

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Merenkulun koulutusohjelma

Jaakko Räisänen

MERENKULUN KYLMÄKULJETUKSET

Opinnäytetyö 2010

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Merenkulun koulutusohjelma

RÄISÄNEN, JAAKKO

Opinnäytetyö

Työn ohjaajat

Toimeksiantaja

Marraskuu 2010

Avainsanat

Merenkulun kylmäkuljetukset

57 sivua + 3 liitesivua

Lehtori Ari Helle, yliopettaja Jorma Vainio

Kymi Technology

kylmäkuljetus, jäähdytyskontit, jäähdytysalukset, kylmäaine, kylmätekniikka, jäähdytystekniikka, ilmastollinen ympäristö, merenkulku

Opinnäytetyössä tarkastellaan kylmäkuljetustekniikan kehitystä ja kehitykseen vaikuttaneita tekijöitä. Tavoitteena on saada aikaan kattava opetusmateriaali kylmäkuljetusten kehityksestä sekä nykyaikaisista kylmäkuljetuskalustoista ja järjestelmistä.

Työssä käsitellään kylmätekniikan osalta välttämätöntä teoriaa, koneistojen kehitystä ja nykytilaa sekä kylmäaineiden kehitystä ja kehitykseen vaikuttaneita tekijöitä. Näiden asioiden lisäksi perehdytään laivalla kuljetettaviin tuotteisiin sekä reitteihin ja niiden muutoksiin kehittyneiden tekniikoiden myötä.

Työn luonteesta johtuen syvälliset pohdinnat ja yhteenvedot ovat haasteellisia tehdä, koska useiden eri asioiden vaikutusta on vaikeaa tai lähes mahdotonta huomioida. Tämän ovat huomanneet myös markkinatilanne analyysijä sekä tulevaisuuden ennusteita laativat konsultointiyrietykset.

ABSTRACT

KYMENLAAKSO UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Degree Programme in Marine Technology

RÄISÄNEN, JAAKKO

Bachelor's Thesis

Supervisor

Commissioned by

November 2010

Keywords

Maritime Reefer Transportation

57 pages + 3 pages of appendices

Ari Helle, Senior Lecturer,

Jorma Vainio, Principal Lecturer

Kymi Technology

reefer, refrigerated container, controlled atmosphere, refrigerant, maritime

This Bachelor's thesis explored the technical development of the reefer industry and the facts that have influenced the development.

One of the goals was to make study material related to refrigerated transportation future outlook and to the technology which is in use nowadays.

This Bachelor's thesis explored also the necessary theory of thermodynamics, the development of refrigeration machinery and its current state, and the matters that have influenced the development of the refrigerants. Also, the goods and the sea roads and their changes due to the new transportation techniques were shortly explored in this thesis.

Because of the nature of the thesis, no profound arguments were made. So many separate facts are involved the development that it is impossible to take everything into account. This concern has made forecasting and making future outlooks difficult even for the independent shipping consultants.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	9		
2	TERMODYNAMIIKKA	10		
	2.1	Termodynamiikan lait	10	
	2.2	Kylmätekniiikka	10	
		2.2.1	Kompressori	11
		2.2.2	Höyrystin	12
		2.2.3	Lauhdutin	12
		2.2.4	Paisuntaventtiili	12
		2.2.5	Suora- ja epäsuora jäähdytys	12
	2.3	Eristäminen	13	
		2.3.1	Eristeen lämmönjohtavuus	14
		2.3.2	Eristeet	14
3	KYLMÄKONEISTOT	16		
	3.1	Kylmäkoneistojen kehitys	16	
	3.2	Nykypäivän kylmäkoneistot	16	
		3.2.1	Mäntäkompressorit	17
		3.2.2	Ruuvikompressorit	17
		3.2.3	Scroll-kompressorit	17
		3.2.4	Turbokompressorit	18
		3.2.5	Rotaatiokompressorit	18
4	KYLMÄAINEET	19		
	4.1	Kylmäaineiden ilmastovaikutukset	19	
		4.1.1	ODP ja GWP	20
	4.2	Kylmäaineiden jaottelu	20	
	4.3	Kylmäaineiden merkinnät	21	
	4.4	Kylmäaineiden käyttöturvallisuusluokat	22	

4.5	Kylmäaineet laivakäytössä	23
4.6	Kylmäaineiden kehitys	24
4.7	Korvaavat kylmäaineet	25
4.8	Tulevaisuuden kylmäaineet	26
5	KYLMÄKULJETUSTEN KEHITYS	28
5.1	Kylmäkuljetusten alkutaipaleet	28
5.2	Nykypäivän kylmäkuljetustilanne	29
6	KULJETUSREITIT JA TUOTTEET	31
6.1	Kuljetusreitit	31
6.2	Kuljetettavat tuotteet	32
6.3	Tuotteiden jäähdyttäminen	33
7	KYLMÄALUKSET	35
7.1	Perinteiset jäähdytysalukset	35
7.1.1	Ilmanvaihtojärjestelmät	35
7.1.2	Palletit	36
7.1.3	Hissit ja nosturit	37
7.2	Konttien kehitys	37
7.3	Jäähdytyskonttialukset	38
7.3.1	Porthole-kontti	39
7.3.2	Clip-on-jäähdytysyksikkö	40
7.3.3	Integraali-kontti	40
8	VALVONTAJÄRJESTELMÄT	43
8.1	Valvontajärjestelmien merkitys	43
8.2	RMS (Reefer management system)	43
8.3	GPS-laitteistot	44
8.4	RFID (Radio Frequency Identification)	45
8.5	Bluetooth	45
9	ILMASTOLLINEN YMPÄRISTÖ	46
9.1	Ilmastollisen ympäristön merkitys	46
9.2	Modified atmosphere	46

9.3 Controlled atmosphere	47
9.4 Inerttikaasukehittimet	49
9.4.1 Typpiseparaattori	49
10 TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT JA KEHITYSKOhteet	52
11 YHTEENVETO	54
LÄHTEET	55
LIITELUETTELO	
Liite 1. Yleisimmät kylmäaineet	
Liite 2. Eristeen lämmönjohtavuusarvon laskentakaava	
Liite 3. Integraalikontit	

Käytetyt lyhenteet

CA	Controlled Atmosphere, hallittu ilmasto
CFC	Täysin halogenoidut hiilivetykylmäaineet, sisältävät myös klooria
GPS	Global Positioning System. Yhdysvaltain puolustusministeriön kehittämä satelliittipaikannusjärjestelmä.
GWP	Global Warming Potential, arvo kylmäaineen vaikutuksesta ilmastonmuutokseen
HC	Hiilivetykylmäaineet
HCFC	Osittain halogenoidut hiilivetykylmäaineet, sisältäen myös klooria
HFC	Osittain halogenoidut hiilivetykylmäaineet, jotka eivät sisällä klooria
IGG	Inert Gas Generator, suojakaasukehitin
IMO	International Maritime Organization, kansainvälinen merenkulkujärjestö
ISM	Industrial, Scientific and Medical. Radiotaajuuskaista, jonka käyttö ei vaadi erillistä lupaa ja joka on alun perin tarkoitettu teolliseen, tieteelliseen ja lääketieteelliseen käyttöön.
ISO	International Organization for Standardization, kansainvälinen standardisointijärjestö
MA	Modified Atmosphere, muokattu ilmasto

MARPOL 73/78	International Convention for the Prevention of Pollution From Ships, 1973 as modified by the Protocol of 1978 , Maritime Pollution and 73/78 short for the years 1973 and 1978. Määrittää aluksista aiheutuvien merialueiden saastumisen ehkäisemistä. Kansainvälinen IMO:n sopimus vuodelta 1973, muutettu 1978.
ODP	Ozone Depletion Potential, arvo kylmäaineen vaikutuksesta otsoniin
PFC	Täysin halogenoidut hiilivetykylmäaineet, jotka eivät sisällä klooria
ppm	parts per million, miljoonasosa
RFID	Radio Frequency Identification
RMS	Reefer management system, jäähdytyksenvalvontajärjestelmä
RO	Reverse Osmosis, käänteisosmoosi
ro-ro	roll on – roll off, lasti siirretään alukseen ja aluksesta pyörien päällä.
TEU	Twenty-Foot equivalent Unit, ISO-standardin mukainen kuljetuskontti
WLAN	Wireless Local Area Network, langaton lähiverkko
YK	Yhdistyneet Kansakunnat

1 JOHDANTO

Työssä perehdytään laivalla kuljetettavien kylmätuotteiden kuljetustekniikan kehitykseen sekä yleisesti jäähdystekniikan kehittämiseen kylmäaineiden sekä koneistojen osalta. Kylmäkuljetukset ovat saaneet alkunsa jo vuosikymmeniä sitten, ja kehitys on ollut nopeaa siitä asti. Useiden eri vaiheiden myötä kuljetukset ovat muuttaneet muotoaan ja kuten merikuljetukset muutenkin, myös kylmäkuljetukset ovat siirtyneet ja yhä useammin siirtyvät kontteihin. Konttikuljetusten myötä on saanut alkunsa myös kylmäkuljetuskonttitekniikka. Kylmäkuljetuskontit ovat aikojen saatossa kehittyneet sekä koneteknisten että sähkö- ja elektroniikkateknisten ratkaisujen ansiosta. Tässä työssä käsitellään kehitystä uusimpien kylmäkuljetusjärjestelmien sekä niiden valvonta- ja säätöjärjestelmien osalta. Jäähdytysvarastotekniikka on kehittynyt, ja sieltä lähteneet innovaatiot ovat siirtyneet myös laivojen jäähdytystiloihin. Näitä on muun muassa vallitsevaan jäähdytysilmastoon vaikuttaminen, millä tuotteiden säilyvyyttä on pystytty parantamaan huomattavasti.

Kylmätekniikan kehitystä on rajoittanut ympäristövaikutusten ehkäiseminen, ja tämän myötä myös kylmäkuljetustekniikka on aina ollut jonkinasteisessa murroksessa uusien määräyksien sekä asetusten takia. Uusien laivojen tilaajat ovat aina joutuneet arvioimaan sijoituksen kannattavuuden vallitsevan markkinatilanteen sekä tulevaisuuden ennusteiden mukaan. Koska laivojen käyttöikä on pitkä ja maailma muuttuu nopeasti, maailman merillä seilaakin huipputekniikkaa useilta eri vuosikymmeniltä.

Ympäristövaikutusten huomioon ottaminen on vaikuttanut paljon kehitykseen, joten tässä työssä perehdytään myös ympäristöasioihin. Useat vanhat, hyväksi todetut menetelmät ovat taas palaamassa varteenotettaviksi vaihtoehdoiksi, kun ympäristövaatimukset ovat tiukentuneet ja rajoittaneet osaltaan kylmäaineiden käyttöä. Ratkaisuja useisiin ongelmiin voikin löytyä juuri historiasta ja kylmätekniikan alkutaipaleilta.

Nykypäivänä kuljetuksilta vaaditaan paljon. Energiatehokkuus, täsmällisyys, ympäristöystävällisyys sekä taloudellisuus ovat tärkeitä varmistettaessa hyvää kuljetusketjua. Työssä selvitetään näiden seikkojen kehitykseen vaikuttaneita tekijöitä.

2 TERMODYNAMIIKKA

2.1 Termodynamiikan lait

Termodynamiikka eli lämpöoppi voidaan määritellä muutamalla lainalaisuudella, joiden mukaan on voitu aloittaa kylmätekniiikan kehittäminen. Termodynamiikan lainalaisuudet ovat yksinkertaiset, mutta välttämättömät ymmärtää lämpöopin kehityksen kannalta. Termodynamiikan ensimmäinen lainalaisuus on, että *energia ei häviä*. Mekaaninen työ sekä lämpöenergia ovat fysikaalisen suureen eli energian ilmenemismuotoja. Toinen pääsääntö on, että *lämpö siirtyy aina kappaleessa kappaleen kylmempään osaan* pyrkien tasaamaan kappaleen lämmön. Tämä sääntö on ristiriidassa kylmätekniiikan pyrkimyksen kanssa, jonka tavoitteena on siirtää lämpöä päinvastaiseen suuntaan. Tähän ristiriitaan yksi termodynamiikan keskeisistä kehittäjistä, R. Clausius, lisäsi oman säännön: *”Lämpö ei voi ilman ulkopuolista apua siirtyä kylmemmästä kappaleesta lämpimämpään”*. Kun myös tämä sääntö huomioidaan, kylmätekniiikan tavoitteet ovat täytettävissä lisäämällä mekaanisen työn tuottama energia yhtälöön. /1, s.11 – 12/

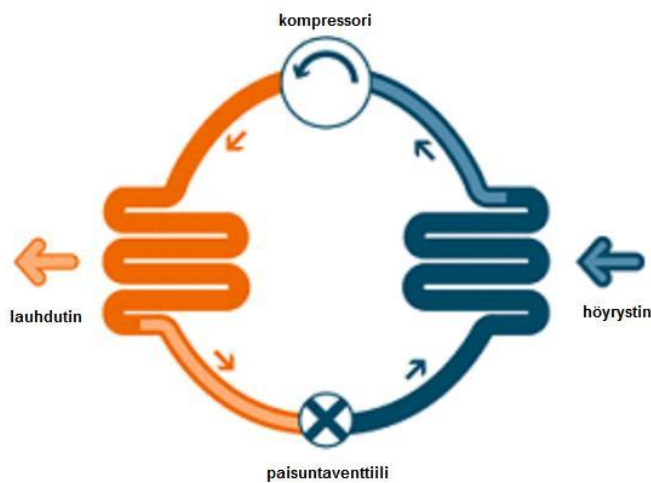
2.2 Kylmätekniiikka

Kylmätekniiikassa pyritään jäähdyttämään tilaa ulkopuolista lämpötilaa alhaisemmaksi. Tämä tapahtuu kylmäkoneilla, joissa lämpöä siirtävänä väliaineena toimii kylmäaine. Kylmäainetta puristetaan kylmäkoneen kompressorilla paineiseksi. Paineesta ja lämpötilasta johtuen aine nesteytyy. Tämän jälkeen kylmäaine ohjataan paineenalennusventtiilin läpi höyrystimeen, jossa kylmäaine höyrystyy ja tulistuu. Höyrystyminen vaatii lämpöä, ja kun ulkopuolista lämpöä ei prosessiin tuoda, höyrystyvä aine ottaa tarvittavan lämmön ympäristöstä jäähdyttäen näin tilaa, jossa höyrystin sijaitsee. Lämmön sitoutuessa höyrystyneeseen kylmäaineeseen voidaan lämpö poistaa kierrättämällä kylmäaine takaisin lauhduttimelle. Lauhduttimessa höyrystynyt kylmäaine palaa takaisin nestemäiseen muotoon vallitsevan paineen sekä lämpötilan vaikutuksesta. /1, s. 42 – 44/

Kylmäainetta voidaankin pitää eräänlaisena sienenä, joka puristettaessa kasaan poistaa sieneen sitoutuneen lämmön. Kun sienen taas annetaan laajentua, se imee lämpöä itseensä. Kun tätä sientä kuljetetaan normaalitilassa, eli laajentuneena, ulkoilmaan ja puristettaessa se siellä kasaan voidaan sisätilassa sieneen sitoutunut lämpö puristaa ul-

koilmaan. Tämä puristumis- ja laajenemisilmiö tapahtuu kylmäaineelle kylmäkoneistossa. /2/

Kaikissa kiertoprosesseissa on välttämätöntä, että väliaine palaa alkuperäiseen paineeseen ja lämpötilaan ennen uuden kierroksen alkua. Höyrystimessä kylmäaineeseen sitoutunut lämpö pitää luovuttaa lauhdutinosa. Siirtyäkseen termodynamiikan toisen pääsäännön mukaisesti on kylmäaineen oltava ympäröivää väliainetta lämpimämpää, joten koneistoon on tuotava lämpöä kaikissa muissa osissa lukuun ottamatta höyrystintä. Tämä mahdollistaa kylmäaineeseen sitoutuneen lämmön siirtymisen väliaineeseen lauhduttimessa. /1, s. 42 – 44/



Kuva 1. Yksinkertainen periaatekaavio kylmäkoneesta /2/

Kylmäkone koostuu neljästä pääosasta, joita ovat kompressori, höyrystin, lauhdutin ja paisuntaventtiili. Kuvan 1 mukaisessa järjestelmässä komponentit on yhdistetty putkistolla suljetuksi systeemiksi. /3, s. 59 – 62/

2.2.1 Kompressori

Kompressori on kylmäkoneistossa keskeinen, koska kiertoprosessiin perustuvan järjestelmän ylläpitämiseen tarvitaan komponentti, joka mahdollistaa aineen olomuodon muutoksen. Kompressori pitää korkea- ja matalapainepuolien paine-eron yllä. Tämä mahdollistaa kylmäaineen olomuodon muutoksen koneiston eri osissa. Kylmäaineen höyrystämiseen tarvitaan lämpöenergiaa sekä riittävän matala paine. Näiden tuottamiseksi kompressori imee höyrystyneen kylmäaineen pois höyrystimestä ja pitää samalla yllä riittävän matalaa painetta nesteen höyrystymisen jatkumiseksi. /3, s. 59 – 62/

2.2.2 Höyrystin

Höyrystin on se kylmlaitteen osa, jossa lämpö sitoutuu kylmäaineeseen. Se on siis komponentti, joka suorittaa jäähdyttämistä joko tilassa tai epäsuoralla menetelmällä väliaineen välityksellä. Kylmäaineen paineen laskiessa höyrystimessä kylmäaine alkaa kiehua ja höyrystyä. Tämä ei ole mahdollista ilman lämpöenergiaa, joten kylmäaine ottaa tarvittavan lämmön ympäristöstä. Kylmäaineen sitoessa höyrystimestä lämpöä ja siirtäessä sitä pois höyrystimestä, höyrystimen ulkopinnat jäähtyvät ja jäähdyttävät tilaa tai väliainetta, johon höyrystin on yhteydessä. Tämän myötä tilassa tai väliaineessa oleva lämpö siirtyy höyrystimen välityksellä kylmäaineeseen. /3, s. 59 – 62/

2.2.3 Lauhdutin

Höyrystynyt kylmäaine johdetaan lauhduttimeen, jossa kylmäaine luovuttaa höyrystimestä ottamansa lämpöenergian lauhduttimen jäähdytysaineeseen. Lauhduttimen jäähdytysaineena toimii yleensä vesi tai ilma. Lauhduttimessa vallitsevan paineen ja lämpötilan johdosta kylmäaine palautuu takaisin nestemäiseen olomuotoon. /3, s. 59 – 62/

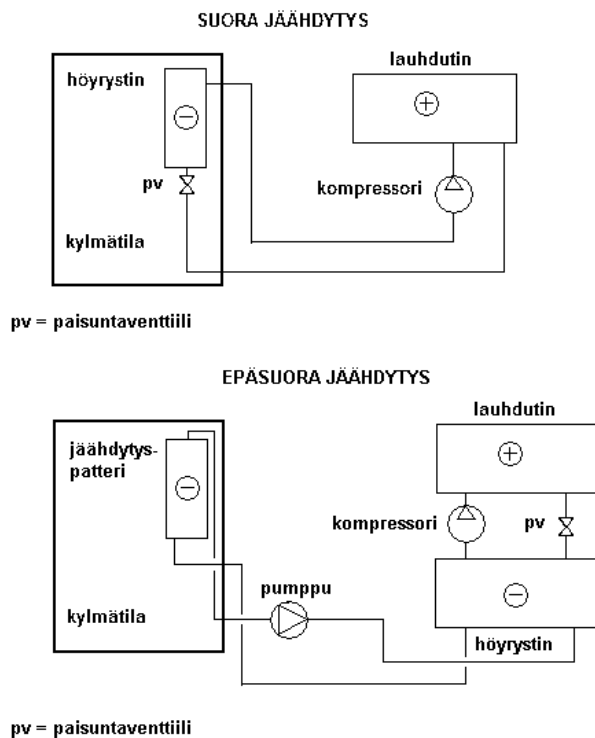
2.2.4 Paisuntaventtiili

Paisuntaventtiilin tehtävä on pitää korkea- ja matalapainepuolien paine-ero sopivana, sekä päästää riittävä määrä kylmäainetta höyrystimelle. Paisuntaventtiili voi olla käsisäätöinen, jolloin kylmäaineen virtausta säädetään käsin. Käsisäätöiset paisuntaventtiilit ovat nykypäivänä harvinaisia, kun termostaattiset paisuntaventtiilit ovat kehittyneet. Termostaattisessa paisuntaventtiilissä kylmäaineen virtausta säädetään termoelementin avulla. Termoelementti on käytettävän kylmäaineen kaltaisella aineella täytetty komponentti, jonka tuntoelin on liitettyä höyrystimen jälkeiseen imuputkeen. Tuntoelin ohjaa termostaatin asentoa höyrystimen jälkeisen putken paineen ja lämpötilan mukaan. Termostaatin asento vaikuttaa kylmäaineen virtaukseen sen läpi. /3, s. 59 – 62/

2.2.5 Suora- ja epäsuora jäähdytys

Kylmlaitteella jäähdyttäminen voidaan jakaa kahteen eri menetelmään, suoraan ja epäsuoraan. Suorassa menetelmässä höyrystin on jäähdytettävän tilan sisällä. Epäsuora-

rassa menetelmässä höyrystimeltä ohjataan kylmää jäähdytysnestettä tai muuta väliainetta jäähdytyspatteriin, kuten kuvasta 2 ilmenee. Epäsuorassa menetelmässä on lisäksi pumppu, jonka avulla jäähdytettävää väliainetta kierrätetään jäähdytyspatterilta höyrystimelle ja takaisin. Epäsuoran järjestelmän etu on se, että kylmäaine ei ole yhteydessä kylmätilaan. Siksi kylmäaineen mahdollinen vuotaminen systeemistä ei aiheuta haittaa kylmätilassa oleville tuotteille. Toisena etuna voidaan pitää sitä, että kylmäaineen määrät ovat epäsuoralla menetelmällä toimivissa laitteistoissa pienemmät kuin jäähdytysteholtaan samanveroisissa suorissa järjestelmissä. Tämä pienentää mahdollisen vuototapauksen aiheuttamia ilmasto- ja turvallisuusvaikutuksia. /1, s. 75 – 76/



Kuva 2. Suora ja epäsuora jäähdytys

2.3 Eristäminen

Eristämisellä pyritään pitämään lämmin ilma jäähdytettävän tilan ulkopuolella. Lämpöenergia voi kulkeutua jäähdytettävään tilaan virtaamalla, johtumalla tai säteilemällä. Useimmiten nämä kaikki kolme tapaa vaikuttavat lämpenemiseen, ja niiden vaikutusta tulisi pyrkiä vähentämään. Mitä pienempää lämmön siirtyminen jäähdytettävään tilaan on, sitä vähemmän tarvitsee tilaan tuoda uutta jäähdytettyä ilmaa ylläpitämään haluttu lämpötila. Tämä vähentää jäähdytyskoneiston tehon tarvetta, mikä vaikuttaa suoraan koneiston taloudellisuuteen. Eristeiden lisäksi on huomioitava kylmätilaan johtuvan

lämmön merkitys, eli kylmätilassa olevat tuotteet tulisi asettaa niin, että ne eivät ole suorassa kosketuksessa kylmätilan rakenteisiin tai eristeisiin. Näin tuotteiden ja lämpöä johtavien pintojen väliin jää eristävä ilmakerros. Myös mahdollista virtaamista on pyrittävä rajoittamaan, joten kylmätilan luukkujen ja ovien tiivisteiden tulee olla kunnossa. Kulunut tiiviste voi helposti pilata kylmätilan tuotteet. Ovien sekä luukkujen lisäksi on huomioitava kaikki kylmätilaan johtavat läpiviennit, joiden on myös oltava tiiviit. /3, s. 31 – 33/

2.3.1 Eristeen lämmönjohtavuus

Eristeellä tarkoitetaan materiaalia, joka estää lämmön siirtymisen jäähdytetyyn tilaan. Eristeitä voidaan verrata keskenään lämmönjohtavuuden mukaan, joka määritellään materiaaleille laskentakaavalla, jossa huomioidaan lämpöenergian siirtyminen tietyn paksuisen materiaalin läpi tietyssä ajassa. Kaavalla voidaan määrittää lämmönjohtavuusarvo λ (W/Km) mille tahansa materiaalille. /3, s. 31 – 33/

Lämmönjohtavuus ilmoitetaan λ (lambda) -arvolla, mitä pienempi arvo on, sen parempi lämmöneristävyyskyky eristeellä on. Lambda-arvo määritellään materiaaleille liitteen 2. mukaisella kaavalla. /3, s. 31 – 33/

2.3.2 Eristeet

Eristeiltä vaaditaan tiettyjä ominaisuuksia hyvien lämmönjohtavuusarvojen lisäksi. Näitä ovat muun muassa seuraavat /1, s. 91/:

- Ei ime kosteutta eikä läpäistä vesihöyryä.
- On mekaanisilta ominaisuuksiltaan riittävän kestävä.
- On hajuton.
- Ei homehdu.
- On palamatonta materiaalia eikä syty missään olosuhteissa.
- On helposti käsiteltävää eikä ole haitallinen terveydelle.
- On hinnaltaan edullinen.

Kaikki ominaisuudet harvoin kohtaavat yhdessä tuotteessa. Näiden ominaisuuksien mukaan on pyrittävä valitsemaan eristystarve ottaen huomioon parhaiten soveltuva vaihtoehto. Yleisimmin jäädytyskontit sekä kylmäruumat eristetään polyuretaanivalmisteilla. Polyuretaanieriste on helppo asentaa vaahtomaisensa koostumuksen takia. Polyuretaanieriste asennetaan joko vaahtottamalla eristettävä alue tai asentamalla polyuretaanipaneeleita. Polyuretaanivaahtoeristeet koostuvat solurakenteesta, jossa eristeen sisään jää pieniä kaasukuplia, kun vaahtotettu eriste on kovettunut. Nämä kaasukuplat pitävät ilman eristeen sisällä paikallaan, ja koska paikallaan oleva ilma on paras eriste, on tämä eristysmateriaali tehokas. Polyuretaanivalmisteiden lämmönjohtavuusarvo λ on n. 0,020...0,030 W/Km. Verrattaessa polyuretaanieristeen lämmönjohtavuutta esim. lastulevyn lämmönjohtavuusarvoon, joka on 0,11...0,13 W/Km, huomataan selkeästi polyuretaanin tehokkuus eristemateriaalina. Eristemateriaalit kehittyvät ja parhaat eristeet pääsevät jo jopa 0,007...0,019 W/Km λ -arvoihin kun käytetään tyhjiötekniikkaa polyuretaanieristeessä, mutta nämä eristeet ovat vielä huomattavan kalliita, jopa 3-5 kertaa kalliimpia kuin muut polyuretaanieristeet. /1, s. 90 – 100/

Ympäristökijät ovat vaikuttaneet eristeiden kehitykseen, kun polyuretaanivaahdon solukaasuna käytettyjä ympäristölle haitallisia aineita päätettiin YK:n ympäristönsuojelua koskevien kokouksien seurauksena rajoittaa. YK:n asettamien käyttörajoitusten myötä käyttöön otettiin ympäristöystävällisempiä korvaavia aineita vanhojen aineiden tilalle. Nykypäivänä eristeet eivät saa sisältää ilmastonmuutokseen vaikuttavia yhdisteitä tai aineita, joten käyttöön on otettu luonnonmukaisia yhdisteitä sekä sellaisia yhdisteitä, jotka eivät vaikuta ilmastonmuutokseen. Näiden ympäristöystävällisempien tuotteiden lämmönjohtavuusarvot ovat vanhoja tuotteita heikommat, ja siksi eristyskerroksen tulee olla paksumpi, jotta saavutettaisiin sama eristysteho kuin vanhoilla aineilla. Tämä seikka on otettava huomioon jos jäädytettävän tilan eristeet vaihdetaan uusiin materiaaleihin. /4, s. 1 – 6/

Ennen polyuretaanivalmisteiden yleistymistä eristeinä käytettiin erilaisia materiaaleja. Esimerkkejä aikaisemmin käytetyistä eristysmateriaaleista ovat korkki, mineraalivilla, turpeesta valmistetut eristelevyt, erilaiset pahvit, selluloosamateriaalit ja asbesti. Asbestin käyttö kiellettiin Suomessa täysin vuonna 1994 sen terveyteen vaikuttavien ominaisuuksien vuoksi. /1, s. 99 – 100/

3 KYLMÄKONEISTOT

3.1 Kylmäkoneistojen kehitys

Koneellisen jäädytyksen alkuna voidaan pitää sitä, kun Jacob Perkins (1766 - 1849) sai patenttioikeuden kehittämälleen kylmäkoneistolle. Jacob Perkinsin kylmäkone käytti kylmäaineena dietyylieetteriä ja koneisto koostui käsikäyttöisestä mäntäpumpusta, höyrytimestä, kuristusventtiilistä (paisuntaventtiilistä) ja lauhduttimesta, jonka jäädyttämiseen käytettiin vettä. Kylmäaineeksi Perkinsin käyttämä dietyylieetteri soveltui huonosti, koska se toimi koko kiertoprosessissa alipaineisena, mikä aiheutti ilman sekoittumisen kylmäaineeseen. Nämä seokset olivat herkästi räjähtäviä. On myös väitetty, että herkästi räjähtäviä seoksia muodostavan dietyylieetterin käyttö kylmäaineena hidasti koneellisen kylmätekniikan kehitystä kehityksen alkuvaiheissa. /1, s. 47 – 48/

Ensimmäiset kylmäkoneistot olivat pääasiassa makaavia mäntäkompressoreita, joissa kylmäaineena käytettiin dietyylieetterin ($C_2H_5-O-C_2H_5$) lisäksi ammoniakkia (NH_3), hiilidioksidia (CO_2), rikkidioksidia (SO_2) ja metyylikloridia (CH_3Cl). /1, s. 47 – 48/

3.2 Nykypäivän kylmäkoneistot

Nykypäivänä käytössä on useita erilaisia kylmäkoneistoja. Koneiston rakenteeseen vaikuttaa käytettävän kylmäaineen lisäksi käyttötarkoitus ja koko. Suuret kylmälaitokset, kuten rahtilaivan kylmäruumat, jäädytetään käyttäen kylmäaineena ammoniakkia, joka soveltuu parhaiten käytettäväksi mäntäkompressoreissa, mutta myös ruuvikompressoreille ammoniakki sopii hyvin. Pienemmissä kylmäkoneistoissa käytetään mäntäkompressoreita, ruuvikompressoreita sekä scroll-, eli kierukkakompressoreita näiden luotettavuuden sekä yksinkertaisen rakenteen vuoksi. Suurin osa kaikista kompressoreista onkin mäntäkompressoreita, vaikka ruuvi- sekä kierukkakompressorit ovat yleistyneet pienemmissä koneistoissa, joita ovat lämpöpumput, ilmastointilaitteet sekä pakkaslaitteet, mukaan lukien jäädytyskonttien koneistot. Turbokompressorien käyttö rajoittuu pieneen osaan kylmäkoneistoista, ja niitä käytetään erikoistapauksissa, kuten lentokoneen ilmastointikoneistoina sekä suurempien kylmälaitosten pienpaineekoneina (boostereina), jotka nostavat kylmäaineen painetta ennen varsinaiseen kompressoriin kulkeutumista. /1, s. 116 – 129/

Kompressoria voidaan kutsua hermeettiseksi tai puolihermeettiseksi. Hermeettinen kompressori tarkoittaa sitä, että moottori ja kompressori ovat kiinteäksi hitsatun kuoren sisällä, joka estää kompressoryksikön avaamisen huolto- ja korjaustoimenpiteitä varten. Puolihermeettisen kompressorin kuori on mahdollista avata esim. laippaliitoksista. /3, s. 208 – 209/

3.2.1 Mäntäkompressorit

Mäntäkompressori on yleisin kompressorityyppi ja sitä käytetään kaikenkokoisissa kylmälaitoksissa. Kompressori koostuu yhdestä tai useammasta sylinteristä. Sylinterissä edestakaisin liikkuva mäntä tuottaa paineen, jonka vaikutuksesta paine- ja imuventtiilit aukeavat ja sulkeutuvat. Kylmäkoneen kampiakselin pyöriminen saa aikaan mäntien liikkeen. Kampiakselia pyöritetään sähkömoottorilla, jonka pyörimisnopeutta voidaan tarkasti säätää taajuusmuuttajalla. Venttiilit ovat yleensä sijoitettuina sylinterin yläosassa olevaan venttiilikanteen, mikä helpottaa venttiilien huoltoa. /3, s. 151 - 153/

3.2.2 Ruuvikompressorit

Ruuvikompressorissa painetta nostetaan pyörittämällä kahta tai kolmea spiraalinmuotoista ruuvia lomittain sylinterissä niin, että ruuvien välinen rako, jossa kylmäaine kulkee, pienenee virtaussuunnan mukaan nostaen aineen painetta. Koneiston rakenteesta johtuen ei koneessa tarvita venttiileitä ohjaamaan kylmäaineen kulkua. Ruuvikompressorin tehon säätö tapahtuu hydraulisesti ohjatulla säätöluistilla, joka muuttaa ruuvien suhdetta toisiinsa vaikuttaen sen tilan tilavuuteen, jossa kylmäaine kulkee. /3, s. 153 – 156/

3.2.3 Scroll-kompressorit

Scroll-kompressorin eli kierukkakompressorin toimintaperiaate vastaa ruuvikompressorin toimintaperiaatetta. Erona ruuvikompressorin scroll-kompressorissa on kiinteä kierukka sekä pyörivä kierukka. Kierukan pyöriessä kiinteän sekä pyörivän kierukan väliin jää rako, joka pienenee virtaussuunnan mukaan nostaen kylmäaineen painetta.

3.2.4 Turbokompressorit

Turbokompressorissa kylmäaineen painetta nostetaan pyörivillä siipipyörillä. Siipipyöriä voi olla yksi tai useampia peräkkäin, ja pyöriessään ne muuttavat kylmäaineen liike-energian paineeksi. Turbokompressorit ovat yleensä radiaaliturbokompressoreita, joissa höyrystynyt kylmäaine tulee siipipyörään aksiaalisesti. Turbokompressorin rakenne on yksinkertainen, koska kaikki osat ovat pyöriviä. Tämän johdosta kompressorissa voidaan käyttää suuria kierroslukuja, mikä mahdollistaa suuret tehot kompressorin pienestä fyysisestä koosta huolimatta. /1, s. 116 – 120/

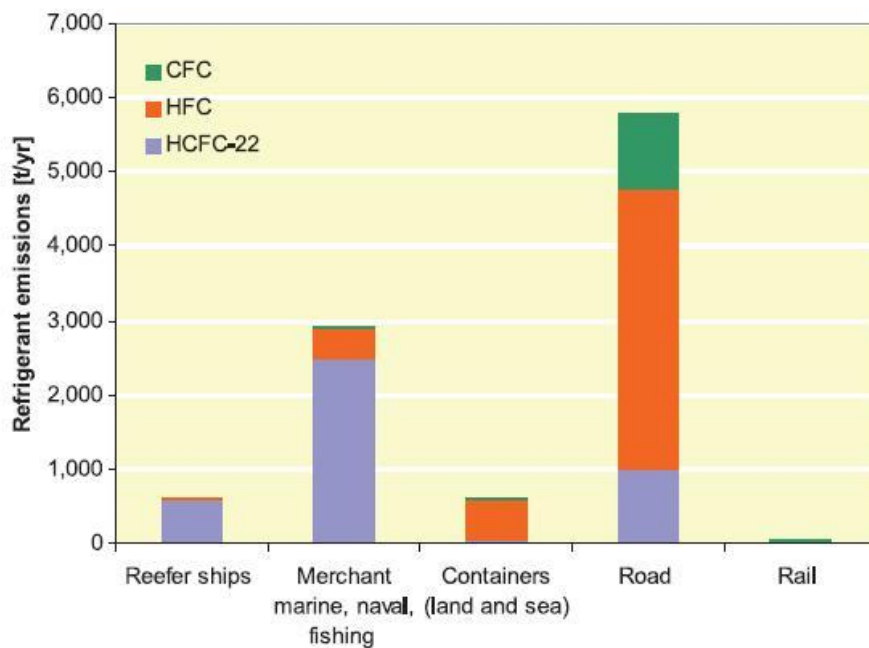
3.2.5 Rotaatiokompressorit

Rotaatiokompressorit ovat mäntäkompressoreita, joissa mäntä pyörii pesässä epäkeskeisesti niin, että se koskettaa koko ajan pesän seinämää siirtäen kylmäainetta pesän ulkokehällä alati pienenevässä tilassa. Pelkkä pyörivä epäkeskeinen mäntä ei voi pitää paine- ja imu puolia erossa toisistaan, joten ne erotetaan toisistaan epäkeskeisen männän pintaa myötäilevän luistin avulla, joka saa liikkeensä pääakselilta. Rotaatiokompressorin männän toimintaperiaatetta voidaan verrata wankel-moottorin toimintaperiaatteeseen sillä erolla, että imu- ja painepuolien erillään pitämiseen käytetään kompressorissa luistia. /1, s. 122 – 123/

4 KYLMÄAINEET

4.1 Kylmäaineiden ilmastovaikutukset

Kylmäaineet ovat yleensä joko terveydelle tai ympäristölle haitallisia. Terveydelle haitalliset ovat palavia ja ympäristölle haitalliset palamattomia kylmäaineita. Terveydelle haitalliset kylmäaineet ovat myrkyllisiä hengitettynä. Ympäristöongelmia ovat kylmäaineiden vaikutus otsonikerrokseen (ODP) sekä kylmäaineen vaikutus ilmastomuutokseen (GWP). Kylmäaineiden vaikutus on kaikkien kasvihuonekaasupäästöjen osalta hyvin pieni, n. 1 %, mutta päästöjen suuruusluokka on joka tapauksessa valtava. YK on asettanut säännöksiä ympäristövaikutusten ehkäisemiseen ja sen myötä myös IMO on asettanut omia säännöksiään kylmäaineiden käyttöön. MARPOL 73/78 Annex VI kieltää otsonikerrosta heikentävien aineiden käytön sekä rajoittaa sellaisten uusien koneistojen valmistamista laivakäyttöön, jotka käyttävät kylmäaineena ilmastolle tai otsonikerrokselle haitallisia yhdisteitä. Jäähdytysalusten kylmäainepäästöt ovat suhteellisen pieniä kaikkiin kylmäkuljetusten aiheuttamiin kylmäainepäästöihin verrattuna, kuten kuvasta 3 ilmenee. /5, s. 29 – 33/



Kuva 3. Kylmäkuljetusten aiheuttamat päästöt vuonna 2003 (tonnia/vuosi) /5, s. 32/

Kylmäaineiden käytöstä johtuvat ympäristöpäästöt ovat pienentyneet YK:n asettamien säännösten myötä selkeästi. Parantuneet huolto- ja kunnossapitotoimenpiteet ovat pie-

mentäneet päästöjä ja kylmäaineiden talteenottolaitteiden kehittymisellä on myös oma osansa päästöjen pienentymiseen. Asetukset määräävät myös sen, kuka saa kylmäkoneiden huoltoja suorittaa, mikä parantaa kylmäkoneiden huollon laatua sekä kylmäaineiden ympäristö- ja turvallisuusriskien ymmärtämistä. /5, s. 29 – 33/

4.1.1 ODP ja GWP

ODP (ozone depletion potential) on arvo, jolla ilmoitetaan kylmäaineen vaikutusta otsonikerrokseen. ODP-lukua määriteltäessä kylmäaineelle R-11 on annettu arvo 1. /6, osa 3. s. 18 – 21/

GWP (global warming potential) on arvo, jolla ilmoitetaan kylmäaineen vaikutusta ilmastomuutokseen. Lukua määriteltäessä hiilidioksidi (CO₂) on saanut GWP arvon 1. /6, osa 3. s. 18 – 21/

Mitä suurempia nämä arvot ovat, sen suurempia haitallisia vaikutuksia niillä on ympäristöön /6, osa 3. s. 18 – 21/.

4.2 Kylmäaineiden jaottelu

Kylmäaineet jaotellaan halogeenimolekyylejä sisältäviin sekä luonnonmukaisiin kylmäaineisiin. Halogeenimolekyylejä sisältävät kylmäaineet jaetaan neljään ryhmään /3, s. 237 – 241/:

CFC- kylmäaineet

Täysin halogenoituja hiilivetykylmäaineita (Chloro-Fluoro-Carbon), jotka ovat täysin halogenoituja hiilivetyjä ja sisältävät klooria, fluoria ja hiiltä, mutta ei lainkaan vetyä. Näillä aineilla on suuret ODP- ja GWP-arvot. /3, s. 237 – 241/

HCFC- kylmäaineet

Osittain halogenoituja hiilivetykylmäaineita (Hydro-Chloro-Fluoro-Carbon), jotka ovat osittain halogenoituja hiilivetyjä ja sisältävät klooria, fluoria, hiiltä ja vetyä. Näillä aineilla on pieni ODP- mutta suuri GWP-arvo. /3, s. 237 – 241/

HFC-kylmäaineet

Osittain halogenoituja hiilivetykylmäaineita (Hydro-Fluoro-Carbon), jotka ovat osittain halogenoituja hiilivetyjä ja sisältävät fluoria, hiiltä ja vetyä. Näillä ei ole vaikutusta otsonikerrokseen eli ODP-arvo on 0, mutta niillä on suuri GWP-arvo. /3, s. 237 – 241/

PFC-kylmäaineet

Täysin halogenoidut hiilivetykylmäaineet (Per-Fluoro-Carbon) sisältävät fluoria ja hiiltä. Näiden aineiden ODP-arvo on 0, mutta näillä on suuri GWP-arvo. /3, s. 237 – 241/

Luonnonmukaiset kylmäaineet jaotellaan kahteen eri ryhmään, HC-kylmäaineisiin sekä epäorgaanisiin kylmäaineisiin:

HC-kylmäaineet

Hiilivetykylmäaineet (Hydro-Carbon) ovat puhtaita hiilivetyjä, otsonihaitattomia sekä kasvihuonehaitallisuudeltaan 0 tai lähes 0 /3, s. 237 – 241/.

Epäorgaaniset kylmäaineet

Epäorgaaniset kylmäaineet (Inorganic Compounds) ovat täysin epäorgaanisia yhdisteitä, otsonihaitattomia sekä kasvihuonehaitallisuudeltaan 0 tai lähes 0 /3, s. 237 – 241/.

4.3 Kylmäaineiden merkinnät

Kylmäaineet merkitään niiden kemiallisen koostumuksen mukaan. Esimerkiksi ammoniakkin merkintä R-717 muodostuu typen järjestysluvusta 7 ja ammoniakkin molekyylipainosta joka on 17,03. Iso R kirjain tarkoittaa yleisesti kylmäainetta (*REFRIGERANT*). Näin muodostuu merkintä R-717. /1, s. 45 – 61/

Toisena esimerkkinä on R-11(CCl₃F), jossa R tarkoittaa kylmäainetta ja 11 tulee aineen sisältämän vedyn ja fluorin määrän mukaan, jotka ovat 1. R-11-kylmäaine ei

enää ole käytössä kylmäaineena, mutta sille on asetettu arvo 1 vertailuarvoksi verrattaessa kylmäaineita keskenään otsonikerrosta heikentävän vaikutuksen mukaan. /1, s. 45 – 61/

Kylmäaineiden valmistajilla on myös omia tuotenimikkeitä, joista yleisin kylmäaineksi tunnistettava on ”Freon”. Esimerkiksi kylmäaine Freon12 tarkoittaa samaa kuin R-12 tai HCFC-12. /1, s. 45 – 61/

4.4 Kylmäaineiden käyttöturvallisuusluokat

Kylmäaineet luokitellaan niiden myrkyllisyyden sekä syttyvyyden mukaan. Kylmäaineen myrkyllisyys luokitellaan kahteen ryhmään, **A** ja **B**. Kylmäaineen syttyvyysluokkia on kolme ja ne on numeroitu yhdestä kolmeen. Taulukossa 1 kylmäaineet on luokiteltu sekä syttyvyyden että myrkyllisyyden mukaan turvaryhmiin. /6, osa 3, s. 18 – 22/

Myrkyllisyysluokat:

Luokka A sisältää aineet, joiden aikapainotetulla keskiarvopitoisuudella, joka on 400 ppm tai suurempi, ei ole haitallista vaikutusta työskennellessä 40 tunnin työviikkoa kyseisen aineen vaikutusalueella /7/.

Luokka B sisältää aineet, joiden aikapainotetulla keskiarvopitoisuudella, joka on pienempi tai yhtä suuri kuin 400 ppm, on tunnettuja haittavaikutuksia ihmisen terveyteen työskennellessä 40 tunnin työviikkoa kyseisen aineen vaikutusalueella /7/.

Kylmäaineiden syttyvyysluokat:

Luokka 1 sisältää aineet, jotka eivät muodosta syttyvää seosta ilman kanssa millään pitoisuuksilla /7/.

Luokka 2 sisältää aineet, jotka muodostavat syttyvän seoksen ilman kanssa, kun kylmäaineen pitoisuus on ilmassa $\geq 3,5$ tilavuusprosenttia /7/.

Luokka 3 sisältää aineet, jotka muodostavat syttyvän seoksen ilman kanssa, kun kylmäainepitoisuus on ilmassa $\leq 3,5$ tilavuusprosenttia /7/.

Taulukko 1. Kylmäaineiden luokittelutaulukko /6, osa 3, s. 20/

	Turvaryhmät	
Suuri syttymis-herkkyys	A3	B3
Pieni syttymis-herkkyys	A2	B2
Ei syttyviä	A1	B1
	Pienempi myrkyllisyys (terveydelle haitaton)	Suurempi myrkyllisyys (terveydelle haitallinen)

4.5 Kylmäaineet laivakäytössä

Yleisimmät laivoissa käytettävät kylmäaineet ovat HFC- ja CFC-kylmäaineita sekä HCFC-22 (R-22) -ainetta, joka määritellään myös CFC-kylmäaineeksi. Ammoniakki, eli R-717, on myös yleisesti käytössä laivojen suuremmissa kylmäkoneistoissa. Lähes 90 % kaikista kylmäluksissa käytetyistä kylmäaineista on HCFC-22-kylmäaineita, toisin sanoen CFC-kylmäaineita, ja loput 10 % käytössä olevista kylmäaineista ovat HFC-kylmäaineita. HFC-kylmäaineista suurin osa on HFC-134a (R-134a) -ainetta, mutta myös R404A-, R407C- ja R410A-aineita on käytössä. /5 s, 29 – 33/

Vuonna 2005 omalla jäähdytyskoneistolla varustettuja jäähdytyskontteja oli n. 750 000 kappaletta, ja niiden yhteen laskettu kuljetuskapasiteetti oli noin 1 270 000 TEU:ta. Näissä jäähdytyskonteissa käytössä olleita aineita oli HCFC-22, jota käytettiin noin 50 000 kontissa, mutta HCFC-22-aineiden käyttö jäähdytyskonteissa on vähentynyt. Uusia HCFC-22-kylmäainetta käyttäviä koneistoja ei enää valmisteta. Muut noin 700 000 konttia käyttävät R-134a- sekä R404A-aineita. /5 s, 29 – 33/

R-134a-kylmäaineen rajoitukset ovat jo joiltain osin alkaneet. R-134a-ainetta ei enää saa käyttää Euroopassa uusien autojen ilmastointilaitteiden kylmäaineena, eikä vuodesta 2014 alkaen Eurooppaan saa tuoda R-134a-kylmäaineella varustettuja autoja. Odotettavissa siis on, että rajoitukset laajenevat myös muille aloille. Tämä tarkoittaa

sitä, että kaikkiin R-134a (n. 700 000 jäädytyskonttia) -käyttöisiin kylmäkoneistoihin on vaihdettava uusi kylmäaine jossain vaiheessa. /8/

4.6 Kylmäaineiden kehitys

Kylmäaineiden kehitys voidaan jakaa neljään vaiheeseen. Kehitykseen on vaikuttanut sekä aineiden toimivuus, turvallisuus ja kestävyys että otsonivaikutusten rajoittaminen ja ilmastomuutoksen ehkäisy. /9, s. 3053 – 3062/

Ensimmäisen vaiheen kylmäaineilta ei vaadittu muuta kuin toimivuutta laitteissa välttämättä niinkään aineiden haitallisuudesta tai muista vaaratekijöistä, kuten paloturvallisuudesta. Onnettomuudet olivatkin yleisiä, koska aineet olivat erittäin herkkiä syttymään sekä hengenvaarallisia hengitettynä. Ensimmäisen vaiheen aineista yleisin oli ammoniakki, joka on edelleen suurten kylmälaitosten käytössä. /9, s. 3053 – 3062/

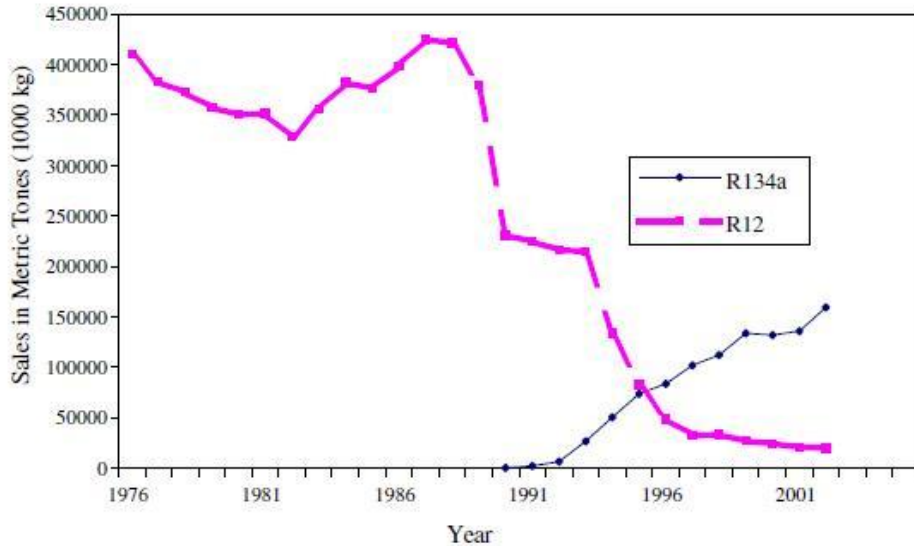
Useiden onnettomuuksien ja tapaturmien jälkeen kylmäaineilta alettiin vaatia turvallisuuden sekä kestävyteen vaikuttavia ominaisuuksia. Nopeasti uusien aineiden kehittämisen alun jälkeen löytyi kylmäaineeksi soveltuva aine, joka oli palamaton sekä haitaton terveydelle. Näin saivat alkunsa R-12 ja myöhemmin R-11. Nämä olivat CFC-kylmäaineita, jotka paremmin tunnetaan DuPontin tuotenimikkeellä ”Freon”. /9, s. 3053 – 3062/

Kolmannessa vaiheessa CFC-kylmäaineiden otsonivaikutuksien havaitsemisen myötä näistä aineista oli päästävä eroon. Vuonna 1987 YK:n ympäristönsuojelua koskevassa kokouksessa laadittiin Montrealin protokolla CFC-aineista, jotka vaikuttavat otsonikaatoon. Montrealin protokollan vaikutuksesta tiettyjä halogeenihiilivetyjä sisältävien aineiden käyttöä alettiin rajoittaa. Tämän myötä myös niin sanottujen freonien aikakausi oli päättymässä, kuten kuvasta 4 hyvin selkeästi huomaa. /9, s. 3053 – 3062/

Neljännessä vaiheessa kylmäaineiden ilmastovaikutusten huomioon ottamisesta on tullut keskeinen asia. Neljännän vaiheen aineilta vaaditaan pieniä ODP- ja GWP-arvoja unohtamatta terveyteen sekä turvallisuuteen vaikuttavia tekijöitä. /9, s. 3053 – 3062/

Kylmäaineiden kehitys jatkuu ja ilmastoasetukset tiukentuvat lähivuosisikymmeninä, mikä tarkoittaa sitä, että uusien kylmäkoneistojen käyttöönotossa on pyrittävä enna-

koimaan tulevia muutoksia ja valittava kylmäaineiksi sellaisia, jotka ovat nyt ja myös tulevaisuudessa käyttöön hyväksytyjä. Muutosten myötä kylmäaineiden tehokkuus saattaa laskea ja koneistojen hyötysuhde heikentyä tai kylmäkoneissa käytetään yhä enemmän palavia ja myrkyllisiä aineita, jotka eivät vaikuta otsoniin eivätkä ilmastonmuutokseen. Omat rajoituksensa näiden aineiden käyttöön tulevat paineastia- sekä vaarallisten kemikaalien käsittely- ja varastointi- asetuksista. /9, s. 3053 – 3062/



Kuva 4. R134a:n ja R12:n myyntimäärät vuosina 1976 – 2001 /9, s. 3054/

4.7 Korvaavat kylmäaineet

Korvaavilla kylmäaineilla tulisi olla mahdollisimman hyvät termiset ominaisuudet ja niiden tulisi toimia vanhojen koneistojen tiivisteiden, öljyjen sekä O-renkaiden kanssa. Korvaavien aineiden tulisi siis olla niin sanottuja drop-in-aineita, joiden ominaisuudet olisivat mahdollisimman lähellä korvattavan aineen ominaisuuksia, ettei koneistoon tarvitsisi tehdä muutoksia kylmäaineen vaihdon yhteydessä. Uusien kylmäaineiden ODP- ja GWP-arvojen tulisi olla nolla tai mahdollisimman pieni. Korvaavien aineiden tulisi myös olla hyötysuhteelta mahdollisimman tehokkaita ja helppohoitoisia, mutta myös palamattomuus sekä myrkyttömyys ovat tärkeitä ominaisuuksia kylmäaineella. Usein nämä kaikki ominaisuudet eivät kohtaa, ja aineet ovat joko syttyviä ja haitallisia tai palamattomia ja terveydelle haitattomia mutta ilmastolle sekä otsonille haitallisia. /9, s. 3053 – 3062/

Useat valmistajat pyrkivät löytämään korvaavia tuotteita vanhojen kylmäaineiden tilalle, mutta koska kaikki tuotteet on testattava erikseen, on kylmäaineiden kehittämi-

nen hidasta ja kallista. Pakon sanelemana näitä uusia korvaavia aineita kehitellään, ja monet valmistajat ovat jo tuoneet markkinoille omia korvaavia aineitaan. /9, s. 3053 – 3062/

4.8 Tulevaisuuden kylmäaineet

Tulevaisuuden kylmäaineina voidaan pitää useita tuttuja aineita, jotka soveltuvat erinomaisesti myös kylmäaineeksi. Näitä ovat muun muassa ammoniakki (R-717), hiilidioksidi (R-744) sekä monet muut luonnonmukaiset kylmäaineet kuten isobutaani (R-600a), butaani (R-600), propaani (R-290) ja propyleeni (R-1270). Nämä aineet ovat ympäristöystävällisiä, mutta herkästi syttyviä ja haitallisia terveydelle. Suunniteltaessa uutta koneistoa käyttämään näitä palavia kylmäaineita voidaan mahdolliset riskit minimoida koneiston suunnitteluvaiheessa sekä rajoittaa sitä aluetta, jonne kylmäaine voi päästä vuotamaan koneistosta, esimerkiksi epäsuoralla jäähdytysmenetelmällä. /1, s. 45 – 61/

Ammoniakki on kylmäaineena lähes yhtä vanha kuin itse kylmäkonetekniikka, ja se soveltuu erinomaisesti suurien kylmäkoneiden kylmäaineeksi, koska sillä on suuri höyrystyslämpö ja muut hyvät termiset ominaisuudet. Suuri höyrystyslämpö vähentää kylmäaineen määrän tarvetta, mikä on etu suurissa koneistoissa, joissa kylmäainetta on paljon. Pieniin kylmäkoneisiin ammoniakki ei sovellu, koska suuri höyrystyslämpö rajoittaa kylmäaineen määrän niin pieneksi, että se vaikeuttaa prosessin säätöä. Ammoniakkia käytettäessä on myös huomioitava sen syövyttävät ominaisuudet; se syövyttää kuparia, sinkkiä ja alumiinia sekä näiden aineiden seoksia, kuten messinkiä. Ammoniakki on myrkyllistä ja jo pienet pitoisuudet >50 ppm ilmassa ovat terveydelle haitaksi. Ammoniakkivuotojen havaitseminen on helppoa, koska jo pienenkin pitoisuus aiheuttaa pistävän hajun. /1, s. 45 – 61/

Ammoniakin lisäksi hiilidioksidin käyttö kylmäaineena on vanha keksintö, mutta yhä nykypäivänä varsin varteenotettava vaihtoehto korvaamaan ympäristölle haitallisia kylmäaineita. Hiilidioksidilla on monia hyviä ominaisuuksia kylmäaineeksi, kuten myrkyttömyys. Tästä huolimatta hiilidioksidi suurina pitoisuuksina on tappava, mutta haitallisuus alkaa vasta 30 000 – 50 000 ppm:ssä (3 - 5 %). Verrattaessa lukuja ammoniakin haitallisuuteen on ero huomattava. Myös muihin kylmäaineisiin verrattaessa hiilidioksidin haitallisuus on hyvin pieni, kun useimpien muiden kylmäaineiden haitallisuus alkaa noin 1000 ppm:sta. Toisin kuin ammoniakki, hiilidioksidi ei ole lainkaan

havaittavissa ilman mittalaitteita, joten tilassa, johon hiilidioksidilla on mahdollisuus vuotaa, on oltava asianmukainen mittaus- ja hälytysjärjestelmä. Hiilidioksidilla ei kylmäaineena ole vaikutusta ilmastoon lainkaan, koska kylmäaineena voidaan käyttää talteen otettua hiilidioksidia, joka muussa tapauksessa menisi ilmakehään. Hiilidioksidin käytön heikkous on sen huonot termiset ominaisuudet, jotka pakottavat käyttämään korkeita paineita kylmäkoneistossa, jotta saavutettaisiin halutun jäähdytysteho. Hiilidioksidia käyttävät koneistot eroavat perinteisistä koneikoista ja vaativat käyttäjiltä sekä huoltohenkilöiltä erityisosaamista, mutta useiden nykyaikaisten koelaitosten tutkimustulokset osoittavat hiilidioksidin erittäin varteenotettavaksi vaihtoehdoksi.

/10, s. 7 – 19/

Näiden perinteisten aineiden lisäksi useat eri kylmäainevalmistajat testaavat erilaisia seoskylmäaineita korvaamaan ympäristölle haitalliset aineet. Erilaisilla seoksilla on päästy hyviin tuloksiin, mutta vielä ei ole onnistuttu täyttämään kaikkia kylmäaineelta vaadittavia hyviä ominaisuuksia yhdessä aineessa. Näitä seoksia ovat atseotrooppiset seokset, jotka höyrystyvät aina vakiokoostumuksessa, sekä tseotrooppiset seokset, jotka koostuvat useammista eri kylmäaineista ja joiden höyrystyminen ja lauhtuminen tapahtuvat tietyllä lämpötilavälillä paineesta riippumatta. Yleisimpien seoskylmäaineiden koostumuksia ja tilavuusprosenttiosuuksia on taulukoituna liitteessä 1. /9, s. 3053 – 3062/

5 KYLMÄKULJETUSTEN KEHITYS

5.1 Kylmäkuljetusten alkutaipaleet

Kylmäteknikka on saanut alkunsa jo 1800-luvun puolivälissä, kun termodynaamisten ominaisuuksien ymmärrys kehittyi ja termodynamiikan lainalaisuudet ymmärrettiin. Näiden tietojen ja ymmärryksen siivittämänä pystyttiin kehittämään ensimmäisiä kylmäkoneistoja. Koneellisen jäähdyttämisen alkuna voidaan pitää Carl von Linden keksimän ensimmäisen ammoniakkikompressorin käyttöönottoa vuonna 1877 Itävalta-Unkarin Triestessä sijainneessa panimossa. Tämä ammoniakkikompressor toimi tehvässään vuoteen 1908 asti. /1, s. 12 – 18/

Samoihin aikoihin alkoi myös kylmäkonetekniikan kehitys laajemmin; mm. Ranska, Englanti sekä Yhdysvallat kehittivät omia kylmäkoneistojaan teollisuuden tarpeisiin. Kehityksen myötä kylmäkoneistot syrjäyttivät nopeasti luonnonjään sekä tekojään käytön. /1, s. 12 – 18/

Kylmäkuljetustekniikka sai alkunsa myös näihin aikoihin, kun ensimmäinen kylmäkuljetuskoneistolla varustettu laiva Frigorifique lähti liikkeelle v. 1877 Buenos Airesista määränpäänään Rouen. Laivan saavuttua määränpään lastina ollut lampaanliha oli pilaantunut. Samana vuonna Paraguay-niminen laiva kuljetti lampaanlihalastin pilaantumattomana Buenos Airesista Le Havreen. Paraguayn kylmäkoneistona toimi ammoniakkikompressorilaitteisto. Lihakuljetusten määrä Argentiinasta Eurooppaan kasvoi nopeasti ja kylmäkuljetusten aikakausi alkoi. /1, s. 12 – 18/

Pian tämän jälkeen myös kaivosala, kemianteollisuus ja petrokemianteollisuus ottivat kylmäkoneistot ja laitteet käyttöön. Monien eri alojen saavutukset eivät olisi olleet mahdollisia ilman kylmäkoneistojen käyttöönottoa. Kylmäkoneiden yleistyttyä ja elintarvikkeiden pakastamisen hyödyn huomaamisen myötä myös pientehoisten kylmäkoneiden kysyntä kasvoi, ja niiden kehitys sai lisää vauhtia. Tämä on osaltaan ollut vaikuttamassa myös nykypäivän jäähdytyskonttien käyttöönottoon sekä kehityksen, koska myös pienitehoisemmat kylmäkoneistot ovat kehittyneet energiatehokkaiksi, käytövarmoiksi sekä turvallisiksi. /1, s. 12 – 18/

5.2 Nykypäivän kylmäkuljetustilanne

Alun jälkeen kylmäkuljetusten määrä on kasvanut tasaisen nopeasti. Lihan lisäksi kuljetettavia tuotteita on tullut lisää. Niitä ovat esim. eksoottiset marjat ja hedelmät, joiden kasvattaminen ei ole mahdollista kuin tietyissä maanosissa.

Vielä nykypäivänä kylmäkuljetusten määrä on tasaisessa kasvussa ja viime vuosikymmeninä kasvuvauhti on jopa kiihtynyt. Tähän on vaikuttanut yleisesti kehittyvien maiden elintason kohoaminen. Kuljetusten kokonaismäärän kasvu on esimerkiksi vuosien 1995 ja 2002 välillä ollut 32 prosenttia. Kokonaismäärältään kuljetukset olivat vuonna 2002 jo noin 65 miljoonaa tonnia. Nopeinta kasvu on ollut Itä-Aasiassa, jonne suuri osa kylmäkuljetuksista menee. Itä-Aasiaan kulkevien tuotteiden kokonaismäärä on vuosien 1990 ja 2002 välillä noussut 23 prosentista 29 prosenttiin kaikista kuljetuksista. Tasaisen kuljetusmäärien kasvun vuoksi kuljetusten tuottavuutta on voitu parantaa erilaisin kehitysprojektein sekä yleistä tehokkutta lisäävin keinoin. Ennusteet lupaavat samansuuntaista kehitystä vielä pitkälle eteenpäin, kuten kuvan 5 ennuste kertoo. /11, s. 1 – 5/

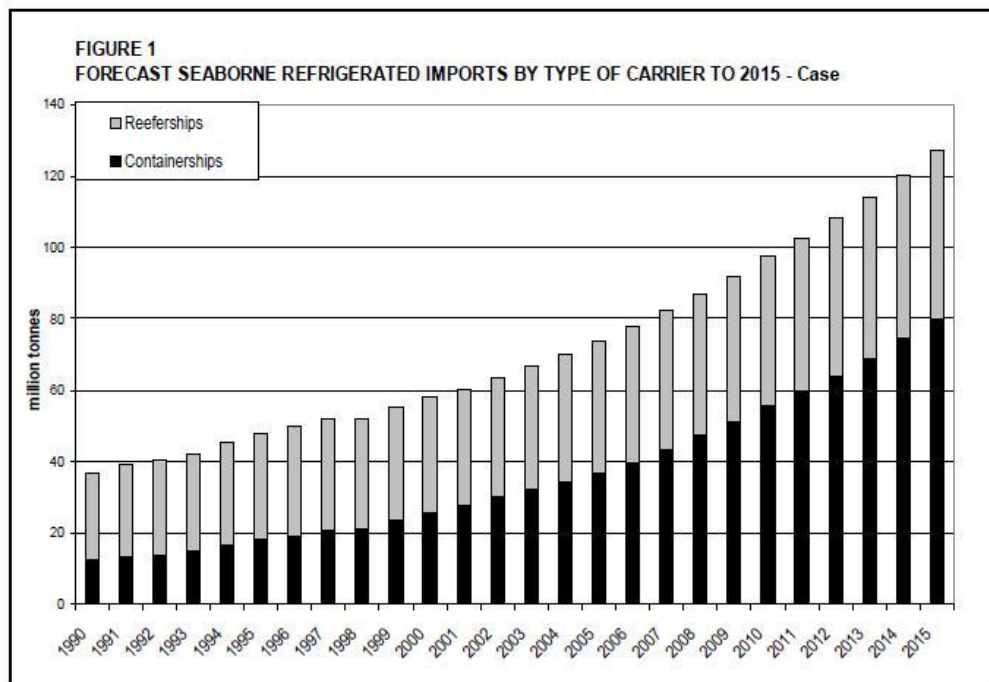
Nykypäivänä kylmäkuljetuksista noin puolet tapahtuu perinteisillä jäähdytysaluksilla, mutta jäähdytyskontit ovat nopeasti vallanneet alaa. Tämän myötä myös perinteisten jäähdytysalusten on ollut pakko kehittää sekä tehostaa toimintaa säilyttääkseen markkina-asemansa. Kehitystä on tapahtunut sekä satamarakenteiden muutoksen myötä, joka on mahdollistanut entistä tehokkaamman lastaamisen sekä purkamisen, että myös uusien laivojen rakenteellisten parannusten ansiosta. /11, s. 1 – 5/

Uusien kuljetustekniikoiden, kuten ilmastollisen ympäristön avulla, kuljetettavaksi on tullut myös paljon uusia tuotteita, jotka ilman optimaalisia kuljetusolosuhteita kuljetettaisiin lentorahtina. Näiden tuotteiden kuljetusmäärät ovat kasvaneet kuljetuskustannusten pienentymisen myötä laskeneiden hintojen johdosta. Nämä tuotteet ovat nostaneet jäähdytyskuljetusten kokonaismääriä. /11, s. 1 – 5/

Kehittyvien maiden, sekä maiden joista paljon tuotteita toimitetaan, kuten Uuden-Seelannin ja Etelä-Afrikan satamarakenteiden kehityksestä johtuen perinteisten jäähdytysalusten toimijat ovat yhä enemmän kilpailutilanteessa konttikuljetusten kanssa. Niin sanottu monopoliasema on purkautunut. Esimerkiksi omenakuljetukset Uudesta

Seelannista kuljetettiin kaikki perinteisillä jäähdytysaluksilla vuoteen 1997 asti, mutta nykypäivänä enää 2/3 kuljetetaan perinteisillä aluksilla. /11, s. 1 – 5/

Kilpailu perinteisten ja konttialusten välillä pysyy tiukkana, vaikkakin konttikuljetukset ovat menneet ohi kuljetusmäärissä lihan, meijerituotteiden sekä kalan osalta. Perinteiset alukset pitävät pintansa hedelmien ja marjojen kuljetuksissa, osittain satamarakenteista johtuen, mutta oma merkityksensä on myös sillä, että konttialukset ovat pääasiassa linjaliikenteessä, ja niiden on vaikeaa tai taloudellisesti kannattamatonta muuttaa kuljetusreittejään kausiluonteisia tuotteita kuljettaakseen. /11, s. 1 – 5/



Kuva 5. Kylmäkuljetusten kehitysennuste /11, s. 4/

6 KULJETUSREITIT JA TUOTTEET

6.1 Kuljetusreitit

Useiden tuotteiden kuljetus on kausiluonteista, joten reitit ja kuljetettavat tuotteet vaihtelevat kulloinkin sen mukaan, missä sato milloinkin on kypsä kerättäväksi. Perinteiset jäähdytysalukset kuljettavat suurimman osan kausiluonteisista tuotteista, ja tämän vuoksi alusten reitit ja aikataulut ovat joustavia. Konteissa kulkevat ne tuotteet, joiden kuljetusmäärät ja reitit pysyvät vuodenajasta riippumatta samoina. Perinteisten alusten etuna on jäähdytyskuljetuksissa joustavuus; sen ansiosta ne voivat kuljettaa tuotteita sen mukaan, missä on suurin kysyntä kuljetuskalustolle. Konttialusten on vaikea kilpailla näiden tuotteiden kuljettamisesta taloudellisesti kannattavasti. /11, s. 1 – 5/

Suomeen suuntautuva jäähdytyskuljetus tapahtuu pääasiallisesti Keski-Euroopassa sijaitsevien suurien keskusvarastojen kautta, joihin saapuu tuotteita sekä jäähdytyskonteissa että perinteisten alusten irtolastina. Esimerkiksi banaanin reitti Etelä-Amerikasta lähikaupan hyllylle voi kiertyä useamman sataman ja varaston kautta jo ennen saapumista Eurooppaan suuriin keskusvarastoihin. Esimerkiksi Hampurin sataman kylmävaraston kautta kulkee vuosittain lähes miljoona tonnia banaaneja. Sieltä ne jatkavat matkaa Suomeen pääasiassa rekkojen jäähdytetyissä irtoperävaunuissa ro-ro -aluksilla. Irtoperävaunut on varustettu omalla dieselgeneraattorilla, joka tuottaa sähköä irtoperävaunun omaan jäähdytyskoneistoon. Irtoperävaunut kytketään ro-ro-aluksissa sähköverkkoon, mutta muuten ne käyttävät omaa jäähdytyskoneistoaan dieselillä. Irtoperävaunuissa kuljetettavat jäähdytystuotteet tulevat Etelä-Suomen suuriin varastoihin, joissa kypsytämistä edellyttävät tuotteet kypsytetään, minkä jälkeen ne jatkavat jake-luautoilla matkaa joka puolelle Suomea.

Uusien kuljetusteknisten ratkaisujen myötä alusten vauhdit eivät ole juurikaan laskeneet, vaikkakin uudet tekniikat mahdollistavat nopeasti pilaantuvien tuotteiden pilaantumisen hidastamisen. Perinteisten tuotteiden, kuten banaanin ja lihan, kuljettamisen lisäksi uudet eksoottisemmat tuotteet vaativat nopeaa kuljetusta, vaikka optimaaliset kuljetusolosuhteet voitaisiinkin ylläpitää. Tästä johtuen jäähdytysaluksien nopeudet pyritään yhä edelleen pitämään 20 - 24 solmussa. /11, s. 1 – 5/

6.2 Kuljetettavat tuotteet

Jäähdytyskuljetusten määrä on kasvanut tasaisesti jo pitkään. Kuljetusten määrät ovat kaikkien tuotteiden osalta kasvaneet sekä kuljetettavia tuotteita on tullut lisää markkinoille. Jäähdytyskonttikuljetusten myötä myös pienempien jäähdytystä vaativien tuote-erien kuljettamisesta on tullut taloudellisesti kannattavaa. /12/

Pääasiallisia kuljetettavia tuotteita ovat liha, kala, banaanit, sitrushedelmät, kausiluonteiset marjat sekä meijerituotteet. Banaanin ja lihan kuljetusten määrän kasvu on ollut suurinta, siitä huolimatta että liha ja banaanit ovat pitkään olleet kuljetuksista ehdottomasti suurin osa, kuten taulukosta 2 ilmenee. Kalatuotteiden kuljetusmäärät ovat myös kasvaneet merkittävästi viime vuosina ja ovat jo joillakin talousalueilla menneet ohi banaanin kuljetuksista. Joidenkin tuotteiden osalta taulukon tiedot eivät ole vertailukelpoisia, sillä esimerkiksi meijerituotteista vain 41 % kuljetetaan laivalla, kun taas banaaneista 99 % kulkee laivalla. Tämä on huomioitava vertailtaessa taulukon tietoja toisiinsa. /12/

Perinteisen kylmäkuljetuskaluston markkinaosuus on raskaasti banaani- sekä muiden hedelmäkuljetuksen varassa, joten myös luonnonilmiöillä on ollut vaikutuksia kuljetusmääriin. Esimerkiksi poikkeuksellinen luonnon ilmiö El Niño tuhosi suuren osan viljelmistä vuosina 1997 - 1998. Vastaavanlaiset ennalta arvaamattomat ilmiöt ovat pakottaneet perinteiset alukset kuljettamaan myös jäähdytystä edellyttämättömiä tuotteita jäähdytysruumissa. /12/

Taulukko 2. Kylmässä kuljetettavien tuotteiden kuljetusmäärät milj. tonneina vuosina 1981 – 1994 /13/

	Banaani	Liha	Sitrushe- delmät	Kausiluon- toiset marjat	Kala	Meijeri tuotteet	Muut	Kokonais- määrä	Vuotuinen kasvu
1981	6,78	6,24	5,99	2,23	1,75	1,05	0,15	24,19	-
1982	6,77	6,13	6,13	2,14	1,82	1,04	0,20	24,23	0,2 %
1983	6,07	6,25	6,10	2,45	1,95	0,89	0,21	23,92	- 1,3 %
1984	6,59	5,96	6,14	2,28	2,15	1,01	0,32	24,45	2,2 %
1985	7,13	6,07	5,76	2,46	2,72	1,05	0,35	25,54	4,5 %
1986	7,26	6,45	6,27	2,32	2,95	1,10	0,28	26,63	4,3 %
1987	7,51	6,68	6,50	2,56	3,41	0,95	0,35	27,96	5,0 %
1988	7,84	7,21	6,80	2,73	3,95	0,95	0,54	30,02	7,4 %
1989	8,28	7,50	7,05	2,89	4,05	0,95	0,65	31,37	4,5 %
1990	9,04	7,75	6,88	3,00	4,10	1,05	0,72	32,54	3,7 %
1991	9,93	8,31	6,79	3,21	4,45	1,12	0,85	34,66	6,5 %
1992	10,45	8,47	7,14	3,32	4,95	1,16	0,95	36,44	5,1 %
1993	10,44	8,45	7,08	3,37	5,20	1,10	1,05	36,69	0,7 %
1994	10,85	8,92	7,34	3,50	5,35	1,21	1,15	38,32	4,4 %

Politiikalla on myös ollut vaikutusta kuljetusten kehitykseen, kun banaanista tehtiin poliittisen valtapelin pelinappula Euroopan sekä Yhdysvaltojen tuontia ja vientiä koskevissa rajoituksissa. Niin sanotussa banaanisodassa jotkut Euroopan valtiot, kuten Ranska ja Iso-Britannia, suosivat omien vanhojen siirtomaidensa tuottamia banaaneja kuljettamalla niitä ilman tullimaksuja. Tämä toiminta rajoitti Yhdysvaltojen tuottamisen banaanien kuljettamista Ranskaan ja Isoon-Britanniaan. Näin muut Euroopan valtiot joutuivat maksamaan korkeita tullimaksuja banaaneista, kun taas Ranskan ja Iso-Britannia eivät. /14, s. 6 – 8/

6.3 Tuotteiden jäädyttäminen

Useat tuotteet edellyttävät jäädyttämistä tai pakastamista ennen kuljetuksen alkua. Useinkaan tuotteen lastaaminen suoraan valmiiksi jäädytettyyn konttiin ei ole mahdollista, koska luukkujen ja ovien avaaminen mahdollistaa lämpimän ja suhteellisen kostean ilman pääsemisen jäädytystilan sisälle, jollei asianmukaista lastausjärjestel-

mää ole käytössä. Asianmukaisessa järjestelmässä tuotteet jäädytettäisiin kylmätilassa haluttuun lämpötilaan ja siirrettäisiin sitä kautta konttiin, jossa vallitsee halutut ja samat olosuhteet kuin jäädytystilassa. Tämä estää kostean ja lämpimän ilman pääsemisen konttiin. Lämmin ja kostea ilma muodostaa höyrystimen pinnalle jäätä, mikä heikentää koneiston jäädytystehoa ja edellyttää jään sulattamista. Jäätä voi muodostua höyrystimen lisäksi kontin rakenteisiin sekä tuotteiden pinnalle. Tuotteiden pinnalle muodostunut jää pilaa tuotteen. Kondensoitunut jää lisää myös kuljetuksen kokonaispainoa ja se voi johtaa ylikuormaan. Jäädytys vaatii koneistolta huomattavasti suurempaa tehoa kuin asetetun lämpötilan ylläpitäminen, joten kontin koneiston on oltava riittävän tehokas jäädyttämään lasti. Perinteisessä jäädytysaluksessa on jään kertyminen myös otettava huomioon ja tuotteiden jäädytys voidaan aloitettava vasta, kun ruuma on lastattu täyteen. /13/

7 KYLMÄALUKSET

7.1 Perinteiset jäähdytysalukset

Perinteiset jäähdytysalukset eivät ulkoisesti eroa juurikaan muista irtolastialuksista, mutta ne ovat yleensä väriltään valkoisia, koska vaaleisiin pintoihin imeytyy lämpösäteilyn tuottama lämpö heikommin kuin tummiin pintoihin. Jäähdytysalusten runkorakenne on hivenen sulavampi muihin irtolastialuksiin verrattuna. Perinteiset jäähdytysalukset on varustettu tehokkailla koneilla, jotta ne saavuttaisivat mahdollisimman suuren matkavauhdin, ja tätä edesauttaa rungon sulava muoto. Nopeus on tärkeää, koska useat kuljetettavat tuotteet pilaantuvat lyhyessä ajassa. Perinteisissä jäähdytysaluksissa on useita jäähdytettyjä ruumia, koska eri tuotteet tarvitsevat eri lämpötiloja ja ilmastoja selvitäkseen kuljetuksessa pilaantumattomana. Ruumat ovat erittäin hyvin eristettyjä, niin että kylmäkoneistot toimivat meriveden lämpötilojen noustessa tropiikissa jopa kolmeenkymmeneen celsius asteeseen. Ruumat ovat kuljetettavan tuotteen mukaan jäähdytettyjä, joten ne voivat olla joko plusasteisia, kuten banaanikuljetukset edellyttävät, tai miinusasteisia, mitä vaativat pakastettuna kuljetettavat tuotteet, kuten liha. Ruumat jäähdytetään ohjaamalla jäähdytettyä ilmaa ruumiin; jäähdytyskoneistona on useimmiten kompressorijäähdytin ja kylmäaineena R-22 tai ammoniakki. Ruumien lämpötiloja seurataan tarkasti ja mitta-antureita on ruumissa useita. Tiedot kulkevat laivan tietoverkossa valvontapisteeseen, jolta ruumien olosuhteita voidaan seurata sekä säätää. /12/

Perinteisten jäähdytysalusten etuna jäähdytyskonttialuksiin verrattuna on se, että ne kuljettavat tuotteita suoraan satamasta toiseen. Konttialuskuljetuksissa aikaa kuluu hukkaan, kun tuotteita otetaan lisää useammista eri satamista. Perinteiset alukset hoitavat banaanien ja sitrushedelmien kuljetuksesta suurimman osan. /12/

7.1.1 Ilmanvaihtojärjestelmät

Perinteisten jäähdytysalusten ruumiin voidaan ohjata ilmaa erilaisilla ilmanvaihtojärjestelmätarkaisuuilla, joista yleisimpiä ovat ”Ductless” ja ”Robson” sekä niiden yhdistelmä, jossa molempien parhaat ominaisuudet on yhdistetty samaan järjestelmään. Ductless-järjestelmässä jäähdytysilma puhalletaan jäähdytyspatterin läpi suoraan alas ruuman pituussuuntaisiin ilmakehanaviin. Ilmakehanavissa olevien reikien kautta jäähdytysilma pääsee ruumaan. Robson-järjestelmässä jäähdytysilma puhalletaan ruumaan

sivuilla olevien kanavien kautta alas ruuman poikittaissuuntaisiin jäähdytysilmakanaviin. Näiden jäähdytysjärjestelmien heikkoutena on se, että suuri osa jäähdytysilmasta kulkee tuotteiden väleistä niitä oleellisesti jäähdyttämättä. Sen lisäksi ilmakehät aiheuttavat merkittävästi hukkatilaa ruumassa. Näitä järjestelmiä korvaamaan on kehitetty järjestelmä, jossa hukkajäähdytystä ei tapahtuisi ja hukkatila jäisi mahdollisimman pieneksi. Tämä järjestelmä on ”Modified Side-Duct” -järjestelmä. Tässä järjestelmässä jäähdytysilma ohjataan Robson-järjestelmän mukaisesti ruumaan alaosan jäähdytysilmakanaviin, joista se kulkee tiivistettyjen pallettien sisälle jäähdyttäen näin ollen tehokkaasti kuljetettavia tuotteita. /15, s. 23-1 – 23-18/

7.1.2 Palletit

Palletit ovat kuormalavoja, joiden päälle kuljetettavat tuotteet pakataan. Yleisimmin käytetyt palletit ovat mitoiltaan 1000 mm x 1200 mm, mikä on ISO-standardin mukainen pallettikoko. Pallettien korkeus voidaan määrittää ”banaanipallettina”, mikä tarkoittaa sitä, että lavalle on lastattu kahdeksan kerrosta 250 mm korkeita banaanilautikoita. Näin ollen palletin kokonaiskorkeudeksi tulee noin 2100 mm. Pallettien paino hedelmälastissa on noin 2000 kg, joten niiden on oltava kestävärakenteisia. Kuormalavat ovat useimmiten puisia, mutta myös muovisia lavoja on standardoitu. Jäähdytyskuljetuksissa käytetään myös kuvan 7 mukaisia erikoisvalmistettuja palleteja, jotka ovat kiinteitä laatikoita, joissa on kylmän ilman sisälle virtaamista avustavia aukkoja. /16, s. 220 – 234/



Kuva 7. Erikoisvalmisteininen jäähdytyskuljetuspalletti /16, s. 225/

Palleteja voidaan lastata perinteisen jäähdytysaluksen ruuman lisäksi jäähdytyskontteihin. Jäähdytyskonteissa palleetit tulee lastata niin, että vaadittavat ilmaraot jäävät palletojen ja kontin rakenteiden väliin sekä palletojen yläpuolelle. /16, s. 220 – 234/

Palleteja on helppo käsitellä lastattaessa sekä purettaessa, mikä on lisännyt niiden suosiota sekä irtolastialuksien kuljetuksissa että konttikuljetuksissa /16, s. 220 – 234/.

7.1.3 Hissit ja nosturit

Noin 60 % kaikista jäähdytystä edellyttävistä tuotteista kuljetetaan palletoissa, joten palletojen nopeaan käsittelymiseen lastaus- sekä purkuvaiheessa on kehitetty tehokkuutta lisääviä ratkaisuja. Näitä ovat palletohissit sekä -nosturit. Palletohissillä voidaan palletoja siirtää laivan ruumaan ilman, että samanaikainen kansilastaus häiriintyy. Palletohissit mahdollistavat kansi- sekä ruumalastauksen samanaikaisesti. Palletohissit edellyttävät laivalta sivuovia, joiden kautta palleetit voidaan siirtää laivan sisälle ja sitä kautta hissillä alas ruumaan. /15, s. 23-1 – 23-18/

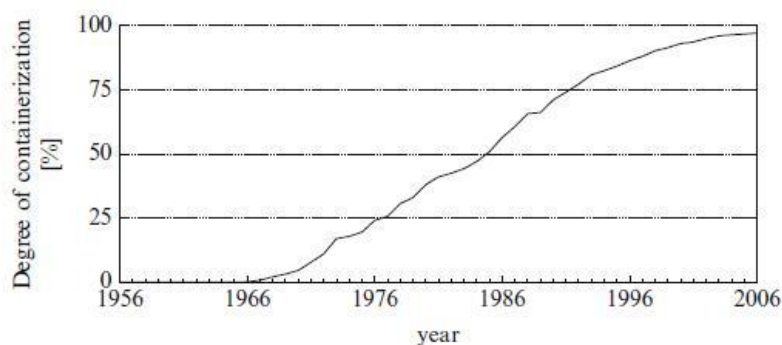
Kaikissa perinteisissä jäähdytysaluksissa ei kuljeteta kannella mitään, joten palleetit voidaan lastata lastiluukkujen kautta tehokkaasti ruumaan. Tämä tapahtuu palletoinostureilla, jotka ovat laivan kiinteää rakennetta. Palletoinosturit voivat nostaa kerralla useampia palletoja palletohäkissä, mikä moninkertaistaa tehokkuuden. Jos ruumissa kuljetetaan pääasiassa palletoihin pakattuja tuotteita, on lastiruumien luukut voitu mitoittaa palletohäkin koon mukaan. Tämä pienentää luukkujen tiivistyspinta-alaa ja sen myötä vähentää ruumaan virtaavan lämpimän ilman määrää. Nykyaikaisilla palletoinostureilla voidaan saavuttaa jopa useiden satojen palletojen käsittely tunnissa. /15, s. 23-1 – 23-18/

Jäähdytyskonttien käsittely tapahtuu kuten minkä tahansa muun kontin käsittely. Aina erona se, että kontit on erotettava laivan sähkö- ja tietojärjestelmästä ennen purkuvaiheen aloittamista. /15, s. 23-1 – 23-18/

7.2 Konttien kehitys

Kun rahtitavaran käsittelyä oli tarve kehittää ja nopeuttaa, Malcolm McLean kehitti 58 erikoisvalmisteista kuljetuskonttia vuonna 1956 ja kuljetti ne aluksella Ideal-X paikasta toiseen. Perinteiseen irtotavarakuljetukseen verrattuna nopea purku ja lastaus nosti-

vat kontit nopeasti suosioon. Tätä nopeaa konttien käyttöönottoa kuvaa hyvin kuvan 8 esittämä Hampurin sataman konttimäärien kehitys. Myös konttien jatkokuljetus tehostui huomattavasti, kun rahtitavaraa ei tarvinnut purkaa ja lastata jatkokuljetukseen vaan kontit voitiin nostaa suoraan rekkaan tai junanvaunuun. Tämä on vähentänyt välivarastoinnin tarvetta sekä parantanut kuljetusten luotettavuutta, koska tuotteet ovat sinetöityinä kontissa kuljetuksen eri vaiheissa. Konttien yhteensopivuuden varmistamiseksi määritettiin kansainvälinen standardi vuonna 1964. Konttien standardimitoiksi määrättiin 20' × 8' × 8'6" (pituus × leveys × korkeus), mikä nykyisin tunnetaan TEU:na (Twenty-foot Equivalent Unit). /17, s. 1 – 15/



Kuva 8. Hampurin sataman konttimäärän kehitys vuosina 1956 – 2006 /17, s. 6/

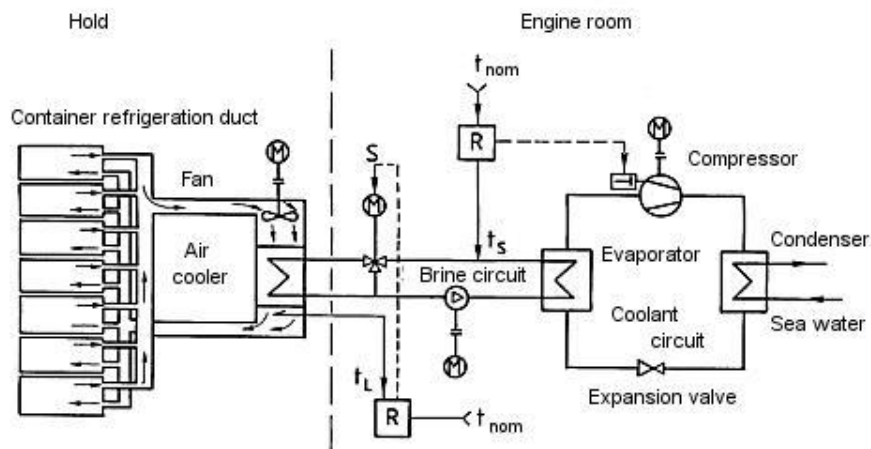
7.3 Jäähdytyskonttialukset

Jäähdytyskonttialukset eivät ulkoisesti eroa konttialuksista lainkaan. Ainoa ero on se, että aluksessa on oltava mahdollisuus kytkeä jäähdytyskontit laivan sähköjärjestelmään sekä konttien valvonta- ja ohjausjärjestelmiin. Konttilaivoissa, joissa kuljetetaan myös jäähdytyskontteja, on jäähdytyskonttien suhde muihin kontteihin nähden noin 1:10. On myös jäähdytyskonttialuksia, joilla kuljetetaan pääasiassa jäähdytyskontteja. Näissä aluksissa on oltava kaikille jäähdytyskonteille sähkökytkentämahdollisuus sekä konetehon on oltava riittävä tuottamaan jäähdytyskonttien tarvitsema sähkö.

Erikoisjäähdytyskontit, joissa ei ole omaa jäähdytyskoneistoa, tarvitsevat erillisen järjestelmän konttien jäähdyttämiseen. Tämä ei ole ulkoisesti nähtävissä laivasta, koska ns. porthole-kontit ovat laivan kannen alla. Nämä alukset, kuten muutkin jäähdytysalukset, ovat yleensä väriltään vaaleita.

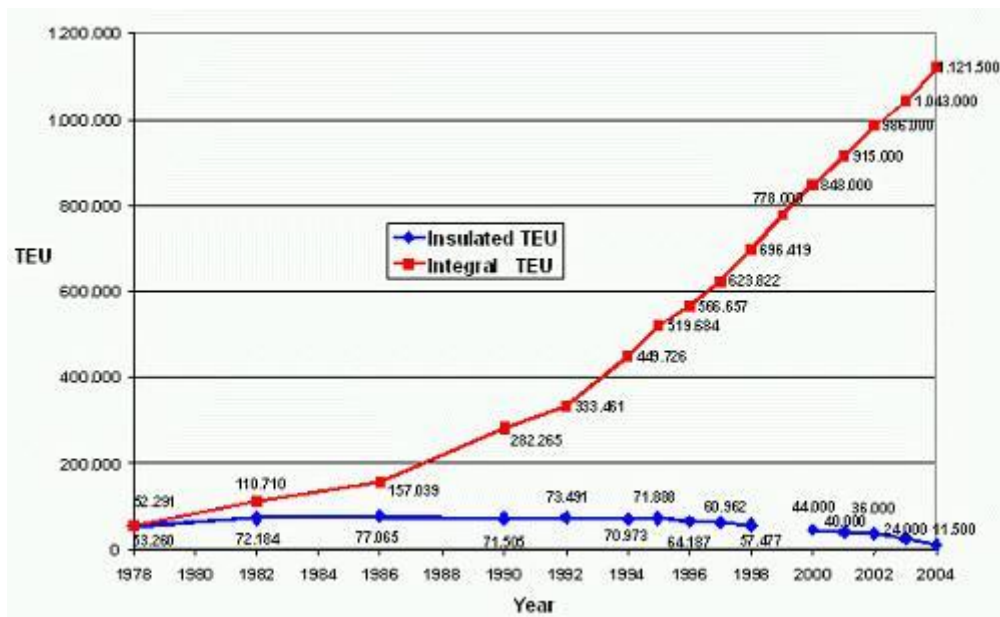
7.3.1 Porthole-kontti

Porthole-kontti on jäähdytyskontti, jolla ei ole omaa jäähdytyskoneistoa. Laivan oma jäähdytyskoneisto tuottaa konteille tarvittavan jäähdytysilman, joka ohjataan kontteihin kuvan 9 mukaisella järjestelmällä. Jäähdytysilmaa voidaan myös tuottaa erillisellä clip-on-yksiköllä. Porthole-kontit ovat valmistuskustannuksiltaan huomattavasti integraali kontteja eli omalla jäähdytyskoneistolla varustettuja kontteja edullisempia, mutta ne tarvitsevat erillisiä järjestelmiä, joiden avulla kontteihin saadaan jäähdytysilmaa. Tämä on huomioitava jo laivan rakennusvaiheessa. /13/



Kuva 9. Porthole-konttien jäähdytysilmajärjestelmä laivassa /13/

Etuna porthole-konttijärjestelmässä on se, että kontit sijaitsevat laivan ruumassa, missä voidaan myös ruuman lämpötilaa säädellä. Tämä helpottaa konttien sisälämpötilojen säätöä ja valvontaa. Porthole-konttien kehitys on hiipunut, kun integraalikonit ovat vallanneet alaa, kuten kuva 10 esittää. Nykypäivänä uusia porthole-konttialuksia ei enää valmisteta, mutta uusia kontteja valmistetaan korvaamaan käyttökelvottomat kontit. Porthole-kontista käytetään myös termiä insulated-kontti. /13/



Kuva 10. Porthole- ja integraalikonttien kehitys vuosina 1978 – 2004 /13/

7.3.2 Clip-on-jäähdytysyksikkö

Clip-on-yksikkö on porthole-kontin jäähdytysyksikkö, jota käytetään, kun konttia kuljetetaan muulla kuljetuskalustolla kuin laivalla tai laivan ulkokannella, jonne laivan omat jäähdytysilmakanavat eivät ylety. Clip-on-jäähdytysyksikkö koostuu sähkökäyttöisestä kylmäkoneistosta, ja se sananmukaisesti liitetään kontin päähän porthole-läpivienteihin, joiden läpi clip-on-yksikön tuottama jäähdytysilma ohjataan kontin sisään. Clip-on -yksikkö tarvitsee toimiakseen sähkökytkennän sähköverkkoon. Joten laivan kannella kuljetettaville clip-on -yksiköllä varustetuille porthole-konteille on oltava sähkökytkentämahdollisuus. Rekassa clip-on-yksikkö voidaan kytkeä rekan generaattoriyksikköön. Junakuljetuksiin on kehitetty oma generaattorivaunuyksikkö, jolla pystytään tuottamaan useammalle clip-on-yksikölle tarvittava sähkö. Clip-on-yksiköllä varustettu porthole-kontti vastaa integraalikonttia, jossa jäähdytyskoneisto on kontin kiinteää rakennetta. /13/

7.3.3 Integraali-kontti

Integraali-kontilla tarkoitetaan jäähdytyskonttia, jossa on oma jäähdytyskoneisto, joka jäähdyttää kontin sisäilmaa. Kontti voidaan jäähdyttää jopa $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$:seen. Koneisto on useimmissa uusissa konteissa scroll-kompressorikoneisto, joka toimii sähköllä. Konttien on oltava kuljetuksen ajan kytkettynä sähköverkkoon, jotta jäähdytyskoneisto toimii. Lauhdutin voi olla vesi- tai ilmajäähdytteinen, vesijäähdytteisiin kontteihin on

kytkettävä myös meno- ja paluuvesilinjat. Tuotteista riippuen kontin sisäilmaa on vaihdettava sen mukaan, minkälaisen ilmaston halutaan kontissa vallitsevan. Eri tuotteet edellyttävät erilaiset olosuhteet, ja näitä pyritään ylläpitämään puhaltimilla ja rikastamalla kontissa vallitseva ilma kaasulla. Integraali-kontit ovat yleensä väriltään vaaleita. /13/

Integraali-kontit pyritään lastaamaan niin, että ne voidaan kytkeä mahdollisimman nopeasti sähköverkkoon. Tämä ei aina ole mahdollista, koska lastauksen aikana kannella liikkuminen on kiellettyä. Konttia voidaan jäähdyttää tuotteista riippuen hiukan asetettua arvoa viileämmäksi, minkä ansiosta kontti ei ehdi lämmetä liiaksi lastauksen tai purkamisen aikana. /13/

Integraali-kontit ovat vallanneet alaa ja ne ovat nykypäivänä erittäin hyvä vaihtoehto kuljetettaessa jäähdytystä edellyttäviä tuotteita. Kontti on erittäin hyvin eristetty polyuretaanivalmisteilla ja sen lisäksi luukut on tiivistetty lämmön virtaamisen estämiseksi. Konttien sisäpinnat ovat helposti puhdistettavaa materiaalia, minkä ansiosta kontti on nopea pestä, mikäli tuotteet ovat pilaantuneet ja lianneet kontin. /13/

Integraali-kontin on toimittava sekä 60 ja 50 hertsin sähköverkossa, koska kontit kiertävät ympäri maailmaa. Liitännöjen on myös oltava yhteensopivia missä tahansa. Tämä on huomioitu standardeja määritettäessä, ja nykypäivän kontit ovat yhteensopivia missä tahansa. Konttien valvonta- ja säätöjärjestelmien kytkeminen laivan tietoverkkoihin voi vielä olla joissain tapauksissa ongelmallista, kun käytössä on vanhoja modeemijärjestelmiä sekä uusia langatonta viestintää hyväksi käytettäviä järjestelmiä. Valvonta- ja säätöjärjestelmistä riippuen voidaan kontin vallitsevaa lämpötilaa ja ilmastoa säätää joko kontin ohjauspaneelista tai tietoverkon välityksellä keskitetysti yhdeltä tietokonepääteeltä. Modeemien osalta konttien kehityksessä on jopa käynyt niin, että modeemit olivat jo asennettuina kontteihin, mutta laivoissa ei ollut omia järjestelmiä hyödyntämään modeemien tuomaa hyötyä. Tästä johtuen monet modeemilaitteistot olivatkin jo vanhentuneita ennen niiden varsinaista käyttöönottoa. /13/

Jäähdytystä edellyttävien tuotteiden seuranta on tärkeää, koska herkästi pilaantuvien tuotteiden lämpötilat ja muut olosuhteet ovat kriittiset. Jo pienikin ero asetetusta arvosta voi saada aikaan peruuttamattoman pilaantumistapahtuman. Kypsyessään tuotteet tuottavat etyleeniä, mikä kiihdyttää pilaantumisprosessia, joten etenkin etyleenitason valvominen ja siihen vaikuttaminen on tärkeää. Kontissa vallitsevan ilmaston suh-

teellinen kosteus on myös tärkeä valvonnan kohde, koska liian kostea ilma saattaa aiheuttaa kosteuden pisaroitumista tai jäätämistä. Pisaroiden muodostuminen tuotteiden pinnalle heikentää jäähdystystä ja saattaa pilata tuotteen. Kontin sisälle muodostuva jää edellyttää sen sulattamista, mikä lisää kontin tehontarvetta. Liian kuiva ilma vaikuttaa tuotteisiin myös mm. heikentäen tuotteen laatua. /13/

Clip-on-tekniikkaa on myös integraali-konteissa käytössä, toisin kuin porthole-kontin clip-on-yksikössä. Integraali-kontin clip-on-yksikössä ei ole kylmäkonetta vaan ainoastaan sähkögeneraattori, jolla tuotetaan sähköä kontin omalle kylmäkoneistolle.

Kontteja valmistavia yrityksiä on useita ja konttien ominaisuudet poikkeavat toisistaan valmistajan sekä kontin käyttötarkoituksen mukaan. Konttien liikkussa useilla eri taulousalueilla, joilla on omia määräyksiä sekä standardeja, jotka on täytettävä, suurin osa konteista valmistetaan täyttämään vaadittavat asetukset ja ne ovat lähes identtisiä valmistajasta riippumatta. Kuvia suurimpien integraalikonttien valmistajien konteista on liitteenä 3. /13/

8 VALVONTAJÄRJESTELMÄT

8.1 Valvontajärjestelmien merkitys

Kuljetettavien tuotteiden määrä- ja laatuvaatimusten kasvaessa yhä tarkemmat valvontajärjestelmät ovat tarpeen. Useiden tuotteiden kuljettaminen vaatii erittäin tarkat olosuhteet, jotta tuotteet säilyisivät kuljetuksessa pilaantumatta. Noin 35 % vihanneksista ja hedelmistä pilaantuu kuljetuksen aikana valvontajärjestelmistä huolimatta. Liha- ja kalatuotteista pilaantuu noin 10 – 15 %. Näiden pilaantuneiden tuotteiden arvo on suuri, ja se nostaa kuljetuksen kokonaiskustannuksia. Kuljetusten kannattavuuden tehostamiseksi kehitetään kehittyneempiä valvontajärjestelmiä ja niitä otetaan käyttöön. Kehityksen avulla tuotteiden pilaantumista voidaan vähentää. /18, s. 120 – 129/

Useiden eri tuotteiden valvonnassa on otettava huomioon kuljetuslämpötilan lisäksi myös muita arvoja, joita ovat kaasumäärät, etenkin etyleenin, jota muodostuu tuotteen kypsyessä ja joka myös vauhdittaa pilaantumistapahtumaa. Ilman suhteellista kosteutta on myös valvottava, koska liian kuiva ilma saa aikaan kosteuden haihtumista tuotteista, mikä taas huonontaa tuotteen ulkonäköä sekä laatua. Haihtunut vesi myös pienentää kuljetettavan tuotteen massaa ja näin ollen myös tuotteesta saatavaa hintaa. Ilmankosteutta voidaan säätää riittävällä ilman vaihtuvuudella, jonka mukana ulkoilmasta tulee kosteutta jäähdytystilaan. Tämä taas lisää jäähdytystehon tarvetta, kun ilman vaihtuvuus on suuri. Automaattisilla valvonta- ja säätöjärjestelmillä ilmanvaihtuvuus sekä puhaltimien pyörimisnopeus saadaan optimoitua jokaisen tilanteen ja olosuhteen mukaan. Yhä tarkempia valvontajärjestelmiä useat valmistajat kehittävät, ja näiden laitteiden kysyntä kasvaa. /18, s. 120 – 129/

Valvontajärjestelmät lisäävät huomattavasti miehistön turvallisuutta sekä keventävät työtaakkaa. Valvontajärjestelmiin kytkettyjen konttien valvonta tapahtuu keskitetysti yhdeltä tietokonepäätteeltä, ja näin ollen kontteja ei tarvitse käydä tarkistamassa fyysisesti kontin omasta näyttöpaneelistä. /18, s. 120 – 129/

8.2 RMS (Reefer management system)

RMS (Reefer management system) on kylmäkuljetuksen hallintajärjestelmä. Sen avulla valvotaan jokaista systeemiin kytkettyä konttia yksityiskohtaisesti. Systeemiin voidaan kytkeä kaikki laivan jäähdytyskontit. Tämä systeemi auttaa valvomaan asetettuja

arvoja, kuten lämpötiloja, kaasumääriä, ilman kosteutta sekä sisään menevän ilman lämpötilaa ja muita ominaisuuksia. Järjestelmä toimii kaksisuuntaisesti ja mahdollistaa sekä kontin valvomisen että asetettujen arvojen muuttamisen samalta päätteeltä. Pääte toimii järjestelmän master-tietokoneena. /19/

Järjestelmän avulla voi muuttaa yksittäisen kontin arvoja. Näin ollen kaikkien laivan konttien valvonta ja säätö voidaan kytkeä yhteen tietokoneeseen, jota voidaan operoida esim. laivan komentosillalta. Tämä järjestelmä tallentaa jokaisen kontin arvot koko kuljetusajalta ja hälyttää, jos kontin arvot muuttuvat asetettujen raja-arvojen yli. Järjestelmän avulla ongelmatilanteet huomataan välittömästi arvojen muuttuessa ennalta asetettujen rajojen ulkopuolelle. Tämän ansiosta pilaantumiset vähenevät ja kuljetusten laatu paranee huomattavasti. RMS:n avulla myös kuljetettavan kontin toimittaja sekä tilaaja voivat seurata reaaliaikaisesti kontin lämpötiloja, kaasumääriä, sijaintia ja muita tietoja. Jos pilaantumista huomataan tapahtuneen matkan aikana, on kontin logitiedoista mahdollista analysoida jälkikäteen pilaantumiseen johtaneet syyt. Syytä ja seurauksia analysoimalla voidaan ennalta ehkäistä vastaavankaltaisen tapahtuman uusiutuminen. Useat eri elektroniikkavalmistajat ovat kehittäneet omia järjestelmiään tähän tarkoitukseen. /19/

8.3 GPS-laitteistot

GPS-laitteistot ovat myös nopeasti yleistyneet jäähdytyskonttien varusteena. Tämä on parantanut kontin seuraamismahdollisuuksia. Erityisesti lääkeaine- ja verikuljetuksissa GPS-laitteet ovat käytössä, kun halutaan ehdottoman varmasti tietää kontin sijainti. Lääkeaineet ja veri yleensä kuljetetaan lentorahtina, mutta erityistapauksissa, kuten sota-alueille suuntautuviissa kuljetuksissa, saatetaan veren ja lääkkeiden kuljetukseen käyttää jäähdytyskonttia. GPS-laitteiden käyttöönotto on mahdollistanut myös kuljetusketjun tehokkuuden parantamisen. Laivakuljetuksen osalta GPS-laitteilla ei ole suurta hyötykäyttöä, mutta esim. rekkakuljetuksessa voidaan valvoa kontin sijaintia ja ohjata konttia kuljettavaa rekkaa välttämään esim. ruuhkatilanteet. GPS onkin yleisesti jo käytössä pyörillä kulkevien kuljetusten seurannassa. /18, s. 120 – 129/

8.4 RFID (Radio Frequency Identification)

RFID (Radio Frequency IDentification), on etätunniste- tai saattomuistilaite, joka lähettää radiotaajuudella tunnistetietoja. Teollisuuden sekä logistiikan alat käyttävät ISM-taajuuksilla toimivia saattomuistilaitteita. Nämä taajuudet ovat vapaassa käytössä ilman mitään käyttöoikeusrajoitteita. ISM-taajuuksia käyttäviä laitteita ovat esim. WLAN, mikroaaltouuni, Bluetooth ja RFID. /20, s. 877 – 879/

RFID-teknologia on nopeasti kasvanut sen erinomaisen käytettävyytensä johdosta. Se on viivakoodi, jonka lukeminen on mahdollista ilman visuaalista yhteyttä tunnisteseen. Tämä mahdollistaa eri tuotteiden tunnistetietojen sekä joissain tapauksissa myös muiden tietojen, kuten lämpötilan, lukemisen etänä ja langattomasti. Laivarahtikuljetamisessa RFID-teknologia on omaa luokkaansa, koska tuotteiden nopea purkaminen on avainasemassa pyrittäessä tehokkaaseen ja taloudelliseen toimintaan. RFID-tunnistetiedot voidaan kerätä sekä irtolastialusten palleteihin kytketyistä tunnisteista että kontin sisään eri tuotteisiin asennetuista tunnisteista. Näin esimerkiksi samassa kontissa olevien eri tuotteiden yksityiskohtaiset tiedot ovat luettavissa. /20, s. 877 – 879/

8.5 Bluetooth

Bluetooth on tiedonvälitysjärjestelmä, joka toimii käyttäen ISM-taajuuksia. Bluetooth luo yhteyden kahden tai useamman laitteen välille ja siirtää tietoa kaksisuuntaisesti. Bluetooth on nopeasti yleistynyt viihde-elektroniikassa ja myös teollisuuden sovelluksissa. Bluetoothilla voidaan korvata kaapelien käyttö ja siirtää tietoa langattomasti. Konttikuljetuksissa Bluetooth vähentää kontteihin kytkettävien kaapeleiden määrää ja näin ollen myös työmäärää. Bluetoothilla voidaan viestittää muutamasta metristä jopa 100 metrin päähän, laitteen tehosta riippuen. Konttien lämpötilat ja muut arvot voidaan välittää operaattorille langattomasti ja kontteja voidaan valvoa sekä ohjata langattomasti Bluetooth-laitteilla. /21/

9 ILMASTOLLINEN YMPÄRISTÖ

9.1 Ilmastollisen ympäristön merkitys

Ilma koostuu normaali-ilmanpaineessa (1013 hPa), typestä, hapesta, hiilidioksidista sekä vedystä. Ilmassa on myös pieniä määriä muita aineita, mutta hyvin vähäisiä määriä. Näitä ovat argon, metaani, neon ja helium. Vesihöyryä on ilmassa vaihtelevasti vallitsevan lämpötilan sekä ilmankosteuden mukaan. Taulukossa 3 on normaali ilman koostumus tilavuus- ja painoprosentin mukaan. /22, s. 112 – 114/

Taulukko 3. Ilman koostumus

<i>Typpi (N₂)</i>	<i>78,03 tilavuus- %</i>	<i>75,57 paino- %</i>
<i>Happi (O₂)</i>	<i>20,99 tilavuus- %</i>	<i>23,10 paino- %</i>
<i>Vety (H₂)</i>	<i>0,01 tilavuus- %</i>	<i>0,001 paino- %</i>
<i>Hiilidioksidi (CO₂)</i>	<i>0,03 tilavuus- %</i>	<i>0,046 paino- %</i>
<i>Muut</i>	<i>0,94 tilavuus- %</i>	<i>1,283 paino- %</i>

Normaali ilman koostumus ei ole ihanteellinen vihannesten, kasvien, lihan tai muiden pilaantuvien tuotteiden säilytykseen, joten on kehitetty erilaisia menetelmiä jäähdytettävän tilan ilmaston muokkaamiseen sekä hallitsemiseen. Näitä ovat ”Modified atmosphere” sekä ”Controlled atmosphere” -järjestelmät. /22, s. 112 – 114/

9.2 Modified atmosphere

Modified atmosphere (MA) eli muokattu ilmasto on jäähdytysjärjestelmän apujärjestelmä, jolla jäähdytettävän tilan ilmasto pyritään muokkaamaan. Jäähdytystilan ilmaston muokkaaminen tapahtuu muun muassa jäähdytystilassa vaihtuvan ilmamäärän rajoittamisella tai suihkuttamalla jäähdytystilaan haluttu määrä kaasuja. MA- ja CA-järjestelmien erona on ainoastaan ilmaston säätömahdollisuuksien määrä. MA-järjestelmässä ilmasto ei pysty juurikaan hallitsemaan vaan ainoastaan muokkaamaan, kun taas CA-järjestelmässä ilmastoon pystytään vaikuttamaan erilaisin keinoin. MA-järjestelmässä ilmasto ei voida juurikaan säätää haluttuun, vaan ilmasto pyritään luomaan ennen kuljetusta. /23/

9.3 Controlled atmosphere

Controlled atmosphere (CA) eli hallittu ilmasto on järjestelmä, jolla valvotaan ja hallitaan jäähdytystilan vallitsevaa ilmastoa. Tämä tapahtuu lisäämällä jäähdytystilaan typpeä. Typpi korvaa tilassa olevaa happea, ja koska happimäärän vaikutus tuotteisiin on tärkeä, typen määrää lisäämällä voidaan happipitoisuutta pudottaa. Kuljetettavien tuotteiden ollessa eloperäisiä ne tuottavat hiilidioksidia. Hiilidioksidi määrän vaikutus on myös huomioitava tuotteiden säilytyksessä hallitun ilmaston vaikutuksessa. Hiilidioksidi määrään vaikutetaan vaihtuvan ilman määrällä. /23/

CA-järjestelmän etuna on se, että kaikille kuljetettaville tuotteille saadaan luotua optimaalinen ilmasto, mikä hidastaa tuotteen kypsymistä sekä pilaantumisenopeutta. Hallitun ilmaston vaikutus myös vähentää etyleenin tuotantoa, mikä kiihdyttää pilaantumisprosessia. CA-jäähdytystilassa kuljetettujen tuotteiden laatu pysyy parempana, koska tuotteita ei tarvitse jäähdyttää yhtä paljon kuin ilman muokattua tai hallittua järjestelmää. Siksi ei ole vaaraa, että tuotteet pilataan liian kylmällä säilytyslämpötilalla. /23/

CA-järjestelmän käyttöönotto on mahdollistanut sellaisten tuotteiden, jotka edellyttävät tarkkaa ilmastoa säilymiseen tai nopeaa kuljetusta kuluttajalle, kuljettamisen laivarahtina lentorahdin sijaan. Tämä taas on pienentänyt kuljetuskustannuksia näiden tuotteiden kuljettamisen osalta ja mahdollistanut niiden tuomisen markkinoille myös kauempana alkuperämaasta. Järjestelmällä voidaan myös vaikuttaa hedelmien ja vihannesten kypsymisnopeuteen, jotta tuotteet saapuvat sopivan kypsinä kaappoihin. Kaaviossa 3 on ihanteelliset säilytysolosuhteet tuotteittain, josta ilmenee haluttu hapen sekä hiilidioksidin määrä. Esimerkiksi banaani, jonka ihanteellinen säilytysilmasto on 2 – 5 % happea sekä 2 – 5 % hiilidioksidia, joten loput tästä ilmastosta on typpeä. /23/

Järjestelmän etuna on myös se, että kuljetettavien tuotteiden mukana ei kulkeudu hyönteisiä, sillä hiilidioksidimäärät tappavat ne kuljetuksen aikana. Sama asia pätee myös ihmisten kohdalla, joten CA- ja MA-jäähdytystiloissa olosuhteet ovat hengenvaaralliset myös ihmisille. Tuotteiden myrkyttäminen säilyvyyttä lisäävillä aineilla ei myöskään ole yhtä tarpeellista kuin ilman CA-järjestelmän käyttöä kuljetettavien tuotteiden kohdalla, joten tuotteet ovat tämän myötä myös laadukkaampia. /23/

CA-järjestelmän asianmukainen toimiminen edellyttää tarkkaa ilmaston valvontaa ja säätöä. Valvonta ja säätö tapahtuvat erillisellä ohjausyksiköllä, joka valvoo vallitsevia olosuhteita ja säätää sisään menevän kaasuseoksen pitoisuuksia pitääkseen vallitsevan ilmaston ihanteellisena. Pitkien kuljetusmatkojen aikana ihanteellisen ilmaston koostumus voi vaihdella, kun tuotteet kypsyvät kuljetuksen aikana. Tästä johtuen pelkääntään ilmaston ylläpitäminen tiettyjen arvojen sisällä ei välttämättä ole riittävää. Ohjausyksikköön voidaankin ohjelmoida tietty ohjelma tutkimustulosten mukaisesti optimaalisimman ilmaston ylläpitämiseksi kuljetuksen sekä kypsymisen eri vaiheissa. /23/

Kaavio 4. Hedelmien varastointiajat, lämpötilat sekä muut hedelmäkuljetuksen tyypilliset tiedot jäähdytyskontissa /15, s. 23-5/

TUOTE	Säilyvyys-aika (päivät)	Lämpötila (°C)	Suhteellinen kosteus (%)	Ominaislämpö (kJ/kg°C)	Lämmön tuotto (W/ton)	O ₂ (%)	CO ₂ (%)	Ominaispaino (kg/m ³)	Kuljetustapa
Omena	200+	0-4	90-95	3.64	10-25	1-3	1-5	320-380	Palletti
Artisokka	10-16	0-2	90-95	3.64	100-110	2-3	3-5	170-230	Palletti
Parsa	14-21	0-4	90-95	3.93	100-130	8-21	5-10	270-350	Palletti
Banaani	100+	12-14	85-95	3.35	100-120	2-5	2-5	320-350	Palletti
Parsakaali	10-14	0-4	90-95	3.90	100-160	1-2	5-10	150-190	Palletti
Valkokaali	90-180	0-4	90-95	3.93	20-25	3-5	5-7	200-300	Palletti
Kirsikka	14-21	0-4	90-95	3.64	25-30	3-10	10-12	350-400	Laatikko
Maissi	4-6	0-3	90-95	3.30	100-150	2-4	10-20	280-320	Laatikko
Kiivi	100+	0-4	90-95	3.64	10-15	1-2	3-5	300-350	Laatikko
Sitruuna	30-50	12-15	85-90	3.81	25-40	5-8	< 10	350-450	Palletti
Lehtisalaatti	20-40	0-4	95-100	4.08	30-40	1-3	0-2	120-140	Palletti
Mango	14-25	12-14	85-90	3.56	110-170	5	5	280-350	Laatikko
Pähkinä	700+	0-2	60-70			<1	vaiht.		
Paprika	6-14	8-12	90-95	3.98	70-120	3-5	0-3	180-220	Palletti
Ananas	14-36	8-10	85-90	3.68	10-20	5	10	200-250	Palletti
Tomaatti	20-70	11-14	90-95	4.00	40-60	3-5	2-3	330-400	Palletti

CA- ja MA-järjestelmät voidaan kytkeä sekä perinteisen jäähdytysaluksen ruumatiloihin että jäähdytyskontteihin. Jäähdytyskonttien kytkettäessä järjestelmään on kontissa oltava omat sisäänmeno- ja ulostuloliitokset. Porthole-konttien osalta järjestelmä kytketään jäähdytysilmaputkistoihin. /23/

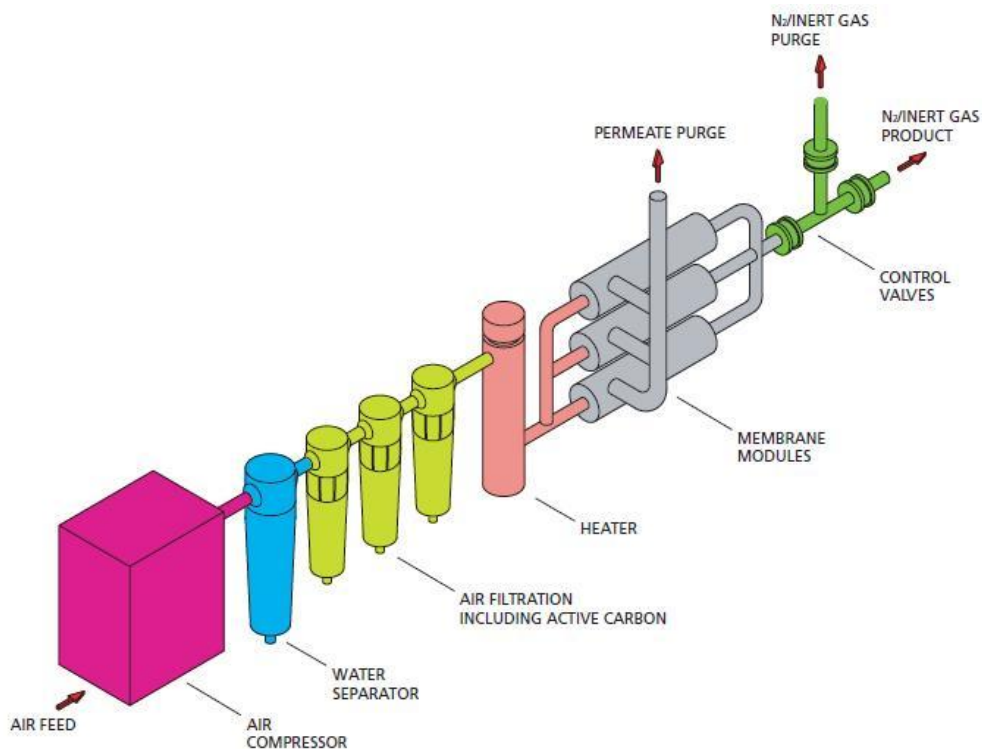
CA-järjestelmät ovat vielä harvinaisia integraali-konteissa, mutta MA-järjestelmät ovat yleisesti käytössä. MA-järjestelmässä konttiin suihkutetaan tyyppiä joko ennen kontin sulkemista tai kuljetuksen aikana erillisestä tyyppipullosta. Kuljetuksen aikana kontin automaatiojärjestelmät pyrkivät ylläpitämään haluttua ilmastoja. /23/

9.4 Inertikaasukehittimet

IGG (Inert Gas Generator) on suojakaasukehitin, jolla erotetaan laivan kattilan pakokaasuista typpeä (N_2). Typpeä käytetään tankkialuksissa suojakaasuna, joka estää palavien kaasujen muodostumisen nestemäisestä kaasusta höyrystymällä säiliössä. Öljyä poltetaan tarkkaan säädetyllä ilmakertoimella niin, että savukaasujen määrä jää mahdollisimman pieneksi ($>5\%$). Savukaasut pestään vedellä ns. scrubber-yksiköllä, joka pesee savukaasuista rikin ja muut epäpuhtaudet. Tätä järjestelmää voisi käyttää myös valvotun ilmaston muodostamisessa, jos polttoaineet olisivat puhtaampia ja pesuyksiköt tehokkaampia. Nykypäivän polttoaineilla ja laitteistoilla ei saada tarpeeksi puhdasta suojakaasua ilmastollisen ympäristön muodostamiseen, joten jäähdytysalusten käytössä on omat suojakaasukehittinyksiköt, eli typpiseparaattorit. /24, s. 150 – 159/

9.4.1 Typpiseparaattori

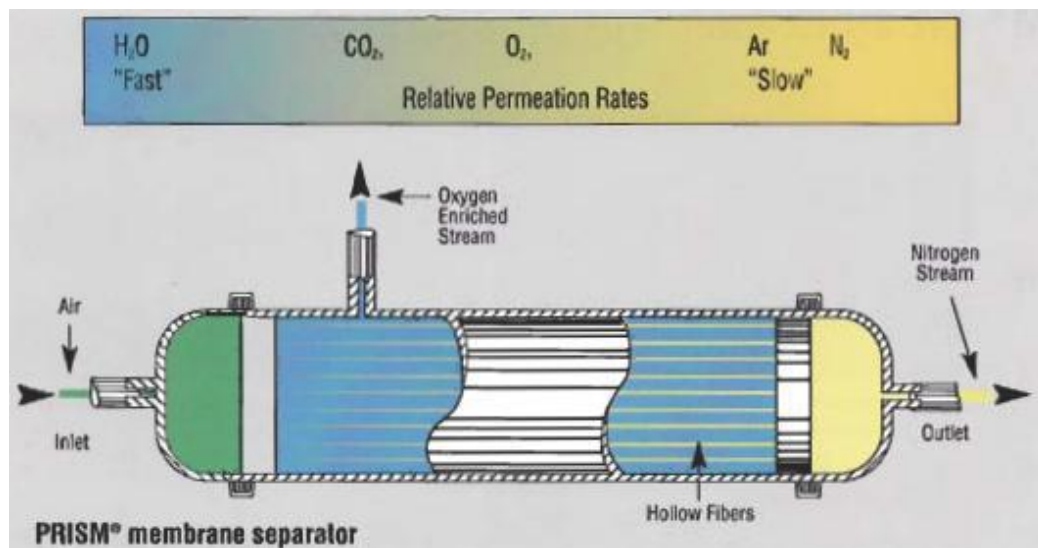
Typpeä (N_2) voidaan erottaa myös ilmasta, mikä tapahtuu käänteisosmoosiin perustuvalla typpiseparaattorilla. Kuvassa 11 on periaatteellisena esityksenä typpiseparaattorin osakokonaisuus. /25/



Kuva 11. Typpiseparaattorin osat /25/

Typpiseparaattori koostuu ilmakompressorista, veden erottimesta, ilmansuodattimista, johon kuuluu myös aktiivihiilisuodatin, ilman lämmittimestä sekä käänteisosmoosi moduulista. Ilmakompressorin nostaa ilman painetta, ilman korkeaa painetta ei käänteisosmoosia tapahdu jolloin ilma virtaa vain yksikön läpi erottumattomana. Vedenerotin erottaa ilmassa olevan kosteuden pois. Käänteisosmoosimodulin jälkeen erotettu typpi ohjataan putkistoa pitkin joko säiliöön tai suoraan käyttöön. /25/

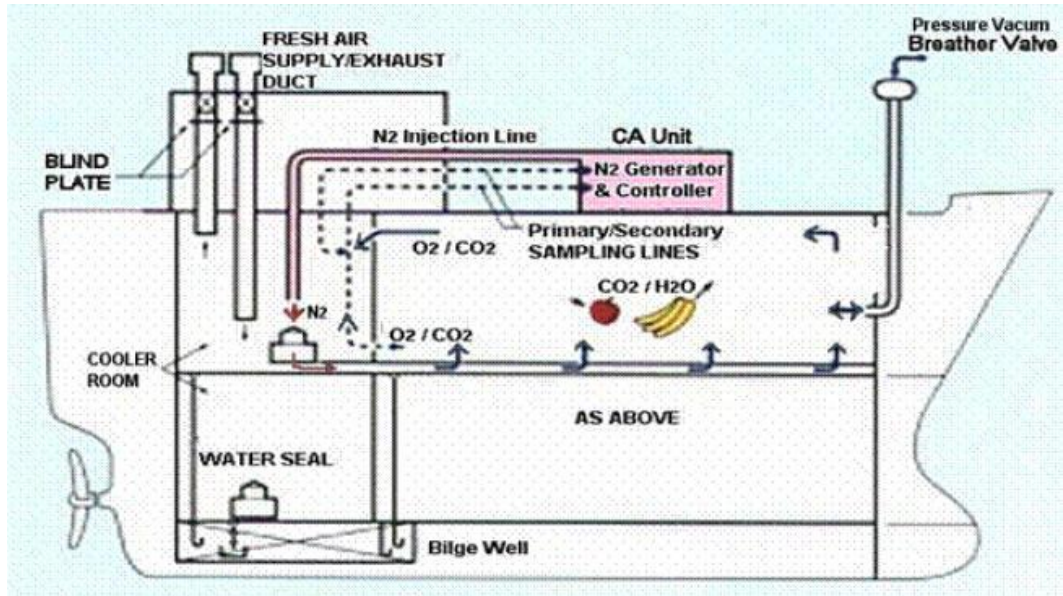
Typpiseparaattori erottelee typen ilmasta kuvan 12 mukaisessa käänteisosmoosi (RO) moduulissa, missä eri nopeudella virtaavat aineosat erottuvat kulkiessa onttojen kuitujen läpi. Ontot kuidut toimivat ikään kuin puoliläpäisevänä kalvona päästämällä pienemmät aineosat virtaamaan kuitujen ulkopuolelle. Paineistetun ilman kulkiessa sen läpi ilman aineosat erottuvat toisistaan ja ne pyrkivät paine-eron johdosta tasaamaan paineen, joka ohjaa eri aineosat ulos separaattorin eri kohdista. /25/



Kuva 12. Typpiseparaattorin käänteisosmoosimoduli /26/

Nykyäänä käytössä olevien typpiseparaattorien tuotto on noin 1000 Nm³/h ja tuotetun typen puhtaus on 95 %:n luokkaa. Epäpuhtaudet eli happi (O₂) ja hiilidioksidi (CO₂) ovat suotavia ja jopa haluttuja typen seassa, koska ne helpottavat halutun ilmaston ylläpitämistä. /26/

Typpiseparaattori sijaitsee yleensä laivan kannella, kuten kuvasta 13 näkyy, koska separaattorille menevän ilman määrä on suuri. Typpeä kuljetetaan separaattorilta laivan ruumiin putkistoja pitkin, ja ruumista tulee näytelinjat takaisin typpiseparaattorin ohjausyksikölle. Ohjausyksikkö säätelee ruumaan kulkevan typen määrää pitääkseen yllä haluttua ilmasto-olosuhteita ruumissa. /26/



Kuva 13. Perinteisen jäädytysaluksen suojakaasujärjestelmä /27, s. 5/

10 TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT JA KEHITYSKOhteet

Eristeet kehittyvät ja uusia eristysmateriaaliratkaisuja kehitellään. Tyhjiötekniikka onkin jo osoittautunut tehokkaaksi perinteisen polyuretaanivalmisteen kehittämiskeinona. Tyhjiötekniikan yleistymisen myötä hinnat laskevat, mikä mahdollistaa tyhjiötekniikan käyttämisen yhä useammassa eristysratkaisussa. Uudet eristeet pääsevät samoihin eristysarvoihin ohuemmalla eristävällä kerroksella, minkä johdosta jäähdytettävien tilojen hyötytila kasvaa tai kylmäkoneiden tehontarve pienenee.

Kylmäkoneiden osalta kehitystä tapahtuu, mikä edesauttaa ympäristöystävällisempää jäähdyttämistä, kun koneistot ovat rakenteellisesti luotettavampia. Koneteknisten ratkaisujen myötä koneistoista tulee entistä helpompia huoltaa ja käyttää, mikä vaikuttaa kylmäainevuotojen määrään. Tiukentuneet asetukset kylmälaitteiden käyttäjien pätevyyksistä lisäävät luotettavaa ja turvallista jäähdyttämistä.

Ympäristövaikutukset ovat kylmäaineiden osalta pienentyneet ns. freonien käyttökiellon myötä, mutta vielä on käytössä ongelmallisia kylmäaineita. Kylmäaineiden ominaisuuksista johtuen on vaikeaa löytää ainetta, joka olisi sekä laitteiden käyttäjille turvallinen että lisäksi ympäristölle haitaton. Näiden ongelmien parissa laite- sekä ainevalmistajien ja käyttäjien on tasapainoitava, kunnes täydellinen kylmäaine löytyy.

Useat kylmäkuljetusalan toimijat uskovat, että tulevaisuus on entistä parempi sekä perinteisille jäähdytysaluksille että myös jäähdytyskonttitoimijoille. Kehittyvien maiden elintason kohoamisen myötä tasainen kasvu jatkuu ja alusten kysyntä lisääntyy ympäri maailman. Kehittyvien maiden satamarakenteiden muutoksella on myös vaikutusta jäähdytyskuljetuksiin. Nämä muutokset tulevat mahdollistamaan perinteisten jäähdytysalusten yleensä kuljettamien tuotteiden kuljettamisen myös jäähdytyskonteissa. Uusia tuotteita tuskin tulee markkinoille lisää, koska jo nyt lähes mitä tahansa tuotetta on saatavilla ympäri maailman. Tosin uudet järjestelmät siirtävät lentorahtina kuljetettavia tuotteita yhä enemmän laivojen kuljettaviksi.

Tulevaisuudessa jäähdytysalukset ovat entistä enemmän sekä jäähdytyskonttialuksen että perinteisen aluksen risteytyksiä, joissa ruumissa käytetään omaa jäähdytyskoneistoa, mutta kontit jäähdytetään konttien omilla koneistoilla. Tällaisia aluksia on jo, mutta niitä varmasti tulee entistä enemmän. Näiden alusten kysyntä jatkuu vielä pitkään. Perinteisten alusten sekä jäähdytyskonttikuljetusten määrän kehitystä on vaikea

ennustaa, koska perinteisten alusten lastaus- ja purkujärjestelmät tehostuvat ja lisäävät kilpailukykyä.

Nopeat ja käyttäjäystävälliset tietojärjestelmät kehittyvät mikä mahdollistaa entistä tehokkaamman sekä helpomman jäähdystuotteiden valvonnan. Sääto- ja automaatiojärjestelmien kehittyessä järjestelmistä tulee yhä itsenäisempiä ja mahdollisesti jopa täysin automaattisia. Tämän kehityksen edellytyksenä on, että esim. jäähdystyönttien valmistajat valmistavat kontit toimimaan tietyn standardin mukaisessa järjestelmässä edesauttaakseen kehityksen yhtenäistämistä.

Kylmävarastoista alkunsa saanut CA-järjestelmän käyttöönotto on ohjannut kylmäkuljetusten suuntaa ja on merkittävä osa kylmäkuljetuksia myös jatkossa. Myös nykyistä ns. MA-jäähdystykonteista kehitys tulee tekemään täysin hallittavia CA-kontteja, kun typpiseparaattorit saadaan sopimaan kontin koneistojen yhteyteen. Automaatiotekniikan osuus lisääntyy, mikä pienentää inhimillisten erehdysten aiheuttamia ongelmia. Automaatiotekniikka tulee myös vähentämään valvonnasta ja säädöstä aiheutuvaa työmäärää.

Useat tuotteet viljellään alueilla, joissa ei ole sähköverkkoa eikä kunnan tieverkostoa. Tämä hidastaa tuotteiden nopeaa jäähdyttämistä poimimisen jälkeen, mikä lisää tuotteiden pilaantumista kuljetusten aikana. Aurinkoenergiaa hyväksi käyttävillä järjestelmillä voi olla tulevaisuudessa myös osansa. Mikä mahdollistaisi tuotteiden nopeamman jäähdyttämisen välittömästi poimimisen jälkeen myös siellä, missä sähköverkkoa ei ole.

11 YHTEENVETO

Kylmätekniikka sekä sen myötä myös kylmäkuljetustekniikka on jatkuvasti kehittynyt ja myös jatkossa kehittyy. Kestävän kehityksen kannalta uusia kylmäaineita ja järjestelmiä on kehitettävä. YK:n asettamat säännökset ja muut asetukset pakottavat valmistajia ottamaan entistä enemmän huomioon ympäristönäkökohdat, joita nykypäivän maailmassa arvostetaan yhä enemmän.

Työtä tehdessäni perehdyin kattavasti kylmätekniikkaan ja sen kehitykseen, ja myös termodynamiikan välttämätön teoria tuli minulle tutuksi. Kylmätekniikan sekä siihen vaikuttavien tekijöiden, kuten kylmäaineiden vaikutusten, huomioon ottaminen osoittautui erittäin suureksi ja tärkeäksi osaksi työtä.

Tiedonhaun vaikeudet sekä lähdemateriaalin tai ylipäätään ajankohtaisen tiedon hankinta oli haasteellista. Useat eri markkina-analyysit, joista olisi ollut paljon apua, eivät olleet yrityksistäni huolimatta saatavillani. Näin esimerkiksi Drewryn markkina-analyysijä sekä ennusteita ei ole käytetty lähdemateriaalina. Tästä johtuen tilastotieto kuljetusmäärien sekä tuotteiden osalta on vanhaa, mutta tiedot kuvaavat siitä huolimatta hyvin kehityksen suuntaa.

Myös Suomeen suuntautuvien jäädytystä edellyttävien kuljetusten tilastotietojen hankkiminen oli vaikeaa, koska esimerkiksi Liikennevirasto ei erittele jäädytettäviä tuotteita muista tuotteista tilastoissaan. Tietoa Suomeen suuntautuvista jäädytyskuljetuksista sain kuljetusyrityksiltä, jotka kuljettavat jäädytettyjä tuotteita ro-ro-aluksilla Suomeen.

Kylmätekniikka sekä siihen vaikuttavat tekijät olivat minulle melko vieraita ennen työn aloittamista, mutta työtä tehdessäni tietoa karttui monista eri aihealueista ja halu tietää enemmän kasvoi. Varmasti seuraan jäädytysalustekniikan sekä kylmälaitteiden ja kylmäaineiden kehitystä myös tulevaisuudessa.

LÄHTEET

1. Jaurola, W. 1979. Kylmätekniiikan oppikirja, julkaisu No 1 D. 5.painos. Helsinki: Suomen Kylmähdistys ry.
2. Refrigeration Cycle, 2010. Saatavissa: http://www.warmair.com/html/refrigeration_cycle.htm [viitattu 06.10.2010].
3. Nydal, R. Suomentanut Markku Muuronen. 2002. Käytännön kylmätekniiikka. 3. painos. Helsinki: Gummerus Kirjapaino Oy.
4. Welte, R., Wittekopf, H. 2004. Bayer MaterialScience. Rigid polyurethane foam for refrigerated vehicles and containers. Saatavissa: [http://www.bayer-baysystems.com/BMS/BMS_Resource_Center.nsf/id/WebsiteIndependent_Polyurethan-Hartschaum_fuer_Kuehlfahrzeuge_und_-container/\\$file/en_PU21019_en.pdf](http://www.bayer-baysystems.com/BMS/BMS_Resource_Center.nsf/id/WebsiteIndependent_Polyurethan-Hartschaum_fuer_Kuehlfahrzeuge_und_-container/$file/en_PU21019_en.pdf) [viitattu 23.09.2010].
5. IMO - International Maritime Organization. Second IMO GHG Study 2009. Saatavissa: http://www.imo.org/includes/blastDataOnly.asp/data_id%3D27795/GHGStudyFINAL.pdf [viitattu 03.09.2010].
6. Kaappola, E. 1995. Nykypäivän kylmätekniiikan erikoispiirteitä I, Suomen Kylmähdistys ry moniste N: o 36, CEN-normi prEN 378, osa 2.
7. SFS-Käsikirja 65-1, 1. painos. Tammikuu 2010, SFS-EN 378-3 osa 3.
8. EUR-Lex. Ehdotus Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus tietyistä fluoratuista kasvihuonekaasuista /* KOM/2003/0492 lopull. - COD 2003/0189 */ , Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:52003PC0492:FI:NOT> [viitattu 26.09.2010].
9. Kumar, S. Rajagopal K. K. 2007, Energy Conversion and Management 48, Computational and experimental investigation of low ODP and low GWP HCFC-123 and HC-290 refrigerant mixture alternate to CFC-12.

10. Aittomäki, A. 2005. Hiilidioksidi kylmälaitoksissa. Kokemukset Suomessa. Tampereen teknillinen yliopisto, Energia- ja prosessitekniikan laitos. Saatavissa: <http://www.tut.fi/units/me/ener/julkaisut/CO2-loppuraportti.pdf> [viitattu 21.09.2010].
11. Ocean Shipping Consultants Ltd Limited, Press release 2005. Refrigerated trades and outlook to 2015. Saatavissa: <http://www.osclimited.com/releases/rto2015.pdf> [viitattu 27.09.2010].
12. Kapitalanlage-schiffsbeteiligung, Saatavissa: <http://www.kapitalanlage-schiffsbeteiligung.de/> [viitattu 03.09.2010].
13. Naber, G. Duken, U. Mast, E. Schieder, U. 2003. Container Hand Book, Cargo loss prevention information from German marine insurers. Saatavissa: http://www.containerhandbuch.de/chb_e/wild/index.html [viitattu 08.09.2010].
14. Markus, M. 2001. Banaanisodan Amerikkalainen Mediaikkuna Coxilaisittain Tarkasteltuna. Valtio-opin Pro gradu -tutkielma. Jyväskylän yliopisto, Yhetiskuntatieteiden ja filosofian laitos.
15. Räisänen, P. 1997. Laivatekniikka, Kustantaja: Gummerus Kirjapaino Oy.
16. Moureh, J., Tapsoba, E., Flick, D. 2009. Air velocity characteristics within vented pallets loaded in a refrigerated vehicle with and without air ducts. International Journal of Refrigeration 32. Saatavissa: <http://www.sciencedirect.com/> [viitattu 01.10.2010].
17. Meisel, F. 2009. Seaside Operations Planning in Container Terminals, Physica-Verlag Berlin, Heidelberg.
18. Wang, L., Kwok, W. H. 2010. A radio frequency identification and sensor-based system for the transportation of food. Saatavissa: http://www.elsevier.com/wps/find/journaldescription.cws_home/405862/description#description [viitattu 19.09.2010].

19. SAM Electronics, Lyngso Marin, RMS 2200 Reefer Monitoring System -esite. Saatavissa: <http://www.lyngsoe.com/getattachment/3ece46d0-0908-4faf-ad4d-9a4479f546ba/RMS-2200-Reefer-Monitoring-System.aspx> [viitattu 20.09.2010].
20. Nambiar, A. N. 2009, A Supply Chain Perspevtive of RFID Systems, World Academy of Science, Engineering and Technology 60, 2009. Saatavissa: <http://www.waset.org/journals/waset/v60/v60-151.pdf> [viitattu 25.09.2010].
21. The Official Bluetooth Technology Info Site. Saatavissa: <http://bluetooth.com/> [viitattu 10.09.2010].
22. Haavisto, A., Nikkola, J., Viljanmaa, L.1994. Kemia 1. Kokeellinen Luonnontiede. Helsinki: Kirjapaino Oy West Point.
23. Wild, Y. 1995, Overview on Controlled Atmosphere Transportation in Containers, Saatavissa: http://drwild.de/1995-08-23_ICR_The_Hague.pdf [viitattu 01.10.2010].
24. House, D. J. 2005. Cargo Work for Maritime Operations, 7.painos, Elsevier.
25. Hamworthy, Moss Nitrogen Generator System, tuote-esite. Saatavissa: <http://www.hamworthy.com/PageFiles/185/Nitrogen%20Generator%20System.pdf> [viitattu 20.09.2010].
26. PERMEA Maritime Protection, Shipboard Gas Generation Systems, esite. Saatavissa: http://www.daishin-technos.co.jp/_userdata/Membrane.pdf [viitattu 01.10.2010].
27. Kohli, P. 2000, Refrigerated Ships. Saatavissa: <http://crosstree.info/Documents/reefer%20vessels.pdf> [viitattu 01.09.2010].

<i>Kylmäaineen tunnus</i>	<i>Aine</i>	<i>Yhdiste tai kemiallinen kaava</i>	<i>Turvaluokitus</i>
		(massa prosentti)	
EPÄORGAANISET YHDISTEET			
R-717	ammoniakki	NH ₃	B2
R-718	vesi	H ₂ O	A1
R-744	hiilidioksidi	CO ₂	A1
ORGAANISET YHDISTEET			
(HC)			
R-290	propaani	CH ₃ CH ₂ CH ₃	A3
R-600	butaani	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₃	A3
R-600a	iso-butaani	CH(CH ₃) ₂ CH ₃	A3
R-1270	propyleeni	CH ₃ CH=CH ₂	A3
(HFC)			
R-32	difluorimetaani	CH ₂ F ₂	A2
R-125	pentafluorietaani	CHF ₂ CF ₃	A1
R-134a	1,1,1,2-tetrafluorietaani	CH ₂ FCF ₃	A1
R-143a	1,1,1-trifluorietaani	CH ₃ CF ₃	A2
R-152a	1,1-difluorietaani	CH ₃ CHF ₂	A2
Atseotrooppiset seokset			
R-502		R22/R115 (48.8/51.2)	A1
R-507		R125/R143a (50/50)	A1
Tseotrooppiset seokset			
R-404A		R125/R143a/R134a (44/52/4)	A1
R-407C		R32/R125/R134a (23/25/52)	A1
R-410A		R32/R125 (50/50)	A1

Φ = lämpövirta (W)

Q = lämpöenergia jouleina (J)

A = pinta-ala neliömetreinä (m^2)

ΔT = lämpötilaero kelvineinä (K)

t = aika sekunteina (s)

δ = eristeen paksuus metreinä (m)

λ = lämmönjohtavuus ($W/m \times K$)

$$Q = \lambda \times ((A \times \Delta T \times t) / \delta)$$

$$\Phi = Q/t = \lambda \times (A \times \Delta T) / \delta$$

$$[\lambda] = (J \times m) / (m^2 \times K \times s) = (J \times m) / (s \times m^2 \times K) = \underline{\underline{W/m \times K}}$$

Thermo King



Carrier



Daikin



Mitsubishi



Starcool

