

Kaius Mertanen

# Kylmäaineen R22 korvaaminen ja katsaus kylmäaineiden tulevaisuuteen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

19.11.2014

Tekijä Otsikko  Sivumäärä Aika	Kaius Mertanen Kylmäaineen R22 korvaaminen ja katsaus kylmäaineiden tulevaisuuteen  29 sivua + 2 liitettä 19.11.2014
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI-tuotantopainotteinen
Ohjaajat	työnjohtaja Tero Penttinen yliopettaja Aki Valkeapää
<p>Tämän insinööriyön tavoitteena oli suorittaa R22-kylmäaineella olevan vedenjäähdytyskoneikon kylmäaineen vaihdos alusta loppuun sekä mitata hyötysuhde ennen, sekä jälkeen kylmäainevaihdoksen. Työn oli tarkoitus toimia käytännönläheisenä oppaana kylmäainevaihdokselle sekä tarkastella vaihdostyötä laajalta rintamalta.</p> <p>Kuitenkin äkillisen kompressorin rikkoutumisen vuoksi päädyttiin vaihtamaan koko koneikko, minkä vuoksi työssä käsitellään kylmäaineen vaihtotyötä teoriapohjalta. Työssä vertaillaan eri kylmäainevaihtoehtoja, niiden soveltuvuutta erilaisiin laitoksiin, eri öljytyypeille, lämmönvaihtimille sekä eri tiivistemateriaaleille.</p> <p>Työn lopussa käydään läpi vielä tulevaisuuden näkymiä kylmäainelainsäädännön ja eri kylmäaineiden välillä.</p>	
Avainsanat	kylmäaine, R22, vaihtotyö

Author(s) Title	Kaius Mertanen Replacing R22 and the future of refrigerants
Number of Pages Date	29 pages + 2 appendices 19 November 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building services engineering
Specialisation option	HVAC engineering, Production Orientation
Instructors	Tero Penttinen, Supervisor Aki Valkeapää, Principal Lecturer
<p>The aim of this Bachelor's thesis was to execute a refrigeration change into a water cooling unit and to measure the efficiency of the system before and after the execution. The thesis was intended to serve as a practical guide for future refrigeration change projects, as well as to examine the project from different angles.</p> <p>However, before the start of the efficiency measurements one of the compressors broke down and the goal of the thesis changed to be more theory than practical. The customer decided to replace the whole water cooling unit instead of repairing the old one.</p> <p>The thesis introduced different solutions for an old water cooling unit, and discussed when it is worthwhile to replace the refrigerant and when it is time to change the whole water cooling unit.</p> <p>Furthermore, The thesis is discussed the future prospects for refrigerant legislation, as well as which refrigerants will be used for which processes.</p>	
Keywords	Refrigerant, R22, replacing

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Kylmäkoneiston toimintaperiaate	1
2.1	Ideaalinen kylmäprosessi	2
2.2	Teoreettinen kylmäprosessi	3
2.3	Todellinen kylmäprosessi	6
3	Historia	7
4	Kylmäaine R22	8
4.1	Yleistä eri vaihtoehtoista	8
4.1.1	Ei tehdä mitään ja luotetaan hyvään onneen	9
4.1.2	Vaihdetaan HCFC-kylmäaineen tilalle HFC-huoltokylmäaine	9
4.1.3	Sovitetaan vanha kylmälaitos HFC-kylmäaineelle	10
4.1.4	Romutetaan vanha ja rakennetaan tarpeisiin sopiva uusi laitos	11
5	Kylmäaineen vaihtotyö	11
5.1	Laitteistoon tutustuminen	11
5.2	Kylmäaineen valinta	13
5.3	Öljyn valinta	14
5.4	Painelaitteet ja varoventtiilit	15
6	Lämmönvaihdin	16
6.1	Levylämmönvaihdin	16
6.2	R22-moniputkilämmönvaihdin	18
6.2.1	R22-höyrystin	18
6.2.2	R22-lauhdutin	19
6.3	R407C-moniputkilämmönvaihdin	19
6.3.1	R407C-höyrystin	19
6.3.2	R407C-lauhdutin	20
6.4	Tiivisteet ja o-renkaat	20
7	Vaihtotyö käytännössä	21

7.1	Ongelmat vaihtotyössä	23
7.1.1	R422D-kylmäaine	23
7.1.2	R427A-kylmäaine	23
7.2	Muita vaihtoehtoja kylmäaineiksi	24
7.2.1	R424 (RS-44)	24
7.2.2	R427 (FX100)	24
7.2.3	R434A (RS-45)	24
8	Kylmäaineiden tulevaisuuden näkymät	25
8.1	Yleinen näkymä kehityksen suunnasta	25
8.2	Vuototarkastusrajat	25
8.3	Uudet käyttökiellot	26
9	Johtopäätökset	28
9.1	Vanhan laitoksen toiminnan jatkaminen uudella kylmäaineella	28
9.2	Kylmäaineiden tulevaisuus	29
	Lähteet	30
	Liitteet	
	Liite 1. Eri HFC-kylmäaineiden vertailua R22-kylmäaineeseen	
	Liite 2. Tiivistemateriaalit ISCEON® MO79:n kanssa	

## Lyhenteet

CFC	Chlorofluorocarbons, Täysin halogenoituja hiilivetyjä, jotka sisältävät klooria, fluoria ja hiiltä.
GWP	Global Warming Potential. Ilmastoja lämmittävä vaikutus.
HFC	Hydrofluorocarbons, Osittain halogenoituja hiilivetyjä, jotka sisältävät fluoria, hiiltä ja vetyä.
HCFC	Hydrochlorofluorocarbons, Osittain halogenoituja hiilivetyjä, jotka sisältävät klooria, fluoria, hiiltä ja vetyä.
MO	Huoltokylmäaine
ODP	Ozone Depletion Potential. Otsonikerrosta tuhoava vaikutus.
R	Refrigerant. Kylmäaine.
VJK	Vedenjäähdytyskone

## 1 Johdanto

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli suorittaa kylmäainevaihto R22-kylmäaineella olevaan vedenjäähdytyskoneikkoon. Työn tarkoituksena oli tehdä mittauksen ennen ja jälkeen kylmäainevaihdon ja verrata tuloksia keskenään. Ennen varsinaisen tutkimuksen aloitusta vedenjäähdytyskoneen kompressori alkoi kuitenkin osoittaa merkkejä tulevasta vauriosta, ja näin ollen kylmäainevaihdon tilalle päätettiin uusia koko koneikko.

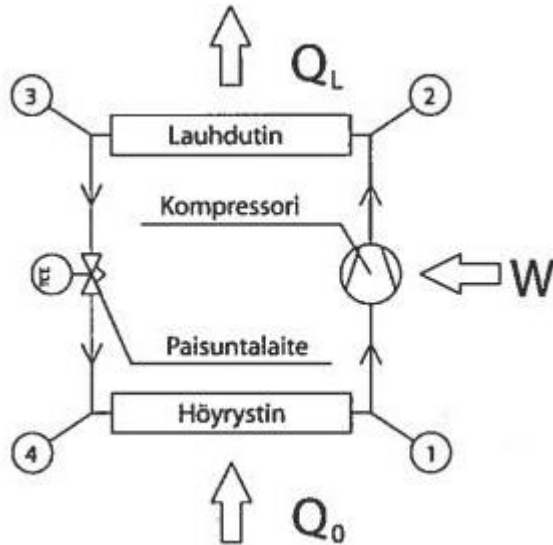
Koska käytännön osuus jäi työstä pois, päädyin tarkastelemaan kylmäainevaihtotyötä teoriassa, korvaavia kylmäaineita sekä kiinnittämään huomiota tulevaisuuden kylmäaineisiin. Työn tarkoitus on esitellä lukijalle eri vaihtoehtoja suhtautumiseen vanhalla kylmäaineella olevaan laitokseen sekä vertailla eri vaihtoehtoja käytännössä.

Tulevaisuuden näkymiä tarkastellaan viimeisimmän tiedon perusteella ja pyritään ennakoimaan, miten kylmäainelainsäädäntö tulee muuttumaan jatkossa.

## 2 Kylmäkoneiston toimintaperiaate

Kylmäkoneistoissa kylmän tekeminen perustuu suljetussa piirissä kiertävän kylmäaineen höyrystymiseen ja lauhtumiseen (1, s. 10). Kylmäaine höyrystyy höyrystimessä ja näin ollen sitoo lämpöä lämpimämmästä ympäristöstä. Kompressori imee kylmäainehöyryä ja puristaa sen korkeampaan paineeseen, jolloin kylmäainehöyryn lämpötila, sekä paine nousevat. Puristettu kuumakaasu siirtyy lauhtuttimelle, jossa se luovuttaa lämpöä ympäristöön, näin ollen kuumakaasu nesteytyy. Paisuntalaitteessa nestemäisen kylmäaineen paine laskee, jolloin neste muuttuu neste-höyryseokseksi ja samalla seoksen lämpötila laskee. (1, s. 10.)

Kuvassa 1 on esitetty kylmäkoneiston pääkomponentit.



Kuva 1. Kylmäkoneiston pääkomponentit. (1, s. 10.)

## 2.1 Ideaalinen kylmäprosessi

Carnot-prosessia kutsutaan ideaaliseksi kylmäprosessiksi. Prosessissa kylmäaineen höyrystyminen ja lauhtuminen tapahtuvat isotermisesti, joka tarkoittaa näiden tapahtuvan vakioilämpötilassa. Suurimmat mahdolliset kylmä- ja lämpökertoimet saadaan Carnot-prosessista. Carnot-kylmäkerroin riippuu vain höyrystymis- ja lauhtumislämpötilasta. Carnot-kylmäkerroin lasketaan kaavalla

$$\varepsilon_c = \frac{T_0}{T_L - T_0} \quad (1)$$

jossa  $\varepsilon$  on kylmäkerroin,  $T_0$  on höyrystymislämpötila (K) ja  $T_L$  on lauhtumislämpötila (K) (1, s. 11)

Carnot-lämpökerroin saadaan kaavasta

$$\varphi = \frac{T_L}{T_L - T_0} \quad (2)$$

jossa  $\varphi$  on lämpökerroin,  $T_L$  lauhtumislämpötila (K), ja  $T_0$  on höyrystymislämpötila (K)

Kylmäprosessin hyötysuhteesta käytetään nimitystä kylmäkerroin  $\varepsilon$ . Kylmäkerroin lasketaan kaavalla 3.



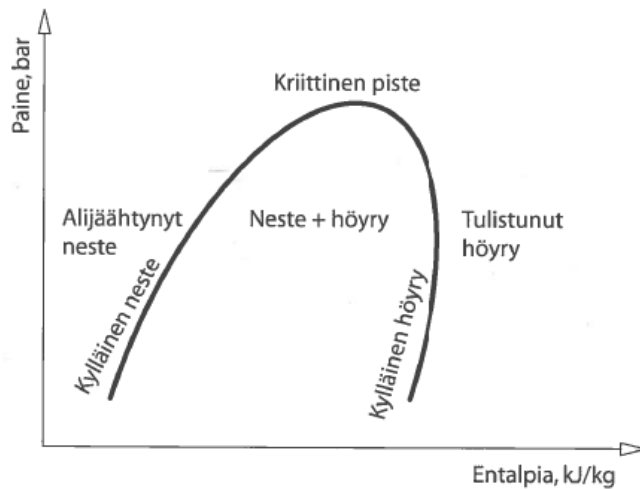
Kylmäkertoimen laskeminen

$$\varepsilon = \frac{Q_0}{W} \quad (3)$$

jossa  $\varepsilon$  on kylmäkerroin,  $Q_0$  höyrystimen sitoma lämpö ja  $W$  kompressorin tekemä työ

## 2.2 Teoreettinen kylmäprosessi

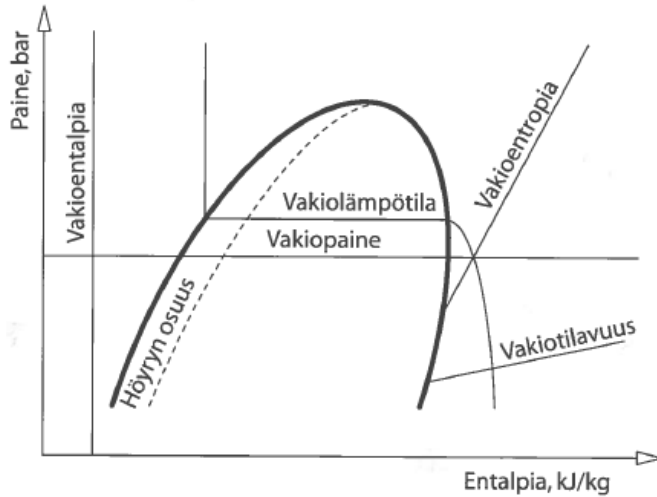
Kylmätekniset prosessit kuvataan yleensä log p, h -tilapiirroksella. Kuvassa 2 olevassa tilapiirroksessa nähdään kylmäaineen eri olomuodot. Kuvassa näkyvää mustaa yhteistä viivaa kutsutaan kylmäaineen rajakäyräksi. Rajakäyrällä kylmäaine on joko kyläistä nestettä tai kylläistä höyryä. Kriittinen piste kuvaa pistettä, jonka yläpuolella höyry ei enää lauhdu, vaikka paine laskisi. Rajakäyrien välissä on alue, jossa on nesteen ja höyryn sekoitusta. (1, s. 11.)



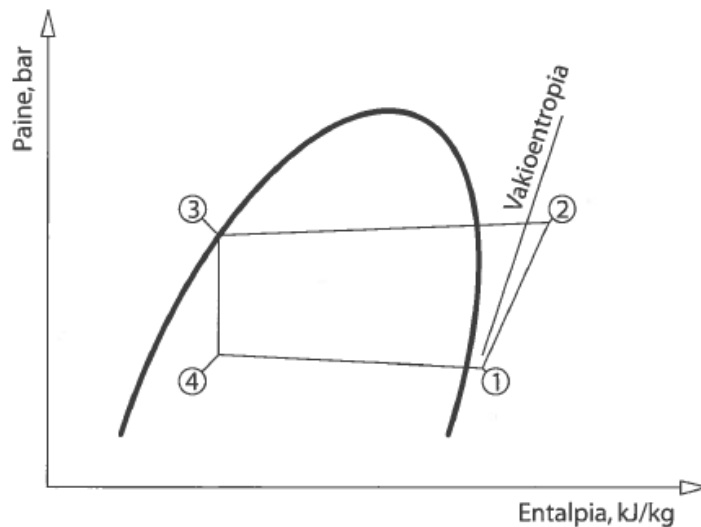
Kuva 2. Log p, h -tilapiirros. (1, s. 11.)

Koko kylmäaineprosessi on mahdollista esittää log p, h -tilapiirroksessa. Prosessin eri kohdissa olevalle kylmäaineelle voidaan lukea tietyn kohdan lämpötila, paine, entalpia, entropia, ominaistilavuus ja höyryn osuus. Kuvassa 3 esitettyssä log p, h -tilapiirroksessa nähdään atseotrooppisille ja yksikomponenttisille kylmäaineille piirretty tilapiirros. Näillä kylmäaineilla lämpötila pysyy vakiona koko höyrystymisen tai lauhutumisen ajan.

Tseotrooppisten kylmäaineiden tilapiirros poikkeaa tästä vakio lämpötilan suhteen. Kuvassa 4 on esitetty log p, h -tilapiirros tseotrooppisille kylmäaineille. Tilapiirroksista näkee, miten lämpötila muuttuu höyrystymisen tai lauhtumisen aikana. Tätä kutsutaan lämpötilaliukumaksi. (1, s. 11-12.)

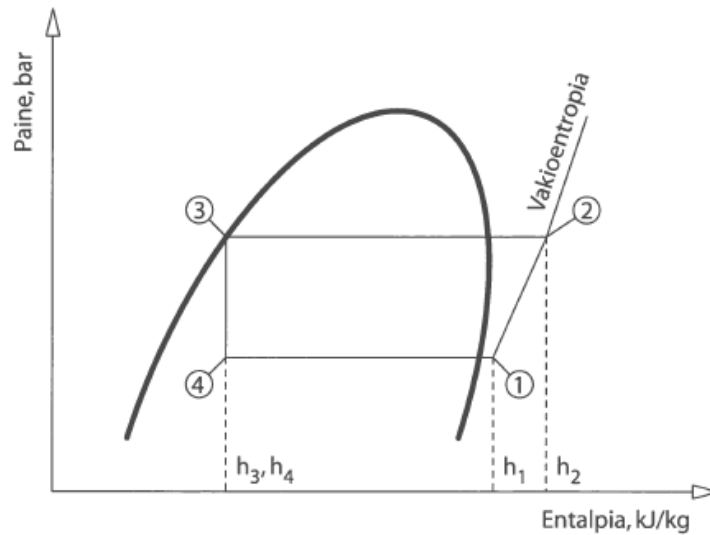


Kuva 3. Log p, h -tilapiirros atseotrooppisille kylmäaineille. (1, s. 11.)



Kuva 4. Log p, h -tilapiirros tseotrooppisille kylmäaineille. (1, s. 12.)

Kuvassa 5 näkyy teoreettinen kylmäprosessi yksinkertaistettuna. Kuvasta voidaan lukea esimerkiksi pisteissä 1–4 tapahtuvan kompressorin puristuksen kylmäaineen ominaisuudet. Vaaka-akselilta voidaan lukea kylmäaineen entalpia (kJ/kg) ja pystyakselilta voidaan lukea kylmäaineen paine (bar). Teoreettisessa kompressorin puristuksessa ei ole häviöitä, ja näin ollen kylmäaineen entropia ei muutu kompressorin puristusvaiheessa. Puristus tapahtuu vakioentropia-viivan suuntaisesti. (1, s. 12.)

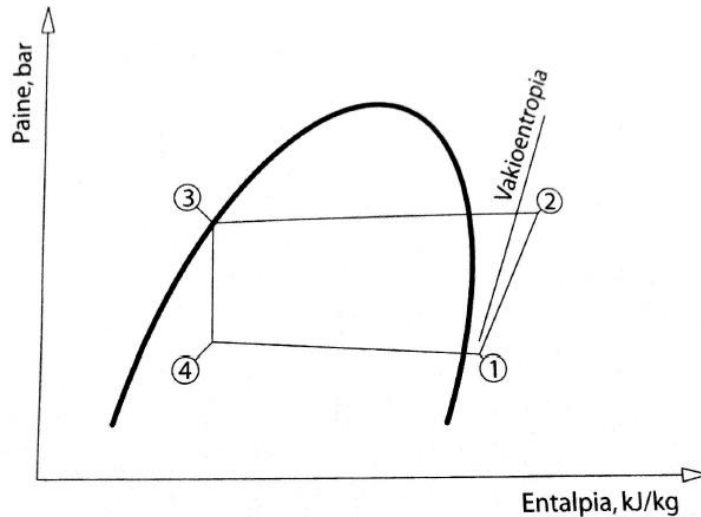


Kuva 5. Teorettinen kylmäprosessi log p, h-tilapiirroksessa. (1, s. 12.)

Kuvassa 5 olevalta vaaka-akselilta voidaan laskea entalpioiden muutos kierron eri kohdissa. Esimerkiksi kompressorin tekemä työ  $W$  ( $h_1 - h_2$ ) voidaan laskea vähentämällä pisteen  $h_2$  entalpiasta pisteen  $h_1$  entalpia. Höyrystimessä tapahtuva entalpioiden muutos ( $h_1 - h_4$ ) jaetaan kompressorissa tapahtuvalla entalpioiden muutoksella ( $h_2 - h_1$ ) saadaan kylmäkerroin. Vastaavasti jakamalla lauhduttimessa tapahtuva entalpioiden muutos ( $h_2 - h_3$ ) kompressorin entalpiamuutoksella, saadaan lämpökerroin. (1, s. 12.)

### 2.3 Todellinen kylmäprosessi

Todellisessa kylmäprosessissa painehäviöitä tapahtuu kompressorissa, lauhduttimessa, höyrystimessä ja putkivarustuksissa. Tästä johtuu, että todellinen kylmäprosessi ei vastaa kylmäprosessia teoriassa. Kuvassa 6 on esitetty log p, h -tilapiirros todellisesta kylmäprosessista.



**Kuva 6. Todellinen kylmäprosessi log p, h -tilapiirroksessa. (1, s. 13.)**

Kuvasta voidaan nähdä, että tilapiirros poikkeaa kuvan 5 tilapiirroksesta. Höyrystyminen (4–1) ei tapahdu enää vakioämpötilassa, vaan höyrystimessä ja imuputkessa tapahtuu painehäviöitä. Lisäksi kompressorin puristus ei ole häviötön, jolloin todellinen puristusprosessi ei ole isentrooppinen, vaan kaartuu oikealle (1–2). Kompressorin isentrooppinen hyötysuhde on usein välillä 0,6-0,7. Isentrooppinen hyötysuhde riippuu, kompressorityypistä, painesuhteesta, sekä kierrosnopeudesta. Paineputkessa ja lauhduttimessa (2–3) suora kaartuu hieman alaspäin johtuen näiden osien painehäviöstä, jolloin lauhtuminen ei tapahdu vakioämpötilassa. (1, s. 12–13.)

### 3 Historia

1900-luvun alussa kylmäaineena käytettiin hiilidioksidia ( $CO_2$ ), ammoniakkia ( $NH_3$ ), rikkidioksidia ( $SO_2$ ) ja metyylikloridia ( $CH_3Cl$ ). Näiden kylmäaineiden haittavaikutuksena on niiden myrkyllisyys ihmiselle ja luonnolle. Osa näistä kylmäaineista oli myös palavia, joka oli suurena haittapuolena. 1920-luvun lopussa amerikkalainen kemisti Thomas Midgley kehitti DuPoint-nimisessä yrityksessä CFC-yhdisteet. Nämä yhdisteet levisivät nopeasti niiden palamattomuuden, myrkyttömyyden sekä stabiilisuuden ansiosta. DuPoint nimitti ensimmäisiä CFC ja HCFC-kylmäaineita freoneiksi, jotka ovat käytössä edelleen. (2, s. 2.)

1970-luvulla ensimmäiset epäilykset CFC-kylmäaineiden haitallisuudesta otsonikerrokselle heräsivät. Vasta noin kymmenen vuoden kuluttua havahduttiin asian vakavuuteen, jolloin alettiin sopia kansainvälisiä sopimuksia CFC-kylmäaineiden käytön rajoittamiseksi. Tärkeimpänä näistä voidaan pitää 1987-luvulla solmittua Montrealin sopimusta. CFC-kylmäaineiden käyttö lopetettiin 1995 ja niiden seuraajista HCFC-kylmäaineista aiotaan luopua vuoteen 2029 mennessä. (2, s. 2.)

Taulukko 1. Kylmäaineiden käyttörajoitukset. (5, s. 4.)

Kylmäaine	Käyttörajoitukset
<b>CFC-</b> kylmäaineet (esim. R11, R12, R502)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• käyttö kielletty uusissa laitoksissa ja laitteissa 1.1.1995 alkaen</li> <li>• käyttö kielletty huollossa 1.1.2001 alkaen</li> </ul>
<b>HCFC-</b> kylmäaineet (esim. R22, R401, R402, R403, R408, R409)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• käyttö kielletty uusissa laitoksissa ja laitteissa 1.1.2000 alkaen</li> <li>• käyttö kielletty huollossa uusilla aineilla 1.1.2010 alkaen</li> <li>• käyttö huollossa kierrätetyillä aineilla sallittu 31.12.2014 saakka</li> <li>• käyttö kielletty huollossa 1.1.2015 alkaen</li> </ul>
<b>HFC- ja PFC-</b> kylmäaineet (esim. R134a, R404A, R407C, R410A, R507A)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• käyttö uusissa laitoksissa ja laitteissa sallittu</li> <li>• käyttö kielletty uusien ajoneuvojen ilmastointilaitteissa 1.1.2011 alkaen</li> <li>• käyttö kielletty kaikkien ajoneuvojen ilmastointilaitteissa 1.1.2017 alkaen</li> </ul>

## 4 Kylmäaine R22

### 4.1 Yleistä eri vaihtoehdoista

Käyttämättömien osittain halogenoitujen kloori-fluorihilivetyjen, eli HCFC-kylmäaineiden käyttö olemassa olevien jäähdytys- ja ilmastointilaitoksien kunnossapidossa ja huollossa kiellettiin 1.1.2010 alkaen. (3, s. 1.)

Kylmäainetta on käytetty erilaisissa kylmäsovelluksissa, kuten

- kylmä- ja pakastehuoneiden kylmäkoneistoissa
- kylmä- ja pakastevästöjen kylmäkoneistoissa
- jäähdytys- ja pakastustilojen kylmäkoneistoissa
- kaupan rinnan kytketyissä kylmäkoneistoissa
- elintarviketeollisuuden pumppukiertoisissa kylmäkoneistoissa
- prosessin vedenjäähdytyskoneistoissa
- prosessi-ilman jäähdytys- ja kuivauskoneistoissa
- paineilman kuivaimissa
- lämpöpumpuissa
- tekojääratojen kylmäkoneistoissa.

Käytön rajoitusten vuoksi vanhojen R22-laitteistojen kohtalo on hyvä selvittää etukäteen ja suunnitella miten laitteistojen kohdalla toimitaan. (4, s. 1.)

Käytännössä on neljä vaihtoehtoa:

1. Ei tehdä mitään, vaan luotetaan hyvään onneen, ettei tule vuotoja.
2. Vaihdetaan ennalta suunnitellusti laitos toimimaan HFC-huoltokylmäaineella.
3. Sovitetaan vanha laitos toimimaan HFC-kylmäaineelle.
4. Romutetaan vanha laitos ja rakennetaan tarpeisiin sopiva uusi laitos.

#### 4.1.1 Ei tehdä mitään ja luotetaan hyvään onneen

Jäähdytyskohteesta riippuen voidaan päättää käyttää laitos elinkaarensa loppuun. Mikäli tähän päädytään, täytyy miettiä todella tarkasti, mitä seuraa, jos jäähdytys ei yhtäkkiä toimikaan? Miten jäähdytettävän kohteen käy?

On huolehdittava siitä ettei vanhaan laitokseen tule vuotoja. Tässä korostuu huollon suorittavan osapuolen rooli. Tilaan voidaan asentaa myös automaattinen vuodonilmaisujärjestelmä, jolloin laitteistosta saadaan hälytys nopeasti. Mikäli laite vuotaa jostain syystä, laitteiston uudelleen käyttöönotto vaatii suurempia toimenpiteitä, edessä on kylmäaineen vaihtotyö tai laitteiston uusiminen. HCFC-kylmäaineen joukkoon ei saa lisätä HFC-huoltokylmäainetta tai HFC-kylmäainetta. Uusi seos saattaa alkaa käyttäytymään todella yllättävästi paineiden ja lämpötilojen osalta. Lisäksi ongelmia voi syntyä öljynpalautuksen ja tiivisteiden kanssa. (3, s. 1–2.)

#### 4.1.2 Vaihdetaan HCFC-kylmäaineen tilalle HFC-huoltokylmäaine

Kun suunnittelun jälkeen päädytään vaihtamaan vanhan HCFC-kylmäaineen tilalle korvaava HFC-huoltokylmäaine, on mahdollista käyttää vanha laitos elinkaarensa loppuun. Kylmäaineen vaihtotyö voidaan suunnitella huolellisesti ja valmistavat työvaiheet suorittaa etukäteen, sekä varata tarvittavat komponentit valmiiksi. Huoltokylmäaineelle ei tarvitse vaihtaa uutta öljytyyppiä, vaan vanha öljy voidaan hyödyntää. Toisaalta öljynvaihto on aina suositeltavaa, mikäli se voidaan tehdä kompressoria irrottamatta, tällöin voidaan käyttää samaa öljyä kuin laitteistossa on alun perin käytetty (6).

Kylmäaineen vaihtotyö on aina suunniteltava huolellisesti, jotta yllättäviltä ongelmilta välttyttäisiin. Näin saadaan varmistettua mahdollisimman hyvin koneen toimivuus ja luotettavuus uudella kylmäaineella sekä minimoitua vuotoriskit.

Mikäli jäähdytettävät tilat tarvitsevat jäähdytystä koko ajan on suunniteltava, miten jäähdytettävän kohteen lämpökuorma poistetaan huoltotyön ajan. Koneikko on joka tapauksessa pois käytöstä muutamasta tunnista, jopa useampaan vuorokauteen. Mikäli koneikon jäähdytysteho on ennestään mitoitettu tarvittavan jäähdytystehon rajoille, ei kylmäainevaihdosta pidä suorittaa. Jäähdytysteho tulee lähes poikkeuksetta laskemaan vähintään noin 5 % nykyisestä, vastaavasti energiankulutus tulee nousemaan. (3, s. 2.)

#### 4.1.3 Sovitetaan vanha kylmälaitos HFC-kylmäaineelle

Vanhan laitoksen sovittaminen HFC-kylmäaineelle mahdollistaa laitoksen käytön elinkaarensa loppuun asti. Laitoksen sovittaminen HFC-kylmäaineelle on huomattavasti edellistä ongelmattomampi vaihtoehto, koska esterioöljyn ja HFC-kylmäaineen välinen keskinäinen käyttäytyminen tunnetaan paljon paremmin, toisaalta taas HFC-kylmäainetta sovitettaessa on huomioitava tiivisteiden vaihtotyö sekä niiden sopivuus käytettävän kylmäaineen kanssa. Verrattuna edelliseen tässä vaihtoehdossa laitos saattaa olla pidemmän aikaa poissa käytöstä.

Työ alkaa huolellisella suunnittelutyöllä, jolla minimoidaan ja kartoitetaan ongelmat jatkossa. Selvitetään myös nykyisten komponenttien soveltuvuus uudelle HFC-kylmäaineelle sekä suunnitellaan tarvittavat muutostyöt, jotta laitteisto saadaan toimimaan mahdollisimman luotettavasti uudella kylmäaineella sekä välttämään jälleen kylmäainevuodot.

Kun laitos on tyhjä vanhasta kylmäaineesta, vaihdetaan vanhan öljyn tilalle esterioöljy. Laitos huuhdellaan uudella öljyllä ja öljyä vaihdetaan niin monta kertaa, että vanhan öljyn tilavuus uudessa öljyssä saadaan mahdollisimman alhaiseksi, kuitenkin vähintään 5 %:iin tilavuudesta valmistajasta riippuen.

Esterioöljyn ominaisuus on irrottaa likaa vanhasta järjestelmästä, jolloin lika lähtee liikkeelle ja saattaa tukkia suodattimia ja venttiileitä. (3, s. 3.)



#### 4.1.4 Romutetaan vanha ja rakennetaan tarpeisiin sopiva uusi laitos

Uuden laitteiston rakennus voi monessa tapauksessa tulla edullisimmaksi ratkaisuksi pitkällä tähtäimellä. HCFC-laitokset ovat kuitenkin aina yli 10 vuotta vanhoja. Laitteistoksi voidaan valita käyttökohteeseen hyötysuhteeltaan paras kylmäaine ja laitostyyppi, jolloin saadaan säästöä päivittäiseen energiantarpeeseen. Laitoksen kylmäaineeksi voidaan valita HFC-kylmäaine tai vaihtoehtoisesti luonnollinen kylmäaine. Laitteeseen voidaan myöntää myös takuu tässä vaihtoehdossa. (3, s. 4.)

## 5 Kylmäaineen vaihtotyö

### 5.1 Laitteistoon tutustuminen

Työ aloitetaan esiselvityksellä. Esiselvityksellä varmistamaan työn järkevyys sekä kar-  
toitetaan mahdolliset ongelmakohtat.

- Vanhaan laitteeseen tutustutaan huolella ja selvitetään, vastaako se tämän päivän tarpeita ja mahdollisesti tulevaisuuden tarpeita, eli onko jäähdytettävään tilaan mahdollista lisätä lämpökuormaa yhtään enempää tulevaisuudessa? Miten käy jos tilojen käyttötarve muuttuu tulevaisuudessa?
- Vanhan laitteiston öljynpalautukseen on kiinnitettävä paljon huomiota ja tutkittava, miten se on toiminut vanhalla kylmäaineella? Onko ongelmia ollut? On tutkittava mahdollisia ongelmakohtia öljynkierron kannalta kylmäaineen vaihdon jälkeen. Mikä öljytyyppi on käytössä ja minkälainen työ olisi öljyn vaihtaminen?
- Mikä on olemassa olevan laitteiston lauhdutustehontarve? Miten käy kylmäaineen vaihdon jälkeen?
- Mikä on vanhan laitteiston hyötysuhde ennen kylmäaineen vaihtoa? Jäähdytysteho tulee hyvin todennäköisesti laskemaan vähintään 5 % nykyisestä. Miten käy hyötysuhteen?
- Uudella kylmäaineella massavirta tulee kasvamaan ja sitä mukaa painehäviö tulee kasvamaan. Miten käy putkimitoituksen?

- Mikä on laitoksen nykyinen maksimikäyttöpaine? Riittääkö varaajan maksimikäyttöpaine uudelle kylmäaineelle vai joudutaanko mm. varaaja vaihtamaan (R404A, R422A, R507A)?
- Tarkastetaan komponenttien o-renkaat. Minkälainen tulee olemaan komponenttien vaihtotyö? Onko mahdollista vaihtaa suodatinkuivaaja yhtä kokoa suurempaan?
- Soveltuuko vanha kompressori uudelle kylmäaineelle?
- Vedenjäähdytyskoneikoissa tulisi aina selvittää valmistajalta tai maahantuojalta korvaavan kylmäaineen soveltuvuus.
- Vanhan laitoksen kunnon tarkistus sekä mahdollisten vuotojen korjaus.
- Ennen kylmäaineen vaihtoa tarkastetaan ja selvitetään kylmlaitoksen säädöt, jotta nähdään, miten laitos on toiminut ennen kylmäaineen vaihtoa. Laitteen toiminta olisi hyvä varmistaa luotettavalla mittauslaitteistolla ennen kylmäaineen vaihtotyöhön ryhtymistä.
- Suoritetaan laitteiston huolellinen koekäyttö.
- Mitataan ja kirjataan talteen päätoiminta-arvot
  - Höyrystymis- ja lauhtumislämpötilat
  - Imukaasun, kuumakaasun sekä öljyn lämpötilat
  - Käynnistys- ja pysäytystaajuus
  - Käyntivirrat
  - Höyrystimen ja lauhtuttimen väliaineen tulo- ja lähtölämpötilat. (3, s. 5.)

## 5.2 Kylmäaineen valinta

R22-järjestelmän sovittamiseen on pääsääntöisesti käytettävissä kaksi vaihtoehtoa. Laitteiston kylmäaine voidaan korvata HFC-huoltokylmäaineella (MO tai vastaava) tai vaihtoehtoisesti käyttää HFC-kylmäaineita (taulukko 2) R134a, R404A, R407A, R407C ja R507A.

Taulukko 2. Kylmäainevaihtoehtoja R22:n korvaamiseen. (3, s. 5.)

Kauppa-nimi	Ashrae-tunnus	Käyttö-alue	HFC-32	HFC-125	HFC-134a	HCF-143a	Pro-paani	n-bu-taani	Iso-butane	Iso-pentaani
	R404A	LT,MT		44	4	52				
	R407A	LT,MT	20	40	40					
	R407C	AC	23	25	52					
	R507A	LT,MT		50		50				
MO 59	R417A	AC		46,6	50			3,4		
MO 79	R422A	LT,MT		85,1	11,5				3,4	
MO29	R422D	MT,AC		65,1	31,5				3,4	
RS-44	R424A	MT,AC		50,5	47			1	0,9	0,6
FX100	R427A	LT,MT,AC	15	25	50	10				
RS-52	R428A	LT,MT,AC		77,5		20	0,6		1,9	
RS-45	R434A	MT,AC		63,2	16	18			2,8	
MO99	R-438A	AC	8,5	45	44,2			1,7		0,6

Kylmäaine tulee aina valita käyttötarpeen mukaan. Edellisten vaihtoehtojen lisäksi on vaihtoehtoisina luonnonmukaiset kylmäaineet R290 (propaani), R717 (ammoniakki) ja R744 (hiilidioksidi). Eri kylmäaineiden ominaisuudet poikkeavat suuresti toisistaan eri lämpötila- ja painealueilla. Fysikaalisilta ominaisuuksiltaan R290 vastaa lähes täysin R22:ta.

Kylmäaineen korvaaminen HFC-huoltokylmäaineella mahdollistaa vanhan mineraaliöljyn käytön, jolloin öljyn vaihto ei ole välttämätöntä. Toisaalta öljy kannattaa aina vaihtaa, mikäli se onnistuu kompressorin irrottamatta.

Huoltokylmäaineita käytettäessä on huomioitava lämmönvaihtimen tehonlasku. Mikäli lämmönvaihdin on jo nykyisellä jäähdytystehontarpeella mitoitettu niukasti, ei kylmäaineen vaihto ainakaan lisää jäähdytystehoja.

Huoltokylmäaineiden kaasun tiheys on suurempi verrattuna R22:een. Massavirta kasvaa, mistä seuraa suuremmat painehäviöt putkistossa ja säätöventtiileissä. Tätä voidaan paikata asentamalla imu- ja nestelinjan välinen lämmönvaihdin, joka lisää jäähdytystehoja ja parantaa kylmäkerrointa.

Kumitiivisteiden (O-renkaat) tarkistus/vaihto täytyy suorittaa kylmäainevaihdoksen yhteydessä. Tiivisteisiin diffusoitunut vanha kylmäaine poistuu hitaasti tiivisteistä, jolloin tiiviste ei välttämättä vuoda heti vaihtotyön jälkeen. Tiivisteet mahdollisesti turpoavat tyhjiöinnin seurauksena. Käytännössä kumitiivisteet vaihdetaan aina, kun se on mahdollista suorittaa.

### 5.3 Öljyn valinta

Tilanteesta riippuen huoltokylmäaineelle voidaan valita myös puolisynteettinen (M/AB), alkyylibentseeniä (AB) tai esteriöljyä (POE). Mikäli päädytään käyttämään HFC-kylmäaineita, on öljyksi vaihdettava esteriöljy (POE). Esteriöljyä vaihdettaessa vanhan mineraaliöljyn tilavuus saa olla maksimissaan 5 %.

Huoltokylmäaineille ei välttämättä tarvitse vaihtaa öljyä esteriöljyksi, mikäli vanhassa järjestelmässä ei ole ollut ongelmia öljyn palautumisessa. Koska esteriöljy liukenee huonosti huoltokylmäaineisiin, voi öljyn palautumisen kanssa tulla ongelmia. Järjestelmään on hyvä lisätä öljynerotin, jolla voidaan vähentää öljyn kulkeutumista kylmäainekierto. Puolisynteettinen öljy liukenee erittäin huonosti nestemäiseen huoltokylmäaineeseen (alle 1 %). Tästä seuraa öljyn kerääntyminen nestevaraajaan nestemäisen kylmäaineen pinnalle.

Mikäli vaihdetaan vanhan kylmäaineen tilalle uusi kylmäaine ja öljy alkaa hukkaa laitokseen, edellyttää ongelma huolellista tutkimista. Öljyn vajausta ruvetaan selvittämään lisäämällä laitokseen pieniä määriä esteriöljyä kerrallaan. Mikäli koeajossa öljy alkaa vaahtoamaan vielä voimakkaammin, pitää koneikkoon vaihtaa esteriöljy.

Öljyä vaihdettaessa on huomioitava esteriöljyn ominaisuus irrottaa likaa putkistosta. Imulinja on varustettava riittävän kokoisilla imusuodattimilla, jolloin voidaan vähentää putkistosta irronneen lian kulkeutumista kompressoriin.

Toisin kuin puolisynteettisellä öljyllä, kylmäaine liukenee matalalla painesuhteella ja kuumakaasun lämpötilalla voimakkaasti esteriöljyyn. Näin esteriöljyn viskositeetti pienenee ja voitelukyky heikkenee. Tästä voi seurata kompressorin ennenaikaista kulumista tai jopa mekaaninen rikkoutuminen.

#### 5.4 Painelaitteet ja varoventtiilit

Kylmäaineen vaihtotyön yhteydessä koneen varolaitteet on aina syytä uusia. Joissakin vanhoissa R22-laitoksissa laitoksen suunnittelupaine voi olla 24 bar. Taulukosta 3 näemme, että vaikeuksia tulee HFC-kylmäaineiden R404A, R422A ja R507 kanssa suunnittelupaineen vastatessa kylläisen höyryn painetta 55 °C:ssa. Näistä ongelmista selvittää vaihtamalla tarvittavat komponentit uutta käyttöpainetta vastaaviin, kuten varaajat ja varoventtiilit. (3, s. 19.)

Taulukossa 3 on esitetty kylmäaineiden kylläisen höyryn paineita lämpötilassa 55 °C.

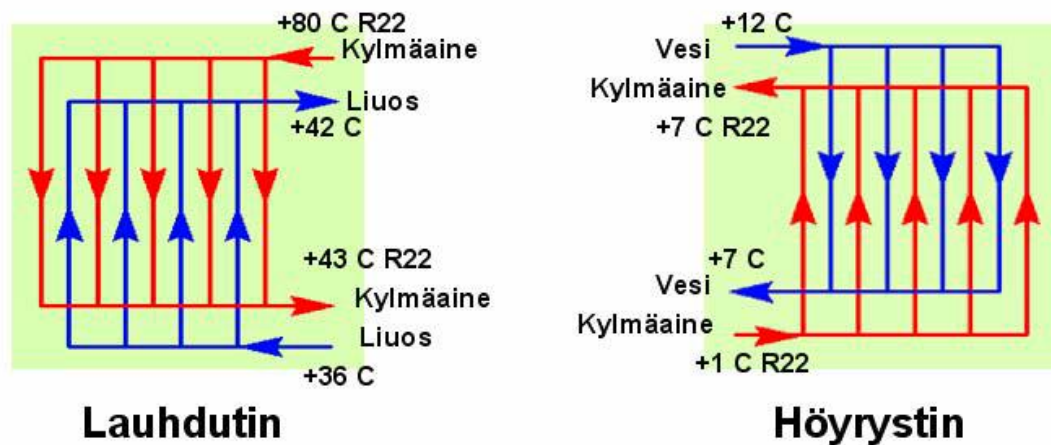
**Taulukko 3. Kylmäaineiden kylläisen höyryn paineita lämpötilassa 55 °C.**

Kylmäaine	Suunnittelupaine
R22	20.7 bar
R404A	24.7 bar
R407C	21.4 bar
R417A	18.6 bar
R422A	24.5 bar
R422D	21.5 bar
R424A	18.4 bar
R427A	21.3 bar
R434A	21.8 bar
R507A	25.7 bar

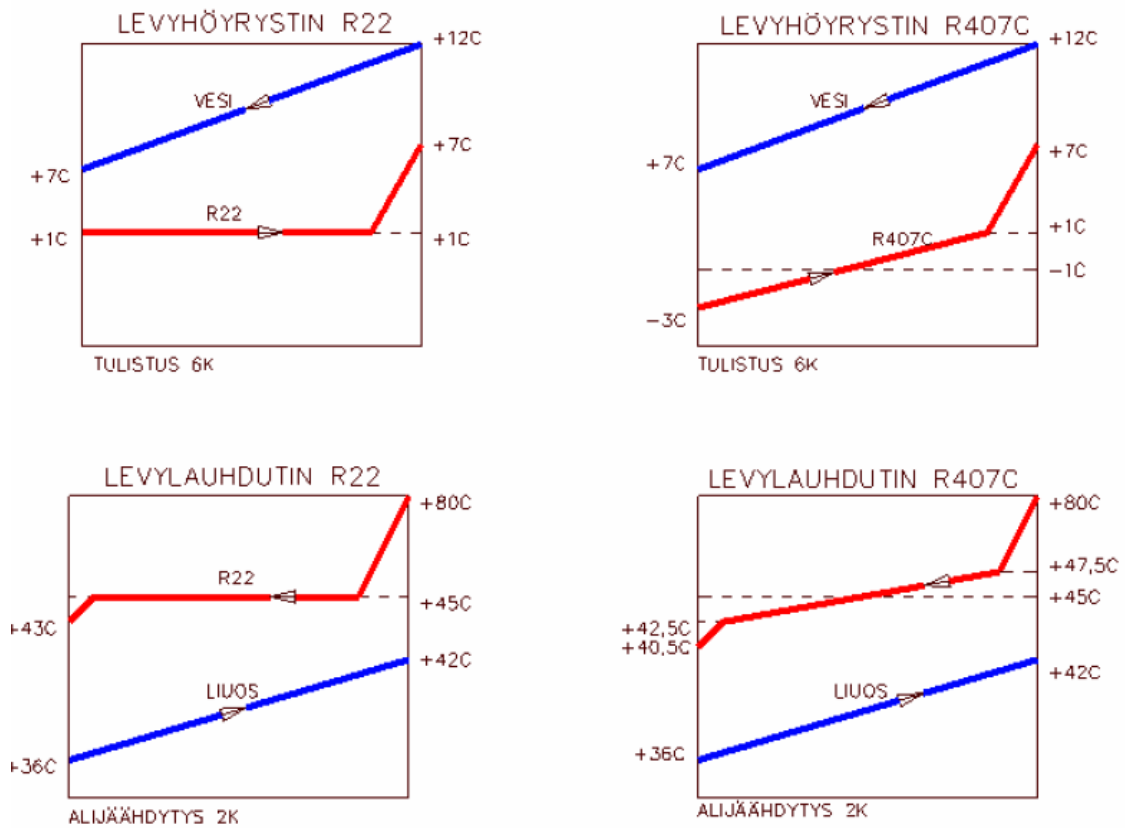
## 6 Lämmönvaihdin

### 6.1 Levylämmönvaihdin

Vedenjäähdytyskoneikoissa kylmäainevaihdon peruskysymyksenä voidaan pitää seuraavaa: Minkälaiset koneikon lämmönvaihtimet ovat? Mikäli käytössä on moniputkilämmönvaihdin, ei kylmäaineliukuman omaava kylmäaine sovellu käytettäväksi. Vastavirtalämmönvaihtimissa taas kylmäaineen lämpötilaliukuma ei kasvata lämpötilaeroja. (Kuva 7.)



Kuva 7. Levyvaihtimet ovat vastavirtavaihtimia, kylmäaineena R22. (3, s. 16.)

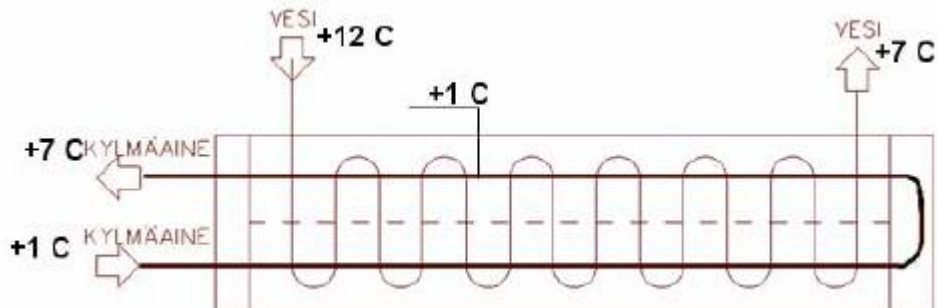


Kuva 8. Esimerkki kylmäaineen ja väliaineen periaatteellisista lämpötilan muutoksista vastavirtaan kytketyissä levyhöyrystimessä ja -lauhduttimessa. Kylmäaineina R22 ja R407C. (3, s. 17.)

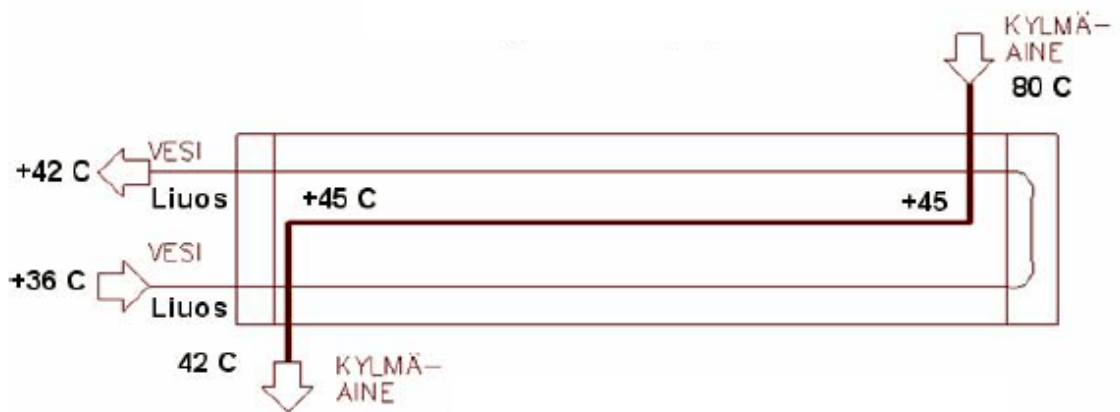
Puhdasta kylmäainetta tai atseotrooppista kylmäainetta (tässä R22) verrattaessa tseotrooppiseen kylmäaineeseen (tässä R407C) pitäisi vertailu tehdä keskilämpötilan mukaan. Kun levylämmönvaihtimet on kytketty vastavirtaan seoskylmäaineen lämpötilaliukuma voidaan hyödyntää. Kuvasta 8 voidaan nähdä R407C:n keskimääräinen höyrystymislämpötila, joka on keskimäärin 2 K alempi kuin R22:lla. Vastavirtaan toimivan levylämmönlauhduttimen toimintaan ja lämpötiloihin tseotrooppisen kylmäaineen lämpötilanliukuma ei vaikuta käytännössä ollenkaan. (3, s. 17.)

## 6.2 R22-moniputkilämmönvaihdin

Moniputkilämmönvaihtimet (kuva 9 ja 10) ovat käytännössä ristivirtalämmönvaihtimia, jolloin lämpötilaliukuma lisää kylmäaineen ja väliaineen välisiä lämpötilaeroja.



Kuva 9. Moniputkihöyrystin R22. (3, s. 18.)



Kuva 10. Moniputkilauhdutin R22. (3, s. 18.)

### 6.2.1 R22-höyrystin

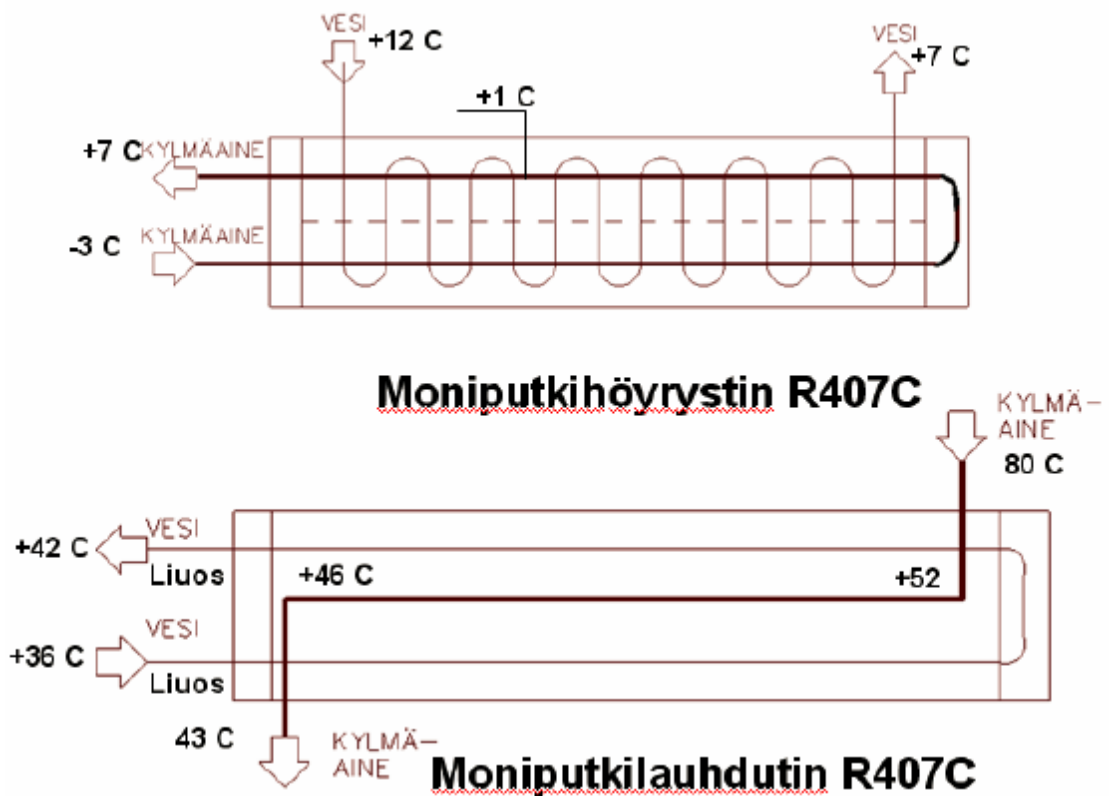
Moniputkihöyrystin sopii R22-kylmäaineelle, koska höyrystyminen tapahtuu vakio­lämpötilassa, eikä kylmäaineella ole lämpötilaliukumaa. Kuvasta 9 nähdään, että höyrystimelle menevä kylmäaine on +1 °C ja palaavan kylmäaineen lämpötila on +7 °C. Höyrystimelle menevän veden lämpötila on +12 °C ja palaavan veden lämpötila taas +7 °C. Kylmäaine höyrystyy +1 °C:n lämpötilassa, eikä jäätymisvaaraa ole.



### 6.2.2 R22-lauhdutin

Kuvassa 10 on moniputkilauhdutin R22-kylmäaineella. Voidaan huomata kylmäaineen tulevan vaihtimelle lämpötilassa  $+80\text{ °C}$  ja palaavan  $+42\text{ °C}$ :n lämpöisenä. Kylmäaine lauhtuu vakiolämpötilassa  $+45\text{ °C}$ :n lämpöisenä. Lauhduttimelle saapuva liuos on  $+36\text{ °C}$ :n lämpöisenä, sekä lauhduttimelta palaava liuos on  $+42\text{ °C}$ :n lämpöisenä. Näin ollen palaavan liuoksen, sekä kylmäaineen loppulämpötila on sama, jolloin lämmönsiirrin toimii oikein.

### 6.3 R407C-moniputkilämmönvaihdin



Kuva 11. Periaatekuvat moniputkivaihtimista R407C. (3, s. 18.)

#### 6.3.1 R407C-höyrystin

Höyrystinpuolella (kuva 11) on otettava huomioon jäähdytysveden lämpötila jäämisen vaaran takia. Mikäli lämpötila on mitoitettu alhaiseksi (noin  $5\text{--}7\text{ °C}$ ) on jäämisen vaaran

riski suurempi lämpötilaliukuman vuoksi muun muassa R407C:llä ja R417C:llä. Höyrystintä ei tule mitoittaa alle 6 °C:seen. Ristivirtaperiaatteella toimiva moniputkihöyrystin heikentää tilannetta entisestään. Tällöin keskimääräinen höyrystyslämpötila laskee noin 2 K verrattuna R22:een.

### 6.3.2 R407C-lauhdutin

Lauhdutinpuolella (kuva 11) huomioitavaa on moniputkilämmönvaihtimella varustetuissa liuoslauhdutteisissa koneistoissa keskimääräinen lauhtumislämpötila nousee kylmäaineen liukuman vuoksi (muun muassa R407C ja R417A) noin 2–3 K verrattuna R22:een. Tästä voi seurata ongelmia lauhduttimen tehon kanssa.

R404-kylmäaineella lämpötilaliukuma on niin vähäinen, että se soveltuu käytettäväksi moniputkilämmönvaihtimella varustetuissa laitteistoissa. R404:n ominaisuudet kuitenkin soveltuvat huonommin ilmastoinninjäähdytyksen alueelle, mistä seuraa hyötysuhteen (COP) selvä lasku R22:een, R407C:hen tai R417A:han verrattuna. Kaasun tiheys suurenee, jolloin massavirta kasvaa, minkä seurauksena painehäviö kasvaa ja on tarpeen vaihtaa paisuntaventtiili.

## 6.4 Tiivisteet ja o-renkaat

Kylmäainevaihdon yhteydessä tulee myös vaihtaa kylmäkoneikon tiivisteet. Kaikki tiivisteet eivät sovi kaikkien kylmäaineiden ja öljyjen kanssa, vaan valinta on tehtävä aina koneikkokohtaisesti.

Laitteiston vanhetessa kylmäainetta diffusoituu tiivisteisiin sekä o-renkaisiin. Kun kylmäainetta vaihdetaan vanhaan koneikkoon, voivat tiivisteet ja etenkin o-renkaat turvota. Jälkeenpäin tiivisteiden ja o-renkaiden vaihto voi olla erittäin työlästä ja aikaa vievää.

Tiivisteet ja o-renkaat on syytä vaihtaa esimerkiksi magneetti- ja paisuntaventtiileistä, näkölaseista ja neulaventtiileistä.

Taulukko 4. Tiivistemateriaalit ISCEON® MO59:n kanssa.

ISCEON® MO59 With POE 32		POLYESTERIÖLJY		
Elastomer	Ranking	Avg. Linear Swell, %	Avg. Durometer Unit Change	Avg. Weight Change, %
Neoprene WRT	1a	-0.6	1.5	-0.4
HNBR	1c	4.7	-8.0	13.1
NBR	1a	0.9	-5.0	3.0
EPDM	1a	0.3	3.0	1.0

ISCEON® MO59 With 3GS		MINERAALIÖLJY		
Elastomer	Ranking	Avg. Linear Swell, %	Avg. Durometer Unit Change	Avg. Weight Change, %
Neoprene WRT	1b	4.4	-1.0	9.9
HNBR	2c	5.0	-8.5	18.1
NBR	1b	2.8	-9.5	7.6
EPDM	2c	11.1	-15.0	42.9

Ranking is based on the appearance and the overall physical property changes.

Appearance	Physical Property change
1: No Change	a: No change
2: Moderate surface change	b: Moderate physical property change
3: Severe surface change with oil bleeding	c: Severe physical property change

Kuten taulukosta 4 voi huomata, huoltokylmäaineen, esimerkiksi MO59:n kanssa eivät sovellu kaikki tiivistemateriaalit. MO59:n kanssa soveltuu neoprene WRT:sta ja NBR-materiaalista valmistetut tiivisteet molempien öljytyyppien kanssa. Näiden tiivistemateriaalien kanssa ei ole havaittavissa tiivisteiden rakenteen muutoksia, tai heikkene- mistä tiivistyskyvyssä. EPDM-tiivisteet soveltuvat huoltokylmäaineen MO59 kanssa, kun käytössä on polyesteriöljy. Mineraaliöljyn kanssa tiiviste imee itseensä kylmäainetta noin 43 % omaan alkuperäispainoonsa nähden, samalla kutistuen. (3, s. 20 – 21.) Lisää taulukoita tiivisteistä on liitteessä 2.

## 7 Vaihtotyö käytännössä

Kun laitteisto on todettu oikein toimivaksi vanhalla kylmäaineella ja mahdolliset vuodot on korjattu, tehdään laitteistolle huolellinen esiselvitys. Tämän jälkeen laitteistosta otetaan kylmäaine talteen ja punnitaan kylmäaineen määrä. Tämän jälkeen laitteistoon vaihdetaan tarvittavat tiivisteet ja komponentit, muun muassa kuivaaja, nestelasit, varaa- jien näkölasien tiivisteet, varoventtiilit ja neulaventtiilien ”sielut”.

Laitteisto tyhjiöidään 1,5 mbar:iin ja varmistetaan tyhjiön pysyvyys laitteistossa. Talteen- otettu kylmäaine punnitaan ja tiedot kirjataan talteen. Tyhjiö puhkaistaan kuivatulla ty-

pellä ja varmistetaan tyypipaineen pysyminen laitteistossa. Riippuen uudesta kylmäaineesta täytös tulee olemaan samaa suuruusluokkaa kuin vanhalla kylmäaineella. Kylmälaitos täytetään aina nesteenä. (7, s. 2.)

**Taulukko 5. Uuden kylmäaineen täytös verrattuna R22-kylmäaineeseen. (7, s. 2.)**

Kylmäaine		Täytös verrattuna R22
R-422D	Alkutäytös	85 %
	Lopputäytös	95 %
R-427A	Alkutäytös	95 %
	Lopputäytös	95–100 %

Kun laitos on täytetty uudella kylmäaineella, laitteisto käynnistetään uudelleen ja tarkistetaan heti toiminta-arvot. Laitteen käyntiä seurataan mittauslaitteistosta ja tiedot tallennetaan. Toiminnassa kiinnitetään huomiota paisuntaventtiilin säätöön, tulistukseen. Lisäksi tarkastetaan, onko havaittavissa paisuntaventtiilin huojuntaa. Yleensä öljy vaihdetaan järjestelmään muutaman käyttötunnin jälkeen. Laitteen käydessä verrataan vanhan ja uuden täytöksen eroa ja arvioidaan koneen käynnistä, tarvitseeko kylmäaineen määrää muuttaa laitteistossa.

Kun kaikki säädöt on asetettu ja todettu laitteen toimivuus, verrataan toiminta-arvoja ennen kylmäaineen vaihtoa mitattuihin arvoihin ja tarkastetaan, ettei ole mitään merkittävää, ennalta odottamatonta heittoa. Laitteisto tulisi testata täydellä kuormalla sekä osakuormalla. Näin ollen saadaan selvitettyä ennalta jo mahdollisia öljynpalautus ongelmia. Öljyn pintaa on tarkkailtava öljylasista, samoin öljyn katoamista tai vaahtoamista esimerkiksi seisontajakson aikana tai sen jälkeen. Odotusjaksojen aikana laitteistosta voidaan tarkastaa kylmäainevuodot vielä kertaalleen.

On erittäin tärkeätä merkata laitteeseen uuden kylmäaineen tyyppi ja määrä, jotta tulevaisuudessa kukaan ei lisää laitokseen vahingossa väärää kylmäainetta, tai joudu arvaamaan uutta kylmäainetäytöstä.

## 7.1 Ongelmat vaihtotyössä

### 7.1.1 R422D-kylmäaine

Yleisin kylmäainevaihdon jälkeen havaittu ongelma on liian suuri tulistus. Tämä on huomattavan yleinen R422D-kylmäaineella. Suurin osa kylmäaineen liian suuresta tulistuksesta johtuu siitä, ettei paisuntaventtiiliä vaihdeta runkokooltaan suurempaan. Minimivaatimuksena voidaan pitää paisuntaventtiilin suuttimen vaihtamista suurempaan, mutta aina tämä ei ole mahdollista, jolloin vaihtoehdoksi jää koko paisuntaventtiilin rungon vaihtaminen isommaksi. (7. s. 4.)

### 7.1.2 R427A-kylmäaine

Kylmäaine R427A:lla ongelmaksi muodostui liian pieni tulistus. Tämän epäiltiin johtuvan paisuntaventtiilin liian isosta mitoituksesta verrattuna höyrystimen ja kompressoritehoon nähden. R427A lisää öljyn karkaamista kompressorilta putkistoon voimakkaasti. Erittäin suositeltavaa on asentaa öljynerotin tai vaihtoehtoisesti uusia vanha öljynerotin kylmäainevaihdon yhteydessä.

## 7.2 Muita vaihtoehtoja kylmäaineiksi

### 7.2.1 R424 (RS-44)

Kylmäaine R424 on tarkoitettu korvaamaan R22, mikäli järjestelmä on tehty kapillaari-putkella tai kiinteällä suuttimella. Näitä ei tarvitse vaihtaa kylmäaineen vaihdoksen yhteydessä. On kuitenkin odotettavaa, että kylmäteho pienenee käyttöolosuhteista riippuen 20–25 %, sen sijaan hyötysuhde paranee noin 5 % verrattuna R-22:een.

Huonona puolena on suuri lämpötilaliukuma.

### 7.2.2 R427 (FX100)

Kylmäaine R427 on tarkoitettu korvaamaan R22-kylmäaine. Kylmäteho pienenee noin 5 %, mutta hyötysuhde paranee 5–10 % verrattuna R22:een. Kyseessä on seoskylmäaine, tästä johtuen tällä kylmäaineella on suuri lämpötilaliukuma.

### 7.2.3 R434A (RS-45)

Kylmäaine R434A on tarkoitettu korvaamaan R22-kylmäaine. R434A:ta ei suositella vaihdettavaksi laitteistoihin, joissa on kapillaariputki tai kiinteä suutin paisuntalaitteena. Kylmäteho pienenee käyttöolosuhteista riippuen 5–10 % ja hyötysuhde heikkenee 10–20 % verrattuna R22:een.

## 8 Kylmäaineiden tulevaisuuden näkymät

### 8.1 Yleinen näkymä kehityksen suunnasta

Euroopan unioni ajaa määrätietoisesti kylmäaineita entistä enemmän ympäristöystävällisempään suuntaan. CFC-kylmäaineiden valmistus ja kulutus saatiin sinetöityä maailmanlaajuisesti 2010, lukuun ottamatta kriittisiä ja välttämättömiä käyttötarkoituksia (2, s. 15). Uusia CFC-laitoksia ei ole Euroopan unionissa tehdä vuoden 1995 alusta lähtien. Uusien HCFC-kylmäaineella toimivien laitteistojen asennus on ollut kielletty 2000-luvun alusta alkaen. Puhdistettua HCFC-kylmäainetta voi käyttää vuoden 2014 loppuun asti, minkä jälkeen HCFC-kylmäaineen päivät ovat luetut Euroopan unionissa, lukuun ottamatta välttämättömiä ja kriittisiä laitoksia.

Tulevaisuudessa tullaan siirtymään yhä lähemmäs luonnonmukaisia kylmäaineita, jotka ovat ihmisille ja luonnolle vähemmän myrkyllisiä. HFC-kylmäaineet ovat tällä hetkellä vielä sallittuja, mutta rajoituksia on tulossa 2020-luvun alusta alkaen.

### 8.2 Vuototarkastusrajat

Tämä luku 8.2 perustuu yrityksen sisäiseen materiaaliin (8).

Tällä hetkellä näyttää siltä, että vuoden 2015 alusta alkaen vuototarkastusvälit määritellään laitoksen kylmäaineesta ja täytöksestä lasketulla luvulla. Toisaalta on mahdollista, että tähän asetetaan vuoden siirtymäaika. Asetus ohjaa laitteiston ostajaa valitsemaan mahdollisimman alhaisen GWP-arvon (Global warming potential) omaavan kylmäaineen/laitteiston. Tämä uusi asetus korvaa aikaisemman kilo-sidonnaisen kylmälaitteiston vuototarkastus välin riippumatta käytetystä kylmäaineesta (< 3 kg laitteita ei tarvitse vuototarkastaa lakisääteisesti). Uusi asetus määrittää tarkastusvälit laitteille hiilidioksidiekvivalenttitonneina. Näin ollen, kaikki kylmäainetta sisältävät laitteet, joiden lämmitysvaikutus vastaa vähintään 5t CO<sub>2</sub> on vuototarkastettava 12 kk:n välein (taulukko 6).

Taulukko 6. Vuototarkastusrajat CO<sub>2</sub> -ekv.

Tarkastus	Lämmitysvaikutus hiilidiok- sidi-ekvivalenttitonneina
12 kk välein	5 t:a - <50 t:a
6 kk välein	50 t:a - <500 t:a
3 kk välein	500 t:a
Vuotojenhavaitsemisjärjestelmä pakollinen vähintään 500 t:n laitteille	

Taulukko 7. Vuototarkastusrajat R134a ja R404A.

Kylmäaine	GWP	5t CO <sub>2</sub> - ekv	50t CO <sub>2</sub> - ekv	500t CO <sub>2</sub> - ekv
R134a	1430	3,5 kg	35 kg	350 kg
R404A	3922	1,3 kg	12,7 kg	127 kg

Taulukosta 7 voidaan nähdä, miten uusi vuototarkastus rajojen laskentatyö vaikuttaa vuototarkastus väleihin. R134a:n GWP-arvo on yli puolet pienempi kuin R404A:n. Näin ollen R134a:ta voi olla yli puolet enemmän kuin R404A:ta ilman, että laitteistoon täytyy suorittaa lakisääteinen vuototarkastus.

### 8.3 Uudet käyttökiellot

Tämä luku 8.3 perustuu yrityksen sisäiseen materiaaliin (8).

Euroopan unionin markkinoille on kaavailtu uusia myyntikieltoja. Näillä näkymin uusia myyntikieltoja on luvassa jo vuoden 2015 alusta alkaen. Suuremmat rajoitukset astuvat voimaan vuoden 2020 alusta, jolloin kielletään HFC-kylmäaineet, joiden GWP-arvo on 2500 tai enemmän. Kielto koskee tuotteiden varastointiin, esittelyyn tai jakeluun vähittäiskaupassa ja elintarvikepalveluissa (kaupallinen käyttö) tarkoitettuja jääkaapit ja pakastimet (ilmatiiviisti suljetut järjestelmät) 1.1.2020. Kielto koskee myös kiinteästi asennettuja kylmälaitteita, pois lukien kylmälaitteet, jotka jäädyttävät tuotteet alle -50 °C:seen.

Rajoitukset laajenisivat vuoden 2025 alusta lähtien koskemaan HFC-kylmäaineita, joiden GWP-arvo on 750 tai enemmän. Näihin sisältyvät muun muassa yhdellä sisäyksiköllä varustetut split-tyyppiset ilmastointilaitteet, joiden kylmäainetäyitys on pienempi kuin 3 kg.



Heti vuoden 2015 alusta kotitalouksille tarkoitettujen jääkaappien ja pakastimien GWP-arvo tulee olemaan 150 tai alle. Tämän GWP-arvon piiriin kuuluvat vuoden 2022 alusta myös tuotteiden varastointiin, esittelyyn tai jakeluun vähittäiskaupassa ja elintarvikepalveluissa (kaupallinen käyttö) tarkoitetut jääkaapit ja pakastimet. Tämä koskee myös jäähdytystehoaltaan enemmän kuin 40 kW olevia koneikoita, myös rinnan kytkettyjä. Liikuteltavien huoneilmastointijärjestelmien (hermeettiset, joita loppukäyttäjä pystyy siirtämään huoneesta toiseen) GWP-arvo tulee olemaan myös 150 tai vähemmän vuoden 2020 alusta alkaen.

Laitteistot, joiden kylmäainetäytöskoko on 40t CO<sub>2</sub> -ekv (esim. R404A 10 kg), ei saa enää vuoden 2020 alusta alkaen täyttää HFC-kylmäaineella, eikä sellaista sisältävän seoksen huollossa, eikä kunnossapidossa. Poikkeuksena ovat maanpuolustuskäyttö ja kohteet, jossa tuotteet jäähdytetään alle -50 °C:n lämpötilaan.

**Taulukko 8. Tällä hetkellä käytössä olevat kylmäaineet GWP > 2500.**

Ashrae	Kauppanimi	Korvaa	GWP	40t CO <sub>2</sub> -ekv
R404A			3922	10 kg
R507A			3985	10 kg
R23			14800	3 kg
R422A	MO79	R22	3143	13 kg
R422D	MO29	R22	2729	15 kg
	MO89	R13B1	3805	11 kg

Taulukosta 8 näemme, mikäli kylmälaitoksen täytös kullakin kylmäaineella ylittää 40 t CO<sub>2</sub> -ekv määrän, ei laitosta voida täyttää enää neutraalisella tavalla. Kylmälaitteita voidaan huoltaa talteenotetulla **kierrätetyllä** kylmäaineella, jota saa käyttää huollossa vuoden 2029 loppuun asti.

Taulukko 9. Tällä hetkellä käytössä olevat kylmäaineet GWP &lt; 2500.

Ashrae	Kauppanimi	Korvaa	GWP	40t CO2-ekv
R134a			1430	28 kg
R407C			1777	23 kg
R437A	Isceon 49Plus	R12	1805	22 kg
R407F		R404A/R507A MT/LT	1825	22 kg
R410A			2088	19 kg
R407A		R404A/R507A MT/LT	2107	19 kg
R427A		R22	2138	19 kg
R438A	MO99	R22	2264	18kg
R417A	MO59	R22	2346	17kg
R32		R410A	650	62kg

Taulukosta 9 näemme tällä hetkellä käytössä olevat kylmäaineet, jotka olisivat sallittuja myös vuoden 2020 jälkeen. Täysin korvaavaa kylmäainetta ei ole tällä hetkellä esimerkiksi R404A:lle, jota käytetään pakkaspuolen koneissa, joskin kandidaatteja tälle löytyy, mutta haittana on kylmäaineiden syttyvyys. Aika näyttää, löytyykö korvaava palamaton kylmäaine.

## 9 Johtopäätökset

### 9.1 Vanhan laitoksen toiminnan jatkaminen uudella kylmäaineella

Kylmäaineen korvaaminen laitoksessa on aina riskipeliä, niin urakoitsijan kannalta, kuin laitteiston omistajankin. Toisaalta vastuu kaatuu yleensä urakoitsijan niskaan, joten vastuista on sovittava laitteen omistajan kanssa selkeästi ennen kuin ryhdytään toimenpiteisiin.

Vaihtotyö on suunniteltava huolellisesti ja on selvitettävä vaihdettavat komponentit ja mahdollisesti komponenttien lisääminen. Ongelmattomin vaihtoehto on uusia vanha laitteisto uudella laitteistolla, jolloin omistaja saa laitteelle takuun, laite toimii taloudellisemmin ja laitteisto on elinkaarensa alussa.

## 9.2 Kylmäaineiden tulevaisuus

Euroopan unioni ohjaa kylmäaineiden kehitystä entistä ympäristöystävällisempään suuntaan jatkuvasti. Tämä aiheuttaa päänvaivaa laitteen omistajille ja urakoitsijoille. Jatkossa laitteiden GWP-arvo tulee alenemaan asetusten vuoksi, ja jatkuvasti kiristyvät rajoitukset pakottavat kylmäalaa kehittymään. Tulevaisuudessa pyritään siirtymään mahdollisimman suurilta osin luonnonmukaisiin kylmäaineisiin, jotka ovat vaarattomia ympäristölle. Näiden kylmäaineiden GWP-arvon aleneminen aiheuttaa helposti sen, että kylmäaineesta tulee palavaa, mikä rajoittaa käyttöä huomattavasti etenkin sisäasenteisissa koneissa.

## Lähteet

- 1 Hakala, Pertti & Kaappola, Esko. 2013. Kylmälaitoksen suunnittelu. Helsinki: Opetushallitus.
- 2 Levomäki, Tomi. 2013. Insinööriyö. Kylmäaineiden kartoitus ja valvonta Espoon alueella. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201301291805> Metropolia AMK
- 3 Hakala, Pertti. 2010. Suomen kylmäyhdistys ry. Koulutuspäivät 2010. R22 kylmäainevaihtoehtojen käytännön kokemuksia.
- 4 Kaappola, Esko. 2008. Suomen kylmäyhdistys ry. Koulutuspäivät 2008. R22:n korvaaminen kaupallisissa ja teollisissa kylmälaitoksissa
- 5 Kianta, Jani. 2008. Korvaavat kylmäaineet ja niiden ominaisuudet. Verkkodokumentti. <<http://www.skll.fi/yhdistys/www/att.php?type=2&id=37>>. Luettu 2.4.2014.
- 6 Kylmäaineista ja niihin vaikuttavista lainsäädännöistä. 2009. Verkkodokumentti. <<http://ahlsell.tiedottaa.fi/asiakaslehti/09-02-kylmaaineista.html>>. Luettu 1.2.2014
- 7 Maula, Esa. 2011. Suomen kylmäyhdistys ry. Koulutuspäivät 2011. R22:n kylmäainevaihdot - kokemuksia ja mittaustuloksia
- 8 Yrityksen sisäinen materiaali

Taulukko A. Eri HFC-kylmäaineiden vertailua R22-kylmäaineeseen.

Paine (bar)	R22	R407C		R404A	R507A	R410
Mittaripaine	nestekaasu	nestekaasu	nestekaasu	nestekaasu	nestekaasu	nestekaasu
0.0	-41	-44	-37	-46	-47	-52
0.2	-37	-40	-33	-42	-43	-49
0.4	-34	-37	-30	-39	-40	-45
0.6	-31	-34	-27	-36	-37	-42
0.8	-28	-31	-24	-33	-34	-40
1.0	-25	-29	-22	-30	-32	-37
2.8	-8	-12	-5	-14	-15	-22
3.0	-7	-11	-4	-12	-14	-20
3.5	-3	-7	-1	-9	-10	-17
4.0	0	-4	2	-6	-7	-14
4.5	3	-1	5	-3	-4	-12
9.5	25	20	26	19	17	9
10	27	22	28	20	19	10
11	30	25	31	24	22	13
12	33	28	34	27	25	16
13	36	31	36	30	28	19
24	61	55	59	54	53	41
25	63	57	61	56	54	43
26	65	59	63	57	56	44
27	67	60	64	59	58	46
28	68	62	66	61	59	47

Taulukko B. Eri huoltokylmäaineiden vertailua R22-kylmäaineeseen.

Paine (bar)	R22	R422D Isceon 29		R417A Isceon 59		R422A Isceon 79	
Mittaripaine	nestekaasu	nestekaasu	nestekaasu	nestekaasu	nestekaasu	nestekaasu	nestekaasu
0.0	-41	-43	-39	-39	-34	-47	-44
0.2	-37	-40	-35	-35	-31	-43	-41
0.4	-34	-36	-31	-32	-27	-40	-37
0.6	-31	-33	-28	-29	-24	-37	-34
0.8	-28	-30	-26	-26	-21	-34	-32
1.0	-25	-28	-23	-23	-19	-31	-29
2.8	-8	-11	-7	-6	-2	-15	-13
3.0	-7	-9	-5	-5	-1	-13	-11
3.5	-3	-6	-2	-1	3	-10	-8
4.0	0	-3	1	2	6	-7	-5
4.5	3	0	3	5	9	-4	-2
9.5	25	22	25	27	31	18	19
10	27	24	27	29	32	19	21
11	30	27	30	32	35	23	24
12	33	30	33	36	38	26	27
13	36	33	36	38	41	29	30
24	61	58	60	64	65	53	54
25	63	60	62	65	67	55	55
26	65	62	63	67	69	56	57
27	67	63	65	69	71	58	59
28	68	65	66	71	72	60	60

Paine (bar)	R22	R424A RS-44		R434A RS-45		R427A Forane FX100	
Mittaripaine	neste/kaasu	neste	kaasu	neste	kaasu	neste	kaasu
0.0	-41	-39	-32	-45	-40	-42	-35
0.2	-37	-35	-28	-41	-36	-39	-32
0.4	-34	-31	-24	-37	-32	-35	-28
0.6	-31	-28	-21	-34	-29	-32	-25
0.8	-28	-25	-18	-32	-26	-30	-23
1.0	-25	-22	-16	-29	-24	-27	-20
2.8	-8	-6	1	-12	-8	-10	-4
3.0	-7	-4	2	-10	-6	-8	-2
3.5	-3	0	6	-7	-3	-5	1
4.0	0	3	9	-4	0	-2	4
4.5	3	6	12	0	4	1	7
9.5	25	28	34	21	24	23	28
10	27	30	35	23	26	25	30
11	30	33	38	26	29	28	33
12	33	36	41	29	32	31	36
13	36	39	44	32	35	34	39
24	61	65	68	57	59	58	62
25	63	66	70	59	61	60	64
26	65	68	72	60	62	62	65
27	67	70	73	62	64	63	67
28	68	72	75	64	66	65	68

Taulukko A. Tiivistemateriaalit ISCEON® MO79:n kanssa. (3, s. 20.)

ISCEON® MO79 With POE 32		POLYESTERIÖLJY		
Elastomer	Ranking	Avg. Linear Swell, %	Avg. Durometer Unit Change	Avg. Weight Change, %
Neoprene WRT	1a	-0.9	2.0	-0.3
HNBR	1b	3.7	-6.5	12.5
NBR	1a	2.0	-6.0	2.7
EPDM	1a	-0.3	2.5	-0.8
Silicone	3b	3.5	-15.5	10.3

ISCEON® MO79 With 3GS		MINERAALIÖLJY		
Elastomer	Ranking	Avg. Linear Swell, %	Avg. Durometer Unit Change	Avg. Weight Change, %
Neoprene WRT	1b	2.6	-4.0	8.8
HNBR	3c	5.7	-8.5	16.9
NBR	1b	3.0	-8.5	7.2
EPDM	1c	11.4	-14.0	42.9
Silicone	1b	5.1	-9.0	9.1

Ranking is based on the appearance and the overall physical property changes.

Appearance

- 1: No Change
- 2: Moderate surface change
- 3: Severe surface change with oil bleeding

Physical Property change

- a: No change
- b: Moderate physical property change
- c: Severe physical property change

Taulukko B. Tasotiivistemateriaalit ISCEON® MO59:n kanssa. (3, s. 21.)

ISCEON® MO59 With POE 32		POLYESTERIÖLJYT	
Plastic	Ranking	Avg. Weight Change, %	
Polyester (TPME)	1c	3.17	
Nylon	1a	-0.17	
Epoxy	1a	0.45	

ISCEON® MO59 With 3GS		MINERAALIÖLJY	
Plastic	Ranking	Avg. Weight Change, %	
Polyester (TPME)	1c	4.95	
Nylon	1a	-0.06	
Epoxy	1a	0.29	

Ranking is based on the appearance and the overall physical property changes.

Appearance

- 1: No Change
- 2: Moderate surface change
- 3: Severe surface change with oil bleeding

Physical Property change

- a: No change
- b: Moderate physical property change
- c: Severe physical property change

Taulukko C. Tasotiivistemateriaalit ISCEON® MO79:n kanssa. (3, s. 21.)

ISCEON® MO79 With POE 32		POLYESTERIÖLJY	
Plastic	Ranking	Avg. Weight Change, %	
Polyester (TPME)	1c	3.38	
Nylon	1a	-0.06	
Epoxy	1a	0.42	
Polyethylene	1a	0.32	
Polyimide	1a	0.23	

ISCEON® MO79 With 3GS		MINERAALIÖLJY	
Plastic	Ranking	Avg. Weight Change, %	
Polyester (TPME)	1c	5.15	
Nylon	1a	0.1	
Epoxy	1a	0.27	
Polyethylene	1a	0.66	
Polyimide	1a	0.13	

Ranking is based on the appearance and the overall physical property changes.

**Appearance**

- 1: No Change
- 2: Moderate surface change
- 3: Severe surface change with oil bleeding

**Physical Property change**

- a: No change
- b: Moderate physical property change
- c: Severe physical property change