

SPOSÓB NAPĘDU ZAWORU ROZRZĄDU W SILNIKU O SPALANIU WEWNĘTRZNYM

Andrzej Graczyk¹

1. WSTĘP

Samochód uważa się za główny środek transportu. Obecnie trwa zapoczątkowany kilkadziesiąt lat temu rozwój przemysłu motoryzacyjnego oraz infrastruktury związanej z transportem drogowym. Przemysł motoryzacyjny służy człowiekowi, lecz niekorzystnie oddziałuje na środowisko naturalne, które z jednej strony jest otoczką życia, z drugiej zaś strony dysponuje skończoną ilością eksploatowanych przez człowieka naturalnych surowców energetycznych. Jednym z elementów zrównoważonego rozwoju świata jest ochrona środowiska naturalnego poprzez ograniczenie szkodliwego wpływu produkcji i konsumpcji na jego stan. Liczba samochodów eksploatowanych na świecie wzrasta. Pojazdy poprzez istotę swojego funkcjonowania wpływają niekorzystnie na środowisko naturalne. Przemysł motoryzacyjny, w tym w dużej mierze silniki spalinowe są „trucicielami” środowiska naturalnego.

Producenci samochodów są zobowiązani przestrzegać norm EURO – emisja substancji szkodliwych przez silniki spalinowe pojazdów.

Koncerny samochodowe modernizują dotychczasowe konstrukcje silników spalinowych oraz szukają nowych trendów w budowie jednostek napędowych pojazdów. Znaczący wpływ na zawartość składników szkodliwych w spalinach oraz parametry trakcyjne silnika ma m.in. charakter wymiany ładunku w cylindrze silnika. Układ rozrządu steruje pracą zaworów rozrządu. Przebieg wzniosu zaworu rozrządu wpływa bezpośrednio na charakter wymiany ładunku w cylindrze silnika, a pośrednio na hałaśliwość pracy silnika oraz zawartość składników szkodliwych w spalinach. Zagadnienia toksyczności spalin i hałaśliwości pracy silników są obszerne. Czytelnik musi sięgnąć do literatury specjalistycznej. Tematy związane ze składnikami szkodliwymi zostały omówione w pozycjach literaturowych [BOSCH 1997, Merksiz 1998-1999, Mareczek 2007]. Zagadnienia hałaśliwości silników omówiono w literaturze [Mau 1980, Lilly 1984, Küntscher 1987].

Praca przedstawia przegląd rozwiązań konstrukcyjnych rozrządów silników spalinowych oraz kierunek w rozwoju konstrukcji układów sterujących wymianą ładunku w silnikach o spalaniu wewnętrznym.

2. KONWENCJONALNY UKŁAD ROZRZĄDU SILNIKA SPALINOWEGO

Należy wyjaśnić, że pod słowem rozrząd kryją się dwa zakresy znaczeniowe. Mianem rozrząd określa się sterowanie wymianą ładunku w cylindrze, jak również całość elementów konstrukcyjnych umożliwiających tę wymianę.

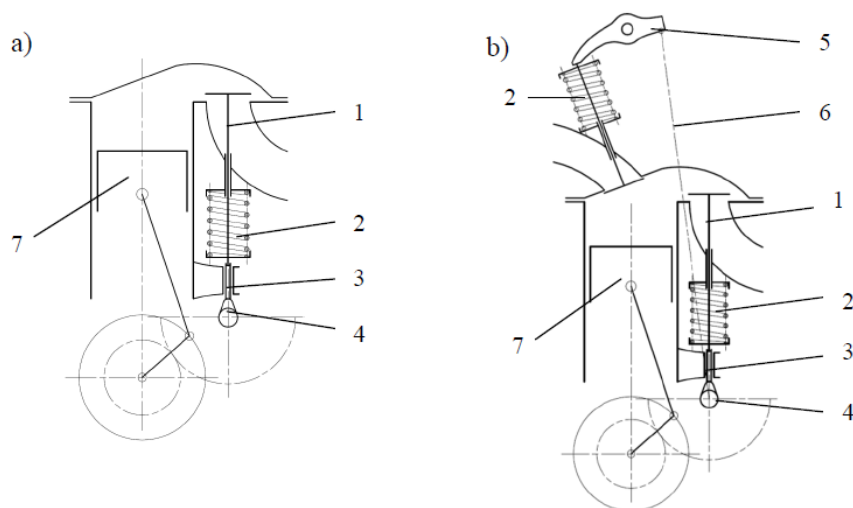
¹ Politechnika Łódzka, Wydział Mechaniczny, Katedra Pojazdów i Podstaw Budowy Maszyn,
ul. Żeromskiego 116, 90-924 Łódź, e-mail: andrzej.graczyk@biegli.com

Stosowane powszechnie czterosuwowe silniki samochodowe mają rozrząd zaworowy i tym samym odpowiednie mechanizmy jego napędu. Podstawowe obecnie stosowane rozwiązania napędzają zawór za pomocą krzywki. Przyszłościowymi rozwiązaniami wydają się być bezkrzywkowe napędy zaworu silnika. Napędy bezkrzywkowe mogą wykorzystywać siłę magnetyczną, siłę czynnika hydraulicznego lub siłę czynnika pneumatycznego [Zbierski 2007].

2.1. Rodzaje krzywkowych napędów zaworu rozrządu silnika spalinowego

Napędy krzywkowe charakteryzują się tym, iż siłę oraz przebieg otwarcia zaworu poprzez elementy pośrednie (elementy 3, 4, 5, 6 rys. 1) zapewnia mimośród, tzw. krzywka umiejscowiona na wałku rozrządu. Wyróżnić można następujące rodzaje krzywkowych napędów zaworu rozrządu:

- dolnozaworowy (rys. 1a),
- górnozaworowy (rys. 2),
- mieszany (rys. 1b).

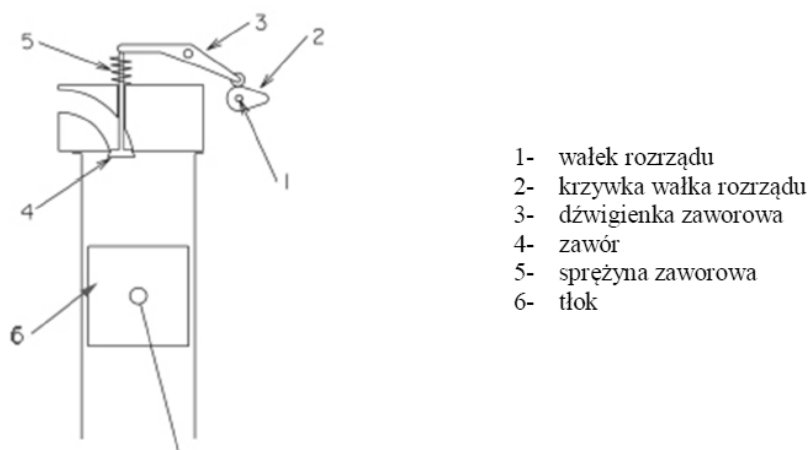


Rys. 1. Schemat układów rozrządu: a) dolnozaworowego, b) mieszanego; 1 – zawór, 2 – sprężyna, 3 – popychacz, 4 – wałek rozrządu, 5 – dźwignia zaworowa, 6 – łaska popychacza, 7 – tłok [opracowanie własne]

Należy uznać, że obecnie jako konwencjonalny postrzegany jest układ górnozaworowy. Rozrząd górnozaworowy (rys. 2) jest stosowany w silnikach czterosuwowych (bardzo rzadko spotyka się te konstrukcje w silnikach dwusuwowych) zarówno z zapłonem iskrowym (ZI), jak i samoczynnym (ZS).

Dla układu górnozaworowego cechą charakterystyczną jest umieszczenie wszystkich zaworów w głowicy silnika, przez co silnik górnozaworowy jest wyższy od konstrukcji dolnozaworowych. Głowica silnika górnozaworowego jest skomplikowaną konstrukcją. Zawory są umieszczone w głowicy pionowo lub pod kątem w systemie V (występują wtedy dwa wałki rozrządu). Wałek rozrządu może być umieszczony w kadłubie bądź w głowicy silnika, co ma bezpośredni wpływ na ilość elementów me-

chanizmu rozrządczego. Na wałku rozrządu wykonane są krzywki, w układzie klasycznym po jednej dla każdego zaworu. W trakcie obrotu wałka rozrządu krzywki powodują wychylanie dźwigienki zaworowej, która otwiera zawór. Powrót zaworu do pozycji zamkniętej realizowany jest przez sprężynę zaworową.



Rys. 2. Schemat rozrządu górnozaworowego [http://pl.wikipedia.org]

Zalety silników spalinowych z rozrządem górnozaworowym [Matzke 1974, Nie-wiarowski 1983]:

- możliwość uzyskiwania zwartych komór spalania,
- możliwość uzyskania bardzo wysokich stopni sprężania, przez co nastąpił rozwój silników ZS,
- małe opory zasysanego powietrza bądź mieszanki palnej wpływające na zwiększenie współczynnika napełnienia (ok. 7-8 % większy niż w przypadku rozwiązań dolnozaworowych),
- możliwość stosowania mokrych tulei cylindrycznych,
- ułatwiony dostęp do zaworów,
- możliwość stosowania więcej niż dwóch zaworów na cylinder,
- korzystniejszy rozkład temperaturowy silnika.

Zalety silników spalinowych z rozrządem dolnozaworowym [Wajand i Wajand 2005]:

- prosta budowa głowicy,
- zwarta – niska budowa silnika,
- dobra elastyczność silnika – ściśle związana z małym wysileniem silnika,
- możliwość stosowania paliwa o mniejszej liczbie oktanowej,

Silniki wyposażone w rozrząd mieszany mają zalety dwóch wcześniej wymienionych rozwiązań, mianowicie:

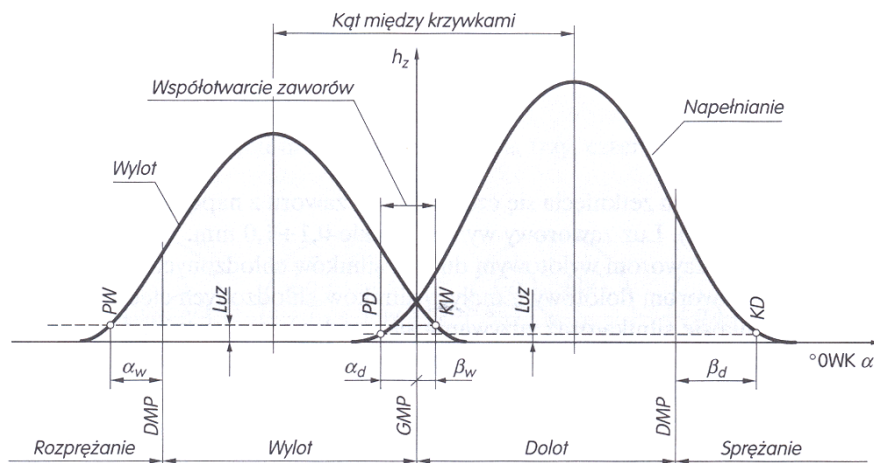
- dobra elastyczność silnika – ściśle związana z małym wysileniem silnika,
- możliwość stosowania paliwa o mniejszej liczbie oktanowej,
- możliwość stosowania więcej niż dwóch zaworów na cylinder,
- ułatwiony dostęp do górnych zaworów silnika.

2.2. Parametry charakteryzujące pracę układu rozrządu

Elementem wykonawczym rozrządu jest zawór, którego ruch ma zapewniać optymalną wymianę ładunku w cylindrze silnika spalinowego. Mechanizm rozrządu można ocenić na podstawie wielkości i parametrów charakteryzujących zawór i jego pracę, a są nimi:

- średnica grzybka zaworu,
- wznios zaworu,
- fazy otwierania i zamykania zaworu (momenty otwierania i zamykania się zaworów),
- czasoprzekrój otwarcia zaworu (pole pod krzywą otwierania zaworu).

Na rysunku 3 pokazano krzywe wzniosów zaworów, napelnianie – krzywa wzniosu zaworu dolotowego, wylot – krzywa wzniosu zaworu wylotowego. Dodatkowo na rysunku zaznaczono chwile otwierania PW (początek otwarcia zaworu wylotowego), PD (początek otwarcia zaworu dolotowego) i chwile zamykania KW (koniec otwarcia zaworu wylotowego), KD (koniec otwarcia zaworu dolotowego) zaworów, wzniosy otwarcia zaworów h_z oraz współotwarcie zaworów.



Rys. 3. Rozwinięty wykres faz rozrządu silnika czterosurowego [Kijewski 1978]

2.3. Wpływ parametrów rozrządu na pracę silnika spalinowego

- Wznios (skok zaworu) – wielkość określająca maksymalne otwarcie zaworu. Pożądanym jest, aby możliwość regulacji wzniosu miały zarówno zawory dolotowe, jak i wylotowe. Regulacja wzniosu zaworów dolotowych daje możliwość wyeliminowania przepustnicy w układach dolotowych silników o zapłonie iskrowym, co zapewnia następujące korzyści:

- zmniejszenie zaburzeń przepływu ładunku dozowanego bezpośrednio na cylindrze,
- większa prędkość przepływu ładunku, która sprzyja lepszemu napełnieniu cylindra,
- zmniejszenie zużycia paliwa (wg danych BMW, nawet do 10%).

Regulacja skoku zaworów wylotowych może wyeliminować dodatkowe elementy konstrukcyjne silnika związane z zewnętrznym układem recyrkulacji spalin EGR (ang. *Exhaust Gas Recirculation*), ponieważ silnik będzie miał możliwość wykorzystania wewnętrznej recyrkulacji spalin realizowanej w jego cylindrze bez dodatkowo dedykowanych do tego celu układów. Zalety wewnętrznej recyrkulacji spalin przedstawiono poniżej:

- przyspieszenie odparowania paliwa (poprzez jego podgrzanie),
- obniżenie temperatury spalania ubogiej mieszanki paliwowo-powietrznej,
- utlenienie pozostałych w spalinach niespalonych węglowodorów (HC),
- obniżenie emisji tlenków azotu (NOx) – spowodowane obniżeniem temperatury spalania ubogiej mieszanki paliwowej.

- Fazy rozrządu – parametry wyznaczające kąty otwarcia i zamknięcia zaworów względem GMP (Górne Martwe Położenie tłoka) i DMP (Dolne Martwe Położenie tłoka), mierzone na wale korbowym i wyrażone w stopniach jego obrotu. Z uwagi na dynamicznie zmieniający się charakter przepływu gazów przez kanał dolotowy silnika, fazy rozrządu i możliwość ich regulacji odgrywają bardzo ważną rolę w realizacji wymiany ładunku w cylindrze silnika. W celu uzyskania możliwie dokładnego opróżnienia cylindra ze spalin i dobrego napełnienia go świeżym ładunkiem zawory otwierają się z pewnym wyprzedzeniem i zamykają z pewnym opóźnieniem względem GMP lub DMP.

Wcześniejsze otwarcie zaworu dolotowego przed GMP zapewnia odpowiednio duży przekrój przelotowy dla świeżego ładunku w chwili rozpoczęcia suwu dolotu oraz uzyskanie przepłukania przestrzeni spalania. Opóźnienie zamknięcia zaworu dolotowego po DMP umożliwia przedłużenie procesu ładowania cylindra poza DMP poprzez wykorzystanie zjawisk dynamicznych zachodzących w układzie dolotowym.

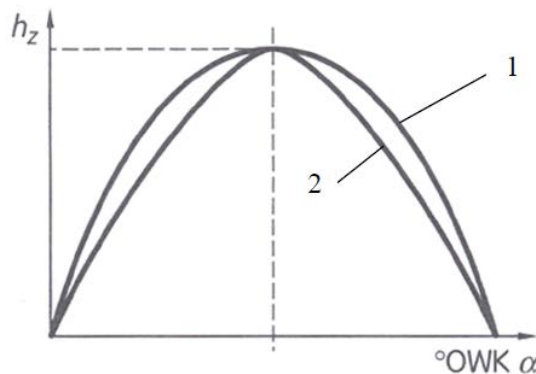
Otwarcie zaworu wylotowego przed DMP sprzyja pełniejszemu i szybszemu usunięciu spalin z cylindra, a opóźnienie jego zamknięcia po GMP zmniejsza ilość spalin w cylindrze poprzez ich odsysanie realizowane przez poruszające się z dużą prędkością spaliny w kolektorze wylotowym silnika.

Zależnie od prędkości obrotowej silnika zmienia się nasilenie zjawisk dynamicznych w układach dolotowym i wylotowym. Aby zachować optymalne parametry pracy silnika należy w trakcie jego pracy regulować kąty otwierania i zamykania zaworów rozrządu.

Korzyści stosowania układów ze zmiennymi fazami rozrządu:

- możliwość utrzymania optymalnych współczynników napełnienia i przepłukania cylindrów dla całego zakresu obrotowego pracy silnika,
- większe momenty obrotowe dostępne przy niższych prędkościach obrotowych silnika,
- uzyskanie wysokich ciśnień efektywnych,
- zmniejszenie zużycia paliwa.

- Czasoprzekrój otwarcia zaworu. Oczekiwane jest, aby czasoprzekrój otwarcia zaworu był jak największy. Dlatego m.in. pożądane są duże wartości wzniosu zaworu i faz rozrządu. Dla tych samych wartości faz rozrządu i wzniosu zaworu czasoprzekroje otwarcia zaworu mogą mieć różną wartość (rys. 4). Czasoprzekrój otwarcia zaworu zależy także od kształtu krzywej wyznaczającej przebieg wzniosu zaworu. Zawór, którego otwarcie opisane jest krzywą 1, ma większe prędkości i przyspieszenia od zaworu, którego otwarcie przedstawia krzywa 2. Zwiększenie czasoprzekroju otwarcia zaworu skutkuje generowaniem większych obciążeń przenoszonych przez układ rozrządu.



Rys. 4. Czasoprzekroje otwarcia zaworów dla krzywek różniących się kształtem: 1, 2 – krzywe wzniosu zaworu, krzywa nr 1 wzniosu zaworu o większym czasoprzekroju [Zając i Kołodziejczyk 2001]

W układach krzywkowych czasoprzechrój otwarcia zaworu zależy od kształtu krzywki umieszczonej na wałku rozrządu. Konieczne jest jednak stopniowe wyhamowanie zaworu, co zabezpiecza przed generowaniem nadmiernych drgań w jego skrajnych położeniach oraz zapewnia spokojne osiadanie przylgni zaworowej na gnieździe zaworowym (ograniczenie hałasu i zużycia).

Zalety zwiększania czasoprzekroju otwarcia zaworów:

- możliwość osiągnięcia wyższych prędkości obrotowych z dobrymi współczynnikami przepłukania i napełnienia cylindrów,
- zwiększenie ciśnienia efektywnego poprzez zwiększenie współczynnika napełnienia,
- zwiększenie mocy i momentu silnika (związane z większym ciśnieniem efektywnym).

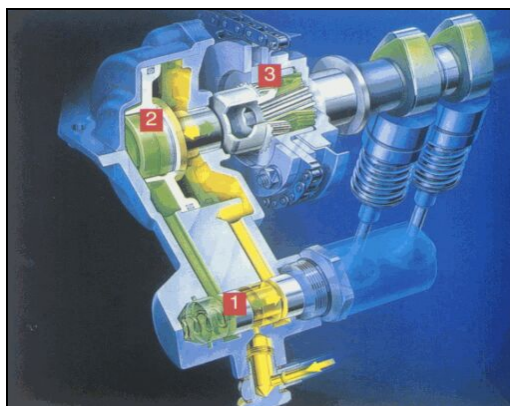
Układy umożliwiające regulację ww. parametrów charakteryzujących pracę rozrządu dają możliwość optymalnego wykorzystania możliwości silników spalinowych oraz pozwalają ograniczyć ilość szkodliwych substancji uzyskiwanych w trakcie pracy silników.

3. ROZWIĄZANIA KONSTRUKCYJNE UKŁADÓW ROZRZĄDU STOSOWANE WE WSPÓŁCZESNYCH SILNIKACH SPALINOWYCH

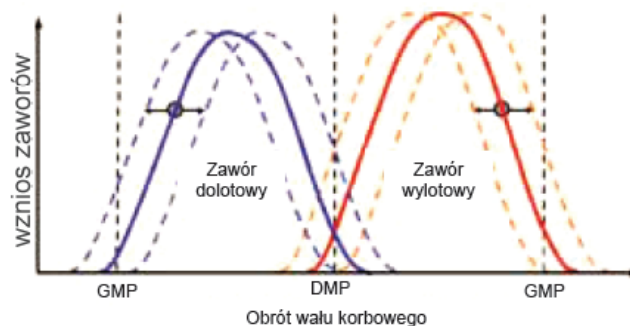
Klasyczny układ napędu rozrządu nie daje możliwości regulacji ww. parametrów charakteryzujących pracę układu rozrządu. Aby w trakcie zmiennych warunków pracy silnika optymalizować jego wydajność oraz ograniczyć ilość substancji toksycznych, obecnie producenci pojazdów wprowadzają różnego rodzaju modyfikacje w układy sterujące pracą zaworów w silniku spalinowym. W dalszej części pracy przedstawiono wybrane rozwiązania konstrukcyjne, stosowane w obecnie produkowanych silnikach trakcyjnych oraz opisano zasadę ich działania.

3.1. System Vanos koncernu BMW – zmienne fazy rozrządu

Sygnal sterujący ustala położenie zaworu elektromagnetycznego 1 (rys. 5), umożliwiając przepływ oleju do układu uruchamiającego 2. Siła ciśnienia oleju powoduje przesunięcie kątowe wałka rozrządu połączonego wałkiem wielowypustowym o zębach skośnych 3 z piastą koła łańcuchowego odbierającego napęd z wału korbowego. Zmianę kątowego położenia wałka rozrządu zapewnia przesuwana piasta połączona skośnym wielowypustem z wałkiem rozrządu, która zamienia ruch posuwisty na przesunięcie kątowe pomiędzy kołem łańcuchowym napędzającym wałek rozrządu a samym wałkiem rozrządu. Układ steruje fazami rozrządu – początki wzniosów oraz końce zamknięć zaworów zostają przesunięte względem położenia kątowego wału korbowego (pokazano na rys. 6).



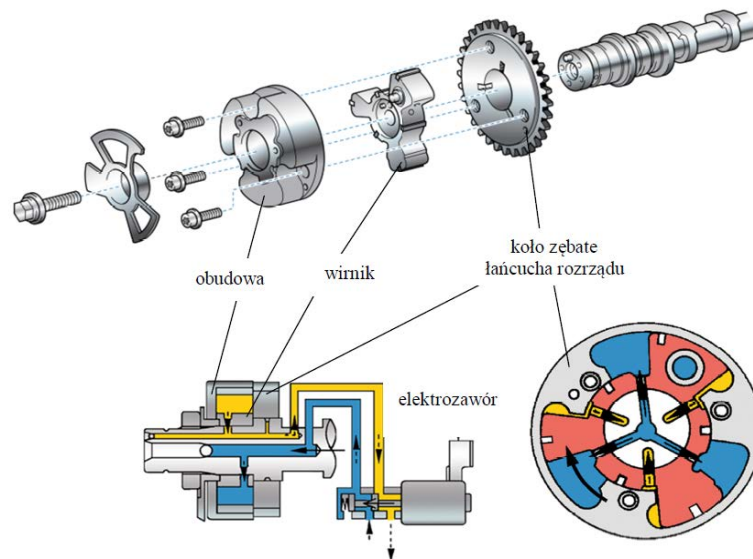
Rys. 5. System zmiennych faz rozrządu VANOS stosowany w silnikach BMW: 1 – zawór elektromagnetyczny, 2 – układ uruchamiający, 3 – skośne koło zębate powodujące obrót wałka rozrządu [http://pl.wikipedia.org]



Rys. 6. Możliwości regulacji faz rozrządu, systemu VANOS [Knecht i in. 2002]

3.2. Mechanizm VVT koncernu Toyota – zmienne fazy rozrządu

Urządzenie VVT (ang. *Variable Valve Timing*), podobnie jak rozwiązanie koncernu BMW, umożliwia płynną zmianę kątów otwarcia i zamknięcia zaworów. Budowę mechanizmu VVT przedstawiono na rysunku 7.



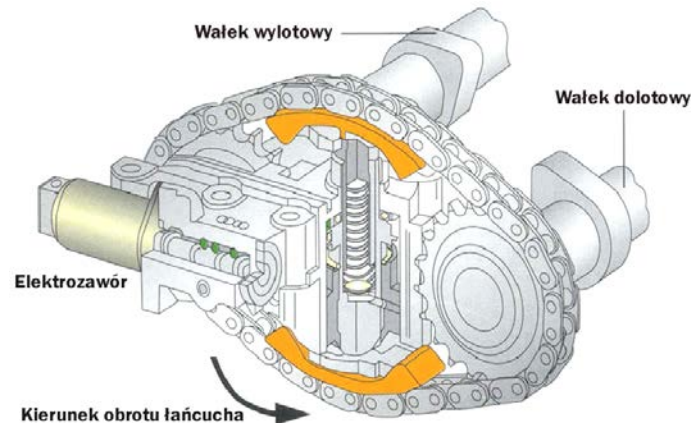
Rys. 7. Układ zmiennych faz rozrządu VVT stosowany w silnikach koncernu Toyota
[<http://images.google.pl>]

Jednostką wykonawczą układu jest układ hydrauliczny. Wirnik przedstawiony na rysunku 7 jest ustalony względem koła zębatego łańcucha rozrządu tak, iż ma on wolny jeden stopień swobody. Wirnik ma możliwość kątowych przesunięć względem osi wałka rozrządu. Do wirnika na stałe jest zamocowany wałek rozrządu. Na całość systemu składają się jeszcze obudowa wirnika mocowana na stałe do koła zębatego łańcucha rozrządu oraz kanały i elektrozawory hydrauliczne.

W warunkach pracy silnika, gdy należy przyspieszyć kąt otwarcia zaworów silnikowych, elektrozawór odblokowuje dopływ czynnika hydraulicznego (oleju silnikowego) do komory olejowej – na rysunku oznaczono kolorem niebieskim (która dzięki możliwości obrotu wirnika ma zmienną objętość) między obudową a wirnikiem, co powoduje obrót wirnika oraz wałka rozrządu względem koła zębatego. Wartość, o jaką chcemy przesunąć wirnik względem koła zębatego, jest regulowana objętościowo dopływem czynnika hydraulicznego, którym steruje elektrozawór. Aby układ powrócił do stanu wyjściowego, należy opróżnić z oleju komory między wirnikiem a obudową. Jest to możliwe dzięki układowi kanałów spustowych i odpowiedniemuysterowaniu elektrozaworu.

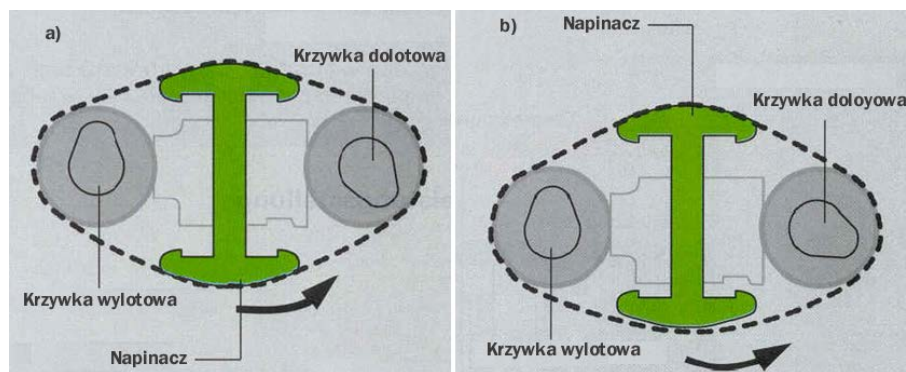
3.3. System zmiennych faz rozrządu stosowany w koncernie Audi

Do zmiany położenia wałka rozrządu serującego zaworami dolotowymi koncern Audi używa napinacza łańcucha (rys. 8, 9) przenoszącego napęd między wałkami rozrządu zaworów dolotowych i wylotowych. Napinacz obraca wałkiem rozrządu zaworów dolotowych w taki sposób, że początek ich otwarcia zmienia się o kąt 22° od położenia wyjściowego ustalonego względem GMP. W tym celu napinacz przesuwają się do góry o 8 mm, przesuując również łańcuch rozrządu. Możliwości przemieszczania napinacza zapewnia zespół siłownika hydraulicznego oraz elektrozaworuysterowanego centralnym urządzeniem sterującym silnika.



Rys. 8. System zmiennych faz rozrządu stosowany w silnikach koncernu Audi
[Zajac i Kołodziejczyk 2001]

Na rysunku 9a, przedstawiono położenie napinacza (dla prędkości obrotowej silnika do 2000 obr. $\cdot$ min⁻¹), natomiast na rysunku 9b – położenie napinacza dla prędkości obrotowych powyżej 2000 obr. $\cdot$ min⁻¹. Przesuwanie napinacza w górę powoduje jednocześnie przemieszczanie oczek łańcucha, co z kolei wymusza przesunięcie kątowe jednego z kół zębatych, a więc i wałka rozrządu. Przesuwa się ten wałek, który nie jest kinematycznie połączony z wałem korbowym. W rozwiązaniu zaproponowanym przez firmę Audi jest to wałek dolotowy. Układ pozycjonowania napinacza jest w stanie zapewnić również płynną regulację faz rozrządu.



Rys. 9. Napinacz łańcucha regulacji faz rozrządu zaworów dolotowych – silnik Audi
[Zajac i Kołodziejczyk 2001]

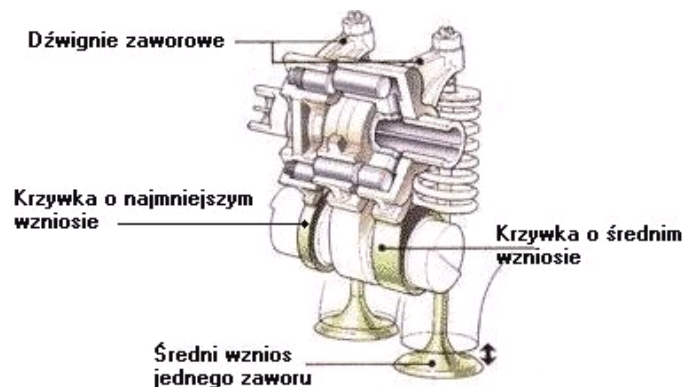
3.4. Trójstopniowa regulacja skoku zaworów VTEC – Honda

Mechanizm VTEC (ang. *Variable valve Timing and lift Electronic Control system*) posiada trzy krzywki o różnym kształcie (rys. 10). Środkowa krzywka (długi czas otwarcia, wysoki wznios) jest największa; prawa krzywka (krótki czas otwarcia, średni wznios) jest średnich rozmiarów; lewa krzywka (krótki czas otwarcia, niski wznios) jest najmniejsza.

Mechanizm pracuje w następujący sposób:

- faza pierwsza, niskie obroty silnika:

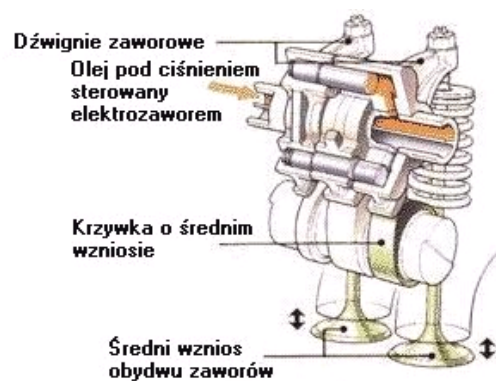
dźwignie zaworowe poruszają się niezależnie – lewa dźwignia zaworowa, która steruje lewym zaworem dolotowym, jest napędzana lewą krzywką o niskim wzniosie; prawa dźwignia zaworowa, sterująca prawym zaworem dolotowym, jest napędzana prawą krzywką o średnim wzniosie. Czasy otwarcia obu zaworów są stosunkowo krótkie w porównaniu z krzywką środkową, która w tym czasie nie steruje żadnym zaworem [<http://www.webiz.pl/zmienna-faza-rozrzadu>]:



Rys. 10. System koncernu Honda VTEC – niskie obroty silnika
[<http://www.webiz.pl/zmienna-faza-rozrzadu>]

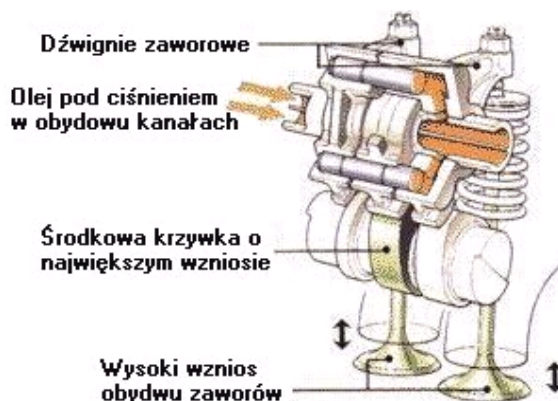
- faza druga, średnie obroty silnika:

pod wpływem ciśnienia hydraulicznego oleju (kolor pomarańczowy na rysunku 11) zostaje spięta lewa i prawa krzywka, pomijając środkową krzywkę i dźwignię zaworową. Prawa krzywka jest większa od lewej, dlatego połączone razem dźwignie zaworowe są de facto napędzane prawą krzywką. W efekcie obydwie zawory dolotowe mają krótkie czasy otwarcia i średnie wzniosy [<http://www.webiz.pl/zmienna-faza-rozrzadu>]:



Rys. 11. System koncernu Honda VTEC – średnie obroty silnika
[<http://www.webiz.pl/zmienna-faza-rozrzadu>]

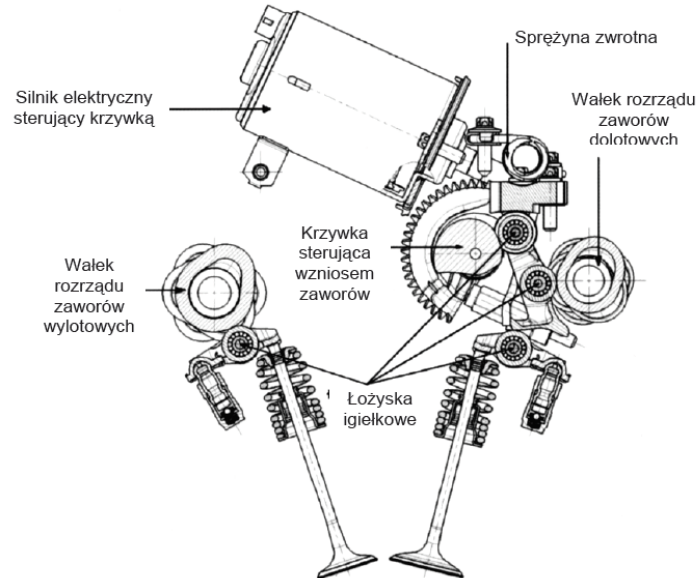
- faza trzecia, wysokie obroty silnika:
pod wpływem ciśnienia hydraulicznego oleju dźwignie zaworowe zostają spięte razem (rys. 12). Ponieważ środkowa krzywka jest największa, obydwie zawory dolotowe są w rzeczywistości nią napędzane. W ten sposób otrzymujemy długie czasy otwarcia i wysoki wznios w obu zaworach dolotowych [<http://www.webiz.pl/zmienna-faza-rozrzadu>]:



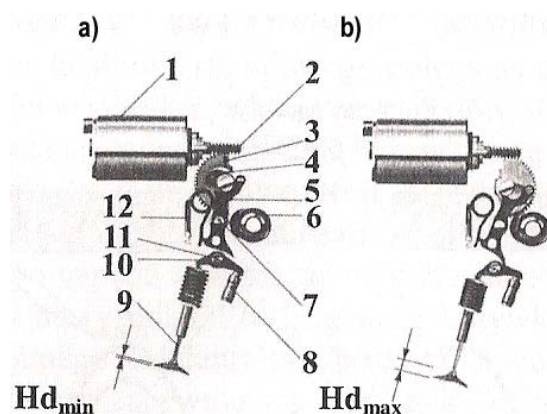
Rys. 12. System koncernu Honda VTEC – wysokie obroty silnika
[<http://www.webiz.pl/zmienna-faza-rozrzadu>]

3.5. Mechanizm zmieniający skok zaworu w sposób ciągły, Valvetronic – BMW

Następnym rozwinięciem rozrzadu o zmiennych parametrach ruchu zaworów jest system o płynnej zmianie skoku zaworów. Jak do tej pory jedyny taki system stosowany seryjnie posiada koncern BMW pod nazwą Valvetronic (rys. 13). Zasadę działania Mechanizmu Valvetronic pokazano na rysunku 14. Krzywka zaworu dolotowego 6, umieszczona na wale rozrzadu, współpracuje z rolką dźwigni pośredniej 5. Dźwignia pośrednia dociskana jest do krzywki 6 za pomocą sprężyny 12. Ruch dźwigni pośredniej jest przenoszony przez rolkę 11 na dźwignię zaworową 10, która bezpośrednio napędza zawór dolotowy 9. Wartość skoku zaworu zależy od chwilowego położenia dźwigni pośredniej 5, która w dolnej części ma określony zarys współpracujący z rolką 11. Chwilowe położenie dźwigni pośredniej ustalone jest poprzez mimośrodową krzywkę 4, obracaną za pomocą silnika elektrycznego 1, za pośrednictwem wycinka koła ślimacznicy 3 i ślimaka 2. Położeniu dźwigni pośredniej jak na rysunku 14a odpowiada minimalny skok zaworu $H_{d_{min}}$. Położeniu dźwigni pośredniej jak na rysunku 14b odpowiada maksymalny skok zaworu $H_{d_{max}}$. Krokowy silnik elektryczny 1 jest w stanie zapewnić dźwigni pośredniej 5 nieskończenie wiele stanów skoku zaworu pomiędzy wielkościami $H_{d_{min}}$ i $H_{d_{max}}$ [Zbierski 2007].



Rys. 13. Widok mechanizmu rozrządu Valvetronic [Benedict i in. 2005]



Rys. 14. Zasada działania mechanizmu Valvetronic:
 a) położenie odpowiadające minimalnemu skokowi $H_{d_{min}}$,
 b) położenie odpowiadające maksymalnemu skokowi $H_{d_{max}}$ [Flierl i in. 2001]

4. PODSUMOWNIE

Rozrząd klasyczny posiada stałe połączenie kinematyczne wałka rozrządu z wałem korbowym. Powoduje to, że zawory mają ściśle określone, niezmiennie podczas pracy silnika fazy rozrządu oraz skok otwarcia. W klasycznym rozwiązaniu rozrządu nie istnieje możliwość zmiany przebiegu wzniosu zaworu – czasoprzekrój otwarcia zaworu jest wielkością stałą. Poza tym klasyczne rozwiązania napędu zaworu ograniczają moż-

liwość zwiększania prędkości obrotowej silnika z uwagi na zastosowane w nim sprężyny zaworowe, które przy dużych prędkościach obrotowych są podatne na zjawiska rezonansowe. Ponadto sprężyny nie są w stanie zapewnić sił, które gwarantowałyby duże prędkości zamykania zaworu. Przedstawione w pkt. 3 pracy rozwiązania, pomimo wprowadzonych modernizacji, nadal posiadają elementy klasycznego układu rozrządu, a w konsekwencji także jego wady.

Obecnie inżynierowie z branży automotive pracują nad napędem zaworu rozrządu silnika spalinowego, który pozwoli na pełną regulację czasoprzekroju otwarcia zaworu. Przyszłościowymi wydają się być bezkrzywkowe napędy zaworu, w których elementem wykonawczym (otwierającym i zamykającym zawór) są siłowniki magnetoelektryczne, hydrauliczne bądź pneumatyczne. Aktualnie producenci silników samochodowych oraz ośrodki badawczo-rozwojowe prowadzą prace związane z zaprojektowaniem i wdrożeniem do masowej produkcji alternatywnych napędów zaworu silnika spalinowego. Bezkrzywkowe napędy zaworu będą dawały wiele nowych możliwości, m.in. przy mniejszym zapotrzebowaniu na moc będzie możliwe wyłączenie z pracy wybranych cylindrów silnika. Temat bezkrzykowych układów rozrządu, w tym badania własne, zostaną opisane w kolejnej publikacji.

LITERATURA

Benedict K., Drexler G., Eder T., Eisenkoelbl M., Luttermann Ch., Schleusener M., 2005. Further Development of Fully-variable Valve Control System Valvetronic. MTZ 9.

Bosch, 1997. Emission Control. Stuttgart.

Flierl R., Hofmann R., Lander CH., Melcher T., Steyer H., 2001. Der neue BMW Vierzylinder – Ottomotor mit VALVETRONIC. Teil I: Konzept und konstruktiver Aufbau, MTZ 6.

Kijewski J., 1978. Silniki spalinowe. WSiP Warszawa.

Knecht A., Stephan W., Hannibal W., 2002. "Vane CAM" – The Third generation of Camshaft Adjustment Systems. MTZ 4.

Küntschner V., 1987. Kraftfahrzeugmotoren – Auslegung und Konstruktion. VEB Verlag Technik Berlin.

Lilly L.C.R., 1984. Diesel engine reference book. Butterworths London.

Mareczek M., 2007. Sprawność i toksyczność spalin silnika z zapłonem iskrowym zasilanego ubogą mieszanką propanu-butanu z powietrzem i wyposażonego w reaktor magazynujący tlenki azotu. Politechnika Krakowska, rozprawa doktorska.

Matzke W., 1974. Konstrukcja rozrządu silników szybkoobrotowych. WKiŁ Warszawa.

Mau G., 1980. Handbuch Dieselmotoren im Kraftwerks – und Schiffsbetrieb. Vieweg. Braunschweig.

Merkisz J., 1998-1999. Ekologiczne problemy silników spalinowych. T. 1 i 2, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej.

Niewiarowski K., 1983. Tłokowe silniki spalinowe. T. I, WKiŁ Warszawa.

Wajand J.A., Wajand J.T., 2005. Tłokowe silniki spalinowe średnio- i szybkoobrotowe. WNT Warszawa.

Zajac P., Kołodziejczyk L., 2001. Silniki spalinowe. WSiP Warszawa.

Zbierski K., 2007. Bezkrzywkowy magnetoelektryczny rozrząd czterosuwowego silnika spalinowego. Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej.

<http://images.google.pl>.

<http://pl.wikipedia.org>.

<http://www.webiz.pl/zmienna-faza-rozrzadu>.