

Soğutma Sistemlerinde Borulamada Dikkat Edilecek Hususlar

Mert MİRZA*
Ali GÜNGÖR**

Özet

Bu çalışmada R-22, R-134a ve R-502 soğutucu akışkanlı soğutma sistemlerinin boru hatlarının boyutlandırılmasında dikkat edilmesi gereken önemli noktalar, basınç kayıplarının soğutma kapasitesine olan etkileri açıklanmış ve pratikte kullanışlı olan ölçülendirme yöntemleri tablo ve şekillerle anlatılmıştır. Emme, sıvı ve boşaltma hatlarının nasıl boyutlandırılacağı ayrıca belirtilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Soğutucu akışkan (soğutkan) borulama

1. GİRİŞ

Soğutkan borulamada genel tasarım prensipleri;

1. Buharlaştırıcıya uygun miktarda soğutucu akışkan beslemesinin sağlanması
2. Aşırı basınç düşümü olmaksızın boru hatlarının boyutlandırılması
3. Kompresörlerin korunması bakımından;
 - Sistem içine kapanlanan yağın aşırı birikmesinin önlenmesi
 - Kompresörden gerçekleşen yağ kayıplarının en aza indirilmesi

- Çevrim çalışırken ya da duruyorken kompresöre sıvı soğutucu akışkan dönüşüne engel olunması
- Sistemin kuru ve temiz tutulabilmesi

olarak özetlenebilir [4]. Bu belirtilen prensiplerin uygulamada karşılaşılan çözümleri ilerleyen bölümlerde verilecek ve tartışılacaktır.

Soğutucu akışkan borulamada gerekli ön bilgiler, sistemde kullanılacak soğutucu akışkan tipi ;

- Sistem tasarım kapasitesi (ton soğutma)

* Makina Mühendisi

** Prof. Dr., Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü .

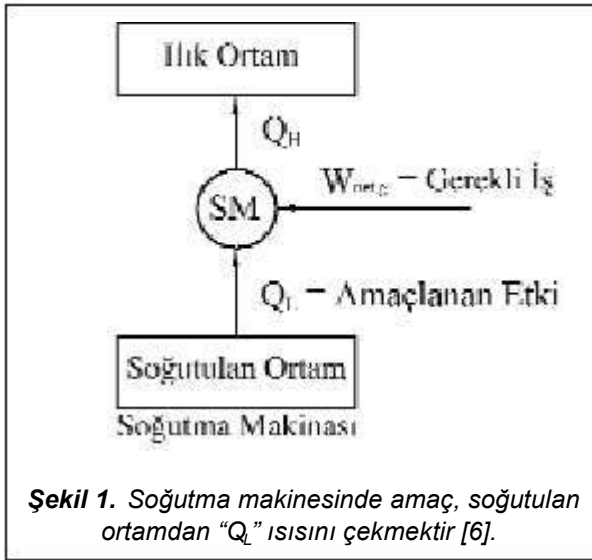
- Doymuş yoğuşma sıcaklığı
- Her bir soğutma hattındaki en çok izin verilebilecek basınç düşümleri
- Her bir soğutma hattındaki en az izin verilebilecek hızlar

olarak tasarım öncesinde belirlenmelidir.

İlerleyen bölümlerde R-22, R-134a ve R-502 soğutucu akışkanlı soğutma sistemlerindeki soğutucu akışkan debileri ve hızları, boru dizaynı yapılırken dikkat edilmesi gereken temel prensipler, emme, basma ve sıvı hatlarının boyutlandırılması ile ilgili esaslar, sistemde bulunan yağın dolaşımı ile ilgili bilgiler detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

2. SOĞUTMA SİSTEMLERİ HAKKINDA GENEL BİLGİLER

Soğutma tanım olarak bir maddenin sıcaklığını, ortam sıcaklığının altına indirme ve bu düşük sıcaklıkta tutabilmek için maddeden ısı alınması işlemidir [3]. Fakat bir ortamdan ısı geçişi kendiliğinden olamaz, bunun bir **soğutma makinesi** aracılığıyla yapılması gerekir [6]. Bir maddeyi soğutabilmek için, bu maddeden daha soğuk olan bir soğutucu madde ile ısı çekilmesi gerekir. Soğutucu madde de genel olarak bir akışkan olduğundan, çoğu zaman **soğutucu akışkan** (soğutkan) olarak adlandırılır [3].



Şekil 1'de verilmiştir. Burada Q_L, soğutulan ortamdaki çekilen ısı, Q_H ise daha sıcak ortama verilen ısıdır. T_L, soğutulan ortamın sıcaklığı, T_H ise ısı verilen ortamın sıcaklığı ve W_{net,g}, çevrimde dolaşan akışkan üzerinde yapılması gereken sıkıştırma işini göstermektedir.

Bir soğutma makinesinin ısı değerlendirmesi, **etkinlik katsayısı, COP** (Coefficient of Performance) ile yapılır. Etkinlik katsayısı aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$COP_{SM} = \frac{\text{elde edilmek istenen soğutma etkisi } Q_L}{\text{harcanan iş girişi } W_{net,g}}$$

Bir soğutma sisteminin **soğutma kapasitesi**, soğutulan ortamdaki birim zamanda çekilen ısı diye tanımlanır ve çoğu kez ton soğutma birimi ile ifade edilir. Bir ton soğutma, 0 °C sıcaklıkta 1 ton (2000 libre, lbm) suyu 24 saatte 0 °C sıcaklıkta bir ton buza dönüştürmek için çekilmesi gereken ısı enerjisi eşittir. Bir ton soğutma 211 kJ/dakika veya 200 Btu/dakika'ya eşdeğerdir [6].

Tablo 1'de özetlendiği gibi, ortam sıcaklığından daha düşük olarak elde edilebilen sıcaklık derecesine göre soğutma işlemlerini, iklimlendirme (klimatizasyon), soğuk hava deposu soğutması ve derin soğutma (kriyojeni) olarak sınıflamak mümkündür [3].

Tablo 1. Soğutma işlemleri [3].

Soğutma İşlemi Adı	Yaklaşık Sıcaklık Aralığı
İklimlendirme (Klimatizasyon)	273 K - 300 K
Soğuk Hava Deposu Soğutması	230 K - 273 K
Derin Soğutma (Kriyojeni)	3 K - 80 K

Yağlama, gaz ve sıvının ayrılması, aşırı soğutma (subcooling), kızdırma (superheating), sıvı ve gaz haldeki soğutucu akışkanlar için boru hatlarının tasarımı ve iki fazlı akış konularının hepsi soğutmanın birer parçasıdır. İklimlendirme, ticari soğutma ve endüstriyel soğutma, soğutmanın tipik uygulama alanlarıdır. Bir soğutma sisteminde olması arzu edilen nitelikler şöyle sıralanabilir.

- Dış ortam koşullarından etkilenmeden, bütün yıl boyunca çalışabilmelidir.
- Arzu edilen sıcaklık seviyesini çok büyük oranda de-

ğıştirmeden, geniş yük değişimi aralığında (kapasitenin sıfırdan % 100'e değişmesi durumunda) ca - sıvı hattında mevcut aşırı soğutma elverdiğinden de fazla basınç düşümüne neden oluyorsa, genleşme vanasından soğutucu akışkan geçişi azalır ve sistemin işleyişini bozan ani buharlaşma olayı (flashing) meydana gelir.

İşabilmelidir.

- Eğer sistem hiç ara vermeden sürekli olarak çalışacaksa, karlanma (defrost) kontrolüne sahip olmalıdır.
- Değişik sıcaklık ve yük koşulları altında, yağ dönüştürme herhangi bir problem olmadan çalışabilmelidir.
- Değişik ısı değişim metodlarına (örneğin kuru genleşme, aşırı sıvı beslemesi ve soğutucu akışkanların taşmalı beslemesi) ve salamura, alkol, glikol gibi ikincil soğutucu akışkanların kullanılmasına uygun olmalıdır.
- Sistem verimli olmalıdır, sistem performansında düşümlük olmamalıdır ve çalıştırılması kolay olmalıdır.
- Çok kademeli, kaskad vb. basınçlandırma uygulamaları için gerekli işletme basınçlarına ve basınç oranlarına sahip olmalıdır.

Başarılı bir soğutma sistemi, boru tasarımının iyi yapılmasına ve ihtiyaç duyulan donanımlar hakkında bilgi sahibi olunmasına bağlıdır [1] [5]. Bir soğutma sisteminin performansı, doğru boru boyutlandırmasını da içeren uygun parça seçimleri yapılmasına bağlıdır. Doğru bir uygulamada borular, her soğutma elemanına yeterli miktarda soğutucu akışkanı aşırı basınç kaybına uğramadan sağlayabilmelidir. Büyük boru çapları basınç kaybı ve enerji tüketimini azaltırken, ilk yatırım maliyetlerini artırır. Boru çapının bu zıt etkileri, boru ile ilgili ilk yatırım ve belirli bir sistem ömrü için işletme maliyeti toplamını minimize eden bir termodinamik optimizasyon yapılmasını gerektirir. Belirsizliklerle dolu ekonomik değişkenleri incelemeye katmak hoş olmasa da kaçınılmazdır, çünkü termodinamik inceleme tek başına doğru boru çapı seçimi için yeterli değildir.

Boru çapları büyütüldükçe soğutucu akışkan hızı düşeceğinden, sistemdeki yağın sürüklenmesi özellikle düşey hatlarda (vertical risers) güçlenecektir. Ayrıca,

31
2006

ya çıkabilecek sıvı çekici etkisi (liquid hammer) minimize edilmiş ya da tamamen önlenmiş olur [1] [5].

2.2 Aşırı Soğutma

Soğutucu akışkan debilerinin belirlenmesinde kullanılacak ilgili şekilleri (Şekil 5, 6 ve 7), okuyabilmek için aşırı soğutma kavramının iyi anlaşılması gerekir. Çünkü bu şekillerden hesaplanan debi değerlerinin, sistemde uvaulanana aşırı soğutmanın türüne göre

- Analizler, termodinamik performans istenmeyen etkileri açısından, emme borularındaki basınç kaybının basma borusundaki basınç kaybından daha önemli olduğunu göstermektedir. Sıvı borusundaki basınç kaybı, soğutucu akışkanın yoğunluğu sıvı hattı için de daha fazla olduğundan ve genleşme vanası ile buharlaştırıcı arasındaki bağlantı kısa olduğundan dolayı çok daha az etkilidir [5].

2.1 Soğutucu Akışkan Hattı Hızları

Ekonomiklik, basınç kaybı, ses seviyesi ve yeterli yağ dönüşümü gibi kısıtların sağlanması için, soğutucu akışkan hatlarında, akışkan hızları belirli sınırlar içinde olmalıdır. Tablo 2'de R-22, R-134a ve R-502 için gaz hattı hızları verilmiştir.

Tablo 2. R-22, R-134a ve R-502 için gaz hattı hızları [1] [5].

Emme Hattı	4,5 - 20 m/s
Basma Hattı	10 - 18 m/s

Nispeten kısa emme hatlarına sahip konfor iklimlendirme sistemlerinde, ya da ilk yatırım maliyeti işletme maliyetinden daha önemli olan ve bir yıldaki çalıştırma süreleri 2000 ile 4000 saat arasında olan sistemlerde, daha yüksek hızlar kullanılabilir. Hiç durmadan sürekli olarak çalışması gereken endüstriyel sistemlerin ve ticari soğutma sistemlerinin tasarımı yapılırken, kompresörü en verimli şekilde kullanmak ve işletme maliyetini daha düşük tutmak için, soğutucu akışkan hızlarının düşük tutulması gerekmektedir. Maliyet ve işletme maliyeti analizleri boru çapı seçiminin çok önemli olduğunu göstermiştir. Yoğuştuрудan toplayıcıya kadar olan sıvı hattı, 0,5 m/s ya da daha düşük hızları sağlayacak şekilde boyutlandırılmalıdır. Toplayıcıdan buharlaştırıcıya kadar olan sıvı hattı, 1,5 m/s'den daha küçük hızları sağlayacak şekilde boyutlandırılmalıdır, böylece selenoidler ya da diğer elektrikle çalışan valfler kullanıldığında orta

TESİSAT MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ, Sayı 9 6,

ma devrelerinde soğutma kapasitesi artarken tüketilen kompresör gücü azalır. Kompresör ve yoğuştuрудu boyutlan küçültülebilir.

Normal buhar sıkıştırımalı soğutma sistemlerinde elde edilen aşırı soğutma 5,6 ile 8,3 °C arasındadır. Bu miktarlar çevre sıcaklığı etkisi ile artabilir. Aşırı soğutma elemanları ile sistemin soğutma kapasitesi artarken, kompresörün cektidai aüc düşer. Bu da siste

min, sistemde uygulanan aşırı soğutmanın tarafa göre belirli oranda azaltılmaları gerekmektedir.

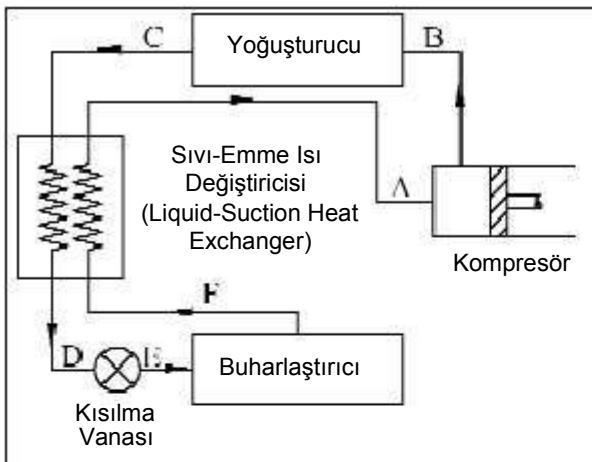
Konvansiyonel iklimlendirme ve soğutma sistemlerinde soğutma kapasitesi ve verimliliği arttırmak ile sistemin emniyetli bir şekilde çalışmasını sağlamak için aşırı soğutma uygulaması yapılmaktadır. Isı değişirici elemanlar, yeni geliştirilen aşırı soğutma sistemlerinin odağını oluşturmaktadır. Bu elemanlar, ısı de-ğiştiricilerinde ısıyı, yoğunlaştırıcı çıkışındaki sıvı hattından alıp, suya (su soğutma kuleleri yardımı ile) veya emme hattına verirler. Bunun birinci nedeni, soğutma verimini artırıp, maliyeti düşürmektir. Genellikle, aşırı soğutmanın kazancı, serinletme (soğutma) derece gün sayıları fazla olan (18,3 °C bazında 1200 veya daha fazla soğutma derece-günlerinde) bölgelerde daha yüksektir. Başka bir deyişle, aşırı soğutma elemanları (ısı de-ğiştiriciler) bölgesel isteklere göre yapılmıştır. Birçok donanım, optimum sistem performansı elde etmek amacı ile tasarlanır. Bununla beraber, özellikle direkt genişlemeli buhar sıkıştırıcı soğutma ve iklimlendirme ekipmanlarında uygun teknolojiler geliştirilmiştir. Bu teknoloji eski parçaların yerine geçmiş ve yeni planlanan sistemlerde kullanılmaya başlanmıştır. Aşırı soğutma uygulamaları uzun süreden beri, düşük (-23,3 °C'den daha düşük buharlaşma sıcaklıkları) ve orta sıcaklıkta (-23,3 °C ile - 1,1 °C buharlaşma sıcaklıkları) çalışan soğutma sistemlerinde kullanılmaktadır.

Soğutma sistemlerinde soğutma verimini basit bir düzenleme ile arttırmak olanaklıdır. Bu konuda yapılan sistem testlerinden, her 1 °C'lik ilave aşırı soğutma için, soğutucu akışkan soğutma kapasitesinde % 1'lik artışın olduğu ve mekanik aşırı soğutma ile yapılan kompresör gücünde ise % 20 - % 30 azalmanın olduğu ortaya çıkmaktadır. Isı de-ğiştiricisi kullanan soğut-

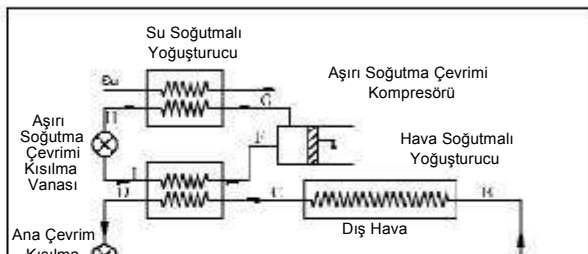
ma sistemleri, kompresörün genişliği, güç değeri. Bu da, sistemin toplam veriminin ve sisteme duyulan talebin artmasını sağlar. Bununla beraber, uygun teknolojinin seçilebilmesi açısından, ekipmanın, yükün ve iklim koşullarının enerji tasarruf mekanizmasında olan etkilerini bilmek büyük önem taşır. Aşırı soğutma sağlamak için kullanılan üç yöntem: (1) Dış ısı etkili sistemler, (2) Kaskad sistemler ve (3) Emme hattı ısı de-ğiştiricisi kullanan sistemlerdir. Şekil 2'de sıvı-emme ısı de-ğiştiricisi kullanılan (liquid-suction heat exchanger) bir aşırı soğutma sistemi gösterilmiştir. Bu sistemde buharlaştırıcı çıkışındaki emme hattının yoğunlaştırıcı çıkışına yönlendirilmesi ile yoğunlaştırıcı çıkışındaki doymuş sıvının ısı buharlaştırıcı çıkışındaki doymuş buhara aktararak hem sıvının aşırı soğutulması hem de buharın kızdırılması sağlanmış olur. Genleşme cihazlarının düzgün bir şekilde çalışması ve sistemde basınç dalgalanmaları olmaması için sıvının genleşme cihazı girişinde tamamen sıvı olması, yani sıvı içinde buhar (flash) olmaması gerekir. Ayrıca kompresöre sıvı girişi dolayı sı ile kompresörün zarar görmesini engellemek için yani kompresöre giren akışkanın tamamen buhar fazında olmasını garanti etmek için buharlaştırıcı çıkışındaki soğutucu akışkanın bir miktar kızdırılması gerekir. Şekil 2'de gösterilen aşırı soğutma yöntemi ile bu iki etki aynı anda sağlanmaktadır.

Şekil 3'de gösterilen aşırı soğutma sisteminde aşırı soğutma etkisi bir dış kaynak kullanarak sağlanmaktadır. Bu sistemde ısı de-ğiştiricisinde gerekli soğutma suyu soğutma kulesi kullanımı ile sağlanmaktadır.

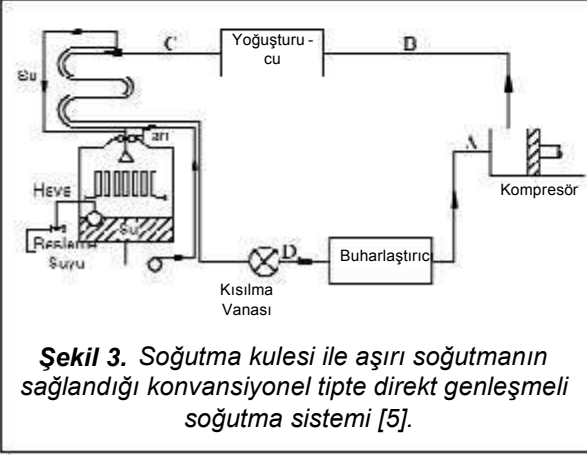
Şekil 4'de ise aşırı soğutma etkisinin ikinci bir buhar sıkıştırıcı (mekanik) soğutma çevrimi ile sağlandığı bir sistem gösterilmiştir. Bu sistemde aşırı soğutma için ana kompresörden daha küçük bir kompresör



Eğer sistemde sıvı-emme ısı de-ğiştiricisi (liquid-suction interchanger) kullanılmışsa ya da yoğunlaştırıcı da aşırı soğutma yapılıyorsa, bu durumda sıcaklık değeri bu cihazlara girişteki gerçek sıvı sıcaklığı olmalıdır [5].



Şekil 2. Sıvı - emme ısı değiştiricisi ile aşırı soğutmanın sağlandığı konvansiyonel tipte direkt genleşmeli soğutma sistemi [5].

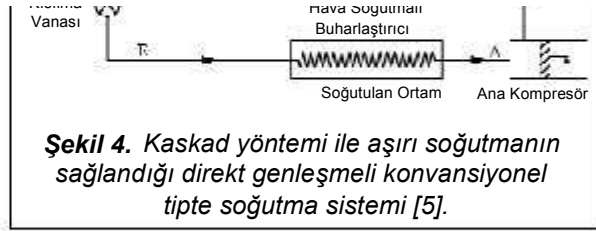


Şekil 3. Soğutma kulesi ile aşırı soğutmanın sağlandığı konvansiyonel tipte direkt genleşmeli soğutma sistemi [5].

kullanılır. Bu tip sistemlere kaskad sistemler denilmektedir [5].

2.3 Soğutucu Akışkan Debileri

Şekil 5, 6 ve 7'de R-22, R-134a ve R-502 için, birim soğutma kapasitesi (1 kW) için, soğutucu akışkan debileri gösterilmiştir. Sistemin toplam debisini belirlemek için, uygun olan debi büyüklüğü seçilir ve sistem kapasitesi ile çarpılır [1]. Şekillerde, yatay eksende buharlaştırıcı çıkışındaki doymuş soğutucu akışkan buharının sıcaklığı verilmiştir. Yatay eksen bu buharlaştırıcı çıkışındaki soğutucu akışkan sıcaklığını gösteren noktadan yukarı doğru dik çikılan doğrun buharlaştırıcı girişindeki sıvı soğutucu akışkan sıcaklığını gösteren eğri ile keşiştiği noktanın dikey eksendeki izdüşümü 1 kW soğutma sağlamak için gerekli soğutucu akışkan debisini göstermektedir.



Şekil 4. Kaskad yöntemi ile aşırı soğutmanın sağlandığı direkt genleşmeli konvansiyonel tipte soğutma sistemi [5].

Şekil 5, 6 ve 7 buharlaştırıcı doyma sıcaklığına göre hazırlandığı için, bu şekillerin kullanılması ile belirlenen debi değerleri, emme buharının kızdırılması durumunda gerekli gerçek debi değerlerinden daha büyüktür. Bu grafikler kullanılarak elde edilen debi değeri, buharlaştırıcıdaki her 5,5 K'lık kızdırma miktarı için yaklaşık % 3 azaltılmalıdır.

Harici bir enerji kaynağından boru hattına ısı geçişi sonucu, buharlaştırıcı akışı doğrultusundaki emme hattının kızdırılması (superheating), Şekil 5, 6 ve 7 kullanılarak hesaplanan debi miktarlarının azaltılması gerektirmez. Hat ısı kazancından kaynaklanan bu tip emme hattı kızdırması, hacimsel debiyi ve bir birim buharlaştırıcı kapasitesi başına hat hızını artırır ancak kütleli debiyi arttırmaz. Bu tip kızdırma, dikey emme hattı çaplarını, uygun yağ dönüşünü sağlamak için hesaplarken dikkate alınmalıdır.

Sıvı-emme ısı değiştiricisi kullanarak emme gazının kızdırılmasının, yağ dönüşü üzerindeki etkisi, yukarıdaki paragrafta açıklanan emme hattı kızdırılmasının yağ dönüşü üzerindeki etkisi ile aynıdır. Isı değişimi ile sıvının soğutulması sonucu 1 kW'lık soğutma başına gerekli kütleli debi azalır. Bu durum şekillerden de görülebilir. Şekillerden anlaşılacağı üzere,

yatay eksende herhangi bir buharlaştırıcı çıkış sıcaklığında, buharlaştırıcı besleme valfine gelen sıvının sıcaklığı azaldıkça, 1 kW soğutma yükü başına gerekli kütleli debi azalmaktadır.

Soğutma etkisinde herhangi bir artış sağlamadan, sadece hacimsel debiyi arttırdığı için, mahal içindeki

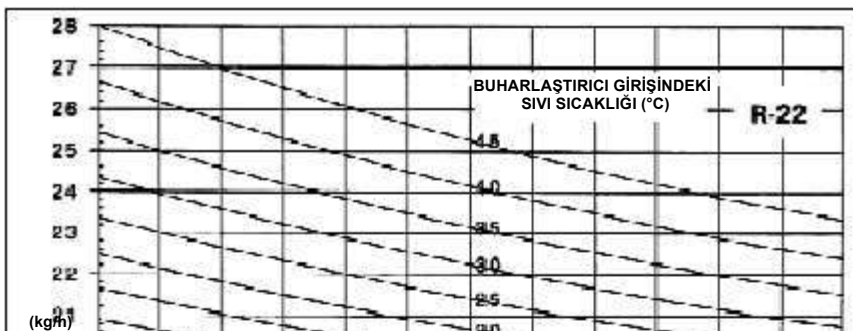
ısıdan kaynaklanan kızdırmanın soğutmaya zararlı bir etkisi olduğunu söylemek yanlış olur [1] [5].

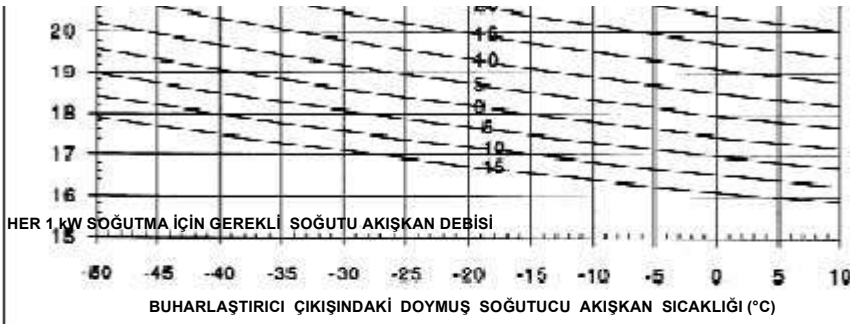
3. BORULAMA HAKKINDA TEMEL BİLGİLER

Soğutucu akışkan borulama sistemlerinin tasarımı sırasında, tüm sıvı akış sistemlerinin ortak tasarım özellikleri dikkate alınır. Ancak bu özelliklerin dışında

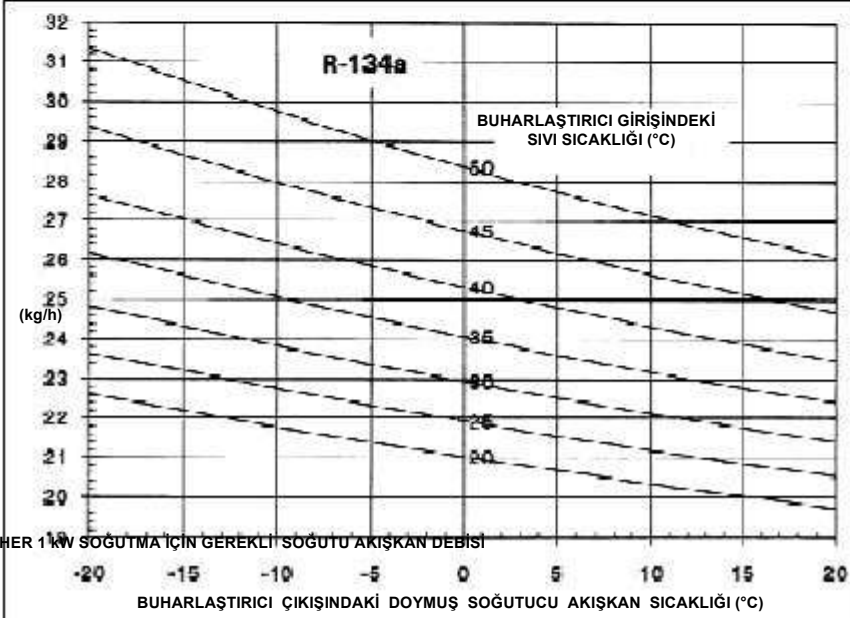
borulama tasarımı yapılırken sistemi etkileyebilecek aşağdaki etkenler de göz önünde bulundurulmalıdır.

1. Borulama yapılan sistemin minimum basınç kaybına göre tasarlanması gerekir çünkü soğutucu sistemlerde basınç kayıpları ısı kapasite





Şekil 5. 1 kW soğutma sağlamak için gerekli debi, R-22 [1] [5].



Şekil 6. 1 kW soğutma sağlamak için gerekli debi, R-134a [1] [5].

yi düşürür ve sistemin enerji ihtiyacını artırır.

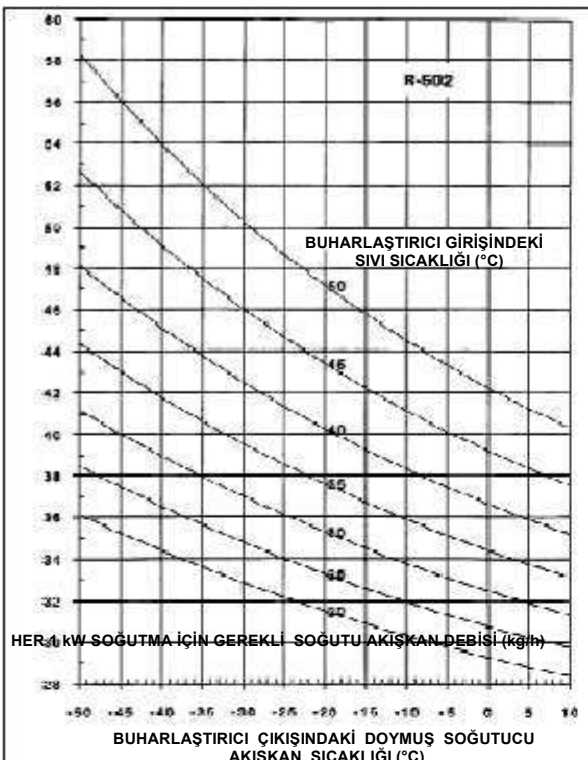
2. Sıvı, boruların içinde dolaşırken hal değiştirir.

3. Soğutucu akışkanlar ile sistemde bulunan yağlama yağının karışmamasını sağlamak için aşağıdaki koşulların sağlanması gerekir:

a) Sıvı soğutucu akışkanın kompresör karterinde birikmesi en az düzeyde olmalıdır.

b) Yağın kompresörden çıktığı hızla yeniden kompresöre dönmesi gerekmektedir [2].

Şekil 8'de bir soğutma çevriminin şematik olarak genel yapısı görülmektedir [4]. Bu şekil en az elemanlı bir yapıyı en kısa hatlarla prensipte göstermektedir. Uygulamada geometrik yerleşim ve birleşik paralel veya seri bileşenli sistemler olduğunda hatların tasarımının çok kompleks yapısının varlığı açıktır. İlerle



yen bölümlerde özel hatların tasarımında dikkat edilmesi gereken hususlar ayrı başlıklarda incelenecektir.

3.1 Soğutma Sistemlerinde Boru Tasarımının Temel Prensipleri

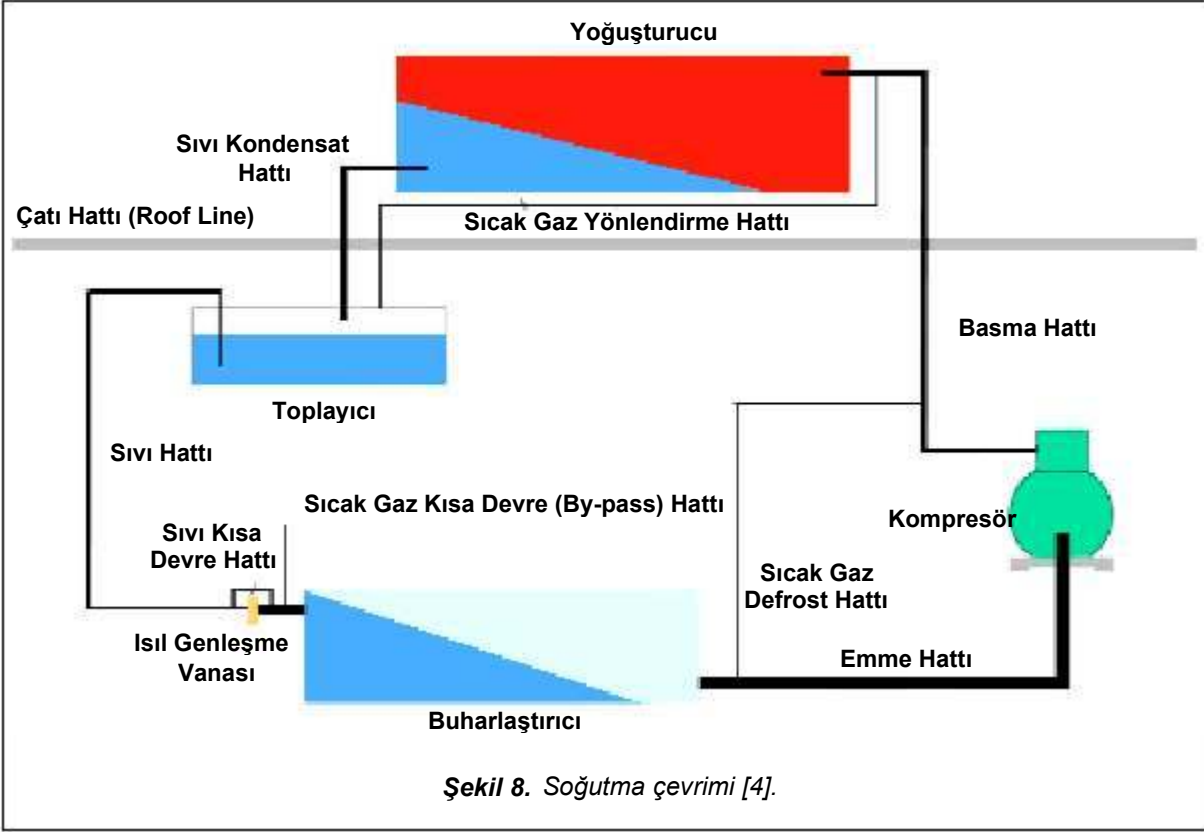
Soğutma devrelerinin tasarımında aşağıdaki noktalara dikkat edilmelidir.

- Soğutma devresindeki basınç kayıplarının mümkün olduğunca düşük olması sağlanmalıdır.
- Soğutucu akışkanın fiziksel durumundaki değişiklikler boru çaplarında değişiklik gerektirir.
- Genel olarak sistemde kullanılan gaz ile kompresör yağı çok çabuk karışırlar. Kompresörde düzenli ve yeterli yağlamanın temin edilebilmesi için, basma hattına soğutucu akışkan tarafından kompresörden çıkarılan yağ ile aynı miktarda yağın yer değiştirilmesi sağlanmalıdır.
- Soğutma devresi, gaz verilmesi ve vakum işlemleri öncesi olabilecek partiküllerden

Şekil 7. 1 kW soğutma sağlamak için gerekli debi, R-502 [1] [5].

arınmış kuru ve temiz olmalıdır.

- Sıvı halindeki soğutucu akışkanın kompresöre girişi önlenmelidir. Kompresör daima gaz halindeki



Şekil 8. Soğutma çevrimi [4].

akışkan ile çalıştırılmalıdır.

- Çalışma sırasında kompresöre (gaz hattı) yağın düzenli dönüşünün sağlanması, basınç kayıplarının ve aşırı gürültünün önlenmesi için soğutucu akışkanın hızının dikkatli tespit edilmesi gereklidir.
- Devrenin ölçülendirilmesinde son belirleme daima akışkan hızı ve meydana getireceği basınç düşümü ile boru maliyetleri arasında bir analiz ile yapılmalıdır.

Genel olarak, soğutma hattında basınç kaybı, kapasitenin azalmasına ve güç gereksiniminin artmasına neden olur. Bu yüzden aşırı basınç kaybına izin verilmemesi gerekir. Basınç kaybının büyüklüğü boru sisteminin belli kısımlarında değiştiği için, sistemin her bir parçası ayrı olarak göz önüne alınmalıdır. Düz boru içindeki basınç düşümü değerini ve verilen bir basınç kaybı için soğutucu akışkan hattı kapasite değerlerini veren pek çok tablo ve grafik bulmak mümkündür.

Boru tasarımcısının, basınç düşümünün çok önemli olduğunu fakat soğutucu akışkan hattı boyutlandırılmasında göz önüne alınması gereken tek şart olma

tı hatlarının uzunluğu, sistemin kontrol şekli, yük değişimi ve diğer faktörler uygun boru boyutu belirlemede kullanılan ana faktörlerdir. Tasarlanan hattın boyutu, çeşitli sistem elemanları üzerindeki bağlantı elemanlarından biraz büyük ya da biraz küçük olabilir. Bu durumda redüksiyon kullanılmalıdır.

Kompresör içinde yağlamanın sağlanması için, yağın kompresör silindirlere geçmesi gereklidir, bu yüzden yağın küçük bir kısmı her zaman soğutucu akışkanla birlikte sirküle edilir. Soğutmada kullanılan yağlar sıvı soğutucu akışkan içerisinde çözülür ve normal oda sıcaklığında tamamen karışırlar ancak yağ ve soğutucu akışkan buharı kolayca karışamazlar ve eğer soğutucu akışkan buharının hızı yağı sürüklemeye yetecek kadar büyük ise yağ sistem içerisinde uygun şekilde dolaştırılır. Uygun yağ dolaşımını sağlamak için, soğutucu akışkan hızı sadece emme ve basma hattında değil, buharlaştırıcı devreleri içinde de yağı sürükleyecek kadar büyük olmalıdır.

Düşük buharlaşma sıcaklıklarında, yağ dönüşünü çok kritik hale getiren birkaç faktör vardır. Emme basıncı düşerse soğutucu akışkan buharı daha az sı

dığını bilmesi gerekir. Bazı sistemlerin tasarımında soğutucu akışkan hızları, basınç düşümünden daha fazla etkiye sahiptir. Ayrıca, yağ dönüşünün kritik ya - pısı ve aşırı soğutucu akışkan şarjı da sistemde - sınırlar yaratır. Sistemin ihtiyacının üzerinde soğut - cu akışkan taşıyabilecek daha büyük hatlar tasarla - maktansa, makul basınç düşümüne izin verilmesi da - ha doğrudur. Aşırı soğutucu akışkan şarjı; sıvı so - ğutucu akışkan kontrolünde ciddi problemler yarata - bilir ve sistemin düşük basınç tarafında büyük miktar - daki sıvı soğutucu akışkanın atalet (flywheel) etkisi; soğutucu akışkan kontrol cihazlarının düzensiz ça - lışmasına neden olur.

Kompresör üzerindeki servis valfinin boyutu, yoğun - turucu, buharlaştırıcı, akümülatör ya da herhangi bir donatı üzerindeki bağlantının boyutu, tasarlanacak hattın boyutunu belirleyen faktörler değildir. Üreticiler, kullanacakları bağlantı elemanlarının ve valflerin bo - yutlarını, bunların ortalama bir sisteme uygulanması esasına dayanarak belirlerler. Uygulama türü, bağlan -

kışık hale gelir ve yağın sürüklenmesi zorlaşır. Aynı zamanda emme basıncının düşmesiyle, sıkıştırma oranı artar; sonuç olarak kompresör kapasitesi azalır ve sirküle edilen soğutucu akışkan kütlesi azalır. So - ğutmada kullanılan yağlar, tek başlarına $-17,77^{\circ}\text{C}$ 'nin altında iken koyu bir kıvama sahiptirler fakat yeterli sıvı soğutucu akışkan ile karışırlarsa kolaylıkla hareket eden bir akışkan haline gelirler. Karışımdaki yağ oranı artarsa viskozite de artar.

Düşük sıcaklık koşullarında, bu faktörlerin hepsi bir - leşerek kritik bir durum ortaya çıkarırlar. Gazın yo - ğunluğu azalır, kütle debisi azalır ve sonuç olarak bu - harlaştırıcıda daha fazla yağ toplanmaya başlar.

Yağ ve soğutucu akışkan karışımı daha viskoz hale gelirse, yağ kompresöre dönmek yerine, buharlaştırıcı içindeki bazı noktalarda birikmeye başlar. Kötü ta - sarlanmış sistemlerde krank kutusundaki yağ seviye - sinin büyük değişimler göstermesinin nedeni budur.

İyi tasarlanmış buharlaştırıcılarda buharlaşma sı -

caklığı çok düşük olsa bile; hızların yeterince yüksek tutulması sureti ile yağ birikmesi önenebilir. Ancak $-45,55^{\circ}\text{C}$ 'nin altındaki buharlaşma sıcaklıklarında, sirküle edilen yağ oranını minimize edebilmek için, yağ seperatörlerinin kullanılması gereklidir [5].

3.2 Soğutucu Akışkan Hattının Boyutlandırılması

Soğutucu akışkan hattının boyutlarını belirlerken, en ekonomik, sürtünme kaybını ve yağ dönüşünü hesa - ba katan en iyi değeri bulmak gerekir. Maliyet açısın - dan bakıldığında elden geldiğince küçük boyutlu boru seçmek iyidir. Ancak seçilen boru boyutunun emme ve basma hattında aşırı basınç kaybına yol açmaması da gerekir. Çünkü bu durum kompresör kapasitesini düşmesine ve Güç/Kapasite oranının aşırı ölçüde artmasına yol açar. Boru boyutunun küçük tutulması sıvı hattında da aşırı basınç kaybına yol açabilir. Bu durum, sıvı soğutucu akışkanın basınç düşüşü ne - deniyle taşmasına ve genleşme vanasının arıza yapmasına neden olur [2]. Soğutma sistemleri öyle ta - sarlanmıştır ki sürtünmeden dolayı meydana gelen basınç kayıpları belli bir basınç farkını ve buna bağlı kaynama noktası sıcaklığı değişimini geçmeyecek şekildedir. Basınç kayıplarını tespit etmek için birincil ölçüm, doyma sıcaklığında verilen değişimdir [1]. Basınç kaybını en aza indirmek için, bir yandan mali - yeti, bir yandan da tüm yük koşullarında yağı hareke - te geçirip taşımaya yetecek soğutucu hattı hızlarını

parçası için 1 K ya da daha az basınç kaybı için bo - yutlandırılacaktır [1].

Tablo 3. R-22 ile çalışan bir sistemde gaz hattı ba - sınıç kaybının kompresör kapasitesi ve güç ^a üze - rindeki yaklaşık etkisi [1].

Hattaki Kayıp, K	Kapasite, %	Enerji, % ^b
Emme Hattı		
0	100	100
1	96,8	104,3
2	93,6	107,3
Basma Hattı		
0	100	100
1	99,2	102,7
2	98,4	105,7

^a: 5°C doymuş buharlaştırıcı sıcaklığı ile 40°C doymuş yoğunlaş - ma sıcaklığında R-22 ile çalışan bir sistem.

^b: Enerji yüzdesi kW (güç) / kW (soğutma) şeklinde alınmıştır.

3.3.1 Sıvı Hatları

Sıvı hatlarındaki basınç kaybı, emme ve basma hat - ları kadar önemli değildir. Yine de basınç kaybının, sı - vı hattında gaz oluşmasına yol açacak düzeye çık - maması ya da sıvı besleme aygıtında yetersiz sıvı basıncı olmaması gerekir [2]. Sistemler normal olarak tasarlanmıştır, böylece sürtünmeden dolayı sıvı hat - tında oluşacak basınç kaybı doyma sıcaklığında 0,5

dikkate almak gerekir. Soğutucu akışkanlar için, düşey hatlarda (kolon) yağ dönüşü zorunlulukları da dikkate alınmalıdır [2].

3.3 Basınç Kaybının Etkisi

Soğutucu akışkan hatlarındaki basınç kayıpları sistem verimliliğinde bir azalmaya neden olur. Doğru boyutlandırma, maliyeti en az seviyede tutup, verimliliği en üst seviyeye çıkaracak şekilde yapılmalıdır. Tablo 3, 5 °C doymuş buharlaştırıcı sıcaklığı ile 40 °C doymuş yoğunlaşma sıcaklığında R-22 ile çalışan bir sistemde soğutucu akışkana ait basınç kaybının yaklaşık etkisini göstermektedir.

Basınç kaybı hesaplarında soğutucu akışkanın doyma sıcaklığındaki değişimle bağlantılı basınç düşüşü normal olarak değerlendirilmektedir. Genellikle, soğutma sistemi basma, emme ve sıvı hatlarının her

K ile 1 K'lik değişime denk gelen kayıptan büyük değildir. Sıvı hatlarının boyutlandırılması ile ilgili bilgileri Tablo 4, 5, 6 ve 7'den okuyabiliriz. 40 °C doyma sıcaklığında 0,5 K'lik sıcaklık değişiminin meydana getirdiği basınç değişimi yaklaşık olarak aşağıda gösterildiği gibidir.

Soğutucu Akışkan	Değişim, kPa
R-22	18,7
R-134a	13,6
R-502	19,4

Aşırı sıvı soğutması sıvı hattındaki basınç kaybını gidermek için tek yöntemdir, bu sayede buharlaştırıcı öncesindeki kısılma cihazında sıvı olması garanti edilir. Aşırı soğutma yetersiz ise sıvı hattında ani buharlaşma meydana gelecektir ve sistemin verimliliği düşecektir [1].

37
2006

TESİSAT MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ, Sayı 9 6,

Sıvı hattında sürtünme basınç kaybı, selenoid vana, pislik tutucu, kurutucu ve el vanaları gibi donanımların yanı sıra sıvı toplayıcı çıkışından buharlaştırıcı soğutucu besleme devresine giden boru ve donanımı ile ilgilidir [2].

Sıvı hattındaki düşey borular da bir basınç kaybı kaynağıdır ve sıvı hattındaki toplam kayba ilave edilir. Düşey borulardan dolayı meydana gelen kayıp her metre yükselti için 11,3 kPa'dır. Toplam kayıp bütün sürtünme kayıpları ile düşey borulardaki basınç kayıplarının toplamı ile bulunur.

İzleyen örnek sıvı hattının boyutlandırılmasının ve ihtiyaç duyulan toplam aşırı soğutma miktarının tespiti nasıl yapıldığını göstermektedir.

Örnek 3.1: Bakır borular kullanan R-22'li bir soğutma sistemi 5 °C buharlaştırıcı ve 40 °C yoğunlaşma sıcaklığında çalışmaktadır. Kapasite 14 kW'dır ve sıvı hattı 6 m düşey boruyla beraber 50 m eşdeğer uzunluğa sahiptir. Sıvı hattı boyutunu ve ihtiyaç duyulan toplam aşırı soğutma miktarını bulunuz.

Çözüm. Tablo 4'den, sıvı hattının boyutu 1 K'lik kayıp için 15 mm OD olarak bulunur. Tablo 4'deki notlardan denklem 3'ü kullanarak gerçek sıcaklık kaybını 14 kW için bulalım.

Gerçek sıcaklık düşüşü = $(50 \times 0,02)(14,0/21,54)^{1,8} = 0,46K$
Tahmini sürtünme kaybı = $0,46 \times 18,7 = 8,6kPa$
Düşey borulardan gelen kayıp = $6 \times 11,3 = 67,8 kPa$

karşılabilir. Sıvı hattının yönlendirilmesi ne tip olursa olsun, ani buharlaşma meydana gelirse toplam verimlilik düşer ve sistem devreden çıkabilir.

Kısmen dolu bir tankı (toplayıcı ya da gövde-boru tipi yoğunlaştırıcı) terk eden sıvının hızı, yüzeydeki sıvı aşırı soğutulsun ya da soğutulmasın tanktan ayrılan sıvı hattının bulunduğu noktanın üzerindeki sıvı yüksekliliğiyle kısıtlıdır. Tanktaki sıvı çok düşük (ya da 0) bir hıza sahip olduğu için sıvı hattındaki hızı (bağlantı noktası) $V, V^2 = 2gh$ ile hesaplanır; burada "h" tanktaki sıvı yüksekliğidir. Gaz basıncı hıza, gaz aynı yönde akmadığı sürece eklenmez. Sonuç olarak, hatta hem gaz, hem de sıvı aktığında, sıvı akışı kısıtlanır. Bu faktör hesaba katılmazsa toplayıcılarda aşırı çalınma maliyeti ve gövde boru tipi yoğunlaştırıcılarda taşma meydana gelebilir.

Tankı terk eden sıvı hattını tam olarak boyutlandırmak için kesin bir veri yoktur. Bağlantı noktası üzerindeki sıvının yüksekliği istenilen hızı sağlıyorsa, sıvı tanktan istenilen oranda ayrılacaktır. Böylece, tanktaki seviye tank tabanından sıvı hattının ayrıldığı seviyeden boru çapı kadar daha yüksek bir değere düşmüşse, 6,4 g/s R-22 için bakır borulardaki kapasite, kilowatt soğutma başına yaklaşık olarak aşağıda gösterildiği gibidir.

OD, mm	kW
28	49
35	88
42	140

Toplam basınç kaybı= 67,8+8,6=76,4 kPa
 40 °C yoğunlaşma sıcaklığı için doyma basıncı =1534,1 kPa
 Toplam sıvı hattı kayıpları = 1534,1–76,4=1457,7 kPa
 Genleşme vanasındaki net basınç =1457,7 kPa
 1457,7 kPa için doyma sıcaklığı = 37,9°C

54	280
67	460
79	690
105	1440

Sıvı kayıplarını gidermek için gerekli aşırı soğutma miktarı =(40,0–37,9)=2,1 K bulunur.

Bütün sıvı hattı, ayrılma bağlantısı kadar büyük olmak zorunda değildir. Bağlantı noktasından sonra, hız % 40 azalır. Hat toplayıcıdan aşağıya doğru devam ederse, h değeri yükselir. R-22 ile 700 kW kapasite için, toplayıcının (receiver) tabanından gelen hat yaklaşık 79 mm olmaktadır. 1300 mm'lik bir düşüşten sonra 54 mm'lik çapa düşüş yeterli olacaktır.

Sıvılar için düşey boruların bulunmadığı ve buharlaştırıcının yoğunlaştırucu/toplayıcı'nın altında bulunduğu durumlarda soğutma sistemleri sıvının ağırlığından dolayı basınçta bir kazanca sahiptir ve ani buharlaşma olmadan daha büyük sürtünme kayıplarını

Tablo 4. Soğutucu akışkan 22 (R-22) için kilowatt cinsinden emme, basma ve sıvı hattı kapasiteler (tek ya da çok kademeli uygulamalar için) [1].

Hız (m/s) Nominal Ø D, mm	Emme Hatları (Δr=0,04 K/m) Doyma Sıcaklığı, °C					Basma Hatları (Δr=0,02 K/m, Δp=74,90)			Sıvı Hatları Net hız (m/s) tabanına	
	-40	-30	-20	-5	5	Doyma Sıcaklığı, °C			h ₀	Δr=0,02 K/m
	196	277	378	572	731	-40	-20	5	0,5 m/s	Δp=749
I. TEP BAĞINTI HAT										
12	0,32	0,39	0,75	1,28	1,76	2,30	2,44	2,60	7,08	11,24
14	0,40	0,49	1,43	2,45	3,37	4,37	4,63	4,95	11,49	17,54
18	1,06	1,66	2,49	4,26	5,85	7,59	8,06	8,59	17,41	37,49
22	1,88	2,93	4,39	7,51	10,31	13,32	14,15	15,07	26,66	66,18
28	3,73	5,82	8,71	14,83	20,34	26,24	27,89	29,70	44,57	131,0
35	6,87	10,70	15,99	27,27	37,31	48,05	51,05	54,31	78,57	240,7
42	11,41	17,89	26,24	43,17	61,81	79,59	84,52	90,00	133,4	399,3
54	22,81	35,49	52,81	89,69	122,7	157,3	167,2	178,1	174,1	794,2
67	40,81	63,34	94,08	159,5	218,3	279,4	297,0	316,5	269,9	1415,0
79	67,34	98,17	146,9	247,7	337,9	431,3	458,5	488,7	416,5	2190,9
105	146,0	218,3	317,2	577,8	777,9	977,7	1026	1041,0	877,0	4607,0
GERÇEK HAT										
10	0,17	0,72	1,06	1,78	2,82	3,04	3,23	3,41	10,66	13,96
15	0,328	1,37	1,98	3,30	4,48	4,67	4,97	5,16	16,98	29,67
20	1,06	2,84	4,17	6,96	9,44	10,80	11,55	12,46	29,79	67,55
25	1,87	4,77	7,07	11,87	16,07	18,29	19,40	20,74	48,19	118,7
32	3,74	11,12	16,27	27,11	36,79	46,04	48,94	52,11	81,56	244,4
40	10,90	36,71	54,45	90,67	122,21	158,96	167,31	178,07	113,7	366,6
50	21,21	72,23	107,19	181,31	244,4	322,9	341,3	360,5	187,5	707,3
65	33,84	111,44	165,19	274,8	369,5	484,4	504,7	529,3	267,3	1127,3
80	59,88	190,95	282,8	460,8	620,5	813,6	847,1	881,9	412,7	1991,3
100	122,3	385,6	570,7	950,1	1300,6	1761,7	1869,7	1942,2	711,2	4083,2

Notlar:

1. Tablo kapasiteleri Kilowatt soğutma cinsinden verilmiştir.

‡p: Birim ünite eşdeğer boru hattı uzunluğu için basınç kaybı, Pa/m

‡t: Doyma sıcaklığındaki uygun değişim, K/m

2. Diğer ‡t doyma sıcaklıkları ve L_e eşdeğer uzunluk için hat kapasitesi

$$\text{Hat Kapasitesi} = \text{Tablo Kapasitesi} \times \frac{\text{Tablo } L_e}{\text{Gerçek } L} \times \frac{\text{Gerçek } \text{‡t}}{\text{Tablo } \text{‡t}}^{0,55}$$

3. Diğer kapasiteler ve L_e eşdeğer uzunluk için ‡t doyma sıcaklığı

$$\text{‡t} = \text{Tablo } \text{‡t} \times \frac{\text{Gerçek } L_e}{\text{Tablo } L} \times \frac{\text{Gerçek Kapasite}}{\text{Tablo Kapasitesi}}^{1,8}$$

4. Tablodaki değerler 40 °C yoğunlaşma sıcaklığına göre verilmiştir. Tablo kapasitelerini diğer yoğunlaşma sıcaklıklarında izleyen faktörlerle çarparak kullanın.

Yoğuşma Sıcaklığı, °C	Emme Hattı	Basma Hattı
20	1,18	0,80
30	1,10	0,88
40	1,00	1,00
50	0,91	1,11

- a: Verilen boyutlandırmanın toplayıcıda üretilen herhangi bir gazın kondens hattında yoğuşma suyu akışına engel olmadan yoğun turucuya dönmeyişinin zorunlu olduğu yerlerde kullanılması önerilir. Toplayıcının ortam sıcaklığının soğutucu akışkanın yoğuşma sıcaklığından daha yüksek olduğu su soğutmalı yoğuşturucular da bu sınıflandırmaya girerler.
- b: Hattaki basınç kaybı Δp emniyetli bir değerdir; aşırı soğutma önemiyse ya da hat kısaysa, daha küçük ölçülerdeki borular kullanılabilir. Çok düşük aşırı soğutmalı ya da çok uzun hat uygulamalarında daha büyük çapta borulara ihtiyaç duyulabilir.

39
2006

TESİSAT MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ, Sayı 9 6,

Tablo 5. Soğutucu akışkan 134a (R-134a) için kilowatt cinsinden emme, basma ve sıvı hattı kapasiteleri (tek ya da çok kademeli uygulamalar için) [1].

Hat İht. Nümerik Ölç. mm	Alınma Hattı (Δt = 0,04 K/m)					Doğulma Hattı (Δt = 0,02 K/m, Δp = 538 Pa/m)			Sıvı Hattı (Hız = 0,5 m/s, Δp = 538 Pa/m)	
	Doymuş Doyma Sıcaklığı, °C					Doymuş Alınma Sıcaklığı, °C			Hız ve Δp	
	-10	-5	0	5	10	-10	0	10	0,5 m/s	Δp = 538 Pa/m
	318	368	435	487	555					
L TEP BAKIR HAT										
12	0,62	0,76	0,92	1,11	1,39	1,69	1,77	1,84	6,51	8,59
15	1,18	1,45	1,76	2,12	2,51	3,28	3,37	3,51	10,69	14,39
18	2,06	2,52	3,00	3,69	4,42	5,61	5,85	6,09	16,00	21,40
22	3,64	4,45	5,40	6,50	7,77	9,87	10,30	10,79	24,50	33,19
28	7,19	8,80	10,70	12,80	15,30	19,50	20,30	21,10	41,00	55,50
35	13,20	16,10	19,50	23,50	28,10	35,60	37,20	38,70	64,90	87,00
42	21,90	26,80	32,40	39,00	46,50	59,00	61,60	64,10	95,20	126,00
54	43,60	53,20	64,80	77,20	92,20	117,00	122,00	127,00	160,00	210,00
67	77,70	94,60	115,00	138,00	164,00	208,00	217,00	226,00	288,00	389,00
79	120,00	147,00	177,00	213,00	258,00	321,00	333,00	349,00	446,00	597,00
105	257,00	313,00	379,00	454,00	541,00	686,00	715,00	744,00	918,00	1230,00
ÇELİK HAT										
10	0,87	1,06	1,27	1,57	1,90	2,28	2,38	2,47	8,81	11,70
15	1,62	1,96	2,36	2,81	3,34	4,22	4,40	4,58	15,60	21,00
20	2,41	2,93	3,57	4,25	5,07	6,38	6,66	6,94	23,40	31,50
25	3,24	3,98	4,87	5,80	6,88	8,67	9,05	9,43	31,20	41,70
32	5,10	6,20	7,50	8,90	10,50	13,20	13,80	14,40	47,40	63,60
40	8,10	9,80	11,90	14,20	16,80	21,00	21,80	22,60	76,20	102,00
50	13,20	16,10	19,50	23,50	28,10	35,60	37,20	38,70	126,00	168,00
65	21,90	26,80	32,40	39,00	46,50	59,00	61,60	64,10	210,00	282,00
80	43,60	53,20	64,80	77,20	92,20	117,00	122,00	127,00	410,00	546,00
100	87,20	106,40	129,60	154,40	184,40	234,00	244,00	254,00	820,00	1092,00

Notlar:

- Tablo kapasiteleri Kilowatt soğutma cinsinden verilmiştir.
 Δp : Birim ünite eşdeğer boru hattı uzunluğu için basınç kaybı, Pa/m
 Δt : Doyma sıcaklığındaki uygun değişim, K/m
- Diğer Δt doyma sıcaklıkları ve L_e eşdeğer uzunluk için hat kapasitesi

$$\text{Hat Kapasitesi} = \text{Tablo Kapasitesi} \left[\frac{\text{Tablo Gerçek } \Delta t}{\text{Gerçek } L_e \times \text{Tablo } \Delta t} \right]^{0,55}$$

- Diğer kapasiteler ve L_e eşdeğer uzunluk için Δt doyma sıcaklığı

$$\Delta t = \text{Tablo } \Delta t \left[\frac{\text{Gerçek } L_e \times \text{Gerçek Kapasite}}{\text{Tablo } L_e \times \text{Tablo Kapasitesi}} \right]^{1,8}$$

- Tablodaki değerler 40 °C yoğunlaşma sıcaklığına göre verilmiştir. Tablo kapasitelerini diğer yoğunlaşma sıcaklıklarında izleyen faktörlerle çarparak kullanın.

Yoğuşma Sıcaklığı, °C	Emme Hattı	Basma Hattı
20	1,18	0,80
30	1,10	0,88
40	1,00	1,00

- a. Verilen boyutlandırmanın toplayıcıda üretilen herhangi bir gazın kondens hattında yoğuşma suyu akışına engel olmadan yoğuş turucuya dönmemesinin zorunlu olduğu yerlerde kullanılması önerilir. Toplayıcının ortam sıcaklığının soğutucu akışkanın yoğuşma sıcaklığından daha yüksek olduğu su soğutmalı yoğuşturucular da bu sınıflandırmaya girerler.
- b. Hattaki basınç kaybı Δp emniyetli bir değerdir; aşırı soğutma önemliyse ya da hat kısaysa, daha küçük ölçülerdeki borular kullanılabilir. Çok düşük aşırı soğutmalı ya da çok uzun hat uygulamalarında daha büyük çapta borulara ihtiyaç duyulabilir.

Tablo 6. Soğutucu akışkan 502 (R-502) için kilowatt cinsinden emme, basma ve sıvı hattı kapasiteler (tek ya da çok kademeli uygulamalar için) [1].

Hat için nominal U.D. uzunluk	Emme Hattı (Ar - 0,04 K/cm)					Basma Hattı (Ar - 0,02 K/cm, A _{gr} - 465)			Sıvı Hattı	
	Yoğuşma Sıcaklığı, °C					Yoğuşma Sıcaklığı, °C			Net ve Brüt Basınç	
	-10	-20	-30	-40	-50	-40	-20	0	Ar - 0,02 K/cm	Ar - 0,02 K/cm
	230	320	431	535	599	-40	-20	0	0,5 m/s	A _{gr} - 779
LİFLERİN KAPASİTESİ										
12	0,36	0,47	0,63	1,01	1,53	1,70	1,91	2,14	4,48	7,59
15	0,51	0,80	1,21	2,10	2,92	3,25	3,64	4,08	7,27	14,13
18	0,88	1,39	2,10	3,64	5,05	5,62	6,30	7,07	11,02	24,60
22	1,56	2,45	3,70	6,40	8,89	9,88	11,07	12,47	18,87	43,54
28	3,09	4,85	7,31	13,62	19,47	21,48	23,77	26,43	38,59	85,70
35	5,67	8,89	13,41	23,08	32,00	35,54	39,81	44,67	64,62	157,4
42	9,41	14,77	22,77	38,75	52,90	58,77	65,84	73,88	107,45	261,1
51	14,77	22,34	34,09	57,78	79,7	87,2	95,0	106,0	150,2	358,3
62	23,16	35,31	53,11	91,5	125,7	138,0	150,8	166,0	230,8	522,9
74	34,84	53,03	77,4	138,0	187,7	206,7	226,5	248,0	348,7	789,9
87	51,1	75,2	110,3	193,4	261,4	287,5	315,0	351,8	482,2	1097,7
ÇİFTLİK HAT										
10	0,38	0,39	0,87	1,47	2,01	2,22	2,49	2,79	6,75	10,33
15	0,71	1,09	1,61	2,72	3,72	4,12	4,61	5,17	10,74	19,15
20	1,49	2,29	3,39	5,73	7,83	8,65	9,70	10,88	18,85	40,33
25	2,82	4,34	6,41	10,79	14,76	16,32	18,28	20,52	30,49	76,24
32	5,84	8,96	13,24	22,29	30,48	33,65	37,69	42,30	52,87	157,6
40	8,76	13,15	19,87	33,15	45,66	50,50	56,57	63,18	71,96	236,5
50	16,91	25,96	38,29	64,16	88,01	97,21	108,9	122,2	138,6	455,7
62	26,99	41,36	61,01	102,5	140,3	154,9	173,4	194,6	222,1	726,0
80	47,66	73,07	107,8	181,2	247,3	273,6	306,5	341,0	381,2	1282,7
100	77,55	118,9	179,8	289,4	394,7	436,6	491,6	552,8	621,0	2014,6

Notlar:

- Tablo kapasiteleri Kilowatt soğutma cinsinden verilmiştir.
 Δp : Birim ünite eşdeğer boru hattı uzunluğu için basınç kaybı, Pa/m
 Δt : Doyma sıcaklığındaki uygun değişim, K/m
- Diğer Δt doyma sıcaklıkları ve L_e eşdeğer uzunluk için hat kapasitesi

$$\text{Hat Kapasitesi} = \text{Tablo Kapasitesi} \left[\frac{\text{Tablo Gerçek } \Delta t}{\text{Gerçek } L_e} \times \frac{1}{\text{Tablo } \Delta t} \right]^{0,55}$$

- Diğer kapasiteler ve L_e eşdeğer uzunluk için Δt doyma sıcaklığı

$$\Delta t = \text{Tablo } \Delta t \left[\frac{\text{Gerçek } L_e}{\text{Tablo } L_e} \right] \left[\frac{\text{Gerçek Kapasite}}{\text{Tablo Kapasitesi}} \right]^{1,8}$$

- Tablodaki değerler 40 °C yoğunlaşma sıcaklığına göre verilmiştir. Tablo kapasitelerini diğer yoğunlaşma sıcaklıklarında izleyen faktörlerle çarparak kullanın.

Yoğuşma Sıcaklığı, °C	Emme Hattı	Basma Hattı
20	1,18	0,80
30	1,10	0,88
40	1,00	1,00
50	0,91	1,11

- a. Verilen boyutlandırmanın toplayıcıda üretilen herhangi bir gazın kondens hattında yoğuşma suyu akışına engel olmadan yoğuş turucuya dönmemesinin zorunlu olduğu yerlerde kullanılması önerilir. Toplayıcının ortam sıcaklığının soğutucu akışkanın yoğuşma sıcaklığından daha yüksek olduğu su soğutmalı yoğuşturucular da bu sınıflandırmaya girerler.
- b. Hattaki basınç kaybı Δp emniyetli bir değerdir; aşırı soğutma önemliyse ya da hat kısaysa, daha küçük ölçülerdeki borular kullanılabilir. Çok düşük aşırı soğutmalı ya da çok uzun hat uygulamalarında daha büyük çapta borulara ihtiyaç duyulabilir.

Tablo 7. Soğutucu akışkan 22 (R-22) için kilowatt cinsinden emme, basma ve sıvı hattı kapasite leri (orta ya da düşük kademeli uygulamalar için) [1].

L Dış Boru Hak İlim Normal OD, mm	Emme Hattları (Δt = 0,04 K/m)						Basma Hattları ^a	Sıvı Hattları
	Yoğunlaşma Sıcaklığı, °C							
	-70	-60	-50	-40	-30			
			Uygun Δp, Pa/m					
	81,0	51,4	33,5	111	22,8			
12	0,09	0,16	0,27	0,47	0,73	0,74		
15	0,17	0,33	0,57	0,90	1,39	1,43		
18	0,29	0,55	0,91	1,57	2,43	2,49		
22	0,57	0,97	1,67	2,78	4,90	4,41		
28	1,05	1,94	3,22	5,52	9,52	8,74		
35	1,94	3,60	5,95	10,17	17,68	16,08	Tablo 4'e bakınız.	
42	3,26	6,00	9,92	16,93	26,07	26,73		
51	6,54	12,03	19,83	33,73	51,98	53,23		
67	11,77	21,57	35,47	60,38	97,76	97,06		
79	18,22	33,54	55,20	93,72	143,69	174,22		
105	39,60	72,33	118,66	201,20	308,02	316,13		
130	70,87	179,17	271,01	458,57	646,66	661,89		
156	115,74	210,83	344,99	583,16	891,71	915,02		

Notlar:

1. Tablo kapasiteleri Kilowatt soğutma cinsinden verilmiştir.
^ap: Birim ünite eşdeğer boru hattı uzunluğu için basınç kaybı, Pa/m
^t: Doyma sıcaklığındaki uygun değişim, K/m
2. Diğer ^t doyma sıcaklıkları ve L_e eşdeğer uzunluk için hat kapasitesi

$$\text{Hat Kapasitesi} = \text{Tablo Kapasitesi} \left[\frac{\text{Tablo } L_e \times \text{Gerçek } \Delta t}{\text{Gerçek } L_e \times \text{Tablo } \Delta t} \right]^{0,55}$$

3. Diğer kapasiteler ve L_e eşdeğer uzunluk için ^t doyma sıcaklığı

$$\Delta t = \text{Tablo } \Delta t \left[\frac{\text{Gerçek } L_e \times \text{Gerçek Kapasite}}{\text{Tablo } L_e \times \text{Tablo Kapasitesi}} \right]^{1,8}$$

4. Tablodaki değerler 40 °C yoğunlaşma sıcaklığına göre verilmiştir. Tablo kapasitelerini diğer yoğunlaşma sıcaklıklarında izleyen faktörlerle çarparak kullanın.

Yoğuşma Sıcaklığı, °C	Emme Hattı	Basma Hattı
-30	1,08	0,74
-20	1,03	0,91
-10	0,98	1,09
0	0,91	1,29

5. ^t'ye karşı gelen basınç kaybı için soğutucu akışkan özellik tablolarına bakınız. (1997 ASHRAE El Kitabı Bölüm 19)

^a: Basınç kaybı hesaplamaları için ilgili bölümü inceleyiniz.

3.3.2 Emme Hatları

Tasarım ve imalat yönünden değerlendirildiğinde emme hatları sıvı ya da basma hatlarından daha önemlidir. Soğutucu akışkan hatları: (1) tam kapasitede minimum basınç kaybı oluşturacak (2) minimum yük şartlarında yağ buharlaştırıcıdan kompresöre dönüşecek ve (3) yağın çalışan bir buharlaştırıcıdan çalışmayan durumdaki diğer bir buharlaştırıcıya akmasını önleyecek şekilde boyutlandırılmalıdır. Em

me hattındaki basınç kaybı sistemin kapasitesini düşürür çünkü bu kayıp kompresörü, sargılarda arzu edilen buharlaşma sıcaklığını sağlamak için daha düşük emme basıncında çalışmaya zorlar. Emme hattı, normal olarak doyma sıcaklığında 1K'e eşdeğer değişimden daha büyük olmayacak şekilde sürdürmeden kaynaklanan bir basınç kaybına uygun şekilde boyutlandırılmıştır. Tablo 4'den Tablo 14'e kadar olan tablolarda emme hattının boyutlandırılması

ile ilgili bilgiler verilmiştir. 5 °C doymuş emme sıcaklığındaki eşdeğer basınç kaybı yaklaşık olarak;

Soğutucu Akışkan	Emme Kaybı, K	Basınç Kaybı, kPa
R-22	1	18,1
R-134a	1	12,2
R-502	1	19,7

5 °C'den daha düşük emme sıcaklıklarında, verilen sıcaklık için eşdeğer basınç kaybı azalır. Örneğin R-22 ile -40 °C'de emme yapıldığında, doyma sıcaklığındaki 1K'lik değişime karşılık basınç kaybı yaklaşık 4,9 kPa'dır. Bunun yanında düşük sıcaklık hatları çok düşük bir basınç kaybı için boyutlandırılmaktadır, ya da daha yüksek eşdeğer sıcaklık kayıpları ve bunun sonucunda sistemde bulunan cihazların kapasitelerindeki kayıp kabul edilmelidir. Çok düşük basınç kayıpları için, herhangi emme ya da sıcak gaz düşey yükselme hatları (hot-gas riser) yağın akışını düzgün bir şekilde temin edebilecek şekilde boyutlandırılır, böylece yağ karışımı kompresöre geri döner.

Kısmi yüklerde yağ düşey hatlarda sürükleyecek yeterli gaz hızlarını sağlamak için boru çapının düşürülmesi gerektiği durumlarda, tam kapasitede daha büyük basınç kayıpları meydana gelmektedir. Bu durum yatay ve aşağı doğru hatların ve elemanlarının daha büyük seçilmesiyle çözülebilir.

3.3.3 Basma Hatları

Sıcak gaz hatlarındaki basınç kayıpları birim soğutma için ihtiyaç duyulan kompresör gücünü artırır ve kompresör kapasitesini düşürür. Tablo 3, 5 °C doymuş buharlaştırıcı sıcaklığı ile 40 °C doymuş yoğunlaşma sıcaklığında R-22 ile çalışan bir sistem için soğutucu akışkan basınç kaybının yaklaşık etkisini göstermektedir. Düşük sürtünme kayıpları için basınç kaybı, hattın boyutunun artırılması ile minimum seviyede tutulur, fakat bu durumda da yağ tüm yüklemelerinde sürükleyecek ve taşıyacak soğutucu akışkan hattı hızları sağlanmaktadır. Basınç kaybı doyma sıcaklığında 1 K'e eşdeğer bir değişimi aşmayacak şekilde tasarlanmıştır. Tavsiye edilen boyutlandırma tabloları doyma sıcaklığında 0,02 K/m değişime göre hazırlanmıştır.

3.4 Boruların Düzenlenmesi ve Yerleşimi

Soğutucu akışkan hatları soğutucu akışkan ihtiyacı ve basınç kayıplarını en aza indirecek şekilde direkt ve kısa olmalıdır. Boru tesisatı dirsek ve diğer bağlantı elemanlarını mümkün olduğunca az kullanarak planlanmalıdır, fakat kompresör titreşiminin ve ısıl genişleme ve daralmanın neden olduğu gerilmeleri ortadan kaldıracak yeterli esnekliği sağlamalıdır.

Soğutucu akışkanının boru tesisatı öyle ayarlanmalıdır ki kompresörün ve diğer ekipmanların denetimini ve servisini engellememelidir. Yağ seviyesi ölçüm camının önü kapatılmamalıdır. Ayrıca, boru tesisatı kompresör piston kapağı veya herhangi bir iç parçanın sökülmesini engellemeyecek şekilde yapılmalıdır. Emme hattından kompresöre giden hat, kompresörün servis için yerinden alınmasına engel olmayacak şekilde ayarlanmalıdır.

Boru ve komşu duvarlar ve taşıyıcılar arasında yalıtım uygulaması için borular arasında ya da yalıtım uygulaması için borular arasında uygun boşluklar bırakılmalıdır. Zeminden, duvarlardan ya da tavan dan yapılacak hem borulama hem de yalıtım uygulamalarına imkan veren geçiş boruları (sleeves) kullanılmalıdır. Bu elemanlar tuğla işinin yapılmasından ya da beton dökülmesinden önce yerleştirilmelidir. Boru tesisatı baş yüksekliğinde geçiş ya da penceleler ve kapılara engel olmayacak şekilde uygulanmalıdır.

3.5 Boru Tesisatının Hasara Karşı Korunması

Özellikle dayanım konusunda yanlış bir kuvvet uygulamasına sahip küçük hatlarda oluşabilecek hasara karşı koruma önemlidir. Trafiğin yoğun olduğu yerlerde dikkatsizce kullanılan el arabaları, sarkık yükler, merdivenler ve istifleme araçlarından gelebilecek darbelerle karşı korunma sağlanmalıdır.

3.6 Boru Tesisatının Yalıtılması

Bütün boru bağlantılarına ve bağlantı elemanlarına, yalıtım işlemini gerçekleştirmeden önce sızdırmazlık testi uygulanmalıdır. Emme hatları, terleme ve ısı kazancından korumak için yalıtılmalıdır. Nemin yoğunlaşabileceği yalıtılmış ya da dış ortama maruz hatlar, yalıtım içinde nemin do-

Tablo 8. Isı yalıtım çeşitleri ve özellikleri [8].

Malzemeler	Kullanma Yeri	Sıcaklık Aralığı	Isı İletkenlik Katsayısı (A) TS 825
1 Cam Yünü	Isıtma tesislerinde boru ve kanalların ısı - ve ses yalıtımı amacıyla kullanılır.	(20 °C) - (+250 °C)	20 °C'de 0.039 w/m ² k
2 Taş Yünü	Sanayi tesislerinde yüksek sıcaklıklardaki kazan, kanal ve boru tesisatlarında, ısı ve yangın yalıtımlarında kullanılır.	Ortalama (+750 °C'e kadar)	50 °C'de 0.038 w/m ² k
3 Extrude Polistrenyalıtımları, soğuk su boru yalıtımı ve hava kanal yalıtımında kullanılır.	Yürünen ve yürünmeyen çatılar, iç ve dış duvar (-50 °C) - (+75 °C)	(-50 °C) - (+75 °C)	10 °C'de 0.026 w/m ² k 24 °C'de 0.029 w/m ² k
4 Polietilen Köpük	Merkezi ısıtma, soğutma ve havalandırma (- sistemlerinin yalıtımında kullanılır.	80 °C) - (+95 °C)	10 °C'de 0.033 w/m ² k 40 °C'de 0.040 w/m ² k
5 Elastomerik	Merkezi ısıtma, soğutma ve havalandırma (-45 °C) - (+116 °C)	(-45 °C) - (+116 °C)	10 °C'de 0.037 w/m ² k 40 °C'de 0.040 w/m ² k
6 Elastometrik Poliolefin sistemleri ile heat pump sistemlerin yalıtımında kullanılır.	Merkezi ısıtma, soğutma ve havalandırma (sistemleri ile heat pump sistemlerin yalıtımında kullanılır.	-80 °C) - (+95 °C)	10 °C'de 0.033 w/m ² k 40 °C'de 0.038 w/m ² k
7 Poliüretan Köpük	Soğutma depoları, depolama tankları, geniş konteyner ve boru hatlarında iki cidar arası başlangıç doldurulmalarıyla yapılan yalıtımlarda.	(-100 °C) - (+90 °C)	20 °C'de 0.022 w/m ² k

Not: Diğer uygun yalıtım malzemeleri kullanıldığında eşdeğer direnç oluşturacak kalınlıklarda uygulanmalıdır.

laşması ya da yoğuşmasına engel olacak şekilde buhar geçirimini önleyecek biçimde tecrit edilmelidir. Ticari olarak ulaşılabilecek birçok model bu amaca uygun su geçirmeyen ceketlerle beraber üretilmektedir.

Sıvı hattı normal olarak yalıtım ihtiyacı duymasa da, emme ve sıvı hatlarının beraber bir şekilde kenetlendiği durumlarda tek bir üniteye yalıtım uygulanıyormuş gibi yalıtım yapılabilir. Daha yüksek sıcaklığa sahip bir ortamdan geçiyorken, sıvı hattı ısı kazancını en aza indirecek şekilde yalıtılmalıdır.

Sıcak gaz basma hatları genelde yalıtılmazlar, bununla beraber ısı kaybına engel olunması ya da yüksek sıcaklığa sahip yüzeylerden gelebilecek hasarlara karşı önlem olması amacıyla yalıtım uygulanabilir. Daha sonraki aşamalarda, sıkı bir buhar yalıtım uygulaması gerekli değildir, çünkü boru hattı dış ortamda bulunmadığı sürece nemin yoğuşması bir problem

Tablo 9. Soğuk borular için yalıtım kalınlıkları [7].

Soğuk Borular İçin Yalıtım Kalınlıkları			
Sıcaklık (°C)	Boru dış çapı	Yalıtım Kalınlığı	Yalıtım Malzemesi (veya eşdeğeri)
10/24	5" kadar	3/4" (19 mm)	Cam yünü keçe
10/24	6"den büyük	1" (25 mm)	Cam yünü keçe
0/10	3"e kadar	3/4" (19 mm)	Cam yünü, keçe
0/10	4"den büyük	2 kat 3/4" veya 1 kat 2"	Cam yünü, keçe veya 1-1/2" mantar
-18/-4	1"n kadar	2" (51 mm)	Mantar veya 2-1/2" cam yünü keçe
-18/-4	1-1/4-3" arası	2-1/2" (64 mm)	" " 3 " "
-18/-4	3"den büyük	3" (76 mm)	" " 4 " "
-32/-18	1/2-3" arası	3" (76 mm)	Mantar
-32/-18	3-1/2-4" arası	3-1/2" (90 mm)	Mantar
-32/-18	4"den büyük	4" (102 mm)	Mantar

lem oluşturmamaktadır.

Sıcak gaz defrost hatları, ısı kaybını ve boru hattı içindeki gazın yoğuşmasını en aza indirmek için alışılmış bir şekilde yalıtılmaktadır [1].

Tablo 8'de yalıtım malzemeleri ve kullanma sıcaklıkları ile ilgili bilgiler verilmiştir [8].

Tablo 9'da, düşük sıcaklıkta soğutucu akışkan taşıyan borulara uygulanması önerilen yalıtım kalınlıkları

verilmektedir [7].

3.7 Boru Tesisatındaki Titreşim ve Gürültü

Soğutucu akışkan tesisatında ortaya çıkan ve iletilen titreşimin ortaya çıkardığı gürültü, boru tesisatında

memelidir ve sadece taşıyıcılarla desteklenmelidir (oluşan titreşimin binaya iletilmesinin önüne geçmek amacıyla kullanılır); bu sayede duvarların ya da taşıyıcıların ses yalıtım dirençleriyle de sesin iletilmesini

titreşimin ortaya çıkardığı gürültü, boru tasarımı ve destekleri ile en aza indirilebilir ya da tamamen ortadan kaldırılabilir.

Soğutucu akışkan tesisatındaki titreşimin arzu edilmeyen iki etkisi (1) boruya fiziksel hasar vermesidir, bu noktada sert lehimlenmiş bağlantı kırılır ve böylece yük kaybı gerçekleşir ve (2) boru hattı boyunca gürültünün boru boyunca iletilmesi ve boru tesisatı ile yapı arasında doğrudan fiziksel temasın oluşmasına neden olabilir.

Soğutma uygulamalarında, borularda meydana gelen titreşim, soğutucu akışkan boru hattının oynamaz bir bağlantıyla pistonlu kompresöre bağlanmasından kaynaklanmaktadır. Titreşimin etkileri kompresöre ve yoğunlaşma ünitesine bağlı tüm hatlarda açık bir şekilde görülmektedir. Bununla beraber borulardaki titreşimi ortadan kaldırmak mümkün değildir, sadece etkileri azaltılabilir.

Bazen esnek (Flexible) metal boru daha küçük çapta olan boru hatlarındaki titreşimin iletimini engellemek için kullanılabilir. En yüksek verimlilik için, krank miline paralel bir uygulama yapılmalıdır. Bazı durumlarda kompresördeki yatay ve düşey hatlar için birer tane olmak üzere iki titreşim yalıtıcıya (izolatör) ihtiyaç duyulabilir. Kompresörden uzakta esnek metal borunun sonunda, borunun sistemdeki sıcak gaz hattından korunması için oynamaz bir desteğe ihtiyaç duyulur.

Esnek metal boru daha büyük çaptaki borulardaki titreşimi emecek kadar etkili değildir, çünkü uzunluğun çapa oranı çok büyük olmadıkça esnek değildir. Pratikte, uzunluk sıkça sınırlıdır, böylece esneklik daha büyük ölçülerde azalır. Bu problem esnek boruların ve yalıtım askılarının, boruların yapı içinde güvence altına alındığı durumlarda kullanılmasıyla en iyi şekilde çözümlenir.

Boru tesisatı duvarlardan, kat aralarından ya da iç bölmelerden geçerken yapının hiçbir yerine temas et

memelerden geçerken yapının hiçbir yerine temas etmemelerini sağlamak için duvarlara, kat aralarına ve iç bölmelere temas etmemeleri için yalıtım askıları kullanılmalıdır. Ayrıca, boruların ses yapan ağızları ya da panolar oyma olasılığı ortadan kaldırılmış olur. Boru tesisatı yapıldığında uygulama sonunda ulaşılmaması zor olan yerlerde tesisat, yalıtımlı askılar ile desteklenmelidir.

Boru tesisatındaki titreşim ve gürültü kompresörün çalışması sırasında oluşan gaz titreşiminden ya da yüksek hızlarda artış gösteren gaz içindeki türbülans meydana gelebilir. Bu durum genellikle basma hattında, sistemin diğer bileşenlerine göre daha çok görülür.

Kompresör tarafından oluşan gaz titreşimlerinin sonucu olan gürültü ve titreşim, kompresörün her devrinde gaz basma sayısının oluşturduğu bir fonksiyonun karakteristik frekansına sahiptir. Bu frekans, bazı kompresörlerde iki piston beraber çalıştığında, mutlak silindir sayılarına eşit olmak zorunda değildir. Ayrıca V tipi kompresörlerde olduğu gibi silindirlerin açılma yerleşiminden dolayı da değişebilir. Gaz titreşimleri sonucu ortaya çıkan gürültü sadece boru sistemi, titreşimi rezonansla arttırdığı zaman bir engel haline gelir. Tek kompresörlü sistemlerde, rezonans, rezonansı oluşturan hattın çapı ya da uzunluğu değiştirilerek ya da kompresör basma valfinin hemen arkasına uygun boyutlarda bir sıcak gaz egzozu monte edilmesiyle azaltılabilir. Paralel olarak tasarlanmış kompresör sistemlerinde, farklı hızlarda çalışan çok sayıda kompresörden harmonik bir frekans ortaya çıkabilir. Bu gürültü bazen susturucuların takılmasıyla düşürülebilir.

Türbülans nedeniyle gürültü oluştuğunda ve hattı yalıtılmak verimli olmadığında, daha büyük çaptaki bir borunun gaz hızını düşürmek için kullanılması bazen yardımcı olabilir. Ayrıca hattı daha ağır cidarlı bir boru ile değiştirmek ya da bakır yerine çelik kullanılması da hatta doğal bir frekans elde edilmesi için faydalı olabilir.

3.8 Soğutucu Akışkan Hattı Kapasite Tabloları

Tablo 4, 5, 6 ve 7, R-22, R-134a ve R-502 için belli ba

sınç kayıplarındaki kapasiteleri göstermektedir. Tablolarda verilen kapasiteler her eşdeğer metre boru uzunluğu için basma ve sıvı hatlarında doyma sıcaklığında (°C) 0,02 K'lik bir değişime karşılık gelen sürtünme kaybını oluşturan soğutucu akışkan akışına bağlı verilmiştir. Emme hatları 0,04 K'lik değişime göre tasarlanmıştır. Tablo 10, 11 ve 12 doyma emme

hattı için kızdırma R-134a ile R-502 için 45 K ve R-22 için 60 K'dir.

Kapasiteyi belirlemek için soğutucu akışkan çevrimi buharlaştırıcıyı terk eden doymuş soğutucu buharına dayanarak yapılmıştır. Hesaplamalarda yağın varlığı ihmal edilir ve akım kesintisiz (nonpulsating)

sıcaklığında 0,02 ve 0,01 K/m'lik değişim gösteren emme hattı kapasitelerini göstermektedir. Basınç kayıpları K cinsinden verilmiştir çünkü bu tip hat boyutlandırma yöntemi tüm sanayi için uygundur ve kabul edilmiştir. Karşılık gelen basınç kayıpları ayrıca gösterilmiştir.

kabul edilir.

Boru hattının boyutlandırılması için ilave tablolar ve tartışmalar için kaynaklar [1]'de verilmiştir.

3.9. Valfler ve Bağlantı Elemanları İçin Eşdeğer Uzunluklar

Soğutucu akışkan hattı boyutlandırması için kapasite tabloları Darcy-Weisbach ilişkisine göre hazırlanmıştır ve sürtünme faktörleri Colebrook fonksiyonuna (Colebrook 1938, 1939) göre hesaplanmıştır. Borulardaki pürüzlülük büyüklüğü bakır için 1,5 mm ve çelik boru için de 46 mm'dir. 101,325 kPa dışındaki basınçlar için viskozite ekstrapolasyonları ve uyarlamaları korelasyon tekniklerine dayanmaktadır [1]. Basma

Soğutucu akışkan hattı kapasite tabloları düz boruda her birim metredeki basınç kaybına, ya da düz boru, bağlantı elemanları ve valflerin birleşiminin eşdeğer boru uzunluklarına bağlıdır. Genelde vanalar ve bağlantı elemanlarındaki basınç kaybı, aynı çaptaki düz boruda aynı sürtünme kaybıyla elde edilen eşdeğer uzunluğa denk alınarak tespit

Tablo 10. 0,02 ve 0,01 K/m'ye karşılık basınç kayıplarında soğutucu akışkan 22 (R-22) için kilowatt cinsinde emme hattı kapasiteleri (tek ya da çok kademeli uygulamalar için) [1].

Hattın İçin Nominal OB, mm	Doymuş Emme Sıcaklığı, °C									
	-10		-5		0		5		10	
	$\Delta p = 0,02$ $\Delta p = 97,9$	$\Delta p = 0,01$ $\Delta p = 49,0$	$\Delta p = 0,02$ $\Delta p = 139$	$\Delta p = 0,01$ $\Delta p = 69,5$	$\Delta p = 0,02$ $\Delta p = 189$	$\Delta p = 0,01$ $\Delta p = 94,6$	$\Delta p = 0,02$ $\Delta p = 296$	$\Delta p = 0,01$ $\Delta p = 143$	$\Delta p = 0,02$ $\Delta p = 366$	$\Delta p = 0,01$ $\Delta p = 183$
I. TEP BAKIR HAT										
12	0,71	0,14	0,84	0,24	0,51	0,34	0,87	0,59	1,00	0,87
15	0,41	0,28	0,65	0,44	0,97	0,66	1,67	1,14	2,90	1,56
18	0,72	0,19	1,13	0,76	1,70	1,15	2,91	1,98	4,00	2,73
22	1,78	0,86	2,80	1,16	3,00	2,04	5,14	3,50	7,07	4,87
28	2,34	1,72	3,97	2,70	5,93	4,06	10,16	6,95	13,98	9,36
35	4,60	3,19	7,32	4,99	10,96	7,48	18,89	12,80	25,66	17,59
42	7,80	5,37	12,19	8,13	18,70	12,46	31,07	21,77	42,99	29,71
51	15,63	10,66	24,31	16,65	36,26	24,88	61,79	42,13	81,60	58,23
67	27,94	19,11	43,48	29,76	64,73	44,68	110,05	75,68	150,80	103,60
79	40,41	28,44	67,47	46,26	100,31	69,04	170,64	117,19	233,26	161,10
103	93,43	63,99	144,76	99,17	213,31	148,38	363,03	251,92	499,16	344,89
II. ÇELİK HAT										
10	0,33	0,23	0,50	0,35	0,74	0,53	1,25	0,87	1,69	1,18
13	0,61	0,42	0,91	0,65	1,38	0,96	2,31	1,62	3,15	2,20
16	1,01	0,70	1,58	1,18	2,97	2,04	4,87	3,47	6,64	4,63
20	1,46	1,03	2,26	1,62	4,22	2,95	9,22	6,47	12,52	8,79
25	2,46	1,71	3,76	2,62	5,52	3,86	12,06	8,47	16,88	11,90
32	3,11	2,26	4,79	3,43	7,12	5,01	16,06	11,38	22,88	16,20
40	4,68	3,36	7,10	5,19	10,16	7,17	23,60	16,10	33,80	24,35
50	8,45	6,03	12,65	9,06	18,17	12,77	42,38	30,83	61,92	44,77
63	13,74	9,81	20,15	14,50	28,84	20,13	67,91	49,19	103,37	74,05
80	24,07	17,43	36,95	26,84	53,51	37,68	125,67	90,54	171,55	124,77
100	38,84	27,66	60,37	43,69	89,95	63,08	207,37	149,47	300,77	216,17
125	61,21	43,97	95,58	69,78	141,66	102,07	342,30	247,23	478,67	347,16
150	91,47	65,49	141,78	102,72	214,75	153,95	515,77	367,73	705,99	513,79
200	175,37	126,01	281,63	200,49	441,07	313,41	1095,86	786,79	1572,99	1139,97
250	313,07	222,12	493,33	356,65	763,66	544,75	1829,24	1317,51	2646,48	1920,63
300	454,15	323,17	704,34	501,87	1078,19	778,30	2677,14	1937,63	3813,70	2748,70

ρ: Birim ünite eşdeğer boru hattı uzunluğu için basınç kaybı, Pa/m

τ: Doyma sıcaklığındaki uygun değişim, K/m

Tablo 11. 0,02 ve 0,01 K/m'ye karşılık basınç kayıplarında soğutucu akışkan 134a (R-134a) için kilowatt cinsinden emme hattı kapasiteleri (tek ya da çok kademeli uygulamalar için) [1].

Hattın İçin Nominal OB, mm	Doymuş Emme Sıcaklığı, °C									
	-10		-5		0		5		10	
	$\Delta p = 0,02$ $\Delta p = 158$	$\Delta p = 0,01$ $\Delta p = 79,3$	$\Delta p = 0,02$ $\Delta p = 195$	$\Delta p = 0,01$ $\Delta p = 97,4$	$\Delta p = 0,02$ $\Delta p = 212$	$\Delta p = 0,01$ $\Delta p = 106$	$\Delta p = 0,02$ $\Delta p = 243$	$\Delta p = 0,01$ $\Delta p = 121$	$\Delta p = 0,02$ $\Delta p = 278$	$\Delta p = 0,01$ $\Delta p = 138$
I. TEP BAKIR HAT										
12	0,42	0,28	0,52	0,35	0,63	0,43	0,76	0,51	0,91	0,62
15	0,81	0,55	0,99	0,67	1,20	0,82	1,43	0,98	1,74	1,19
18	1,40	0,96	1,73	1,18	2,09	1,43	2,53	1,72	3,05	2,07
22	2,48	1,69	3,03	2,03	3,69	2,52	4,46	3,04	5,34	3,66
28	4,91	3,36	6,03	4,13	7,31	5,01	8,81	6,02	10,60	7,24
35	9,05	6,18	11,10	7,60	13,10	9,21	16,30	11,10	19,10	13,30
42	13,00	8,90	16,40	11,60	22,30	15,90	26,90	18,40	32,10	22,10
51	21,00	14,50	27,50	19,00	37,10	26,50	48,10	33,50	55,10	38,10

31	30.00	29.00	28.00	27.00	26.00	25.00	24.00	23.00	22.00	21.00
67	53.90	26.70	65.90	44.00	72.00	54.90	95.00	65.90	113.00	78.30
79	82.80	56.90	101.00	69.70	122.00	81.90	147.00	101.00	176.00	122.00
105	178.00	122.00	217.00	149.00	262.00	181.00	315.00	217.00	375.00	260.00
ÇELİK HAT										
10	0.61	0.42	0.74	0.52	0.89	0.62	1.06	0.74	1.27	0.89
15	1.13	0.79	1.38	0.96	1.65	1.16	1.97	1.38	2.35	1.65
20	2.39	1.67	2.91	2.03	3.49	2.41	4.17	2.92	4.94	3.47
25	4.53	3.17	5.49	3.85	6.59	4.62	7.86	5.52	9.33	6.56
32	9.27	6.57	11.40	7.97	13.60	9.57	16.39	11.40	19.30	13.60
40	14.10	9.86	17.10	12.00	20.50	14.00	24.00	17.10	28.90	20.40
50	27.20	19.10	32.90	23.10	39.50	27.70	47.00	33.10	55.80	39.40
65	43.90	30.40	51.90	36.90	62.90	44.90	79.00	52.70	88.80	62.70
80	76.60	53.80	92.80	65.30	111.00	78.30	133.00	93.10	157.00	111.00
100	156.00	110.00	189.00	133.00	227.00	160.00	270.00	190.00	320.00	226.00

φ: Birim ünite eşdeğer boru hattı uzunluğu için basınç kaybı, Pa/m
 t: Doyma sıcaklığındaki uygun değişim, K/m

Tablo 12. 0,02 ve 0,01 K/m'ye karşılık basınç kayıplarında soğutucu akışkan 502 (R-502) için kilowatt cinsinden emme hattı kapasiteleri (tek ya da çok kademeli uygulamalar için) [1].

Nominal Boru Boyutu (mm)	Beyazıg Hızında Sıcaklığı, °C									
	-40		-30		-20		-5		5	
	Δt = 0,02	Δt = 0,01	Δt = 0,02	Δt = 0,01	Δt = 0,02	Δt = 0,01	Δt = 0,02	Δt = 0,01	Δt = 0,02	Δt = 0,01
	Δp = 115	Δp = 57,5	Δp = 160	Δp = 80	Δp = 215	Δp = 107	Δp = 317	Δp = 159	Δp = 399	Δp = 200
L. TİP BAĞLANTI HAT										
12	0.18	0.12	0.28	0.17	0.43	0.29	0.75	0.51	1.05	0.72
15	0.14	0.11	0.24	0.15	0.33	0.22	0.44	0.30	0.60	0.42
18	0.60	0.41	0.95	0.65	1.44	0.98	2.50	1.71	3.48	2.38
22	1.06	0.72	1.67	1.14	2.58	1.73	4.40	3.01	6.11	4.20
28	2.11	1.44	3.32	2.24	5.02	3.44	8.68	5.87	12.06	8.29
35	3.38	2.43	6.11	4.17	9.21	6.32	15.92	10.93	22.08	15.22
43	6.46	4.47	10.16	6.95	15.11	10.31	26.19	18.11	36.58	25.75
54	12.90	8.83	20.20	13.86	30.41	20.90	52.36	36.11	72.55	50.15
67	24.00	16.78	36.00	24.78	54.10	37.30	91.16	64.96	128.06	89.18
79	35.69	24.53	55.79	38.40	81.93	57.99	144.18	99.69	199.33	137.96
105	76.67	52.61	119.66	82.18	179.67	123.91	308.04	213.03	425.16	295.15

Nominal Boru Boyutu (mm)	ÇELİK HAT									
	-40		-30		-20		-5		5	
	Δt = 0,02	Δt = 0,01	Δt = 0,02	Δt = 0,01	Δt = 0,02	Δt = 0,01	Δt = 0,02	Δt = 0,01	Δt = 0,02	Δt = 0,01
	Δp = 115	Δp = 57,5	Δp = 160	Δp = 80	Δp = 215	Δp = 107	Δp = 317	Δp = 159	Δp = 399	Δp = 200
ÇELİK HAT										
10	0.27	0.18	0.41	0.29	0.61	0.43	1.03	0.72	1.41	0.99
15	0.19	0.13	0.28	0.20	0.43	0.29	0.91	0.66	1.24	0.88
20	1.04	0.73	1.61	1.13	2.38	1.67	4.03	2.83	5.52	3.88
25	1.98	1.38	3.04	2.13	4.51	3.16	7.61	5.34	10.40	7.32
32	4.09	2.87	6.29	4.42	9.31	6.53	15.70	11.04	21.68	15.13
40	6.15	4.31	9.45	6.64	14.01	9.87	25.16	16.79	32.71	22.70
50	11.88	8.34	18.24	12.82	26.96	18.99	45.40	31.97	62.10	43.83
65	28.96	20.06	42.96	30.21	62.96	44.96	102.31	70.91	138.98	96.69
80	53.55	37.44	76.04	53.53	107.82	75.53	187.82	133.19	244.90	172.40
100	109.50	78.10	154.93	109.83	308.04	213.03	425.16	295.15	572.33	401.27
125	179.67	123.91	247.34	179.67	494.34	346.04	728.34	513.03	957.33	672.33
150	279.67	199.67	423.91	279.67	728.34	513.03	1144.34	813.03	1444.34	1013.03
200	494.34	346.04	728.34	494.34	1444.34	1013.03	2444.34	1728.34	3444.34	2444.34
250	728.34	513.03	1013.03	728.34	2444.34	1728.34	4444.34	3133.03	6133.03	4444.34
300	1013.03	728.34	1444.34	1013.03	3444.34	2444.34	6133.03	4444.34	8133.03	6133.03

φ: Birim ünite eşdeğer boru hattı uzunluğu için basınç kaybı, Pa/m
 t: Doyma sıcaklığındaki uygun değişim, K/m

Tablo 13. Boru eşdeğer uzunluğu olarak bağlantı elemanları kayıpları (metre) Vidalı, kaynaklı, flanşlı, havşalı (konik) ve lehimli bağlantılar [1] [2].

Nominal Boru Boyutu (mm)	Düğün Kırık Düzlekler						Düğün Kırık "T"ler			
	90°		45°		180°		Kol "T"si İçten Akışlı	Hat "T"si - Düz Akış		
	Standart ^a	Yarıçaplı ^b	İç-Dış ^a	Standart ^a	İç-Dış ^a	Standart ^a		Küçültme (Küçültme) 1/4	1/2	Küçültme
10	0.4	0.3	0.7	0.2	0.3	0.7	0.6	0.3	0.4	0.4
15	0.5	0.3	0.8	0.2	0.4	0.8	0.9	0.3	0.4	0.5
20	0.6	0.4	1.0	0.3	0.5	1.0	1.2	0.4	0.6	0.6
25	0.8	0.5	1.2	0.4	0.6	1.2	1.5	0.5	0.7	0.8
32	1.0	0.7	1.7	0.5	0.9	1.7	2.1	0.7	0.9	1.0
40	1.2	0.8	1.9	0.6	1.0	1.9	2.4	0.8	1.1	1.2
50	1.5	1.0	2.5	0.8	1.4	2.5	3.0	1.0	1.4	1.5
65	1.8	1.2	3.0	1.0	1.8	3.0	3.7	1.2	1.7	1.8
80	2.3	1.5	3.7	1.2	2.0	3.7	4.6	1.5	2.1	2.3
100	2.7	1.8	4.6	1.4	2.2	4.6	5.5	1.8	2.4	2.7
150	3.0	2.0	5.2	1.6	2.6	5.2	6.4	2.0	2.7	3.0

175	4.0	7.5	6.4	2.0	3.4	6.4	7.6	7.5	3.7	4.0
190	1.9	3.0	7.0	2.0	8.0	7.0	8	3.0	1.8	1.9
200	6.1	4.0	—	2.0	—	10	12	4.0	3.5	6.1
250	7.6	4.9	—	4.0	—	13	15	4.9	7.0	7.6
300	9.1	3.8	—	7.9	—	13	18	3.8	7.9	9.1
350	10	7.0	—	2.3	—	17	21	7.0	9.1	10
400	12	7.9	—	6.1	—	19	24	7.9	11	12
450	13	8.8	—	7.0	—	21	26	8.8	12	13
500	15	10	—	7.9	—	25	30	10	13	15
600	18	12	—	9.1	—	29	35	12	15	18

a: R/D yaklaşık 1'e eşittir. b: R/D yaklaşık 1.5'e eşittir.

Tablo 13. Devam [2]

Nominal Boru Boyutu (mm)	Köşe Dirsekleri			
	90°	60°	45°	30°
10	0,8	0,5	0,15	0,1
15	0,9	0,4	0,2	0,12
20	1,2	0,5	0,25	0,15
25	1,5	0,6	0,3	0,2
32	2,1	0,9	0,6	0,3
40	2,4	1,0	0,8	0,35
50	3,0	1,4	0,7	0,4
65	3,7	1,6	0,9	0,5
80	4,6	1,9	1,0	0,6
90	5,5	2,2	1,2	0,7
100	6,4	2,6	1,4	0,8
125	7,6	3,3	1,8	1,0
150	9,1	3,9	2,1	1,2
200	12,2	5,2	2,7	1,6
250	13,2	6,4	3,6	2,2
300	18,3	7,6	4,0	2,4
350	20,8	8,8	4,6	2,7
400	23,0	9,5	5,2	3,0
450	25,9	11,3	5,8	3,4
500	30,5	12,5	6,7	4,0
600	35,0	14,9	7,6	4,9

edilir. Hat boyutlandırmasına ait bu durumda doğrudan kullanılabilir. Tablo 13, 14 ve 15 nominal boru çapına bağlı olarak farklı bağlantı elemanları ve valfler için düz boruya ait eşdeğer uzunluğu vermektedir.

Aşağıdaki örnek soğutucu akışkan hattı boyutlandır

TESİSAT MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ , Sayı 96, 2006

ması için farklı tablo ve diyagramların kullanılmasını göstermektedir.

Örnek 3.2: 5 °C'de emme, 40 °C'de yoğunlaşma gerçekleşen 105 kW'lık R-22 ile çalışan sistemin emme hattının boru çapını ve basınç kaybını bulunuz. Emme hattında bakır boru kullanılmış olup 15 m düz kısım ve 6 adet geniş dirsek kullanılmıştır.

Çözüm: Eşdeğer uzunluk denemesi için düz hatta %50 ilave edilir. Deneme eşdeğer uzunluğu 15 x 1,5 = 22,5 m bulunur. Tablo 4'den (5 °C'de emme, 40°C'de yoğunlaşma için) 122,7 kW kapasitede 54 mm dış çapında her eşdeğer metre uzunlukta 0,04 K kaybın oluştuğu bulunur.

Düz hat uzunluğu: 15 m
6 adet 50 mm'lik dirsekten her biri için 1 m (Tablo 13): 6 m
Toplam eşdeğer uzunluk: 21 m

$$\Delta t = (0,04)(21) \left(\frac{105}{122,7} \right)^{1,8} = 0,63 \text{ K}$$

0.63 K tavsiye edilen 1 K'den düşüktür fakat daha küçük boyuttaki (42 mm) boru için tekrar hesap yapılırsa $\Delta t = 4.05 \text{ K}$ bulunur fakat bu sıcaklık çok büyüktür, bu neden

Tablo 14. Boru eşdeğer uzunluğu olarak özel bağlantı elemanları kayıpları (metre) [1] [2].

Nominal Boru Rayuru (mm)	Ani Dönüşüm, d/D			Ani Daralma, d/D			Keshin Keşir		Boru Çıkması	
	1/4	1/2	3/4	1/4	1/2	3/4	Giriz	Çıkaz	Çıkış	Çıkış
10	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.5	0.3	0.3	0.3
15	0.2	0.3	0.1	0.3	0.3	0.2	0.5	0.3	0.5	0.5
20	0.3	0.3	0.2	0.4	0.3	0.2	0.9	0.4	0.9	0.7
25	1.0	0.6	0.2	0.5	0.4	0.2	1.1	0.5	1.1	0.8
32	1.4	0.9	0.3	0.7	0.5	0.3	1.6	0.8	1.6	1.3
40	1.8	1.1	0.4	0.9	0.7	0.4	2.0	1.0	2.0	1.5
50	2.4	1.5	0.5	1.2	0.9	0.5	2.7	1.3	2.7	2.1
65	3.0	1.9	0.6	1.5	1.2	0.6	3.7	1.7	3.7	2.7
80	4.0	2.4	0.8	2.0	1.5	0.8	4.3	2.2	4.3	3.8
90	4.6	2.8	0.9	2.3	1.8	0.9	5.2	2.6	5.2	4.0
100	5.7	3.4	1.1	2.7	2.1	1.1	6.1	3.0	6.1	4.9
125	7.3	4.6	1.3	3.7	2.7	1.3	8.2	4.3	8.2	6.1
150	8.8	5.7	1.5	4.6	3.4	1.5	10	5.9	10	7.6
200	—	7.6	2.6	—	4.6	2.6	14	7.3	14	10
250	—	9.6	3.4	—	6.1	3.4	18	8.8	18	14
300	—	12.4	4.0	—	7.6	4.0	22	11	22	17
350	—	—	4.9	—	—	4.9	26	14	26	20
400	—	—	5.3	—	—	5.3	29	13	29	23
450	—	—	6.1	—	—	6.1	31	16	31	27

a: R/D yaklaşık 1'e eşittir. b: R/D yaklaşık 1.5'e eşittir.

Tablo 15. Boru eşdeğer uzunluğu olarak vana kayıpları (metre) vidalı, kaynaklı, flanşlı, havşalı (konik) bağlantılı [1] [2].

Nominal Boru Boyutu (mm)	Pistonlu (globe) vana ^a	60° Y Vana	45° Vana	Küçük Vanası ^a	Sürgülü Vana ^a	Geritopma Vanası (yukarı yatağı hareketli) ^b	Geritopma Vanası (Kalkar tip) ^c
10	5.2	2.4	1.8	1.8	0.2	1.5	Pistonlu ve yukarı kalkan vana - pistonlu vana gibi^d
15	5.5	2.7	2.1	2.1	0.2	1.8	
20	6.7	3.4	2.1	2.1	0.3	2.2	
25	8.8	4.6	3.7	3.7	0.3	3.0	
32	12	6.1	4.6	4.6	0.5	4.3	
40	13	7.3	5.5	5.5	0.5	4.9	
50	17	9.1	7.3	7.3	0.73	6.1	
65	21	11	8.8	8.8	0.9	7.6	
80	26	13	11	11	1.0	9.1	
90	30	15	13	13	1.1	10	
100	37	18	14	14	1.4	12	
125	47	22	18	18	1.8	15	Küçük kalkan vana - Küçük vanası gibi
150	52	27	21	21	2.1	18	
200	62	35	26	26	2.7	24	
250	85	44	32	32	3.7	30	
300	98	50	40	40	4.0	37	
350	110	56	47	47	4.6	41	
400	125	64	55	55	5.2	46	
450	140	73	63	63	5.8	50	
500	160	84	72	72	6.7	61	
600	186	98	81	81	7.6	73	

Not: Bu kayıplar vanalar tam açık konumları ve vidalı, kaynaklı, flanşlı veya havşalı bağlantılar için verilmektedir.

a: Bu kayıplar sivri uçlu yataklı (needlepoint seats) vanalar için geçerli değildir.

b: Düzgün ve kısa konik tapalı vanalar tam olarak açıkken, kayıpları sürgülü vanalara eşittir. 150 mm'nin üzerindeki kısa konik tapalı vanalardaki kayıplar için üreticilere başvurulmalıdır.

c: Kayıplar ayrıca aynı sıralı, küresel tip, çek valflere de uygulanabilir.

d: "Y" tip pistonlu yukarı kalkan ve yatağı nominal boru çapına eşit geri tepme vanaları için "Y" 60 vanası değeri kullanılır.

DEVAMI 97. SAYIMIZDA