

---

# 1. Układy zasilania silników o zapłonie iskrowym

## 1.1. Wiadomości wstępne

Zadaniem układu zasilania silnika o zapłonie iskrowym (ZI) jest wytworzenie mieszanki paliwowo-powietrznej w odpowiedniej ilości i o składzie dostosowanym do chwilowych warunków pracy silnika.

Do zasilania silników ZI stosuje się benzynę – paliwo ciekłe (paliwo gazowe LPG również jest magazynowane w fazie ciekłej), charakteryzujące się dużą wartością opałową. Jej zapas zawarty w zbiorniku zapewnia pojazdowi uzyskanie znacznego zasięgu. Aby stworzyć właściwe warunki, umożliwiające poprawny zapłon i spalanie, paliwo ciekłe należy przeprowadzić w stan gazowy i w odpowiedniej proporcji wymieszać z powietrzem. Odparowanie paliwa zależy od wielkości kropli paliwa podawanych do powietrza płynącego przez układ dolotowy w kierunku cylindrów silnika. Dobre rozpylenie paliwa (na dużą liczbę kropli o małej średnicy) sprzyja szybkiemu odparowaniu dzięki dużemu sumarycznemu polu powierzchni styku paliwa z powietrzem.

Ze względu na sposób podawania paliwa do powietrza, mający decydujący wpływ na jakość rozpylenia paliwa, rozróżnia się dwa rodzaje układów zasilania silników o zapłonie iskrowym:

- gaźnikowy,
- wtryskowy.

W gaźnikowym układzie zasilania paliwo jest zasysane do powietrza pod wpływem spadku ciśnienia (wytworzenia podciśnienia) powietrza przepływającego przez układ dolotowy. W układzie wtryskowym do rozpylenia paliwa, oprócz podciśnienia powietrza, wykorzystuje się nadciśnienie paliwa panujące w obwodzie paliwowym.

W przypadku zasilania silnika ZI paliwem gazowym LPG, oprócz układu zasilania benzyną, stosuje się dodatkową instalację gazową, doprowadzającą LPG do układu dolotowego silnika.

Układy zasilania silnika o zapłonie iskrowym są ciągle doskonalone, aby polepszyć jakość wytwarzanej mieszanki palnej w celu spełnienia stale rosnących wymagań przepisów ograniczających toksyczność spalin. Układy te przedstawiono w dalszej części niniejszego rozdziału. Opisano w nim również

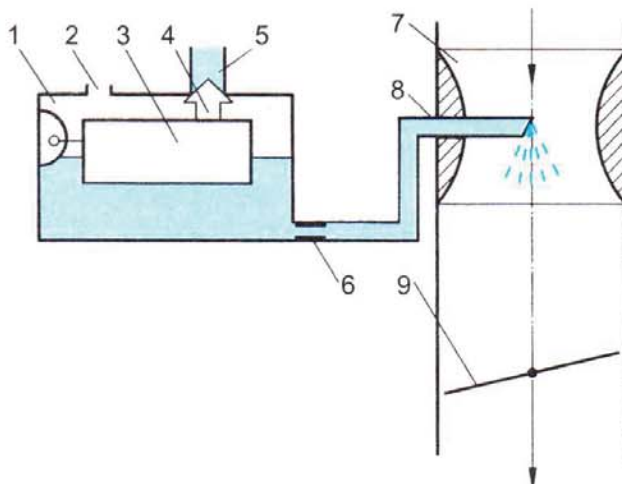
układy, które ze względu na niespełnianie obowiązujących norm emisji spalin nie są już stosowane we współczesnych rozwiązaniach konstrukcyjnych układów zasilania silników ZI. Przedstawiono je w formie krótkiej informacji, aby Czytelnik miał ogólną wiedzę na ten temat.

## 1.2. Gaźnikowy układ zasilania

Głównym urządzeniem gaźnikowego układu zasilania silnika ZI jest gaźnik, który spełnia następujące zadania:

- wytwarza palną mieszankę paliwowo-powietrzną o składzie zapewniającym pożądane własności silnika we wszystkich (ustalonych i nieustalonych) stanach pracy;
- reguluje moc silnika dzięki regulacji ilości mieszanki palnej dopływającej do cylindrów;
- wytwarza możliwie jednorodną mieszankę paliwa i powietrza tzn. taką, w której wartość współczynnika nadmiaru powietrza jest w różnych miejscach jednakowa.

Najprostszym urządzeniem, umożliwiającym wytwarzanie mieszanki paliwowo-powietrznej, jest gaźnik elementarny (rys. 1.1). Paliwo pod ciśnieniem około 20...30 kPa jest dostarczane ze zbiornika za pomocą pompy do komory pływakowej. Pływak, zamykając zawór iglicowy po osiągnięciu określonego poziomu w komorze i otwierając go w celu uzupełnienia paliwa w komorze podczas pracy silnika, utrzymuje prawie stały poziom paliwa w komorze pływakowej gaźnika. Warunkiem prawidłowego działania układu pływakowego jest połączenie komory pływakowej z atmosferą. Z komory pływakowej paliwo przepływa do rozpylacza przez dyszę paliwa. Wylot rozpylacza znajduje się w najwęższej części przelotu gaźnika, tzw. gardzieli, powyżej maksymalnego poziomu paliwa w komorze pływakowej, co zapobiega samoczynnemu wyciekaniu paliwa z rozpylacza, gdy silnik nie pracuje.

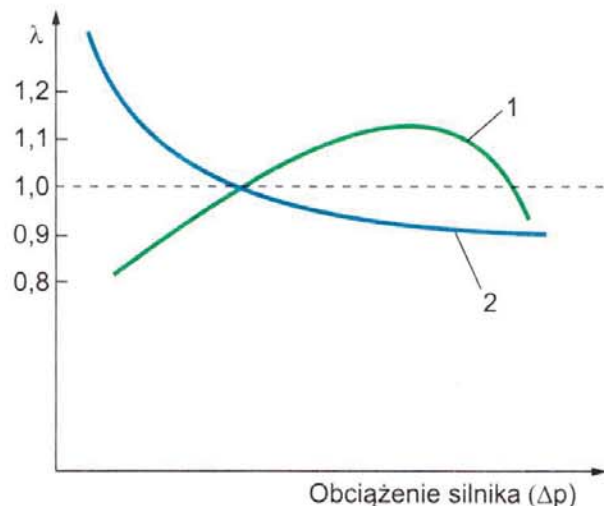


**Rys. 1.1.** Schemat gaźnika elementarnego [29]

1 – komora pływakowa, 2 – odpowietrzenie komory pływakowej, 3 – pływak, 4 – zawór iglicowy, 5 – dopływ paliwa, 6 – dysza paliwa, 7 – gardziel, 8 – rozpylacz, 9 – przepustnica

Do wytworzenia mieszanki paliwa i powietrza w gaźniku wykorzystuje się zjawisko zachodzące podczas przepływu powietrza przez zwężenie kanału dolotowego (gardziel). W przewężeniu kanału zwiększa się prędkość przepływu powietrza, co wywołuje spadek jego ciśnienia. Zwiększenie prędkości przepływu i spadek ciśnienia są uzależnione od wydatku przepływającego powietrza, który jest sterowany przepustnicą umieszczoną między gardzielią i kolektorem dolotowym silnika. Przepustnica, poprzez zmianę pola przekroju przepływu przez kanał dolotowy, zmienia wydatek mieszanki, a zatem i napełnienie cylindrów, czyli steruje mocą silnika. Paliwo wypływa z rozpylacza w wyniku spadku ciśnienia w gardzieli, a zatem tylko wtedy, kiedy występuje przepływ powietrza. Ilość paliwa wypływającego z rozpylacza zależy od ilości przepływającego przez układ dolotowy powietrza. Przepływowi większej ilości powietrza towarzyszy zwiększenie spadku ciśnienia w gardzieli, a zatem występująca większa różnica ciśnienia między komorą płwakową a ujściem z rozpylacza wywołuje zwiększenie wydatku wypływającego paliwa.

Zmiany składu mieszanki palnej wytwarzanej przez gaźnik elementarny, występujące podczas pracy silnika, odzwierciedla charakterystyka gaźnika elementarnego (rys. 1.2). Na tym rysunku pokazano również charakterystykę gaźnikowego układu zasilania, która przedstawia pożądane zmiany składu mieszanki podczas pracy silnika. W zakresie małych obciążeń do poprawnej pracy silnika wymaga się względnie dużego wzbogacenia mieszanki. Wynika to m.in. z małych prędkości przepływu powietrza, słabego rozdrobnienia paliwa oraz osiadania paliwa na ściankach kolektora dolotowego. W konsekwencji tylko część paliwa wypływającego z rozpylacza ulega spalaniu. Zatem mieszanka powinna być bogatsza, a jej wzbogacenie musi być tym większe, im niższa jest temperatura silnika, zwłaszcza podczas rozruchu silnika. W zakresie obciążeń częściowych korzystny jest skład mieszanki nieco uboższy od stechiometrycznego, który zapewnia uzyskanie dużej sprawności ogólnej silnika. Zubożeniu mieszanki sprzyjają znaczne prędkości przepływu powietrza, prowadzące do dobrego rozdrobnienia paliwa, a więc i odparowania, oraz znaczne zawirowania ładunku w komorze spalania, przyspieszające proces spalania.



**Rys. 1.2.** Charakterystyki gaźnikowego układu zasilania (1) i gaźnika elementarnego (2) [29]

$\lambda$  – współczynnik nadmiaru powietrza

W celu uzyskania maksymalnej mocy silnika mieszanka palna musi być wzbogacona. Większa ilość paliwa umożliwia wykorzystanie całej ilości tlenu dostarczonego z powietrzem. Wzbogacenia mieszanki wymaga się również podczas gwałtownego otwierania przepustnicy, ponieważ bezwładność strumienia paliwa przepływającego w kanałach łączących komorę płwakową z rozpylaczem jest większa niż bezwładność strumienia powietrza płynącego w układzie dolotowym. Zróżnicowana bezwładność tych strumieni wywołuje efekt zubożenia mieszanki uniemożliwiającego szybkie zwiększenie mocy silnika.

Z porównania charakterystyk gaźnika elementarnego oraz gaźnikowego układu zasilania wynika, że gaźnik elementarny nie jest w stanie wytwarzać mieszanki o pożądanym składzie w zmiennych warunkach pracy silnika. Dlatego też w celu dostosowania gaźnika elementarnego do potrzeb układu zasilania silnika wyposaża się go w układy korygujące skład mieszanki w różnych stanach pracy. Są to m.in. następujące układy:

- rozruchowy,
- biegu jałowego,
- kompensacyjny (wyrównawczy),
- wzbogacający,
- pompki przyspieszenia.

Ponadto gaźnik może być wyposażony w urządzenia poprawiające jego pracę, np. zawór hamowania silnikiem, zawór elektromagnetyczny odcinający wypływ paliwa po wyłączeniu zapłonu i inne. Układy te znacznie komplikują budowę gaźnika. Ponieważ we współczesnych silnikach o zapłonie iskrowym nie stosuje się już układów gaźnikowych, nie będą dokładnie opisane.

Gaźnik jako urządzenie mechaniczno-pneumatyczne, pomimo wyposażenia go w układy korygujące skład mieszanki, nie był w stanie spełnić coraz ostrzejszych wymagań dotyczących ochrony środowiska naturalnego, ekonomiki zużycia paliwa i własności dynamicznych silnika.

W związku z tym w niektórych samochodach wprowadzono gaźniki sterowane elektronicznie, których zasada działania również polegała na rozdrobnieniu paliwa w wyniku wypływu z rozpylacza umieszczonego w gardzieli. W gaźniku sterowanym elektronicznie zastosowano dodatkową przepustnicę nad gardzielą. Odpowiednie sterowanie tą przepustnicą w całym zakresie pracy silnika zmieniało wartość ciśnienia panującego w obszarze rozpylacza w gardzieli, a zatem wydatek paliwa i w efekcie skład mieszanki palnej. Położenie dodatkowej przepustnicy ustalał nastawnik wyposażony w silnik krokowy na podstawie sygnału z elektronicznego sterownika. Sterownik ten przetwarzał informacje o warunkach i stanie pracy silnika pochodzące z czujników położenia przepustnicy głównej, prędkości obrotowej silnika i temperatury cieczy chłodzącej silnik. Szybkość reakcji gaźnika sterowanego elektronicznie na zmieniające się warunki pracy silnika była znacznie większa niż w przypadku układu mechaniczno-pneumatycznego, jednak jakość rozdrobnienia paliwa pozostawała taka sama. Gaźnik sterowany elektronicznie komplikował układ tworzenia mieszanki,

a efekty wynikające z jego działania nie przynosiły spodziewanych korzyści. Dlatego też rozwiązanie to nie znalazło szerszego zastosowania.

Układ tworzenia mieszanki paliwowo-powietrznej w jednym, dość odległym od cylindra miejscu, oprócz niedostatecznego stopnia rozpylenia paliwa, ma jeszcze jedną istotną wadę. Na długiej drodze między gaźnikiem i cylindrem podgrzewane przez kolektor dolotowy paliwo w znacznej części przechodzi w stan gazowy. Z punktu widzenia tworzenia mieszanki jednorodnej, spełniającej warunki dobrego spalania, jest to zaleta. Z punktu widzenia możliwości uzyskania dużego objętościowego wskaźnika mocy – wada. Odparowane paliwo zajmuje część objętości cylindra, wypierając powietrze i przez to ogranicza napełnienie świeżym ładunkiem zawierającym odpowiednią ilość tlenu. Prowadzi to do ograniczenia mocy silnika.

## 1.3. Wtryskowy układ zasilania

### 1.3.1. Wiadomości ogólne

Wtryskowe układy zasilania silników o zapłonie iskrowym (ZI) tworzą mieszanke palną za pomocą wtrysku benzyny pod określonym ciśnieniem do ładunku powietrza. Układy te umożliwiają uzyskanie mieszanki paliwowo-powietrznej o składzie bliskim stechiometrycznemu ( $\lambda = 1$ ).

Zjawisko wtrysku benzyny jest znane prawie tak długo jak najstarszy silnik samochodowy. Do połowy lat sześćdziesiątych XX wieku podejmowano jedynie próby i tylko jednostkowo wykorzystywano wtrysk benzyny do tworzenia mieszanki palnej. Były to zwykle mechaniczne układy wtryskowe wyposażone w pompę wtryskową, wzorowane na układach zasilania silników o zapłonie samoczynnym (ZS). Układy wtryskowe działające według zasady wykorzystywanej we współczesnych konstrukcjach zaczęto stosować w silnikach pojazdów samochodowych w drugiej połowie lat sześćdziesiątych. W 1966 roku firma Bosch uruchomiła seryjną produkcję elektronicznie sterowanego wtrysku benzyny wykorzystanego do zasilania silników samochodu Volkswagen. Układy wtryskowe benzyny przez 50 lat znacznie się rozwinęły, lecz podstawowa zasada działania pozostała taka sama.

Układy wtrysku benzyny produkuje wiele firm, oznaczających je własnymi symbolami i nazwami. Analizując budowę i zasadę działania różnych układów, dochodzi się do wniosku, że wykazują one duże podobieństwo. Największe różnice występują w obwodach sterowania i wynikają z indywidualnego oprogramowania elektronicznego dostosowanego do konkretnego silnika.

Biorąc pod uwagę podstawowe cechy budowy i zasady działania, układy wtryskowe można podzielić na kilka głównych grup (rys. 1.3).

Układy wtrysku benzyny sterowane mechanicznie bez napędu obcego (bez pompy wtryskowej) są układami wielopunktowego wtrysku benzyny realizowanego w sposób ciągły (przez cały czas obrotu wału korbowego silnika). Paliwo dostarczają w nich wtryskiwacze mechaniczne, a dawkę odmierza urządzenie



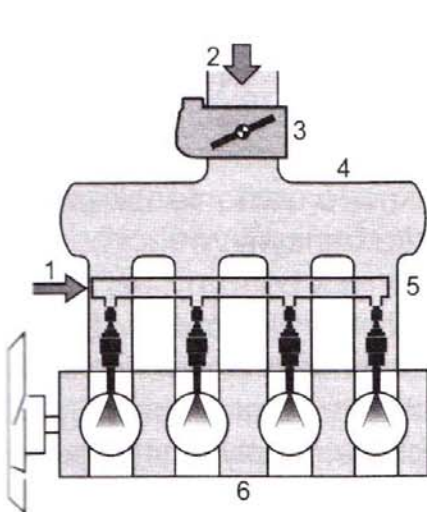
Rys. 1.3. Klasyfikacja układów wtrysku benzyny

wtryskowe zwane regulatorem składu mieszanki. Układy mechaniczne stosowano we wczesnym etapie rozwoju wtrysku benzyny, gdy elektroniczne sterowanie układami było kosztowne i zawodne. Zbyt mała dokładność dawkowania paliwa i stale rosnące wymagania dotyczące jakości pracy układów zasilania spowodowały, że mechaniczne układy wtrysku benzyny przestały być stosowane.

Współczesne układy wtryskowe silników ZI są sterowane elektronicznie i w odróżnieniu od układów sterowanych mechanicznie realizują one wtrysk benzyny w sposób przerywany (nieciągły). Miniaturyzacja elektronicznych mikroprocesorów umożliwiła rozwój tych układów oraz wyeliminowanie systemów mechanicznych jako mniej precyzyjnych i działających zbyt wolno. Elektroniczne sterowanie umożliwia prowadzenie ciągłej rejestracji wielu charakterystycznych parametrów pracy silnika, warunków otoczenia oraz warunków pracy pojazdu. Dzięki elektronicznemu sterowaniu układy wtrysku benzyny bardzo szybko reagują na zmianę tych parametrów. Współczesne układy sterowane elektronicznie umożliwiają analizowanie bardzo dużej liczby procesów. Efektem jest precyzyjny dobór składu mieszanki zasilającej silnik dzięki szybkiemu analizowaniu parametrów wejściowych przez sterownik mikroprocesorowy, służący zmniejszeniu emisji składników toksycznych w spalinach z zachowaniem możliwie dużej dynamiki pracy przy ograniczonym zużyciu paliwa.

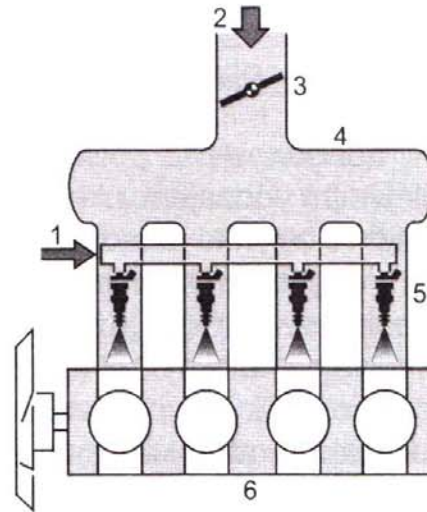
Sterowany elektronicznie wtrysk benzyny, ze względu na miejsce tworzenia mieszanki, dzieli się na dwa podstawowe rodzaje:

- wtrysk pośredni, w którym mieszanka paliwowo-powietrzna jest tworzona poza cylindrem;
- wtrysk bezpośredni (rys. 1.4), w którym mieszanka paliwowo-powietrzna jest tworzona w cylindrze.



**Rys. 1.4.** Schemat bezpośredniego wtrysku benzyny [22]

1 – paliwo, 2 – powietrze, 3 – przepustnica, 4 – kolektor dolotowy, 5 – wtryskiwacze paliwa, 6 – silnik



**Rys. 1.5.** Schemat wielopunktowego pośredniego wtrysku benzyny [22]

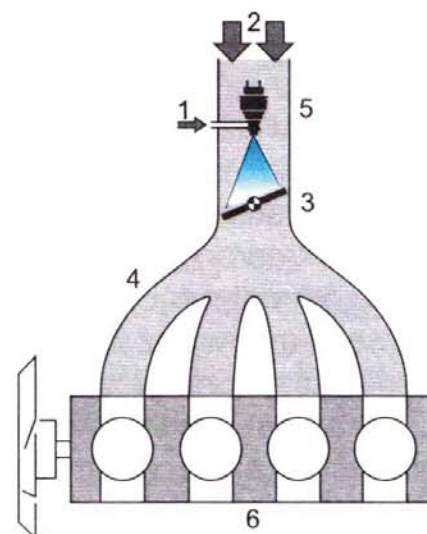
1 – paliwo, 2 – powietrze, 3 – przepustnica, 4 – kolektor dolotowy, 5 – wtryskiwacze paliwa, 6 – silnik

Sterowany elektronicznie pośredni wtrysk benzyny, ze względu na liczbę wtryskiwaczy, którymi jest podawane paliwo do powietrza w układzie dolotowym, dzieli się na:

- wielopunktowy, w którym liczba wtryskiwaczy odpowiada liczbie cylindrów i paliwo jest wtryskiwane do kanału dolotowego przed zaworem dolotowym (rys. 1.5);
- jednopunktowy, w którym paliwo jest wtryskiwane porcjami jednym wtryskiwaczem do głównego kanału kolektora dolotowego przed przepustnicą (rys. 1.6).

Sterowany elektronicznie bezpośredni wtrysk benzyny jest najnowszym rozwiązaniem układów wtryskowych, zastosowanym do zasilania silników ZI w drugiej połowie lat dziewięćdziesiątych XX wieku, wykorzystywanym przez wielu producentów pojazdów. Spotyka się następujące przykładowe oznaczenia bezpośredniego wtrysku benzyny:

- GDI – Mitsubishi,
- IDE – Renault,
- HPI – grupa PSA (Peugeot, Citroën),
- FSI – grupa VAG (Volkswagen, Audi, Škoda, Seat),
- CGI – Mercedes-Benz,
- SCI – Ford,
- D4 – Toyota.



**Rys. 1.6.** Schemat jednopunktowego pośredniego wtrysku benzyny [22]

1 – paliwo, 2 – powietrze, 3 – przepustnica, 4 – kolektor dolotowy, 5 – wtryskiwacz paliwa, 6 – silnik

Układy bezpośredniego wtrysku benzyny, mimo mniejszego, w porównaniu z układami wtrysku pośredniego, dotychczasowego wykorzystania ulegają ciągłemu rozwojowi i są coraz częściej stosowane w silnikach seryjnych samochodów osobowych. Z powodu korzyści wynikających z ich stosowania staną się głównym rodzajem układu zasilania silników o zapłonie iskrowym i wyprą stopniowo z rynku układy pośredniego wtrysku benzyny.

Sterowany elektronicznie pośredni wielopunktowy wtrysk benzyny jest dominującym współczesnym rozwiązaniem układów zasilania silników ZI. Dzięki precyzji dawkowania paliwa oraz szybkiej reakcji na zmianę chwilowych stanów pracy silnika umożliwia on spełnienie obowiązujących norm emisji spalin.

Ze względu na metodę określania ilości ładunku powietrza płynącego przez układ dolotowy w kierunku cylindrów rozróżnia się dwa typy układów pośredniego wielopunktowego wtrysku benzyny: z pomiarem ilości powietrza przepływomierzem (zawierają przepływomierz powietrza) oraz z pomiarem ciśnienia w kolektorze dolotowym (zawierają czujnik ciśnienia w kolektorze dolotowym). Z powodu większej dokładności pomiaru, wpływającej na jakość pracy układu, do zasilania współczesnych silników wykorzystuje się układy wyposażone w przepływomierz powietrza.

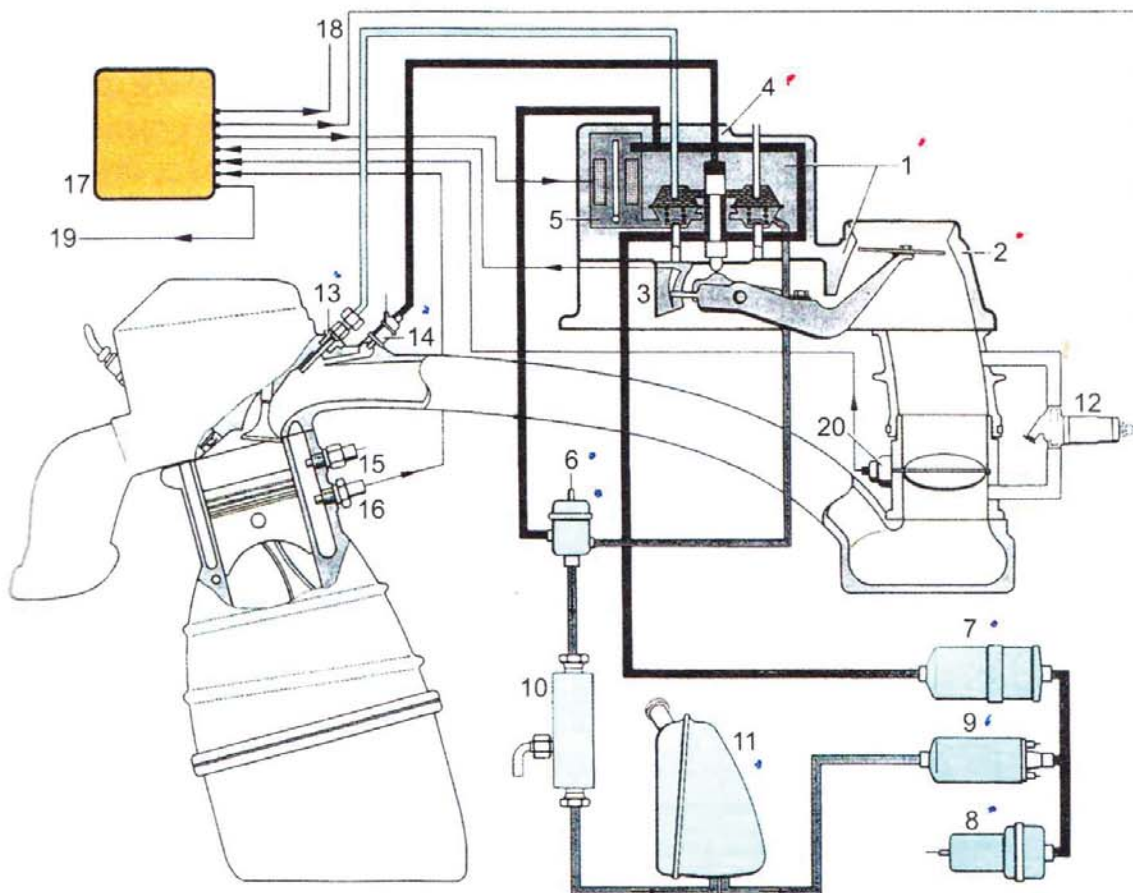
Pośrednie jednopunktowe układy wtrysku benzyny stosowano w silnikach starszej generacji, w których zastąpiły gaźnikowe układy zasilania. Rozróżnia się układy jednopunktowego wtrysku benzyny z pomiarem ciśnienia w kolektorze dolotowym oraz z pośrednim określaniem ilości dopływającego powietrza. Powodem wprowadzenia jednopunktowych układów wtrysku benzyny było obniżenie kosztów wytwarzania w porównaniu z układami wielopunktowymi oraz poprawienie dokładności dawkowania paliwa w stosunku do układów gaźnikowych. Układy te mają jednak wady związane z jednopunktowym wtryskiwaniem paliwa do powietrza w dużej odległości od cylindrów. Coraz bardziej rygorystyczne przepisy dotyczące toksyczności spalin doprowadziły do ograniczenia rozwoju wtrysku jednopunktowego. W nowych konstrukcjach silników układy te nie są już stosowane.

W pierwszych rozwiązaniach działanie elektronicznie sterowanych układów wtrysku benzyny było nadzorowane przez autonomiczny sterownik wtrysku, którego głównym zadaniem było określenie dawki wtryskiwanego paliwa. Rozwój elektronicznych mikroprocesorów oraz wprowadzenie coraz bardziej rygorystycznych przepisów dotyczących emisji spalin spowodowały objęcie elektronicznym sterowaniem również innych funkcji silnika. W 1979 roku firma Bosch wprowadziła pierwszy zintegrowany system sterowania wtryskiem benzyny i zapłonem, o nazwie Bosch Motronic, którego działanie nadzorował jeden sterownik. Następnie elektronicznym sterowaniem objęto regulację prędkości obrotowej biegu jałowego oraz kolejne funkcje silnika, np. recyrkulację spalin, zmienne fazy rozrządu itp. Obecnie pracę silnika nadzoruje zintegrowany system sterowania silnikiem, wyposażony w mikroprocesorowy sterownik silnika, realizujący sterowanie wieloma funkcjami silnika, w tym także wtryskiem benzyny.

### 1.3.2. Pośredni wielopunktowy wtrysk benzyny sterowany mechanicznie i mechaniczno-elektronicznie

Sterowane mechanicznie układy wielopunktowego wtrysku benzyny bez napędu obcego (bez pompy wtryskowej) zostały wprowadzone w silnikach pojazdów samochodowych przez firmę Bosch na początku lat siedemdziesiątych XX wieku jako rozwiązanie alternatywne dla układów sterowanych elektronicznie, które w tamtych latach były rozwiązaniami drogimi i często zawodnymi. Początkowo były to układy o działaniu tylko mechanicznym (np. Bosch K-Jetronic), a następnie mechaniczno-elektronicznym (np. Bosch KE-Jetronic), które były przystosowane do współpracy z sondą lambda i reaktorem katalitycznym. Układy Bosch KE-Jetronic stosowano w silnikach do połowy lat dziewięćdziesiątych XX wieku. Układy wtrysku benzyny o sterowaniu mechanicznym były układami pośredniego wielopunktowego ciągłego wtrysku paliwa.

Schemat układu Bosch KE-Jetronic przedstawiono na rysunku 1.7. Układ ten składa się z trzech obwodów:



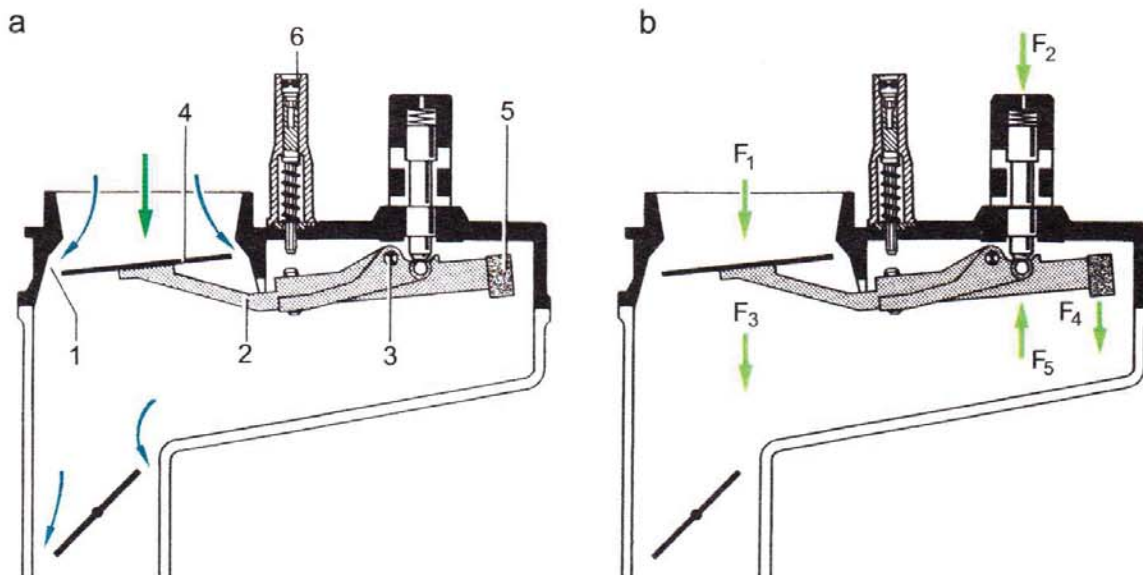
**Rys. 1.7.** Schemat mechanicznego pośredniego wielopunktowego układu wtrysku benzyny Bosch KE-Jetronic sterowanego mechaniczno-elektronicznie [36]

1 – regulator składu mieszanki, 2 – przepływomierz powietrza, 3 – czujnik ilości zasysanego powietrza, 4 – rozdzielacz paliwa, 5 – elektrohydrauliczny nastawnik ciśnienia, 6 – regulator ciśnienia paliwa, 7 – filtr paliwa, 8 – akumulator paliwa, 9 – pompa paliwa, 10 – chłodnica paliwa, 11 – zbiornik paliwa, 12 – regulator biegu jałowego, 13 – roboczy wtryskiwacz paliwa, 14 – rozruchowy wtryskiwacz paliwa, 15 – wyłącznik termiczno-czasowy, 16 – czujnik temperatury cieczy chłodzącej, 17 – sterownik elektroniczny, 18 – do modułu zapłonu, 19 – do mikrowyłącznika, 20 – czujnik położenia przepustnicy

- zasilania paliwem,
- przygotowania mieszanki,
- wspomagania elektronicznego.

Do obwodu zasilania paliwem należą: elektryczna pompa paliwa, akumulator paliwa, filtr paliwa, regulator ciśnienia oraz wtryskiwacze. Paliwo ze zbiornika jest zasysane przez pompę paliwa i przez filtr tłoczone pod ciśnieniem 550...650 kPa do rozdzielacza paliwa. Równoległe do filtra paliwa jest umieszczony akumulator paliwa, który utrzymuje ciśnienie paliwa długo po wyłączeniu zapłonu silnika. Zadaniem przeponowego regulatora ciśnienia jest utrzymanie stałej wartości ciśnienia paliwa podczas pracy silnika. Układ wyposażono w dwa rodzaje wtryskiwaczy: wtryskiwacze robocze o liczbie równej liczbie cylindrów, umieszczone możliwie blisko zaworów dolotowych, oraz jeden wtryskiwacz rozruchowy, znajdujący się we wspólnej komorze układu dolotowego. Wtryskiwacze robocze, podające paliwo w sposób ciągły, są sterowane ciśnieniem paliwa, którego wzrost i pokonanie siły sprężyny powoduje ich otwarcie. Wtryskiwacz rozruchowy, podający dodatkowe paliwo, niezbędne do wzbogacenia mieszanki podczas rozruchu silnika, jest sterowany wyłącznikiem termiczno-czasowym.

Głównym zespołem obwodu przygotowania mieszanki jest regulator składu mieszanki, zawierający przepływomierz powietrza oraz rozdzielacz paliwa. Przepływomierz powietrza, mierzący ilość powietrza zasysanego przez silnik, jest umieszczony przed przepustnicą, która reguluje przepływ powietrza. Parametrem informującym o wydatku powietrza jest wychylenie tarczy spiętrzającej przepływomierza, umieszczonej w stożkowej gardzieli (rys. 1.8).



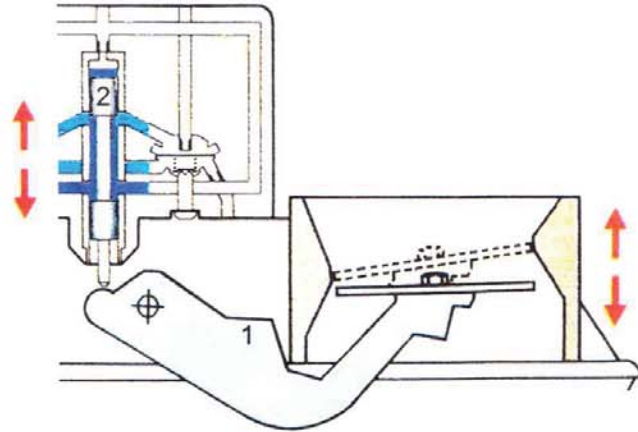
**Rys. 1.8.** Przepływomierz powietrza układu KE-Jetronic [36]

a – schemat działania

1 – gardziel przepływomierza, 2 – dźwignia, 3 – oś obrotu dźwigni, 4 – tarcza spiętrzająca, 5 – przeciwcieżar, 6 – wkręt regulacji składu mieszanki

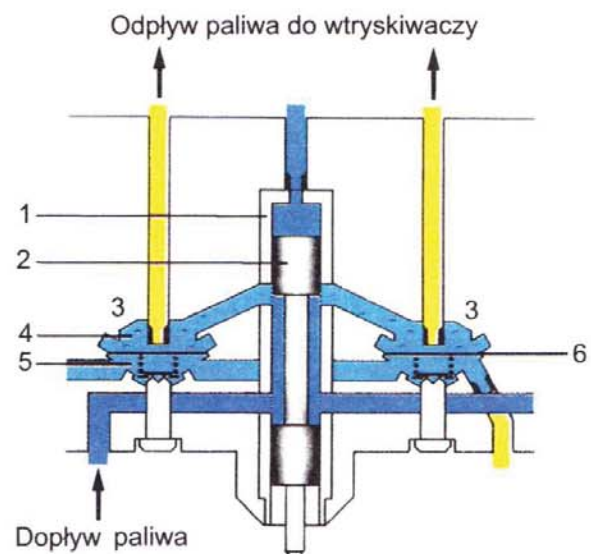
b – siły działające na przepływomierz

$F_1$  – siła oddziaływania zasysanego powietrza na tarczę spiętrzającą,  $F_2$  – siła oddziaływania ciśnienia paliwa,  $F_3$  – siła ciężkości dźwigni,  $F_4$  – siła ciężkości przeciwcieżaru,  $F_5$  – siła nacisku dźwigni przepływomierza na tłok rozdzielacza paliwa

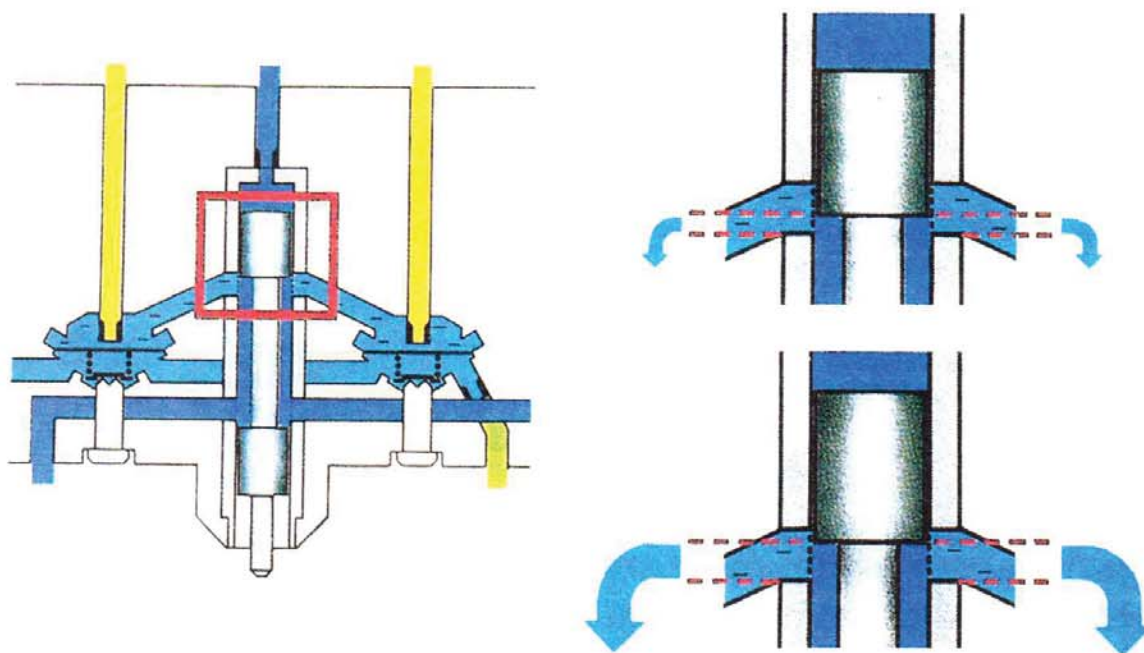


**Rys. 1.9.** Sposób mechanicznej regulacji podstawowego składu mieszanki [36]  
1 – dźwignia, 2 – tłok sterujący

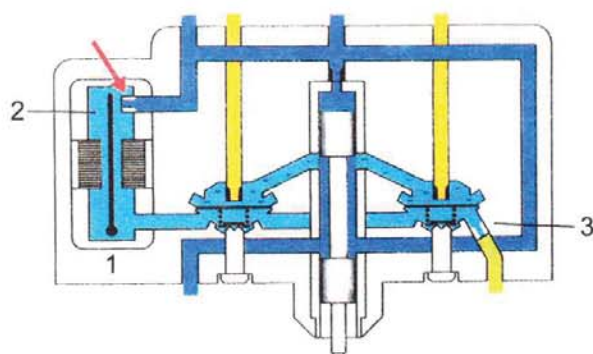
Wyrównoważenie tarczy wraz z jej ramieniem powoduje, że w przypadku braku przepływu powietrza (silnik unieruchomiony) tarcza przyjmuje położenie „zero”. Gdy zaczyna płynąć powietrze (uruchomienie silnika), jego dynamiczny napór na tarczę spiętrzającą powoduje jej uchylenie, odpowiednio do ilości zasysanego przez silnik powietrza. Ruch tarczy spiętrzającej jest przenoszony na dźwignię, która odpowiednio ustawia tłok sterujący dawką paliwa w rozdzielaczu paliwa (rys. 1.9). Rozdzielacz paliwa (rys. 1.10) jest urządzeniem, które decyduje o ilości paliwa dostarczanego do poszczególnych wtryskiwaczy. Głównym elementem tego urządzenia jest tłok współpracujący z tuleją mającą wzdłużne szczeliny. Każdej z nich jest przyporządkowany zawór różnicowy. Liczba szczelin i zaworów różnicowych odpowiada liczbie cylindrów silnika. Zawór różnicowy ma dwie komory: górną i dolną, oddzielone szczelnie przeponą. Natomiast wszystkie komory dolne są ze sobą połączone. Przesuwający się pod wpływem działania dźwigni przepływomierza tłok rozdzielacza zmienia przekrój otworów w szczelinach sterujących tulei rozdzielacza. Regulacja polega na zwiększaniu dawki paliwa przy wzrastającej ilości zasysanego powietrza przez silnik oraz zmniejszaniu jej przy malejącej ilości zasysanego powietrza. Przez szczeliny sterujące paliwo przedostaje się do górnych komór,



**Rys. 1.10.** Schemat rozdzielacza paliwa z zaworami różnicowymi [36]  
1 – tuleja rozdzielacza, 2 – tłok sterujący, 3 – zawór różnicowy, 4 – komora górną, 5 – komora dolną, 6 – przepona



Rys. 1.11. Sposób zmiany dawki paliwa w rozdzielaczu paliwa układu Bosch KE-Jetronic [36]



Rys. 1.12. Elektrohydrauliczny nastawnik ciśnienia – cewka elektromagnesu nie jest zasilana (strzałką wskazano wlot paliwa) [36]

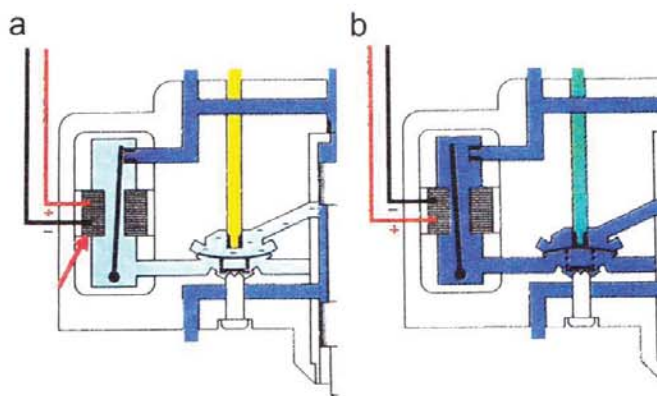
1 – nastawnik ciśnienia, 2 – płytka zaworu, 3 – dławik nieregulowany

a następnie do wtryskiwaczy. Dozowanie paliwa w procesie regulacji podstawowego składu mieszanki odbywa się przez zmianę przekroju szczelin sterujących. Na rysunku 1.11 przedstawiono dwa przypadki położenia tłoka względem szczelin tulei rozdzielacza. Na rysunku górnym odsłonięta przez tłok wysokość szczeliny sterującej jest niższa niż na rysunku dolnym i wyznacza mniejszą dawkę paliwa w porównaniu z rysunkiem dolnym. Warunkiem przepływu paliwa jest występowanie różnicy ciśnień między komorami. Dla podstawowego składu mieszanki różnica ta wynosi około 0,04 MPa. Przy stałej różnicy ciśnień dozowanie paliwa odbywa się mechanicznie.

W celu uzyskania optymalnego składu mieszanki w zmiennych warunkach pracy silnika, oprócz regulacji mechanicznej, w układzie KE-Jetronic zastosowano również regulację elektroniczną, realizowaną przez elektrohydrauliczny nastawnik ciśnienia (rys. 1.12). Element ten powoduje zmiany ciśnienia w komorach dolnych. W wyniku tego zmienia się różnica ciśnień w szczelinach sterujących, co powoduje zmianę dawki paliwa. W nastawniku ciśnienia znajduje się płytka zaworu umieszczona w polu magnetycznym cewki elektromagnesu.

**Rys. 1.13.** Zmiana dawki paliwa za pomocą elektrohydraulicznego nastawnika ciśnienia [36]

*a* – otwór wlotowy paliwa do dolnych komór elektrohydraulicznego nastawnika ciśnienia przysłonięty przez płytkę zaworu elektromagnetycznego. *b* – otwór wlotowy paliwa do dolnych komór elektrohydraulicznego nastawnika ciśnienia odsłonięty przez płytkę zaworu elektromagnetycznego



W zależności od sposobu zasilania cewki elektromagnesu płytkę przyjmuje zmienne położenie względem otworu wlotowego paliwa do dolnych komór. Przysłaniając ten otwór (rys. 1.13a), płytkę zmniejsza ciśnienie w komorach dolnych, co powoduje zwiększenie różnicy ciśnień między komorami i wzrost dawki paliwa, czyli wzbogacenie mieszanki. Natomiast przy większym odsłonięciu przez płytkę otworu dopływu paliwa (rys. 1.13b) zmniejsza się różnica ciśnień między komorami, w której wyniku mniejsza dawka paliwa powoduje zubożenie mieszanki aż do odcięcia wtrysku. Elektrohydrauliczny nastawnik ciśnienia działa na podstawie sygnału ze sterownika silnika, który dzięki informacjom otrzymywanym z odpowiednich czujników określa sposób jego pracy. W układzie Bosch KE-Jetronic wykorzystuje się następujące czujniki:

- prędkości obrotowej wału korbowego silnika (potocznie zwany czujnikiem prędkości obrotowej silnika);
- położenia i ruchu tarczy spiętrzającej przepływomierza;
- temperatury cieczy chłodzącej silnik;
- położenia przepustnicy;
- zawartości tlenu w spalinach (sonda lambda).

Sterownik układu Bosch KE-Jetronic, za pośrednictwem elektrohydraulicznego nastawnika ciśnienia, reguluje skład mieszanki w następujących warunkach pracy silnika:

- podczas rozruchu;
- po uruchomieniu;
- podczas nagrzewania;
- podczas przyspieszania;
- przy pełnym obciążeniu;
- podczas hamowania silnikiem

oraz realizuje regulację z wykorzystaniem sygnału sondy lambda.

Sterownik ten nadzoruje również elektroniczną regulację prędkości obrotowej biegu jałowego oraz kąta wyprzedzenia zapłonu.

Wielopunktowe układy wtryskowe benzyny sterowane mechanicznie, w porównaniu z układami gaźnikowymi, zapewniają lepsze rozdrobnienie paliwa ze względu na większą różnicę ciśnień paliwa i powietrza występującą podczas wtrysku. Układy te umożliwiają również większą nadążność zmian składu

mieszanki palnej za zmianami warunków pracy silnika, gdyż umieszczone w pobliżu zaworów dolotowych wtryskiwacze paliwa w zasadzie reagują bez zwłoki. Pośredni wtrysk wielopunktowy poprawia równomierność napełnienia cylindrów, gdyż część paliwa odparowuje wewnątrz komory spalania. Obniża się temperatura obiegu silnika i zmniejsza emisja tlenków azotu w spalinach. Niższe temperatury obiegu stwarzają warunki do zwiększenia sprawności ogólnej silnika.

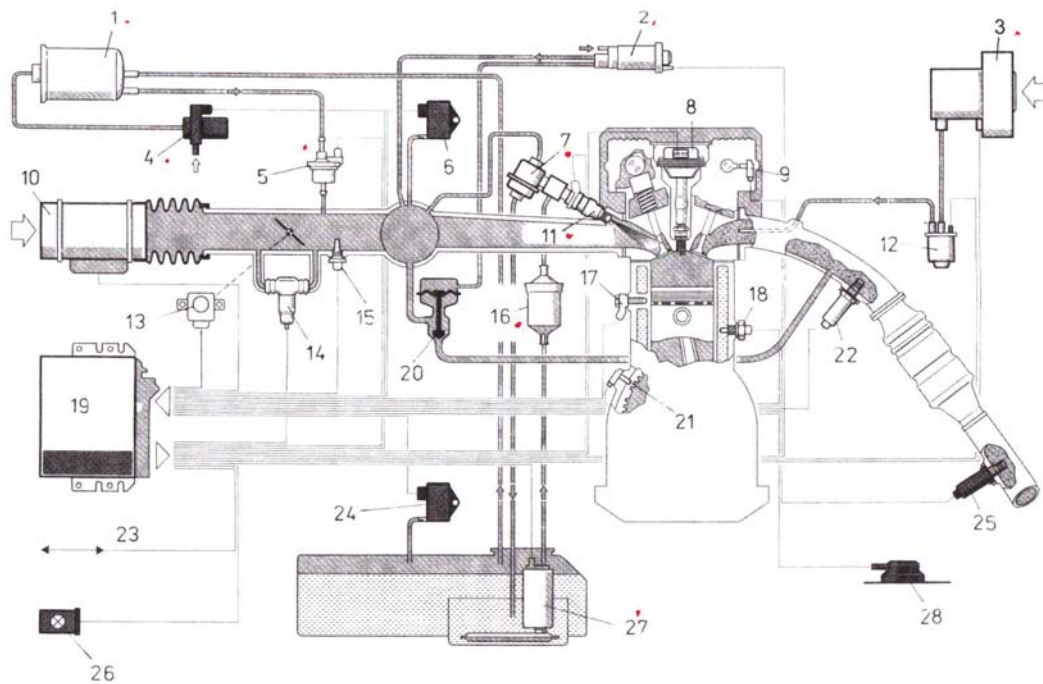
Układy mechaniczne są jednak podatne na zmianę charakterystyk w miarę zużywania się współpracujących części. Mimo wprowadzenia wspomaganie w postaci elektronicznej regulacji, charakteryzują się one zbyt małą dokładnością sterowania dawką paliwa, która we współczesnych silnika uniemożliwia spełnienie norm emisji spalin. Układy o ciągłym wtrysku paliwa wpływają na ograniczenie napełnienia cylindrów (mocy silnika) z powodu częściowego odparowania gromadzącego się w kanałach dolotowych paliwa i wypierania ładunku powietrza. Z tych powodów we współczesnych silnikach ustąpiły miejsca układom sterowanym całkowicie elektronicznie.

### 1.3.3. Pośredni wielopunktowy wtrysk benzyny sterowany elektronicznie

W sterowanych elektronicznie układach pośredniego wielopunktowego wtrysku benzyny dawka wtryskiwanego paliwa jest wyznaczana przez sterownik elektroniczny na podstawie sygnałów dopływających do niego z czujników określających warunki i stan pracy silnika. Wielkość dawki jest regulowana czasem otwarcia wtryskiwaczy elektromagnetycznych podających paliwo indywidualnie dla każdego cylindra do kanału w okolicy zaworów dolotowych.

Układy wielopunktowego wtrysku sterowanego elektronicznie wyróżniają się następującymi zaletami:

- dużą szybkością nadszycania z doborom właściwej dawki paliwa za zmianami parametrów pracy silnika;
- dużą dokładnością zapewnienia jednakowego składu mieszanki w każdym z cylindrów;
- dużą powtarzalnością współczynnika napełnienia poszczególnych cylindrów;
- względnie dużą wartością współczynnika napełnienia cylindrów dzięki możliwości odparowania znacznej części dawki paliwa wewnątrz cylindra (zwłaszcza przy wtrysku sekwencyjnym);
- zmniejszeniem emisji tlenków azotu w wyniku obniżenia temperatury obiegu przez częściowe odparowanie paliwa wewnątrz cylindra;
- lepszą sprawność ogólną silnika ze względu na mniejsze straty chłodzenia (mniejszy strumień ciepła odprowadzanego do ścianek cylindra ze względu na niższy poziom temperatury obiegu);
- zwiększeniem mocy silnika, głównie dzięki zwiększeniu współczynnika napełnienia oraz zmniejszeniu różnic wartości tego współczynnika między poszczególnymi cylindrami.



**Rys.1.14.** Schemat elektronicznie sterowanego wielopunktowego pośredniego układu wtrysku benzyny Bosch Motronic [9]

1 – filtr par paliwa z węglem aktywnym, 2 – elektromagnetyczny zawór recykulacji spalin, 3 – wentylator dotłaczania powietrza, 4 – zawór regeneracyjny filtra z węglem aktywnym, 5 – zawór odprowadzania par paliwa do spalania w silniku, 6 – czujnik ciśnienia powietrza w kolektorze dolotowym, 7 – regulator ciśnienia paliwa, 8 – cewka zapłonowa, 9 – czujnik położenia wałka rozrządu, 10 – przepływomierz powietrza, 11 – wtryskiwacz paliwa, 12 – zawór elektromagnetyczny dotłaczania powietrza, 13 – czujnik położenia przepustnicy, 14 – zawór powietrza dodatkowego, 15 – czujnik temperatury zasysanego powietrza, 16 – filtr paliwa, 17 – czujnik spalania stukowego, 18 – czujnik temperatury cieczy chłodzącej, 19 – elektroniczny sterownik silnika, 20 – pneumatyczny zawór recykulacji spalin, 21 – czujnik położenia i prędkości obrotowej wału korbowego, 22 – czujnik tlenu w spalinach przed reaktorem katalitycznym, 23 – transmisja danych do innych sterowników i do celów diagnostycznych, 24 – czujnik ciśnienia par paliwa w zbiorniku, 25 – czujnik tlenu w spalinach za reaktorem katalitycznym, 26 – lampka kontrolna MIL, 27 – elektryczna pompa paliwa, 28 – czujnik opóźnienia pojazdu

Schemat systemu sterowania silnikiem Bosch Motronic, zawierającego układ pośredniego wielopunktowego wtrysku benzyny, przedstawiono na rysunku 1.14.

Układ pośredniego wielopunktowego wtrysku benzyny zawiera trzy obwody:

- zasilania paliwem,
- dopływu powietrza,
- sterowania elektronicznego.

### Obwód zasilania paliwem

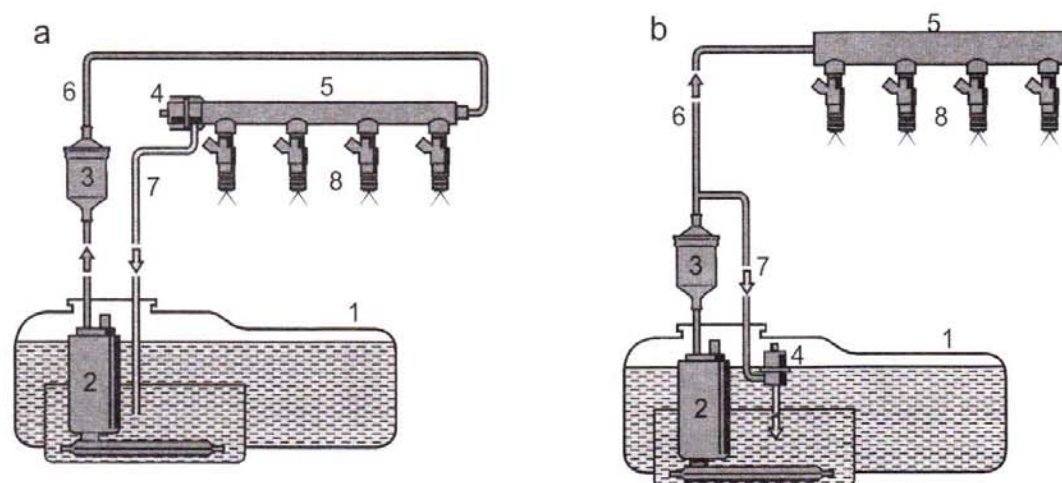
Zadaniem obwodu zasilania paliwem jest doprowadzenie pod określonym ciśnieniem i w odpowiedniej ilości paliwa ze zbiornika do wtryskiwaczy. W skład tego obwodu wchodzi:

- zbiornik paliwa,
- elektryczna pompa paliwa (zwana pompą zasilającą),
- filtr paliwa,
- regulator ciśnienia paliwa,
- zasobnik paliwa,
- wtryskiwacze paliwa,
- przewody paliwa.

Istnieją dwa rodzaje obwodu zasilania paliwem, różniące się sposobem odpływu nadmiaru paliwa do zbiornika:

- odpływowy obwód zasilania paliwem (rys. 1.15a),
- bezodpływowy obwód zasilania paliwem (rys. 1.15b).

W odpływowym obwodzie zasilania paliwem nadmiar paliwa niewykorzystanego przez wtryskiwacze płynie z powrotem do zbiornika za pośrednictwem regulatora ciśnienia. Regulator może być wmontowany w przelotowy zasobnik paliwa lub może być umieszczony wcześniej w obwodzie i wtedy zasobnik paliwa ma budowę nieprzelotową. We współczesnych odpływowych obwodach zasilania paliwem panuje ciśnienie ok. 0,3 MPa.



**Rys. 1.15.** Obwód zasilania paliwem silników o pośrednim wtrysku benzyny [22]

a – z odpływem nadmiaru paliwa z zasobnika, b – bez odpływu nadmiaru paliwa z zasobnika

1 – zbiornik paliwa, 2 – elektryczna pompa paliwa, 3 – filtr paliwa, 4 – regulator ciśnienia paliwa, 5 – zasobnik paliwa, 6 – przewód dopływu paliwa, 7 – przewód odpływu nadmiaru paliwa, 8 – wtryskiwacze paliwa

W bezodpływowym obwodzie zasilania powrót paliwa do zbiornika odbywa się przez regulator ciśnienia umieszczony w zbiorniku paliwa (może być elementem zintegrowanego zespołu zbiornika paliwa) lub w jego pobliżu. Jeżeli regulator jest umieszczony poza zbiornikiem, nadmiar paliwa jest odprowadzany krótkim przewodem łączącym regulator ze zbiornikiem. W obwodzie tym do zasobnika paliwa dopływa tylko taka ilość paliwa, która jest niezbędna do realizacji wtrysku określonej dawki. Kierowany do zbiornika nadmiar paliwa, ze względu na brak przepływu przez cały obwód, nie nagrzewa się, a więc nie podwyższa temperatury paliwa w zbiorniku. Dzięki temu występuje mniejsza emisja węglowodorów ze zbiornika paliwa, a więc mniejsze obciążenie układu odprowadzania par paliwa. Ciśnienie paliwa w bezodpływowych obwodach zasilania paliwem wynosi zwykle ok. 0,35...0,45 MPa.

W silnikach o pośrednim wielopunktowym wtrysku benzyny paliwo jest tłoczne w sposób ciągły ze zbiornika do zasobnika paliwa przez elektryczną pompę zasilającą. Podczas przepływu ulega ono oczyszczeniu w filtrze paliwa. Ciśnienie paliwa wytworzone przez pompę jest stabilizowane za pomocą regulatora ciśnienia paliwa. Wtryskiwana dawka paliwa zależy od czasu wtrysku (otwarcia wtryskiwacza) i różnicy ciśnień paliwa w obwodzie zasilania oraz powietrza w kolektorze dolotowym.

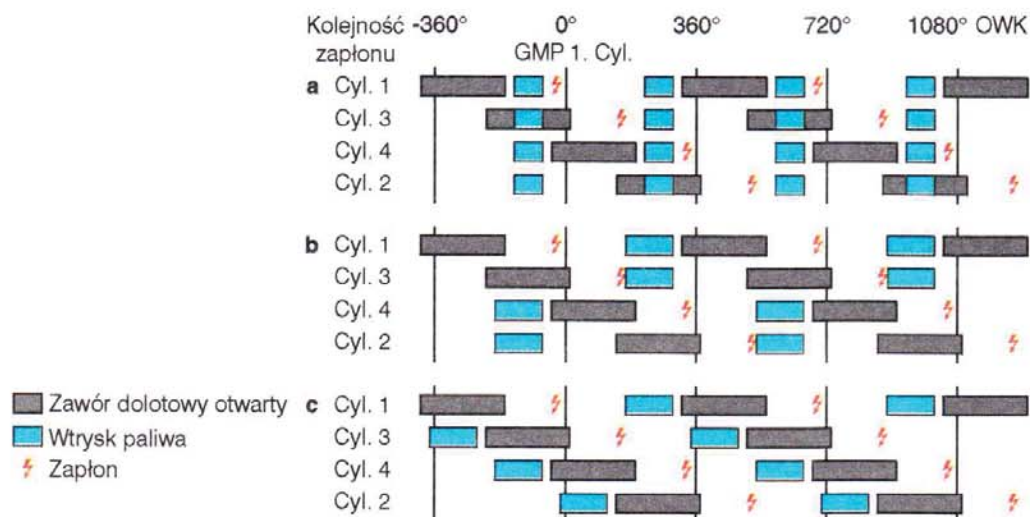
W odpływowych obwodach zasilania paliwem podstawę regulacji ciśnienia paliwa stanowi wartość ciśnienia w kanale dolotowym silnika. Połączony przewodem z kanałem dolotowym regulator zmienia ciśnienie paliwa w obwodzie tak, aby utrzymać stałą różnicę między ciśnieniem paliwa i ciśnieniem w kanale dolotowym. Dzięki temu ilość wtryskiwanego paliwa zależy tylko od czasu trwania wtrysku, natomiast nie zależy od ciśnienia dolotu powietrza ani stopnia napełnienia cylindra. W obwodach zasilania bez odpływu nadmiaru paliwa regulator ciśnienia paliwa (który nie jest połączony z kanałem dolotowym) ustala stałą wartość ciśnienia w zasobniku paliwa względem ciśnienia otoczenia. Różnica ciśnień względem ciśnienia w kolektorze dolotowym nie jest wtedy stała, co jest uwzględniane przy obliczaniu czasu wtrysku.

Przed dotarciem do wtryskiwaczy paliwo dopływa do zasobnika, zwanego także przewodem rozdzielczym lub kolektorem paliwa. Zasobnik paliwa w obwodzie zasilania umożliwia:

- podłączenie i mocowanie wtryskiwaczy;
- gromadzenie paliwa;
- zapewnienie równomiernego rozdziału paliwa między wtryskiwacze.

Objętość zasobnika paliwa jest ściśle dobierana do typu silnika i wydatku wtryskiwaczy tak, aby zmniejszyć lokalne zmiany ciśnienia wytwarzane wskutek rezonansu podczas otwierania i zamykania wtryskiwaczy. Dzięki temu eliminuje się nierównomierność wtryskiwanych dawek paliwa zależną od obciążenia i prędkości obrotowej silnika. Według wymagań producentów różnych typów pojazdów zasobniki paliwa wytwarza się ze stali stopowej albo z tworzywa sztucznego.

W układach pośredniego wielopunktowego wtrysku benzyny paliwo jest podawane przez wtryskiwacze elektromagnetyczne. Impulsy sterujące chwilę



**Rys. 1.16.** Metody sterowania pośrednim wielopunktowym wtryskiem paliwa [22]

*a* – wtrysk jednoczesny, *b* – wtrysk grupowy, *c* – wtrysk sekwencyjny

otwarcia wtryskiwacza oraz jego czas otwarcia, wyznaczający wielkość dawki paliwa, wytwarza sterownik silnika po przeanalizowaniu sygnałów wejściowych, określających warunki i stan pracy silnika. Paliwo jest wtryskiwane do kanałów dolotowych przed zawory dolotowe. Dobrze rozpylone paliwo odparowuje tam w przeważającej części i miesza się z dopływającym powietrzem. Do uzyskania wystarczającego czasu tworzenia mieszanki jest korzystne wtryskiwanie paliwa przed otwarciem zaworów dolotowych.

Sterowanie poszczególnych wtryskiwaczy paliwa może być realizowane różnymi metodami, znanymi jako:

- wtrysk jednoczesny (rys. 1.16a),
- wtrysk grupowy (rys. 1.16b),
- wtrysk sekwencyjny (rys. 1.16c),
- wtrysk indywidualny.

Przy wtrysku jednoczesnym wszystkie wtryskiwacze paliwa otwierają się w tej samej chwili. Paliwo trafia do kanałów dolotowych cylindrów, w których odbywają się różne suwy. Czas na odparowanie paliwa dla poszczególnych cylindrów jest więc różny, co negatywnie wpływa na tworzenie mieszanki. W celu poprawy warunków wytwarzania mieszanki dawkę paliwa przy wtrysku jednoczesnym dzieli się na dwie części i wtryskiwacze otwierają się raz na jeden obrót wału korbowego. Zaletą wtrysku jednoczesnego jest uproszczenie procedury sterowania wtryskiwaczy. Wystarczy jeden impuls na obrót wału korbowego, aby nastąpił wtrysk o zaprogramowany kąt od GMP lub DMP. Przy tym sposobie zasilania w paliwo brak jest synchronizacji pracy wtryskiwacza i zaworu dolotowego (zaworów dolotowych) danego cylindra. W związku z tym podczas suwu dolotu niektóre cylindry otrzymują dawkę, która odparowuje na grzybku zaworu dolotowego, a inne strugę kropel. W niektórych cylindrach silnika paliwo nie zawsze będzie gromadzone przed zaworami dolotowymi, lecz może być wtryskiwane przy otwartych zaworach dolotowych. Prowadzi to,

zwłaszcza przy mniejszych prędkościach obrotowych i małych obciążeniach silnika, do znacznej nierównomierności biegu silnika wywołanej zmianą współczynnika nadmiaru powietrza ładunku doprowadzanego do poszczególnych cylindrów. Przy większych obciążeniach silnika niedogodność ta maleje dzięki lepszemu odparowaniu benzyny. Jednoczesny wtrysk paliwa, szczególnie przy dużych dawkach, powoduje znaczny wypływ paliwa z obwodu zasilania w jednej chwili, co może wywoływać pulsacje ciśnienia w obwodzie. Wtrysk jednoczesny, ze względu na łatwość sterowania, był stosowany w starszych układach wtrysku benzyny.

We wtrysku grupowym podzielone na dwie grupy wtryskiwacze otwierają się naprzemiennie. W układach sterowania, w których nie występuje czujnik położenia wałka rozrządu, dawka paliwa jest dzielona na dwie części i wtrysk występuje w grupach naprzemian co  $180^\circ$  OWK. Jeżeli sterowanie silnika wykorzystuje sygnał z czujnika położenia wałka rozrządu, wtrysk całej dawki występuje przemiennie w grupach raz na dwa obroty wału korbowego. Podział wtryskiwaczy na grupy i ich naprzemiennie sterowanie umożliwia lepszy wybór chwili wtrysku zależnie od stanu pracy silnika. Ta metoda sterowania wtrysku pozwala uniknąć niepożądanego wtrysku przy otwartym zaworze dolotowym. Przy wtrysku grupowym czasy przeznaczone na odparowanie paliwa dla różnych cylindrów są niejednakowe, lecz różnice tych czasów są mniejsze niż przy wtrysku jednoczesnym.

Najbardziej efektywną metodą sterowania chwilą wtrysku jest wtrysk sekwencyjny – zgodny z cyklami pracy silnika, w którym paliwo jest wtryskiwane osobno dla każdego cylindra w kolejności zapłonu. Pełna dawka paliwa jest podawana raz na dwa obroty wału korbowego przed otwarciem zaworu dolotowego każdego cylindra. Czas wtrysku i początek wtrysku (względem położenia GMP) są dla każdego cylindra jednakowe. Paliwo jest zatem przetrzymywane, aby odparowało przez jednakowy czas w każdym z kanałów dolotowych poszczególnych cylindrów. Początek wtrysku może być dowolnie programowany i dopasowany do stanu pracy silnika. W celu zrealizowania wtrysku sekwencyjnego sterownik musi otrzymywać informacje z tzw. czujnika fazy o chwilowym położeniu wałka rozrządu. Zaletą wtrysku sekwencyjnego jest bardzo precyzyjne dawkowanie paliwa i utrzymywanie takiej samej wartości współczynnika nadmiaru powietrza mieszanki doprowadzanej do poszczególnych cylindrów. Tę metodę sterowania pracą wtryskiwaczy stosuje się powszechnie we współczesnych układach zasilania o pośrednim wielopunktowym wtrysku benzyny.

Metoda wtrysku indywidualnego, podobnie jak wtrysku sekwencyjnego, polega na osobnym wtrysku paliwa dla każdego cylindra w kolejności zapłonu. Umożliwia ona ponadto osobną regulację czasu wtrysku (dawki paliwa) dla każdego cylindra. Indywidualny dobór dawki paliwa dla cylindra pozwala na zróżnicowanie dawek paliwa i dostosowanie do niejednakowych warunków spalania występujących w poszczególnych cylindrach. Dzięki temu uzyskuje się równomierną pracę silnika mimo nierównomiernego zużycia poszczególnych cylindrów oraz różnej sprawności ich napełnienia ładunkiem. Indywidualne sterowanie wtryskiwaczami jest niezbędne w układach wyłączających cylindry z pracy.

## Elementy obwodu zasilania paliwem

### Pompy paliwa

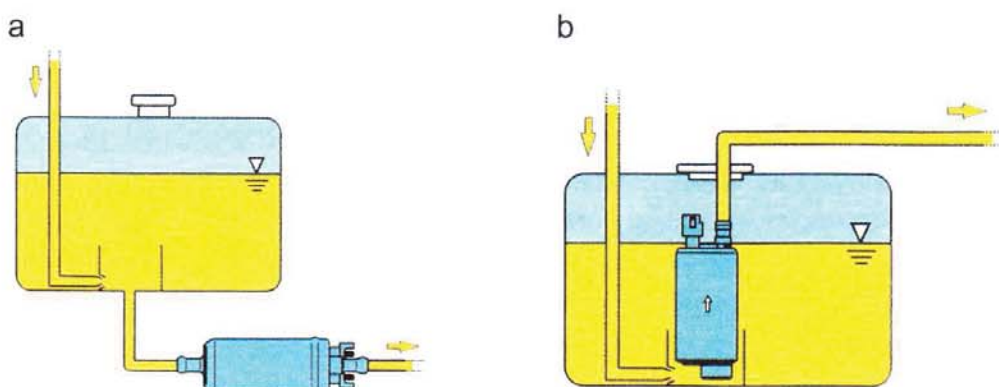
Zadaniem pompy paliwa w benzynowych układach wtryskowych jest tłoczenie pod określonym ciśnieniem paliwa ze zbiornika do kolektora paliwa (wtrysk wielopunktowy) lub zespołu wtryskowego (wtrysk jednopunktowy). Powszechnie stosuje się pompy o napędzie elektrycznym, charakteryzujące się małą liczbą części ruchomych, zwartą budową i niewielkimi wymiarami. Tłoczone przez pompę paliwo przepływa przez elektryczny silnik napędzający, który jest przez nie chłodzony i smarowany. Pompa paliwa jest uruchamiana przez sterownik silnika w chwili włączenia zapłonu, co zapewnia tłoczenie wstępnej dawki paliwa, niezbędnej do rozruchu silnika. Podtrzymanie pracy pompy następuje po uruchomieniu silnika na podstawie sygnału z czujnika prędkości obrotowej wału korbowego.

Ze względu na funkcję pełnioną w obwodzie zasilania paliwem wyróżnia się pompy wstępne oraz główne pompy zasilające. W obwodach zasilania paliwem stosuje się następujące konfiguracje:

- pojedyncza pompa paliwa umieszczona na przewodzie paliwa lub w zbiorniku (rys. 1.17);
- dwie pompy paliwa (wstępna i główna) umieszczone szeregowo; pompa wstępna może być umieszczona na przewodzie paliwa lub w zbiorniku (rys. 1.18);
- pojedyncza dwusekcyjna (dwustopniowa) pompa paliwa umieszczona na przewodzie paliwa lub w zbiorniku.

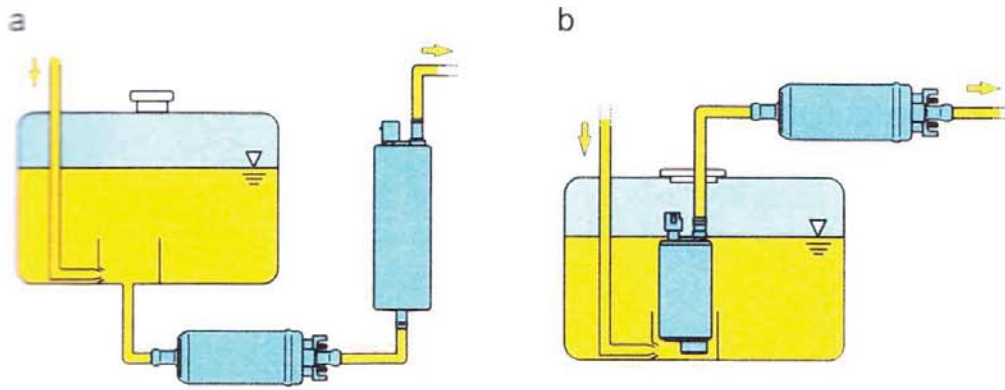
Umieszczenie pompy w zbiorniku wycisza hałas towarzyszący jej pracy oraz umożliwia dodatkowe chłodzenie pompy od zewnątrz. We współczesnych rozwiązaniach często umieszcza się pompę paliwa w zbiorniku razem z filtrem paliwa, czujnikiem poziomu paliwa, regulatorem ciśnienia oraz rezerwową komorą paliwa wykorzystywaną podczas przechyłów pojazdu „aktywnie” napełnianą przez pompę strumieniową (rys. 1.19).

Elektryczna pompa paliwa w każdym stanie pracy musi tłoczyć taką ilość paliwa, aby umożliwić realizację wtrysku pod odpowiednim ciśnieniem. Istotnymi wymaganiami są:



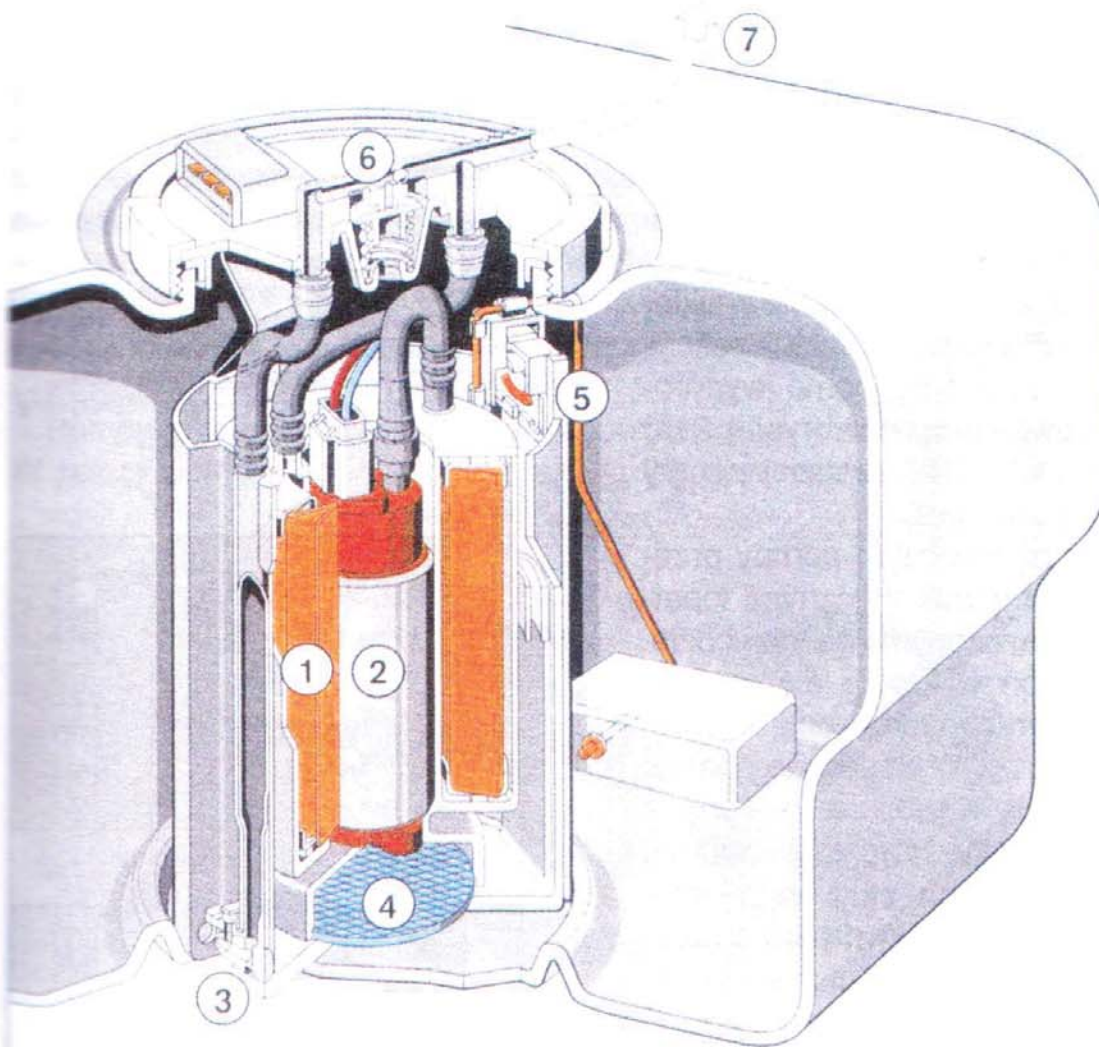
**Rys. 1.17.** Sposób umieszczenia pojedynczej pompy paliwa [38]

a – pompa montowana na przewodzie paliwa, b – pompa umieszczona w zbiorniku paliwa



**Rys. 1.18.** Sposób umieszczenia dwóch pomp paliwa [38]

*a* – obie pompy poza zbiornikiem na przewodzie paliwa, *b* – jedna pompa w zbiorniku paliwa, druga na przewodzie paliwa



**Rys. 1.19.** Zespół pompy paliwa zintegrowanej z innymi elementami umieszczony w zbiorniku paliwa [42]

1 – filtr paliwa, 2 – elektryczna pompa paliwa, 3 – pompa strumieniowa, 4 – wstępny filtr siatkowy, 5 – czujnik poziomu paliwa, 6 – regulator ciśnienia paliwa, 7 – odpływ paliwa do układu

- ciśnienie w obwodzie zasilania paliwem 100...650 kPa;
- wytwarzanie odpowiedniego ciśnienia w obwodzie już przy 50...60% napięcia znamionowego (rozruch zimnego silnika);
- wydatek pompy 60...200 dm<sup>3</sup>/h przy napięciu znamionowym.

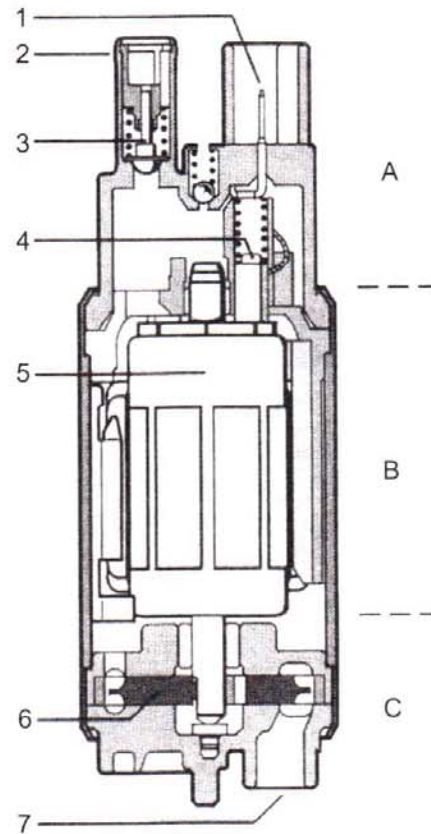
Elektryczna pompa paliwa składa się z trzech głównych części (rys. 1.20):

- pokrywy z przyłączami (część A);
- silnika elektrycznego (część B);
- części tłoczącej (część C).

Ze względu na typ części tłoczącej pompy paliwa dzieli się na wyporowe i przepływowe.

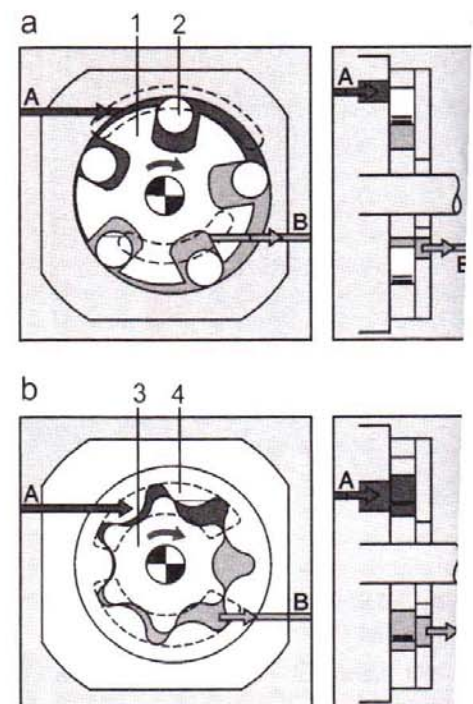
W pompie wyporowej wirujące elementy zasysają paliwo do zamkniętej przestrzeni, w której ulega ono sprężeniu, a następnie jest kierowane na stronę tłoczącą. Pompy wyporowe dobrze działają przy niskim napięciu, wytwarzając wysokie ciśnienie w układzie (400 kPa i więcej). Najczęściej stosuje się dwa typy pomp wyporowych: rolkowo-komorowe (rys. 1.21a) i zębate (rys. 1.21b), rzadziej pompy łopatkowe i śrubowe.

Elementem roboczym pompy przepływowej jest wirnik z licznymi łopatkami rozmieszczonymi na obwodzie. Obraca się on w komorze powstałej z dwóch nieruchomych połączonych części obudowy. W obudowie pompy, przy łopatkach wirnika są wykonane obwodowe kanały, które zaczynają się na wysokości otworu ssawnego i kończą w miejscu, w którym paliwo sprężone do odpowiedniego ciśnienia opu-



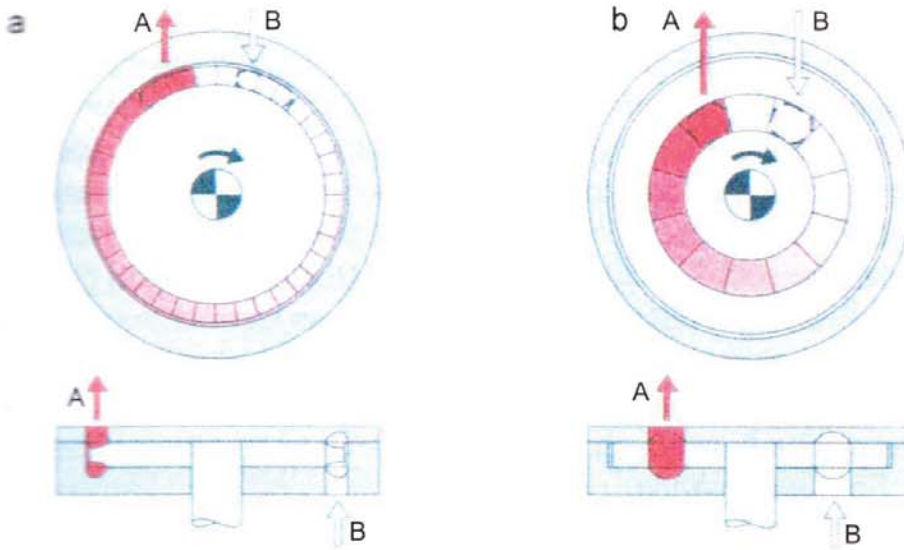
**Rys. 1.20.** Schemat elektrycznej pompy paliwa [42]

1 - złącze elektryczne, 2 - króciec odpływu paliwa, 3 - zawór bezpieczeństwa, 4 - szczotki węglowe, 5 - twornik silnika z magnesami trwałymi, 6 - wirnik pompy przepływowej, 7 - króciec dopływu paliwa  
A - pokrywa z przyłączami, B - silnik elektryczny, C - część tłocząca



**Rys. 1.21.** Wyporowe pompy paliwa [22]

a - pompa rolkowo-komorowa, b - pompa zębata  
1 - tarcza żłobkowana (mimośrodkowa), 2 - rolki, 3 - wirnik wewnętrzny, 4 - wirnik zewnętrzny (mimośrodkowy),  
A - otwór wlotowy, B - otwór wylotowy



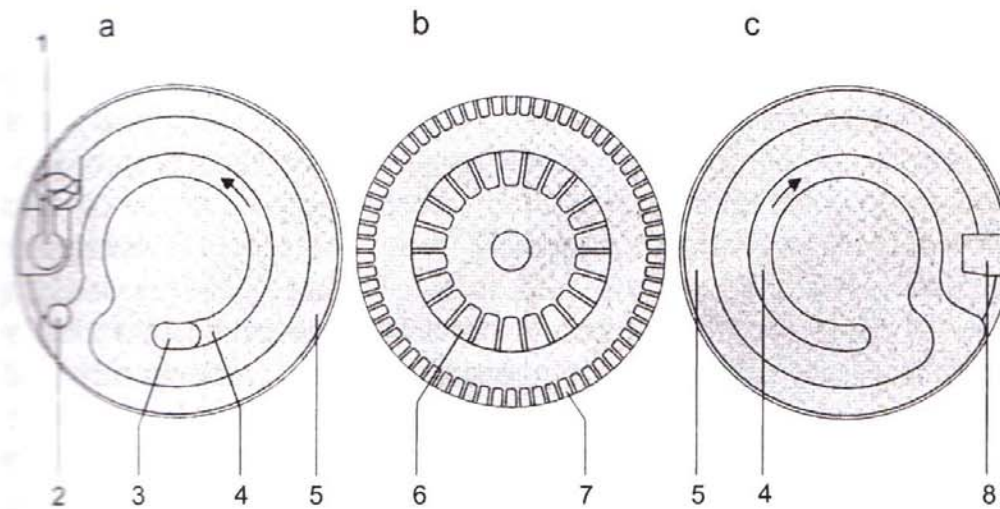
Rys. 1.22. Schematy tłoczenia paliwa w pompach przepływowych [42]

a – pompa obwodowo-wirnikowa, b – pompa boczno-wirnikowa  
 A – odpływ paliwa, B – dopływ paliwa

szcza pompę. Ciśnienie paliwa narasta wzdłuż kanału wskutek wymiany energii między łopatkami wirnika i cząstkami paliwa. W pompie przepływowej występuje spiralne wirowanie objętości paliwa znajdującego się w kanałach przepływowych oraz między łopatkami wirnika. Stosuje się dwa typy pomp przepływowych:

- obwodowo-wirnikową, w której kanał otacza łopatki wirnika na całym obwodzie (rys. 1.22a);
- boczno-wirnikową (kanałową), w której oba kanały leżą po obu stronach wirnika przy łopatkach (rys. 1.22b).

Pompy przepływowe buduje się również jako dwustopniowe (rys. 1.23). W tarczy pompy tego rodzaju znajdują się dwa rodzaje wirników: obwodowy



Rys. 1.23. Elementy dwustopniowej przepływowej pompy paliwa [42]

a – korpus od strony ssącej, b – obrotowa tarcza z łopatkami, c – korpus od strony ciśnieniowej  
 1 – zawór odpowietrzający, 2 – odgazowanie paliwa, 3 – zassanie paliwa do pompy kanałowej, 4 – kanał pompy boczno-wirnikowej (stopień wstępny), 5 – kanał pompy wirnikowej (pompa główna), 6 – łopatki pompy boczno-wirnikowej, 7 – łopatki pompy wirnikowej, 8 – strona ciśnieniowa pompy wirnikowej

i boczny, a w nieruchomych korpusach są wykonane kanały, którymi paliwo ze stopnia pierwszego pompy boczno-wirnikowej przepływa do stopnia drugiego pompy obwodowo-wirnikowej.

Elektryczna pompa paliwa pracuje w sposób ciągły niezależnie od warunków pracy silnika. Podczas jazdy samochodem niesprawność pompy paliwa wynikająca z niedostatecznego wydatku i ciśnienia tłoczenia objawia się spadkiem mocy silnika w warunkach nagłego wzrostu obciążenia silnika (wyprzedzanie, jazda pod górę).

Głównymi przyczynami usterek pomp paliwa są zanieczyszczenia oraz woda znajdujące się w paliwie. Bardzo niebezpieczna dla pompy (zwłaszcza wyporowej) jest nawet krótkotrwała praca na sucho. Prowadzi ona do zużycia współpracujących elementów tłoczących oraz przegrzania i przepalenia części elektrycznej pompy. Spadek wydatku pompy może być spowodowany zbyt niskim napięciem zasilania napędowego silnika elektrycznego pompy.

Diagnozowanie pompy paliwa polega na sprawdzeniu napięcia zasilania oraz ciśnienia i wydatku pompy. Sprawdzeniu podlegają złącza elektryczne pod względem ich czystości oraz gwarancji stałości połączenia. Wartość napięcia zasilania po odłączeniu przewodów elektrycznych od złącza pompy, po uprzednim zmostkowaniu przełącznika i włączeniu zapłonu, powinna być równa napięciu akumulatora. Pomiar ciśnienia paliwa przeprowadza się za pomocą manometru włączonego przed kolektor wtryskiwaczy (wtrysk wielopunktowy) lub zespół wtryskowy (wtrysk jednopunktowy), przy zmostkowanych stykach przełącznika pompy. Wydatek pompy paliwa sprawdza się za pomocą menzurki, do której kieruje się paliwo tłoczone przez przewód powrotny przy właściwym ciśnieniu w układzie. Zmierzone wartości ciśnienia i wydatku powinny być zgodne z danymi producenta silnika. W przypadku stwierdzenia zbyt niskich wartości parametrów kontrolnych pompę paliwa należy wymienić, gdyż jest ona elementem nienaprawialnym.

Uszkodzenia układu zasilania powstające podczas wypadku samochodu stwarzają niebezpieczeństwo wycieku paliwa na zewnątrz i możliwość pożaru pojazdu. Aby temu zapobiec, stosuje się zabezpieczenia mające na celu wyłączenie zasilania elektrycznego pompy paliwa w przypadku silnego uderzenia samochodu o przeszkodę. Najprostszym rozwiązaniem jest wyłącznik bezwładnościowy (nazywany również wstrząsowym lub uderzeniowym). Może on być umieszczony w różnych miejscach nadwozia samochodu. W większości pojazdów wyłącznik jest zamontowany pod tablicą rozdzielczą (zwykle po stronie kierowcy). Konstruktorzy umieszczają go również w przedziale silnika (zwykle w okolicy nadkola) lub w innym miejscu wnętrza samochodu (pod fotelem kierowcy, na tunelu środkowym). Wyłącznik bezwładnościowy ma postać tulei, w której znajduje się ciężarek w kształcie walca lub kulki. Po uderzeniu samochodu o przeszkodę przesuwa się on bezwładnościowo wybijając jeden ze styków i tym samym przerywa dopływ prądu do przełącznika pompy paliwa. W celu uruchomienia pojazdu należy wcisnąć przycisk zwykle umieszczony na wyłączniku (pod gumową osłoną), aby ponownie zewrzeć styki, umożliwiając elektryczne zasilanie pompy. Wyłączniki bezwładnościowe

są nienaprawialne i w razie konieczności wymiany muszą być dopasowane do określonego modelu i marki samochodu.

W nowszych konstrukcjach samochodów zadanie wyłącznika bezwładnościowego przejął sterownik silnika, który odcina zasilanie pompy w przypadku uderzenia samochodu o przeszkodę wykrytego przez czujnik przyspieszenia (wykorzystywany również do sterowania poduszek powietrznych). W jeszcze innych pojazdach, np. w samochodach BMW, odcięcie zasilania elektrycznego całego pojazdu w razie wykrycia zderzenia z przeszkodą realizuje się przez eksplozję ładunku pirotechnicznego umieszczonego pod obejmą przewodu akumulatora.

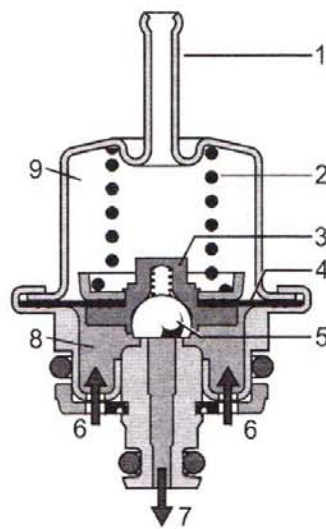
### Regulator ciśnienia paliwa

Zależnie od rodzaju zastosowanego obwodu zasilania paliwem regulator ciśnienia paliwa utrzymuje stałą różnicę ciśnień między kolektorem dolotowym i zasobnikiem paliwa albo zapewnia stałe ciśnienie w obwodzie względem otoczenia.

Schemat regulatora utrzymującego stałą różnicę ciśnień między kolektorem dolotowym i zasobnikiem paliwa przedstawiono na rysunku 1.24. W regulatorze komorę paliwa od komory powietrza oddziela elastyczna przepona. W komorze powietrza jest osadzona sprężyna, która przez podstawę zaworu połączoną z przeponą dociska zawór do gniazda. Zawór jest zamknięty, uniemożliwiając odpływ paliwa do zbiornika, gdy siła nacisku sprężyny jest większa od siły parcia paliwa na przeponę. Gdy, w wyniku wzrostu ciśnienia, siła parcia paliwa przekroczy siłę nacisku sprężyny, przepona unosi się, otwierając zawór i umożliwiając odpływ paliwa do zbiornika. Wyływ paliwa powoduje spadek jego ciśnienia do wartości, przy której sprężyna doprowadzi do zamknięcia zaworu. Aby uzyskać stałą różnicę ciśnień między kolektorem dolotowym i zasobnikiem paliwa, do komory powietrza doprowadza się podciśnienie panujące w kolektorze dolotowym za przepustnicą. Dzięki temu otwarcie zaworu w regulatorze ciśnienia zależy od siły nacisku sprężyny oraz różnicy ciśnień między ciśnieniem paliwa i podciśnieniem w komorze powietrza działającej na przeponę. Na przeponie występuje więc taki sam stosunek ciśnień jak na wtryskiwaczach.

W regulatorach utrzymujących stałą wartość ciśnienia paliwa względem ciśnienia otoczenia w komorze powietrza panuje ciśnienie atmosferyczne.

Poprawność działania regulatora ciśnienia paliwa sprawdza się, mierząc ciśnienie panujące w obwodzie.



Rys. 1.24. Regulator ciśnienia paliwa [22]

1 – króciec przewodu połączony z kolektorem dolotowym, 2 – sprężyna, 3 – podstawa zaworu, 4 – przepona, 5 – zawór, 6 – dopływ paliwa, 7 – odpływ nadmiaru paliwa, 8 – komora paliwa, 9 – komora powietrza

W przypadku regulatora z doprowadzonym podciśnieniem obserwuje się zmiany ciśnienia paliwa wywołane zmianą warunków pracy silnika (podciśnienia w kolektorze dolotowym). Taki regulator można dokładnie sprawdzić, podłączając do niego pompkę podciśnieniową. Zmiana wartości ciśnienia paliwa powinna odpowiadać zmianie wartości wytworzonego podciśnienia. Brak zmian ciśnienia paliwa zwykle wynika z nieszczelności przewodu łączącego regulator z kolektorem dolotowym.

### Wtryskiwacze paliwa

W elektronicznie sterowanych układach wtrysku benzyny stosuje się wtryskiwacze elektromagnetyczne uruchamiane sygnałem ze sterownika silnika. Dozowanie paliwa przez wtryskiwacz realizuje się, ustalając czas jego otwarcia.

Zadaniem wtryskiwacza paliwa w układzie zasilania jest:

- wprowadzenie do komory spalania minimalnej i maksymalnej dawki paliwa, zależnej od chwilowego zapotrzebowania silnika;
- właściwe rozpylanie wtryskiwanego paliwa;
- zapewnienie szczelności przy unieruchomionym silniku;
- niezawodny rozruch gorącego silnika;
- zapewnienie stałych parametrów pracy przez cały okres użytkowania.

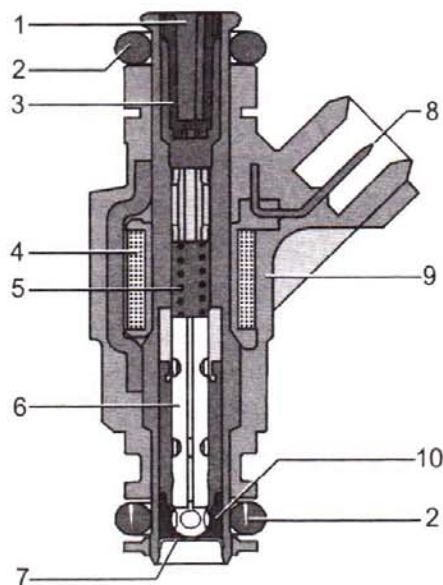
Ze względu na realizowane zadania wtryskiwacze paliwa odgrywają bardzo ważną rolę w procesie przygotowywania mieszanki paliwowo-powietrznej.

Elektromagnetyczny wtryskiwacz paliwa (rys. 1.25) składa się z następujących głównych części:

- obudowy z gniazdem złącza elektrycznego i króćcem dopływu paliwa;
- ruchomej iglicy rozpylacza z kotwicą magnetyczną i kulką uszczelniającą;
- gniazda iglicy z płytką rozpylacza;
- cewki elektromagnetycznej;
- sprężyny.

Współczesne wtryskiwacze charakteryzuje osiowy kierunek dopływu paliwa z góry na dół. Przewód dopływu paliwa jest mocowany zaciskowo do króćca wtryskiwacza, a pierścień uszczelniający o przekroju okrągłym (tzw. O-ring) umieszczony na króćcu dopływu paliwa zapewnia szczelność połączenia. Wtryskiwacz paliwa jest wciśnięty w specjalny otwór w kanale dolotowym, a szczelność połączenia zapewnia dolny pierścień uszczelniający.

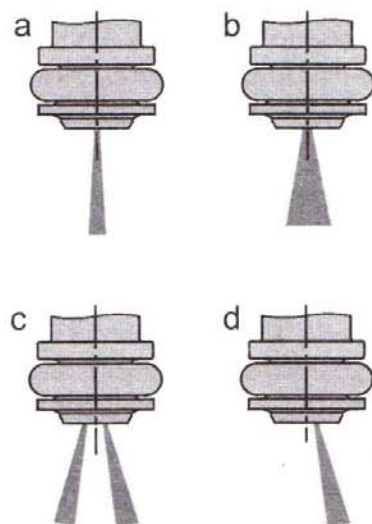
Do wnętrza wtryskiwacza paliwo wpływa przez filtr siatkowy, a następnie centralnym kanałem dopływa do



**Rys. 1.25.** Elektromagnetyczny wtryskiwacz benzyny [22]

1 – króciec dopływu paliwa, 2 – pierścień uszczelniający, 3 – filtr siatkowy, 4 – cewka, 5 – sprężyna, 6 – iglica rozpylacza z kotwicą magnetyczną i kulką uszczelniającą, 7 – płytkę iglicy rozpylacza, 8 – złącze elektryczne, 9 – obudowa wtryskiwacza, 10 – gniazdo iglicy rozpylacza

kalibrowanego otworu rozpylacza. Gdy cewka elektromagnetyczna nie jest zasilana elektrycznie, wówczas siła sprężyny oraz siła wynikająca z ciśnienia paliwa dociskają kulkę zaworu iglicowego do gniazda. W tym stanie wtryskiwacz jest zamknięty. Włączenie zasilania elektrycznego cewki wtryskiwacza wywołuje powstanie pola elektromagnetycznego, którego siła podnosi iglicę rozpylacza i umożliwia wtrysk paliwa. Po wyłączeniu zasilania elektrycznego zawór iglicowy znów zostaje zamknięty siłą sprężyny. Rozpylenie paliwa umożliwia płytka rozpylacza o jednym lub wielu (do 12)



**Rys. 1.26.** Kształty strumienia paliwa [22]

a – strumień iglicowy, b – strumień stożkowy, c – strumień podwójny, d – strumień odchylony

otworkach. Kształt strugi wtryskiwanego paliwa zależy od liczby i usytuowania otworków rozpylacza. Efekty wytwarzania strumienia wtryskiwanego paliwa, tzn. kształt strumienia, kąt rozwarcia i wielkość kropli, bezpośrednio wpływają na jakość mieszanki palnej. Płytki rozpylaczy dobiera się indywidualnie do cech konstrukcyjnych układu dolotowego silnika i miejsca umieszczenia wtryskiwacza. Rozróżnia się kilka podstawowych kształtów strumienia paliwa (rys. 1.26):

- strumień iglicowy, wytwarzany przez rozpylacz jednootworowy, ma wąską, zwartą, intensywną strugę, ograniczającą znacznie efekt osiadania paliwa na ściankach kanału dolotowego; tak rozpylające wtryskiwacze, ze względu na słabe rozpylenie paliwa, stosuje się w wyjątkowych przypadkach przy dużej odległości miejsca wtrysku od zaworu dolotowego, a także w razie występowania wąskich kanałów dolotowych;
- strumień stożkowy, wytwarzany przez rozpylacz wielootworowy o otworach rozmieszczonych symetrycznie, ma wiele strumieni paliwa tworzących strugę o kształcie stożka; typowym zastosowaniem wtryskiwaczy o takiej charakterystyce rozpylenia są silniki o jednym zaworze dolotowym na cylinder;
- strumień podwójny, wytwarzany przez rozpylacz wielootworowy o otworach usytuowanych w specjalny sposób, które mogą tworzyć dwa stożki złożone z większej liczby strumieni, wypływające z wtryskiwacza przed dwa zawory dolotowe;
- strumień odchylony, wytwarzany przez wtryskiwacz wielootworowy o otworach rozmieszczonych niesymetrycznie, stosowany w trudnych warunkach zabudowy wtryskiwacza w głowicy silnika.

Podstawowymi parametrami wtryskiwaczy elektromagnetycznych są:

- rezystancja cewki elektromagnetycznej wtryskiwacza;
- wydatek paliwa przy określonym ciśnieniu w obwodzie zasilania paliwem.

W starszych rozwiązaniach rezystancja cewki elektromagnetycznej wynosiła ok. 2...3  $\Omega$ , obecnie wynosi ona ok. 5...17  $\Omega$ .

Elektromagnetyczny wtryskiwacz benzyny może ulec uszkodzeniu elektrycznemu (zwarcie lub przepalenie uzwojenia cewki) lub mechanicznemu. Uszkodzenia mechaniczne powodują zanieczyszczenia gromadzące się głównie w okolicy rozpylacza, skutecznie zatrzymujące przepływ paliwa, ograniczając tym samym dawkę wtryskiwanego paliwa oraz zmieniając charakterystykę rozpylenia paliwa. Przy niewielkich zanieczyszczeniach układ wtryskowy, wykorzystując mechanizm adaptacji, wydłuża czas otwarcia wtryskiwacza. Natomiast większe zanieczyszczenia tak bardzo utrudniają przepływ paliwa, że znacznie zubożona mieszanka uniemożliwia normalną pracę silnika. Skutkiem nieprawidłowej pracy wtryskiwacza jest nierównomierna praca i spadek mocy silnika, trudności z rozruchem silnika, zwiększone zużycie paliwa oraz wzrost emisji toksycznych składników spalin (głównie węglowodorów).

W celu przeprowadzenia testu działania wtryskiwacza jest konieczne jego wymontowanie z silnika. Do tego niezbędne jest specjalistyczne urządzenie do czyszczenia i testowania wtryskiwaczy (rys. 1.27). Umożliwia ono przeprowadzenie:

- testu szczelności wtryskiwacza;
- porównawczego pomiaru ilości wtrysniętego paliwa;
- oceny obrazu strugi paliwa.

Dodatkowo urządzenie to pozwala na czyszczenie wtryskiwaczy w wannie ultradźwiękowej z jednoczesnym wysterowaniem elektrycznym wtryskiwaczy. Możliwy jest również wymuszony przepływ wsteczny płynu kontrolnego. Funkcja ta jest bardzo przydatna, gdyż dzięki niej można wypłukać większe zanieczyszczenia zalegające na dnie filtra siatkowego, znajdującego się na wlocie paliwa do wnętrza wtryskiwacza.

Testowanie wtryskiwaczy może odbywać się w trybie automatycznym lub ręcznym, po wybraniu własnych nastaw parametrów wysterowania wtryskiwaczy. Po uruchomieniu testu w sposób automatyczny jest przeprowadzany pomiar rezystancji wtryskiwaczy, wynik badania jest wyświetlany na ekranie urządzenia. Następnie jest wykonywany test szczelności wtryskiwaczy. W ciągu minuty ani jedna kropla płynu testującego nie może wydostać się z wnętrza



**Rys. 1.27.** Urządzenie do czyszczenia i testowania wtryskiwaczy benzyny [42]

każdego wtryskiwacza. W ten sposób jest testowana szczelność iglicy i gniazda zaworu wtryskiwacza. Następnie są uruchamiane testy objętościowe wtryskiwaczy. Płyn testujący, pod określonym dla danego typu wtryskiwacza ciśnieniem, jest rozpylany równocześnie przez wtryskiwacze do menzurek pomiarowych, więc oprócz dawek pomiarowych można ocenić także obraz strugi płynu kontrolnego. Na podstawie porównania wyników badań i obserwacji można wskazać uszkodzone lub zanieczyszczone wtryskiwacze. W celu usunięcia zanieczyszczeń wtryskiwacze poddaje się czyszczeniu ultradźwiękowemu. Funkcja ta służy do czyszczenia oraz usuwania osadów węgla z kilku wtryskiwaczy jednocześnie za pomocą generatora ultradźwiękowego. Proces jednoczesnego sterowania wtryskiwaczami i generowania ultradźwięków o odpowiedniej częstotliwości w płynie czyszczącym powoduje rozkład i oczyszczenie zapieczonych osadów.

### Obwód dopływu powietrza

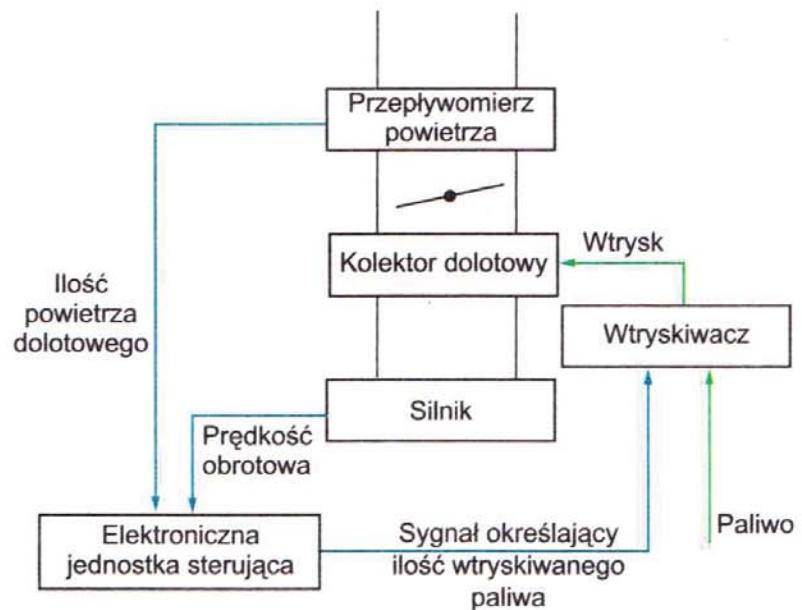
Obwód dopływu powietrza odpowiada za doprowadzenie do cylindrów dostosowanej do warunków pracy silnika, odpowiedniej ilości powietrza, do którego będzie wtrysnięte paliwo (ilościowa regulacja mocy).

W obwodzie dopływu powietrza są realizowane cztery funkcje układu pośredniego wielopunktowego wtrysku benzyny:

- pomiar ilości (masy) ładunku powietrza;
- regulacja ilości powietrza kierowanego do cylindrów silnika;
- regulacja prędkości obrotowej biegu jałowego;
- regulacja odprowadzania par paliwa ze zbiornika.

W układach pośredniego wielopunktowego wtrysku benzyny stosuje się dwie metody określania ilości ładunku powietrza:

- bezpośrednią, wykorzystującą przepływomierz powietrza (rys. 1.28),
- pośrednią, realizowaną przez pomiar ciśnienia powietrza w kolektorze dolotowym silnika (rys. 1.29).



Rys. 1.28. Obwód dopływu powietrza układu wtryskowego z przepływomierzem [29]

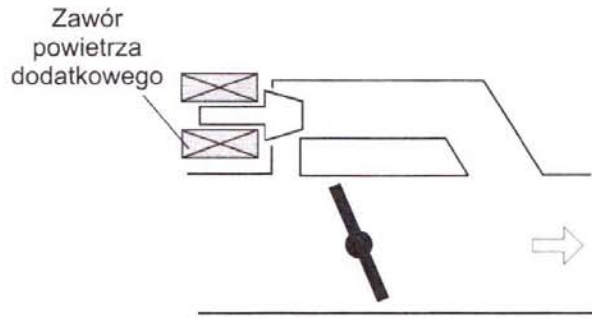


biegu jałowym przepustnica jest zamknięta, co uniemożliwia doprowadzenie powietrza do cylindrów. Dlatego jest konieczne stosowanie układu regulacji prędkości obrotowej, który umożliwia doprowadzenie do cylindrów powietrza niezbędnego do utrzymania minimalnej prędkości obrotowej w tym stanie pracy. Doprowadzenie dodatkowego powietrza może być realizowane dwoma sposobami:

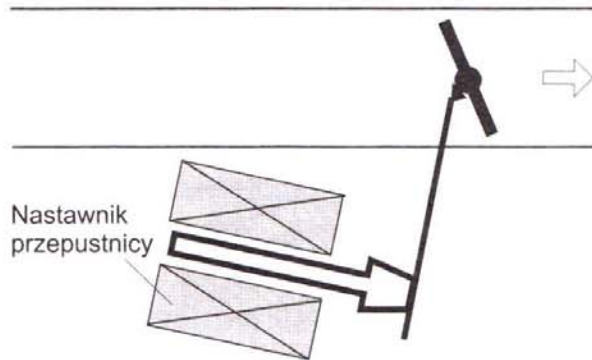
- zmianą przekroju czynnego kanału obejściowego przepustnicy, w którym jest umieszczony zawór powietrza dodatkowego (rys. 1.30);
- wstępnym uchYLENIEM przepustnicy regulowanym nastawnikiem przepustnicy (rys. 1.31).

W pierwszym przypadku w układzie dolotowym wokół przepustnicy jest wykonany kanał obejściowy, przez który powietrze może przepływać niezależnie od jej zamknięcia. Przepływ powietrza przez ten kanał jest regulowany zaworem powietrza dodatkowego. W starych rozwiązaniach układów wtryskowych, w których sterownik nadzorował jedynie wtrysk paliwa, prędkość obrotowa biegu jałowego (doprowadzenie dodatkowego powietrza) była regulowana termicznie, przez zawory z elementem termorozszerzalnym lub elementem bimetalowym.

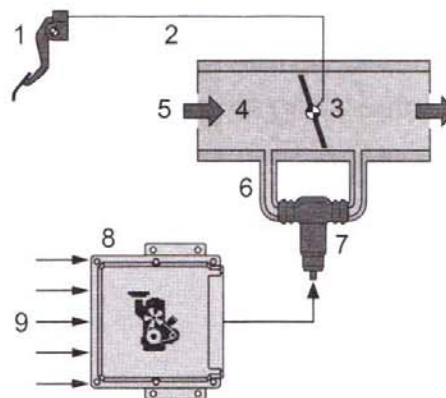
We współczesnych systemach sterowania silnika jedną z funkcji sterownika jest elektroniczna regulacja prędkości obrotowej biegu jałowego. Elementem wykonawczym jest zawór powietrza dodatkowego, nazywany regulatorem biegu jałowego (rys. 1.32). Najczęściej stosuje się zawór powietrza dodatkowego z silnikiem krokowym (rys. 1.33), który charakteryzuje się odpowiednią szybkością działania i dużą dokładnością. Sterownik silnika ustala położenie grzybka zaworu w kanale obejściowym przepustnicy, umożliwiające przepływ



**Rys. 1.30.** Sterowanie dodatkowym powietrzem przez zmianę przekroju kanału obejściowego przepustnicy [11]

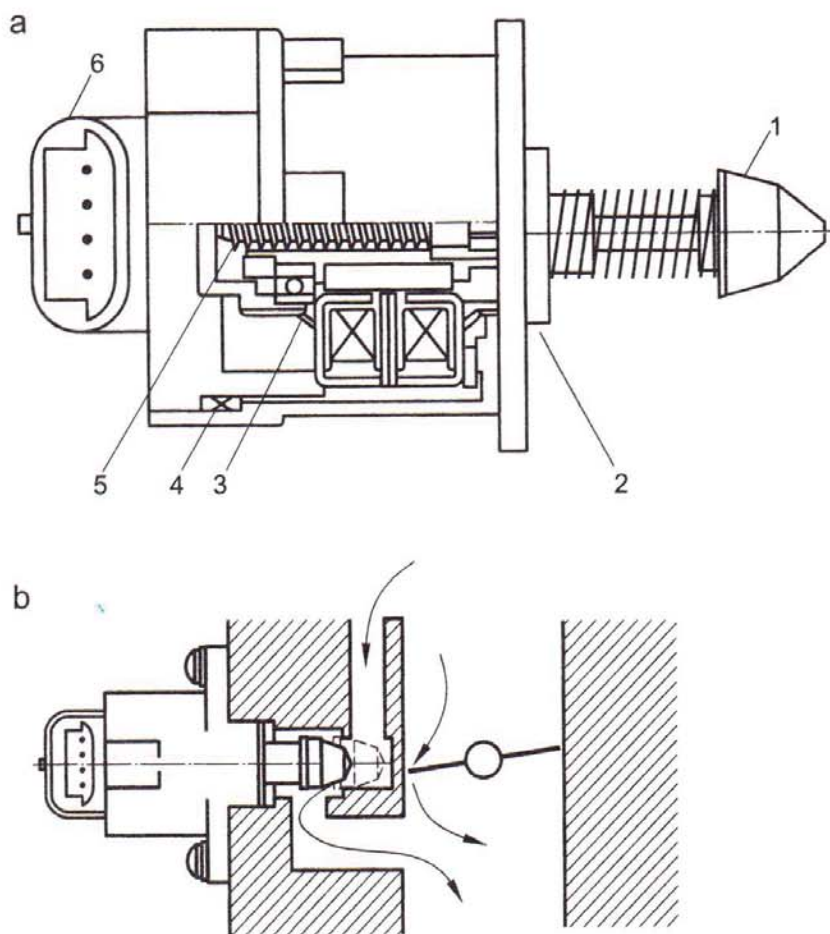


**Rys. 1.31.** Sterowanie dodatkowym powietrzem przez uchylanie przepustnicy [11]



**Rys. 1.32.** Zasada sterowania dopływem dodatkowego powietrza przez kanał obejściowy przepustnicy [22]

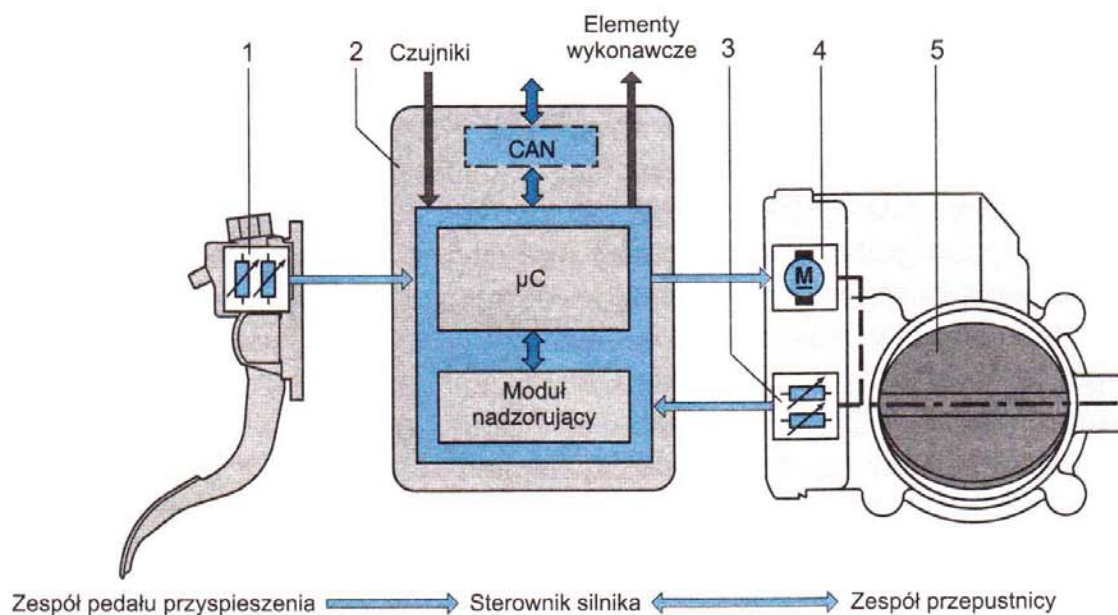
1 – pedał przyspieszenia, 2 – ciągnio lub dźwignia przepustnicy, 3 – przepustnica, 4 – kanał dolotowy, 5 – strumień powietrza, 6 – kanał obejściowy przepustnicy, 7 – regulator biegu jałowego, 8 – sterownik silnika, 9 – sygnały wejściowe do sterownika



**Rys. 1.33.** Zawór powietrza dodatkowego z silnikiem krokowym [29]

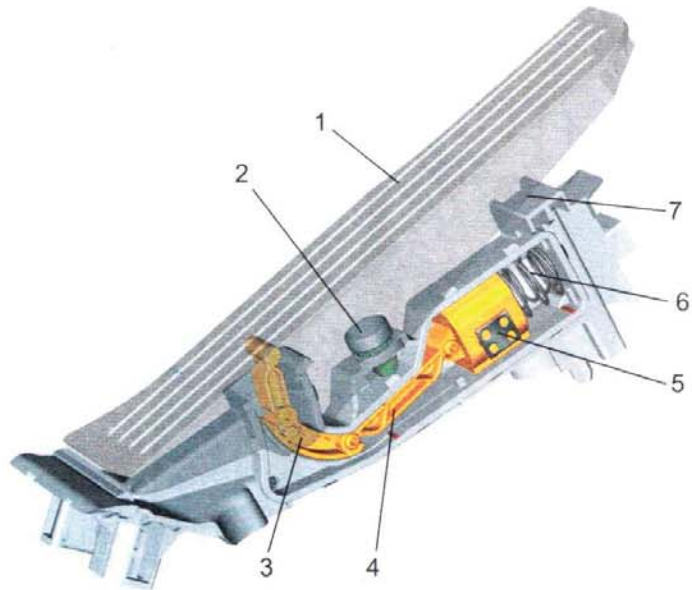
a – budowa, b – zasada działania

1 – grzybek zaworu, 2 – przednia podpora łożyska, 3 – łożysko tylne, 4 – uszczelniacz, 5 – trzpień gwintowany, 6 – gniazdo wtykowe złącza



**Rys. 1.34.** Układ elektronicznego sterowania przepustnicą [22]

1 – czujnik położenia pedału przyspieszenia, 2 – sterownik silnika, 3 – czujnik położenia przepustnicy, 4 – nastawnik przepustnicy, 5 – przepustnica



**Rys. 1.35.** Przekrój pedału przyspieszenia [20]

1 – pedał przyspieszenia, 2 – element siłownika dla układu kick-down, 3 – element cierny mechanizmu pedału, 4 – mechanizm pedału, 5 – płytka metalowa, 6 – zestaw dwóch sprężyn, 7 – odbój pedału

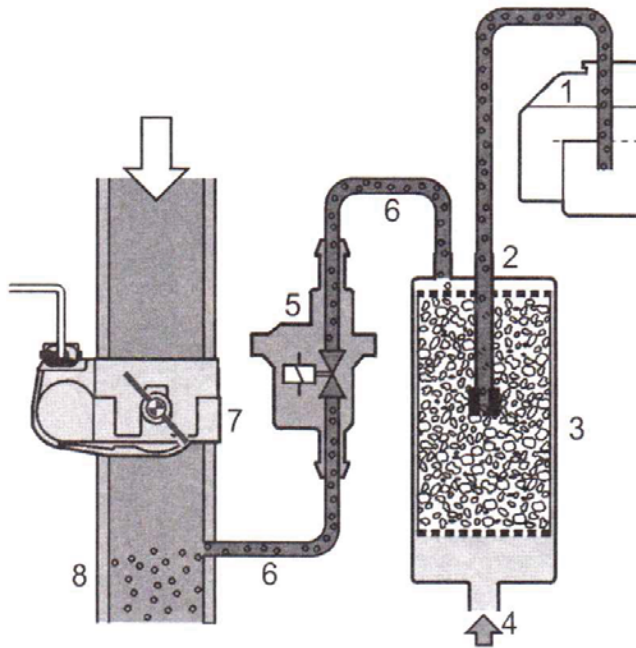
określonej ilości powietrza przez ten kanał. Przy sterowaniu elektronicznym doprowadzanie dodatkowego powietrza kanałem obejściowym przepustnicy jest wykorzystywane również do efektywnego hamowania silnikiem oraz łagodnej zmiany momentu obrotowego przy częściowych obciążeniach silnika.

W innym rozwiązaniu dodatkowe powietrze do stabilizacji prędkości obrotowej biegu jałowego jest doprowadzane głównym kanałem dolotowym w wyniku wstępnego uchylenia przepustnicy regulowanego nastawnikiem przepustnicy.

Dodatkowe powietrze napełniające cylindry jest wykrywane przez przepływomierz powietrza lub czujnik ciśnienia w układzie dolotowym. Aby uzyskać stabilizację prędkości obrotowej biegu jałowego do zadanej w sterowniku i utrzymać skład stechiometryczny składu mieszanki, wtryskiwacze są otwierane na dłuższy czas. Płynne sterowanie elementów wykonawczych sprawia, że regulacja prędkości obrotowej na biegu jałowym jest niezauważalna dla kierującego pojazdem.

W nowych silnikach wykorzystuje się elektroniczne sterowanie mocy silnika w całym zakresie jego pracy, uzyskiwane przez otwieranie przepustnicy silnikiem elektrycznym sprzężonym z czujnikiem położenia przepustnicy (całe urządzenie jest nazywane zespołem przepustnicy lub nastawnikiem przepustnicy, rys. 1.34). W układzie elektronicznego sterowania przepustnicą występuje tzw. elektroniczny pedał przyspieszenia zintegrowany z czujnikami (rys. 1.35). Są to czujniki bezstykowe, wykorzystujące zjawisko indukcji elektromagnetycznej. Dla zwiększenia bezawaryjności działania stosuje się dwa czujniki położenia pedału działające niezależnie. Jeżeli przestanie działać jeden z tych czujników, zapala się lampka kontrolna w zestawie wskaźników i usterka zostaje zapisana w pamięci sterownika. W razie wystąpienia awarii obu czujników przepustnica przyjmuje stałe położenie (tryb bezpiecznego działania silnika) i silnik pracuje ze zwiększoną prędkością obrotową (ok. 1500 obr/min), umożliwiającą dojazd do stacji obsługi.

Wciśnięcie pedału przyspieszenia jest rejestrowane przez jego czujnik i sygnał o tym zostaje przesłany do sterownika silnika. W celu zrealizowania dyspozycji



**Rys. 1.36.** Układ odprowadzania par paliwa [22]

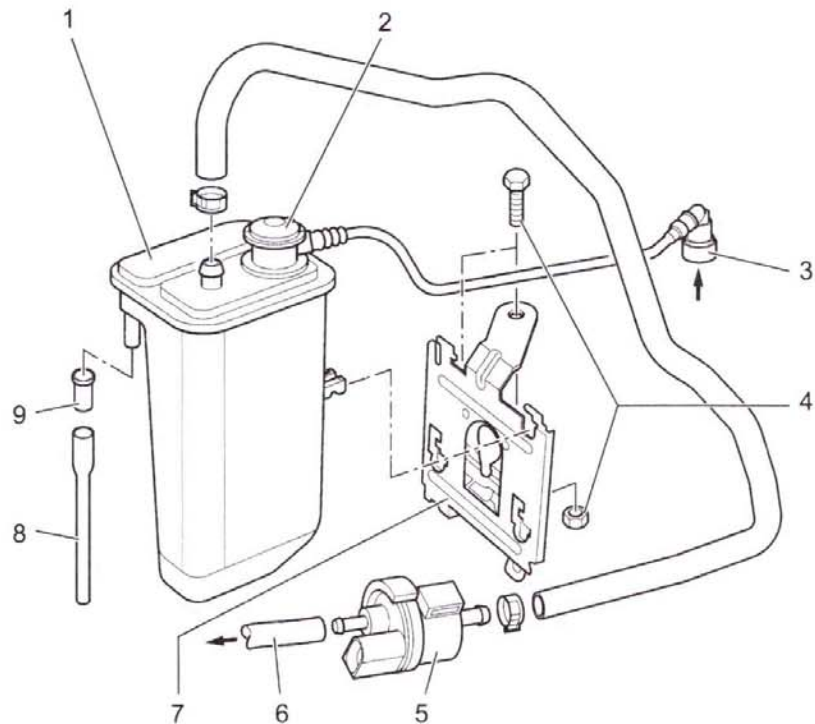
1 – zbiornik paliwa, 2 – przewód odpowietrzania zbiornika, 3 – pojemnik z węglem aktywnym, 4 – świeże powietrze, 5 – zawór regeneracyjny, 6 – przewód połączony z kolektorem dolotowym, 7 – przepustnica, 8 – kolektor dolotowy

kierowcy, dotyczącej odpowiedniego otwarcia przepustnicy, sterownik oblicza wartość sygnału sterującego, uwzględniając aktualny stan pracy silnika (prędkość obrotową, temperaturę silnika itp.) i przesyła sygnał uruchamiający silnik elektryczny w nastawniku przepustnicy. Silnik powoduje obrót przepustnicy o odpowiedni kąt, w zależności od tego, jak głęboko wciśnięto pedał przyspieszenia. Czujnik położenia przepustnicy dostarcza sterownikowi silnika informację zwrotną o jej chwilowym położeniu, co umożliwia dokładne utrzymanie przepustnicy w żądanym położeniu.

Zadaniem układu odprowadzania par paliwa (rys. 1.36) do obwodu dopływu powietrza jest zmniejszenie emisji węglowodorów wynikającej z odparowania i ulatniania się do atmosfery lekkich frakcji paliwa znajdującego się w zbiorniku. Przyczynami wzrostu intensywności parowania paliwa ze zbiornika są:

- nagrzewanie paliwa w zbiorniku wskutek wyższej temperatury otoczenia albo z powodu dopływu do zbiornika nagrzanego nadmiaru paliwa powracającego przewodem odpływu;
- obniżenie się ciśnienia otoczenia, np. podczas jazdy w górach.

Podstawowym elementem układu odprowadzania par paliwa (rys. 1.37) jest filtr – pochłaniacz par paliwa. Filtr jest napełniony węglem aktywnym, zwanym także aktywowanym, który ma postać lekkiego granulatu, o możliwie dużym stosunku powierzchni do objętości, warunkującym zdolność wchłaniania węglowodorów. W zasadzie filtr ten jest wykonany w sposób gwarantujący zachowanie prawidłowych właściwości przez cały okres eksploatacji samochodu. Szczególnie szkodliwe oddziaływanie wykazują zawarte w paliwie związki chemiczne, charakteryzujące się strukturą zbliżoną do kwasów. Filtr z węglem aktywnym pochłania pary paliwa powstające w czasie jazdy w zbiorniku paliwa, a gdy ulegnie nasyceniu, oddaje węglowodory do powietrza kierowanego do kolektora dolotowego i cylindrów, w których ulegają one spalaniu. Aby zapewnić prawidłowe działanie układu odprowadzania par paliwa, konieczne jest za-



**Rys. 1.37.** Elementy układu odprowadzania par paliwa [20]

1 – pojemnik z węglem aktywnym, 2 – zawór ciśnieniowy z przewodem, 3 – przewód powietrza do zbiornika paliwa, 4 – śruba i nakrętka mocująca, 5 – zawór regeneracyjny, 6 – przewód powietrza do kolektora dolotowego, 7 – uchwyt pojemnika z węglem aktywnym, 8 – przewód odpowietrzający, 9 – uszczelniacz przewodu odpowietrzającego

stosowanie, oprócz filtra, zaworu sterującego przepływem par paliwa oraz szczelnych połączeń. Zawór ten, nazywany regeneracyjnym, jest uruchamiany sygnałem ze sterownika silnika i działa tylko wtedy, kiedy jest włączony zapłon silnika. Przy zamkniętym zaworze węgiel aktywny wchłania parę paliwa powstającą w zbiorniku i przepuszcza tylko powietrze opuszczające zbiornik. Gdy zawór jest otwarty, na skutek podciśnienia panującego w kanale dolotowym powietrze jest zasysane i podczas przepływu przez filtr przejmuje zaabsorbowane paliwo (regenerując w ten sposób węgiel aktywny w pojemniku) oraz dalej jest kierowane do kanału dolotowego. W celu zachowania właściwego składu mieszanki sterownik zmniejsza dawkę wtryskiwanego paliwa o ilość paliwa doprowadzanego do spalania przez zawór regeneracyjny. Sterowanie zaworem regeneracyjnym odbywa się na podstawie ciągłej obserwacji zmiany współczynnika nadmiaru powietrza wywołanej dopływem par paliwa z układu odprowadzania par paliwa do układu dolotowego. Ilość odprowadzanych z układu par paliwa jest regulowana zależnie od stanu pracy silnika. Węgiel aktywny w pojemniku odzyskuje zdolność pochłaniania odparowanego paliwa dzięki ciągłej regeneracji.

Elementarna procedura diagnostyczna układu odprowadzania par paliwa polega na kontroli parametrów elektrycznych zaworu regeneracyjnego. Do oceny pracy układu wykorzystuje się również sygnał czujnika tlenu w spalinach, określając wpływ trybu pracy filtra z zaworem regeneracyjnym na skład mieszanki spalanej przez silnik. W chwili otwarcia zaworu i przepływu powietrza z paliwem z filtra do układu dolotowego powinno nastąpić wzbogacenie mieszanki sygnalizowane przez czujnik tlenu w spalinach. Brak sygnału charakterystycznego dla wzbogacenia mieszanki oznacza, że filtr utracił zdolność pochłaniania par paliwa, co jest równoznaczne z usterką.

**Obwód sterowania elektronicznego** przedstawiono w podrozdziale 1.3.6.

### 1.3.4. Pośredni jednopunktowy wtrysk benzyny sterowany elektronicznie

W układach pośredniego wtrysku jednopunktowego paliwo jest rozpylane nad przepustnicą przez wtryskiwacz wspólny dla wszystkich cylindrów. Podobnie jak w układach wielopunktowych, również w układach jednopunktowych zapewnienie odpowiedniego składu mieszanki wynika z dostosowania wydatku paliwa do mierzonego wydatku powietrza dostarczanego do silnika. Wtryskiwacz rozpyla paliwo w sposób impulsowy, a dawka paliwa zależy od stosunku czasów jego otwarcia i zamknięcia.

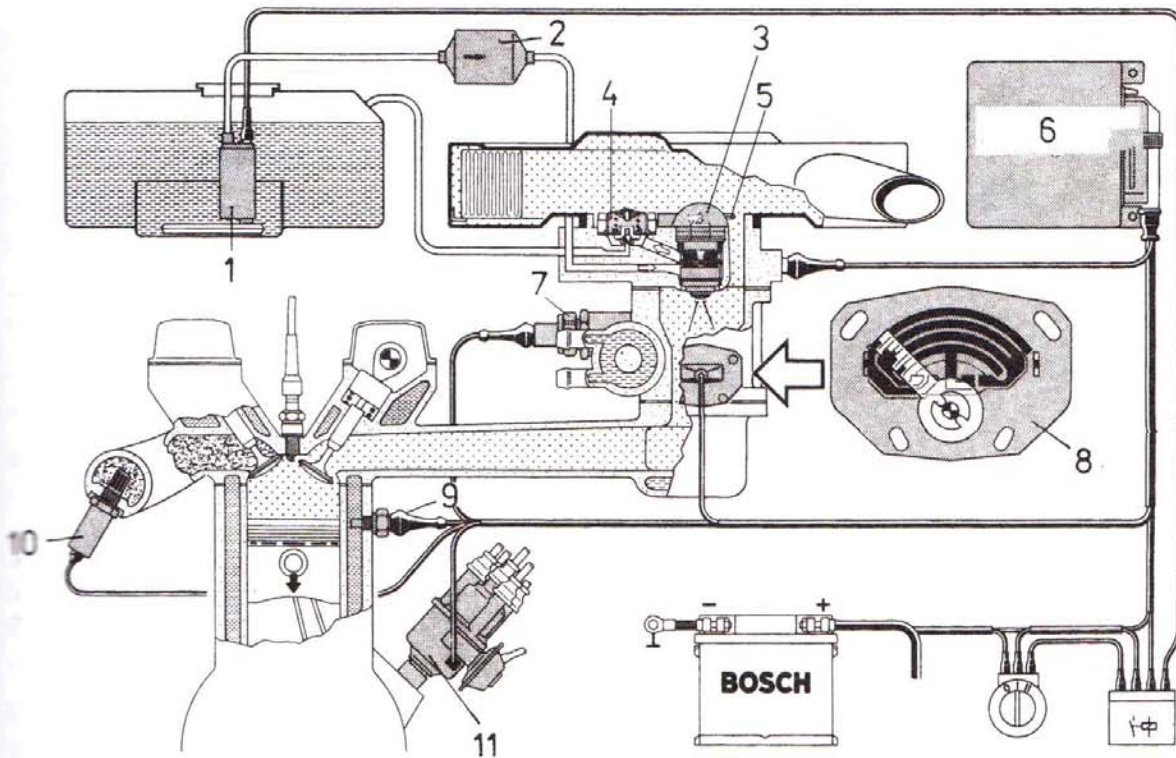
Ze względu na metodę określania wydatku powietrza dostarczanego do cylindrów rozróżnia się układy jednopunktowe:

- z pomiarem ciśnienia w kolektorze dolotowym za pomocą czujnika ciśnienia powietrza;
- z pośrednim określaniem wydatku dopływającego powietrza na podstawie sygnału z czujnika położenia przepustnicy.

Układy pierwszego rodzaju budowano na bazie pośredniego wielopunktowego wtrysku benzyny tego typu z dostosowaniem do jednopunktowego wtryskiwania paliwa, natomiast układy drugiego rodzaju firma Bosch stworzyła od podstaw, wykorzystując metodę określania wydatku powietrza stosowaną tylko w tym układzie.

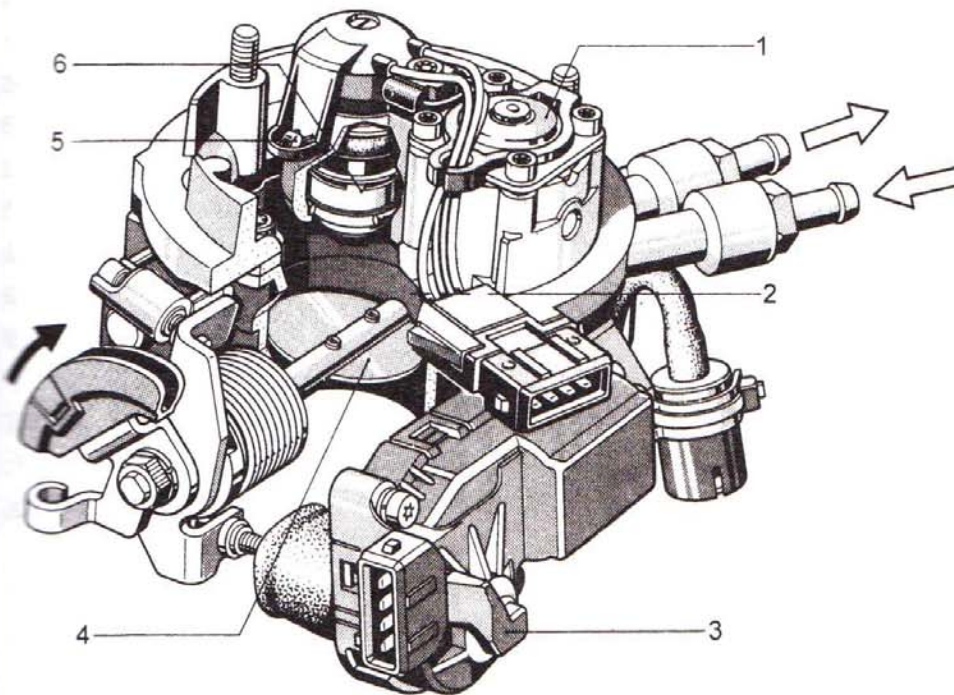
Schemat układu pośredniego jednopunktowego wtrysku benzyny z pośrednim określaniem ilości dopływającego powietrza przedstawiono na rysunku 1.38. Paliwo jest tłoczone ze zbiornika przez elektryczną pompę zasilającą. Po oczyszczeniu w filtrze paliwo jest kierowane do zespołu wtryskowego.

Zespół wtryskowy (rys. 1.39) to główny element konstrukcyjny układu, zamontowany na kolektorze dolotowym silnika, który zawiera: regulator ciśnienia paliwa, czujnik położenia przepustnicy, nastawnik przepustnicy, przepustnicę, czujnik temperatury powietrza oraz wtryskiwacz paliwa. Wewnętrzny kanał zespołu wtryskowego paliwo dopływa do wtryskiwacza i regulatora ciśnienia (rys. 1.40). Gdy wtryskiwacz jest otwarty, paliwo jest rozpylane w formie stożka do gardzieli nad górną krawędź przepustnicy. Dzięki dużej prędkości przepływu powietrza w tym miejscu krople paliwa są skutecznie rozdrabniane. Pomimo technicznej możliwości zsynchronizowania chwili wystąpienia wtrysku z cyklami pracy cylindrów nie stosuje się tego rozwiązania ze względu na niemożliwość obliczenia, kiedy określona dawka dotrze do cylindra. Rozdział paliwa do cylindrów, ze względu na skomplikowane zjawiska zachodzące w kolektorze dolotowym, jest dość przypadkowy. W układach wtrysku jednopunktowego paliwo jest rozpylane przez wtryskiwacz elektromagnetyczny, który zawiera cewkę o małej rezystancji (mała liczba zwojów przewodu elektrycznego o dużym przekroju). Jest to konieczne, ze względu na większy niż w układach wielopunktowych przepływ paliwa i uzyskanie krótkiego czasu otwarcia wtryskiwacza, którego części mają większą masę. Ponieważ wtryskiwacz rozpyla paliwo do przestrzeni nad przepustnicą, a panuje tam ciśnienie atmosferyczne, więc



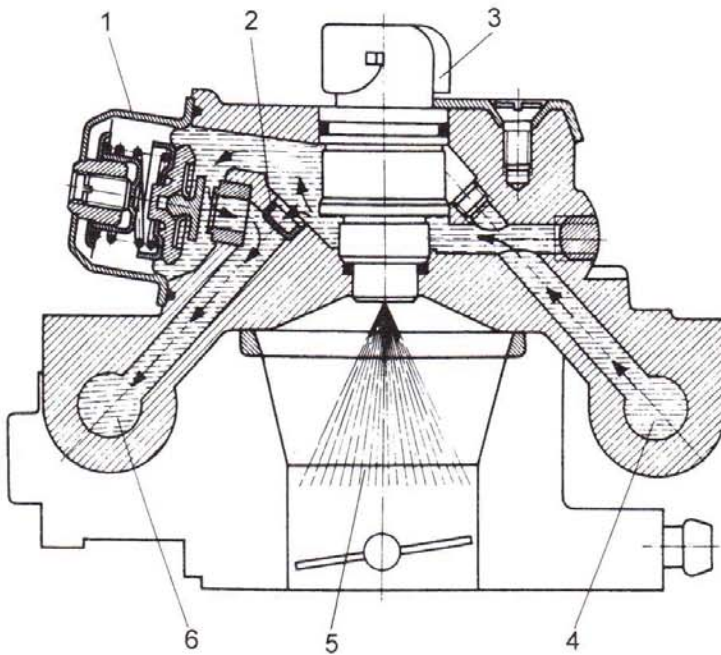
**Rys. 1.38.** Schemat budowy jednopunktowego układu wtrysku benzyny z pośrednim określaniem ilości dopływającego powietrza [9]

1 – elektryczna pompa paliwa, 2 – filtr paliwa, 3 – wtryskiwacz paliwa, 4 – regulator ciśnienia paliwa, 5 – czujnik temperatury zasysanego powietrza, 6 – sterownik silnika, 7 – nastawnik przepustnicy, 8 – czujnik położenia przepustnicy, 9 – czujnik temperatury cieczy chłodzącej silnik, 10 – czujnik tlenu w spalinach (sonda lambda), 11 – rozdzielacz zapłonu



**Rys. 1.39.** Zespół wtryskowy układu jednopunktowego z pośrednim określaniem ilości dopływającego powietrza [9]

1 – regulator ciśnienia paliwa, 2 – złącze elektryczne, 3 – nastawnik przepustnicy, 4 – przepustnica, 5 – czujnik temperatury zasysanego powietrza, 6 – wtryskiwacz paliwa



**Rys. 1.40.** Przepływ paliwa przez zespół wtryskowy [11]

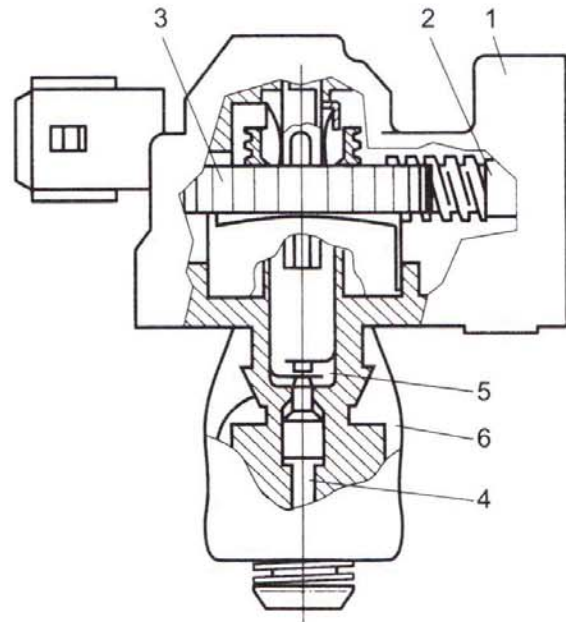
1 – korpus regulatora ciśnienia paliwa, 2 – główny kanał przelewowy, 3 – wtryskiwacz paliwa, 4 – kanał dopływu paliwa, 5 – stożek wtrysku, 6 – kanał odpływu paliwa

regulator ciśnienia utrzymuje stałe ciśnienie paliwa, względem ciśnienia atmosferycznego, w zakresie 0,1...0,15 MPa. Uzyskuje się to dzięki połączeniu górnej komory regulatora z atmosferą. Utrzymanie stałego ciśnienia paliwa jest bardzo ważne z punktu widzenia możliwości precyzyjnego sterowania wydatku paliwa, który wówczas jest tylko funkcją czasu otwarcia i zamknięcia wtryskiwacza. Nadmiar paliwa niewykorzystanego do wtrysku powraca przelewem do zbiornika. Bezpośrednie sąsiedztwo przestrzeni wtrysku paliwa jest podgrzewane płaszczem cieczy z układu chłodzenia. Intensywność ogrzewania zależy od temperatury otoczenia i jest regulowana zaworem sterowania przepływu cieczy. Następnie mieszanka paliwowo-powietrzna jest rozdzielana kanałami kolektora dolotowego do poszczególnych cylindrów silnika. Na skutek długiej drogi paliwa od miejsca wtrysku do zaworów dolotowych jedynie krople o małych średnicach przedostają się do cylindrów. Większe krople paliwa zwykle osiadają na ściankach kolektora dolotowego, gdzie otrzymują ciepło (jeśli kolektor jest gorący), odparowują i mogą być zassane do cylindra.

Stabilizacja prędkości obrotowej biegu jałowego jest realizowana przez nastawnik przepustnicy, pracujący na podstawie sygnału ze sterownika silnika. W nastawniku przepustnicy (rys. 1.41) znajduje się silnik prądu stałego, poprzez przekładnię ślimakową obracający wałek napędowy zakończony stopką, która stanowi ruchomy zderzak minimalnego uchylenia przepustnicy. W zależności od sygnału ze sterownika silnik nastawnika wysuwa lub cofa wałek, co powoduje uchylenie lub przemykanie przepustnicy.

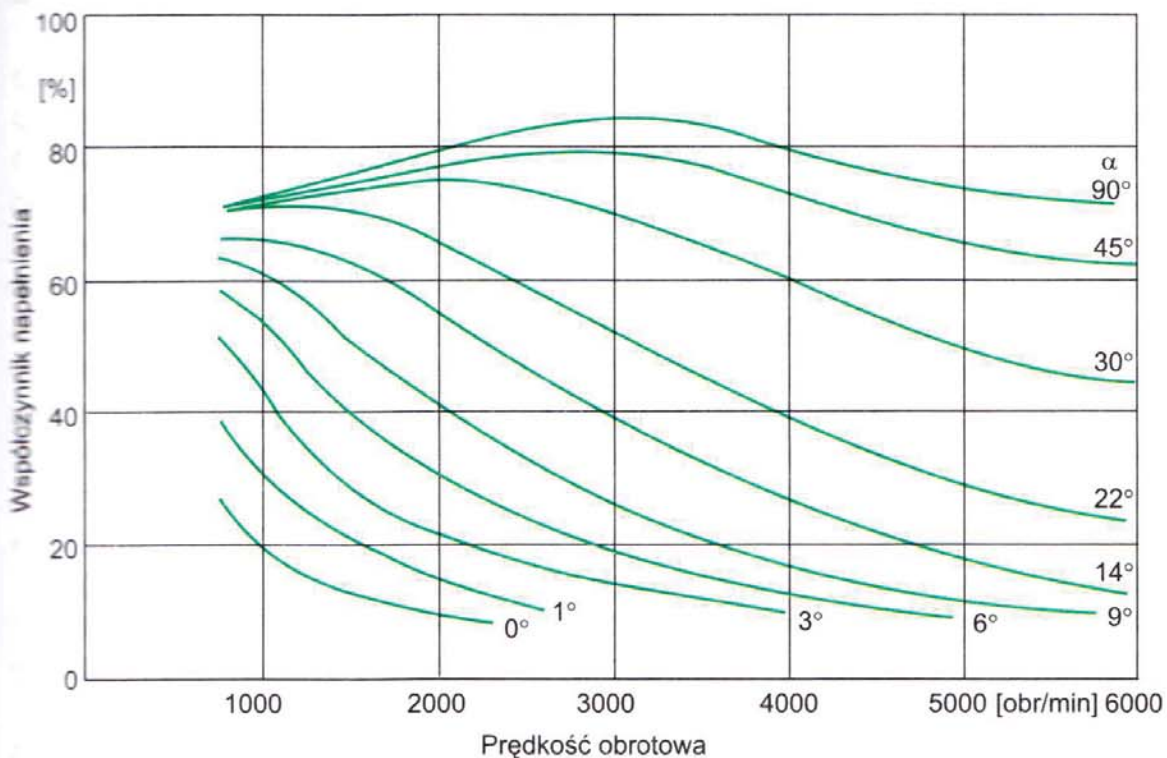
W jednopunktowym układzie wtrysku benzyny Bosch masa powietrza dolotowego jest określana poprzez powiązanie dwóch mierzonych wielkości: kąta uchylenia przepustnicy i prędkości obrotowej wału korbowego silnika oraz znajomości charakterystyki napełnienia cylindra. Kierowca, naciskając na pedał

przyspieszenia, reguluje wielkość strumienia zasysanego powietrza. Ruch przepustnicy jest rejestrowany przez czujnik, który w sposób ciągły mierzy kąt uchylenia przepustnicy. Aby określić masę powietrza, sterownik musi znać jeszcze chwilową prędkość obrotową. Dla każdego silnika na stanowisku badawczym można sporządzić charakterystykę napełnienia cylindra w zależności od kąta otwarcia przepustnicy i prędkości obrotowej wału korbowego silnika (rys. 1.42). Na podstawie tej charakterystyki i znajomości sygnałów z czujników prędkości obrotowej oraz uchylenia przepustnicy określa się napełnienie cylindra, z którego wyznacza się masę ładunku powietrza dołotowego. Metoda ta wymaga stosowania czujnika położenia przepustnicy o dwóch potencjometrach – z dwoma zakresami pomiarowymi, aby zapewnić dokładne, zwłaszcza przy małych kątach, określenie położenia przepustnicy. Znaczną rolę w wyznaczaniu masy dopływającego powietrza, ze względu na



**Rys. 1.41.** Nastawnik przepustnicy [29]

1 – obudowa, 2 – ślimak, 3 – koło ślimakowe, 4 – wałek napędowy, 5 – wyłącznik biegu jałowego, 6 – ochroniacz



**Rys. 1.42.** Charakterystyka współczynnika napełnienia cylindrów silnika w zależności od kąta otwarcia przepustnicy  $\alpha$  oraz prędkości obrotowej wału korbowego [29]

zależność gęstości powietrza od jego temperatury, ma również sygnał z czujnika temperatury powietrza umieszczonego w zespole wtryskowym.

Dzięki elektronicznemu sterowaniu układ jednopunktowego wtrysku benzyny umożliwia uzyskanie korzystniejszej niż przy zasilaniu gaźnikowym charakterystyki dawkowania paliwa we wszystkich stanach pracy silnika. Charakteryzuje się jednak wadami wynikającymi z jednopunktowego (oddalonego od cylindrów) systemu tworzenia mieszanki. Należą do nich:

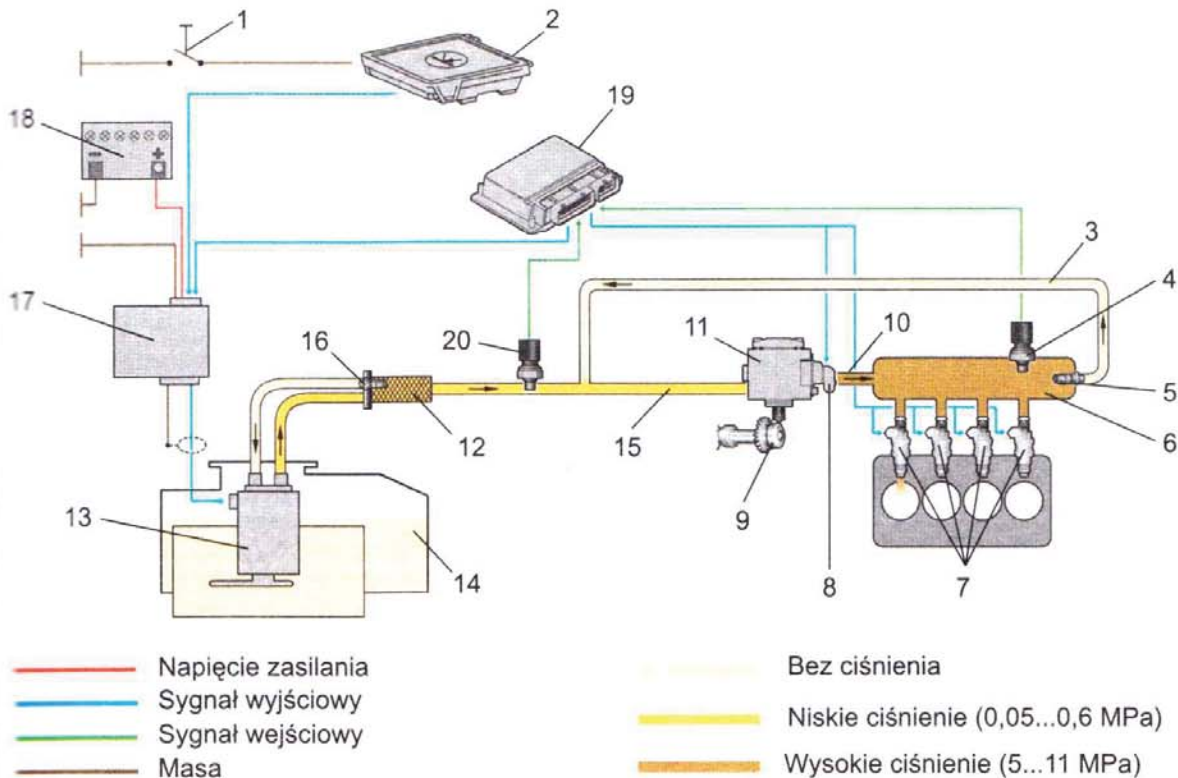
- nierównomierny rozdział ładunku do poszczególnych cylindrów, wynikający z różnej długości kanałów kolektora dolotowego prowadzących do poszczególnych cylindrów;
- niejednakowy skład mieszanki dostarczanej do cylindrów, wynikający ze zróżnicowanej odległości wtryskiwacza od poszczególnych cylindrów oraz niekontrolowanego, samoczynnego procesu odparowania albo skraplania paliwa w kanałach dolotowych;
- wypieranie ładunku powietrza przez odparowujące w kanałach kolektora dolotowego paliwo, co ogranicza wielkość możliwej do spalania dawki paliwa ze względu na mniejszą ilość tlenu dostarczonego do cylindrów.

### 1.3.5. Bezpośredni wtrysk benzyny sterowany elektronicznie

W silniku o bezpośrednim wtrysku benzyny paliwo jest wtryskiwane do cylindra, w którym tworzy się mieszanka paliwowo-powietrzna. Przez otwarty zawór dolotowy w suwie dolotu płynie w nich tylko powietrze. Zależnie od warunków pracy silnika wtrysk benzyny jest realizowany podczas suwu dolotu lub sprężania pod zmiennym ciśnieniem o wartości 5...12 MPa.

Bezpośredni wtrysk benzyny umożliwia uzyskanie przez silnik równocześnie dużej mocy i małego jednostkowego zużycia paliwa. Wtrysk benzyny do komory spalania i jej parowanie wewnątrz cylindra powodują obniżenie temperatury ładunku paliwa z powietrzem, co zmniejsza niebezpieczeństwo spalania stukowego. Umożliwia to zastosowanie w silniku o wtrysku bezpośrednim stopnia sprężania o wartości ok. 12, czyli większej niż w silnikach o zapłonie iskrowym z wtryskiem pośrednim. Brak paliwa w kanale dolotowym i większy stopień sprężania sprawiają, że zwiększa się stopień napełnienia cylindrów. W silnikach ZI o wtrysku bezpośrednim paliwo nie osiada na zimnych ściankach kolektora dolotowego, dzięki czemu emisja węglowodorów w czasie nagrzewania silnika jest znacznie mniejsza. Ponadto prędkość obrotowa biegu jałowego może być zmniejszona do ok. 600 obr/min, co zmniejsza zużycie paliwa i poziom emitowanego hałasu.

Podwyższenie parametrów obiegu (szczególnie wzrost temperatury w komorze spalania) w silnikach ZI o wtrysku bezpośrednim niekorzystnie wpływa na emisję tlenków azotu. Aby nie dopuścić do przekroczenia dopuszczalnych granic emisji tlenków azotu, stosuje się recyrkulację spalin, regulację faz rozrządu oraz układ dwóch reaktorów katalitycznych – utleniającego i redukującego.



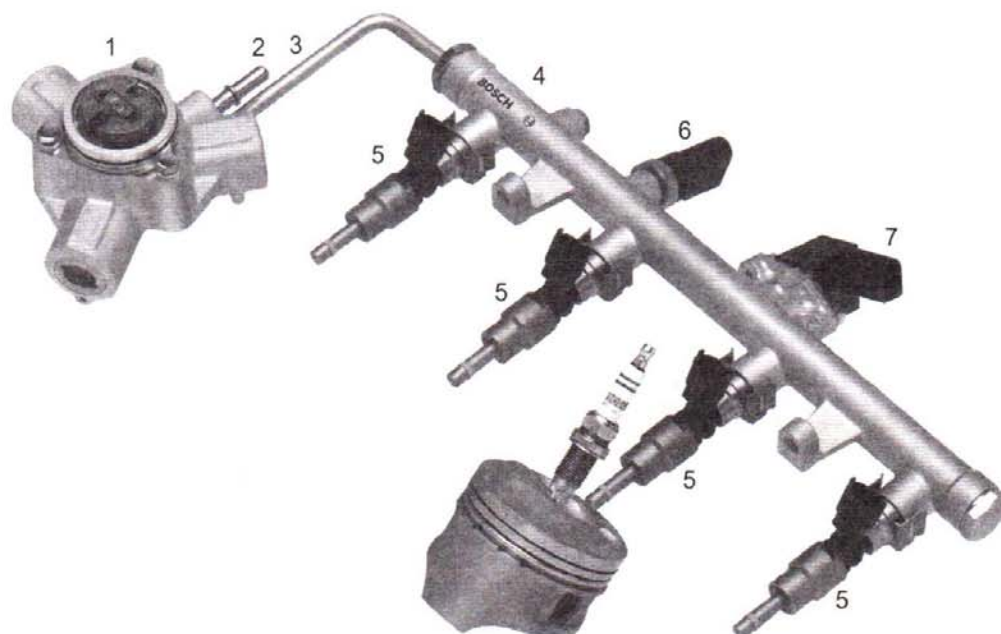
**Rys. 1.43.** Schemat układu zasilania paliwem silnika o bezpośrednim wtrysku benzyny [20]

1 – wyłącznik w drzwiach samochodu, 2 – sterownik pojazdu, 3 – przewód powrotu paliwa, 4 – czujnik wysokiego ciśnienia paliwa, 5 – zawór nadciśnieniowy, 6 – zasobnik paliwa, 7 – wtryskiwacze paliwa, 8 – zawór regulacyjny ciśnienia paliwa, 9 – napęd pompy wysokiego ciśnienia, 10 – przewód paliwa wysokiego ciśnienia, 11 – pompa paliwa wysokiego ciśnienia, 12 – filtr paliwa, 13 – pompa paliwa, 14 – zbiornik paliwa, 15 – przewód paliwa z filtra paliwa do pompy wysokiego ciśnienia, 16 – regulator ciśnienia paliwa, 17 – sterownik pompy paliwa, 18 – akumulator, 19 – sterownik silnika, 20 – czujnik niskiego ciśnienia paliwa

Układ zasilania paliwem silników o bezpośrednim wtrysku benzyny (rys. 1.43) jest rozdzielony na dwa obwody o zróżnicowanym ciśnieniu paliwa. Elementami niskociśnieniowej części układu zasilania paliwem są: zbiornik paliwa, elektryczna pompa zasilająca, filtr paliwa, regulator niskiego ciśnienia oraz czujnik niskiego ciśnienia paliwa. W skład obwodu wysokiego ciśnienia (rys. 1.44) wchodzi: pompa wysokiego ciśnienia, zawór regulacyjny wysokiego ciśnienia, zasobnik paliwa, wtryskiwacze paliwa, czujnik wysokiego ciśnienia paliwa oraz niekiedy nadciśnieniowy zawór bezpieczeństwa.

Paliwo ze zbiornika jest tłoczone przez pompę zasilającą, o konstrukcji takiej samej, jak w układach wtrysku pośredniego, pod ciśnieniem 0,3...0,5 MPa. Następnie przepływa ono przez filtr dokładnego oczyszczania, który może być zintegrowany z regulatorem niskiego ciśnienia, ograniczającym wartość ciśnienia w tym obwodzie. Między filtrem paliwa i pompą wysokiego ciśnienia jest umieszczony czujnik określający ciśnienie w obwodzie niskiego ciśnienia.

Pompa wysokiego ciśnienia tłoczy paliwo pod ciśnieniem 5...12 MPa do zasobnika paliwa. Jest nią zwykle pompa wielotłoczkowa o tłoczkach rozmieszczonych promieniowo (rys. 1.45). Pompa wysokiego ciśnienia jest napędzana poprzez sprzęgło od wałka rozrządu lub paskiem zębatym od wału korbowego.



**Rys. 1.44.** Elementy obwodu wysokiego ciśnienia układu bezpośredniego wtrysku benzyny [22]

1 – pompa wysokiego ciśnienia, 2 – króciec paliwa obwodu niskiego ciśnienia, 3 – przewód paliwa wysokiego ciśnienia, 4 – zasobnik paliwa, 5 – wtryskiwacze paliwa, 6 – czujnik paliwa wysokiego ciśnienia, 7 – zawór regulacyjny ciśnienia

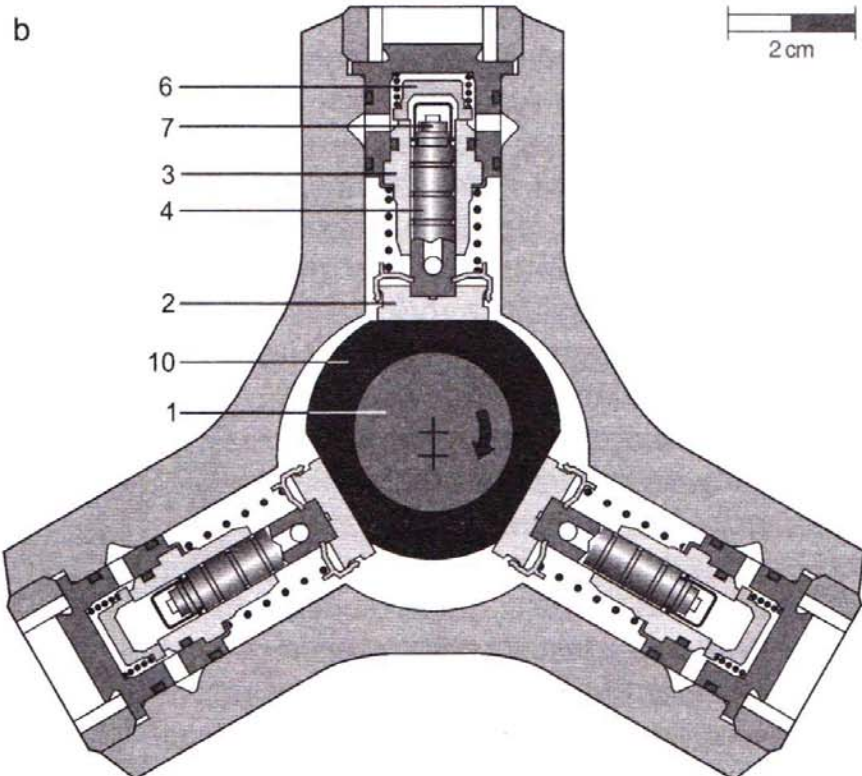
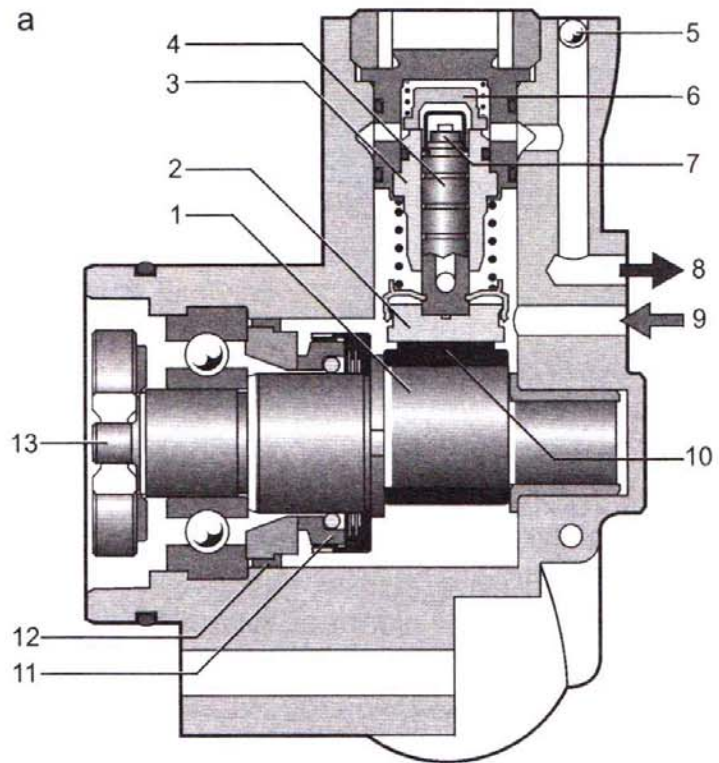
Na wałku napędowym pompy jest wykonany mimośród, na którym jest osadzony pierścień krzywkowy nadający ruch postępowo-zwrotny tłoczkom pompy umieszczonym w cylinderekach. Podczas ruchu dośrodkowego tłoczków paliwo wpływa z obwodu niskiego ciśnienia przez zawór wlotowy do cylinderek, a podczas ruchu odśrodkowego tłoczków paliwo zostaje sprężone. Po osiągnięciu ciśnienia panującego w zasobniku paliwa otwiera się zawór wylotowy i paliwo przepływa do obwodu wysokiego ciśnienia. Dzięki promieniowemu rozmieszczeniu trzech tłoczków w cylinderekach co  $120^\circ$ , w zasobniku paliwa wysokiego ciśnienia występują tylko niewielkie pulsacje ciśnienia. Ilość tłoczonego paliwa jest proporcjonalna do prędkości obrotowej silnika. Maksymalny wydatek pompy wysokiego ciśnienia jest nieco większy niż maksymalne zapotrzebowanie silnika, aby zapewnić wystarczającą ilość paliwa w układzie we wszystkich warunkach pracy i ograniczyć nagrzewanie paliwa w zasobniku. W układach o mniejszym zapotrzebowaniu na paliwo stosuje się pompy jednotłoczkowe.

Z pompy wysokiego ciśnienia paliwo jest kierowane do zasobnika paliwa, który przechowuje paliwo w układzie wysokiego ciśnienia i rozdziela je do wtryskiwaczy. Pojemność rurowego zasobnika paliwa jest na tyle duża, że umożliwia wyrównanie pulsacji ciśnienia w układzie. W celu uzyskania ciśnienia paliwa dla danego punktu z pola pracy silnika, w zasobniku paliwa lub pompie wysokiego ciśnienia (pompa jednotłoczkowa) jest wbudowany zawór regulacyjny wysokiego ciśnienia (rys. 1.46). Jest to zawór elektromagnetyczny, w którym elementem zamykającym jest kulka. Jeżeli zawór jest umieszczony w pompie, reguluje on ilość tłoczonego paliwa tak, aby odpowiadała ona rzeczywistemu zapotrzebowaniu. Natomiast jeśli zawór jest umieszczony w zasobniku paliwa, ustala on ciśnienie, sterując odpływem nadmiaru paliwa do niskociśnieniowej części układu.

**Rys. 1.45.** Wielotłoczkowa pompa wysokiego ciśnienia [22]

*a* – przekrój podłużny, *b* – przekrój poprzeczny

1 – mimośród, 2 – stopa popychacza, 3 – cylinderek sekcji tłoczącej, 4 – wydrążony tłoczek sekcji tłoczącej, 5 – kulka zamykająca, 6 – zawór wylotowy, 7 – zawór wlotowy, 8 – odpływ paliwa o wysokim ciśnieniu do zasobnika, 9 – dopływ paliwa o niskim ciśnieniu, 10 – pierścień krzywkowy, 11 – uszczelnienie osiowe, 12 – uszczelnienie statyczne, 13 – wałek napędowy



Aby zawór regulacyjny mógł spełniać swoją funkcję, sterownik musi otrzymać informację o chwilowej wartości ciśnienia w zasobniku. Sygnał o chwilowym ciśnieniu przekazuje czujnik wysokiego ciśnienia paliwa (rys. 1.47). Jest to przetwornik tensometryczny. Na stalowej membranie jest naklejony tensometr, będący jednym z rezystorów mostka oporowego. W trakcie jego odkształcania,

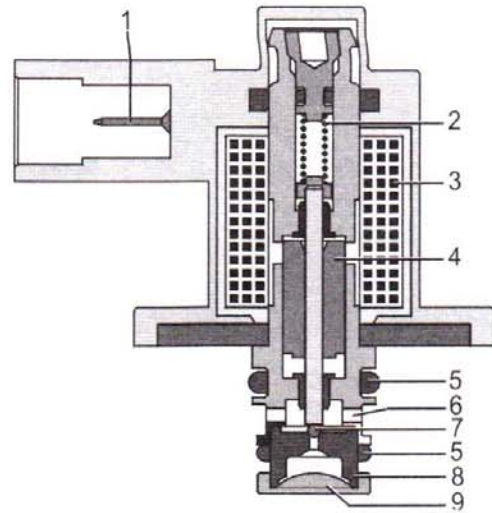
na skutek działającego ciśnienia paliwa, zmienia się równowaga mostka. To zachwianie równowagi jest wzmacniane w układzie przetwarzania sygnału i ostatecznie sygnał wyjściowy z czujnika ma napięcie o wartości 0...5 V.

Paliwo do komory spalania jest wtryskiwane przez wtryskiwacze elektromagnetyczne. Wtryskiwana dawka zależy od różnicy ciśnień w zasobniku paliwa i cylindrze silnika oraz czasu otwarcia wtryskiwacza. Czas wtrysku paliwa dla wtrysku bezpośredniego jest dużo krótszy niż w układach o wtrysku pośrednim. Dlatego zawór iglicowy wtryskiwacza wtrysku bezpośredniego powinien otwierać się jak najszybciej, aby podczas czasu otwarcia był zagwarantowany stały przekrój przepływu paliwa. Jego zamykanie sprężyną powinno odbywać się równie szybko. Dzięki odpowiedniemu ukształtowaniu końcówki wtryskiwacza (rozpylacza) oraz wysokiemu ciśnieniu wtrysku paliwo jest wtryskiwane szybciej, uzyskuje się lepsze rozpylenie oraz lepiej ukształtowany strumień niż przy pośrednim wtrysku benzyny.

W silnikach o bezpośrednim wtrysku benzyny są realizowane dwa różne stany napełniania cylindra:

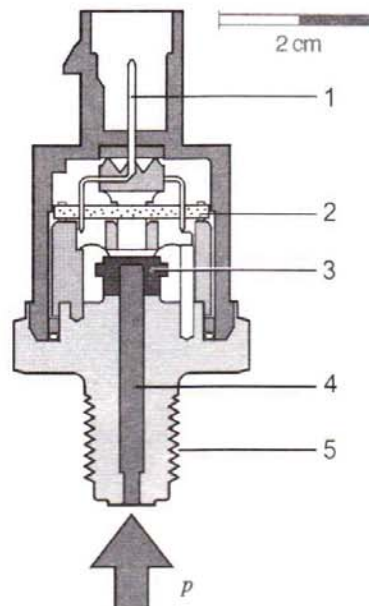
- mieszką jednorodną,
- mieszką uwarstwową.

Wybór i realizację odpowiedniego trybu pracy, w zależności od obciążenia i prędkości obrotowej silnika, nadzoruje jego sterownik (rys. 1.48). W dolnym przedziale wartości momentu obrotowego, przy prędkości obrotowej do ok. 3000 obr/min, silnik jest zasilany mieszką uwarstwową o względnie dużym średnim współczynniku nadmiaru powietrza ( $\lambda = 1,5...3$ ). Uwarstwienie mieszanki polega na zgromadzeniu w okolicy świecy zapłonowej ładunku nieco bogatszego niż stechiometryczny ( $\lambda = 0,8...0,9$ ), gdy pozostała część komory spalania jest wy-



**Rys. 1.46.** Schemat zaworu regulacyjnego wysokiego ciśnienia paliwa [22]

1 – złącze elektryczne, 2 – sprężyna naciskowa, 3 – cewka elektromagnetyczna, 4 – kotwica magnetyczna, 5 – pierścienie uszczelniające, 6 – otwór odpływowy, 7 – kulka zaworu, 8 – gniazdo zaworu, 9 – wlot paliwa z filtrem siatkowym



**Rys. 1.47.** Schemat czujnika wysokiego ciśnienia paliwa [22]

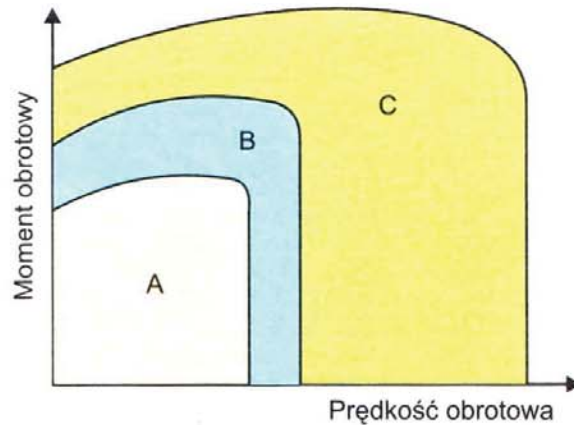
1 – złącze elektryczne, 2 – obwód przetwarzania sygnału, 3 – membrana stalowa z rezystorem rozszerzalnościowym, 4 – kanał wysokiego ciśnienia, 5 – złącze gwintowe

pełniona mieszanką bardzo ubogą, o współczynniku  $\lambda$  lokalnie osiągającym wartość większą niż 4. W czasie pracy na uwarstwionych mieszankach ubogich wtrysk paliwa następuje podczas suwu sprężania. Kąt początku wtrysku jest zmieniany w zależności od prędkości obrotowej i obciążenia silnika. W krótkim czasie przed zapłonem poruszający się w kierunku GMP tłok przenosi mieszankę w pobliże świecy zapłonowej. Cięższe od powietrza cząsteczki paliwa utrzymują się na zewnętrznych powierzchniach wiru powietrza, tworząc w czasie przeskoku iskry, w obszarze świecy zapłonowej, podatną na zapłon bogatszą warstwę mieszanki palnej.

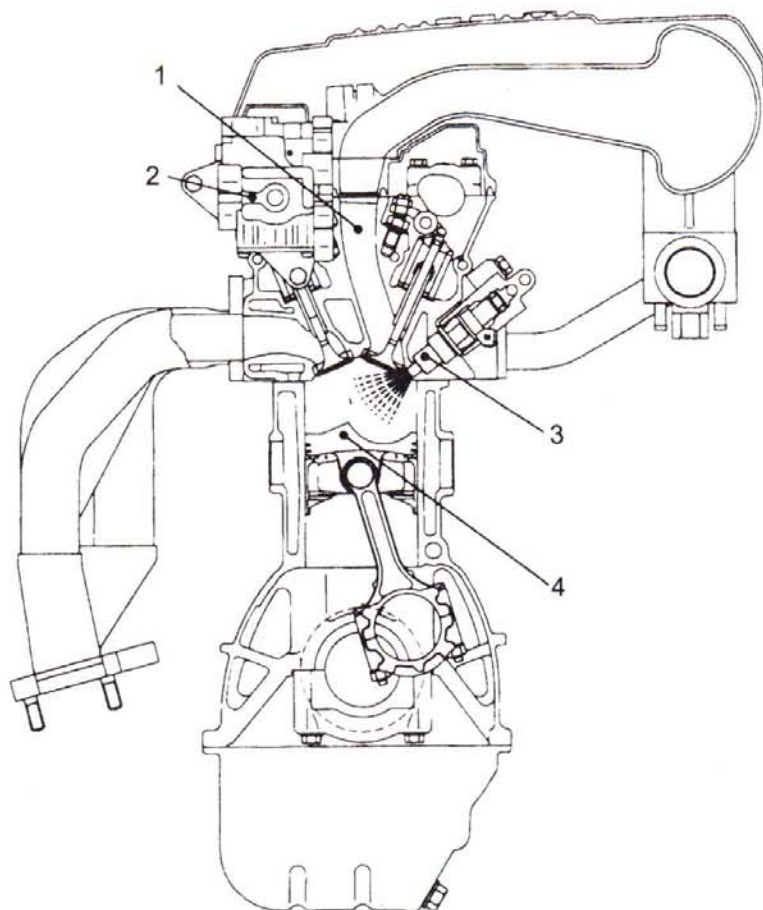
W celu uzyskania dużych prędkości obrotowych i znacznej wartości momentu obrotowego silnik jest zasilany jednorodną mieszanką stechiometryczną ( $\lambda = 1$ ), a w szczególnych warunkach pracy nawet o nieco bogatszym składzie ( $\lambda < 1$ ). Wtrysk paliwa w tym trybie pracy odbywa się w czasie suwu dolotu. Jednorodność mieszanki uzyskuje się w wyniku zawirowania ładunku powietrza z paliwem w trakcie suwu dolotu, a także suwu sprężania. W tym czasie następuje również dobre odparowanie paliwa i jego wymieszanie z ładunkiem powietrza. Spalanie mieszanki odbywa się tak samo jak przy pośrednim wtrysku benzyny.

W zakresie pośrednim między zasilaniem mieszanką uwarstwowaną i jednorodną cała komora spalania jest wypełniona ubogą mieszanką jednorodną, powstającą wskutek wtrysku małej dawki paliwa (tzw. wtrysku wstępnego) podczas suwu dolotu. Druga część dawki (tzw. dotrysk) jest wtryskiwana podczas suwu sprężania. Tworzy się wówczas strefa bogatej mieszanki w okolicy świecy zapłonowej. Tak uwarstwowana mieszanka jest łatwo zapalna, gdyż zapalenie ubogiej jednorodnej mieszanki następuje przy rozchodzeniu się płomienia od strefy bogatej w paliwo.

Ciśnienie wtrysku paliwa podczas obu trybów pracy jest zwykle różne (stałe ciśnienie występuje w silniku GDI). Niższe ciśnienie, w zakresie 3...6 MPa, występuje w czasie wtrysku realizowanego podczas suwu dolotu przy tworzeniu mieszanki jednorodnej. Dłuższy czas odparowania paliwa umożliwia wtryskiwanie większych kropeł paliwa, które przy niższym ciśnieniu mają mały zasięg i nie osiadają na przeciwległych ściankach cylindra. Ponadto energia kropeł paliwa nie może być zbyt duża ze względu na mniejszą gęstość powietrza w cylindrze niż podczas sprężania. Stosowanie wyższych ciśnień (do 12 MPa) podczas wtrysku w suwie sprężania wynika z konieczności pokonania przeciwcisnienia sprężania, a także dobrego ukierunkowania i rozdrobnienia strugi paliwa w celu wzbogacenia mieszanki w okolicach świecy zapłonowej.



**Rys. 1.48.** Tryby pracy silnika z wtryskiem bezpośrednim, związane ze składem mieszanki [11]  
 A – praca na ubogiej mieszance uwarstwionej, B – obszar przejściowy (praca na mieszance uwarstwionej lub jednorodnej), C – praca na jednorodnej mieszance stechiometrycznej



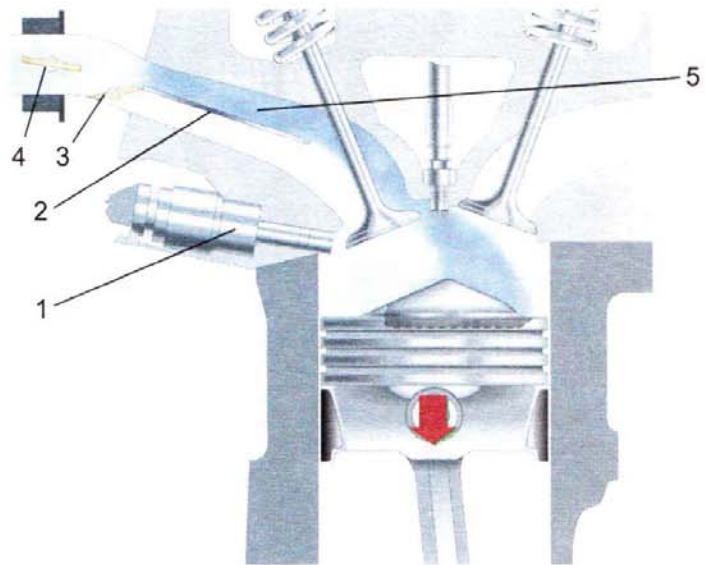
**Rys. 1.49.** Przekrój poprzeczny silnika o bezpośrednim wtrysku benzyny z pionowym kanałem dolotowym [12]

1 – kanał dolotowy, 2 – pompa paliwa wysokiego ciśnienia, 3 – wtryskiwacz paliwa, 4 – denko tłoka o charakterystycznym kształcie

W spotykanych rozwiązaniach silników o bezpośrednim wtrysku benzyny stosuje się dwa odmienne sposoby tworzenia mieszanki uwarstwionej.

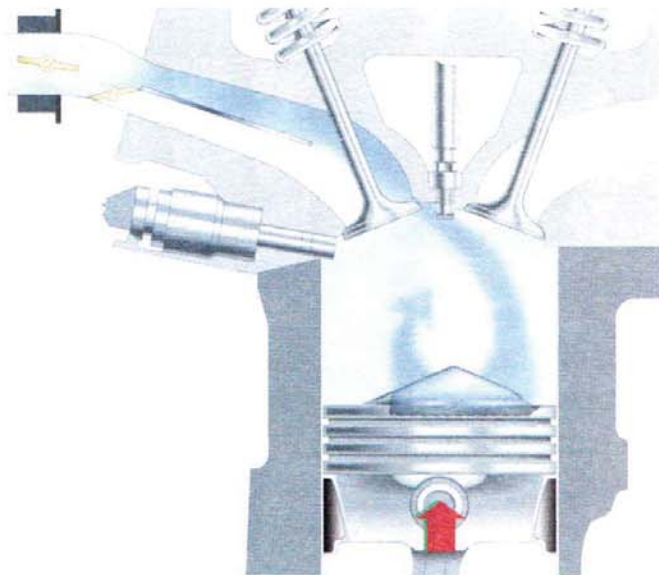
W sposobie stosowanym w silnikach Mitsubishi (układ GDI) oraz Peugeot-Citroën (układ HPI) istotną rolę w uwarstwieniu mieszanki odgrywają: kształt komory spalania (zwłaszcza ukształtowanie denka tłoka), kierunek napływu powietrza kanałem dolotowym oraz kierunek i miejsce wypływu strugi paliwa z wtryskiwacza. Silniki te charakteryzują się pionowym kanałem dolotowym oraz specjalnie wyprofilowanym denkiem tłoka (rys. 1.49). Ładunek powietrza wprowadzany do cylindra pionowo schodzącym kanałem dolotowym porusza cząstki wtryskiwanego paliwa. Utworzona warstwa bogatej mieszanki jest następnie odchylana przez denko tłoka, omywa ściankę cylindra i trafia w okolice świecy zapłonowej.

Odmienny sposób uwarstwienia mieszanki palnej zastosowano w silnikach koncernu VAG (układ FSI). Strumień świeżego ładunku powietrza jest dostarczany kanałami znacznie odchylonymi od osi cylindra. W kanałach tych znajduje się listwa dzieląca kanał oraz ruchoma przesłona, której zadaniem jest zmiana ukształtowania rozkładu strug ładunku powietrza napływającego do cylindra. W celu uzyskania uwarstwienia mieszanki przesłona całkowicie zamyka przepływ powietrza przez dolną część kanału. Zasysane ruchem tłoka powietrze, przepływając tylko górną częścią kanału, zwiększa swoją prędkość i wpływając do cylindra, tworzy wir powietrzny (rys. 1.50). Podczas suwu sprężania strumień



**Rys. 1.50.** Przekrój cylindra silnika o bezpośrednim wtrysku benzyny w początkowej fazie zasysania w trybie tworzenia mieszanki uwarstwionej [20]

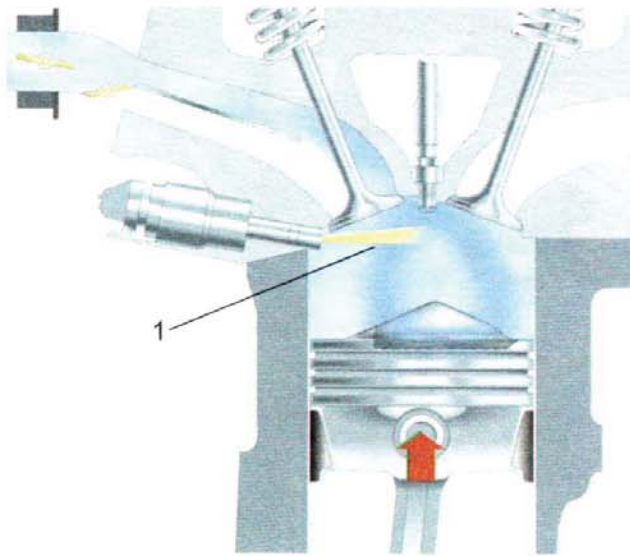
1 – wtryskiwacz paliwa, 2 – listwa dzieląca, 3 – zamknięta ruchoma przesłona w kolektorze dolotowym, 4 – przepustnica, 5 – zasysane powietrze



**Rys. 1.51.** Przekrój cylindra silnika o bezpośrednim wtrysku benzyny w fazie zawirowań powietrza w trybie tworzenia mieszanki uwarstwionej [20]

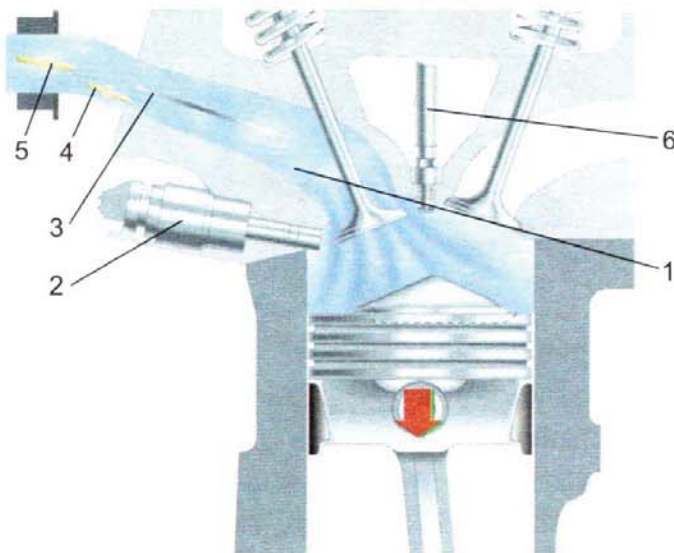
powietrza zostaje ukształtowany i skierowany przez wgłębienie w denku tłoka w kierunku świecy zapłonowej (rys. 1.51). Podawane w czasie suwu sprężania paliwo zostaje wtrysnięte bardzo blisko świecy zapłonowej tak, że praktycznie jego obłok nie styka się z denkiem tłoka i ściankami cylindra (rys. 1.52). Zapobiega to jego osiadaniu na tych częściach silnika. Przy tworzeniu mieszanki jednorodnej przesłona jest otwarta i ładunek powietrza przepływa górną oraz dolną częścią kanału dolotowego (rys. 1.53). Wtryskiwane podczas suwu dolotu paliwo jest porywane przez strumień powietrza w głąb cylindra, co prowadzi do powstania mieszanki jednorodnej (rys. 1.54).

Bezpośredni wtrysk benzyny do komory spalania to system zasilania, który jest w stanie zapewnić silnikowi spełnienie coraz ostrzejszych norm dotyczących ochrony środowiska z jednoczesnym zachowaniem dobrych własności dynamicznych oraz dużej sprawności silnika, umożliwiającą zmniejszenie zużycia



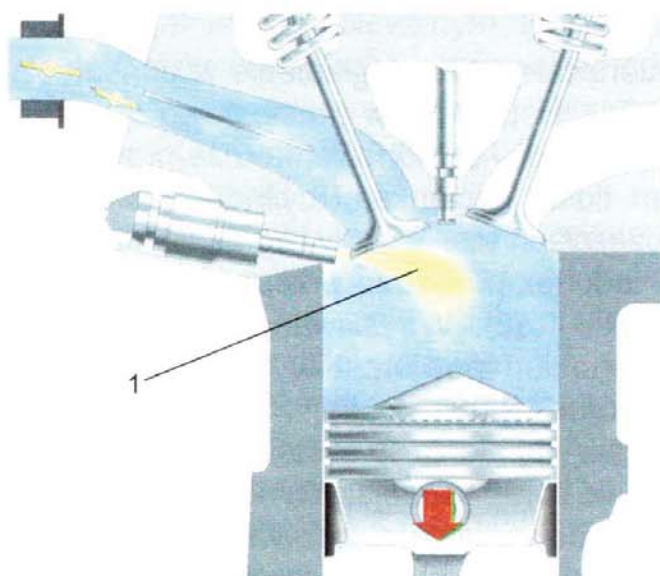
**Rys. 1.52.** Przekrój cylindra silnika o bezpośrednim wtrysku benzyny w końcowej fazie cyklu sprężania w trybie tworzenia mieszanki uwarstwionej [20]

1 – wtryskiwane paliwo



**Rys. 1.53.** Przekrój cylindra silnika o bezpośrednim wtrysku benzyny w początkowej fazie zasysania w trybie tworzenia mieszanki jednorodnej [20]

1 – zasysane powietrze, 2 – wtryskiwacz paliwa, 3 – listwa dzieląca, 4 – otwarta ruchoma przesłona w kolektorze dolotowym, 5 – przepustnica, 6 – świeca zapłonowa



**Rys. 1.54.** Przekrój cylindra silnika o bezpośrednim wtrysku benzyny w dalszej fazie zasysania w trybie tworzenia mieszanki jednorodnej [20]

1 – wtryskiwane paliwo

paliwa. Rozwiązanie to, mimo występujących ograniczeń i trudności w realizacji niektórych zadań, ulega ciągłemu rozwojowi, który ma doprowadzić do zastąpienia nim w silnikach pojazdów samochodowych pośredniego wtrysku wielopunktowego.

### 1.3.6. Elektroniczny system sterowania pracą silnika

Pracą współczesnych silników o zapłonie iskrowym steruje zintegrowany system elektroniczny, który umożliwia sterowanie i regulację wielu funkcji silnika za pomocą jednego sterownika.

Elektroniczny system sterowania pracą silnika Bosch Motronic (rys. 1.55) składa się z trzech zasadniczych części, spełniających określone zadania w działaniu systemu:

- czujników i nastawników,
- sterownika silnika,
- urządzeń wykonawczych.

Od czujników oraz nastawników sterownik otrzymuje informacje niezbędne do sterowania i regulacji silnika o warunkach i stanie jego pracy.

Nastawniki (np. przełączniki) występujące w układzie sterowania silnika dostarczają do sterownika informacji o określonych ustawieniach wykonywanych przez kierowcę. Sygnały tego typu mogą obejmować takie dane, jak np.:

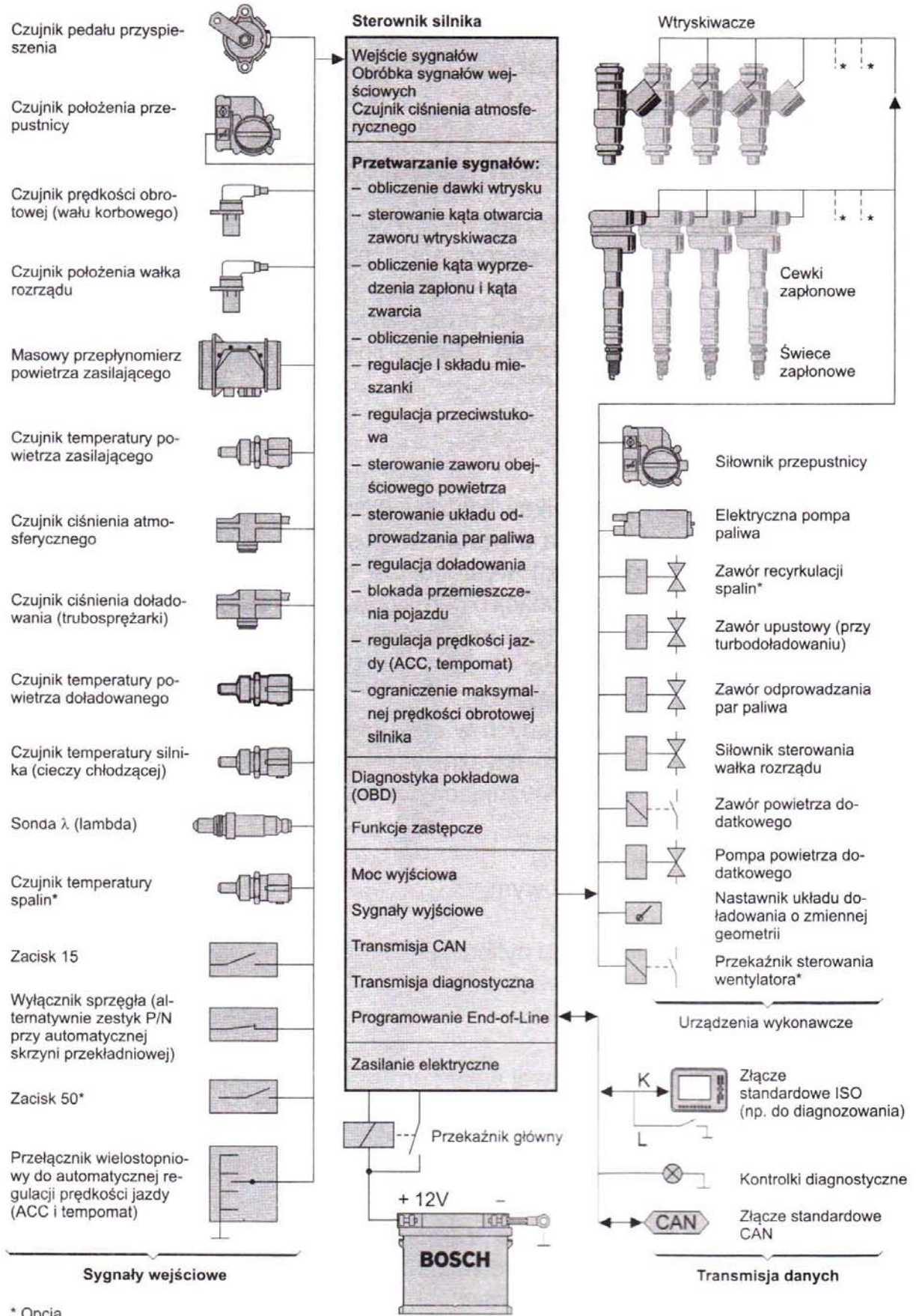
- położenie kluczyka w stacyjce;
- położenie przełącznika klimatyzacji.

Zadaniem czujników stosowanych w elektronicznym sterowaniu silnikiem ZI jest przekształcanie wielkości fizycznych i chemicznych na odpowiednie parametry elektryczne charakteryzujące chwilowy stan silnika. Dostarczają one informacji m.in. o:

- temperaturze silnika,
- ciśnieniu w kolektorze dolotowym,
- kącie uchylecia przepustnicy,
- masie powietrza zasilającego cylindry,
- współczynniku nadmiaru powietrza,
- prędkości jazdy,
- położeniu wałka rozrządu,
- położeniu i prędkości obrotowej wału korbowego,
- położeniu pedału przyspieszenia,
- temperaturze powietrza zasilającego.

Sygnały czujników mogą mieć postać:

- analogową, która jest zamieniana na wartość napięcia z określonego przedziału (sygnały te dalej są zamieniane w przetworniku analogowo-cyfrowym mikroprocesora sterownika na sygnał cyfrowy, niezbędny do dokonywania obliczeń przez sterownik);
- cyfrową, występującą w dwóch stanach logicznych: wysokim (logiczne 1) lub niskim (logiczne 0);



Rys. 1.55. Elementy elektronicznego systemu sterowania pracą silnika Bosch Motronic [21]

- impulsową, pochodzącą z czujników indukcyjnych, zawierającą informację o liczbie obrotów oraz znacznik odniesienia, przetwarzaną dalej w specjalnym układzie sterownika.

Na podstawie sygnałów wejściowych sterownik rozpoznaje chwilowy stan działania silnika oraz wymagania stawiane przez urządzenia dodatkowe i kierowcę, a następnie oblicza sygnały nastawcze dla urządzeń wykonawczych. Zadania sterownika silnika są przedstawione w postaci algorytmów sterowania, stanowiących oprogramowanie zapisane w pamięci stałej sterownika.

Głównymi funkcjami systemu sterowania silnika są: obliczenie dawki paliwa, sterowanie kątem otwarcia wtryskiwacza oraz wyznaczenie optymalnej chwili zapłonu, czyli obliczenie kąta wyprzedzenia zapłonu. Ciągłe zwiększanie mocy obliczeniowej istniejących mikroprocesorów umożliwia dodawanie kolejnych funkcji wykorzystywanych w procesie sterowania i regulacji silników. Funkcje dodatkowe przyczyniają się do ulepszania procesów sterowania silnikiem, umożliwiając spełnienie coraz bardziej rygorystycznych prawnych ograniczeń dotyczących emisji spalin. Funkcjami tymi są:

- regulacja prędkości obrotowej biegu jałowego,
- regulacja składu mieszanki (współczynnik  $\lambda$ ),
- sterowanie odprowadzeniem ze zbiornika par paliwa,
- regulacja przeciwstukowa,
- sterowanie recyrkulacją spalin,
- sterowanie układem dotłaczania powietrza dodatkowego w celu zapewnienia szybkiego działania reaktora katalitycznego,
- sterowanie turbodoładowaniem,
- sterowanie pracą układu dolotowego o zmiennej geometrii,
- sterowanie zmiennymi fazami rozrządu,
- ograniczenie prędkości obrotowej silnika i prędkości jazdy w celu zabezpieczenia silnika przed uszkodzeniem i zwiększenia bezpieczeństwa ruchu pojazdu.

Realizacja funkcji systemu sterowania silnika jest możliwa dzięki urządzeniom wykonawczym, które pracują na podstawie sygnałów wyjściowych (nastawczych) wysyłanych ze sterownika. Do głównych urządzeń wykonawczych elektronicznego systemu sterowania silnika zalicza się:

- wtryskiwacze paliwa,
- cewki zapłonowe,
- siłownik przepustnicy lub zawór powietrza dodatkowego w kanale obejściowym przepustnicy,
- elektryczną pompę paliwa,
- zawór regeneracyjny układu odprowadzania par paliwa ze zbiornika,
- elektromagnetyczny zawór recyrkulacji spalin,
- elektromagnetyczny zawór układu dotłaczania powietrza dodatkowego,
- siłownik sterowania wałka rozrządu,
- element regulacji pracy turbosprężarki,
- zawór sterowania zmienną geometrią układu dolotowego.

Elektroniczny system sterowania pracą silnika realizuje również funkcję diagnostyczną, która polega na monitorowaniu, czy sterownik systemu wraz z czujnikami i urządzeniami wykonawczymi nie wykazuje błędów działania (więcej na ten temat w podrozdz. 1.3.7).

System sterowania pracą silnika wchodzi w skład systemu sterowania pojazdem, który oprócz sterowania silnikiem zarządza również pracą innych układów pojazdu. Za pośrednictwem pokładowej sieci transmisji danych (np. magistrala CAN), sterownik silnika może komunikować się ze sterownikami innych układów i zespołów pojazdu. Dzięki wymianie danych i informacji między układami sterowniki mogą przetwarzać dane z innych układów jako dane wejściowe do własnych algorytmów sterowania i regulacji.

Wraz ze zwiększaniem wymagań dotyczących poszczególnych układów pojazdu system sterowania pracą silnika Bosch Motronic ulega ciągłemu rozwojowi. Dotychczas powstały następujące odmiany tego systemu:

- M-Motronic to system sterowania silnikiem ZI o pośrednim wtrysku wielopunktowym i mechanicznie sterowanej przepustnicy;
- ME-Motronic to zmodyfikowany system M-Motronic, w którym mechaniczne sterowanie przepustnicy zastąpiono sterowaniem elektronicznym;
- MED-Motronic to system sterowania silnikiem ZI o bezpośrednim wtrysku benzyny i elektronicznie sterowanej przepustnicy;
- Bifuel-Motronic to rozbudowany system ME-Motronic, charakteryzujący się zintegrowanym sterownikiem zarządzającym zasilaniem dwupaliwowym, który ma wszystkie niezbędne elementy do zasilania benzyną oraz gazem.

W systemie ME-Motronic i jego pochodnych w sterowaniu pracą silnika przyjęto strategię nadrzędności momentu obrotowego. Wszystkie wymagania dotyczące mocy silnika są konsekwentnie przeliczane pod kątem możliwości uzyskania odpowiedniego momentu obrotowego silnika. Zadany moment obrotowy uzyskuje się poprzez dobór ilości powietrza, paliwa, ich relację oraz określenie chwili zapłonu. Procesowi ciągłego sterowania elektronicznego podlegają następujące układy:

- doprowadzenia powietrza,
- doprowadzenia paliwa,
- zapłonowy.

Cel osiąga się dzięki elektronicznemu sterowaniu elementami silnika o zapłonie iskrowym, takimi jak:

- przepustnica (układ doprowadzenia powietrza), która reguluje strumień powietrza doprowadzany do cylindrów;
- wtryskiwacze paliwa (układ doprowadzenia paliwa), które zapewniają odpowiednią ilość paliwa wtryskiwanego do powietrza doprowadzanego do cylindrów;
- cewki zapłonowe (układ zapłonowy), które odpowiadają za odpowiednie czasowe zainicjowanie spalania mieszanki paliwowo-powietrznej w cylindrach silnika.

## CZUJNIKI ELEKTRONICZNEGO SYSTEMU STEROWANIA SILNIKA

### Przepływomierz powietrza

Zadaniem przepływomierza jest pomiar natężenia przepływu powietrza w układzie dolotowym w kierunku cylindrów silnika. Natężenie przepływu powietrza może być mierzone jako objętościowe lub masowe. W silniku precyzyjniejszy jest pomiar natężenia masowego, gdyż w procesie spalania bierze udział określona masa powietrza, a nie jego objętość. Przy stałej objętości powietrza przepływającej przez układ dolotowy masowe natężenie przepływu powietrza zależy od ciśnienia i temperatury powietrza. Im wyższa jest temperatura lub niższe jest ciśnienie zasysanego powietrza, tym jego gęstość, a więc i masowe natężenie przepływu powietrza, są mniejsze.

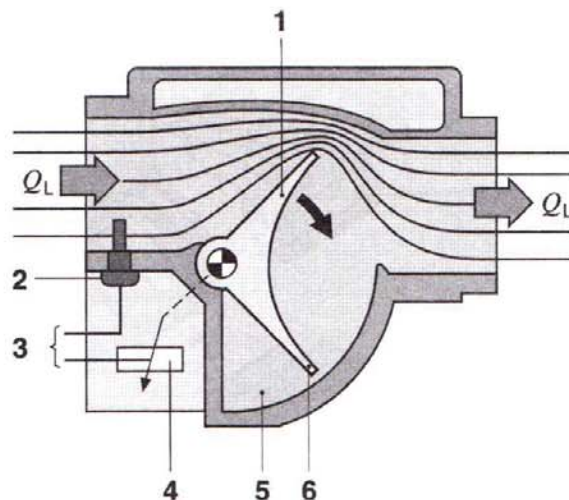
Wydatek powietrza w silnikach ZI jest najważniejszą wielkością stanowiącą o obciążeniu silnika. Podstawową dawkę wtryskiwanego paliwa dobiera się na podstawie ilości (masy) przepływającego powietrza. Z powodu ostrych wymagań dotyczących jakości spalin i zużycia paliwa jest niezbędny bardzo dokładny pomiar wydatku powietrza (z błędem nie większym niż 1...2%). Ze względu na zjawiska dynamiczne występujące podczas przepływu (pulsacje przepływu, przepływy wsteczne) pomiar przepływu powietrza przez układ dolotowy silnika nie jest łatwy. W celu określenia bardzo dokładnego dawkowania paliwa we współczesnych silnikach stosuje się precyzyjne czujniki mierzące masowy wydatek powietrza, nazywane anemometrami.

Przepływomierz powietrza jest umieszczony w układzie dolotowym między filtrem powietrza i korpusem przepustnicy. Rozróżnia się następujące rodzaje przepływomierzy wykorzystywanych w elektronicznych układach sterowania wtryskiem benzyny:

- z wychylną klapą;
- z termoanemometrem drutowym;
- z termoanemometrem warstwowym.

#### **Przepływomierz z wychylną klapą**

Przepływomierz z wychylną klapą (rys. 1.56) jest najstarszym rodzajem przepływomierza stosowanym w elektronicznie sterowanych układach wtrysku benzyny. Mierzy on objętościowy wydatek powietrza według zasady ciśnienia spiętrzania (ciśnienia dynamicznego). Ruchoma klapa spiętrzająca jest umieszczona w głównym kanale przepływomierza. Doprowadzony do silnika strumień powietrza odchyła klapę, pokonując siłę sprężyny ustalającej położenie spoczyn-



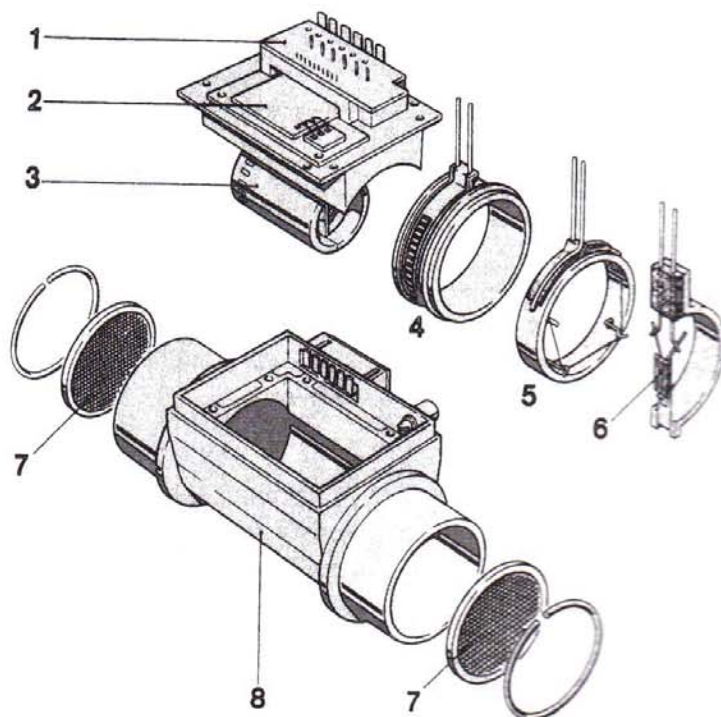
**Rys. 1.56.** Przepływomierz powietrza z wychylną klapą [3]

1 – klapa spiętrzająca, 2 – czujnik temperatury powietrza, 3 – złącze elektryczne do sterownika, 4 – potencjometr, 5 – objętość tłumika pneumatycznego, 6 – klapa kompensacyjna  
 $Q_L$  – strumień zasysanego powietrza

kowe klapy. Zmiana położenia powiększa swobodny przekrój przepływu wraz ze wzrostem wydatku powietrza. Zmiana swobodnej powierzchni strumienia w przepływomierzu jest tak dobrana, że wartości pola przekroju i wydatku powietrza są ze sobą związane zależnością zapewniającą dużą czułość przepływomierza przy małych wydatkach powietrza. Kłapa spiętrzająca jest połączona z ramieniem, którego szczotka ślizga się po elemencie rezystancyjnym potencjometru. Potencjometr przetwarza położenie kątowe klapy zależne od wydatku powietrza na napięcie elektryczne sygnału podawanego do sterownika. Kłapa spiętrzająca uchyla się razem z klapą kompensacyjną. Kłapa kompensacyjna w połączeniu z objętością komory tłumiącej spełnia rolę tłumika pneumatycznego, który zmniejsza zmiany położenia kąтового klapy spiętrzającej pod wpływem pulsacji ciśnienia dolotu. W celu precyzyjnego dawkowania paliwa w układach zawierających przepływomierz z wychylną klapą jest dokonywana korekcja gęstości (zmiana objętościowego wydatku powietrza na wydatek masowy). Zmiany gęstości powietrza, spowodowane zmieniającą się temperaturą, wyznacza sterownik na podstawie temperaturowej zmiany rezystancji czujnika temperatury powietrza zintegrowanego z przepływomierzem.

### **Przepływomierz z termoanemometrem drutowym**

Przepływomierz z termoanemometrem drutowym (potocznie: przepływomierz z gorącym drutem) składa się z obustronnie chronionej siatką obudowy rurowej, przez którą przepływa strumień powietrza. W przekroju rury pomiarowej jest rozpięty w formie trapezu ogrzewany drut platynowy o średnicy 70  $\mu\text{m}$ . Przed drutem w strumieniu jest umieszczony rezystor kompensacji temperaturowej (rys. 1.57). Oba elementy są składowymi częściami obwodu regulacyjnego i działają jako rezystory zmieniające rezystancję pod wpływem temperatury.



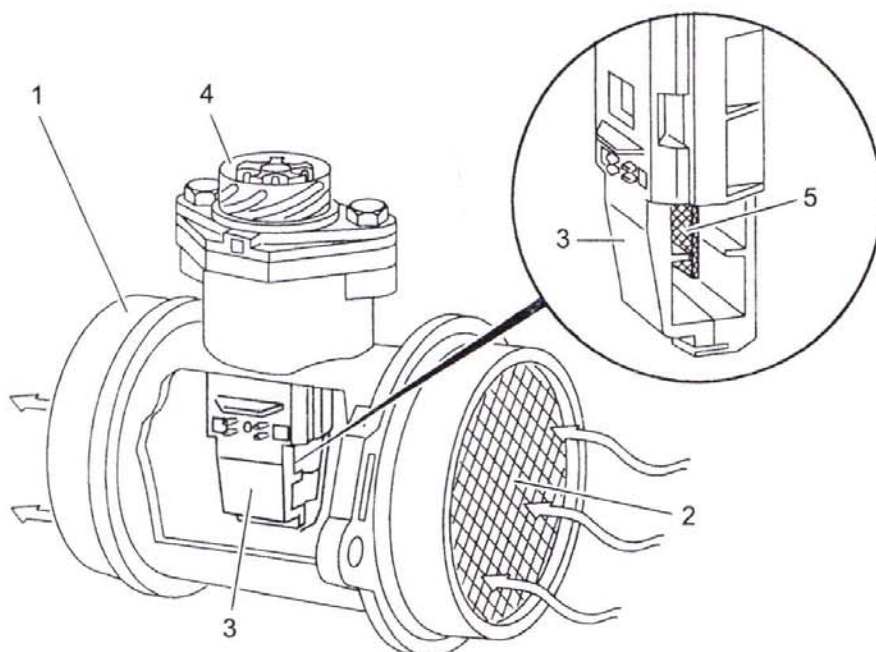
**Rys. 1.57.** Przepływomierz powietrza z termoanemometrem drutowym [9]

1 – złącze elektryczne, 2 – układ przetwarzania sygnału, 3 – rura wewnętrzna, 4 – rezystor pomiarowy, 5 – termoanemometr drutowy, 6 – rezystor kompensacji temperatury, 7 – siatki ochronne, 8 – obudowa

Powietrze opływające rezystor kompensacji temperaturowej zmienia jego temperaturę, a tym samym jego rezystancję i natężenie przepływającego prądu. Przepływomierz mierzy w ten sposób temperaturę przepływającego powietrza. Drut pomiarowy jest rozgrzany do temperatury o  $100^{\circ}\text{C}$  wyższej od temperatury rezystora kompensacji temperaturowej. Przepływające powietrze chłodzi drut pomiarowy oraz zmienia wartość jego rezystancji i przepływającego prądu. Obwód regulacyjny tak zmienia prąd grzewczy drutu pomiarowego, aby utrzymać stałą nadwyżkę temperatury drutu względem temperatury powietrza w strumieniu dolotowym. Taka zasada pomiaru uwzględnia gęstość powietrza, która decyduje o ilości oddawanego przez gorący drut ciepła do strumienia powietrza. Wartość prądu grzewczego jest miarą wydatku powietrza. Prąd grzewczy na precyzyjnym rezystorze wytwarza sygnał napięcia proporcjonalny do masowego wydatku powietrza. Aby uniknąć błędnych wyników pomiarów, spowodowanych zabrudzeniami osadzającymi się na platynowym drucie, po każdym zatrzymaniu silnika gorący drut poddaje się wypalaniu przez około 1 sekundę w temperaturze ok.  $1000^{\circ}\text{C}$ . Nagromadzone na drucie osady odparowują lub kruszą się i odpadają, co powoduje oczyszczenie drutu.

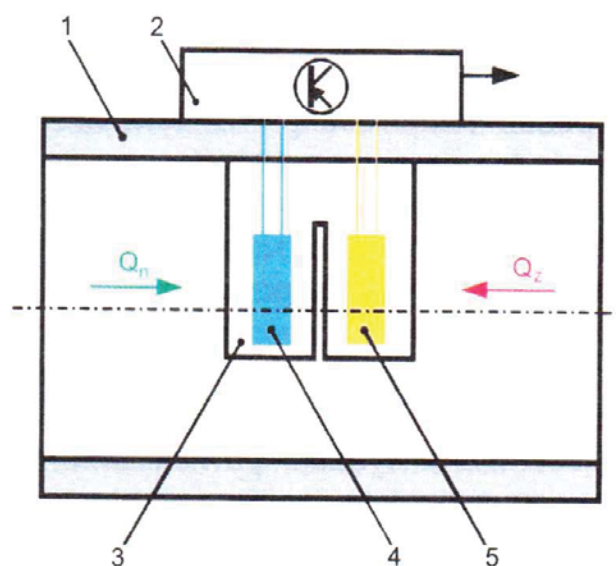
### **Przepływomierz z termoanemometrem warstwowym**

Przepływomierz z termoanemometrem warstwowym (potocznie: przepływomierz z gorącym filmem) charakteryzuje się umieszczeniem wykonanego w technice grubowarstwowej termicznego czujnika obciążenia silnika na płytce, która jest osadzana w rurze pomiarowej lub w filtrze powietrza (rys. 1.58) równoległe do kierunku przepływu strumienia powietrza. Podobnie jak w przepływomierzu



**Rys. 1.58.** Przepływomierz powietrza z termoanemometrem warstwowym [11]

1 – obudowa przepływomierza, 2 – siatka chroniąca przed zanieczyszczeniami, 3 – obudowa rezystorów pomiarowych, 4 – złącze elektryczne, 5 – podgrzewane rezystory pomiarowe



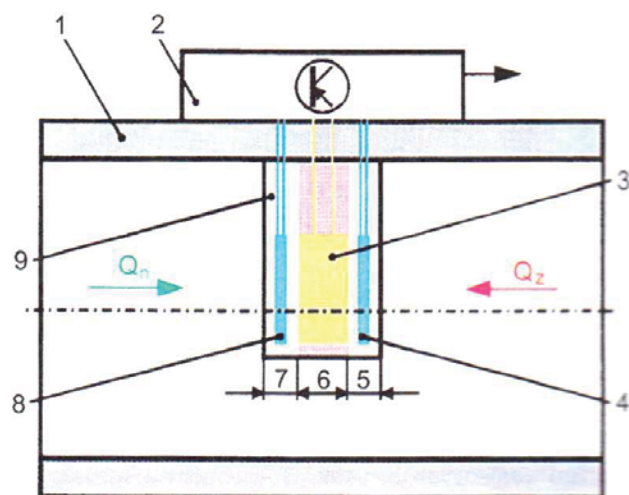
**Rys. 1.59.** Schemat przepływomierza powietrza z termoanemometrem warstwowym [42]

1 – rura przepływu powietrza, 2 – układy elektroniczne czujnika przepływomierza, 3 – płytka elementu pomiarowego czujnika przepływomierza, 4 – czujnik pomiaru temperatury przepływającego powietrza, 5 – grzałka płytki elementu pomiarowego

$Q_n$  – przepływ powietrza w kierunku „do silnika”,  
 $Q_z$  – przepływ powietrza w kierunku „do filtra powietrza” (tzw. zwrotny)

z termoanemometrem drutowym, w termoanemometrze warstwowym występują dwa elementy pomiarowe – czujnik temperatury powietrza i element grzewczy (rys. 1.59). Na płytce w kierunku przepływu powietrza do silnika znajduje się najpierw czujnik temperatury, a następnie grzałka. Czujnik temperatury mierzy temperaturę przepływającego powietrza, a układ elektroniczny stara się utrzymać większą o stałą wartość temperaturę elementu grzewczego od aktualnej temperatury przepływającego powietrza. Miarą masy przepływającego powietrza jest wartość natężenia prądu przepływającego przez element grzewczy.

Wszystkie opisane dotychczas przepływomierze nie są w stanie stwierdzić kierunku przepływu powietrza (do silnika lub do filtra powietrza). Kierunek zwrotny przepływu powietrza od silnika do filtra powietrza może być spowodowany nadmiernymi pulsacjami przepływu przez układ dolotowy. Przepływomierz z termoanemometrem warstwowym może być wykonany w wersji wykrywającej kierunek przepływu powietrza. Przepływomierz taki na płytce ma dwa czujniki temperatury umieszczone po obu stronach elementu grzewczego (rys. 1.60). Do określania kierunku przepływu powietrza wykorzystuje się różnicę tem-



**Rys. 1.60.** Schemat przepływomierza powietrza z termoanemometrem warstwowym różnicującym kierunek przepływu powietrza [42]

1 – rura przepływu powietrza, 2 – układy elektroniczne czujnika przepływomierza, 3 – grzałka płytki elementu pomiarowego, 4, 8 – czujniki mierzące lokalną temperaturę płytki elementu pomiarowego, 5, 7 – strzepy płytki elementu pomiarowego nieogrzewane przez grzałkę, 6 – strefa płytki elementu pomiarowego ogrzewana bezpośrednio przez grzałkę, 9 – płytka elementu pomiarowego czujnika przepływomierza

$Q_n$  – przepływ powietrza w kierunku „do silnika”,  
 $Q_z$  – przepływ powietrza w kierunku „do filtra powietrza” (tzw. zwrotny)

peratury wykrytej przez oba czujniki – czujnik znajdujący się po stronie napływu powietrza wykrywa niższą temperaturę powietrza niż czujnik po drugiej stronie elementu grzewczego.

### **Diagnostyka przepływomierza**

Nieprawidłowe działanie przepływomierza może wynikać z uszkodzenia jego elementu pomiarowego. W przepływomierzu z uchyloną klapą ruch klapy jest rejestrowany przez potencjometr ze ścieżką rezystancyjną. W tym przypadku usterka może mieć jedynie postać elektryczną (przy właściwym styku złączy). W przepływomierzach z termoanemometrem element pomiarowy jest delikatny (szczególnie w przepływomierzu z tzw. gorącym drutem) i narażony na uszkodzenia. Uszkodzenia te można podzielić na dwie grupy:

- uszkodzenia mechaniczne, powstające wskutek uderzeń cząstek stałych, zawartych w zasysanym powietrzu, w element pomiarowy czujnika przepływomierza;
- uszkodzenia powstające wskutek pokrywania się elementu pomiarowego czujnika przepływomierza zanieczyszczeniami zawartymi w zasysanym powietrzu.

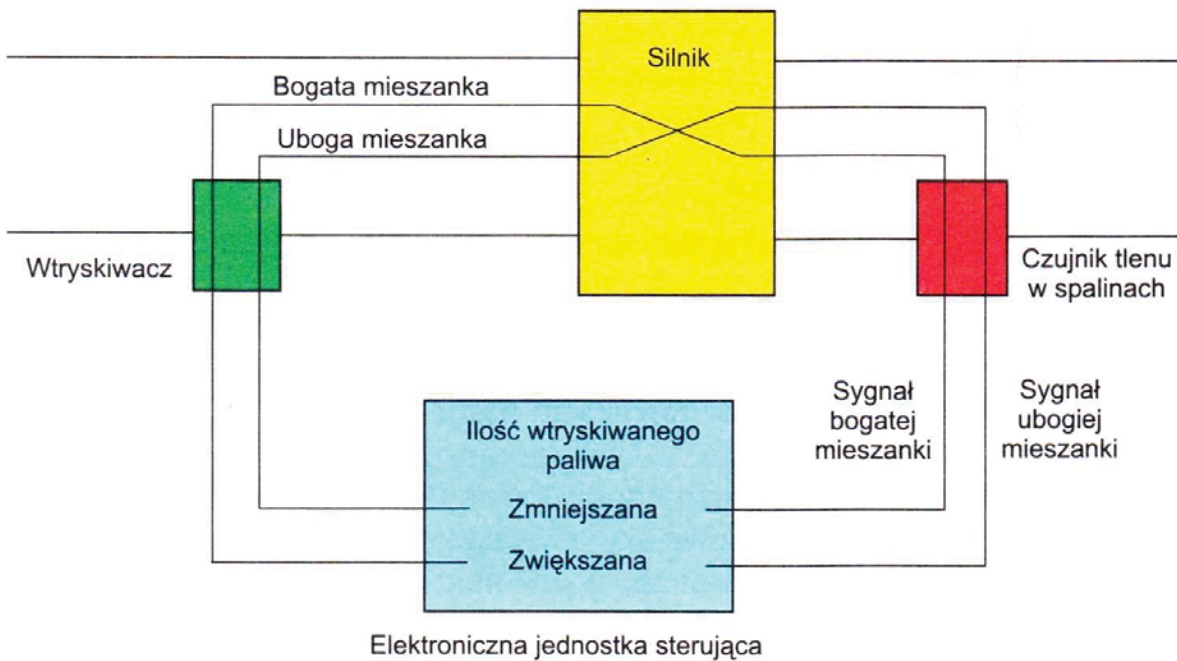
Przy założeniu sprawności silnika i jego układów przepływomierz jest elementem rzadko ulegającym samoistnemu uszkodzeniu. Podczas jego pracy dochodzi jednak do stopniowej utraty dokładności pomiaru, wynikającej z zmiany charakterystyki elementu pomiarowego podczas normalnej eksploatacji. Sprawdzenie charakterystyki wymontowanego masowego przepływomierza powietrza jest bardzo trudne ze względu na trudność określenia strumienia przepływającego powietrza. Orientacyjne sprawdzenie działania można przeprowadzić, wymuszając przepływ powietrza np. wentylatorem – stan taki powinien spowodować zmianę sygnału przepływomierza (przepływomierz pracuje).

Dysponując testerem diagnostycznym, można odczytać wartość masowego natężenia przepływu powietrza wyrażoną w określonych jednostkach i porównać ją z wartościami podanymi przez producenta pojazdu. Odczytu dokonuje się zwykle przy prędkości obrotowej biegu jałowego oraz przy innej określonej prędkości.

Działanie masowego przepływomierza powietrza jest monitorowane. Rzeczywisty sygnał pomiarowy uzyskiwany z przepływomierza jest porównywany z wartością kontrolną natężenia przepływu, obliczoną na podstawie informacji o prędkości obrotowej i obciążeniu silnika, przy uwzględnieniu temperatury zasysanego powietrza oraz innych wielkości korekcyjnych. Jeśli porównywane wartości istotnie się różnią, rejestrowana jest usterka.

### **Czujnik zawartości tlenu w spalinach (sonda lambda)**

Czujnik zawartości tlenu w spalinach, potocznie nazywany sondą lambda, należy do najważniejszych elementów systemu sterowania pracą silnika wyposażonego w układ wtrysku benzyny. Zadaniem sondy lambda jest pomiar różnicy gęstości cząsteczek tlenu w spalinach i w powietrzu wprowadzonym do wnętrza elementu pomiarowego. W układach wtrysku benzyny wykorzystuje się



**Rys. 1.61.** Schemat zasady działania układu regulacji składu mieszanki wykorzystującego czujnik zawartości tlenu w spalinach

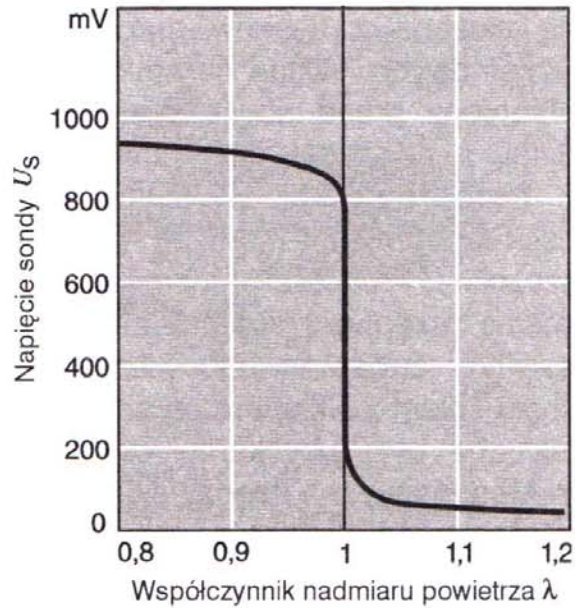
tę informację głównie do regulacji składu mieszanki. W stabilnych warunkach małych i średnich obciążeń rozgrzanego silnika skład mieszanki paliwowo-powietrznej, dzięki sygnałowi z sondy lambda, oscyluje wokół składu stechiometrycznego i zawiera się w tzw. oknie regulacji lambda ( $\lambda = 0,97 \dots 1,03$ ). Około stechiometryczny skład mieszanki palnej jest uzyskiwany dzięki zastosowaniu układu regulacji w pętli sprzężenia zwrotnego (rys. 1.61). Gdy stężenie tlenu w spalinach wskazuje na spalanie mieszanki ubogiej, czujnik przesyła sygnał do sterownika, na podstawie którego mieszanka ulega wzbogaceniu. Gdy mierzona ilość tlenu w spalinach świadczy o spalaniu mieszanki bogatej, przesyłany sygnał powoduje zubożenie mieszanki przez sterownik. Przy dużej częstotliwości występowania tych sygnałów skład mieszanki tworzonej przez układ zasilania ustala się prawie na poziomie stechiometrycznym. Utrzymywanie składu mieszanki w wąskim zakresie wokół współczynnika nadmiaru powietrza równego jeden jest szczególnie ważne dla prawidłowego i trwałego działania reaktora katalitycznego. Nie zawsze jednak silnik pracuje na mieszance stechiometrycznej i wtedy pętla sprzężenia zwrotnego, w zależności od sytuacji, może być zamknięta lub otwarta. W określonych warunkach regulacji pętla ta otwiera się w celu realizacji wyznaczonych dla sterownika silnika funkcji i tak np.:

- podczas nagrzewania silnika zwiększenie dawki paliwa umożliwi pokonanie większych oporów mechanicznych i utrzymanie stabilnej prędkości obrotowej biegu jałowego;
- w czasie gwałtownego wzrostu obciążenia i pracy silnika w zakresie pełnej mocy jest niezbędne wzbogacenie mieszanki palnej;
- podczas hamowania silnikiem, w celu zmniejszenia zużycia paliwa, wymaga się ograniczenia dawki paliwa.

Sygnał z czujnika zawartości tlenu w spalinach jest wykorzystywany również jako sygnał diagnostyczny do oceny stanu pracy innych elementów i układów silnika, np. reaktora katalitycznego i układu dotłaczania powietrza.

Sondy lambda dzieli się ze względu na:

- rodzaj regulacji – na dwustanowe oraz szerokopasmowe;
- budowę – na palcowe oraz planarne;
- sygnał – na aktywne (cyrkonowe, napięciowe), generujące napięcie oraz pasywne (tytanowe, rezystancyjne) o zmiennej rezystancji;
- sposób nagrzewania – bez grzałki oraz z grzałką.

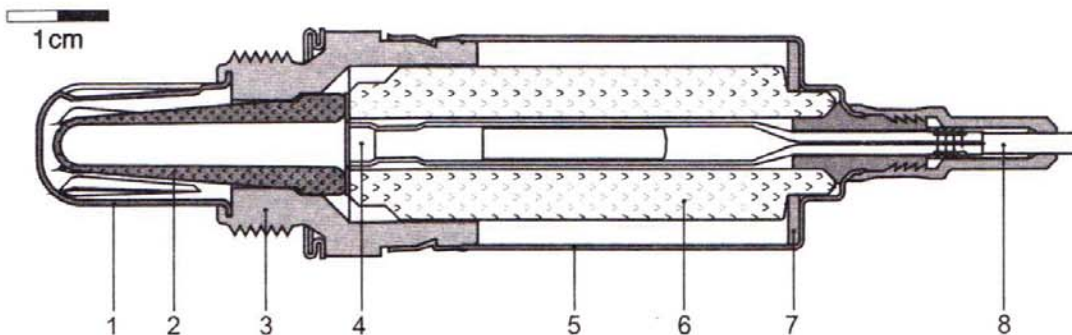


**Rys. 1.62.** Charakterystyka pracy dwustanowej sondy lambda [3]

### Dwustanowa palcowa sonda lambda

Najczęściej stosowaną sondą lambda jest sonda dwustanowa, która ma charakterystykę skokową (rys. 1.62) i na podstawie zawartości tlenu w spalinach wskazuje, czy spalana mieszanka jest bogata ( $\lambda > 1$ ), czy też uboga ( $\lambda < 1$ ).

Schemat dwustanowej palcowej sondy cyrkonowej bez grzałki przedstawiono na rysunku 1.63. Głównym elementem tego czujnika jest wkład ceramiczny z dwutlenku cyrkonu stabilizowanego tlenkiem itru (rys. 1.64). Stanowi on elektrolit w stanie stałym, który jest nieprzepuszczalny dla gazów. Powierzchnie zewnętrzne elektrolitu z obu stron są pokryte warstwami porowatej platyny. Warstwy platynowe stanowią elektrody czujnika. Z jednej strony wkład cyrkonowy jest omywany spalinami, z drugiej zaś bezpośrednio styka się z otaczającym powietrzem. Elektroda platynowa, po stronie zewnętrznej stykająca się ze spalinami, pokryta jest dodatkowo ochronną, porowatą warstwą ceramiczną.



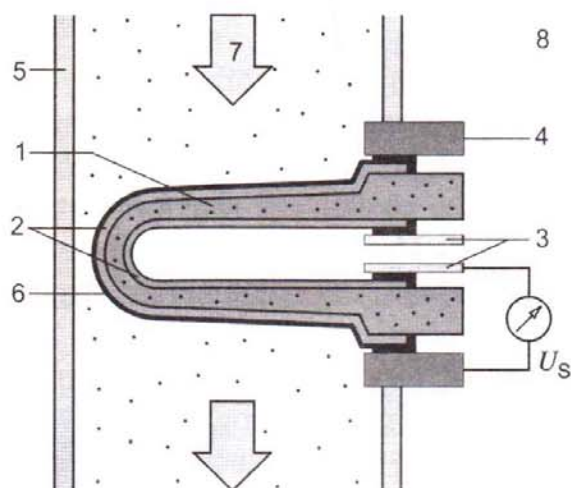
**Rys. 1.63.** Schemat dwustanowej palcowej sondy cyrkonowej niewyposażonej w grzałkę [3]

1 – osłona rurkowa ze szczelinami, 2 – aktywny trzon z warstwą katalityczną, 3 – obudowa, 4 – styk elektryczny, 5 – tulejka ochronna, 6 – ceramiczna wkładka rurkowa, 7 – sprężyna tarczowa, 8 – przewód elektryczny

ną złożoną z tlenków magnezowo-krzemowych. Wkład ceramiczny jest chroniony przed obciążeniami cieplnymi i chemicznymi wynikającymi z bezpośredniego działania spalin osłoną rurkową, w której są wykonane szczeliny. Poprzez sterowanie prędkością przepływu spalin szczeliny te powinny zapewnić odpowiedni czas styku spalin z wkładem ceramicznym, tak aby była uzyskana równowaga termodynamiczna między składnikami spalin, umożliwiającą właściwą pracę czujnika. Wkład ceramiczny jest utrzymywany w obudowie przez ceramiczną wkładkę rurkową i sprężynę tarczową. Styk elektryczny między wkładką rurkową i elektrodą sondy zapewnia połączenie wewnętrznej elektrody z przewodem elektrycznym czujnika tlenu. Zewnętrzna tuleja metalowa łączy w jedną całość elementy sondy oraz chroni wnętrze sondy przed zanieczyszczeniem.

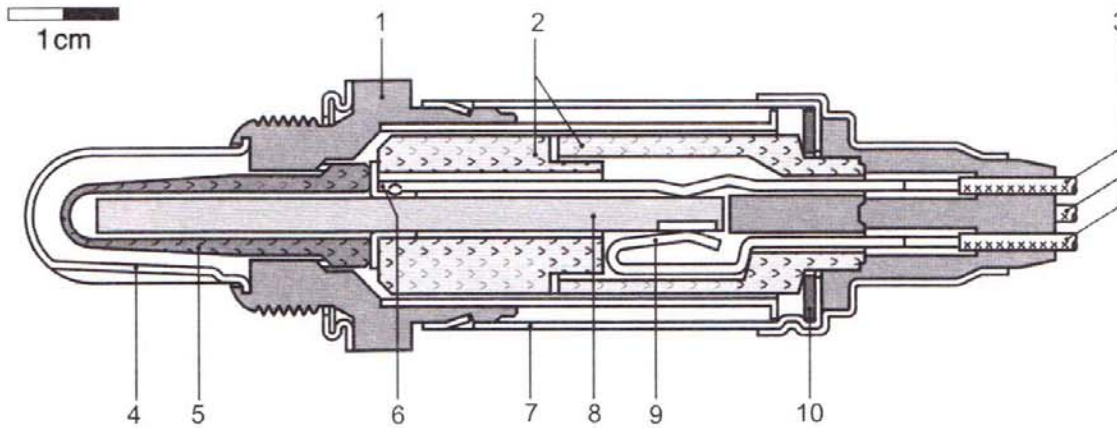
Czujnik zawartości tlenu w spalinach jest elementem nienaprawialnym. Sonda lambda bez grzałki może być jedno- lub dwuprzewodowa. W czujniku jednoprzewodowym występuje przewód sygnałowy, którym sonda łączy się ze sterownikiem, a masę stanowi obudowa czujnika. W czujniku dwuprzewodowym, oprócz przewodu sygnałowego, występuje również przewód masowy.

Działanie dwustanowej sondy cyrkonowej jest oparte na wykorzystaniu własności wkładu ceramicznego, polegającej na przenikaniu w temperaturze powyżej  $300^{\circ}\text{C}$  cząsteczek tlenu przez ścianki wkładu cyrkonowego w przypadku umieszczenia go między dwoma gazami zawierającymi tlen o różnym stężeniu. Niejednakowe stężenie tlenu po obu stronach wkładu ceramicznego jest przyczyną przepływu jonów tlenu przez wkład i powstania między platynowymi elektrodami napięcia elektrycznego rzędu kilkudziesięciu mV. Stężenie tlenu w spalinach zależy od rodzaju spalanej mieszanki. Podczas spalania mieszanki bogatej, mimo że teoretycznie w mieszance występuje niedobór tlenu, powstają spaliny, w których występuje niewielka zawartość tlenu (ok. 3%). Wyrażna zmiana zawartości tlenu (wzrost stężenia) w spalinach występuje, gdy spalana mieszanka ulega zubożeniu i ma skład o współczynniku  $\lambda > 1$ . Na podstawie pomiaru zawartości tlenu w spalinach można więc określić skład spalanej mieszanki. Jeżeli w spalinach jest więcej niż 3% tlenu (mieszanka uboga), na platynowych elektrodach sondy powstaje napięcie o wartości 0,1 V. Gdy jest spalana mieszanka bogata i w spalinach jest mniej niż 3% tlenu, napięcie sondy lambda zmienia wartość na 0,9 V. Sonda dwustanowa nie podaje informacji, jak bardzo mieszanka jest uboga lub bogata. Z zasady działania cyrkonowej sondy lambda wynika, że w procesach prowadzących do powstania



**Rys. 1.64.** Umieszczenie wkładu ceramicznego sondy lambda w rurze wylotowej [3]

1 - ceramika sondy, 2 - elektrody, 3 - styki, 4 - obudowa - część stykowa, 5 - rura wylotu spalin, 6 - porowata ceramiczna warstwa ochronna, 7 - spaliny  
 $U_s$  - napięcie sygnału sondy lambda



**Rys. 1.65.** Ogrzewana dwustanowa palcowa sonda lambda [3]

1 – obudowa, 2 – ceramiczna wkładka rurkowa, 3 – przewody elektryczne, 4 – osłona rurkowa ze szczelinami, 5 – aktywny trzon sondy z warstwą katalityczną, 6 – styk elektryczny, 7 – tulejka ochronna, 8 – element grzewczy, 9 – styk elektryczny elementu grzewczego, 10 – sprężyna tarczowa

sygnału sterownik silnika nie bierze udziału (czujnik zawartości tlenu w spalinach nie jest zasilany przez sterownik). Powstający sygnał jest przesyłany do sterownika i przez niego oceniany.

Aby w sondzie lambda mógł powstać sygnał wykorzystywany do regulacji składu mieszanki, wkład ceramiczny musi mieć temperaturę 300...850°C, choć są również sondy tzw. niskotemperaturowe, które działają już przy temperaturze wkładu ceramicznego ok. 220...250°C. Optymalna temperatura pracy sondy lambda wynosi 600°C, a dopuszczalna krótkotrwała temperatura podczas jej działania nie powinna przekroczyć 930°C.

W sterowaniu składem mieszanki duże znaczenie ma czas, w którym sonda lambda uzyskuje nominalną temperaturę pracy po uruchomieniu silnika – powinien on być jak najkrótszy. Jeśli sonda lambda nie jest wyposażona w element grzejny, to wkład cyrkonowy jest ogrzewany tylko przez przepływające spaliny. W wyniku dłuższej pracy na biegu jałowym oraz przy niewielkich obciążeniach silnika względnie niska temperatura spalin powoduje, że wkład nie osiąga minimalnej temperatury pracy lub trwa to dość długo. Sposobem na szybkie nagrzanie wkładu ceramicznego sondy lambda ciepłem spalin jest jak najbliższe umieszczenie tego czujnika przy silniku. W pewnych warunkach pracy może ono jednak doprowadzić do nadmiernego wzrostu temperatury sondy. Dlatego aby zwiększyć swobodę wyboru miejsca umieszczenia sondy i zabezpieczyć ją przed uszkodzeniem wskutek długotrwałej pracy silnika przy pełnym obciążeniu przez lepszą ochronę cieplną, stosuje się elektrycznie podgrzewane sondy (sonda lambda z grzałką).

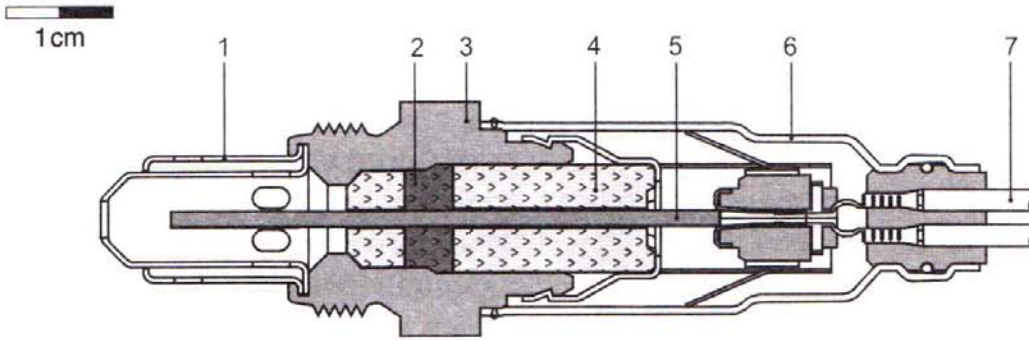
Ogrzewana sonda lambda (rys. 1.65) ma ceramiczny element grzejny, który po rozruchu silnika umożliwia szybsze uzyskanie minimalnej temperatury pracy wkładu ceramicznego (po 20...30 s sonda umożliwia regulację składu mieszanki), a następnie jej utrzymanie, niezależnie od temperatury spalin i miejsca montażu sondy. Grzałka sondy lambda może być zasilana regulowanym lub nieregulowanym prądem. W przypadku zasilania nieregulowanym prądem

grzałka jest zasilana w sposób ciągły (zasilanie jest związane z pracą pompy paliwa). Prąd zasilania grzałki wprawdzie zmniejsza się w trakcie pracy, lecz jest to związane ze wzrostem rezystancji elementu ceramicznego grzałki w związku ze wzrostem jej temperatury. W przypadku zasilania regulowanym prądem początkowo grzałka jest zasilana w sposób ciągły, a po osiągnięciu właściwej temperatury pracy wkładu ceramicznego rozpoczyna się sterowanie impulsowe. Polega ono na okresowym wyłączeniu i włączaniu prądu grzałki przez sterownik tak, aby wkład ceramiczny utrzymywał temperaturę optymalną dla pracy sondy. Ogrzewane sondy lambda mogą mieć trzy lub cztery przewody. Gdy sonda jest trójprzewodowa, jeden przewód jest przewodem sygnałowym, a dwa są przeznaczone do zasilania grzałki – masę stanowi obudowa czujnika. Jeśli sonda ma cztery przewody, czwarty przewód jest zewnętrzną masą sondy lambda.

Rzadziej od sond cyrkonowych (napięciowych) stosuje się dwustanowe sondy (rezystancyjne) z elementem pomiarowym wykonanym z dwutlenku tytanu. Działają one na zasadzie zmiany rezystancji elementu pomiarowego w zależności od ilości tlenu w spalinach. Przy wysokim stężeniu tlenu w spalinach (spalana mieszanka uboga  $\lambda > 1$ ) rezystancja elementu pomiarowego przekracza 100 k $\Omega$ , a przy niskim stężeniu tlenu w spalinach (spalana mieszanka bogata  $\lambda < 1$ ) wynosi 100 k $\Omega$ . Zmiana rezystancji w funkcji zawartości tlenu w spalinach ma charakter skokowy. Płaski element z dwutlenku tytanu z obu stron ma dwie platynowe elektrody. Sonda tytanowa nie wymaga, tak jak cyrkonowa, obecności powietrza atmosferycznego do pomiaru ilości tlenu w spalinach. Ten typ czujnika tlenu jest włączony w obwód elektryczny jak rezystor, a więc musi być zasilany napięciem przez sterownik. Zwykle wartość napięcia zasilania wynosi 5 V i wtedy napięcie sygnału zmienia się skokowo w zakresie 0...5 V. Skokowa zmiana sygnału z napięcia wysokiego na niskie występuje podczas zmiany składu mieszanki z bogatej na ubogą. W porównaniu z napięciowymi (cyrkonowymi) sondy rezystancyjne są mniej wrażliwe na obecność ołowiu w spalinach, mają mniejsze wymiary zewnętrzne oraz krótsze czasy nagrzewania i reakcji. Sondy rezystancyjne występują wyłącznie jako ogrzewane. Zakres ich temperatury roboczej wynosi 200...700°C, natomiast powyżej 850°C ulegają zniszczeniu.

### **Dwustanowa planarna sonda lambda**

Zasada działania napięciowego planarnego czujnika tlenu (rys. 1.66) jest taka sama jak napięciowego palcowego czujnika tlenu. Identyczne są też ich charakterystyki (skokowa zmiana napięcia w zakresie 0...1 V zależna od składu mieszanki). Najważniejsza różnica dotyczy budowy elementu pomiarowego. W sondzie planarnej zintegrowany z grzałką płaski element pomiarowy ma postać płytki o przekroju prostokątnym i składa się z kilku warstw elementów składowych (rys. 1.67). Ceramika specjalna elementu pomiarowego napięciowego planarnego czujnika tlenu z jednej strony jest omywana spalinami, a z drugiej strony styka się z gazem odniesienia. Rozróżnia się dwa rozwiązania konstrukcyjne napięciowych planarnych czujników tlenu w spalinach:

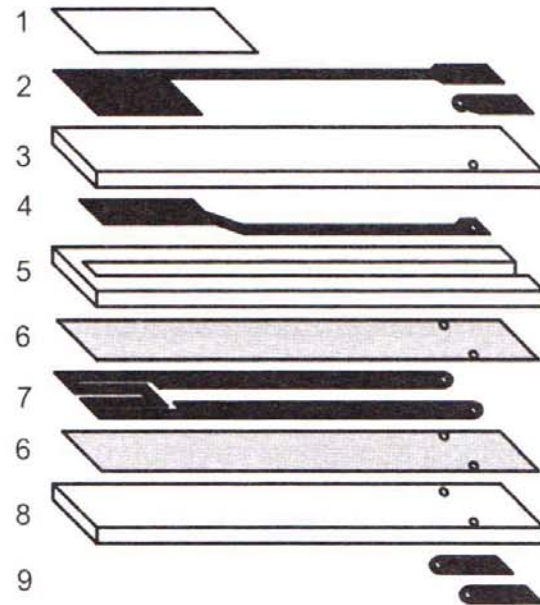


**Rys. 1.66.** Planarna dwustanowa sonda lambda [3]

1 – osłona rurkowa ze szczelinami, 2 – ceramiczny pakiet uszczelniający, 3 – obudowa, 4 – ceramiczna wkładka rurkowa, 5 – płaski element pomiarowy, 6 – tulejka ochronna, 7 – przewody elektryczne

- z kanałem powietrza atmosferycznego, w których gazem odniesienia jest powietrze otoczenia (rys. 1.68);
- z komorą o stałym stężeniu tlenu.

Budowa czujnika z komorą o stałym stężeniu tlenu jest taka sama jak czujnika z kanałem powietrza atmosferycznego, z tą różnicą, że komora wypełniona gazem odniesienia jest zamknięta, a elektrody elementu pomiarowego są podłączone do specjalnego układu sterownika, który zasila je napięciem 5 V. Przyłożenie napięcia powoduje przepływ prądu przez ceramikę specjalną, nazywanego prądem pompowania, o natężeniu ok. 20  $\mu\text{A}$ . Wywołuje on stały przepływ tlenu ze spalin do komory gazu odniesienia – poprzez przepływ jonów tlenu przez ceramikę specjalną. Część czujnika tlenu, wraz



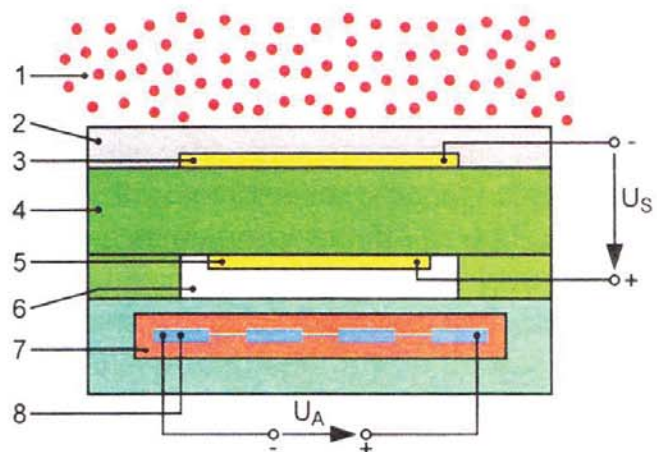
**Rys. 1.67.** Płaski element pomiarowy sondy planarnej [3]

1 – porowata warstwa ochronna, 2 – elektroda zewnętrzna, 3 – folia przetwornika, 4 – elektroda wewnętrzna, 5 – kanał powietrza (gazu odniesienia), 6 – warstwa izolacyjna, 7 – element grzewczy, 8 – folia elementu grzewczego, 9 – styki elektryczne

**Rys. 1.68.** Przekrój elementu pomiarowego planarnej sondy lambda z kanałem powietrza atmosferycznego [38]

1 – spaliny, 2 – warstwa porowatej ceramiki ochronnej, 3, 5 – porowata elektroda platynowa, 4 – ceramika specjalna (elektrolit stały), 6 – kanał powietrza atmosferycznego, 7 – grzałka, 8 – uzwojenie grzejne

$U_A$  – napięcie zasilania grzałki,  $U_S$  – napięcie sygnału sondy lambda



z jego układem sterującym, która wymusza przepływ jonów tlenu do komory, nazywa się pompą tlenu. Dzięki niej w komorze z gazem odniesienia jest utrzymywane stałe stężenie tlenu. Według ogólnej zasady działania napięciowego czujnika tlenu stężenie tlenu w spalinach jest porównywane ze stałym stężeniem tlenu w komorze zawierającej gaz odniesienia. Od różnicy stężeń tlenu zależy ilość jonów tlenu przepływających z komory do spalin, a od ilości przechodzących jonów tlenu – wartość napięcia sygnału czujnika tlenu.

Charakterystyki obu rodzajów czujników planarnych są jednakowe. Napięciowy czujnik tlenu z komorą o stałym stężeniu tlenu aby pracować, musi być połączony z układem sterującym (prąd pompowania powoduje wypełnienie komory tlenem), podczas gdy czujnik z kanałem powietrza atmosferycznego może generować sygnał bez konieczności połączenia go z układem sterującym.

Sygnał sondy z komorą o stałym stężeniu tlenu jest pewniejszy, gdyż wynika z porównywania stężenia tlenu w spalinach z czystym tlenem. W przypadku czujnika z kanałem powietrza atmosferycznego mogą wystąpić błędy sygnału wynikające z zanieczyszczenia spalinami powietrza będącego gazem odniesienia.

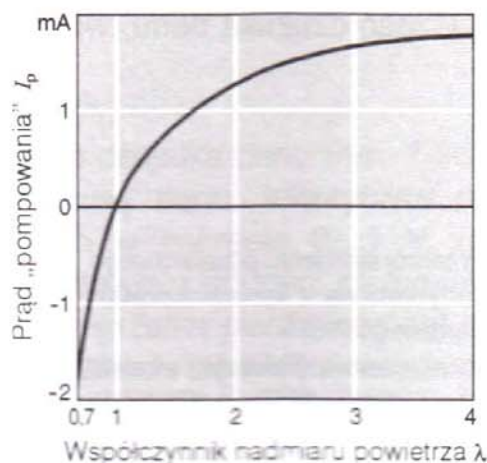
Napięciowe planarne czujniki zawartości tlenu w spalinach, w porównaniu z czujnikami palcowymi, charakteryzują się:

- krótszym czasem nagrzewania, czyli szybszą gotowością do działania;
- większą tolerancją na wysokie temperatury i ich szybkie zmiany;
- mniejszym poborem mocy przez grzałkę.

### **Szerokopasmowa planarna sonda lambda**

Szerokopasmowa sonda lambda umożliwia wyznaczenie stężenia tlenu w spalinach w szerokim zakresie zmian współczynnika nadmiaru powietrza spalanej mieszanki. Czujnik ten, oprócz stwierdzenia typu spalanej mieszanki (bogata, uboga), umożliwia dokładne określenie jej składu w zakresie  $\lambda = 0,7 \dots \infty$ , gdzie  $\lambda = \infty$  oznacza powietrze atmosferyczne. Sonda szerokopasmowa ma charakterystykę ciągłą, wyrażaną jako zmianę prądu pompowania zależną od współczynnika nadmiaru powietrza mieszanki, z której powstały badane spaliny (rys. 1.69). Szerokopasmowa sonda lambda umożliwia realizację w układzie sterowania różnych trybów pracy silnika (mieszanka stechiometryczna, mieszanka zubożona jednorodna, mieszanka wzbogacona, mieszanka uwarstwiona). Ze względu na szerokie możliwości, czujnik ten jest stosowany w silnikach ZI o bezpośrednim wtrysku benzyny.

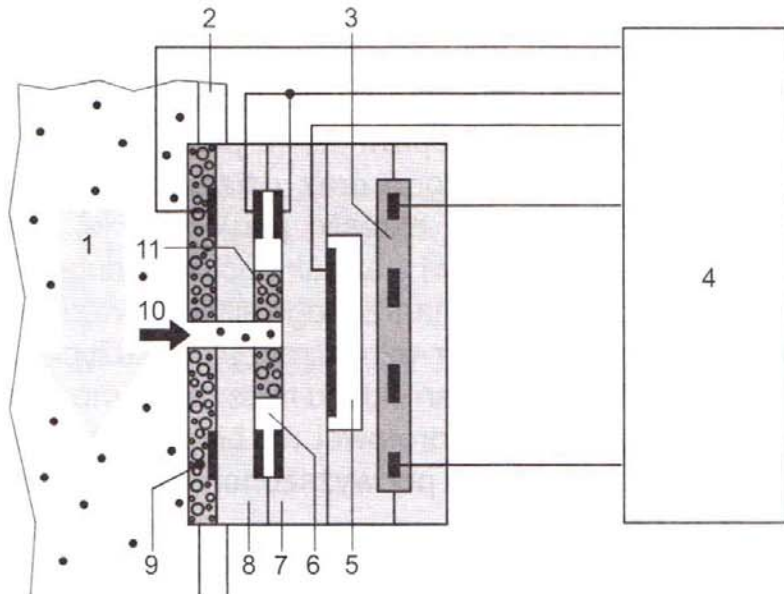
Schemat budowy elementu pomiarowego sondy szerokopasmowej



**Rys. 1.69.** Charakterystyka szerokopasmowej sondy lambda [3]

**Rys. 1.70.** Schemat budowy elementu pomiarowego szerokopasmowej sondy lambda [3]

1 – spaliny, 2 – rura wylotowa, 3 – podgrzewacz, 4 – układ sterujący, 5 – przetwornik z kanałem odniesienia, 6 – szczeliny dyfuzyjne, 7 – ceramika specjalna (elektrolit stały), 8 – element pompowania z elektrodami wewnętrzną i zewnętrzną, 9 – porowata warstwa ochronna, 10 – wlot spalin, 11 – porowata przegroda dyfuzyjna



przedstawiono na rysunku 1.70. Szerokopasmowa sonda lambda jest planarnym dwuwarstwowym czujnikiem prądowym. Warstwy stanowiące elektrolit w stanie stałym są wykonane z ceramiki (dwutlenek cyrkonu). Warstwa położona bliżej kanału wylotowego stanowi tzw. pompę tlenu, a druga warstwa jest typowym czujnikiem dwustanowym. Między warstwami ceramicznymi jest wykonana szczelina dyfuzyjna, połączona z rurą wylotową przez otwór wylotowy spalin. Napływ cząsteczek tlenu ze spalin do szczeliny dyfuzyjnej ogranicza porowata przegroda dyfuzyjna. Warstwa stanowiąca czujnik dwustanowy z jednej strony styka się ze spalinami wypełniającymi szczelinę dyfuzyjną, z drugiej zaś z powietrzem atmosferycznym wypełniającym komorę gazu odniesienia. W tej części sondy szerokopasmowej zachodzi oszacowanie współczynnika nadmiaru powietrza spalanej mieszanki przez porównanie stężenia tlenu w spalinach w szczelinie dyfuzyjnej i w powietrzu atmosferycznym. Aby sterownik otrzymał dający się zmierzyć sygnał, układ sterujący czujnika przykłada napięcie do elektrod warstwy ceramicznej spełniającej rolę pompy tlenu. Dzięki niemu tlen ze spalin może przedostawać się do szczeliny dyfuzyjnej lub być z niej usuwany. Układ sterujący reguluje napięcie na elektrodach pompy tlenu w taki sposób, aby skład spalin w szczelinie dyfuzyjnej odpowiadał mieszance stechiometrycznej ( $\lambda = 1$ ). Przy spalinach powstałych z ubogich mieszanek następuje wypompowywanie tlenu ze szczeliny dyfuzyjnej na zewnątrz, tak aby uzyskać spaliny odpowiadające  $\lambda = 1$  (stwierdza to warstwa czujnika dwustanowego). Jest to możliwe przy dodatnim prądzie sterowania. Gdy spaliny powstały ze spalania mieszanki bogatej, układ sterujący powoduje ujemny przepływ prądu pompowania, tak aby tlen mógł być pompowany ze spalin do szczeliny dyfuzyjnej. Przy spalaniu mieszanki stechiometrycznej nie ma potrzeby pompowania tlenu między spalinami a szczeliną dyfuzyjną i napięcie na elektrodach pompy tlenu oraz prąd pompowania są równe zero. Prąd pompowania, proporcjonalny do stężenia tlenu w spalinach, jest miarą współczynnika nadmiaru powietrza spalanej mieszanki.

### **Diagnostyka sondy lambda**

Sonda lambda należy do grupy czujników bardzo podatnych na usterki, których przyczyną może być nieprawidłowa praca silnika lub układu zasilania, zanieczyszczenie paliwa, wilgoć oraz działania mechaniczne. Dlatego też przed wymianą sondy należy określić przyczynę jej uszkodzenia. Sonda lambda ulega również procesowi naturalnego starzenia. Przyspieszonemu starzeniu sprzyja krótka praca nienagrzanego silnika. Wtedy sondy najszybciej pokrywają się nagarem i wykazują oznaki zużycia. Zużycie sondy lambda objawia się szerszym zakresem zmian składu mieszanki i może prowadzić do odczuwalnego „falowania” prędkości obrotowej na biegu jałowym, przyspieszonego zużycia reaktora katalitycznego, podwyższonej emisji składników toksycznych i zwiększenia zużycia paliwa.

Czynności diagnostyczne dotyczące dwustanowej sondy lambda można podzielić na dwie grupy:

- wstępna kontrola wzrokowa;
- pomiar i analiza parametrów elektrycznych.

Wstępna kontrola wzrokowa umożliwia wykrycie usterek mechanicznych czujnika oraz nieprawidłowości w pracy silnika, w których wyniku powstają różnego rodzaju osady na powierzchni czujnika stykającej się ze spalinami. Możliwe do wykrycia podczas kontroli wzrokowej usterki to:

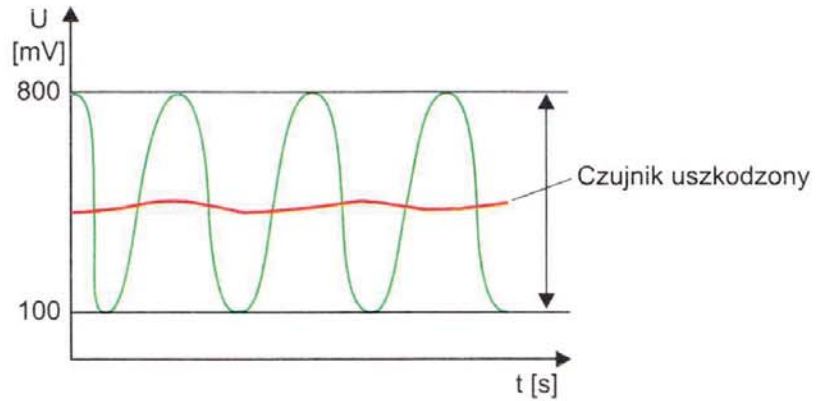
- ciemny osad z sadzy na osłonie czujnika świadczący o spalaniu przez silnik bogatych mieszanek;
- biały lub jasnoszary osad na osłonie czujnika świadczący o spalaniu oleju smarującego lub zastosowaniu niedopuszczalnych dodatków do benzyn;
- uszkodzenia mechaniczne czujnika w postaci wgniecień lub pęknięć;
- grzechotanie we wnętrzu sondy podczas jej potrząsania świadczące o uszkodzeniu wkładu ceramicznego.

Uszkodzenia mechaniczne mogą wynikać z uderzeń w sondę np. w czasie kolizji pojazdu lub podczas niedbałej obsługi technicznej. Niedopuszczalne jest pukanie w sondę, np. w celu uzyskania łatwiejszego jej wykręcenia, a dokręcanie tego czujnika powinno zawsze odbywać się kluczem dynamometrycznym w celu zachowania momentu dokręcania w granicach 50...60 N·m.

Więcej informacji na temat działania sondy lambda uzyskuje się, sprawdzając generowany przez czujnik sygnał, zwłaszcza analizując zmiany sygnału przy pracującym silniku. Pomiar taki najlepiej przeprowadza się za pomocą oscyloskopu. Do sprawdzania wykorzystuje się również specjalne testery sond lambda, w których wyniki pomiarów są obrazowane na liniijkach diodowych charakteryzujących się małą bezwładnością wskazań. Urządzenia te umożliwiają również przeprowadzanie testu stanu starzenia czujnika. W przypadku silnika samochodu wyposażonego w pokładowy system diagnostyczny sygnał czujnika tlenu jest na bieżąco monitorowany i wykrycie ewentualnych uszkodzeń jest w nich sygnalizowane zaświeceniem lampki diagnostycznej na tablicy rozdzielczej.

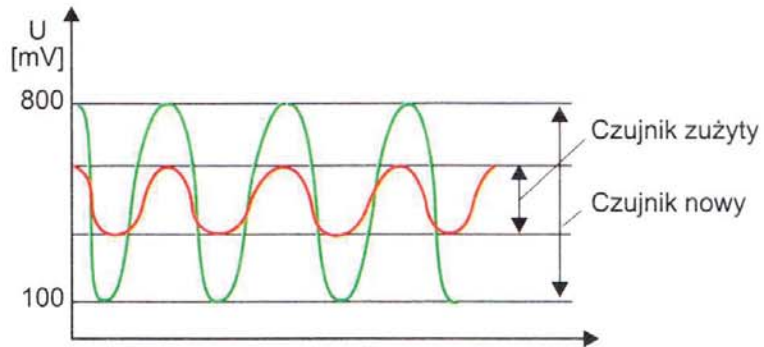
**Rys. 1.71.** Przebieg sygnału sprawnego (linia zielona) i uszkodzonego (linia czerwona) czujnika zawartości tlenu w spalinach [19]

$U$  – napięcie,  $t$  – czas



**Rys. 1.72.** Zmniejszenie amplitudy rejestrowanego sygnału jako skutek zaawansowanych procesów normalnego zużycia (starzenia) czujnika zawartości tlenu w spalinach [19]

$U$  – napięcie,  $t$  – czas,  
linia zielona – sygnał czujnika nowego,  
linia czerwona – sygnał czujnika zużytego



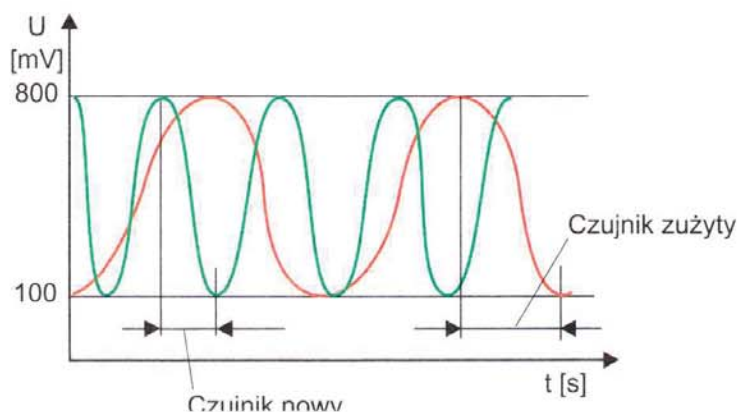
Sygnał napięcia dwustanowej sondy lambda analizuje się, zwracając uwagę na:

- maksymalne napięcie sygnału w zakresie mieszanek bogatych;
- minimalne napięcie sygnału w zakresie mieszanek ubogich;
- szybkość zmiany sygnału sondy przy zmianie składu mieszanki z ubogiej na bogatą;
- szybkość zmiany sygnału sondy przy zmianie składu mieszanki z bogatej na ubogą;
- długość okresu lub częstotliwość sygnału sondy.

Typowy przebieg sygnału generowanego przez nowy czujnik tlenu, zarejestrowany podczas pracy rozgrzanego silnika, przedstawiono na rysunku 1.71. Przebieg ten charakteryzuje się symetrią względem linii napięcia o wartości 0,45 V, odpowiadającej składowi stechiometrycznemu. Maksymalne wychylenia od tej linii w kierunku napięć wyższych (mieszanka bogata) i niższych (mieszanka uboga) w przybliżeniu są równe. Czasy trwania pojedynczych okresów pracy silnika w zakresie mieszanek bogatych i ubogich są do siebie podobne i wynoszą 0,3...0,5 s. Na rysunku pokazano również przebieg sygnału uszkodzonego czujnika, charakteryzujący się prawie niezmienną wartością.

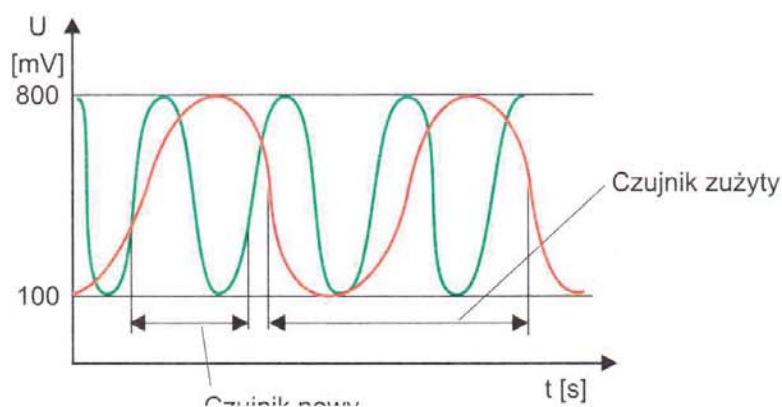
Stopniowe zużywanie się czujnika tlenu objawia się:

- zmniejszeniem amplitudy rejestrowanego sygnału (rys. 1.72);
- powolnym narastaniem i spadkiem sygnału, którego obrazem jest zmniejszone nachylenie zboczy wykresu (rys. 1.73);



**Rys. 1.73.** Spowolnienie reakcji czujnika zawartości tlenu w spalinach na skutek procesów starzenia [19]

$U$  – napięcie,  $t$  – czas,  
linia zielona – sygnał czujnika nowego,  
linia czerwona – sygnał czujnika zużytego



**Rys. 1.74.** Wydłużenie okresu regulacji na skutek procesów starzenia czujnika zawartości tlenu w spalinach [19]

$U$  – napięcie,  $t$  – czas,  
linia zielona – sygnał czujnika nowego,  
linia czerwona – sygnał czujnika zużytego

– wydłużeniem występujących naprzemiennie okresów spalania mieszanek bogatych i ubogich (rys. 1.74).

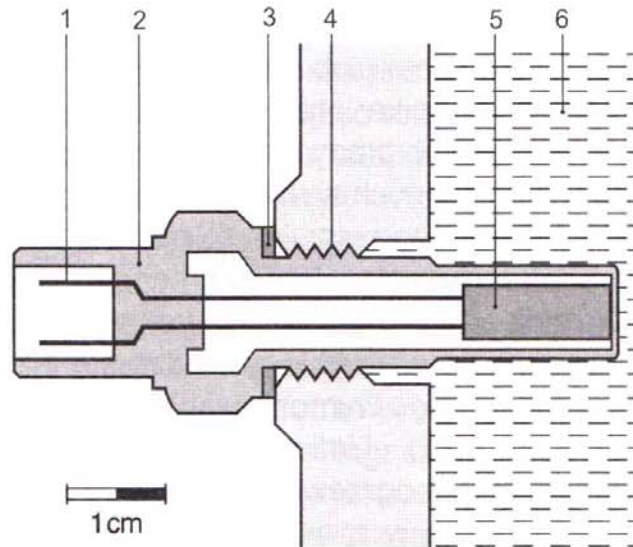
W przypadku badania szerokopasmowej sondy lambda przeprowadza się pomiary następujących wielkości:

- prądu pompowania (zmiany powinny być zgodne z wzorcową charakterystyką czujnika);
- napięcia powstającego w części czujnika spełniającej rolę sondy dwustanowej (wartość prawidłowa tego napięcia stwierdzająca skład stechiometryczny spalin w szczelinie dyfuzyjnej wynosi 0,45 V).

W celu sprawdzenia działania grzałki czujnika tlenu należy dokonać pomiaru napięcia zasilania oraz rezystancji elementu grzewczego. Napięcie zmierzone na złączu powinno wynosić co najmniej 10,5 V. Prawidłowa rezystancja grzałki, określona dla zimnego czujnika (rezystancja elementu rośnie wraz z jego temperaturą), na ogół wynosi 1...14  $\Omega$ .

### Czujniki temperatury

W układach sterowania pracą silnika stosuje się czujniki temperatury cieczy chłodzącej silnik (rys. 1.75), zwane krócej czujnikami temperatury silnika, i czujniki temperatury powietrza dolotowego wykorzystujące termistory, czyli rezystory półprzewodnikowe, których rezystancja zależy od temperatury. Zwykle są to termistory o ujemnym współczynniku temperaturowym (ang. NTC – *Negative Temperature Coefficient*) rezystancji, niekiedy termistory o dodatnim



**Rys. 1.75.** Czujnik temperatury cieczy chłodzącej silnika [3]

1 – złącze elektryczne, 2 – obudowa, 3 – pierścień uszczelniający, 4 – złącze gwintowe, 5 – termistor, 6 – ciecz chłodząca

współczynnikiem temperaturowym (ang. PTC – *Positive Temperature Coefficient*) rezystancji. W czujniku NTC wraz ze wzrostem temperatury cieczy chłodzącej w silniku (powietrza w układzie dolotowym) maleje jego rezystancja (rys. 1.76), a w konsekwencji – napięcie, którego wartość jako sygnał jest przekazywana do sterownika. Rezystancja ta zwykle wynosi:

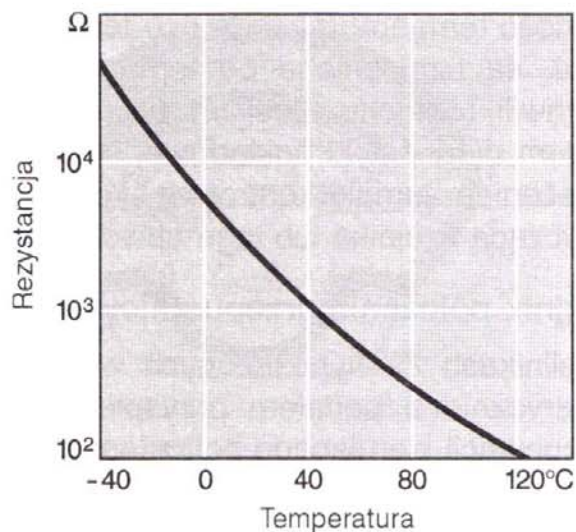
- przy  $-20^{\circ}\text{C}$ : ok.  $10\text{ k}\Omega$ ;
- przy  $0^{\circ}\text{C}$ : ok.  $5\text{ k}\Omega$ ;
- przy  $100^{\circ}\text{C}$ : ok.  $200\ \Omega$ .

Czujnik temperatury jest zasilany napięciem  $5\text{ V}$ , a jego sygnał zmienia się zależnie od wartości rezystancji termistora.

Czujnik temperatury silnika jest wbudowany w układ chłodzenia silnika i określa temperaturę w zakresie  $-40\dots+130^{\circ}\text{C}$ . W zintegrowanych systemach sterowania silnika sterownik wykorzystuje sygnał z tego czujnika do korekcji punktu zapłonu i czasu trwania wtrysku benzyny.

Czujnik temperatury powietrza dolotowego jest wbudowany w układ dolotowy silnika, określając temperaturę powietrza w zakresie  $-40\dots+120^{\circ}\text{C}$ . W połączeniu z czujnikiem ciśnienia powietrza dolotowego (lub ciśnienia doładowania) albo przepływomierzem z uchylną klapą stanowi podstawę do obliczeń masy powietrza pobieranego przez silnik. Ponadto sygnał tego czujnika służy do dopasowania wartości zadanych w układzie regulacji (np. recyrkulacja spalin, regulacja ciśnienia doładowania) do temperatury powietrza.

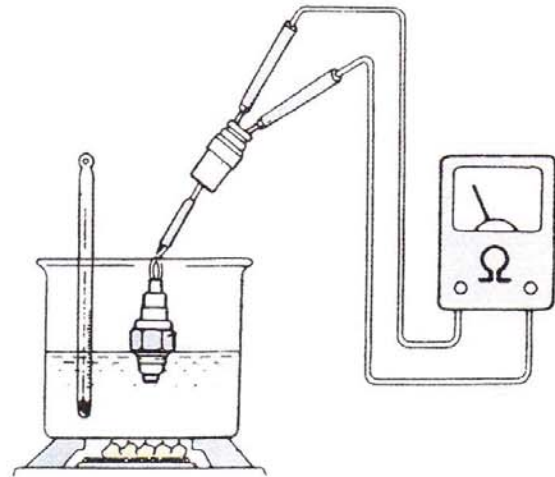
Sprawdzenie czujnika temperatury polega na pomiarze:



**Rys. 1.76.** Charakterystyka czujnika temperatury NTC [3]

- napięcia zasilania czujnika (5 V),
- napięcia sygnału lub rezystancji termistora czujnika przy określonych temperaturach pracy silnika i porównaniu uzyskanych wyników z charakterystyką tego czujnika podaną przez producenta.

W razie uzyskania niepewnych wyników pomiarów czujnik sprawdza się dokładniej po jego wymontowaniu z silnika (rys. 1.77). Umieszcza się go w naczyniu z podgrzewaną wodą, której temperaturę w czasie pomiaru rezystancji czujnika odczytuje się na bieżąco za pomocą termometru.



Rys. 1.77. Sposób sprawdzania wymontowanego czujnika temperatury [42]

Uszkodzony czujnik temperatury silnika (brak sygnału lub nieprawidłowy sygnał) może być przyczyną trudności lub niemożności uruchomienia zimnego silnika oraz wzrostu zużycia paliwa. W przypadku nieprawidłowego sygnału, który nie odpowiada, zgodnie z charakterystyką czujnika, mierzonej temperaturze, lecz mieści się w zakresie założonych dla czujnika parametrów, układ samodiagnozy sterownika nie wskazuje błędu i wtedy jest konieczne przeprowadzenie podanych wcześniej pomiarów.

Działanie czujnika temperatury silnika nadzoruje pokładowy system diagnostyczny. Przeprowadza on testy funkcjonalne w celu potwierdzenia prawidłowości działania czujnika. Polegają one na śledzeniu zmian temperatury mierzonej przez czujnik w określonym czasie bezpośrednio po rozruchu, w fazie nagrzewania silnika. Jako kryterium prawidłowego działania przyjmuje się, że temperatura silnika po jego rozruchu, w fazie nagrzewania w ściśle określonym czasie powinna wzrosnąć o odpowiednią wartość lub do określonego poziomu. Wartość temperatury na końcu testu lub jej przyrost, jak również czas trwania testu, są uzależnione od temperatury początkowej cieczy, zarejestrowanej w chwili rozruchu. Jeśli mierzona wartość nie wzrasta lub rośnie wolniej, system diagnostyki pokładowej stwierdza, że pomiar jest nieprawidłowy i zaświeceniem lampki kontrolnej sygnalizuje usterkę systemu sterowania silnika dotyczącą czujnika lub jego obwodu elektrycznego.

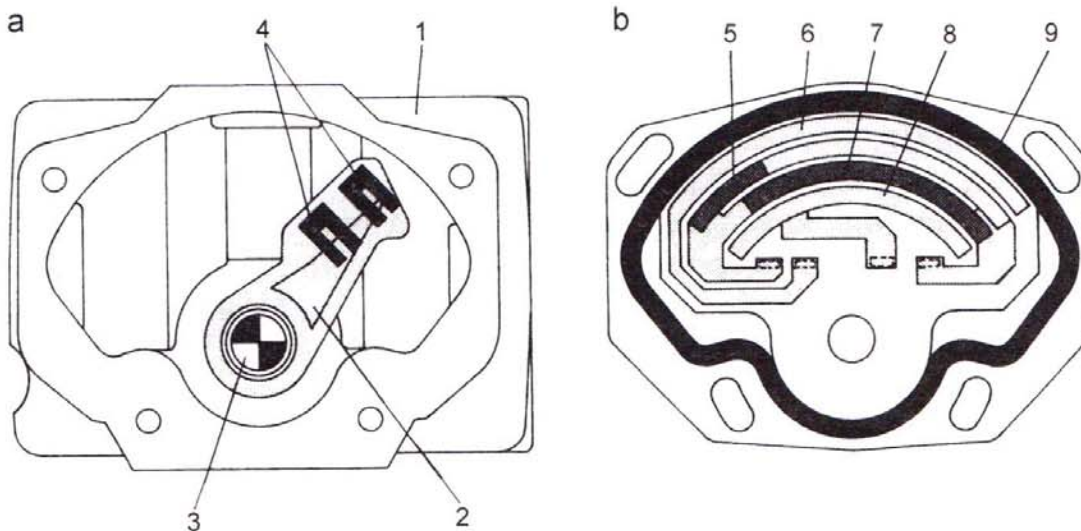
### Czujnik położenia przepustnicy

W silnikach ZI wyposażonych w przepustnicę połączoną mechanicznie lub elektrycznie z pedałem przyspieszenia jest ona bezpośrednim elementem komunikacji kierującego pojazdem z silnikiem. Położenie przepustnicy określa w nich zamiary kierowcy dotyczące obciążenia silnika. Do określania chwilowego i skrajnych położenia (uchyleń) przepustnicy (pełne otwarcie i całkowite zamknięcie) wykorzystuje się czujniki położenia przepustnicy, które mogą mieć postać potencjometru lub mikroprzełącznika.

Potencjometryczny czujnik położenia przepustnicy rejestruje kąt obrotu oraz szybkość zmian uchylenia przepustnicy. Czujnik ten informuje o stanie obciążenia silnika i służy m.in. jako źródło dodatkowych informacji do rozpoznania stanu pracy silnika (bieg jałowy, obciążenie częściowe, pełne obciążenie, szybkość zmiany obciążenia). Ponadto może stanowić źródło sygnału w trybie awaryjnym po uszkodzeniu głównego czujnika obciążenia silnika (przepływomierza powietrza). W układach z elektroniczną przepustnicą (tzw. elektroniczny pedał gazu) czujnik położenia przepustnicy spełnia dodatkową funkcję. Jego sygnał służy sterownikowi silnika do sprawdzenia, czy przepustnica przyjmuje zadane położenie przez porównanie z wartością zadaną. W potencjometrze przepustnicy ramię czujnika, osadzone na osi przepustnicy, jest zakończone ślizgaczem ze stykami, które przesuwają się po jednej lub dwóch ścieżkach rezystancyjnych. Czujnik zasilany jest napięciem o wartości 5 V. Położenie styku ślizgacza na ścieżce rezystancyjnej, określone uchyleniem przepustnicy, wyznacza wartość liniowego sygnału napięcia, zmieniającego się w zakresie 0...5 V. Każdemu położeniu pośredniemu odpowiada napięcie wynikające z charakterystyki czujnika.

W niektórych układach, w których czujnik położenia przepustnicy stanowi główny czujnik obciążenia silnika, w celu uzyskania niezbędnej dokładności pomiaru, stosuje się czujnik o dwóch potencjometrach z dwoma zakresami pomiarowymi (rys. 1.78). Pierwszy zakres pomiarowy obejmuje kąty uchylenia przepustnicy  $0^{\circ}$ ... $24^{\circ}$ , drugi zaś  $18^{\circ}$ ... $90^{\circ}$ . Niesymetryczny podział zakresów pomiarowych stosuje się w celu uzyskania dokładniejszego pomiaru kąta w zakresie małych uchyień przepustnicy.

W starszych konstrukcjach układów wtryskowych benzyny stosowano czujnik położenia przepustnicy w postaci mikroprzełącznika (rys. 1.79). W czujniku tym następuje okresowe zwieranie i rozwieranie dwóch par styków: biegu jałowego



**Rys. 1.78.** Potencjometryczny czujnik położenia przepustnicy z dwoma zakresami pomiarowymi [9]

*a* – obudowa ze ślizgaczem, *b* – pokrywa z bieżniami

1 – obudowa, 2 – ramię ślizgacza, 3 – oś przepustnicy, 4 – ślizgacz, 5 – pierwsza bieżnia oporowa, 6 – pierwsza bieżnia kolektorowa (prowadząca), 7 – druga bieżnia oporowa, 8 – druga bieżnia kolektorowa (prowadząca), 9 – uszczelniacz

i pełnego obciążenia, sterowanych krzywką połączoną z osią przepustnicy. Na podstawie sygnału z tego czujnika elektroniczny sterownik silnika może rozróżnić trzy różne stany pracy silnika:

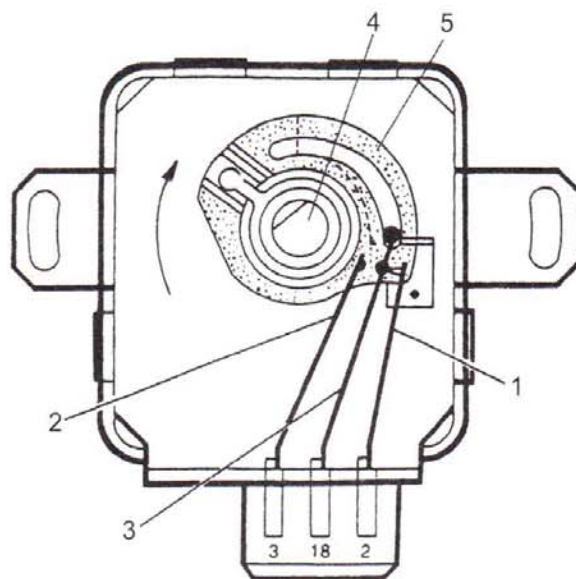
- przepustnica zamknięta, bieg jałowy silnika (styki biegu jałowego zwarte, styki pełnego obciążenia rozwarte);
- przepustnica otwarta, częściowe obciążenia silnika (styki biegu jałowego oraz pełnego obciążenia rozwarte);
- przepustnica całkowicie otwarta, pełne obciążenie silnika (styki pełnego obciążenia zwarte, styki biegu jałowego rozwarte).

Sygnał biegu jałowego jest wykorzystywany przez sterownik do stabilizacji prędkości obrotowej biegu jałowego lub wykonywania procedury hamowania silnikiem (odcięcie wtrysku paliwa), gdy prędkość obrotowa silnika jest większa od założonej. Przy wystąpieniu sygnału pełnego obciążenia sterownik wymusza takie dawkowanie paliwa, aby silnik osiągnął w danej chwili maksymalny moment obrotowy.

Sprawdzenie potencjometru przepustnicy polega na pomiarze napięcia zasilania czujnika (5 V) oraz napięcia jego sygnału. Zwykle przy położeniu biegu jałowego napięcie sygnału wynosi mniej niż 0,7 V, a przy pełnym otwarciu przepustnicy ok. 4,5 V. Przy łagodnym otwieraniu i zamykaniu przepustnicy napięcie sygnału powinno zmieniać się płynnie, bez przerw i zmian skokowych (obserwację zmian napięcia ułatwia woltomierz wskazówkowy, woltomierz z paskiem diodowym lub oscyloskop). W potencjometrach z dwoma zakresami pomiarowymi sprawdza się kolejno działanie dwóch czujników w ich zakresach pomiarowych.

Ze względu na mechaniczny charakter współpracy styku ze ścieżką rezystancyjną podczas eksploatacji ścieżka ulega wytarciu, którego skutkiem są zakłócenia sygnału. Nieprawidłowe działanie potencjometru przepustnicy może objawiać się nierównomierną pracą silnika, wypadaniem zapłonów oraz nieprawidłową prędkością obrotową biegu jałowego. Przyspieszone zużycie potencjometru powodują zwykle zanieczyszczenia i mieszanka paliwowo-powietrzna (wtrysk jednopunktowy) przedostające się do wnętrza czujnika z powodu występowania luzu na osi przepustnicy.

Sprawdzenie czujnika położenia przepustnicy w postaci mikroprzełącznika polega na określeniu omomierzem stanu zwarcia i rozwarcia par styków przy określonych położeniach przepustnicy. Przy zamkniętej przepustnicy wartość rezystancji między stykiem ruchomym i stykiem biegu jałowego powinna wynosić 0  $\Omega$  (zwarcie styków), a po uchyleniu przepustnicy (styki rozwarte) wartość ta jest nieskończenie duża. Podobnie sprawdza styki pełnego obciążenia.



**Rys. 1.79.** Czujnik położenia przepustnicy w postaci mikroprzełącznika [24]

1 – styk biegu jałowego, 2 – styk pełnego obciążenia, 3 – styk ruchomy, 4 – oś przepustnicy, 5 – krzywka

## Czujnik spalania stukowego

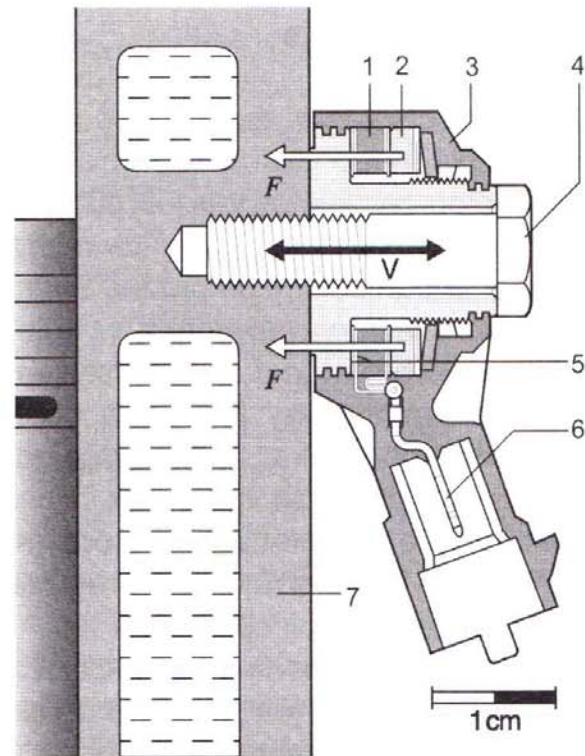
Czujnik spalania stukowego usprawnia sterowanie procesem spalania paliwa w silniku. Wykrywa on stan spalania stukowego w silniku i na podstawie jego sygnału sterownik opóźnia kąt wyprzedzenia zapłonu o tyle, aby sygnał z czujnika przestał występować. Spalanie stukowe jest szkodliwym zjawiskiem występującym w komorze spalania silnika, któremu towarzyszy powstawanie mikrofal dźwiękowych. Uderzając w ścianki cylindra, fale te wywołują drgania o zmiennej amplitudzie, rozchodzące się w kadłubie silnika.

Czujnik spalania stukowego (rys. 1.80), wkręcony w kadłub silnika, zawiera element piezokwarcowy. Wywołane spalaniem stukowym drgania kadłuba przenoszą się na element piezokwarcowy czujnika, wywołując w nim powstanie napięcia elektrycznego. Amplituda napięcia sygnału czujnika jest proporcjonalna do energii detonacji w cylindrze. Warunkiem prawidłowego działania czujnika spalania stukowego jest wywołanie podczas montażu odpowiedniego wstępnego obciążenia elementu piezoelektrycznego, dzięki dokręceniu czujnika do kadłuba śrubą o ściśle określonej sztywności, momentem dokładnie dobranym dla konkretnego typu silnika.

Objawami uszkodzenia czujnika spalania stukowego są słaba dynamika pojazdu i ograniczenie mocy maksymalnej oraz zwiększone zużycie paliwa. Dzieje się tak, ponieważ po wykryciu uszkodzenia tego czujnika sterownik silnika przechodzi do trybu pracy awaryjnej (opóźnienie zapłonu do granicy określonej przez konstruktora silnika jako bezpiecznej).

Czujnik spalania stukowego sprawdza się, oceniając oscyloskopowy obraz jego sygnału. W przypadku gwałtownego otwarcia przepustnicy sygnał sprawnego czujnika powinien charakteryzować się wyraźnie zwiększoną amplitudą. Podobnie amplituda sygnału powinna się zwiększyć po lekkim stuknięciu w kadłub silnika w pobliżu czujnika. W silnikach zawierających znaki identyfikujące kąt wyprzedzenia zapłonu czujnik spalania stukowego można sprawdzić również za pomocą lampy stroboskopowej. Przy stuknięciu w kadłub i sprawnym czujniku powinno wystąpić wyraźne przestawienie zapłonu w kierunku jego opóźnienia.

Uszkodzony czujnik spalania stukowego należy wymienić, wykorzystując do montażu nowe śruby mocujące.



**Rys. 1.80.** Budowa i usytuowanie czujnika spalania stukowego [3]

1 – element piezoceramiczny, 2 – masa drgająca, 3 – obudowa, 4 – śruba, 5 – styk, 6 – złącze elektryczne, 7 – kadłub silnika  
V – drgania, F – siła nacisku masy drgającej

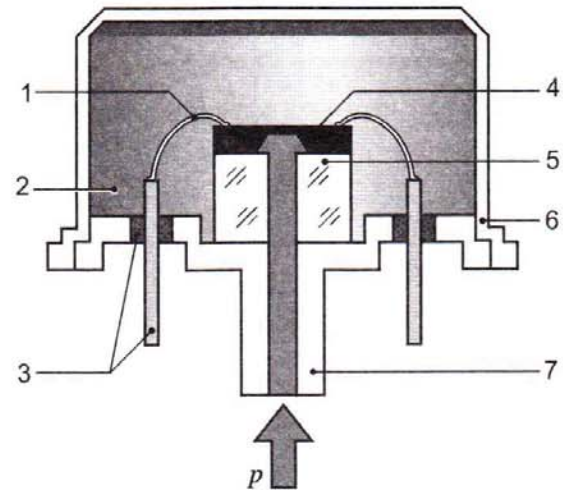
## Czujniki ciśnienia

Czujniki ciśnienia służą do pomiaru bezwzględnego ciśnienia powietrza w kolektorze dolotowym lub ciśnienia atmosferycznego. Czujniki te mierzą ciśnienie odniesione do próżni. Sygnał czujnika ciśnienia powietrza w kolektorze dolotowym jest wykorzystywany do określania masy powietrza dopływającego do silnika. Czujnik ciśnienia otoczenia informuje sterownik o gęstości powietrza otoczenia, która jest wykorzystywana w układach regulacji (np. do recyrkulacji spalin).

Głównym elementem czujnika ciśnienia (rys. 1.81) jest element pomiarowy w postaci warstwy krzemowej, w której jest wykonana cienka przepona. Na przeponie znajdują się cztery tensometry, których rezystancja ulega zmianie pod obciążeniem mechanicznym. Czujnik jest zamknięty szczelną pokrywą, pod którą znajduje się komora próżniowa. Pod przeponę jest doprowadzane mierzone ciśnienie. W wyniku różnicy ciśnień nad i pod przeponą, ulega ona niewielkiemu ugięciu (10...100  $\mu\text{m}$ ). Tensometry na przeponie zmieniają swą rezystancję, wskutek czego zmienia się sygnał wyjściowy czujnika. Czujnik ciśnienia jest zasilany napięciem o wartości 5 V.

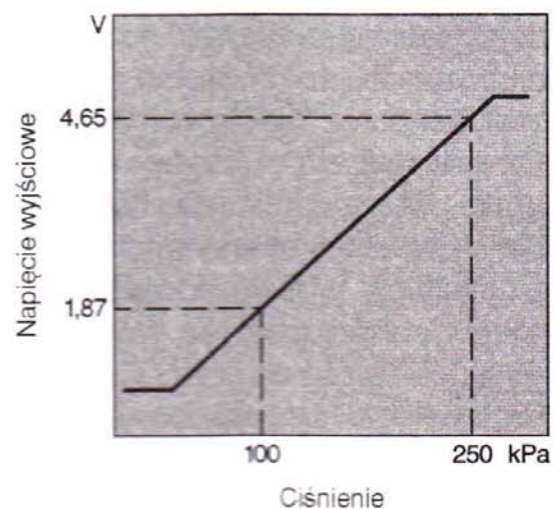
Zwykle stosuje się czujniki ciśnienia o wyjściu napięciowym, w których mierzone ciśnienie jest przekształcane w napięcie (rys. 1.82). Znane są również czujniki o wyjściu częstotliwościowym, zamieniające ciśnienie na sygnał prostokątny o częstotliwości proporcjonalnej do mierzonego ciśnienia.

Sprawdzenie czujnika o wyjściu napięciowym polega na podłączeniu woltomierza do wyjścia sygnału elektrycznego i pomiarze napięcia w trakcie zmiany podciśnienia za pomocą specjalnej pompki połączonej przewodem z czujnikiem (rys. 1.83). Podczas sprawdzania czujnik musi być zasilany elektrycznie. W tym celu należy włączyć zapłon (bez uruchamiania silnika) lub wykorzystać zewnętrzne zasilanie czujnika (zaciski A i C) stałym napięciem 5 V. Otrzymane wartości napięcia sygnału przy zadanych wartościach podciśnienia porównuje się z charakterystyką czujnika. W przypadku braku

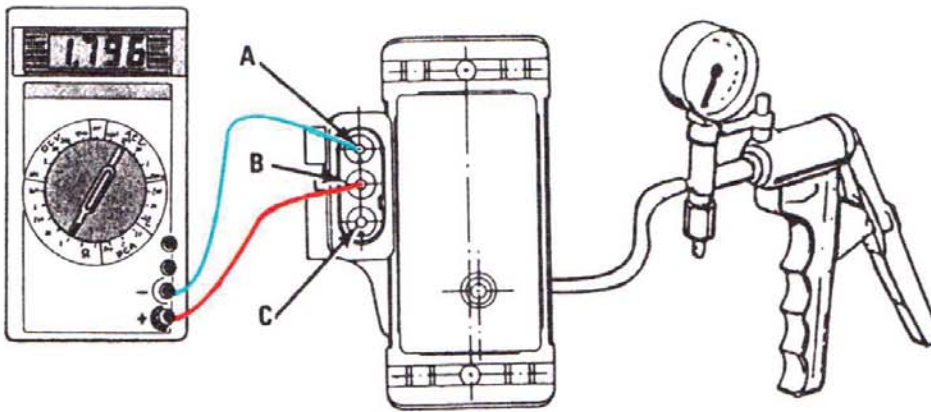


Rys. 1.81. Budowa elementu pomiarowego czujnika ciśnienia [3]

1, 3 – złącza elektryczne, 2 – komora próżni odniesienia, 4 – element pomiarowy, 5 – cokół szklany, 6 – pokrywa, 7 – doprowadzenie mierzonego ciśnienia  $p$



Rys. 1.82. Charakterystyka czujnika ciśnienia [3]



**Rys. 1.83.** Sprawdzanie czujnika ciśnienia o wyjściu napięciowym [24]

A – masa, B – napięcie sygnału, C – napięcie zasilania

pompki podciśnienie można zmieniać poprzez zmianę prędkości obrotowej silnika, lecz wtedy otrzyma się tylko informację, czy czujnik w ogóle działa.

Sprawdzenie czujnika o wyjściu częstotliwościowym polega na pomiarze częstotliwości sygnału np. za pomocą oscyloskopu. Przy unieruchomionym silniku i włączonym zapłonie sygnał w postaci fali prostokątnej ma największą częstotliwość (np. w silnikach samochodów Ford przy zerowym podciśnieniu częstotliwość wynosi 160 Hz, co odpowiada okresowi 0,62 ms). Po uruchomieniu silnika częstotliwość sygnału maleje do około 100 Hz, co odpowiada okresowi 1 ms. Sprawdzenie charakterystyki można wykonać, podobnie jak w przypadku czujnika o wyjściu napięciowym, wykorzystując pompkę podciśnienia.

### Czujniki położenia i prędkości obrotowej

W układach sterowania silników stosuje się czujniki położenia i prędkości obrotowej wału korbowego oraz wałka rozrządu. Sygnał z czujnika wału korbowego jest podstawową informacją przesyłaną do sterownika, na podstawie której jest wyznaczana dawka wtryskiwanego paliwa oraz chwila zapłonu mieszanki. Sygnał z czujnika wałka rozrządu jest wykorzystywany do sterowania sekwencyjnym wtryskiem paliwa oraz zmiennymi fazami rozrządu.

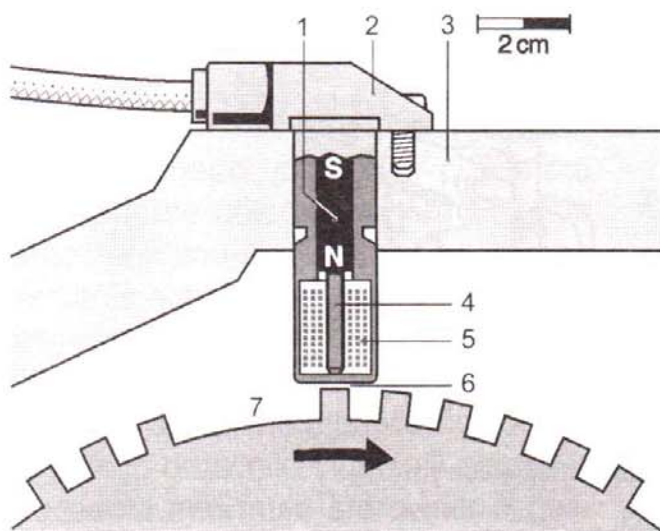
Do pomiaru położenia i prędkości obrotowej w silnikach pojazdów samochodowych wykorzystuje się dwa rodzaje czujników:

- indukcyjne;
- wykorzystujące efekt Halla (hallotrony).

Czujniki te współpracują z odpowiednio wykonanym, połączonym z wałem wirującym elementem zwanym kołem impulsowym, stanowiącym nadajnik impulsów.

Czujnik położenia i prędkości obrotowej wału korbowego jest montowany zwykle w pobliżu koła zamachowego lub przy kole pasowym napędu osprzętu. W starszych rozwiązaniach z rozdzielaczowym układem zapłonowym czujnik ten był umieszczany w rozdzielaczu zapłonu i określał prędkość obrotową jego wałka.

Czujnik położenia wałka rozrządu jest mocowany w pobliżu jednego z końców wałka rozrządu.

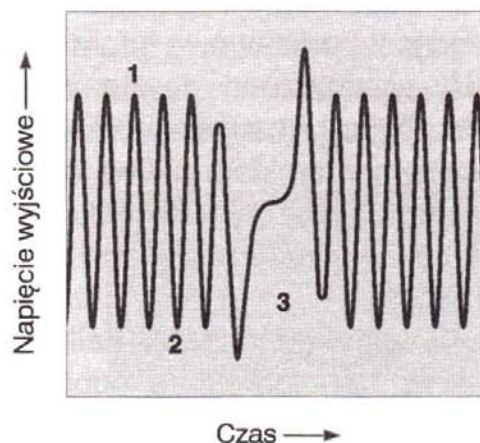


**Rys. 1.84.** Budowa indukcyjnego czujnika położenia i prędkości obrotowej wału korbowego [3]

1 – magnes stały, 2 – obudowa czujnika, 3 – kadłub silnika, 4 – trzpień biegunowy, 5 – uzwojenie, 6 – szczelina powietrzna, 7 – koło impulsowe ze znacznikiem odniesienia

### Indukcyjny czujnik położenia i prędkości obrotowej wału korbowego

Indukcyjny czujnik położenia i prędkości obrotowej wału korbowego (rys. 1.84) znajduje się naprzeciw ferromagnetycznego koła impulsowego, od którego jest oddzielony szczeliną powietrzną. Czujnik zawiera rdzeń z miękkiego żelaza, otoczony uzwojeniem cewki, połączony z magnesem stałym. Pole magnetyczne rozciąga się nad trzpieniem i wnika w koło impulsowe. Płynący przez cewkę strumień magnetyczny zależy od tego, czy czujnik zajmuje miejsce naprzeciw zęba, czy też wrębu międzyzębnego koła impulsowego. Jeżeli linie pola magnetycznego czujnika zostaną zamknięte przez ząb koła impulsowego, w wyniku indukcji elektromagnetycznej na końcach uzwojenia cewki pojawi się napięcie. Napięcie to rośnie od chwili wejścia zęba w pole magnetyczne do jego ustawienia się dokładnie pod rdzeniem, kiedy osiąga wartość maksymalną. Następnie, w czasie wychodzenia zęba koła impulsowego z linii pola magnetycznego rdzenia czujnika, napięcie się zmniejsza. W wyniku przeciwdziałania zmianom generowanego w cewce prądu, z chwilą wyjścia zęba z pola magnetycznego rdzenia czujnika w cewce pojawia się napięcie o przeciwnym zwrocie. Sygnał z czujnika indukcyjnego ma charakter sinusoidalny o amplitudzie zmieniającej się wraz ze zmianą częstotliwości pojawiającego się sygnału i odległości czujnika od zębów koła impulsowego (rys. 1.85). Ze wzrostem prędkości obrotowej silnika amplituda napięcia sygnału czujnika zmienia się od kilku miliwoltów do ponad 100 V.



**Rys. 1.85.** Sygnał indukcyjnego czujnika położenia i prędkości obrotowej wału korbowego [3]

1 – maksymalna wartość napięcia sygnału (ząb koła impulsowego ustawiony dokładnie pod rdzeniem czujnika), 2 – minimalna wartość napięcia sygnału (rdzeń czujnika ustawiony dokładnie nad wrębem międzyzębnym koła impulsowego), 3 – sygnał określający położenie wału (rdzeń czujnika ustawiony nad „opuszczonymi” zębami koła impulsowego)

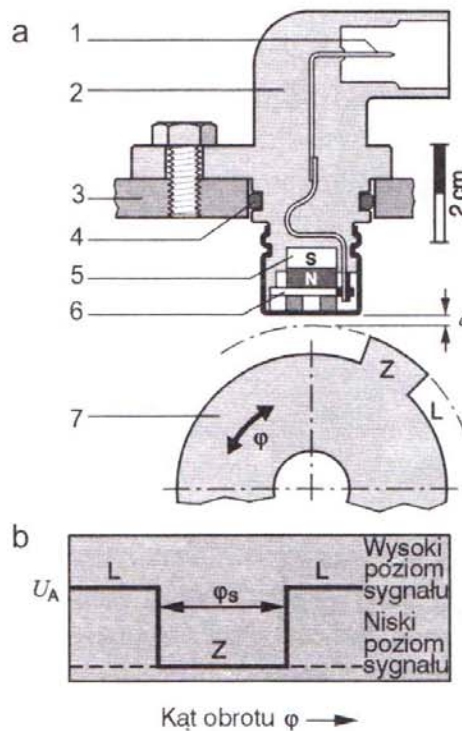
Aby sygnał z czujnika indukcyjnego mógł być wykorzystany do sterowania silnika, musi być wstępnie przetworzony przez sterownik, który zamienia sygnał sinusoidalny o zmiennej amplitudzie na sygnał prostokątny o stałej amplitudzie. W układach sterowania silników z wtryskiem benzyny stosuje się koło impulsowe o 60-impulsowym dzielniku z dwoma opuszczonymi zębami, czyli na kole jest wykonanych 58 zębów. Wynikająca z braku dwóch zębów luka stanowi znak odniesienia wykorzystywany do określania położenia wału korbowego. W innym wykonaniu (silniki o zapłonie samoczynnym) koło impulsowe ma na obwodzie tyle zębów, ile silnik ma cylindrów, czyli w silniku czterocyndrowym są cztery zęby, tzn. na każdy obrót wału korbowego wzbudzają się cztery impulsy sinusoidalne.

Zaletami czujnika indukcyjnego są: prosta budowa i związane z tym niskie koszty wytwarzania, duża odporność na zakłócenia elektromagnetyczne oraz szeroki zakres temperatury pracy. Wadami tego czujnika są: zmienność sygnału przekazywanego do sterownika oraz wrażliwość na zmiany szerokości szczeliny powietrznej między czujnikiem a zębami koła impulsowego.

Uszkodzenie czujnika indukcyjnego wału korbowego, spowodowane przerwą w uzwojeniu cewki, powoduje unieruchomienie silnika lub niemożność jego uruchomienia. Częstym niedomaganiem tego czujnika jest niewłaściwy, zbyt słaby sygnał powodujący przerwy w pracy silnika lub jego nierównomierną pracę. Przyczynami niewłaściwego sygnału mogą być:

- zbyt duża lub zmieniająca się szczelina powietrzna między czujnikiem i zębami koła impulsowego (właściwa wartość szczeliny powinna wynosić 0,5...1,5 mm);
- zanieczyszczenie końcówki rdzenia czujnika;
- mechaniczne uszkodzenie zębów koła impulsowego;
- bicie osiowe koła impulsowego.

Najprostszym sposobem sprawdzenia czujnika indukcyjnego w stanie statycznym (przy niepracującym silniku) jest pomiar rezystancji jego cewki i porównanie z danymi fabrycznymi. Wartość rezystancji cewki sprawnego czujnika powinna wynosić 200...1000  $\Omega$ . Prawidłowa wartość rezystancji cewki czujnika nie gwarantuje jednak uzyskania sygnału o właściwej amplitudzie. W celu dokładnego sprawdzenia działania czujnika przeprowadza się oscyloskopową obserwację i ocenę jego sinusoidalnego sygnału.

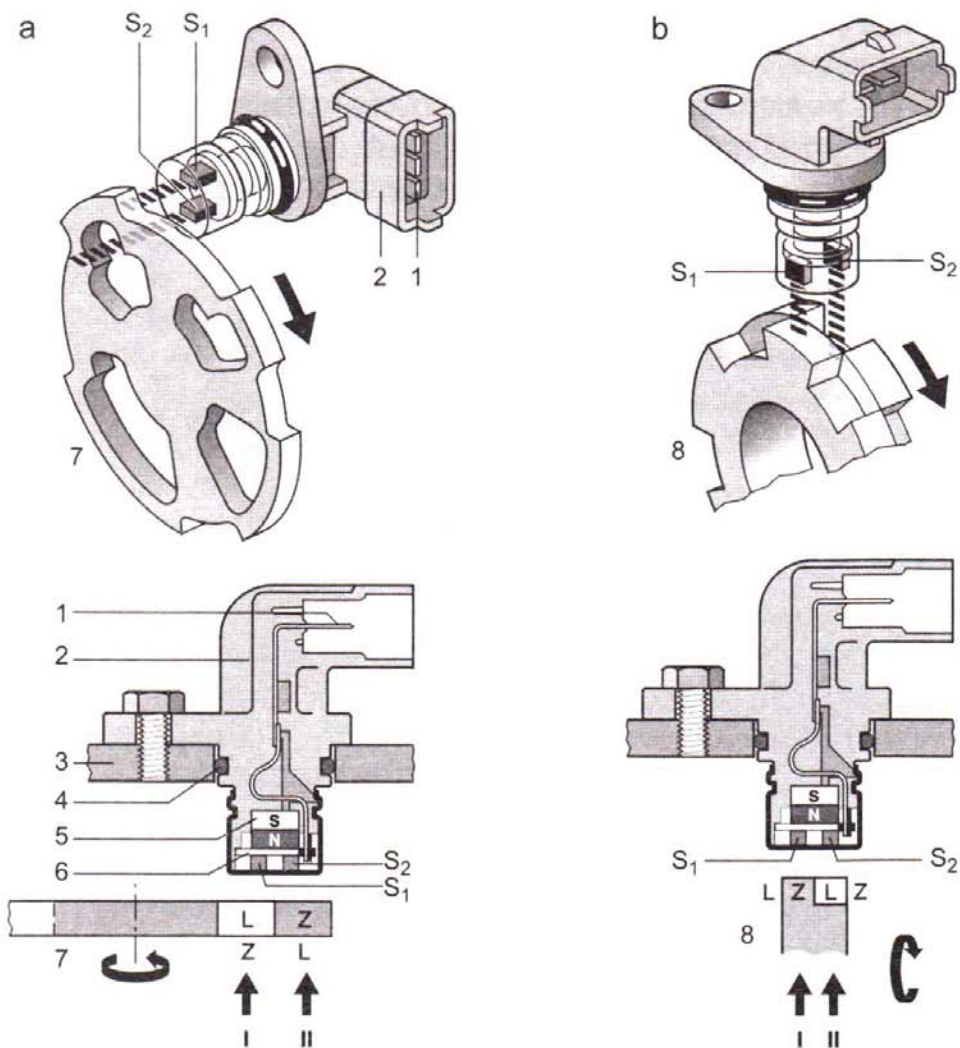


**Rys. 1.86.** Budowa czujnika hallotronowego [3]  
*a* – usytuowanie przetwornika względem koła impulsowego, *b* – przebieg sygnału wyjściowego  
 1 – wtykowe złącze elektryczne, 2 – obudowa czujnika, 3 – kadłub silnika, 4 – pierścień uszczelniający, 5 – magnes stały, 6 – przetwornik Halla, 7 – koło impulsowe  
 $\alpha$  – wysokość szczeliny powietrznej,  $\varphi$  – kąt obrotu, L – luka, Z – ząb, I i II – ścieżki odpowiednio 1 i 2

### Hallotronowy czujnik położenia wałka rozrządu

Hallotronowy czujnik położenia wałka rozrządu, nazywany czujnikiem fazy, informuje sterownik silnika o położeniu wałka rozrządu, wskazując, czy położenie GMP tłoka w danym cylindrze silnika rozpoczyna suw pracy czy suw dolotu. Jest to wiadomość niezbędna do sekwencyjnego sterowania wtryskiem paliwa.

Hallotronowy czujnik płytkowy (rys. 1.86) wykorzystuje efekt Halla polegający na zjawisku przewodzenia poprzecznego w przewodnikach znajdujących się w polu magnetycznym. Wykonany z materiału ferromagnetycznego wirnik, obracający się razem z wałkiem rozrządu, stanowi koło impulsowe. Przetwornik hallotronowy (element półprzewodnikowy) jest umieszczony między kołem impulsowym i magnesem trwałym, który wytwarza pole magnetyczne o liniach sił prostopadłych do elementu Halla. Gdy ząb koła impulsowego znajduje się naprzeciw zasilanego elementu Halla, zmienia się w nim natężenie pola, które zmienia natężenie pola magnesu trwałego. W efekcie powstaje prostokątny



Rys. 1.87. Różnicowe czujniki hallotronowe [3]

*a* – osiowy, *b* – promieniowy

1 – złącze elektryczne, 2 – obudowa czujnika, 3 – kadłub silnika, 4 – pierścień uszczelniający, 5 – magnes stały, 6 – różnicowy hallotronowy przetwornik scalony z elementami Halla  $S_1$  i  $S_2$ , 7 – koło impulsowe z otworami, 8 – zdwojone koło impulsowe L – luka, Z – ząb

sygnał napięcia, zwanego napięciem Halla, o stałej amplitudzie zależnej jedynie od wartości napięcia zasilania czujnika. Rozwiązania czujników fazy z dwoma przetwornikami hallotronowymi o specjalnie wykonanych kołach impulsowych, tzw. czujniki różnicowe, umożliwiające uzyskanie pomiaru położenia z większą dokładnością, przedstawiono na rysunku 1.87.

Ze względu na stałą wartość amplitudy sygnału i brak zależności od prędkości obrotowej wałka, czujniki hallotronowe charakteryzują się dużą dokładnością pomiaru, lecz wymagają odpowiedniej precyzji wykonania, co jest związane z ich wyższym kosztem w porównaniu z czujnikami indukcyjnymi.

Sprawdzenie czujnika hallotronowego jest możliwe jedynie za pomocą oscyloskopu. Ocenie podlega obraz sygnału prostokątnego czujnika, którego częstotliwość zależy od prędkości obrotowej silnika. Czujnik hallotronowy jest mniej wrażliwy niż czujnik indukcyjny na niewielkie zmiany położenia względem koła impulsowego, które nie mają wpływu na kształt sygnału wyjściowego. Przy zbyt dużym oddaleniu od koła impulsowego czujnik nie będzie generował żadnego sygnału. Do sprawdzania czujnika hallotronowego nie można używać omomierza, bowiem jego bezpośrednie podłączenie może uszkodzić element Halla.

### 1.3.7. Pokładowe systemy diagnostyczne

Jedną z funkcji elektronicznego systemu sterowania pracą silnika jest funkcja samodiagnostyki, której zadaniem jest nie tylko regulacja i sprawdzanie części składowych systemu sterowania silnikiem, lecz także umożliwienie kierowcy lub mechanikowi zidentyfikowania trudnych do wykrycia usterek. Układ samodiagnostyki porównuje wartości sygnałów z poszczególnych obwodów elektronicznego sterownika z wartościami wymaganymi. Jeżeli rzeczywista wartość sygnału nie odpowiada wartości wymaganej, w pamięci sterownika jest rejestrowany kod usterki.

#### Rozwój pokładowych systemów diagnostycznych

Pokładowy system diagnostyczny OBD (ang. *On-Board Diagnostics*) zaczęto wykorzystywać na początku lat osiemdziesiątych ubiegłego stulecia. Początki obowiązywania ustawodawstwa wymagającego stosowania systemów OBD datuje się na 1984 rok; inicjatorem tych ustaw była Kalifornijska Rada Ochrony Zasobów Powietrza CARB. Postanowiono wówczas, że począwszy od 1988 roku wszystkie nowo rejestrowane w USA pojazdy będą musiały mieć pokładowy system diagnostyczny OBD I. Według tych przepisów pojazdy powinny spełniać trzy zasadnicze kryteria:

- być wyposażone w elektroniczny układ samodiagnostyki;
- każda usterka mająca wpływ na pracę silnika i układu wylotowego powinna być natychmiast sygnalizowana za pomocą kontrolki diagnostycznej umieszczonej w zestawie wskaźników;
- kod usterki powinien być zarejestrowany w pamięci elektronicznego sterownika, z której może być odczytany za pomocą testera diagnostycznego lub kontrolki (kody błyskowe).

W 1994 roku wprowadzono drugą serię norm (OBD II), w których rozszerzono zakres wymagań, które powinny spełniać pojazdy produkowane od 1996 roku. Normy OBD II wprowadziły standardowe, uniwersalne złącze diagnostyczne oraz ujednolicony sposób kodowania informacji przesyłanych przez złącze, co umożliwiło odczytywanie z pamięci treści kodów usterek za pomocą uniwersalnych urządzeń diagnostycznych, zwanych testerami, zamiast kodów błyskowych. Diagnostyka OBD II obejmuje również takie zagadnienia, jak:

- sprawdzanie poprawności działania (monitorowanie) elementów systemu nie tylko ze względu na sprawność działania, lecz przede wszystkim ze względu na wpływ na poziom emisji substancji zanieczyszczających środowisko;
- oprócz zarejestrowania kodu usterki zapamiętywanie w tzw. stop klatce (ramce zamrożonej) warunków pracy w chwili wystąpienia usterki.

Na terenie Unii Europejskiej normy europejskiej diagnostyki pokładowej EOBD (ang. *European On-Board Diagnostics*) wprowadzono na początku XXI wieku. Od 1 stycznia 2001 roku wszystkie nowo rejestrowane samochody osobowe z silnikami o zapłonie iskrowym muszą mieć pokładowy system diagnostyczny. W 2004 roku obowiązek ten rozszerzono na samochody z silnikami o zapłonie samoczynnym, a od 2006 roku pokładowe systemy diagnostyczne muszą znajdować się również w nowo rejestrowanych samochodach ciężarowych. Równocześnie w 2006 roku wprowadzono przepis, aby we wszystkich krajach Unii Europejskiej istniała sieć warsztatów obsługujących pojazdy z systemami OBD. Każdy nowo rejestrowany samochód musi mieć znormalizowane złącze diagnostyczne, umożliwiające komunikację przez zewnętrzne uniwersalne urządzenie diagnostyczne. Określone informacje nie mogą być zakodowane – muszą być dostępne dla każdego warsztatu, serwisu, pomocy drogowej lub organu kontroli urzędowej. Informacje techniczne dotyczące systemu OBD producent samochodu musi udostępnić wszystkim zainteresowanym, za odpowiednią opłatą, najpóźniej w trzy miesiące po przekazaniu tych informacji autoryzowanym stacjom obsługi.

### **Zadania pokładowych systemów diagnostycznych**

Podstawowe zadania pokładowego systemu diagnostycznego (OBD) można podzielić na następujące grupy:

- monitorowanie elementów i układów samochodu mających wpływ na emisję szkodliwych składników spalin;
- ochrona elementów emisyjnych, takich jak reaktor katalityczny, przed zniszczeniem;
- rejestrowanie informacji o ewentualnych uszkodzeniach monitorowanych układów;
- rejestrowanie informacji o warunkach eksploatacji, w których pojawiają się usterki;
- informowanie kierowcy o usterekach, które powodują przekroczenie o 50% dopuszczalnej emisji;
- przekazywanie informacji do zewnętrznych urządzeń diagnostycznych.

Zakres funkcji systemu OBD jest określony jednoznacznie przez ustawodawcę. Wymagania w stosunku do pokładowych systemów diagnostycznych są następujące:

- monitorowanie działania reaktorów katalitycznych,
- monitorowanie działania filtrów cząstek stałych,
- monitorowanie działania czujników tlenu w spalinach,
- rozpoznawanie wypadania zapłonów,
- rozpoznawanie braku procesu spalania,
- monitorowanie układu zasilania,
- monitorowanie działania układu powietrza dodatkowego,
- monitorowanie działania układu recyrkulacji spalin,
- monitorowanie działania układu odprowadzania par paliwa,
- monitorowanie działania układu chłodzenia,
- monitorowanie działania układu zmiany faz rozrządu i skoku zaworów,
- zapisywanie warunków pracy silnika,
- standaryzowane sterowanie zaświeceniem lampki kontrolnej diagnostyki pokładowej MIL (ang. *Malfunction Indicator Light*),
- obsługa standardowego złącza diagnostycznego DLC (ang. *Data Link Connector*).

Spełnienie podanych wymagań jest możliwe dzięki zastosowaniu wielu czujników monitorujących sterowanie parametrami pracy silnika. We współczesnych systemach sterowania silnikiem dzięki samodiagnostyce są sprawdzane wartości sygnałów różnych czujników silnika oraz elementów wykonawczych. Wartości te są następnie porównywane z wcześniej zaprogramowanymi wartościami wymaganymi. Wartości wymagane mogą być zdefiniowane różnie, w zależności od systemu sterowania. Mogą być określone dolną i górną wartością graniczną, liczbą błędnych sygnałów w wyznaczonym czasie, przez podanie wartości mało prawdopodobnych lub adaptacyjnej wartości sygnałów albo w każdej innej postaci zaproponowanej przez producenta silnika. Jeżeli wartość sygnału leży poza dopuszczalnym zakresem, sterownik stwierdza uszkodzenie i rejestruje kod usterki w pamięci diagnostycznej.

Samodiagnostyka ma pewne ograniczenia. Uszkodzenia niektórych czujników nie powodują rejestracji kodu usterki w pamięci sterownika. niesprawności mechaniczne oraz uszkodzenia obwodu wysokiego napięcia nie są bezpośrednio rejestrowane przez układ samodiagnostyki. Jednakże efekty uboczne, wynikające na przykład z nieszczelności układu podciśnienia lub niesprawnego zaworu wylotowego, spowodują nieprawidłowy skład mieszanki i nieprawidłową pracę silnika na biegu jałowym, co może doprowadzić do zarejestrowania kodów odpowiednich usterek. Wszystko polega na skojarzeniu kodu usterki ze stanem silnika. Jeżeli wartość sygnału czujnika leży w zakresie wartości dopuszczalnych, to nawet jeśli warunki pracy silnika są w danej chwili nieprawidłowe, usterka nie zostanie wykryta. Czujnik temperatury cieczy chłodzącej spowoduje na przykład zarejestrowanie kodu usterki wtedy, kiedy w jego obwodzie występuje przerwa lub jest zwarty do masy. Natomiast jeżeli

zmianie temperatury cieczy chłodzącej nie towarzyszy zmiana rezystancji czujnika, to kod nie zostanie zarejestrowany. Oprogramowanie nowszych systemów jest bardziej wrażliwe i może sprawdzać zmianę napięcia lub prądu w pewnym okresie. Jeżeli sygnał nie zmienia się w oczekiwany sposób, to kod usterki zostanie zarejestrowany. W starszych systemach kod usterki zostanie zarejestrowany, jeśli sygnał osiągnie wartości wykraczające poza dopuszczalny zakres. Nie ma w nich żadnego odniesienia do wartości innych sygnałów. Współczesne systemy sterowania uwzględniają sygnały wyjściowe z kilku elementów jednocześnie i porównują je ze sobą. Kod usterki może zostać zarejestrowany w wyniku porównania sygnałów, z którego wynika, że sprawdzana wartość badanego sygnału jest mało prawdopodobna. Na przykład jeśli prędkość obrotowa silnika wzrasta, czujnik położenia przepustnicy wskazuje pełne otwarcie, a przepływomierz powietrza nie wskazuje wzrostu natężenia przepływu, to sygnał z przepływomierza zostaje uznany za mało prawdopodobny i zostanie zarejestrowany odpowiedni kod usterki.

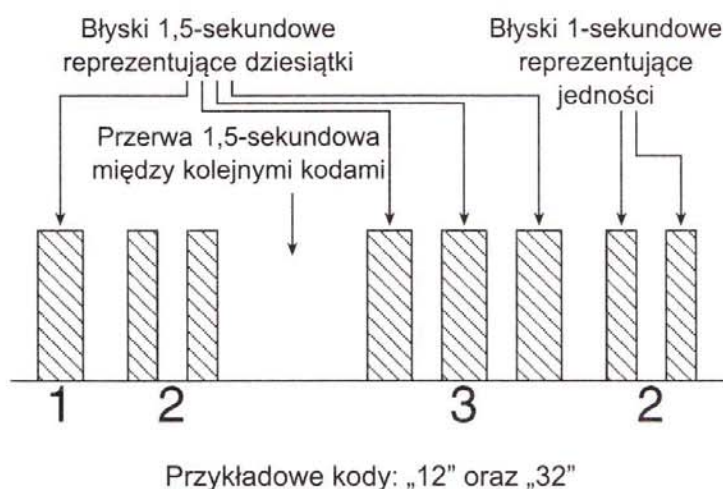
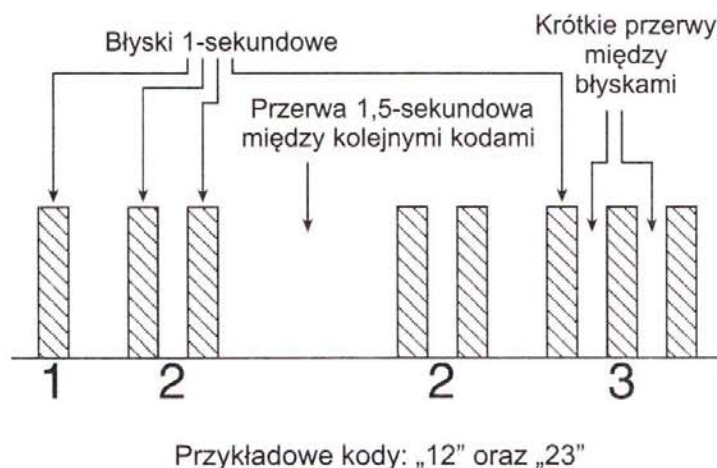
Wykrycie usterki przez system diagnostyki pokładowej jest sygnalizowane zaświeceniem się lampki kontrolnej umieszczonej w zestawie wskaźników. W starszych rozwiązaniach jest to kontrolka „CHECK ENGINE”, w nowych zaś lampka kontrolna MIL. W przypadku kontrolki „CHECK ENGINE” nie istniały standaryzowane kryteria jej zaświecenia. Decyzję o informowaniu kierowcy o wykrytym uszkodzeniu każdy producent podejmował indywidualnie. Producenci określali indywidualne progi decyzyjne (minimalne odstępstwa parametrów rzeczywiście zmierzonych od prawidłowych), po przekroczeniu których zaświecała się lampka „CHECK ENGINE”. W przypadku pojazdu z systemem OBD lampka kontrolna MIL informuje kierowcę o awarii zawsze, gdy są spełnione określone standaryzowane kryteria. Lampka MIL zaświeca się każdorazowo po włączeniu zapłonu i jeśli nie zostaną spełnione kryteria wykrycia usterki nadzorowanych obwodów, gaśnie ona po uruchomieniu silnika.

System OBD jest wyłączany (następuje przerwa w działaniu procedur diagnostycznych), jeśli w określonych warunkach eksploatacji procedury te mogłyby sugerować istnienie usterek, które w rzeczywistości nie występują. Sytuacja taka mogłaby zaistnieć, jeśli:

- w zbiorniku znajduje się mała ilość paliwa,
- samochód jest eksploatowany na dużej wysokości względem poziomu morza,
- temperatura otoczenia jest niższa od  $-7^{\circ}\text{C}$ ,
- pracują dodatkowe urządzenia, pobierające napęd od silnika,
- rozładowany akumulator wywołuje określony spadek napięcia.

Kody usterek można odczytać z pamięci diagnostycznej sterownika na wyjściu szeregowym układu samodiagnostyki, po podłączeniu do niego urządzenia diagnostycznego (testera, czytnika, skanera) lub w wyniku zastosowania odpowiedniego „ręcznego” odczytu.

Metoda „ręcznego” odczytu kodów jest używana w najstarszych wersjach systemów sterowania silnikiem. Metoda ta nie wymaga używania urządzeń diagnostycznych, lecz ma pewne wady – jest wolna i łatwo w niej o popełnienie

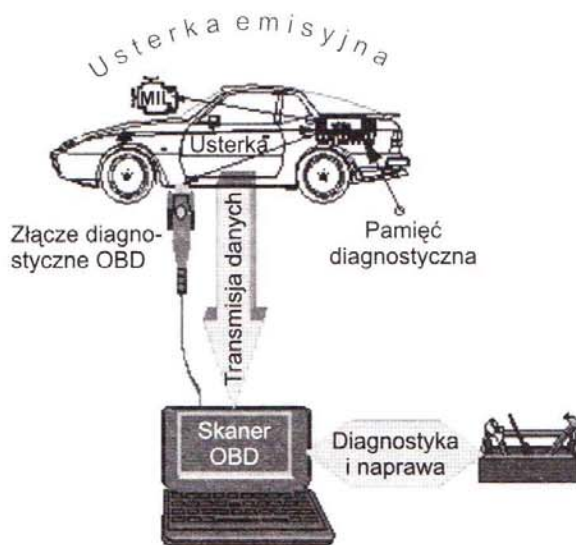


**Rys. 1.88.** Błyskowe kody usterek [28]

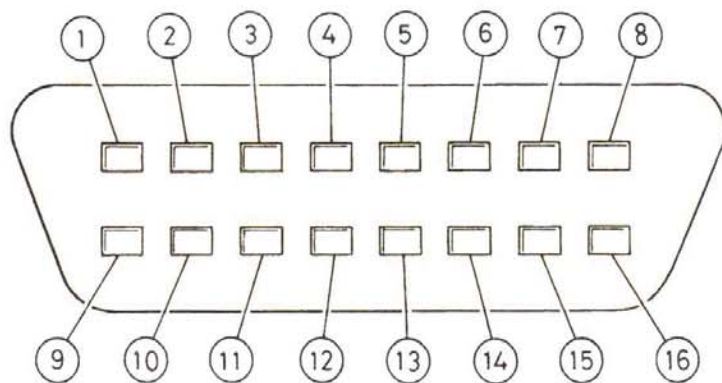
*a* – graficzny obraz dwucyfrowych kodów błyskowych przy równej długości impulsów reprezentujących jedności i dziesiątki, *b* – graficzny obraz dwucyfrowych kodów błyskowych przy impulsach reprezentujących dziesiątki dłuższych od impulsów reprezentujących jedności

błędu oraz nie nadaje się do odczytu kodów nadawanych z dużą szybkością, występujących we współczesnych systemach sterowania. Zwykle „ręczny” odczyt kodów rozpoczyna się od zmostkowania odpowiednich styków w złączu diagnostycznym. Następnie kody są wyświetlane w postaci serii błysków kontrolki diagnostycznej „CHECK ENGINE”. Kody usterek odczytywane w ten sposób często są zwane kodami błyskowymi (rys. 1.88).

Ideę wykorzystania systemu OBD w celach diagnostycznych przedstawiono na rysunku 1.89. Urządzenie diagnostyczne podłącza się do standardowego szesnastostykowego gniazda diagnostycznego (rys. 1.90), tzw. gniazda DLC (ang. *Data Link Connector*) umieszczonego w okolicach fotela



**Rys. 1.89.** Idea diagnozowania pojazdu z wykorzystaniem systemu OBD [19]



**Rys. 1.90.** Oznaczenia styków standardowego gniazda złącza diagnostycznego umieszczonego w pojeździe [28]

kierowcy w taki sposób, aby było dostępne po zajęciu miejsca za kierownicą. Skaner OBD komunikuje się z systemem elektronicznym silnika po automatycznym rozpoznaniu protokołu transmisji stosowanego w danym pojeździe. Działanie skanera jest zatem niezależne od marki i modelu samochodu. Zadania prostego skanera (czytnika) OBD są częścią procedur, które można zrealizować za pomocą rozbudowanego urządzenia diagnostycznego. Urządzenia diagnostyczne, oprócz odczytu listy kodów usterek zapisanych w pamięci sterownika silnika, umożliwiają indywidualną kontrolę parametrów elektrycznych poszczególnych czujników. Kontrola ta jest przeprowadzana bez wymontowywania i rozłączania czujników, obejmuje zatem jednocześnie odpowiednią część instalacji elektrycznej pojazdu. Możliwe jest odczytywanie bieżących informacji o pracującym systemie. Na ekranie urządzenia diagnostycznego można obserwować bieżące wartości sygnałów pochodzących z różnych czujników i elementów wykonawczych.

Standard OBD narzuca obowiązek zapisywania kodów usterek w jednolitej formie, niezależnej od poszczególnych producentów. Każdy kod ma pięć znaków:

- pierwszy to litera określająca lokalizację głównego zespołu pojazdu,
- drugi to cyfra określająca typ kodu usterki,
- trzeci to cyfra określająca lokalizację występowania usterki,
- czwarty i piąty to cyfry określające szczegółowy rodzaj usterki lub uszkodzenia elementu.

Przykładowy kod usterki P0267 oznacza:

- P – usterka w układzie napędowym, czyli silniku i układzie przeniesienia napędu (inne możliwe oznaczenia: B – w nadwoziu, C – w podwoziu, U – w systemie komunikacyjnym),
- 0 – kod usterki ogólny, niezależny od producenta,
- 2 – usterka dotyczy składu mieszanki palnej,
- 67 – za mała dawka paliwa wtryskiwanego do trzeciego cylindra.

Współczesne układy samodiagnostyki mają awaryjny tryb pracy. Oznacza to, że w przypadku wystąpienia usterki w obwodach niektórych czujników (zwykle tych, które powodują rejestrację kodu; choć nie wszystkie kody wywołują tryb awaryjny) sterownik automatycznie przechodzi do awaryjnego trybu pracy i zamiast sygnału z uszkodzonego czujnika podstawia wcześniej zaprogramowaną wartość zastępczą. Umożliwia to bezpieczny dojazd do warsztatu.

Po usunięciu usterki sterownik powraca do normalnego trybu pracy. Awaryjny tryb pracy umożliwia pracę silnika z mniejszą sprawnością. Niektóre z awaryjnych trybów działają tak, że kierowca nie odczuwa bezpośrednio objawów niesprawności silnika. Świadczy o niej tylko świecąca się kontrolka diagnostyczna. Ponieważ często wartości zastępcze odpowiadają wartościom dla silnika gorącego, więc praca zimnego silnika może być nieco zakłócona. Uszkodzenie głównego czujnika, takiego jak przepływomierz powietrza albo czujnik ciśnienia w kolektorze dolotowym, może spowodować ograniczenia osiągnięć silnika.

Sterowniki współczesnych systemów sterowania silnikiem zmieniają adaptacyjnie swoje charakterystyki pracy. Różne dane o silniku są zbierane w pamięci przez odpowiednio długi czas, co umożliwia wypracowanie wartości średniej. Normalnie sterownik korzysta z kilku trójwymiarowych map cyfrowych zawierających parametry zapłonu, wtrysku paliwa itp. W zależności od zmieniających się sygnałów z różnych czujników sterownik stale koryguje sygnały wyjściowe przesyłane do różnych elementów wykonawczych. Zachowane wartości adaptacyjne są używane do korekty map parametrów podstawowych. W miarę zużywania się silnika lub jego elementów albo nawet rozwoju pewnych usterek zmieniające się sygnały są dodawane do wartości przechowywanych w pamięci adaptacyjnej i ich wartość średnia stopniowo się zmienia. Sterownik stale reaguje na zawartość pamięci adaptacyjnej i dostosowuje swoje działanie do zmieniających się warunków pracy silnika. Jeżeli wartość adaptacyjna przekroczy wartości dopuszczalne, może dojść do zasygnalizowania kodu usterki.

## 1.4. Układ zasilania gazem LPG

### 1.4.1. Wiadomości ogólne

Silniki o zapłonie iskrowym zasilane paliwem gazowym LPG mają dwupaliwową instalację zasilającą. Ze względu na właściwości paliwa gazowego rozruch zimnego silnika odbywa się z wykorzystaniem benzyny, a po osiągnięciu określonej temperatury silnik może być zasilany gazem LPG. Wykorzystanie paliwa gazowego LPG w silniku ZI wymaga odpowiedniego przystosowania jego układu zasilania benzyną. Uzyskanie parametrów pracy silnika zasilanego gazem porównywalnych z odpowiednimi parametrami przy zasilaniu benzyną (w całym zakresie jego pracy) wymaga odwzorowania pracy układu zasilania benzyną w odniesieniu zarówno do ilości podawanego paliwa, jak i miejsca powstawania mieszanki paliwowo-powietrznej. Tak więc doboru instalacji gazowej do danego silnika dokonuje się na podstawie rodzaju układu zasilania benzyną, występującego w danym silniku.

Rozróżnia się następujące generacje instalacji gazowych LPG stosowanych w silnikach o zapłonie iskrowym:

- I generacja – tradycyjne urządzenia z mieszalnikiem gazu, w których ilość gazu płynącego do silnika zależy wyłącznie od podciśnienia panującego

w układzie dolotowym; instalacja przeznaczona do silników gaźnikowych oraz z wtryskiem benzyny, lecz tylko wtedy, kiedy nie występuje sonda lambda i reaktor katalityczny;

- II generacja – tradycyjne urządzenia z mieszalnikiem gazu, wyposażone dodatkowo w elektronikę sterującą ilością gazu podawanego do silnika i współpracującą z sondą lambda;
- III generacja – indywidualne doprowadzenie gazu do poszczególnych cylindrów;
- IV generacja – sekwencyjny wtrysk gazu, oddzielne sterowanie wtryskiwaczami gazu dla każdego cylindra.

Generacje II, III i IV instalacji gazowych przeznaczone są do silników z wtryskowym układem zasilania benzyną z sondą lambda i reaktorem katalitycznym.

Typowa instalacja gazowa LPG składa się z dwóch podstawowych grup elementów:

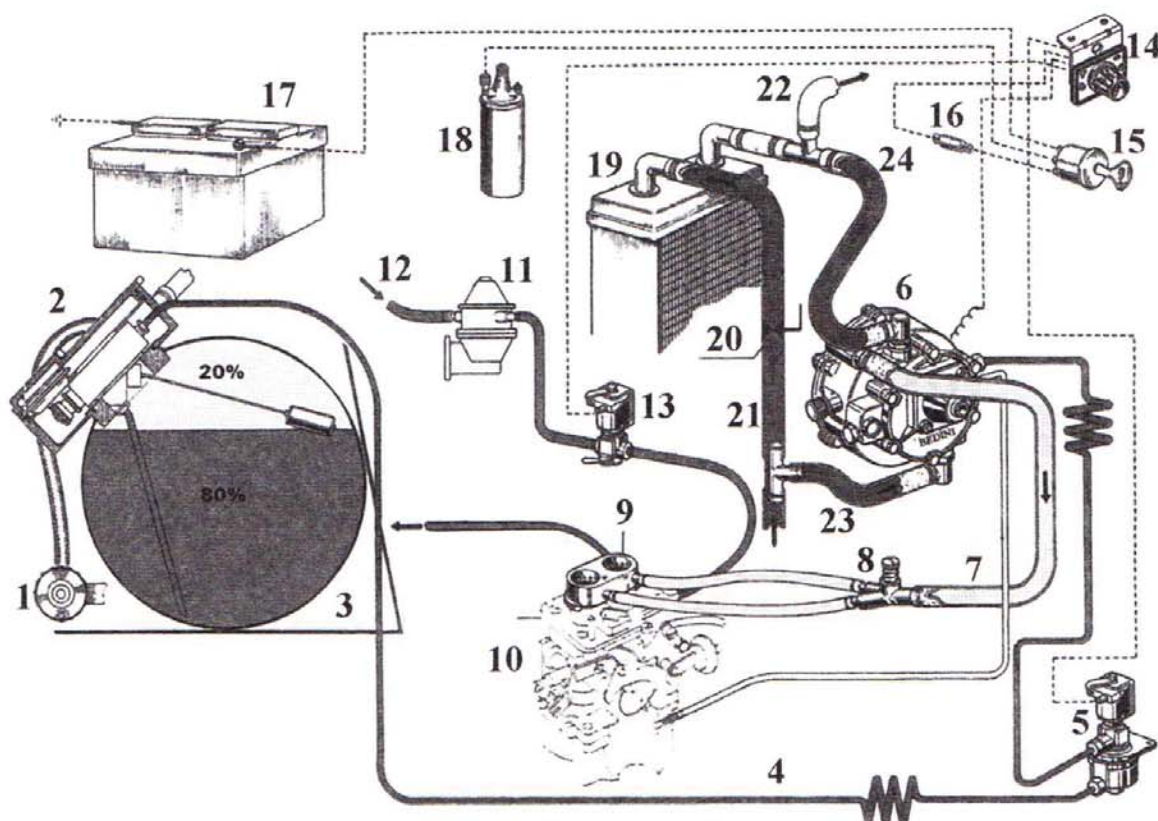
- służących do magazynowania paliwa gazowego, czyli zbiornika wraz z wyposażeniem i urządzeniami umożliwiającymi zatankowanie gazu; elementy te są jednakowe we wszystkich generacjach instalacji;
- umieszczonych w komorze silnika (zestaw silnikowy – ang. *motor kit*), do których dopływa gaz ze zbiornika i gdzie następuje jego odparowanie oraz obniżenie ciśnienia, a następnie podanie do kolektora dolotowego w odpowiedniej dawce, aby uzyskać właściwą mieszankę paliwowo-powietrzną.

### 1.4.2. Instalacja zasilania gazem LPG I generacji

Gazowa instalacja zasilania LPG I generacji jest najstarszym i najprostszym rozwiązaniem umożliwiającym adaptację silnika gaźnikowego lub wtryskowego bez sondy lambda do zasilania skroplonym gazem węglowodorowym. Schemat instalacji gazowej I generacji przedstawiono na rysunku 1.91. Charakterystycznymi elementami są reduktor-parownik i mieszalnik gazu. Instalacja nie wymaga żadnej elektroniki poza przełącznikiem wyboru paliwa. Paliwo LPG w fazie płynnej, pod ciśnieniem panującym w zbiorniku, przepływa przewodem do reduktora.

Między reduktorem i zbiornikiem paliwa gazowego jest zamontowany elektrozawór gazu z wkładem filtrującym (elektrozawór może być zintegrowany z reduktorem). Podczas pracy silnika zasilanego LPG elektrozawór jest otwarty, a zamyka się przy przełączeniu zasilania na benzynę lub przy wyłączeniu silnika.

Reduktor jest urządzeniem, w którym następuje rozprężanie i odparowywanie paliwa LPG, czyli przejście z fazy ciekłej, w której jest magazynowane w zbiorniku, do fazy gazowej, którą jest zasilany silnik, oraz utrzymywanie stabilnego ciśnienia pracy niezależnie od zmian ciśnienia gazu w zbiorniku i zróżnicowanego poboru gazu zależnego od stopnia obciążenia silnika. Odparowanie paliwa LPG, charakteryzującego się bardzo dużym ciepłem parowania, wymaga dostarczenia dużej ilości energii cieplnej, uzyskiwanej z układu chłodzenia silnika, do którego reduktor-parownik jest podłączony.



**Rys. 1.91.** Schemat mieszalnikowego układu zasilania LPG I generacji [13]

1 – zawór tankowania, 2 – zawór wielofunkcyjny, 3 – zbiornik paliwa gazowego, 4 – przewód zasilający LPG, 5 – elektrozawór LPG, 6 – reduktor, 7 – przewód LPG łączący reduktor z mieszalnikiem, 8 – zawór dławiący (do regulacji), 9 – mieszalnik, 10 – gaźnik, 11 – pompa paliwa, 12 – przewód zasilania benzyną, 13 – elektrozawór benzynowy, 14 – przełącznik wyboru paliwa, 15 – wyłącznik zapłonu (stacyjka), 16 – bezpiecznik, 17 – akumulator, 18 – cewka zapłonowa, 19 – nagrzewnica, 20 – zawór nagrzewnicy, 21 – przewód doprowadzający ciecz chłodzącą do nagrzewnicy, 22 – przewód łączący nagrzewnicę z silnikiem, 23 – przewód doprowadzający ciecz chłodzącą do reduktora, 24 – przewód odprowadzający ciecz chłodzącą z reduktora

Ze względu na sposób włączenia się reduktora-parownika do pracy (otwarcia wypływu gazu z reduktora-parownika) rozróżnia się dwa podstawowe rodzaje reduktorów-parowników:

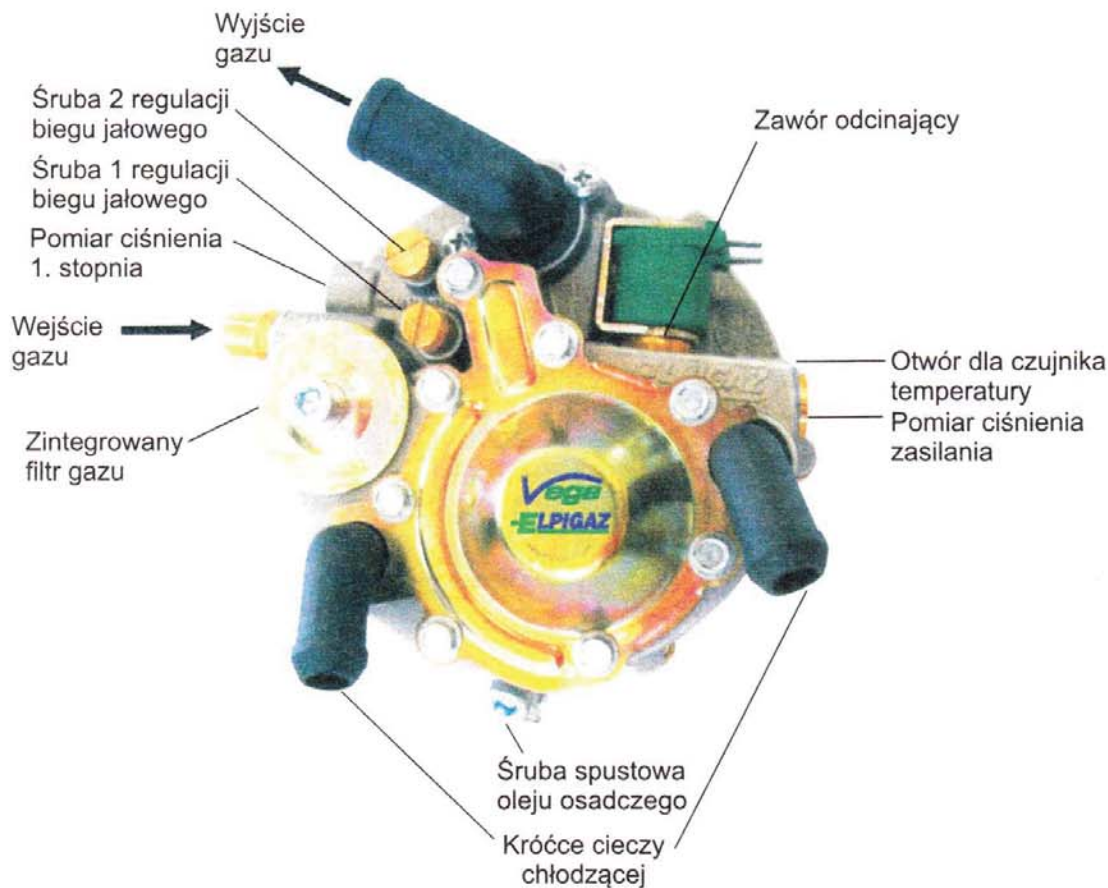
- podciśnieniowe – włączające się do pracy na podstawie podciśnienia występującego kolektorze dolotowym pracującego silnika;
- elektroniczne – włączające się do pracy po otwarciu zaworu odcinającego na podstawie sygnału z układu zapłonowego lub sygnału prędkości obrotowej silnika.

W celu zapewnienia wysokiego poziomu bezpieczeństwa oraz spełnienia wymagań przepisów we współczesnych instalacjach stosuje się wyłącznie elektroniczne reduktory-parowniki.

Ze względu na liczbę stopni redukcji reduktory można podzielić na:

- jednostopniowe,
- dwustopniowe.

W gazowych instalacjach zasilających I generacji stosuje się dwustopniowe reduktory-parowniki. Pierwszy stopień reduktora jest wykorzystywany jako parownik, w którym następuje częściowe obniżenie ciśnienia gazu i jego

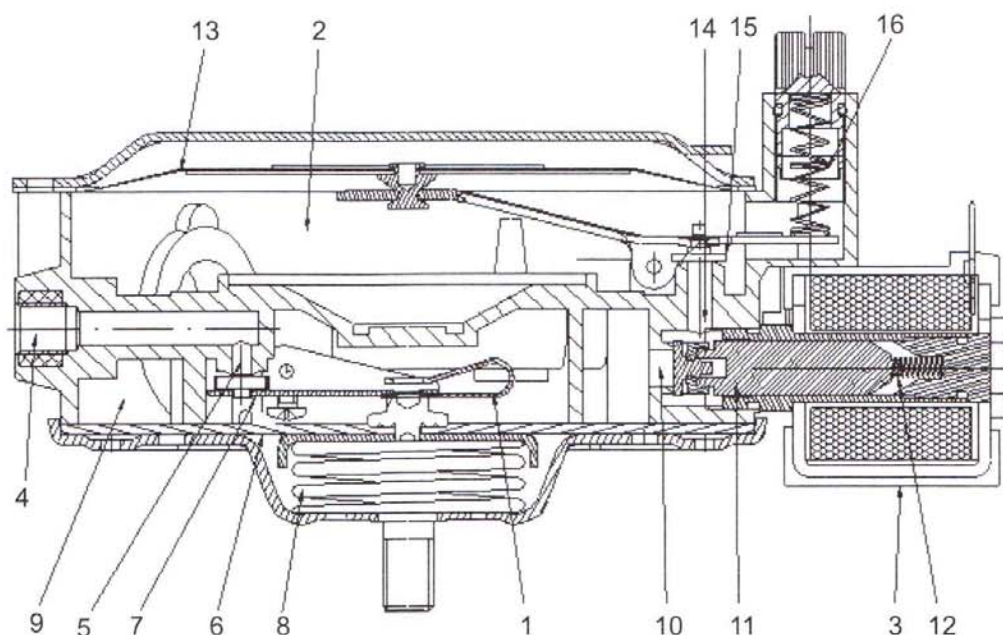


**Rys. 1.92.** Dwustopniowy elektroniczny reduktor-parownik przeznaczony do instalacji gazowych I i II generacji zintegrowany z zaworem odcinającym oraz wyposażony w filtr gazu [39]

przejście z fazy ciekłej w gazową. W drugim stopniu reduktora następuje dalsze obniżenie ciśnienia i utrzymywanie go na stałym poziomie. Dwustopniowy elektroniczny reduktor-parownik, przeznaczony do instalacji gazowych I i II generacji, zintegrowany z zaworem odcinającym i wyposażony w filtr gazu przedstawiono na rysunku 1.92.

Budowę dwustopniowego reduktora przedstawiono na rysunku 1.93. Gdy elektrozawór LPG jest otwarty, paliwo LPG w fazie ciekłej pod ciśnieniem panującym w zbiorniku wpływa do komory I stopnia regulacji ciśnienia i rozpręża się, pobierając ciepło od ścianek komory. Odparowane paliwo LPG zwiększa ciśnienie w komorze pierwszego stopnia i wywiera nacisk na przeponę komory I stopnia, który powoduje przewyższenie siły sprężyny i (poprzez dźwignię regulacji zespołu I stopnia) zamknięcie zaworu I stopnia. Zawór ten zacznie się powtórnie otwierać, gdy układ regulacji II stopnia spowoduje wypływ części gazu z komory I stopnia i nastąpi zmniejszenie panującego w niej ciśnienia.

Podczas pracy silnika podciśnienie panujące w kolektorze dolotowym oddziałuje na przeponę drugiego stopnia w reduktorze-parowniku. Zmiana podciśnienia, wraz ze zmianą ciśnienia w komorze drugiego stopnia, powoduje zmianę położenia (uchylenia) przepony oraz zmianę położenia dźwigni sterującej przepływem gazu napływającego z komory pierwszego stopnia redukcji. Wzrost podciśnienia i spadek ciśnienia w komorze drugiego stopnia redukcji reduktora,



**Rys. 1.93.** Przekrój reduktora [13]

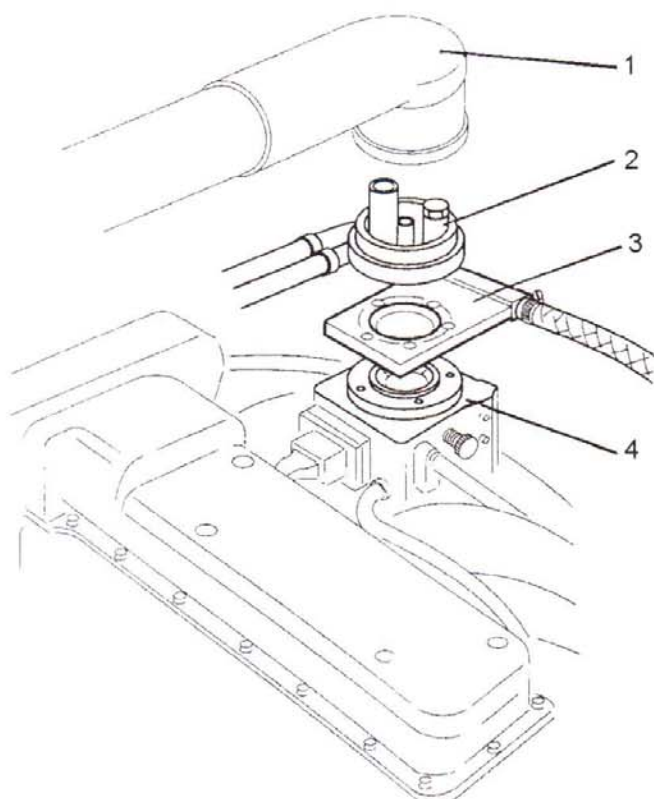
1 – komora I stopnia regulacji ciśnienia, 2 – komora II stopnia regulacji ciśnienia, 3 – elektromagnetyczny zawór odcinający, 4 – króciec dolotowy LPG, 5 – wlot kanału doprowadzającego LPG do komory I stopnia, 6 – przepona komory I stopnia, 7 – zawór I stopnia, 8 – sprężyna zespołu zaworu I stopnia, 9 – płaszcz cieczowy, 10 – kanał łączący komory I i II stopnia, 11 – trzpień elektromagnetycznego zaworu odcinającego, 12 – sprężyna elektromagnetycznego zaworu odcinającego, 13 – przepona komory II stopnia regulacji ciśnienia, 14 – kanał łączący komory I i II stopnia, 15 – dźwignia regulacji zespołu II stopnia, 16 – sprężyna zespołu regulacji II stopnia wraz ze śrubą regulacyjną naciągu wstępnego tej sprężyny

wywołany zasysaniem z niej paliwa gazowego, powoduje zmniejszenie siły działającej na przeponę komory drugiego stopnia, a przez to i na dźwignię regulacji zespołu zaworu drugiego stopnia. Umożliwia to otwieranie się zaworu drugiego stopnia i przepływ paliwa LPG z komory pierwszego stopnia redukcji. W przypadku zmniejszenia podciśnienia w kolektorze dolotowym wzrasta ciśnienie w komorze drugiego stopnia regulacji, w wyniku czego, poprzez zmianę położenia przepony komory drugiego stopnia, następuje zamknięcie zaworu przepływu paliwa z komory pierwszego stopnia do komory drugiego stopnia regulacji ciśnienia.

Przepływ LPG w postaci gazowej przez zawór drugiego stopnia jest zależny od różnicy ciśnień między komorami pierwszego i drugiego stopnia regulacji ciśnienia oraz od wielkości otwarcia zaworu drugiego stopnia.

Paliwo gazowe LPG po odparowaniu i obniżeniu ciśnienia, z komory drugiego stopnia reduktora-parownika, przepływa przewodem wyposażonym w zawór dławiący (register) do mieszalnika (miksera).

Położenie śruby regulacyjnej w zaworze dławiącym, którą ustala się odpowiedni przekrój przepływu gazu przez register na drodze między reduktorem-parownikiem i mieszalnikiem, określa ilość zasysanego przez silnik gazu. Zmniejszenie przekroju przepływu (wkręcenie śruby regulacyjnej) powoduje zmniejszenie dopływu gazu i zubożenie mieszanki powietrzno-paliwowej zasysanej przez silnik. Zwiększenie tego przekroju (wykręcenie śruby regulacyjnej) wywołuje zwiększenie dopływu gazu i wzbogacenie mieszanki.



**Rys. 1.94.** Mieszalnik zamontowany pod płytką wtryskiwacza benzyny [13]

1 – kanał dolotowy, 2 – wtryskiwacz benzyny,  
3 – mieszalnik, 4 – korpus zespołu wtryskowego

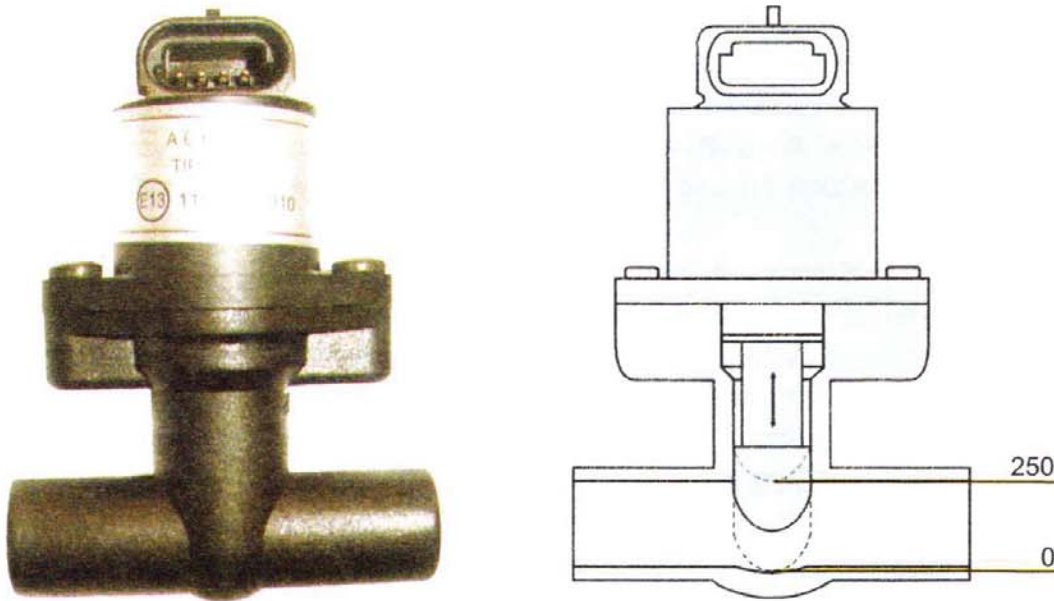
Mieszalnik montuje się w układzie dolotowym powietrza do silnika między filtrem powietrza i przepustnicą (rys. 1.94). Jego zadaniem jest wprowadzenie paliwa LPG w fazie gazowej do układu dolotowego silnika w ilości proporcjonalnej do ilości napływającego do silnika powietrza, tak aby uzyskać jednorodną mieszankę palną w pełnym zakresie pracy silnika. Mieszalnik dobiera się indywidualnie do danego silnika w zależności od budowy układu zasilania benzyną, pojemności skokowej i mocy silnika. Stosuje się różne rozwiązania konstrukcyjne tego elementu, lecz zasada działania wszystkich mieszalników jest taka sama.

Regulacja instalacji LPG I generacji polega na:

- wyregulowaniu prędkości obrotowej biegu jałowego (regulacji dokonuje się przez zmianę napięcia sprężyny w układzie regulacji ciśnienia drugiego stopnia reduktora);
- wyregulowaniu składu mieszanki przy zwiększonej prędkości obrotowej, wynoszącej ok. 3000 obr/min (skład mieszanki zmienia się śrubą regulacyjną zaworu dławiącego).

### 1.4.3. Instalacja zasilania gazem LPG II generacji

Instalacja gazowa LPG II generacji jest układem mieszalnikowym (podobnie jak instalacje I generacji) przeznaczonym do zasilania silników wyposażonych w sondę lambda i reaktor katalityczny. Elektroniczne sterowanie ilością gazu podawanego z reduktora-parownika do silnika jest realizowane na podstawie sygnału sondy lambda. Dzięki jego wykorzystaniu instalacja II generacji reguluje dawkę gazu płynącego do silnika w sposób umożliwiający wytworzenie



Rys. 1.95. Widok i przekrój elementu wykonawczego układów sterujących [39]

mieszanki o składzie bliskim stechiometrycznemu we wszystkich warunkach pracy.

Zasada działania układów zasilania LPG I i II generacji jest taka sama. Jedyną różnicą jest wprowadzenie w układach II generacji urządzenia wykonawczego umożliwiającego regulację składu mieszanki LPG-powietrze przy wykorzystaniu sygnału sondy lambda występującej w układzie zasilania benzyną. Najczęściej stosowanym rozwiązaniem sterowania ilością gazu podawanego do silnika jest zawór dławiący napędzany silnikiem krokowym, zwany attuatorem (rys. 1.95), zamocowany na przewodzie gazowym między reduktorem i mieszalnikiem. Elementem roboczym attuatora jest silnik krokowy. Podczas pracy silnik krokowy może zająć dowolną pozycję od 0 do 250 kroków, w zależności od sygnału otrzymanego z układu sterującego ilością gazu, dzięki czemu następuje zmiana pola przekroju przepływu gazu przez attuator.

Współpraca instalacji gazowych II generacji z elektronicznie sterowanymi układami wtrysku benzyny może wywoływać zakłócenia w pracy tych układów, których skutkiem jest generowanie błędów lub nawet zmiany zapisanych w pamięci sterownika map wtrysku. Dlatego też w celu zapewnienia prawidłowego działania układu zasilania w instalacji elektrycznej układów gazowych stosuje się zespoły elektroniczne zwane emulatorami. Emulatory generują sygnały elektryczne, „oszukując” w ten sposób sterownik silnika, co umożliwia poprawną pracę układów elektronicznego sterowania samochodu podczas zasilania gazem LPG.

Podczas pracy na paliwie LPG odbywa się również sterowanie pracą wtryskiwaczy benzyny. Aby benzyna nie była wtryskiwana, konieczne jest odcięcie zasilania tym paliwem układu wtrysku sterowanego elektronicznie. Realizuje się to, stosując emulatory wtrysku, których zadaniem jest włączenie w szereg z uzwojeniem cewki wtryskiwacza elementów obniżających natężenie

prądu w uzwojeniach wtryskiwacza do poziomu gwarantującego, że wtryskiwacz benzyny się nie otworzy, a zarazem sterownik silnika nie wykryje ingerencji w obwody wykonawcze wtrysku. Powrót do zasilania benzyną jest realizowany przez połączenie uprzednio „przerwanych” obwodów sterujących. Emulatory wtrysku dobiera się dostosowując je do rezystancji cewek elektromagnetycznych wtryskiwaczy benzyny.

Zadaniem emulatora sondy lambda jest wytworzenie sygnału elektrycznego przesyłanego do sterownika silnika o tak dobranym przebiegu, aby został zinterpretowany przez sterownik silnika jako informacja o prawidłowym przebiegu regulacji składu mieszanki, czyli nie wymagającym wprowadzenia korekt w sterowaniu. Emulator sondy lambda stosuje się zatem do zamaskowania niedoskonałości działania układów zasilania LPG.

W instalacji gazowej II generacji stosuje się również inne emulatory, zabezpieczające układ wtryskowy benzyny przed generowaniem błędów oraz zakłóceniami w sterowaniu dawkowaniem benzyny.

Podstawowym sygnałem do sterowania składem mieszanki w układach II generacji jest sygnał sondy lambda. Podczas pracy sterownika układu LPG sygnał ten jest porównywany z napięciem progowym, na podstawie którego jest oceniany skład mieszanki (uboga czy bogata). Sterownik układu zasilania gazem wzbogaca mieszankę LPG, jeżeli wykryje, że mieszanka jest uboga, zuboża ją natomiast, gdy wykryje mieszankę bogatą. W zależności od wykrytego stanu regulacji sterownik wysyła do elementu regulującego (silnika krokowego zaworu dławiącego) przepływ LPG sygnał powodujący zwiększenie dławienia wypływu paliwa LPG do silnika w celu zubożenia mieszanki, natomiast w przypadku wykrycia mieszanki ubogiej – sygnał powodujący zwiększenie dopływu paliwa LPG. Efektem tego działania jest ciągła oscylacja składu mieszanki wokół wartości odpowiadającej mieszance stechiometrycznej.

Dla właściwej pracy silnika bardzo ważne są: częstotliwość oraz zakres zmian składu mieszanki LPG-powietrze podczas pracy silnika. Zakres zmian składu mieszanki palnej zasilającej silnik zależy od czasu przepływu mieszanki palnej od mieszalnika do sondy lambda, parametrów sondy lambda, układu sterowania składem mieszanki oraz od urządzeń wykonawczych regulujących dawkę paliwa LPG. W przypadku dużych zmian składu mieszanki praca silnika staje się nierównomierna – prędkość obrotowa silnika zwiększa się z chwilą wzbogacenia mieszanki i zmniejsza się po jej zubożeniu. W instalacjach gazowych II generacji, podobnie jak w układach wtryskowych benzyny, sygnał sondy lambda jest podstawą do korekcji dawki paliwa. Podstawowym warunkiem właściwej regulacji układu zasilania LPG II generacji są prawidłowy dobór mieszalnika oraz dobór i regulacja reduktora umożliwiające układowi sterującemu korekcję składu mieszanki w każdych warunkach pracy silnika.

Właściwie dobrane i wyregulowane układy zasilania LPG II generacji dobrze sterują składem mieszanki w stałych warunkach pracy silnika. Do polepszenia ich działania w stanach nieustalonych są przeznaczone funkcje działające podczas przyspieszania oraz zwalniania silnika.

Funkcja wzbogacania mieszanki podczas przyspieszania polega na wzbogaceniu mieszanki LPG-powietrze w celu zwiększenia mocy. Sterownik LPG do tego celu wykorzystuje sygnał z czujnika położenia przepustnicy. Jeżeli sygnał odczytany z tego czujnika przekroczy określoną wartość, sterownik spowoduje przesunięcie silnika krokowego do zadanego położenia lub zwiększenie otwarcia o zaprogramowaną liczbę kroków.

Podczas zwalniania silnika, rozpoznawanego jako zmniejszenie kąta otwarcia przepustnicy, następuje zmniejszenie otwarcia zaworu dławiącego przez silnik krokowy do określonej pozycji i zmniejszenie przekroju przepływu paliwa LPG do silnika. Powoduje to zmniejszenie ilości gazu zasysanego przez silnik i chwilowe zubożenie mieszanki powietrzno-gazowej.

Mieszalnikowy układ zasilania LPG umożliwia pracę silnika z dowolnie dużą prędkością obrotową. Aby nie dopuścić do przekroczenia założonej dla danego silnika maksymalnej prędkości obrotowej przy zasilaniu paliwem LPG, co może mieć wpływ na ograniczenie trwałości silnika, w instalacjach II generacji po wykryciu niebezpiecznej prędkości obrotowej następuje przełączenie zasilania z LPG na benzynę i wykorzystanie ogranicznika prędkości obrotowej silnika pracującego na benzynie.

Przełączanie zasilania z benzyny na LPG jest realizowane automatycznie po wybraniu na przełączniku trybu LPG i wystąpieniu odpowiednich warunków pracy.

Instalacje gazowe II generacji dobrze współpracują z jednopunktowymi układami wtryskowymi benzyny. W przypadku wielopunktowych układów wtryskowych istnieje problem wybuchów powrotnych (strzałów) przy zasilaniu gazem, spowodowanych zapaleniem się mieszanki gazowo-powietrznej w układzie dolotowym silnika. Problem pojawiania się strzałów wynika z różnicy miejsca powstawania mieszanki paliwowo-powietrznej:

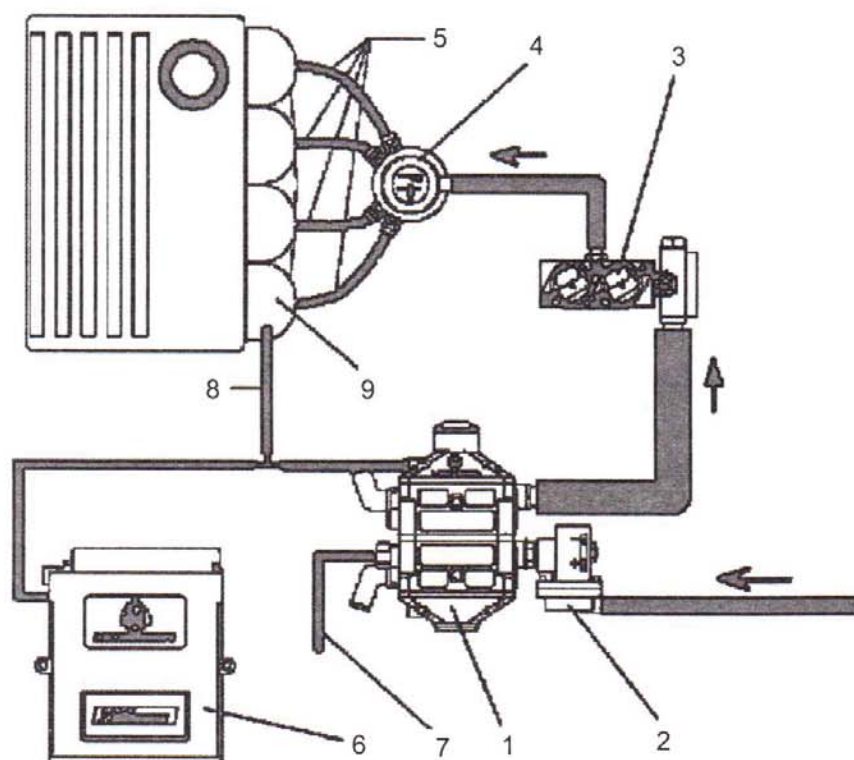
- przy zasilaniu benzyną – w kolektorze przed zaworem dolotowym, oddzielnie dla każdego cylindra;
- przy zasilaniu LPG – w mieszalniku przed przepustnicą, jednomiejscowo wspólnie dla wszystkich cylindrów.

Wybuchy powrotne są szczególnie niebezpieczne dla silników wyposażonych w kolektory dolotowe wykonane z tworzyw sztucznych.

#### 1.4.4. Instalacja zasilania gazem LPG III generacji

Gazowy układ zasilania III generacji w porównaniu z układem II generacji umożliwia dokładniejsze sterowanie dawką paliwa LPG płynącego do silnika oraz eliminuje problem wybuchów powrotnych dzięki zastosowaniu indywidualnego dozowania gazu do kanałów dolotowych w okolicy zaworów, tak jak jest to realizowane w wielopunktowych układach wtrysku benzyny. Układy te zalicza się do układów wtryskowych, mimo że nie zachodzi w nich wtrysk gazu z realizacją odmierzania dawki paliwa.

W gazowych układach zasilania III generacji ilość paliwa LPG podawanego do silnika jest określana na podstawie zmierzonego przepływu powietrza przez

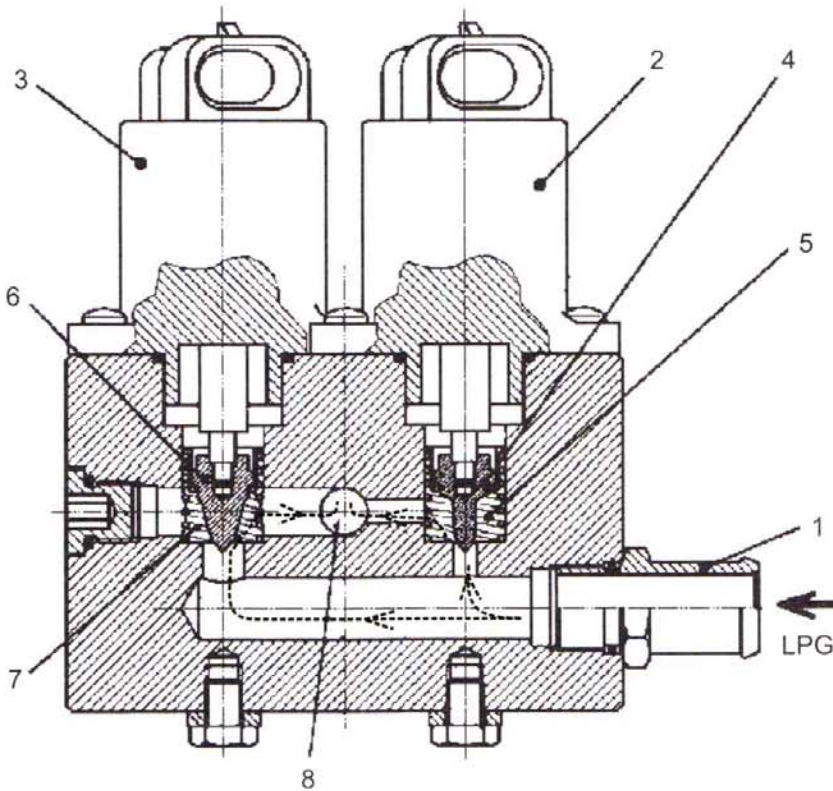


**Rys. 1.96.** Schemat układu wtrysku fazy gazowej LPG III generacji [13]

1 – reduktor, 2 – elektrozawór odcinający, 3 – dozownik, 4 – dystrybutor, 5 – przewody doprowadzające LPG do kolektora dolotowego, 6 – sterownik LPG, 7 – przewód odprowadzający LPG z reduktora po zadziałaniu zaworu bezpieczeństwa, 8 – przewód kompensacyjny, 9 – kolektor dolotowy

układ dolotowy silnika. Układ sterowania ma możliwość tworzenia map określających optymalną dawkę paliwa LPG i może ją korygować na podstawie analizy sygnału z sondy lambda. Podstawowymi sygnałami wykorzystywanymi do wyznaczenia dawki paliwa LPG, podobnie jak w układach wtryskowych benzyny, są sygnały z czujników podciśnienia w układzie dolotowym oraz prędkości obrotowej silnika. Sterowanie instalacji III generacji obejmuje również (tak jak w instalacjach II generacji) stany nieustalone silnika, czyli wzbogacanie mieszanki przy wzroście obciążenia i zubożanie mieszanki lub odcięcie paliwa podczas hamowania silnikiem. W układach III generacji, mimo zwiększenia dokładności sterowania dawką paliwa w porównaniu z układami II generacji, wymagane jest również stosowanie emulatora sondy lambda.

Schemat gazowego układu zasilania III generacji przedstawiono na rysunku 1.96. Gaz LPG ze zbiornika przepływa przez filtr paliwa oraz zawór odcinający do reduktora. Po wyjściu z reduktora paliwo w fazie gazowej przepływa do dozownika, który steruje natężeniem przepływu gazu LPG do silnika. Jego działanie polega na dławieniu przepływu paliwa z reduktora do dystrybutora. W korpusie dozownika (rys. 1.97) są wykonane dwa kanały połączone z wlotem i wylotem paliwa w ten sposób, że jest możliwy jego przepływ przez oba kanały jednocześnie. W każdym z kanałów pracuje zawór dławiący sterowany za pomocą silnika krokowego, działającego na identycznej zasadzie jak w układach

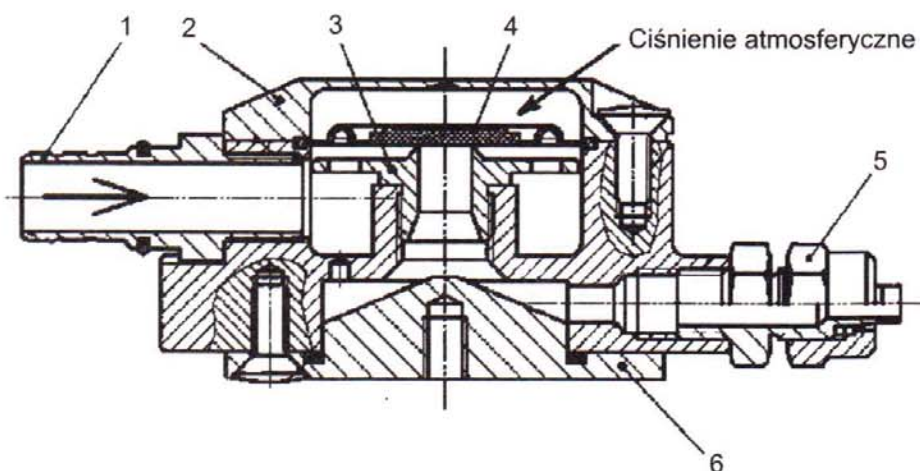


**Rys. 1.97.** Dozownik [13]

1 – króciec wlotowy LPG, 2, 3 – silnik krokowy, 4, 6 – iglica, 5, 7 – sprężyna, 8 – kanał wylotowy LPG

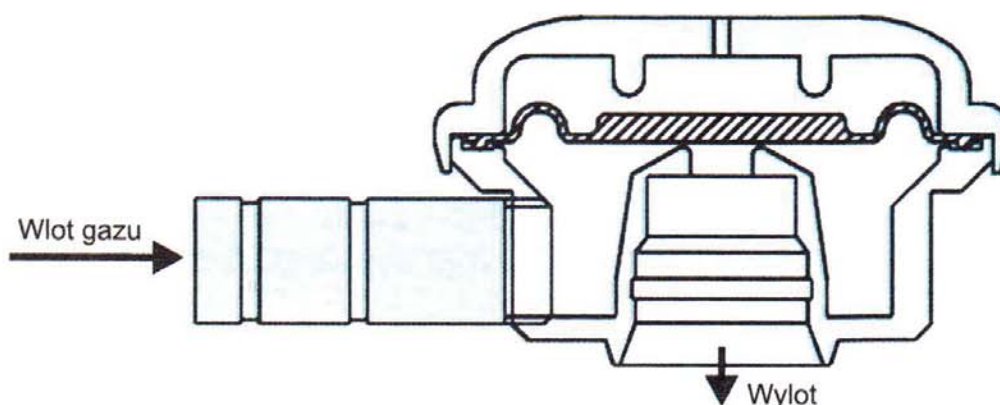
LPG II generacji. Kanał o mniejszej średnicy służy do precyzyjnej regulacji składu mieszanki silnika pracującego na biegu jałowym i przy niewielkich mocach rozwijanych przez silnik. Drugi kanał jest wykorzystywany do sterowania składem mieszanki w warunkach rozwijania przez silnik większych mocy, gdy zapotrzebowanie silnika na paliwo rośnie. Określona dawka paliwa LPG następnie jest kierowana do dystrybutora, w którym paliwo jest rozdzielane na poszczególne cylindry i przewodami płynie do wtryskiwaczy, z których w sposób ciągły wypływa do poszczególnych odgałęzień kolektora dolotowego. Dystrybutor (rys. 1.98), oprócz rozdziału paliwa, za pomocą umieszczonego w nim zaworu ma utrzymywać stałą różnicę ciśnień między wejściem i wyjściem paliwa. Dystrybutor jest montowany blisko miejsca wprowadzenia paliwa do kolektora dolotowego, czyli blisko wtryskiwaczy. Wtryskiwacze, wykonane w postaci zaworów przeponowych (rys. 1.99), są montowane na kolektorze dolotowym w sąsiedztwie wtryskiwaczy benzyny. Zawór przeponowy umożliwia przepływ odmierzonej porcji gazu do kanałów dolotowych i zapewnia zamknięcie przepływu powietrza między poszczególnymi cylindrami, gdy nie występuje wtryskiwanie gazu.

Warunkiem prawidłowej pracy silnika jest wytworzenie mieszanki palnej o zadanym współczynniku nadmiaru powietrza, a ponadto o tym samym współczynniku nadmiaru powietrza w każdym z odgałęzień kolektora dolotowego. Warunkiem równego podziału strumienia LPG w instalacji III generacji jest zachowanie takich samych przepływów gazu przez każdy z przewodów łączących dystrybutor z wtryskiwaczami. Spełnienie tego warunku wymaga



**Rys. 1.98.** Dystrybutor [13]

1 – króciec wlotowy LPG, 2 – pokrywa górna, 3 – tuleja, 4 – zawór, 5 – króciec wylotowy, 6 – pokrywa dolna



**Rys. 1.99.** Schemat przekroju zaworu przeponowego (wtryskiwacza gazu LPG) [39]

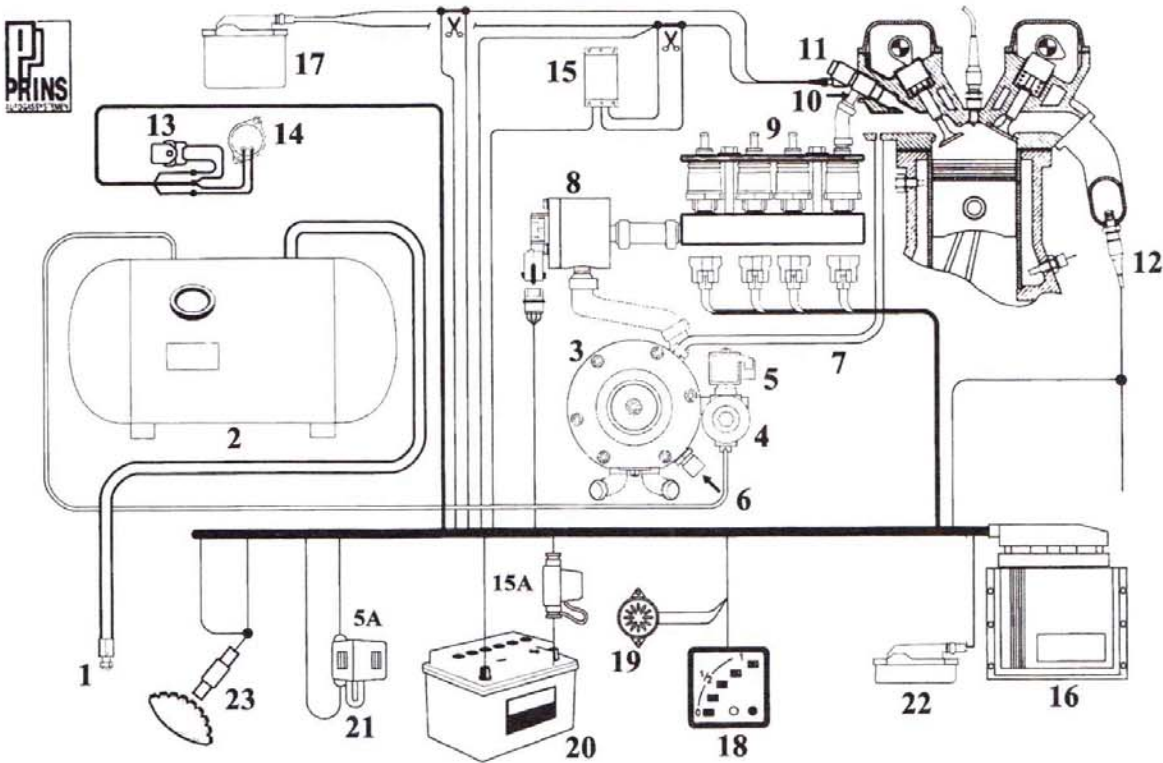
zachowania we wszystkich odgałęzieniach kolektora dolotowego tej samej odległości między miejscem osadzenia wtryskiwacza i głowicą silnika oraz jednakowej długości przewodów łączących wtryskiwacze z dystrybutorem.

#### 1.4.5. Instalacja zasilania gazem LPG IV generacji

Gazowa instalacja LPG IV generacji to układ sekwencyjnego wtrysku gazu przeznaczony do silników o wielopunktowym wtrysku benzyny. Rozwiązanie to zapewnia największą dokładność dawkowania gazu, a jego działanie najmniej różni się od układu wtrysku benzyny.

Przy zasilaniu gazem LPG silnika z wielopunktowym wtryskiem benzyny powinny być spełnione następujące warunki:

- miejsce wtrysku paliwa gazowego powinno być jak najbardziej zbliżone do miejsca wtrysku benzyny;
- wtrysk gazu do kanałów dolotowych kolektora powinien następować w tej samej fazie cyklu pracy silnika, jak ma to miejsce przy benzynie (sekwencja wtrysku gazu z wtryskiem benzyny);



**Rys. 1.100.** Schemat instalacji wtrysku fazy gazowej LPG [13]

1 – zawór tankowania, 2 – zbiornik gazu, 3 – reduktor, 4 – filtr fazy ciekłej LPG, 5 – elektrozawór, 6 – czujnik temperatury reduktora, 7 – przewód łączący zawór bezpieczeństwa z kolektorem dolotowym, 8 – filtr fazy gazowej LPG z czujnikami ciśnienia i temperatury, 9 – wtryskiwacze gazu, 10 – adapter, 11 – wtryskiwacz benzyny, 12 – sonda lambda, 13 – elektrozawór, 14 – wskaźnik poziomu gazu, 15 – zespół odcięcia wtrysku, 16 – sterownik układu zasilania LPG, 17 – sterownik silnika, 18 – przełącznik wyboru paliwa, 19 – brzęczyk, 20 – akumulator, 21 – bezpiecznik, 22 – złącze diagnostyczne, 23 – czujnik położenia i prędkości obrotowej wału korbowego

– ilość wtryskiwanej porcji paliwa gazowego energetycznie powinna odpowiadać zapotrzebowaniu na benzynę wyznaczonemu przez układ sterujący dawką paliwa dla silnika (sterownik benzyny).

Układem spełniającym podane warunki jest sekwencyjny wtrysk gazu.

Układy gazowe IV generacji wtryskują najczęściej paliwo LPG w postaci gazowej, choć spotyka się również układy wtrysku gazu w fazie ciekłej.

### Układ zasilania IV generacji wtrysku LPG w fazie gazowej

Schemat instalacji gazowej IV generacji z wtryskiem paliwa LPG w fazie gazowej przedstawiono na rysunku 1.100. Paliwo, jak w każdej instalacji gazowej, ze zbiornika przewodami za pośrednictwem zaworu odcinającego jest kierowane do reduktora. W nim zachodzi zmiana fazy paliwa LPG z ciekłej na gazową. Zwykle wykorzystuje się reduktor jednostopniowy, w którym odparowanie paliwa i regulacja ciśnienia występują na jednym stopniu regulacji. Działanie reduktora jest identyczne z działaniem I stopnia regulacji reduktora stosowanego w układach mieszalnikowych. Paliwo LPG wyływające z reduktora przepływa przewodami do modułu filtrującego (filtra fazy gazowej) i do wtryskiwaczy LPG, których pracą steruje sterownik układu zasilania LPG. W obudowie modułu filtrującego są umieszczone czujniki ciśnienia oraz

temperatury LPG w fazie gazowej. Sygnały z tych czujników są wykorzystywane do korekty dawki paliwa LPG wynikającej ze zmian jego gęstości pod wpływem zmian temperatury gazu oraz wahań ciśnienia na wyjściu z reduktora, występujących przy zmianach natężenia przepływu gazu. Sygnał ciśnienia jest wykorzystywany również w celu zapewnienia właściwej pracy układu zasilania LPG w przypadku spadku ciśnienia zasilania reduktora. Jeżeli sterownik układu zasilania LPG stwierdzi spadek ciśnienia poniżej wartości minimalnej, aby nie dopuścić do zubożenia mieszanki, przełącza zasilanie na benzynę.

Sterowanie dawką wtryskiwanego gazu jest identyczne jak w przypadku wtrysku benzyny, czyli jest realizowane przez zmianę czasu otwarcia wtryskiwacza gazu LPG. Sterownik układu LPG wykorzystuje sygnały sterujące wtryskiwaczami benzyny do sterowania dawką paliwa wtryskiwaną przez wtryskiwacz LPG. Współpraca sterownika LPG z elektroniką silnika jest jednostronna. Sterownik LPG, wykorzystując sygnały sterownika silnika, precyzyjnie odtwarza dawkę niezbędną po zmianie rodzaju paliwa, tak aby sterownik silnika nie wykrył, że steruje wtryskiem nie benzyny lecz paliwa gazowego. Na podstawie sygnałów sterujących wtryskiwaczami benzyny sterowanie wtryskiwaczami gazu odbywa się oddzielnie dla każdego cylindra. Sterownik LPG odłącza sterowanie wtryskiwaczami benzyny i odłączony sygnał z każdego wtryskiwacza oddzielnie wykorzystuje do wyznaczenia czasu otwarcia wtryskiwacza gazu.

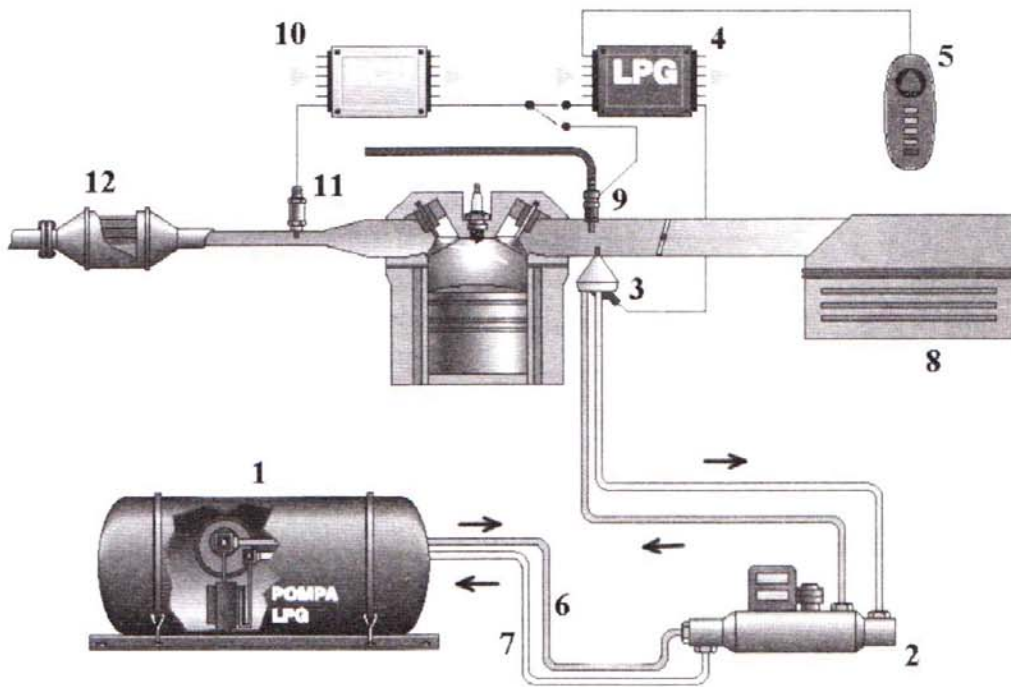
Sterowanie wtryskiem gazu LPG wymaga:

- pomiaru czasu sygnału sterującego wtryskiwaczem benzyny,
- przetworzenia sygnału na sygnał sterujący wtryskiwaczem LPG,
- synchronizacji otwarcia wtryskiwaczy – benzyny i LPG.

Podczas przetwarzania sygnału sterującego wtryskiwaczem benzyny jest dokonywana korekcja uwzględniająca charakterystykę dawkowania wtryskiwacza LPG. Między charakterystykami pracy wtryskiwaczy gazu i benzyny występują różnice, wynikające z różnych form, w jakich wtryskiwacze dozują te paliwa – benzyna jest cieczą, a gaz – fazą lotną. Dla każdego silnika jest przygotowywane dedykowane oprogramowanie, dzięki któremu sterownik LPG prawidłowo steruje wtryskiwaczami gazu.

Wtrysk gazu powinien odbywać się w tej samej chwili, w której następuje wtrysk benzyny dla każdego cylindra (synchronizacja wtrysku gazu z wtryskiem benzyny).

Wtryskiwacze LPG działają na identycznej zasadzie jak wtryskiwacze benzyny. Objętość jednostki masy paliwa LPG w fazie gazowej jest większa niż objętość benzyny w fazie ciekłej o tej samej masie. Z tego powodu stosowane wtryskiwacze LPG odznaczają się dużymi przekrojami przepływu paliwa, a więc i dużymi wymiarami. Wiąże się to z dużą masą elementów wykonawczych i występowaniem odpowiednio dużych sił bezwładności. Wtryskiwacz LPG powinien charakteryzować się dobrymi właściwościami dynamicznymi, czyli szybko i w sposób powtarzalny ma się otwierać i zamykać. Osiąga się to dzięki odpowiedniej konstrukcji wtryskiwacza, jak również właściwemu sterowaniu



**Rys. 1.101.** Schemat instalacji wtrysku fazy ciekłej LPG [13]

1 – zbiornik paliwa LPG wraz z pompą, 2 – regulator ciśnienia, 3 – wtryskiwacz LPG, 4 – sterownik układu zasilania LPG, 5 – przełącznik wyboru paliwa, 6 – przewód dopływu LPG, 7 – przewód powrotny LPG, 8 – filtr powietrza, 9 – wtryskiwacz benzyny, 10 – sterownik silnika, 11 – sonda lambda, 12 – reaktor katalityczny

jego otwieraniem i zamykaniem. Czas otwarcia wtryskiwacza LPG, choć jest to trudne ze względu na inną formę wtryskiwanego paliwa, powinien być bliski czasowi otwarcia wtryskiwacza benzyny.

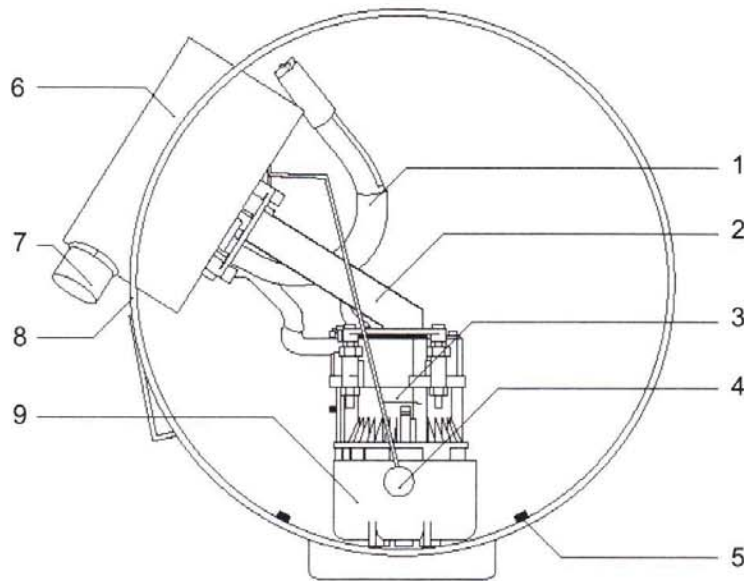
### Układ zasilania IV generacji wtrysku LPG w fazie ciekłej

Schemat instalacji wtrysku paliwa LPG w fazie ciekłej przedstawiono na rysunku 1.101. Jest ona przeznaczona do zasilania silników wyposażonych w wielopunktowy wtrysk benzyny i stanowi instalację dedykowaną, przewidzianą do danego typu silnika.

Głównymi elementami układu wtrysku paliwa LPG w fazie ciekłej są:

- pompa paliwa,
- regulator ciśnienia,
- wtryskiwacze LPG,
- elektronika sterująca.

Pompa ciekłego LPG jest umieszczona w ciśnieniowym zbiorniku paliwa gazowego (rys. 1.102). Jest to pompa przeponowa, napędzana silnikiem elektrycznym zasilanym prądem przemiennym o regulowanej częstotliwości, dzięki czemu jest możliwe sterowanie jego prędkością obrotową. Zmiana prędkości obrotowej umożliwia regulację wydajności pompy przez sterownik instalacji LPG w zależności od chwilowego zapotrzebowania na paliwo. Pompa tłoczy paliwo pod dużym ciśnieniem do regulatora ciśnienia, odpowiedzialnego za utrzymywanie ciśnienia gazu LPG w instalacji na żądanym poziomie. Nadmiar tłoczonego paliwa jest odprowadzany z powrotem do zbiornika.

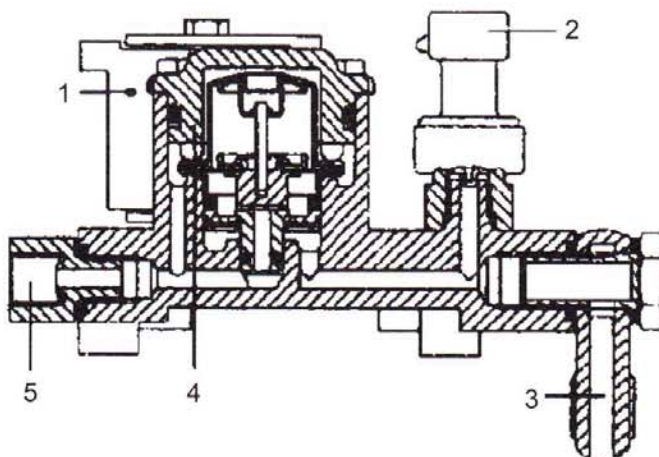


**Rys. 1.102.** Pompa LPG umieszczona w zbiorniku [13]

1 – przewód odpowietrzający, 2 – wspornik pompy, 3 – pompa LPG, 4 – pływak zaworu ograniczającego napełnienie zbiornika do 80% pojemności, 5 – magnes, 6 – korpus zaworu wielofunkcyjnego, 7 – otwór służący do przeprowadzenia przewodów gazowych od wlewu LPG i zasilającego, 8 – zbiornik LPG, 9 – obudowa silnika elektrycznego pompy

Pompa jest zabezpieczana zaworem przelewowym przed nadmiernym wzrostem ciśnienia. Paliwo LPG w fazie ciekłej ma znikome właściwości smarne, dlatego części ruchome pompy są smarowane czynnikiem znajdującym się w obudowie pompy. Ze względu na niekorzystne oddziaływanie paliwa LPG na silnik elektryczny pompy jest on umieszczony w szczelnej obudowie, która ma wyprowadzenie odpowietrzenia ponad lustro fazy ciekłej LPG.

Parowanie paliwa LPG zależy od jego ciśnienia i temperatury. W celu uniknięcia przechodzenia fazy ciekłej w gazową w przewodach paliwa na skutek ich nagrzewania ciśnienie fazy ciekłej LPG, po opuszczeniu zbiornika, jest zwiększane o 0,5 MPa powyżej ciśnienia panującego w zbiorniku. Ponadto podwyższenie ciśnienia zasilania umożliwia zmniejszenie wymiarów wtryskiwaczy. Za utrzymywanie nadciśnienia w instalacji względem ciśnienia panującego w zbiorniku jest odpowiedzialny regulator ciśnienia (rys. 1.103). Elementem regulacyjnym jest umieszczony w nim sprężynowy zawór upustowy. Sprężyna tego zaworu jest tak dobrana, że otwiera się on po przekroczeniu różnicy ciśnień wynoszącej 0,5 MPa. Przed tym zaworem jest zamontowany czujnik ciśnienia połączony ze sterownikiem LPG.



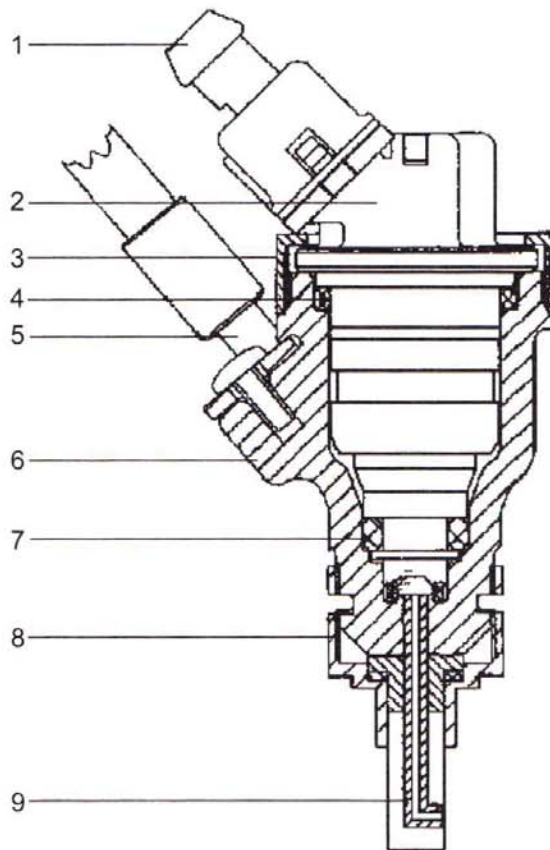
**Rys. 1.103.** Przekrój regulatora ciśnienia [13]

1 – elektrozawór, 2 – czujnik ciśnienia LPG, 3 – króciec powrotu LPG od wtryskiwaczy, 4 – zawór regulujący ciśnienie, 5 – króciec powrotu LPG do zbiornika

Zasada działania wtryskiwacza LPG w fazie ciekłej (rys. 1.104) praktycznie jest taka sama jak wtryskiwacza benzyny. Różnicą jest jedynie ciśnienie w układzie zasilania. W przypadku układu LPG ciśnienie to może osiągnąć 3 MPa, czyli jest kilkakrotnie wyższe od panującego w układach zasilania benzyną. Wtryskiwacz LPG w fazie ciekłej musi zatem charakteryzować się dużą siłą podnoszącą iglicę. Podniesienie iglicy wtryskiwacza wymaga pokonania siły sprężyny oraz ciśnienia w układzie zasilania. W celu uzyskania dużej siły podnoszącej iglicę cewka wtryskiwacza LPG ma rezystancję mniejszą niż  $2 \Omega$  i jest zasilana prądem o natężeniu ok. 8 A, natomiast do podtrzymania otwarcia wtryskiwacza wystarcza niższe natężenie prądu. Ograniczenie natężenia prądu po otwarciu wtryskiwacza zapobiega nagrzewaniu się cewki, które niekorzystnie wpływa na fazę ciekłą LPG. Kryterium doboru wtryskiwacza do silnika jest wydatek wtryskiwacza LPG w stosunku do wydatku wtryskiwacza benzyny. Czas wtrysku benzyny powinien być dłuższy niż czas wtrysku LPG przy tych samych parametrach pracy silnika, przy najniższym założonym ciśnieniu paliwa gazowego. Zapewnia to możliwość dostarczania LPG w ilości odpowiadającej zapotrzebowaniu silnika. Gdyby warunek ten nie był spełniony, wówczas przy pełnej mocy silnika, kiedy wtryskiwacz benzyny jest otwarty cały czas, wtryskiwacz LPG musiałby być otwarty dłużej niż benzynowy, co nie jest możliwe.

Istotnym zagadnieniem jest sposób zamontowania wtryskiwacza LPG w kolektorze dolotowym. Wtrysk fazy ciekłej powoduje, że LPG przechodząc przez dyszę wtryskiwacza, rozpręża się do ciśnienia panującego w kolektorze dolotowym, co powoduje gwałtowne parowanie ciekłego LPG i odprowadzanie znacznych ilości ciepła (oziębienie miejsca wtrysku). Najkorzystniejszym położeniem wtryskiwacza jest jego umieszczenie umożliwiające wtrysk paliwa LPG bezpośrednio na zawór dolotowy. Wtedy czas przebywania paliwa w kolektorze dolotowym jest najkrótszy. Najczęściej wtryskiwacze osadza się w gniazdach specjalnie wykonywanych w ściankach kolektora dolotowego.

Elektroniczny sterownik układu wtryskowego LPG realizuje następujące funkcje:



**Rys. 1.104.** Przekrój wtryskiwacza LPG [13]

1 – złącze elektryczne, 2 – wtryskiwacz, 3 – pierścień mocujący, 4 – uszczelniacz, 5 – doprowadzenie LPG, 6 – oprawa wtryskiwacza, 7 – uszczelniacz, 8 – adapter, 9 – końcówka wtryskiwacza

- sterowanie pracą wtryskiwaczy LPG – przetwarzanie czasu otwarcia wtryskiwaczy benzyny na czas otwarcia wtryskiwaczy LPG, z uwzględnieniem korekcji ciśnienia paliwa oraz napięcia w instalacji elektrycznej samochodu;
- sterowanie przełączaniem paliwa – rozruch silnika odbywa się zawsze przy zasilaniu benzyną, natomiast przełączenie na LPG następuje po nagraniu silnika. Przełączenie może być dokonane również ręcznie, przez kierowcę. W przypadku braku wystarczającego ciśnienia LPG (brak paliwa w zbiorniku), sterownik przełącza zasilanie na benzynę;
- zasilanie i sterowanie prędkością obrotową silnika pompy paliwa, czyli sterowanie jej wydatkiem;
- zamykanie zaworów LPG w przypadku wyłączenia silnika;
- odcięcie wtryskiwaczy benzyny – emulator wtrysku.

Gazowa instalacja zasilająca IV generacji oparta na wtrysku fazy ciekłej stanowi szansę na dostosowanie do zasilania LPG silników o bezpośrednim wtrysku benzyny. Trudnością, ograniczającą zastosowanie tego typu układu gazowego, jest konieczność stosowania pompy paliwa, która nie występuje w instalacjach wtrysku fazy gazowej. Wtrysk fazy ciekłej odznacza się wieloma korzystnymi cechami. Jedną z nich jest uniezależnienie pracy instalacji LPG od niskich temperatur otoczenia i związanego z tym spadku ciśnienia w zbiorniku paliwa gazowego. W układach wtrysku fazy ciekłej zmiana składu frakcyjnego paliwa LPG w znacznie mniejszym stopniu wpływa na dawkowanie fazy ciekłej LPG niż gazowej, zatem w mniejszym stopniu oddziałuje na korekcję nastaw sterownika silnika przy zasilaniu silnika paliwem LPG.

#### 1.4.6. Elementy układów zasilania LPG

Elementy układów zasilania LPG, których zadaniem jest przechowywanie paliwa pod ciśnieniem i dawkowanie go do silnika samochodu w bezpośredniej bliskości ludzi, są źródłem zagrożenia i z tego względu podlegają obowiązkowi spełnienia norm bezpieczeństwa. Przepisy dotyczące układu zasilania gazem LPG obowiązujące w Polsce mają źródło w międzynarodowych normach bezpieczeństwa, jednolitych dla wszystkich przyjmujących je krajów. Dowodem spełnienia minimalnych wymagań jest świadectwo homologacji, upoważniające producenta do oznaczenia wyrobu znakami homologacyjnymi i wprowadzenia go do sprzedaży.

##### **Zbiornik paliwa LPG**

Wielkość, kształt i miejsce mocowania zbiornika LPG nie mają wpływu na pracę układu zasilania gazem. Dobór zbiornika jest ograniczony konstrukcją samochodu oraz wymaganiami zabudowy zbiornika LPG. Decyzja o wielkości i miejscu montażu zbiornika paliwa gazowego wpływa na komfort używania samochodu.

Mając na uwadze większe, w porównaniu z benzyną, zużycie paliwa LPG oraz chęć zachowania zasięgu samochodu zasilanego LPG zbliżonego do

uzyskiwanego przy zasilaniu benzyną, zbiornik paliwa LPG powinien mieć około 1,5 razy większą pojemność niż zbiornik benzyny. Zbyt duży zbiornik LPG zwiększa jednak masę pojazdu oraz zajmuje znaczną powierzchnię użytkową (zbiornik LPG jest dodatkowym zbiornikiem paliwa).

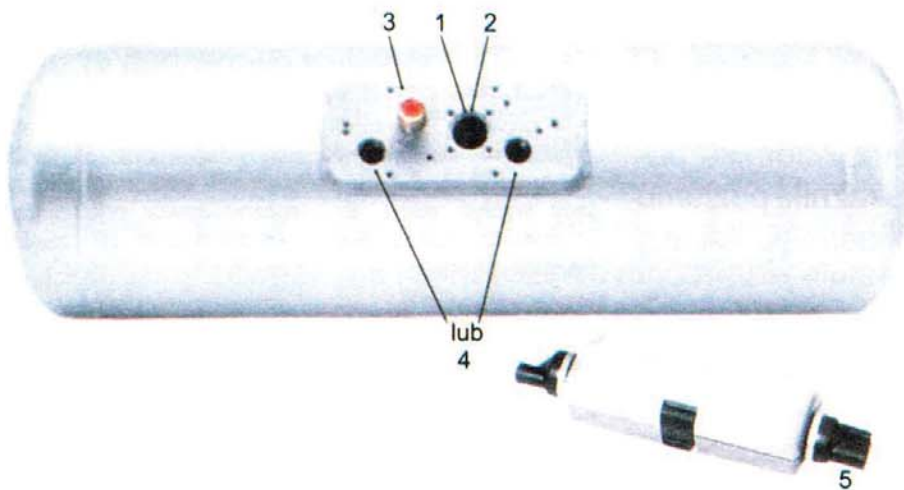
Zbiorniki LPG mają zwykle kształt walcowy lub toroidalny. Zbiornik toroidalny montuje się najczęściej w miejscu koła zapasowego. Zaletą tego rozwiązania jest niezajmowanie miejsca w bagażniku przez zbiornik. Zbiorniki walcowe montuje się w różny sposób, np. w poprzek samochodu za oparciem tylnego siedzenia, wzdłużnie w bagażniku, wzdłuż samochodu za wnęką tylnego koła. Zbiornik paliwa LPG nie może być montowany w bagażniku w przedniej części pojazdu.

### Osprzęt zbiornika LPG

Ze względu na właściwości gazu LPG i konieczność spełnienia wymagań związanych z transportem gazu w samochodzie, zgodnie z obowiązującymi przepisami zbiorniki LPG muszą być wyposażone w następujący osprzęt:

- mechanizm ograniczający stopień napełnienia zbiornika paliwa fazą ciekłą,
- zawór zwrotny,
- zawory odcinające,
- wskaźnik poziomu gazu,
- nadciśnieniowy zawór bezpieczeństwa,
- elektromagnetyczny zawór odcinający.

Podane elementy mogą być wykonane w formie jednego zespołu łączącego wszystkie niezbędne funkcje, zwanego zaworem wielofunkcyjnym lub wielozaworem, montowanego do kołnierza znajdującego się na zbiorniku LPG. W odmiennym rozwiązaniu każde z urządzeń ma własne gniazdo na płycie wykonanej w zbiorniku paliwa gazowego, nazywanej płytą armaturową (holenderską) – rysunek 1.105. Zawór wielofunkcyjny (wielozawór), zawierający poszczególne elementy armatury zbiornika LPG, przedstawiono na rysunku 1.106.



**Rys. 1.105.** Zbiornik LPG z płytą holenderską [39]

1 – zawór ograniczający napełnienie, 2 – wskaźnik poziomu paliwa, 3 – nadciśnieniowy zawór bezpieczeństwa, 4 – samoczynny zawór odcinający zbiornika z zaworem ograniczającym wypływ gazu, 5 – gazoszczelna obudowa osprzętu zbiornika

Faza ciekła paliwa LPG odznacza się względnie dużą rozszerzalnością temperaturową i niewielką ściśliwością. Podczas eksploatacji temperatura zbiornika LPG ulega zmianie, co powoduje zmianę objętości fazy ciekłej LPG zawartej w zbiorniku. Dlatego ze względu na bezpieczeństwo użytkownika zbiorniki gazu LPG napełnia się paliwem w fazie ciekłej tylko do 80% pojemności. Odpowiednie maksymalne napełnienie zapewnia zawór ograniczający stopień napełnienia zbiornika.

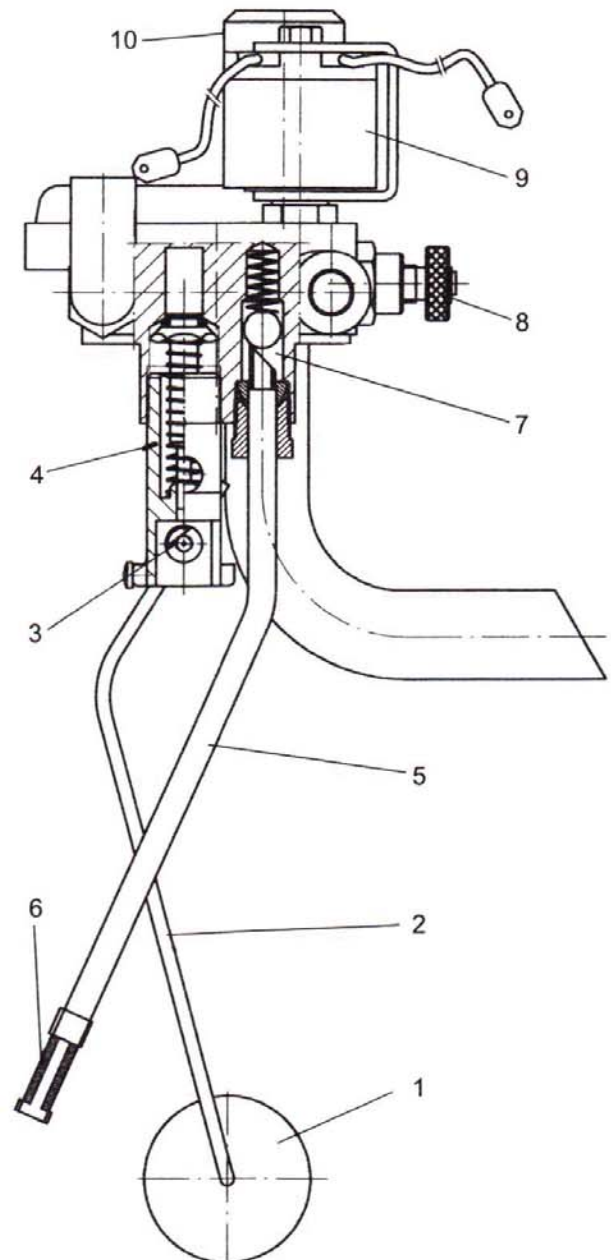
Zadaniem zaworu zwrotnego jest ograniczenie natężenia wypływu paliwa ze zbiornika, np. w przypadku mechanicznego uszkodzenia przewodu gazowego między wielozaworem i reduktorem, do wartości określonej w przepisach.

Wielozawór jest wyposażony w dwa zawory odcinające o sterowaniu ręcznym, umożliwiające zamknięcie obu kanałów: tankowania i zasilania. Zamknięcie zaworów powoduje odcięcie zbiornika LPG od urządzeń zewnętrznych. Zawory odcinające wykorzystuje się podczas czynności serwisowych lub w przypadku utraty szczelności układu zasilania LPG.

Wskaźnik poziomu paliwa wykorzystuje mechanizm pływaka z ramieniem, który porusza wewnątrz zbiornika paliwa magnes stały. Wskaźniki poziomu paliwa LPG nie są dokładne (wskazują wartości orientacyjne).

Nadciśnieniowy zawór bezpieczeństwa jest zaworem nadmiarowym, który otwiera się po przekroczeniu zadanego ciśnienia i zamyka, gdy ciśnienie spada. Zawór powoduje wypływ fazy gazowej LPG ze zbiornika do osłony gazoszczelnej i dalej przewodem na zewnątrz pojazdu.

Elektromagnetyczny zawór odcinający stosuje się na wylocie paliwa LPG z wielozaworu, wspólnie z zaworem ograniczającym wypływ ze zbiornika. Umożliwia on zamknięcie wypływu LPG ze zbiornika w chwili wyłączenia zapłonu silnika.



**Rys. 1.106.** Zawór wielofunkcyjny [13]

1 – pływak, 2 – ramię pływaka, 3 – oś ramienia pływaka, 4 – zawór ograniczający napełnienie, 5 – rurka poboru paliwa, 6 – filtr siatkowy, 7 – zawór ograniczający wypływ gazu, 8 – ręczny zawór odcinający, 9 – elektromagnetyczny zawór odcinający, 10 – zawór bezpieczeństwa

### 1.4.7. Obsługa instalacji gazowych LPG

Sprawne działanie układów zasilania gazem LPG wymaga przeglądów przeprowadzanych zgodnie z systematyką przewidzianą dla danego typu instalacji gazowej. W urządzeniach gazowych gromadzą się osady, a zużywające się elementy zmieniają swoją charakterystykę, co wpływa na zmianę parametrów pracy silnika. Systematyka przeglądów instalacji gazowych opisuje przebiegi oraz czasy eksploatacji, po upływie których należy wykonać zróżnicowane zakresy czynności. Zwykle przeglądy techniczne instalacji gazowych zaleca się wykonywać co 15 tys. km lub co roku. W zależności od rodzaju generacji instalacji gazowej przeglądy różnią się zakresem wymaganych czynności.

Obsługa instalacji gazowej obejmuje podstawowy zakres czynności, jednakowy dla wszystkich generacji oraz czynności specyficzne dla poszczególnych generacji.

Podstawowy zakres czynności obsługowych, niezależny od generacji instalacji LPG, zawiera:

- oględziny zewnętrzne silnika, a zwłaszcza układu paliwowego, zapłonowego i instalacji elektrycznej,
- kontrolę mocowania elementów instalacji gazowej,
- kontrolę stanu filtra powietrza,
- wymianę filtra LPG (fazy ciekłej),
- spuszczenie osadu z reduktora-parownika i sprawdzenie jego szczelności,
- sprawdzenie szczelności instalacji gazowej,
- regulację biegu jałowego (jeśli to możliwe) i dokonanie analizy spalin.

W przypadku instalacji LPG II generacji zakres czynności kontrolnych obejmuje dodatkowo:

- sprawdzenie pracy gazowego układu zasilania za pomocą testera lub komputera diagnostycznego,
- programowanie układu sterującego.

W przypadku wtrysku gazu (IV generacja), poza podstawowymi czynnościami, należy dodatkowo wykonać:

- wymianę filtra paliwa fazy gazowej,
- wymianę filtra LPG (fazy ciekłej) w reduktorze-parowniku,
- demontaż i czyszczenie zaworu odcinającego na reduktorze,
- sprawdzenie ciśnienia gazu na reduktorze-parowniku (ewentualnie regulacja).

Oględziny zewnętrzne i sprawdzenie mocowania elementów są czynnościami przeglądowymi, mającymi zapobiec pojawieniu się niesprawności w dalszej eksploatacji instalacji gazowej silnika. Wymiana filtrów jest związana z koniecznością zachowania czystości paliwa i powietrza, tworzących mieszankę spalaną w silniku. W reduktorze podczas eksploatacji instalacji gazowej gromadzą się zanieczyszczenia utrudniające działanie przepon i innych ruchomych elementów (w skrajnych przypadkach następuje ich zablokowanie). Dlatego okresowo, w ramach czynności obsługowych, spuszcza się z reduktora nagromadzone w nim osady. W wyniku działania tych osadów przepony z upływem czasu stają

się sztywne oraz twarde i przy kolejnych przeglądach wymagają wymiany. Do sprawdzania szczelności instalacji gazowej stosuje się tester piankowy oraz detektor gazu. Czynność ta powinna być wykonywana bardzo starannie i z dużą dokładnością, bowiem szczelność instalacji ma podstawowy wpływ na bezpieczeństwo eksploatacji pojazdu.

Do stwierdzenia prawidłowości działania instalacji gazowej wyposażonej w elektroniczny układ sterowania jest niezbędne sprawdzenie parametrów jego pracy za pomocą testera-programatora lub przenośnego komputera. Informacje uzyskiwane podczas diagnostyki za pomocą testera lub komputera umożliwiają:

- sprawdzenie sygnałów dochodzących do gazowego układu sterującego ilością gazu,
- sprawdzenie prawidłowości działania czujników współpracujących z instalacją gazową (czujnik prędkości obrotowej silnika, czujnik temperatury silnika, sonda lambda),
- kontrolę pracy elementu wykonawczego (attuatora) układu gazowego,
- sprawdzenie poprawności pracy silnika na paliwie gazowym;
- wprowadzenie nowych ustawień (zaprogramowanie) lub uruchomienie dodatkowych funkcji układu.

W układach wtrysku gazu okresowo wymienia się filtr LPG w fazie gazowej, który zwykle ma wymienny wkład. Wszystkie czynności związane z wymianą filtra gazu oraz rozłączaniem złączy gazowych powodują wydostanie się na zewnątrz resztek gazu znajdujących się w przewodach. Dlatego też czynności te powinny być wykonywane przez uprawnione osoby (zachowanie procedur bezpieczeństwa) na przygotowanym do tego celu stanowisku warsztatowym (odpowiednia wentylacja). Przed demontażem złączy gazowych lub elementów instalacji, przez które przepływa LPG, znajdujący się w nich gaz powinien być „wypalony” przez silnik. Umożliwia to zminimalizowanie ilości gazu, który może wydostać się na zewnątrz podczas obsługi elementów instalacji gazowej. Czyszczenie elektromagnetycznego zaworu odcinającego w reduktorze zapobiega zakłóceniom w przepływie gazu przez reduktor.

Ciśnienie gazu płynącego przez reduktor do wtryskiwaczy powinno się sprawdzać, gdy w zbiorniku znajduje się odpowiednia ilość LPG (minimum 1/3 jego pojemności). Parametr ten ocenia się zarówno w czasie pracy na biegu jałowym, jak i pod obciążeniem silnika. Jeśli ciśnienie nie zawiera się w wymaganych przedziałach wartości, dokonuje się regulacji reduktora.

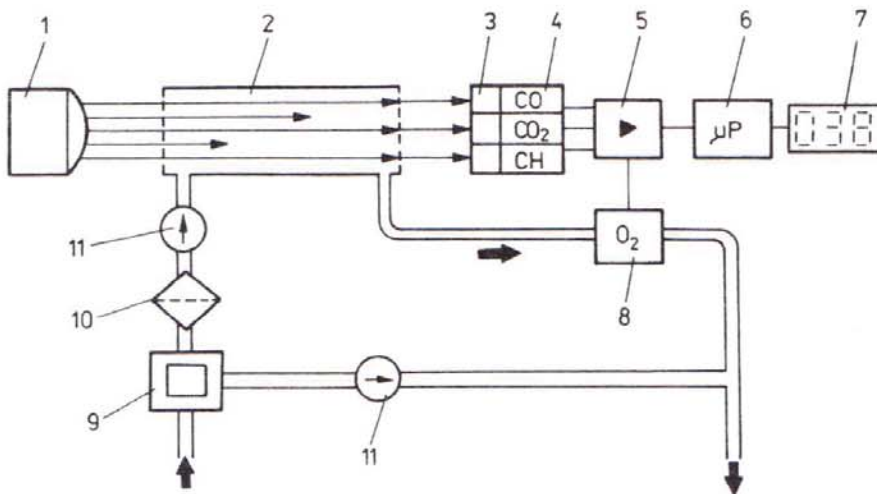
Przy kolejnych przeglądach, zależnych od rodzaju instalacji, sprawdza się prawidłowość działania wtryskiwaczy. Niewłaściwa praca wtryskiwaczy, stwierdzona podczas wykonywania procedur sprawdzających, stanowi podstawę do użycia zestawu serwisowego i wymiany zużytych elementów. Naprawa ta powoduje jednak naruszenie ustawień fabrycznych wtryskiwaczy, dlatego wymaga dodatkowego sprawdzenia równomierności przepływu gazu na poszczególnych sekcjach i ewentualnej ich regulacji. Operację tę, nazywaną kalibracją wtryskiwaczy, wykonuje się na specjalistycznym stanowisku diagnostycznym do kontroli pracy wtryskiwaczy.

## 1.5. Analiza spalin

Analiza składu spalin emitowanych przez silnik o zapłonie iskrowym jest jednym z głównych testów diagnostycznych tego silnika. Ocena prawidłowości przebiegu spalania podczas tego badania pozwala na szybkie sprawdzenie układów (układu zasilania) wpływających na przebieg tego procesu.

Do badania składu spalin służą wieloskładnikowe analizatory spalin. Najczęściej stosuje się analizatory czterogazowe, mierzące w spalinach zawartość: dwutlenku węgla ( $\text{CO}_2$ ), tlenku węgla ( $\text{CO}$ ), węglowodorów ( $\text{HC}$ ) oraz tlenu ( $\text{O}_2$ ). Najnowsze analizatory, nie wymagane jeszcze do okresowych badań technicznych samochodów, to analizatory pięciogazowe, które oprócz wymienionych gazów umożliwiają również pomiar zawartości tlenków azotu ( $\text{NO}_x$ ) w spalinach. Ponadto analizatory są przystosowane do pomiaru prędkości obrotowej i temperatury oleju silnikowego oraz określają proporcje powietrza do paliwa (tzw. współczynnik AFR) bądź współczynnik nadmiaru powietrza  $\lambda$ .

Zasadę działania analizatora czterogazowego przedstawia schemat na rysunku 1.107. Po oczyszczeniu z wody w separatorze oraz z zanieczyszczeń w filtrze spaliny z układu wylotowego silnika są kierowane do komory pomiarowej. Do pomiaru objętości gazów  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  i  $\text{HC}$  zastosowano bezdyspersyjną metodę absorpcji promieniowania podczerwonego wykorzystującą właściwość absorbowania przez każdy z mierzonych gazów fal o innej długości. W komorze pomiarowej następuje prześwietlenie spalin wiązką promieniowania wysyłanego przez promiennik podczerwieni. Po stronie odbiorczej bloku pomiarowego długości fali zostają odfiltrowane i każda z nich jest mierzona oddzielnym detektorem. W zależności od stężenia gazu do detektora dociera różna ilość promieniowania podczerwonego o określonej długości fal dla wybranego



**Rys. 1.107.** Schemat działania czterogazowego analizatora spalin [24]

1 – promiennik podczerwieni, 2 – komora pomiarowa, 3 – filtry interferencyjne, 4 – detektory podczerwieni, 5 – wzmacniacz sygnału, 6 – mikroprocesor, 7 – wskaźnik, 8 – komora galwaniczna, 9 – separator wody, 10 – filtr, 11 – pompa

mierzonego składnika spalin. Intensywność odbieranego promieniowania jest miarą stężenia danego gazu.

Pomiar stężenia tlenu jest realizowany elektrochemicznie w galwanicznej komorze pomiarowej, która zawiera m.in. czysty ołów i wodorotlenki potasu. Zachodzą w niej reakcje chemiczne, wykorzystujące określone własności chemiczne tlenu, w wyniku których powstaje napięcie elektryczne. Komora galwaniczna w trakcie użytkowania analizatora zużywa się i musi być wymieniana.

Sygnały z detektorów i komory galwanicznej są doprowadzane do mikroprocesora analizatora, który przetwarza je na wynik pomiaru pojawiający się na wyświetlaczu. Stężenie CO, CO<sub>2</sub> i O<sub>2</sub> jest wyrażane w procentach objętości, oznaczonych jako % vol., a emisja węglowodorów w ppm. Wartość współczynnika nadmiaru powietrza jest obliczana przez mikroprocesor po zmierzeniu stężeń czterech gazów. Pomiar temperatury silnika (oleju silnikowego) odbywa się za pomocą sondy, którą umieszcza się w miejscu miarki poziomu oleju. Do pomiaru prędkości obrotowej wału korbowego silnika służy sonda indukcyjna zakładana na przewód zapłonowy jednego z cylindrów. Analizator jest wyposażony w drukarkę, która po skończonej analizie spalin drukuje protokół badania zawierający wszystkie zmierzone parametry oraz dane identyfikacyjne pojazdu.

Uzyskanie miarodajnych wyników badania układu zasilania na podstawie analizy spalin wymaga spełnienia następujących warunków:

- analizator spalin należy przygotować do pracy zgodnie z instrukcją obsługi;
- silnik powinien być nagrany do temperatury normalnej pracy (temp. oleju 80°C); osiągnięcie tej temperatury gwarantuje, że działa układ regulacji składu mieszanki wykorzystujący sondę lambda oraz nie występuje wzbogacanie mieszanki związane z nagrzewaniem silnika;
- układ zapłonowy i luzy zaworów powinny być prawidłowo wyregulowane; kąt wyprzedzenia zapłonu ma wpływ na zawartości składników toksycznych w spalinach; nieprawidłowy luz zaworów, powodujący zmniejszenie współczynnika napełnienia, wpływa na zwiększenie w spalinach ilości produktów niezupełnego i niecałkowitego spalania;
- rura wylotowa i tłumik powinny być szczelne; jeśli układ wylotowy jest nieszczelny i powietrze z zewnątrz wpływa przed reaktor katalityczny oraz sondę lambda, zakłóca to działanie całego układu sterowania; jeśli natomiast powietrze przedostaje się do dalszej części układu wylotowego, fałszuje ono wyniki prowadzonych pomiarów;
- filtr powietrza nie powinien być zanieczyszczony; zanieczyszczenie filtra powoduje obniżenie ciśnienia dolotu oraz zmniejszenie współczynnika napełnienia cylindrów;
- prędkość obrotowa biegu jałowego powinna odpowiadać zaleceniom producenta.

Skład spalin bada się na końcu rury wylotowej, za reaktorem katalitycznym i tłumikiem. Sonda poboru spalin powinna być wprowadzona do rury wylotowej silnika bezpośrednio przed pomiarem na głębokość co najmniej 30 cm i prawidłowo umocowana za pomocą uchwyty, w który jest wyposażona. Prawidłowe

zamocowanie sondy jest konieczne, ponieważ podczas zwiększania prędkości obrotowej wysuwa się ona (lub całkowicie wypada), przez co fałszuje wyniki pomiarów.

W przypadku pojazdów zarejestrowanych po raz pierwszy po 30 czerwca 1995 roku pomiar zawartości tlenku węgla (CO), węglowodorów (HC) i współczynnika nadmiaru powietrza  $\lambda$  powinien być dokonany najpierw przy podwyższonej prędkości obrotowej silnika (2000...3000 obr/min), a następnie przy prędkości obrotowej biegu jałowego. Pomiary powinny być dokonywane po sobie, przy czym odczytu wyników pomiaru na biegu jałowym należy dokonywać po ustabilizowaniu się wskazań wartości tlenku węgla i węglowodorów, w ciągu 30...60 s od chwili ustabilizowania się prędkości obrotowej biegu jałowego. Dla pojazdów starszych wykonuje się tylko pomiar przy prędkości obrotowej biegu jałowego.

Wartości emisji należy porównywać z maksymalnymi wartościami podanymi przez producenta pojazdu. Dla silnika wyposażonego w reaktor katalityczny oraz sondę lambda, sprawnego technicznie i prawidłowo wyregulowanego, przeciętne wskazania analizatora powinny być następujące:

- tlenku węgla (CO) – 0,05...0,1%vol;
- węglowodorów (HC) – 5...30 ppm;
- dwutlenku węgla (CO<sub>2</sub>) – 14,5...15,5%vol;
- tlenu (O<sub>2</sub>) – 0,1...0,2%vol.

Jeśli celem badania jest dopuszczenie pojazdu do ruchu drogowego, wskazania analizatora powinny być następujące:

- dla samochodów rejestrowanych po 30 czerwca 1995 roku:
  - nie więcej niż 0,5%vol CO i 100 ppm HC przy prędkości obrotowej biegu jałowego,
  - nie więcej niż 0,3%vol CO i 100 ppm HC przy prędkości 2000...3000 obr/min,
  - $\lambda = 0,97...1,03$  przy prędkości 2000...3000 obr/min;
- dla samochodów rejestrowanych przed 30 czerwca 1995 roku: nie więcej niż 3,5%vol CO.

Duże stężenie tlenku węgla (CO) w spalinach świadczy o spalaniu przez silnik bogatej mieszanki, co może być spowodowane zanieczyszczonym filtrem powietrza, uszkodzeniem sondy lambda lub innego czujnika w systemie sterowania silnika albo uszkodzeniem wtryskiwacza paliwa. Zbyt duża zawartość węglowodorów (HC) sugeruje usterki w układzie zapłonowym (brak spalania w cylindrze), spalanie zbyt bogatej mieszanki, spalanie oleju silnikowego albo zbyt mały luz zaworów. W obu przypadkach na wysokie wartości stężenia gazów może mieć wpływ uszkodzony reaktor katalityczny. Duża zawartość dwutlenku węgla (CO<sub>2</sub>) świadczy o prawidłowym spalaniu i efektywnej pracy reaktora katalitycznego. Zbyt mała zawartość CO<sub>2</sub> w spalinach może być spowodowana brakiem spalania w cylindrze, nieszczelnością układu wylotowego lub uszkodzeniem reaktora katalitycznego. Duża zawartość tlenu w spalinach świadczy głównie o nieszczelnym układzie wylotowym.

## 1.6. Pytania kontrolne

1. Jakie układy zasilania stosuje się w silnikach o zapłonie iskrowym i czym się one charakteryzują?
2. Jakie układy należy zastosować w gaźniku elementarnym, aby dostosować jego charakterystykę do wymaganej charakterystyki układu zasilania silnika?
3. Jakie znasz odmiany układów wtryskowych stosowanych w silnikach o zapłonie iskrowym?
4. Na czym polega zasada doboru dawki paliwa w układzie wtryskowym Bosch KE-Jetronic?
5. Jakimi zaletami charakteryzują się elektronicznie sterowane wielopunktowe układy pośredniego wtrysku benzyny?
6. Jakie zadania spełniają poszczególne elementy obwodu zasilania paliwem pośredniego wielopunktowego wtrysku benzyny?
7. Jakie znasz sposoby sterowania wtryskiwaczy w wielopunktowych elektronicznych układach wtrysku benzyny?
8. Jakie typy pomp paliwa stosuje się w układach wtryskowych benzyny?
9. W jaki sposób diagnozuje się stan techniczny wtryskiwaczy elektromagnetycznych?
10. W jaki sposób reguluje się prędkość obrotową biegu jałowego w silnikach o wtrysku benzyny?
11. W jaki sposób określa się masę dopływającego powietrza w układzie jednopunktowego pośredniego wtrysku benzyny?
12. Jakie korzyści wynikają ze stosowania bezpośredniego wtrysku benzyny do cylindra silnika?
13. Jakie czujniki występują w systemie sterowania pracą silnika o pośrednim wielopunktowym wtrysku benzyny?
14. Jakie odmiany przepływomierzy powietrza stosuje się w układach wtrysku benzyny?
15. Jaką rolę w systemie sterowania pracą silnika spełnia sonda lambda?
16. W jaki sposób diagnozuje się sondy lambda?
17. Jakie rodzaje czujników położenia i prędkości obrotowej stosuje się w systemach sterowania pracą silnika o wtrysku benzyny?
18. W jakim celu stosuje się pokładowe systemy diagnostyczne OBD?
19. Jakie typy instalacji gazowych LPG stosuje się w gazowych układach zasilania silników o zapłonie iskrowym?
20. Jak odbywa się sterowanie wtryskiem paliwa LPG w instalacji gazowej IV generacji?
21. Jakie elementy wchodzi w skład osprzętu zbiornika LPG?
22. W jaki sposób dokonuje się analizy spalin silnika o zapłonie iskrowym?

---

## 2. Układy zasilania silników o zapłonie samoczynnym

### 2.1. Wprowadzenie

W silniku o zapłonie samoczynnym (ZS) mieszanka ulegająca samozapłonowi jest tworzona w komorze spalania za pomocą wtrysku paliwa do sprężonego powietrza mającego wysoką temperaturę. Moc silnika wysokoprężnego jest regulowana wielkością dawek wtryskiwanego paliwa przy stałej ilości powietrza.

Układ zasilania silnika o zapłonie samoczynnym spełnia następujące zadania:

- dokładne odmierzenie jednakowych dla wszystkich cylindrów silnika dawek paliwa;
- wtryskiwanie paliwa w ściśle określonej chwili, gdy w cylindrze panuje odpowiednio wysokie ciśnienie powietrza;
- wtryskiwanie strumienia paliwa pod wymaganym ciśnieniem w sposób dostosowany do typu komory spalania.

Zasadniczymi kierunkami, decydującymi o rozwoju współczesnych układów zasilania silników o zapłonie samoczynnym, są: zmniejszenie zużycia paliwa oraz emisji szkodliwych składników spalin z równoczesnym zwiększeniem mocy i momentu obrotowego silnika. Spowodowały one powszechne zastosowanie silników ZS o wtrysku bezpośrednim (o niedzielonych komorach spalania), w których ciśnienia wtrysku są znacznie wyższe niż w silnikach o wtrysku pośrednim (o dzielonych komorach spalania), czyli z komorą wstępną lub komorą wirową. Układ zasilania silnika o zapłonie samoczynnym, zwłaszcza wykorzystywanego do napędu samochodów osobowych, ma zapewnić wysoki komfort jazdy oraz zmniejszyć poziom hałasu emitowanego przez silnik.

Rozwój silników o zapłonie samoczynnym oznacza większe wymagania dotyczące układu wtryskowego i jego regulacji, takie jak:

- wysokie ciśnienie wtrysku;
- odpowiednie kształtowanie przebiegu wtrysku;
- stosowanie wtrysku wstępnego, a w niektórych przypadkach również dotrysku paliwa;
- dostosowanie dawki paliwa i początku wtrysku do warunków pracy silnika;
- niezależna od obciążenia regulacja prędkości obrotowej biegu jałowego;