

## Development of timing devices in spark ignition piston-type internal combustion engines

*Abstract: The paper discusses some timing device constructions which are applied in modern piston-type engines. The solutions are both commonly applied and freshly introduced. The main goal of the paper is to present designs and principles of operation of chosen solutions as well as to show evolution of the development tendencies over the last decades. Continuous research on the improvement of piston-type engine efficiency and performances as well as on the limitation of harmful exhaust emission is clear visible also in investigation on the charge exchange process. Importance of this subject is confirmed by a great number of innovative methods to control the valve system operation.*

Key words: *timing devices, phase variation, valve stroke variation, charge exchange*

## Rozwój układów rozrządu tłokowych silników spalinowych o zapłonie iskrowym

*Streszczenie: W artykule omówionych jest kilka rozwiązań konstrukcyjnych układów rozrządu, które znalazły zastosowanie we współczesnych silnikach tłokowych. Są to zarówno rozwiązania stosowane dość powszechnie, jak również takie, które dopiero znajdują zastosowanie. Celem niniejszego artykułu jest przybliżenie budowy oraz zasady działania wybranych rozwiązań a także uwidocznienie pewnych tendencji rozwojowych, jakie miały miejsce na przestrzeni ostatnich kilku dziesięcioleci. Ciągłe poszukiwanie metod podniesienia sprawności, osiągnięć oraz obniżenia poziomu emisji związków szkodliwych tłokowego silnika spalinowego jest mocno widoczne również w obszarze badań nad procesem wymiany ładunku. Potwierdzeniem wagi zagadnienia jest znaczna ilość wprowadzonych nowatorskich metod sterowania pracą układu zaworowego.*

Słowa kluczowe: *układy rozrząd, zmienność faz, zmienność skoku zaworów, wymiana ładunku*

### 1. Wprowadzenie

Do niedawna podstawowym zadaniem układu rozrządu było sterowanie układem zaworowym tak by spełniał zasadę cyklu pracy tłokowego silnika spalinowego. Stałe jednoznaczne mechaniczne połączenie ruchu zaworów i położenia wału korbowego skutkowało niezmiennością faz rozrządu i skoku zaworów. Wymagania dotyczące współczesnych tłokowych silników nakładają na układ rozrządu kilka dodatkowych funkcji czego zasadniczym efektem jest podwyższenie sprawności, osiągnięć silnika spalinowego oraz ograniczenie emisji związków toksycznych. Te dodatkowe funkcje nałożone na układ rozrządu to przede wszystkim możliwość sterowania czasem otwarcia zaworów, zmiennością faz otwarcia w funkcji kąta obrotu wału korbowego, oraz regulacją stopnia otwarcia zaworów. W chwili obecnej istnieje kilka tego typu rozwiązań konstrukcyjnych które znalazły szerokie zastosowanie w silnikach pojazdów użytkowych. Choć rozwiązania tego typu pociągają za sobą wprowadzenie istotnych zmian konstrukcyjnych silnika, podnoszą koszty produkcji, wymuszają zmiany dotyczące procesu przygotowania mieszanki, to należy oczekiwać iż będą stosowane coraz powszechniej ponieważ służą poprawie procesu napełniania wymiany ładunku i spalania. Najbardziej widoczne zmiany dotyczą sposobu sterowania pracą zaworów, przekazywania

napędu, który najczęściej wykorzystuje znane rozwiązania przekładni: pasowej, łańcuchowej czy zębatej. Obieg pracy silnika cztero i dwusuwowego wymaga synchronizacji, procesu napełnienia świeżym ładunkiem i procesu wylotu spalin z ruchem tłoka, a zatem z położeniem wału korbowego. Początek i koniec każdego z tych procesów jest sterowany układem rozrządu, decydującym o chwili otwarcia i zamknięcia zaworów dolotowych i wylotowych. W niektórych rozwiązaniach silników dwusuwowych rolę układu rozrządu przejmuje krawędź denka tłoka, odsłaniająca lub zamykająca okna dolotowe i wylotowe. W pojazdach są stosowane obecnie prawie wyłącznie silniki czterosuwowe. Silniki dwusuwowe z przepłukaniem przez skrzynię korbową, bardzo często stosowane w popularnych prostych samochodach osobowych w latach międzywojennych i pierwszych dziesięcioleciach powojennych, przestały być stosowane ze względu na małą sprawność i skażenie środowiska. Pozostały one w zastosowaniu do lekkich motocykli, motorynek i skuterów. Coraz częściej pojawia się koncepcja silnika dwusuwowego, w którym rozrząd jest sterowany mechanizmem zaworowym. Podstawowe zagadnienia teorii sterowania ruchem zaworów w tym przypadku są bardzo zbliżone do tych, które występują w silnikach czterosuwowych.

## 2. Współczesne układy rozrządu

Stale, klasyczne połączenie wału rozrządu z wałem korbowym silnika powoduje, że zawory dolotowe i wylotowe mają ściśle określone fazy otwierania i zamykania. Rozwiązanie to jest stosowane dzisiaj w większości silników. Zjawiska występujące w trakcie dolotu i wylotu zależą jednak od warunków pracy silnika, tj. prędkości obrotowej i obciążenia. Współczesne układy napędu rozrządu coraz częściej są wyposażone w mechanizmy zmieniające fazy rozrządu w zależności od prędkości obrotowej silnika. Najczęściej dotyczy to zmian chwili otwarcia i zamknięcia zaworów dolotowych w silnikach niedoładowanych z wielopunktowym wtryskiem do kolektora dolotowego. W silnikach tych przy małych prędkościach obrotowych dąży się do wcześniejszego otwarcia w efekcie i zamknięcia zaworów dolotowych, co pozwala na lepsze przepłukanie komory spalania w czasie współotwarcia zaworów. Jednocześnie wcześniejsze zamknięcie bliższe DMP zaworów dolotowych w początkowej fazie suwu sprężania zapobiega utracie ładunku przez jeszcze otwarty zawór dolotowy, wobec słabo rozwiniętego dynamicznego napływu przy małych prędkościach obrotowych silnika. Inaczej przebiegają zjawiska przy dużych prędkościach obrotowych silnika. Wówczas dąży się do późniejszego otwierania a zatem i zamykania zaworów dolotowych. Skraca się w ten sposób okres współotwarcia zaworów. Dobrze rozwinięty proces dynamicznego wysysania resztek spalin przez układ wylotowy przy zbyt wczesnym otwarciu zaworu dolotowego powodowałby w tych warunkach utratę części świeżego ładunku do kolektora wylotowego. Towarzyszące temu późniejsze zamknięcie zaworu dolotowego nie będzie skutkowało cofaniem świeżego ładunku do kolektora dolotowego, gdyż ciśnienie dynamiczne napływającego czynnika jest na tyle duże, iż przewyższa nieznacznie wzrastające ciśnienie w cylindrze, wynikające z rozpoczętego ruchu tłoka ku gorze w suwie sprężania.

W chwili obecnej istnieje wiele rozwiązań konstrukcyjnych pozwalających na uzyskanie zmiennych faz rozrządu, a tym samym dostosowanie przebiegu wymiany ładunku oraz procesu przygotowania mieszanki w sposób optymalny do obciążenia oraz prędkości obrotowej silnika z wyeliminowaniem zjawisk niekorzystnych.

Pierwszy z nich pojawił się pod koniec lat 60 – tych dwudziestego wieku.

Zaawansowanie kolejnych rozwiązań systemów napędu rozrządu można podzielić na kilka poziomów:

-bez zmian faz rozrządu oraz wzniosów zaworów  
-z regulacją faz rozrządu np. BMW Vanos, Toyota VVTi, Porsche VarioCam.

-z regulacją faz rozrządu i stopniową regulacją wzniosów zaworów np. Audi Valvelift, Honda VTEC, Porsche VarioCam Plus, Toyota VVTL-i.

-z regulacją faz rozrządu i bezstopniową regulacją wzniosów zaworów: BMW Valvetronic, Fiat MultiAir, Nissan VVEL, Toyota Valvematic VVTi. Ze względu na mnogość rozwiązań w artykule zostanie omówionych kilka wybranych systemów.

### 2.1. BMW Vanos

Jednym z pierwszych sposobów był system dwustopniowej regulacji Vanos (rys.1) stosowany w silnikach samochodów BMW. W późniejszych rozwiązaniach system ten pozwalał na płynną, bezstopniową regulację faz rozrządu. Wałek rozrządu 2 zmienia swoje położenie kątowe względem koła napędu 3 dzięki zastosowaniu sprzęgła wykorzystującego podwójne zazębienie śrubowe o przeciwnym kierunku ułożenia linii śrubowej zębów. Osiowy przesuw tulei 4 sterującej sprzęgłem, realizowany jest przy pomocy siłownika hydraulicznego 5. O położenie tego siłownika decyduje jednostka sterująca na podstawie prędkości obrotowej silnika poprzez uruchomienie napływu oleju zaworem hydraulicznym 1.

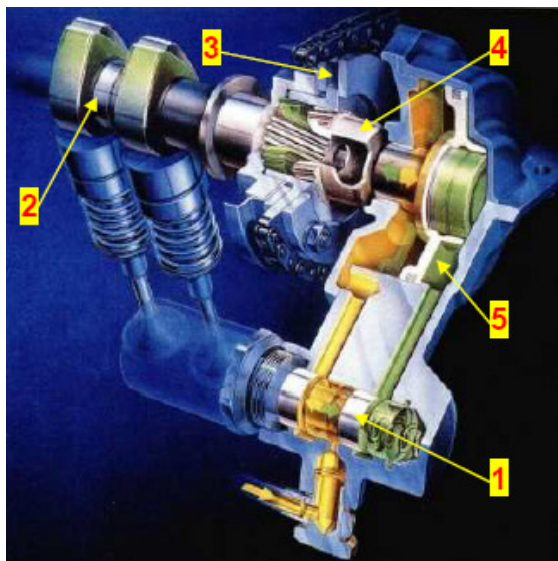


Fig.1. Variable valve timing system of BMW Vanos[1]  
1-hydraulic valve, 2- camshaft, 3-wheel drive shaft,  
4-clutch control sleeve, 5-hydraulic cylinder piston

Rys. 1. System zmiennych faz rozrządu BMW Vanos [1]  
1-zawór hydrauliczny, 2-wałek rozrządu, 3-koło napędu  
wałka, 4-tuleja sterująca sprzęgłem, 5-tłok siłownika  
hydraulicznego

### 2.2. Audi Valvelift

Kolejnym rozwiązaniem jest system regulacji skoku otwierania zaworów ssących opracowany przez firmę Audi pod nazwą Valvelift System.

Audi wykorzystuje tę technologię w swoich silnikach V6-FSI z bezpośrednim wtryskiem. Wałek rozrządu zaworów ssących 1 (rys.2.1), oraz (rys.2.2) połączony jest wielowypustowo z tuleją 2 na której umieszczone są po dwie krzywki 3.

Tuleja wyposażona jest również w spiralne rowki cylindryczne 5 w które wsuwany jest trzpień siłownika elektromagnetycznego 6, dzięki czemu tuleje 2 z krzywkami przesuwane są osiowo w stosunku do wałka rozrządu. Przemieszczanie tulei o siedem milimetrów pozwala na współpracę zaworów z obiema krzywkami. W zakresie niskich prędkości obrotowych silnika oraz małych obciążeniach tuleja przesuwana jest w lewo (rys.2.1) co pozwala na współpracę zaworu z krzywkami o mniejszym profilu przez co skok jednego zaworu wynosi zaledwie 2, a drugiego 5,7 milimetra. Wraz ze wzrostem obciążenia i prędkości obrotowej silnika musi nastąpić poprawa napełnienia co staje się możliwe w chwili przesunięcia tulei w przeciwnym kierunku (rys. 2.2). Wówczas krzywka o wyższym profilu powoduje uchylenie zaworów o 11 milimetrów. Przełączanie między wzniosami zaworów zależy od obciążenia i odbywa się w zakresie od 700 do 4000 obrotów na minutę wału korbowego. Dzięki zmianie skoku zaworów ssących uzyskano możliwość wpływania na proces napełnienia cylindra i uzależniono go do warunków obciążenia i prędkości obrotowej silnika. Zmiana ta wpłynęła również korzystnie na jakość przygotowania mieszanki w zakresie niskich prędkości obrotowych, w wyniku wzrostu prędkości przepływu zassanego powietrza na skutek niewielkiego uchylenia zaworów ssących.

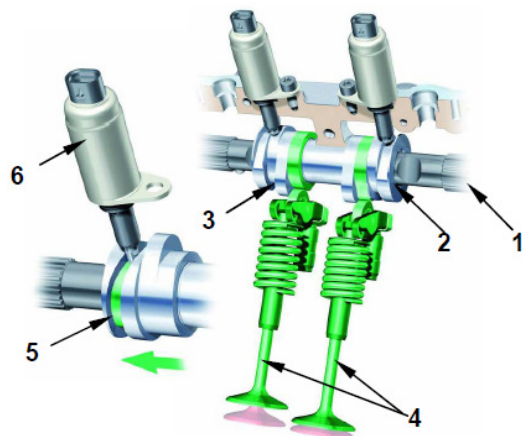


Fig. 2.1 The valve lift system Audi Valvelift sleeve shifted to the left [2]

1-camshaft, 2-sliding sleeve, 3-cam, 4- intake valves, 5-spiral groove, 6-electromagnetic actuator

Rys. 2.1 System zmiany skoku zaworów Audi Valvelift tuleja przesunięta w lewo [2]

1-walek rozrządu, 2-tuleja przesuwna, 3-krzywki, 4-zawory ssące, 5-spiralny rowek, 6-siłownik elektromagnetyczny

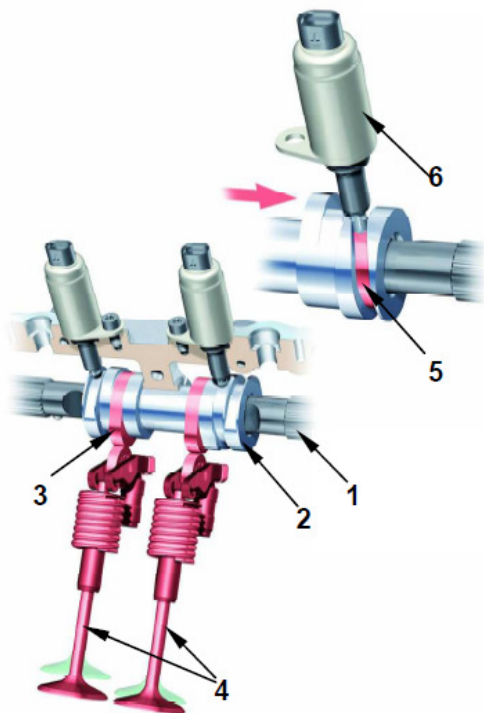


Fig. 2.2 The valve lift system Audi Valvelift sleeve shifted to the right [2]

1-camshaft, 2-sliding sleeve, 3-cam, 4- intake valves, 5-spiral groove, 6-electromagnetic actuator

Rys. 2.2 System zmiany skoku zaworów Audi Valvelift tuleja przesunięta w prawo [2]

1-walek rozrządu, 2-tuleja przesuwna, 3-krzywki, 4-zawory ssące, 5-spiralny rowek, 6-siłownik elektromagnetyczny

### 2.3. Honda VTEC

Rozwiązanie prezentowane przez Firmę Honda również sprowadza się do wpływu na zmianę faz rozrządu jak również do uzyskania możliwości sterowania skokiem zaworów ssących. Opisane rozwiązanie znajduje się w silniku posiadającym, po dwa zawory ssące i dwa wydechowe w każdym z 4 cylindrów. System VTEC w tej wersji steruje tylko pracą zaworów ssących. Każdy z 8 zaworów ssących silnika posiada oddzielną krzywkę i dźwignię. Przy małych i średnich prędkościach obrotowych silnika zawory ssące uchyłane są niesymetrycznie. Wynika to z kształtu krzywek 1 i 2 (rys.3) zawór dolotowy sterowany przez krzywkę 1 otwiera się tylko na tyle, by uniknąć przegrzewania się gniazd zaworowych. Drugi sterowany przez krzywkę 2 ma również skrócony skok, co skutkuje wzrostem prędkości przepływu zasysanej mieszanki. Zaworowanie jest tak duże, że umożliwi spalenie mieszanki o zubożonym składzie. Przy wzroście obciążenia silnika komputer sterujący otwiera zawór elektromagnetyczny, doprowadzając do dźwigni zaworowych olej pod ciśnieniem, co skutkuje przesunięciem sworznia blokującego 5. Dźwignie zaworów dolotowych 4 każdego z cylindrów zostają dzięki temu spięte w jeden mechanizm, a do

pracy wchodzi trzecia środkowa dźwignia zaworowa współpracująca z krzywką 3 o najwyższym profilu. Oba zawory dolotowe zaczynają wtedy pracować symetrycznie a ich skok jest największy, jednocześnie mieszanka paliwowo powietrzna zostaje wzbogacona do składu stechiometrycznego.

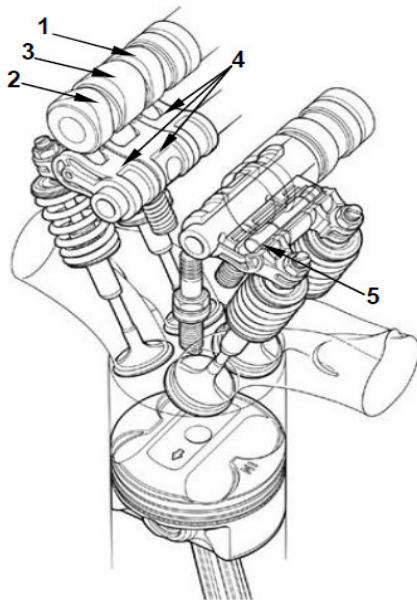


Fig. 3. Variable valve timing and variable intake valve lift of Honda VTEC [3]

1,2,3-cams of different profiles, 4- rocker arms, 5- locking pin

Rys. 3. System zmiennych faz rozrządu i zmiennym skoku zaworów ssących Honda VTEC [3]

1,2,3-krzywki o różnym profilu, 4-dźwignienki zaworowe, 5-sworzeń blokujący

## 2.4. MultiAir.

MultiAir jest elektro-hydraulicznym systemem otwierania zaworów ssących. System wykorzystuje wałek rozrządu 1 (rys.4) który w tradycyjny sposób steruje pracą zaworów wylotowych, natomiast skok zaworów dolotowych może być regulowany w sposób płynny. Skok zaworów dolotowych realizowany jest na drodze hydraulicznej. Krzywka 3 współpracuje z dźwignką 4 i dalej tłokiem pompy hydraulicznej 5. Upustowy zawór elektromagnetyczny 6 decyduje o upuszczeniu oleju przetłoczonego do siłowników hydraulicznych skoku zaworów 7. Kiedy zawór elektromagnetyczny jest zamknięty, objętość oleju nie zmienia się dzięki czemu zawory dolotowe realizują procedurę otwierania narzuconą przez mechaniczną krzywkę 3. Otwarcie upustu przez zawór elektromagnetyczny skutkuje zmniejszeniem objętości oleju w układzie, a zawory dolotowe przestają podążać za krzywką i zamykają się pod wpływem działania sprężyn. Końcowa część fazy zamykania jest kontrolowana przez specjalny hamulec hydrauliczny dla zapewnienia łagodnego kontaktu z gniazdem zaworowym.

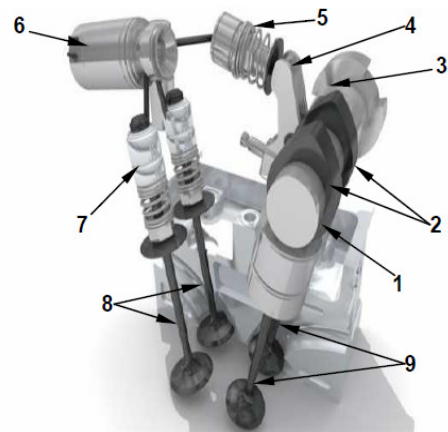


Fig. 4. Fiat MultiAir system [4]

1-camshaft, 2-exhaust valve cam, 3-intake valve cam, 4-rocker arm, 5-hydraulic cylinder,6-solenoid valve, 7-hydraulic cylinder service valve, 8-intake valves

Rys. 4. System MultiAir Fiat[4]

1- wałek rozrządu, 2- krzywki zaworów wydechowych, 3- krzywka zaworów ssących, 4- dźwignienka zaworowa, 5- siłownik hydrauliczny, 6- zawór elektromagnetyczny, 7- siłownik hydrauliczny ruchu zaworów, 8- zawory ssące

Przez kontrolę czasu otwierania i zamykania zaworu elektromagnetycznego można z łatwością uzyskać szeroki zakres optymalnych procedur sterowania ruchem zaworów dolotowych. Rozwiązanie wprowadzone przez Fiata daje dużo większe możliwości niż te omówione wcześniej. Pozwala on na niezależnienie skoku zaworów ssących od profilu krzywki dzięki czemu zawory mogą być otwierane i zamykane nawet dwukrotnie w czasie jednego cyklu napełniania, poza tym wcześniejsze otwarcie zaworu nie musi skutkować wcześniejszym jego zamknięciem, tak jak to miało miejsce w opisanych wcześniej rozwiązaniach, co zdecydowanie poprawia proces napełniania i w skrajnie różnych warunkach obciążenia i prędkości pozwala na optymalne sterowanie przebiegiem zmian faz rozrządu a także czasoprzekrojów otwarcia zaworów.



Fig.5. Capabilities of the Fiat MultiAir system Time sections [4]

Rys. 5. Możliwości systemu MultiAir Fiat Czasoprzekroje [4]

### 3. Rozwiązania układów rozrządu bez sprężyn zaworowych

Istnieje kilka rozwiązań konstrukcyjnych układów rozrządu w których śrubowe stalowe sprężyny zaworowe zostały wyeliminowane. Zadanie zamykania zaworów i uszczelnienia komory spalania zostało przejęte przez np. siłownik elektromagnetyczny, sprężynę gazową, czy mechanizm krzywkowy znany pod nazwą desmodomowy.

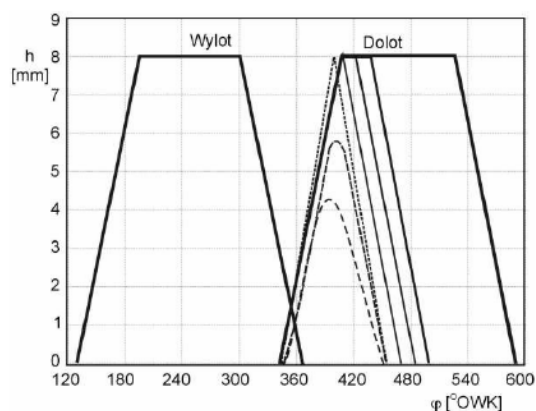
Rozwiązania tego typu znajdują szczególnie zastosowanie w silnikach szybkoobrotowych, najczęściej motocyklowych, których prędkość sięga 20 000 obr/min. Przy tak wysokich prędkościach obrotowych stalowe sprężyny śrubowe nie są w stanie prawidłowo zamykać zaworów. Głównie chodzi tu o zjawisko rezonansu który wprawia w drgania samą sprężynę a przez to również współpracujący z nią zawór. Efektem jest brak płynnej pracy zaworów, brak właściwego zamykania się zaworu i przylegania do gniazda w chwili gdy położenie krzywki wałka rozrządu odpowiada pełnemu zamknięciu. Poza tym sprężyna stalowa podnosi masę elementów ruchomych wpływając tym samym na wzrost sił bezwładności pochodzących od tychże elementów, co nie jest bez znaczenia przy tak wysokich prędkościach obrotowych.

#### 3.1. Sterowanie elektromagnetyczne

Korzystniejszym rozwiązaniem od sprężyny śrubowej wydaje się być sterowanie elektromagnetyczne.

Konstrukcja elektromagnetycznie sterowanego układu rozrządu pozbawiona jest wałka rozrządu, dźwigierek, popychaczy. Wyeliminowana jest również potrzeba stosowania zespołu przepustnicy powietrza. Zmieniane są nie tylko fazy rozrządu lecz przede wszystkim czasoprzekroje wzniosu

zaworu. Zwiększenie współczynnika napełnienia możliwe jest przez zbliżenie przebiegu czasoprzekrojów wzniosu zaworu do przebiegu trapezowego. Przebieg prostokątny jest nieosiągalny ze względu na bezwładność masy zaworu.



Rys. 7. Possibilities to develop time sections of electromagnetically controlled valves [5]

Rys. 7. Możliwości kształtowania czasoprzekrojów zaworów sterowanych elektromagnetycznie [5]

Elektroniczne sterowanie ruchem zaworów rozrządu umożliwia bezprzepustnicową regulację napełniania. Ponadto, dzięki odpowiednim zmianom przebiegu wzniosu zaworu dolotowego i wylotowego w funkcji obciążenia i prędkości można wpływać na przestrzenny rozkład mieszanki w cylindrze. Jak wynika z zasady działania mechanizmu sterującego pracą zaworów, do pełnego zamknięcia oraz otwarcia dojdzie w chwili podania napięcia na cewki elektromagnesów 4, gdzie górny elektromagnes odpowiedzialny będzie za zamykanie, natomiast dolny za otwieranie zaworu. W chwili, gdy elektromagnesy nie są zasilane a w związku z tym zwora 3 nie przemieszcza się pod wpływem siły elektromagnetycznej, zawór pozostaje uchylony i

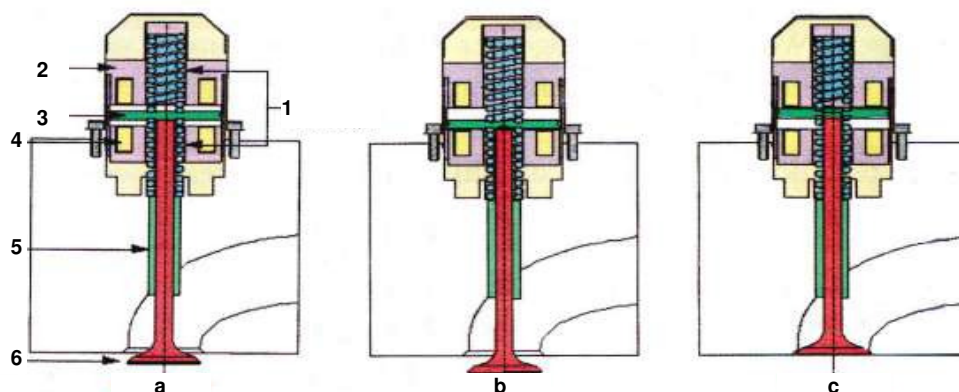


Fig. 6. Layout of the electromagnetic valve control [5]

a- valve reaped (without power) b- valve opened (lower electromagnet powered) c- valve closed (upper electromagnet powered)  
1- centering spring, 2- electromagnet, 3- armature, 4- coil, 5- valve guide, 6- valve

Rys. 6. Układ elektromagnetycznego sterowania skokiem zaworów [5]

a- zawór uchylony (bez zasilania) b- zawór otwarty (zasilany dolny elektromagnes) c- zawór zamknięty (zasilany górny elektromagnes)  
1- sprężyna centrująca, 2- elektromagnes, 3- zwora, 4- cewka, 5- prowadnica zaworowa, 6- zawór

utrzymywany w tej pozycji przez sprężyny centrujące 1 (rys.6). Zanik prądu płynącego w górnej cewce skutkuje redukcją sił pola magnetycznego i przewagą siły sprężyny. Rozpoczyna się ruch zaworu w kierunku otwarcia (rys.6-b). Po osiągnięciu położenia całkowitego otwarcia stałe pole magnetyczne przyciska sprężynę i utrzymuje zawór. Analogicznie dzieje się w chwili zamykania zaworu. W przypadku siłownika zaworu wylotowego siła otwarcia zaworu musi pokonać siły naporu ciśnienia gazu roboczego. Powoduje to konieczność zwiększenia o około 20% sztywności sprężyny w stosunku do siłownika zaworu dolotowego, a tym samym zwiększenie rozmiarów siłownika. Jednakże w celu unifikacji konstrukcji silnika często stosuje się identyczne siłowniki.

### 3.2. Sprężyna pneumatyczna

W rozwiązaniu tym stalową sprężynę śrubową zastąpiono sprężyną gazową. Rozwiązanie to jako pierwsze wprowadził Renault w bolidzie Formuły 1 i jest ono stosowane do dnia dzisiejszego. Ruch zaworu 1 (rys.8) w kierunku otwarcia wymuszany jest krzywką wałka rozrządu, towarzyszy temu sprężanie gazu najczęściej azotu w cylindereku 2. Zawór połączony jest z przemieszczającym się tłoczkiem 3. Za powrót zaworu do pozycji zamknięcia oraz utrzymanie w tej pozycji

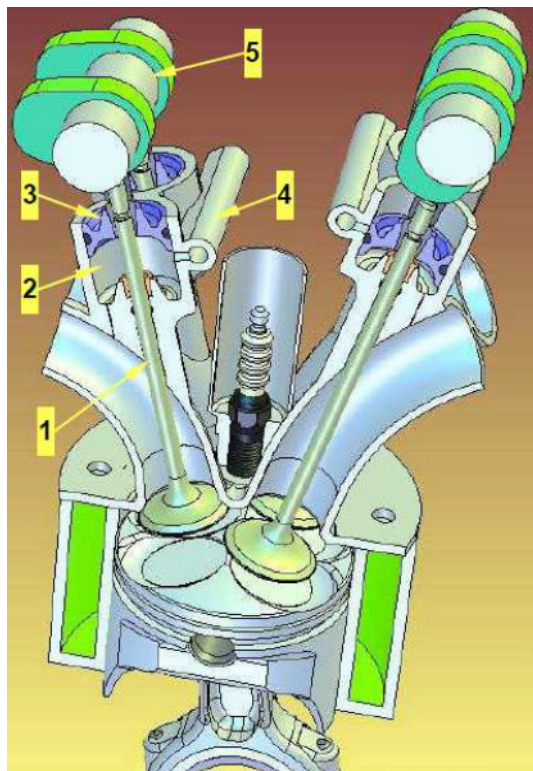


Fig. 8. Pneumatic spring [6]

1-valve, 2-cylinder, 3-piston, 4-common gas terminal,  
5-camshaft

Rys. 8. Sprężyna pneumatyczna [6]

1- zawór, 2-cylinderek, 3-tłoczek,  
4-listwa zbiorcza gazu, 5-walek rozrządu

odpowiedzialne jest ciśnienie azotu, którego wartość może być regulowana w szerokim zakresie. Możliwość kształtowania sztywności sprężyn gazowych pozwala na właściwe dopasowanie charakterystyki sprężystości do prędkości obrotowej silnika.

Pewną niedogodnością takiego rozrządu jest konieczność napełnienia cylinderek przed uruchomieniem silnika, oraz występujące nie szczelności, co pociąga za sobą konieczność uzupełniania gazu z dodatkowego zbiornika. Poza tym sprężyna powietrzna nie zapewnia obrotu zaworu wokół własnej osi, co może powodować nierównomierne zużywanie współpracujących powierzchni, przylgni zaworu i gniazda.

### 3.3. Rozrząd desmodromowy

Pomysł wyeliminowania stalowej sprężyny śrubowej i zastąpienie go układem dźwigni i krzywek opracowywany był już pod koniec dziewiętnastego wieku i dotyczył rozwiązań patentowych zastosowanych w silnikach przez Gustava Meesa. Działanie takiego układu polega na tym, że każdy zawór 1 (rys.9) sterowany jest dwiema dźwigienkami, jedną otwierającą, 5 która współpracuje z krzywką 4, i jedną wymuszającą jego zamknięcie 3 współpracującą z krzywką 2. Układ ten dzięki precyzyjnemu sterowaniu pracą zaworów pozwala na osiągnięcie przez silnik dużych prędkości obrotowych, co jest szczególnie ważne w przypadku wysokoobrotowych tłokowych silników spalinowych. W chwili obecnej ten rodzaj sterowania pracą zaworów nie jest zbyt popularny ze względu na dość złożoną konstrukcję wymagającą stosowania dodatkowych dźwigni i krzywek, co wpływa na zwiększenie mas i sił bezwładności w układzie napędu zaworów. Zaawansowana technicznie konstrukcja, wysoka cena, oraz konieczność precyzyjnej regulacji luzu zaworowego sprawiają, że został rozpowszechniony tylko w sportowych rozwiązaniach silników motocyklowych, których prędkość obrotowa sięga 20 000 obr/min. Najważniejsze zalety systemu desmodromowego to wyeliminowanie strat mocy silnika wynikających z pokonywania oporu sprężyny zaworu oraz zapewnienie ciągłego kontaktu pomiędzy zaworem a popychającymi je dźwigienkami podczas pracy przy bardzo wysokich obrotach silnika a zatem precyzyjnego sterowania pracą zaworów.

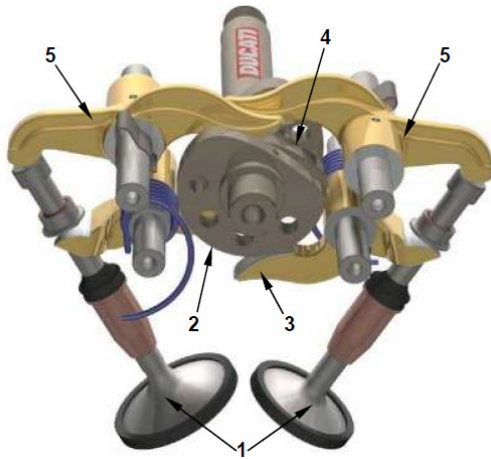


Fig. 9. Ducati desmodromic valve-gear system [7]  
1-valves, 2-locking cam, 3-closing lever, 4-opening cam,  
5-opening lever

*Rys. 9. Rozrząd desmodromowy Ducati [7]  
1- zawory, 2- krzywka zamykająca, 3- dźwignienka  
zamykająca, 4- krzywka otwierająca, 5- dźwignienka otwierająca*

#### 4. Podsumowanie

W konstrukcji tłokowego silnika spalinowego pojawia się coraz więcej rozwiązań odmiennych od dotychczasowych, od szeregu lat stosowanych

konwencjonalnych rozwiązań. Jednym z zespołów podlegających daleko idącym zmianom jest układ rozrządu. Klasyczne standardowe rozwiązanie wymuszenia ruchu zaworów polegało na trwałym mechanicznym połączeniu wału korbowego z wałem rozrządu i dalej z zaworami. Rozwiązania te przez dziesięciolecia charakteryzowały się niezmiennością faz rozrządu oraz skoku zaworów.

W celu poprawy sprawności ogólnej silnika, jego osiągnów, charakteru przebiegu krzywej napełnienia silnika wolnossącego, a zatem i przebiegu momentu obrotowego w funkcji prędkości obrotowej, wymieszania ładunku lub jego uwarstwienia pojawiają się rozwiązania odmienne od dotychczas stosowanych. Można zaobserwować, że prace konstruktorów idą dwutorowo:

- w kierunku wprowadzenia zmienności faz i skoku zaworów przez wprowadzenie dodatkowych urządzeń pomiędzy klasycznie napędzającym wałem rozrządu a zaworami jak ma to miejsce w konstrukcji Fiata pod nazwą MultiAir

- w kierunku wyeliminowania wału rozrządu i zapewnienia synchronizacji ruchu zaworów z położeniem wału korbowego na zasadzie sprzężenia elektronicznego (napęd elektromagnetyczny czy też hydrauliczny).

#### Bibliography/Literatura

- [1] Zajac P., Kołodziejczyk L.M.: Silniki Spalinowe WSiP
- [2] [www.audiworld.com](http://www.audiworld.com)
- [3] [www.world.honda.com](http://www.world.honda.com)
- [4] [www.fptmultiair.com](http://www.fptmultiair.com)

- [5] R.J. Goldstein: Variables of electromagnetic valve actuator performance, Engine Technology International, November 1997.

- [6] [www.formula1journal.com](http://www.formula1journal.com)
- [7] [www.autokult.pl](http://www.autokult.pl)

Prof. Sławomir Luft, DSc., DEng. – Profesor at the Faculty of Mechanical Engineering, Technical University of Radom.

*Prof. dr hab. inż. Sławomir Luft – profesor na Wydziale Mechanicznym Politechniki Radomskiej.*

Mr. Tomasz Skrzek – research worker in the Institute of Vehicle and Machine Exploitation, Faculty of Mechanical Engineering, Technical University of Radom

*Mgr inż. Tomasz Skrzek – pracownik naukowo techniczny Instytutu Eksploatacji Pojazdów i Maszyn na Wydziale Mechanicznym Politechniki Radomskiej*