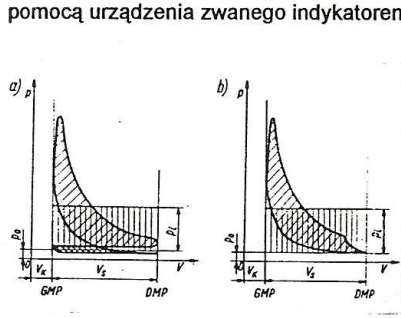
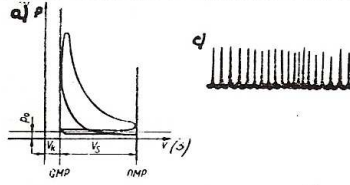


## 4.2 ŚREDNIE CIŚNIENIE INDYKOWANE I UŻYTECZNE

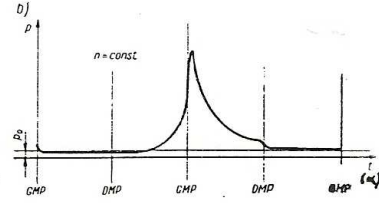
Wykresy obrazujące rzeczywisty przebieg zmian ciśnienia w cylindrze silnika można otrzymać za pomocą urządzenia zwanego indykatozem.



Rys.4.1 Wykreślne przedstawienie średniego ciśnienia indykowanego: a) silnika czterosuwowego, b) silnika dwusuwowego



Rys.4.2 Wykresy indykatorowe: a) zamknięty; b) i c) otwarty



Do porównania rzeczywistych obiegów pracy silnika z obiegami porównawczymi najbardziej przydatne są wykresy indykatorowe zamknięte (rys.4.2a). Za ich pomocą można w bardzo prosty sposób określić wartość średniego ciśnienia indykowanego potrzebną do obliczenia mocy silnika. Wykresy indykatorowe otwarte wielokrotne (rys. 4.2c) umożliwiają ocenę powtarzalności kolejnych obiegów pracy oraz rozrzutu szczytowych wartości ciśnienia spalania.

Pole ograniczone liniami wykresu w układzie p-V (rys. 4.1) jest miarą pracy wykonanej przez silnik w warunkach pomiaru w czasie jednego obiegu, a więc w czasie jednego obrotu wału korbowego (silnik dwusuwowy) lub dwóch obrotów wału korbowego (silnik czterosuwowy). Średnie ciśnienie indykowane jest równe stosunkowi średniej wartości pola  $W_s$  do objętości skokowej cylindra.

$$p_i = \frac{W_s}{V_s} \text{ kPa}$$

Pole prostokąta  $p_i V_s$  jest równe polu wykresu indykatorowego. Można więc przyjąć, że praca wykonana w czasie jednego obiegu przez zmieniającą się stale siłę gazową  $p_g A$  jest równa pracy siły  $p_i A$  na drodze równej skokowi tłoka  $S$ .

Praca indykowana wykonana w jednym cylindrze silnika w czasie jednego obiegu:

$$L_{i1} = p_i \cdot A \cdot S = p_i \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot S = p_i \cdot V_s \text{ kJ}$$

$p_i$  - średnie ciśnienie indykowane w kPa

$A$  - pole przekroju poprzecznego cylindra w  $m^2$

S - skok tłoka w m  
 Vs - objętość skokowa cylindra w m<sup>3</sup>  
 Praca indykowana całego silnika będzie wynosiła:

$$L_i = p_i \cdot V_{ss} \text{ kJ}$$

$$V_{ss} = V_s \cdot i$$

i - liczba cylindrów

Średnie ciśnienie indykowane  $p_i$  w znamionowych warunkach pracy silników na ogół jest zawarte w następujących granicach:

$p_i = 800 \div 1300$  kPa - czterosurowe silniki ZI

$p_i = 400 \div 700$  kPa - dwusurowe silniki ZI

$p_i = 650 \div 900$  kPa - czterosurowe silniki ZS

$p_i = 350 \div 750$  kPa - dwusurowe silniki ZS

$p_i = 800 \div 2000$  kPa - silniki doładowane

Praca indykowana  $L_i$  nie jest równa pracy użytecznej. Silnik spalinowy musi pokonać opory wewnętrzne (tarcie) oraz napędzać urządzenia pomocnicze. Dlatego praca użyteczna (efektywna)  $L_e$  mierzona na wale korbowym silnika wynosi:

$$L_e = L_i - L_r$$

gdzie  $L_r$  - strata pracy przypadająca na jeden cylinder. Ten ubytek pracy indykowanej określa współczynnik zwany sprawnością mechaniczną  $\eta_m$ .

Sprawność mechaniczną  $\eta_m$  silnika spalinowego jest to stosunek pracy użytecznej do pracy indykowanej.

$$\eta_m = \frac{L_e}{L_i}$$

Przez analogię do zależności  $L_i = p_i \cdot V_{ss}$  możemy zapisać:

$$L_e = p_e \cdot V_{ss}$$

W powyższym wzorze, wielkość  $p_e$  oznacza *średnie ciśnienie użyteczne (efektywne)* czyli obliczeniowe ciśnienie gazów działających na tłok, które zachowując stałą wartość podczas całego procesu rozprężania, wykonałoby pracę równą pracy użytecznej jednego obrotu. Sprawność mechaniczną silnika można również wyrazić stosunkiem średniego ciśnienia użytecznego do średniego ciśnienia indykowanego. Możemy więc zapisać, że

$$p_e = \eta_m \cdot p_i \text{ kPa}$$

Średnie ciśnienie użyteczne w znamionowych warunkach pracy silnika na ogół jest zawarte w następujących granicach:

$p_e = 650 \div 1100$  kPa - 4s ZI

$p_e = 350 \div 550$  kPa - 2s ZI

$p_e = 550 \div 750$  kPa - 4s ZS

$p_e = 300 \div 650$  kPa - 2s ZS

$p_e = 700 \div 1800$  kPa - silniki doładowane