

Sıkıştırılabilirlik Faktörü Sorusu ve Çözümü

Soru: 10 MPa basınç ve 100°C sıcaklıkta bulunan etan, sabit basınç altında hacmi %60 oranında artacak kadar ısıtılmaktadır. Etan gazının son sıcaklığını (a) ideal gaz hal değişimi eşitliğini kullanarak ve (b) sıkıştırılabilirlik faktörünü kullanarak hesaplayınız.

Çözüm: Bir kapalı sistem olan piston-silindir düzeneği içinde bulunan metan “sistem” olarak alınacaktır. Sistem sınırından ısı girişi olduğu için metan ısınmakta ve iç enerjisi artmaktadır. İç enerjisi artan metanın hacmi ve sıcaklığı da artacaktır. Hacim artışı %60 oranında verilmiştir.

Hal 1 için birbirinden bağımsız en az 2 adet özeliğin bilinmesi gerekmektedir. Hal 1 için bu özellikler, verilen basınç ve sıcaklık değerleri olabilir.

Hal 1: Basınç: $P_1 = 10 \text{ MPa}$, Sıcaklık: $T_1 = 100^\circ\text{C}$, Özgül hacim: $v_1 \text{ (m}^3/\text{kg)}$

Hal 2: Basınç: $P_2 = P_1 = 10 \text{ MPa}$ [Sanki-dengeli piston-silindir düzeneğinde dış basınca eşit olan iç basınç değişmez], Sıcaklık: $T_2 \text{ (}^\circ\text{C)}$, Özgül hacim: $v_2 = (1.6)v_1 \text{ (m}^3/\text{kg)}$ [Hacim %60 oranında artmıştır].

Etan gazının özellikleri: Gaz sabiti: $R = 0.2765 \text{ kJ/kgK}$, Kritik sıcaklık: $T_{kr} = 305.5 \text{ K}$, Kritik basınç: $P_{kr} = 4.48 \text{ MPa}$ (Tablodan)

(a) İdeal gaz hal denklemleri:

$$\left. \begin{array}{l} PV = mRT \rightarrow P_1 V_1 = mRT_1 \\ P_2 V_2 = mRT_2 \end{array} \right\} \frac{P_1 V_1}{P_2 V_2} = \frac{mRT_1}{mRT_2} \rightarrow T_2 = T_1 \frac{v_2}{v_1}$$
$$T_2 = T_1 \frac{v_2}{v_1} = [(100 + 273.15) \text{ K}] (1.6) = 597.04 \text{ K}$$

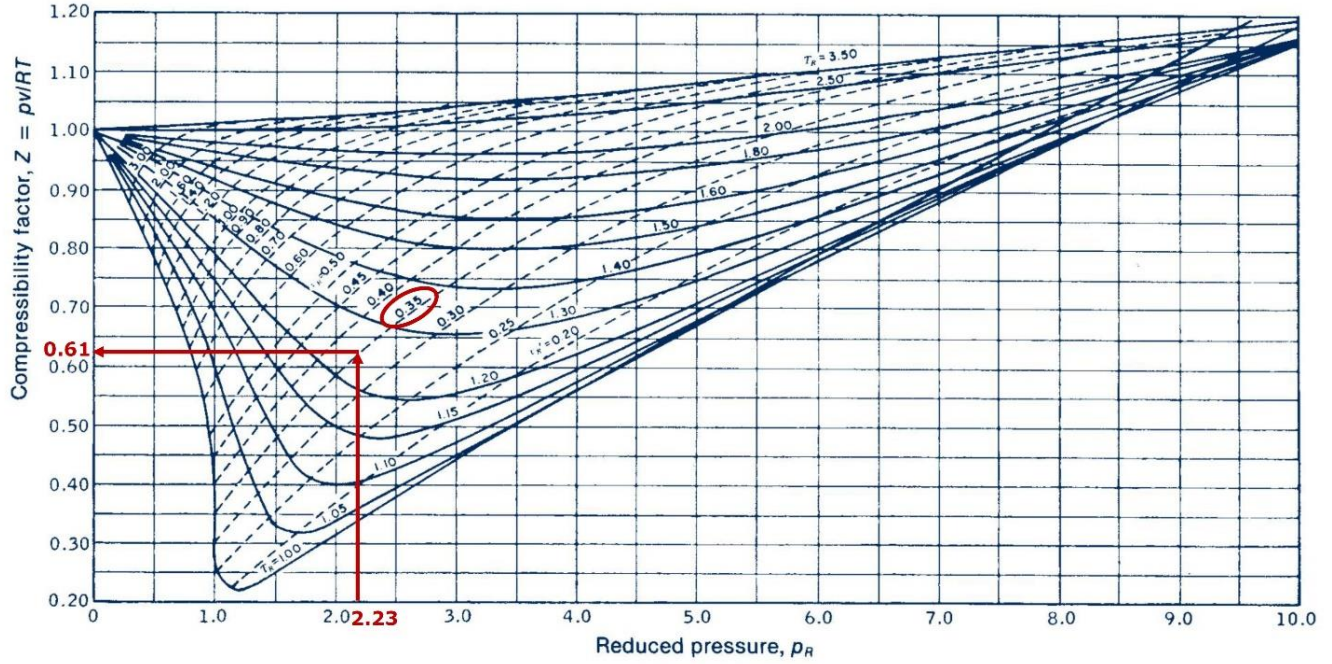
(b) Genelleştirilmiş sıkıştırılabilirlik diyagramı:

İndirgenmiş sıcaklık: $T_{R1} = \frac{T_1}{T_{kr}} = \frac{(100 + 273.15) \text{ K}}{305.5 \text{ K}} = 1.221440262 \cong 1.22$

İndirgenmiş basınç: $P_{R1} = \frac{P_1}{P_{kr}} = \frac{10 \text{ MPa}}{4.48 \text{ MPa}} = 2.232142857 \cong 2.23$

Yukarıda hesaplanan indirgenmiş sıcaklık ve indirgenmiş basınç değerlerinden yararlanarak genelleştirilmiş sıkıştırılabilirlik diyagramından sıkıştırılabilirlik faktörü Z_1 ve indirgenmiş özgül hacim v_{r1} okunur.

Genelleştirilmiş sıkıştırılabilirlik diyagramında yatay ekseninde indirgenmiş basınç değerleri bulunur. $P_{R1} = 2.23$ değerinin yeri şekil üzerinde işaretlenmiştir. Diyagram içinde sürekli çizgiler ile indirgenmiş sıcaklık eğrileri verilmiştir. $T_R = 1.20$ ile $T_R = 1.30$ değeri arasında uygun bir noktaya ölçekli olarak $T_{R1} = 1.22$ değeri yerleştirilir. $P_{R1} = 2.23$ değerinin kestiği $T_{R1} = 1.22$ değerinden sola doğru yatay bir çizgi çizildiğinde sıkıştırılabilirlik faktörü olan Z değerine ulaşılır. $Z_1 = 0.61$ olarak okunur. Aynı diyagram içinde kesik çizgiler ile indirgenmiş özgül hacim eğrileri verilmiştir. $P_{R1} = 2.23$ ile $Z_1 = 0.61$ değerlerinin kesiştiği noktadan indirgenmiş özgül hacim olan $v_{r1} = 0.35$ değerine ait kesikli çizgi geçmektedir. Sonuç olarak genelleştirilmiş sıkıştırılabilirlik diyagramından $Z_1 = 0.61$ ve $v_{r1} = 0.35$ olarak okunur.



Generalized compressibility chart, $p_R \leq 10.0$.

(Diyagram üzerinde sadece hal 1'e ait okunan değerler gösterilmiştir. Hal 2 için de değerler bu diyagram üzerinden okunacaktır)

Hal 2 için birbirinden bağımsız en az 2 adet özeliğin bilinmesi gerekmektedir. Hal 2 için bu özellikler, basınç ve özgül hacim değerleri olabilir.

İndirgenmiş basınç: $P_{R2} = P_{R1} \cong 2.23$ (Sistemde basınç değişimi olmadığı için indirgenmiş basınç değerleri de değişmemektedir).

İndirgenmiş özgül hacim: $v_{R2} = (1.6)v_{R1} = (1.6)(0.35) = 0.56$

İndirgenmiş özgül hacim $v_R = v / (RT_{kr} / P_{kr})$ eşitliğinden hesaplanır.

Genelleştirilmiş sıkıştırılabilirlik diyagramına indirgenmiş basınç değeri olan $P_{R2} = 2.23$ ile indirgenmiş özgül hacim değeri olan $v_{r2} = 0.56$ yerleştirildiğinde, sıkıştırılabilirlik faktörü $Z_2 = 0.83$ olarak okunmaktadır. Bu bilgiler yardımıyla hal 2'ye ait sıcaklık değeri aşağıda verildiği gibi hesaplanır:

$$PV = ZmRT \rightarrow Pv = ZRT \rightarrow P_2v_2 = Z_2RT_2 \rightarrow (P_2v_{R2}T_{kr}) / P_{kr} = Z_2T_2$$

$$(10000 \text{ kPa})(0.56)(305.5 \text{ K}) / (4480 \text{ kPa}) = (0.83) T_2$$

$$T_2 = 460.09 \text{ K}$$

SONUÇ: Genelleştirilmiş sıkıştırılabilirlik diyagramına indirgenmiş basınç değeri olan $P_{R2} = 2.23$ ile indirgenmiş özgül hacim değeri olan $v_{r2} = 0.56$ yerleştirildiğinde indirgenmiş sıcaklık değeri $T_{R2} = 1.5$ olarak okunur. Bu değer kullanılarak $T_2 = (T_{R2})(T_{kr})$ eşitliği yardımı ile $T_2 = (1.5)(305.5 \text{ K}) = 458.25 \text{ K}$ olarak bulunur.

Eşitlik kullanımı ile 2. hale ait sıcaklık değeri **460.09 K** olarak bulunmuştu. Grafik yardımı ile bu değer **458.25 K** olarak bulundu. Arada **1.84 K** değerinde küçük bir fark oluştu. Bu çerçevede T_2 sıcaklığı yaklaşık olarak **460 K** olarak alınabilir. $Z = 1$ olarak kabul edilen ideal gaz hal denkleminde ise sıcaklık değeri **597.04 K** olarak bulunmuştu. Sıkıştırılabilirlik faktörü yaklaşımı altında bulunan sıcaklık (460 K) değeri, gerçeğe daha yakın bir değerdir.

YARARLANILAN KAYNAKLAR:

“Thermodynamics: An Engineering Approach”, 9th Edition, Yunus A. Cengel, Michael A. Boles, Mehmet Kanoglu, McGraw-Hill Education, 2019.

“Termodinamiğin Temelleri”, SI Basım, Claus Borgnakke, Richard E. Sonntag, Sekizinci Baskıdan Çeviri, (Hüseyin Günerhan, çeviri editörü yardımcıları arasında yer almaktadır), Palme Yayıncılık, 2018, Ankara.

“Principles of Engineering Thermodynamics”, SI Edition, John R. Reisel, Cengage Learning, 2016.

“Termodinamik-Mühendislik Yaklaşımıyla”, Yedinci Baskıdan Çeviri, (Hüseyin Günerhan, editör yardımcıları arasında yer almaktadır), Yunus A. Cengel, Michael A. Boles, Palme Yayıncılık, 2015.

“Engineering Thermodynamics”, 8th Edition, Michael J. Moran, Howard N. Shapiro, John Wiley, 2014.

<https://www.huseyingunerhan.com/termo1/termo1.html> sayfasında verilen “Termodinamik I” dersine ait tüm ders notlarının bazı bölümleri yukarıda verilen kitaplardan ve/veya ilgili sunumlarından yararlanılarak veya ilham alınarak hazırlanmıştır.

“Termodinamik I” derslerine ait bilgi notları; Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalı Başkanı Prof. Dr. Hüseyin GÜNERHAN tarafından çeşitli kaynaklardan da yararlanılarak ve emek ve zaman harcanarak hazırlanmış özgün bir eserdir. İzin alınmadan çoğaltılması ve kullanılması telif hakları gereği yasaktır.

(Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu, Kanun Numarası: 5846, Kabul Tarihi: 5/12/1951, Yayımlandığı Resmi Gazete: 13/12/1951 Sayı: 7981, Yayımlandığı Düstur: Tertip 3 Cilt 33 Sayfa 49).