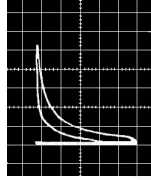


Gerçek çevrim analizi



Prof. Dr. Selim ÇETİNKAYA

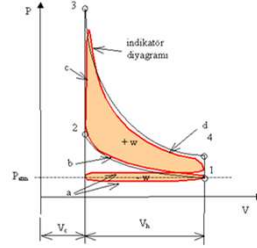
Gerçek çevrimin kayıpları

- Teorik çevrim çıktılarını gerçek bir motordan almak olanaksızdır.
- Gerçek çevrim, açık çevrim niteliğindedir.
- Teorik Otto çevrim motoru ile ısı verim ($\epsilon = 8$) : % 52
 - Gerçek motorda: % 25 - 30
 - Farkın sebepleri:
 - Gaz kısıma kayıpları
 - Ayrışma
 - Homojen olmayan karışım
 - Tam olmayan yanma
 - Gaz kaçakları
 - Isı kayıpları
 - Isı atma kayıpları
 - Artık gazların etkisi
 - Pompalama kayıpları

Gerçek çevrimin kayıpları...

- Motorun silindirindeki bu değişim veya işlemlerin kombinasyonu, bir motorun gerçek çevrimi olarak bilinir.
- Motorların gerçek çevrimlerinin seyri, silindir basıncının silindir hacmine veya zamana (krank açısına) bağlı değişim diyagramını veren **indikatörden** alınan diyagramlarla belirlenir.

Gerçek çevrimin kayıpları...



Dört zamanlı bir benzin motorunun indikatör diyagramı (teorik çevrim diyagramı ile birlikte)

Gerçek çevrimin kayıpları...

- Gerçekte özgül ısılar sıcaklığa bağlı olarak artarken, k 'nin değeri küçülmektedir.
- Özgül ısıların artması, çevrimin maksimum sıcaklığının azalmasına sebep olmaktadır.

Otto motorlarında teorik olarak sisteme verilen ısı:

$$q_s = C_v (T_3 - T_2) \quad T_3 = T_2 + \frac{q_s}{C_v}$$

diesel çevriminde:

$$q_s = C_p (T_3 - T_2) \quad T_3 = T_2 + \frac{q_s}{C_p}$$

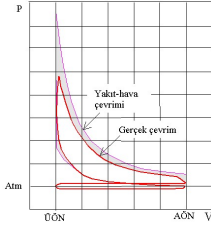
Maksimum sıcaklıkların azalması, gerçek çevrimin net işi ve ısı veriminin azalmasına neden olur.

Gerçek çevrimin kayıpları...

- Gerçek yanma, ölçülebilir bir zaman içerisinde gerçekleşir.
- Erken ve geç ateşlemede motor verimi düşmektedir.
- Isının tam olarak sabit basınçta verilmesi mümkün değildir.
- Yüksek hızlı diesel motorlarındaki ısı verme işlemi, daha çok sabit hacim işlemine benzemektedir.

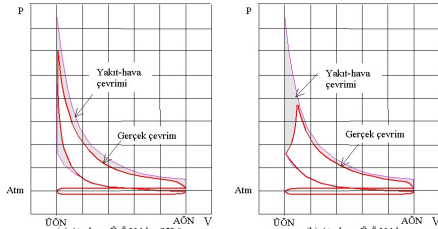
Gerçek çevrimin kayıpları...

- Yakıt-hava çevrimi ile en avantajlı ateşleme avansı durumunda elde edilen gerçek çevrim arasındaki farklar



Gerçek çevrimin kayıpları...

- Yakıt-hava çevrimi ile erken ve geç ateşleme avansı durumunda elde edilen gerçek çevrimler arasındaki farklar



Ayrışma

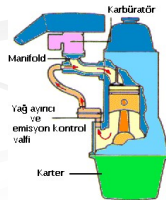
- Gerçek reaksiyonlar hiç bir zaman tam olmadığından, teorik tam yanma sıcaklıklarına hiç bir zaman ulaşamaz.
- Yüksek sıcaklıklarda bileşikler ısı alarak tekrar bileşenlerine ayrışır. İşlemler zincirleme olarak bir süre devam eder ve durur. Ancak, ayrışma sonuçta sıcaklığı sınırlandırır.
 $CO + 1/2 O_2 \leftrightarrow CO_2$
- Her sıcaklıktaki dengeli yanma ürünlerinde belirli oranlarda CO, O₂ ve CO₂ bulunmaktadır.
- Yüksek sıcaklıklarda diğer yanma ürünleri de ayrışarak, N, O, H, OH, NO ve C gibi bileşenler biçimlenebilmektedir.

Homojen olmayan karışım

- Yanma öncesinde silindir içerisinde bulunan yakıt buharı, hava ve bir önceki çevrimden kalan artık gazların tam homojen olarak karışması mümkün değildir.
- Silindirin bir kesiminde oksijen fazlalığı, diğer bir kesiminde de yakıt fazlalığı olabilir.
- Yeterli oksijeni bulamayan yakıt tam olarak yanamaz.
- Açığa çıkan ısı daha az olacağından verim düşer.

Gaz kaçakları

- Yanma odasındaki gazlar, sıkıştırma ve genişleme zamanları sırasında, supaplardan, kapak contasından ve piston ile silindir arasından olmak üzere dışarıya sızar.
- Supap ve contalardan olan kaçaklar yenileştirme ile giderilebilmekte ise de, piston ile silindir arasındaki kaçaklar önlenememektedir.
- Gaz kaçakları belirli bir kritik hıza kadar normalde düşüktür. Kritik hızın üzerinde gaz kaçakları ve motorun yağ tüketimi hızla artarken, güç hızla düşmektedir.
- Gaz kaçaklarının güç kaybı ve hava kirliliği gibi zararlı etkilerini azaltmak amacıyla, yanmamış gazları giren dolguya karıştırarak tekrar yanmasını sağlayan PCV sistemleri kullanılmaktadır.



Isı kayıpları

- Gerçek bir motorda ise soğutma nedeniyle dikkate değer oranda bir ısı kaybı olmaktadır.
- Belirlemelere göre, motora verilen enerjinin yaklaşık % 8 kadarı, egzoz supabı açılmadan önce, soğutma nedeniyle kaybedilmektedir.

Artık gazların etkisi

- Gerçek bir motordaki yanma sonunda silindirde kalan gazların tamamı dışarıya atılmadığından, hem silindirde yer işgal etmekte, hem de emme zamanında silindire alınan taze dolguya karışarak onu ısıtmaktadır.

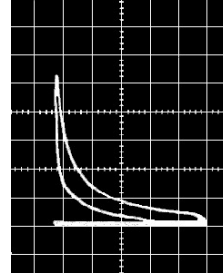
Isı atma kayıpları

- Egzoz supabının ve gazların ataletleri nedeniyle, ısının sistemden atılması tam AÖN'da yapılamaz.
- Egzoz supabı AÖN'da açılacak olursa, piston, egzoz kursunun bir bölümünde yüksek silindir basıncına karşı çalışacaktır.
- Eğer egzoz supabı çok erken açılacak olursa, bu defa da genişleme işinin bir kısmı kaybedilmiş olacaktır.

Pompalama kayıpları

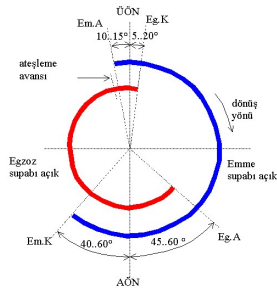
- Dalgıyı silindire emmek ve yanma artıklarını silindirden atmak için gerekli işe, "pompalama işi" veya "pompalama kaybı" denmektedir.
- Silindirden dışarıya ya da dışarıdan silindire gaz akışının olabilmesi için, ortamlar arasında basınç farkının olması gereklidir.
- Tam gazda ve düşük hızlarda, emme kursu boyunca basınçlar atmosfer basıncına yakındır.
- Kısmi gaz ve yüksek hızlarda pompalama kaybı artar. Giren dolgu kütlesinin azalması nedeniyle, net iş azalır.
- Emme zamanındaki pompalama kaybı, egzoz zamanındakine oranla daha ciddidir. Bu yüzden, motorlarda emme supabı ve yuvası, egzoz supabı ve yuvasına oranla daha geniş yapılmaktadır.
- Negatif iş alanını küçük tutabilmek amacıyla, motorun tasarımı hızı artırıldııkça supaplar daha erken açılıp, daha geç kapanacak şekilde düzenlenir.

Gerçek çevrim...



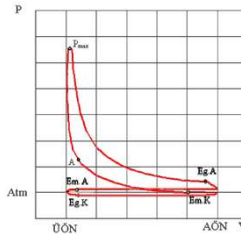
- Dört zamanlı bir benzin motorundan elektrikli indikatörle alınan P-V diyagramı

Gerçek çevrim...



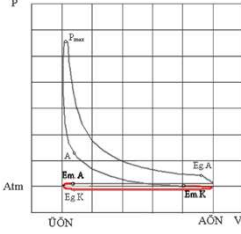
Dört zamanlı benzinli motorların supap zaman diyagramı (Küçük değerler düşük hızlar, büyük değerler ise yüksek hızlar içindir.)

Gerçek çevrim işlemleri-zamanlar



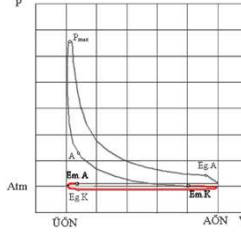
- Emme zamanı
- Sıkıştırma zamanı
- Yanma ve genişleme zamanı
- Egzoz zamanı

Emme zamanı



- Silindirin yanıcı karışım ya da hava ile doldurulması
- Supabın açık kalma süresinin az olmasından dolayı, motorun özellikle yüksek devirlerinde silindir tamamen doldurulamaz.
- Silindirin içinde daima egzoz gazı artığı bulunur.
- Normal emişli otto motorlarının doldurma verimi (hacimsel veya volumetrik verim), en fazla % 85, normal emişli diesel motorlarında ise en çok % 90 kadardır.

Emme zamanı...



- Emme supabı ÜÖN'dan 10...15° krank açısı önce açılır, (Em.A). Egzoz supabı henüz kapanmamıştır.
- Pistonun hareketine bağlı olarak silindirde 0,1...0,2 bar'lık bir basınç düşmesi meydana gelir ve karışımın silindire dolmasını sağlar.
- Emme sırasında basınç hemen hemen sabittir. Sıcaklık ise, otto motorlarda 10...40°C, diesellerde 10...20°C kadar artmaktadır.
- Egzoz supabı ÜÖN'dan 5...20° krank açısı sonra kapanır (Eg.K).
- Emme supabı AÖN'dan 40...60° krank açısı sonra kapanır (Em.K).
- Emme zamanı 255° krank açısı kadar (15° + 180° + 60° bir kurstan uzun) devam etmektedir.

20

Emme zamanı...

- Emme zamanında silindire alınan dolgunun miktarı, önemli ölçüde aşağıdaki faktörlere bağlıdır:
 - Emme supabının açık kalma süresi
 - Emme ve egzoz sisteminin hidrolik dirençleri
 - Taze dolgunun, motorun sıcak parçalarına teması ve silindirde bir önceki çevrimden kalan gazlarla karışarak ısınması
 - Silindirde bir önceki çevrimden kalan artık gazların miktarı

Emme zamanındaki basınç

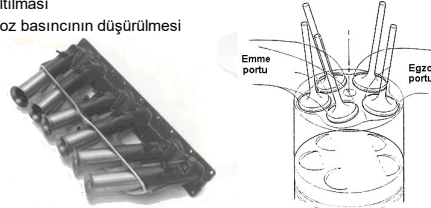
- Piston ÜÖN dan AÖN'ya doğru hareket ettiğinde artık gazların basıncı atmosfer basıncına düşer ve ardından silindir taze karışımla doldurulur.
- Taze dolgunun basıncı, emme sistemindeki hidrolik kayıplar nedeni ile atmosfer basıncının da altına düşer.
- Emmenin sonlarına doğru silindire giren dolgunun ataleti nedeni ile oluşan hız başlığına bağlı olarak basınç biraz yükselir.

Emme zamanındaki basınç...

- Emme sistemindeki dirençlerin oluşturduğu basınç düşmesi;
$$\Delta P_1 = P_a - P_0$$
- ΔP_1 dört zamanlı süperşarjlı motorlarda P_a : Atmosfer basıncı (kPa)
(0,10-0,25) P_a (büyük değerler buji ile ateşlemeli ve gaz motorlarına, küçük değerler de diesel motoruna uymaktadır.),
 P_0 : 0 noktasındaki basınç (kPa)
 P_1 : kompresör çıkış basıncı
- Dört zamanlı süperşarjlı motorlarda ise; taze dolgu emme sistemine bir süperşarj aracıyla basıldığından (0,05 - 0,10) P_1 arasında değişmektedir.
- Emme sonundaki basınçlar şu eşitliklerle belirtilir:
$$P_1 = P_0 - \Delta P_1$$
$$P_1 = P_1' - \Delta P_1$$

Emme zamanındaki basınç...

- Yoğunluk ve bu nedenle dolgunun kütlesi, P_1 basıncının değerlerinin yükselmesi ile artmaktadır.
- Tasarımı sırasında emme basıncını yükseltmek için şu çalışmalar yapılmaktadır:
 - emme supabı çevresindeki alanın büyütülmesi
 - emme sistemi iç yüzeylerinin düzgünlüğünün artırılması
 - emme manifoldunun boyunun kısaltılması ve dirsek sayısının azaltılması
 - egzoz basıncının düşürülmesi



Emme zamanındaki sıcaklık

- Yakıt buharlaşması nedeniyle buji ile ateşlemeli motorlardaki dolgunun sıcaklığı başlangıçta düşmektedir. Dolgu, motorun sıcak kesimleri ile temas ettiğinde ve artık gazlarla karışarak ısınır.
- Dolgunun ısınma derecesi ΔT_i ;
 - motorun yüküne,
 - devir sayısına
 - soğutma düzeyine bağlıdır.
- Yük artışı çevrimin ortalama sıcaklığını yükseltir. Isıtma, dolgunun yoğunluğunu azaltır ve silindire alınan yanıcı karışım ya da havanın miktarı azalır. Motor devri arttığında ısınma derecesi düşer.
- Deneysel verilere göre ΔT değeri,
 - buji ile ateşlemeli motorlarda 10-40°C
 - diesel motorlarında 10-20°Carasındadır.

Artık gazların kütle oranı

- Egzoz sonunda silindirde kalan artık gazların kütle oranı

$$f_s = \frac{M_s}{M_i} \quad M_s \text{ ve } M_i \text{ kilomol}$$

- f_s katsayısı, yanma odasının hacmindeki bir büyüme ile sıkıştırma oranının düşmesi ve artık gazların basıncının artması, artar.
- Tam yükte gazlar katsayısı f_s :
 - Buji ile ateşlemeli motorlarda....: 0,06 - 0,12
 - Diesel motorlarda.....: 0,03 - 0,06
 - İki zamanlı motorlarda.....: 0,03 - 0,40

Emme sonundaki sıcaklık

- Taze dolgunun emme sonundaki T_1 sıcaklığı:
 $M_i m C_p (T_1 + \Delta T) + M_s m C_p T_s = (M_i + M_s) m C_p T_1$
 $m C_p'$, $m C_p''$, $m C_p$: Taze dolgu, artık gazlar ve iş gazlarının sabit basınçtaki ortalama kilomolar ısı kapasiteleri (kJ/kmolK)
 T_a : Dolgunun silindire alınmadan önceki sıcaklığı, K
 $T_1 + \Delta T$: Dolgunun motorun sıcak kısımları ile temas etmesi sonucu artan sıcaklığı, K
- Artık gazların miktarı, taze karışım miktarına oranla az olduğundan, ısı kapasiteleri arasındaki fark ihmal edilebilir. Böylece tüm terimler M_i ile bölünürse;
 $T_0 + \Delta T + \frac{M_s}{M_i} T_s = (1 + \frac{M_s}{M_i}) T_1$

Emme sonundaki sıcaklık...

$M_s = f_s$ olduğu için, sonuncu eşitlik dolgunun sıcaklığı T_1 e göre çözümlürse;

$$T_1 = \frac{T_0 + \Delta T + f_s T_s}{1 + f_s}$$

- Dolgunun sıcaklığı emmenin sonunda, ΔT ve f_s değerlerindeki artışa bağlı olarak yükselmektedir.
- Eşitlik dört ve iki zamanlı motorların her ikisi için de kullanılabilir.
- T_s ve T_1 sıcaklıklarının değerleri:

	T_s (K)	T_1 (K)
■ Buji ile ateşlemeli motorlar	900 – 1100	340 - 400
■ Diesel motorlar için	700 – 900	310 - 360

Hacimsel verim

- Normal emişli motorlarda silindire alınan dolgu miktarı, alınması gereken miktardan daha azdır.
- Silindirin taze dolgu ile doldurulma derecesi hacimsel verim (η_v) ile belirtilir ve gerçekte silindire giren taze dolgu kütlelerinin, teorik olarak gereken dolgu kütlelerine oranıdır.

$$\eta_v = \frac{m_1}{m_0} = \frac{M_1}{M_0}$$

Hacimsel verim gerçekte kütleli verimdir.

Hacimsel verim...

$PV = 8314 MT$ karakteristik eşitliğinden yararlanarak, taze dolgunun, artık gazların ve karışımın kilomol değerlerinin belirlenebilmesi için şu eşitlikler yazılabilir:

$$M_i = \eta_v \frac{P_0 V_h}{8314 T_0}$$

$$M_s = \frac{P_s V_s}{8314 T_s}$$

$$M_1 = M_i + M_s = \frac{P_1 V_1}{8314 T_1}$$

M_i , M_s ve M_1 değerleri yerlerine koyular ve ısı kapasiteleri arasındaki farklar ihmal edilirse;

$$\eta_v = \frac{P_0 V_h (T_0 + \Delta T)}{8314 T_0} + \frac{P_s V_s T_s}{8314 T_s} = \frac{P_1 V_1 T_1}{8314 T_1}$$

Hacimsel verim...

$V_1 = (\epsilon - 1) V_2$ ve $V_3 = V_2$ olduğuna göre, son eşitlik V_2 'ye bölünürse, kısaltmalardan sonra şu eşitlik elde edilir:

$$\eta_v = \frac{P_0(\epsilon - 1)(T_0 + \Delta T)}{T_0} + P_3 = \epsilon P_1$$

- Eşitlik, dört zamanlı bir motorun hacimsel verimini belirlemek için kullanılabilir.

$$\eta_v = \frac{\epsilon P_1 - P_3}{(\epsilon - 1) P_0} \frac{T_0}{T_0 + \Delta T}$$

$$= \frac{1}{\epsilon - 1} \left(\epsilon \frac{P_1}{P_0} - \frac{P_3}{P_0} \right) \frac{T_0}{T_0 + \Delta T}$$

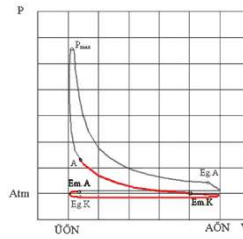
Hacimsel verim...

- η_v 'yi etkileyen temel parametre, emme sonu basıncı P_3 'dir. Diğer tüm durumlar eşit olmak kaydıyla P_3 basıncındaki 0,1 bar'lık bir değişim, η_v de yaklaşık olarak % 15 - 18 kadar değişmeye neden olmaktadır. P_3 'deki aynı değerdeki bir değişimin etkisi sadece % 1 - 2 kadardır.
- P_3 basıncı emme sistemindeki hidrolik kayıplara bağlıdır. Bu da yanıcı karışımın hızının karesiyle orantılı ΔP kadar bir basınç düşmesi demektir.
- Taze dolgunun sıcaklık artışı ΔT 'deki bir yükselme η_v de bir düşmeye neden olur.
- Motor testleri, η_v 'nin sıkıştırma oranına hemen hemen bağlı olmadığını göstermektedir.

Hacimsel verim...

- Hacimsel verim, silindir ölçüleri, supap konumları, emme sistemi tasarımı ve supap zamanları tarafından etkilenmektedir. Silindir çapı büyük ise, emme supap çapları büyütülebilir ve böylece emme sistemindeki taze dolgu hızı ve hidrolik kayıplar azaltılabilir.
- Hacimsel verim silindir strot/çap oranı düşük olan ($H/D = 0,8 - 0,9$) motor kullanılarak artırılabilir.
- Üstten supaplar yerleştirildiğinde, emme manifoldu bükümleri azaltılabilir, emme sistemindeki hidrolik kayıplar azaltılabilir.
- Supap zamanları, belirli bir motor devir aralığında maksimum silindir doldurmasını garanti edecek şekilde, deneysel olarak belirlenir.
- Maksimum güç hızlarındaki η_v değerleri aşağıdaki gibidir.
 - Buji ile ateşlemeli motorlar
 - Yandan supaplı..... 0,70 - 0,75
 - Üstten supaplı..... 0,70 - 0,85
 - Diesel motorları..... 0,75 - 0,90

Sıkıştırma zamanı



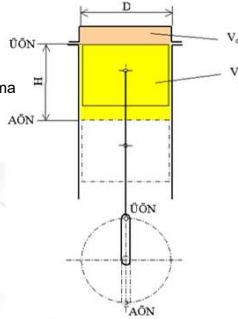
- Sıkıştırma, verim ve güç artışı sağlamak üzere taze dolgunun basıncının artırılmasıdır.
 - Sıkıştırma, karışımın ateşlenmesi ve yanması için uygun şartları yaratır.
 - Sıkıştırma sonu basıncı yüksek olduğunda, maksimum yanma basıncı da yüksek olur ve genişleme zamanında gazlar daha fazla genişleyebilir.
- Sıkıştırma sonu basınçları
- otto motorlarında 10...15 bar
 - diesellerde 30...45 bar
- Sıkıştırma sonu sıcaklıkları
- otto motorlarında 400...500°C
 - diesellerde 500...650°C kadardır.

Sıkıştırma oranı

- Sıkıştırmanın derecesi, **sıkıştırma oranı** ile açıklanır.

$$\epsilon = \frac{V_t}{V_c} = \frac{V_h + V_c}{V_c}$$

- Sıkıştırma oranı yüksek olduğunda yanma odasının yüzeyleri küçük olmakta ve yanma sırasında soğuma nedeniyle ısı kaybı daha az olmaktadır.

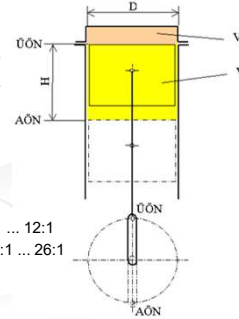


Sıkıştırma oranı...

- Otto motorlarında, sıkıştırma sonu sıcaklığının, yakıtın kendi kendine tutuşma sıcaklığına (480...500°C) aşmasına izin verilmez. Aksi takdirde 250...300 m/s'lik alev hızı ile "vuruntu" denen sesli bir çalışma meydana getirir.
- Diesel motorlarında ise, havanın sıkıştırma sonundaki sıcaklığı, diesel yakıtının kendi kendine tutuşması için gerekli sıcaklıktan (300...350°C), 200...300°C daha yüksek olmalıdır.

- Sıkıştırma oranları;

- dört zamanlı otto motorlarında 6:1 ... 12:1
- dört zamanlı diesel motorlarında 12:1 ... 26:1 arasındadır.



Sıkıştırma işlemi

- Gerçek çevrimdeki sıkıştırma işlemi, taze dolgu ile motor parçaları arasında ısı alış veriş şartlarında gerçekleşmektedir.
- Sıkıştırmanın başlangıcında sıcak kısımlardan taze dolguya ısı transferi olmaktadır ($n_1 > k$).
- Sıkıştırma ilerledikçe ısınan dolgudan parçalara ısı transferi olur ($n_1 < k$).
- Kolaylık bakımından, gerçek sıkıştırma işlemi, ortalama bir n_1 üssü ile gerçekleşen politropik işlem olarak kabul edilmektedir.

Sıkıştırma işlemi...

- Politropik üs n_1 'in ortalama değeri şu faktörlere bağlıdır:
 - motor hızı
 - silindir boyutları
 - soğutma miktarı
 - yanma odasının biçimi
 - diğer tasarım özellikleri
- n_1 yüksek motor hızlarında yükselir, sıkıştırma zamanının ortalama sıcaklığı ile soğutma miktarı arttıkça düşer.
- Yükün ve motor sıkıştırma oranının n_1 üssüne etkisi ihmal edilebilir.
- n_1 'in ortalama değerleri:
 - Buji ile ateşlemeli motorlarda... 1,32 - 1,39
 - Gaz motorlarında..... 1,30 - 1,38
 - Diesel motorlarda..... 1,36 - 1,40

Sıkıştırma sıcaklık ve basınçları

- Sıkıştırma başlangıcındaki sıcaklık ve basınç;

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

- Sıkıştırma sonundaki basınç ve sıcaklık;

$$P_2 = P_1 e^{n_1}$$

$$T_2 = T_1 e^{n_1 - 1}$$

Sıkıştırma sıcaklık ve basınçları...

- Sıkıştırma sonundaki basınç ve sıcaklık şunlara bağlıdır:

- sıkıştırma oranı
- motor hızı
- segmanların sayısı
- silindir ve segmanların aşınma miktarları
- Sıkıştırma sonu sıcaklıkları:
 - Buji ile ateşlemeli motorlarda... 600 - 750 K
 - Diesel motorlarda..... 750 - 900 K

ÖRNEK

- Silindir çapı $D = 100$ mm, kursu $H = 90$ mm olan dört zamanlı buji ile ateşlemeli bir motor hakkında aşağıdaki değerler bilinmektedir:

- Sıkıştırma oranı $\varepsilon = 8/1$
- Emme başlangıcındaki sıcaklık, $T_{in} = 293$ K,
- Emme başlangıcındaki basınç, $P_{in} = 96$ kPa,
- Sıkıştırmanın politropik üssü, $n_1 = 1,36$,
- Egzoz gazlarının sıcaklığı, $T_{ex} = 850$ K,
- Egzoz gazlarının basıncı, $P_{ex} = 100$ kPa,
- Artık gazların kütle oranı $f = 0,05$

- Kurs hacmi ile sıkıştırma sonundaki hacim, basınç ve sıcaklığı hesaplayınız.

ÇÖZÜM

Strok (kurs) hacmi;

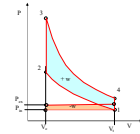
$$V_h = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot H = \frac{\pi \cdot 0,1^2}{4} \cdot 0,09 = 0,000707 \text{ m}^3$$

yanma odasının hacmi;

$$V_c = \frac{V_h}{\varepsilon - 1} = \frac{0,000707}{8 - 1} = 0,000101 \text{ m}^3$$

silindir hacmi:

$$V_t = V_h + V_c = 0,000707 + 0,000101 = 0,000808 \text{ m}^3$$



ÇÖZÜM...

- Sıkıştırma başlangıcındaki sıcaklık ve basınç

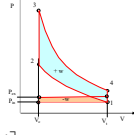
$$T_1 = (1-f)T_{in} + fT_{ex} \left[1 - \left(1 - \frac{P_{in}}{P_{ex}} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]$$
$$= (1-0,05) \cdot 293 + 0,05 \cdot 850 \left[1 - \left(1 - \frac{96}{100} \right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} \right] = 320,4 \text{ K}$$

$$P_1 \approx P_i = 96 \text{ kPa}$$

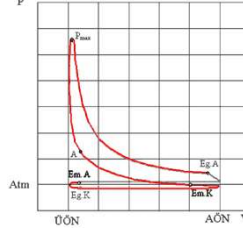
Sıkıştırma sonundaki basınç ve sıcaklık

$$P_2 = P_1 \cdot \epsilon^{n1} = 96 \cdot 8^{1,36} = 1623,58 \text{ kPa}$$

$$T_2 = T_1 \cdot \epsilon^{n1-1} = 320,4 \cdot 8^{1,36-1} = 677,3 \text{ K}$$

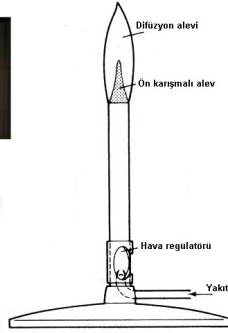


Yanma ve genişleme zamanı



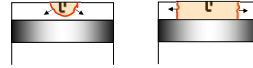
- Sıkıştırmanın sonuna doğru, otto motorlarında karışım ateşlenir, dieselerde püskürme başlar.
- Ateşleme veya püskürtme başlangıcı, maksimum gücü sağlamak amacı ile deneysel olarak bulunur.
- Motorun ana işlemi, yanma ve yanma ürünlerinin bunu izleyen genişlemesidir. Diğer zamanlar bunun hazırlanmasına yöneliktir.
- Yanma ile yakıtın kimyasal enerjisi ısı enerjisine dönüştürülür ve bir bölümü mekanik işe çevrilir.
- Otto ve diesel motorları arasındaki en önemli ayırtıcı özellik, karışımın hazırlanması ve yanmasındaki farklılıktır.

Ön karışmalı ve difüzyif yanma



Yanma

Yanma sırasında silindir hacmi çok dardır.

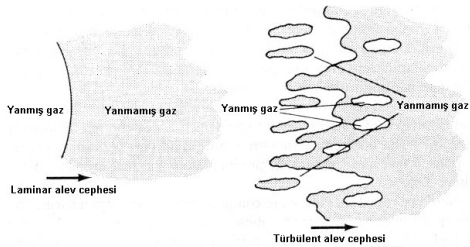


Piston ve silindir kapağına ısı kaybı çok önemlidir. Isı kaybının azaltılması için şu iki yöntemden biri ile yanma süresinin azaltılması (yüksek alev hızı) gerekir:

- a) laminar yanma hızı
- b) türbülans şiddeti

Laminar ve türbülent yanma

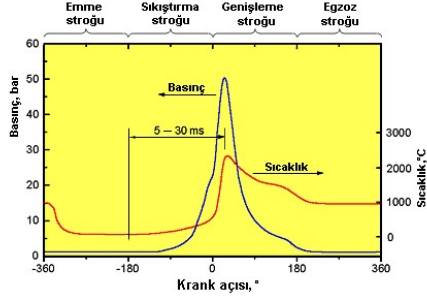
En yüksek laminar yanma hızı (en fazla güç ve en az ısı kaybı) hafif zengin karışımlarla elde edilmektedir. (izooktan için hava fazlalık katsayısı $\lambda = 0,885$ iken maksimum $c_f = 26,3$ cm/s).



Otto motorlarında yanma

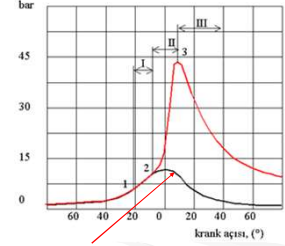
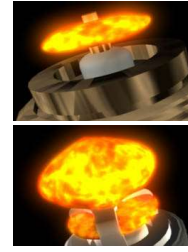
- Otto motorlarında yanma, teorik çevrimde olduğu gibi sabit hacimde olmayıp, 0,001...0,002 saniye gibi bir süre içerisinde gerçekleştiğinden, maksimum yanma sonu basınçlarına ulaşabilmek için ateşlemenin ÜÖN'dan önce yapılması zorunludur.
- Deneysel gözlemler, maksimum motor basıncına ÜÖN'dan 5...10° sonra ulaşılması durumunda maksimum motor gücünün elde edildiğini göstermektedir.
- ÜÖN dolayında gerçekleşen bu olayları daha iyi gözleyebilmek için, açık indikatör diyagramı kullanılmaktadır.
- Açık indikatör diyagramı, basınç değişimlerini krank açısı ya da zamana bağlı olarak gösteren diyagramlardır.

Otto motorlarında yanma...



Otto motorlarında yanma...

Otto motorunun P-θ diyagramı



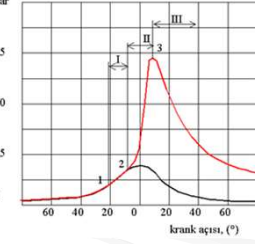
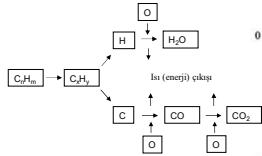
Ateşleme kesildiği zaman silindire meydana gelen basınç değişimi

Eğrinin asimetrikliğinin nedeni, gazlarla silindir yüzeyi arasındaki ısı transferi ve aynı zamanda piston ile silindir yüzeyi arasındaki gaz kaçaqlarıdır.

50

Otto motorlarında yanma...

- 1. "Yanmanın başlangıç bölümü"^{bar}
- Alevlenme öncesi oksitlenmeler ve fazla bir basınç artışı olmaksızın, sıcaklıkta küçük bir artış
- Krankın 4...6°'lik bir dönüşüne rastlar ve karışımın % 6...8 kadarı yanar.

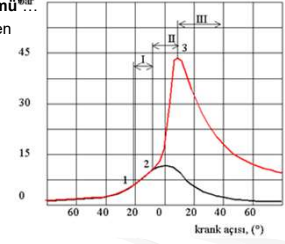


Otto motorlarında yanma...

1. "Yanmanın başlangıç bölümü"^{bar}

- Δα₁ ve 1-2 noktaları ile gösterilen birinci bölüm, "basınç artış gecikmesi" olarak da tanımlanmaktadır.

- 1. Bölümün süresi şunlara bağlıdır:
 - hava fazlalık ve artık gazlar katsayısı
 - yakıt moleküllerinin yapısı
 - ateşleme kaynağının enerjisi
 - sıkıştırma oranı
 - motor yükü



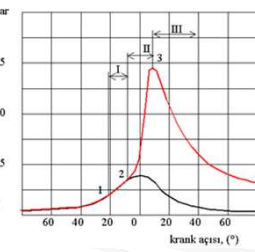
Otto motorlarında yanma...

2. "Görülebilir veya etkili yanma bölümü"^{bar} krankın 20...30°'lik dönüşüne rastlar ve karışımın % 90 kadarı yanarak hızlı bir basınç artışı sağlanır.

Otto motorlarındaki maksimum basınç, 40...60 bar kadardır.

2. Bölümün süresi şunlara bağlıdır:

- karışımın kompozisyonu
- sıkıştırma oranı
- ateşleme avansı
- yanma odası biçimi
- karışımın türbülans düzeyi
- motor yükü



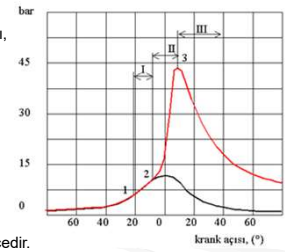
Otto motorlarında yanma...

2. Bölümde bir derecelik krank dönüşüne rastlayan basınç artışı, "basınç artış oranı" ile ifade edilir.

Bu sayının ortalama değeri "yanma yoğunluğu" olarak da adlandırılır.

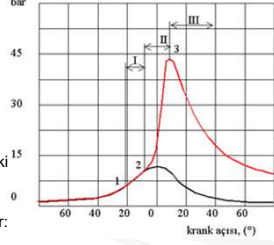
$$\text{Basınç artış oranı} = \frac{\Delta P_{II}}{\Delta \theta_{II}}$$

Basınç artış oranı, normal çalışmalarda 1,2...2,6 bar/derecedir.



Otto motorlarında yanma...

- Basınç artış oranı 1,2 bar/dereceden az olursa yanma genişleme kursuna sarkar, maksimum yanma sonu basınçlarına ulaşamaz ve yakıt ekonomisi kötüleşir.
- 2,6 bar/dereceden fazla olursa, motor sert veya vuruntulu çalışır ve krank-biyel mekanizmasına etki eden yükleri artırarak, fazla aşıntı ve hasara neden olabilir.
- Basınç artış oranı şunlara bağlıdır:
 - sıkıştırma oranı
 - türbülans oranı
 - avans açısı, vd.



ÖRNEK

- Dört zamanlı bir otto motorunda basınç, yanmanın birinci bölümünün sonunda 20 bar, ikinci bölümünün sonunda 60 bar olmuş, bu sırada krank mili 30° dönmüştür.
- Motordaki yanma işlemini değerlendiriniz.

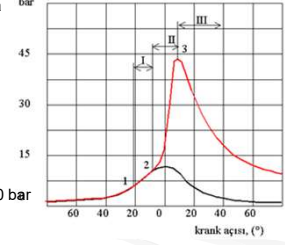
ÇÖZÜM

$$\Delta P = P_3 - P_2 = 60 - 20 = 40 \text{ bar}$$

Basınç artış oranı

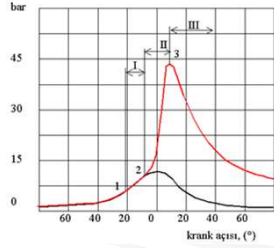
$$\frac{\Delta P_H}{\Delta \theta_H} = \frac{40}{30} = 1,333 \text{ bar/krank derecesi}$$

1,2 < 1,333 < 2,6 olduğundan işlem normaldir.



Otto motorlarında yanma...

- 3. "Sonradan yanma bölümü" olarak bilinir. Yanmanın tamamlandığı noktanın bilinmesine bağlı olduğundan, bitiş noktasının belirlenmesi zordur.
- Üçüncü bölümün süresi şunlara bağlıdır:
 - karışımın yapısı,
 - ateşleme avansı
 - türbülans düzeyi

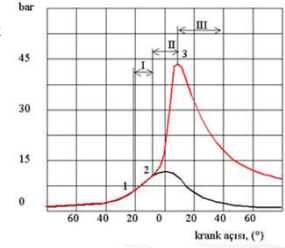


Otto motorlarında yanma...

- Hava-yakıt karışımının tamamıyla yanması için yaklaşık 1/1000 s gereklidir.
- Alev cephesi normal yanma sırasında 15... 30 m/s'lik bir hızla yanma hacmine yayılır.

Yanma süresi

$$t_c = \frac{\Delta \theta}{6n}$$



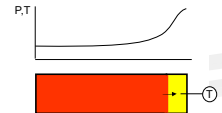
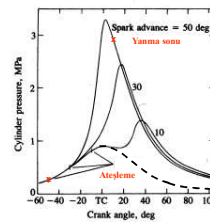
Yanmayı etkileyen faktörler

- Hava fazlalığı ve artık gazlar katsayısı ile tanımlanmış olan çalışma maddesinin kompozisyonu, yanmayı ve alevin ilerleme hızını önemli ölçüde etkilemektedir. Yanma hızı şu faktörlere bağlıdır:
 - karışımın yapısı ve türbülansı
 - sıkıştırma oranı
 - yanma odasının biçimi
 - avans açısı
 - bujinin yeri
 - motor yükü

Yüke bağlı olarak karışımın basınç ve sıcaklığı normal yanma değerlerinin üzerine çıkarsa, yanma patlamaya (detonasyon) dönüşür. Detonasyon son derece kararsız bileşikler olan aktif peroksitler tarafından oluşturulmaktadır. Detonasyon genellikle kuvvetli metalik vuruntular, motorun aşırı ısınması, egzozda siyah duman ve kararsız motor çalışması biçiminde kendini belli eder. Detonasyonlu çalışmanın uzaması gücü azaltır, yakıt tüketimini artırır, pistonların yanmasına ve krank yatak elemanlarının sürtünme giderici kaplamasının hasarına neden olabilir.

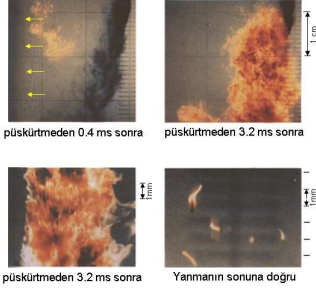
Otto motorlarında yanma...

Ateşleme avansının artırılması yanma sonunu ÜÖN'ya yaklaştırır ve yanmamış gazların basınç ve sıcaklığını artırır.



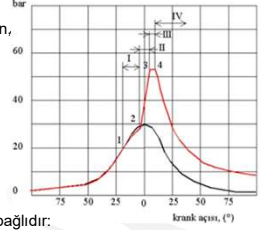
Diesel motorlarında yanma

- Modem diesel motorlarında yanma giderek teorik otto çevrimindeki yanmaya benzemektedir.
- Yakıtın püskürtülmesi ve yanıcı karışımın oluşması 0,001...0,002 s ve yanması da yine 0,001...0,002 s gibi bir süre içerisinde gerçekleştiğinden, maksimum basınçlara ulaşabilmek için, yakıtın ÜÖN'dan önce püskürtülmesi zorunludur.
- ÜÖN'dan hemen sonra 90 bar kadar maksimum basınç elde edilmektedir.



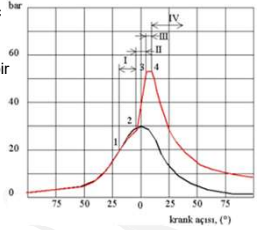
Diesel motorlarında yanma...

- 1. "Tutuşma gecikmesi bölümü".** Basınçta önemli bir değişim olmaksızın, yakıtın yanmaya hazırlanması için fiziksel ve kimyasal değişimler olur.
- Enjekte edilen yakıtın oldukça soğuk olması ve buharlaşması sırasında ısı alması, silindir basınç ve sıcaklık artış hızında bir yavaşlamaya neden olur.
- Tutuşma gecikmesi, günümüz motorlarında 0,001...0,002 s kadardır.
- Birinci bölümün genişliği şu faktörlere bağlıdır:
 - yakıtın özellikleri,
 - sıkıştırılan havanın basınç ve sıcaklığı
 - türbülans derecesi



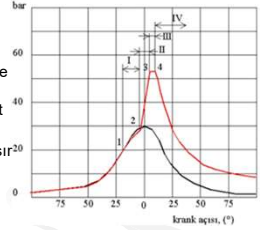
Diesel motorlarında yanma...

- 2. "Yoğun ısı çıkışı veya hızlı basınç artışı bölümü".** İlk bölümde yanmaya hazır hale gelen karışımla birlikte, enjeksiyonu süren yakıtın da önemli bir kısmı yanmaktadır.
- Enjeksiyon, ikinci bölüm süresince devam edebilir veya daha önce de kesilebilir.
- İkinci bölüm sırasındaki basınç artışı şunlara bağlıdır:
 - tutuşma gecikmesi
 - yakıtın atomizasyon kalitesi
 - enjeksiyon miktar ve süresi



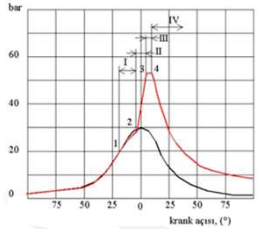
Diesel motorlarında yanma...

- İkinci bölümdeki basınç artışı oranı normal koşullarda 3...5 bar/krank derecesi arasında olmalıdır.
- Altındaki değerlerde yanma genişleme kursuna sarkar, maksimum yanma sonu basınçlarına ulaşamaz ve yakıt ekonomisi kötüleşir.
- Üstündeki değerlerde motor sert çalışır ve krank-biyel mekanizmasına etki eden yükler artarak, aşırı aşınma ve hasara neden olabilir.



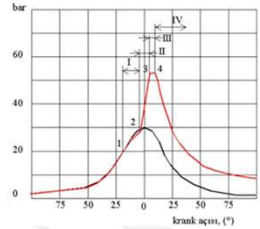
Diesel motorlarında yanma...

- İkinci bölümün süresi şunlara bağlıdır:
 - tutuşma gecikmesi
 - yakıtın yanma odası içerisindeki dağılımı
 - ilk periyot boyunca sağlanan yakıt miktarı
 - enjeksiyon oranı
 - ikinci bölüm boyunca enjekte edilen yakıt miktarı



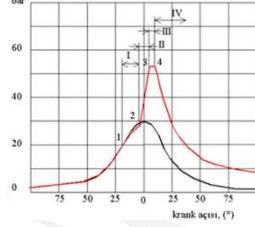
Diesel motorlarında yanma...

- 3. "Kontrollü yanma bölümü".** Bölüm, maksimum gaz sıcaklığına ulaşıldığında sona erer.
- En iyi koşullarda maksimum yanma sonu sıcaklığına ÜÖN'dan 20...35° krank açısı sonra ulaşılmaktadır. Yakıt enjeksiyonu genellikle bu bölüm öncesinde sona ermektedir.
- Oksijen miktarı azalmış, karışım yanma ürünleri ile karışmış ve piston da ÜÖN'dan biraz daha uzaklaşmış olduğundan, sıcaklık artışı ikinci bölüme oranla daha yavaştır.
- Üçüncü bölümün süresi şunlara bağlıdır:
 - yakıt karakteristiği
 - dolgunun türbülans derecesine
 - hava fazlalık katsayısı



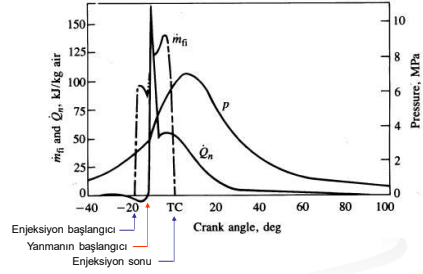
Diesel motorlarında yanma...

- 4. "Sonradan yanma bölümü".
- Yüksek hızlı motorlarda, düşük hızlara oranla daha uzundur.
- Sonradan yanma egzoz gazlarının sıcaklığını yükseltir ve soğutmaya daha fazla ısı kaybı nedeniyle yakıt ekonomisini kötüleştirir.
- Bu bölümdeki ısı kayıpları, dolgunun türbülansının artırılması ile azaltılabilir.



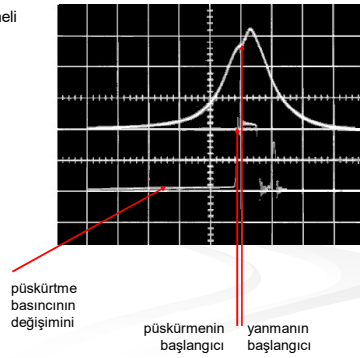
Diesel motorlarında yanma...

Diesel motorlarında yakıt debisi, ısı çıkışı ve silindir basınç değişimleri



Diesel motorlarında yanma...

- Sıkıştırma ile ateşlemeli bir motordan elektriki indikatörle alınan P-t diyagramı



Yanma sonu sıcaklığı

- Otto motorlarındaki yaklaşık yanma sonu sıcaklığı:

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

- Diesel motorlarında sabit hacimdeki yaklaşık yanma sonu sıcaklığı:

$$T_3 = T_2 + \frac{(1-f)q_{f23}}{C_v}$$

- Sabit basınçtaki yaklaşık yanma sonu sıcaklığı:

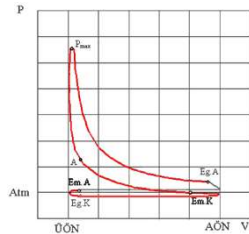
$$T_4 = T_3 + \frac{(1-f)q_{f34}}{C_p}$$

Yanma sonu sıcaklığı...

- Tam yük çalışması sırasındaki T_{maks} ve P_{maks} değerleri:

	P_{maks} (bar)	T_{maks} (K)
Buji ile ateşlemeli motor.....	30-50	2300-2700
Gaz motorlarda.....	25-45	2200-2500
Diesel motorlarda.....	50-110	1800-2200

Genişleme zamanı



- Genişlemenin başlarında, yoğun sonradan yanma nedeni ile gazlara olan ısı geçişi, silindir yüzeylerinde kaybedilen ısıdan çok daha fazla olduğundan n_2 k dan küçüktür.
- Sonradan yanma azaldıkça n_2 artar.
- Gazlar genişlemeye devam ettikçe, silindir yüzeylerine olan ısı kaybı, sonradan yanma ile sağlanan ısı artışından daha fazla olduğunda n_2 artar.

- n_2 değerleri
 - dört zamanlı otto motorlarında 1,25...1,33
 - dört zamanlı diesel motorlarında 1,22...1,25

Genişleme sonu basınç ve sıcaklığı

- Otto motorlarındaki genişleme sonu basınç ve sıcaklığı

$$P_4 = P_3 / \varepsilon^{n_2}$$

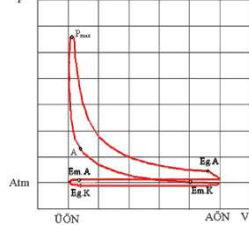
$$T_4 = T_3 / \varepsilon^{n_2-1}$$

- Diesel motorlarındaki genişleme sonu basınç ve sıcaklığı

$$P_5 = P_4 \left(\frac{V_4}{V_5} \right)^{n_2}$$

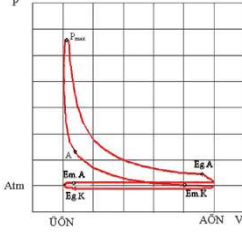
$$T_5 = T_4 \left(\frac{V_4}{V_5} \right)^{n_2-1}$$

Egzoz zamanı



- Egzoz supabı, AÖN'dan 45...60° önce (EgA) açılır ve basınç hızla 250-400 kPa'a düşer.
- Supabı erken açma motor gücünü biraz azaltır. 4...7 bar basınçtaki gazlar, yüksek bir hızla silindirden dışına çıkar. Kalanı da, piston tarafından süpürülür.

Egzoz zamanı...



- Egzoz sisteminde periyodik elastik gaz salınımları olmaktadır. Bu salınımların hesap edilmeyişleri nedeniyle ortalama sabit bir basınç değerlendirilmektedir.
- Egzoz gaz basıncı motorun hızına, egzoz sisteminin tasarım özellikleri ve boyutlarına bağlı olarak 1,05 - 1,2 bar arasındadır.
- Egzoz gazlarının sıcaklığı, genişleme sonundaki gaz sıcaklıkları ile aynı faktörlere bağlıdır.

Egzoz zamanı...

- Egzoz gazları önemli ölçüde enerji içerir ve türboşarjörün türbinini çevirmek için kullanılabilir. Türbin egzoz sistemindeki direnci ve P_e basıncını artırır. Ancak bu direnç artışı tamamen yüksek emme basıncı tarafından karşılanır.
- Egzoz gazlarının kompozisyonu şunlara bağlıdır:
 - yakıtın ve karışımın kalitesi
 - karışımı oluşturma ve ateşleme metotları
 - çalışma koşulları
 - motorun teknik durumu, vb.

Egzoz zamanı...

- Egzoz gazları zararlı olmayan maddeler olan karbondioksit ve su buharı ile karbonmonoksit, yanmamış hidrokarbonlar, nitrojen oksitleri gibi zararlı maddelerden meydana gelir. Bunların yanı sıra CO, NO_x ve aldehitler gibi zehirli bileşikler de içerirler.

Egzoz zamanındaki basınç ve sıcaklık

- Egzoz kursu boyunca silindirdeki gazların basıncı, motorun hızına ve egzoz sisteminin tasarım özelliklerine bağlıdır.
- Egzoz kursu boyunca silindirdeki gazların basıncı (P_e) 1,05...1,2 bar,
- Egzoz kursu sonundaki gaz sıcaklıkları (T_e):
 - dört zamanlı otto motorlarında 900...1100 K
 - dört zamanlı diesel motorlarında 700...900 K

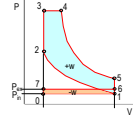
ÖRNEK

■ Dört zamanlı bir diesel motoru hakkında aşağıdaki değerler belirlenmiştir:

- Sıkıştırma oranı $\epsilon = 20/1$
- Emme başlangıcındaki sıcaklık, $T_1 = 300 \text{ K}$
- Emme başlangıcındaki basınç, $P_1 = 98 \text{ kPa}$
- Sıkıştırmanın politropik üssü, $n_1 = 1,36$
- Yakıt enjeksiyonu ile sisteme verilen ısı $q_f = 1254 \text{ kJ/kg}$
- Çevrimin maksimum basıncı, $P_{\text{max}} = 90 \text{ bar}$
- Genişlemenin politropik üssü, $n_2 = 1,25$
- Egzoz gazlarının sıcaklığı, $T_6 = 796 \text{ K}$
- Egzoz gazlarının basıncı, $P_6 = 98 \text{ kPa}$
- Artık gazların kütle oranı $f = 0,05$
- $C_{v23} = 0,886 \text{ kJ/kgK}$, $C_{p34} = 1,241 \text{ kJ/kgK}$

■ Durum cetvelini düzenleyiniz.

ÇÖZÜM



Durum	1	2	3	4	5	6
P KPa	98		(9000)	(9000)		
v m³/kg	0,951					
T K	324,8					

Sıkıştırma başlangıcındaki basınç;

$$P_1 \approx P_1 = 98 \text{ kPa}$$

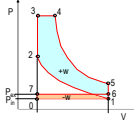
$$P_1 \approx P_6 \text{ olduğundan}$$

$$T_1 = (1-f)T_1 + f T_6 = (1 - 0,05) 300 + 0,05 \cdot 796 = 324,8 \text{ K}$$

$$v_1 = \frac{RT_1}{P_1} = \frac{0,287 \cdot 324,8}{98} = 0,951 \text{ m}^3/\text{kg}$$

80

ÇÖZÜM...



Durum	1	2	3	4	5	6
P KPa	98	5762	(9000)	(9000)		
v m³/kg	0,951	0,048	0,048			
T K	324,8	955	1492			

Sıkıştırma sonundaki basınç;

$$P_2 = P_1 \cdot \epsilon^{n_1} = 98 \cdot 20^{1,36} = 5762,7 \text{ kPa}$$

sıcaklık

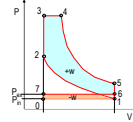
$$T_2 = T_1 \epsilon^{n_1 - 1} = 324,8 \times 20^{1,36 - 1} = 955 \text{ K}$$

$$\lambda = \frac{P_3}{P_2} = \frac{9000}{5762,7} = 1,562$$

sabit hacimdeki yanma sonu sıcaklığı

$$T_3 = T_2 \cdot \lambda = 955 \cdot 1,562 = 1492 \text{ K}$$

ÇÖZÜM...



Durum	1	2	3	4	5	6
P KPa	98	5762	(9000)	(9000)		
v m³/kg	0,951	0,048	0,048	0,068		
T K	324,8	955	1492	2124,3		

$$q_{f23} = \frac{C_v (T_3 - T_2)}{1 - f} = \frac{0,886(1492 - 955)}{0,95} = 475,8 \text{ kJ/kg}$$

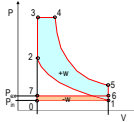
Sabit basınçta sisteme verilen ısı;

$$q_{f34} = q_f - q_{f23} = 1254 - 475,8 = 778,2 \text{ kJ/kg}$$

$$T_4 = T_3 + \frac{(1-f)q_{f34}}{C_p} = 1492 + \frac{(1-0,05)778,2}{1,241} = 2124,3 \text{ K}$$

$$v_4 = v_3 \frac{T_4}{T_3} = 0,048 \frac{2124}{1492} = 0,068 \text{ m}^3/\text{kg}$$

ÇÖZÜM...



Durum	1	2	3	4	5	6
P KPa	98	5762	(9000)	(9000)	334,86	
v m³/kg	0,951	0,048	0,048	0,068	0,951	
T K	324,8	955	1492	2124,3	788,8	

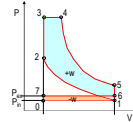
Genişleme sonu basıncı

$$P_5 = P_4 \left(\frac{v_4}{v_5} \right)^{n_2} = 9000 \left(\frac{0,068}{0,951} \right)^{1,25} = 334,86 \text{ kPa}$$

ve sıcaklığı

$$T_5 = T_4 \left(\frac{v_4}{v_5} \right)^{n_2 - 1} = 2124,3 \left(\frac{0,068}{0,951} \right)^{1,25 - 1} = 788,8 \text{ K}$$

ÇÖZÜM...



Durum	1	2	3	4	5	6
P KPa	98	5762	(9000)	(9000)	334,86	98
v m³/kg	0,951	0,048	0,048	0,068	0,951	1,807
T K	324,8	955	1492	2124,3	788,8	616,9

Egzoz gazlarının sıcaklığı

$$T_6 = T_5 \left(\frac{P_6}{P_5} \right)^{\frac{n_2 - 1}{n_2}} = 788,8 \left(\frac{98}{334,86} \right)^{\frac{1,25 - 1}{1,25}} = 616,9 \text{ K}$$

$$v_6 = \frac{RT_6}{P_6} = \frac{0,287 \cdot 616,9}{98} = 1,807 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Durum	0	7
P KPa	98	98
v m³/kg	0,951	1,807
T K	300	616,9

ÖRNEK

Karma çevrime göre çalışan bir motorla ilgili olarak aşağıdaki değerler bilinmektedir:

Sıkıştırma oranı $\epsilon = 20/1$

Sıkıştırma başlangıcında $P_1 = 0,9 \text{ bar}$ $t_1 = 60^\circ\text{C}$

Çevrimin maksimum basıncı $P_{\text{max}} = 80 \text{ bar}$

Kullanılan yakıtın alt ısıl değeri $H_u = 42 \text{ 000 kJ/kg}$

Hava yakıt karışımının minimum hava/yakıt oranı $a_{\text{min}} = 14,1/1 \text{ kg/kg}$

Hava fazlalık katsayısı $\lambda_a = 1,28$

$k = 1,4$ $C_v = 0,72 \text{ kJ/kgK}$

- Motorun indike ısıl verimini hesaplayınız.

ÇÖZÜM

$$\eta_i = 1 - \frac{1}{\epsilon^{k-1}} \left[\frac{\lambda \rho^k - 1}{\lambda - 1 + k\lambda(\rho - 1)} \right]$$

$$\lambda = \frac{P_2}{P_1}$$

$$P_2 = P_1 \cdot \epsilon^k = 0,9 \cdot 20^{1,4} = 59,66 \text{ bar}$$

$$\lambda = \frac{80}{59,66} = 1,34$$

Sabit basınçtaki genişleme (ön genişleme) oranı

$$\rho = \frac{H_u}{m_{\text{mix}} C_v T_1 \epsilon^{k-1} k \lambda} - \frac{1}{k} + \frac{1}{k\lambda} + 1$$

Gerçek karışım miktarı;

$$m_{\text{mix}} = 1 + \lambda_a \cdot a_{\text{min}} = 1 + 1,28 \cdot 14,1 = 19 \text{ kg}$$

$$\rho = \frac{42000}{19 \cdot 0,72 \cdot 333 \cdot 20^{0,4} \cdot 1,4 \cdot 1,34} - \frac{1}{1,4} + \frac{1}{1,4 \cdot 1,34} + 1 = 2,30$$

ÇÖZÜM...

bulunan değerler ısıl verim eşitliğinde yerlerine yazılırsa;

$$\eta_i = 1 - \frac{1}{\epsilon^{k-1}} \left[\frac{\lambda \rho^k - 1}{\lambda - 1 + k\lambda(\rho - 1)} \right]$$

$$= 1 - \frac{1}{20^{0,4}} \left[\frac{1,34 \cdot 2,30^{1,4} - 1}{1,34 - 1 + 1,4 \cdot 1,34(2,30 - 1)} \right] = 0,642 = \%64,2$$

Problem

■ Dört zamanlı bir diesel motoru hakkında aşağıdaki değerler belirlenmiştir:

- Sıkıştırma oranı $\epsilon = 20/1$
 - Emme başlangıcındaki sıcaklık $T_1 = 290 \text{ K}$
 - Emme başlangıcındaki basınç $P_1 = 90 \text{ kPa}$
 - Sıkıştırmanın politropik üssü $n_1 = 1,34$
 - Yakıt enjeksiyonu ile sisteme verilen ısı $q_f = 2250 \text{ kJ/kg}$
 - Çevrimin maksimum basıncı $P_{\text{max}} = 90 \text{ bar}$
 - Genişlemenin politropik üssü $n_2 = 1,28$
 - Egzoz gazlarının sıcaklığı $T_e = 1100 \text{ K}$
 - Egzoz gazlarının basıncı $P_e = 110 \text{ kPa}$
 - Artık gazların kütle oranı $f = 0,05$
 - $C_{v23} = 0,886 \text{ kJ/kgK}$, $C_{p34} = 1,241 \text{ kJ/kgK}$, (T_1 sıcaklığını belirleme eşitliğinde $k = 1,4$ alınız.)
- Durum cetvelini düzenleyiniz.

SON