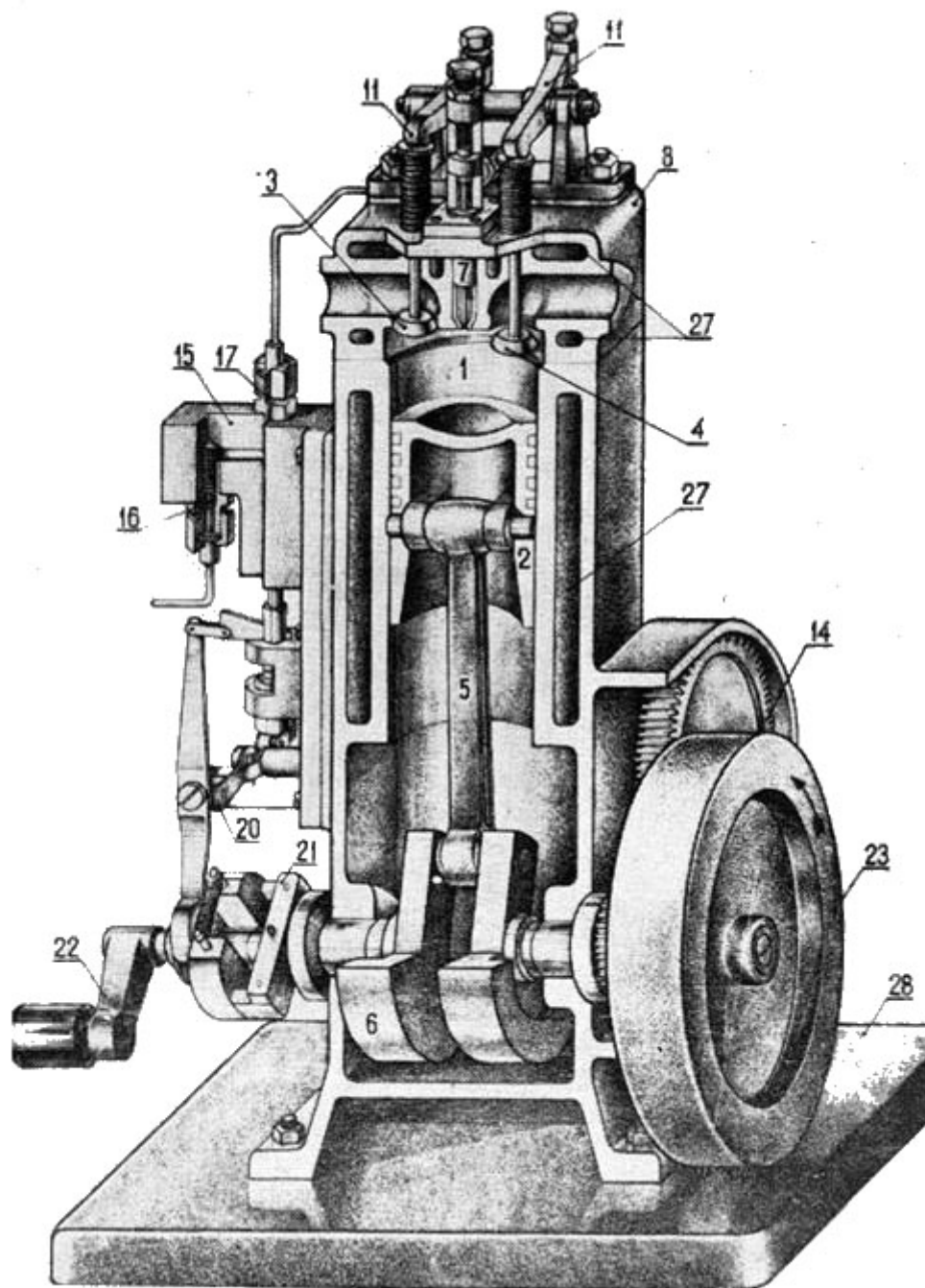


## SILNIK WYSOKOPRĘŻNY DIESLA – MODEL

V 4 – 26



Rys. 1

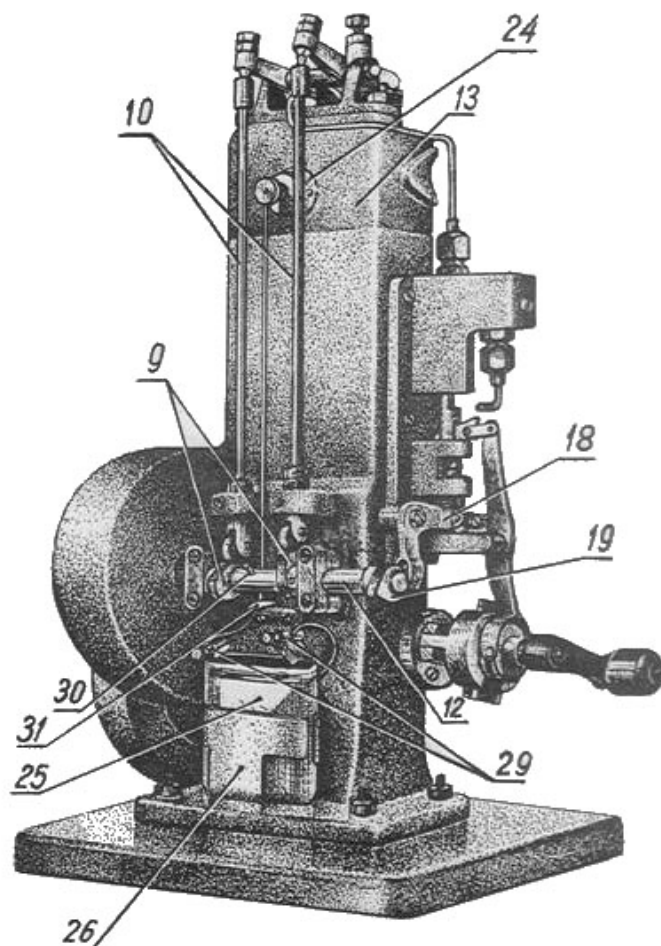
Model przedstawia przekrój cylindra czterosuwowego silnika Diesla z wtryskiem bezpośrednim. Przekrój jest wykonany wzdłuż płaszczyzny pionowej, przechodzącej przez oś wału korbowego i pionowy cylinder.

Na modelu jest pokazany przekrój cylindra (1) i poruszający się w nim tłok (2), dwa zawory – ssący (3) i wydechowy (4), korbowód (5), wał korbowy (6) oraz wtryskiwacz (7).

Zawory są umieszczone w przykręconej do korpusu silnika głowicy (8) i poruszane za pomocą krzywek (9), popychaczy (10) i dwuramiennych dźwigni (11). Wał rozrządczy (12) jest umieszczony na zewnątrz korpusu silnika (13). Jest on napędzany przez wał korbowy parą kół zębatach (14) o przełożeniu 1:2. Do boku korpusu jest przymocowana pompa wtryskowa (15), pokazana w przekroju, z zaworem ssącym (16) i tłoczącym (17). Napęd pompy odbywa się za pomocą dźwigni kątovej (18), poruszanej przez krzywkę (19), która jest umocowana na wale rozrządczym. Pompa jest wyposażona w dźwignię (20), która służy do ręcznego pompowania. Silnik jest zaopatrzony w odśrodkowy regulator obrotów (21), osadzony na wale korbowym na jednym końcu wału korbowego jest umocowana korba (22), a na drugim koło zamachowe (23).

Strzałka na kole zamachowym wskazuje kierunek obrotów. W głowicy jest osadzona oprawka z żarówką 3,5 V (24), zasilaną z płaskiej baterii 4,5 V (25), umieszczonej w uchwycie (26). W ściankach korpusu i głowicy silnika są wykonane kanały (27), służące do wodnego chłodzenia silnika. korpus jest przymocowany do podstawy (28), wykonanej z płyty pilśniowej.

Przed przystąpieniem do pokazu działania silnika łączymy baterię z żarówką przy pomocy specjalnych zacisków (29) i sprawdzamy, czy żarówka zapala się, gdy kolek (30) dotyka sprężynki (31).

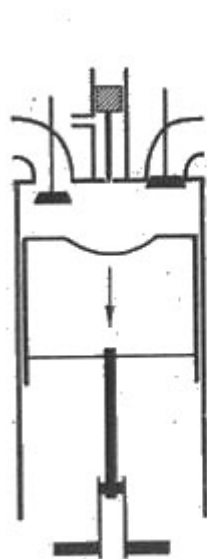


Rys. 2

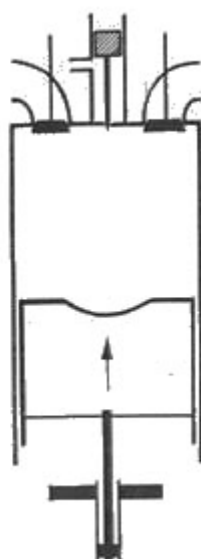
Różnica między silnikiem spalinowym z zapłonem elektrycznym (powszechnie stosowanym w samochodach i motocyklach) a silnikiem Diesla polega na sposobie zapalania mieszanki.

W silnikach Diesla, zwanych silnikami samozapłonowymi, zapłon paliwa następuje po zetknięciu się jego z gorącym powietrzem znajdującym się w cylindrze.

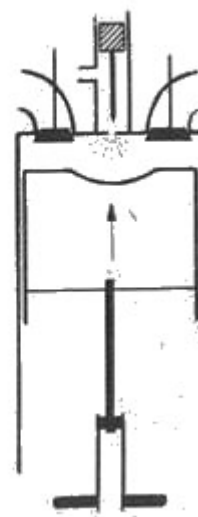
Działanie silnika demonstrujemy zwracając model przekrojem do słuchaczy i obracając korbą w kierunku wskazanym strzałką na kole zamachowym. Rozpoczynamy pokaz cyklu pracy silnika od momentu, gdy tłok nie doszedł jeszcze do górnego martwego punktu (GMP), a nastąpiło otwarcie zaworu ssącego. Zaczyna się suw ssania (rys. 3). Do cylindra jest zasysane powietrze dokładnie oczyszczone przez filtry (w modelu ich nie ma). Gdy tłok przechodzi przez dolny martwy punkt (dalej zwany DMP), zawór ssący jest jeszcze otwarty, aby więcej powietrza (w oparciu o zasadę bezwładności) wpłynęło do cylindra. Ssanie kończy się, gdy wał korbowy obróci się o około  $10^\circ$  po przejściu tłoka przez DMP. W tym momencie zamyka się zawór ssący i rozpoczyna się suw sprężania. Podczas suwu sprężania (rys.4) powietrze zamknięte w cylindrze jest sprężane adiabatycznie, tzn. bez wymiany ciepła z otoczeniem, w wyniku czego uzyskuje ono wysoką temperaturę. Przy końcu suwu sprężania powietrze w cylindrze ma ciśnienie  $30 \div 35$  atm. i temperaturę powyżej  $800^\circ\text{C}$ .



Rys. 3

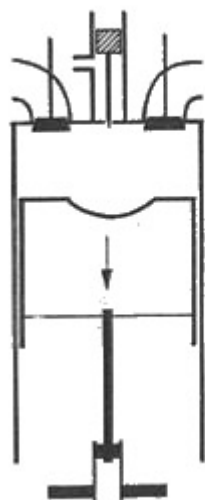


Rys. 4

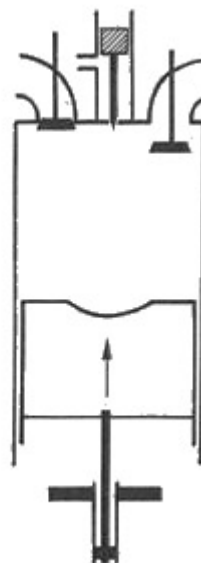


Rys. 5

Proces spalania można podzielić na trzy fazy (rys.8). Faza pierwsza (I) trwa od początku wtrysku do samozapłonu. Faza druga (II) trwa od chwili zapłonu do momentu objęcia płomieniem całej komory spalania. W fazie trzeciej (III) spalanie odbywa się w całej komorze. Wtrysk paliwa (rys. 5) zaczyna się w czasie sprężania ( $a^\circ_w$ ) przed dojściem tłoka do GMP (rys. 5 i rys. 8). Zapłon paliwa następuje z pewnym opóźnieniem ( $a^\circ_z$ ) przed GMP (rys. 8) w stosunku do rozpoczęcia się wtrysku, co łatwo wytłumaczyć tym, że konieczny jest czas na rozpylenie i ogrzanie się choć części wtrysniętego paliwa. Opóźnienie to jest również zależne od rodzaju paliwa, ciśnienia panującego w cylindrze, jakości rozpylenia i kształtu komory spalania.



Rys. 6



Rys. 7

W modelu zapłon paliwa imituje rozbłyśnięcie żarówki. Płomień rozprzestrzenia się następnie na całą komorę spalania.

W trzeciej fazie ciśnienie i temperatura osiągają takie wartości, że paliwo wtryskiwane w dalszym ciągu do cylindra zostaje natychmiast zapalone.

Tak więc w części drugiej fazy spalania i w całej fazie trzeciej silnik wykonuje pracę (rys.8). Po skończonym spalaniu następuje rozprężanie (rys. 6). Zawór wydechowy otwiera się przed dojściem tłoka do DMP, po czym zaczyna się suw wydechu (rys.7). Przed dojściem tłoka do GMP otwiera się znowu zawór. Zamknięcie zaworu wydechowego następuje dopiero po przejściu tłoka przez GMP, tak więc przez pewien czas oba zawory - ssący i wydechowy są otwarte (tak zwane współotwarcie zaworów).



Rys. 8

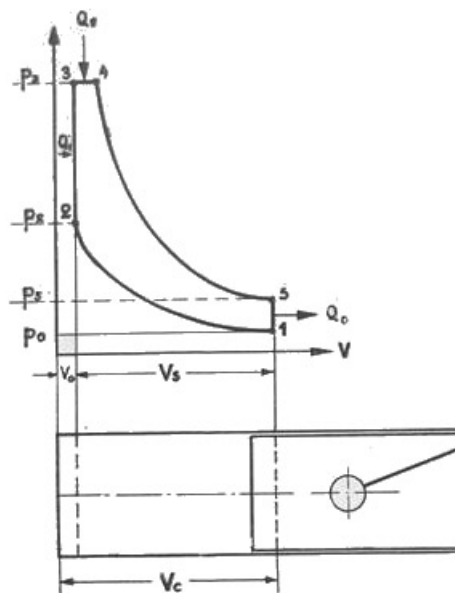
Współotwarcie zaworów jest potrzebne do usunięcia spalin z cylindra. Czyste powietrze napływające do cylindra wypcha resztki spalin. Jest to tzw. przedmuch cylindra.

Rzeczywisty przebieg procesów zachodzących w silniku jest bardzo złożony. Zależy on od rodzaju silnika, paliwa, sposobu chłodzenia i liczby obrotów.

Należy teraz omówić pracę silnika od strony teoretycznej. Obieg teoretyczny jest przedstawiony na wykresie w płaszczyźnie  $p, V$  (ciśnienie, objętość). Wykres taki nazywamy

wykresem indykatorowym (rys. 9). Powietrze zawarte w cylindrze zostaje sprężone adiabatycznie – od ciśnienia  $p_0$  (ciśnienie atmosferyczne) do ciśnienia  $p_2$  (odcinek 1–2). W punkcie 2 następuje zapłon paliwa i ciśnienie gwałtownie wzrasta do ciśnienia  $p_3$  (odcinek 2–3). Przy spalaniu się paliwa na tym odcinku pracy została doprowadzona ilość  $Q_1$ . Dalsze spalanie odbywa się pod stałym ciśnieniem, ponieważ tłok zdążył przejść GMP i porusza się do dołu (odcinek 3–4). Na odcinku 3–4 zostaje dostarczona ilość ciepła  $Q_2$ .

Po skończonym spalaniu następuje adiabatyczne rozprężenie (odcinek 4–5). W punkcie 5 rozpoczyna się usuwanie spalin z cylindra. Spadek ciśnienia jest gwałtowny i możemy przyjąć, że odbywa się przy stałej objętości (tłok nie zdąży się poruszyć). Spaliny unoszą w tym czasie ilość ciepła równą  $Q_0$ .

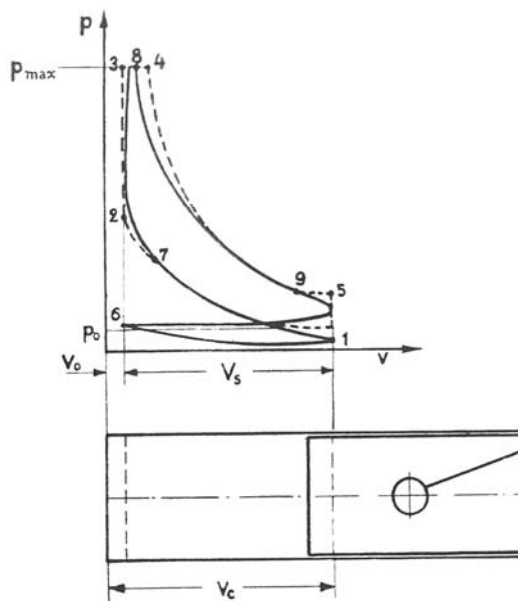


Rys. 9

Sprawność teoretyczna takiego obiegu przy założeniu, że odbywa się on bez żadnych strat, wynosi

$$\eta = \frac{(Q_1 + Q_2) - Q_0}{Q_1 + Q_2} = 1 - \frac{Q_0}{Q_1 + Q_2}$$

Na wykresie indykatorowym (rys. 9) nie uwzględniono rzeczywistego ruchu tłoka. Po uwzględnieniu ruchu tłoka wykres ma wygląd przedstawiony na rys. 10. Linia przerywaną jest oznaczony teoretyczny wykres indykatorowy.

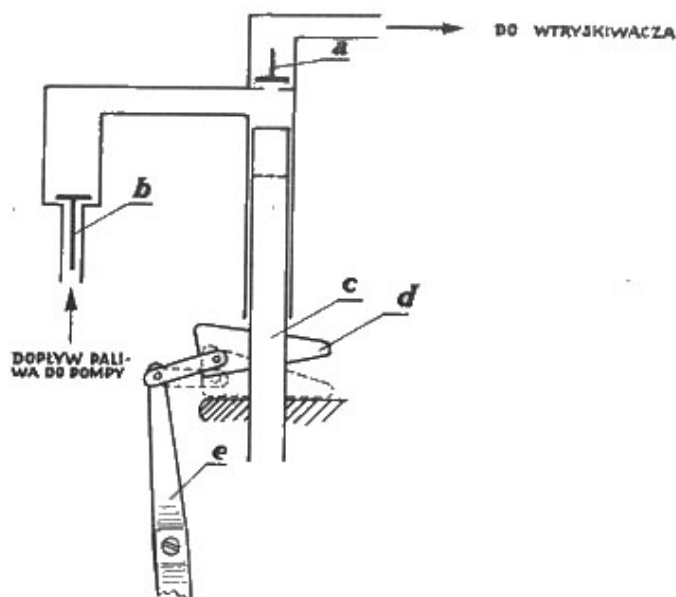


Rys. 10

Na wykresie pojawia się pętla. Jest to zrozumiałe, jeżeli będziemy pamiętać, że na dwa pełne ruchy tłoka (dwa obroty wału korbowego) przypada tylko jeden suw pracy. Suw ssania odbywa się na odcinku 6-1, a suw sprężania na odcinku 1-7. Wtrysk paliwa następuje w punkcie 7 i trwa do punktu 8 (suw pracy). Na odcinku 8-9 następuje rozprężanie, a na odcinku 9-6 wydech.

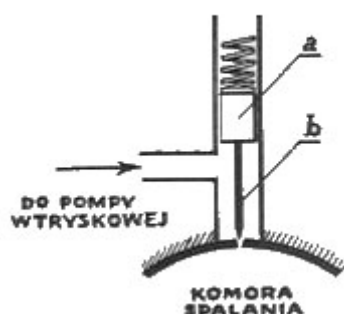
Ze względu na szybki i niejednostajny ruch tłoka ciśnienie w cylindrze zależy od tego, w którym punkcie je zmierzymy. Na wykresach indykatorowych podajemy jednak średnie ciśnienie panujące w cylindrze.

Podany dotychczas opis działania silnika nie uwzględniał zasad pracy pompy wtryskowej, wtryskiwacza i odśrodkowego regulatora obrotów. Niżej podajemy krótki opis ich działania. Schemat pompy wtryskowej jest przedstawiony na rys. 11.



Rys. 11. a – zawór tłoczący, b – zawór ssący, c – tłoczek pompy wtryskowej, d – klin regulacyjny, e – dźwignia regulatora

Działanie pompy jest następujące. Z chwilą, gdy krzywka (19) poruszy dźwignię (18) - rys. 2, tłoczek pompy zaczyna się podnosić zamykając zawór ssący i otwierając zawór tłoczący. Paliwo zostaje doprowadzone do wtryskiwacza pod ciśnieniem większym od ciśnienia powietrza w cylindrze, gdyż inaczej wtrysk nie mógłby nastąpić. Podniesienie iglicy wtryskiwacza następuje pod wpływem ciśnienia paliwa na tłoczek wtryskiwacza i w ten sposób - po podniesieniu tłoczka i otwarciu przez iglicę kanału do cylindra - paliwo jest wtryskiwane do komory spalania (rys. 12).



Rys. 12. a – tłoczek wtryskiwacza, b – igła wtryskiwacza

Bardzo ważnym szczegółem konstrukcyjnym jest centralne ustawienie iglicy w otworze, jak również kształt stożka otworu, ponieważ od tego zależy jakość rozpylenia paliwa w komorze spalania. W modelu ze zrozumiałych względów wtryskiwacz w czasie obracania korbką nie działa. Można jednak unieść iglicę podnosząc tłoczek. Działanie regulatora polega na tym, że ogranicza ilość paliwa wtryskiwanego do komory spalania przez zmniejszenie skoku tłoczka pompy wtryskowej przy zbyt dużej liczbie obrotów. Zmiana skoku tłoczka następuje pod wpływem wsunięcia się klina regulacyjnego w wycięcie tłoczka pompy wtryskowej pod działaniem dźwigni regulatora.

Koło zamachowe służy do wyrównania „biegu” silnika.

Po zakończeniu pokazu należy odłączyć zaciski od baterii. Silnik należy przechowywać w suchym pomieszczeniu.

---

Opracowano w Pracowni Dydaktyki Fizyki i Astronomii Uniwersytetu Szczecińskiego  
pod kierunkiem *Tadeusza M. Molendy* na podstawie:

### **Silnik wysokoprężny Diesla – model**

Nr kat. V 4 – 26

Produkowano:

BIOFIZ

ZJEDNOCZENIE PRZEMYSŁU POMOCY NAUKOWYCH I ZAOPATRZENIA SZKÓŁ WARSZAWA

Fabryka Pomocy Naukowych w Nysie

Zestaw wraz z instrukcją został zatwierdzony przez Ministerstwo Oświaty ..... roku  
do użytku szkolnego.

Instrukcję napisał: ....., rysunki wykonał: .....

---

**Źródło:** ze zbiorów Pracowni Dydaktyki Fizyki i Astronomii Uniwersytetu Szczecińskiego