

# KOMPRESÖRLERDEKİ SON GELİŞMELER VE R744 (CO<sub>2</sub>) SOĞUTUCU GAZ KULLANILAN SOĞUTMA SİSTEMLERİ

**Manuel FRÖSCHLE**

## ÖZET

Doğal soğutucu gaz R744 (CO<sub>2</sub>), son yıllarda birçok alanda geleneksel ve yeni kimyasal soğutucu gazlar için ilginç bir alternatif haline gelmiştir. Böylece, tamamen farklı sistem devreleri kullanılmış ve farklı uygulama alanlarında incelenmiştir.

CO<sub>2</sub> Soğutucu gazı ısı pompası içinde uygun soğutucu gaz olarak birçok proseste kendini göstermektedir. Yüksek besleme sıcaklıklarında ısı tankında sunulan yüksek final sıkıştırma sıcaklıkları elde edilmiştir. Evsel ve endüstriyel ısı pompaları için çok farklı kompresör çözümler talep edilmektedir.

Mobil uygulama alanı özellikle kompakt ve esnek bileşenli sistemlere dayanmaktadır. Yeni kompresör çözümleri, özellikle CO<sub>2</sub> soğutucu gazı ile, aynı zamanda bunun için talep edilmektedir.

Odak, enerji verimliliği, güvenlik ve maliyet konuları için özellikle kompresörlerin üzerindedir. Onlar sistemin en büyük güç gereksinimi olan bileşenlerdir ve böylece optimizasyon önlemleri için özel ilgilidir.

Süpermarketlerde bugün kullanılan güçlendirici sistemler (booster) çok farklı optimizasyon önlemleri sağlar. Bir olasılık da yüksek verimli hava soğutmalı ve gaz soğutmalı yarı hermetik kompresör bileşimidir. Çeşitli uygulamalar hakkında daha fazla ışık tutmak amacı ile kendi sistemi ve bunun için kompresörlerin gereksinimleri, bu rapor soğutucu gaz CO<sub>2</sub> ile bu uygulamaların kısaca gözden geçirilmesidir.

**Anahtar Kelimeler:** CO<sub>2</sub>, Soğutma, CO<sub>2</sub> gazı ile soğutma sistemleri, Endüstriyel soğutma sistemleri, Enerji tasarrufu, Çevreye karşı duyarlılık.

## ABSTRACT

The natural refrigerant R744 (CO<sub>2</sub>) has become an interesting alternative to conventional and new chemical refrigerants in many areas in recent years. Thereby, completely different system circuits have been used and examined in the different application areas.

The refrigerant CO<sub>2</sub> presents itself as the suitable refrigerant in the heat pump in many processes. High final compression temperatures are achieved which offer in high supply temperatures in the heat sink. Many different compressor solutions for domestic and industrial heat pumps are in demand.

The mobile application area is particularly based on systems with compact and flexible components. New compressor solutions, particularly with the refrigerant CO<sub>2</sub>, are also in demand for this. The focus is also particularly on compressors for the subjects of energy efficiency, safety and costs. They are the

components with the greatest power requirement in the system and thus of particular interest for optimisation measures.

The booster systems used today in supermarkets provide many different optimisation measures. One possibility is the combination of highly efficient air-cooled and gas-cooled semi-hermetic compressors. In order to cast more light on the various applications, their system and the compressors needed for this, this report should give an overview of these applications with the refrigerant CO<sub>2</sub>.

**Key Words:** CO<sub>2</sub>, Refrigeration, Refrigeration systems with CO<sub>2</sub>, Industrial refrigeration systems, Energy saving, Sensitivity to the environment.

## 1. GİRİŞ

1990'ların başında CO<sub>2</sub> soğutucu gazın geri dönüşü sırasında, CO<sub>2</sub> için açık bir kompresörün geliştirme ve konstrüksiyonu BOCK firmasında gerçekleştirilmiştir. CO<sub>2</sub> 'e olan ilgi yıllar geçtikçe daha da artınca pek çok farklı uygulamada kompresör çeşitliliği gereksinimlerinden dolayı daha fazla geliştirmeler ve genişlemeler yapılmıştır. CO<sub>2</sub> soğutucu gazı için bir çok farklı kompresör tipleri bugün mevcuttur.

Pek çok farklı uygulamada CO<sub>2</sub> kullanımı zaten incelenmiş olup kısmen başarıyla uygulanmaktadır. Aşağıdaki liste subkritik ve transkritik alanlarda soğutucu gaz CO<sub>2</sub> ile mümkün uygulamaların hakkında genel bir fikir verir.

- Küçük ısı pompaları
- Büyük endüstriyel ısı pompaları
- Endüstriyel soğutma
- Süpermarketler
- Mağazalar
- Taşıt soğutması
- Otobüs ve tren (klima)
- Bina teknolojisi (klima)

Birçok farklı uygulamada sistem bileşenleri için birçok farklı ihtiyaçları vardır. Geniş bir aralıkta performans gereksinimlerini ve birçok farklı ölçüler gereklidir. Özellikle, kompresörler belirli kullanım koşulları yerine getirmelidir.

## 2.CO<sub>2</sub> KOMPRESÖRLER İÇİN UYGULAMLAR

### 2.1. Isı Pompaları

Özellikle burada ısı kaynağı olarak hava ile yerel bölge ısı pompalarının, son yıllardaki güçlü büyüyen pazar ısı pompasıdır. CO<sub>2</sub> soğutucu gazlı ısı pompaları özellikle servis suyunun yüksek talep sıcaklarda ihtiyaç duyduğu yerlerde yüksek potansiyellidir. Böylece 90 °C sıcaklığa kadar mümkündür. CO<sub>2</sub> diğer olası kullanan endüstriyel ısı pompaları vardır; prosesdeki atık ısı optimum olarak burada ısı kaynağı olarak kullanılabilir. Örneğin, Yeraltı suyu kullanımı ile karşılaştırıldığında, sıkıştırma sıcaklığı önemli ölçüde yükselir. Performans katsayısı önemli bir iyileşme ile sonuçlanır. Endüstriyel kullanım için 130 ° C sıcaklığa kadar elde edilebilir, örneğin elde edilebilir kurutma işlemleri veya proses hava ısıtma için Rieberer (2006).

### 2.1.1. Su Isıtma

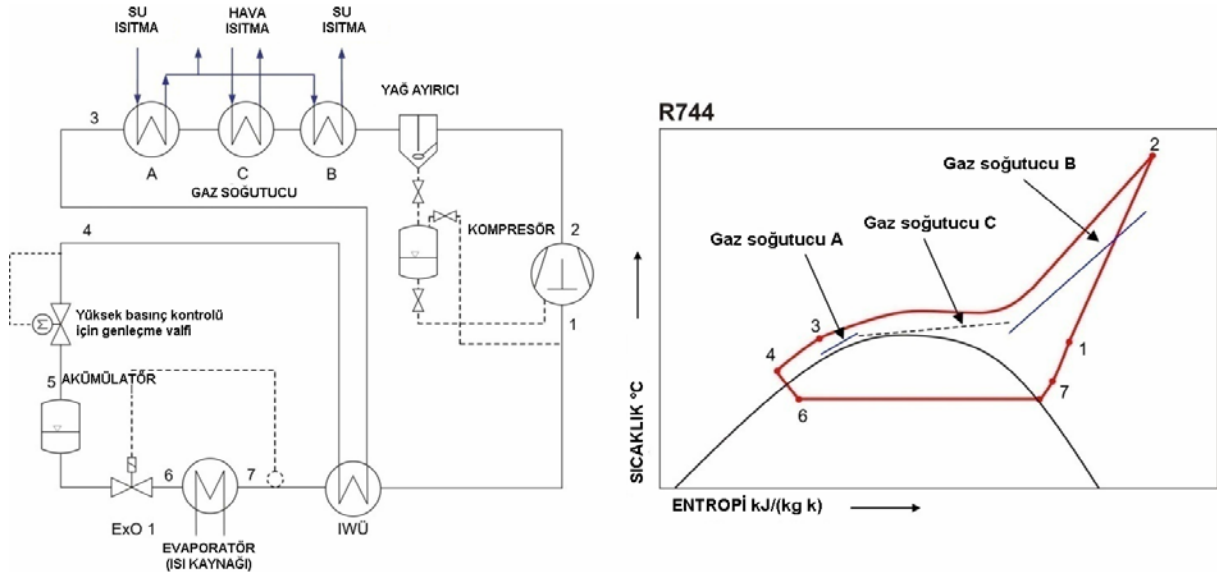
Sıcak su temini için konut ve ticari alanlarda % 20 enerji ihtiyacının olduğu gibi su ısıtma enerji tasarrufu için yüksek bir potansiyele sahiptir. Bu alanda soğutucu gaz CO<sub>2</sub> için büyük fırsatlar ısı pompası operasyonu için özellikle iyi karakteristikleri ile açıklanabilir. İyi ısı transfer özelliği ile süperkritik proseslerde ısı dağılımı için sıcaklık kayma karakteristiği suyun sıcaklığını yükseltmek için CO<sub>2</sub> ideal şartları kolaylaştırır. Bir koaksiyel veya plakalı ısı değiştirici üzerinden harcanmış ısı suyu en az 60K ısıtır. Böylece çok yüksek performansı katsayısı elde edilir. 0° C evaporasyon sıcaklığı için ısıtma performans katsayısı 4.4'e kadar çıkar ve 10 ° C den 60 ° C ye su sıcaklığını yükseltmek mümkündür Rieberer (2006). Bunu yaparken, soğuk tarafı hala soğutma amaçlı kullanılabilir.

### 2.1.2. Sıcak Su Dağıtım Sistemi ile Alan Isıtma

Su ısıtma ve ek bir ısıtıcı ile kombinasyonu durumunda, gaz soğutucu 3 bölüme ayrılır. Bu şekil 1'de görülebilir. Böylece, birinci ve üçüncü gaz soğutucular ve kullanma suyu ısıtma devralacak orta gaz soğutucu düşük sıcaklık aralığında bir boşluk ısıtma devresi için ısı yayar Rieberer (2006). Sistem böylece mekan ısıtma ya da her durumda sistemlerinden birinin sadece ısıtma ile kombine servis suyu ısıtmasında olası bir varyasyon yapar.

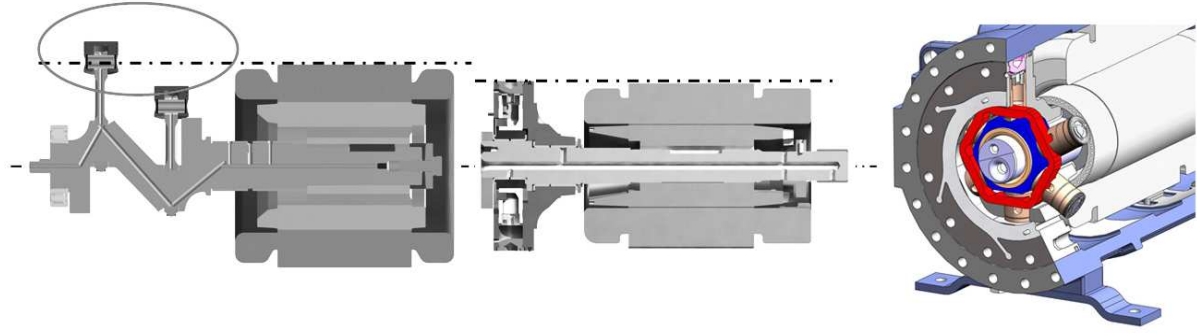
Sistem ile optimum performans oranlarını elde etmek amacı ile gaz soğutucuda düşük su giriş sıcaklıkları sağlanmalıdır. Potansiyel su sonlandırma sıcaklığı soğutucu gazın kompresördeki basma sıcaklığına son derece bağlıdır. Ayrıca, sıcak su oranı mümkün olduğunca ısıtıcı dönüş sıcaklığı yüksek tutulmalıdır, nispeten yüksektir.

Belirlenen performans katsayıları teorik olarak hala geniş bir marj ile elde edilemediği gibi, ısı pompaları alanda hâlâ büyük bir gelişme potansiyeli var.



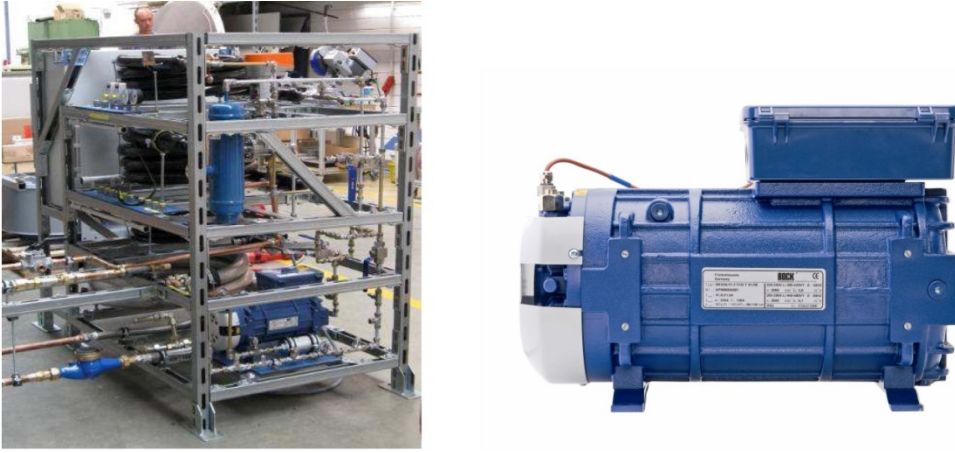
Şekil 1. Kombine Su Isıtma ve Isıtıcı Isı Pompası İşlemi Stene (2007)

Küçük ve orta ısı pompaları için kompakt ve esnek cihazlar gereklidir. Bu nedenle, kompresörler de özellikle bu gereksinimlere göre adapte edilmelidir. Bock kompresör firması bu konu ile ilgili radyal pistonlu kompresörlerin yeni tasarımı ile tamamen yeni bir yaklaşım benimsemektedir. Bu kompresör, 6 silindirli kendi radyal düzenlemesi ile seri veya V olarak düzenlenerek, bir klasik kompresörden ayrılır. Şekil 2'de görüldüğü gibi bir kompakt, hafif ve küçük kurulum boyutu bu şekilde elde edilebilir. Buradaki ölçüler elektrik motorun dış ölçüleri tarafından belirlenir. Bu durumda, pistonlar piston kolu kullanarak hareket etmez ama doğrudan şaftın eksantrik dişlisi kullanarak hareket ettirilir. Pistonlar dışa doğru bastırılır veya uygun bileşenler kullanılarak geri çekilir (eksantrik mili ve sistem ayar halkası) Kaiser (2006).



**Şekil 2.** Reciprocating Pistonlu Kompresör ile Radyal Pistonlu Kompresör Boyut Karşılaştırması  
Kaiser (2006).

Bir radyal pistonlu kompresörlü bir sistem Dresden'deki Institute für Luft-und Kältetechnik (ILK) ile işbirliği içindeki Thermea Energiesysteme firması tarafından bir gösteri sistemi olarak uygulanmış ve deneyim kazanılmış oldu. Bu gösteri sistemi Şekil 3'te görülebilir.



**Şekil 3.** Radyal Pistonlu Kompresör ile Bir Isı Pompasının Gösterilmesi ve Test Sistemi Wobst (2008)

### 2.1.3 Endüstriyel Isı Pompaları

Endüstriyel uygulamalarda ısı pompaları için yüksek performans gereklidir. Yarı hermetik, emiş gazı soğutmalı pistonlu kompresörler burada ideal çözümdür. Isı pompası prosesinde yüksek basınç tarafındaki soğutucu gaz ile emiş gaz soğutmalı kompresörler tamamen kompresör atık ısısını getirir: Bu nedenle ideal ısı tutucu olarak kullanılabilir. Yüksek performansı katsayıları bu şekilde elde edilebilir. Isı kaynağındaki yüksek sıcaklıklarda üretim proseslerinden (20 ° C'ye kadar) düşük sıcaklık ısısı nedeniyle endüstriyel uygulamalar için kullanılabilir. Yarı-hermetik, transkritik CO<sub>2</sub> reciprocating(pistonlu) kompresörler için uygulama şartları mümkün olan 70 bar buharlaşma basıncına genişletilmiştir.

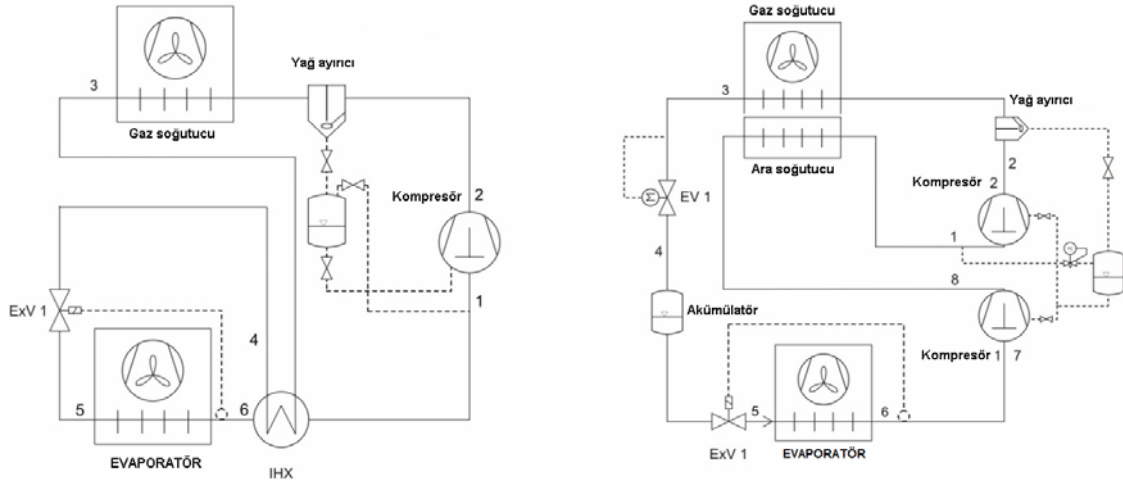
### 2.2 Taşıt Uygulamaları

Soğutucu gaz CO<sub>2</sub> zaten pek çok farklı mobil uygulamalarda hem konteynerlerin taşıt soğutması için dondurucu sistemler hem de normal sıcaklık soğutma sistemleri ve klimada birçok test sistemlerinde kendini kanıtlamıştır. Açık tip kompresörler otobüs klimalarında özellikle talep görmektedir. Bunlar yanmalı motorlar ile kayış tarafından tahriklenirler. Bock 1990'ların başında CO<sub>2</sub> için ilk açık tip kompresör geliştirdi. Bu daha da geliştirilerek bugünün 4 silindri versiyonu haline getirilmiştir birçok otobüs klima sistemlerinde kullanılır. Konvekta Şirketi'nden açık tip biri yarı-hermetik diğeri radyal pistonlu kompresör olan iki sistem Şekil 4'te görülebilir.



**Şekil 4.** Otobüs Kliması İçin Bir Açık Tip Taşıt Uygulaması Ve Demiryolu Kliması İçin Bir Yarı-Hermetik CO<sub>2</sub> Kompresör Konvekta (2009)

Yarı hermetik kompresörler aynı zamanda otobüs kliması ve özellikle demiryolu klimalarında kullanılmaktadır. Bock firmasının radyal pistonlu kompresörleri kompakt, hafif ve esnek tasarım avantajları gösterebilir. Kompresörler taşıt uygulaması için özellikle titreşime karşı dayanıklı olmalıdır. Bir çift kademeli kompresör ünitesi kompresördeki çok yüksek sıkıştırma oranları düşük sıcaklıktaki soğutma için geliştirilmiştir ve tek kademe prosesi için çok yüksek sıcaklık çıkışları meydana gelir. Otobüste taşıt kliması için sık kullanılan sistem ve düşük sıcaklık soğutması için olası bir soğutma sistemi Şekil 5'de görülebilir. Çift kademeli sistem (sağda) bir ekonomizer sistemi ile daha fazla geliştirilmiş olabilir.



**Şekil 5.** Klima ve Düşük Sıcaklık Soğutması İçin Taşıt Uygulamalarının Sistem Diyagramları

## 2.3 Gıda Ticareti

Gıda ticareti sektöründe soğutma sistemlerinin geliştirilmesi, özellikle İskandinav ülkelerinde desteklenmektedir. Danimarka ve Norveç özellikle soğutucu emisyonlarının azaltılması için sıkı yönetmelikler kabul etmiştir. Danimarka'da, 2007 yılından bu yana 10 kg fazla HFC soğutucu gaz içeren soğutma sistemleri yasaklanmıştır. Ancak, birçok Avrupa ülkesinde subkritik ve transkritik CO<sub>2</sub> soğutma sistemleri zaten kurulmuştur.

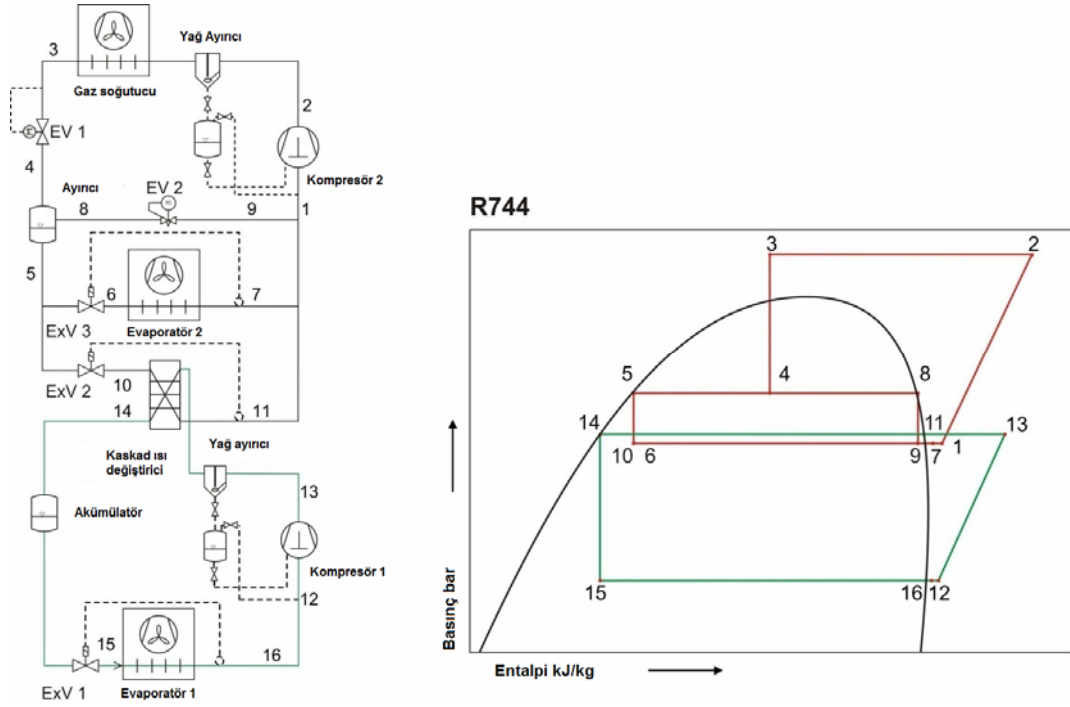
### 2.3.1 Süpermarketler

Başlangıçta, subkritik uygulamalar, özellikle süpermarket soğutma alanında CO<sub>2</sub> ile sistemlerinin geliştirilmesinde büyük ilerleme kaydetmiştir. Kaskad sistemler, CO<sub>2</sub> kullanan düşük sıcaklık soğutma sistemleri ve normal sıcaklık soğutma kademesinde R134a veya R404A gibi geleneksel soğutucu

gazlar için kurulmuştur. Başlangıçta, Bock tarafından açık tip kompresörlü birçok CO<sub>2</sub> sistemi kurulmuştur, örneğin düşük sıcaklık soğutma makarna için endüstriyel fırınlarda. Bu arada, CO<sub>2</sub> verimlilik ve maliyet nedeniyle zaten birçok düşük sıcaklık soğutma sisteminde kendini kanıtlamıştır. Bu sistemler genellikle zaten derin soğutma teknoloji ürünü olarak kabul edilmektedir.

Bu kaskad sistemler transcritical alanında ilk uygulamalar için Carrier Şirketi tarafından uygulanmıştır. Böyle bir kaskad sistem Şekil 6 görülebilir.

Bu kaskad sistemler karmaşık bir elektronik ve soğutma kontrol sistemi kapsamaktadır. Ancak, normal soğutma ve derin soğutmadaki ayrı yağ dönüşü, sistemin yağ yönetimi sistemini basitleştirir. Kompresörün daha yüksek güç tüketiminde kaskad ısı değiştiricisi sonuçlarında istenen sıcaklık farkından dolayı sistemin soğutma performansı azalır. Kondenzasyon sıcaklığındaki 1K 'lık artış COP'de yaklaşık %3 azalmaya sebep olur. Transkritik kademesinde kullanılan ayırıcı bir orta basınç düzeyde sıvı ve gaz halindeki soğutucu gazı ayırır (yaklaşık 40 bar civarında). Sözde flaş gaz emiş hattından önce kompresöre geri döner. Sıvı soğutucu gaz normal soğutma sıcaklığına evaporatörde ulaşır. Bu yolla evaporatörde kütle akışı azalır: ancak evaporatör içinde entalpi değişimi aynı zamanda artar. Daha küçük boru çapları gereklidir: bu büyük sistemler için malzeme ihtiyaçları üzerinde olumlu etkisi vardır ve böylece boru hatlarının maliyetini düşürür. Ayırıcının diğer belirtilen orta basınç nedeniyle olumlu bir etkisi olduğu oda yüksek basınç sadece ayırıcıdan önce kompresöre kadar olan sistemin bileşenlerinde meydana gelir. Bundan dolayı yüksek basınç makine odası ile sınırlıdır.



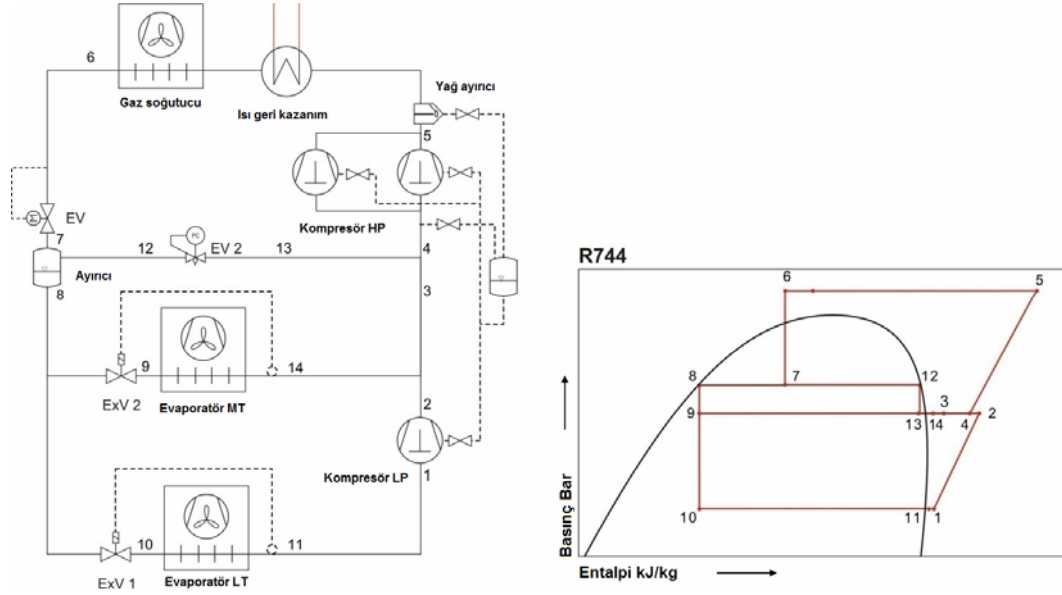
Şekil 6. CO<sub>2</sub> Subkritik ve Transkritik ile Kaskad Sistemler

Kaskad eşanjörün olumsuz etkilerini önlemek için, ilk güçlendirici sistemleri EU projesi "life" çerçevesinde 2003 yılında Danimarka da Danimarka Teknoloji Enstitüsü (DTI), Knudsen Køling ile işbirliği içinde Bock ve diğer firmalar tarafından geliştirilmiştir. Düşük sıcaklık soğutma ve normal sıcaklık soğutma burada ayrılmamış soğutma devresi olarak gerçekleşmiştir. Basit bir sistemi başka şekilde Şekil 7'de görülebilir. Bu sistemin yararı tüm sistemin daha yüksek soğutma performansı.

Eğer ek ısı geri kazanımı gaz soğutucudan önce kullanılırsa, yüksek performans katsayıları elde edilir. Bunu yaparken, soğutucu gaz CO<sub>2</sub> olumlu karakteristik özellikleri ile bir ısı pompası gibi kullanılabilir.

Böyle bir güçlendirici sisteminin iyileştirilmesi için pek çok farklı sistem varyasyonları düşünülebilir. Örneğin, sözde ekonomizer sistemleri burada kullanılabilir. Isı geri kazanımı için ideal, yüksek verimli

kullanımı olan, hava soğutmalı kompresörler veya emiş gaz soğutmalı kompresörler, optimum olarak bu sistemlerde kullanılabilir.



**Şekil 7.** Normal Sıcaklık ve Düşük Sıcaklık Soğutma ve Isı Geri Kazanımı ile CO<sub>2</sub> Güçlendirici Sistemi Heerup (2008)

Şekil 7'deki Danimarkadaki bir süpermarketteki sistem şemasına benzer bir güçlendirici sistem Şekil 8'de görülebilir. Sistem normal sıcaklık soğutma kademesinde ek bir eşanjör ile çalışır.



**Şekil 8.** Subkritik ve Transkritik Kompresörler ile Küçük Güçlendirici Sistemi

### 2.3.2 Mağazalar

Küçük soğutma kapasiteleri ile CO<sub>2</sub> sistemleri için bir diğer ilginç uygulama mağazalardır; bunlar benzin istasyonları, bakkallar ve büfeleri kapsamaktadır. Buna karşılık, küçük, kompakt ve esnek soğutma sistemleri gereklidir. Radyal pistonlu kompresörler için ideal bir uygulama alanıdır.

## SONUÇ

Kısaca gözden geçirirsek görüyoruz ki, soğutucu gaz R744 (CO<sub>2</sub>) zaten kullanılmış ve birçok uygulama alanlarında incelenmiştir. Ancak, birçok sistem deneysel aşamada devam etmektedir. Soğutma

sistemleri sürekli daha da geliştirilmesi ve komple sistem optimizasyonu ve kendi parçaları ve aynı zamanda özellikle transkritik uygulamaları sürmektedir. Subkritik ve transkritik alandaki uygulamalar için kompresörler bunun için birçok farklı ihtiyaçlar için sağlanacaktır.

Böylece, yüksek ortam sıcaklığı hala sistemlerinde önemli bir sorun temsil eder. Bu durumlarda, verimliliği sadece sistem teknolojisi ek karmaşıklığı ile dengelenebilir. CO<sub>2</sub> sistemleri için yüksek potansiyel özellikle gaz soğutucudan önce ısı geri kazanımı ile atık ısı kullanımı ile elde edilir.

Faydaları ve maliyet girişimleri, verimliliği ve birçok farklı uygulamalar güvenilirliği hesaplamak için daha doğrusu CO<sub>2</sub> sistemlerle daha fazla deneyim ve kendi bileşenleri temin edinilmelidir. Bu nedenle, soğutucu gaz olarak CO<sub>2</sub> kullanımı düşünülmelidir ve her uygulamada ayrı ayrı değerlendirilmelidir.

## TERMİNOLOJİ

COP	Performans Katsayısı
ExV/ EV	Genleşme Vanası
GWP	Küresel Isınma Potansiyeli
h	Entalpi kJ/kg
HP	Yüksek basınç
LP	Alçak basınç
ODP	Ozon Tüketim Potansiyeli
p	Basınç bar
RKX	Yarı-Hermetik radyal piston kompresör
s	Entropi kJ/(kg K)
T	Sıcaklık °C

## KAYNAKLAR

- [1] Heerup, C. 2008, CO<sub>2</sub> as refrigerant. DTI – Danish Technological Institute, Denmark
- [2] Kaiser, H. 2006, Ein neuer kompakter Mehrzylinder-Hubkolbenverdichter für CO<sub>2</sub> im transkritischen Anwendungsbereich. DKV meeting report 2006, Stuttgart
- [3] Konvekta 2009, Fahrzeugklimatisierung mit Kohlendioxid -Firmenschrift
- [4] Rieberer R. 2006, R.;Stene J.; Neksa, P.: CO<sub>2</sub>-Wärmepumpen – Grundlagen, Status und Ausblick. KI Kälte, Luft und Klimatechnik 11/2006, S484–490
- [5] Stene, J. 2007, Intergrated CO<sub>2</sub> heat pump systems for space heating and hot water heating in low-energy houses and passive houses, SINTEF Energy Research, Trondheim, Norway
- [6] Wobst, E.; Oberländer, S.; Nestler, W. 2008, CO<sub>2</sub>-Wärmepumpen großer Leistung -unverzichtbar für eine nachhaltige Wärmeversorgung. KI Kälte, Luft und Klimatechnik 12/2008, S. 18–21

## ÖZGEÇMİŞ

### Manuel FRÖSCHLE

1982 yılı Stuttgart Almanya doğumludur. 3 yıl Almanya'da Daimler AG endüstriyel mekanik olarak eğitim görmüştür, 2008 yılına kadar Karlsruhe Almanya klima, soğutma uzmanlık ve çevre ile uygulamalı bilimler Üniversitesinde eğitim görmüştür. Norveç SINTEF de pratik dönem (CO<sub>2</sub> uygulaması ile çalışmıştır), Final Paper for the degree: Simülasyon ve soğutma sisteminin evrimi R744 (2008). 2008'den bu yana CO<sub>2</sub> kompresör gelişiminden sorumlu, CO<sub>2</sub> ve özel uygulama için Ürün Yönetimi olarak Bock Kaeltmaschinen GmbH çalışmaktadır.