tenders based on them. This work highlights the dimensioning of piping equipment in the renewed cooling network and, at the end of the work, describes the course of practical work.

In addition to SSAB's HVAC division, the project involved subcontractors of SSAB and employees of the company that delivered the new water chiller. As a result, after various phases, a new water chiller was brought into operation and, as a result, cooler indoor air was brought into the office space in the summer.

Keywords: cooling, refrigeration technology, refrigerant

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	8
2	KYLMÄPROSESSI VEDENJÄÄHDYTTIMESSÄ	10
2.1	Kylmätekninen kiertoprosessi	10
2.2	Vapaajäähdytys	11
3	VEDENJÄÄHDYTTIMEN PÄÄKOMPONENTIT	12
3.1	Kompressori	12
3.1.1	Scroll-kompressori	12
3.1.2	Ruuvikompressori	14
3.1.3	Turbokompressori	14
3.2	Lauhdutin	15
3.3	Höyrystin	16
3.4	Paisuntaventtiili	17
3.5	Virtauskytkin	18
3.6	Säädinyksikkö	19
3.7	Painekeytkimet ja anturit	20
4	KYLMÄAINEIDEN VERTAILU	21
4.1	Otsonihaitallisuus (OPD)	21
4.2	Kasvihuonehaitallisuus (GWP)	22
4.3	Myrkyllisyysluokitus	23
4.4	Syttyvyysluokitus	23
4.5	Käytössä olevia ja korvaavia kylmäaineita	24
5	RIKKOONTUNEEN VEDENJÄÄHDYTTIMEN KORJAAMINEN	26
5.1	Korvaavan kylmäaineen valinta	26
5.2	Öljyt	26
5.3	Paisuntaventtiili	26
5.4	Tiivisteet	27
5.5	Kompressorin palojäämät	27
5.6	Kustannukset ja kannattavuus	27
6	LÄHTÖTILANNE JA MITOITUKSET	28
6.1	Jäähdytyspatterin mitoitus	28
6.2	Tarjouskysely ja konevalinta	33

6.3	Jäähdytysvesiputkisto ja putkistovarusteet.....	35
6.3.1	Putkisto	35
6.3.2	Pumppu.....	36
6.3.3	Höyrystin.....	38
6.3.4	Säätöventtiili.....	38
6.3.5	Tasaussäiliö	39
6.3.6	Paisuntasäiliö.....	40
6.3.7	Varoventtiili	42
6.3.8	Kertasäätöventtiilit.....	42
7	KÄYTÄNNÖN TOTEUTUS	43
7.1	VJK:n purku ja kylmäaineen talteenotto	43
7.2	Putkistovarusteet ja sähkö.....	45
7.3	Käyttöönotto	47
8	YHTEENVETO	49
	LÄHTEET.....	50
	LIITTEET	53

SANASTO

CFC	(eng. Chloro-Fluoro-Carbon). Täysin halogenoituja hiilivetyjä, jotka sisältävät klooria, fluoria ja hiiltä. Ei sisällä lainkaan vetyä. Suuren otsoni- ja merkittävän kasvihuonehaitallisuuden omaavia kylmäaineita. (1.)
GWP	(eng. Global Warming Potential), kylmäaineen kasvihuonehaitallisuusluku. Vertailukuna käytetään hiilidioksidin (CO ₂) haitallisuuslukua, jonka arvo on 1,0. Asteikko on 0:sta ylöspäin (esim. R134A:lla GWP on 1430). (1.)
HCFC	(eng. Hydro-Chloro-Fluoro-Carbon). Osittain halogenoituja hiilivetyjä, jotka sisältävät klooria, fluoria, hiiltä ja vetyä. Pienen otsoni- ja merkittävän kasvihuonehaitallisuuden omaavia kylmäaineita. (1.)
HFC	(eng. Hydro-Fluoro-Carbon). Osittain halogenoituja hiilivetyjä, jotka sisältävät fluoria, hiiltä ja vetyä. Otsonihaitattomia, mutta merkittävän kasvihuonehaitallisuuden omaavia kylmäaineita. (1.)
IV	Ilmanvaihto
ODP	(eng. Ozone Depletion Potential), kylmäaineen otsonihaitallisuusluku. Referenssilukuna käytetään kylmäaineen R11 lukua, jolle on annettu arvo 1,0. Asteikko on 0...1,0 (1.)
VJK	Vedenjäähdytyskone

1 JOHDANTO

SSAB on pitkälle erikoistunut, maailmanlaajuisesti toimiva teräsyhtiö, jonka toimintaa ohjaavat läheiset suhteet asiakkaisiin. SSAB kehittää erikoislujia teräksiä ja tarjoaa palveluja, joilla saadaan aikaan suorituskykyisempiä ja kestävämpiä tuotteita. SSAB on ollut monessa suhteessa kestävä kehityksen edelläkävijä. Tavoitteena on poistaa kaikki hiilidioksidipäästöt prosesseista vuoteen 2045 mennessä. Yksi tavoitetta kohti pyrkivänä hankkeena on vastikään käynnistynyt SSAB:n Hybrit-hanke. (2.)

SSAB:n Raahen tehdas on aloittanut toimintansa 1964, ja tuotannossa työskentelee vakituisesti noin 2400 henkilöä. Raahessa valmistetaan standardi-, premium- ja erikoisteräksiä. Päätuotteita ovat kuumavalssatut levyt ja kelatuotteet. Tehdasalueella, jonka pinta-ala on noin 500 ha, toimii mm. koksamo, kaksi masuunia, terässulatto, voimalaitos sekä kuumavalssaamo. Kokoluokkaa kuvaavina lukuina mainittakoon, että Raahen tehtaalla käy vuosittain n. 25 000 rekkaa ja n. 500 laivaa. (3.)

Kylmäkoneella tehtävää jäähdytystä tarvitaan Raahen terästehtaalla monen tyyppisissä kohteissa, kuten esimerkiksi sähkötiloissa, valvomoissa ja toimistotiloissa. Koksamon korjaamolla toimistotiloja jäähdytetään kesän lämpimillä ilmoilla vedenjäähdyttimen avulla. Vedenjäähdyttimen tehtävänä on jäähdyttää tuloilmakoneen jäähdytyspatterilla kiertävä liuos ja sen välityksellä tuloilmakoneella puhallettavaa toimistotilojen sisäilmaa. Vedenjäähdyttimen toisen kompressorin rikkoontumisen vuoksi uusittiin koko vedenjäähdytin putkistoineen.

Tässä työssä esitellään kylmäprosessi vedenjäähdyttimissä sekä tutustutaan vedenjäähdyttimien yleisimpiin nykypäivänä käytössä oleviin komponentteihin. Rikkoontuneen vedenjäähdyttimen kylmäaineen (R22) käyttö on nykyisin kokonaan kielletty, joten vaihtoehtoina oli vaihtaa kylmäaine kompressorin vaihdon yhteydessä tai uusia vedenjäähdytin kokonaisuudessaan. Päädyttiin uusimaan koko koneikko ja käsiteltiin kylmäaineen vaihtotyötä teoriapohjalta osana tätä työtä. Tässä työssä perehdytään myös kylmäaineiden käytön rajoituksiin ja siihen, miten ja millä perusteella kylmäaineita vertaillaan.

Tämän työn tavoitteena oli suorittaa vedenjäähdyttimen uusiminen sekä uusia siihen liittyvät jäähdytysverkoston putkisto ja putkistovarusteet. Työhön kuului hankkia tarvittavat tiedot nyky-

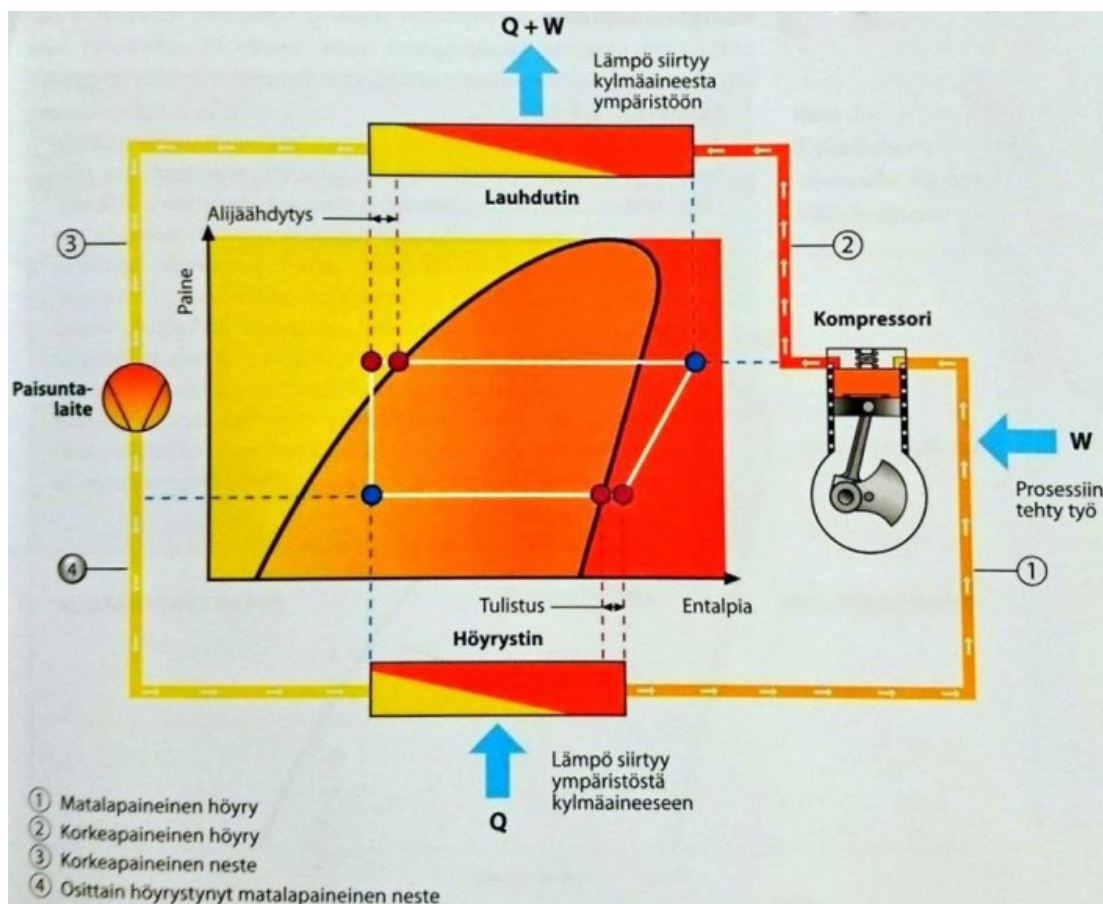
sestä laitteistosta sekä hankittujen tietojen perusteella suorittaa tarjouskysely. Tässä työssä tuodaan esille vedenjäähdyttimeen liittyvien putkistovarusteiden mitoitus uusitussa vedenjäähdytysverkostossa. Työn loppuosassa kerrotaan käytännön töiden kulusta.

2 KYLMÄPROSESSI VEDENJÄÄHDYTTIMESSÄ

Vedenjäähdyttimessä varsinainen veden/liuoksen jäähdyttäminen tapahtuu joko kylmäteknikan avulla vedenjäähdyttimen höyrystimessä tai vapaajäähdytyksellä vapaajäähdytysvaihtimella. Kylmäteknikkaa tarvitaan kesällä, kun ulkolämpötila on korkeampi kuin haluttu sisälämpötila.

2.1 Kylmätekninen kiertoprosessi

Lämpö pyrkii aina luonnollisesti siirtymään korkeammasta lämpötilasta matalampaan (termodynamiikan 2. pääsääntö). Lauhduttimella kylmäaineen lämpö siirtyy ympäristöön ja höyrystimellä ympäristön lämpötila siirtyy kylmäaineeseen. Kylmäaineen olomuoto muuttuu lauhduttimessa kaasusta nesteeksi, jolloin energiaa vapautuu. Höyrystimellä energiaa sitoutuu kylmäaineen olomuodon muuttuessa nesteestä kaasuksi. Kylmätekninen kiertoprosessi kylmäaineen kierron eri osissa on esitetty kuvassa 1.



KUVA 1. Kylmätekninen kiertoprosessi (4, s. 17)

Kylmäprosessin kierron moottorina toimii kompressori. Kompressorin tehtävänä on korottaa matalapaineisen kylmäaineen paine korkeapaineiseksi kaasuksi. Kylmäaine tulistuu ja sen lämpötila kasvaa merkittävästi. Kompressorin painepuolelta korkeapaineinen kuumakaasu kulkeutuu lauhduttimelle. Kaasu lauhtuu lauhduttimessa ja tiivistyy nesteeksi samalla luovuttaen lämpöä ympäristöön. Neste kulkee putkistoa pitkin paisuntalaitteelle. Paisuntalaitteessa korkeapaineisen nesteen paine pudotetaan höyrystymispaineeseen, jolloin myös sen lämpötila laskee. Kylmäaineen olomuoto muuttuu höyrystimellä kaasuksi, jolloin energiaa sitoutuu kylmäaineeseen. Höyrystimeltä kylmäkaasu kulkeutuu edelleen kompressorin matalapainepuolelle, josta se jatkaa uudelleen puristukseen kuumakaasuksi.

Vedenjäähdyttimessä energiansiirto tapahtuu jäähdytysvesiverkoston vedestä/liuoksesta kylmäaineeseen lämmönvaihtimessa (höyrystin). Lauhduttimessa energia siirretään joko suoraan ilmaan (suoralauhdutus) tai lämmönvaihtimen kautta veteen/liuokseen, josta lämpö siirretään edelleen yleensä ulkoilmaan erillisen nestelauhduttimen kautta.

2.2 Vapaajäähdytys

Ukolämpötilan laskiessa tarpeeksi voidaan liuoslauhduttimella varustetun vedenjäähdyttimen lauhdutusverkoston nestekierto ohjata erilliselle vapaajäähdytysvaihtimelle, jossa toisella puolella kiertää jäähdytysverkoston vesi/liuos. Tällä tavalla jäähdytysverkoston vesi/liuos voidaan jäähdyttää ulkoilmalla ilman kylmäkonetta, ja energiaa kuluu vain kiertovesipumppuihin sekä lauhduttimen puhaltimiin.

Vapaajäähdytys on energiatehokas jäähdytys silloin, kun jäähdytystä tarvitaan jäähdytettävään tilaan myös talvella. Vapaajäähdytyksellä saadaan jäähdytystehoa huomattavasti enemmän, kuin kulutetaan sähkötehoa ja kylmäkertoimen arvo 10...50 saavutetaan helpostikin. Kylmäkertoimella tarkoitetaan sitä kerrointa, kuinka monikertaisesti jäähdytykseen kuluvalle sähköenergialla saadaan jäähdytystehoa. (5, s. 6.)

3 VEDENJÄÄHDYTTIMEN PÄÄKOMPONENTIT

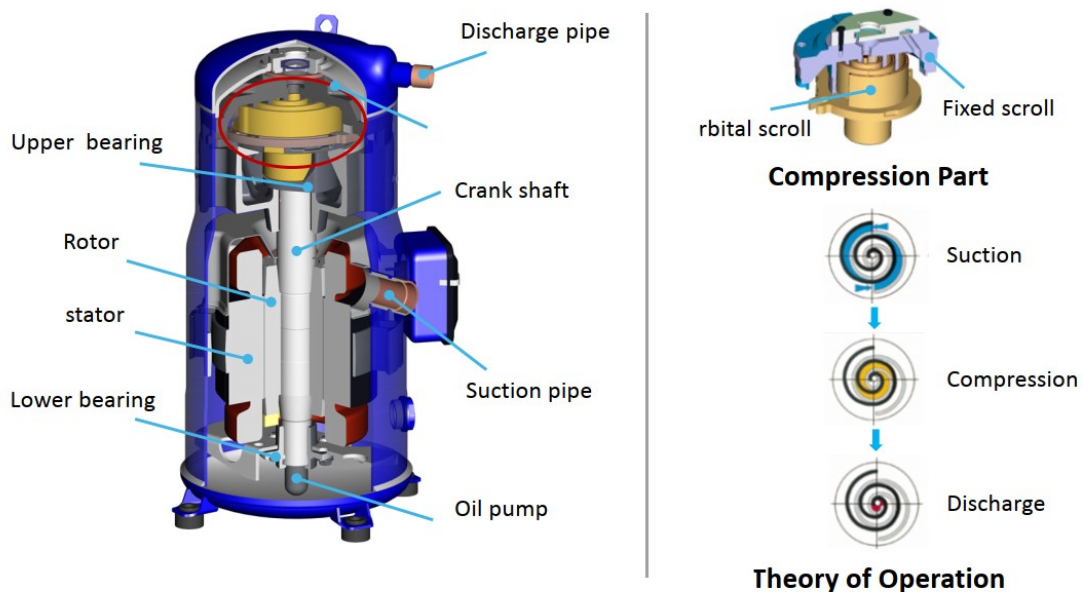
3.1 Kompressori

Kompressorin tehtävänä on aiheuttaa kylmäaineen kiertoprosessi, joka syntyy sen aiheuttaman paine-eron takia. Kompressorissa matalapaineinen imukaasu puristetaan korkeapaineiseksi kuumakaasuksi.

Vedenjäähdyttimen kompressorityyppejä ovat scroll-, ruuvi- ja turbokompressorit. Rotaatio- ja mäntäkompressorit eivät ole tyypillisiä tämän päivän vedenjäähdyttimissä, mutta olivat aiemmin yleisesti käytettyjä kompressorityyppejä.

3.1.1 Scroll-kompressori

Scroll-kompressorissa puristus tapahtuu kahden sisäkkäin asennetun spiraalilevyn välissä. Puristus alkaa ulkokehältä, josta imukaasu puristetaan levyjen väliin, ja lopuksi kuumakaasu poistuu spiraalilevyjen keskeltä. Ylempi levyistä pysyy paikallaan, kun alempi levy liikkuu kiertäen ylemmää vasten. (Kuva 2.)



KUVA 2. Tyypillinen scroll-kompressori (6)

Teholuokaltaan alle 400 kW:n vedenjäähdyttimissä on yleensä käytetty scroll-kompressoreita. Useilla valmistajilla on myös kuudella kompressorilla varustettuja vedenjäähdyttimiä noin 600 kW:n teholuokkaan asti. Tyypillisesti tehdään ns. tandem- tai trio-kytkentöjä, jolloin yhdessä kylmäinepiirissä on kaksi tai kolme kompressoria. (5, s. 2.)

Tehonsäätö on tyypillisesti perustunut on/off -periaatteeseen, jolloin säätö tapahtuu käynnistämällä kompressoreja portaittain tarpeen mukaan. Viime aikoina on yleistynyt myös invertteriohjatut scroll-koneikot. Scroll-kompressorissa on laaja tehonsäätöalue, jopa 25–120 Hz. (5, s. 2–3.)

Projektin vedenjäähdyttimessä kompressorit ovat scroll-kompressoreja. VJK:n tehonsäätö on toteutettu kahdella tandem-kytketyllä kompressorilla, jotka ovat tehoiltaan erikokoisia (Kuva 3.)

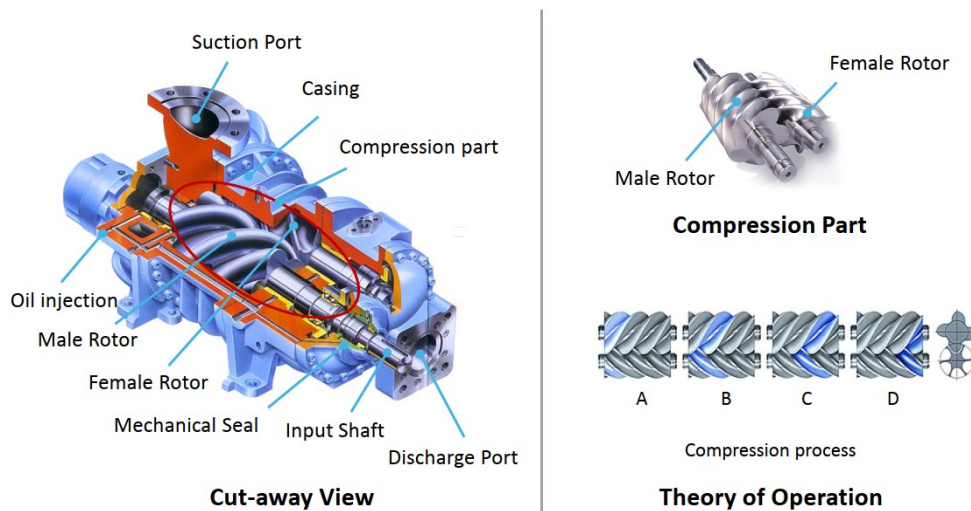


KUVA 3. Tämän projektin vedenjäähdyttimen scroll-kompressorit tandem-kytkennällä.

3.1.2 Ruuvikompressor

Ruuvikompressorissa puristus tapahtuu kahden vierekkäin pyörivän ruuvimaisen osan välissä. Puristus alkaa, kun imukaasu kulkeutuu ruuvien väliin ja etenee puristuksessa kohti ruuvin kärkeä, josta tulistunut kaasu purkaantuu kuumakaasuputkeen. (Kuva 4.)

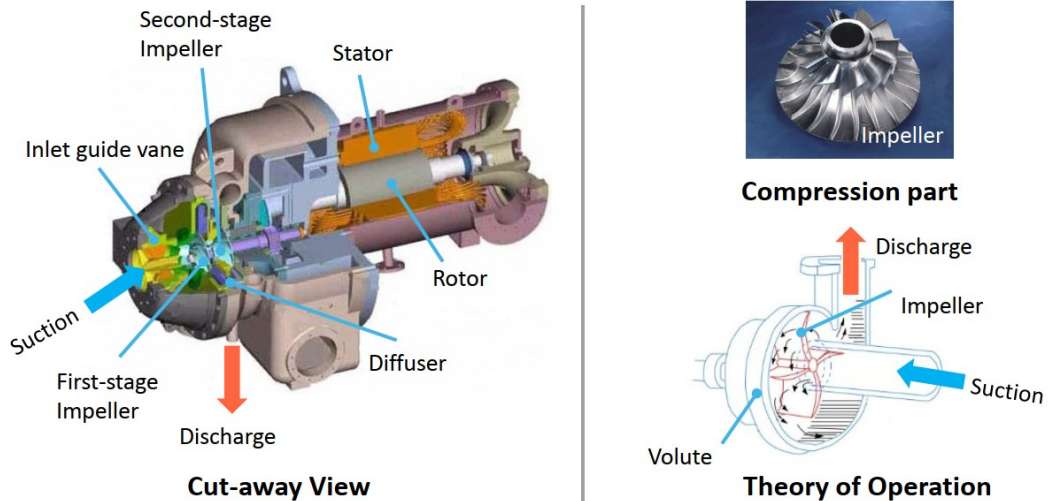
Ruuvikompressorit ovat yleisimpiä yli 400 kW:n tehoalueella, ja koneikkojen tehoalue on jopa 2000 kW:iin asti. Ruuvikompressoreilla varustetut vedenjäähdyttimet tehdään normaalisti R134A-kylmäaineella. Tehosäätö on yleensä invertteriohjauksella, jolloin tehosäätöalueena on normaalisti 30–70 Hz. (5, s. 3.)



KUVA 4. Tyypillinen ruuvikompressor (6)

3.1.3 Turbokompressor

Turbokompressorissa puristus tapahtuu, kun imukaasu kulkeutuu pyörivään juoksupyörään ja etenee spiraalimaisen käytävän kautta putkistoon. Turbokompressorit ovat suurimpien vedenjäähdyttimien koneita, jolloin kyseessä on MW-luokan vedenjäähdyttimet. Turbokompressorin etuna on iso tehonsäätöalue, hyvä osatehohyötysuhde, öljyttömyys ja pieni koko verrattuna tehoon (5, s. 3.) (Kuva 5.)



KUVA 5. Tyypillinen turbokompressorin (6)

3.2 Lauhdutin

Lauhduttimessa kylmäaine luovuttaa energiaa muuttuessaan kaasusta nesteeksi. Suoralauhdutteen vedenjäähdyttimen kylmäaineen lauhdutus tapahtuu kylmäaineesta suoraan ilmaan. Lämmön siirtymistä ilmaan tehostetaan puhaltimien avulla. Puhaltimia ohjataan kylmäaineen paineen perusteella joko on/off- tai portaattomalla säädöllä. Nykyisin EC-puhaltimet ovat yleistyneet lauhdutinpuhaltimissa, joiden pyörimisnopeutta voidaan säätää portaattomasti.

Vedenjäähdyttimen kylmäpiirin lauhdutus on yleensä toteutettu välillisellä lauhduttimella, jolloin kylmäaineen lauhduminen tapahtuu levylämmönsiirtimessä nesteeseen. Ulkoilmaan asennettu nestelauhdutin luovuttaa edelleen energian ulkoilmaan. Puhaltimia ohjataan liuoksen lämpötilan perusteella siten, että lauhduttimelta palaavan liuoksen lämpötila on +30 °C. (Kuva 6.)



KUVA 6. Tyypillinen nestelauhdutin (7)

Uusitun vedenjäähdyttimen lauhduttimena on suoralauhdutin, jonka läpi ilmaa liikutetaan kahden EC-puhaltimen avulla. Puhaltimien pyörimisnopeus säädetään jänniteviestillä (0–10 V) säätimen kautta kylmäaineen korkeapainetiedon avulla.

3.3 Höyrystin

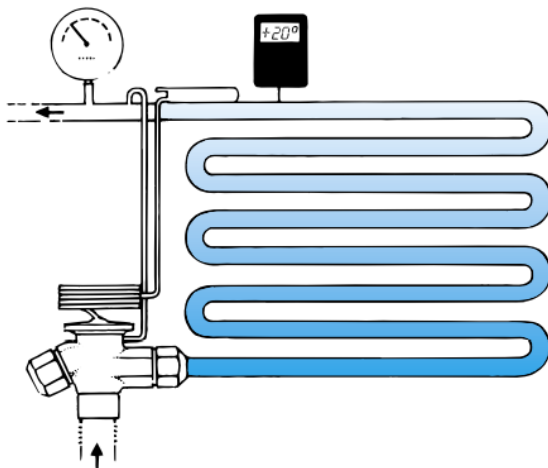
Höyrystimessä kylmäaineeseen sitoutuu energiaa sen muuttuessa nesteestä kaasuksi. Vedenjäähdyttimissä höyrystimenä on yleensä pienemmissä koneikoissa teräksestä valmistettu levylämmönsiirrin, joka on myös tässä työssä uusitussa vedenjäähdyttimessä. Suuremmissa ruuvi-kompressoreilla varustetuissa vedenjäähdyttimissä käytetään putkilämmönvaihtimia höyrystimenä. (Kuva 7.)



KUVA 7. Tyypillinen VJK:n höyrystimen teräksinen levylämmönvaihdin (8)

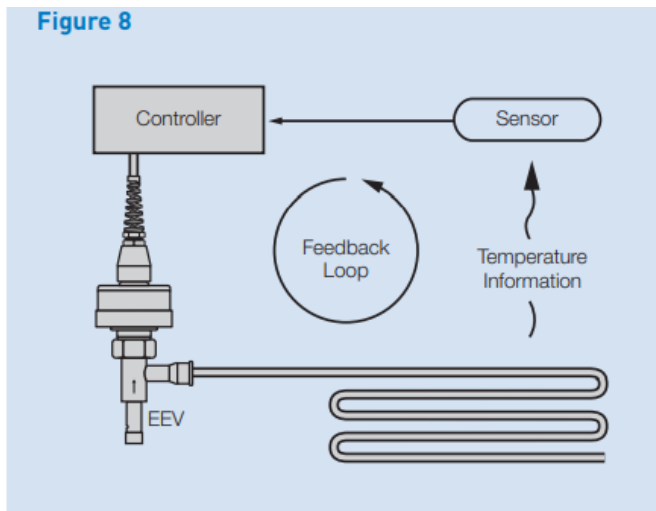
3.4 Paisuntaventtiili

Paisuntaventtiilissä kylmäaineen paine pudotetaan lauhtumispaineesta höyrystymispaineeseen. Paisuntaventtiili on vedenjäähdyttimessä joko termostaattinen tai elektroninen. Termostaattisen paisuntaventtiilin tulistus säädetään käsin venttiiliä asennettaessa. Termostaattisen paisuntaventtiilin tulistus yleisimmin noin 7 °C. (Kuva 8.)



KUVA 8. Termostaattinen paisuntaventtiili (9, s. 4)

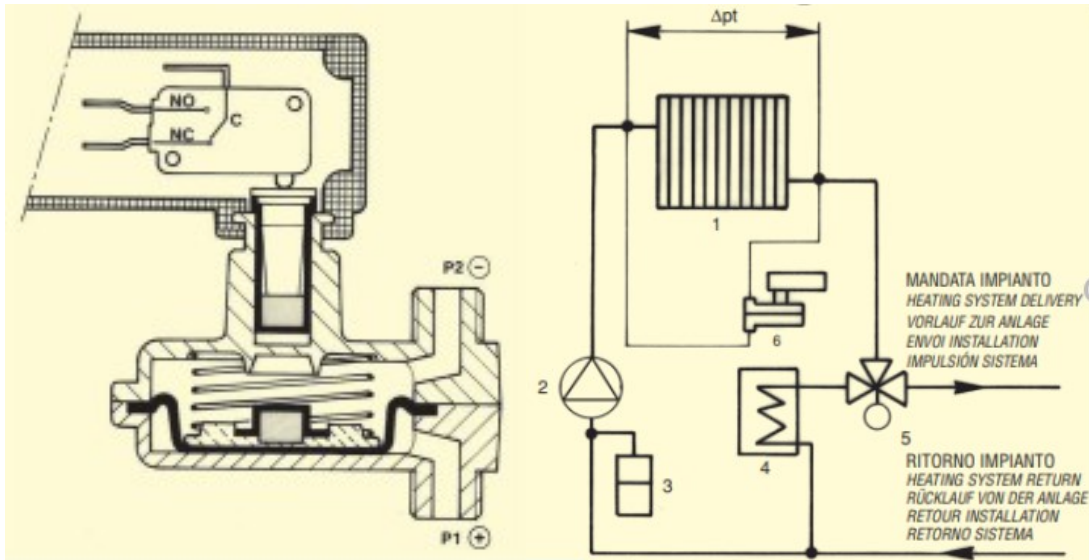
Elektronisella paisuntaventtiilillä voidaan kylmäprosessia ajaa pienemmällä tulistuksella, jolloin saavutetaan parempi hyötysuhde. Elektronista paisuntaventtiiliä säätelee erillinen säätöyksikkö, johon antureiden avulla saadaan tarkka tieto höyrystimeltä. Tämän projektin vedenjäähdyttimessä on elektroninen paisuntaventtiili, jota ohjaa erillinen säädinyksikkö. (Kuva 9.)



KUVA 9. Periaatekuva elektronisesta paisuntaventtiilistä säätöyksikköineen (10, s. 6)

3.5 Virtauskytkin

Virtauskytkimen tehtävänä on varmistaa, että höyrystimellä virtaa neste, kun kompressori käy. Toisin sanoen virtauskytkin katkaisee kompressorin käynnin, mikäli neste ei virtaa höyrystimellä. Virtauskytkin suojaa höyrystimellä jäähdytettävän veden jäätymiseltä vikatilanteissa. Virtauskytkin mittaa virtausta sen tyyppin mukaan joko virtauksen aistivan kielen avulla tai paine-eron perusteella. Kuvassa 10 on esitetty paine-eron perusteella toimiva virtauskytkin ja sen toimintaperiaate.



KUVA 10. Virtauskytkin, joka aistii virtauksen höyrystimellä menevän ja lähtevän liuoksen paine-erosta. Projektikohteessa on tämän kaltainen virtauskytkin. (11)

3.6 Säädinyksikkö

Vedenjäähdyttimen ohjauksesta vastaa säädinyksikkö, joka ohjaa koko laitteiston toimintaa erillisten antureiden avulla. Säätimeltä voidaan nähdä myös laitteiston sen hetkistä toimintaa näytön symboleista.

Säätimellä on useita parametrejä, joiden arvot tulee olla oikein, jotta vedenjäähdytin toimisi niin kuin sen kuuluu toimia. Parametrit asetellaan yleensä valmistajan toimesta tietyille konetyypille sopivaksi. Käyttöönoton yhteydessä on varmistettava vielä laitteen oikeanlaiset parametrit ja tehdään tarvittaessa muutokset. Uusitun vedenjäähdyttimen säädinyksikölle asetettiin parametrit käyttöönoton yhteydessä. (Kuva 11.)



KUVA 11. Dixell-säädin, jollainen on uusitussa vedenjäähdyttimessä (12)

3.7 Painekeytkimet ja anturit

Kylmäainepiirissä on kytkettyä matala- ja korkeapainepuolelle painekeytkimet, jotka toimivat varolaitteina. Tarkoituksena on suojata kompressoria liian matalilta ja korkeilta lämpötiloilta. Painekeytkin katkaisee kompressorin käynnin, mikäli painekeytkimen paineasetus saavutetaan.

Kylmäainepiirissä matala- ja korkeapainepuolelle on kytketty myös paineanturit, jotka antavat säädinyksikölle tiedon säätöjä varten. Matalapaineanturi antaa tietoa paisuntaventtiilin ohjausyksikölle ja korkeapaineanturi antaa tietoa lauhduttimen toiminnalle (puhaltimille).

4 KYLMÄAINEIDEN VERTAILU

Kylmäaineiden kylmäteknisten ominaisuuksien lisäksi kylmäaineita verrataan ilmastovaikutuksen, myrkyllisyyden ja syttyvyyden perusteella. Viime vuosikymmenillä ilmastovaikutukseen on alettu kiinnittämään paljon huomiota koko maailmassa. (13.) Tämä on aiheuttanut sen, kylmäaineita on jouduttu kehittämään uusia ja osittain on palattu vanhoihin kylmäaineisiin kuten esim. hiilidioksidi.

4.1 Otsonihaitallisuus (OPD)

Ilmakehän otsonikerros sijaitsee keski-ilmakehässä, stratosfäärissä. Otsonikerroksen tehtävänä on suojella maapalloa auringon vaaralliselta ultraviolettisäteilyltä. Halogenoitunut hiilivedyt, joita ovat CFC- ja HCFC-yhdisteet, vähentävät otsonin määrää ilmakehässä. Kylmäaineen haitallisuutta otsonikerrokselle kuvataan OPD-luvulla (Ozone Depleting Potential). (1, s. 1.)

CFC-aineiden, joita kutsutaan freoneiksi, käyttö on ollut kiellettyä vuodesta 2001 saakka. Esimerkiksi R12 on CFC-kylmäaine ja sen otsonihaitallisuutta käytetään OPD-luvun vertailuarvona. R12:n OPD-luku on 1 ja muiden kylmäaineiden OPD luvut ovat 0:n ja 1:n välillä. (1, s. 3–4.)

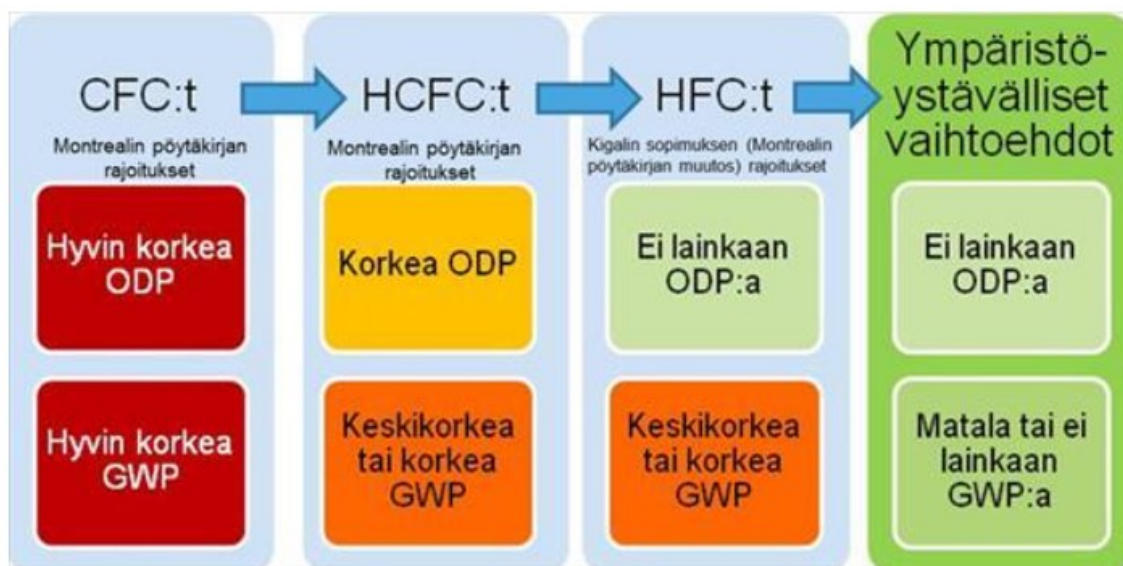
HCFC-aineiden, kuten rikkoontuneen koneen kylmäaine R22, käyttäminen huolloissa kiellettiin 2015 alkaen EU:n otsoniasetuksella (1005/2009). Tämän asetuksen myötä myöskään laitteen korjaaminen ilman kylmäaineenvaihtoa ei olisi ollut mahdollista. R22 on ollut aiemmin paljon käytetty kylmäaine kiistattomien jäähdytysteknisten ominaisuuksiensa vuoksi. R22:n GWP luku on alhainen (1700), mutta se otsonihaitallisuutta kuvaava OPD luku on 0,07. Nykyisillä kylmäaineilla OPD luku on 0. (1, s. 3–4.;14.)

Otsonihaitallisten kylmäaineiden käytön loputtua on tutkijat havainneet, että otsonikerros on alkanut elpymään. Voidaan siis todeta, että suunta on oikea.

4.2 Kasviuonehaitallisuus (GWP)

Fluoratut kasviuonekaasut eli F-kaasut ovat korvanneet otsonihaitallisia kylmäaineita. F-kaasuilla OPD-luku on 0, mutta kasviuonehaitallisuuden vuoksi niiden käyttöä rajoitetaan vaiheittain. Kylmäaineen GWP (Global Warming Potential) -arvo on luku, joka kertoo kaasun lämmitysvaikutuksesta verrattuna hiilidioksidiin. Toisin sanoen hiilidioksidi on vertailuluku, johon muita aineita verrataan. Hiilidioksidin GWP luku 1.

F-kaasujen ilmastovaikutuksien vähentämiseksi on säädetty F-kaasuasetus (EU 517/2014). Yksittäisen kylmälaitteen täytösmäärä ilmoitetaan nykyisin kilojen lisäksi hiilidioksiekvivalenttonneina (t CO₂-ekv), joka kuvaa kylmälaitteen kasviuonehaitallisuutta. Uuden F-kaasuasetuksen myötä kylmälaiteille tehtävät vuototarkastusvälit määräytyvät hiilidioksidiekvivalenttonneien mukaan pois lukien CFC- ja HCFC-aineet, joissa on edelleen painoon perustuvat vuototarkastusrajat. (15.;16.) Kylmälaitteiden kasviuonehaitallisuudestakin pyritään pääsemään kokonaan eroon vaiheittain pitkällä aikavälillä. (Kuva 12.)



KUVA 12. Kylmäaineiden käytön rajoitusten ansiosta tapahtuva siirtymä kohti haitattomampia kylmäaineita (17)

4.3 Myrkyllisyysluokitus

Kylmäaineet luokitellaan kahteen ryhmään niiden myrkyllisyyden mukaan siten, että A-ryhmän aineet ovat terveydelle haitattomia ja B-ryhmän aineet ovat myrkyllisiä. Ryhmän A kylmäaineilla ei ole tunnettuja haittavaikutuksia ihmiselle työpäivän ja -viikon aikana, vaikka kylmäaineen keskipitoisuus ilmassa olisi yli 400 ppm. Kylmäaine luokitellaan ryhmään B, mikäli sillä on tunnettuja haittavaikutuksia ihmiselle silloin, kun kylmäaineen keskipitoisuus ilmassa on työpäivän ja -viikon aikana jatkuvasti 0 ja 400 ppm:n välillä. Myrkyllisistä kylmäaineista tunnetuin on ammoniakki. (18.)

4.4 Syttyvyysluokitus

Kylmäaineet luokitellaan niiden syttyvyyden mukaan taulukossa 1. esitettyjen ominaisuuksien mukaisesti (18).

TAULUKKO 1. Kylmäaineiden syttyvyysluokituksen periaatteet (18.)

	Luokka 1	Luokka 2L (alhaisempi syttyvyys)	Luokka 2 (syttyvä)	Luokka 3 (korkeampi syttyvyys)
Ilmakehän paineessa ja 60 °C lämpötilassa esiintyy liekin etenemistä	EI	KYLLÄ	KYLLÄ	KYLLÄ
Alempi syttymisraja (LFL)	-	>3,5 % tilavuus-%	>3,5 % tilavuus-%	≤3,5 % tilavuus-% *
Palamislämpö	-	< 19 MJ/kg	< 19 MJ/kg	≥ 19 MJ/kg *
Maksimi palonopeus ilmakehän paineessa ja 23 °C lämpötilassa	-	≤ 10 cm/s	> 10 cm/s	-

* Kylmäaine kuuluu luokkaan 3, mikäli toinen ehdoista täyttyy (alempi syttyvyysraja TAI palamislämpö).

Kylmäaineseoksilla saattavat syttymisherkkyys- ja myrkyllisyysominaisuudet muuttua koostumuksen muuttuessa niiden komponenttien erkaantuessa toisistaan. Turvallisuusluokitus määräytyy syttyvyyden ja myrkyllisyyden mukaan. (Taulukko 2.) Turvallisuusluokitus tehdään aina pahimman mahdollisen tilanteen mukaan, mikä komponenttien erkaantumisen aikana voi esiintyä. (18.)

TAULUKKO 2. Kylmäaineiden turvaluokituksen periaatteet (18.)

Turvaryhmä	Pienempi myrkyllisyys (terveydelle haitaton)	Suurempi myrkyllisyys (terveydelle haitallinen)
Korkeampi syttyvyys	A3	B3
Alhaisempi syttyvyys	A2L	B2L
Syttyvä	A2	B2
Ei syttyviä	A1	B1

4.5 Käytössä olevia ja korvaavia kylmäaineita

Käyttörajoitusten ja kieltojen takia käytettävissä olevien kylmäaineiden valikoima muuttuu jatkuvasti. Kylmäainevalmistajat ovat tuottaneet markkinoille useita korvaavia kylmäaineita, joilla eri sovellusten käyttö olisi rajoitusten myötäkin mahdollista. Huomioitavaa on, että suurella osalla uusista kylmäaineista, joiden GWP-luku on pieni, turvallisuusluokitus on A2L (lievästi syttyvä), mikä aiheuttaa tiettyjä käytön rajoituksia.

Erilaisten sovellusten yleisesti käytössä olevia F-kaasuja ja niitä korvaavia, uusia kylmäaineita on esitetty taulukossa 3. Uusissa kylmälaitteissa ja järjestelmissä käytettävien kylmäaineiden osalta on tiettyjä laitekohtaisia kieltoja ja rajoituksia. Taulukossa 3 kiellon numerot viittaavat tiettyjen sovellusten kieltoihin, jotka on esitetty liitteessä 2. Merkintä OK tarkoittaa, että nykyistä korvaavaa kylmäainetta saa käyttää kyseisessä sovelluksessa voimassa olevan F-kaasuasetuksen mukaisesti 1.1.2030 asti. (18.)

TAULUKKO 3. Erilaisten sovellusten yleisesti käytössä olevia F-kaasuja ja niitä korvaavia, uusia kylmäaineita. (18.)

Sovellus	Nykyinen kylmäaine (turvaluokka, GWP-arvo)	Uusia/korvaavia kylmäaineita (turvaluokka, GWP-arvo)	Uusia/korvaavia kylmäaineita koskevat kiellot	Esimerkkejä uuden aineen kauppanimistä (*)
Veden- ja nestejäähdyttimet (chillerit), lämpöpumput	R134a (A1, 1430) - OK	R450A (A1, 605)	OK	Solstice N13
		R513A (A1, 631)	OK	Opteon XP10
		R1234yf (A2L, 4)	OK	Opteon XL10
		R1234ze (A2L, 7)	OK	Solstice ze
	R410A (A1, 2088) - OK	R452B (A2L, 698)	OK	Solstice L41 Opteon XL55
		R454B (A2L, 466) R455A (A2L, 145)	OK OK	Opteon XL41 Solstice L40X
Kaupan kylmälaitteet, ammattikylmälaitteet	R404A (A1, 3922), R507A (A1, 3985) - näillä vain huoltokäyttö sallittua 1.1.2020 alkaen	R407F (A1, 1825)	- kiellot nro 11 ja 13	Performax LT
		R448A (A1, 1387)	- kiello nro 11	Solstice N40
		R449A (A1, 1397)	- kiello nro 11	Opteon XP40
		R452A (A1, 2140)	- kiellot nro 11 ja 13	Opteon XP44
		R454A (A2L, 238)	- kiello nro 11	Opteon XL40
		R454C (A2L, 148)	OK	Opteon XL20
	R134a (A1, 1430) - sallittu vain yli 40 kW kaskadijärjestelmän primääripuolella 1.1.2022 alkaen	R450A (A1, 605)	OK	Solstice N13
		R513A (A1, 631)	OK	Opteon XP10
		R1234yf (A2L, 4)	OK	Opteon XL10
		R1234ze (A2L, 7)	OK	Solstice ze
	R407A (A1, 2107), R407F (A1, 1825) - kiellot nro 11 ja 13	R449A (A1, 1397)	- kiello nro 11	Opteon XP40
	Lauhdutinyksiköt	R404A (A1, 3922) - vain huoltokäyttö sallittua 1.1.2020 alkaen	R455A (A2L, 145)	OK
Ilmastointi	R410A (A1, 2088) - kiellot nro 14 ja 15	R452B (A2L, 698)	- kiello nro 14	Solstice L41 Opteon XL55
		R454B (A2L, 466)	- kiello nro 14	Opteon XL41
		R455A (A2L, 145)	OK	Solstice L40X
	R407C (A1, 1774) - kiellot nro 14 ja 15	R444B (A2L, 296)	- kiello nro 14	Solstice L20
Jäähdytetty kuljetus	R404A (A1, 3922) - OK	R455A (A2L, 145)	OK	Solstice L40X
	R134a (A1, 1430) - OK	R450A (A1, 605)	OK	Solstice N13
		R513A (A1, 631)	OK	Opteon XP10
		R1234yf (A2L, 4)	OK	Opteon
		R1234ze (A2L, 7)	OK	Solstice ze

Kylmäaineiden käyttöä rajoittamista säätelevä usin rajoitus koskee kylmälaitteita, joiden GWP-arvo on yli 2500 ja kylmäainetäytös on vähintään 40 t CO₂-ekv.. Kyseisissä laitteissa uusien kylmäaineiden käyttö on kielletty 1.1.2020 alkaen. Kierrätettyjen kylmäaineiden käyttö on huolloissa edelleen sallittu vuoteen 2030 asti. (17.)

5 RIKKOONTUNEEN VEDENJÄÄHDYTTIMEN KORJAAMINEN

Koksaamon korjaamalla sijaitsevan vedenjäähdytin rikkoontuminen havaittiin, kun toimistotilojen sisäilman lämpötila alkoi nousemaan. Tarkemman tutkinnan myötä todettiin, että toinen kompressoreista oli rikkoontunut. Tässä vaiheessa kyseltiin mahdollisuudesta korjata laitteisto vaihtamalla rikkoontunut kompressori uuteen. Vedenjäähdyttimen korjaamiseksi olisi tarvinnut suorittaa kylmäaineen vaihto koko vedenjäähdyttimelle ja huomioida myös muut tekniset ominaisuudet.

5.1 Korvaavan kylmäaineen valinta

Kyseisessä laitteessa oli käytetty kylmäaineena R22-kylmäainetta, jonka käyttö on ollut täysin kiellettyä huolloissa vuodesta 2015 alkaen. Tämän vuoksi laitteen kylmäaine olisi pitänyt korvata jollakin toisella kylmäaineella, joka on uusien säännöksiin mukainen ja juuri kyseiseen laitokseen soveltuva. Kylmäainevalmistajat ovat tuoneet markkinoille korvaavina kylmäaineina useita erilaisia HFC-seoksia. Jokaisella aineella on erilaisia ominaisuuksia, esimerkiksi jäähdytysteho on joillakin aineilla huonompi ja toisilla parempi. (17.)

5.2 Öljyt

Jos vedenjäähdytin olisi korjattu, olisi pitänyt selvittää, minkälaiset öljyt ovat ja tarvittaisiinko öljynvaihto vanhaan koneikkoon. Aiemmin HCFC-laitoksissa käytettiin yleisesti mineraaliöljyjä ja nykyisin HFC-laitoksissa käytetään polyesteri-öljyjä. Kylmälaitoksissa kylmäaineen mukana kiertää jonkin verran öljyä, ja tärkeää on, että öljy palautuu myös takaisin kompressoriin, missä voitelua tarvitaan. Öljyn pitää siten olla soveltuva valitulle kylmäaineelle, jotta öljynkierto toimii uuden kylmäaineen kanssa. Mikäli öljyt vaihdettaisiin, olisi huomioitava, että esterioily irrottaa vanhasta kylmäaineverkostosta likaa ja saattaa tukkia suodattimia ja venttiileitä. (19, s. 3.)

5.3 Paisuntaventtiili

Paisuntaventtiilin toiminta olisi pitänyt sovittaa korvaavalle kylmäaineelle. Jossakin tapauksessa riittää tulistuksen säätö tai suuttimen vaihto, mutta joskus pitää vaihtaa koko paisuntaventtiili.

5.4 Tiivisteet

Kylmäaineita ja öljyjä vaihdettaessa on tarpeen selvittää myös kylmälaitoksen tiivisteiden soveltuvuus uusille aineille ja tarvittaessa vaihtaa ne sopiviksi. Tyypillisesti vaihdettavia tiivisteitä on magneettiventtiileissä, paisuntaventtiileissä, nestelaseissa ja neulaventtiileissä. (19, s. 20–21.)

5.5 Kompressorin palojäämät

Kompressorin palamisesta syntyy myös palojäämiä, jotka pitäisi saada pois putkistosta, jotta uudelle kompressorille saataisiin mahdollisimman pitkä käyttöikä. Tässäkin tapauksessa palojäämät olisi pitänyt poistaa. Palojäämien poistamiseen käytettäisiin siihen tarkoitukseen valmistettua palokuivainta ja mahdollisesti huuhdeltaisiin putkisto siihen soveltuvalla aineella.

5.6 Kustannukset ja kannattavuus

Korjaamisen suurimmat suorat kustannukset ovat uusi kompressor ja kohtuullisen suuri työmäärä. Lisäksi korjaamisesta huolimatta jäisi vielä useita vanhoja komponentteja, jotka ovat käyttöikänsä jo aika vanhoja, n. 25 vuotta.

Korjaaminen vaatii huolellisen suunnittelun lisäksi huolellisen työn. Niistä huolimatta epävarmuustekijöitä jäisi ilmaan, eikä laitteen käyttöikää voida ennustaa. Uuden laitteen hankkiminen koettiin olevan tässä tapauksessa parempi vaihtoehto.

6 LÄHTÖTILANNE JA MITOITUKSET

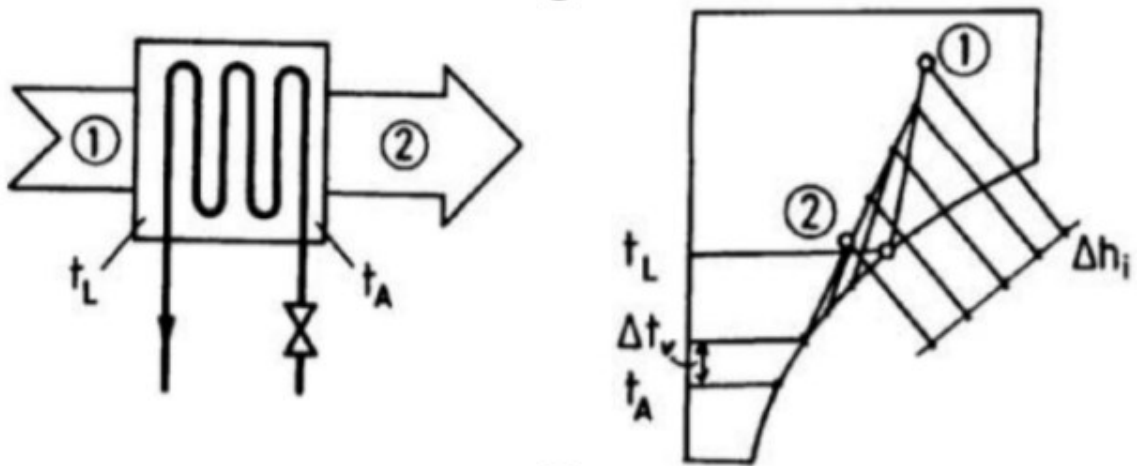
Kohde sijaitsee Raahen terästehtaalla Koksaaamon alueella sijaitsevalla korjaamolla. Korjaamoon on rakennettu toimistotilojen osalle vuonna 1995 laajennusosa, minkä yhteydessä myös ilmanvaihtoon on tehty muutoksia ja asennettu ilmastointiin jäähdytys. Tässä yhteydessä oli asennettu vedenjäähdytin rakennuksen katolle.

Vedenjäähdyttimen tehtävänä on jäähdyttää tuloilmakoneessa olevan IV-patterin välityksellä toimistotiloihin puhallettavaa sisäilmaa. IV-patterissa kuluvaa jäähdytysteho haluttiin selvittää, jotta tiedettäisiin paljonko vedenjäähdytyskoneen jäähdytystehosta on käytössä IV-patterissa.

6.1 Jäähdytyspatterin mitoitus

Kun jäähdytyspatterin pintalämpötila on alempi kuin tuloilman kastepistelämpötila, patterin pintaan kondensoituu vesihöyryä. Ilman kuivaamiseen kuluu tällöin osa jäähdytystehosta. Kuivaamiseen kuluvaa jäähdytystehoa kutsutaan latentiksi jäähdytystehoksi ja lämpötilan muutokseen kuluvaa jäähdytystehoa tuntuvaksi jäähdytystehoksi.

Jäähdytyspatterille saadaan suurin teho, kun ilman ja jäähdytysveden virtaus ovat vastakkaiset (vastavirtaperiaate). Jäähdytysprosessin kuvaamiseen hyödynnetään Mollier-diagramia, josta nähdään ilman kosteussisältö. Pintalämpötila käytännössä muuttuu jäähdytysvesipatterin eri osissa. (Kuva 13.)



KUVA 13. Vasemmalla: IV-patterin vastavirtaperiaate. Oikealla: Mollier-diagrammi, jossa esitetty jäähdytysprosessi patterissa, jonka pintalämpötila muuttuu. (20, s. 195.)

Kuvan 13 suureiden selitykset

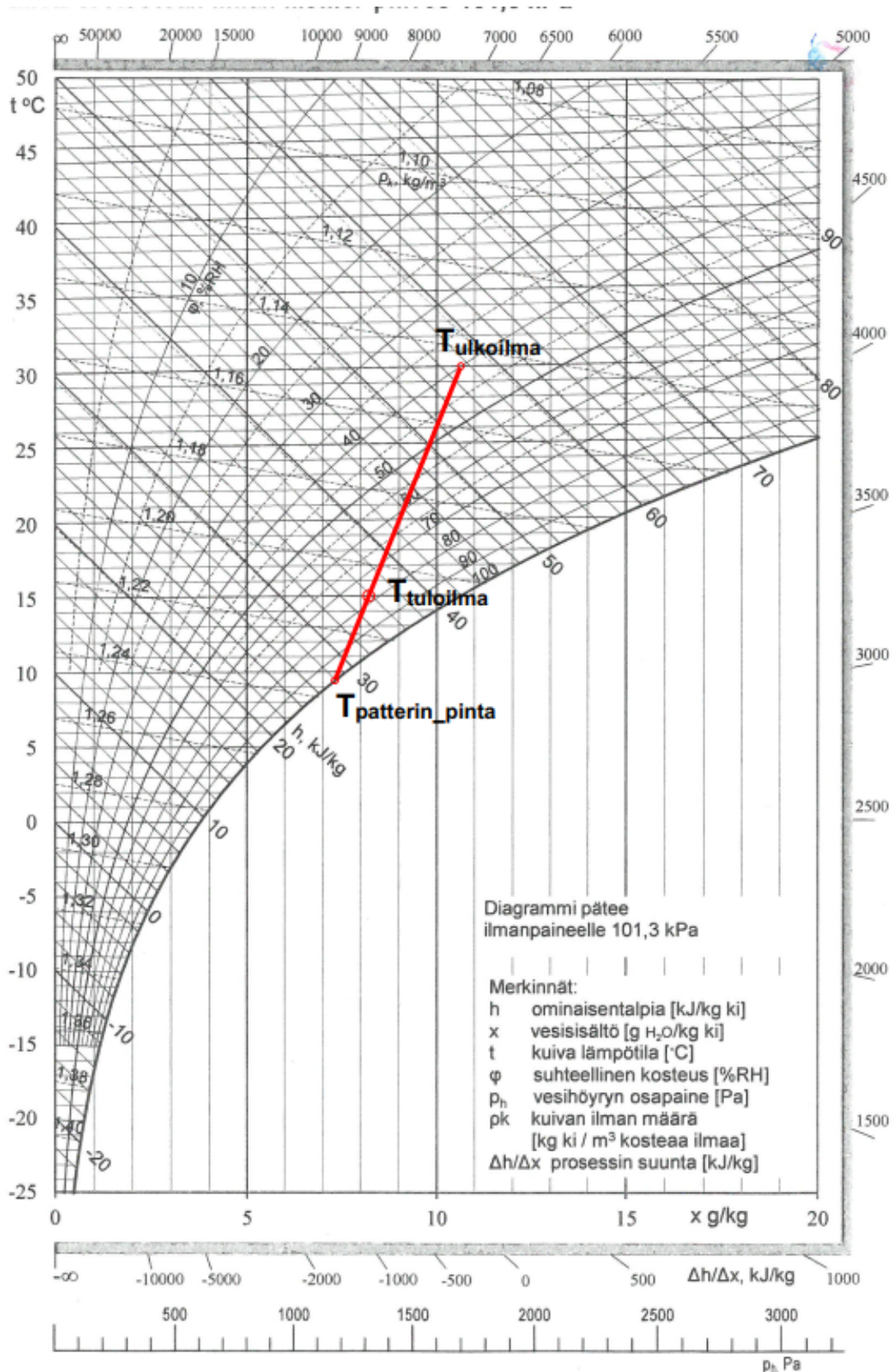
t_A IV-patterin pintalämpötila alussa

t_L IV-patterin pintalämpötila lopussa

Δt Lämpötilan muutos

Δh_i Entalpian muutos (20, s. 195).

Käytännössä jäähdytysprosessin jäähdytysteho lasketaan kuitenkin käyttämällä keskimääräistä pintalämpötilaa, joka tässä tapauksessa (menovesi 7 °C /paluuvesi 12 °C) on 9,5 °C. Tuloilman kosteuden ja lämpötilan mitoituspiste määriteltiin piirtämällä Mollier-diagrammiin mitoitusulkolämpötilan (+30 °C) ja suhteellisen kosteuden (40 % Rh) mukainen piste, josta vedettiin suora patterin pintalämpötilan (9,5 °C) ja (100 % Rh) ilmankosteuden muodostamaan pisteeseen. Piirretyn suoran ja tuloilmanlämpötilan (15 °C) muodostamasta leikkauskohdasta voidaan lukea tuloilman kosteusprosentiksi 77 % Rh. (Kuva 14.)



KUVA 14. Mollier-diagrammi, johon sijoitettiin mitoittavan tuloilman (30 °C, 40 %Rh) piste sekä piste, jossa patterin keskimääräinen pintalämpötila on kastepisteessä (9,5 °C, 100 %Rh). Piirrettiin niiden välille suora ja tälle suoralle sijoitettiin tuloilman lämpötilaa (15 °C) vastaava piste.

Mollier-diagrammista nähdään näin ollen vaaditun tuloilman suhteellinen kosteus ja entalpia.

Jäähdytysteho voidaan laskea kaavalla 1

$$Q_{JP} = qm_i \times (h_{ulkoilma} - h_{tuloilma}) \quad \text{KAAVA 1}$$

Q_{JP}	jäähdytyspatterin teho
qm_i	ilman massavirta; $qm_i = \rho_{ilma} \times q_{v,max}$
ρ_{ilma}	ulkoilman tiheys 1,2 kg/m ³
$q_{v,max}$	maksimi ilmavirtaus mitoitustilanteessa 1300 l/s
$h_{ulkoilma}$	ulkoilman entalpia mitoitustilanteessa 57,5 kJ/kg·ki
$h_{tuloilma}$	tuloilman entalpia mitoitustilanteessa 35,8 kJ/kg·ki

Entalpioiden määrittämiseen käytettiin apuna Vaisalan kosteuslaskuria ja suureet sijoitettiin kaavaan 1 (21.).

$$Q_{JP} = 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 1,3 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times (57,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 35,8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}})$$

$$Q_{JP} = 33,852 \text{ kW} \approx 34 \text{ kW}$$

Mitotustilanteessa ilmastoinnin jäähdytyspatterin tehotarve on siis noin 34 kW.

Mikäli tuloilmakoneen patterin jäähdytysteho lasketaan pelkästään lämpötilojen perusteella, saadaan vain tuntuva jäähdytysteho. Tuntuva jäähdytysteho ei ota huomioon kuivaamiseen kuluva jäähdytystehoa.

Ilmastointipatterilla saatava tuntuva jäähdytysteho lasketaan lämpötilojen avulla kaavalla 2.

$$Q_{tuntuva} = qm_i \times c_p \times (t_{ulkoilma} - t_{tuloilma}) \quad \text{KAAVA 2}$$

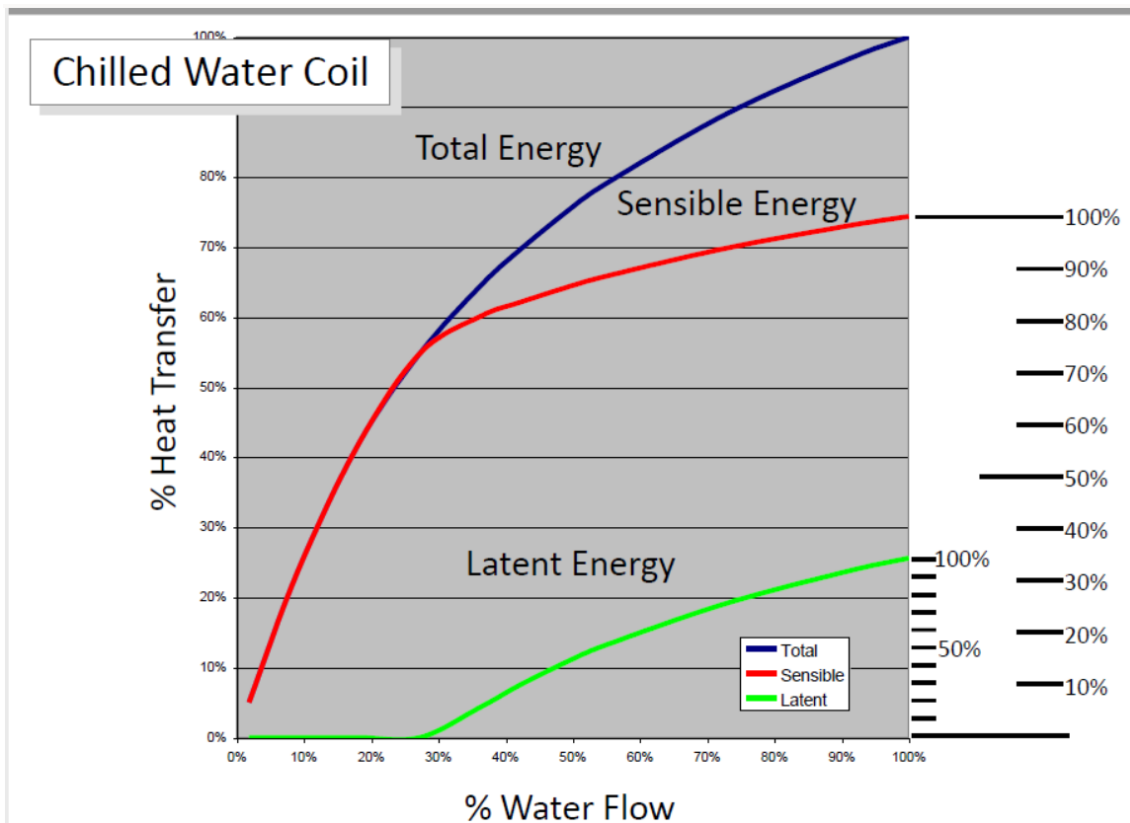
$Q_{tuntuva}$	tuntuva jäähdytysteho
qm_i	ilman massavirta; $qm_i = \rho_{ilma} \times q_{v,max}$
ρ_{ilma}	ulkoilman tiheys 1,2 kg/m ³
c_p	ulkoilman ominaislämpökapasiteetti 1,0 kJ/kg °C
$q_{v,max}$	maksimi ilmavirtaus mitoitustilanteessa 1300 l/s
$t_{ulkoilma}$	ulkoilman lämpötila mitoitustilanteessa 30 °C
$t_{tuloilma}$	tuloilman lämpötila mitoitustilanteessa 15 °C

$$Q_{tuntuva} = 1,2 \frac{kg}{m^3} \times 1,0 \frac{kJ}{kg^\circ C} \times 1,3 \frac{m^3}{s} \times (30^\circ C - 15^\circ C)$$

$$Q_{tuntuva} = 23,4 kW$$

Jäähdytyspatterin vaatima jäähdytysteho on tässä tapauksessa huomattavan paljon suurempi kuin tuntuva teho. Mitoitustilanteessa jäähdytystehosta ilman lämpötilan jäähdyttämiseen kuluu 23,4 kW ja ilman kuivattamiseen 10,5 kW jäähdytystehoa.

Jäähdytystehoista puhuttaessa on tärkeää tiedostaa tuntevan- ja kokonaisjäähdytystehontarpeen ero. Kuvassa 15 on kuvattu esimerkki, kuinka tuntuva- ja latenttjäähdytystehojen (latenttiteho = ilman kuivaamiseen kuluva teho) osuudet muuttuvat veden virtauksen muuttuessa.



KUVA 15. Latentin-, tuntuvan- ja kokonaisjäähdytysteho virtauksen muuttuessa (22)

Jäähdytyskoneelta vaadittu jäähdytysteho on mitoitustilanteessa n. 34 kW. Valittu vedenjäähdytin (1995) oli kuitenkin valittu suuremmalla jäähdytysteholla (49,5 kW). Yleisestikin ottaen jäähdytyskoneet vaikuttaisivat olevan ylimitoitettuja. Syynä ylimitoittamiseen voi olla varautuminen tuleviin muutoksiin. Uuden koneen hankinnassakin päädyttiin aiempaa vastaavaan teholuokkaan juuri tulevaisuuden varalle.

6.2 Tarjouskysely ja konevalinta

Purettavan laitteiston jäähdytystehon 49,5 kW arvioitiin olevan sopiva tähän kohteeseen, jossa rakennusten tilojen ja jäähdytyksen muutokset ovat mahdollisia ja ylijäävälle teholle voisi olla käyttöä tulevaisuudessa.

Aiemmin käytössä olevan koneikon konepeti oli tehty tukevasti vesikatolle teräspalkeista. Todettiin, että konepeti sopii pienin muutoksin käytettäväksi myös uudelle koneikolle. Kylmävesilinjasta päätettiin säilyttää tasaussäiliö, jossa tilavuutta on riittävästi ($V = 500$ litraa) ja IV-patteri.

Näin ollen päädyttiin pyytämään tarjous seuraavin kriteerein:

- mitoittava ulkolämpötila +30 °C
- jäähdytysteho n. 50 Kw
- ulkoasenteinen liuosjäähdytin, jossa suoralausdutus
- jäähdytyspiirissä 35-prosenttinen vesi/etyleeniglykoli-liuos.

Tarjouspyyntö lähetettiin neljälle eri laitetoimittajalle, joista yksi ilmoitti, että heillä ei ole myytävänä ulos asennettavia vedenjäähdyttimiä. Tarjoukset saatiin kolmelta toimittajalta hieman erilaisilla sisällöllä. Tarjouksien sisällöt on esitetty taulukossa 4.

TAULUKKO 4. Saatujen tarjousten vedenjäähdyttimien sisällöt

	Jäähdytys teho kW	Kylmäaine	Täytösmäärä kg /t CO ₂ ekv.	Kompressorien lukumäärä ja tyyppi	Käynnistys, säätö ja käytön opastus
Toimittaja 1	51,5	R410A	ei ilmoitettu	2 (Scroll)	ei
Toimittaja 2	51,3	R410A	7,5/15,660	2 (Scroll)	kyllä
Toimittaja 3	47,7	R410A	ei ilmoitettu	1 (Scroll)	kyllä

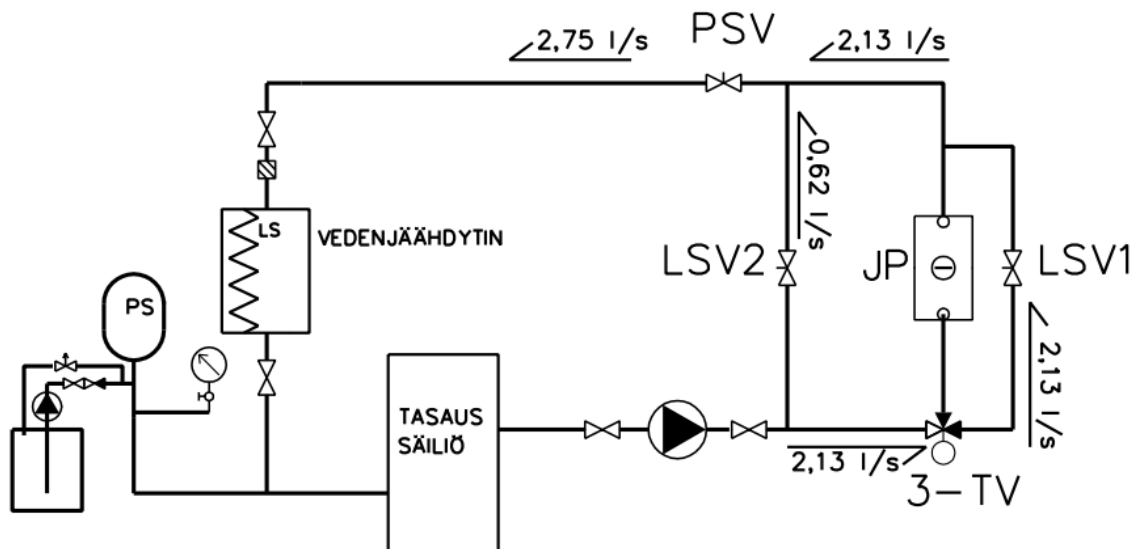
Tarjouspyyntöön vastanneet laitetoimittajat eivät tarjonneet vedenjäähdyttimiä, jotka olisivat olleet kylmäaineilla R32 tai R407C. Tarjouksien toimitussisältöä ja koneiden ominaisuuksia verrattaessa päädyttiin toimittajan 2 tarjouksen mukaiseen laitteistoon. Valintaa tehtäessä arvioitiin mm. huollettavuutta ja tärkeänä asiana pidettiin myös käynnistuksen, säädön ja käytönopastuksen sisällymistä toimitukseen.

6.3 Jäähdytysvesiputkisto ja putkistovarusteet

6.3.1 Putkisto

Alkuperäinen putkisto oli rakennettu teräsputkesta ja liitokset hitsaamalla. Putkisto päätettiin rakentaa kokonaisuudessaan uusiksi käyttäen kupariputkea ja liitokset tehtiin puristusliitoksilla. Kupariputkea ja puristusliitoksia päädyttiin käyttämään, koska haluttiin välttää tulitöitä pölyisessä ja ahtaassa IV-tilassa.

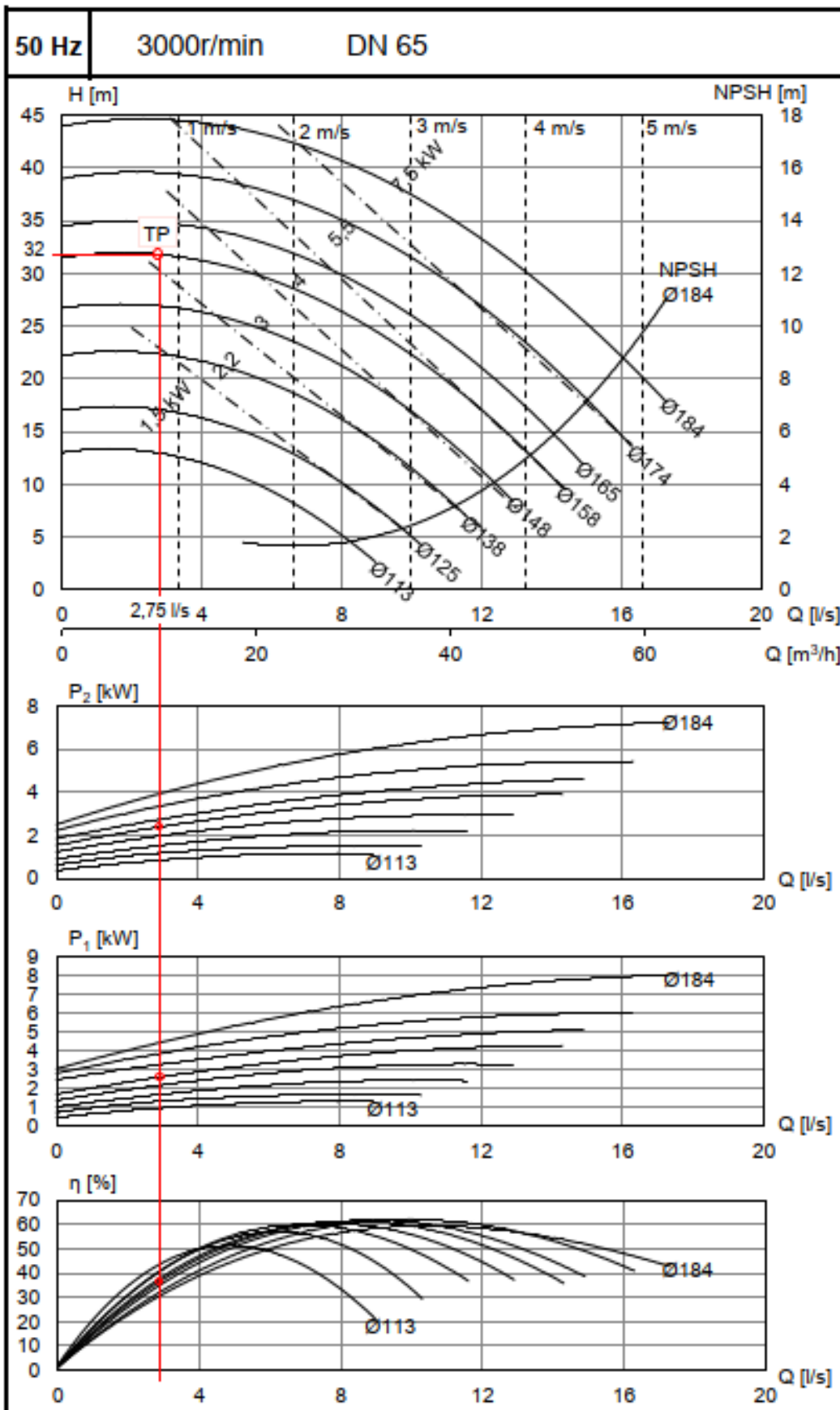
Valitun vedenjäähdyttimen levylämmönvaihtimelle annettiin valmistajan ohjeissa mitoitusvirtaamaksi 2,75 l/s. IV-koneen patterilla virtaama pyrittiin pitämään samana kuin alkuperäisessä suunnitelmassa (2,13 l/s). Putkistoon rakennettiin "ohivirtaus", jonka avulla virtaama IV-patterissa pidetään pienempänä kuin muualla verkostossa. Jäähdytysvesiputkisto ja virtaamat eri putkiston osissa on esitetty kuvassa 16.



KUVA 16. Jäähdytysvesiputkisto ja virtaamat eri putkiston osissa

6.3.2 Pumppu

Kiertovesipumpun mitoitusvirtaama on 2,75 l/s ja koko verkoston painehäviöksi laskettiin ilman pumpunsäätöventtiiliä 266,4 kPa (sis. IV-patterin painehäviö arvion n. 25 kPa). Kun otettiin huomioon pumpunsäätöventtiilin painehäviö, pumpuksi valittiin AL 1065/2 JP 158. Valitun pumpun nostokorkeus on toimintapisteessä n. 32 m. Tämän toimintapisteen mukaisesti hankittiin pumpulle Kolmeksilta vaihtosarja. Toisin sanoen palautettiin aiemmin käytössä ollut pumppu takaisin Kolmeksille ja saatiin tilalle uusi pumppu juoksupyörineen. Valitun pumpun pumppukäyrä ja toimintapiste on esitetty kuvassa 17.



KUVA 17. Pumppukäyrä ja toimintapiste (Kolmeks AL1065/2).

6.3.3 Höyrystin

Kylmäaineen höyrystimenä on levylämmönsiirrin, jossa kylmäaineen höyrystyminen sitoo lämpöä liuoksesta, joten liuos jäähtyy. Valmistajan tarjouksen liitteenä saatiin jäähdytyskoneen tiedot, jossa ilmoitettiin 35 %:n etyleeniglykolin mitoitusvirtaamaksi 2,75 l/s. Levylämmönsiirtimelle tuleva liuos kulkee roskasihdin läpi, joka estää epäpuhtauksien pääsemistä vaihtimelle. Levylämmönvaihtimessa virtauskanavat ovat hyvin ahtaat, joten epäpuhtauksien pääseminen vaihtimelle halutaan estää. Aiemmin tämän kokoluokan vedenjäähdyttimissä höyrystimenä oli yleensä putkivaihdin, niin kuin oli purettavassa laitteistossakin.

6.3.4 Säätöventtiili

Ilmastoinnin patterille menevää vedenvirtausta säädetään 3-tiesäätöventtiilillä, jota säätää toimimoottori. Venttiilin vaikutus säädettävään patteriin tulee olla riittävällä tasolla, jotta patterin lämpötilan säätö on mahdollista. Auktoriteetti on suhdeluku, joka kuvaa venttiilin säätökykyä patteriin nähden.

Auktoriteetti lasketaan seuraavalla kaavalla 3.

$$A_v = \frac{p_v}{p_v + p_p} \quad \text{KAAVA 3}$$

A_v auktoriteetti

p_v venttiilin painehäviö, kPa

p_p patterin painehäviö, kPa

Venttiilin painehäviö p_v liuokselle lasketaan kaavalla 4 (23)

$$\Delta p_v = \rho \times \left(\frac{Q}{Kv} \right)^2 \times \frac{1}{1000} \quad \text{KAAVA 4}$$

Δp_v	venttiilin painehäviö, bar
ρ	tiheys, kg/m ³
Q	tilavuusvirtaus, m ³ /h
K_v	virtausvakio, m ³ /h

Alkuperäinen säätöventtiili: LANDIS&GYR, VXG 41.32-16 [Kvs=16m³/h]

Valittu uusitun putkiston säätöventtiili: Belimo, R3040-16-S3 [Kvs=16 m³/h]

Kaavaan 4 sijoitettiin 35 prosenttisen etyleeniglykolin tiheys (1057,25 kg/m³), 3-tieventtiilin Kvs-arvo 16 m³/h ja tilavuusvirtaus (2,13 l/s=7,67m³/h), niin saatiin painehäviöksi 24,3 kPa (=0,243 bar). (22.;23.)

Venttiilin säätö on yleensä riittävä, kun auktoriteetin arvo on 0,3–0,5 välillä. Belimon venttiilin auktoriteetti laskettiin sijoittamalla kaavaan 3 aiemmin laskettu venttiilin painehäviö 24,3 kPa ja arvioitu patterin painehäviö 25 kPa. Auktoriteetiksi saatiin 0,49, jolloin venttiilin vaikutusaste on riittävä.

6.3.5 Tasaussäiliö

Tasaussäiliön mitoituksessa käytetään yleensä nyrkisääntönä, että jatkuvasti virtaavaa vettä tulee olla vedenjäähdytyskoneiston pienintä osatehoa kohti vähintään 24 dm³/kW. Tämä perustuu siihen, että koneiston seistessä tai käydessä 5 minuuttia veden lämpötila ei muutu keskimäärin enempää kuin 3°C. Liian pieni vesitilavuus aiheuttaisi jäähdytyskoneelle ongelmia, kuten esim. pätkäkäyntiä.

Projektikohteen VJK:n jäähdytysteholle pienin osateho saatiin pienemmän kompressorin tuottaman nimellisen jäähdytystehon 19,8kW perusteella. Kyseisessä kohteessa VJK vaatii vesiverkoston tilavuudeksi näin ollen 19,8 kW * 24 dm³/kW = 475,2 litraa. Tässä tapauksessa 500 litran tasaussäiliön koko on riittävä. (24, s. 67.)

6.3.6 Paisuntasäiliö

Kalvopaisuntasäiliö asennetaan aina mahdollisimman lähelle pumpun imupuolta, ja verkostonpaine on oltava suurempi kuin kaasun esipaine. Jos verkoston paine on pitempiä aikoja pienempi tai sama kuin esipaine, kalvo voi tarttua kiinni säiliöön. Kalvon kiinnitarttumisen aiheuttaa rakokorroosio. Korroosio on voimakkaampaa, jos kaasutila on typen sijasta täytetty ilmalla. (25, s. 2–3.)

Paisuntasäiliön koko määriteltiin seuraavalla kaavalla 5 (25, s. 8)

$$V_N = \frac{P_{YP} \times P_{AP}}{P_{EP} \times (P_{YP} - P_{AP})} \times \Delta V \quad \text{KAAVA 5}$$

V_N	<i>paisuntasäiliön nimellistilavuus, dm³</i>
P_{YP}	<i>verkoston normaali maksimipaine, kun liuos on lämmin, bar [ABS]</i>
P_{AP}	<i>verkoston täyttöpaine, kun liuos on kylmää (minimi käyttöpaine), bar [ABS]</i>
P_{EP}	<i>kaasun esipaine, bar [ABS]</i>
ΔV	<i>verkoston lämpölaajenemistilavuus, dm³</i>

$\Delta V = V \times L_{\%}$, missä V = verkoston tilavuus dm³ ja $L_{\%}$ = lämpölaajeneminen %

Huom! paineet ovat absoluuttisia paineita.

Lämpölaajenemiskertoimet etyleeniglykolille eri mitoituslämpötiloilla on esitetty taulukossa 5.

TAULUKKO 5. Lämpölaajenemiskertoimet etyleeniglykolille eri mitoituslämpötiloilla (26)

Laitoksen mitoitus- lämpötila °C	Lämpölaajenemiskerroin a			
	Vesi %	Vesi-glykoliseos 30 % %	40 % %	50 % %
10	0,04	0,96	1,40	1,69
20	0,18	1,40	1,88	2,18
30	0,44	1,88	2,38	2,72
40	0,79	2,39	2,92	3,28
50	1,21	2,94	3,50	3,89
60	1,71	3,52	4,12	4,54
70	2,28	4,15	4,77	5,22
80	2,96	4,81	5,47	5,94
85	3,21	5,15	5,84	6,31
90	3,59	5,52	6,21	6,70
95	3,94	5,88	6,60	7,10
100	4,35	6,26	6,99	7,51
105	4,74	6,65	7,39	7,92
107	4,99	6,90	7,65	8,19
110	5,15	7,06	7,82	8,36
120	6,06	7,89	8,69	9,25
130	6,94	8,78	9,61	10,20

Lämpölaajenemiskertoimena jäädytysvesiverkostossa käytetään +30 °C:n liuoksen lämpökerrointa, joka on 35-prosenttisella liuoksella n. 2,1 %. Kaasun esipaine määräytyy verkoston korkeudesta ja varmuuskertoimesta. Tässä tapauksessa verkoston korkeus on n. 3 metriä, joten esipaineeksi saatiin 5 m_{vp} eli 0,5 bar ja näin ollen alapaineeksi 1 bar. Varoventtiilin avautumispaineen (2,5 bar) perusteella yläpaineeksi saatiin 2 baria. Taulukon 6 mukaisesti laskettiin paisuntasäiliön koko Excel- ohjelman avulla kaavan 5 mukaisesti.

TAULUKKO 6. Paisuntasäiliön mitoitus tehtiin Excel taulukon avulla.

H_{verkosto}	3 m	V_{verkosto}	600 l	
H_{varmuus}	2 m	ΔV	12,6 l	
$\Delta V\%$	2,1 %			
P_w	2,5 bar	P_{EP}	0,5 bar	YP
ΔP_{TP}	0,5 bar	P_{AP}	1 bar	YP
ΔP_{LP}	0,5 bar	P_{YP}	2,0 bar	YP
$\Delta P_{\text{alajahäilytys}}$	0,1 bar	P_{EP}	1,5 bar	ABS
$\Delta P_{\text{ylajahäilytys}}$	0,1 bar	P_{AP}	2 bar	ABS
		P_{YP}	3,0 bar	ABS
		$P_{\text{alajahäilytys}}$	0,6 bar	YP
		$P_{\text{ylajahäilytys}}$	2,4 bar	YP
		V_N	50 l	
Hyötysuhteen pitää olla alle puoli		η	0,50	
		ΔV_T	12,6 l	

Paisuntasäiliön nimellistilavuudeksi saatu 50 litraa on myös valitun paisuntasäiliön todellinen koko.

6.3.7 Varoventtiili

Avautumispaine saa olla korkeintaan suurimman sallitun käyttöpaineen suuruinen, mieluummin alle sen. Tässä järjestelmässä valittiin varoventtiiliksi 2,5 bar:n avautumispaineella oleva varoventtiili.

6.3.8 Kertasäätöventtiilit

Kertasäätöventtiileiksi valittiin Oraksen säätöventtiilit. Säätöventtiileille määritettiin esisäätöarvot Oraksen säätötaulukon ja lasketuiden painehäviöiden perusteella. Säätöventtiileille asetettiin lasketut esisäätöarvot ja merkittiin ne myös mittauspöytäkirjaan, joka on liitteessä 3.

7 KÄYTÄNNÖN TOTEUTUS

7.1 VJK:n purku ja kylmäaineen talteenotto

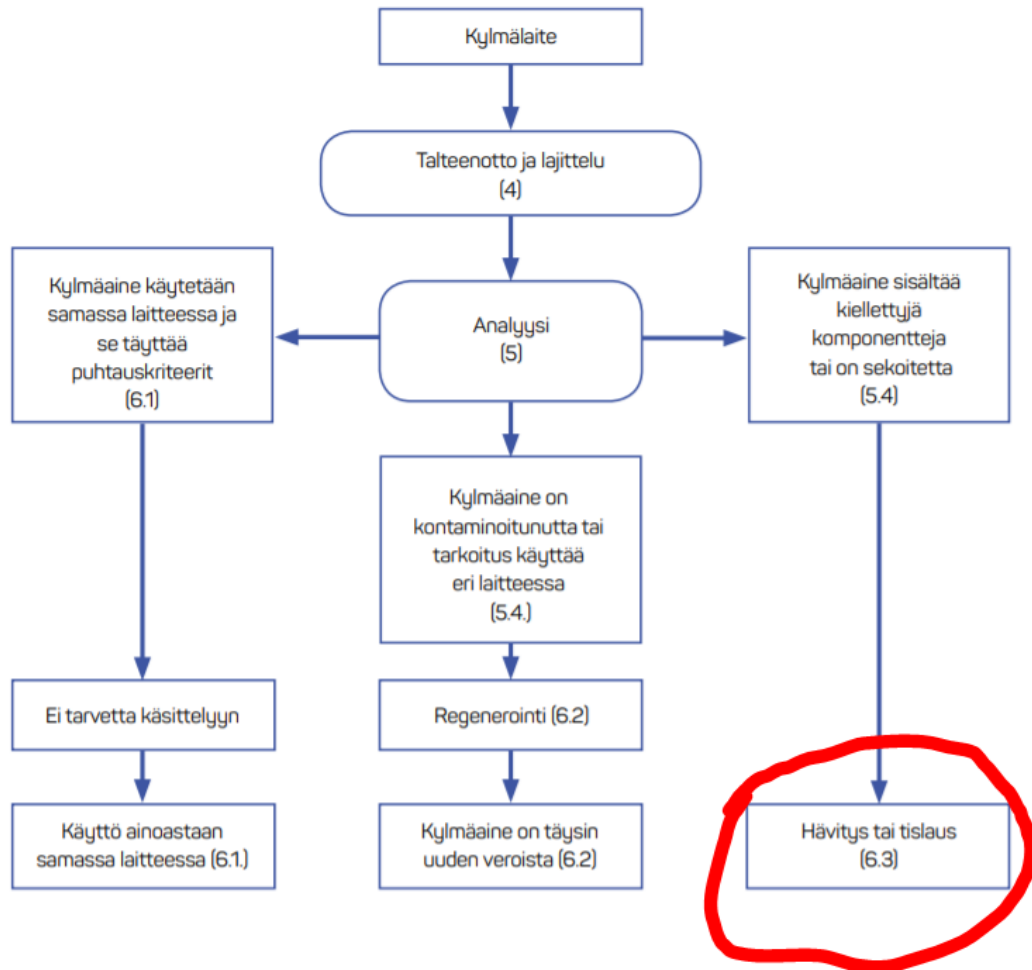
Vedenjäähdyttimen purkaminen aloitettiin sähköjen irtikytkennällä. Sähkön syötön sulakkeet poistettiin keskukselta ja tehtiin turvatoimet sähkötyöturvallisuusmääräysten mukaisesti, minkä jälkeen voitiin sähköjohdot ja kiinteistöautomaation johdot irrottaa vedenjäähdyttimeltä.

Purettavan koneikon jäähdytysputkisto laskettiin tyhjäksi ja katkaistiin putket koneelta. Koneikko nostettiin nosturilla maan tasolle ja samalla nostettiin uusi koneikko paikoilleen. Konepetiin tehtiin sovitte uudelle koneikolle teräspalkista ja sovitteeseen asennettiin myös tärinän vaimentimet. Purettu koneikko kuljetettiin LVI-verstaalle kylmäaineiden talteenottoa varten. (Kuva 18.)



KUVA 18. Vanha koneikko nostetaan pois ja uusi valmiina nostoon.

R22-kylmäaineet otettiin talteenottolaitteella jätekylmäainepulloon. HCFC-kylmäaineisiin lukeutuva R22 käyttö on kaikessa muodossa kiellettyä, ja se toimitetaan hävitykseen SKLL:n laatiman ohjeistuksen mukaisesti. Jätekylmäaineen kuljetus suoritetaan siirtokirjalla ja VAK-(ADR) kuljetuksena. Talteenotetun kylmäaineen käsittelyyn liittyvä toimintaohje on kuvassa 19. (27, s. 5.)



KUVA 19. SKLL:n toimintaohje talteenotetulle kylmäaineelle (27, s. 5)

Teräsputkisto katkottiin puukkosahalla pätkiksi ja toimitettiin kierrätykseen. Muovinen saavi, joka toimi täyttöastiana, sekä käsikäyttöinen täyttöastia poistettiin myös käytöstä. Kuvassa 20 on poistettavaa putkistoa sekä verkoston täyttöastia pumppuineen.



KUVA 20. Alkuperäistä putkistoa ja käsikäyttöinen täyttöpumppu

7.2 Putkistovarusteet ja sähkö

Uusi putkisto rakennettiin samoja putkistoreittejä pitkin, kuin aiemmat teräsputketkin kulkivat. Kupariputkelle liitokset tehtiin puristusosilla käyttäen puristuskonetta ja vältettiin näin tulitöiden tekeminen. Jäähdytysvesiverkoston uusittiin kaikki putkistovarusteet, kuten venttiilit, lämpömittarit, painemittari, paisuntasäiliö, täyttöastia ja täyttöpumppu. Kiinteistöautomaation valvonnakeskukseen lisättiin yksi moduuli, johon kytkettiin jäähdytysverkoston painetieto. Kiinteistöautomaation valvomoon saatiin siten näkymään verkoston paine, kun aiemmin valvomoon saatiin pelkästään painehälytys.

Täyttöpumpuksi asennettiin sähköllä toimiva täyttöpumppu, joka toimitettiin yhdessä muovisen kannellisen täyttösäiliön kanssa. Vanhasta jäähdytysvesiverkostosta jätettiin käyttöön ilmastointikoneen jäähdytyspatteri ja tasaussäiliö. Kun putkisto oli rakennettu ja todettu tiiviiksi, verkosto

täytettiin täyttöastiassa sekoitetulla liuoksella. Lopuksi putkisto eristettiin solukumi eristeellä sekä ulkotiloissa eristeet päällystettiin peltikuorella. (Kuvat 21 ja 22)



KUVA 21. Uusittua putkistoa ja putkistovaruksia ennen eristystä



KUVA 22. IV-koneen jäähdytyspatteri ja siihen liittyviä putkistoa varusteineen

Sähkön syöttökaapeli kytkettiin koneikkoon käyttäen vanhasta koneikosta irrotettua kaapelia. Valvonnalakeskukselta tulevalta kaapelilta kytkettiin uudelle koneelle kaapelit käyntilupaa ja hälytystietoa varten. Jäähdytysvesiverkoston kiertovesipumpun sähkönsyöttökaapeli todettiin riittäväksi, mutta pumpun lämpösuoja vaihdettiin vastaamaan nykyisen pumpun ottamaa virtaa.

7.3 Käyttöönotto

Jäähdytysvesiverkoston täyttöastiaan sekoitettiin 35-prosenttinen vesi/etyleeniglykoliseos ja se pumpattiin täyttöpumpun avulla verkostoon. Liuoksen ominaisuudet keskilämpötilassa 9,5 °C on esitetty kuvassa 23. Verkoston ilmaus suoritettiin katolle verkoston ylimpiin kohtiin asennettujen ilmaus venttiilien kautta.

Fluid	= Ethylene Glycol
X [vol %]	= 35,00
T [°C]	= 9,50
Density [kg/m ³]	= 1056,42
Specific heat [kJ/(kg K)]	= 3,526
Conductivity [W/(m K)]	= 0,422
Dynamic viscosity [10 ⁻⁵ Pa·s]	= 355,520
Kinematic viscosity [cSt]	= 3,365
Freeze point [°C]	= -20,01

KUVA 23. 35 prosenttisen vesietyleeniglykoliseoksen ominaisuudet käytönaikaisessa ka. lämpötilassa. Tiedot otettu Coolpack ohjelmasta. (24.)

Koneen käynnistyksen suoritti tarjouksen mukaisesti laitetoimittajan edustaja. Käyttöönotossa laitteen parametrejä muutettiin vastaamaan juuri tähän kohteeseen sopivaksi, kuten esim. säätimen tehdasasetuksena on lämpöpumppu-toiminto, joten parametrit muutettiin vastaamaan pelkkää jäähdytyskäyttöä.

Ennen ensimmäistä käynnistystä ilmeni ongelmia säätimen symbolien kanssa. Yleisesti on VJK:n säätimellä jäähdytystoimintoa kuvattu lumihiuatleella ja lämmityskäyttöä aurinko-symbolilla. Kyseisessä säätimessä on kuitenkin jostakin syystä ajateltu asia toisella tavalla ja symbolit ovatkin juuri päinvastoin. Asian selvittyä koneikko saatiin moitteetta käynnistettyä ja toiminnot testattua.

Muutama päivä koneen käynnistyksen jälkeen huomattiin kiinteistöautomaatiojärjestelmästä, että vedenjäähdytin oli mennyt häiriötilaan. Häiriön syyksi ohjauksyksikkö antoi höyrystimen virtauksen. Ulkolämpötilan laskiessa asetetun rajan alle vedenjäähdyttimen ja sen kiertovesipumpun käynti-

lupa lähtee pois päältä. Tarkasteltaessa vikaa huomattiin, että vedenjäähdytin meni häiriötilaan, kun käyntilupa kytkeytyi uudelleen päälle. Kiinteistöautomaatiojärjestelmästä laitettiin kiertovesipumppu käsikäytöllä pyörimään jatkuvasti, niin tämän jälkeen vika ei enää toistunut. Kyseinen vika saadaan poistettua, kun kiinteistöautomaatiojärjestelmään tehdään ohjelmallinen muutos siten, että kiertovesipumppu käynnistyy esim. 2 minuuttia ennen kuin VJK saa käyntiluvan.

Koneikon toiminnassa ei havaittu muita ongelmia ensimmäisen kesän aikana. Jäähdytysverkon virtaamia mitattiin sen jälkeen, kun koneikko oli ollut toiminnassa yhden kesän ajan. Siinä yhteydessä voitiin tehdä oletus, että katolla sijaitseva roskasihti olisi syytä puhdistaa ennen seuraavaa kesää ja suorittaa virtaamien mittaaminen sen puhdistamisen jälkeen uudelleen. Mittaus tulokset merkattiin mittauspöytäkirjaan, joka on esitetty liitteessä 3.

8 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli suorittaa vedenjäähdyttimen ja siihen liittyvien putkiston ja putkistovarusteiden uusiminen. Työn alkuvaiheessa myös rikkoontuneen vedenjäähdyttimen korjaamisesta käytiin jonkin verran keskustelua, mutta paremmaksi vaihtoehdoksi katsottiin uusia koko vedenjäähdytin.

Työssä tutustuttiin vedenjäähdyttimiin perehtymällä jäähdytysprosessiin sekä tutustumalla nykypäivän vedenjäähdyttimien yleisimpiin komponentteihin. Tässä työssä perehdyttiin myös kylmäaineisiin liittyviin rajoituksiin ja lainsäädäntöön sekä siihen, miten kylmäaineita vertaillaan.

Aluksi selvitettiin jäähdytyksen mitoitus tuloilmakoneella sekä vedenjäähdyttimellä. Niiden selvittämiseksi hankittiin tietoa paikanpäältä laitteista sekä tehtaan sisäiseen tietokantaan (Alma) tallennetuista tiedostoista, kuten tuloilmakoneen toimintakaaviosta (Liite 4). IV-patteriin kuuluva jäähdytysteho laskettiin hyödyntäen koulussa opittua teoriaa.

Tarjouskyselyn perusteella valittiin uusi vedenjäähdytin, joka asennettiin paikoilleen ja rakennettiin siihen liittyvä jäähdytysvesiverkosto putkistovarusteineen. Uusi vedenjäähdytin saatiin toimintakuntoiseksi ja toimistotilojen sisäilman lämpötilaa voitiin jäähdyttää, joten työn tavoite saavutettiin.

LÄHTEET

1. Kianta Jani 2008. Kylmäainetilanne 2008. Suomen kylmäyhdistys. Saatavissa: <https://iisoy.fi/wp-content/uploads/2019/05/kylmaainetilanne.pdf>. Hakupäivä: 16.12.2020.
2. SSAB lyhyesti. 2020. SSAB:n kotisivut . Saatavissa: <https://www.ssab.fi/ssab-konserni/tietoja-ssabsta/ssab-lyhyesti>. Hakupäivä: 16.12.2020.
3. SSAB Raahe. 2020. SSAB:n kotisivut. Saatavissa: <https://www.ssab.fi/ssab-konserni/tietoja-ssabsta/tuotantopaikkakunnat-suomessa/raahe>. Hakupäivä: 16.12.2020.
4. Kaappola, Esko- Hirvelä, Aulis- Jokela, Matti- Kianta, Jani. 2015. Kylmätekniikan perusteet. Nex Print Oy.
5. Aula Ari. 2019. Vedenjäähdyttimen valinta. Kylmätekniikan koulutuspäivät 2019.
6. The Different Types of Cooling Compressors. 2017. Schneider Electric. Saatavissa: https://download.schneider-electric.com/files?p_Doc_Ref=SPD_VAVR-AE7T7G_EN. Hakupäivä: 5.12.2020.
7. Nestejäähdyttimet ja lauhduttimet 2020. Chiller Oy. Saatavissa: <https://www.chiller.eu/fi/tuotteet/nestejaahdyttimet-ja-lauhduuttimet/>. Hakupäivä: 7.12.2020.
8. Alfa Laval CB Höyrystin. 2020. Ahlsell'in verkkokauppa. Saatavissa: <https://www.ahlsell.fi/34/kylma/04-lammonvaihtimet/levylammonvaihtimet/alfa-laval/762004226/>. Hakupäivä: 22.1.2021.
9. Termostaattiset paisuntaventtiilit. 2003. Danfoss. Saatavissa: <https://docplayer.fi/3961340-Vihjeita-asentajille-termostaattiset-paisuntaventtiilit.html>. Hakupäivä: 5.12.2020.
10. Electric Expansion Valves. 2018. Parker Hannifin Corporation, Sporlan Division. Saatavilla: <https://sporlanonline.com/literature/100/ev/100-20%20Electric%20Expansion%20Valves.pdf>. Hakupäivä 5.12.2020.
11. Manostats SFS Differential pressure switches. 2020. Mut Meccanica Tovo s.p.a. Saatavissa: www.mutmeccanica.com/prodottomutmeccanica.php?p=188. Hakupäivä: 7.12.2020.
12. Vedenjäähd. säädin dixell ic121cx. 2020. Kylmäverkko Oy. Saatavissa: <https://www.kylmaverkko.fi/catalog/product/view/id/2246>. Hakupäivä: 7.12.2020.

13. Phased the HFC phase-down definitively explained. 2018. The official journal of airah. Saatavissa: https://www.airah.org.au/Content_Files/EcoLibrium/2018/08-18-Eco-003.pdf. Hakupäivä: 22.1.2021.
14. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus N:o 1005/2009. 2009. Saatavissa: https://www.ymparisto.fi/fi-ilmasto_ja_ilma/otsonikerroksen_suojelu/Otsonikerrosta_heikentavia_aineita_koskevat_rajoitukset. Hakupäivä: 5.12.2020.
15. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus N:o 517/2014. 2014. Saatavissa: https://www.ymparisto.fi/fi-Ilmasto_ja_ilma/Kasvihuonekaasupaastojen_raportointi_ja_seuranta/Kasvihuonekaasupaastojen_seuranta_Suomessa/Fluoratut_kasvihuonekaasut#HCFC-kylmäaineiden%20kiellot. Hakupäivä: 5.12.2020.
16. Kylmälaitteiden omistajien lakisäätteiset velvoitteet. 2018. KylmäExtra. Saatavissa: https://www.kylmaextra.fi/lehdet/kylmaextra_1_2018/kylmalaitteiden_omistajien_lakisaateiset_velvoitteet. Hakupäivä: 5.12.2020.
17. Fluoratut kasvihuonekaasut. 2020. Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu. Saatavissa: <https://www.ymparisto.fi/fkaasut>. Hakupäivä: 9.12.2020
18. Kylmäainetilanne 2017. 2017. Suomen kylmäyhdistys. Saatavissa: <http://www.kylmayhdistys.fi/att.php?type=2&id=175>. Hakupäivä: 5.12.2020.
19. Hakala Pertti. 2010. R22 kylmäainevaihtoehtojen käytännön kokemuksia. Kylmätekniikan Koulutuspäivät 2010.
20. Seppänen Olli. 2004. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. LVI-Kustannus Oy.
21. Humidity Calculator 5.0. 2017. Vaisala. Saatavissa: <https://www.vaisala.com/fi/lp/humidity-calculator>. Hakupäivä: 14.1.2021
22. Mark Hegberg. 2014. Understanding the Selection and application of Hydronic Systems Control Valves. NEBB Annual Conference. Saatavissa: https://www.nebb.org/assets/1/7/Control_Valves_Mark_Hegberg.pdf. Hakupäivä 9.1.2021
23. Fluidiikkalaskuri, 2021. Bürkertin kotisivut. Saatavissa: <https://www.burkert.fi/fi/Asiakaspalvelu-ja-varaosat/Tuki/Terminologia/Fluidiikkalaskuri>. Hakupäivä: 22.1.2021.
24. Jäähdytysjärjestelmien simulointiohjelma CoolPack Version 1,49. 2000–2010. IPU & Department of Mechanical Engineering Technical University of Denmark.

25. Kianta Jani. 2019. Välilliset jäähdytysjärjestelmät ja putkistovarusteet. Suomen kylmäyhdistys ry. Saatavissa: www.kylmayhdistys.com/www/att.php?type=2&id=191. Hakupäivä: 5.12.2020.
26. Niskala Mikko. 2017. Välillisen järjestelmän putkistovarusteet. Kylmätekniikan koulutuspäivät 2017.
27. Paisuntajärjestelmän valinta ja mitoitus LVI 11-10472. 2011. Rakennustieto. Saatavissa: https://www.rakennustietokauppa.fi/sivu/tuote/lvi-11-10472-paisuntajarjestelman-valinta-ja-mitoitus/2743075?gclid=EAlaIQobChMI96in-C07gIVQhN7Ch1U9gZJEAYASAAEgJVmPD_BwE. Hakupäivä: 5.12.2020. (maksullinen lisenssi).
28. Toimintaohje talteenotetulle fluoratulle kylmäaineelle. 2018. Suomen kylmäliikkeiden liitto ry. Saatavissa: https://www.kylmaextra.fi/files/177/talteenotettuKylmaaine_a4_netti.pdf. Hakupäivä: 5.12.2020.
29. SSAB:n Alma-tietokantaan tallennettu materiaali. (yrityksen sisäinen materiaali).

LIITTEET

Liite 1 Vedenjäähdyttimen tiedot ja osaluettelo

Liite 2 Erilaisten sovellusten kylmäainerajoituksia

Liite 3 Mittauspöytäkirja

Liite 4 Toimintakaavio TK-5

Vedenjäähdyttimen tiedot ja osaluettelo

Merkki: TRANE

Malli: BCGB 050 Sarjanumero: PR-4385-G0 Valmistusvuosi: 2019







Kylmäaine/GWP: R410 A/ 2088 Kylmäainemäärä: 7,5 kg = 15,660 t CO₂ ekv.

Öljyn tyyppi: P.O.E. 160SZ

Sähkön syöttö: 400V/3~ +N/ 50Hz (MAX 30,4 kW/55,1 A)

KOMPONENTTI	MERKKI+MALLI	LISÄTIEDOT
Kompressor 1	Danfoss DSH140A4ALB	400V 3~, MAX 28A, Öljy: P.O.E. 160SZ
Kompressor 2	Danfoss DSH090A4ALB	400V 3~, MAX 19 A, Öljy: P.O.E. 160SZ
Lauhdutinpuhallin 2KPL	ebmpapst A3G630-BM07-H1	230V, 900min ⁻¹ , EC-puhallin 0-10V
Paisuntaventtiili	Sporlan SER-D	2500 askelta
EX-venttiilin säädin	Carel EVD Evolution	
VJK:n säädin	Dixell, IC121CX -12200	24V AC/DC
Virtauskytkin	SFS-025-M1 G1/4	PN 10 bar, Δp_{\max} 5 bar
Painekeytkimet	Danfoss	
Painelähtetimet	Carel	

ERILAISTEN SOVELLUSTEN KYLMÄAINERAJOITUKSIA

Kohta	Kielto	Kommentit	Kuvaesimerkki
nro 10	Kotitalouksien jääkaapit ja pakastimet, jotka sisältävät fluorihiihivetyjä, joiden GWP on vähintään 150, kielto astui voimaan 1.1.2015 alkaen	Käytännössä kaikki uudet kotitalouksien kylmälaitteet toimivat jo hiilivedyillä, pääasiassa iso-butaanilla (R600a)	
nro 11	Kaupalliseen käyttöön tarkoitetut jääkaapit ja pakastimet (ilmatiiviisti suljetut laitteet), jotka sisältävät fluorihiihivetyjä, joiden		
nro 11 a	- GWP on vähintään 2 500, kielto astuu voimaan 1.1.2020	Tarkoittaa R404A:n ja R507A:n käyttökieltoa 1.1.2020 alkaen	
nro 11 b	- GWP on vähintään 150, kielto astuu voimaan 1.1.2022	Tarkoittaa käytännössä nykyisten F-kaasujen käyttökieltoa, mutta suuri osa uusista kaupan kylmän omakoneellisista kalusteista toimii jo hiilivedyillä, joko propaanilla (R290) tai butaaneilla (R600 ja R600a)	
nro 12	Kiinteät jäähdytyslaitteet, jotka sisältävät fluorihiihivetyjä 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 astuu voimaan 1.1.2020	- Tarkoittaa esimerkiksi R404A:n ja R507A:n käyttökieltoa 1.1.2020 alkaen HUOM. F-kaasuasetuksessa "jäähdytyslaitteet"-sana ei kata ilmastoinnin jäähdytystä eikä lämpöpumppuja, millä on merkitystä mm. huoltokiellon kannalta (ks. kappale "Huoltokäyttö" jäljempänä)	
nro 13	Kaupalliseen käyttöön tarkoitetut monikompressoriset keskusjäähdytysjärjestelmät, joiden arvioitu kapasiteetti on vähintään 40 kW ja jotka sisältävät fluorattuja kasvihuonekaasuja tai joiden toiminta perustuu niihin ja joiden GWP on vähintään 150, lukuun ottamatta kaskadijärjestelmien primääriä kylmäainepiiriä, jossa voidaan käyttää fluorattuja kasvihuonekaasuja, joiden GWP on alle 1 500, kielto astuu voimaan 1.1.2022	- Kaupan kylmän keskuskooneellisissa järjestelmissä ollaan valtaosin jo siirtymässä CO ₂ -järjestelmiin (R744) - Kaskadikoneikoissa primääripuolella voidaan kuitenkin käyttää F-kaasuja, joiden GWP-arvo on alle 1500, kuten R134a. Tässä tapauksessa kylmäkalusteiden jäähdytys on tehtävä välillisenä järjestelmänä.	
nro 14	Liikkuvat huoneilmastointilaitteet (jotka on suljettu ilmatiiviisti ja joita loppukäyttäjät pystyy siirtämään huoneesta toiseen), jotka sisältävät fluorihiihivetyjä, joiden GWP on vähintään 150, kielto astuu voimaan 1.1.2020		
nro 15	Single split -ilmastointijärjestelmät, jotka sisältävät alle 3 kg fluorattuja kasvihuonekaasuja, jotka sisältävät fluorattuja kasvihuonekaasuja tai joiden toiminta perustuu niihin, joiden GWP on vähintään 750, tai joiden toiminta perustuu niihin, kielto astuu voimaan 1.1.2025	- F-kaasusta jäisi jäljelle R32 sekä uudet kylmäaineet ja seokset	

MITTAUSPÖYTÄKIRJA

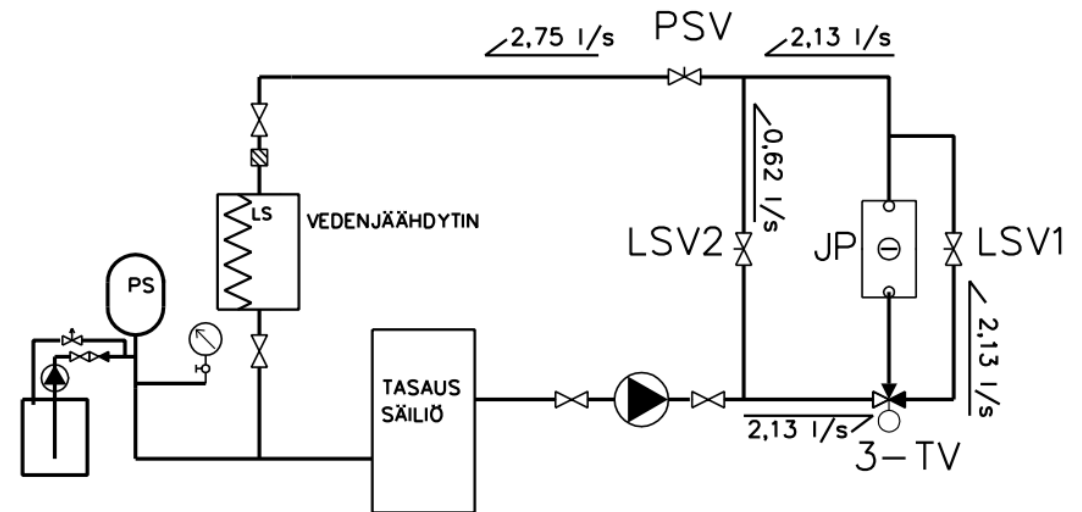
Käytetty mittalaite: TA-CMI FCC ID: RYT550

Mittarin virhemarginaalit:

-paine-ero: 0,2kPa tai 1% (kumpi on isompi)

-virtaus: paine-eron virhe + venttiilin poikkeama

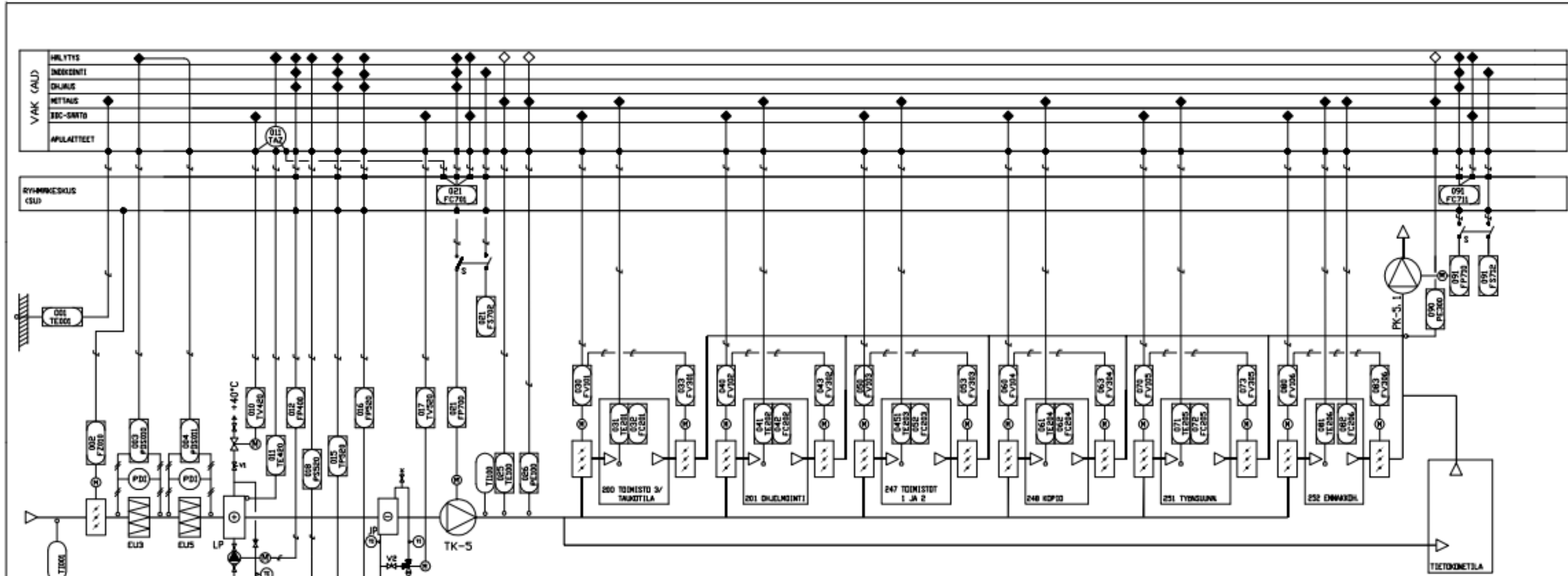
Mitattava neste: 35% vesi/etyleeniglykoli



TUNNUS	KOKO	VENTTIILI	SUUNNITELTU			MITTAUS 1			MITTAUS 2		
			VIRTAAMA [l/s]	PAINE-ERO [kPa]	ESISÄÄTÖ ARVO	VIRTAAMA [l/s]	PAINE-ERO [kPa]	SÄÄTÖ ARVO	VIRTAAMA [l/s]	PAINE-ERO [kPa]	SÄÄTÖ ARVO
PSV	DN 40	Oras 410040	2,75	53,6	8	2,37	12,5	10			
LSV 1	DN 32	Oras 410032	2,13	25	10	1,33	25,3	8			
LSV 2	DN 25	Oras 410025	0,62	50	5,5	0,55	38,5	6			

HUOM! Mittaus 2 suoritetaan sen jälkeen, kun roskasihti on puhdistettu.

TOIMINTAKAAVIO TK-5



PIIRI	TUNNUS	NIMIKE	TEKNISET TIEDOT/AS.ARVO	HANKINTA
001	TE001	ULKOILMATUNTOELIN	-40...+40°C	AU
002	FZ010	SULKUPELTI		IU
003	POS010	PAINE-EROHÄLYTIN	0...500Pa	AU
004	POS011	PAINE-EROHÄLYTIN	0...500Pa	AU
010	TV420	SÄÄTOVENTTIILI	0.37 l/s, 20 kPa	AU
011	TE420	VESTITUNTOELIN		AU
012	FP400	LÄMPÖJOHTOPUMPPU	0.56 l/s, 30 kPa	IU
015	TP520	VEDENJÄÄHDYTYN	CGAE-102 (TRANE) 49,4kW	IU
016	FP520	JÄÄHDYTYSPUMPPU	2.13 l/s, 64 kPa	IU
017	TV520	SÄÄTOVENTTIILI	2.13 l/s, 30 kPa	AU
018	PS520	PAINEMITTARI	HÄLYTTÄVÄ	AU
021	FP700	TULOILMAPUHALLIN	+1260...375 l/s	IU
021	FC701	TAAJUUSMUUTTAJA		SU
021	FS702	TURVAKYTKIN		SU
025	TE100	KANAVATUNTOELIN		AU
026	PE100	PAINEANTURI	0...500 Pa	AU
030	FV101	VIRTAUSSÄÄDIN	OPTIVENT	IU
031	TE201	HUONETUNTOELIN		AU
032	FC201	ILMAMÄÄRÄN SÄÄTÖ		IU
033	FV301	VIRTAUSSÄÄDIN	OPTIVENT	IU
044	FV102	VIRTAUSSÄÄDIN	OPTIVENT	IU
041	TE202	HUONETUNTOELIN		AU
042	FC202	ILMAMÄÄRÄN SÄÄTÖ		IU
043	FV302	VIRTAUSSÄÄDIN	OPTIVENT	IU
050	FV103	VIRTAUSSÄÄDIN	OPTIVENT	IU
051	TE203	HUONETUNTOELIN		AU
052	FC203	ILMAMÄÄRÄN SÄÄTÖ		IU
053	FV303	VIRTAUSSÄÄDIN	OPTIVENT	IU
060	FV104	VIRTAUSSÄÄDIN	OPTIVENT	IU
061	TE204	HUONETUNTOELIN		AU
062	FC204	ILMAMÄÄRÄN SÄÄTÖ		IU
063	FV304	VIRTAUSSÄÄDIN	OPTIVENT	IU

PIIRI	TUNNUS	NIMIKE	TEKNISET TIEDOT/AS.ARVO	HANKINTA
070	FV105	VIRTAUSSÄÄDIN	OPTIVENT	IU
071	TE205	HUONETUNTOELIN		AU
072	FC205	ILMAMÄÄRÄN SÄÄTÖ		IU
073	FV305	VIRTAUSSÄÄDIN	OPTIVENT	IU
080	FV106	VIRTAUSSÄÄDIN	OPTIVENT	IU
081	TE206	HUONETUNTOELIN		AU
082	FC206	ILMAMÄÄRÄN SÄÄTÖ		IU
083	FV306	VIRTAUSSÄÄDIN	OPTIVENT	IU
090	PE100	PAINEANTURI	0...500 Pa	AU
091	FP710	POISTOPUHALLIN	-1150...325 l/s	IU
091	FC711	TAAJUUSMUUTTAJA		SU
091	FS712	TURVAKYTKIN		SU
091	LP	LÄMMITYSPATTERI	ILMA: 750 l/s, -32/20°C VESI: 60/40°C	IU
091	JP	JÄÄHDYTYSPATTERI	ILMA: 1300 l/s 31°C 40 %RH/14°C esin NRA 6B EPDM-tilv. DN 20, av.paine 2.5 bar 40 l, esipaine 0.5 bar 500 l, 4 bar	IU
P1	KÄSIPUMPPU			IU
VW	VAROVENTTIILI			IU
PS	KALVOPAIN.-ASTIA			IU
S1	TASAUSÄILIÖ			IU
FS	VIRTAUSKYTKIN			IU
TE	VESTITUNTOELIN			IU
POI	PAINE-EROMITTARI	0...500 Pa		AU
TI001	LÄMPÖMITTARI	-40...+40°C		AU
TI100	LÄMPÖMITTARI	+10...+35°C		AU
V1	LINJASÄÄTOVENTTIILI			IU
V2	LINJASÄÄTOVENTTIILI			IU
V3	LINJASÄÄTOVENTTIILI			IU

TOIMINTASELOSTUS

KOJEEEN KÄYNNINOHJAUS
Tuloilmapuhallin FP700 käynnistyy aikaohjelman mukaisesti. Poistoilmapuhallin FP710 käynnistyy tuloilmapuhallimen käynnistyessä. Vaihtoehtoisesti puhaltimet voidaan käynnistää ryhmäkeskuksen käsi-kytkimistä.

KOJEEIDEN KÄYDESSÄ
Raitisilmapelti FZ010 on auki.
Säätöohjelma ohjaa sarjassa lämmitys- ja jäähdytyspatterin tehoa niin, että asetettu lämpötila TE100 toteutuu.
Säätöohjelma ohjaa lämpötilatuntoelmien TE201...TE206 mittaustulosten perusteella virtausääntimiä FV101...FV306 siten, että huonelämpötilat pysyvät asetusarvoissaan.
1. korras: virtausääntiin avautuu max. arvoonsa
2. korras: lämpötilatuntoelmien TE100 asetusarvoa pienennetään asetetun säätökäyrän mukaisesti
Huonelämpötilojen asetusarvoja voidaan muuttaa huonesäätimistä FC201...FC206.
Paineanturi PE100 ohjaa taajuusmuuttajan avulla tuloilmapuhallimen FP700 käyntiä piteän kanavapaineen asetusarvossa.
Paineanturi PE300 ohjaa taajuusmuuttajan avulla poistoilmapuhallimen FP710 käyntiä piteän kanavapaineen asetusarvossa.

VARO- JA SUOJATOIMINNOT
Tuloilmapuhallin FP700 ei saa käydä jos kiertovesipumppu FP400 ei käy.
Jos paluuvien lämpötila TE420 laskee alle asetetun jäähdytysrajan TK 5 pyähtyy ja tapahtuu hälytys.
Jäähdytyskoje JK 5.1 ei saa käydä jos kiertovesipumppu FP520 ei käy.

KOJEEEN SEISTESSÄ
Tuloilmapelti FZ010 on kiinni.
Jäähdytysrajan ehkäisemiseksi pyritään paluuvien lämpötila pitämään asetusarvossa. TE420 mittaustuloksen perusteella säädin ohjaa venttiiliä TV420.

LVI-automaation johdotukset
Sähköurakoitsija vetää kaapelit laitteiden hoikkivivisteiden läpi, kampo ja merkitsee kaapelit ja johtimet kytkentävalmiiksi sekä kytkee luettelonmukaiset kaapelit.
LVI-automaation (DDC-järjestelmän) kaapelointien hankintarajat ovat:

Kohde	Hankki	Asentaa	Merkitsee	Kytkee	Huom.
Syöttöjohdot U<75 VAC	SU	SU	SU	SU	
Syöttöjohdot U<75 VAC	SU	SU	SU	SU	
Ohjaukkojohdot U<75 VAC	SU	SU	SU	SU	
Ohjaukkojohdot U<75 VAC	SU	SU	SU	SU	
Ohjaukkojohdot U<75 VAC	SU	SU	SU	SU	
Kenttäliikennekaapeli U<75 VAC	SU	SU	SU	SU	
Kenttäliikennekaapeli U<75 VAC	SU	SU	SU	SU	
Muut kaapelit U<75 VAC	SU	SU	SU	SU	
Muut kaapelit U<75 VAC	SU	SU	SU	SU	

Valvonta-alakeskukseen asennetaan 24 VAC lähdöt virtausääntimien FV101...FV301 jännitesyöttöä varten (AU)

<p>Rautaruukki Oyj Divisioona Metals</p>	Kansiojaku	30.6.1995	Toimittaja	Positio	KS LA
	Päiväys	30.6.1995	Akup.nro	Suhde	KOKSAAMO
	Suunn./Piirt.		CAD/Rev.		KORJAAMON TYÖNJOHTOTILOJEN ILMASTOINTI
	Tark./Hyv.		AutoCAD		TK-5
					Lehti
					Piir.nro

TOIMINTAKAAVIO