

# **SILNIKI POJAZDÓW SAMOCHODOWYCH**

**Piotr Zając**

# **SILNIKI POJAZDÓW SAMOCHODOWYCH**

**2**

**Układy zasilania  
chłodzenia, smarowania  
dolotowe i wylotowe**



**Wydawnictwa Komunikacji i Łączności**

Projekt okładki: *Janusz Olech*  
Zdjęcie na okładkę: *Daimler*  
Redaktor merytoryczny: *Krzysztof Wiśniewski*  
Redaktor techniczny: *Ewa Kęsicka*  
Korekta: *zespół*

Podręcznik dopuszczony do użytku szkolnego przez ministra właściwego do spraw oświaty i wychowania i wpisany do wykazu podręczników przeznaczonych do kształcenia w zawodach do nauczania zawodu **technik pojazdów samochodowych** na podstawie opinii rzeczoznawców:  
mgr Agaty Hąci, mgr. inż. Bogdana Chrupka, mgr. inż. Andrzeja Łazińskiego.  
Typ szkoły **technikum i szkoła policealna**.  
Rok dopuszczenia **2010**.

621.432:629.02(075)

Druga część podręcznika poświęcona najważniejszym układom silników spalinowych pojazdów samochodowych. Przedstawiono budowę i działanie oraz zasady eksploatacji, obsługi i naprawy układów zasilania silników o zapłonie iskrowym, układów zasilania silników o zapłonie samoczynnym, pośrednich i bezpośrednich układów chłodzenia, układów smarowania, układów dolotowych z uwzględnieniem różnych rodzajów dotądowania, jak również układów wylotowych z uwzględnieniem recyrkulacji i oczyszczania spalin. Opisano także napędy alternatywne pojazdów samochodowych. Materiał nauczania bogato zilustrowano przykładami opartymi na najnowszych rozwiązaniach konstrukcyjnych silników. Na końcu każdego rozdziału zamieszczono pytania kontrolne umożliwiające uczniowi samoocenę w zakresie opanowania materiału.  
Odbiorcy: uczniowie kształcący się w zawodzie technik pojazdów samochodowych oraz uczniowie szkół o pokrewnym profilu kształcenia.

ISBN 978-83-206-1783-2

© Copyright by Wydawnictwa Komunikacji i Łączności spółka z o.o., Warszawa 2010

Utwór ani w całości, ani we fragmentach nie może być skanowany, kserowany, powielany bądź rozpowszechniany za pomocą urządzeń elektronicznych, mechanicznych, kopiujących, nagrywających i innych, w tym również nie może być umieszczany ani rozpowszechniany w postaci cyfrowej zarówno w Internecie, jak i w sieciach lokalnych bez pisemnej zgody posiadacza praw autorskich.

Wydawnictwa Komunikacji i Łączności sp. z o.o.  
ul. Kazimierzowska 52, 02-546 Warszawa  
tel. 22-849-27-51; fax 22-849-23-22  
Dział handlowy tel./fax 22-849-23-45  
tel. 22-849-27-51 w. 555  
*Prowadzimy sprzedaż wysyłkową książek*  
Księgarnia firmowa w siedzibie wydawnictwa  
tel. 22-849-20-32, czynna pon.–pt. w godz. 10.00–18.00  
e-mail: [wkl@wkl.com.pl](mailto:wkl@wkl.com.pl)  
*Pełna oferta WKŁ w INTERNECIE:* <http://www.wkl.com.pl>

Wydanie 1. Warszawa 2010

Skład i łamanie: ALINEA  
Druk i oprawa: Drukarnia TREND  
e-mail: [drukarniatrend@wp.pl](mailto:drukarniatrend@wp.pl)

---

# Spis treści

<b>1.</b>	<b>Układy zasilania silników o zapłonie iskrowym</b>	<b>7</b>
1.1.	Wiadomości wstępne	7
1.2.	Gaźnikowy układ zasilania	8
1.3.	Wtryskowy układ zasilania	11
1.3.1.	Wiadomości ogólne	11
1.3.2.	Pośredni wielopunktowy wtrysk benzyny sterowany mechanicznie i mechaniczno-elektronicznie	15
1.3.3.	Pośredni wielopunktowy wtrysk benzyny sterowany elektronicznie	20
1.3.4.	Pośredni jednopunktowy wtrysk benzyny sterowany elektronicznie	42
1.3.5.	Bezpośredni wtrysk benzyny sterowany elektronicznie	46
1.3.6.	Elektroniczny system sterowania pracą silnika	55
1.3.7.	Pokładowe systemy diagnostyczne	85
1.4.	Układ zasilania gazem LPG	91
1.4.1.	Wiadomości ogólne	91
1.4.2.	Instalacja zasilania gazem LPG I generacji	92
1.4.3.	Instalacja zasilania gazem LPG II generacji	96
1.4.4.	Instalacja zasilania gazem LPG III generacji	99
1.4.5.	Instalacja zasilania gazem LPG IV generacji	102
1.4.6.	Elementy układów zasilania LPG	108
1.4.7.	Obsługa instalacji gazowych LPG	111
1.5.	Analiza spalin	113
1.6.	Pytania kontrolne	116
<b>2.</b>	<b>Układy zasilania silników o zapłonie samoczynnym</b>	<b>117</b>
2.1.	Wprowadzenie	117
2.2.	Układy zasilania z pompami wtryskowymi	120
2.2.1.	Układ zasilania z rzędową pompą wtryskową	120
2.2.2.	Układ zasilania z rozdzielaczową pompą wtryskową	130
2.2.3.	Diagnostyka pomp wtryskowych	147
2.2.4.	Wtryskiwacze paliwa	153
2.3.	Układy wtryskowe z pompowtryskiwaczami	161
2.4.	Układy wtryskowe z indywidualnymi zespołami wtryskowymi	169
2.5.	Zasobnikowy układ wtryskowy Common Rail	171
2.5.1.	Wiadomości wstępne	171
2.5.2.	Obwód paliwa niskiego ciśnienia	173
2.5.3.	Obwód paliwa wysokiego ciśnienia	176
2.5.4.	Diagnostyka układu wtryskowego Common Rail	190
2.6.	Elektroniczne układy sterowania silnika o zapłonie samoczynnym	194

2.7.	Świece żarowe . . . . .	199
2.8.	Filtry paliwa . . . . .	203
2.9.	Ocena stanu technicznego silnika o zapłonie samoczynnym na podstawie zadymienia spalin . . . . .	205
2.10.	Pytania kontrolne . . . . .	209
<b>3.</b>	<b>Układ chłodzenia . . . . .</b>	<b>211</b>
3.1.	Wiadomości wstępne . . . . .	211
3.2.	Pośredni układ chłodzenia . . . . .	213
3.2.1.	Pompa cieczy chłodzącej . . . . .	219
3.2.2.	Termostat . . . . .	224
3.2.3.	Chłodnica cieczy chłodzącej . . . . .	234
3.2.4.	Wentylator . . . . .	238
3.2.5.	Zbiornik wyrównawczy . . . . .	244
3.2.6.	Ciecze chłodzące . . . . .	246
3.2.7.	Obsługa pośredniego układu chłodzenia . . . . .	248
3.3.	Bezpośredni układ chłodzenia . . . . .	252
3.4.	Pytania kontrolne . . . . .	256
<b>4.</b>	<b>Układ smarowania . . . . .</b>	<b>257</b>
4.1.	Wiadomości wstępne . . . . .	257
4.2.	Obiegowo-ciśnieniowy układ smarowania . . . . .	259
4.2.1.	Pompa oleju . . . . .	264
4.2.2.	Filtr oleju . . . . .	272
4.2.3.	Oleje silnikowe . . . . .	279
4.3.	Obsługa układu smarowania . . . . .	286
4.4.	Pytania kontrolne . . . . .	295
<b>5.</b>	<b>Układy dolotowe i wylotowe . . . . .</b>	<b>297</b>
5.1.	Wiadomości wstępne . . . . .	297
5.2.	Podstawowe podzespoły układu dolotowego . . . . .	297
5.3.	Doładowanie . . . . .	299
5.3.1.	Doładowanie mechaniczne . . . . .	300
5.3.2.	Turbodoładowanie . . . . .	307
5.3.3.	Doładowanie mieszane . . . . .	321
5.3.4.	Doładowanie dynamiczne . . . . .	322
5.4.	Układ wylotowy . . . . .	327
5.5.	Układ oczyszczania spalin . . . . .	332
5.5.1.	Układ oczyszczania spalin silnika o zapłonie iskrowym . . . . .	332
5.5.2.	Układ oczyszczania spalin silnika o zapłonie samoczynnym . . . . .	346
5.6.	Układ recyrkulacji spalin . . . . .	354
5.7.	Pytania kontrolne . . . . .	357
<b>6.</b>	<b>Napędy alternatywne pojazdów samochodowych . . . . .</b>	<b>359</b>
6.1.	Wiadomości wstępne . . . . .	359
6.2.	Napęd elektryczny wykorzystujący baterię akumulatorów . . . . .	360
6.3.	Napęd elektryczny z ogniwami paliwowymi . . . . .	362
6.4.	Hybrydowy napęd spalinowo-elektryczny . . . . .	365
6.5.	Napęd silnikiem zasilanym paliwem CNG . . . . .	378
6.6.	Napęd silnikiem spalinowym o tłoku obrotowym . . . . .	383
6.7.	Napęd turbinowy . . . . .	387
6.8.	Pytania kontrolne . . . . .	390
	<b>Literatura . . . . .</b>	<b>391</b>

---

# 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

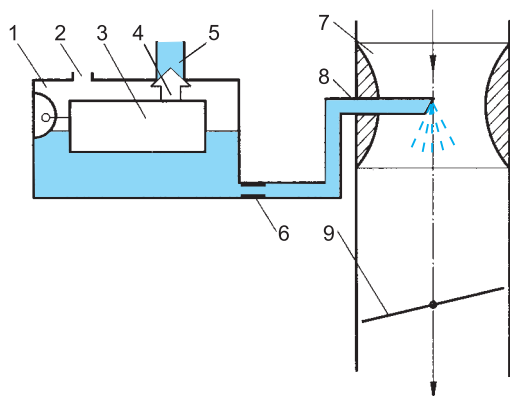
układy, które ze względu na niespełnianie obowiązujących norm emisji spalin nie są już stosowane we współczesnych rozwiązaniach konstrukcyjnych układów zasilania silników ZI. Przedstawiono je w formie krótkiej informacji, aby Czytelnik miał ogólną wiedzę na ten temat.

## 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 najwyższej części przelotu gaźnika, tzw. gardzieli, powyżej maksymalnego poziomu paliwa w komorze pływakowej, co zapobiega samoczynnemu wyciekaniu paliwa z rozpylacza, gdy silnik nie pracuje.

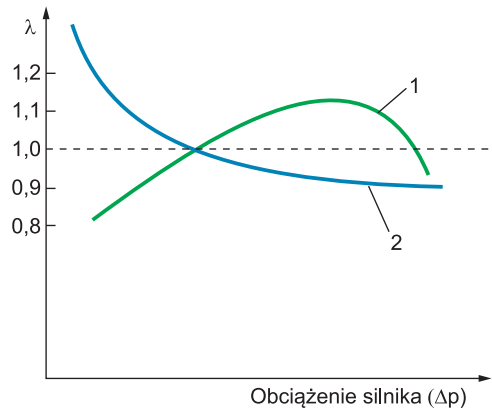


**Rys. 1.1.** Schemat gaźnika elementarnego [29]

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 a 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 pływakową 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 pływakową z rozpylaczem jest większa niż bezwładność strumienia powietrza płynącego w układzie dolotowym. Zróznicowana 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

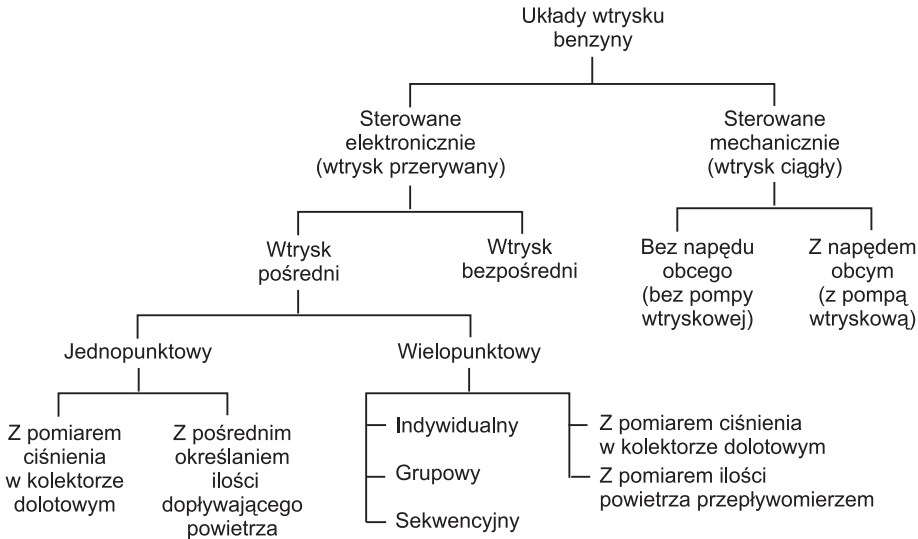
Wtryskowe układy zasilania silników o zapłonie iskrowym (ZI) tworzą mieszankę palną za pomocą wtrysku benzyny pod określonym ciśnieniem do ładunku powietrza. Układy te umożliwiają uzyskanie mieszanki paliwowo-powietrznej o składzie bliskim stechiometrycznemu ( $\lambda = 1$ ).

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



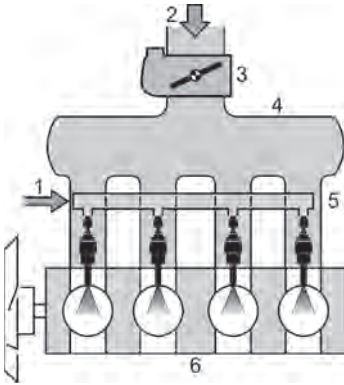
**Rys. 1.3.** Klasyfikacja układów wtrysku benzyny

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.

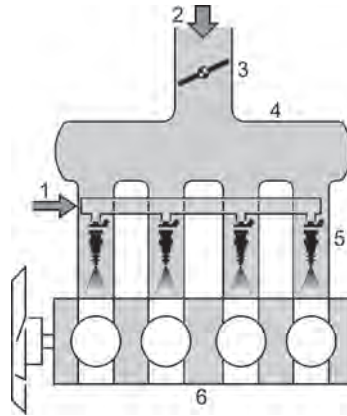
Sterowany elektronicznie wtrysk benzyny, ze względu na miejsce tworzenia mieszanki, dzieli się na dwa podstawowe rodzaje:

- 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]

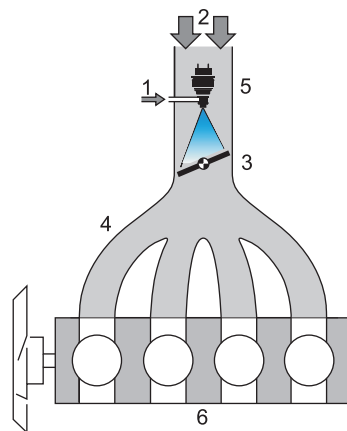
1 – paliwo, 2 – powietrze, 3 – przepustnica, 4 – kolektor dolotowy, 5 – wtryskiwacze paliwa, 6 – silnik

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.

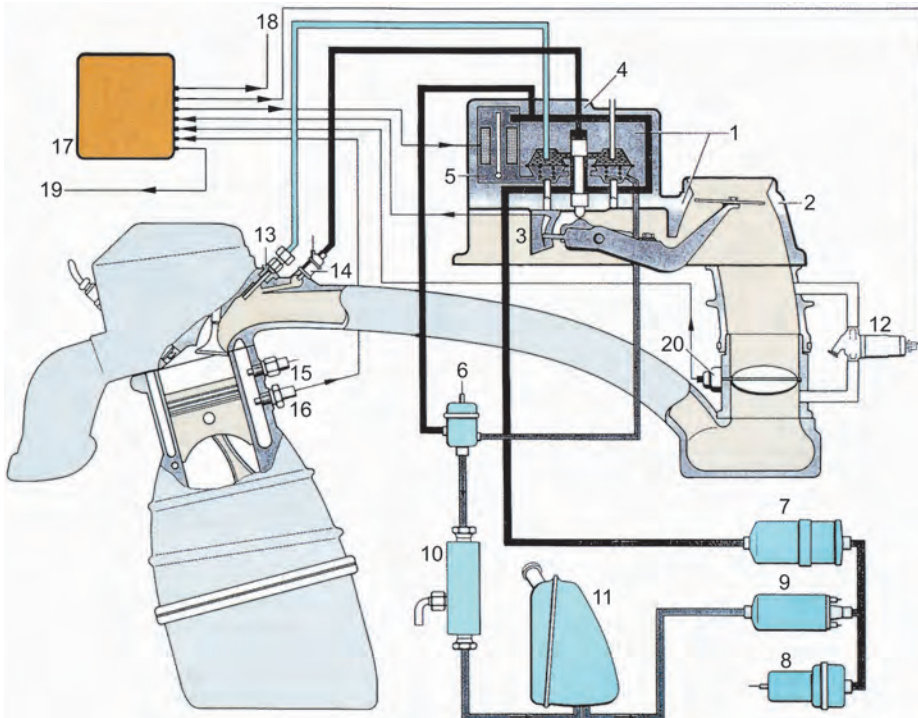
W pierwszych rozwiązaniach działanie elektronicznie sterowanych układów wtrysku benzyny było nadzorowane przez autonomiczny sterownik wtrysku, którego głównym zadaniem było określenie dawki wtryskiwanego paliwa. Rozwój elektronicznych mikroprocesorów oraz wprowadzenie coraz bardziej rygorystycznych przepisów 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:



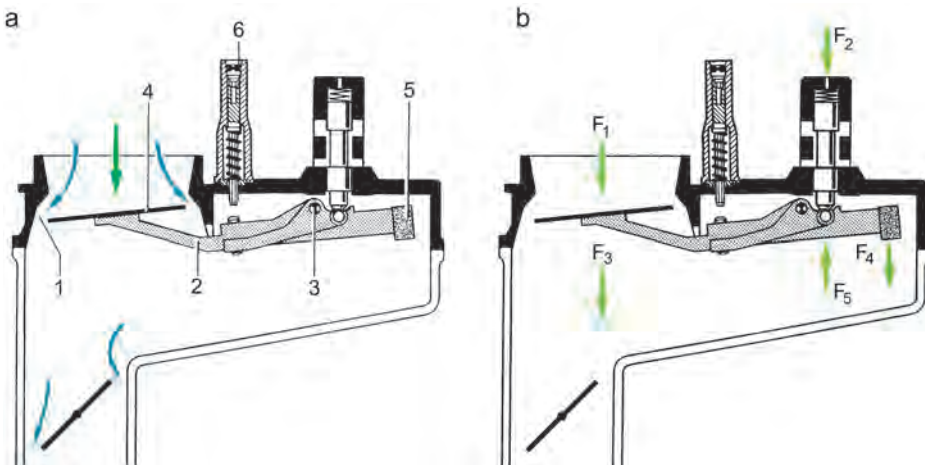
**Rys. 1.7.** Schemat mechanicznego pośredniego wielopunktowego układu wtrysku benzyny Bosch KE-Jetronic sterowanego mechaniczno-elektronicznie [36]

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 termiczny, 16 – czujnik temperatury cieczy chłodzącej, 17 – sterownik elektroniczny, 18 – do modułu zapłonu, 19 – do mikrowyłącznika, 20 – czujnik położenia przepustnicy

- zasilania paliwem,
- przygotowania mieszanki,
- wspomaganie 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).



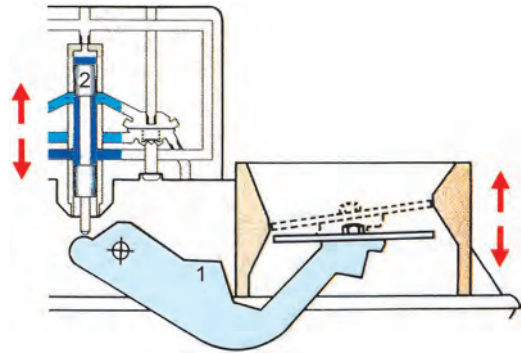
**Rys. 1.8.** Przepływomierz powietrza układu KE-Jetronic [36]

a – schemat działania

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

b – siły działające na przepływomierz

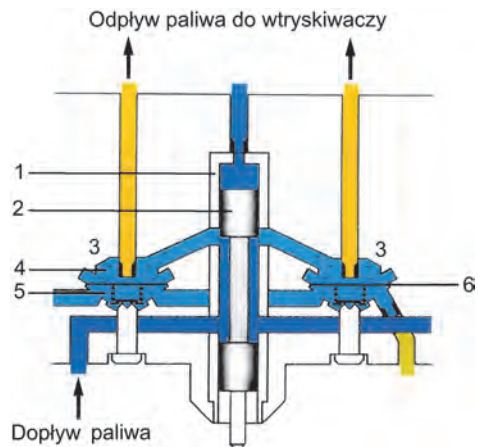
$F_1$  – siła oddziaływania zasysanego powietrza na tarczę spiętrzającą,  $F_2$  – siła oddziaływania ciśnienia paliwa,  $F_3$  – siła ciężkości dźwigni,  $F_4$  – siła ciężkości przeciwcieżzaru,  $F_5$  – siła nacisku dźwigni przepływomierza na tłok rozdzielacza paliwa



**Rys. 1.9.** Sposób mechanicznej regulacji podstawowego składu mieszanki [36]

1 – dźwignia, 2 – tłok sterujący

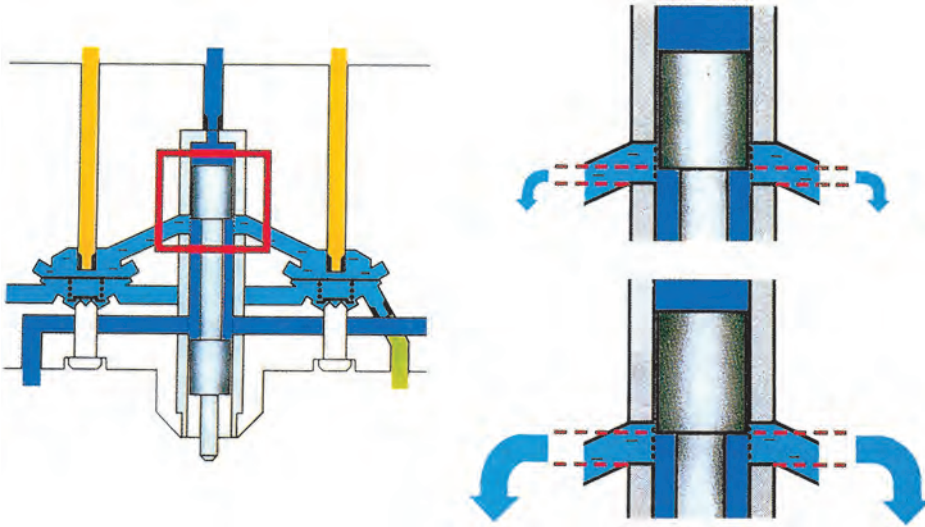
Wyrównoważenie tarczy wraz z jej ramieniem powoduje, że w przypadku braku przepływu powietrza (silnik unieruchomiony) tarcza przyjmuje położenie „zero”. Gdy zaczyna płynąć powietrze (uruchomienie silnika), jego dynamiczny napór na tarczę spiętrzającą powoduje jej uchylenie, odpowiednio do ilości zasysanego 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,



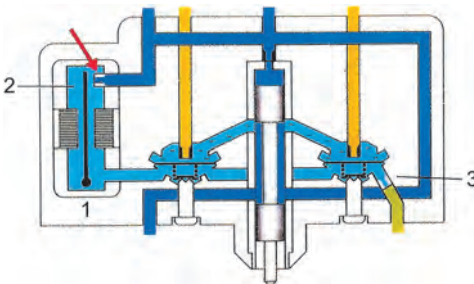
**Rys. 1.10.** Schemat rozdzielacza paliwa z zaworami różnicowymi [36]

1 – tuleja rozdzielacza, 2 – tłok sterujący, 3 – zawór różnicowy, 4 – komora górną, 5 – komora dolna, 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]

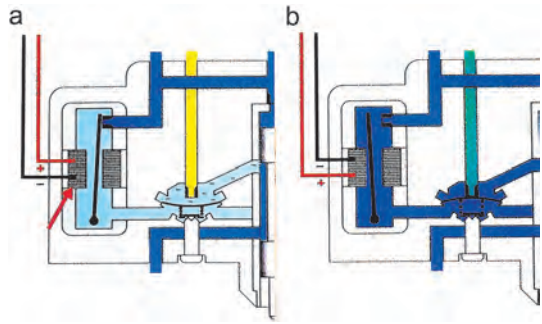
1 – nastawnik ciśnienia, 2 – płytka zaworu, 3 – dławik nieregulowany

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 odślonięta 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 płytka przyjmuje zmienne położenie względem otworu wlotowego paliwa do dolnych komór. Przystaniając ten otwór (rys. 1.13a), płytka 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.

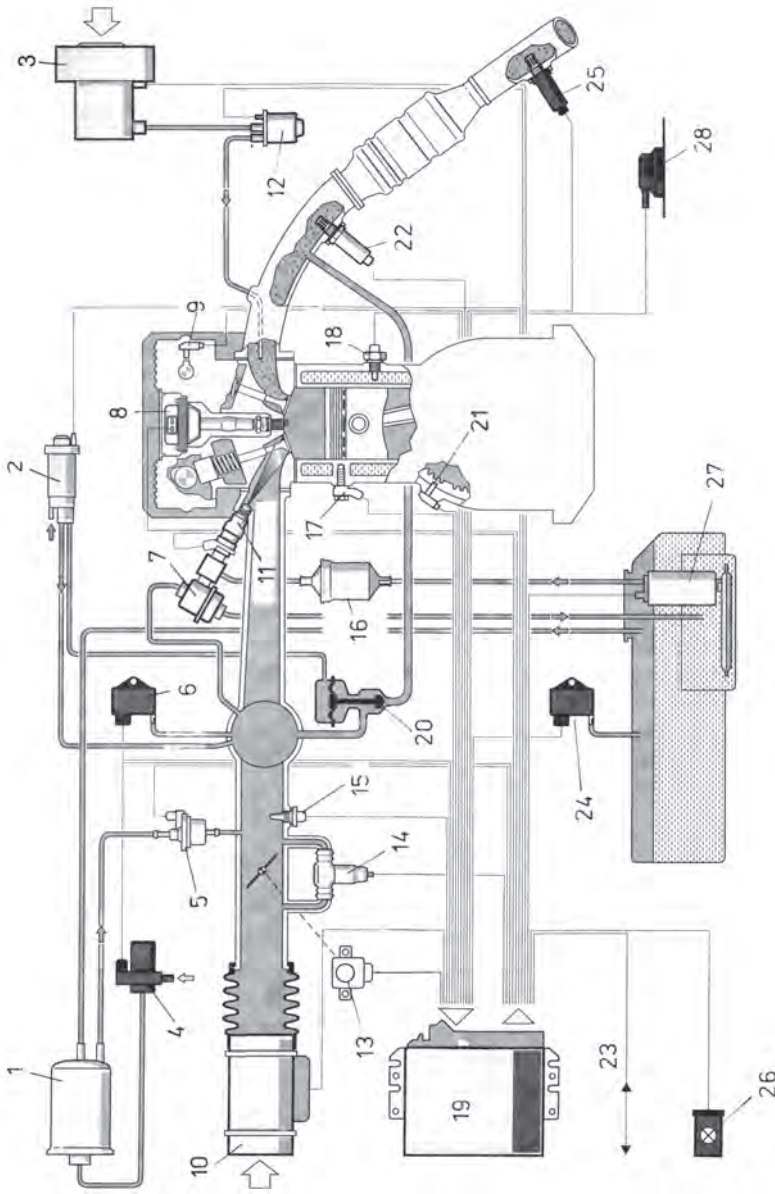
Układy mechaniczne są jednak podatne na zmianę charakterystyk w miarę zużywania się współpracujących części. Mimo wprowadzenia wspomaganie w postaci elektronicznej regulacji, charakteryzują się one zbyt małą dokładnością sterowania dawką paliwa, która we współczesnych silnikach uniemożliwia spełnienie 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 okolicie zaworów dolotowych.

Układy wielopunktowego wtrysku sterowanego elektronicznie wyróżniają się następującymi zaletami:

- dużą szybkością nadążania z doбором 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 recyrkulacji spalin, 3 – wentylator dołączania 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 dołączania 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 recyrkulacji 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

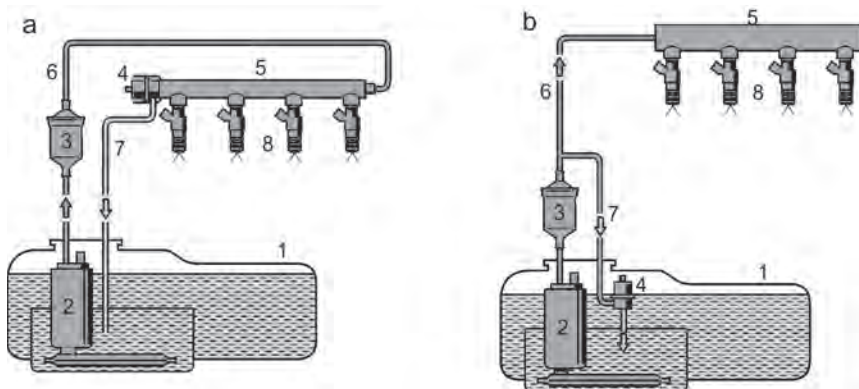
Zadaniem obwodu zasilania paliwem jest doprowadzenie pod określonym ciśnieniem i w odpowiedniej ilości paliwa ze zbiornika do wtryskiwaczy. W skład tego obwodu wchodzi:

- 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 tłoczone 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.

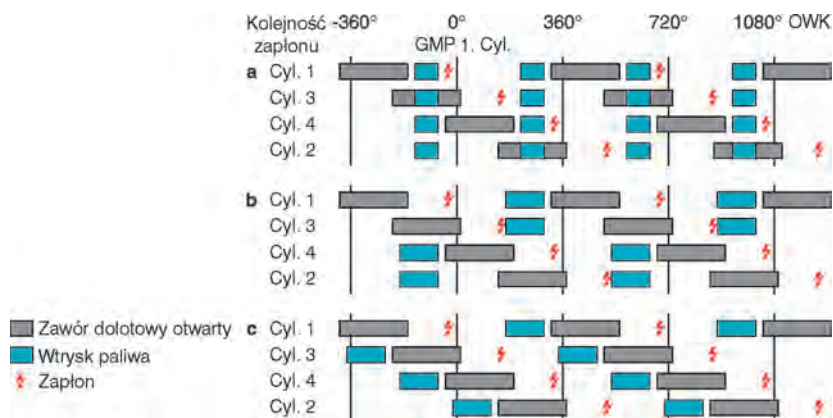
W odpływowych obwodach zasilania paliwem podstawę regulacji ciśnienia paliwa stanowi wartość ciśnienia w kanale dolotowym silnika. Połączony przewodem z kanałem dolotowym regulator zmienia ciśnienie paliwa w obwodzie tak, aby utrzymać stałą różnicę między ciśnieniem paliwa i ciśnieniem w kanale dolotowym. 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 zaprogramowanym kącie 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 wyptyw 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

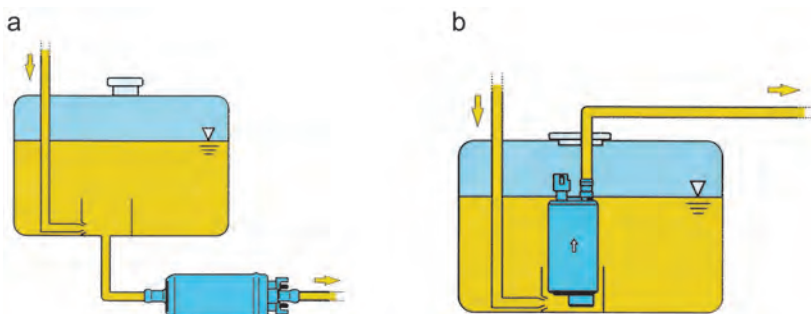
Zadaniem pompy paliwa w benzynowych układach wtryskowych jest tłoczenie pod określonym ciśnieniem paliwa ze zbiornika do kolektora paliwa (wtrysk wielopunktowy) lub zespołu wtryskowego (wtrysk jednopunktowy). Powszechnie stosuje się pompy o napędzie elektrycznym, charakteryzujące się małą liczbą części 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.

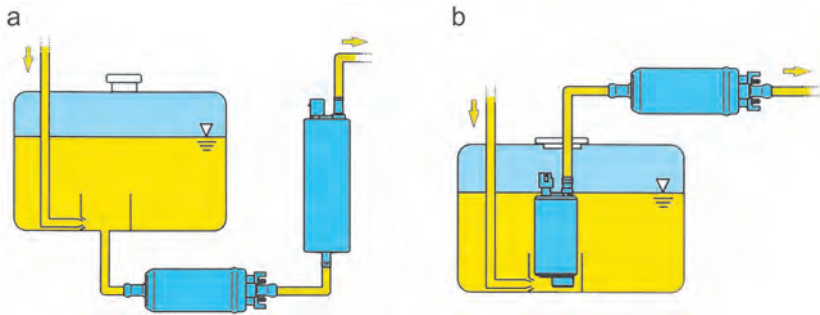
Umieszczenie pompy w zbiorniku wycisza hałas towarzyszący jej pracy oraz umożliwia dodatkowe chłodzenie pompy od zewnątrz. We współczesnych rozwiązaniach często umieszcza się pompę paliwa w zbiorniku razem z filtrem paliwa, czujnikiem poziomu paliwa, regulatorem ciśnienia oraz rezerwową komorą paliwa 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:



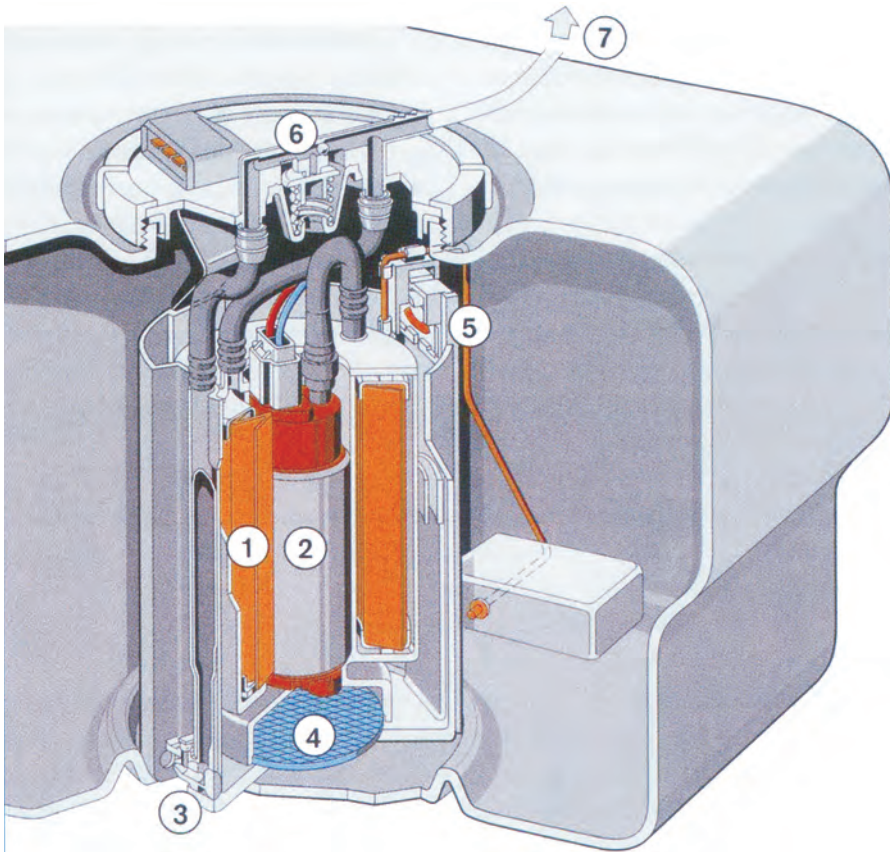
**Rys. 1.17.** Sposób umieszczenia pojedynczej pompy paliwa [38]

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.

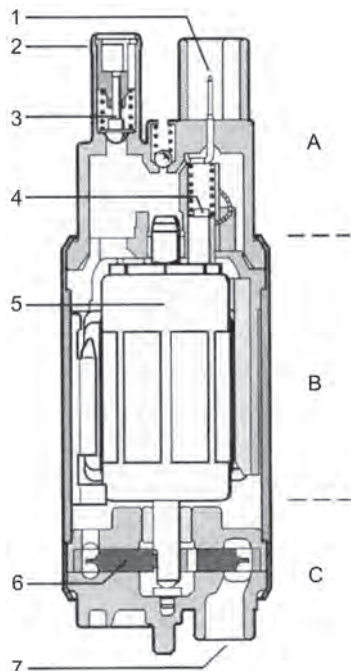
Elektryczna pompa paliwa składa się z trzech głównych części (rys. 1.20):

- 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.

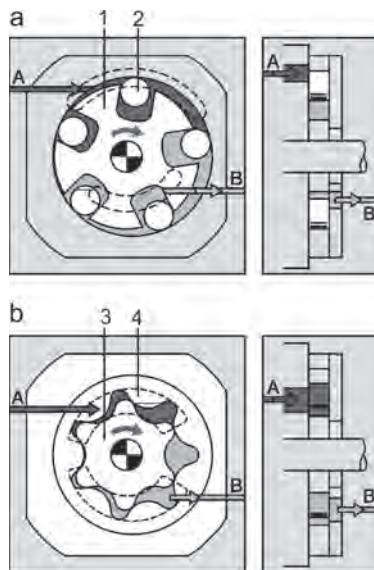
W pompie wyporowej wirujące elementy zasysają paliwo do zamkniętej przestrzeni, w której ulega ono sprężeniu, a następnie jest kierowane na stronę tłoczącą. Pompy wyporowe dobrze działają przy niskim napięciu, wytwarzając wysokie ciśnienie w układzie (400 kPa i więcej). Najczęściej stosuje się dwa typy 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-



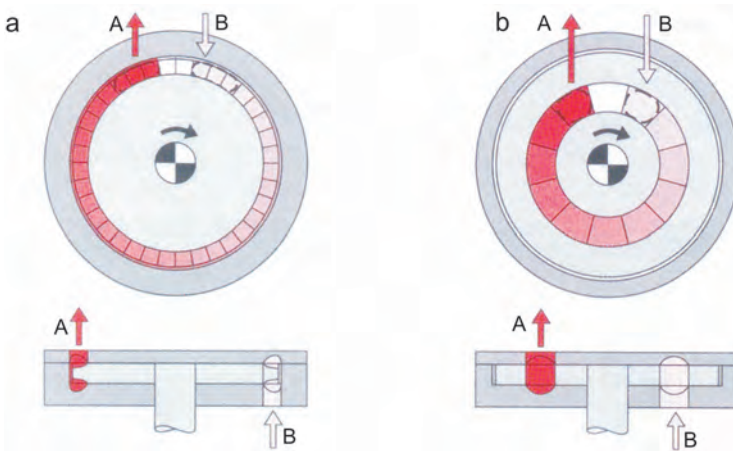
**Rys. 1.20.** Schemat elektrycznej pompy paliwa [42]

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 (mimośrodowa), 2 – rolki, 3 – wirnik wewnętrzny, 4 – wirnik zewnętrzny (mimośrodowy),  
A – otwór wlotowy, B – otwór wylotowy



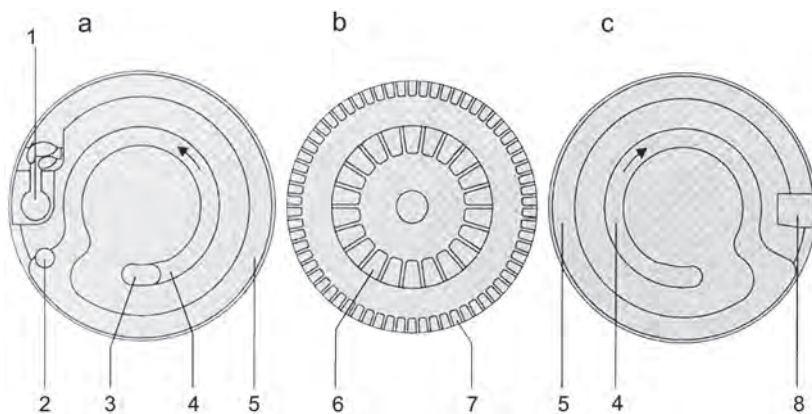
**Rys. 1.22.** Schematy tłoczenia paliwa w pompach przepływowych [42]

*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.

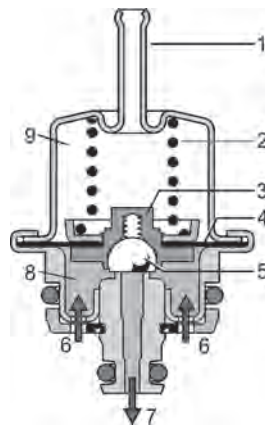
### Regulator ciśnienia paliwa

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