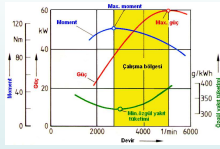
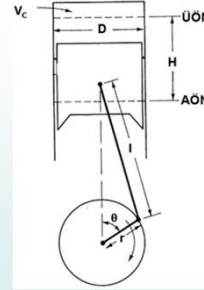


## MOTOR PERFORMANSI



Prof. Dr. Selim Çetinkaya

### Geometrik özellikler



ÜÖN'daki silindir hacmi  $V_c$

Herhangi bir krank açısında pistonun üstündeki hacim:

$$V = V_c + \frac{\pi D^2}{4} s$$

$$s = r(1 - \cos \theta) + L(1 - \sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2 \theta})$$

Strok hacmi:

$$V_h = \frac{\pi D^2}{4} H$$

Sıkıştırma oranı:

$$\varepsilon = r_c = \frac{V_t}{V_c} = \frac{V_h + V_c}{V_c}$$

### Geometrik özellikler...

Motorun toplam süpürme (strok) hacmi,

$$V_H = V_h \cdot z = \frac{\pi D^2}{4} H \cdot z$$

Toplam silindir hacmi ( $V_T$ ) ise, bütün silindirlerin silindir hacimlerinin toplamıdır.

$$V_T = V_t \cdot z$$

Sıkıştırma oranı ( $\varepsilon$ ), silindir hacminin, yanma odası hacmine oranıdır.

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

Sıkıştırma oranları:

Diesel motorlarında 16/1 ... 24/1  
Benzin motorlarında 7/1 ... 10/1

### Geometrik özellikler...

• **Strok/çap oranı:**

Motor boyutlarına en çok etki eden faktör, piston strokunun (kursunun) silindir çapına oranıdır ve kısaca **strok/çap oranı** olarak ifade edilmektedir.

$$X = \frac{H}{D}$$

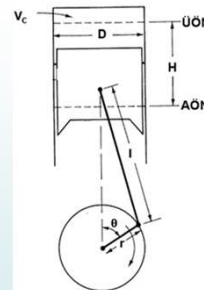
- Kısa strok daha az sürtünme demektir.
- Kısa strok yataklara gelen atalet ve santrifüj yüklerini de azaltır.
- Kısa strok uygulamasının bir başka avantajı da motor yüksekliğinin azaltılmasıdır.
- Bu oranın seçim isabeti, amaçlanan hizmete uygun motor boyutlarının elde edilmesinde son derece önemlidir.

### Geometrik özellikler...

• Strok/çap oranları (X):

- Dört zamanlı benzin motorlarında 0,6 - 1,1
- Dört zamanlı kamyon diesel motorlarında 0,9 - 1,2
- Dört zamanlı orta hızlı diesel motorlarında 1,2 - 1,4
- İki zamanlı düşük hızlı diesel motorlarında 1,8 - 2,2

### Geometrik özellikler...



Ortalama ve anlık piston hızları:

$$c_m = 2Hn$$

$$c_m = \frac{Hn}{30} \quad H = m; \quad n = 1/\text{min}; \quad c_m = \text{m/s}$$

$$c = \omega r (\sin \theta + \frac{\lambda}{2} \sin 2\theta)$$

Standard otomobil motorlarının ortalama piston hızları esas olarak malzeme dayanımına bağlıdır ve yaklaşık 15 m/s'dir. Bu nedenle, uzun stroklu motorlar daha düşük hızlarda, kısa stroklu motorlar ise daha yüksek hızlarda çalışırlar.

## Geometrik özellikler...

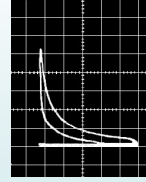
Ortalama piston hızı, atalet kuvvetleri, yataklara gelen yükler, hacimsel verim, özgül yakıt tüketimi ve motorun ömrüne etki eden bir büyüklüktür. Aşınmaların az, motorun uzun ömürlü ve özgül yakıt tüketiminin düşük olması için, ortalama piston hızının düşük olması arzu edilmektedir (5 - 6 m/s kadar). Özgül gücün yükseltilmesi ise, daha yüksek ortalama piston hızlarıyla sağlanmaktadır.

Ortalama piston hızları ( $c_m$ ):

Benzin motorlarında	10 - 17 m/s
Orta hızlı diesel motorlarında	10 - 11 m/s
İki zamanlı diesel motorlarında	6 - 7 m/s

## İndike ortalama basınç

- İndike ortalama basınç ( $P_{mi}$ ), silindir içerisinde çevrim süresince değişen basınçların ortalamasıdır ve motorla ilgili hesaplamalarda kullanılan bir büyüklüktür.
- İndike ortalama basıncın hesaplanmasında indikatör diyagramlarından yararlanılabilir.



$$P_{mi} = \frac{A}{L \cdot m}$$

A: Diyagram alanı, mm<sup>2</sup>  
L: Diyagram genişliği, mm,  
m: İndikatör katsayısı, mm/kPa

## Fren ortalama efektif basıncı

- Motor boyutlarına çok etki eden diğer bir faktör de, fren ortalama efektif basıncıdır.
- Fren ortalama efektif basıncı ( $P_{me}$ ) de, tıpkı indike ortalama basınç ( $P_{mi}$ ) gibi, motorla ilgili hesaplamalarda kullanılan bir büyüklüktür:  
$$P_{me} = P_{mi} \cdot \eta_m$$
- Fren ortalama efektif basıncı motor üzerinden doğrudan ölçülemez. Ancak şöyle hesaplanabilir:

$$P_{me} = \frac{60 P_e}{V_H n f}$$

$P_{me}$ : Fren ortalama efektif basıncı, kPa  
 $P_e$ : efektif fren gücü, kW  
n : motor hızı, 1/min  
f: her bir krank dönüşündeki çevrim sayısı  
= 4 zamanlılarda 0,5  
= 2 zamanlılarda 1

## Fren ortalama efektif basıncı...

- Fren ortalama efektif basıncının belirlenmesinde şu eşitlikten de yararlanılabilir:

$$P_{me} = \eta_t \eta_p \eta_m \eta_v H_{mix} \frac{p_a}{\rho_0}$$

$\eta_t$ : teorik termik verim,  
 $\eta_p$ : iyilik derecesi,  
 $\eta_m$ : mekanik verim,  
 $\eta_v$ : hacimsel verim,  
 $H_{mix}$ : karışımın alt ısı değeri, kJ/m<sup>3</sup>,  
 $\rho_a$ : motora giren havanın yoğunluğu, kg/m<sup>3</sup>,  
 $\rho_0$ : havanın 1 bar basınçta ve 0°C sıcaklıktaki yoğunluğu, kg/m<sup>3</sup>

## Fren ortalama efektif basıncı...

İyi tasarlanmış motorlarda tam gazdaki maksimum fren ortalama efektif basınçları ( $P_{me}$ ):

Dört zamanlı motorlarda:

Buji ile ateşlemeli :	850-1050 kPa
Sıkıştırma ile ateşlemeli:	700 -900 kPa
Türboşarjlı sıkıştırma ile ateşlemeli:	1250 -1700 kPa
Türboşarjlı buji ile ateşlemeli:	1000 - 1200 kPa

İki zamanlı motorlarda:

Standard sıkıştırma ile ateşlemelerde dört zamanlılara eş  
değerde  
Büyük düşük devirli sıkıştırma ile ateşlemeli: 1600 kPa

Not: Anma (maksimum) fren gücündeki  $P_{me}$ 'ler %10 - %15 daha azdır.

## Fren ortalama efektif basıncı...

- Maksimum  $P_{me}$  tam gazda ve belirli bir motor hızında elde edilmektedir.
- Gaz keleşliği kısıldıkça  $P_{me}$  azalır.
- Verilen bir strok hacmi için daha yüksek maksimum  $P_{me}$  daha fazla tork demektir.
- Verilen bir tork için daha yüksek maksimum  $P_{me}$ , daha küçük bir motor, motorda daha yüksek gerilmeler ve sıcaklıklar, daha kısa motor ömrü veya daha hantal motor demektir.
- Aynı  $P_{me}$  için 2 zamanlılar, 4 zamanlılara oranla yaklaşık iki kat güç üretirler.

### Örnek

6 silindirli, 11,67 cm silindir çapında ve 12,00 cm strokunda, çıkış gücü 2200 1/min'de 144 kW olan dört zamanlı bir motorun fren ortalama efektif basıncı kaç kPa'dır?

### Çözüm

$$V_H = \frac{(\pi \cdot 11,67^2)(12,00)(6)}{4 \cdot 1000} = 7,70L$$

$$P_{me} = \frac{(120)(144,0)}{(0,0077)(2200)} = 1024 \text{ kPa}$$

### Sürtünme ortalama efektif basıncı

Fren ortalama efektif basıncı eşitliği, sürtünme için uyarlanarak;

$$P_{mf} = \frac{120P_i}{V_H n_e}$$

$P_{mf}$ : sürtünme ortalama efektif basıncı (kPa)

### Örnek

Önceki örnekteki motorun sürtünme gücü 25,4 kW ise, sürtünme ortalama efektif basıncı kaç kPa'dır?

### Çözüm

$$P_{mf} = \frac{(120)(25,4)}{(0,0077)(2200)} = 180 \text{ kPa}$$

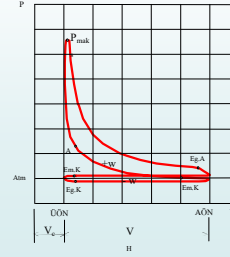
### İndike güç

**İndike güç** motor silindirlerinde üretilen güçtür.

Silindir basınç verilerinden yararlanılarak çevrim boyunca gazlar tarafından pistonun üzerine yapılan iş hesaplanabilir. Bu veriler tipik olarak P-V diyagramından elde edilir.

Her bir çevrim için indike iş:

$$W_i = \oint PdV$$



### İndike güç...

**Brüt indike iş** ( $W_{i,brüt} > 0$ ), her bir çevrimdeki sadece sıkıştırma ve genişleme stroklarında piston üzerine yapılan net iştir.

**Pompalama işi** ( $W_p < 0$ ), emme ve egzoz strokları boyunca gazlar üzerine yapılan net iştir.

**Net indike iş**, her bir çevrimde tüm strokların birlikte verdiği iştir:

$$W_{i,net} = W_{i,brüt} - W_p$$

**İndike güç:**

$$P_i = W_i n_f \quad (\text{kJ/çevrim})(\text{devir/s})(\text{çevrim / devir}) = \text{kW}$$

Motor boyutları ( $V_H$ ), sıkıştırma oranı ( $\epsilon$ ) ve motor hızı ( $n$ ) arttıkça güç artar.

### İndike güç...

• **İndike motor gücü**

$$P_i = \frac{P_{mi} V_H n f}{60}$$

$P_{mi}$ : indike ortalama basınç, kPa

$V_H$ : toplam strok hacmi,  $m^3$

$n$ : devir sayısı, 1/min

$f$ : bir silindirde bir devirdeki çevrim sayısı, (dört zamanlı motorlarda 0,5, iki zamanlı motorlarda 1)

• Dört zamanlı motorlarda

$$P_i = \frac{P_{mi} V_H n}{120}$$

### Örnek

Strok hacmi 7,70 litre olan önceki problemdeki motor, 2200 1/min ve  $P_m=1200$  kPa ile çalışırken indike gücü kaç kW'tır?

### Çözüm

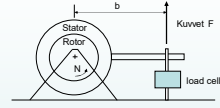
$$P_i = \frac{(1200)(7,70)(2200)}{(120000)} = 169,4 \text{ kW}$$

### Efektif tork

**Efektif tork (fren torku)**, motor tarafından üretilen ve bir dinamometre ile çıkış milinden ölçülen kullanılabilir torktur.

Motorun ürettiği tork  $M_e$ :

$$M_e = F \cdot b \quad \text{birimi: Nm} = \text{J}$$



Önceki iki eşitliklerden, efektif fren torku:

$$M_e = \frac{V_H P_{me}}{4\pi}$$

Not: Yukarıdaki eşitlik dört zamanlı motorlar içindir. İki zamanlı motorlar için payda  $2\pi$  olmalıdır.

### Tork ve güç...

$n$  hızında dönen bir motorun ürettiği ve dinamometre tarafından absorbe edilen güç  $P_e$ :

$$P_e = \omega \cdot M_e = (2\pi \cdot n) \cdot M \quad \text{birimi:} \left( \frac{\text{rad}}{\text{devir}} \right) \left( \frac{\text{devir}}{\text{s}} \right) (\text{Nm}) = \text{Watt}$$

$\omega$ : milin açısal hızı, rad/s

İlk zamanlardaki motor geliştirme çalışmalarında volandaki motor gücünün belirlenmesinde "prony freni" kullanıldığından, ölçülen güce **fren gücü** denmiştir.

$$P_e = \frac{2\pi M_e n_e}{60000} = \frac{M_e n_e}{9549}$$

$P_e$ : efektif güç (fren gücü) (kW)

$M_e$ : volandaki tork (Nm)

### Efektif güç...

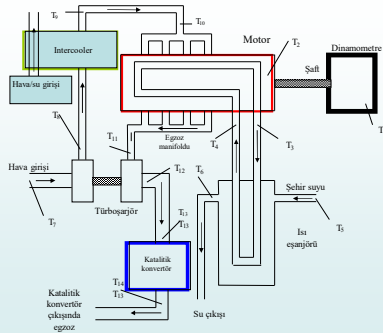
- **Fren gücü (efektif güç)**, çıkış milinden ölçülen ve motor tarafından üretilen kullanılabilir güçtür.
- Fren gücü, mekanik sürtünme ve parazit yükler nedeniyle (yağ pompası, klima kompresörü, vb.) silindirlerde gazlar tarafından üretilen güçten daha azdır.

$$P_e = \frac{P_{me} V_H n f}{60}$$

Dört zamanlı motorlarda:

$$P_e = \frac{P_{me} V_H n}{120}$$

### Laboratuvar motor test sistemi



### Efektif güç...

- Efektif motor gücü  $P_e$ , laboratuvarlarda ve standartlarla tanımlanmış koşullar altında, dinamometre denilen cihazlarla ölçülmektedir. Bu standartlardan bazıları şunlardır:
- **TS** (Türk Standardı),
- **EN** (European Norm)
- **ISO** (International Standardization Organization - Uluslararası Standartlar Birliği),
- **DIN** (Deutsche Industrie Norm - Alman Endüstri Standardı),
- **SAE** (Society of Automotive Engineers - Otomotiv Mühendisleri Birliği),
- **BS** (British Standards - İngiliz Standardları),
- **CUNA** (Comissione tecnica di Unificazione Nell' Automobile - Otomobil teknik Standartlar Birliği)

### Örnek

Önceki örnekten devamla, volandaki "fren torku" 625 Nm ise, "fren gücü" kaç kW'tır?

### Çözüm

$$P_o = \frac{625 \cdot 2200}{9549} = 144,0 \text{ kW}$$

### Sürtünme gücü

İndike motor gücü ( $P_i$ ) ile efektif motor gücü ( $P_e$ ) arasındaki fark, **sürtünme (kayıp) gücü** ( $P_f$ ) olarak adlandırılmaktadır.

$$P_f = P_i - P_e$$

Sürtünme gücü; segmanlar, yataklar ve motorun iş yapan diğer elemanlarındaki sürtünmelere bağlı kayıp güç ile yakıt pompası, su pompası, yağ pompası, soğutma vantilatörü, alternatör ve klima kompresörünü çalıştırmak üzere harcanan gücün toplamıdır.

### Örnek

Önceki örnekteki motorun, sürtünme gücü kaç kW'tır?

### Çözüm

$$P_f = 169,4 - 144,0 = 25,4 \text{ kW}$$

### Litre gücü

**Litre gücü**, efektif motor gücünün, motorun toplam strok hacmine oranıdır.

$$P_L = \frac{P_e}{V_t}$$

Büyük litre gücü, daha küçük boyutlu motor fakat daha fazla güç demektir.

Otomotiv motorlarının litre gücü değerleri:

Kamyon diesel motorlarında	13 - 19 kW/l,
Otomobil diesel motorlarında	20 - 25 kW/l,
Otomobil benzin motorlarında	30 - 48 kW/l,
Motosiklet motorlarında (iki veya dört zamanlı)	20 - 25 kW/l,

### Güç ağırlığı (veya kütlesi)

**Güç ağırlığı** ( $G_p$ ), motorun ağırlığının ( $G$ , kg olarak), motorun efektif gücüne ( $P_e$ ) oranıdır.

$$G_p = \frac{G}{P_e}$$

Küçük güç ağırlığı, genellikle motorun devir sayısının artırılmasıyla sağlanmaktadır.

Otomotiv motorlarının güç ağırlığı değerleri:

Kamyon diesel motorlarında	4 - 5,5 kg/kW,
Otomobil benzin motorlarında	≈2 kg/kW,

### İyilik derecesi

**İyilik derecesi** ( $\eta_p$ ), motorun indike gücünün teorik çevrim gücüne (kusursuz makinenin gücüne) oranıdır.

$$\eta_p = \frac{P_i}{P_t} = \frac{\eta_i}{\eta_t}$$

İyilik derecesinin yükselmesi, motorun mükemmel yaklaşmasının bir göstergesidir.

İyilik derecesi:

Otomotiv benzin motorlarında	0,4 - 0,7
Otomotiv diesel motorlarında	0,6 - 0,8

## Yakıtın verdiği ısı (yakıt eşdeğeri güç)

$$\dot{Q}_f = P_{fe} = \frac{\dot{m}_f H_u}{3600}$$

$P_{fe}$ : Yakıt eşdeğeri güç (kW)  
 $\dot{m}_f$ : Yakıtın kütesel debisi (kg/h)  
 $H_u$ : Yakıtın yalın ısı değeri (kJ/kg)

## Örnek

2 no'lu diesel yakıtından saatte 35,7 litre tüketen bir motorun  $P_{fe}$  gücü nedir? (2 no'lu diesel için  $H_u = 45,000$  kJ/kg)

## Çözüm

$$P_{fe} = \frac{q_f \rho_f H_u}{3600}$$

$$P_{fe} = \left( \frac{35,7 \cdot 0,840 \cdot 45000}{3600} \right) = 375 \text{ kW}$$

$q_f$ : yakıt tüketimi (L/h)  
 $\rho_f$ : yakıtın yoğunluğu (kg/L)

## Yanma verimi

- Silindirdaki yanma için süre için çok kısa olduğundan yakıtın tamamı yakılamaz veya bölgesel sıcaklıklar yanmaya yeterince yardımcı olamaz.
- Yakıtın küçük bir yüzdesi yanamaz ve egzoz gazlarıyla atılır.
- Yanma verimi** şöyle tanımlanır:

$$\eta_c = \frac{\text{verilen gerçek ısı}}{\text{verilen teorik ısı}} = \frac{Q_{in}}{m_f \cdot H_u} = \frac{\dot{Q}_{in}}{\dot{m}_f \cdot H_u}$$

$Q_{in}$ : yanma ile her bir çevrimde verilen ısı  
 $\dot{m}_f$ : silindire her bir çevrimde verilen yakıt kütlesi  
 $H_u$ : yakıtın alt ısı değeri (her bir birim kütle için kimyasal enerji)

## Isıl verim

- Isıl verim** şöyle tanımlanır:

$$\eta_t = \frac{\text{bir çevrimde is}}{\text{bir çevrimde verilen ısı}} = \frac{W}{Q_{in}} = \frac{W}{\eta_c \cdot m_f \cdot H_u}$$

veya

$$\eta_t = \frac{\text{alınan güç}}{\text{verilen ısı}} = \frac{\dot{W}}{Q_{in}} = \frac{\dot{W}}{\eta_c \cdot \dot{m}_f \cdot H_u}$$

- Isıl verimler fren veya indike değerlerle de verilebilir.
- İndike ısı verimleri %50 - %60 ve fren ısı verimleri genellikle %30 kadardır.

## İndike ısı verim

- Bir motorun indike verimi ( $\eta_i$ ), motorun indike gücünün ( $P_i$ ), birim zamanda motora yakıtla verilen ısıya ( $B \cdot H_u$ ) oranıdır.

$$\eta_i = \frac{3600 P_i}{B \cdot H_u}$$

Ayrıca;

$$\eta_i = \eta_t \cdot \eta_p$$

eşitliği de kullanılabilir.

## Efektif ısı verim

Bir motorun efektif verimi ( $\eta_e$ ), motorun efektif gücünün ( $P_e$ ), birim zamanda motora yakıtla verilen ısıya ( $B \cdot H_u$ ) oranıdır.

$$\eta_e = \frac{3600 P_e}{B \cdot H_u}$$

Efektif verim ayrıca;

$$\eta_e = \eta_t \cdot \eta_p \cdot \eta_m = \eta_i \cdot \eta_m$$

eşitlikleriyle de hesaplanabilir.

Efektif verimler, en iyi koşullarda:

Otomotiv benzin motorlarında	0,25 ... 0,30,
Otomotiv diesel motorlarında	0,30 ... 0,45,
Boşta çalışma sırasında ise	0,0

## Mekanik verim

Silindire üretilen gücün bir kısmı motor sürtünmelerinin karşılanmasına ve gazların motora ve motordan pompalanmasına harcanmaktadır.

Bir motorun mekanik verimi ( $\eta_m$ ), motorun efektif gücünün ( $P_e$ ), indike gücüne ( $P_i$ ), oranıdır.

$$\eta_m = \frac{P_e}{P_i}$$

## Mekanik verim...

- Mekanik verim, gaz keleşbeği konumuna, motor tasarımına ve motor hızına bağımlıdır.
- Otomobil motorları için tam gazdaki tipik deęerler:  
2000 1/min'de % 90 ve maksimum hızda % 75.
- Motorların mekanik verimleri genel olarak % 80 dolayındadır.
- Gazlı kısma pompalama işini artırdığından fren gücü azalır. Bu nedenle mekanik verim azalarak ve rölantide sıfıra yaklaşır.

## Örnek

Önceki örnekteki motorun indike, mekanik ve fren ısı verimleri ne kadardır?

## Çözüm

$$\eta_i = \frac{(169,4)}{(375,0)} = 0,452$$

$$\eta_m = \frac{(144,0)}{(169,4)} = 0,850$$

$$\eta_e = \frac{(144,0)}{(375,0)} = 0,384$$

## Hacimsel verim

- Kısa çevrim süreleri ve akış kısıtlamalarına bağımlı olarak, silindirlere ideal miktardan daha az hava girer.
- Hacimsel verim ( $\eta_v$ ), silindire alınan gerçek karışım kütlelerinin ( $m_{act}$ ), silindire alınması gereken teorik karışım külesine ( $m_{teo}$ ) oranıdır:

$$\eta_v = \frac{m_{act}}{m_{teo}}$$

$$\eta_v = \frac{2m_{act}}{\rho_a V_H n}$$

$$m_{act} = \rho_s \cdot V_H$$

$$m_{teo} = \rho_a \cdot V_H$$

olduğundan;

$$\eta_v = \frac{\rho_s}{\rho_a} = \frac{T_a P_s}{T_s P_a}$$

$\rho_s$  : silindirdeki dolgu yoğunluğu, kg/m<sup>3</sup>  
 $\rho_a$  : dış ortamdaki havanın yoğunluğu, kg/m<sup>3</sup>  
 $T_s$  : silindirdeki dolgu sıcaklığı, K  
 $T_a$  : dış ortamdaki havanın sıcaklığı, K  
 $P_s$  : silindirdeki dolgu basıncı, bar  
 $P_a$  : dış ortamdaki havanın basıncı, bar

## Hacimsel verim...

Standard koşullardaki hacimsel verim ile ölçülen herhangi bir koşul arasındaki farkı belirlemede kullanılan düzeltme katsayısı ise;

$$K_v = \frac{\eta_{vs}}{\eta_{va}} = \frac{T_s}{T_a}$$

Tam gazdaki tipik hacimsel verimler ( $\eta_v$ ):

Dört zamanlı motorlarda 0,7 - 0,9  
İki zamanlı karterden süpürmeli motorlarda 0,5 - 0,7

## Hava/yakıt oranı

- Uygun bir yanma için, silindirlere bağlı miktarlarda hava ve yakıt alınmalıdır.

**Hava/yakıt oranı** şöyle tanımlanır:

$$A/F = \frac{m_a}{m_f} = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_f}$$

- İdeal A/F 15/1 kadardır, 6/1...19/1 aralığında yanma mümkündür.
- Buji ile ateşlemeli motorlarda A/F, çalışma koşullarına bağlı olarak 12/1...18/1 aralığındadır.
- Sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda karışım oldukça heterojendir ve A/F, 18/1...70/1 aralığındadır.

## Özgül yakıt tüketimi

- Taşıtların yakıt ekonomileri için genellikle km/L, mpg, veya L/100 km ifadeleri kullanılmaktadır.
- Motor testlerinde yakıt tüketimi L/h veya kg/h olarak ölçülür. Bu ifadeye motor yükü dikkate alınmaz.
- Yakıt tüketiminin daha iyi bir ifadesi ise özgül yakıt tüketimidir.
- Özgül yakıt tüketimi**,  $b_e$  (sfc), motora sağlanan yakıtın ne derece verimli kullanıldığının bir göstergesidir.

$$b_e = \frac{B}{P_e} \quad b_e = \frac{\dot{m}_f}{P_e}$$

Efektif ısı verim eşitliği B için düzenlenip, yerine yazılırsa;

$$b_e = \frac{3600}{\eta_e H_u}$$

Özgül yakıt tüketimleri:

Benzin motorlarında	0,345 - 0,285 kg/kWh
Diesel motorlarında	0,285 - 0,190 kg/kWh

## Özgül yakıt tüketimi...

Özgül yakıt tüketimi çeşitleri:

- $b_i$ : indike özgül yakıt tüketimi
- $b_g$ : fren özgül yakıt tüketimi
- $b_p$ : kuyruk mili (PTO) özgül yakıt tüketimi
- $b_d$ : çeki demiri (drawbar) özgül yakıt tüketimi

## Örnek

Önceki örnekteki motorun "indike" ve "fren" özgül yakıt tüketimleri ne kadardır?

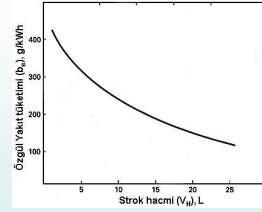
## Çözüm

$$b_i = \frac{(35,7 \text{ L/h})}{(169,4 \text{ kW})} = 0,211 \text{ L/kWh}$$

$$b_e = \frac{(35,7 \text{ L/h})}{(144,0 \text{ kW})} = 0,248 \text{ L/kWh}$$

## Fren özgül yakıt tüketimi motor hacmi ilişkisi

- Büyük motorların özgül yakıt tüketimleri  $b_e$ , gazlardan silindir duvarlarına olan ısı kayıplarının azalmasına bağlı olarak azalmaktadır.

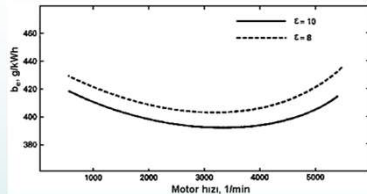


Not: Silindir çapı arttıkça silindir yüzey/hacim oranı artar.

$$\frac{\text{silindir yüzey alanı}}{\text{silindir hacmi}} = \frac{2\pi r L}{\pi r^2 L} \propto \frac{1}{r}$$

## Fren özgül yakıt tüketimi motor hacmi ilişkisi...

- Özgül yakıt tüketimi belirli bir motor hızında minimumdur.



- Artan sürtünme ve azalan fren gücüne bağlı olarak, yüksek hızlarda  $b_e$  artar.
- Artan süre için gazlardan silindir ve piston duvarlarına ısı kayıplarına, dolayısıyla azalan indike güce bağlı olarak, düşük hızlarda  $b_e$  artar.
- Sıkıştırma oranı arttıkça daha yüksek ısı verime bağlı olarak  $b_e$  azalır.

## Karışımın ısı değeri

Karışımın ısı değeri ( $H_{mix}$ ), 1 m<sup>3</sup> norm hava - yakıt karışımının ısı değeridir.

$$H_{mix} = \frac{H_u}{a/f_{sto} \lambda_a} \rho_0 \quad (\lambda_a \geq 1 \text{ için})$$

$$H_{mix} = \frac{H_u}{a/f_{sto}} \rho_0 \quad (\lambda_a \leq 1 \text{ için})$$

$H_{mix}$ : Karışımın ısı değeri, kJ/m<sup>3</sup>,

$H_u$ : Yakıtın alt ısı değeri ( $\approx 42\,000$  kJ/kg),

$a/f_{sto}$ : Teorik hava/yakıt ağırlık oranı ( $\approx 14,8/1$ )

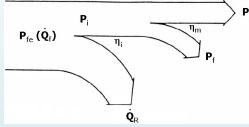
$\rho_0$ : Atmosferik kuru havanın 0°C (273 K)'deki yoğunluğu, ( $\rho_0 = 1,293$  kg/m<sup>3</sup>)

$\lambda_a$ : Hava fazlalık katsayısı



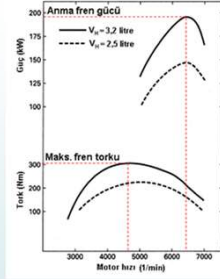
## Bir motorun ısı balansı

- Motorda kullanılan yakıtın verdiği enerjinin oranla, kayıp enerjiler ve motor çıkışındaki faydalı enerjinin yüzdeleri "ısı balansı" ile değerlendirilmektedir.
- **Isı balansı**, yanma odasında sağlanan enerjinin, daha sonra nerelere gittiğinin belirlenmesidir.
- Başta gelen ısı kayıpları; egzoz, soğutma ve sürtünme yoluyla dışarıya atılanlardır. Ayrıca, radyasyon ve değerlendirilemeyen diğer kayıplar da kazanılmış enerjide bir miktar azalma meydana getirmektedir.



Güç olarak elde edilebilen ısı	% 24
Sürtünmeye kaybedilen ısı	% 4
Egzozla kaybedilen ısı	% 40
Soğutma ile kaybedilen ısı	% 28
Radyasyonla kaybedilen ısı	% 4
<b>Toplam</b>	<b>%100</b>

## Hız karakteristikleri



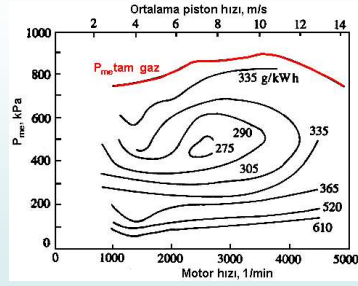
Fren gücü motor hızına bağımlı olarak bir noktada maksimum olmaktadır. Bu güce **anma fren gücü** denir.

Motor torku motor hızına bağımlı olarak bir noktada maksimum olmaktadır. Bu torka **maksimum fren torku** denir.

- Torkun azalma sebepleri:
- Daha düşük hızlar ısı kayıplarının artması
  - Daha yüksek hızlarda havanın tam şarj güçlüğü.

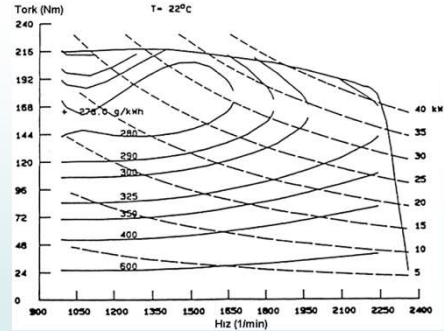
## Performans haritaları

Performans haritaları motorların tam yük ve hız aralığındaki özgül yakıt tüketimi değişimlerini göstermek için kullanılır .



İki litrelik dört silindirli bir buji ile ateşlemeli motorun sabit  $b_e$  eğrileri

## Performans haritaları...



Yakıt fazlalığı ile çalışan bir motorun (minimum  $b_e$  tork eğrisinin altında) performans haritası

## Performans haritaları...

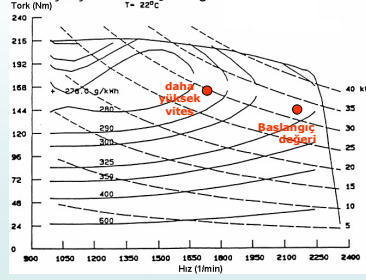
- Yakıt fazlalığı, tork artışı için  $b_e$ 'nin arttığı alandadır.
- Bazı motorlar hiç bir zaman fazla yakıtla çalışmaz (minimum  $b_e$  tork eğrisinin üzerinde oluşur).
- Örnekteki en düşük  $b_e$  278 g/kWh'tir.
- Performans haritaları, tork, hız ve yakıt tüketimi verileri toplanıp motor hızına göre çizilmektedir.

## Performans optimizasyonu

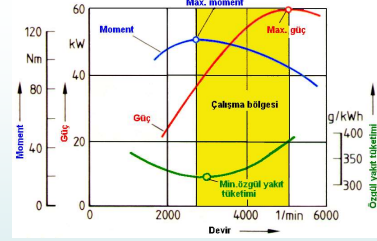
- Motorlar çoğunlukla maksimum tork veya onun yakınında etkilidir.
- Tork yükü azaldıkça verim azalmaktadır.
- Sıfır fren torkunda, yakıtın enerjisinin tamamı motor sürtünmelerine harcanmaktadır.
- Daha düşük motor anma hızlarında  $b_e$  ve tork rezervi azalır (tasarım uzaşması).
- Kısmi yük yakıt ekonomisi, daha yüksek vitesle motor hızı azaltılarak iyileştirilebilir.

### Performans optimizasyonu...

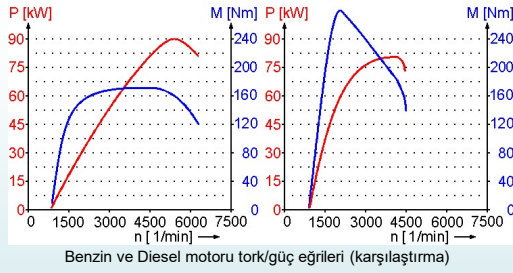
Daha yüksek vitese geçildiğinde, motor hızı azalmakta ve aynı güç için daha iyi kısmi yük yakıt ekonomisi elde edilmektedir. Örneğin, motorun 2250 1/min ve 32 kW çalışmasındaki  $b_p$  değeri 340 g/kWh iken, 1850 1/min ve 30 kW çalışmasında  $b_p$  292 g/kWh olmaktadır.



### Performans eğrileri



### Performans eğrileri...



### Bazı otoların motor karakteristikleri (1998)

Taşıt	Motor tipi	Strok hacmi (L)	Maks güç (HP@rpm)	Maks Tork (Nm@rpm)	Maks. torktaki $P_{max}$ (bar)	Anma gücündeki $P_{max}$ (bar)
Mazda Protégé LX	Sıra 4	1,839	122@6000	59@4000	10,8	9,9
Honda Accord EX	Sıra 4	2,254	150@5700	206@4900	11,4	10,4
Mazda Millenia S	Sıra 4 Turbo	2,255	210@5300	285@3500	15,9	15,7
BMW 328i	Sıra 6	2,793	190@5300	279@3950	12,6	11,5
Ferrari F355 GTS	V8	3,496	375@8250	363@6000	13,1	11,6
Ferrari 456 GT	V12	5,474	436@6250	540@4500	12,4	11,4
Lamborghini Diablo VT	V12	5,707	492@7000	579@5200	12,7	11,0

### Yol yükü gücü

- Taşıt motorlarını test etmek için gerekli kısmi yük güç seviyesi, bir taşıtı düz yolda ve sabit hızda sürmek için gerekli güçtür.
- Yol yükü gücü**  $P_r$ , taşıtın yuvarlanma direnci ve aerodinamik direncini karşılamak için gerekli motor gücüdür.

$$P_r = (f_{ro} m_v g + \frac{1}{2} \rho_a C_D A_v v_v^2) \cdot v_v$$

$f_{ro}$ : yuvarlanma direnci katsayısı (0,012 – 0,015)  
 $m_v$ : taşıtın kütlesi  
 $g$ : yer çekimi ivmesi  
 $\rho_a$ : ortam hava yoğunluğu  
 $C_D$ : hava direnci katsayısı (otomobillerde için: 0,3 – 0,5)  
 $A_v$ : taşıtın ön izdüşüm alanı  
 $v_v$ : taşıt hızı

SON