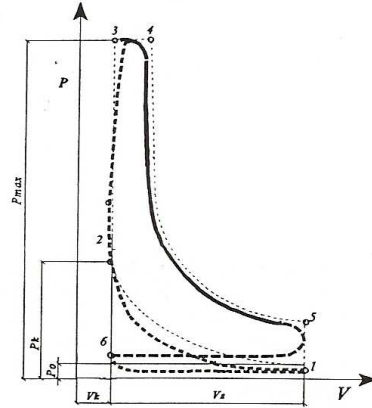


2.6. PROCES ROZPRĘŻANIA I WYLOTU.

2.6.1. PRACA GAZÓW W CYLINDRZE

Proces rozprężania zaczyna się gdy znajdujące się w cylindrze gazy spalinowe uzyskają największe ciśnienie i rozpoczną wywierać na tłok siłę, pod wpływem której tłok przemieści się do DMP. Rozprężające się spaliny wykonują pracę. Podczas tego suwu oba zawory są zamknięte. W czasie rozprężania występuje ciągła wymiana ciepła z czynnikiem chłodzącym za pośrednictwem ścianek cylindra. Rozprężanie jest przemianą politropową o ciągle zmieniającym się wykładniku. Przyczynami ustawicznych zmian wykładnika politropy są:

- różna ilość ciepła przenikającego od ścianek cylindra w różnych okresach rozprężania wskutek zmian temperatury gazów,
- różna ilość ciepła odprowadzanego na poszczególnych odcinkach krzywej rozprężania wskutek dopalania
- zależność ciepła właściwego od temperatury,
- zmienna ilość gazów przenikających na drugą stronę tłoka przez przecięcia pierścieni.



Rys.2.6.1. Wykres obrotowy porównawczy i wykres indykatorowy silnika czteresuwowego

- politropa rozprężania
- - - - - obieg rzeczywisty
- obieg teoretyczny

2.6.2. ŚREDNI WYKŁADNIK POLITROPY ROZPRĘŻANIA.

W obliczeniach, rozprężanie traktuje się jako przemianę politropową o stałym wykładniku średnim. Średni wykładnik politropy rozprężania zależy od :

- ilości ciepła odprowadzonego do czynnika chłodzącego
- ilości paliwa dopalającego się podczas rozprężania
- przedmuch spalin przez nieszczelności.

Wzrost ilości doprowadzonego ciepła i przedmuch gazów spalinowych gwałtownie obniżają ciśnienie, wobec tego politropa będzie bardziej stroma a jej średni wykładnik m_2 wrasta. Dopalenie paliwa podczas rozprężania oznacza doprowadzenie ciepła co powoduje, że krzywa rozprężania będzie mniej stroma, a jej średni wykładnik politropy będzie mniejszy. Wzrost prędkości obrotowej wału korbowego powoduje, że czas wymiany ciepła ze ściankami cylindra będzie krótszy, przedmuchi gazów spalinowych mniejsze, a także nasili się zjawisko dopalania. Wskutek tych czynników politropa rozprężania będzie bardziej płaska. Wykładnik m_2 wzrasta wskutek rosnącej intensywności odprowadzania ciepła przez ścianki cylindra do czynnika chłodzącego. Wartość wykładnika politropy zależy również od warunków chłodzenia, kąta wyprzedzenia zapłonu (wtrysku) i regulacji gaźnika.

Wykładnik politropy rozprężania przyjmuje się w następujących granicach :

- silnik ZI $m_2 = 1,26 - 1,34$
- silnik ZS $m_2 = 1,18 - 1,28$
- silniki doładowane ZS $m_2 = 1,22 - 1,32$

2.6.3. PARAMETRY KOŃCA ROZPRĘŻANIA.

Ciśnienie i temperaturę gazów w cylindrze przy końcu suwu rozprężania możemy obliczyć silnik ZI :

$$T_5 = \frac{T_3}{\epsilon^{m_2-1}} \quad K \quad p_5 = \frac{p_3}{\epsilon^{m_2}} \quad kPa$$

gdzie:

- p_3 - ciśnienie końca spalania,
- T_3 - temperatura ładunku przy końcu spalania
- ϵ - stopień sprężania
- m_2 - wkładnik politropy rozprężania.

dla silnika ZS :

$$p_5 = \frac{p_3}{\varepsilon_r^{m_2}} \text{ kPa}$$

$$T_5 = \frac{T_3}{\varepsilon_r^{m_2-1}} \text{ K}$$

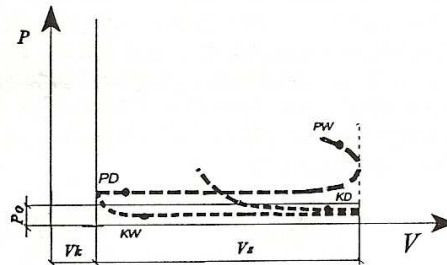
gdzie : ε_r - stopień rozprężania

	Ciśnienie końca sprężania p_5 [kPa]	Temperatura końca rozprężania T_5 [K]
SILNIK ZI	300 ... 500	1400 ... 1800
SILNIK ZS	250 ... 600	800 ... 1200

2.6.4. POCZĄTEK WYLOTU.

Proces wylotu ma na celu usunięcie spalonej mieszanki z cylindra. Proces ten rozpoczyna się pod koniec suwu rozprężania z chwilą oderwania się zaworu wylotowego od gniazda. W okresie od otwarcia zaworu wylotowego do osiągnięcia przez tłok DZP spaliny swobodnie opuszczają cylinder pod wpływem znacznej różnicy ciśnień. W chwili rozpoczęcia otwierania zaworu ciśnienie spalin w cylindrze wynosi kilkaset kPa. Wykładnik izotropy dla spalin wynosi ok. 1,3. Temperatura spalin w cylindrze w wyniku ich rozprężania ulega w fazie wylotu szybkiemu oziębianiu. W warunkach znamionowych przeciętna wartość temperatury spalin na początku wylotu wynosi :

- silniki ZI $T = 1400 - 1700 \text{ K}$
- silniki ZS $T = 1000 - 1400 \text{ K}$



Odpowiada jej prędkość wypływu spalin na początku wylotu przez gniazdo zaworów :

- silnik ZI 670 - 750 m/s
- silnik ZS 570 - 670 m/s

Rys.2.6.2. Okresy otwarcia i zamknięcia zaworów

Dalszy wypływ spalin odbywa się ze

zmienną prędkością wynikającą ze stosunku ciśnień w cylindrze i poza nim. W miarę wylatywania spalin z cylindra prędkość wypływu maleje. Wartość prędkości wypływu zależy od :

- prędkości obrotowej silnika
- przekroju przewodów
- chwilowej prędkości tłoka.

2.6.5. WYTŁACZANIE SPALIN.

Następnie tłok wytłacza spaliny. Moment zakończenia swobodnego wylotu spalin i rozpoczęcia wytłaczania spalin przez tłok zależy od :

- wyprzedzenia otwarcia zaworów wylotowych
- czynnego przekroju zaworów wylotowych w czasie ich otwarcia
- prędkości obrotowej silnika oraz przeciw ciśnienia w przewodzie wylotowym

2.6.6. KOŃCOWY OKRES WYLOTU.

Ostatni etap wylotu to wypływ spalin z cylindra na skutek różnicy ciśnienia w cylindrze i przewodach wylotowych oraz pod wpływem bezwładności wypływającego strumienia spalin. Proces wylotu nie kończy się jednocześnie z suwem wylotu. Zamknięcie zaworu wylotowego następuje po GMP tłoka już w trakcie dolotu. Przedłużenie okresu otwarcia zaworu o fazę rozrządu (opóźnienie

zamknięcia zaworu wylotowego), umożliwia wykorzystanie energii kinetycznej wypływających spalin do dokładniejszego usuwania ich z cylindra. Przy prędkości wypływu spalin (100 m/s) pod koniec suwu wylotu spaliny posiadają jeszcze dużą energię pozwalającą na opróżnienie cylindra ze spalin. Zakończenie procesu wylotu może nastąpić w dwojaki sposób :

- przez zatrzymanie wypływu spalin w wyniku spadku ciśnienia w cylindrze, że zawór wylotowy jest jeszcze otwarty (przypadek ten następuje przy małych oraz średnich prędkościach i obciążeniu). W tym przypadku do chwili zamknięcia zaworu wylotowego w wyniku ssącego działania tłoka może następować zasysanie do cylindra pewnej ilości spalin usuniętych z cylindra.

2.6.7. PARAMETRY KOŃCA WYLOTU.

Ciśnienie gazów pod koniec suwu wylotu zależy od oporów układu wylotowego (długości przewodów, kształtu, chropowatości powierzchni) oraz od prędkości przepływu spalin.

$p = 100 - 105$ kPa - silniki wolnoobrotowe czterosuwowe,

$p = 105 - 120$ kPa - silniki szybkoobrotowe czterosuwowe.

Temperatura gazów pod koniec suwu wylotu zależy od współczynnika nadmiaru powietrza, stopnia sprężania i częstotliwości obrotów.

$T = 900 - 1200$ K - silnik ZI

$T = 700 - 1000$ K - silnik ZS