

Soğutma Teknolojisi

Bahar Y.Y.

Prof. Dr. Ayla Soyer

İçerik

Mekaniki soğutma sistemi

Refrijerantların basınç-entalpi grafikleri

Soğutma devresinin analizi

Refrijerantların (R) “basınç-entalpi” grafikleri

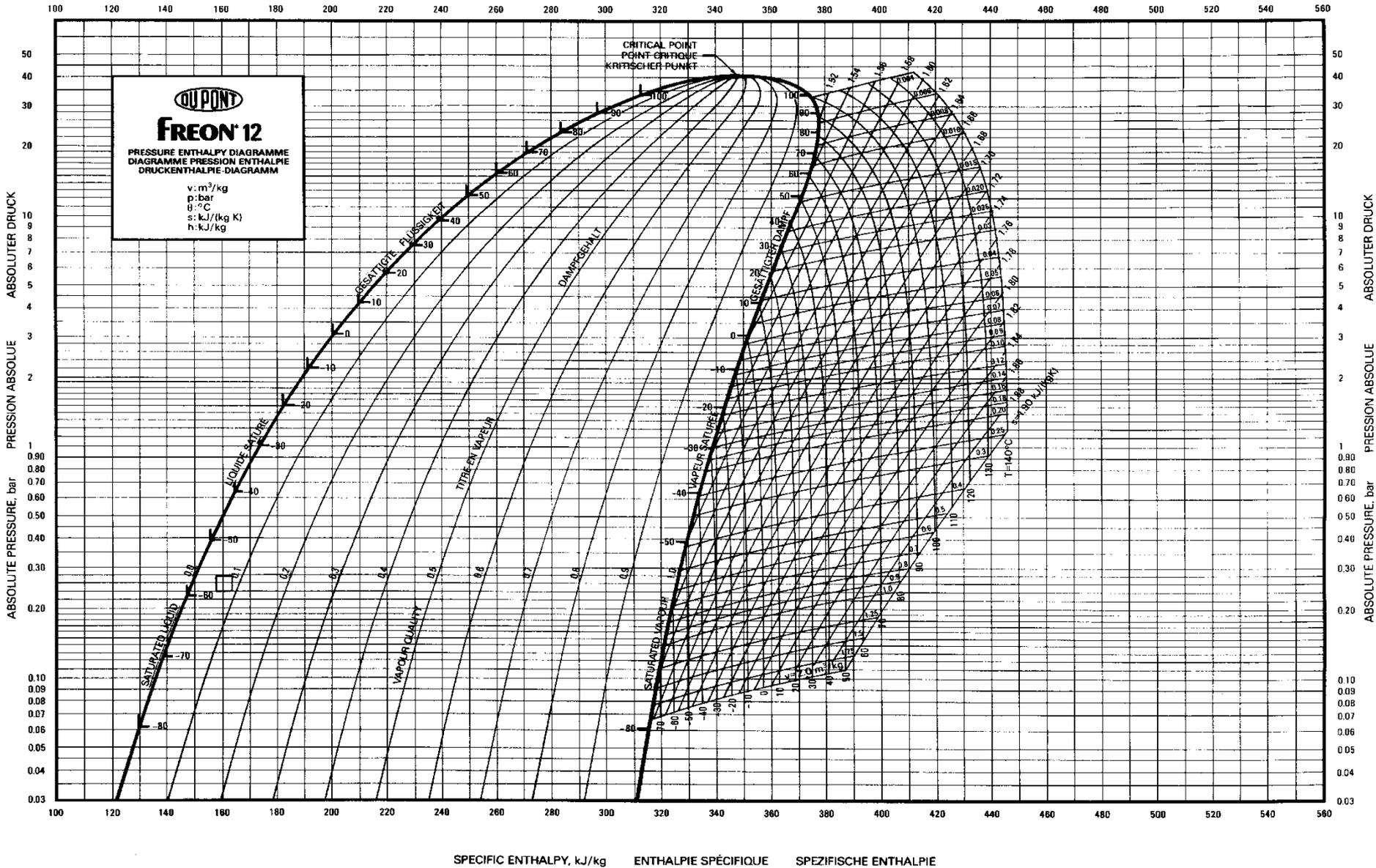
Herhangi bir akışkanın;

- Gizli ısı,
- Entalpi,
- Özgül hacim,
- Entropi gibi çeşitli termodinamik nitelikleri söz konusudur.

Her refrijerant için bu özellikler farklı olup, sıcaklık ve basınca bağlı olarak değişim göstermektedir.

Refrijerantların bir kısım fiziksel niteliklerinin aktarıldığı grafiklere “Mollier grafikleri” veya “basınç-entalpi” grafikleri adı verilir.

Her refrijeranta ait basınç-entalpi grafikleri vardır.



E-62455 (A4) *FREON is Du Pont's registered trademark for its fluorocarbon refrigerants

Copyright © 1975, Du Pont de Nemours International S.A.

Basınç-entalpi grafiklerinin irdelenmesi

- Basınç değerleri, log ıskalalı y ekseninde, entalpi değerleri, aritmetik ıskalalı x ekseninde yer alır.
- Grafikte üç eğri söz konusudur:
 - AB eğrisi: doymuş sıvı eğrisi
 - CD eğrisi: doymuş buhar eğrisi
 - AB ve CD eğrilerinin ortasında yer alan sabit kalite eğrisi
- AB eğrisinin solundaki bölge: aşırı soğumuş sıvı bölgesi
- CD eğrisinin sağındaki bölge: aşırı ısınmış buhar bölgesidir.
- AB ile CD eğrileri arasında refrijerant, sıvı-buhar karışımı halindedir.

Basınç-entalpi grafiklerinin irdelenmesi

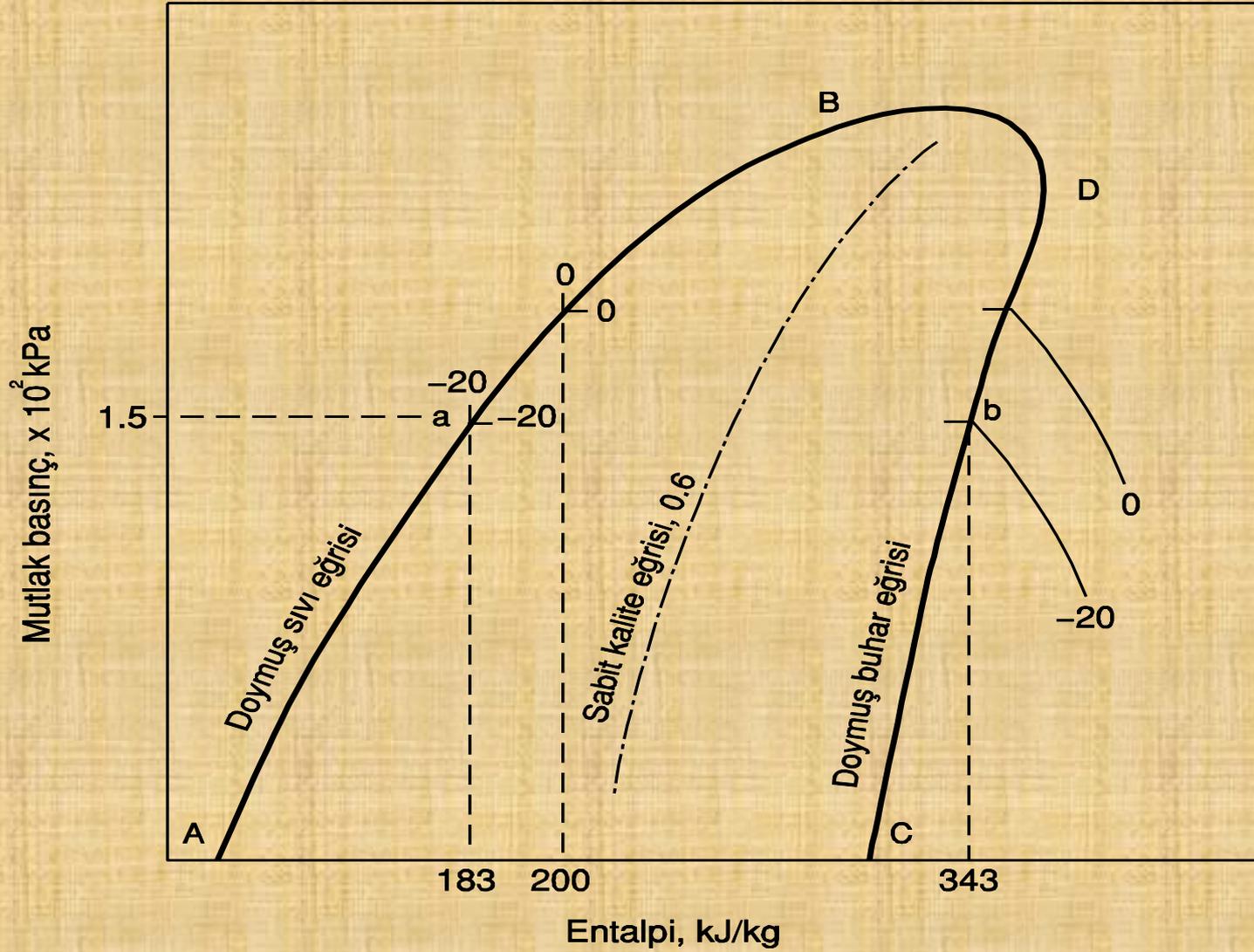
- Doymuş sıvı eğrisinde tamamen sıvı halde bulunan R, yatay eğri üzerinde sağa doğru uzaklaştıkça gittikçe artan oranda sıvı fazdan buhar fazına dönüşür. Tam doymuş buhar eğrisine ulaşılmıca, R'ın %100'ü buhar fazına dönüşmüştür.
- AB ve CD eğrileri arasında hafif sağa yatık, dikeye yakın eğriler, sıvı R'ın buhar fazına dönüşmüş olan oranlarını göstermektedir. Bu nedenle bu eğrilere “sabit kalite eğrileri” veya “kuruluk eğrileri” denir.
- Sıcaklık eğrileri; doymuş sıvı ve doymuş buhar eğrilerinin arasındaki bir bölgede yatay, doymuş sıvı eğrisinin solunda yukarı doğru dikey, doymuş buhar eğrisinin sağında ise aşağı doğru dikeye yakın, hafif sola yatık bir şekilde uzanmaktadır.

Basınç-entalpi grafiklerinin irdelenmesi

- Sabit kalite eğrileri: Doymuş sıvı- doymuş buhar eğrileri arasında, bu eğrilere yaklaşık olarak paralel şekilde, hafif sağa doğru yatık uzanırlar.

Üzerindeki rakamlar, sıvı R'ın % kaçının buharlaşmış olduğunu gösterir.

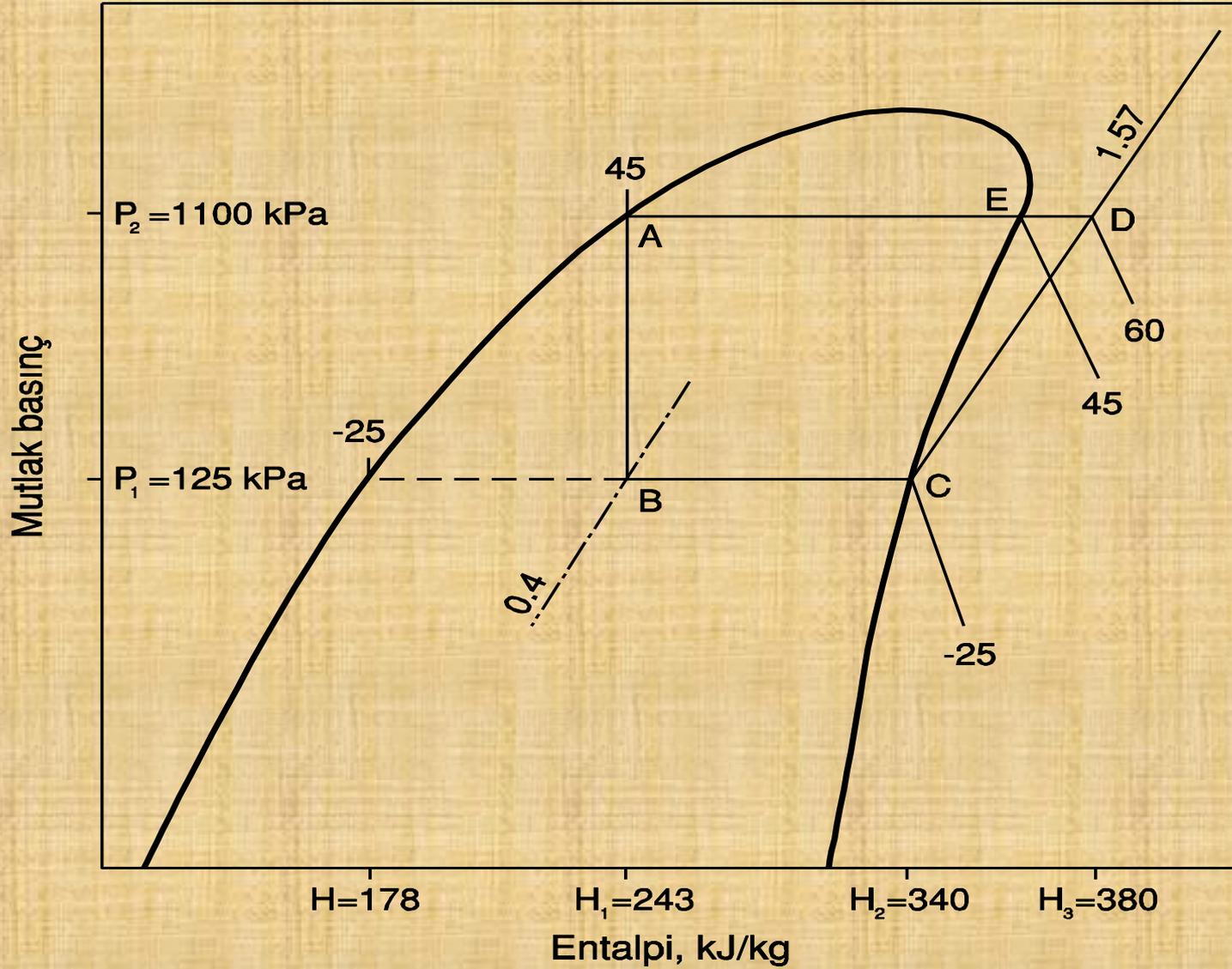
- Özgül hacim eğrileri: Doymuş buhar eğrisinden başlayıp, hafifçe yukarı yönelerek sağa doğru uzanırlar.
- Sabit entropi eğrileri: Doymuş buhar eğrisinden başlayarak yine sağda, fakat daha dik bir şekilde yukarı doğru uzanmaktadır.



R-12'ye ait basınç-entalpi grafiğinin bir bölümü

Kompresyon soğutma devresinin Mollier grafiğinde analizi

- Sıcaklığı -18°C 'de sabit tutulan bir dondurulmuş ürün deposunda bulunan soğutma yükü 60 kW olan ve refrijerant olarak R-12 kullanan bir soğutma sisteminde; evaporatör sıcaklığı -25°C , kondenzasyon sıcaklığı 45°C olmak üzere çalıştırılmaktadır. Refrijerant, genişleme valfine doymuş sıvı olarak ulaşmakta ve evaporatörü doymuş buhar olarak terketmektedir. **Kompresörün etkinliği %85 düzeyindedir.** Bu verilere göre bu soğutma devresini analiz ediniz.



R-12'ye ait basınç-entalpi grafiği

Soğutma devresine ilişkin bazı parametrelerin hesaplanması

Herhangi bir refrijeranta ait basınç-entalpi grafiği üzerinde oluşturulacak böyle bir soğutma devresi yardımıyla soğutma sisteminin;

- Soğutma etkinliği,
- Soğutma kapasitesi,
- Refrijerantın kütlelesel akış hızı,
- Kompresörün refrijeranta yaptığı iş,
- Kondenserden uzaklaştırılan ısı,
- Performans katsayısı hesaplanabilmektedir.

Soğutma etkisi (SE)

- Mollier grafiğindeki BC doğrusunu temsil eder. Yani, B ve C noktalarının temsil ettiği H_1 ve H_2 entalpi değerleri yardımıyla aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$SE = H_2 - H_1$$

H_1 : Refrijerantın girişteki entalpisi, kJ/kg

H_2 : Refrijerantın evaporatörden çıkıştaki entalpisi, kJ/kg

Refrijerantların (R) “basınç-entalpi” grafikleri

Herhangi bir akışkanın;

- Gizli ısı,
- Entalpi,
- Özgül hacim,
- Entropi gibi çeşitli termodinamik nitelikleri söz konusudur.

Her refrijerant için bu özellikler farklı olup, sıcaklık ve basınca bağlı olarak değişim göstermektedir.

Refrijerantların bir kısım fiziksel niteliklerinin aktarıldığı grafiklere “Mollier grafikleri” veya “basınç-entalpi” grafikleri adı verilir.

Her refrijeranta ait basınç-entalpi grafikleri vardır.

Basınç-entalpi grafiklerinin irdelenmesi

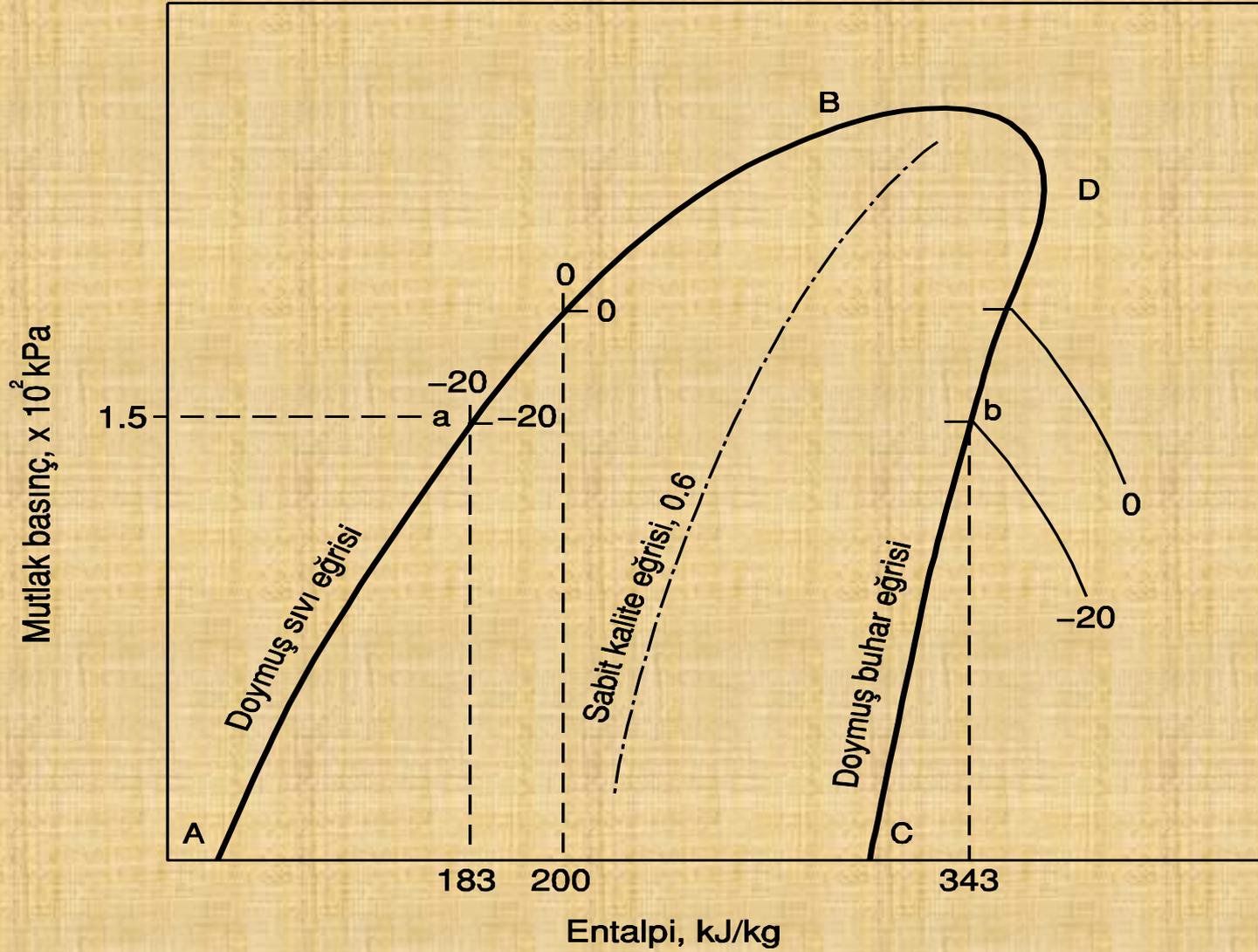
- Basınç değerleri, log ıskalalı y ekseninde, entalpi değerleri, aritmetik ıskalalı x ekseninde yer alır.
- Grafikte üç eğri söz konusudur:
 - AB eğrisi: doymuş sıvı eğrisi
 - CD eğrisi: doymuş buhar eğrisi
 - AB ve CD eğrilerinin ortasında yer alan sabit kalite eğrisi
- AB eğrisinin solundaki bölge: aşırı soğumuş sıvı bölgesi
- CD eğrisinin sağındaki bölge: aşırı ısınmış buhar bölgesidir.
- AB ile CD eğrileri arasında refrijerant, sıvı-buhar karışımı halindedir.

Basınç-entalpi grafiklerinin irdelenmesi

- Doymuş sıvı eğrisinde tamamen sıvı halde bulunan R, yatay eğri üzerinde sağa doğru uzaklaştıkça gittikçe artan oranda sıvı fazdan buhar fazına dönüşür. Tam doymuş buhar eğrisine ulaşılmıca, R'in %100'ü buhar fazına dönüşmüştür.
- AB ve CD eğrileri arasında hafif sağa yatık, dikeye yakın eğriler, sıvı R'in buhar fazına dönüşmüş olan oranlarını göstermektedir. Bu nedenle bu eğrilere "sabit kalite eğrileri" veya "kuruluk eğrileri" denir.
- Sıcaklık eğrileri; doymuş sıvı ve doymuş buhar eğrilerinin arasındaki bir bölgede yatay, doymuş sıvı eğrisinin solunda yukarı doğru dikey, doymuş buhar eğrisinin sağında ise aşağı doğru dikeye yakın, hafif sola yatık bir şekilde uzanmaktadır.

Basınç-entalpi grafiklerinin irdelenmesi

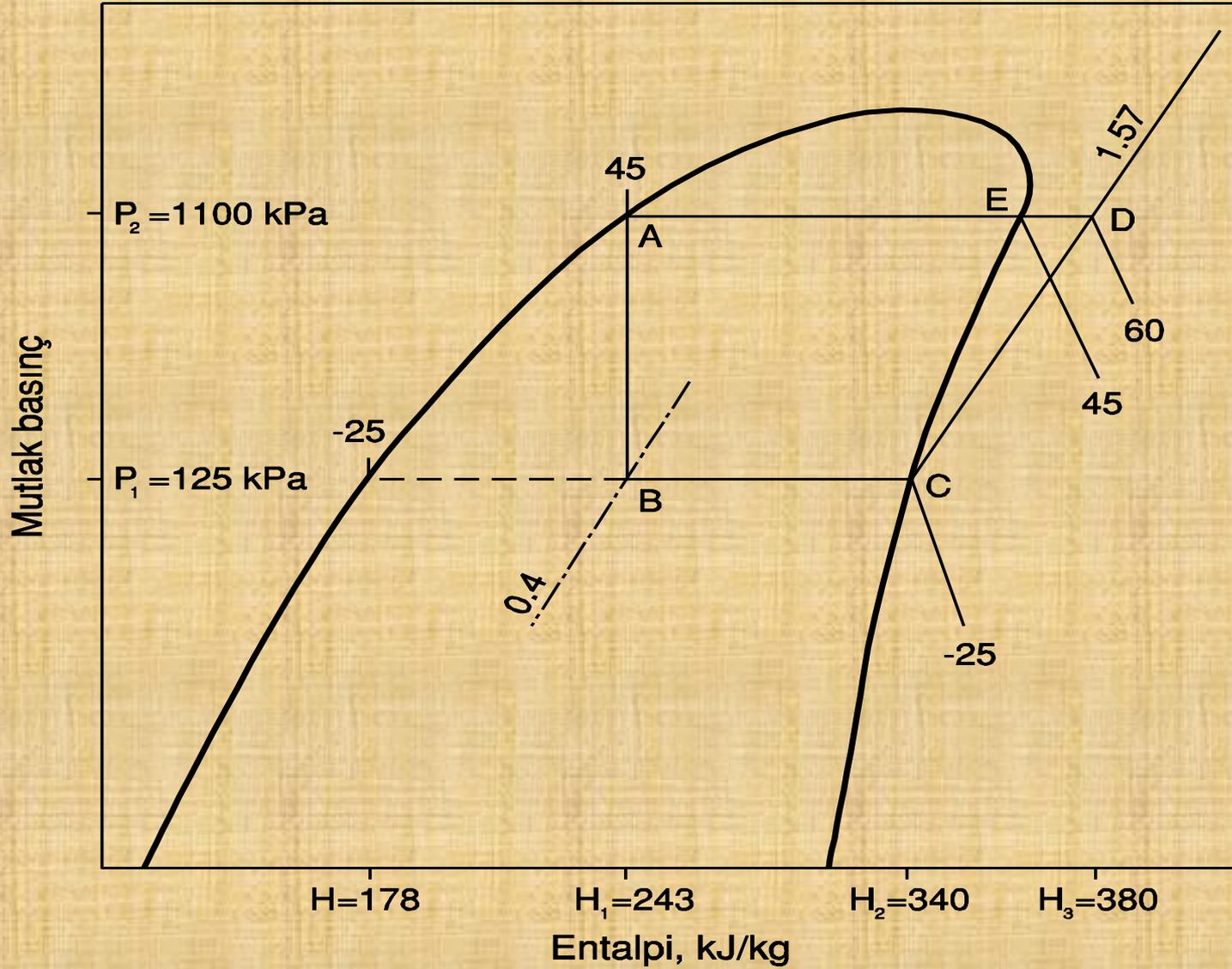
- Sabit kalite eğrileri: Doymuş sıvı- doymuş buhar eğrileri arasında, bu eğrilere yaklaşık olarak paralel şekilde, hafif sağa doğru yatık uzanırlar.
- Üzerindeki rakamlar, sıvı R'in % kaçının buharlaşmış olduğunu gösterir.
- Özgül hacim eğrileri: Doymuş buhar eğrisinden başlayıp, hafifçe yukarı yönelerek sağa doğru uzanırlar.
- Sabit entropi eğrileri: Doymuş buhar eğrisinden başlayarak yine sağda, fakat daha dik bir şekilde yukarı doğru uzanmaktadır.



R-12'ye ait basınç-entalpi grafiğinin bir bölümü

Kompresyon soğutma devresinin Mollier grafiğinde analizi

- Sıcaklığı -18°C 'de sabit tutulan bir dondurulmuş ürün deposunda bulunan soğutma yükü 60 kW olan ve refrijerant olarak R-12 kullanan bir soğutma sisteminde; evaporatör sıcaklığı -25°C , kondenzasyon sıcaklığı 45°C olmak üzere çalıştırılmaktadır. Refrijerant, genişleme valfine doymuş sıvı olarak ulaşmakta ve evaporatörü doymuş buhar olarak terketmektedir. **Kompresörün etkinliği %85 düzeyindedir.** Bu verilere göre bu soğutma devresini analiz ediniz.



R-12'ye ait basınç-entalpi grafiği

Soğutma devresine ilişkin bazı parametrelerin hesaplanması

Herhangi bir refrijeranta ait basınç-entalpi grafiği üzerinde oluşturulacak böyle bir soğutma devresi yardımıyla soğutma sisteminin;

- Soğutma etkinliği,
- Soğutma kapasitesi,
- Refrijerantın kütlelesel akış hızı,
- Kompresörün refrijeranta yaptığı iş,
- Kondenserden uzaklaştırılan ısı,
- Performans katsayısı hesaplanabilmektedir.

Soğutma etkisi (SE)

- Mollier grafiğindeki BC doğrusunu temsil eder. Yani, B ve C noktalarının temsil ettiği H_1 ve H_2 entalpi değerleri yardımıyla aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$SE = H_2 - H_1$$

H_1 : Refrijerantın girişteki entalpisi, kJ/kg

H_2 : Refrijerantın evaporatörden çıkıştaki entalpisi, kJ/kg

Soğutma kapasitesi (Q_s)

- Sistemin soğutma etkisi (SE) ile refrijerantın soğutma sistemindeki kütlelesel akış hızından yararlanılarak hesaplanır.

$$Q_s = m (H_2 - H_1)$$

Q_s : Soğutma kapasitesi, kW

m : Refrijerantın sistemdeki kütlelesel akış hızı, kg/s

H_1 : Refrijerantın girişteki entalpisi, kJ/kg

H_2 : Refrijerantın evaporatörden çıkıştaki entalpisi, kJ/kg

Refrijerantın kütlelesel akış hızı (m)

- Sistemin sistemin toplam soğutma yükü ile soğutma etkisine bağlıdır. Toplam soğutma yükü, sistemden uzaklaştırılması gereken toplam ısıdır.

$$m = Q / (H_2 - H_1)$$

m: Refrijerantın sistemdeki kütlelesel akış hızı, kg/s

Q: Toplam soğutma yükü, kW

H_1 :Refrijerantın girişteki entalpisi, kJ/kg

H_2 : Refrijerantın evaporatörden çıkıştaki entalpisi, kJ/kg

Kompresör tarafından yapılan iş (W)

- Refrijerant buharının izentropik sıkıştırılması sırasında kompresörün refrijeranta uyguladığı iş (W), bu işlem sırasındaki entalpi artışı ile refrijerantın kütleli akış hızından hesaplanır.

$$W = m (H_3 - H_2)$$

W: Kompresörün refrijeranta yaptığı iş, kW

m: Refrijerantın sistemdeki kütleli akış hızı, kg/s

H_2 : Kompresör girişinde refrijerantın entalpisi, kJ/kg

H_3 : Sıkıştırma sonunda refrijerantın entalpisi, kJ/kg

* $(H_3 - H_2)$ 'ye aynı zamanda sıkıştırmaya bağlı entalpi artışı denir.

- Kompresör tarafından kullanılan enerjinin tümü, refrijerantı sıkıştırmaya kullanılan işe çevrilemez.
- Refrijerantı sıkıştırmak için harcanan enerjinin, kompresörün kullandığı toplam enerjideki oranına kompresörün etkinlik derecesi denir.
- Örneğin bir kompresörün etkinlik derecesi %80 denildiğinde, bu kompresör kullandığı enerjinin %80'ini refrijerant üzerine iş olarak kullanabilmekte demektir.
- Kompresörün güç ihtiyacı (W)

$$W = m (H_3 - H_2) / \text{Kompresör etkinlik derecesi}$$

Kondenser yükü (Q_c)

- Refrijerantın evaporatörde kazandığı ısı ile sıkıştırılma sonucunda kazandığı ısının toplamı, kondenserde sabit basınç altında, soğutma ortamına verilerek uzaklaştırılır. Kondenserden uzaklaştırılan ısı, kondenser yükü olarak adlandırılır.

$$Q_c = m (H_3 - H_1)$$

Q_c : Kondenser yükü, kW

m : Refrijerantın sistemdeki kütleli akış hızı, kg/s

H_1 : Refrijerantın evaporatör girişindeki entalpisi, kJ/kg

H_3 : Refrijerantın kompresör çıkışındaki entalpisi, kJ/kg

Performans katsayısı (C.O.P.)

- Bir soğutma sisteminin etkinliği, performans katsayısı ile belirtilir. Başka bir ifade ile, soğutma sistemine giren enerjiden yararlanma düzeyine performans katsayısı denir.

$$\text{C.O.P.} = \text{Yararlanılan enerji/Giren enerji}$$

Pratik olarak C.O.P., sistemin soğutma etkisinin, sıkıştırma nedeniyle artan entalpiye oranıdır.

$$\text{C.O.P.} = H_2 - H_1 / H_3 - H_2$$

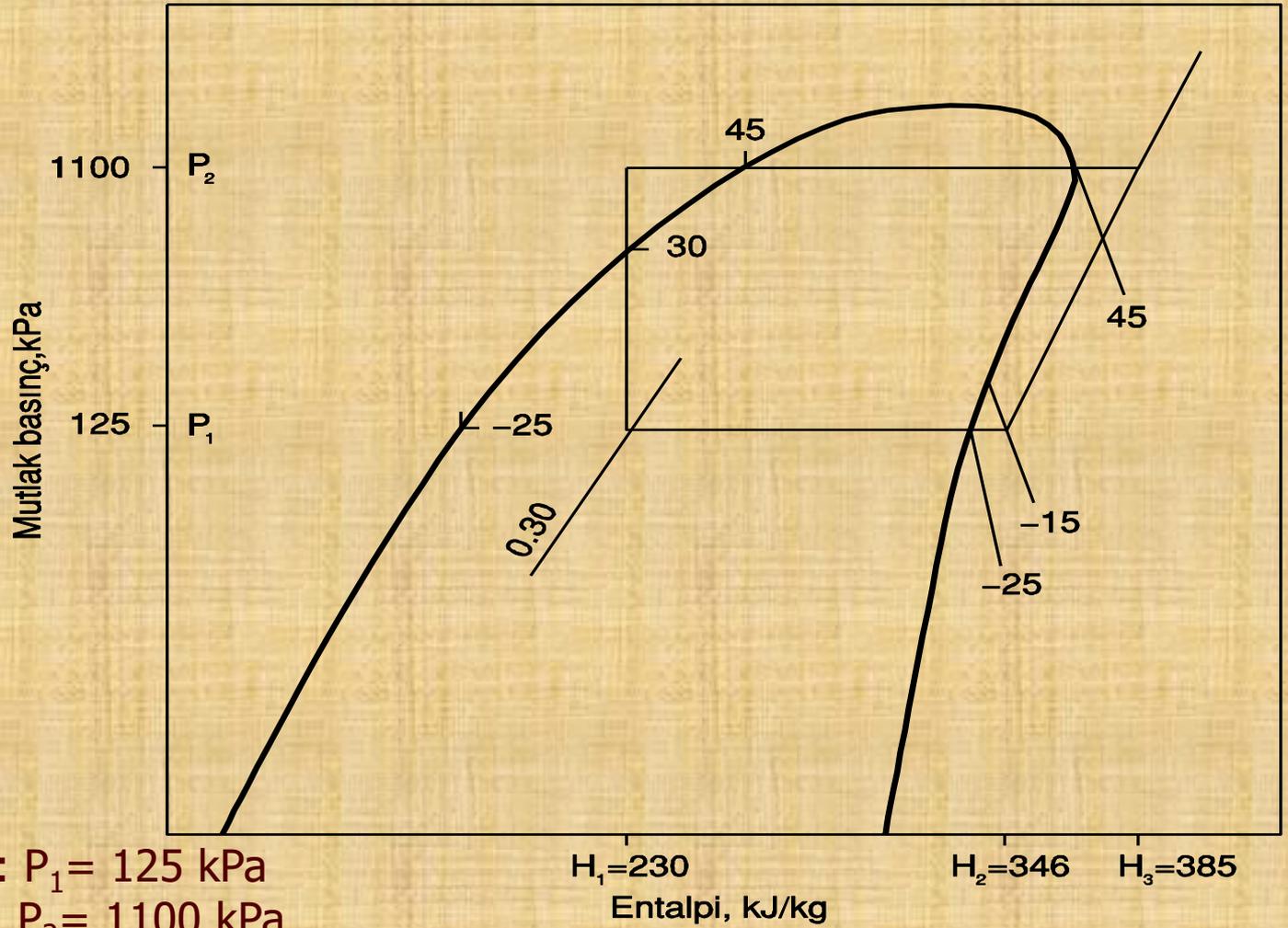
- Performans katsayısı daima 1'den büyük bir değerdir.
- Eğer kompresör çıkışında basınç düşük tutulursa, refrijerant buharını yüksek basınçlara kadar çıkarmak gerekmediğinden, kompresör daha az enerji kullanacaktır.
- Bu durumda C.O.P. Değeri daha büyüyecek, yani daha az enerji kullanılacaktır.

Aşırı soğutulmuş sıvı-aşırı ısınmış buhar aralığında çalışma

- Pratikte refrijerant, kondenserde yoğunlaşma sıcaklığından daha aşağı derecelere soğutulmakta (aşırı soğuma), evaporatörde ise sıcaklığı daha da yükseltilerek (aşırı ısınma) kompresöre ulaştırılmaktadır.
- Bunda amaç, kondenser ve kompresör yükünü azaltmak ve daha etkin bir sistem elde etmek (aynı sıkıştırma basıncında soğutma etkinliği arttırılır.)

Örnek: Sıcaklığı -18°C 'de sabit tutulan bir dondurulmuş ürün deposunda bulunan, soğutma yükü 60 kW olan ve R-12 kullanan soğutma sistemi; evaporatör sıcaklığı -25°C , Kondenzasyon sıcaklığı 45°C olmak üzere çalıştırılmaktadır. Refrijerant genişleme valfine doymuş sıvı olarak ulaşmakta ve evaporatörü doymuş buhar olarak terk etmektedir. Sıvı refrijerant 15°C daha soğutularak kondenseri aşırı soğumuş olarak terk etmektedir. Refrijerant buharı ise, evaporatörü 10°C daha ısınarak terk etmektedir. Kompresörün etkinliği %85 düzeyindedir. Bu koşullarda soğutma sistemine ait parametreleri hesaplayınız.

- Evaporatör sıcaklığı; -25°C
- Refrijerantın evaporatörden çıkış sıcaklığı: -15°C
- Kondenzasyon sıcaklığı: 45°C
- Refrijerantın kondenserden çıkış sıcaklığı: 30°C
- Soğutma yükü: 60 kW
- Kompresör etkinliği: %85



Evaporatör basıncı: $P_1 = 125$ kPa
 Kondenser basıncı: $P_2 = 1100$ kPa
 $H_1 = 230$ kJ/kg
 $H_2 = 346$ kJ/kg
 $H_3 = 385$ kJ/kg

Aşırı soğutulmuş sıvı-aşırı ısınmış buhar aralığında çalışma

Bu verilere göre:

- **Refrijerantın kütleli akış hızı (m)**
 $m = 60 \text{ kJ/s} / (346 - 230) \text{ kJ/kg} = 0.517 \text{ kg/s}$
- **Sistemin soğutma kapasitesi (Qs)**
 $Q_s = 0.517 \text{ kg/s} (346 - 230) \text{ kJ/kg} = 59.97 \text{ kW}$
- **Kompresör tarafından yapılan iş (W)**
 $W = 0.517 \text{ kg/s} (385 - 346) \text{ kJ/kg} = 20.16 \text{ kW}$
- **Kondenser yükü (Qc)**
 $Q_c = 0.517 \text{ kg/s} (385 - 230) \text{ kJ/kg} = 80.1 \text{ kW}$
- **Performans katsayısı (C.O.P)**
 $C.O.P. = (346 - 230) / (385 - 346) = 2.97$

İki sistemin karşılaştırılması

	1. sistem	2. sistem
m (kg/s)	0.618	0.517
Q_s (kW)	59.95	59.97
W (kW)	24.72	20.16
Q_c (kW)	84.67	80.1
C.O.P.	2.43	2.97