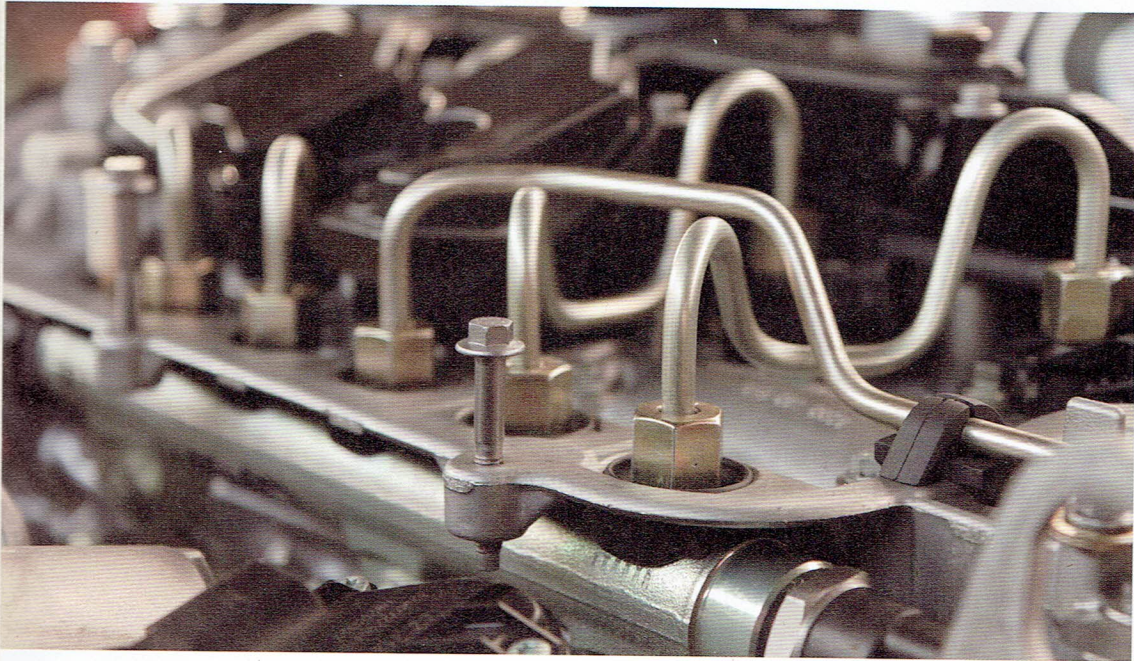


14

Diagnostyka elementów mechanicznych układów zasilania



PO OPANOWANIU TREŚCI TEGO ROZDZIAŁU BĘDZIESZ UMIEĆ:

- określać funkcje układu zasilania,
- rozróżniać mechaniczne elementy układów zasilania,
- stosować metody diagnozowania układów zasilania,
- przeprowadzać pomiary wyprzedzenia wtrysku w silnikach ZS,
- określać stan techniczny wtryskiwaczy i pomp wtryskowych.

14.

Głów
Wraz
mies
- ob
-pow
stosu
w pro

Liczb
powi
go zu
nek I
w zak
warto
z pow
w ogó
je się
dymi
stały
zapło
morze

a



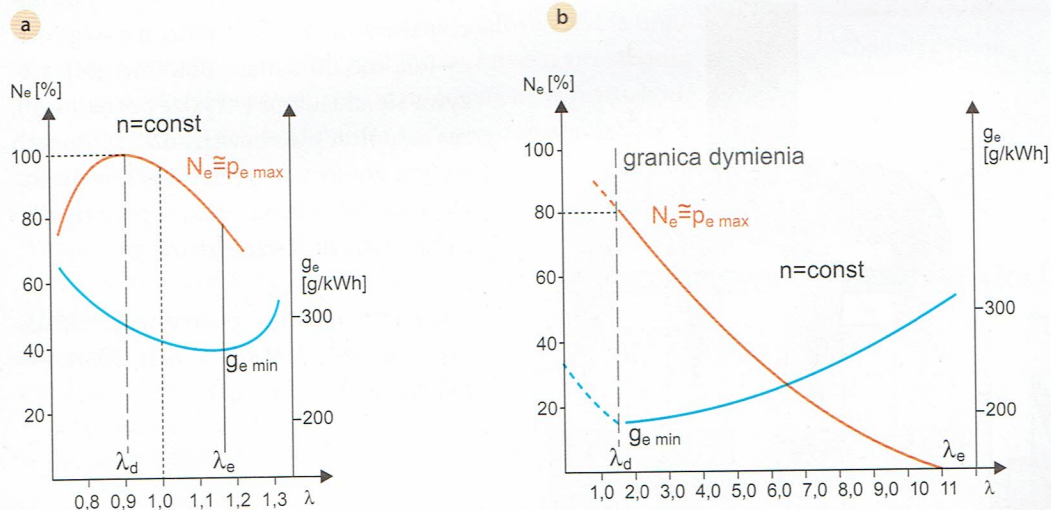
Rys. 14
współcz

Przed
lej prę

14.1. Wiadomości wprowadzające

Głównym zadaniem układu zasilania jest dostarczanie paliwa do silnika. Wraz z powietrzem napływającym przez układ dolotowy paliwo tworzy mieszankę paliwowo-powietrzną. Ze względu na warunki pracy silnika – obciążenie, zużycie paliwa, składniki spalin – mieszanka paliwowo-powietrzna powinna mieć optymalny skład. Ten skład jest wyrażany stosunkiem masy powietrza do masy paliwa zużywanych przez silnik w procesie spalania.

Liczbowym miernikiem składu mieszanki jest współczynnik nadmiaru powietrza λ . Wykresy zależności mocy użytecznej silnika i jednostkowego zużycia paliwa w odniesieniu do współczynnika λ przedstawia rysunek 14.1. Jak widać, silniki o zapłonie iskrowym (ZI) powinny pracować w zakresie mieszanki stechiometrycznej ($\lambda = 1$) lub bardzo blisko tej wartości. Zarówno przy zbyt ubogiej, jak i zbyt bogatej mieszance paliwa z powietrzem parametry pracy silnika ZI są znacznie gorsze albo zapłon w ogóle nie następuje. W silnikach o zapłonie samoczynnym (ZS) stosuje się natomiast duży nadmiar powietrza ($\lambda \gg 1$) ze względu na granicę dymienia (czyli powstawanie w procesie spalania dużych ilości cząstek stałych), gdy λ zbliża się do wartości 1. Jest to możliwe, gdyż w silniku ZS zapłon następuje niezależnie od całkowitego nadmiaru powietrza w komorze spalania. Im większy jest ten nadmiar, tym spalanie jest pełniejsze.



Rys. 14.1. Jednostkowe zużycie paliwa g_e oraz moc N_e przedstawione w funkcji współczynnika nadmiaru powietrza λ : (a) silnik ZI, (b) silnik ZS

Przedstawione na wykresach zależności zostały wyznaczone dla stałej prędkości obrotowej silnika. Jednakże w czasie eksploatacji silnik

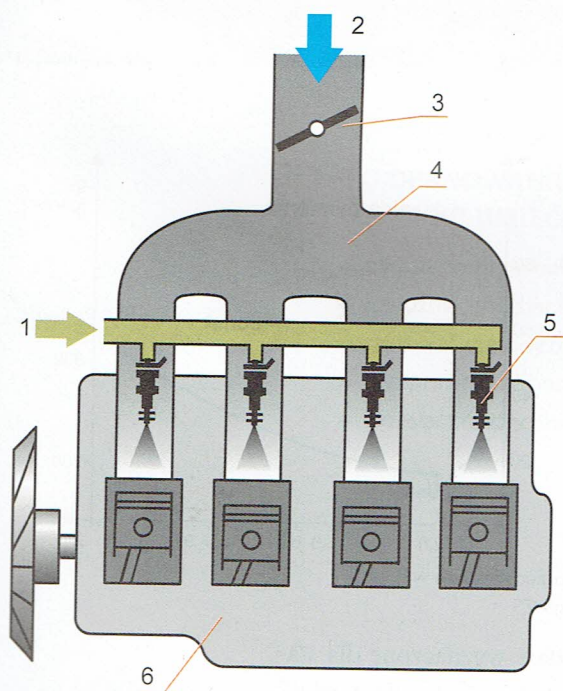
samochodu pracuje z różnymi prędkościami obrotowymi. W związku z tym optymalna ilość paliwa dostarczanego do poszczególnych cylindrów musi być stale dostosowywana do bieżących warunków. Optymalizowanie procesu spalania wymaga zastosowania odpowiednich rozwiązań konstrukcyjnych w układzie zasilania. Takie rozwiązania umożliwiają precyzyjne sterowanie ilością paliwa dostarczanego do cylindra w każdym cyklu roboczym.

Zależnie od rodzaju spalanego paliwa (benzyna, olej napędowy) w układzie zasilania współczesnych samochodów wykorzystuje się odmienne układy wtryskowe. Rozróżnia się dwa rodzaje układu wtryskowego silnika z zapłonem iskrowym (potocznie – silnika benzynowego): w jednym z nich wtrysk może następować do kanału dolotowego (wtrysk pośredni), w drugim zaś bezpośrednio nad tłok do komory spalania (wtrysk bezpośredni). Ostatnio coraz częściej pojawiają się konstrukcje z dwoma rodzajami układów wtryskowych w jednym silniku, gdyż tworzenie mieszanki paliwowo-powietrznej okazuje się bardziej optymalne w jednym lub w drugim systemie w zależności od obciążenia silnika.

W układzie wtryskowym silników z zapłonem samoczynnym paliwo podaje się zawsze bezpośrednio do komory spalania. Każdy więc układ wtryskowy silnika ZS można nazwać wtryskiem bezpośrednim. Jednakże

przyjęto tu inne nazewnictwo. Starsze układy wtryskowe silników ZS, podające paliwo do komory wstępnej w głowicy (ale nie do kanału dolotowego!), nazywa się układami wtrysku pośredniego, zaś współczesne rozwiązania, w których nie ma komory wstępnej, a paliwo podawane jest od razu nad tłok, określa się jako układy wtrysku bezpośredniego.

Schemat fragmentu pośredniego układu zasilania silnika ZI (do kanału dolotowego) przedstawia rysunek 14.2.



Rys. 14.2. Schemat układu wielopunktowego, pośredniego wtrysku paliwa: 1 – paliwo, 2 – powietrze, 3 – przepustnica, 4 – kolektor dolotowy, 5 – wtryskiwacze paliwa, 6 – silnik

Układ
elemen
- zbi
wa
- po
lub
- filt
- prz
sila
- po
nia
nik

W siln
może
dego
wysol
ciśnie
wocze

14.2.

Ze wz
w tyl
na na
paliw
przew

Pomp
miar t
tej fun
na spo
różnia
- odp
- bez

W obw
spalin
woden
ślonym

Układy zasilania współczesnych silników składają się z następujących elementów:

- zbiornik paliwa wraz z układem odprowadzania par paliwa stosowanym powszechnie w silnikach ZI,
- pompa (lub pompy) zasilająca (zasilające) z napędem elektrycznym lub rzadziej napędzana (napędzane) od silnika spalinowego,
- filtr paliwa (w niektórych rozwiązaniach stosuje się kilka filtrów),
- przewody paliwowe, które łączą poszczególne elementy układu zasilania,
- podsystem dawkowania paliwa, który składa się z regulatora ciśnienia wraz z akumulatorem ciśnienia paliwa, wtryskiwaczy oraz czujników ciśnienia i temperatury.

W silnikach ZS zawsze występuje pompa wysokiego ciśnienia. Pompa może być jedna dla wszystkich wtryskiwaczy lub indywidualna dla każdego wtryskiwacza. W silnikach ZI z bezpośrednim wtryskiem pompa wysokiego ciśnienia jest wspólna dla wszystkich wtryskiwaczy, jednak ciśnienie wtrysku jest tu kilkakrotnie mniejsze (100–200 bar) niż w nowoczesnych silnikach ZS (1600–3000 bar).

14.2. Budowa układów zasilania

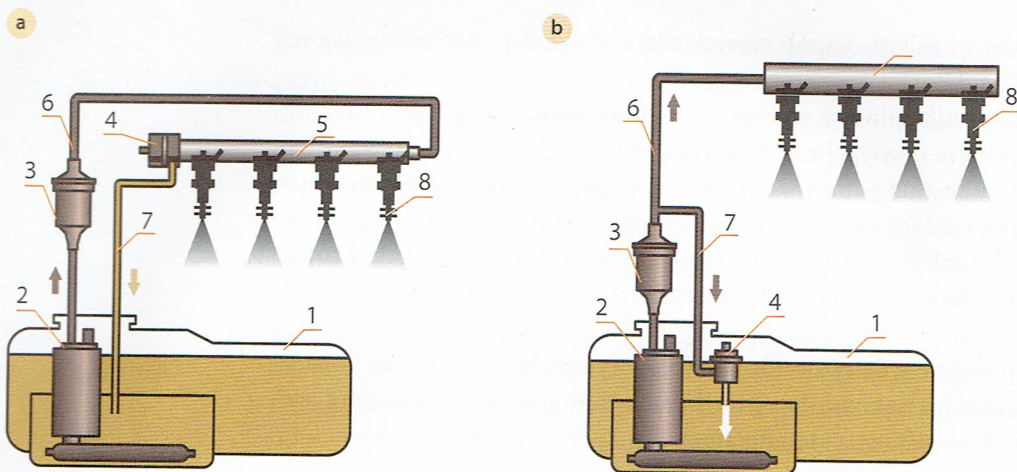
Ze względów bezpieczeństwa **zbiorniki paliwa** zwykle umieszcza się w tylnej części pojazdu. Ta część jest w mniejszym stopniu narażona na uszkodzenia spowodowane uderzeniem w przeszkodę. Płynne paliwo w odróżnieniu od paliwa gazowego dostarcza się do silnika przewodami paliwowymi za pomocą pompy.

Zbiornik paliwa

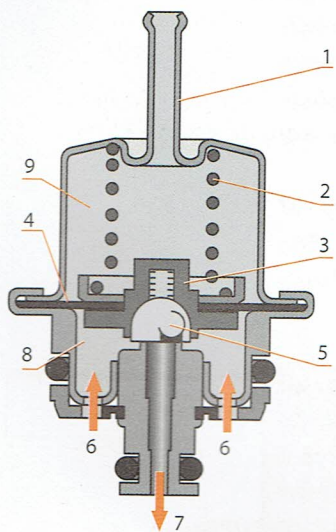
Pompa tłoczy paliwo w ilości przewyższającej bieżące zużycie. Nadmiar tłoczonego paliwa jest zwracany do zbiornika. Sposób realizacji tej funkcji decyduje o rodzaju obwodu zasilania paliwem. Ze względu na sposób dostarczania paliwa we współczesnych samochodach różni się dwa rodzaje obwodów zasilania (rys. 14.3):

- odpływowy obwód zasilania,
- bezodpływowy obwód zasilania.

W obwodzie odpływowym nadmiar paliwa, niezużytego na pracę silnika spalinowego, jest kierowany z powrotem do zbiornika powrotnym przewodem paliwowym. Ponieważ instalacja paliwowa pracuje przy określonym ciśnieniu, o ilości nadmiaru paliwa decyduje regulator ciśnienia



Rys. 14.3. Obwody zasilania paliwem: a) odpływowy, b) bezodpływowy: 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



Rys. 14.4. Schemat regulatora ciśnienia paliwa: 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

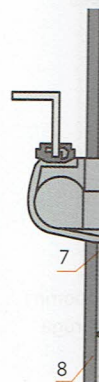
umieszczony np. w zasobniku ciśnienia (rys. 14.4). W takim układzie (obwodzie odpływowym) całe paliwo tłoczone przez pompę trafia do podsystemu dawkowania paliwa.

W obwodzie bezodpływowym do podsystemu dawkowania paliwa dostarczana jest tylko taka jego ilość, jaka zostanie zużyta przez silnik. Zadaniem regulatora ciśnienia jest utrzymanie jego stałej wartości w pojedynczym przewodzie paliwowym.

Regulator ciśnienia może być umieszczony w zbiorniku paliwa lub w jego pobliżu. W przypadku gdy regulator znajduje się blisko zbiornika, instaluje się krótki przewód odpływu nadmiaru paliwa. Zwykle w głównym przewodzie zasilającym obwodu bezodpływowego panuje wyższe ciśnienie paliwa, niż ma to miejsce w obwodzie odpływowym.

Na skutek czynników zewnętrznych, takich jak wzrost temperatury otoczenia, lub w wyniku odprowadzania do zbiornika nadmiaru paliwa tłoczonego przez pompę paliwo zgromadzone w zbiorniku ulega nagrzewaniu. Prowadzi to do wzrostu intensywności procesu parowania. Zwiększone parowanie paliwa może również wystąpić w czasie jazdy w górach z powodu zmniejszonego ciśnienia atmosferycznego. Opary paliwa powstające w zbiorniku są przechwytywane przez wkład z węgla

aktywne
wadzan

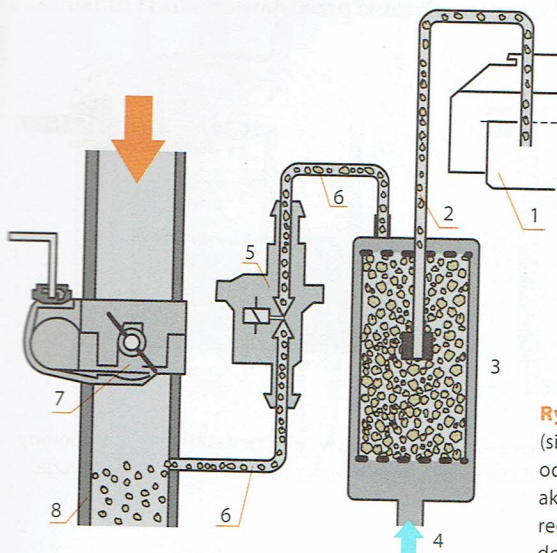


W czasie
węglowy
stępie s
doprowa

W układ
sowanym
jest tłocz
część j
14.6). W
silnikach
To urząd
pompy w



aktywnego. Wkład jest umieszczony w filtrze (rys. 14.5) układu odprowadzania par paliwa.

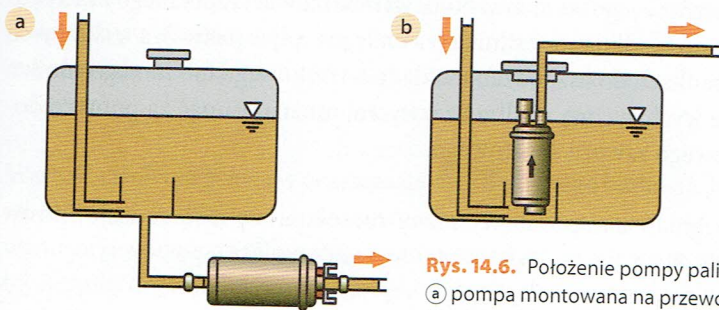


Rys. 14.5. Układ odprowadzania par paliwa (silnik ZI): 1 – zbiornik paliwa, 2 – przewód odpowietrzania zbiornika, 3 – pojemnik z węglem aktywnym, 4 – świeże powietrze, 5 – zawór regeneracyjny, 6 – przewód połączony z kolektorem dolotowym, 7 – przepustnica, 8 – kolektor dolotowy

W czasie pracy silnika cząsteczki paliwa, przechwycone przez wkład węglowy, są wprowadzane przewodem do kolektora dolotowego i następnie spalane wraz z głównym ładunkiem paliwowo-powietrznym doprowadzonym do silnika.

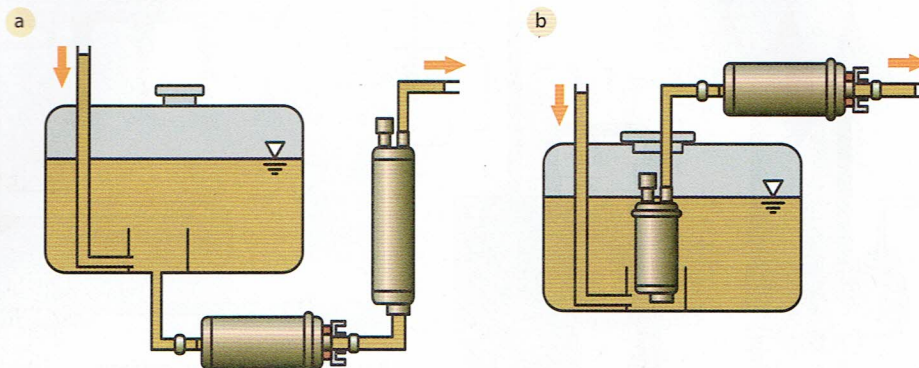
W układach zasilania współczesnych samochodów powszechnie stosowanym rozwiązaniem jest elektryczna **pompa paliwa**. Jej zadaniem jest tłoczenie paliwa ze zbiornika do podukładu zasilania. Pompa najczęściej jest umieszczona w zbiorniku paliwa lub w jego pobliżu (rys. 14.6). W silnikach ZI z bezpośrednim wtryskiem paliwa i we wszystkich silnikach ZS tego typu pompa jest tylko urządzeniem pomocniczym. To urządzenie podaje paliwo pod niskim ciśnieniem do zasadniczej pompy wysokiego ciśnienia, która jest częścią układu wtryskowego.

Pompa paliwa



Rys. 14.6. Położenie pompy paliwa w układzie zasilania:
 a) pompa montowana na przewodzie paliwa,
 b) pompa umieszczona w zbiorniku paliwa

Ze względu na wymagania układu zasilania dotyczące precyzyjnego dawkowania ilości tłoczonego paliwa spotyka się rozwiązania z dwiema pompami. Schemat takiego rozwiązania przedstawiono na rysunku 14.7.



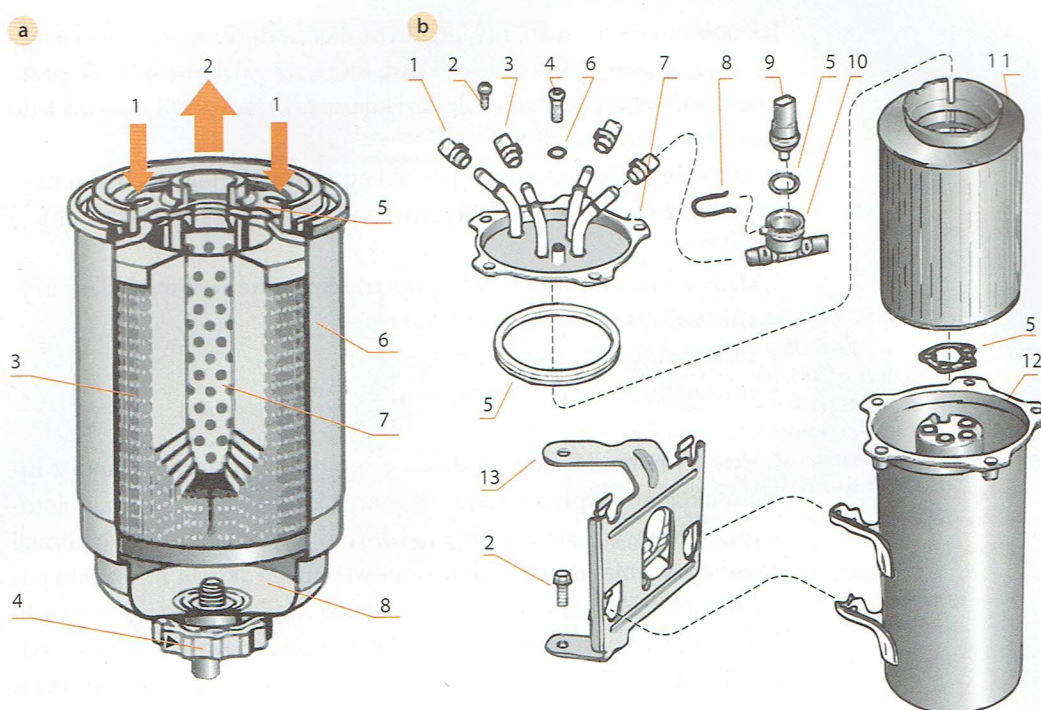
Rys. 14.7. Sposoby rozmieszczania pomp paliwa w układzie zasilania: (a) obie pompy poza zbiornikiem na przewodzie paliwa, (b) jedna pompa w zbiorniku paliwa, druga na przewodzie paliwa

Ze względu na wysoką precyzję wykonania ruchomych elementów układów zasilania wymagają one bardzo czystego paliwa. Szczególnie niebezpieczne dla układów wtryskowych są zanieczyszczenia stałe. Przy rozmiarach cząsteczek przekraczających $5\ \mu\text{m}$ takie zanieczyszczenia mogą powodować przyspieszone zużycie. Niekorzystne dla pracy układu zasilania jest również przedostanie się do paliwa wody w postaci emulsji lub skroplin. Woda powoduje przyspieszenie korozji elementów układu. Obecność wody w paliwie jest bardzo niekorzystna dla układu zasilania.

Z wymienionych powodów w układzie zasilania stosuje się **filtr (filtry) paliwa**. Jego (ich) zadaniem jest separacja zanieczyszczeń zawartych w paliwie. Zdolność do gromadzenia zanieczyszczeń jest dobierana dla filtrów w zależności od wydatku pompy zasilającej oraz warunków pracy silnika. Zapełnienie wkładu filtracyjnego zanieczyszczeniami wymusza konieczność jego wymiany, ponieważ eksploatacja zatkanego filtra prowadzi do spadku mocy silnika (za mały przepływ paliwa), a w skrajnych przypadkach do uszkodzenia układu wtryskowego lub samego silnika. Wodę wychwyconą w filtrze zazwyczaj można usunąć za pomocą dodatkowego zaworu spustowego.

Ze względu na sposób wymiany rozróżnia się dwa rodzaje filtrów (rys. 14.8):

- filtry wymieniane w całości,
- filtry z wymiennym wkładem.



Rys. 14.8. Przykładowe rozwiązania filtrów paliwa:

- Ⓐ filtr wymieniany w całości: 1 – dopływ paliwa, 2 – odpływ paliwa, 3 – wkład filtrujący, 4 – śruba spustu wody, 5 – pokrywa, 6 – korpus, 7 – rura wspornikowa, 8 – osadnik wody; Ⓑ filtr z wymiennym wkładem: 1 – przewód doprowadzający paliwo ze zbiornika, 2 – śruby, 3 – przewód powrotu paliwa do zbiornika, 4 – śruba spustowa wody, 5 – pierścienie uszczelniające, 6 – przewód doprowadzający paliwo do pompy zasilającej, 7 – pokrywa filtra paliwa, 8 – spinka mocująca, 9 – czujnik temperatury paliwa, 10 – przewód powrotu paliwa z pompy zasilającej, 11 – wkład filtrujący, 12 – obudowa wkładu filtrującego, 13 – wspornik

Ze względu na ciśnienie panujące w **przewodzie paliwowym** można wyróżnić:

- przewody wysokociśnieniowe (łącznie elementy wysokociśnieniowej aparatury wtryskowej),
- przewody niskociśnieniowe (łącznie elementy układu zasilania paliwem).

Wartość ciśnienia paliwa w przewodzie decyduje o jego budowie. W obwodach wysokociśnieniowych standardowym rozwiązaniem jest stosowanie przewodów metalowych, często skonstruowanych w ten sposób, by tłumiły drgania lub kompensowały minimalne ruchy poszczególnych elementów.

**Przewody
paliwowe**

Jak opisano wyżej, elementy układu zasilania są połączone niskociśnieniowymi przewodami paliwowymi, które mogą się wzajemnie przemieszczać (ruchy względne silnika i komory silnikowej). Z tego względu stosuje się przewody:

- sztywne (wykonane np. w postaci odcinków metalowych rurek),
- podatne (wykonane z elastycznych węży z tworzyw sztucznych).

Układy zasilania silników ZI są optymalizowane pod względem uzyskania najlepszych wyników w zakresie:

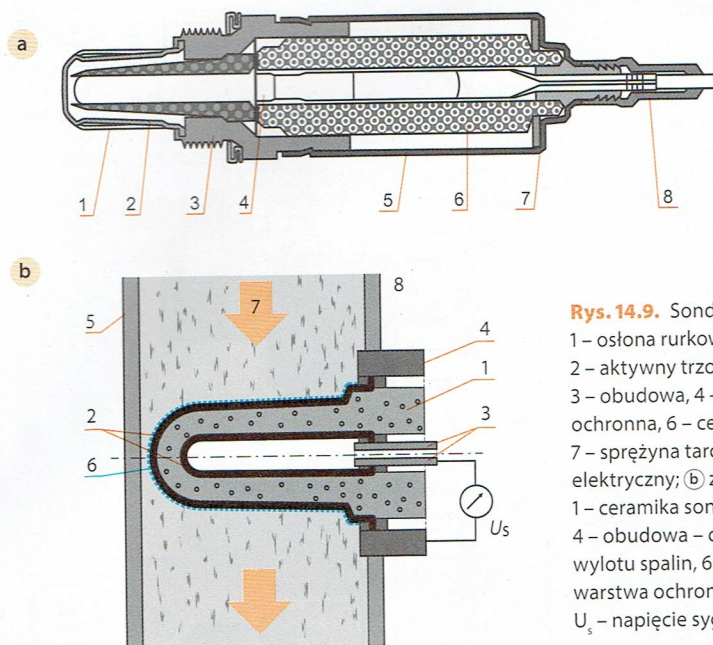
- minimalnego zużycia paliwa,
- minimalnej toksyczności spalin.

**Podsystem
dawkowania
paliwa**

Efekty tej optymalizacji zależą od współpracy układu zasilania z innymi układami wpływającymi na pracę silnika: zapłonowym, dolotowym, wylotowym, elektrycznym, elektronicznym. Celem optymalizacji układu zasilania jest uzyskanie odpowiedniego składu mieszanki paliwowo-powietrznej w komorach spalania silnika. Realizacja tego celu jest możliwa dzięki precyzyjnemu **dawkowaniu paliwa** przez wtryskiwacze. Ich działanie jest regulowane za pomocą systemu sterowania pracą silnika. Zmianę składu mieszanki uzyskuje się poprzez zmianę czasu wtrysku paliwa przy założeniu, że ciśnienie paliwa podawanego przez pompę zasilającą mieści się w ustalonych granicach. Dłuższy czas otwarcia wtryskiwacza oznacza większą dawkę paliwa, a krótszy czas wtrysku – mniejszą dawkę paliwa.

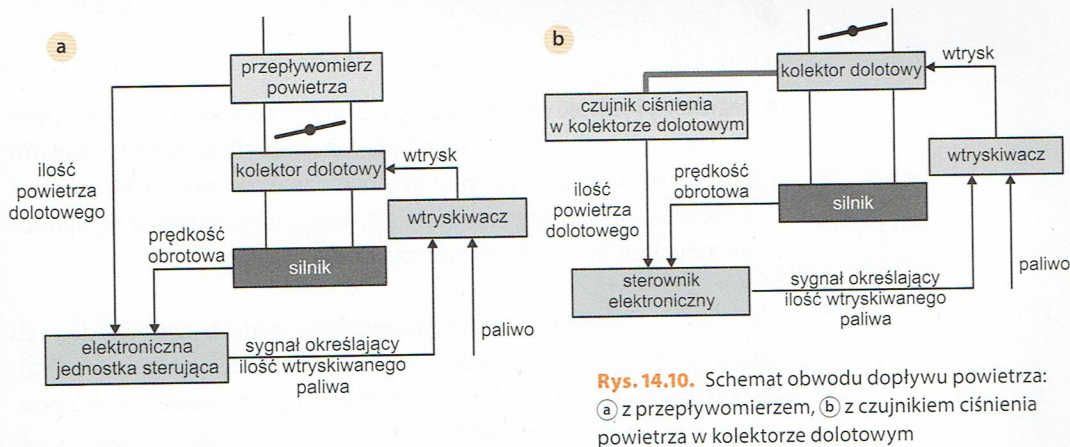
Ze względu na wymogi ekologiczne współczesne silniki o zapłonie iskrowym spalają mieszankę, której skład jest zbliżony do stechiometrycznego (współczynnik nadmiaru powietrza λ osiąga wartości zbliżone do 1). Taki skład mieszanki powinien być uzyskiwany dla różnych warunków pracy silnika. Tylko wtedy procesy redukcji i utleniania toksycznych składników spalin w reaktorze katalitycznym mogą przebiegać w prawidłowy sposób. Do kontroli składu mieszanki wykorzystuje się czujnik tlenu (sondę lambda). Czujnik jest montowany w układzie wylotowym silnika (rys. 14.9). W nowoczesnych układach wtryskowych i katalitycznych stosuje się po dwie lub więcej sond lambda, które pełnią różne funkcje kontrolne.

Zadanie sondy lambda polega na określaniu ilości tlenu w spalinach. Na tej podstawie system sterowania koryguje na bieżąco dawkowanie paliwa do silnika i tym samym – jego pracę w zakresie spalania mieszanki. O ilości powietrza dostarczanego do silnika decyduje układ dolotowy. Podzespoły tego układu pełnią następujące funkcje:



Rys. 14.9. Sonda lambda: a) budowa: 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; b) zasada jej działania: 1 - ceramika sondy, 2 - elektrody, 3 - styki, 4 - obudowa - część stykowa, 5 - rura wylotu spalin, 6 - porowata ceramiczna warstwa ochronna, 7 - spaliny, 8 - powietrze U_s - napięcie sygnału sondy lambda

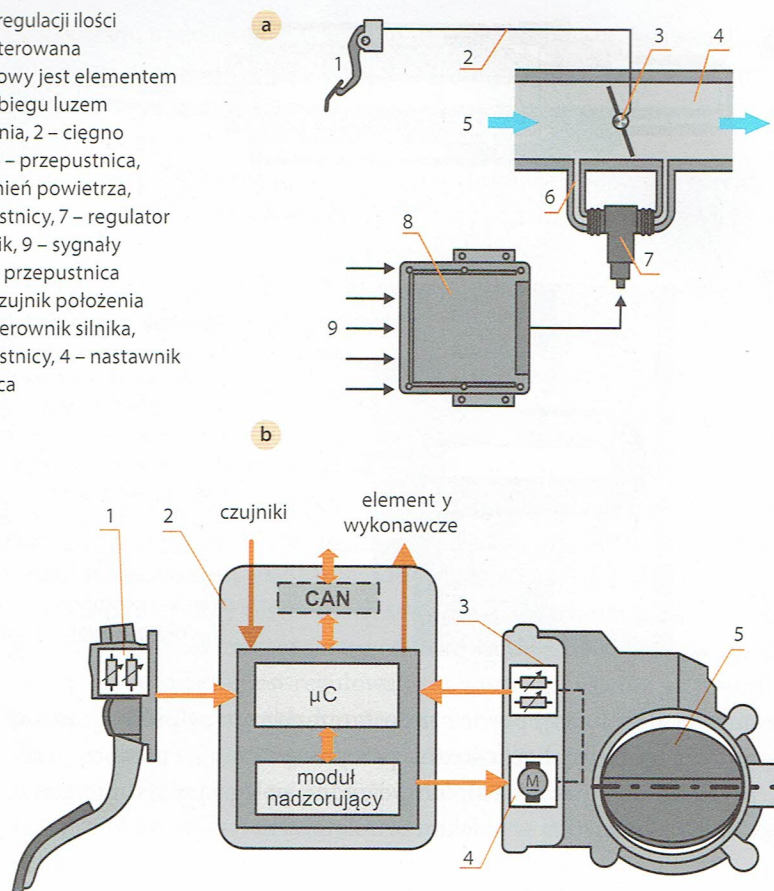
- mierząc ilość (masę) powietrza dostarczanego do cylindrów silnika; pomiar może być bezpośredni, przeprowadzany za pomocą przepływomierza (rys. 14.10a), lub pośredni, polegający na mierzeniu ciśnienia powietrza w kolektorze dolotowym (rys. 14.10b);



Rys. 14.10. Schemat obwodu dopływu powietrza: a) z przepływomierzem, b) z czujnikiem ciśnienia powietrza w kolektorze dolotowym

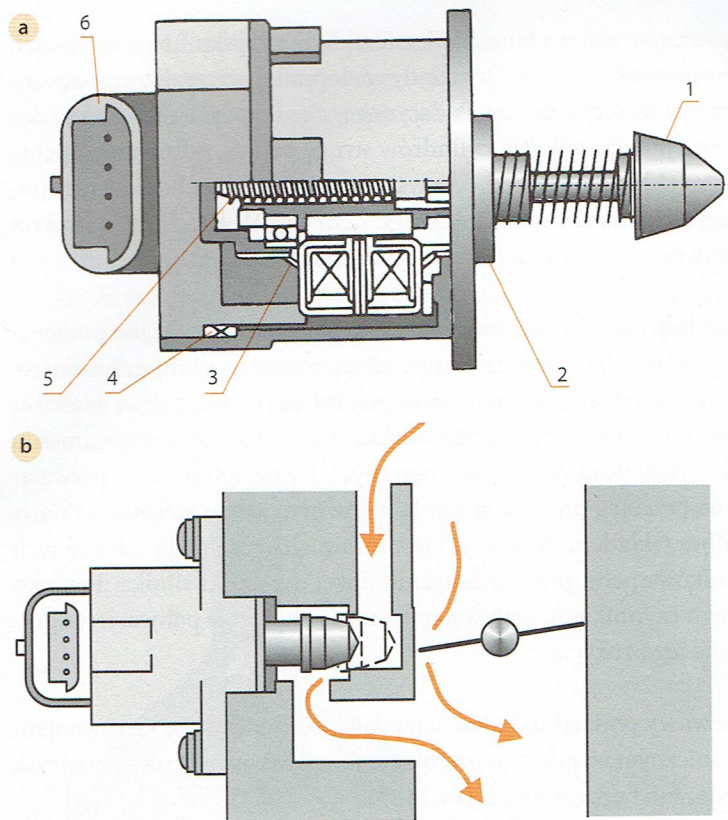
- regulują ilość powietrza kierowanego do cylindrów; regulacji dokonuje się za pomocą przepustnicy sterowanej mechanicznie przez kierowcę pojazdu (rys. 14.11a) lub elektrycznie, przez nastawnik przepustnicy (rys. 14.11b); nastawnik dawkuje powietrze w zależności od głębokości wciśnięcia pedału gazu przez kierowcę;

Rys. 14.11. Schemat układu regulacji ilości powietrza: a) przepustnica sterowana mechanicznie, kanał obejściowy jest elementem układu sterowania obrotów biegu luzem silnika: 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, 9 – sygnały wejściowe do sterownika; b) przepustnica sterowana elektrycznie: 1 – czujnik położenia pedału przyspieszenia, 2 – sterownik silnika, 3 – czujnik położenia przepustnicy, 4 – nastawnik przepustnicy, 5 – przepustnica

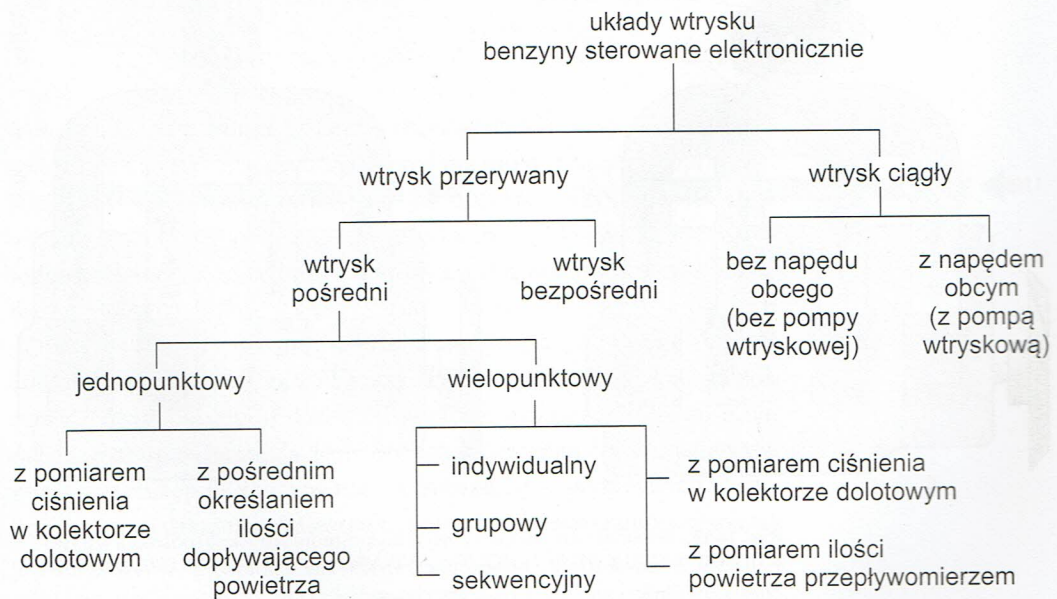


- regulują prędkość obrotową biegu luzem; w układach z przepustnicą sterowaną mechanicznie regulacji dokonuje się za pomocą zaworu powietrza dodatkowego (przykładowy zawór powietrza dodatkowego przedstawiono na rysunku 14.12), użycie nastawnika przepustnicy nie uruchamia zaworu powietrza dodatkowego.

Układy wtryskowe benzyny stosowane w pojazdach samochodowych można podzielić – ze względu na budowę i zasadę działania – na kilka podstawowych grup. W każdej z tych grup obserwuje się duże podobieństwa konstrukcyjne. Największe różnice pomiędzy poszczególnymi układami występują w rozwiązaniach podukładów sterowania wtryskiem. Zasadnicze różnice dotyczą elementów pomiarowych i wykonawczych oraz programów sterujących, które są dostosowane do konkretnych rozwiązań, a nawet do poszczególnych wersji silników. Podstawowy podział układów wtrysku paliwa przedstawiono na poniższym wykresie.



Rys. 14.12. Zawór powietrza dodatkowego z silnikiem krokowym: (a) budowa: 1 – grzybek zaworu, 2 – przednia podpora łożyska, 3 – łożysko tylne, 4 – trzpień gwintowany, 5 – uszczelnienie, 6 – gniazdo wtykowe złącza; (b) zasada działania



UWAGA

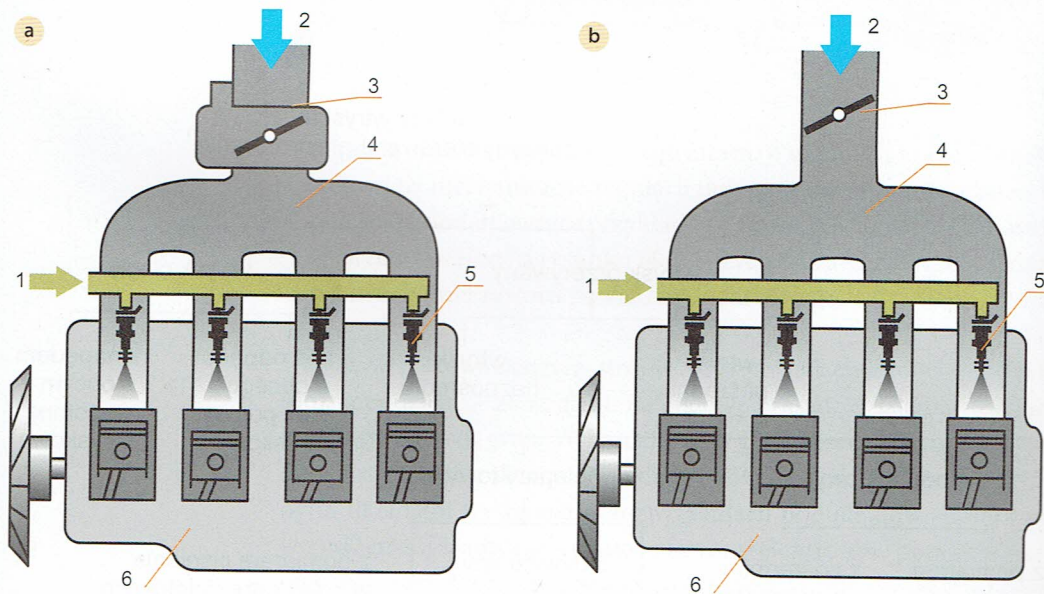


Już od lat 50. stosowano w niektórych luksusowych, sportowych i wyczynowych samochodach bardziej zaawansowane mechaniczne, sekwencyjne układy wtryskowe benzyny. Były to podobne do wczesnych układów wtryskowych ZS systemy Bosch/Mercedes, a także Lucas, Spica i Kugelfischer. Takie rozwiązania były jednak bardzo kosztowne i ich użycie uzasadniała tylko możliwość uzyskania większych mocy niż poprzez zasilanie gaźnikowe.

Najbardziej popularne mechaniczne układy wtrysku benzyny (Bosch K-Jetronic z lat 70. XX w.) to układy wielopunktowe, realizowane przez mechaniczne wtryskiwacze. Podają one w ciągły sposób do kanałów dolotowych poszczególnych cylindrów strugę paliwa, odmierzoną przez regulator składu mieszanki. We współczesnych samochodach nie spotyka się już wtrysku mechanicznego benzyny. W latach 80. został on wyparty przez układy sterowane elektronicznie.

W układach zasilania sterowanych elektronicznie benzyna jest podawana w sposób przerywany (nieciągły). Dzięki zastosowaniu mikroprocesorowego sterowania układ dobiera precyzyjnie dawkę paliwa właściwą dla bieżących warunków pracy silnika. Czyni to przy uwzględnieniu bardzo wielu parametrów zewnętrznych i wewnętrznych wpływających na przebieg procesu spalania. Głównym celem sterowania dawką paliwa (składem mieszanki) jest minimalizacja emisji toksycznych składników spalin przy zachowaniu dużej dynamiki silnika. Ponadto istotnym czynnikiem, wpływającym na dawkowanie paliwa, jest ograniczenie jego zużycia.

Podstawowy podział układów wtryskowych benzyny ze sterowaniem elektronicznym wynika z położenia punktu dawkowania paliwa (wtrysk pośredni lub bezpośredni – rys. 14.13).

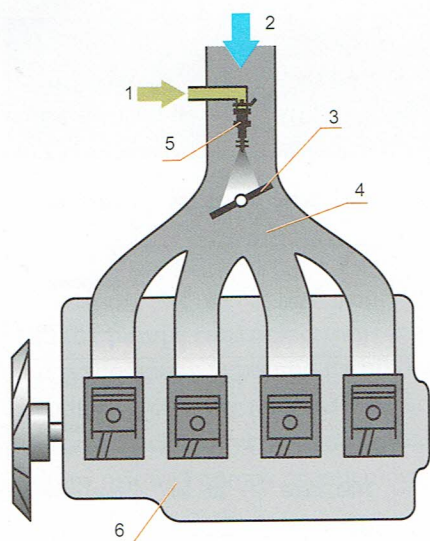


Rys. 14.13. Schemat wtrysku benzyny: a) bezpośredni wtrysk; b) pośredni wtrysk: 1 – paliwo, 2 – powietrze, 3 – przepustnica, 4 – kolektor dolotowy, 5 – wtryskiwacze paliwa, 6 – silnik

Podczas wtrysku pośredniego proces tworzenia mieszanki paliwowo-powietrznej rozpoczyna się poza cylindrem. Przy wtrysku bezpośrednim mieszanka jest tworzona dopiero w cylindrze, a ściślej w komorze spalania każdego cylindra.

Ze względu na liczbę wtryskiwaczy umieszczonych w układzie dolotowym silnika można wyróżnić:

- wtrysk wielopunktowy, którego cechą charakterystyczną jest liczba wtryskiwaczy odpowiadająca liczbie cylindrów silnika; paliwo jest podawane do kanałów dolotowych cylindrów;
- wtrysk jednopunktowy, którego cechą charakterystyczną jest dawkowanie paliwa do kolektora dolotowego w jednym punkcie (rys. 14.14).



Rys. 14.14. Schemat jednopunktowego pośredniego wtrysku benzyny:
1 – paliwo, 2 – powietrze,
3 – przepustnica, 4 – kolektor dolotowy, 5 – wtryskiwacz paliwa, 6 – silnik

Jeszcze nowszym rozwiązaniem jest połączenie obu systemów w ten sposób, że wtrysk bezpośredni benzyny ma miejsce zazwyczaj przy niewielkich obciążeniach silnika, a wtrysk pośredni przy maksymalnych obciążeniach. Gdy potrzebne są maksymalne osiągi silnika, niecelowe jest tworzenie uwarstwionej mieszanki (czyli mieszanki o niejednorodnym składzie).

Układy zasilania silników ZS są optymalizowane pod kątem uzyskania maksymalnej mocy przy nieprzekraczaniu „granicy dymienia”. Granica dymienia to graniczna wartość współczynnika λ , po przekroczeniu której następuje znaczny wzrost zawartości cząstek stałych w spalinach – czyli dymienie. Mieszanka paliwowo-powietrzna w silnikach o zapłonie samoczynnym powstaje w końcowej fazie suwu sprężania, gdy do sprężonego powietrza jest wtryskiwane paliwo pod wysokim

CIEKAWOSTKA ↙

Bezpośredni wtrysk benzyny do cylindrów silnika jest względnie nowym rozwiązaniem, wykorzystywanym przez wielu producentów samochodów. Oznaczenia producentów pojazdów dla tego rozwiązania są następujące: GDI – Mitsubishi, HPI – Peugeot, Citroën, BMW, IDE – Renault, FSI – Volkswagen, Audi, Seat, Skoda, CGI – Mercedes-Benz, D4 – Toyota, SCI – Ford, SID1 – Opel.

ciśnieniem. Wysoka temperatura sprężonego powietrza powoduje samozapłon wtrysniętego paliwa, a sam proces spalania przebiega w warunkach nadmiaru powietrza. Układ zasilania silnika ZS umożliwia regulację mocy użytecznej poprzez zmianę składu mieszanki. Im większa dawka paliwa zostanie podana do cylindra, tym większą uzyskamy moc chwilową, ale nie możemy przekroczyć granicznej wartości $\lambda_{gd} = 1,2-2$, kiedy to gwałtownie wzrasta ilość cząstek stałych w spalinach (lokalnie w komorze spalania brakuje tlenu do spalania całej dawki paliwa).

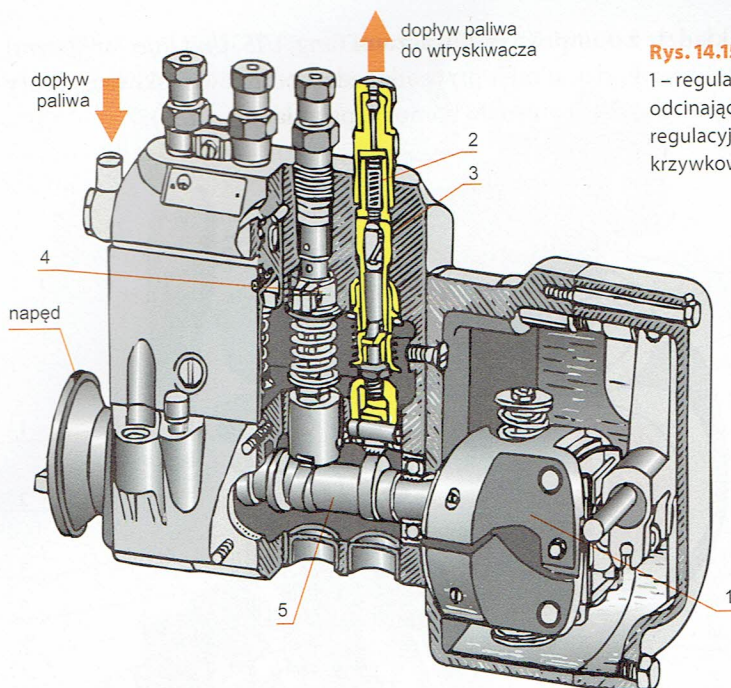
Podział układów zasilania współczesnych silników wysokoprężnych przedstawia tabela 14.1.

Tab. 14.1. Zestawienie rozwiązań układów wtryskowych silników ZS

Rodzaj rozwiązania	Dawka w mm ³ /cykl	Ciśnienie maksymalne wtrysku w Mpa	Rodzaj systemu spalania	Liczba cylindrów	Prędkość obrotowa silnika w obr./min	Moc z 1 cylindra [kW/cykl]	Zastosowanie (rodzaj pojazdu)
Pompy rzędowe	60...250	60...140	wtrysk bezpośredni i pośredni	4...8 (maks. 12)	2200...2600	25...55	ciężarowe
Pompy rozdzielaczowe osiowe	60...120	120...140	wtrysk bezpośredni	3...6	4000...4500	20...25	osobowe i lekkie dostawcze
		30...40	wtrysk pośredni				
Pompy rozdzielaczowe promieniowe	100...140	150...170	wtrysk bezpośredni	3...6	4000...4500	30...35	osobowe i lekkie dostawcze
Indywidualne zespoły wtryskowe	150...400	160...210	wielofazowy wtrysk bezpośredni	8...12	2400...2600	30...80	ciężarowe
Pompowtryskiwacze	60...400	160...210	wielofazowy wtrysk bezpośredni	6...8	3000	40...80	ciężarowe
					4000...5000	25...40	osobowe
Układy zasobnikowe (Common Rail)	300...400	130...180	wielofazowy wtrysk bezpośredni	6...12	2600...2800	60...80	ciężarowe
	60...100	140...200	wielofazowy wtrysk bezpośredni	3...8	4000...5000	25...35	osobowe

Układ z pompą rzędową

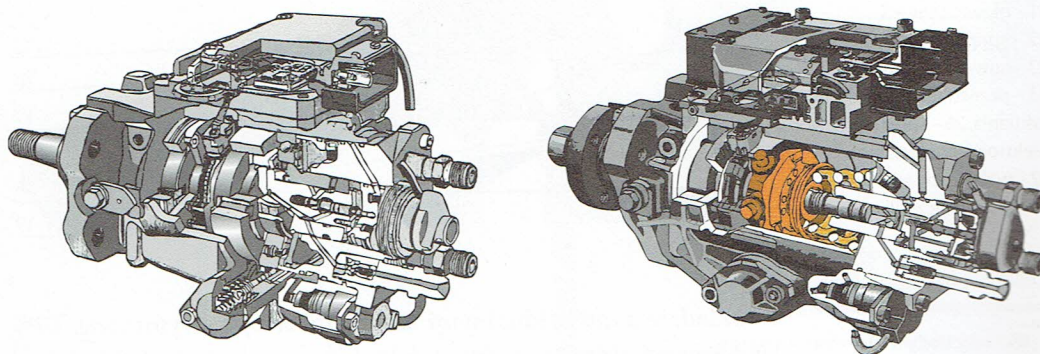
W układzie z pompą rzędową (ang. *IPR, Injection Pump Row*) w jednej wspólnej obudowie znajdują się zespoły tłoczące paliwo (rys. 14.15). Liczba sekcji w pompie rzędowej odpowiada liczbie cylindrów. Skok tłoczka sekcji tłoczącej jest zawsze taki sam. Regulację dawki paliwa tłoczonego do wtryskiwacza realizuje się przez odpowiednie ustawienie tłoczka sekcji względem cylinderka (otwierane są kanaliki przelewowe).



Rys. 14.15. Budowa pompy rzędowej:
1 – regulator odśrodkowy, 2 – zawór odcinający, 3 – sekcja tłocząca, 4 – tuleja regulacyjna z wieniec zębatym, 5 – wałek krzywkowy

Układ z pompą rozdzielczą (ang. *DIP, Distributor Injection Pump*) jest wyposażony w pompę wirnikową (rys. 14.16). Wewnątrz pompy znajdują się cylinder i tłoczki podające dawkę paliwa. W zależności od kierunku ruchów wykonywanych przez tłoczki w pompie rozróżnia się pompy osiowe i pompy promieniowe.

Układ z pompą rozdzielczą

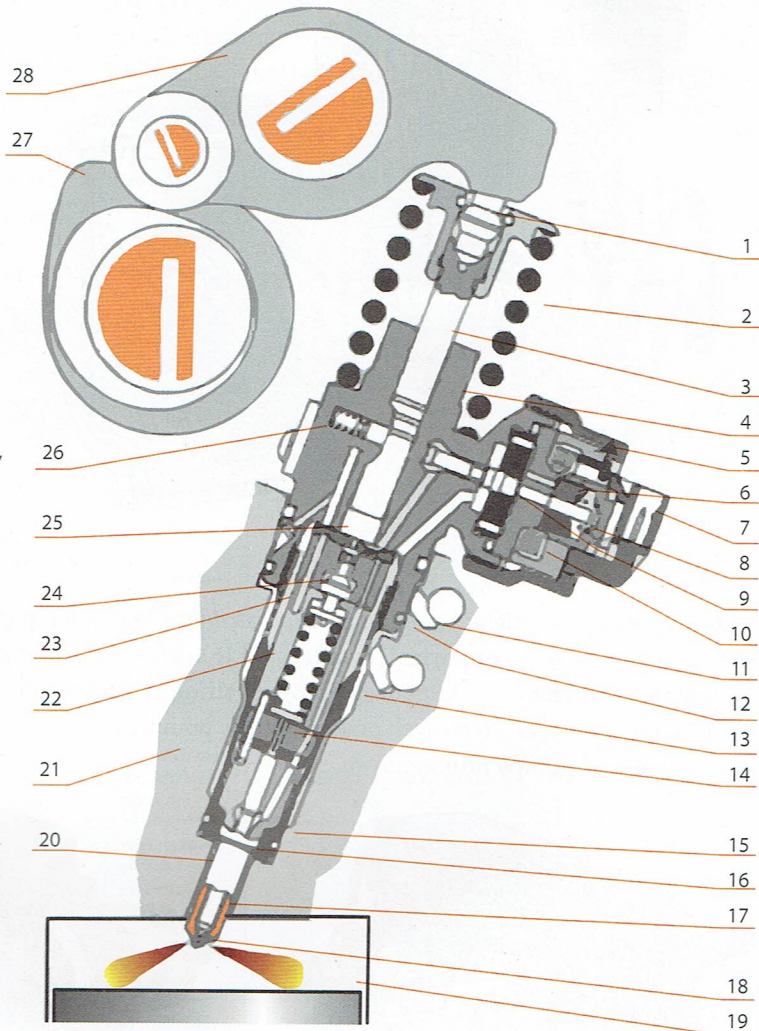


Rys. 14.16. Budowa rozdzielczej pompy wtryskowej: 1 – pompa łopatkowo-komorowa z zaworem regulacyjnym ciśnienia, 2 – czujnik kąta obrotu, 3 – sterownik pompy, 4 – promieniowa pompa wysokiego ciśnienia z wałkiem rozdzielczym i zaworem wylotowym (zawór ciśnieniowy), 5 – przestawiacz wtrysku z taktowanym zaworem elektromagnetycznym przestawiacza, 6 – zawór elektromagnetyczny wysokiego ciśnienia

Układ z pompowtryskiwaczami

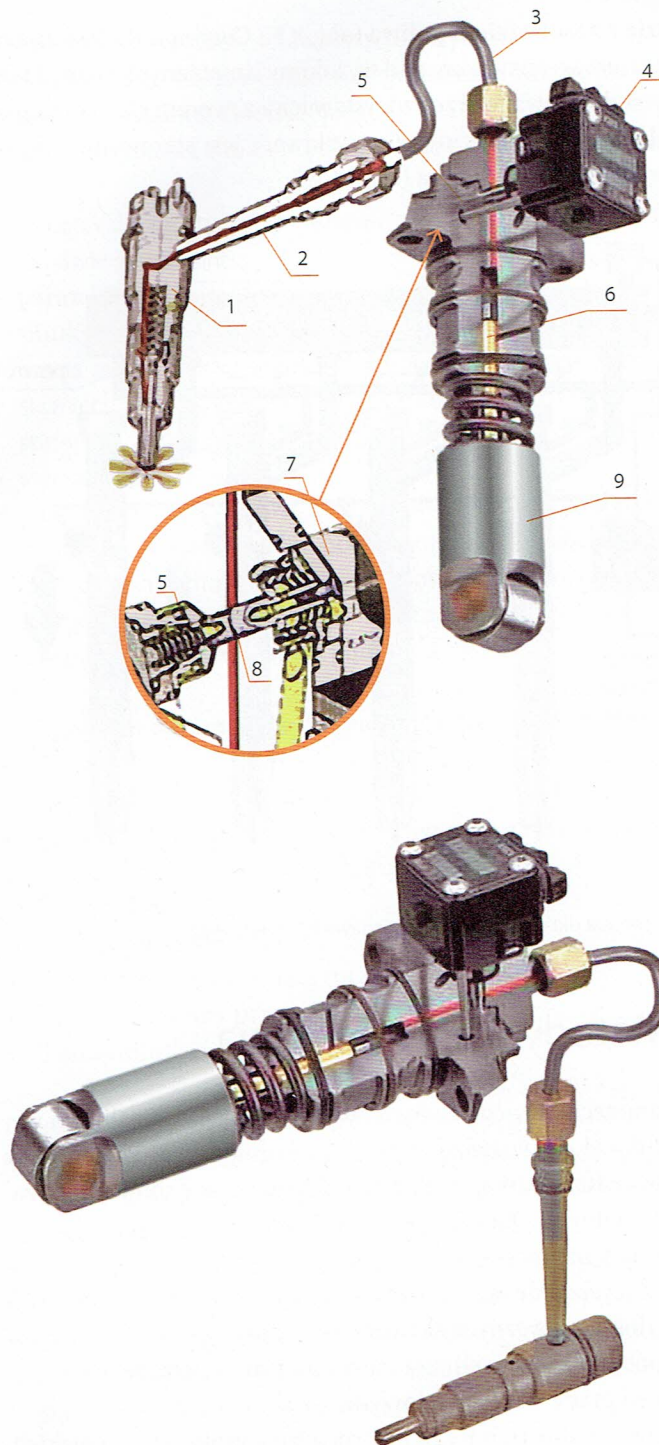
W układzie z pompowtryskiwaczami (ang. *UIS, Unit Injector System*) na każdy cylinder silnika przypada jeden pompowtryskiwacz, który tłoczy i wtryskuje paliwo do komory spalania (rys. 14.17).

Rys. 14.17. Budowa pompowtryskiwacza:
 1 – końcówka tłoczka,
 2 – sprężyna powrotna,
 3 – tłoczek, 4 – korpus pompowtryskiwacza, 5 – złącze elektryczne, 6 – rdzeń elektromagnesu, 7 – sprężyna wyrównawcza, 8 – iglica zaworu elektromagnetycznego, 9 – kotwica, 10 – cewka elektromagnesu, 11 – przelew paliwa (obwód niskiego ciśnienia), 12 – uszczelka, 13 – otwory dolotowe służące jako filtr, 14 – zderzak hydrauliczny, 15 – gniazdo iglicy rozpylacza, 16 – pierścień uszczelniający, 17 – iglica rozpylacza, 18 – dysze rozpylacza, 19 – komora spalania, 20 – rozpylacz, 21 – głowica silnika, 22 – sprężyna rozpylacza, 23 – suwak, 24 – komora, 25 – przestrzeń wysokiego ciśnienia, 26 – sprężyna zaworu elektromagnetycznego, 27 – wałek rozrządu, 28 – popychacz rolkowy



Układ z indywidualnymi zespołami wtryskowymi

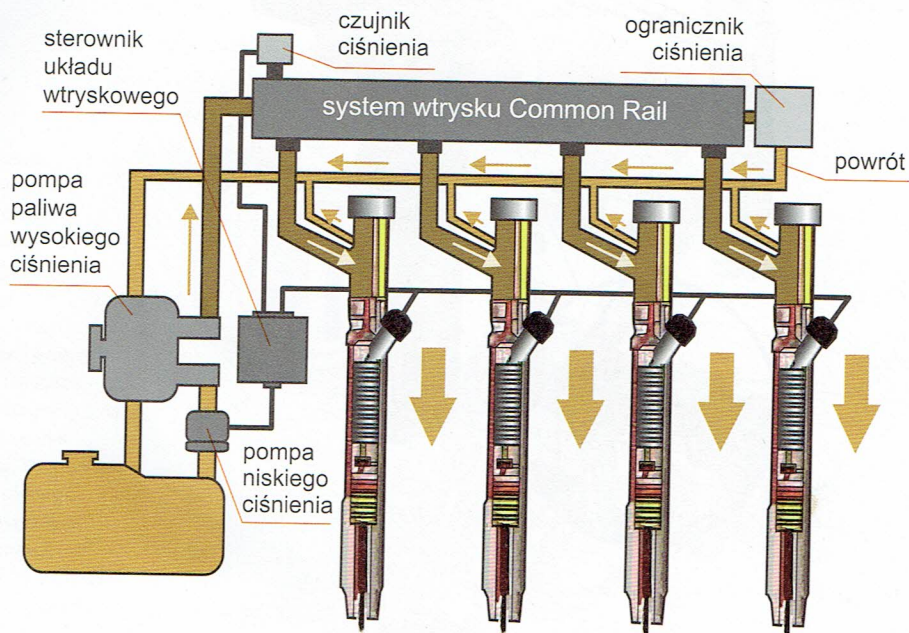
W układzie z indywidualnymi zespołami wtryskowymi (ang. *UPS, Unit Pump System*) do każdego cylindra jest przypisany jeden zespół składający się z jednosekcyjnej pompy wtryskowej połączonej z wtryskiwaczem krótkim przewodem wysokociśnieniowym (rys. 14.18). Od pompowtryskiwacza odróżnia to rozwiązanie występowanie krótkiego przewodu paliwowego pomiędzy indywidualną pompą wtryskową a wtryskiwaczem.



Rys. 14.18. Budowa układu z indywidualnymi zespołami wtryskowymi: 1 – wtryskiwacz, 2 – komora wysokiego ciśnienia, 3 – przewód wtryskowy, 4 – obudowa zaworu elektromagnetycznego, 5 – kanał dopływowy paliwa, 6 – tłoczek sekcji tłoczącej, 7 – kanał powrotny paliwa, 8 – iglica zaworu elektromagnetycznego, 9 – krzywka napędowa

Układ z zasobnikiem paliwa

W układzie z zasobnikiem paliwa (ang. CR, *Common Rail*) w zasobniku paliwa jest zgromadzony pod wysokim ciśnieniem olej napędowy, a paliwo jest dawkowane przez wtryskiwacz z zaworem elektromagnetycznym lub piezoelektrycznym; wtryskiwacz jest sterowany elektronicznie przez sterownik silnika (rys. 14.19).



Rys. 14.19. Schemat układu z zasobnikiem paliwa (Common Rail)

14.3. Metody diagnozowania

Zmiany stanu technicznego elementów układu zasilania paliwem wynikają ze zużycia eksploatacyjnego lub rozregulowania. Powoduje to nieprawidłowe funkcjonowanie całego układu i pracę silnika poza zakresem optymalnym. Objawia się to w postaci:

- spadku mocy użytecznej silnika,
- wzrostu zużycia paliwa,
- wzrostu ilości toksycznych składników spalin,
- utrudnionego rozruchu silnika (zimnego i/lub nagrzanego),
- niestabilnej pracy na biegu jałowym,
- niewłaściwych obrotach biegu jałowego (za wysokiej lub za niskiej),
- samoczynnego unieruchamiania silnika,
- rozbiegania się silnika,

- strzałów w układach dolotowym lub wylotowym,
- nadmiernego hałasu emitowanego przez silnik powstającego np. w skutek spalania detonacyjnego,
- braku płynności zmian prędkości obrotowej silnika (dławienie się).

Parametry diagnostyczne związane z układem zasilania można podzielić na dwie grupy:

- **parametry ogólne**, których obserwacja pozwala ocenić stan układów silnika, w tym układu zasilania, w sposób kompleksowy. Uzyskana ocena ma charakter jakościowy i pozwala w przybliżeniu określić stan techniczny układu jako zdatny lub niezdatny (sprawny lub niesprawny). W tej grupie parametrów dominują symptomy diagnostyczne silnika;
- **parametry szczegółowe**, których obserwacja pozwala ocenić stan konkretnego elementu lub podzespołu układu zasilania. Uzyskana ocena stanu technicznego pozwala określić, które elementy układu zasilania należy sprawdzić. W tej grupie parametrów są symptomy diagnostyczne elementów i podzespołów układu zasilania.

Do **ogólnych parametrów diagnostycznych** układu zasilania należą:

- moc silnika N_e [kW],
- zużycie jednostkowe paliwa g_e [g/s],
- prędkość obrotowa silnika (utrzymywanie zadanej prędkości, sposób reakcji silnika na zwiększanie prędkości),
- skład spalin,
- stopień zadymienia spalin,
- temperatura pracy silnika (przegrzewanie silnika),
- hałas generowany przez silnik,
- drgania silnika.

Do **szczegółowych parametrów diagnostycznych** należą:

- prawidłowy montaż i mocowanie zespołów układu zasilania w samochodzie (szczelność połączeń, ich kompletność i czystość, pęknięcia i odkształcenia mechaniczne),
- ciśnienia ssania i tłoczenia oraz wydatek pompy paliwa,
- opory przepływu i szczelność filtra paliwa,
- szczelność par precyzyjnych, charakterystyka dawkowania paliwa, GPT (czyli górne położenie tłoka) i kątowy rozdział tłoczenia, równomierność dawkowania paliwa, kąt wyprzedzenia wtrysku paliwa (dla pompy wtryskowej),
- szczelność i ciśnienie otwarcia, stopień rozpylenia strugi paliwa (dla wtryskiwaczy mechanicznych).

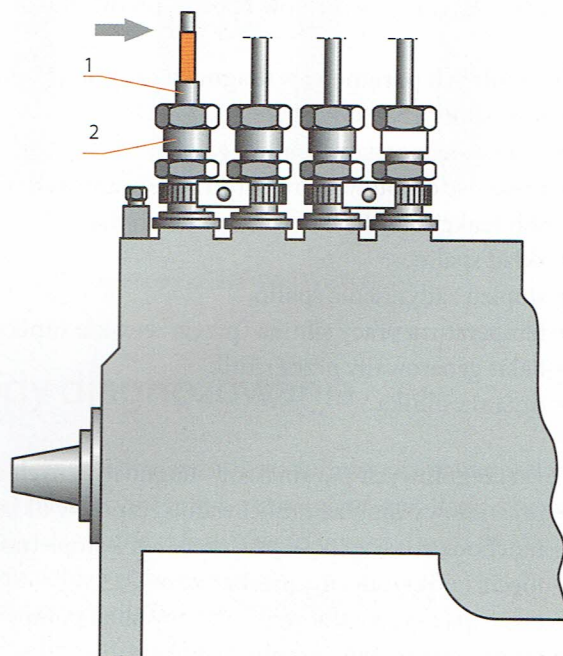
W silnikach ZS wyposażonych we wtryskiwacze, które są sterowane ciśnieniem paliwa, jednym z najważniejszych warunków prawidłowej pracy jest właściwe ustawienie początku tłoczenia. Początek tłoczenia można określać na dwa sposoby:

- **metodą statyczną**, gdy silnik nie pracuje,
- **metodą dynamiczną** – w czasie pracy silnika.

Metoda statyczna

Metodę statyczną stosuje się najczęściej przy sprawdzaniu pomp wtryskowych sterowanych mechanicznie. Metoda pomiaru zależy od rodzaju pompy wtryskowej.

Dla pomp rzędowych pomiar początku tłoczenia w warunkach statycznych wykonuje się za pomocą momentoskopu (kapilary). Przyrząd montuje się na króćcu pierwszej sekcji pompy tłoczącej i obserwuje ruch słupa paliwa (w szklanej rurce) w funkcji kąta obrotu wału korbowego silnika. Widok przyrządu zamontowanego na pompie przedstawia rysunek 14.20.



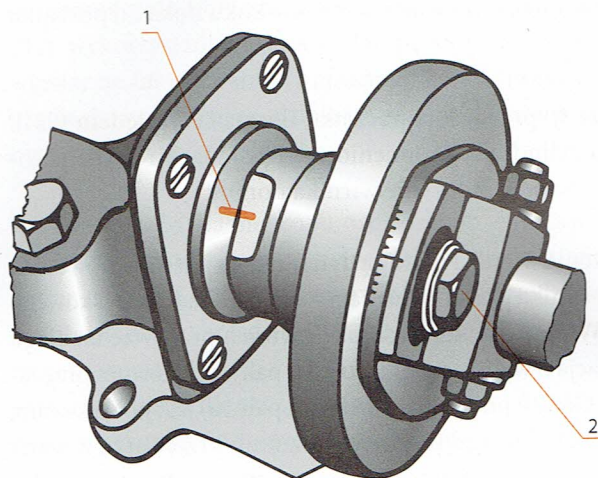
Rys. 14.20. Sposób montażu momentoskopu na pompie rzędowej: 1 – momentoskop, 2 – króciec pierwszej sekcji tłoczącej pompy

Dźwignię sterowania dawki paliwa należy ustawić w położeniu dawki maksymalnej. W czasie pomiaru obraca się wałem korbowym silnika do momentu, w którym w rurce momentoskopu pojawi się paliwo. Następnie należy cofnąć wał korbowy o 1/4 obrotu i ponownie zacząć obracać go w kierunku ruchu roboczego, obserwując rurkę momentoskopu.

terowane ci-
prawidłowej
tek tłoczenia

Drgnięcie słupa paliwa oznacza początek tłoczenia pierwszej sekcji. W tym położeniu znaki ustawcze na pompie paliwa i wałku napędowym pompy powinny się pokryć (rys. 14.21). Jeśli się nie pokryją, należy trzeba zmienić kąt początku tłoczenia pompy, przestawiając część nastawną sprzęgła.

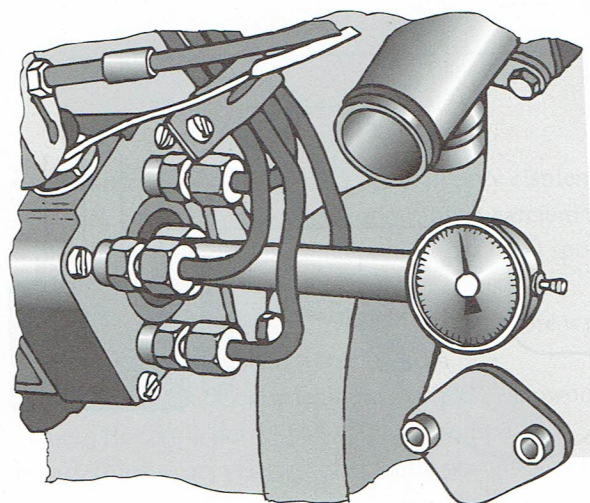
pomp wtry-
y od rodzaju



Rys. 14.21. Widok znaków nastawczych na sprzęgle pompy wtryskowej: 1 – śruba regulacyjna, 2 – część nastawna sprzęgła

unkach sta-
(y). Przynaj-
i obserwuje
tu wału kor-
mpie przed-

W pompach rozdzielaczowych osiowych początek tłoczenia określa się, mierząc skok tłokorozdzielacza pompy. W czasie suwu sprężania tłok znajduje się w pierwszym cylindrze silnika w GMP (Górnym Martwym Punkcie). Podczas pomiaru ustawia się wał korbowy silnika na GMP tłoka pierwszego cylindra. W miejsce zaślepki pomiędzy przewodami wysokiego ciśnienia montuje się czujnik zegarowy w specjalnej oprawce (rys. 14.22).



Rys. 14.22. Położenie czujnika zegarowego w czasie pomiaru początku tłoczenia na osiowej pompie rozdzielaczowej

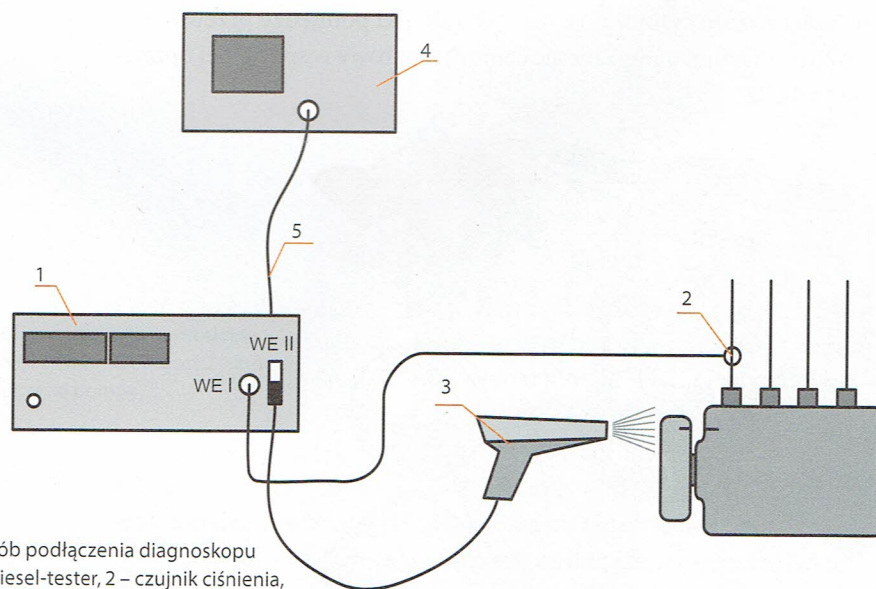
żeniu dawki
wym silnika
paliwo. Na-
zacząc obra-
mentoskopu.

Czujnik należy wyregulować, tak by wskazywał 2 mm. Następnie należy obracać wał korbowy silnika w kierunku przeciwnym do ruchu roboczego, do momentu gdy wskazówka czujnika przestanie się ruszać. W tym położeniu zeruje się wskazanie czujnika, a wał korbowy silnika obraca się z powrotem aż do położenia GMP tłoka pierwszego cylindra. Wskazanie czujnika odpowiada wartości skoku tłoka od początku tłoczenia paliwa.

W celu określenia wyprzedzenia początku tłoczenia względem GMP tłoka pierwszego cylindra w promieniowych pompach rozdzielczych należy obserwować położenie wirnika pompy.

Metoda dynamiczna

Pomiar wyprzedzenia wtrysku **metodą dynamiczną** jest przeprowadzany w czasie pracy silnika przy użyciu diagnostkopu układu wtryskowego do silników ZS. W czasie pomiaru silnik powinien pracować na biegu jałowym. Informacja o wyprzedzeniu wtrysku paliwa (kątowym przesunięciu pomiędzy GMP a początkiem wtrysku paliwa) jest pozyskiwana za pomocą czujnika piezoelektrycznego. Czujnik przetwarza zmiany ciśnienia w przewodzie paliwowym wtryskiwacza pierwszego cylindra (odczytywane poprzez pomiar odkształcenia przewodu) na impulsy elektryczne. Należy zwrócić uwagę na to, by czujnik ciśnienia paliwa był zamontowany możliwie blisko wtryskiwacza, na prostym odcinku przewodu. Widok zestawu pomiarowego przedstawia rysunek 14.23.

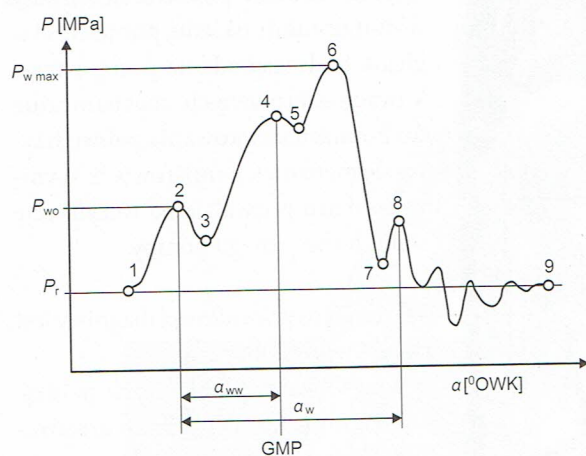


Rys. 14.23. Sposób podłączenia diagnostkopu do silnika ZS: 1 – diesel-tester, 2 – czujnik ciśnienia, 3 – lampa stroboskopowa, 4 – oscyloskop, 5 – przewód do podłączenia oscyloskopu

Do określania wartości kąta wyprzedzenia wtrysku wykorzystuje się sygnały z czujnika położenia wału korbowego. Jeżeli takiego czujnika nie ma, pomiaru dokonuje się za pomocą lampy stroboskopowej. Impulsy ciśnienia w przewodzie paliwowym są wykorzystywane do sterowania rozbłyskami lampy stroboskopowej; w jej świetle obserwuje się wzajemne położenia znaków na kole pasowym i na kadłubie silnika. Przy wykorzystaniu zestawu z lampą stroboskopową można również wyznaczyć takie parametry pracy silnika, jak: prędkość biegu jałowego, prędkość maksymalną, działanie przyspieszacza wtrysku przy powolnym wzroście prędkości obrotowej silnika.

Podłączenie do diagnostyki oscyloskopu umożliwia analizę zjawisk falowych zachodzących w przewodzie paliwowym. Przykładowy zapis zmian ciśnienia w przewodzie paliwowym przedstawia rysunek 14.24. Na podstawie wykresu zmian tego ciśnienia można odczytać następujące informacje:

- wartość ciśnienia szczątkowego P_r po zakończeniu wtrysku,
- początek otwarcia zaworu odcinającego (pkt 1),



Rys. 14.24. Zmiany ciśnienia w przewodzie wtryskowym (opis w tekście)

- początek otwarcia rozpylacza (pkt 2) przy ciśnieniu P_{wo} i chwilowy spadek ciśnienia paliwa spowodowany otwarciem rozpylacza (pkt 3),
- chwilowe wahania ciśnienia paliwa (pkt 4 i 5) spowodowane zjawiskami falowymi,
- maksymalne ciśnienie paliwa P_{\max} (pkt 6), które występuje przy końcu tłoczenia paliwa do wtryskiwacza,
- gwałtowny spadek ciśnienia paliwa (pkt 7) spowodowany zakończeniem tłoczenia dawki paliwa przez pompę,
- zamknięcie rozpylacza (pkt 8), które powoduje chwilowy wzrost ciśnienia paliwa,

UWAGA



Wykorzystanie sygnału z czujnika położenia wału korbowego pozwala na bezpośrednie wyznaczenie parametrów pracy silnika.

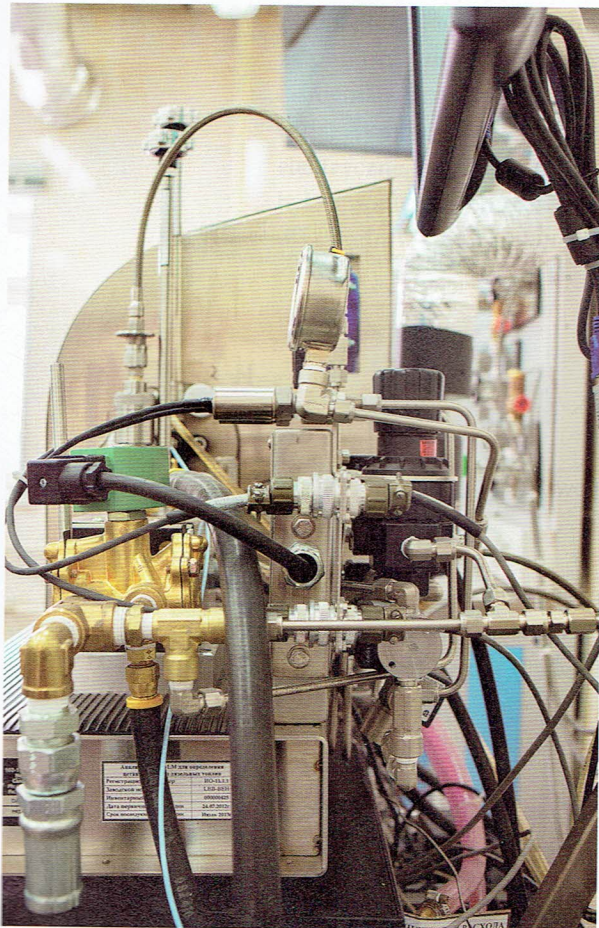
UWAGA

Na podstawie analizy przebiegu zmian ciśnienia w przewodzie paliwowym można wykryć takie nieprawidłowości jak: zatkanie przewodu paliwowego, nieszczelność rozpylacza, zawieszenie się igły rozpylacza, nieszczelność zaworu odcinającego.

- końcowe wahania ciśnienia paliwa prowadzące do ustabilizowania się jego wartości na poziomie ciśnienia resztkowego P_r (pkt 9),
- wartość kąta wyprzedzenia wtrysku α_{ww} i całkowity czas jego trwania.

Kompleksową diagnostykę pomp wtryskowych można wykonać za pomocą specjalizowanego stanowiska – stołu probierczego (fot. 14.1). Na takim stole można badać zarówno pompy rządowe, jak i pompy rozdzielaczowe. Badaną pompę przytwierdza się za pomocą przystawki symulującej jej mocowanie w silniku. Po przymocowaniu pompy należy:

- podłączyć napęd od stołu do pompy za pomocą sprzęgła,
- podłączyć wtryskiwacze probiercze (są na wyposażeniu stołu),
- podłączyć elementy układu pomiarowego (manometry, czujniki),
- podłączyć do pompy układ sterowania elektronicznego (w jeśli badana pompa jest wyposażona w taki układ sterowania).



Zasadniczym parametrem badanej pompy jest dawka paliwa. Bada się ją za pomocą układu menzurek lub przy wykorzystaniu układu pomiaru ciągłego. Podczas badania pomp wtryskowych sterowanych mechanicznie do pomiaru dawkowania paliwa używa się menzurek pomiarowych. Wyniki pomiaru pozwalają na weryfikację stanu technicznego pompy.

Warunkiem prawidłowej diagnostyki jest odpowiedni dobór:

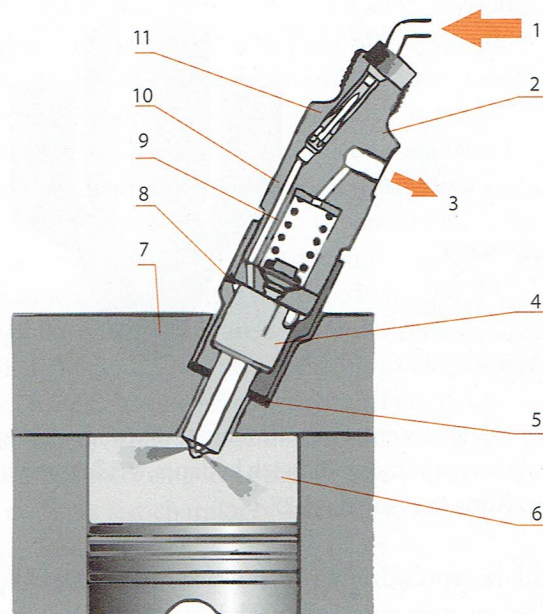
- wtryskiwaczy probierczych, pełniących funkcję precyzyjnego urządzenia pomiarowego,
- przewodów probierczych wysokiego ciśnienia,
- oleju probierczego, który jest wykorzystywany do zasilania badanej pompy i musi spełniać odpowiednie parametry techniczne.

Fot. 14.1. Przykładowy stół probierczy z zamontowaną pompą wtryskową

Przy badaniu pomp wtryskowych sterowanych mechanicznie wyznacza się następujące parametry:

- dawkowanie paliwa przy różnych prędkościach obrotowych,
- prędkość obrotową zadziałania ogranicznika dawki paliwa,
- prędkość obrotową odcięcia dawki paliwa,
- nierównomierność dawkowania paliwa przez poszczególne sekcje tłoczące,
- geometryczny początek tłoczenia wynikający ze wstępnego ustawienia sekcji tłoczących,
- początek wtrysku paliwa w funkcji kąta obrotu oraz jego zmienność przy zmianach prędkości obrotowej,
- rozrzut początku wtrysku paliwa dla poszczególnych sekcji tłoczących pompy.

Przy diagnozowaniu pomp wtryskowych sterowanych elektronicznie do pomiaru dawkowania można wykorzystać menzurki (wówczas należy zastosować emulator sterownika silnika). Można też wykonać pomiar ciągłego dawkowania paliwa za pomocą elementów mechatronicznych i pomiarowych będących wyposażeniem badanej pompy.



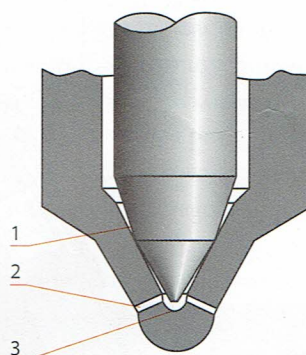
Rys. 14.25. Sposób zabudowy wtryskiwacza mechaniczno-hydraulicznego w silniku:
 1 – doprowadzenie paliwa, 2 – obsada wtryskiwacza, 3 – przelew paliwa, 4 – rozpylacz,
 5 – podkładka uszczelniająca, 6 – komora spalania silnika ZS, 7 – głowica silnika,
 8 – nakrętka mocująca wtryskiwacz, 9 – prężyna dociskowa, 10 – kanał ciśnieniowy,
 11 – filtr

Zadania wtryskiwaczy paliwa są następujące:

- zapewnienie optymalnego przebiegu procesu wtrysku paliwa do komory spalania,
- optymalne rozpylenie paliwa w komorze spalania,
- zapewnienie szczelności komory spalania w czasie procesu spalania.

W dawniejszych układach wtryskowych silników ZS (a więc z wyjątkiem rozwiązań współczesnych, z zasobnikiem paliwa, czyli Common Rail) stosowano wtryskiwacze mechaniczno-hydrauliczne, których praca jest sterowana ciśnieniem paliwa wytwarzanym przez pompę. Otwarcie takiego wtryskiwacza jest powodowane wzrostem ciśnienia paliwa, a jego zamknięcie następuje na skutek działania sprężyny mechanicznej. Sposób zabudowy wtryskiwacza mechaniczno-hydraulicznego w silniku przedstawia rysunek 14.25.

Sposób rozpylenia dawki paliwa dostarczanej do komory spalania jest uzależniony od kształtu końcówki wtryskiwacza. Przykładowe rozwiązania końcówek wtryskiwaczy przedstawia rysunek 14.26.

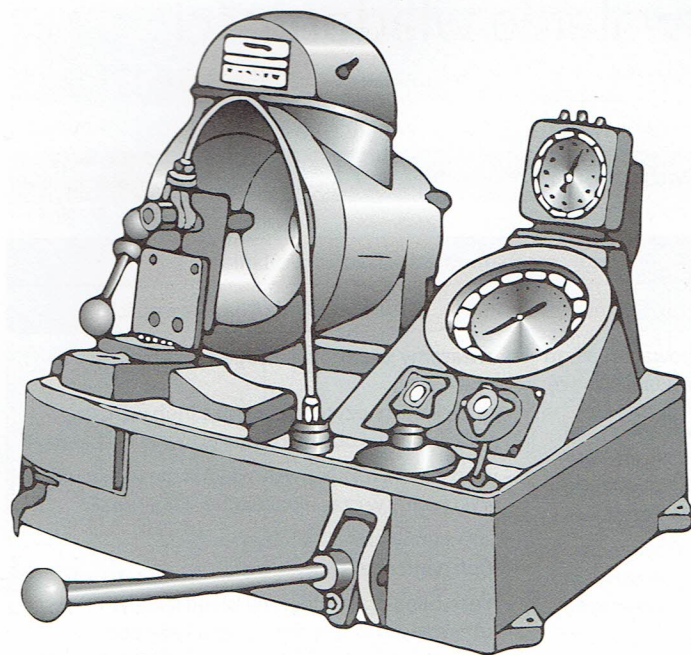


Rys. 14.26. Rozwiązania końcówek wtryskiwaczy:
1 – gniazdo korpusu rozpylacza,
2 – otwór wyjściowy kanałki wtryskowej, 3 – studzienka

Diagnostykę wymontowanych z silnika wtryskiwaczy przeprowadza się na próbniku przeznaczonym do ich badania. Widok przykładowego próbника przedstawia rysunek 14.27.

W czasie badania sprawdzany wtryskiwacz mocuje się do przewodu próbника. Za pomocą pompy (ręcznej lub mechanicznej) wytwarza się ciśnienie paliwa, jego wartość obserwuje się na manometrze. Na tej podstawie wyznacza się następujące parametry pracy wtryskiwacza:

- ciśnienie otwarcia wtryskiwacza, które sprawdza się przez powolne podnoszenie ciśnienia paliwa (przy jednoczesnej obserwacji manometru próbника). Ciśnienie otwarcia to wskazanie na manometrze,



Rys. 14.27. Próbnik wtryskiwaczy

którego wartość się zatrzymuje (nie wzrasta). Wyznaczoną wartość należy porównać z dokumentacją techniczną wtryskiwacza;

- szczelność wtryskiwacza, którą sprawdza się po wyznaczeniu ciśnienia otwarcia. Należy przez blisko 10 s utrzymywać ciśnienie paliwa o 2 MPa niższe od ciśnienia otwarcia i jednocześnie obserwować końcówkę rozpylacza. Przyjmuje się, że wtryskiwacz jest szczelny, jeżeli w tym czasie nie wypłynie paliwo w postaci kropli. Dopuszczalne jest jedynie pojawienie się niewielkiego zawilgocenia rozpylacza;
- jakość rozpylenia strug paliwa, które powinny być jednorodne, w postaci mgiełki o kącie rozwarcia odpowiadającym danym fabrycznym. Niedopuszczalne jest pojawienie się nierozpylonego paliwa np. w postaci kropli na końcówce rozpylacza. Początek i koniec wtrysku powinny być wyraźnie zauważalne, mieć charakterystyczny dźwięk;
- prawidłowość położenia strug paliwa względem obudowy wtryskiwacza; ta cecha jest charakterystyczna dla rozpylaczy wielootworowych.

Pracę wtryskiwacza ocenia się też, analizując odgłosy jego pracy podczas podawania w sposób ciągły paliwa pod ciśnieniem przekraczającym wartość ciśnienia otwarcia wtryskiwacza. Wtryskiwacz pracuje wówczas w sposób ciągły, a iglicz wykonuje ruch posuwisto-zwrotny iglicy. Pojawia się charakterystyczny odgłos przypominający chrypienie. Świadczy to o prawidłowej pracy wtryskiwacza.