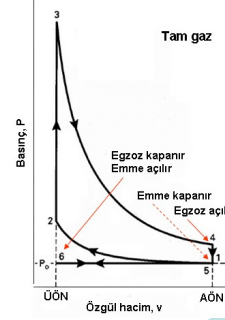


TEORİK EMME ve EGZOS İŞLEMLERİ

Prof. Dr. Selim ÇETİNKAYA

İdeal dört zaman emme ve egzoz işlemleri

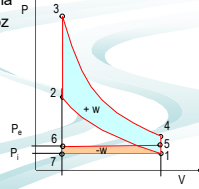


Emme ve egzoz işlemleri genellikle 5→6 ve 6→1 arasında sabit basınç işlemleri olarak gösterilir, Tam gaz için 5 ve 1 noktaları ayrıdır.

5-6 işlemi özgül hacimde azalma gibi görünse de kütle ve özgül hacim değişmediğinden bu doğru değildir. Bu çelişki, kapalı sistem modeliyle bir açık sistem problemi değerlendirmesinden kaynaklanır.

Teorik dört zaman işlemleri

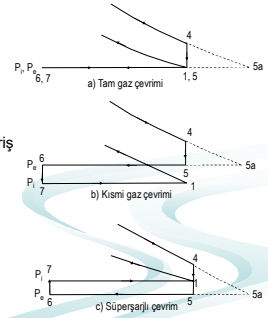
- Teorik çevrimde sistem sınırlarından kütle akışı olmadığı varsayılır.
- Gerçek motorlarda ise, silindire her çevrimde taze dolgu alınmakta ve yanma artıkları silindirden atılmaktadır.
- Taze dolgunun silindire alınması ve egzoz gazlarının silindirden atılması için gerekli işe, "pompalama işi" veya "pompalama kaybı" denmektedir.
- Diyagramda görülen aşağıdaki işlemler ideal ve adyabatik işlemlerdir.
 - 4-5 işlemi sabit hacimde egzoz ve ısı atma
 - 5-6 işlemi sabit basınç ve sıcaklıkta egzoz
 - 6-7 işlemi sabit hacimde yön değiştirme
 - 7-1 işlemi sabit basınçta emme



Teorik dört zaman işlemleri...

- Değişik çalışma koşullarını analiz edebilmek için emme ve egzoz basınçlarına bağımlı üç durum:

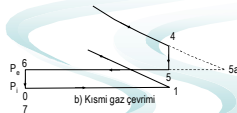
- Tam gaz, düşük hız
 $P_i = P_e = 1 \text{ atm}$
- Kısmi gaz veya yüksek hız (giriş dolgununun kısıtlanması)
 $P_i < P_e$
- Süperşarj $P_i > P_e$



Teorik dört zaman işlemleri...

- Genişleme strokunun sonunda silindirdeki gaz basıncı egzoz basıncından yüksektir.
- Egzoz supabı açıldığında, piston hareket etmese bile gazlar dışarıya akar.
- Tipik olarak P_4/P_e basınç oranı, supapta ses hızında akış olacak düzeydedir ve gazların dışarıya akışı sabit hacim kabulü yapılabilecek kadar hızlıdır.
- Sabit hacimdeki basınç düşmesi ve sabit basınçtaki egzoz işlemi sırasında pistonun yaptığı iş

$$W_{56} = \int_5^6 PdV = -P_e V_h$$



Teorik dört zaman işlemleri...

- 5a-6 işlemi sırasında basınç sabit olduğundan, kontrol kütle sine 1. Kanun analizi uygulandığında $\Delta H = 0$
- İdeal gazlar için entalpi sadece sıcaklığın fonksiyonu olduğundan, işlem aynı zamanda izotermal ve sıkıştırılmazdır.
- Kontrol kütle sine bir kısmı silindire kaldığından, buna artık gazlar denir ve kütle oranı:

$$f = \frac{m_6}{m_1} = \frac{m_6}{m_4} = \frac{V_6/V_6}{V_4/V_4} = \frac{1}{\epsilon} \frac{V_4}{V_6} = \frac{1}{\epsilon} \frac{T_4 P_6}{T_6 P_4} = \frac{1}{\epsilon} \frac{T_4 P_6}{T_5 P_4} = \frac{1}{\epsilon} \frac{T_4 P_e}{T_e P_4}$$

$$\frac{T_5}{T_4} = \frac{T_{5a}}{T_4} = \left(\frac{P_{5a}}{P_4}\right)^{\frac{1}{k}} = \left(\frac{P_6}{P_4}\right)^{\frac{1}{k}}$$

$$f = \frac{1}{\epsilon} \left(\frac{P_e}{P_4}\right)^{\frac{1}{k}} = \frac{1}{\epsilon} \left(\frac{P_e}{P_4}\right)^{\frac{1}{k}}$$

f nin tipik değerleri % 3 ... %12 arasındadır ve dieselerde daha azdır (ϵ büyük)

Emme stroğu 7→1

Emme supabı açıldığında kütlesi m_1 olan taze dolgu kütlesi m_R olan sıcak artık gazlarla karışır ve bu sebeple emme stroğunun sonundaki gaz sıcaklığı T_1 , giriş sıcaklığı T_i den daha yüksektir. Kütlenin korunumu yasasına göre:

$$m_1 = m_1 - m_R = m_1 - m_7$$

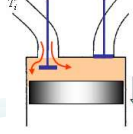
Enerjinin konumu yasasına göre (açık sistem):

$$U_1 - U_7 = Q_{7-1} - W_{7-1} + m_1 h_1$$

$$m_1 u_1 - m_7 u_7 = -P_1(V_1 - V_7) + m_1 h_1$$

$$m_1(h_1 - P_1 v_1) - m_7(h_7 - P_7 v_7) = -P_1(V_1 - V_7) + (m_1 - m_7) h_1$$

$$h_1 = \frac{m_7}{m_1} \left[h_7 + \left(\frac{m_1}{m_7} - 1 \right) h_1 + (P_1 - P_7) v_7 \right]$$



Sıkıştırma başlangıcındaki sıcaklık T_1

$m_7 = m_1 f$ ve ideal gaz varsayımıyla $P_7 v_7 = RT_7$ ve $h = c_p T$

$$h_1 = (1-f)h_1 + fh_7 - \left(1 - \frac{P_1}{P_7}\right) fRT_7$$

$$T_1 = (1-f)T_1 + fT_7 \left[1 - \left(1 - \frac{P_1}{P_7}\right) \left(\frac{k-1}{k}\right)\right]$$

Emme ve egzoz terimleriyle $P_1 = P_1$, $P_7 = P_e$, $T_7 = T_e$ yazılırsa;

$$T_1 = (1-f)T_1 + fT_e \left[1 - \left(1 - \frac{P_1}{P_e}\right) \left(\frac{k-1}{k}\right)\right]$$

Emme ve egzoz basınçlarının yaklaşık olarak eşit olduğu tam gazda ve düşük hızlarda,

$$T_1 = (1-f)T_1 + fT_e$$

Hacimsel verim

$$\eta_v = \frac{m_1}{\rho_1 V_h} = 1 - \frac{P_2/P_1 - 1}{k(\epsilon - 1)}$$

Pompalama işi

$$-W_p = (P_e - P_1)V_h$$

Pompalama ortalama basıncı

$$-P_{mep} = P_e - P_1$$

Sıkıştırma-genişleme ortalama basıncı

$$P_{mi} = \frac{W_{3-4} - W_{1-2}}{V_h}$$

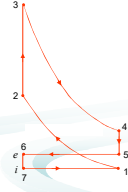
Net P_{mi}

$$(P_{mi})_{net} = P_{mi} - P_{mep}$$

2→3 ısı girişi

$$Q_S = m_1 q_S = (m_1 - m_7) q_S = m_1 (1-f) q_S$$

$$Q_S = mC_v(T_3 - T_2)$$



Sisteme verilen ısı

Çevrimin maksimum sıcaklığı

$$T_3 = T_2 + \frac{(1-f)q}{C_v}$$

İndike ortalama basınç

$$P_{mi} = P_1 \left(\frac{(1-f)q}{RT_1} \right) \frac{\eta_i}{1 - 1/\epsilon}$$

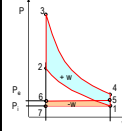
ÖRNEK

■ İdeal dört zamanlı buji ile ateşlemeli bir motor hakkında aşağıdaki değerler bilinmektedir:

Sıkıştırma oranı	$\epsilon = 10/1$
Emme başlangıcındaki sıcaklık,	$T_1 = 300 \text{ K}$
Emme başlangıcındaki basınç,	$P_1 = 50 \text{ kPa}$
Egzoz gazlarının sıcaklığı,	$T_e = 1000 \text{ K}$
Egzoz gazlarının basıncı,	$P_e = 100 \text{ kPa}$
Havanın moleküler kütlesi	$M = 29$
Artık gazların kütle oranı	$f = 0,05$
İzentropik üs	$k = 1,25$
Birim karışım kütlesiyle verilen ısı	$q = 2500 \text{ kJ/kg}$

■ Her durum noktasındaki basınç ve sıcaklıklarla net ısı verim ve indike ortalama efektif basıncı hesaplayınız.

ÇÖZÜM



Durum	1	2	3	4	5	6	7
P kPa	50	889	4022,5	226	100	100	50
T K	330	587	2656	1494	1269	1269	300

Gaz sabiti ve özgül ısı

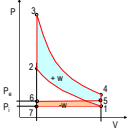
$$R = \frac{8,314}{29} = 0,287 \text{ kJ/kgK} \quad C_v = \frac{R}{k-1} = \frac{0,287}{1,25-1} = 1,148 \text{ kJ/kgK}$$

Sıkıştırma başlangıcındaki sıcaklık

$$T_1 = (1-f)T_1 + fT_e \left[1 - \left(1 - \frac{P_1}{P_e}\right) \left(\frac{k-1}{k}\right)\right]$$

$$= (1-0,05) 300 + 0,05 \cdot 1000 \left[1 - \left(1 - \frac{50}{100}\right) \frac{1,25-1}{1,25}\right] = 330 \text{ K}$$

ÇÖZÜM...



Durum	1	2	3	4	5	6	7
P kPa	50	889	4022,5	226	100	100	50
T K	330	587	2656	1494	1269	1269	300

- Sıkıştırma sonundaki basınç ve sıcaklık;

$$P_2 = P_1 \cdot \epsilon^k = 50 \cdot 10^{1,25} = 889 \text{ kPa}$$

$$T_2 = T_1 \cdot \epsilon^{k-1} = 330 \times 10^{1,25-1} = 587 \text{ K}$$

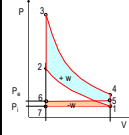
- Sabit hacimde yanma sonu sıcaklığı

$$T_3 = T_2 + \frac{(1-f)q}{C_v} = 587 + \frac{0,95 \cdot 2500}{1,148} = 2656 \text{ K}$$

basıncı

$$P_3 = P_2 \frac{T_3}{T_2} = 889 \frac{2656}{587} = 4022,5 \text{ kPa}$$

ÇÖZÜM...



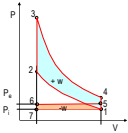
Durum	1	2	3	4	5	6	7
P kPa	50	889	4022,5	226	100	100	50
T K	330	587	2656	1494	1269	1269	300

- Genişleme sonu basıncı

$$P_4 = P_3 \left(\frac{v_3}{v_4} \right)^k = 4022,5 \left(\frac{1}{10} \right)^{1,25} = 226 \text{ kPa}$$

$$T_4 = T_3 \left(\frac{v_3}{v_4} \right)^{k-1} = 2656 \left(\frac{1}{10} \right)^{1,25-1} = 1494 \text{ K}$$

ÇÖZÜM...



Durum	1	2	3	4	5	6	7
P kPa	50	889	4022,5	226	100	100	50
T K	330	587	2656	1494	1269	1269	300

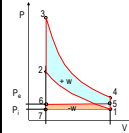
- Egzoz gazlarının sıcaklığı

$$T_{sa} = T_4 \left(\frac{P_4}{P_1} \right)^{(k-1)/k} = 1494 \left(\frac{100}{226} \right)^{(1,25-1)/1,25} = 1269 \text{ K} = T_5 = T_6$$

Son olarak da artık gazların kütle oranı

$$f = \frac{1}{\epsilon} \frac{T_4}{T_6} \frac{P_6}{P_4} = \frac{1}{10} \frac{1494}{1269} \frac{100}{226} = 0,052$$

ÇÖZÜM...



Durum	1	2	3	4	5	6	7
P kPa	50	889	4022,5	226	100	100	50
T K	330	587	2656	1494	1269	1269	300

- Isıl verim

$$\eta_t = 1 - \left(\frac{1}{\epsilon} \right)^{k-1} = 1 - \left(\frac{1}{10} \right)^{1,25-1} = 0,438$$

$$P_{mi} = P_1 \left[q \frac{(1-f)}{RT_1} \frac{\eta_t}{1-1/\epsilon} \right] = 50 \left[2500 \frac{(1-0,05)}{0,287 \cdot 330} \right] \frac{0,438}{1-1/10} = 610,2 \text{ kPa}$$

$$P_{mp} = 50 \text{ kPa}$$

$$\eta_{net} = \eta_t (1 - P_{mp}/P_{mi}) = 0,438 (1 - 50/610,2) = 0,402$$

$$P_{minet} = P_{mi} - P_{mp} = 610,2 - 50 = 560,2 \text{ kPa}$$

PROBLEM

- İdeal dört zamanlı buji ile ateşlemeli bir motor hakkında aşağıdaki değerler bilinmektedir:

Sıkıştırma oranı	$\epsilon = 9/1$
Emme başlangıcındaki sıcaklık,	$T_1 = 290 \text{ K}$
Emme başlangıcındaki basınç,	$P_1 = 80 \text{ kPa}$
Egzoz gazlarının sıcaklığı,	$T_6 = 1200 \text{ K}$
Egzoz gazlarının basıncı,	$P_6 = 110 \text{ kPa}$
Havanın moleküler kütlesi	$M = 28,97$
Artık gazların kütle oranı	$f = 0,05$
İzentropik üs	$k = 1,33$
Birim karışım külesiyle verilen ısı	$q = 1940 \text{ kJ/kg}$

- Her durum noktasındaki basınç ve sıcaklıklarla net ısı verim ve ortalama efektif basıncı hesaplayınız.

SON