P O L I T E C H N I K A W A R S Z A W S K A

INSTYTUT MASZYN ELEKTRYCZNYCH

Zakład Konstrukcji Urządzeń Elektrycznych

INSTRUKCJA ĆWICZENIA LABORATORYJNEGO

Temat:

"Diagnostyka silnika spalinowego gaźnikowego"

Do użytku wewnętrznego

Laboratorium Systemów Pomiarowych i Diagnostycznych Pojazdów Samochodowych

Warszawa 7 marca 2003 r.

opracował : dr inż. Jarosław Paszkowski

Spis treści:

1. Wprowadzenie 4
1.1 Program ćwiczenia 4
1.2 Wiadomości podstawowe 4
1.2.1 Układy sterowania pracą silnika 7
1.2.1.1 Sterowanie napełnianiem 7
1.2.1.2 Sterowanie wtryskiem 10
1.2.2 Konwencjonalny układ zapłonowy. 13
1.2.2.1 Teoria działania klasycznego układu zapłonowego. 13
1.2.2.2 Cewka zapłonowa 15
1.2.2.3 Rozdzielacz zapłonu 19
1.2.3 Gaźnik 26
1.2.3.1 Budowa gaźnika 26
1.2.4 Gaźnik PF125P 30
1.2.4.1 Opis budowy gaźnika PF125P 30
1.2.4.2 Opis działania 31
2. Regulacja silnika gażnikowego 36
2.1 Zasady regulacji silników 36
2.2 Kontrola poprawności nastaw. 38
3. Badania i pomiary 42
3.1 Opis metod pomiarowych 42
3.1.1 Oględziny silnika 42
3.1.2 Osłuchanie silnika 42
3.1.3 Pomiar podciśnienia w kolektorze ssącym 45
3.1.4 Pomiar ciśnienia sprężania 46
3.1.5 Powietrzna próba szczelności cylindrów 48
3.1.5.1 Ocena szczelności zaworów. 49
3.1.5.2 Ocena szczelności cylinder-pierścień-tłok. 50
3.1.5.3 Ocena szczelności głowica-kadłub. 50
3.1.5.4 Ocena sprawności cylindrów. 51
3.1.6 Regulacja układu zapłonowego 51
3.1.7 Ocena pracy silnika za pomocą świecy testowej. 51
3.1.8 Ocena pracy silnika za pomocą analizatora spalin. 53
3.1.8.1 Przeprowadzenie badań: 54
3.1.8.2 Badanie gaźnika przy biegu jałowym silnika. 55
3.1.8.3 Badanie pompy przyspieszającej. 55

3.2 Wyniki pomiarów i badań 55
4. LITERATURA 56

1. Wprowadzenie

1.1 Program ćwiczenia

Ćwiczenie to obejmuje swoim zakresem ocenę diagnostyczną silnika o zapłonie iskrowym wewnętrznego spalania. Diagnozowaniu podlegać będą:

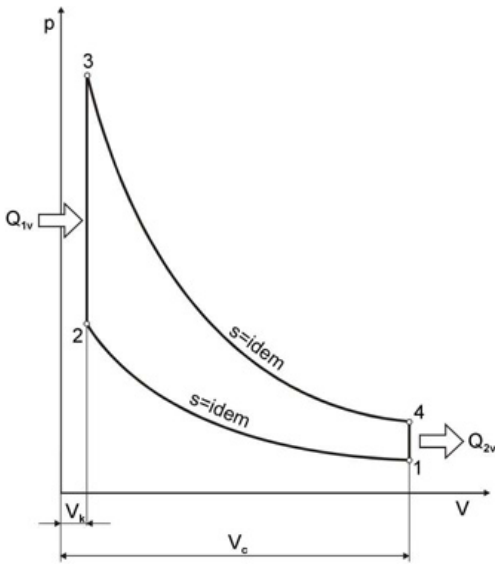
- *komora spalania*
- *jakość procesu spalania*
- *wpływ układu zapłonowego na pracę silnika.*

1.2 Wiadomości podstawowe

Powstała w XIX wieku technika motoryzacyjna w XX–tym stuleciu rozwijała się w sposób błyskawiczny a w obecnym wieku rozwój jej jest priorytetem dla dużych koncernów samochodowych jak również nowym wyzwaniem dla naukowców i specjalistów z wielu dziedzin szeroko pojętej mechatroniki.

Samochód napędzany tłokowym silnikiem spalinowym jeszcze długo będzie stanowił podstawę transportu drogowego. Silnik benzynowy jako jednostka napędowa ciągle stanowi podstawowe źródło energii napędzającej pojazd. O niezmiennym panowaniu silników benzynowych na rynku samochodów osobowych przesądził błyskawiczny rozwój systemów elektronicznego sterowania silnikami. Elektroniczny układ sterowania procesem roboczym silnika zgodnie z zapisanymi w pamięci sterownika algorytmami (opierając się na wynikach pomiarów dostarczanych przez czujniki) dozuje paliwo, ilość powietrza oraz ustawia kąt wyprzedzenia zapłonu. Dzięki temu znacznie ogranicza się szkodliwy wpływ spalin na środowisko, rośnie również komfort prowadzenia samochodu i bezawaryjność silnika.

Rozwój elektronicznych układów sterowania nie zmienia jednak zasad działania silnika o zapłonie iskrowym, które liczą już sobie ponad 120 lat. Historia cylindrowego suwu pracy zaczęła się już w 1673 roku, kiedy nadworny uczony króla Ludwika XIV zapalał proch strzelniczy w cylindrze maszyny pompującej wodę do ogrodów królewskich. Ciśnienie gazów powstałych w wyniku eksplozji przesuwały ku górze tłok umieszczony w cylindrze, a ten połączony systemem linek i bloczków poruszał przeciwwagę wyciągającą wodę ze studni. W roku 1860 Etienne Lenoir zbudował silnik gazowy o mocy 2 [kW], w którym elektrycznie dokonywał się zapłon gazu świetlnego. Pierwszy czterosuwowy silnik spalinowy o zapłonie iskrowym zaprezentował Nikolaus Otto na wystawie paryskiej w 1878 roku. Te cztery suwy nie zmieniły się do dzisiejszego dnia: zasysanie, sprężanie, praca i wydech.

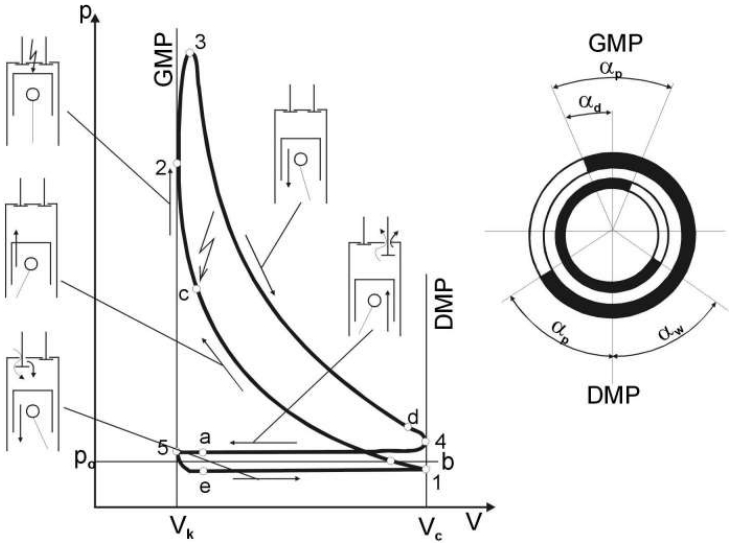


Rys 1.1 Obieg Otto

Od nazwiska twórcy pierwszego czterosuwowego silnika o zapłonie iskrowym porównawczy obieg termodynamiczny, w którym zachodzą przemiany izentropowego sprężania, izochorycznego doprowadzania ciepła, izentropowego rozprężania i izochorycznego odprowadzania ciepła nazywany jest obiegiem Otto.

Sprawność obiegu Otto rośnie wraz ze wzrostem stopnia sprężania oraz wykładnika izentropy, nie zależy zaś od ilości doprowadzonego ciepła. Sprawność obiegu Otto jest większa od sprawności obiegu zawierającego obok izochorycznego doprowadzania ciepła również izobaryczne doprowadzanie ciepła.

W czterosuwowych silnikach tłokowych realizacja obiegu termodynamicznego wymaga dwóch pełnych obrotów wału korbowego. Pierwszy obrót służy do realizacji suwu sprężania i pracy, drugi obrót wału korbowego umożliwia przebieg suwu wydechu i zasysania (napełniania).



Rys 1.2 Schemat zasady pracy czterosuwowego silnika tłokowego ZI

Wartość kąta obrotu wału korbowego zmienia się 0 ÷ 720°. Dla kątów 0 (720°) i 360° tłok znajduje się w położeniu GMP, dla którego objętość komory spalania jest najmniejsza. Po okresie zassania mieszanki paliwowo-powietrznej (odcinek 5–1 na Rys 1.2) następuje sprężanie (1–2), w trakcie którego zachodzi zapłon mieszanki (punkt c). Rozpoczyna się spalanie, któremu towarzyszy wzrost ciśnienia do punktu 3. Odcinek 3–4 to suw rozprężania (pracy) zaś odcinek 4–5 obejmuje wypychanie spalin z cylindra (wydech). Otwarcie zaworu wylotowego ma miejsce pomiędzy punktami d–e, natomiast otwarcie zaworu dolotowego zachodzi pomiędzy punktami a–b.

W silnikach ZI spalających mieszankę homogeniczną (równomiernie wymieszaną) paliwo podawane jest przed lub w trakcie trwania suwu ssania przed zawór dolotowy, proces sprężania w cylindrze dotyczy wówczas mieszanki paliwowo-powietrznej. W silnikach ZI spalających mieszankę uwarstwioną paliwo podawane jest do sprężanego powietrza przed zapłonem.

Do zapłonu mieszanki paliwowo-powietrznej w cylindrach silników spalinowych z zapłonem iskrowym stosuje się elektryczne urządzenia zapłonowe. Źródłem zasilania tych urządzeń jest akumulator. Zapłon bateryjny w skrócie polega na wykorzystaniu zjawiska wyładowania iskrowego między elektrodami świecy zapłonowej w komorze spalania cylindra. Proces spalania zależy od składu chemicznego mieszanki, wyboru miejsca powstania zapłonu, kształtu komory spalania i energii iskry. Wraz z rozwojem tłokowych silników spalinowych z zapłonem iskrowym położono większy nacisk na zwiększenie ekonomiczności, zmniejszenie masy jednostki napędowej oraz zminimalizowanie emisji szkodliwych związków do atmosfery przy jednoczesnym zwiększeniu prędkości obrotowej silnika i ciśnienia sprężania. Równocześnie z rozwojem układów paliwowych gaźnikowych pracowano nad układami wtrysku paliwa do cylindra. Początkowo zasilanie wtryskowe stosowano tylko w silnikach samolotowych oraz w samochodach sportowych. Jednak ze względu na obniżenie kosztów produkcji osprzętu wtryskowego zaczęto wdrażać ten rodzaj zasilania silnika mieszanką do samochodów użytku powszechnego. W 1958 roku firma Bosh zaprezentowała układ

wtryskowy o nazwie handlowej D-Jetronic. W układzie tym natężenie przepływu określano na podstawie pomiaru podciśnienia w kolektorze dolotowym (D, Druck z niem. ciśnienie). Pomimo iż w późniejszym okresie zaczęto usprawniać ten układ kierując się przede wszystkim dokładnością dawkowania paliwa przy różnych, zmieniających się warunkach pracy silnika to idea zasilania wtryskowego pozostała nadal taka sama. Z czasem wtrysk zaczął wypierać układy gaźnikowe gdyż te chcąc nadążyć za rozwojem stały się bardziej skomplikowane, droższe i ze względu na dużą liczbę elementów ruchomych bardziej awaryjne. Układy wtryskowe paliwa pomimo prostej teorii działania wymagają w stosunku do układów gaźnikowych większej ilości czujników i układów kontrolujących parametry pracy silnika. Pomimo dużego rozwoju systemów wtryskowych sama konstrukcja silnika niewiele się zmieniła. Żaden z procesów zachodzących wewnątrz silnika jak również i parametry względem, których ustala się punkty pracy urządzenia nie uległy zmianie. Celowym staje się więc aby wielkości mające wpływ na parametry silnika tłumaczyć na klasycznych układach zapłonowych i gaźnikowych układach zasilania paliwem. Prostota konstrukcji tych pierwszych i duży stopień integracji nowoczesnych czujników i sterowników pozwala przy znajomości zjawisk i zasad regulacji układów konwencjonalnych na szybką lokalizację potencjalnej usterki w obecnych pojazdach.

Priorytetowym zadaniem, które stawia się przed systemem sterowania silnika spalinowego jest automatyzacja jego pracy. Oznacza to, że podstawowe funkcje sterujące, które świadomie wykonywał kierowca przejmowane są przez sterownik. Pełnej automatyzacji najszybciej doczekało się sterowanie zapłonem ze względu na szczególne wymagania czasowe i środowiskowe dotyczące początku wyładowania elektrycznego w komorze spalania.

Warunki palności mieszanki wymuszają odpowiedni jej skład (λ= 0.4 ÷1.4). Wymagania stawiane przez ekologów spowodowały, że funkcje zasilania w paliwo zostały całkowicie zautomatyzowane, (choć do niedawna spotykane było jeszcze ręcznie lub półautomatycznie uruchamiane cięgno wzbogacania mieszanki podczas rozruchu zimnego silnika). Regulacja dawki paliwa realizowana jest przez elektroniczne urządzenia wtrysku benzyny.

W ostatnim okresie również funkcja regulacji napełniania (doboru masy powietrza do wymagań mocy silnika) została całkowicie przejęta przez system sterowania.

Te trzy podstawowe funkcje sterujące:

- *sterowanie napełnianiem,*
- *sterowanie wtryskiem*
- *sterowanie zapłonem*

stanowią niezbędny element współczesnych układów sterowania samochodowymi silnikami o zapłonie iskrowym.

Automatyczne sterowanie napełnianiem realizowane jest głównie przy zamkniętej przepustnicy poprzez sterowanie urządzeniami biegu jałowego (np. zaworem obejściowym poruszanym silnikiem elektrycznym). W ostatnim okresie funkcja regulacji masy powietrza jest całkowicie przejmowana przez system sterowania.

1.2.1 Układy sterowania pracą silnika

1.2.1.1 Sterowanie napełnianiem

Tendencje ostatnich lat w sterowaniu napełnianiem związane są z ulepszaniem algorytmów sterujących pracą biegu jałowego oraz z wprowadzaniem nowatorskich urządzeń, które sterują napełnianiem silnika w całym zakresie prędkości obrotowych (np. elektronicznie sterowana przepustnica, elektromechaniczne zawory).

1.2.1.1.1 Sterowanie napełnianiem przy zamkniętej przepustnicy

Zamknięcie przepustnicy może być związane z kilkoma przypadkami:

- *rozruch,*
- *bieg jałowy,*
- *zmiana biegów*
- *hamowanie silnikiem.*

W każdym przypadku wymagana jest regulacja ilości a w zasadzie masy powietrza docierającego do cylindrów. W warunkach rozruchu ilość powietrza przepływającego przez kolektor dolotowy decyduje o jakości mieszanki tworzonej w takcie dolotowym. Poza tym masa mieszanki w cylindrze wpływa na temperaturę i ciśnienie sprężania, a tym samym na zdolność zapłonową mieszanki.

Podczas stanów nieustalonych, podczas których zachodzi zamknięcie przepustnicy (zmiana biegów, gwałtowne ruchy przepustnicą, hamowanie silnikiem) regulacja napełniania wpływa na odparowanie paliwa zgromadzonego na ściankach kanału dolotowego.

Dla samochodu eksploatowanego w warunkach ruchu miejskiego istotny udział w całkowitym zużyciu paliwa ma zużycie jego podczas działania silnika w warunkach biegu jałowego. Z tego też względu prędkość obrotowa biegu jałowego powinna być jak najmniejsza dopasowana do indywidualnych umiejętności kierującego. Jednak przy zbyt małej prędkości obrotowej biegu jałowego mieszanka paliwowo–powietrzna ma trudne warunki do spalania co w rezultacie powoduje zwiększoną emisję składników toksycznych oraz niestabilną pracę silnika. Ponadto, jeśli samochód wyposażony jest w katalizator spalin, mniejsza ilość spalin może nie podtrzymać wymaganej temperatury pracy katalizatora, co w połączeniu z większą emisją składników toksycznych czyni go mniej skutecznym. Z kolei za duża prędkość obrotowa biegu jałowego powoduje zwiększone zużycie paliwa. Optymalna prędkość obrotowa biegu jałowego godząca sprzeczne interesy, jest zależna od temperatury silnika. Dla zimnego silnika wymagana prędkość obrotowa biegu jałowego jest większa, zaś w trakcie nagrzewania silnika zmniejsza się.

W przypadku układów gaźnikowych sterowanie dawką powietrza odbywało się ręcznie poprzez stopniowe (wraz z nagrzewaniem się silnika) wyłączanie urządzenia rozruchowego gaźnika lub też półautomatycznie za pomocą sprężyny termobimetalowej. Niemożliwa była jednak prawidłowa i dokładna kontrola procesu nagrzewania zimnego silnika jak również i rozruchu silnika niecałkowicie rozgrzanego.

Ilość mieszanki potrzebnej do uzyskania wymaganej prędkości obrotowej biegu jałowego zmienia się zależnie od temperatury zasysanego powietrza, jakości paliwa, obciążenia silnika (napędzającego alternator, pompę układu wspomagania kierownicy itp.) oraz stanu technicznego silnika. Silnik starzejąc się (zużywając) wymaga zasilania większą ilością mieszanki dla uzyskania tej samej prędkości biegu jałowego i równomiernej pracy.

Rozwinięte systemy stabilizacji prędkości obrotowej biegu jałowego wymagają wielu rozbudowanych algorytmów, szczególnie w przypadku samochodów wyposażonych w klimatyzację lub automatyczną skrzynię biegów. Podczas sterowania automatyczną skrzynką

przekładniową lub też przy włączeniu urządzenia klimatyzacyjnego występują przeregulowania powodujące niewskazane oscylacje prędkości obrotowej biegu jałowego tzw. "falowanie prędkości obrotowej".

Tak więc, układ sterowania napełnianiem przy zamkniętej przepustnicy ma za zadanie realizować następujące funkcje:

- *utrzymywać pożądaną prędkość biegu jałowego,*
- *równoważyć zmiany obciążenia silnika,*
- *zapobiegać zatrzymaniu silnika wskutek przeciążenia,*
- *minimalizować zużycie paliwa przez utrzymywanie jak najmniejszej dopuszczalnej prędkości biegu jałowego oraz poprzez redukcję strumienia powietrza podczas hamowania pojazdu (co również ogranicza zużycie paliwa),*
- *eliminować potrzebę okresowej regulacji biegu jałowego dzięki użyciu algorytmów kompensujących zmiany wywołane starzeniem i zużyciem eksploatacyjnym pojazdu,*
- *ograniczać emisję składników toksycznych spalin przez doprowadzenie dodatkowego powietrza podczas hamowania przy zamkniętej przepustnicy,*
- *polepszać własności jezdne (dynamiczne) pojazdu,*
- *realizować wszystkie te funkcje w sposób jak najmniej zauważalny dla kierowcy.*

Włączenie się procedur regulacji prędkości obrotowej biegu jałowego wymaga spełnienia następujących warunków:

- *w samochodzie wyposażonym w automatyczną skrzynię biegów prędkość obrotowa silnika mniejsza od wymaganej,*
- *w samochodzie wyposażonym w manualną skrzynię biegów: zamknięta przepustnica (sygnał napięciowy z czujnika położenia przepustnicy mniejszy od ustalonego progu), prędkość samochodu zerowa.*

W silnikach ZI najczęściej stosowane są dwa systemy sterowania pracą silnika na biegu jałowym:

System sterowania prędkością biegu jałowego ISC (ang. – *Idle Speed Control*), który za pomocą silnika krokowego steruje położeniem przepustnicy. Silnik krokowy regulacji położenia przepustnicy jest silnikiem prądu stałego. Sterowanie prędkością obrotową na biegu jałowym odbywa się przez bezpośrednie poruszanie przepustnicą za pośrednictwem przekładni zębatej;

System sterowania ilością powietrza zasilającego silnik na biegu jałowym IAC (ang. – *Idle Air Control*), w którym silnik krokowy steruje pracą zaworu regulującego ilość powietrza przepływającego przez kanał obejściowy przepustnicy do silnika. W systemie tym powietrze doprowadzane do silnika przepływa przez kanał obejściowy w zespole przepustnicy zamykany przez elektronicznie sterowany zawór. Zawór ten połączony jest mechanicznie z silnikiem krokowym, ten zaś elektrycznie do jednostki sterującej. Ciągi impulsów napięciowych generowanych przez sterownik przesuwają skokowo trzpień zaworu (jeden skok na jeden impuls) od pozycji pełnego otwarcia do pełnego zamknięcia.

1.2.1.1.2 Sterowanie przepustnicą

W ciągu ostatnich kilku lat zwiększające się wymagania w stosunku do silnika oraz funkcji sterowania mocą napędu ewoluowały w celu zmniejszenia poziomu toksyczności spalin, zużycia paliwa oraz zwiększenia zdolności jezdnej. Jednym ze sposobów spełnienia tych wymagań jest automatyzacja sterowania przepustnicą. Po pierwsze, ułatwia to obliczanie masy powietrza w cylindrze w przyszłych cyklach silnikowych (ruchy przepustnicy są zgodne z założonym przebiegiem czasowym bez przypadkowości wprowadzanej przez kierującego). Po drugie, można realizować funkcje dotychczas niedostępne: wspomaganie zmiany biegów, łagodzenie niekorzystnych skutków stanów nieustalonych wywołanych zbyt gwałtownymi reakcjami (niepotrzebnymi) kierowcy, ochronę katalizatora przed przegrzaniem lub szybsze jego rozgrzewanie po rozruchu. Elektronicznie sterowana przepustnica jest niezbędna w układach ze skokowymi przejściami pomiędzy regulacją mocy składem ubogiej mieszanki a regulacją mocy silnika ilością mieszanki. Sytuacja taka jest charakterystyczna dla silników spalających mieszankę uwarstwioną w warunkach małych obciążeń i małych prędkościach obrotowych, zaś mieszankę homogeniczną w warunkach zwiększonych obciążeń i zwiększonych prędkościach obrotowych (silnikach z bezpośrednim wtryskiem benzyny).

Elektroniczne systemy sterowania przepustnicą są produkowane już od roku 1986. Urządzenia te dodawane są do konwencjonalnego układu sterowania silnikiem. Elektroniczny układ sterowania przepustnicą zastępuje mechaniczne cięgno rozpięte pomiędzy pedałem przyspiesznika a osią przepustnicy, eliminuje również układ wykonawczy biegu jałowego tzn. albo silnik krokowy zaworu obejściowego albo trzpień podtrzymujący przepustnicę. Główne powody wprowadzenia układu elektronicznego sterowania przepustnicą są związane z możliwością sterowania trakcją, czyli jazdą samochodu z możliwością zaprogramowania charakterystyk silnika oraz ze sterowaniem jazdą. W styczniu 1995 roku firma *Bosch* rozpoczęła produkcję nowej generacji układów sterowania przepustnicą. Generacja ta jest pierwszą generacją systemów ETC (ang. – *Electronic Throttle Control*).

1.2.1.1.3 Sterowanie rozrządem

Konstruktorzy dążą do tego, aby jak największa masa powietrza mogła napłynąć do przestrzeni roboczej cylindrów. Dzięki temu silnik może zwiększyć wartość momentu obrotowego w całym zakresie prędkości obrotowej. Jednym ze sposobów zwiększania współczynnika napełniania jest zastosowanie elektronicznego sterowania zaworami dolotowymi i wylotowymi. Zmienne fazy rozrządu mogą pomóc w sterowaniu ilością ładunku w cylindrze i resztą spalin w silniku ZI bez udziału przepustnicy. W warunkach pełnego obciążenia zwiększony zostaje współczynnik napełnienia. Dzieje się to dzięki optymalizacji czasów otwarcia i zamknięcia zaworów. Masa reszty spalin może zostać zredukowana w celu uniknięcia spalania stukowego. W warunkach małych prędkości obrotowych, zwiększenie momentu obrotowego wynosi około 30 % w stosunku do rozwiązań klasycznych.

Sterując ładunkiem dostarczanym do cylindra silnika poprzez zmianę zamykania zaworu dolotowego można zminimalizować straty pompowania a tym samym zmniejszyć zużycie paliwa. Jednocześnie ulepszony może zostać proces spalania dzięki zmianie składu gazu roboczego w cylindrze. Uzyskuje się to poprzez zmiany czasu otwarcia i zamknięcia zaworu dolotowego i wylotowego w funkcji obciążenia i prędkości. Odpowiednio zmniejszona lub zwiększona masa reszty spalin wpływa na poprawę spalania, co w rezultacie zmniejsza zużycie paliwa i emisję składników toksycznych, szczególnie tlenków azotu NO_x.

Konstrukcja elektromagnetycznie sterowanego układu rozrządu pozbawiona jest wałka rozrządu, dźwigienek, popychaczy. Składa się z dwóch elektromagnesów, rdzenia

połączonego z trzonkiem zaworu, zaworu silnikowego i dwóch sprężyn. Urządzenie działa w ten sposób, że w chwili gdy prąd elektryczny nie dopływa, sprężyny utrzymują zawór w zawieszeniu, nieco otwarty. Jeżeli czynny jest górny elektromagnes, zawór zostaje zamknięty. Dla poruszenia zaworu konieczny jest znaczny, krótkotrwały impuls prądu. W stanie zamkniętym zawór można utrzymać zasilając magnes prądem o niewielkim natężeniu. Dla całkowitego otwarcia zaworu trzeba zasilić prądem dolny magnes. Moc konieczna do działania takiego napędu zaworów jest mniejsza w odniesieniu do konwencjonalnego układu rozrządu silnika spalinowego.

Zastosowanie elektronicznego sterowania rozrządem umożliwia realizację wielu nowych algorytmów sterowania, polepszających pracę silnika w takich warunkach jak:

- *uproszczenie procedury rozruchu,*
- *zmniejszenie prędkości obrotowej biegu jałowego,*
- *optymalizacja stanów nieustalonych,*
- *regulacja wewnętrznej recyrkulacji spalin,*
- *rozszerzenie metody wyłączania cylindrów,*
- *efektywne hamowanie silnikiem,*
- *możliwość realizacji skomplikowanych obiegów termodynamicznych,*
- *łatwiejsze dopasowanie turbodoładowania ładunku.*

W przypadku stosowania zaworu obejściowego lub elektronicznie sterowanej przepustnicy sygnał sterujący posiada charakter nieciągłych zmian położenia silnika krokowego. W przypadku zastosowania sterowania rozrządem, ruch zaworów musi być synchronizowany z cyklami pracy poszczególnych cylindrów.

1.2.1.2 Sterowanie wtryskiem

Do podstawowych zadań stawianych przed urządzeniami zasilającymi silnik w paliwo należy zaliczyć uzyskanie właściwego składu mieszanki paliwowo–powietrznej zapewniającego wymagane własności silnika oraz odpowiedniego rozkładu przestrzenno–czasowego składu mieszanki w cylindrze.

Z ekonomicznego punktu widzenia najkorzystniej byłoby, gdyby silnik pracował ze zmiennym współczynnikiem nadmiaru powietrza, tym większym im mniejsze jest zapotrzebowanie mocy. Ponieważ wraz ze zubożeniem mieszanki po przekroczeniu λ 1,3 wzrasta zagrożenie brakiem palności stref położonych w pobliżu świecy zapłonowej, w grę wchodzą jedynie silniki z uwarstwieniem mieszanki, w których sumaryczny współczynnik nadmiaru powietrza w znaczny sposób może przekraczać wartość λ =1,5. Zadawana wartość współczynnika nadmiaru powietrza zależy od przyjętego wskaźnika jakości. Zwykle pod uwagę bierze się poziom toksyczności gazów spalinowych, zużycie paliwa oraz użyteczny moment obrotowy. Spalanie mieszanek stechiometrycznych przy równoczesnym użyciu katalizatora trójdrożnego jest kompromisem pozwalającym spełnić wymagania w zakresie toksyczności spalin, jednakże kosztem zwiększonego zużycia paliwa, a więc zarówno i zwiększonej emisji dwutlenku węgla oraz ograniczenia możliwych osiągów silników. Niemożliwe jest osiągnięcie optymalnej wartości każdego ze wskaźników.

Obok nich pod uwagę bierze się jeszcze jeden – często decydującą o ostatecznym składzie mieszanki tzw. zdolność jezdną (ang. – *driveability*). Najczęściej zdolność jezdną rozumie się jako iloraz użytecznego momentu obrotowego w niezmiennych warunkach zasilania. Podczas działania silnika występuje naturalny rozrzut składu mieszanki w kolejnych cyklach. W warunkach mieszanki ubogiej (bądź zbyt bogatej) występuje zjawisko znacznych różnic kolejnych wartości momentu obrotowego wskutek wahań składu mieszanki. Zjawisko to jest

niepożądane z punktu widzenia komfortu jazdy, w związku, z czym wyznaczoną wartość współczynnika λ sprawdza się pod kątem zachowania przez pojazd zdolności jezdnej.

1.2.1.2.1 Rozwój układów zasilania benzyną

Pierwszym aparatem dozującym benzynę do tłokowych silników spalinowych o zapłonie iskrowym był gaźnik uzupełniany przez dodatkowe urządzenia kontrolno-sterujące. Mimo prób automatyzacji i dołączania do gaźników dodatkowych układów usprawniających ich działanie, nie uzyskano zadawalającej poprawy, adekwatnej do ponoszonych kosztów. Gaźniki zostały wyparte przez układy wtrysku benzyny. W pierwszych mechanicznych układach wtryskowych benzyny stosowane były wtryskiwacze robocze otwierane hydraulicznie. Sterowanie dawką paliwa polega na przesuwaniu tłoczka sterującego. Wywoływało to zmianę wielkości przekroju prostokątnych szczelin sterujących w tulei szczelinowej rozdzielacza paliwa. Regulacja strumienia paliwa w rozdzielaczu była jednak obarczona wieloma niemierzalnymi zakłóceniami oraz charakteryzowała się zwłoką działania. Układy wtrysku mechanicznego zastąpione zostały układami wtrysku elektromagnetycznego. System zasilania składa się z elektrycznej pompy paliwa zanurzonej w zbiorniku paliwa, przewodów paliwowych, przewodów powrotnych, filtra paliwa, listwy paliwowej, regulatora ciśnienia paliwa z wtryskiwaczami. Ciśnienie w systemie zasilania wytwarza zanurzona w zbiorniku pompa paliwa. Wydatek pompy paliwa jest tak zaprojektowany, że pompa zapewnia ciśnienie paliwa przewyższające maksymalne zapotrzebowanie silnika. Ten nadmiarowy wydatek gwarantuje prawidłową dawkę paliwa we wszystkich warunkach pracy silnika. Podstawowa funkcja regulatora ciśnienia to zabezpieczenie stałości spadku ciśnienia na wtryskiwaczu. W przypadku silników z układem gaźnikowym oraz mechaniczną pompką membranową stałość ciśnienia uzyskiwano jedynie za pomocą zaworków zwrotnych na pompce. Nadmiar paliwa z regulatora odprowadzany jest z powrotem do zbiornika paliwa. W układzie gaźnikowym funkcje tę spełniał kanał przelewowy zakończony króćcem.

Wtryskiwacz elektromagnetyczny jest w uproszczeniu zaworem sterowanym elektrycznie. Jeżeli przez jego cewkę przepływa prąd elektryczny o odpowiedniej wartości – wtryskiwacz jest otwarty, jeżeli prąd nie płynie – wtryskiwacz jest zamknięty. Jest to element praktycznie dwustanowy, w związku z czym dawkę przepływającego paliwa reguluje się nie za pomocą zmiany wartości prądu sterującego, lecz przez regulację czasu załączenia i wyłączenia. Zmiana dawki paliwa odbywa się zatem przez zmianę czasu otwarcia wtryskiwacza, przy utrzymywaniu stałej różnicy pomiędzy ciśnieniem w układzie paliwowym a ciśnieniem ośrodka, do którego wtryskiwane jest paliwo.

Jednopunktowe układy wtryskowe SPI (ang. – *Single Point Injection*) posiadają jeden elektronicznie sterowany wtryskiwacz. Jest on zamontowany centralnie w stosunku do cylindrów, bezpośrednio nad przepustnicą we wspólnej z nią obudowie. Wtryskiwacz podaje paliwo przed przepustnicę synchronicznie do kolejnych suwów napełniania poszczególnych cylindrów. Podstawową wadą takiego rozwiązania jest niejednakowy rozdział mieszanki w cylindrach. Masa paliwa przeznaczonego do określonego cylindra, ze względu na stosunkowo dużą odległość pomiędzy miejscem wtrysku a zaworem dolotowym, może ulec zmniejszeniu lub zwiększeniu na rzecz pozostałych cylindrów. W układach wtrysku jednopunktowego jeden wtryskiwacz obsługuje wszystkie cylindry. Początek wtrysku praktycznie nie ma wpływu na pracę silnika.

Wielopunktowe układy wtrysku benzyny MPI (ang. – *Multi–Point Injection*) posiadają zamontowane w kanałach dolotowych wtryskiwacze w liczbie równej liczbie cylindrów. Główne zalety układów wtrysku wielopunktowego w porównaniu z układami wtrysku jednopunktowego to:

- *Zwiększenie współczynnika napełniania spowodowane mniejszymi oporami w kanałach dolotowych, stawianych przepływowi mieszanki,*
- *Zwiększenie średniego ciśnienia użytecznego wskutek bardziej równomiernego dostarczania mieszanki do poszczególnych cylindrów,*
- *Zwiększenie zdolności do przyspieszeń w całym zakresie prędkości obrotowych i obciążeń dzięki szybszej reakcji układu na nowe warunki pracy.*

Pierwsze układy wtrysku wielopunktowego podawały paliwo jednocześnie do wszystkich kanałów dolotowych, niezależnie od przebiegu procesu roboczego. Tymczasem początek wtrysku powinien być synchronizowany zgodnie z otwarciem zaworu dolotowego – ma to decydujący wpływ na rozkład mieszanki w cylindrze. Zdecydowany skok jakościowy układów MPI nastąpił w chwili, gdy liczba kluczy sterujących dorównała liczbie wtryskiwaczy. Uzyskano w ten sposób możliwość dowolnego kształtowania przebiegu wtrysku w każdym cylindrze osobno. Z tego względu takie układy wtrysku wielopunktowego wyróżnia się nazywając je układami sekwencyjnymi SFI (ang. – *Sequential Fuel Injection*). Układy jednopunktowego oraz wielopunktowego wtrysku benzyny tworzą w cylindrze mieszankę zbliżoną do homogenicznej, prawie zawsze stechiometryczną. Tworzenie mieszanki paliwowo–powietrznej odbywa się w takcie dolotowym oraz wewnątrz cylindrów.

Bezpośredni wtrysk benzyny do cylindra jest jednym ze sposobów uwarstwienia mieszanki w cylindrze. Układy takie znajdują się obecnie w fazie rozwoju, należy jednak zaznaczyć, że mieszanka uwarstwiona stosowana jest w tego typu silnikach jedynie dla małych obciążeń i małych prędkości obrotowych. Pozostałe warunki pracy wymuszają stosowanie mieszanek jednorodnych (stechiometrycznych lub nawet bogatych).

System sterowania wtryskiem jest projektowany tak, aby dostarczyć potrzebne paliwo z prawidłowym ciśnieniem w układzie paliwowym (prawidłowa masa i stopień rozdrobnienia paliwa). Kolejne wtryski synchronizowane są z procesem roboczym. Sygnał sterujący (czas otwarcia wtryskiwacza) ma charakter impulsu o pewnym czasie trwania. Dłuższy impuls oznacza zwiększenie wtryśniętej dawki paliwa.

Algorytm sterowania wtryskiem składa się z kilku faz. Pierwsza faza wyznacza chwilę początku wtrysku bazując na pomiarze numeru cylindra oraz położenia wału korbowego (faza synchronizacji). Następnie w oparciu o warunki pracy silnika wybierana jest zadawana wartość współczynnika nadmiaru powietrza l (faza strategii). Znając wartość zadanego składu mieszanki następna faza (kalkulacja) szacuje masę zasysanego powietrza w oparciu o wskazania różnych zestawów czujników pomiarowych (charakterystyka statyczna napełniania) oraz model procesów zachodzących w kolektorze dolotowym (korekcja zjawisk dynamicznych). Następnie dokonywana jest korekcja czasu wtrysku zgodnie z aktualnym napięciem akumulatora (korekcja). W sytuacji, gdy zadana jest mieszanka stechiometryczna obliczenia kończy faza regulacji bazująca na obecnym i wcześniejszych wskazaniach czujnika tlenu (regulacja).

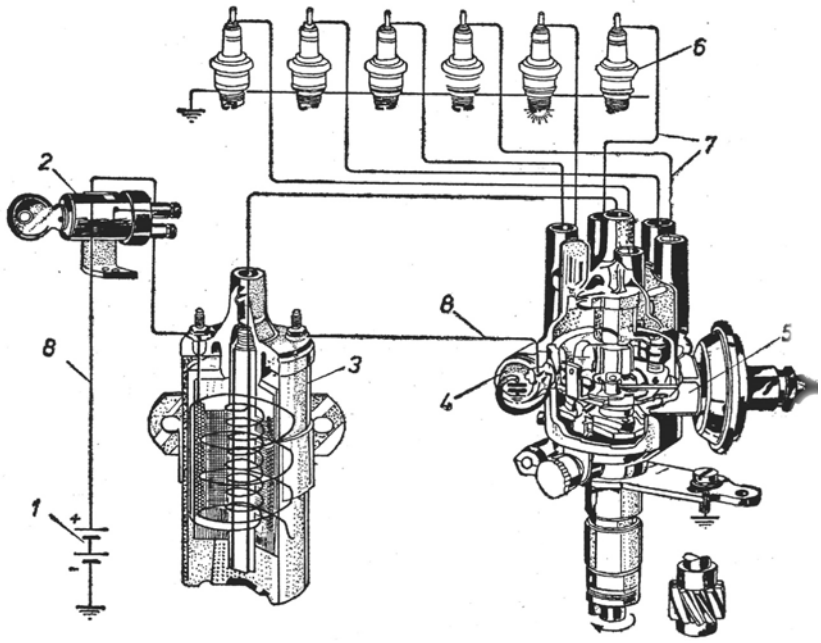
Podstawowym zadaniem sterownika jest również uruchomienie pompy paliwa poprzez przekaźnik.

1.2.2 Konwencjonalny układ zapłonowy.

Klasyczny samochodowy układ zapłonowy składa się z następujących elementów:

- *Źródła prądu stałego o napięciu 6, 12 V oraz odpowiedniej indywidualnej dla każdego pojazdu pojemności;*
- *Cewki zapłonowej jedno- lub dwubiegunowej;*
- *Aparatu zapłonowego, w którym umieszczone są:*
  - *przerywacz prądu w obwodzie niskiego napięcia*
  - *kondensator*
  - *rozdzielacz zapłonu*
  - *odśrodkowy regulator kąta wyprzedzenia zapłonu*
  - *korektor oktanowy.*
- *Świec zapłonowych;*
- *Wyłącznika zapłonu umieszczonego w stacyjce;*
- *Przewodów niskiego (nn) i wysokiego (WN) napięcia;*
- *Ewentualnego wyposażenia dodatkowego (np. przeciwzakłóceniowego).*

Schemat takiego układu przedstawiony jest na rysunku poniżej:



Rys 1.3 Elementy składowe akumulatorowego układu zapłonowego silnika sześciocylindrowego:

1-akumulator, 2-wyłacznik zapłonu, 3-cewka zapłonowa, 4-kondensator,

5-aparat zapłonowy, 6-świeca zapłonowa, 7-przewody wysokiego

napięcia (WN), 8-przewody niskiego napięcia (nn

1.2.2.1 Teoria działania klasycznego układu zapłonowego.

Proces wytworzenia energii koniecznej do zainicjowania wyładowania iskrowego podzielić można na trzy etapy:

- *Czas zwarcia styków przerywacza, charakteryzujący się narastaniem prądu w obwodzie pierwotnym cewki zapłonowej i zaindukowaniem strumienia w rdzeniu cewki.*

- *Czas rozwarcia styków przerywacza, charakteryzujący się stanami nieustalonymi w obwodzie pierwotnym i wtórnym cewki.*
- *Czas wyładowania iskrowego na elektrodach świecy zapłonowej.*

W pierwszym etapie po zamknięciu styków wyłącznika zapłonu i w czasie zamykania styków przerywacza w obwodzie pierwotnym cewki zapłonowej narasta prąd w sposób wykładniczy opisany wzorem:

$$i_p = \frac{U}{R}\left(1 - e^{\frac{-t_z}{T}}\right) \qquad [1.1]$$

gdzie: U – napięcie baterii (akumulatora)

$R=R_1+R_d$ – rezystancja obwodu pierwotnego

$T = \frac{L}{R}$ *- stała czasowa obwodu pierwotnego*

t_z – czas, w którym styki przerywacza są zamknięte

Z powyższych zależności wynika iż prąd nie osiąga od razu maksimum lecz rośnie powoli wg funkcji wykładniczej. Na skutek powolnego narastania prądu w uzwojeniu pierwotnym cewki zapłonowej strumień magnetyczny rośnie powoli indukując w uzwojeniu pierwotnym SEM o wartości około 1000 V. Napięcie o tej wartości nie spowoduje jeszcze przebicia warstwy międzyelektrodowej. Maksymalną wartość prądu w obwodzie pierwotnym układ osiągnąłby po czasie $t_z=5T$. Wówczas wartość ustalona prądu pierwotnego w cewce zapłonowej zależałaby wyłącznie od wartości napięcia akumulatora. W praktyce jednak dla dużych prędkości obrotowych styki przerywacza rozwierane są w czasie krótszym niż 5T dlatego też prąd ustalony nie osiąga wartości maksymalnej. Zjawisko to jest niekorzystne gdyż wiąże się ze zmniejszeniem strumienia a przez to i uzyskiwanego napięcia wtórnego co rzutuje na ogólne zmniejszenie sprawności układu (nawet do 10 %). Indukowane napięcie wtórne jest proporcjonalne do szybkości zmian strumienia, a więc do czasu w jakim zanika prąd pierwotny cewki. Prędkość ta jest odzwierciedleniem prędkości wirowania wałka rozdzielacza i ma również wpływ na ograniczenie wartości indukowanego napięcia. Będzie to skutkowało mniejszą energią wyładowania iskrowego na świecy zapłonowej.

Drugi etap ma miejsce w chwili, w której krzywka rozewrze styki przerywacza poprzez podniesienie młoteczka. Następuje wówczas gwałtowny zanik prądu pierwotnego co powoduje nagłe zmniejszenie się strumienia magnetycznego. W wyniku zmniejszenia strumienia w uzwojeniu pierwotnym cewki indukuje się SEM o wartości około 300-500V, a w uzwojeniu wtórnym indukuje się siła elektromotoryczna ok. 30kV i jest to wartość umożliwiająca zainicjowanie wyładowania iskrowego. Wartość maksymalna SEM w obwodzie wtórnym układu zapłonowego określona jest teoretyczną zależnością:

$$E_2 = I_1 \sqrt{\frac{L_1}{C_1\left(\frac{z_1}{z_2}\right) + C_2}} \qquad [1.2]$$

gdzie: I_1 – wartość prądu płynącego w obwodzie pierwotnym układu zapłonowego przed rozwarciem styków

C_1, C_2 – pojemność własna obwodu pierwotnego i wtórnego

z_1, z_2 – liczba zwojów uzwojenia pierwotnego i wtórnego

Ze wzoru [1.2] wynika, iż na wartość napięcia wtórnego wpływ mają pojemności C_1 i C_2. Również i wartość prądu pierwotnego ma wpływ na indukowaną SEM. Jest do niej wprost proporcjonalna. W rzeczywistości pojemność C_1 stanowi kondensator włączony równolegle do styków przerywacza. Aby spełniał on swoją funkcję należy jego pojemność dobrać z zakresu między 0,05 ÷ 0,25 [μF]. Na pojemność C_2 składają się izolowane od masy przewody WN.

Etap trzeci ma miejsce w chwili, gdy SEM indukowana w uzwojeniu wtórnym spowoduje wyładowanie iskrowe. W wyładowaniu rozróżnia się trzy fazy:

- *wyładowanie początkowe iskrowe(pojemnościowe),*
- *wyładowanie łukowe (indukcyjne)i*
- *wyładowywanie jarzeniowe.*

Pierwsza z nich charakteryzuje się bardzo krótkim czasem trwania (kilka mikrosekund). Z punktu widzenia ochrony od zakłóceń radiowych jest ona niekorzystna gdyż prąd osiąga wartość chwilową rzędu 100 [A]. Można ja rozpoznać po niebieskim kolorze iskry. Wartość energii tej fazy wynosi ok. 1 [mWs] = 1[mJ] co jest wystarczające do zapłonu mieszanki homogenicznej.

Wyładowanie łukowe jest praktycznie nie do odróżnienia od jarzeniowego gdyż ich granica jest bardzo nieczytelna. Trwa ono znacznie dłużej (kilka milisekund) i charakteryzuje się malejącą wykładniczo wartością prądu (w końcowej fazie kilkadziesiąt miliamperów). Wartość energii tej fazy wynosi ok. 30 [mWs] = 30 [mJ]

1.2.2.2 Cewka zapłonowa

Jednym z warunków wystąpienia prawidłowego zapłonu w silniku ZI jest zapewnienie dostatecznej energii iskry, która będzie wystarczająca w możliwie najszerszym zakresie współczynnika nadmiaru powietrza, ciśnienia sprężania i prędkości zawirowania ładunku. Podstawowe znaczenie mają tutaj parametry cewki zapłonowej a przede wszystkim wartość napięcia strony wtórnej.

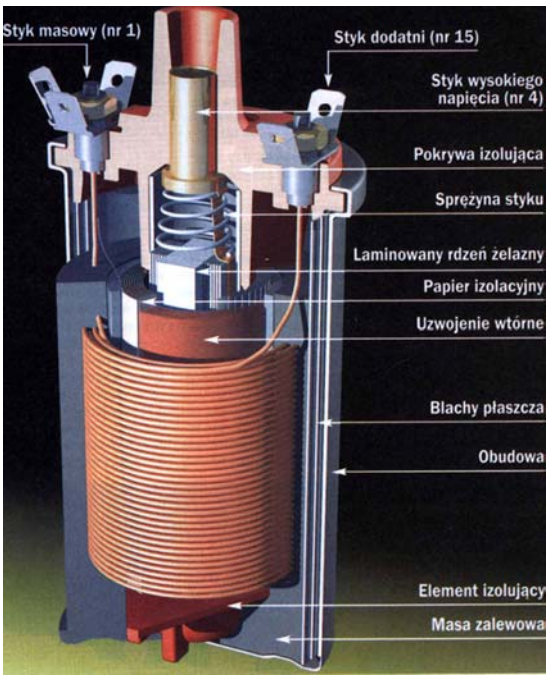
1.2.2.2.1 Cewka konwencjonalna

Zadaniem cewki zapłonowej jest przetwarzanie dostarczanego przez akumulator lub alternator niskiego napięcia na napięcie wysokie w celu wymuszenia przeskoku iskry między elektrodami świecy zapłonowej. Cewka pracuje więc jako transformator napięcia. Gromadzona w niej energia E zależy od parametrów obwodu pierwotnego, co wiąże się z wartościami indukcyjności uzwojenia pierwotnego L_1 i natężenia prądu w uzwojeniu pierwotnym i_1:

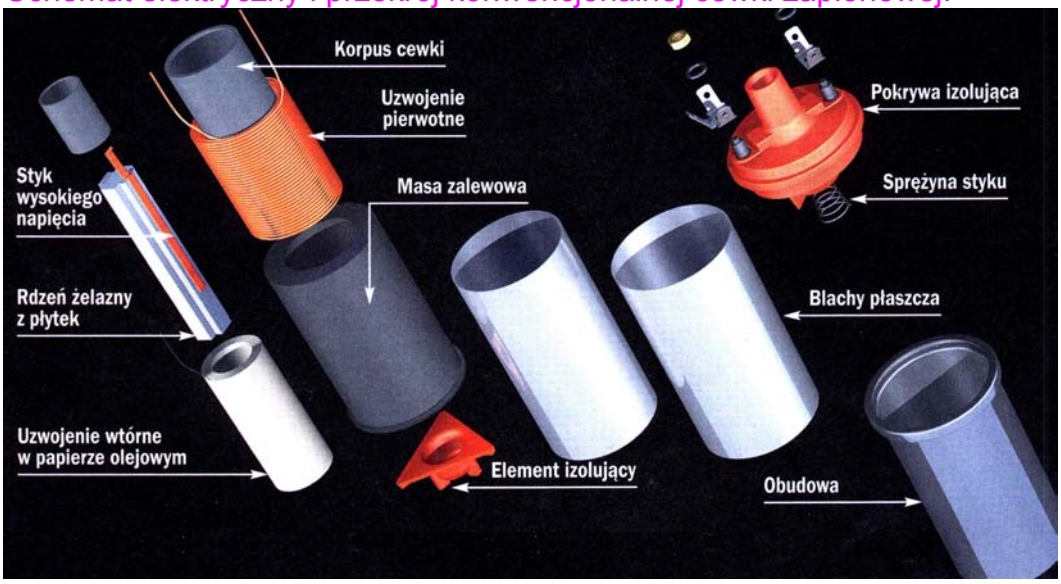
$$E = \frac{1}{2} L_1 i_1^2 \qquad [\ 1.3]$$

W wykonaniu standardowym cewka zapłonowa składa się z dwóch uzwojeń. Uzwojenie pierwotne ma od 250 do 400 zwojów wykonanych z drutu miedzianego w izolacji z emalii o średnicy od 0,2 do 0,8 [mm]. Uzwojenie wtórne ma zaś od 19000 do 26000 zwojów wykonanych z drutu miedzianego w emalii o średnicy od 0,1 do 0,2 mm, dodatkowo odizolowanych między warstwami przekładkami izolującymi zapobiegającym przed przebiciami międzywarstwowymi. Uzwojenia osadzone są na wspólnym rdzeniu, wykonanym z blach transformatorowych, przy czym zawsze uzwojenie pierwotne jest nawinięte na zewnątrz uzwojenia wtórnego. Jeden koniec uzwojenia wysokiego napięcia wprowadza się do gniazda wysokiego napięcia w pokrywie cewki, drugi koniec łączy się z początkiem uzwojenia pierwotnego. W ten sposób obydwa uzwojenia są połączone jak w autotransformatorze, co upraszcza konstrukcję cewki i zmniejsza liczbę wyprowadzanych

zacisków. Obydwa końce uzwojenia pierwotnego wyprowadza się do zacisków umieszczonych w pokrywie. Całość umieszcza się w puszce o dnie z materiału izolacyjnego, wypełnia masą zalewową lub olejem transformatorowym i przykrywa szczelnie pokrywą bakelitową. Na poniższym rysunku przedstawiono przekrój konwencjonalnej cewki zapłonowej.



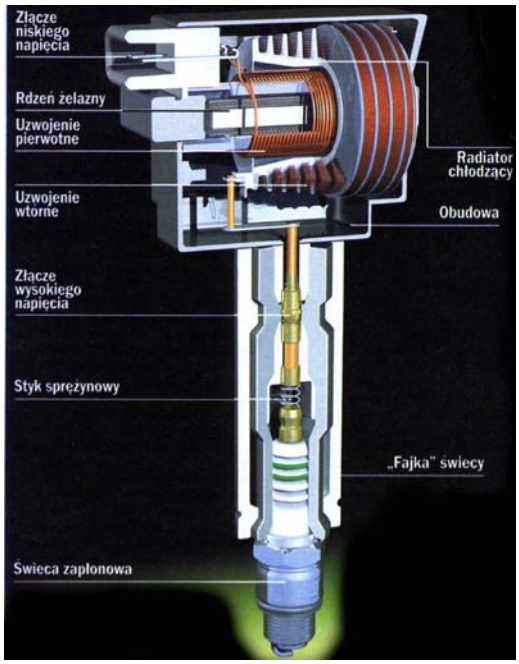
Rys 1.4 Schemat elektryczny i przekrój konwencjonalnej cewki zapłonowej:



Rys 1.5 Rysunek eksplodujący cewki zapłonowej.

1.2.2.2.2 Cewka pojedyncza

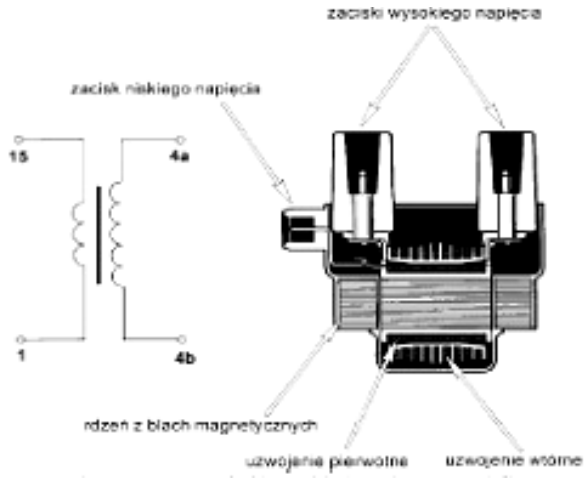
Budowę cewki pojedynczej przedstawiono na Rys 1.6. Stosowana jest w układach zapłonowych, w których każdemu cylindrowi przyporządkowana jest indywidualna cewka zapłonowa wraz z końcówką mocy sterowaną przez sterownik. Wszystkie cewki zespolone są zwykle w jednej wspólnej kasecie umieszczonej bezpośrednio nad świecami zapłonowymi w głowicy silnika. Z uwagi na brak przewodów wysokiego napięcia cewki te mogą posiadać szczególnie małe wymiary przy jednoczesnym generowaniu w uzwojeniu wtórnym napięcia, które może dochodzić do 45 [kV]. Duża energia iskry osiągana jest praktycznie w całym zakresie prędkości obrotowych silnika. Ze względu na niebezpieczeństwo przeskoku iskry podczas zamykania obwodu pierwotnego (generowane wówczas napięcie osiąga wartość: 1–3 [kV]) okazało się koniecznym zastosowanie diody w obwodzie wtórnym cewki zapłonowej. Umożliwia ona przepływ prądu tylko przy napięciu powstającym w chwili przerywania obwodu pierwotnego.



Rys 1.6 Schemat elektryczny i przekrój cewki pojedynczej firmy Bosch

1.2.2.2.3 Cewka dwubiegunowa

Cewki dwubiegunowe stosowane są w bezrozdzielaczowych układach zapłonowych i występują tylko w silnikach o parzystej liczbie cylindrów. Każda z cewek wraz z końcówką mocy przyporządkowana jest tej parze cylindrów, której tłoki poruszają się w tym samym kierunku. Dla silnika czterocylindrowego oznacza to, że przeskok iskry na świecach występuje naprzemian, odpowiednio w parach cylindrów 1/4 oraz 3/2. Ocenia się, że energia iskry w cylindrze, w którym trwa sprężanie wynosi 70% energii generowanej przez cewkę, natomiast w cylindrze, w którym tłok znajduje się w suwie wylotu energia wyładowania stanowi 30% całkowitej energii wytworzonej przez cewkę zapłonową. Rozdział energii związany jest bezpośrednio z ciśnieniami panującymi w tych cylindrach.



Rys 1.7 Schemat elektryczny i przekrój cewki dwubiegunowej firmy Bosch.

1.2.2.2.4 Cewka czterobiegunowa

Inną możliwością rozdziału wysokiego napięcia na poszczególne cylindry jest zastosowanie cewki zapłonowej czterobiegunowej, składającej się z dwóch uzwojeń pierwotnych i jednego wtórnego. Sterowanie cewek odbywa się przemiennie za pośrednictwem dwóch końcówek mocy przyporządkowanych odpowiednio dwóm uzwojeniom pierwotnym. Uzwojenie wtórne posiada na każdym wyjściu dwie diody, w obwodzie, których znajdują się również przewody wysokiego napięcia i świece zapłonowe. Zastosowanie diod w odpowiedniej konfiguracji umożliwia przeskok iskier tylko na danej parze świec zapłonowych.

1.2.2.2.5 Opornik dodatkowy

Jak już wcześniej wspomniano na wartość napięcia wtórnego cewki zapłonowej bezpośrednio rzutuje zmiana prądu pierwotnego. Korzystne z punktu widzenia konstruktora byłoby dynamiczne zmienianie tej wartości. Ponieważ nie można zmienić ani rezystancji uzwojenia pierwotnego cewki ani też jej indukcyjności konieczne stało się wprowadzenie do obwodu zewnętrznego opornika zapewniającego samoczynną zmianę prądu cewki. Zadanie to spełni dodatkowy opornik wykonany ze stali lub niklu. Rezystancja tego drutu po nagrzaniu może zmienić się nawet kilkukrotnie. Przy niskich prędkościach obrotowych występują stosunkowo duże czasy zwarcia przerywacza. Dość duża skuteczna wartość prądu powoduje nagrzewanie opornika i wzrost jego rezystancji. Z kolei przy wzroście prędkości obrotowej skuteczna wartość prądu nagrzewającego maleje, zmniejsza się temperatura oraz rezystancja opornika. W praktyce opornik wykonany jest w postaci przewodu lub też jest to rezystor połączony z jednej strony z zaciskiem uzwojenia pierwotnego cewki zapłonowej a z drugiej strony ma osobny zacisk do łączenia z wyłącznikiem rozrusznika. Opornik dodatkowy spełnia więc dwa zadania:. Zmniejsza rezystancję obwodu pierwotnego cewki na czas rozruchu, gdyż jest bocznikowany przez wyłącznik rozrusznika. Zapewnia to pomimo zmniejszenia się napięcia na akumulatorze przepływ dostatecznie dużego prądu przez uzwojenie pierwotne cewki i powstanie dużego napięcia wtórnego co znacznie ułatwia rozruch silnika; . W czasie pracy silnika przeciwdziała on zmniejszeniu się średniej wartości prądu pierwotnego w miarę narastania prędkości obrotowej silnika.

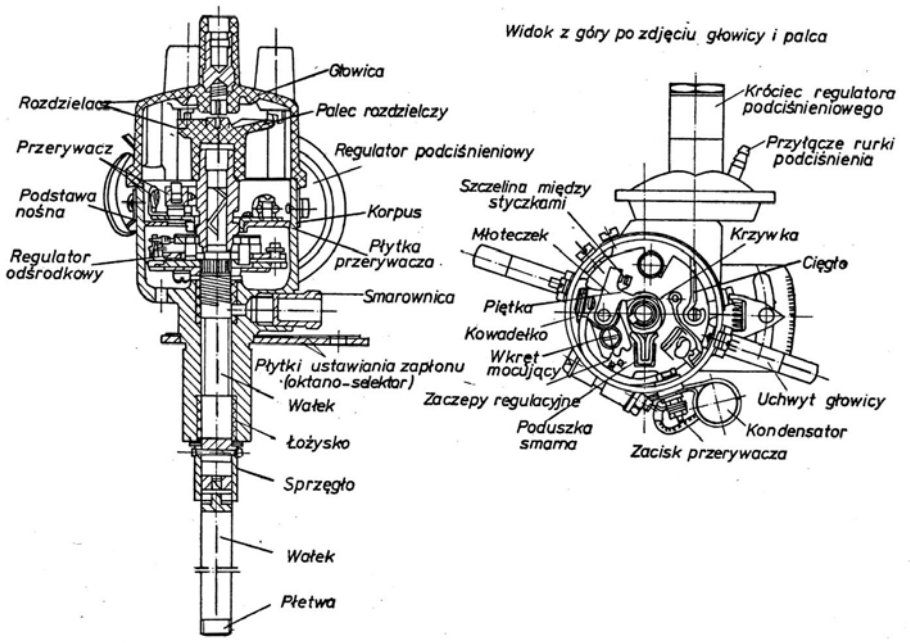
1.2.2.3 Rozdzielacz zapłonu

Klasyczny rozdzielacz zapłonu (aparat zapłonowy – urządzenie bez rozdzielacza WN) przy zapłonie bateryjnym zbudowany jest z następujących zespołów:

- *Przerywacza młoteczkowego*
- *Kondensatora*
- *Rozdzielacza wysokiego napięcia*
- *Odśrodkowego regulatora kąta wyprzedzenia zapłonu*
- *Podciśnieniowego regulatora kąta wyprzedzenia zapłonu*
- *Korektora oktanowego.*

Rozdzielacz zapłonu jest elektromechanicznym sterownikiem prądu pierwotnego cewki zapłonowej. Spełnia on trzy zasadnicze funkcje: przerywa prąd cewki umożliwiając zaindukowanie wysokiego napięcia w uzwojeniu wtórnym cewki, rozdziela wysokie napięcie do poszczególnych cylindrów, ustala na podstawie regulatorów moment zapłonu mieszanki adekwatny do zmiennych parametrów pracy silnika.

Miejscem zamontowania rozdzielacza zapłonu jest głowica lub blok silnika, a jego wałek otrzymuje napęd z wałka rozrządu. Rys 1.8 przedstawia budowę typowego rozdzielacza zapłonu.



Rys 1.8 Budowa rozdzielacza zapłonu silnika czterocylindrowego, czterosuwowego.

1.2.2.3.1 Przerywacz prądu pierwotnego.

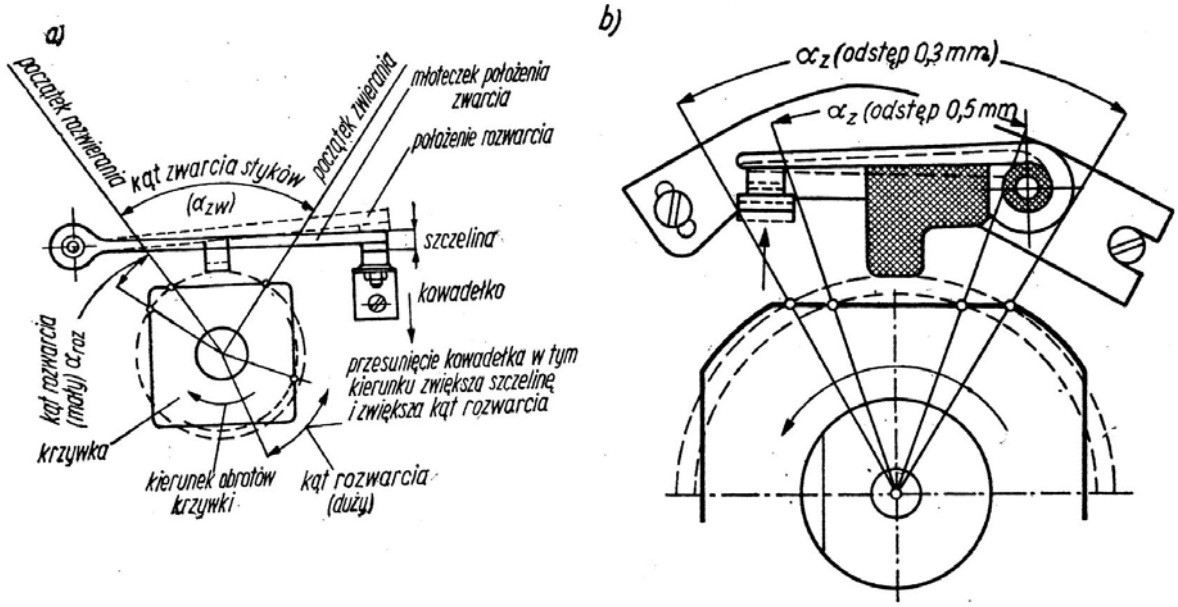
Zadaniem przerywacza zapłonu jest jak sama nazwa wskazuje przerywanie prądu cewki zapłonowej w obwodzie pierwotnym umożliwiające wygenerowanie wysokiego napięcia wtórnego. Umieszczony jest wewnątrz aparatu i osadzony jest na płytce przerywacza. Zestyk przerywacza składa się z dwóch styków: ruchomego młoteczka i nieruchomego kowadełka. Rozwarcie obwodu możliwe jest dzięki izolacyjnej piętce dociskanej przez płaską sprężynę do krzywki wałka aparatu. Garby krzywki odsuwają ją powodując przerwę na stykach. Do młoteczka dołączony jest za pośrednictwem zacisku śrubowego przewód łączący młoteczek z biegunem ujemnym cewki zapłonowej. Styk kowadełka poprzez sprężynę płaską i obudowę aparatu połączony jest z biegunem ujemnym akumulatora.

Materiał na styki przerywacza powinien odznaczać się dużą wytrzymałością mechaniczną i elektryczną a w szczególności odpornością na korozję i wypalanie wskutek iskrzenia. Styki wykonane są najczęściej ze stopów wolframowych.

1.2.2.3.1.1 Kąt zwarcia styków przerywacza.

Wiadomo, że przerywacz pracuje cyklicznie zwierając i rozwierając zestyki. Liczba stopni obrotu wałka odpowiadająca stanowi zwarcia styków przerywacza, czyli czasowi przepływu prądu przez uzwojenie cewki nosi nazwę kąta zwarcia styków przerywacza. Kąt ten jest ściśle określony dla danego typu silnika i tylko przy nim osiąga swą najlepszą wydajność.

Kąty zwarcia i rozwarcia zestyku są ze sobą ściśle powiązane i dla każdego garbu krzywki równe (tolerancja $\pm 3^0$ obrotu wałka rozdzielacza). Kąt zwarcia styku przerywacza zależy również od liczby cylindrów silnika i wielkości szczeliny między stykami (co obrazuje poniższy rysunek).



Rys 1.9 Zależność kąta zwarcia od wielkości szczeliny.

Wartość szczeliny mierzy się w chwili największego odstępu między stykami tzn. gdy piętka młoteczka znajduje się na szczycie garbu krzywki, a reguluje się ją poprzez przesuwanie kowadełka. Jest to jedyny sposób regulacji gdyż położenie młoteczka jest niezmienne i zależy tylko od wymiarów garbów krzywki oraz piętki młoteczka. Wadą takiej regulacji jest nierównoległość położenia powierzchni styków po regulacji sprzyjająca ich wypalaniu. Istnieją konstrukcje w których młoteczek i kowadełko mają wspólną podstawę. Regulacja odstępu styków polega tam na obrocie śruby mimośrodowej więc zachowana jest równoległość styków.

1.2.2.3.2 Rozdzielacz WN.

Rozdzielacz wysokiego napięcia umiejscowiony jest w górnej części rozdzielacza zapłonu. Zadaniem tego układu jest rozdział iskry tak aby zapłon mieszanki odbywał dokładnie w tych cylindrach silnika w których znajduje się już sprężony ładunek paliwowo-powietrzny.

Główne elementy składowe tego układu to:

- *Kopułka*
- *Głowica z wprasowanymi segmentami rozdzielacza, a od zewnątrz gniazdami na końcówki przewodów WN*

► *Palec rozdzielacza zamocowany na wałku rozdzielacza aparatu zapłonowego, z którym styka się szczotka węglowa umieszczona osiowo w specjalnym wgłębieniu wewnątrz kopułki rozdzielacza.*

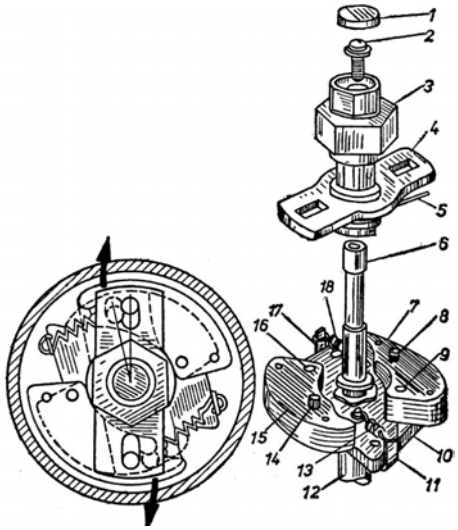
Centralnie umieszczone gniazdo w kopułce służy do przyłączenia przewodu WN od cewki zapłonowej. Pozostałe przewody wyprowadzone z kopułki doprowadzają wysokie napięcie do świec zapłonowych poszczególnych cylindrów. Między palcem rozdzielacza a każdym segmentem odpowiadającym poszczególnym świecom jest przerwa (0,3 do 0,5 [mm]) w chwili ustawienia się tych elementów naprzeciwko siebie. Na skutek istnienia przerwy iskrowej konstruktorzy uniknęli zużycia materiałów stykowych na skutek ścierania segmentu i palca rozdzielacza, zanieczyszczenia wnętrza kopułki przewodzącym pyłem i uniknięcia w ten sposób zwarć między poszczególnymi segmentami. Rozdział iskier odbywa się z tolerancją ±1° w stosunku do swoich punktów symetrii w całym zakresie dopuszczalnych prędkości obrotowych napędu rozdzielacza.

1.2.2.3.2.1 Regulatory wyprzedzenia zapłonu.

Ponieważ wytwarzanie napięcia zapłonowego powinno być skoordynowane ze zmianami prędkości obrotowej i obciążenia silnika konieczne jest dla zapewnieni równomiernej pracy silnika zastosowanie regulatorów zapewniających wymagane wyprzedzenie zapłonu mieszanki. Aby sprostać tym zadaniom stosownie do prędkości biegu jałowego i obciążeń silnika stosuje się odśrodkowy i podciśnieniowy regulator wyprzedzenia zapłonu.

➢ *Odśrodkowy regulator wyprzedzenia zapłonu.*

Budowę tego regulatora obrazuje poniższy rysunek.



Rys 1.10 Odśrodkowy regulator wyprzedzenia zapłonu.

1-Wkładka filcowa nasączona smarem

2-Wkręt ustalający

3-Krzywka z garbami

4-Górna płytka zabierakowa regulatora

5-Sprężynka dociskająca sworzeń 8 do wycięcia płytki

6-Wałek napędowy

7-Ciężarek (patrz także poz.15)

8-Sworzeń ciężarka (patrz także poz.14)

9-Oś obrotu ciężarka (patrz także poz.16)

10-Dolna płytka regulatora

11-Zaczep sprężyny (patrz także poz.17)

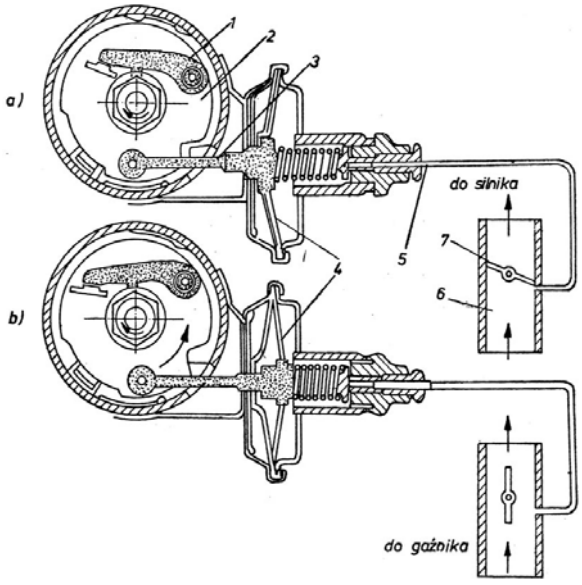
12-Wałek napędowy

13-Sprężyna ciężarka (patrz także poz.18)

Regulator zmienia wyprzedzenie zapłonu odpowiednio do chwilowej prędkości obrotowej w sposób zależny od parametrów ciężarków 15 i sprężyn 18. Układ zabudowany jest na wałku napędowym rozdzielacza zapłonu i zmienia kąt wyprzedzenia zapłonu poprzez przekręcenie krzywki w stosunku do wałka napędowego 12. Pomiędzy tuleją krzywki a wałkiem napędowym umieszczone jest sprzęgiełko kłowe 4. Wraz ze zwiększeniem prędkości obrotowej silnika tuleja krzywki zostaje przekręcona zgodnie z kierunkiem obrotu wałka napędowego (na skutek odchylenia ciężarków), wskutek czego młoteczek przerywacza podnosi się odpowiednio wcześniej co powoduje przyspieszenie zapłonu mieszanki.

- *Podciśnieniowy regulator wyprzedzenia zapłonu.*

Budowę tego regulatora obrazuje poniższy rysunek.



Rys 1.11 Podciśnieniowy regulator wyprzedzenia zapłonu.
a- Małe obciążenie

b- Duże obciążenie

1.Młoteczek, 2. Płytka ruchoma, 3. Cięgno, 4. Przepona

5.Rurka ssąca, 6. Rura ssąca, 7. Przepustnica

Regulator podciśnieniowy zmienia wyprzedzenie zapłonu w zależności od chwilowego podciśnienia w rurze dolotowej silnika. Wlot rurki regulatora do rury ssącej jest umieszczony tuż przed przepustnicą 7. Podciśnienie w tym miejscu zależy od ustawieni przepustnicy i od prędkości obrotowej silnika. Podczas rozruchu i przy biegu jałowym w sąsiedztwie wlotu do przewodu podciśnieniowego panuje niewielkie podciśnienie, które nie jest w stanie pobudzić do działania regulatora. Podobny przypadek to otwarcie całkowite przepustnicy. Wniosek stąd taki, iż regulator działa tylko przy zmiennym częściowym obciążeniu gdyż tylko wtedy powstaje znaczne podciśnienie w kolektorze ssącym silnika.

Zasada regulacji jest następująca. Wahania ciśnienia przenoszą się na membranę 4 regulatora. Położenie membrany jest określone przez stan równowagi pomiędzy parciem na membranę od strony atmosfery, a siła wywieraną przez sprężynę. Ze wzrostem podciśnienia rośnie przesunięcie membrany przenoszone za pomocą cięgła 3 na płytkę przerywacza 1. Przekręcenie płytki odbywa się w kierunku przeciwnym do kierunku obrotu tulei z krzywkami. W ten sposób ze wzrostem podciśnienia młoteczek zostaje podniesiony wcześniej co skutkuje przyspieszonym zapłonem.

- *Korektor oktanowy*

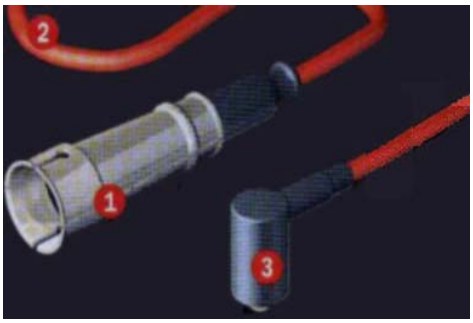
Mechaniczny korektor oktanowy zbudowany jest z dwóch płytek, z których jedna jest związana sztywno z obudową aparatu zapłonowego a druga jest sztywno zamocowana względem korpusu rozdzielacza. Płytki te połączone są ze sobą śrubą w ten sposób że mogą być względem siebie przesuwane i utwierdzone w określonym położeniu, zgodnie z podziałką umieszczoną na płytce nieruchomej wzgl. obudowy rozdzielacza. Korektor oktanowy służy do wstępnego jednorazowego wyregulowania kąta wyprzedzenia zapłonu w zależności od liczby oktanowej używanego paliwa, tak aby silnik o danej liczbie stukowej pracował bez detonacji. W przypadku paliwa o wyższej liczbie LO obudowę aparatu należy przekręcić w kierunku obrotów wałka rozdzielacza. W przypadku paliwa o niższej liczbie oktanowej obudowę aparatu zapłonowego należy przekręcić w przeciwnym kierunku i w tym położeniu dokręcić śrubę.

- *Kondensator*

Kondensator połączony równolegle ze stykami przerywacza jest instalowany na zewnątrz obudowy rozdzielacz zapłonu. Wartość napięcia indukowanego w obwodzie jest tym większa im szybciej przerywany jest prąd po stronie pierwotnej cewki zapłonowej. Powstające wówczas napięcie po stronie pierwotnej osiąga wartość chwilową rzędu 500V. Ponieważ podczas rozwierania styków powstaje w obwodzie SEM samoindukcji kondensator służy do jej zmagazynowania co skutkuje szybszym przerwaniem prądu pierwotnego cewki i zmniejszeniem strumienia w rdzeniu. Oprócz tej zalety kondensator zapobiega także nadmiernemu wypalaniu się zestyków przerywacza ponieważ zmniejsza iskrzenie między stykami.

1.2.2.3.3 Przewody wysokiego napięcia (WN)

Przewody wysokiego napięcia stanowią połączenie pomiędzy rozdzielaczem zapłonu a świecą zapłonową. Przykładowy wygląd przewodu pokazuje rysunek



Rys 1.12 Przewód zapłonowy.

Przewód zapłonowy składa się z trzech głównych elementów:

1. nasadki na świecę zapłonową
2. kabla
3. nasadki na rozdzielacz zapłonu

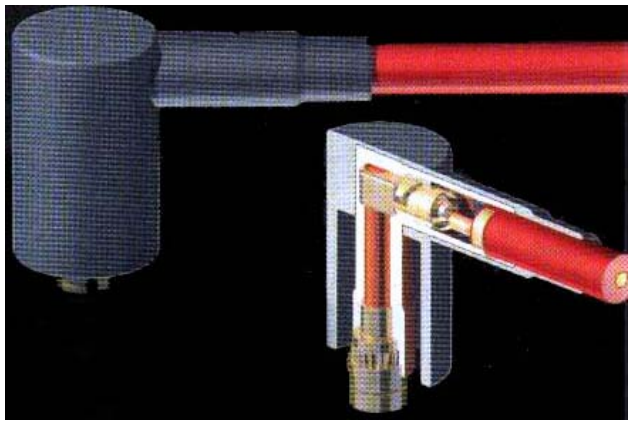
Obydwie nasadki posiadają specjalną konstrukcję, która umożliwia zapewnienie dobrego połączenia elektrycznego pomiędzy kolejnymi elementami. Kolejne rysunki pokazują wygląd nasadki w przekroju i jej elementy składowe.



Rys 1.13 Budowa przewodów WN.

Nasadka składa się z ze stopy kabla, która umożliwia połączenie żyły przewodu z zestykiem. Całość jest zamknięta w nieprzewodzącej obudowie. Kolejnym elementem jest uszczelka. Elementem opasującym uszczelkę na zewnątrz jest płaszcz przeciwzakłóceniowy. Dodatkowo poprawienie połączenia i zmniejszenie rezystancji przejścia zapewnia drut stalowy umieszczony na końcu stopy przewodzącej. Zminimalizowanie rezystancji przejścia ma kluczowe znaczenie w poprawnej pracy układu zapłonowego. Podobnie jak uszczelka, która zabezpiecza przed wilgocią, ponieważ nawet mikroskopijne ilości wody mogą wywoływać przebicia, a tym samym brak iskry na świecy zapłonowej i brak zapłonu mieszanki. Często też stosuje się płaszcz przeciwzakłóceniowy, który ma za zadanie pochłaniać fale elektromagnetyczne powstające w wyniku wyładowania na świecy zapłonowej. Ekran ma za zadanie uchronić pozostałe elementy instalacji elektrycznej pojazdu, w których ewentualnie mogłaby zaindukować się siła elektromotoryczna indukcji. Często zamiast płaszcza stosuje się elementy impedancyjne, które również w znacznym stopniu zmniejszają to pole. W przypadku połączenia przewodu z rozdzielaczem zapłonu konstrukcja nasadki nie jest znacznie zmieniona. Podstawową różnicą jest zmieniony kształt, gdyż te nasadki wykonuje się głównie jako kątowe. Głównym powodem takiej zmiany jest

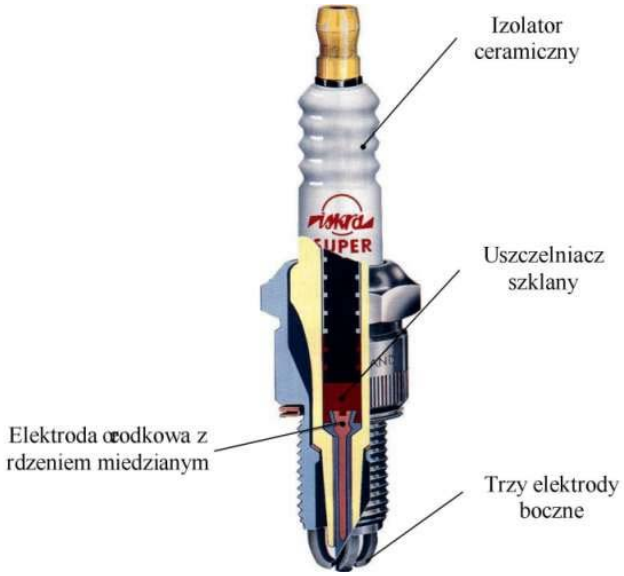
automatyczne zmniejszenie ilości miejsca jakie zajmują w komorze silnika. Przykład takich nasadek przedstawia poniższy rysunek:



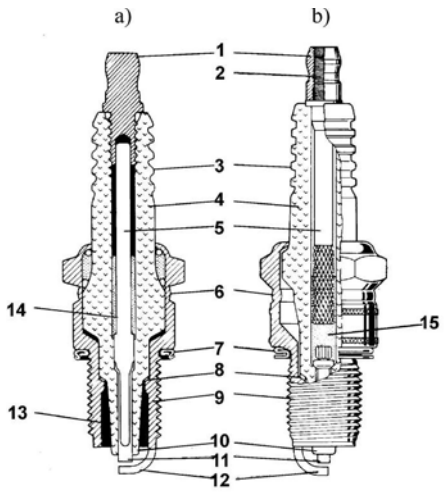
Rys 1.14 Kątowa nasadka przewodu zapłonowego.

1.2.2.3.4 Świece zapłonowe

Świeca zapłonowa jest elementem wykonawczym układu zapłonowego silnika. Część robocza świecy umieszczona jest wewnątrz cylindra i ma za zadanie rozładowanie napięcia zapłonowego w postaci iskry zapłonowej przeskakującej między elektrodami, co powoduje zapłon mieszanki paliwowo-powietrznej. Zasadniczo świeca składa się z korpusu metalowego wykonanego ze stali nierdzewnej lub kadmowej. W korpusie osadzony jest na stałe izolator ceramiczny pokryty glazurą lub też szlifowany i polerowany w celu utrudnienia zbierania się zanieczyszczeń na jego powierzchni. Wewnątrz izolatora umieszczona jest elektroda główna lub rdzeń zakończony u dołu elektrodą główną i stanowiący z nią jednolitą całość. Zewnętrzny gwint rdzenia M4x0,7 służy do zamocowania przewodu WN. Izolator odizolowany jest elektrycznie od korpusu za pomocą specjalnych uszczelek pierścieniowych które wraz z pierścieniem kompensującym zmiany rozszerzalności cieplnej korpusu i izolatora tworzą układ podtrzymujący izolator w korpusie i zapewniający szczelność ich połączenia. Elektrody masowe w liczbie od 1 do 4 są osadzone w korpusie świecy zapłonowej.



Rys 1.15 Budowa świecy zapłonowej z rdzeniem miedzianym (FŁT Iskra)



Rys 1.16 Przykłady budowy świec zapłonowych
a) jednolita elektroda środkowa, b) elektroda środkowa przedzielona stopem szklanym,

1 – końcówka profilowana, 2 – końcówka gwintowana, 3 – bariery upływu prądu pełzającego o profilu rowkowym, 4 – izolator, 5 – rdzeń świecy, 6 – strefa skurczu zapewniająca szczelność korpusu i izolatora, 7 – podkładka uszczelniająca, 8 – uszczelka przewodząca ciepło z izolatora na korpus świecy, 9 – część gwintowana korpusu świecy, 10 – stożek izolatora, 11 – elektroda środkowa, 12 – elektroda boczna, 13 – komora cieplna, 14 – proszek uszczelniający, 15 – stop szklany elektrycznie przewodzący

1.2.3 Gaźnik

1.2.3.1 Budowa gaźnika

Gaźnik **elementarny** (Rys 1.18) jest to najprostszy gaźnik do wytwarzania palnej mieszanki powietrza z benzyną, który składa się z czterech zasadniczych elementów, spełniających scharakteryzowane poniżej zadania:

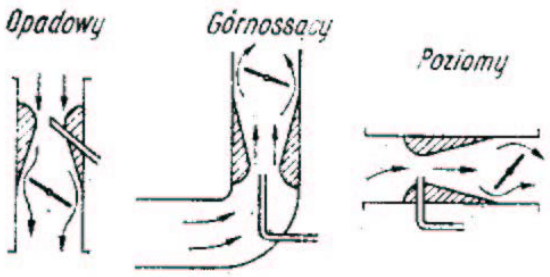
- komora pływakowa z pływakiem oraz sterowanym przez niego zaworem iglicowym, regulującym dopływ paliwa; zadanie pływaka polega na utrzymywaniu stałego poziomu paliwa w komorze; przestrzeń nad lustrem paliwa połączona jest z atmosferą otworem odpowietrzającym,

- dysza i rozpylacz; z komory pływakowej paliwo przedostaje się przez dyszę o kalibrowanym kanaliku do rozpylacza, w którym według zasady naczyń połączonych utrzymuje się teoretycznie taki sam poziom, jak w komorze pływakowej; podczas pracy silnika ilość paliwa przeciekającego przez dyszę gaźnika zależy od jej przepustowości, wynikającej z rozmiarów geometrycznych kalibrowanego kanalika; przepustowość dyszy paliwa nie zależy od miejsca wbudowania, czyli odległości od rozpylacza; obrzeże wylotu rozpylacza powinno się znajdować 2 ÷ 3 mm powyżej poziomu paliwa w rozpylaczu i komorze pływakowej, co zapobiega wyciekaniu benzyny z gaźnika. gdy silnik nie pracuje,

- gardziel (zwężka) ułatwia rozpraszanie się ciekłego paliwa w wysysającym je powietrzu; w przewężeniu (najmniejszym przekroju przelotu) gardzieli znajduje się wylot rozpylacza; podczas pracy silnika w przewężeniu gardzieli prędkość przepływu zasysanego powietrza jest największa, a w sąsiedztwie wylotu rozpylacza utrzymuje się największe podciśnienie; dzięki różnicy ciśnień paliwo jest wysysane z rozpylacza; chwilowa intensywność wydobywania się paliwa z rozpylacza zależy od różnicy ciśnienia w komorze pływakowej i podciśnienia w gardzieli oraz od przepustowości dyszy paliwa,

- przepustnica służy do zmieniania chwilowego podciśnienia w gardzieli, a tym samym do regulowania ilości i składu mieszanki paliwowo-powietrznej zasysanej do cylindrów silnika; kanał przepływowy gaźnika od przewężenia gardzieli do osi obrotu przepustnicy jest określany jako komora mieszankowa lub komora mieszania

Ze względu na kierunek przepływu mieszanki rozróżnia się gaźniki



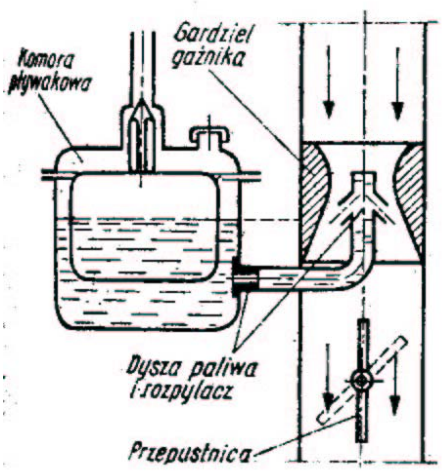
- *opadowe (dolnossące)*
- *górno ssące,*
- *poziome,*
- *skośne,*

Rys 1.17 Podstawowe odmiany gaźników

Gaźnik górnossacy, spotykany najrzadziej, instalowany jest dość nisko pod rurą ssącą, co wymaga stosowania długiego przewodu ssawnego. Gaźnik taki łatwo ulega zanieczyszczeniu błotem, wodą lub olejem i jest na ogół trudno dostępny, co znacznie komplikuje obsługę. W gaźniku górnossącym kropelki ciekłego paliwa są porywane przez strumień powietrza ku górze. Jeżeli prędkość przepływu powietrza w gardzieli jest niewielka. Największe kropelki paliwa nie mogą być uniesione przez powietrze i opadają lub unosząc się nieco ku górze osiadają na ściankach rury ssącej i spływają po nich. Wytwarzana wówczas mieszanka jest niejednorodna i zawiera liczne skupienia ciekłego paliwa, co m.in. wydatnie utrudnia rozruch silnika. Gaźnik górnossący działa zadowalająco tylko wtedy, kiedy prędkość przepływu powietrza przez gardziel jest stosunkowo duża, co z uwagi na dość silne jego dławienie zmniejsza napełnianie cylindrów, zwłaszcza gdy silnik pracuje z pełnym obciążeniem. Istotna zaletą gaźnika górnossącego jest to, że jego układ praktycznie uniemożliwia przenikanie ciekłego paliwa do cylindrów, nawet w okresie rozruchu silnika.

Gaźnik opadowy, najbardziej rozpowszechniony, wbudowany jest zwykle stosunkowo wysoko, nad rurą ssącą. Pozwala to na stosowanie krótkiego króćca dolotowego i utrudnia zanieczyszczanie się gaźnika błotem, wodą itp. Powietrze przepływa od góry ku dołowi, a kropelki ciekłego paliwa opadają jednocześnie ku dołowi pod własnym ciężarem, dzięki czemu mieszanka paliwowo-powietrzna tworzy się łatwo, nawet gdy prędkość przepływu powietrza jest niewielka. Przekrój gardzieli może być stosunkowo duży, co zapewnia odpowiednie napełnianie cylindrów mieszanką.

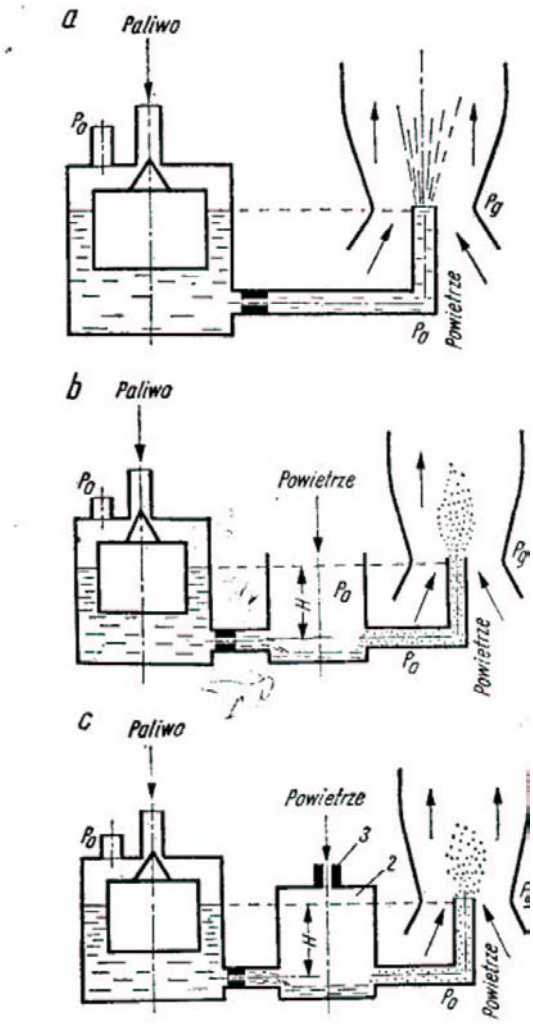
Gaźnik opadowy szczególnie nadaje się do silnika górno zaworowego, w którym układ rury ssącej i kanałów w głowicy cylindrów zapewnia nieprzerwane opadanie przepływającej mieszanki. Paliwo nie wykazuje skłonności do wytrącania się z mieszanki w postaci kropelek osadzających się na ściankach rury ssącej, w wyniku czego rozruch silnika na zimno jest łatwiejszy niż w przypadku stosowania gaźnika górno ssącego. Wadą gaźnika opadowego jest skłonność paliwa do spływania do cylindrów w przypadku przelania gaźnika, np. wskutek nieszczelności zaworka iglicowego lub nieumiejętnego rozruchu silnika



Rys 1.18 Schemat gaźnika elementarnego (opadowego)

Podciśnienie ΔP zależy od rodzaju dyszy i jej umieszczenia. Jeżeli dysza jest wbudowana w kanale paliwa (Rys 1.19a) prowadzącym do rozpylacza, to $\Delta P = P_o - P_g = \Delta P_g$ [kG/m^2]. Chwilowa intensywność wypływu paliwa z rozpylacza w takim przypadku zależy tylko od przepustowości dyszy i jest ściśle związana z podciśnieniem w gardzieli. Kiedy w kanale paliwa pomiędzy dyszą a rozpylaczem znajduje się dodatkowa studzienka połączona z atmosferą (Rys 1.19b), wtedy $\Delta P = H\gamma_{pal}$ [kG/m^2]. Jak długo silnik nie pracuje, tak długo poziomy paliwa w studzience, rozpylaczu i w komorze pływakowej są identyczne. Po rozruchu silnika rozpylacz i studzienka szybko opróżniają się z paliwa, ponieważ dysza przepuszcza mniej paliwa niż wydostaje się go ze studzienki przez rozpylacz. W takim przypadku chwilowa intensywność wypływu z rozpylacza nie zależy od podciśnienia w gardzieli, lecz tylko od wysokości *H* poziomu ponad ujściem dyszy paliwa. Jeżeli w przewodzie paliwa pomiędzy dyszą a rozpylaczem znajduje się dodatkowa studzienka z ograniczonym dopływem powietrza (Rys 1.19c), to $\Delta P = H\gamma_{pal} + \Delta P_{st}$,

gdzie: $P_{st} = P_O - P_{st}$

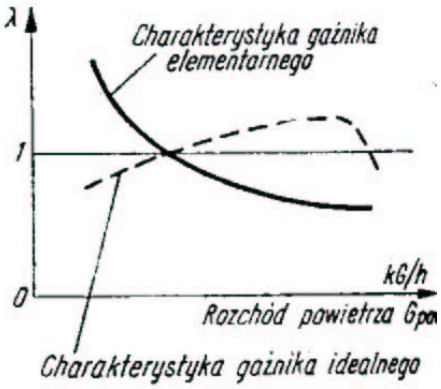


Rys 1.19 Przepływ paliwa z dyszy do rozpylacza gaźnika przez układ prosty (a), układ o studzience otwartej (b) oraz przez układ o studzience o ograniczonym dopływie powietrza (c)

Jak długo silnik nie pracuje, tak długo poziomy paliwa w studzience, rozpylaczu i w komorze pływakowej są jednakowe. Po rozruchu silnika studzienka opróżnia się z paliwa. Ponieważ powietrze może wówczas napływać do studzienki tylko przez wąski kanalik dyszy powietrza, ciśnienie P_{st} w studzience jest tym niższe niż ciśnienie barometryczne P_o im niższe jest podciśnienie w gardzieli. W tym przypadku chwilowa intensywność wydobywania się paliwa z rozpylacza zależy od podciśnienia w studzience i od podciśnienia w gardzieli.

Gaźnik idealny. Jeżeli silnik ma pracować zadowalająco z dowolną prędkością biegu (w zakresie prędkości użytecznych) i dowolnym obciążeniem (nie przekraczającym dopuszczalnego), gaźnik powinien wytwarzać mieszankę według charakterystyki gaźnika idealnego. Ujmując poglądowo, w okresie niewielkiego obciążenia lub małej prędkości biegu silnika, tzn. kiedy mieszanka powoli przepływa rura ssącą, rozpylanie paliwa, odparowanie i mieszanie się z powietrzem jest mało intensywne, a kropelki paliwa łatwo wydzielają się z mieszanki i osiadają na metalowych ściankach, gaźnik powinien wytwarzać mieszankę bogatą, aby nadmiar paliwa wyrównywał straty wskutek wytrącania się paliwa z mieszanki. Kiedy silnik pracuje ze stałą prędkością biegu i niezmiennym obciążeniem, gaźnik idealny powinien dostarczać ekonomiczną mieszankę o niezmiennym składzie, a więc o współczynniku nadmiaru powietrza $\lambda = 1{,}05 \div 1{,}15$ Natomiast podczas pełnego uchylenia przepustnicy i

znamionowej prędkości biegu silnika, czyli w okresie największego zużycia powietrza, gaźnik idealny powinien wytwarzać bogatą mieszankę o współczynniku $\lambda \approx 0.85$ co umożliwia silnikowi rozwijanie największej mocy

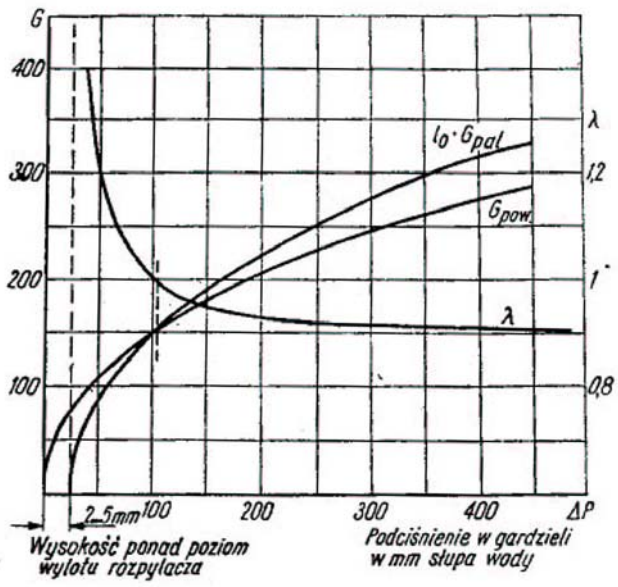


Rys 1.20 Zmienność współczynnika namiaru powietrza w gaźniku elementarnym oraz w gaźniku idealnym

Działanie gaźnika elementarnego.

Ponieważ gaźnik elementarny ma dysze i jeden tylko rozpylacz, którego wylot znajduje się w gardzieli (Rys 1.19a), chwilowy skład wytwarzanej mieszanki paliwowo-powietrznej zależy jedynie od intensywności przepływu powietrza przez gardziel.

Jeżeli podczas biegu silnika ze stalą prędkością, ze wzrostem obciążenia uchyla się przepustnice, wówczas gaźnik elementarny wytwarza coraz bogatszą mieszankę. Zgodnie z charakterystyką gaźnika elementarnego (Rys 1.21). Krzywa współczynnika nadmiaru powietrza unosząc się ku górze zbliża się asymptotyczne do prostej pionowej przy podciśnieniu w gardzieli, odpowiadającym wysokości wylotu rozpylacza nad poziomem paliwa. Dopiero przy takim podciśnieniu paliwo zaczyna wypływać z rozpylacza. Gdy podciśnienie wzrasta, opory przepływu gardzieli są praktycznie niezmienne, natomiast opory dyszy paliwa i kanałów nieznacznie maleją, czyli intensywność wypływu paliwa wzrasta, a krzywe G_{pow} oraz $l_0 \cdot G_{m}$ przecinają się.



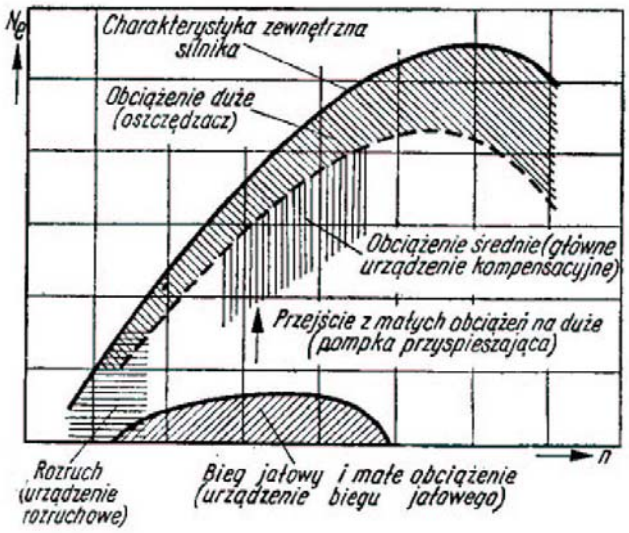
Rys 1.21 Charakterystyka gaźnika elementarnego

Istotne wady gaźnika elementarnego w porównaniu z gaźnikiem idealnym to

- *dostarczanie mieszanki tym bogatszej, im większe jest natężenie przepływu powietrza przez gardziel (patrz Rys 1.20); mieszanka powinna być raczej coraz uboższa i wzbogacać się dopiero w przypadku całkowitego uchylenia przepustnicy,*
- *niewytwarzanie odpowiedniej mieszanki, kiedy przepustnica jest przymknięta, np. podczas jałowego biegu silnika, gdy silnik zasila mieszanka zbyt uboga (nawet poniżej granicy zapalności),*
- *niedostarczanie mieszanki odpowiedniej do rozruchu zimnego silnika,*
- *niezapewnianie wymaganej niezmienności składu mieszanki w czasie nagłych zmian obciążenia silnika; wskutek gwałtownego uchylenia przepustnicy ilości*

powietrza i paliwa wprawdzie gwałtownie się zwiększają, lecz w różnym stopniu— powietrze jako lżejsze szybciej wypełnia cylindry niż paliwo i przez krótki okres czasu gaźnik wytwarza mieszankę zbyt ubogą

Niemal każdy gaźnik wykorzystywany w praktyce jest to gaźnik elementarny wyposażony w rozmaite urządzenia pomocnicze, dzięki którym jego charakterystyka upodabnia się mniej lub bardziej do charakterystyki gaźnika idealnego. Zestaw tego rodzaju urządzeń pomocniczych obejmuje zwykle urządzenie biegu jałowego, urządzenie rozruchowe, główne urządzenie kompensacyjne (zubożające mieszankę), urządzenie wzbogacające (kompensacyjne) dodatkowe pompkę, przyspieszającą oraz oszczędzacz. Dzięki współdziałaniu wymienionych urządzeń z gaźnikiem elementarnym w dowolnych warunkach pracy silnik jest zasilany mieszanką o najkorzystniejszym składzie (Rys 1.22).



Rys 1.22 Zakresy oddziaływania pomocniczych urządzeń gaźnika

Gaźnik elementarny wyposażony we wszystkie pomocnicze urządzenia może pracować ekonomicznie tylko do pewnych określonych przepustowości gardzieli. Dlatego w dużych silnikach łączy się ze sobą po dwa lub cztery gaźniki, o jednym przelocie, tworząc jednostki dwu- lub cztero przelotowe, z tym że poszczególne przeloty działają jednocześnie lub okresowo. Urządzenie biegu jałowego. Gdy silnik pracuje na biegu jałowym i w zakresie małych obciążeń, przepustnica w gaźniku jest prawie całkowicie przymknięta. Ponieważ, silnik zasysa wówczas do cylindra małe ilości powietrza, prędkość przepływu powietrza i podciśnienie w gardzieli są tak małe, że przez rozpylacz główny prawie wcale nie wypływa paliwo. Natomiast w przestrzeni za przepustnica panuje dość duże podciśnienie (około 0,4÷0,8 [kG/cm^2]) i z tego względu podczas jałowego biegu silnika mieszanka powinna powstawać w kanale powietrza tuż za przepustnicą

1.2.4 Gaźnik PF125P

1.2.4.1 Opis budowy gaźnika PF125P

Budowa wszystkich gaźników stosowanych PF125P jest identyczni Różnica między nimi polega jedynie na innych wielkościach niektórych elementów regulacyjnych. Są to gaźniki opadowe, dwuprzelotowe, z gardzielami wstępną i główną, ze stopniowym otwieraniem przepustnic. Otwieranie przepustnicy drugiego przelotu sterowane jest podciśnieniem panującym w gardzielach głównych obu przelotów gaźnika. Średnica nominalna przelotów gaźnika wynosi 34 mm. Gaźnik ma następujące układy paliwowo-powietrzne:

- *układ główny (osobny dla każdego przelotni który działa na zasadzie powietrznego hamowania wypływu paliwa);*
- *układ biegu jałowego (tylko dla pierwszego przelotu), który zapewnia równomierną pracę silnika na obrotach biegu jałowego, tj. 800 obr/min*

- *układy przejściowe (dla obu przelotów), które zapewniają płynną zmianę obrotów silnika przy otwieraniu przepustnic;*
- *układ rozruchowy z samoczynną regulacją składu mieszanki zależną od podciśnienia w przewodzie ssącym silnika;*
- *układ przyspieszający wyposażony w tłoczkową pompę przyspieszającą napędzaną mechanicznie, wtryskującą paliwo do I przelotu w momentach gwałtownych otwarć przepustnicy tego przelotu;*
- *układ podciśnieniowego sterowania przepustnicy drugiego przelotu, wyposażony w siłownik sterowany podciśnieniem panującym w obu przelotach {siłownik może otworzyć przepustnicę II przelotu wówczas, gdy przepustnica I przelotu jest już częściowo otwarta).*
- *Poziom paliwa w komorze pływakowej regulowany jest pływakiem, który steruje iglicowym zaworem dopływu paliwa (iglica zaworu jest wyposażona w sprężynowy amortyzator drgań).*

Wszystkie ww. układy mają za zadanie zapewnić silnikowi w czasie pracy mieszankę palną o optymalnym składzie i w ilości zależnej od aktualnych potrzeb silnika.

Elementami regulacyjnymi w poszczególnych układach są :

W układzie głównym:

- *dysza główna paliwa, dysza wyrównawcza powietrza, rurka emulsyjna, rozpylacz i gardziel główna.*

W układzie biegu jałowego:

- *dla pierwszego przelotu: dysza paliwa biegu jałowego, dysza powietrza biegu jałowego, otwór przejściowy, otwór mieszanki wolnych obrotów regulowany wkrętem i zabezpieczony zaślepką;*
- *dla drugiego przelotu: dysza paliwa układu przejściowego i otwór przejściowy.*

W układzie przyspieszającym:

- *dysza pompy przyspieszającej, dysza zaworu ssącego oraz drążek prowadzący (długość).*

W układzie podciśnieniowym sterowania przepustnicą drugiego przelotu:

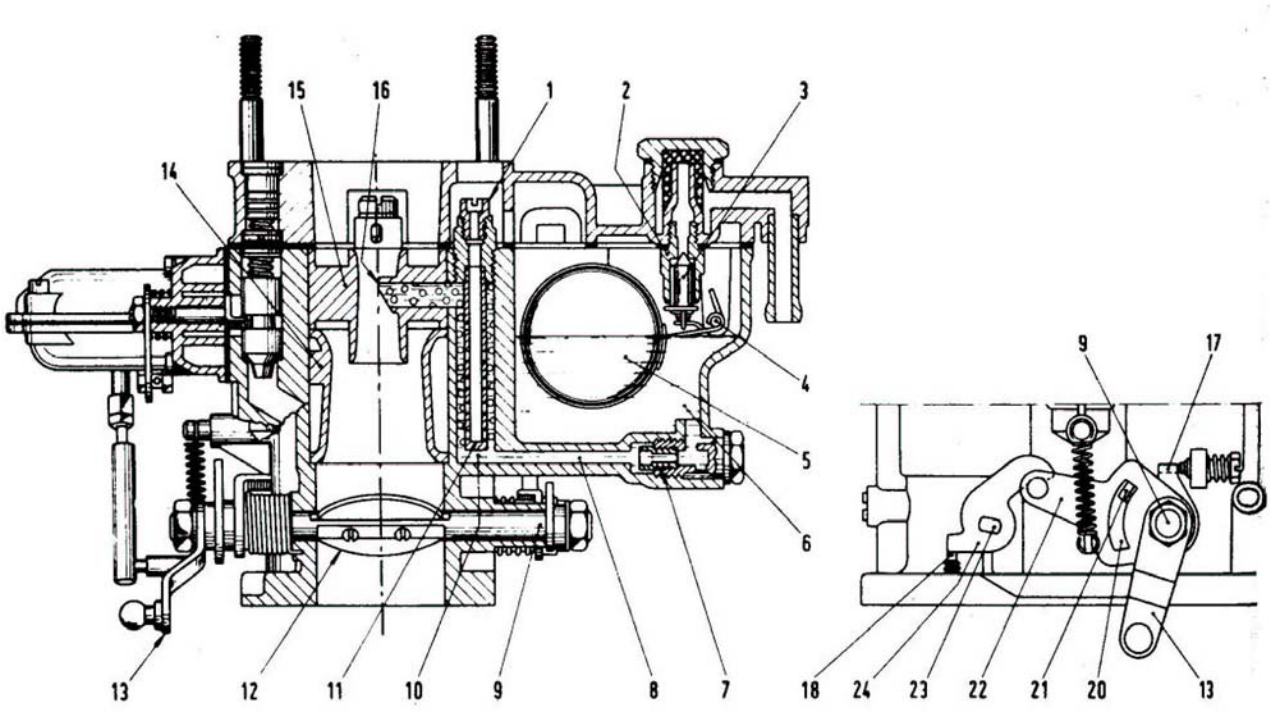
- *dysza powietrza, sprężyna przepony, przepona (sztywność), cięgno przepony (długość).*

Dla wszystkich układów paliwowo-powietrznych czynnikiem regulacyjnym jest także poziom paliwa, ustalony położeniem pływaka w stosunku do płaszczyzny pokrywy (przy zamkniętym zaworze dopływu paliwa).

1.2.4.2 Opis działania

1.2.4.2.1 Główny układ paliwowo powietrzny

Paliwo dopływa przez zawór iglicowy (2, Rys 1.23) do komory pływakowej (6), w której umocowany obrotowo na osi (4) pływak (5) reguluje położenie iglicy (3) i utrzymuje stały poziom paliwa. Z komory pływakowej paliwo przepływa przez dyszę główną (7) i kanał (8) do studzienki (10).



Rys 1.23 Ułożenie elementów współpracujących gaźnika Weber 34 DCHD-17 podczas normalnej pracy silnika

1 - *dysza powietrza hamująca, 2- zawór iglicowy, 3 - iglica, 4 - oś pływaka, 5 - pływak, 8 - komora pływakowa, 7- dysza główna paliwa, 8- kanał łączący dyszę główną ze studzienką emulsyjna, 9 - oś przepustnicy I przelotu, 10- studzienka, 11- rurka emulsyjna, 12 - przepustnica I przelotu, 13 - dźwignia napędowa, 14 - gardziel, 15 - rozpylacz, 16 - kanał rozpylacza, 17 - dźwignia ograniczająca, 18 - wkręt regulacyjny przepustnicy II przelotu, 20 - wycięcie dźwigni zwalniającej, 21 – występ dźwigni ograniczającej, 22 - dźwignia zwalniająca, 23 - oś przepustnicy II przelotu, 24 - dźwignia przepustnicy II przelotu*

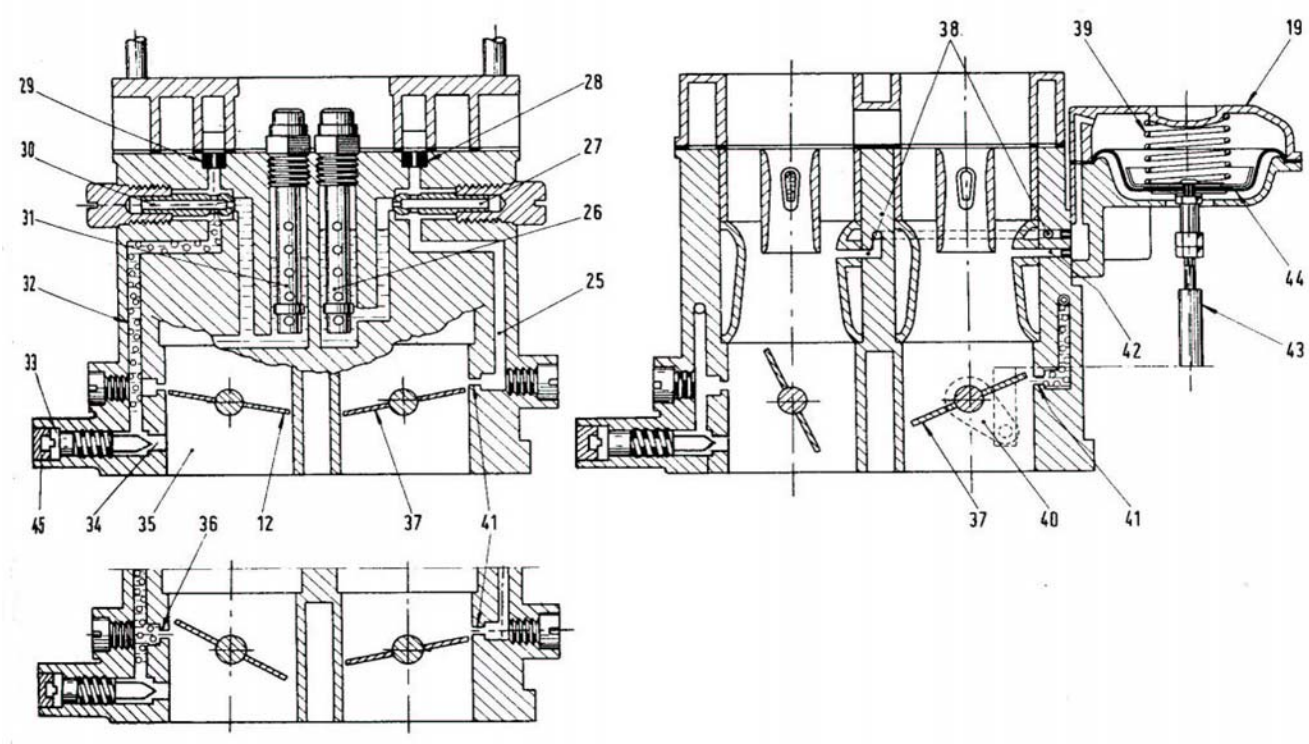
W studzience (10) z ograniczonym dopływem powietrza przez dyszę powietrzną hamującą *(1)* następuje zmiana poziomu paliwa w zależności od obciążenia silnika (idea omówiona Rys 1.19c). Dalej paliwo w przepływa kanałem *(16)* do strefy wytwarzania mieszaniny palnej wokół rozpylacza- (15) i dalej do gardzieli *(14)*.

Sposób uzależnionego otwierania przepustnic I i II przelotu wynika z układu dźwigni (patrz Rys 1.23). Dźwignia napędowa *(13)* obraca oś przepustnicy I przelotu (9) wraz z zamocowaną na niej dźwignią ograniczającą (17), której występ (21) porusza się początkowo w wycięciu *(20)* dźwigni zwalniającej (22); przepustnica I przelotu *(12)* umocowana na osi obraca się o odpowiedni kąt, podczas gdy przepustnica II przelotu, zamontowana na osi (23), pozostaje zamknięta. Przy dalszym obrocie dźwigni napędowej (13), występ (21) zaczyna obracać dźwignię (22), która zwalnia dźwignię *(24)* umocowaną na osi (23); w tych warunkach otwieranie przepustnicy II przelotu jest regulowane membraną siłownika, której położenie zależy od podciśnienia wytworzonego przez silnik.

1.2.4.2.2 Układ paliwowo powietrzny wolnych obrotów i przejściowy.

Ze studzienki rurki emulsyjnej I przelotu (31, Rys 1.24) paliwo, przepływając dyszą (30), miesza się z powietrzem napływającym przez dyszę powietrzną (29) i jako emulsja wydostaje się kanałem (32) przez otwór wolnych obrotów (34), którego przelot jest regulowany fabrycznie wkrętem, do kanału I przelotu (35) poniżej przepustnicy (12).

Przy stopniowym uchylaniu przepustnicy I przelotu, paliwo w postaci emulsji zaczyna również wypływać z otworów przejściowych (36) I przelotu zapewniając równomierne zwiększenie prędkości obrotowej silnika. Gdy przepustnica I przelotu otworzy się odpowiednio, to zezwoli ona na otwarcie przepustnicy II przelotu. Przepustnica II przelotu (37) zaczyna się otwierać, gdy podciśnienie w gardzieli I przelotu, przenoszone kanałem (38) do siłownika, wywoła na membranie *(44)* siłę potrzebną do pokonania sprężyny (39). Ruch membrany przenosi się na przepustnicę za pośrednictwem drążka *(43)* i dźwigni *(40)* umocowanej na osi przepustnicy II przelotu Przy odpowiednim położeniu przepustnicy *(37)* paliwo ze studzienki rurki emulsyjnej II przelotu (26) przepływa przez dyszę (27), miesza się z powietrzem napływającym przez dyszę powietrzny (28) i płynąc jako emulsja przez kanał (25) dostaje się do II przelotu otworami przejściowymi *{41}.* W ten sposób zapewnia ono równomierne zwiększenie prędkości obrotowej silnika w miarę otwierania przepustnicy II przelotu. Podciśnienie wytworzone w I oraz w II przelocie przenikające przez otwór *(42)* zapewnia, gdy silnik tego wymaga, całkowite i zupełne otwarcie przepustnicy II przelotu (37).



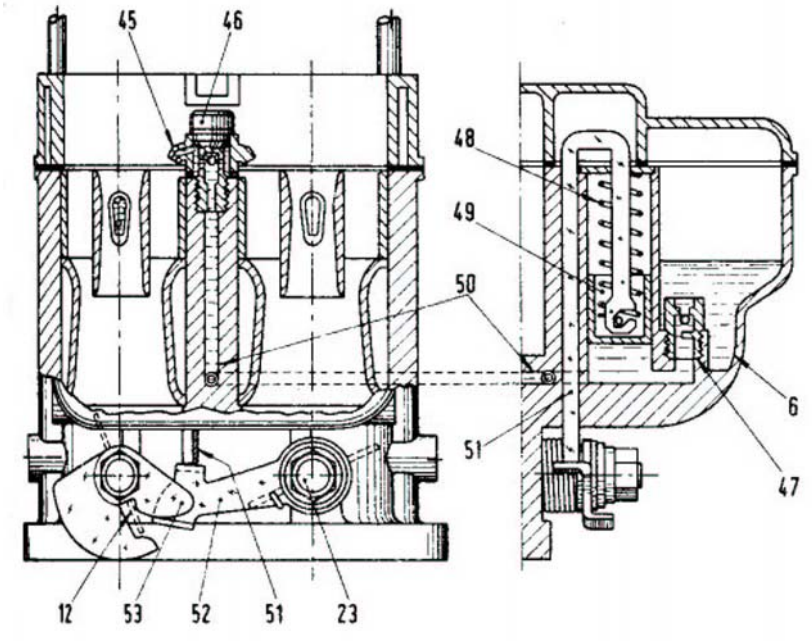
Rys 1.24 Ułożenie elementów współpracujących gaźnika Weber 34 DCHD-17 przy wolnych obrotach i podwyższaniu obrotów (rysunek uproszczony)

12 - przepustnica I przelotu, 19 - siłownik, 25 - kanał wolnych obrotów II przelotu. 26 - studzienka rurki emulsyjnej II przelotu, 27 - dysza paliwa wolnych obrotów II przelotu. 28, 29 - dysza powietrzna, 30 - dysza paliwa wolnych obrotów I przelotu, 31 - studzienka rurki emulsyjnej I przelotu, 32 - kanał wolnych obrotów I przelotu, 33 - wkręt regulacyjny wolnych obrotów, 34 - Otwór kanału wolnych obrotów, 35 - kanał główny I przelotu, 36 - otwór przejściowy I przelotu, 37 - przepustnica II przelotu, 38 - kanał łączący gardziel I przelotu z siłownikiem. 39 - sprężyna, 40 - dźwignia, 41 - otwór przejściowy II przelotu, 42 - otwór łączący gardziel II przelotu z siłownikiem, 43 - drążek, 44--membrana. 45 - plomba wkręta regulacji składu mieszanki biegu

1.2.4.2.3 Pompka przyspieszająca.

Zamykając przepustnicę I przelotu dźwignia (52, Rys 1.25) podnosi drążek prowadzący (51) a wraz z nim tłoczek *(49),* który przez zawór kulkowy zasysa paliwo do cylinderka pompy. Podczas otwierania przepustnicy I przelotu (12) krzywka (53) obraca się i działa na

osadzoną luźno na piaście przepustnicy II przelotu dźwignię *(52);* taki układ dźwigni zezwala na ruch drążka prowadzącego (51) a razem z nim tłoczka *(49)* ku dołowi pod wpływem sprężyny *(48).* Ttoczek (49) tłoczy paliwo przez kanał (50), zawór kulkowy *(46)* do dyszy pompy (45) skąd jest ono wtryskiwane do I przelotu. Zawór ssący (47) może mieć (w niektórych odmianach gaźnika) otwór kalibrowany stanowiący dyszę ograniczającą wydatek pompki przyspieszającej. Wydatek pompki przyspieszającej powinien wynosić co najmniej 6 cm^3 paliwa w ciągu 5 pełnych ruchów dźwigni przepustnicy z prędkością zezwalającą na pełne skoki tłoczka pompki.



Rys 1.25 Ułożenie elementów współpracujących gaźnika Weber 34 DCHD-17 podczas przyspieszania
11 - komora pływakowa. 12 - *przepustnica I przelotu, 23 - oś (przepustnicy II przelotu, 45 - dysza pompy 46 - zawór kulkowy 47 - zawór ssący pompki przyspieszającej, 48 - sprężyna,* 49 - tłoczek *pompki przyspieszającej,* 50 - *kanał, 51 - drążek prowadzący, 52 - dźwignia sterowania drążka, 53 - krzywka sterująca*

1.2.4.2.4 Urządzenie rozruchowe.

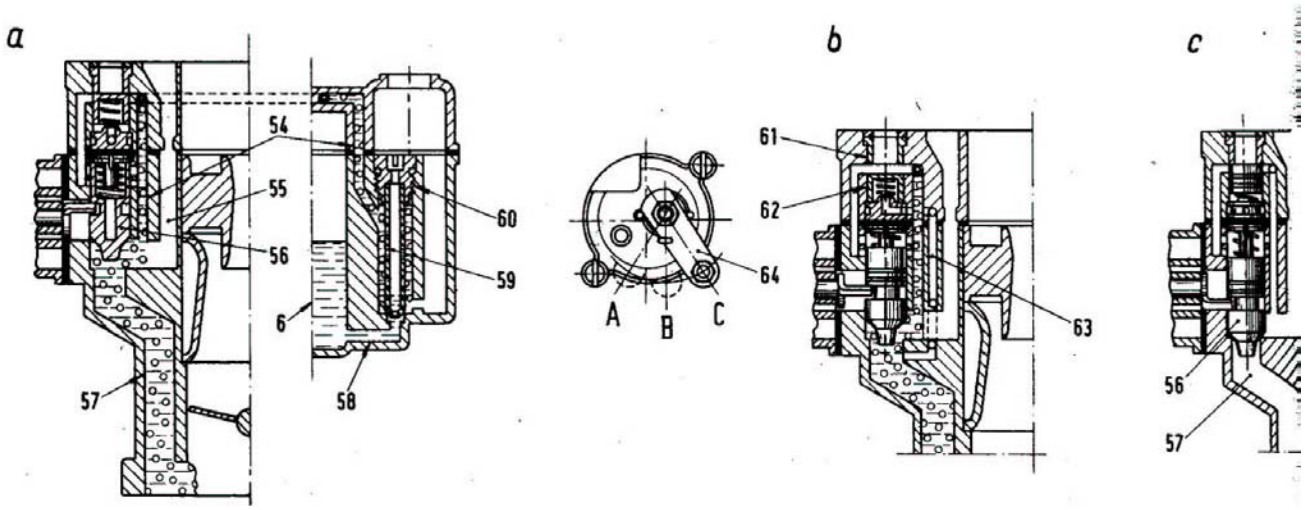
Urządzenie rozruchowe pokazano na Rys 1.26. Dźwignia *(64)* sterująca tłoczkiem (56) tego urządzenia ma trzy zasadnicze położenia *A, B* i C, które zajmuje kolejno:

A- przy rozruchu silnika zimnego,

B- przy rozruchu silnika ciepłego,

C- przy wyłączonym urządzeniu.

Po przestawieniu dźwigni *(64,* Rys 1.26) w położenie *A* lub B paliwo z komory pływakowej (6) przepływa do urządzenia rozruchowego kanałem (58) i dyszą rozruchową (59). Emulsja paliwa i powietrza zassanego do gaźnika przez dyszę powietrzną hamującą rozruch *(60),* przepływa kanałem (54) do komory tłoczki zaworu rozruchowego (56), gdzie miesza się z powietrzem pochodzącym z kanału (55). Ta mieszanina zasysana kanałem (57) do przelotu gaźniki umożliwia szybki rozruch silnika. Po rozruchu obroty silnika szybko wzrastają, a zatem wzrasta podciśnienie pod przepustnicą, Powoduje ono, po przedostaniu się przez kanał (63), otwieranie zaworu *(62),* dzięki czemu zasysane przez otwór w tulejce *(61)* powietrze zuboża w kanale (54) mieszankę, która napływa z dyszy rozruchowej *(59)* i zapobiega „zalaniu" silnika



Rys 1.26 Elementy układu rozruchowego gaźnlka Weber 34 DCHD-17

a - urządzenie całkowicie włączone, b - urządzenie częściowo włączone, c - urządzenie wyłączone

6 -Komora pływakowa, 54 - kanał mieszanki, 55 - kanał powietrzny, 56 - tłoczek zaworu rozruchowego 57 - kanał mieszanki do przelotu gaźnika, 58 - kanał łączący komorę pływakową z urządzeniem rozruchowym, 59 - dysza rozruchowa, 60 - dym powietrza, 61 - tulejka, 62 - zawór dozujący powietrze, 63 - kanał pod ciśnieniowy sterowania zaworu dozującego powietrze, 64 dźwignia sterująca

A - położenie dźwigni sterującej odpowiadające całkowitemu włączeniu, B- położenie dźwigni sterującej przy urządzeniu częściowo włączonym, C - położenie dźwigni sterującej przy urządzeniu całkowicie wyłączonym

Przy rozruchu silnik otrzymuje odpowiednią do temperatury dawkę mieszanki, która umożliwia jego rozruch zarówno w stanie zimnym (położenie, *A)* jak i ciepłym (położenie B). Ponieważ dla rozgrzanego silnika mieszanka nie może być zbyt bogata i w nadmiernej ilości, konieczne jest stopniowe wyłączanie urządzenia rozruchowego wraz ze wzrostem temperatury silnika. Osiąga się to przez zamykanie kanału (54) tłoczkiem (56) i zmniejszenie w ten sposób dopływu mieszanki, aż do zupełnego wyłączenia urządzenia.

W celu ekonomicznego używania urządzenia rozruchowego należy posługiwać się nim w następujący sposób.

- *Rozruch zimnego silnika*

włączyć całkowicie urządzenia rozruchowe (położenie A). Po uruchomieniu silnika, w okresie rozgrzewania, wyłączać stopniowo urządzenie, tak aby mieć zawsze dostateczną ilość dodatkowej mieszanki gwarantującą równomierną pracę silnika.

- *Rozruch ciepłego silnika*

w tym przypadku wystarczy włączyć częściowo urządzenie rozruchowe (położenie B).

- *Normalna praca silnika*

kiedy silnik osiągnie odpowiednią (właściwą) temperaturę i zacznie pracować regularnie, należy wyłączyć urządzenie rozruchowe (położenie C),

2. Regulacja silnika gażnikowego

2.1 Zasady regulacji silników

Każdy kierowca samochodu osobowego chciałby, aby jego pojazd szybko osiągał zadaną prędkość i był ekonomiczny. Te dwie cechy są zgodne z interesem kierowcy (najczęściej właściciela pojazdu), ale również i społecznym. Dynamiczność pojazdu, podobnie jak skutecznie działające hamulce często decydują o bezpieczeństwie ruchu na drogach. Lepsza dynamika, to przede wszystkim krótszy czas i droga wyprzedzania innych pojazdów, a wiec krótszy czas blokowania drugiego pasa jezdni przez pojazd wyprzedzający.

Ekonomiczność silnika i dynamiczność samochodu zależą w dużym stopniu od ich stanu technicznego i prawidłowości regulacji silnika. Szereg zespołów gaźnikowych silników samochodowych wymaga regulacji w warunkach statycznych oraz dynamicznych podczas ruchu pojazdu w różnych i zmiennych warunkach jazdy. W warunkach dynamicznych regulacja kąta wyprzedzenia zapłonu, ilości i składu mieszanki odbywa się automatycznie, z wyjątkiem zmian stopnia otwarcia przepustnicy, która jest sterowana mechanicznie pedałem przyspieszenia przez kierowcę.

Obecnie możemy spotkać się jeszcze z silnikami o zasilaniu gaźnikowym i zapłonie ustawianym mechanicznymi regulatorami jak również z silnikami najnowszej generacji tzn. z silnikami wyposażonymi w układy wtryskowe i mikroprocesorowe adaptacyjne układy zapłonowe.

Porównując ze sobą silniki spalinowe poprzednio i aktualnie produkowane na świecie można stwierdzić, że tak naprawdę to silniki nie przeżyły żadnych rewolucyjnych zmian tzn. nie zmieniły się zasady pracy silników. Natomiast przez ogromny postęp elektroniki procesy sterujące pracą silnika doprowadzono niemalże do perfekcji dotyczy to oczywiście dostosowania w bardzo precyzyjny sposób dawkowania paliwa i sterowania zapłonem w zależności od aktualnych warunków pracy silnika.

Tak więc analizując pracę silnika z klasycznym sterowaniem można sprawdzać wpływ poszczególnych parametrów a właściwie ich regulacji na jego pracę i na podstawie objawów określać co ma wpływ na konkretne rekcje silnika.

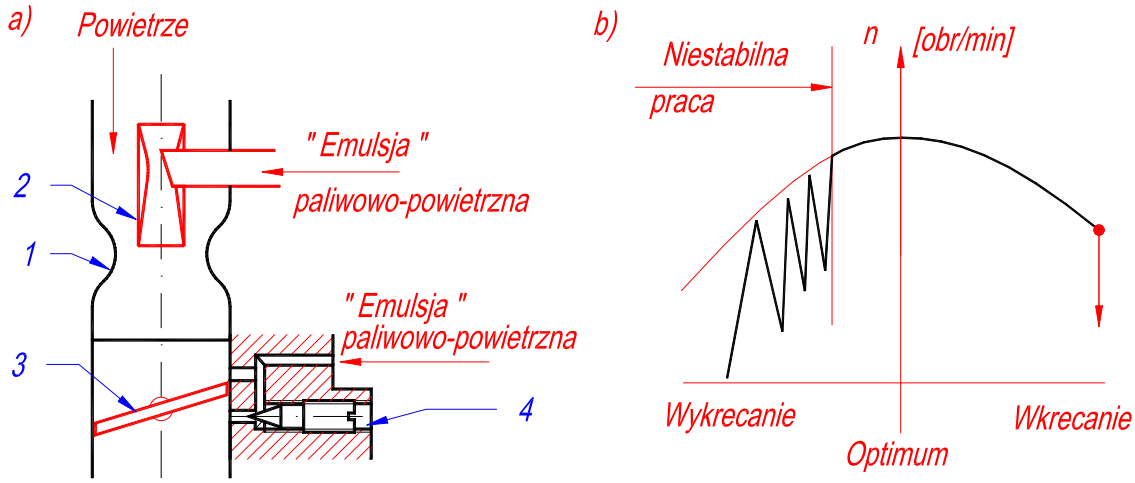
Znając takie podstawy można w sposób dość dobry określać jakie czujniki przekazują błędne sygnały do mikroprocesora, który na ich podstawie błędnie steruje pracą silników najnowszej generacji.

W silnikach klasycznych **w warunkach statycznych** regulacji (nastawom) podlegają następujące elementy:

- *luzy zaworowe,*
- *maksymalny odstęp styków przerywacza aparatu zapłonowego,*
- *odstęp elektrod świec zapłonowych,*
- *skrajne położenie pływaka w gaźniku (lub maksymalny poziom paliwa),*
- *statyczny kat wyprzedzenia zapłonu.*

Oprócz tego, kontroli okresowej podlegają wymiary dysz paliwowych i powietrznych w gaźniku (i ewentualnej wymianie dysz po przebiegu kilkudziesięciu tysięcy kilometrów, ze względu na erozje dysz paliwowych i korozje dysz powietrznych), oczyszczeniu i wypolerowaniu powierzchni gardzieli gaźnika, wymianie lub oczyszczeniu wkładów filtracyjnych paliwa, powietrza i oleju zgodnie z zaleceniami wytwórcy silników.

Podczas pracy silnika **na biegu jałowym** regulacji podlega minimalny stopień uchylenia przepustnicy oraz dobór składu mieszanki. Zasady regulacji wyjaśnia wytwórca w instrukcji obsługi samochodu.



Rys 2.1 Schemat zasady regulacji składu mieszanki biegu jałowego oraz zależność prędkości obrotowej biegu jałowego od położenia wkrętu składu mieszanki.

a) schemat gaźnika,

b) wpływ położenia wkrętu regulacyjnego na prędkość obrotową

1. *gardziel gaźnika,*
2. *gardziel paliwowa,*
3. *przepustnica,*
4. *wkręt regulacyjny składu mieszanki.*

Należy sobie zdawać sprawę z tego, ze wkręcanie wkrętu regulacji składu mieszanki powoduje jej ubożenie, a wykręcanie wzbogacanie, a ponadto wzrost prędkości obrotowej biegu jałowego (przy ubogiej mieszance na tym zakresie i stabilnej pracy silnika) powoduje niewielki wzrost zużycia paliwa i znaczny spadek zawartości tlenku węgla w spalinach.

Na Rys 2.1. pokazano schematycznie zasadę regulacji składu mieszanki w zakresie biegu jałowego oraz zależności prędkości obrotowej biegu jałowego silnika od położenia wkrętu regulacyjnego.

Charakterystyczna jest niestabilna praca silnika (tzw. wypadanie zapłonów) przy nadmiernym wykręcaniu wkrętu regulacyjnego np. w gaźniku samochodu PF 125P, a we wszystkich gaźnikach występuje zwiększone zużycie paliwa i wzrost zawartości tlenku węgla w spalinach.

Podczas ruchu pojazdu automatycznie jest regulowany kat wyprzedzenia zapłonu, którego wymagana wartość zależy od jakości przygotowania i składu mieszanki paliwowo powietrznej w cylindrach silnika w chwili zapłonu. A zatem, kąt ten zależy od prędkości

obrotowej silnika i jego aktualnego stopnia obciążenia narzuconego warunkami ruchu samochodu, uzależniony od warunków drogowych i woli kierowcy.

Ogólną wskazówką oceny prawidłowości regulacji statycznego kata wyprzedzenia zapłonu i jego zmian w warunkach różnych obciążeń silnika i prędkości obrotowych oraz prawidłowości regulacji gaźnika, jest sprawdzenie możliwości ruszenia samochodem i kontynuowania jazdy na przynajmniej I i II biegu (na zakresie biegu jałowego silnika) oraz osiąganie dobrych przyśpieszeń bez występowania spalania stukowego (rozwijającego się w spalanie detonacyjne) w cylindrach silnika podczas przyspieszenia z tego zakresu pracy. Zadowalające wyniki pod względem zużycia paliwa oraz dobre przyspieszenia samochodu nie zależą wyłącznie od prawidłowości regulacji samego silnika, ale również od jego stanu technicznego, przekładni głównej i skrzyni przekładniowej, a także stanu technicznego układu jezdnego samochodu. W układzie jezdnym ważna jest prawidłowość nastaw regulacyjnych: właściwych kątów pochylenia osi kół przednich i zwrotnic, oraz zbieżności kół, a także stanu i rodzaju rzeźby bieżnika opon, ciśnienia powietrza w oponach, prawidłowości działania hamulców itd. Istotny wpływ na zużycie paliwa i zdolność do przyśpieszeń samochodu ma stan cieplny silnika i przekładni całego zespołu napędowego. Stąd wynika konieczność wyposażenia silników samochodowych, zarówno chłodzonych cieczą jak i powietrzem, w automatyczne regulatory (zwane termostatami), których właściwe działanie ma zapewnić szybkie nagrzewanie po uruchomieniu zimnego silnika, a następnie utrzymanie możliwie stałej temperatury silnika, niezależnie od jego obciążenia, prędkości obrotowej wału korbowego, prędkości jazdy oraz warunków atmosferycznych i strefy klimatycznej. Wszystkie silniki samochodowe mają na ogół układy chłodzenia opracowane ze znacznymi zapasami ze względu na ich ewentualną eksploatację w zwrotnikowych strefach klimatycznych i konieczność przystosowania do pokonywania stromych i długich wzniesień. Każdy użytkownik samochodu stwierdza mniejsze zużycie paliwa w okresie letnim niż w zimowym oraz podczas eksploatacji ciągłej (np. w taksówkach), niż przy jeździe na krótkich odcinkach z długimi postojami zwłaszcza zimą.

Dlatego w chłodnych porach roku celowe jest uzupełnianie wyposażenia samochodów w dodatkowe osłony komory silnikowej (na wlocie lub wylocie powietrza chłodzącego) mające na celu zmniejszenie intensywności przepływu powietrza przez chłodnicę i wokół silnika, oraz skrócenie okresu nagrzewania i wydłużenie okresu stygnięcia w czasie dłuższego postoju.

2.2 Kontrola poprawności nastaw.

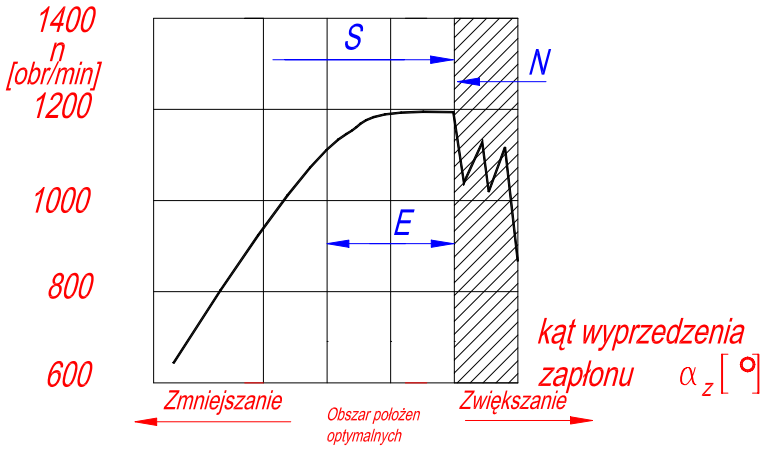
Kontrola poprawności nastaw statycznych aparatu zapłonowego wraz z jego regulatorami oraz gaźnika jako całości może być przeprowadzona częściowo w warunkach pracy silnika na biegu jałowym, a ostatecznie w warunkach jazdy ustalonej, a zwłaszcza, podczas przyspieszania przy całkowicie otwartej przepustnicy gaźnika. Nieprawidłowości nastaw i pracy regulatorów automatycznych najwyraźniej dają się zaobserwować w warunkach dość dużych obciążeń i małej prędkości obrotowej silnika (np. jazda na biegu bezpośrednim z małymi prędkościami) oraz podczas energicznego przyspieszania przy całkowicie otwartej przepustnicy gaźnika. Wskaźnikiem jakości regulacji jest np. czas niezbędny do wzrostu prędkości jazdy samochodu od 50 km/h do 80 km/h na biegu bezpośrednim.

Kontrolę prawidłowości regulacji rozpoczyna się od zakresu pracy silnika na biegu jałowym. Tę kontrolę i regulacje przeprowadza się na silniku o ustalonym stanie cieplnym.

Pierwszą czynnością jest ustawienie statycznego kąta wyprzedzenia zapłonu a następnie regulacja gaźnika i ponowne ustawienie zapłonu i gaźnika - praktycznie już przy drugim podejściu do poszczególnych nastaw uzyskuje się ostateczne ustawienia gdy w silniku i gaźniku nie występują uszkodzenia.

Podczas pracy silnika na biegu jałowym można uściślić „optymalną” wartość kąta wyprzedzenia zapłonu poprzez niejako indywidualizacje danego silnika z gaźnikiem, aparatem zapłonowym i ich regulatorami. W celu uzyskania zadawalającej ekonomiczności pracy i dynamiki ruchu samochodu, indywidualizacja taka jest pożądana ze względu na występowanie niewielkich różnic w poszczególnych egzemplarzach silników np. faz rozrządu oznakowań położeń wału korbowego na kole pasowym. Występują również różnice w wykonaniu rozdzielaczy zapłonu i ich regulatorów, oraz gaźników. Podczas pracy silnika samochodu PF 125P na zakresie biegu jałowego można dokonać uściślającej korekty wybranego wstępnie (statycznie) kąta wyprzedzenia zapłonu. Z dotychczasowej praktyki eksploatacyjnej wynika, ze zmiany kąta wyprzedzenia zapłonu mieszczą się na ogół w granicach ± 5° obrotu wału korbowego. Stąd też czynności regulacyjne można wykonać posługując się śrubą regulacyjną tzw. oktanoselektora (występował w rozdzielaczach zapłonu do lat 80-tych), bądź obracając całym aparatem zapłonowym - po uprzednim poluzowaniu nakrętki blokującej położenie aparatu w kadłubie silnika.

Podczas pracy silnika na biegu jałowym zmiany położenia rozdzielacza zapłonu wywołują zmiany prędkości obrotowej biegu jałowego. Zmniejszanie kąta wyprzedzenia zapłonu (opóźnianie) powoduje zmniejszanie prędkości obrotowej a zwiększanie tego kąta (przyspieszanie) jej wzrost, aż do pewnej granicy przy której zaczyna występować niestabilna praca (tzw. wypadanie suwów pracy). Na Rys 2.2. przedstawiono wykreślnie zależność prędkości obrotowej silnika na biegu jałowym od kąta wyprzedzenia zapłonu.



Rys 2.2 Zależność prędkości obrotowej biegu jałowego od kąta wyprzedzenia zapłonu silnika samochodu PF 125P

N - zakres niestabilnej pracy silnika,

S - zakres pracy stabilnej,

E - zakres pracy ekonomicznej.

Charakterystyczne jest pojawienie się niestabilnej pracy silnika (wypadanie suwów pracy) przy nadmiernym zwiększaniu kąta wyprzedzenia zapłonu, oraz znaczne zmniejszanie prędkości obrotowej przy zmniejszaniu tego kąta. Optymalny kąt wyprzedzenia zapłonu dla danego silnika leży w obszarze przegięcia krzywej przedstawionej na Rys 2.2, przy czym jest to początek zakresu ekonomicznej pracy silnika, jak też dobrych przyspieszeń samochodu bez występowania spalania stukowego silnika.

Jeśli podczas regulacji silnika pracującego na biegu jałowym w każdym zakresie regulacyjnym występuje niestabilność pracy (wypadanie suwów pracy), to przyczyną jej występowania jest najczęściej

- *zły stan świec zapłonowych*
- *zły stan przewodów WN*
- *uszkodzenie kondensatora.*

Po przeprowadzeniu opisanej regulacji, wyboru nastawy kata wyprzedzenia zapłonu i skorygowaniu nastaw wkrętu regulacji stopnia uchylenia przepustnicy, oraz wkrętu regulacji

składu mieszanki, należy sprawdzić poprawność tych nastaw w warunkach normalnego obciążenia (jazdy) samochodu.

Wskaźnikiem poprawności nastawy kąta wyprzedzenia zapłonu jest występowanie słabo rozwiniętego spalania stukowego przy gwałtownym całkowitym otwarciu przepustnicy podczas jazdy na biegu bezpośrednim z prędkością 70...75 km/h. W miarę wzrostu prędkości jazdy spalanie stukowe powinno zanikać. Ostatecznym sprawdzianem poprawności nastaw i działania regulatorów automatycznych jest pomiar czasu rozpędzania samochodu od v = 0 km/h do v = 80 km/h, przy użyciu przełożeń I, II, III biegu skrzyni przekładniowej wykorzystując silnik na I i II biegu do jego maksymalnej prędkości obrotowej (do czerwonych znaków na tarczy prędkościomierza).

Miarodajny wynik można uzyskać przeprowadzając pomiar czterokrotnie (dwukrotnie w jednym kierunku jazdy i dwukrotnie w przeciwnym kierunku), na drodze poziomej, przy możliwie bezwietrznej pogodzie oraz nagrzanym silniku i zespołach przenoszenia napędu.

Średni czas osiągnięcia prędkości 80 km/h dla samochodów PF 125P (i podobnych tej klasy) powinien być nie dłuższy niż 14...16 s. Dla samochodu PF 126P czas ten nie powinien przekraczać 21...23 s. Opisany sposób oceny jest obarczony pewnymi błędami wynikającymi z czasu trwania przełączania biegów i ruszania samochodu z miejsca zależnych od indywidualnych cech i wprawy kierowcy. Dlatego proponuje się również przeprowadzenie podobnego sprawdzianu podczas jazdy na biegu bezpośrednim w zakresie prędkości od v = 50 km/h do v = 80 km/h. Wówczas należy, przy prędkości 50 km/h, wcisnąć pedał przyspiesznika do oporu (całkowicie otwierając przepustnice gaźnika) i zmierzyć czas niezbędny do osiągnięcia prędkości 80 km/h. Czasy te, przy poprawnej regulacji silnika i stanie technicznym samochodu jako całości, powinny być nie dłuższe niż przytoczone uprzednio.

Podczas tak dokonywanej kontroli, stanowiącej próbę tzw. elastyczności silnika, występują znaczne obciążenia w układzie korbowym silnika i układach przenoszenia napędu na koła jezdne i dlatego nie zaleca się stosowania podobnej techniki jazdy jako permanentnej lecz jedynie jako sprawdzian właściwej regulacji silnika.

Istotną zaletą proponowanego ustalenia zwiększonej prędkości obrotowej biegu jałowego stanowi łatwość ruszania samochodu z miejsca, łatwość i płynność jazdy podczas przełączania biegów oraz zmniejszenie zawartości tlenku węgla i nie spalonych węglowodorów w spalinach. Spowodowane jest to lepszym przygotowaniem mieszanki (większym rozdrobnieniem kropel paliwa i zwiększeniem stopnia odparowania), co umożliwia pracę silnika w tym zakresie na bardziej ubogiej mieszance.

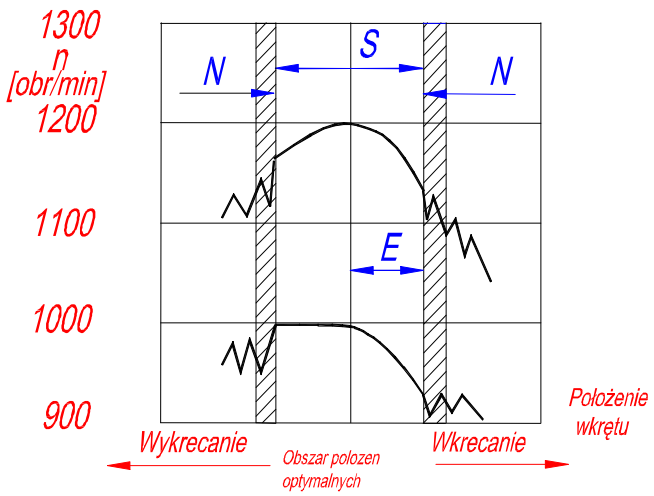
Prawidłowość regulacji kąta wyprzedzenia zapłonu i układu zasilania biegu jałowego gaźnika można sprawdzić w warunkach niewielkiego obciążenia silnika. Takim sprawdzianem jest możliwość ruszenia pojazdu (na poziomej drodze o utwardzonej powierzchni) na I biegu, bez dotykania pedału przyspiesznika, przy łagodnie włączanym sprzęgle oraz stabilna praca silnika podczas jazdy na II biegu na zakresie pracy gaźnika odpowiadającym biegowi jałowemu.(1200 [obr/min])

Samochody PF 125P i Polonez z silnikami o pojemności 1500 cm^3 powinny móc kontynuować jazdę również na III biegu wyłącznie w oparciu o działanie układu biegu jałowego gaźnika. Pojawienie się wyraźnie odczuwalnej pulsacji momentu obrotowego, objawiających się jako szarpania i stuki w układzie przenoszenia napędu od silnika do kół jezdnych samochodu (nie zmniejszające się ze wzrostem prędkości jazdy samochodu na III biegu ciągle na zakresie pracy gaźnika odpowiadającej biegowi jałowemu) spowodowane jest zwykle zbyt dużym statycznym kątem wyprzedzenia zapłonu lub nadmiernie wkręconym wkrętem regulacji składu mieszanki.

W samochodach PF 126P i PF 125P z silnikami o pojemności 1300 cm^3 podczas jazdy na III biegu i zakresie pracy gaźnika odpowiadającym biegowi jałowemu opisane szarpania mogą występować przy poprawnie przeprowadzonej regulacji.

Regulację gaźnika rozpoczyna się od ustalenia takiego stopnia otwarcia przepustnicy (za pomocą wkrętu ograniczającego jej domknięcie), aby prędkość obrotowa silnika wynosiła ok. 1200 [obr/min] 125P (w silnikach samochodu PF 126p. ok. [1000] obr/min) te wartości prędkości obrotowych ustawiamy do prób dla indywidualnych użytkowników możemy je obniżyć do obrotów najniższych ale dających równomierną pracę silnika. Ustawienie minimalnych obrotów powoduje pewne problemy np. przy nieumiejętnym ruszaniu, jak i w czasie zimy.

Dalszą czynnością jest wybór stopnia wykręcenia wkrętu regulacji składu mieszanki, zapewniającego stabilną i ekonomiczną pracę silnika w analizowanym zakresie prędkości obrotowej. Wykresy na Rys 2.3 przedstawiają zależność prędkości obrotowej biegu jałowego od położenia wkrętu regulacyjnego, z zaznaczeniem położenia optymalnego. Powszechniej występuje w silnikach samochodów osobowych przebieg według górnej linii. Jeśli prędkość obrotowa biegu jałowego jest zbyt duża, po regulacji położenia wkrętu składu mieszanki, należy ją zredukować przez zmniejszenie otwarcia przepustnicy i znowu ustalić „optymalne" położenie wkrętu regulacji składu mieszanki. Czynności te należy powtarzać, aż do uzyskania wymaganej prędkości obrotowej biegu jałowego silnika przy „"optymalnym" położeniu wkrętu regulacji składu mieszanki.



wyżej dla silnika samochodu PF 125 p.,

niżej dla silnika samochodu PF 126 p.,

Rys 2.3 Zależność prędkości obrotowej biegu jałowego od położenia wkrętu regulacji składu mieszanki

N zakres niestabilnej pracy silnika,

S zakres pracy stabilnej,

E zakres pracy ekonomicznej.

Należy pamiętać, że wkręcenie wkrętu składu mieszanki powoduje jej zubożenie, a wykręcenie wzbogacenie.

Uwzględniając aktualne uwarunkowania ruchu pojazdów szczególnie jazda miejska można stwierdzić, że zdecydowanie najwięcej czasu silnik pracuje pod niewielkim obciążeniem, a więc przy małych stopniach otwarcia przepustnicy co powoduje, że na zużycie paliwa wyraźnie wpływa jakość regulacji składu mieszanki biegu jałowego.

W celu zapewnienia możliwie małego zużycia paliwa istnieje konieczność przeprowadzenia regulacji składu mieszanki biegu jałowego silnika przynajmniej dwa razy w roku: raz gdy samochód przygotowywany jest do eksploatacji letniej, a drugi gdy jest przygotowywany do eksploatacji zimowej. Okres eksploatacji zimowej wymaga regulacji z wykorzystaniem mieszanek tzw. bogatszych. Jako graniczną wartość temperatury otoczenia, która narzuca konieczność zmiany regulacji, można przyjąć ok. 278 K (+5 °C).

Samodzielne przeprowadzenie regulacji i kontroli jej prawidłowości przez użytkownika, zgodnie z przedstawionymi propozycjami, umożliwia zindywidualizowanie silnika i jego osiągów, poprawia dynamikę ruchu samochodu, a więc i bezpieczeństwo jazdy np. podczas

manewru wyprzedzania, zmniejsza zużycie paliwa oraz ogranicza zawartość składników toksycznych w spalinach wydalanych z silnika do otaczającej atmosfery.

3. Badania i pomiary

3.1 Opis metod pomiarowych

3.1.1 Oględziny silnika

Celem oględzin jest zewnętrzne sprawdzenie podzespołów silnika oraz niezbędnych do jego pracy elementów (np. układu zasilania, układu zapłonowego, układu rozruchowego), wykrycie ewentualnych zewnętrznych uszkodzeń, stwierdzenie niezbędnej ilości cieczy chłodzącej i oleju smarującego silnik i ewentualnych nieszczelności w układach chłodzenia, smarowania i zasilania. Badania należy rozpocząć od dokładnych oględzin kadłuba silnika, w celu stwierdzenia czy nie ma śladów rdzy, oleju i wody wokół uszczelki głowicy. Trzeba również zwrócić uwagę na wszelkiego rodzaju ślady wycieków z układu chłodzenia czy układu smarowania oraz na ewentualne uszkodzenia, albo tez zdekompletowanie (np. brak elementów mocujących, zabezpieczeń, itp.). Pożądane są również oględziny silnika od dołu, w celu wykrycia możliwych uszkodzeń lub nieszczelności (np. wycieki oleju z przodu lub z tylu silnika wskazują na uszkodzenie uszczelnienia wału korbowego). Można tego dokonać w prosty sposób podkładając suchy karton pod silnik.

3.1.2 Osłuchanie silnika

Celem osłuchania jest ustalenie stanu technicznego silnika na podstawie analizy hałasów towarzyszących jego pracy.

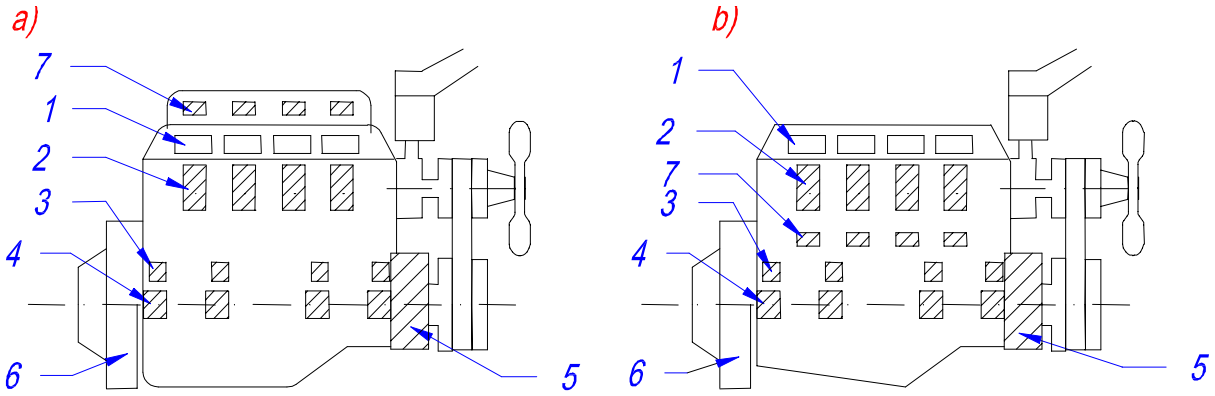
Duża ilość źródeł i czynników mających wpływ na ogólny poziom hałasu powoduje, że trudno jest na ogół wyciągnąć jednoznaczne wnioski. Jednak przy pewnym doświadczeniu, w zdeterminowanych warunkach pracy silnika można w ogólnym hałasie rozróżnić pewne charakterystyczne dźwięki powstałe na skutek uszkodzeń elementów silnika. W tablicy nr 1 zamieszczono podstawowe charakterystyczne symptomy dźwiękowe, towarzyszące pracy silnika, na podstawie których można wnioskować o stanie technicznym jego mechanizmów i par kinematycznych.

Osłuchanie silnika powinno być poprzedzone sprawdzeniem poprawności mocowania poszczególnych elementów i osprzętu silnika, w celu wyeliminowania źródeł dodatkowych hałasów. Następnie należy osłuchać zimny silnik, pracujący na wolnych obrotach biegu jałowego. Jeżeli wynik sprawdzenia jest pozytywny, tzn. nie stwierdzono żadnych niewłaściwych dźwięków, wykonuje się raz jeszcze osłuchanie silnika nagrzanego do normalnej temperatury pracy (60 ÷ 80 °C płynu chłodzącego).

W przypadku wystąpienia kilku rożnych uszkodzeń o zbliżonych efektach dźwiękowych, postawienie właściwej diagnozy jest niezwykle trudne, a najczęściej niemożliwe. Trafność diagnozy jest uzależniona od indywidualnych cech i umiejętności diagnosty.

Zmniejszenie subiektywności oceny i lepsze efekty osłuchania uzyskuje się stosując stetoskopy. Zasada działania stetoskopu polega na wykorzystaniu zjawiska przewodzenia fal akustycznych przez pręt metalowy lub za pośrednictwem słupa powietrza. Udoskonaloną wersję stetoskopu stanowi stetoskop elektroniczny, który wyposażony jest w piezoelektryczny przetwornik drgań oraz tranzystorowy wzmacniacz niskiej częstotliwości. Stetoskop elektroniczny jest czulszy od stetoskopu zwykłego. Doświadczony diagnosta może za jego pomocą wykryć luzy mniejsze od granicznych.

Warunkiem wykrycia niesprawności podczas osłuchania silnika jest prawidłowe określenie stref, w których są najlepiej słyszalne charakterystyczne dźwięki pochodzące od poszczególnych par kinematycznych, będących w ruchu. Strefy osłuchiwania przedstawiono na Rys 3.1.



Rys 3.1. Obszary osłuchania silników
a - górnozaworowego, b - dolnozaworowego

1.zawory,
2.tłok-sworzeń-pierścienie,
3.wał rozrządu,
4.łożyska główne i korbowodowe,
5.napęd rozrządu,
6.łożysko osiowe,
7.dźwigienki zaworowe

Tablica nr 1.

Diagnostyczne dźwiękowe symptomy oceny stanu technicznego silników spalinowych

Przyczyna występowania hałasu	Zasadniczy symptom diagnostyczny	Pomocniczy symptom diagnostyczny
Nadmierny luz tuleja cylindrowa tłok	Dźwięk średniej wysokości, cichy, suchy trzaskający, przerywany. Występuje zasadniczo regularnie, z częstotliwością jednego stuku na jeden obrót wału	Wzrost natężenia dźwięku przy gwałtownym zwiększaniu prędkości obrotowej, obniżaniu się temperatury i dużym obciążeniu silnika. Wyraźny spadek natężenia dźwięku korbowego przy wyłączeniu zapłonu w najbliższym cylindrze oraz przy "próbie olejowej"
Nadmierny luz pierścieni w rowkach tłoka	Przerywany szum, najlepiej słyszalny przy średniej prędkości obrotowej silnika w okolicach górnej i dolnej krawędzi cylindrów	
Pęknięte pierścienie tłokowe	Lekkie, stłumione trzaski, występujące najwyraźniej przy zwiększaniu prędkości obrotowej silnika	
Nadmierny luz skojarzenia tłok sworzeń tłokowy główka korbowodu	Głośny, przerywany metaliczny stuk, najlepiej słyszalny przy średniej prędkości obrotowej silnika. Występuje regularnie z częstotliwością jeden stuk na jeden obrót wału	Wzrost natężenia dźwięku przy gwałtownym podwyższaniu prędkości obrotowej silnika i przyspieszaniu zapłonu. Wyraźny spadek natężenia dźwięku po wyłączeniu zapłonu w najbliższym cylindrze
Nadmierny luz w łożyskach korbowodowych wału korbowego	Dźwięk średniego natężenia, metaliczny dźwięczny, o średniej wysokości	Wzrost natężenia dźwięku przy gwałtownym zwiększaniu prędkości obrotowej wału korbowego i przy

	przerywany o charakterze stuku. Występuje regularnie z częstotliwością jednego stuku na jeden obrót wału korbowego.	dużym obciążeniu silnika oraz przy jeździe z wyłączonym sprzęgłem. Wyraźny spadek natężenia dźwięku po wyłączeniu zapłonu w najbliższym cylindrze.
Nadmierny luz w łożyskach głównych wału korbowego	Stuki przerywane, o dużym nasileniu, o niskim głuchym tonie	Wzrost natężenia dźwięku przy gwałtownym podwyższaniu prędkości obrotowej wału korbowego oraz przy dużym obciążeniu silnika. Wyraźny spadek natężenia dźwięku po wyłączeniu zapłonu w sąsiednim cylindrze
Nadmierny luz w łożysku oporowym wału korbowego	Dźwięk głośny, niski, zbliżony do metalicznego, nieregularny	Wzrost natężenia przy gwałtownym podwyższaniu prędkości obrotowej silnika, oraz przy wyłączaniu i ponownym włączeniu sprzęgła
Nadmierny luz w łożyskach tocznych wału korbowego. Uszkodzenie bieżni łożyska tocznego. Znacznie zużyte łożysko toczne	Nadmierny szum. Nieregularne uderzenia na tle szumu Grzechot	Wzrost natężenia szumu ze wzrostem prędkości obrotowej silnika.
Nadmierny luz między trzonkami i prowadnicami zaworów	Dźwięczne, metaliczne stuki	
Nadmierny luz zaworowy	Cichy, regularny stuk metaliczny o częstotliwości jeden stuk na dwa obroty wału korbowego	Spadek natężenia dźwięku przy podwyższaniu temperatury i pracy silnika na wysokiej prędkości obrotowej. Przy wyłączeniu zapłonu badanego cylindra natężenie dźwięku nie ulega zmianie
Nadmierny luz promieniowy w łożyskach walka rozrządu. Nadmierny luz osiowy walka rozrządu	Stuki o niskim tonie, stosunkowo ciche, wysłuchiwane w okolicy łożyskowania walka. Dźwięk średniej wysokości metaliczny dźwięczny o średnim natężeniu charakter przerywany-nieregularny	
Nadmierne luzy między zębne między kołami zębatymi napędu rozrządu. Uszkodzony ząb	Dźwięk ciągły przypominający wycie Dźwięk przerywany	
Spalanie detonacyjne	Dźwięk głośny, metaliczny, dźwięczny, przerywany, występujący nieregularnie. Występowanie stuku przy dużym obciążeniu silnika	Spadek natężenia dźwięku w przypadku: wyłączenia zapłonu w najbliższym cylindrze opóźnienia zapłonu obniżenia temperatury silnika pracy silnika na wysokiej prędkości obrotowej
Samozapłon	Jak w przypadku spalania detonacyjnego	Zanikanie stuków po obniżeniu temperatury silnika i pojawienie się ich po jej podwyższeniu. Wzrost natężenia dźwięku podczas pracy silnika na wysokiej prędkości obrotowej oraz praca silnika po

		wyłączeniu zapłonu.

Reasumując, podczas osłuchania silnika można w zasadzie wykryć zmianę hałasu okresowego, jeżeli jego poziom przewyższa ogólny poziom dźwięku. Wtedy pary kinematyczne silnika znajdują się na ogół w stanach zbliżonych do awaryjnych, niedopuszczalnych w eksploatacji. jeżeli poziom hałasu spowodowany konkretną niesprawnością oraz ogólny poziom dźwięku są jednakowego rzędu, to ocena stanu silnika za pomocą osłuchania jest bardzo trudna. Z tych względów wprowadzane są inne metody diagnostyki wibroakustycznej, w których wykorzystywane są skomplikowane przyrządy, ale wyniki analizy sygnału są bardziej jednoznaczne.

3.1.3 Pomiar podciśnienia w kolektorze ssącym

Na wartość podciśnienia w przewodzie dolotowym wpływają następujące czynniki:

- *konstrukcja silnika*
- warunki i sposób przeprowadzania pomiaru
- prędkość obrotowa wału korbowego
- stopień otwarcia przepustnicy mieszanki
- stan techniczny silnika.

Podciśnienie w przewodzie dolotowym, zmierzone w zdeterminowanych warunkach tzn. przy określonej prędkości obrotowej i ustalonym otwarciu przepustnicy mieszanki może być wykorzystane jako parametr podczas diagnostycznej oceny stanu technicznego silnika oraz lokalizacji niesprawności jego zespołów.

Podciśnieniomierz powinien być dołączony do przewodu dolotowego możliwie blisko przepustnicy mieszanki od strony cylindrów. W celu ujednolicenia warunków badań, przed pomiarem podciśnienia silnik powinien być nagrzany do temperatury eksploatacyjnej. Ponadto należy uwzględnić poprawki w odniesieniu do aktualnego ciśnienia atmosferycznego oraz położenia geograficznego. Różnice wskazań podciśnieniomierza związane ze zmianą ciśnienia atmosferycznego podano w tablicy 2. Zmiana położenia miejsca pomiaru o każde 330 m w stosunku do położenia poziomu morza powoduje zmniejszenie wskazań podciśnienia o 33 [hPa].

Tablica 2.

Ciśnienie atmosferyczne [hPa]	1010	982.	958	930	904	876
Różnica wskazań podciśnieniomierza [%]	0	2,5	5	8.	10,5	13

Kontrola stanu sprawności silnika obejmuje wykonanie następujących sprawdzeń:

- *pomiar wartości podciśnienia podczas napędzania silnika za pomocą rozrusznika (należy przeprowadzić pomiar przy dobrze naładowanym akumulatorze, tak aby prędkość obrotowa rozruchu wynosiła 50 ÷100 obr/min)*
- *pomiar wartości podciśnienia podczas pracy silnika na obrotach biegu jałowego*
- *pomiar wartości podciśnienia podczas przechodzenia do średniej prędkości obrotowej*
- *pomiar wartości podciśnienia podczas przechodzenia na najwyższą prędkość obrotowa.*

Jeżeli silnik jest w dobrym stanie, wskazanie powinno wynieść 600 ÷730 [hPa] ± 30 [hPa]. Wskazania te odnoszą się do całego zakresu prędkości obrotowej lecz dopiero po ustaleniu

się prędkości obrotowej, ponieważ w czasie zmian prędkości obrotowej następują znaczne wahania wskaźników.

Tablica nr 3.

Wynik pomiaru	Wskazania zakłóceń
Silnik pracuje równomiernie, wskazania miernika podciśnienia są stale i zawierają się w dopuszczalnych granicach.	Silnik, układ zapłonowy i układ przygotowania mieszanki pracują normalnie.
Podciśnienie jest niższe niż normalne, ale stale.	Za mały kąt wyprzedzenia zapłonu, przestawiony rozrząd, zbyt późne otwieranie się zaworów, niski stopień sprężania nieszczelne pierścienie
Podciśnienie niskie, wahające się	Wadliwa regulacja gaźnika, niejednakowy stopień sprężania, uszkodzona uszczelka głowicy, zła odległość elektrod świec, nieregularny zapłon
	Zły stan świec, zły stan gaźnika (luzy, nieszczelności, zanieczyszczenia, złe dysze)
Podciśnienie opada nieregularnie od prawidłowego wskazania (po wstrzyknięciu oleju silnikowego do rury ssącej oscylacje ustają)	Zawieszanie się zaworów
Równomiernie niskie wahania od prawidłowego wskazania	Podpalenie grzybków zaworów niewłaściwe luzy zaworowe
Oscylacje na biegu jałowym zanikające, ze wzrostem prędkości obrotowej występują oscylacje	Osłabienie lub pęknięcie sprężyn zaworowych
Oscylacje na biegu jałowym zanikające ze wzrostem prędkości obrotowej	zużycie prowadnic zaworów
Podczas obracania wału korbowego silnika rozrusznikiem przy zamkniętej przepustnicy i wyłączonym zapłonie niskie wskazania	nieszczelności w przewodzie ssącym (uszkodzona uszczelka) wadliwe zamykanie się przepustnicy, za mała liczba obrotów rozrusznika
Przy szybkiej zmianie prędkości obrotowej silnika od biegu jałowego do dużej wartości obrotów wskazówka opada wolno	Zbyt duże dławienie układu wydechowego

3.1.4 Pomiar ciśnienia sprężania

Celem pomiaru ciśnienia sprężania jest ocena zużycia gładzi cylindrów, tłoków, pierścieni oraz przylgi zaworów i ich gniazd zaworowych (komora spalania jako całość).

Właściwa wartość ciśnienia sprężania świadczy o szczelności wnętrza cylindra, a wiec o zadawalającym stanie wymienionych wyżej elementów zamykających tą przestrzeń.

- ► *Do pomiaru ciśnienia sprężania stosowane są dwa rodzaje manometrów:*
  - ♦ *do pomiarów ciśnienia w silnikach niskoprężnych zakres pomiaru 1 ÷1,2 MPa*
  - ♦ *do pomiarów ciśnienia w silnikach wysokoprężnych zakres 6 ÷10 MPa.*

Manometry te powinny być wykonane w klasie dokładności 2,5 bądź lepszej.

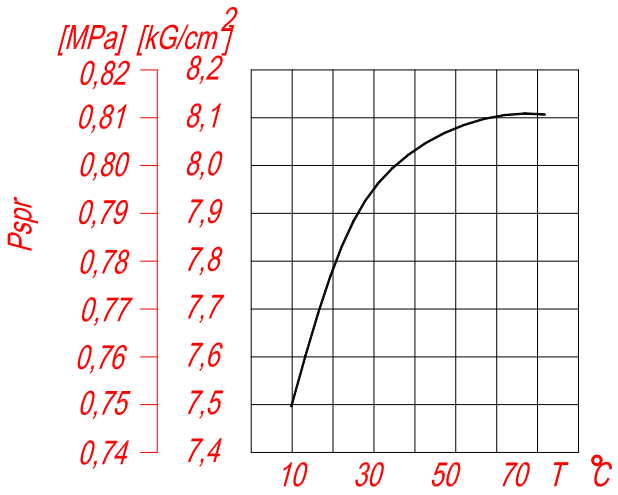
Manometry do silników niskoprężnych najczęściej mają końcówki uniwersalne np. gumowy stożek. W celu ułatwienia odczytu wskazań, manometry zaopatrzone są w zawór zapewniający zatrzymanie wskazówki (po osiągnięciu maksymalnego ciśnienia w danym pomiarze) lub też w dwie wskazówki (jedna do pomiaru wartości chwilowej, a druga do maksymalnej). są również manometry kreślące, które na wymiennej kartce rysują krzywe ciśnienia, osobno dla każdego cylindra.

Podczas pomiarów ciśnienia sprężania muszą być spełnione następujące warunki:

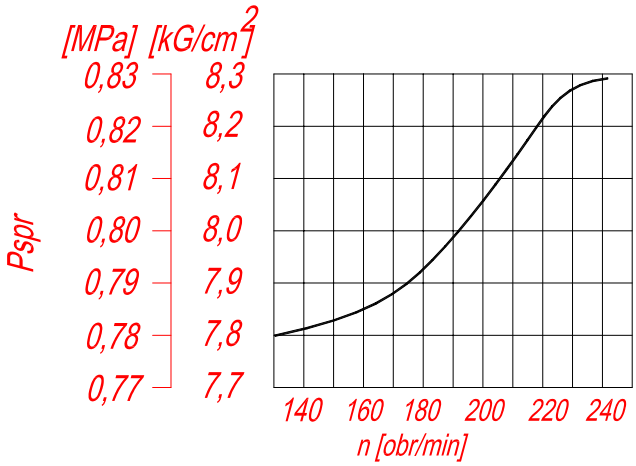
- ► *silnik nagrzany do temperatury eksploatacyjnej*

- *wyregulowane luzy zaworowe*
- *całkowicie otwarta przepustnica mieszanki*
- *wykręcone wszystkie świece zapłonowe (lub wtryskiwacze)*
- *stała prędkość obrotowa wału korbowego rzędu 150 obr/min.*

Podczas pomiarów, wał korbowy jest napędzany za pomocą rozrusznika. Wobec tego, zarówno rozrusznik jak i akumulator powinny być w pełni sprawne, ponieważ przy zbyt małej prędkości obrotowej wału korbowego wzrasta wpływ nieszczelności i tym samym wskazywane przez manometr ciśnienie sprężania jest niższe od rzeczywistego. Podobnym błędem są obarczone pomiary wykonane na silniku nie nagrzanym do temperatury eksploatacyjnej. Wpływ temperatury silnika i prędkości obrotowej wału korbowego na pomiar prezentują wykresy przedstawione na Rys 3.2 i Rys 3.3.



Rys 3.2. Wykres zmiany wartości ciśnienia sprężania w zależności od temperatury badanego silnika.



Rys 3.3. Wykres zmian ciśnienia sprężania w zależności od liczby obrotów wału korbowego.

Nie znając danych fabrycznych, nominalną wartość ciśnienia sprężania można oszacować następująco:

$$P_{spr} \approx k \times \varepsilon$$

gdzie:

P_{spr} - ciśnienie sprężania w (MPa)

ε - stopień sprężania

k - współczynnik sprężania zależny od rodzaju silnika:

- *silniki czterosuwowe z zapłonem samoczynnym k = 0,21*
- *silniki czterosuwowe z zapłonem iskrowym k = 0,12*
- *silniki dwusuwowe z zapłonem iskrowym k = 0,11*

Wyniki pomiarów uzyskane dla poszczególnych cylindrów silnika należy porównać miedzy sobą oraz z danymi nominalnymi

- *dla silnika będącego w dostatecznie dobrym stanie technicznym spadek ciśnienia sprężania nie może być wyższy niż 20-30% wartości nominalnej.*
- *Wartości ciśnień sprężania w poszczególnych cylindrach nie mogą się różnić o więcej niż o 10% najwyższego odczytu.*

W celu zlokalizowania elementów, które powodują zbyt duży spadek ciśnienia sprężania, należy wykonać tzw. próbę olejową. Polega ona na tym, że do badanego cylindra wlewa się 5 ÷15 cm^3 oleju silnikowego i po wykonaniu kilku obrotów wałem korbowym (w celu rozprowadzenia wlanego oleju po gładzi cylindra) mierzone jest powtórnie ciśnienie sprężania.

Wzrost ciśnienia sprężania podczas próby olejowej w stosunku do wartości zmierzonej przed uszczelnieniem o 0,02 ÷ 0,07 (MPa) świadczy o zużyciu przylgi i gniazd zaworów, o 0,07 ÷ 0,12 (MPa) wskazuje na nieszczelność pierścieni tłokowych, o 0,12 ÷ 0,2 (MPa) wskazuje na zużycie gładzi, pierścieni i tłoków.

Jeśli zbyt niskie ciśnienie stwierdza się w dwóch sąsiednich cylindrach, po próbie uszczelnienia olejem ciśnienie wzrasta nieco, lecz nadal osiąga w obu cylindrach podobną wartość, można wnioskować o uszkodzeniu uszczelki głowicy miedzy tymi cylindrami.

Tablica Nr 4.

Stopień sprężania i ciśnienie sprężania w silnikach niektórych samochodów.

Marka i typ samochodu	stopień sprężania	Wymagane ciśnienie sprężania	
		MPa	kG/cm^2
AWE Trabant 601	7,6	0,8	8,0
AWE Wartburg 353 W	7,5	0,85	8,5
DACIA 1300	8,5	1,05	10,5
FIAT 127	9,0	1,1	11,0
POLONEZ (1300 cm^3)	9,0	> 1,15	> 11,5
POLONEZ (1500 cm^3)	9,0	> 1,15	> 11,5
FIAT 126P	7,5	0,9	9,0
FIAT 125P	9,0	1,05.....1,1	10,5.....11,0

Różnica między wartościami nominalnymi a wynikami pomiarów ciśnienia sprężania przekraczająca 35% wartości nominalnej, kwalifikuje silnik do naprawy głównej.

3.1.5 Powietrzna próba szczelności cylindrów

Celem tej próby przeprowadzonej po pomiarze ciśnienia sprężania jest odnalezienie spośród elementów zamykających przestrzeń cylindrową badanego cylindra, elementów nadmiernie zużytych.(w sposób bardziej jednoznaczny niż np. próba olejowa)

- *Przygotowanie silnika do pomiarów:*
  - *nagrzać silnik do eksploatacyjnej temperatury (60 ÷ 80° C) (330 ÷ 350 K)*
  - *wykręcić wszystkie świece zapłonowe*
  - *zdjąć kopułkę rozdzielacza*
  - *zdjąć palec rozdzielacza (z wyjątkiem PF 125P, Polonez, Łada)*
  - *na korpus rozdzielacza zapłonu założyć tarcze kątową przeznaczona dla danego typu pojazdu (w samochodach PF 125P, Polonez, Łada, najpierw założyć na korpus aparatu zapłonowego podstawę tarczy i na nią tarczę kątową. Podstawę należy*

zamocować tak, aby dłuższe nóżki trafiły w obsadę zatrzasków zamykających kopułkę, a krótsze oparły się o krawędź korpusu aparatu)

- *na wałek rozdzielacza założyć odpowiedni wskaźnik (w PF 125P wskazówkę zakładać na palec ostrzem w kierunku elektrody)*
- *pokręcając wałem korbowym ustawić tłok 1-go cylindra w górnym zwrotnym położeniu w suwie sprężania*
- *obracając tarcza kątową doprowadzić do pokrycia się ostrza wskaźnika na jedną z czterech długich kresek*
- *w otwór 1-go cylindra zamiast świecy zapłonowej wkręcić końcówkę przelotowa (do uszczelnienia końcówki wykorzystać uszczelkę zdjętą ze świecy zapłonowej).*

➢ *Badanie silnika.*

Po podłączeniu przyrządu do instalacji ciśnieniowej i wykonaniu wyżej opisanych czynności, obracając pokrętłem zaworu iglicowego ustawić na lewym manometrze ciśnienie 0,35 MPa i ciągle je kontrolując, odczytać wskazanie szczelności na prawym manometrze.

Szczelność pomierzyć dla kilku położeń tłoka ustalonych w oparciu o podziałkę tarczy kątowej.

UWAGA! Przy wykonywaniu pomiarów w położeniu pomiarowym przed GZP w suwie sprężania należy utrzymywać wał korbowy w stałym położeniu.

Po dokonaniu pomiarów szczelności należy nie odłączając sprężonego powietrza osłuchać silnik posługując się stetoskopem. Powyższe czynności przeprowadzić dla wszystkich cylindrów. Wyniki pomiarów zanotować w tablicy 5.

Tablica 5.

Nr cylindra do którego dopuszczono spr.pow.	Szczelność %		P=P2 -P1	Przedmuchy przez otwór świec				Przedmuch do miski olejowej	Przedmuch do układu chłodzenia	do gaźnika	do wydechowego
	P1 przed GZP	P2 w GZP		Nr cyl. osłuch		Ocena przedmuchu					
				ssący	wydechowy						

► *Dla oceny intensywności przedmuchów przyjąć skale:*

- ***bp** - brak przedmuchów*
- ***w** - wyraźny*
- ***s** - silny*
- ***bs** - bardzo silny*

Tablica 6. Ocena stanu technicznego silnika

Szczelność %	Stan techniczny
97 ÷100	Bardzo dobry
85 ÷ 97	Dobry
poniżej 85	Wymaga ustalenia przyczyny nieszczelności i zakresu niezbędnej naprawy

3.1.5.1 Ocena szczelności zaworów.

Szczelność zaworu ssącego i wydechowego określa się osłuchując przedmuchy przez otwory świecowe zgodnie z niżej podanymi w tablicy. (Po ustawieniu badanego cylindra w GZP w suwie pracy). Metoda daje jednoznaczną ocenę konkretnego zaworu

Tablica 7.

Nr cylindra do którego doprowadza się sprężone powietrze	Nr osłuchiwanego cylindra dla oceny nieszczelności przez zawór badanego cylindra	
	ssący	wydechowy
dla kolejności zapłonów 1-2-4-3		
1	4	3
2	3	1
3	2	4
4	1	2
dla kolejności zapłonów 1-3-4-2		
1	4	2
2	3	4
3	2	1
4	1	3

- ***bp*** *Jeśli zawory są szczelne, to przy osłuchaniu niezależnie od typu i rodzaju silnika nie stwierdza się przedmuchów*
- ***w*** *Przedmuch wyraźny świadczy o stosunkowo niewielkiej nieszczelności nie wymaga natychmiastowej naprawy*
- ***s i bs*** *Przy występowaniu takich przedmuchów spowodowanych nieszczelnością zaworów, naprawa jest konieczna, gdyż obniża to własności eksploatacyjne silnika i może spowodować uszkodzenie silnika.*

3.1.5.2 Ocena szczelności cylinder-pierścień-tłok.

Nawet w silnikach nowych występuje zawsze przedmuch do skrzyni korbowej w wyniku luzów montażowych między cylindrem, tłokiem i pierścieniami. Intensywność tych przedmuchów w silnikach różnych typów o zbliżonym stanie technicznym może się różnić między sobą. W silnikach gaźnikowych znajdujących się w dobrym stanie technicznym stwierdzić można przedmuch wyraźny (**w**) do miski olejowej. Przy stwierdzeniu przedmuchów silnych i bardzo silnych należy wykonać naprawę silnika.

Jeżeli pomiary szczelności kolejnych cylindrów wykażą znaczną różnicę szczelności (powyżej 15%) między jednym cylindrem a pozostałymi, świadczy to o uszkodzeniu w tym cylindrze. W większości przypadków, jeżeli różnica szczelności przy położeniu tłoka w GZP i przed GZP jest minimalna (do 5%) oznacza to, że przyczyną nieszczelności jest zużycie lub uszkodzenie pierścieni tłokowych. Jeżeli różnica szczelności jest duża, świadczy to o zużyciu gładzi cylindrowej. O nieszczelności pomiędzy gładzią cylindrową, pierścieniem i tłokiem przekonujemy się osłuchując przedmuchy do skrzyni korbowej. Punktem osłuchania jest otwór wskaźnika oleju lub wlew oleju oraz otwory lasek popychaczy w przypadku zdjętej pokrywy rozrządu.

3.1.5.3 Ocena szczelności głowica-kadłub.

W przypadku uszkodzenia uszczelki pod głowicą będą występowały duże, w przybliżeniu jednakowe spadki ciśnień w cylindrach, pomiędzy którymi nastąpiło przebicie. Stwierdza się wówczas silny przedmuch w otworze świecy zapłonowej. Podobnie silny przedmuch może być spowodowany zużyciem zaworów. Jeśli przedmuch spowodowany jest uszkodzeniem uszczelki, to w zasadzie nie stwierdza się przedmuchów w gaźniku i rurze wydechowej. Występowanie przedmuchów w układzie chłodzenia, świadczące również o uszkodzeniu uszczelki pod głowicą, stwierdza się na podstawie obserwacji czynnika chłodzącego po

zdjęciu korka wlewu chłodnicy. W przypadku nieszczelności następuje wydobywanie się pęcherzyków powietrza z czynnika chłodzącego.

3.1.5.4 Ocena sprawności cylindrów.

Celem badania jest ustalenie udziału poszczególnych cylindrów w pracy silnika.

Badanie polega na wyłączaniu z pracy poszczególnych cylindrów i poprzez obserwacje spadku obrotów w wyniku takiego działania określenie udziału danego cylindra w pracy silnika.

Stan układu mechanicznego silnika można uznać za zadawalający, Jeśli różnice pomiędzy spadkami obrotów przy wyłączaniu poszczególnych cylindrów nie przekracza 5%, a spadki obrotów nie przekraczają:

150 obr/min dla silnika 4-cylindrowego

100 obr/min dla silnika 6-cylindrowego.

3.1.6 Regulacja układu zapłonowego

W zakres badania wchodzi sprawdzenie i ustawienie kąta zwarcia styków przerywacza i statystycznego kąta wyprzedzenia zapłonu. Pomiar można wykonać za pomocą następujących urządzeń:

ZD2A, ZD3, KR8006, SUS9,Escort 328 itp.

Tablica 8.

Prawidłowe kąty zwarcia styków przerywacza powinny wynosić:

Pojazd	Typ rozdzielacza	Kąt zwarcia	Kąt wyprzedzenia
PF 125P normalny i wzmocniony 1300 i 1500	4491	60 °	5 ° ÷ 7 °
dla paliwa LO 78 1300			10 ° ÷ 12 °
1500			7 ° ÷ 9 °
Polonez	4492	60 °	10 °
PF 126P	4452	78 °	10 °

Zmiany kąta zwarcia styków przerywacza reguluje się zmieniając położenie przerywacza względem krzywki.

UWAGA!

Zmiana kąta zwarcia styków przerywacza wpływa na zmianę kąta wyprzedzenia zapłonu.

Zmiany statystycznego kąta wyprzedzenia zapłonu reguluje się najczęściej poprzez obrót rozdzielacza zapłonu.

3.1.7 Ocena pracy silnika za pomocą świecy testowej.

Świecę testową wkręcić w miejsce świecy zapłonowej, uruchomić silnik i obserwować kolory spalania mieszanki w szklanym okienku świecy.

Test 1.

Ustawić skład mieszanki biegu jałowego, aby ukazał się kolor żółty (bogata mieszanka) zanikający, a następnie stopniowo zubożyć mieszankę, aż do otrzymania koloru **niebieskiego** (kolor prawidłowy).

Test 2.

Stopniowo zwiększać obroty przez otwieranie przepustnicy.

Test 3.

Gwałtownie zwiększyć obroty silnika i zamknąć przepustnice przy 3000 obr/min.

Samochody Fiat 125P i 126P mają gaźniki z wydzielonym obwodem biegu jałowego.

Gaźniki ze zmiennym dławieniem występują w większości samochodów angielskich i np. Volvo.

Najlepsze efekty obserwacji świecy testowej można uzyskać w zacienionym miejscu co poprawi możliwość oceny koloru.

- *Kolor żółty wskazuje na zbyt bogata mieszankę,*
- *głęboko niebieski na mieszankę ubogą,*
- *kolor jasno niebieski wskazuje na prawidłowy skład mieszanki.*

Dla dobrze ustawionego gaźnika (bez pompki przyspieszacza) w teście 2-gim kolor żółty nie powinien się pojawić, a w teście 3-cim może błysnąć tylko na chwilę.

Dla gaźnika (z pompką przyspieszacza) w teście 2-gim kolor ciemno-niebieski powinien zmienić się w kolor jasnoniebieski, a w teście 3-cim kolor żółty powinien pojawić się na chwile, następnie przejść w niebieski. Wskazuje to na poprawne działanie pompki przyspieszacza.

Tablica 9.

Tabela nieprawidłowych objawów i wad systemu paliwowego.

Objawy nieprawidłowe		Wady układu paliwowego	Uwagi
T E S T 1			
Przy biegu jałowym żółtego koloru nie można osiągnąć, silnik może wykazywać nierówność niskich obrotów		Przyblokowany przepływ paliwa b.j. bądź przedostawanie się tzw. fałszywego powietrza - powietrze dostaje się inna droga niż powinno (np. złe dokręcenie gaźnika, luz osi przepust.)	Drobna różnica miedzy cylindrem może być spowodowana zła konstrukcja układu dolotowego bądź wydechu
Przy biegu jałowym żółty kolor widoczny niezależnie od regulacji		Zbyt duże opory przepływu powietrza biegu jałowego. Zbyt duży przepływ paliwa b.j. Złe działanie urządzenia rozruchowego.	
Przy biegu jałowym żółty kolor pulsuje		Zbyt wysoki poziom paliwa w komorze pływakowej	Zbyt wczesne włączanie się do pracy dyszy głównej paliwa
Kolor żółty pojawia się po pewnym czasie trwania b.j. przechodząc na 3000 obr/min zmienia się w niebieski		nieszczelność zaworu (iglicowego) dopływu paliwa do gaźnika	
T E S T 2			
Obroty 1000 ÷ 1700	żółty kolor	Zbyt duże opory przepływu powietrza biegu jałowego	
	jasno-niebieski i drżenie silnika	Zablokowany obwód paliwa b.j.	
1150 ÷ 1400	żółty przerywany	Złe rozpylenie mieszanki	zdjąć filtr powietrza, Jeśli nie stąpi, obniżyć poziom paliwa o 1-2 mm
1400 ÷ 2000	blado-niebieski, silnik	Zbyt niski poziom paliwa	

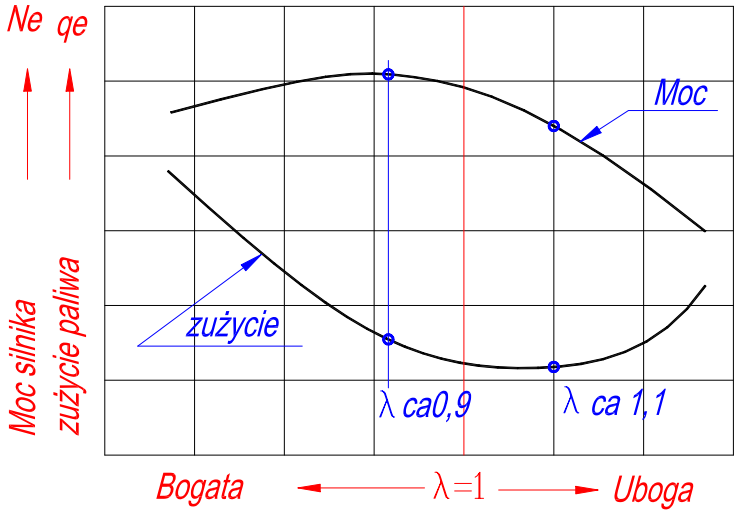
	niestabilny, poprawa przy wzroście obrotów		
1400 powyżej	blado-niebieski przy każdych obrotach i niestabilnych	Zablokowana główna dysza paliwa lub woda w paliwie	Małe ograniczenie lub zbyt mała przepustowość dyszy paliwa, można wykryć tylko przy wysokich obrotach pod obciążeniem silnika, NIE PRZY POMOCY świecy TESTOWEJ !
2400 ÷ 4000	żółty pojawia się tylko przy wysokich obrotach	Zanieczyszczony filtr powietrza	
T E S T 3			
żółty nie pojawia się		Niesprawna pompka przyspieszacza	W gaźnikach bez pompki przyspieszacza, Jeśli zauważy się dławienie silnika, zaleca się jeżdżenie na bogatszej mieszance powyżej biegu jałowego

3.1.8 Ocena pracy silnika za pomocą analizatora spalin.

Testowanie spalin jest sprawdzianem ustawienia gaźnika jego stanu i przebiegu procesu spalania. Uszkodzenie układu zapłonowego, nieprawidłowe ustawienie zapłonu, nieszczelność na tłokach i zaworach pogarszają spalanie, a tym samym i skład chemiczny spalin.

Do całkowitego i zupełnego spalania potrzebny jest określony stosunek mieszanki paliwowo powietrznej, który oznacza się jako idealny lub **stechiometryczny**. Wynosi on przy normalnej benzynie ok. 1 kg benzyny na 14,8 kg powietrza, a wiec 1:14,8 współczynnik nadmiaru powietrza $\lambda = 1$.

Z różnych względów mieszanka paliwowo powietrzna w silnikach spalinowych nie zawsze może być idealna. Aby osiągnąć możliwie dobrą prace silników niskoprężnych, należy je zasilać mieszanka o niewielkim nadmiarze paliwa. Powstaje przy tym, ze względu na niedobór tlenu, oprócz dwutlenku węgla także nienasycony, trujący tlenek węgla. Ze względu na czystość spalin, należy starać się osiągnąć $\lambda = 1$, ale przez to najczęściej zmniejsza się moc silnika. Przy dalszym wzroście (mieszanka bardziej uboga), wzrasta temperatura w komorze spalania oraz powstaje trujący tlenek azotu , dla $\lambda = 1{,}1$ wzrasta również w spalinach zawartość niespalonych węglowodorów, a także cieplne obciążenie silnika.



Przy $\lambda = 0{,}9$ osiąga się największą moc,

przy $\lambda = 1{,}1$ osiąga się najmniejsze zużycie paliwa, ale moc silnika spada o 10%.

Rys 3.4. Moc i zużycie paliwa w znacznym stopniu zależy od składu mieszanki.

Z powyższych rozważań wynika, ze dobór mieszanki paliwowo powietrznej może się opierać na trzech rożnych kryteriach:

1. Maksymalnej mocy (λ= 0,9 zawartość CO w spalinach)
2. Braku zanieczyszczeń szkodliwych dla otoczenia (l = 1 zawartość CO mała, obciążenie cieplne silnika większe)
3. Minimalnego zużycia paliwa (λ = 1,1 zawartość CO bardzo mała, zmniejszenie mocy silnika przy wzroście obciążenia cieplnego), pojawiają się nie spalone węglowodory i tlenki azotu.

W eksploatacji silników spalinowych rozróżnia się następujące określenie dla składu mieszanki paliwowo powietrznej:

- *bogata*
- *wzbogacona*
- *normalna*
- *zubożała*
- *uboga.*

Mieszanka w nadmiarze bogata powoduje: zmniejszenie mocy silnika, powstanie nagaru węglowego w komorze spalania, spłukiwanie filmu olejowego z gładzi cylindra. Silnik staje się mało elastyczny. Praca silnika staje się nierównomierna.

Mieszanka w nadmiarze uboga powoduje spadek mocy silnika i w efekcie wzrost zużycia paliwa, wydłużenie czasu spalania mieszanki. Praca silnika staje się nierównomierna, a przy zwiększonym obciążeniu silnik nadmiernie się grzeje.

W tablicy przedstawiony został wpływ składu mieszanki na moc i zużycie silnika.

Tablica 10.

Mieszanka paliwowo powietrzna	Ilość powietrza na 1 kg paliwa	λ	Nadmiar powietrza lub jego brak (%)	Moc silnika	Oszczędność silnika
bogata	6,5 ÷ 12	0,45 ÷ 0,8	brak 57 ÷ 20	zmniejszona	znacznie pogorszona
wzbogacona	12,5 ÷ 13	0,85 ÷ 0,86	brak 21 ÷ 17	maksymalna	pogorszona o 20 ÷ 25%
normalna	15	1	-	zmniejszona o 4 5%	pogorszona o 5%
zubożona	16 ÷ 16,5	1,06 ÷ 1,1	nadmiar 7 ÷ 10	zmniejszona o 10%	największa
uboga	16,5 ÷ 20	1,1 ÷ 1,3	Nadmiar 10 ÷ 35	znacznie zmniejszona	pogorszona

3.1.8.1 Przeprowadzenie badań:

- *nagrzać silnik do temperatury eksploatacyjnej*
- *zamocować sondę pomiarową w rurze wydechowej, tak aby denko sondy z trzema otworami było skierowane ku dołowi*

- *przewód gumowy podłączyć do analizatora, tak aby od momentu włączenia urządzenia aż do jego wyzerowania było zasysane jedynie czyste powietrze. (uwaga: zdjęcie przewodu powoduje zmianę wskazań)*
- *załączyć urządzenie - powinna zaświecić się żarówka kontrolna*
- *przycisnąć klawisz próba - powinno to spowodować wychylenie wskazówki w prawo do maksymalnego położenia*
- *brak świecenia lampki kontrolnej i wychylenia wskazówki świadczy o błędnym podłączeniu zasilania*
- *brak maksymalnego wychylenia wskazówki w prawo świadczy o uszkodzeniu analizatora*
- *wcisnąć klawisz "Zerowanie Pomiar" i gdy wskazówka ustabilizuje się, pokrętłem zerowanie ustawić wskazówkę na działkę 13*

ze względu na opóźnienie czasowe, po każdorazowej zmianie stanu pracy silnika, odczekać około 30 s na ustalenie się wskazań.

3.1.8.2 Badanie gaźnika przy biegu jałowym silnika.

Przy obrotach jałowych silnika n=700 obr/min wskazania powinny zawierać się w granicach 11,5 ÷ 13.

Badanie gaźnika przy wysokich obrotach silnika.

Przy obrotach n = 2000 obr/min wskazania powinny być w granicach 12,5 ÷ 14,5.

Jeżeli wskazania odpowiadają mieszance bogatszej niż w innych egzemplarzach tego typu samochodów, należy zdjąć filtr powietrza i powtórzyć pomiar, uzyskanie wyniku świadczącego o mieszance uboższej wskazuje na zanieczyszczenie filtru powietrza.

3.1.8.3 Badanie pompy przyspieszającej.

Kilkakrotne szybkie przyciśnięcie pedału przyspieszacza ("gazu") powinno powodować przesuniecie wskazań w kierunku mieszanek bogatych do działki 10. W innym przypadku pompa przyśpieszająca jest uszkodzona.

W przypadku gaźnika z dodatkową dyszą, zwiększyć obroty do 1500 obr/min, wskazówka powinna wskazać mieszankę bogatą w granicach 11 ÷ 12.

Po zakończeniu badania usunąć zgromadzona wodę z przewodu gumowego i sondy np. przedmuchując sprężonym powietrzem.

3.2 Wyniki pomiarów i badań

W sprawozdaniu należy zamieścić:

- *data pomiaru*
- *marka samochodu*
- *nr i typ silnika*
- *wyniki pomiarów przeprowadzonych wg punktów 3.1.1 do 3.1.8.*

Wnioski powinny zawierać ocenę stanu silnika na podstawie przeprowadzonych badań oraz uwagi dotyczące niesprawności występujących w silniku i możliwości ich eliminacji.

4. LITERATURA

1. Hebda M., Nizinski S., Pelc M. Podstawy diagnostyki pojazdów mechanicznych. WKŁ, 1980.
2. Z. Pomykalski Elektrotechnika samochodów. WKŁ, 1978.
3. Gołębiowski St., Stanisławski J. Badania kontrolne samochodów. WKŁ 1982.
4. DTR Zestawu diagnostycznego ZD2A.
5. Instrukcja obsługi AST-75.
6. DTR PSC-2 M.
7. DTR PMW-2.
8. Januła J., Szczeciński J., Szczeciński St. Poprawa ekonomiczności i dynamiki samochodów osobowych. WKŁ 1983.
9. Instrukcja świecy testowej.