

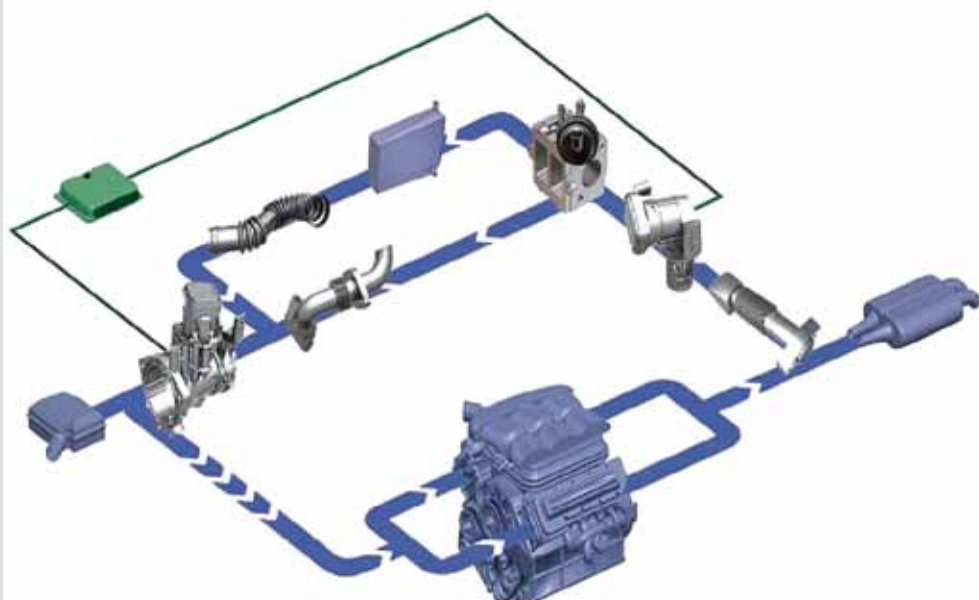
Recyrkulacja spalin w silnikach cz. 2

Kompendium praktycznej wiedzy

Autor: mgr inż. Stefan Myszkowski

Dodatek techniczny do WIADOMOŚCI Inter Cars SA nr 36/Wrzesień 2010

Wiadomości



Spis treści

6. Recyrkulacja spalin w silnikach ZI	2
6.1. Zasada zewnętrznej recyrkulacji spalin w silnikach ZI	
6.2. Korzyści ze stosowania recyrkulacji spalin w silnikach ZI	
6.3. Budowa zewnętrznych układów recyrkulacji spalin silników ZI	
6.4. Stopień recyrkulacji spalin w zależności od warunków pracy silnika ZI	
7. Recyrkulacja spalin w silnikach ZI WB	8
7.1. Zasada zewnętrznej recyrkulacji spalin w silnikach ZI WB	
7.2. Korzyści ze stosowania recyrkulacji spalin w silnikach ZI WB	
7.3. Budowa zewnętrznych układów recyrkulacji spalin silników ZI WB	
7.4. Stopień recyrkulacji spalin w różnych trybach pracy silnika ZI WB	
8. Porównanie zewnętrznych układów recyrkulacji spalin silników spalinowych	11
9. Typy zaworów układów recyrkulacji spalin	12
9.1. Pneumatyczny, wzniosowy zawór recyrkulacji spalin	
9.2. Elektryczny, wzniosowy zawór recyrkulacji spalin	
9.3. Elektryczny, obrotowy zawór recyrkulacji spalin	
9.4. Elektryczny, klapowy zawór recyrkulacji spalin	
9.5. Dobór zaworów recyrkulacji spalin	
10. Zanieczyszczenie zaworów recyrkulacji spalin	14
11. Adaptacja zaworów recyrkulacji spalin	16
12. Uszkodzenia zewnętrznych układów recyrkulacji spalin i wyszukiwanie ich przyczyn	17



Od autora

Szanowni Czytelnicy,

Kolej na drugą część informacji o układach recykulacji spalin silników. W niej, sugestie dotyczące wyszukiwania uszkodzeń w układach recykulacji spalin, oraz innych uszkodzeń, które powodują nieprawidłową pracę tego układu. Niestety, ze względu na objętość tego wydawnictwa, musiałem zrezygnować z części wcześniej planowanej tematyki, np. chłodnic recykulowanych spalin, czy zagadnień związanych ze sterowaniem lub regulacją w układach recykulacji zewnętrznej spalin. Mam nadzieję, że w przyszłości zaoferuję Państwu tę wiedzę w formie książkowej.

Szanowni Państwo, w następnym roku wszystkie cztery „Dodatki techniczne” będą poświęcone układom zasilania silników ZS, typu Common Rail. Oczywiście ich łączna objętość będzie zdecydowanie za mała, aby był to kompletny kurs z zakresu budowy i diagnostyki tych układów. Możliwe będzie tylko przedstawienie kilku wybranych zagadnień.

Jak zwykle „u mnie”, zaczniemy od teorii. Będą to wybrane zagadnienia z mechaniki płynów, bowiem wątpię, że bez ich znajomości można poznać budowę i diagnostykę tych układów. A co dalej? Proszę Państwa o przesyłanie pocztą elektroniczną, na mój adres (w podpisie), tematów, których omówienie jest przez Państwa oczekiwane. Mam oczywiście swoje „typy”, ale bardzo liczę na Państwa propozycje.

Stefan Myszkowski
stefan.myszkowski@skk.auto.pl

Zdjęcie na okładce - Wahler

6. Recykulacja spalin w silnikach ZI

6.1. Zasada zewnętrznej recykulacji spalin w silnikach ZI

Wiemy - patrz punkt 1.4., jak jest regulowana wartość momentu obrotowego silnika ZI. Jeśli chcemy, aby silnik ZI pracował z maksymalną wartością momentu obrotowego, przy określonej prędkości obrotowej silnika, to:

- otwieramy całkowicie przepustnicę, aby do komory spalania wprowadzić największą możliwą, masę powietrza m_{pow1} (rys.24a), dla tej prędkości obrotowej silnika;
- do tej masy powietrza dodajemy taką masę paliwa, aby utworzyć jednorodną mieszankę o składzie wymaganym dla maksymalnego obciążenia silnika (przeważnie $\lambda = 0.9$)

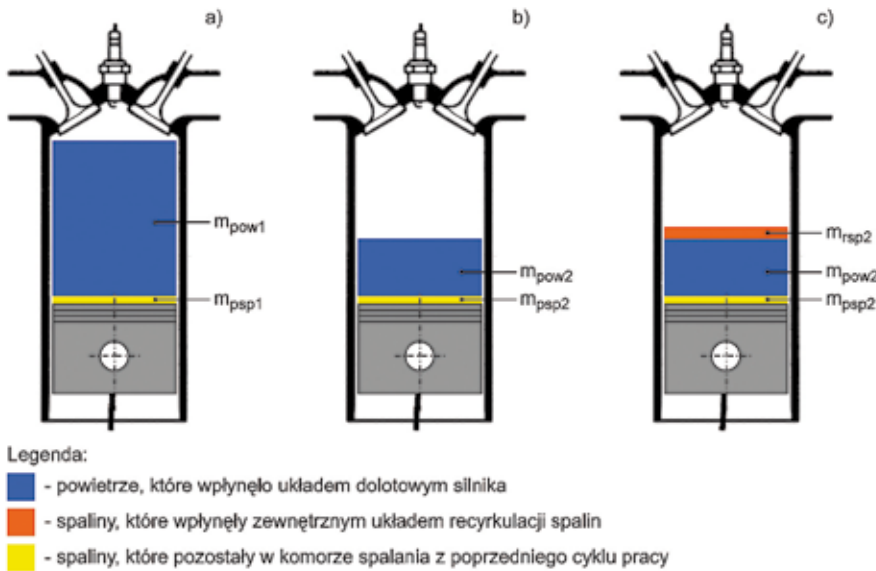
Zawsze w komorze spalania silnika pozostaje jakaś masa spalin m_{psp1} (rys.24a). Jeśli dążymy do uzyskania możliwie dużej wartości momentu obrotowego silnika, wówczas każda pozostałość spalin jest niekorzystna, bowiem zmniejsza masę powietrza, którą można wprowadzić do komory spalania. Wówczas w komorze spalania silnika powinna pozostać jak najmniejsza masa spalin.

Jeśli chcemy, aby silnik ZI pracował z wartością momentu obrotowego, mniejszą od maksymalnej, możliwej dla określonej prędkości obrotowej silnika, to do komory spalania silnika należy wprowadzić masę powietrza m_{pow2} (rys.24b), mniejszą od maksymalnej masy powietrza m_{pow1} . Do masy powietrza m_{pow2} należy dodać taką masę paliwa, aby powstała jednorodna mieszanka paliwowo-powietrzna, o składzie wymaganym dla aktualnego stopnia obciążenia silnika. W komorze spalania pozostanie też jakaś masa spalin m_{psp2} . Jeśli jednak silnik pracuje w zakresie małych i średnich obciążeń, pożądane jest nie tylko pozostanie określonej masy spalin w komorze spalania, ale również wprowadzenie dodatkowej masy spalin m_{rsp2} (rys.24c) do komory spalania. Ta dodatkowa masa spalin może być wprowadzona:

- w wyniku tzw. recykulacji wewnętrznej spalin;
- przez układ recykulacji zewnętrznej spalin.

Recykulację wewnętrzną spalin wykorzystują każdy silnik ZI. Jest ona opisana w pkt.4.1. Układ recykulacji zewnętrznej spalin, przedstawiony w pkt. 4.2., jest od wielu lat stosowany w silnikach, wówczas, gdy masa spalin recykulowanych wewnętrznie jest niewystarczająca. Ponadto układ recykulacji zewnętrznej, umożliwia:

- dokładniejsze „odmierzenie” masy recykulowanych spalin, niż jest to możliwe przy wykorzystaniu recykulacji wewnętrznej spalin;



Rys.24 Masa powietrza i masa spalin, w komorze spalania silnika z zapłonem iskrowym (ZI) po zakończeniu cyklu napełniania, dla tej samej prędkości obrotowej silnika, przy: a - pełnym otwarciu przepustnicy (maksymalne obciążenie silnika) i wyłączonej zewnętrznej recykulacji spalin; b - częściowym otwarciu przepustnicy (zakres małego lub średniego obciążenia silnika) i wyłączonej zewnętrznej recykulacji spalin; c - częściowym otwarciu przepustnicy (zakres małego lub średniego obciążenia silnika) i włączonej zewnętrznej recykulacji spalin. Oznaczenia na rysunku: m_{pow1} - masa powietrza, wprowadzona do komory spalania silnika, przy pełnym otwarciu przepustnicy; m_{pow2} - masa powietrza, wprowadzona do komory spalania, przy częściowym otwarciu przepustnicy; m_{rsp2} - masa spalin, wprowadzona do komory spalania, przez układ zewnętrznej recykulacji spalin; m_{psp1} , m_{psp2} - masa spalin, które pozostały w komorze spalania, po poprzednim cyklu pracy silnika.

- uniezależnienie masy recykulowanych spalin od konstrukcji układu wylotowego silnika oraz faz rozrządu silnika.

Recykulację spalin w silnikach ZI cechuje to, że

- masa recykulowanych spalin m_{rsp2} jest dodawana do masy powietrza m_{pow2} w komorze spalania silnika;
- dodanie masy recykulowanych spalin m_{rsp2} nie może zmienić masy powietrza m_{pow2} wprowadzonej do komory spalania, ponieważ zmiana masy powietrza spowodowałaby zmianę masy powstałej mieszanki paliwowo-powietrznej, a w konsekwencji zmianę wartości momentu obrotowego silnika (przypomnę, że mieszanka paliwowo-powietrzna w silniku ZI musi mieć ściśle określony skład, a więc zmiana masy powietrza wprowadzonego do komory spalania zmienia masę paliwa, którą można zmieszać z powietrzem).

Korzyści wynikające ze stosowania recykulacji spalin w silniku ZI są przedstawione w następnym punkcie.

6.2. Korzyści ze stosowania recykulacji spalin w silnikach ZI

Zmniejszenie zużycia paliwa. Recykulacja spalin obniża zużycia paliwa, przez:

- zmniejszenie strat napełniania komór spalania powietrzem;
- zwiększenie sprawności procesu spalania.

Wprowadzenie spalin, do układu dolotowego silnika ZI, przez układ zewnętrznej recykulacji, pomiędzy przepustnicę a zawory dolotowe, zwiększa wartość ciśnienia absolutnego (maleje wartość podciśnienia) panującego w tej strefie. Powoduje to zmniejszenie różnicy ciśnień, pomiędzy ciśnieniem atmosferycznym, a ciśnieniem panującym pomiędzy przepustnicą a zaworami dolotowymi. Aby do przestrzeni roboczej cylindra wpłynęła taka sama masa

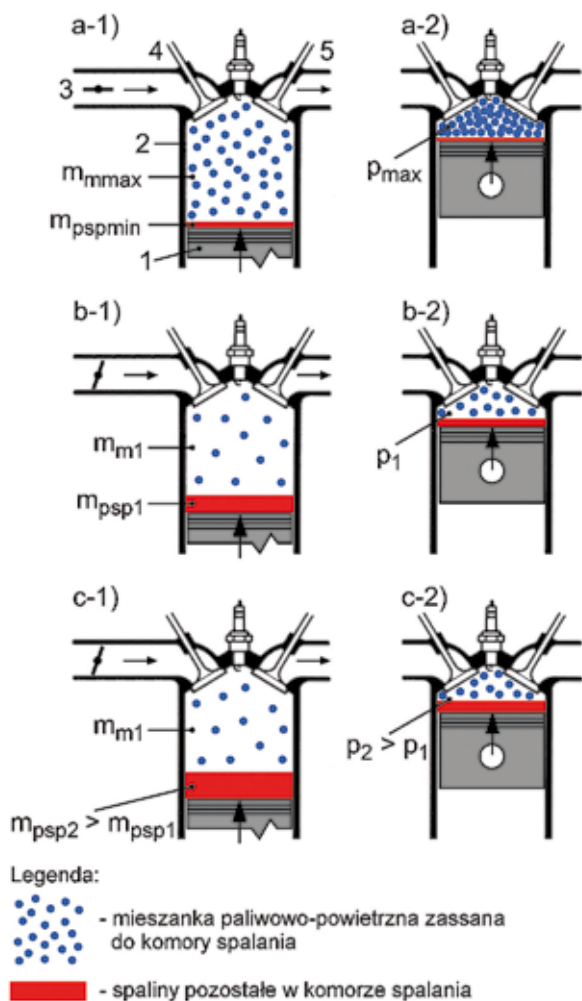
powietrza, jak przed dodaniem spalin z układu recykulacji zewnętrznej, konieczne jest otwarcie przepustnicy o większy kąt. Wzrost kąta otwarcia przepustnicy i wzrost ciśnienia pomiędzy przepustnicą a zaworami dolotowymi, powoduje obniżenie strat wymiany ładunku w silniku ZI, co obniża zużycie paliwa.

Istotną cechą obiegu teoretycznego silnika jest to, jak duża część energii uzyskanej z procesu spalania jest przekształcana na pracę mechaniczną. Informuje o tym współczynnik sprawności teoretycznej silnika. Dla silnika ZI, o obiegu teoretycznym Otto, z wielopunktowym wtryskiem paliwa do układu dolotowego, wynosi on ok. 51%. Wartość tego współczynnika zależy od wartości ciśnienia w komorze spalania, przy którym zaczyna się proces spalania. Z kolei wartość tego ciśnienia zależy od stopnia sprężania silnika.

Im wyższa jest wartość ciśnienia, przy której rozpoczyna się proces spalania, tym wyższa jest sprawność procesu spalania, czyli, ze spalania określonej masy mieszanki paliwowo-powietrznej, uzyskujemy większą ilość pracy, lub inaczej, dla uzyskania tej samej ilości pracy, wystarczy spalić mniejszą masę mieszanki.

Prześledźmy, jak zmienia się ciśnienie w komorze spalania, pod koniec suwu sprężania, w zależności od masy mieszanki wprowadzonej do komory spalania oraz od masy spalin, pozostałych w komorze spalania lub do niej wprowadzonych w procesie recykulacji wewnętrznej lub przez układ recykulacji zewnętrznej spalin. Poniższe rozważania odnoszą się do tej samej prędkości obrotowej silnika, ponieważ przy takim samym kącie otwarcia przepustnicy, ale różnych prędkościach obrotowych silnika, do przestrzeni roboczej cylindra wprowadzane są różne masy mieszanek. Zmiana masy mieszanki, to główna przyczyna różnych wartości ciśnień w komorze spalania, która w naszych rozważaniach utrudniłaby zauważenie wpływu zmiany masy spalin, znajdujących się w komorze spalania, na zmianę wartości tych ciśnień.

Jeśli silnik pracuje przy całkowicie otwartej przepustnicy 3 (rys.25a-1), do przestrzeni roboczej cylindra 2 jest wprowadza-



Rys.25 Ilustracja zależności ciśnienia w komorze spalania, bezpośrednio przed zapłonem mieszanki, od masy mieszanki wprowadzonej do komory spalania oraz masy spalin pozostałych w komorze spalania lub recykulowanych, dla tej samej prędkości obrotowej silnika. Rysunki prezentują: a-1), b-1), c-1) komorę spalania, z tłokiem na początku suwu sprężania; a-2), b-2), c-2) komorę spalania, z tłokiem bezpośrednio przed zapłonem mieszanki przez iskrę elektryczną. Szczegółowy opis rysunków jest tekście punktu 6.2. Oznaczenia elementów rysunków: 1 - tłok, 2 - cylinder, 3 - przepustnica, 4 - zawór dolotowy, 5 - zawór wylotowy. Oznaczenia: m_{mmax} - maksymalna masa mieszanki wprowadzonej do komory spalania, przy maksymalnie otwartej przepustnicy; m_{m1} - masa mieszanki wprowadzonej do komory spalania, przy częściowym otwarciu przepustnicy; m_{pspmin} - pożądana minimalna masa spalin pozostałych w komorze spalania, po poprzednim procesie spalania, przy maksymalnie otwartej przepustnicy; m_{psp1} - masa spalin pozostała w komorze spalania po poprzednim procesie spalania; m_{psp2} - masa spalin pozostała w komorze spalania po poprzednim procesie spalania, powiększona o masę recykulowanych spalin; p_{max} - maksymalna wartość ciśnienia w komorze spalania, pod koniec suwu sprężania; p_1, p_2 - ciśnienia w komorze spalania pod koniec suwu sprężania. Między ciśnieniami zachodzi zależność $p_1 < p_2 < p_{max}$.

dzana maksymalna masa mieszanki paliwowo-powietrznej m_{mmax} . Masa spalin pozostałych w komorze spalania po poprzednim procesie, powinna być wówczas jak najmniejsza, aby jak najwięcej miejsca w przestrzeni roboczej cylindra pozostawić dla mieszanki paliwowo-powietrznej. Pod koniec suwu sprężania, ciśnienie w komorze spalania osiąga wówczas wartość maksymalną p_{max} (rys.25a-2), dla określonej prędkości obrotowej silnika. Jego wartość zależy od stopnia sprężania mieszanki w przestrzeni roboczej cylindra.

Stopień sprężania jest tak dobierany dla silnika, aby miał możliwie dużą wartość, a jednocześnie przy pracy silnika z maksymalnie otwartą przepustnicą, przy panujących wówczas w komorze spalania ciśnieniach i temperaturach, nie wystąpiło zjawisko niekontrolowanego spalania (spalanie stukowe lub detonacyjne). Wartość stopnia sprężania, w obecnie produkowanych silnikach, jest dobierana dla pracy silnika przy pełnym obciążeniu.

Gdy silnik pracuje w zakresie małych lub średnich obciążeń, czyli przy częściowo otwartej przepustnicy (rys.25b-1), wówczas do komory spalania silnika ZI jest wprowadzana masa mieszanki m_{m1} , mniejsza od masy maksymalnej m_{mmax} . W komorze spalania pozostaje też masa spalin m_{psp1} . Pod koniec suwu sprężania, ciśnienie p_1 w komorze spalania, ma wartość niższą od wartości maksymalnej p_{max} , bowiem sprężana masa mieszanki m_{m1} , mniejsza od masy maksymalnej m_{mmax} . Proces spalania przebiegnie więc przy niższych wartościach ciśnień w komorze spalania. Sprawność procesu spalania będzie niższa, od sprawności procesu spalania przebiegającego przy wyższych wartościach ciśnień. Aby zwiększyć sprawność procesu spalania, dla silnika pracującego w zakresie małych i średnich obciążeń należy dla tych warunków pracy silnika zwiększyć stopień sprężania, ponad wartość dobraną dla silnika pracującego przy pełnym obciążeniu. Są silniki o zmiennym stopniu sprężania, uzyskanym przez zmianę wymiarów konstrukcyjnych silnika:

- zmianę wysokości tłoków;
- odległości między osią obrotu wału korbowego a górną płaszczyzną bloku cylindrów.

ale są to tylko konstrukcje doświadczalne. W seryjnie produkowanych silnikach, oba wymiary mają wartości stałe.

Innym sposobem zwiększenia stopnia sprężania, w określonych warunkach pracy silnika jest wprowadzenie do komory spalania większej masy spalin m_{psp2} (rys.25c-1). Spaliny pełnią rolę gazu obojętnego. Nie uczestniczą w procesie spalania, ale zmniejszają objętość komory spalania, co powoduje zwiększenie stopnia sprężania. Dzięki temu, przy tej samej masie wprowadzonej do komory spalania mieszanki m_{m1} wzrasta wartość ciśnienia w komorze spalania pod koniec suwu sprężania od wartości p_1 do wartości p_2 (rys.25c-2). Wzrastają też ciśnienia, przy których przebiega proces spalania. Dzięki temu rośnie sprawność procesu spalania, a więc maleje zużycie paliwa.

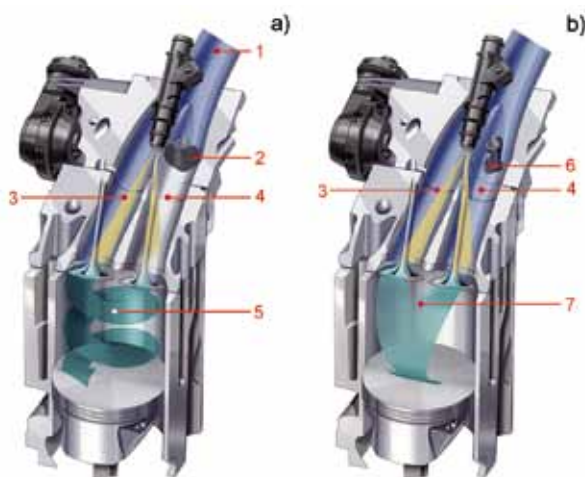
Opisany sposób zmniejszenia zużycia paliwa, przez zwiększenie masy spalin, jest od dawna wykorzystywany w silnikach. Spaliny pozostają w komorze spalania każdego silnika dzięki recykulacji wewnętrznej spalin. To duże wyzwanie dla konstruktorów układów wylotowych, aby w zakresie małych i średnich obciążeń silnika, do komór spalania silnika powracała określona masa spalin, a przy maksymalnych obciążeniach silnika, możliwie największa masa spalin była usuwana z komór spalania.

Można zwiększyć masę spalin wprowadzanych do komory spalania, przez zastosowanie układu recykulacji zewnętrznej spalin. Pozwala on również na większą kontrolę masy spalin wprowadzanych do komór spalania silnika. Recyрку-

lacja zewnętrzna spalin umożliwia obniżenie zużycia paliwa w silniku ZI o 3%.

Przykładem szczególnego wykorzystania zewnętrznego układu recykulacji spalin, dla obniżenia zużycia paliwa (oczywiście również w celu zmniejszenia emisji NO_x), jest układ Twinport, stosowany przez firmę Opel, w części silników serii Ecotec. Poznajmy go.

Do każdego cylindra silnika, powietrze doprowadza indywidualny kanał dolotowy 1 (rys.26a), który przed dwoma zaworami dolotowymi, rozdziela się na dwa indywidualne kanały 3 i 4. Każdy z dwóch kanałów doprowadza powietrze do jednego zaworu dolotowego. W jednym z kanałów jest zamontowana przepustnica 2, która zamyka lub otwiera przepływ powietrza do silnika. Takich przepustnic w układzie dolotowym silnika jest tyle ile silnik ma cylindrów. Wszystkie przepustnice są otwierane lub zamykane jednym siłownikiem podciśnieniowym, który jest połączony ciągnem z przepustnicami.



Rys.26 Napędzanie komory spalania silnika Ecotec firmy Opel, z układem Twinport: rys.a - podczas pracy w warunkach małego lub średniego obciążenia, w których do powietrza płynącego do silnika jest dodawana maksymalna masa recykulowanych spalin; rys.b - podczas pracy przy obciążeniu, w którym do spalin jest dodawana mała masa recykulowanych spalin, lub nie są dodawane. Elementy na rysunku: 1 - zbiorczy kanał układu dolotowego silnika, do jednego cylindra; 2 - przesłona w pozycji zamykającej przepływ przez kanał 4, 3 i 4 - indywidualne kanały układu dolotowego silnika, dla obu zaworów dolotowych jednego cylindra; 5 - intensywny ruch wirowy powietrza, paliwa i recykulowanych spalin, w przestrzeni roboczej cylindra; 6 - przesłona w pozycji otwierającej przepływu przez kanał 4; 7 - ruch powietrza, paliwa i ewentualnie recykulowanych spalin w przestrzeni roboczej cylindra. (Źródło: Opel)

Jeśli silnik pracuje w warunkach małych lub średnich obciążeń, układ zewnętrznej recykulacji spalin wprowadza do układu dolotowego spaliny. Stopień recykulacji spalin, jest bardzo wysoki, jak dla silnika ZI - wynosi 25%. W tych warunkach pracy silnika przepustnica 2 zamyka przepływ powietrza przez kanał 4. Paliwo jest wtryskiwane do przestrzeni roboczej cylindra dwoma strumieniami, przez szczeliny pomiędzy otwartymi zaworami dolotowymi a gniazdami zaworowymi. Powietrze i recykulowane spaliny wpływają do przestrzeni roboczej cylindra tylko przez kanał 3 i jeden zawór dolotowy. Są one wprowadzane w ruch wirowy 5.

Miesza on powietrze, recykulowane spaliny oraz wtrysnięte paliwo, aby powstała mieszkanka paliwowo-powietrzna, zmieszana ze spalinami, zapaliła iskra elektryczna.

Gdy silnik przechodzi do pracy w warunkach dużego obciążenia, stopień recykulacji spalin jest mały lub spaliny nie są recykulowane. Przepustnica 6 (rys.26b) otwiera przepływ powietrza lub powietrza i recykulowanych spalin, przez kanał 4. Opel nie podaje dokładnej informacji, w którym momencie przepustnica 6 otwiera przepływ przez kanał 4. Powietrze, wtrysnięte paliwo i spaliny, jeśli są recykulowane, są wprowadzane w znacznie słabszy ruch 7, w przestrzeni roboczej cylindra.

Jakie korzyści są z zastosowania tego układu? Silnik samochodu Astra, o pojemności 1,6 l, o mocy 76 kW, z układem zmiany faz rozrządu zaworów dolotowych i układem Twinport, zużywa średnio 6,5 l paliwa na 100 km. Poprzednia wersja tego silnika, bez obu układów i mocy 74 kW, zużywała 7 l paliwa na 100 km.

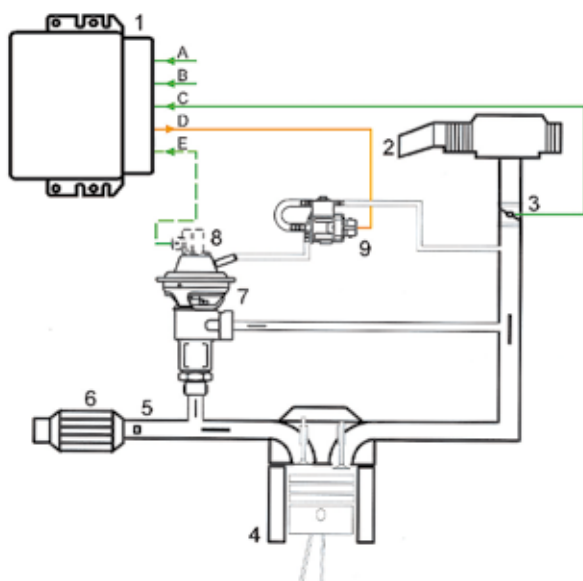
Obniżenie emisji tlenków azotu (NO_x). Drugą korzyścią ze stosowania układów zewnętrznej recykulacji spalin w silnikach ZI, jest zmniejszenie emisji tlenków azotu (NO_x). Jak wspominałem w pkt.4 (cz.1), spaliny mają większą od powietrza zdolność do odbierania ciepła, dzięki czemu obniżają szczytowe temperatury procesu spalania, co obniża ilość powstających w komorze spalania tlenków azotu (NO_x). W silnikach ZI, stopień recykulacji spalin wynosi zazwyczaj do 20%, co pozwala obniżyć emisję tlenków azotu (NO_x) do 40%.

6.3. Budowa zewnętrznych układów recykulacji spalin silników ZI

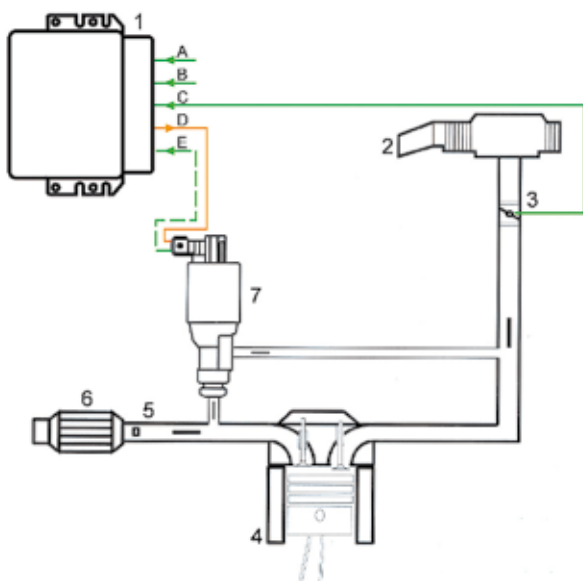
Rysunek 27 pokazuje typowy zewnętrzny układ recykulacji spalin ZI, elektryczno-pneumatyczny, sterowany elektronicznie. O ilości recykulowanych spalin decyduje wielkość otwarcia zaworu recykulacji spalin 7. O wielkości tego otwarcia sterownik może być informowany przez opcjonalny czujnik 8, położenia grzybka zaworu recykulacji spalin. Wielkość otwarcia zaworu recykulacji spalin, zależy od wartości podciśnienia, które jest doprowadzone do siłownika tego zaworu. Wartość podciśnienia jest modulowana (zmieniana w czasie) w zakresie - np. od 0 do 0,025 MPa (od 0 do 250 mbar) przez zawór modulacji podciśnienia 9. Jest on połączony z układem dolotowym, na odcinku pomiędzy przepustnicą a zaworami dolotowymi silnika. W tym odcinku panuje podciśnienie. Wartość podciśnienia, zasilającego zawór recykulacji spalin, jest sterowana sygnałem ze sterownika. Spaliny płyną od układu wylotowego do dolotowego, pod wpływem różnicy:

- ciśnienia spalin w kolektorze wylotowym silnika;
- ciśnienia powietrza w kolektorze dolotowym silnika (podciśnienia).

Rysunek 28 przedstawia zewnętrzny układ recykulacji spalin ZI, którego zawór recykulacji spalin 7 ma elektryczny



Rys.27 Zewnętrzny układ recykulacji spalin silnika ZI, elektryczno-pneumatyczny, sterowany elektronicznie. Elementy na rysunku: 1 - sterownik; 2 - filtr powietrza; 3 - przepustnica i potencjometr mierzący kąt otwarcia przepustnicy; 4 - silnik ZI; 5 - czujnik zawartości tlenu w spalinach; 6 - trójfunkcyjny konwerter katalityczny; 7 - pneumatyczny zawór recykulacji spalin; 8 - opcjonalny czujnik położenia grzybka zaworu recykulacji spalin; 9 - zawór modulacji podciśnienia (typu elektrycznego lub elektropneumatycznego); Sygnały wejściowe (A, B, C i E) i wyjściowy (D) sterownika, wykorzystywane przez sterownik do sterowania układem recykulacji spalin: A - temperatura płynu chłodzącego silnika; B - prędkość obrotowa silnika; C - informacja o obciążeniu silnika - w tym przykładzie jest nim kąt otwarcia przepustnicy; D - sygnał sterujący elektromagnetycznym modulatorem podciśnienia; E - położenie grzybka zaworu recykulacji spalin. (Źródło: Pierburg)



Rys.28 Zewnętrzny układ recykulacji spalin silnika ZI, elektryczny, sterowany elektronicznie. Elementy na rysunku: 1 - sterownik; 2 - filtr powietrza; 3 - przepustnica i potencjometr mierzący kąt otwarcia przepustnicy; 4 - silnik ZI; 5 - czujnik zawartości tlenu w spalinach; 6 - trójfunkcyjny konwerter katalityczny; 7 - elektryczny zawór recykulacji spalin, z czujnikiem położenia grzybka zaworu recykulacji spalin; Sygnały wejściowe (A, B, C i E) i wyjściowy (D) sterownika, wykorzystywane przez sterownik do sterowania układem recykulacji spalin: A - temperatura płynu chłodzącego silnika; B - prędkość obrotowa silnika; C - informacja o obciążeniu silnika - w tym przykładzie jest nim kąt otwarcia przepustnicy; D - sygnał sterujący elektrycznym zaworem recykulacji spalin; E - położenie grzybka zaworu recykulacji spalin. (Źródło: Pierburg)

element wykonawczy i posiada czujnik położenia grzybka zaworu recykulacji spalin. Sterownik 1 otrzymuje informację o otwarciu zaworu recykulacji spalin (sygnał E), dzięki czemu wielkość otwarcia zaworu recykulacji spalin 7 jest na bieżąco regulowana.

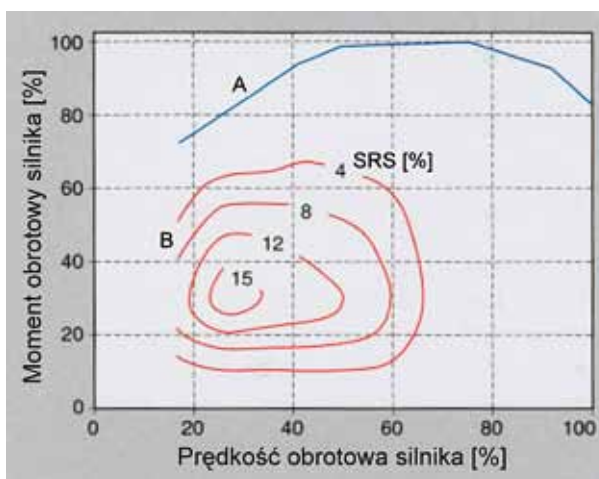
W obu układach, informacją o obciążeniu silnika jest kąt otwarcia przepustnicy - sygnał C (rys.27 i 28). Sygnałem informującym o obciążeniu obecnie produkowanych silników, jest sygnał z masowego przepływomierza powietrza lub sygnał z czujnika ciśnienia absolutnego w kolektorze dolotowym. Nie zmienia to sposobu pracy omówionych układów.

6.4. Stopień recykulacji spalin w zależności od warunków pracy silnika ZI

Wykres na rys.29 przedstawia przykładowe wartości stopnia zewnętrznej recykulacji spalin (SRS), dla różnych warunków pracy silnika ZI. Z wykresu można odczytać, że:

- największa masa spalin jest recykulowana przy obciążeniu silnika wynoszącym ok. 30%;
- w zakresie dużych obciążeń silnika, spaliny nie są recykulowane.

Jak widać z wykresu, wbrew często powtarzanej opinii, sprawnie pracujący zewnętrzny układ recykulacji spalin, nie przeszkadza silnikowi ZI osiągać maksymalnych wartości momentu obrotowego i mocy, bo gdy pedał gazu jest naciśnięty więcej niż o ok. 70% swojego maksymalnego skoku, zewnętrzna recykulacja spalin jest wyłączona.



Rys.29 Charakterystyka układu zewnętrznej recykulacji spalin silnika ZI, samochodu osobowego, z wtryskiem benzyny do układu dolotowego (pośrednim). Oznaczenia: SRS - stopień recykulacji spalin. Linie na wykresie: A - charakterystyka zewnętrzna momentu obrotowego silnika (przy maksymalnie otwartej przepustnicy); B - linie przedstawiające warunki pracy silnika (charakteryzowane przez parę wartości - prędkość obrotowa, moment obrotowy), przy których stopień recykulacji spalin (SRS) ma tę samą wartość. (Źródło: Wahler)

7. Recykulacja spalin w silnikach ZI WB

7.1. Zasada zewnętrznej recykulacji spalin w silnikach ZI WB

Jak wiemy z punktu 1.5., zasada sterowania wartością momentu obrotowego silnika ZI, z układem bezpośredniego wtrysku benzyny, zależy od rodzaju mieszanki, którą jest zasilany silnik. Wraz ze zmianą zasady sterowania silnika zmienia się też zasada zewnętrznej recykulacji spalin.

Jeśli silnik z układem bezpośredniego wtrysku benzyny jest zasilany mieszką uwarstwową, wówczas wartość momentu obrotowego silnika jest regulowana tak jak w silniku ZS. Analogicznie, tak jak w silniku ZS, recykulowane spaliny, wprowadzane do układu dolotowego, zastępują część powietrza płynącego do komory spalania (patrz pkt. 5.1.).

Jeśli silnik z układem bezpośredniego wtrysku benzyny jest zasilany mieszką homogeniczną ubogą lub o składzie bliskim stechiometrycznemu, wówczas wartość momentu obrotowego silnika jest regulowana tak jak w silniku ZI. Analogicznie, tak jak w silniku ZI, recykulowane spaliny, wprowadzane do układu dolotowego, są dodawane do powietrza płynącego do komory spalania (patrz pkt. 6.1.).

7.2. Korzyści ze stosowania recykulacji spalin w silnikach ZI WB

Obniżenie emisji tlenków azotu (NO_x). To podstawowy cel stosowania recykulacji spalin w silnikach ZI z układem bezpośredniego wtrysku benzyny, szczególnie, jeśli jest zasilany mieszkami uwarstwowymi lub homogenicznymi ubogimi (dlaczego? - patrz pkt.3.1. w cz.I).

Jeśli silnik z układem bezpośredniego wtrysku benzyny jest zasilany mieszką uwarstwową, to zastąpienie przez recykulowane spaliny, tej części powietrza płynącego do komory spalania, w której znajdują się tlen, nie jest potrzebny do procesu przygotowania i spalania mieszanki, obniża ilość tlenków azotu (NO_x) powstających w komorach spalania silnika, a więc obniża ich emisję.

Zmniejszenie ilości tlenków azotu (NO_x) powstających w komorach spalania, następuje wskutek zmniejszenia stężenia tlenu w komorze spalania. Jeśli bowiem tlen, który jest zbędny w procesie przygotowania i spalania mieszanki, zostanie wprowadzony do komory spalania, to w warunkach panujących podczas procesu spalania jego część wejdzie w reakcję z azotem, składnikiem zarówno powietrza jak

i spalin, w wyniku czego powstanie większa ilość tlenków azotu (NO_x). Większa ilość, ponieważ tlenki azotu i tak powstają, w wyniku reakcji azotu z częścią tlenu przeznaczoną do procesu spalania.

Drugim zadaniem recykulowanych spalin, jest obniżanie szczytowych temperatur procesu spalania, w celu zmniejszenia ilości tlenków azotu (NO_x) powstających w warunkach panujących w komorze spalania, podczas procesu spalania.

Gdy silnik ZI z układem bezpośredniego wtrysku benzyny, jest zasilany mieszką uwarstwową, obniżanie temperatury procesu spalania oraz zmniejszenie stężenia tlenu w komorze spalania, to dwa mechanizmy zmniejszania emisji tlenków azotu (NO_x).

Gdy silnik ZI z układem bezpośredniego wtrysku benzyny, jest zasilany mieszką homogeniczną ubogą lub stechiometryczną, emisja tlenków azotu (NO_x) jest obniżana tylko przez obniżanie temperatury procesu spalania.

W silniku ZI z układem bezpośredniego wtrysku benzyny, gdy jest zasilany mieszką uwarstwową, stopień recykulacji spalin wynosi do 50%. Powoduje on obniżenie emisji tlenków azotu (NO_x) o 50 do 60%. Gdy silnik jest silany mieszką homogeniczną, stopień recykulacji spalin wynosi do 30%.

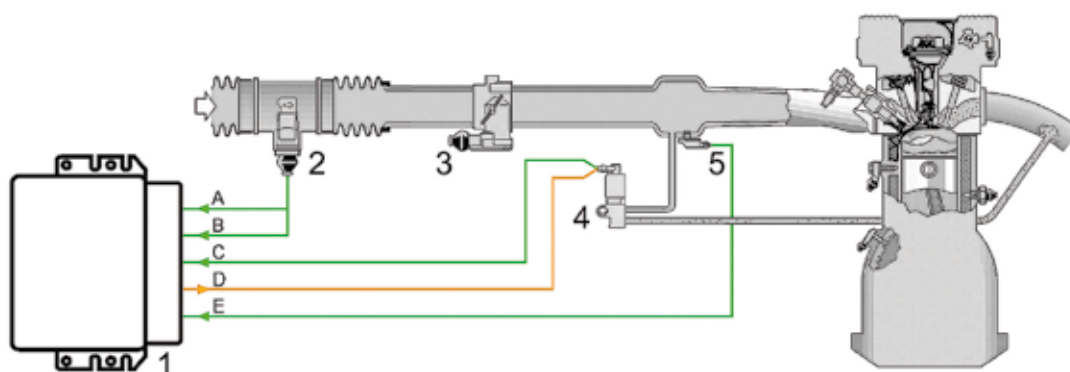
Zmniejszenie zużycia paliwa. Gdy silnik z układem bezpośredniego wtrysku benzyny jest zasilany mieszką ubogą lub homogeniczną, a więc pracuje tak jak typowy silnik ZI, recykulacja spalin ma również za zadanie zmniejszenie zużycia paliwa. Sposób, w jaki recykulowane spaliny obniżają zużycie paliwa, jest opisany w pkt. 6.2.. Recykulacja spalin obniża zużycie paliwa, przez silnik z bezpośrednim wtryskiem paliwa, o 2%.

7.3. Budowa zewnętrznych układów recykulacji spalin silników ZI WB

Jest ona podobna jak zewnętrznego układu recykulacji spalin silnika ZI. Ze względu na wymaganą dokładność dawkowania spalin, stosowane są elektryczne zawory recykulacji spalin 4 (rys.30). Ze względu na duże wartości stopnia recykulacji spalin, zawory recykulacji spalin stosowane w silnikach z bezpośrednim wtryskiem benzyny, cechują się dużymi wartościami masowego natężenia przepływu spalin - większymi niż zaworów recykulacji spalin, które są wykorzystywane w silnikach ZI.

Gdy silnik ZI z układem bezpośredniego wtrysku benzyny, jest zasilany mieszką uwarstwową, kąt otwarcia przepustnicy ma wartość stałą, mniejszą o kilka stopni od maksymalnego kąta otwarcia (kąt maksymalny - przepustnica jest równoległa do osi kanału układu dolotowego). To niecałkowite otwarcie przepustnicy na celu wytworzenie podciśnienia, koniecznego do wymuszenia przepływu spalin przez zewnętrzny układ recykulacji.

Gdy silnik ZI z układem bezpośredniego wtrysku benzyny, jest zasilany mieszką homogeniczną, ubogą lub stechio-



Rys.30 Zewnętrzny układ recykulacji spalin, wolnoścącego silnika ZI WB. Elementy na rysunku: 1 - sterownik; 2 - masowy przepływomierz powietrza; 3 - sterowana elektrycznie przepustnica; 4 - elektryczny zawór recykulacji spalin, z czujnikiem położenia grzybka zaworu recykulacji spalin; 5 - czujnik ciśnienia absolutnego. Sygnały wejściowe sterownika (A, B, C i E) wykorzystywane do obliczania masy recykulowanych spalin przez program sterownika: A - temperatura powietrza dolotowego, B - masa powietrza płynącego do silnika; C - położenie grzybka zaworu recykulacji spalin; E - ciśnienie absolutne mieszaniny powietrza i recykulowanych spalin płynących do silnika. Sygnał D jest sygnałem wyjściowym sterownika, który określa otwarcie elektrycznego zaworu recykulacji spalin.

metryczną, kąt otwarcia przepustnicy zmienia się, stosownie do wymaganej przez kierowcę wartości momentu obrotowego, a wartość podciśnienia, pomiędzy przepustnicą a zaworami dolotowymi, jest wystarczająca do przepływu spalin przez zewnętrzny układ recykulacji.

Ciekawy jest sposób, w jaki układ bezpośredniego wtrysku benzyny, Motronic MED 7, firmy Bosch, oblicza masę spalin recykulowanych przez układ recykulacji zewnętrznej - jest on przedstawiony poniżej.

Masowy przepływomierz powietrza 2 (rys.30) mierzy masę powietrza, która w jednostce czasu, np. jednej sekundzie, wpływa do układu dolotowego. Na tej podstawie sterownik 1 oblicza wartość ciśnienia absolutnego powietrza w układzie dolotowym silnika.

Spaliny wpływające przez zawór 4, układu zewnętrznej recykulacji spalin, powodują wzrost ciśnienia absolutnego panującego w układzie dolotowym.

Czujnik ciśnienia absolutnego 5 mierzy ciśnienie absolutne w układzie dolotowym. Ciśnienie to jest sumą ciśnienia powodowanego obecnością w układzie dolotowym powietrza, które wpłynęło przez masowy przepływomierz powietrza, oraz ciśnienia powodowanego obecnością w układzie dolotowym spalin, które wpłynęły układem recykulacji zewnętrznej.

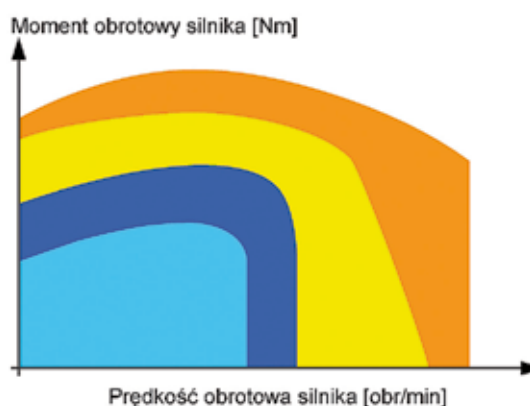
Sterownik odejmuje od ciśnienia absolutnego, zmierzonego w układzie dolotowym, wartość ciśnienia obliczonego przez sterownik, powodowanego obecnością w układzie dolotowym powietrza, które wpłynęło przez masowy przepływomierz powietrza - patrz punkt 1. Wynikiem tego odejmowania jest wartość ciśnienia, powodowanego obecnością w układzie dolotowym spalin, które wpłynęły układem recykulacji zewnętrznej.

Na podstawie obliczonego ciśnienia, powodowanego obecnością w układzie dolotowym recykulowanych spalin, sterownik oblicza masę tych spalin. Dzięki temu można bardziej zbliżyć się do maksymalnej, granicznej masy recykulowanych spalin, którą można wprowadzić do komory spalania silnika w aktualnych warunkach pracy silnika.

Jej przekroczenie powoduje nierówną pracę silnika. Można więc bezpiecznie zwiększyć masę recykulowanych spalin, osiągając większe korzyści z tego wynikające.

7.4. Stopień recykulacji spalin w różnych trybach pracy silnika ZI WB

Jego wartość, w różnych trybach pracy silnika ZI z układem bezpośredniego wtrysku benzyny, który może być zasilany mieszanką uwarstwowaną, przedstawia rys.31. Również jeśli ten typ silnika ZI pracuje w warunkach maksymalnego obciążenia, zewnętrzny układ recykulacji spalin jest wyłączony.



Stopień recykulacji spalin w różnych trybach pracy silnika z bezpośrednim wtryskiem benzyny, który może być zasilany mieszanką uwarstwowaną:

- - zasilanie silnika mieszanką uwarstwowaną - wysoki stopień recykulacji spalin, do 50%;
- - zasilanie silnika mieszanką homogeniczną ubogą - średni stopień recykulacji spalin, do 30%;
- - zasilanie silnika mieszanką homogeniczną - mały stopień recykulacji spalin;
- - zasilanie silnika mieszanką homogeniczną - układ recykulacji spalin jest wyłączony;

Rys.31

8. Porównanie zewnętrznych układów recyrkulacji spalin silników spalinowych

Jest ono ujęte w tabeli 3. Proszę zauważyć, które z celów stosowania układu recyrkulacji spalin, ma pierwszoplanowe znaczenie dla określonego rodzaju silnika. Gdy ten układ będzie uszkodzony lub odłączony, to można wywnioskować, jak może zachowywać się silnik. Przykładowo - silnik ZS samochodu osobowego może pracować głośniej bezpośrednio po rozruchu i w fazie nagrzewania.

Ponadto tabela 3 przeczy tezie, że układ recyrkulacji spalin jest stosowany tylko dla obniżenia emisji tlenków azotu (NO_x).

Tabela 3
Parametry pracy, cele stosowania i cechy zewnętrznych układów recyrkulacji spalin silników spalinowych
(Źródło: Wahler)

Parametr pracy, cel stosowania lub cecha zewnętrznego układu recyrkulacji spalin	Silnik ZI, z wtryskiem paliwa do kolektora dolotowego, dla samochodu osobowego*	Silnik ZI, z bezpośrednim wtryskiem paliwa, dla samochodu osobowego*	Silnik ZS, z bezpośrednim wtryskiem paliwa, dla samochodu osobowego*	Silnik ZS, z bezpośrednim wtryskiem paliwa, dla samochodu ciężarowego*
Maksymalny stopień recyrkulacji spalin	20%	• przy zasilaniu mieszanką uwarstwioną - 50%; • przy zasilaniu mieszanką homogeniczną - 30%	50%	50%
Maksymalna temperatura, mierzona u wlotu spalin do zaworu recyrkulacji spalin	650°C	450 do 650°C	450 do 550°C	550°C
Spadek ciśnienia towarzyszący przepływowi spalin przez zawór recyrkulacji spalin	100 do 400 hPa	50 do 500 hPa	50 do 500 hPa	10 do 1000 hPa
Zmniejszenie emisji tlenków azotu NO_x	+	++	++	++
Zmniejszenie zużycia paliwa	++	+	o	o
Zmniejszenie emisji węglowodorów (HC) w fazie nagrzewania silnika	o	o	+	o
Zmniejszenie emisji hałasu, którego źródłem jest „gwałtowny” przebieg procesu spalania bezpośrednio po uruchomieniu i w fazie nagrzewania silnika	o	o	+	o
Zdolność do szybkiej zmiany stopnia recyrkulacji spalin (ilości recyrkulowanych spalin), przez zawór recyrkulacji spalin	o	++	++	+
Dokładność ustawiania, wymaganego w danej chwili, stopnia recyrkulacji spalin (ilości recyrkulowanych spalin), przez zawór recyrkulacji spalin	o	++	++	++
Nieszczelność zaworu recyrkulacji spalin, w stanie zamkniętym	++	+	+	o
Dodatkowe zmniejszenie emisji tlenków azotu (NO_x), spowodowane chłodzeniem recyrkulowanych spalin	+	+	++	++
Możliwość przełączania przepływu strumienia recyrkulowanych spalin, pomiędzy przepływem przez chłodnicę a przepływem kanałem obejściowym	o	o	+	+

*Oznaczenia stopni ważności celów stosowania lub cech, zewnętrznych układów recyrkulacji spalin, ujętych w tabeli: ++ - wysokie; + - średnie; o - niskie.

9. Typy zaworów układów recykulacji spalin

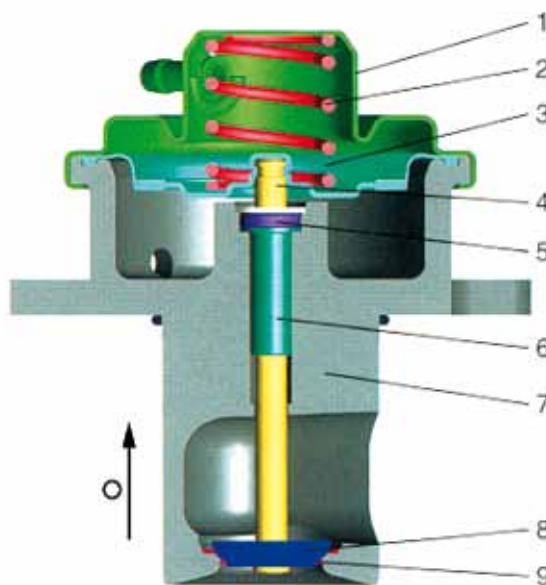
9.1. Pneumatyczny, wzniosowy zawór recykulacji spalin

To najczęściej stosowany typ zaworu (rys.32). Jest on otwierany podciśnieniem, wprowadzanym do puszk siłownika pneumatycznego 1 (rys.33), działającym na membranę 3, a zamykany sprężyną 2. Wielkość otwarcia zaworu ustala się, jeśli siła pochodząca od podciśnienia, działająca na membranę 3, zrównoważy się z siłą sprężyny 2. Wadą pneumatycznego zaworu wzniosowego jest jednak to, że przy tej samej wartości podciśnienia, wprowadzonej do siłownika pneumatycznego, przy ruchu w kierunku otwarcia, zawór ustawi się na inną wielkość otwarcia niż przy ruchu zamknięcia. Jest to tzw. histereza, która dla pneumatycznego zaworu recykulacji spalin jest względnie duża.



Rys.32 Przykłady pneumatycznych, wzniosowych zaworów recykulacji spalin: rys.a) dla silnika ZI, o małym masowym natężeniu przepływu spalin; b) dla silnika ZS, o dużym masowym natężeniu przepływu spalin, z czujnikiem położenia grzybka zaworu. (Źródło: Pierburg)

Jeśli zawór nie posiada czujnika położenia grzybka zaworu (rys.32a), to możliwe jest tylko sterowanie zaworem, czyli sterownik nie wie, jaka jest wielkość otwarcia zaworu. Jeśli zawór posiada czujnik położenia grzybka zaworu (rys.32b), to możliwa jest regulacja zaworu, czyli sterownik zna aktualne położenie grzybka zaworu i może zmieniać wartość podciśnienia, aż do uzyskania wymaganej wielkości otwarcia. Sprężyna 2 (rys.33) musi gwarantować szczelne zamknięcie grzybka zaworu 8 względem gniazda 9, również przy dużych wartościach ciśnienia spalin, występujących przy



Rys.33 Przekrój pneumatycznego, wzniosowego zaworu recykulacji spalin. Elementy zaworu: 1 - siłownik pneumatyczny; 2 - sprężyna wymuszająca ruch powrotny grzybka zaworu; 3 - membrana; 4 - trzonek zaworu; 5 - uszczelnienie trzonka zaworu; 6 - tuleja ślizgowa; 7 - obudowa zaworu; 8 - grzybek zaworu; 9 - gniazdo zaworu. Strzałka oznaczona literą „0” wskazuje kierunek ruchu grzybka zaworu w kierunku otwarcia. (Źródło: Wahler)

pracy silnika z dużymi obciążeniami. Przy braku podciśnienia, zawór pozostaje w pozycji zamkniętej.

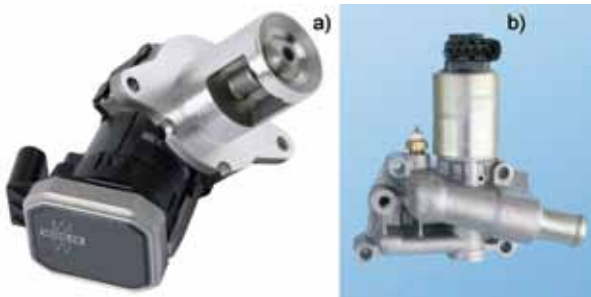
Pneumatyczny wzniosowy zawór recykulacji spalin cechuje się dużą szczelnością w stanie zamkniętym. Jest ona jednak uzależniona od stopnia zanieczyszczenia grzybka 8 i gniazda 9 zaworu.

Czas osiągnięcia 90% zadanej wielkości otwarcia pneumatycznego zaworu wzniosowego, liczony od chwili wydania przez sterownik polecenia zmiany wielkości otwarcia zaworu, zarówno przy ruchu otwarcia jak i zamknięcia zaworu, wynosi 200 do 300 ms. Są to długie czasy ustawiania zaworu recykulacji spalin.

Wadą pneumatycznego wzniosowego zaworu recykulacji spalin jest to, że sterownik nie ma możliwości przemieszczenia trzonka 4 lub grzybka 8 zaworu, jeśli nadmiernie wzrosną opory ruchu, wskutek pokrycia osadami tych elementów (patrz pkt.10). Jeśli zawór recykulacji spalin posiada czujnik położenia grzybka zaworu (rys.32b), to wprawdzie sterownik „zorientuje się”, że mimo wydania polecenia zmiany wielkości otwarcia zaworu, czyli zmiany wartości podciśnienia, grzybek zaworu nie poruszył się, ale nie jest w stanie zaradzić tej sytuacji, aby mimo wzrostu oporów ruchu przesunąć grzybek zaworu. Możliwe to jest w zaworach elektrycznych. Długie czasy ustawienia pneumatycznego wzniosowego zaworu recykulacji spalin, duża histereza oraz brak możliwości zmiany otwarcia zaworu, gdy wzrosną opory ruchu trzonka zaworu, powodują że ten typ zaworu jest zastępowany przez elektryczny wzniosowy zawór recykulacji spalin.

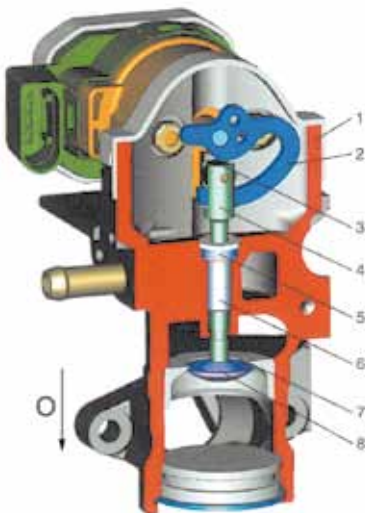
9.2. Elektryczny, wzniosowy zawór recykulacji spalin

Dwa wykonania zaworów tego typu przedstawia rys.34.



Rys.34 Elektryczne, wzniosowe zawory recykulacji spalin. Na rysunku (a), zawór jest widoczny od strony grzybka zaworu sterującego przepływem spalin. Na rysunku (b) widoczny jest zawór recykulacji spalin, chłodzony płynem z układu chłodzenia silnika. (Źródła: Wahler i Pierburg)

Ruch liniowy grzybka zaworu 8 (rys.35) jest wymuszany przez obrót krzywki płaskiej 2. W odróżnieniu od pneumatycznego wzniosowego zaworu recykulacji spalin (rys.33), w zaworze elektrycznym grzybek zaworu 8 (rys.35) jest dociskany do gniazda zaworu 7 siłą pochodzącą od ciśnienia spalin w układzie wylotowym. Ponadto, podczas otwierania zaworu, grzybek 8 zaworu elektrycznego wykonuje ruch w dół - kierunek „O” na rys.35, podczas gdy grzybek zaworu pneumatycznego wykonuje ruch do góry - kierunek „O” na rys.33. Przy braku zasilania elektrycznego, zawór pozostaje w pozycji zamkniętej.



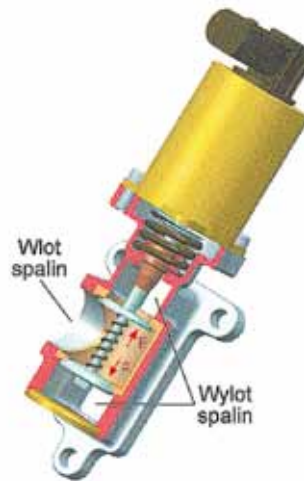
Rys.35 Przekrój elektrycznego, wzniosowego zaworu recykulacji spalin. Elementy zaworu: 1 - obudowa zaworu; 2 - krzywka płaska; 3 - ułożyskowana rolka współpracująca z krzywką; 4 - trzonek zaworu; 5 - uszczelnienie trzonka zaworu; 6 - tuleja ślizgowa; 7 - gniazdo zaworu; 8 - grzybek zaworu. Strzałka oznaczona literą „O” wskazuje kierunek ruchu grzybka zaworu w kierunku otwarcia. (Źródło: Wahler)

Elektryczny wzniosowy zawór recykulacji spalin, podobnie jak zawór pneumatyczny, cechuje się dużą szczelnością grzybka zaworu 8 w stosunku do gniazda zaworu 7.

Czas ustawienia zadanej wielkości otwarcia elektrycznego zaworu wzniosowego, liczony od chwili wydania przez sterownik polecenia zmiany wielkości otwarcia zaworu, zarówno przy ruchu otwarcia jak i zamknięcia zaworu, wynosi do 50 ms.

Jeśli układ elektroniczny, elektrycznego wzniosowego zaworu recykulacji spalin rozpozna, że:

- wzrosły opory ruchu trzonka 4 lub grzybka 8, wskutek pokrycia osadami obu elementów (patrz pkt.10);
 - wzrosła siła działająca na grzybek zaworu 8, wskutek dużej różnicy ciśnień pomiędzy ciśnieniem spalin w układzie wylotowym a ciśnieniem powietrza w układzie dolotowym; następuje chwilowy wzrost natężenia prądu, płynącego przez element wykonawczy, który powoduje chwilowy wzrost siły otwierającej lub zamykającej zawór.
- Jest również opracowany elektryczny wzniosowy zawór recykulacji spalin (rys.36), z kompensacją sił pochodzących od różnicy pomiędzy ciśnieniem spalin w układzie wylotowym a ciśnieniem powietrza w układzie dolotowym - siły F na rys.36. Zrównoważenie tych się zmniejsza siłę konieczną do otwarcia lub zamknięcia zaworu.



Rys.36 Elektryczny, wzniosowy zawór recykulacji spalin z dwoma grzybkami zaworów i z wzajemną kompensacją sił F (siły te równoważą się), które powstają wskutek różnicy ciśnień pomiędzy ciśnieniem spalin w układzie wylotowym a ciśnieniem powietrza w układzie dolotowym silnika. (Źródło: Pierburg)

9.3. Elektryczny, obrotowy zawór recykulacji spalin

Ten typ zaworu (rys.37) został opracowany ze względu na zapotrzebowanie przemysłu motoryzacyjnego na zawór recykulacji spalin o podanych poniżej cechach:

- zapewnienie dużego masowego natężenia przepływu spalin w zakresie małych i średnich obciążeń silnika;
- możliwość długotrwałego utrzymania małego masowego natężenia przepływu spalin, przy pracy silnika z dużym obciążeniem, a więc przy wysokich ciśnieniach spalin w układzie wylotowym, które powodują duże różnice ciśnień działających na element otwierający/zamykający przepływ spalin.

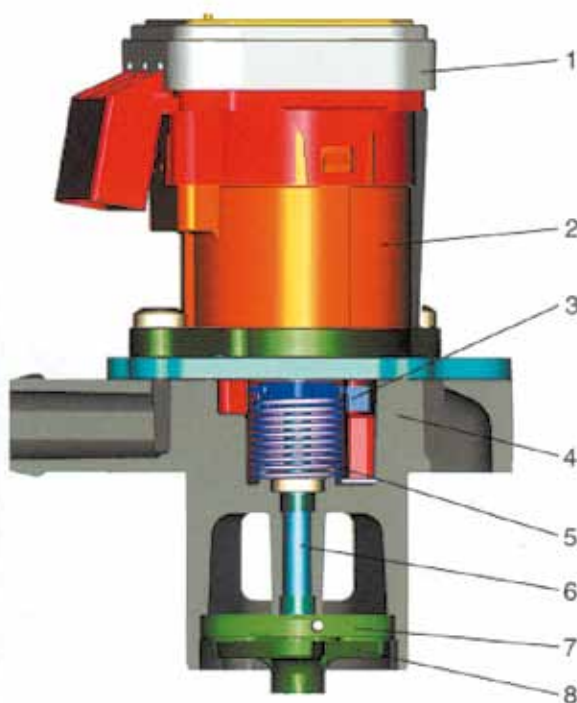
Drugi z wymogów wynika z tego, że wkrótce, również przy maksymalnym obciążeniu silnika ZS, będzie recykulowana niewielka ilość spalin. W pneumatycznych zaworach wzniosowych recykulacji spalin, precyzyjne utrzymanie małego otwarcia zaworu, przy dużej różnicy ciśnień pomiędzy ciśnieniem spalin w układzie wylotowym a ciśnieniem powietrza w układzie dolotowym, nie jest możliwe.



Rys.37 Elektryczny, obrotowy zawór recykulacji spalin. (Źródło: Wahler)

W elektrycznych zaworach wzniosowych recykulacji spalin, utrzymanie jakiegokolwiek otwarcia zaworu przy dużej różnicy ciśnień wymagałoby stałego zasilania zaworu prądem o dużym natężeniu, co nie jest korzystne np. ze względu na nagrzewanie się elementu wykonawczego zaworu.

W obrotowym zaworze recykulacji spalin, natężenie przepływu recykulowanych spalin jest regulowane przez obrót talerzyka zaworu 8 (rys.38), który odsłania lub przesłania kanały przepływu spalin, znajdujące się w gnieździe talerzyka zaworu 7. Przez dobór kształtu kanałów przepływu spalin, można uzyskać pożądaną charakterystykę zaworu.



Rys.38 Przekrój elektrycznego, obrotowego zaworu recykulacji spalin. Elementy zaworu: 1 - elektroniczny układ sterujący wraz z czujnikiem kąta otwarcia zaworu; 2 - elektryczny element wykonawczy, wymuszający obrót talerzyka zaworu, w kierunku otwarcia; 3 - element sprzęgający; 4 - obudowa zaworu; 5 - sprężyna wymuszająca obrót talerzyka zaworu w kierunku zamknięcia; 6 - trzpień talerzyka zaworu; 7 - gniazdo talerzyka zaworu; 8 - talerzyk zaworu. (Źródło: Wahler)

Różnica ciśnień, działająca na talerzyk zaworu 8, dociska go do gniazda 7, a wzrost różnicy ciśnień tylko w niewielkim stopniu zwiększa siłę potrzebną do obracania talerzyka zaworu 8.

Ważnym elementem zaworu obrotowego jest element sprzęgający 3, którego zadaniem jest kompensacja zmiany wymiarów trzpienia 6 - wydłużenia i przesunięcia promieniowego, aby te nie przenosiły się na element wykonawczy 2.

Elektryczny, obrotowy zawór recykulacji spalin otwiera się pod wpływem momentu obrotowego elementu wykonawczego 2, a zamyka się pod wpływem momentu obrotowego sprężyny 5. Przy braku zasilania elektrycznego, zawór pozostaje w pozycji zamkniętej.

Elektryczny, obrotowy zawór recykulacji spalin, w pozycji zamkniętej, jest mniej szczelny od zaworów typu wzniosowego. Przez nieszczelności pomiędzy zamkniętym talerzykiem 8 a gniazdem 7 przepływa pięciokrotnie więcej spalin niż wokół zamkniętego grzybka zaworu wzniosowego.

Czas ustawienia zadanej wielkości otwarcia elektrycznego zaworu obrotowego, liczony od chwili wydania przez sterownik polecenia zmiany wielkości otwarcia zaworu, zarówno przy ruchu otwarcia jak i zamknięcia zaworu, wynosi do 70 ms.

Wadą obrotowego zaworu recykulacji spalin, jest jego wrażliwość na zanieczyszczenia (patrz. pkt.10). Zwiększają one moment obrotowy, niezbędny do obrotu talerzyka zaworu 8. Dla zmniejszenia niekorzystnego wpływu zanieczyszczeń, okna gniazda talerzyka zaworu mają podniesione progi. Mają one za zadanie usuwanie osadów z talerzyka zaworu. Czyszczenie talerzyka zaworu jest wspomagane przez specjalną funkcję układu elektronicznego zaworu. Ponadto, jeśli układ elektroniczny, elektrycznego obrotowego zaworu recykulacji spalin rozpozna, że wzrosły opory obrotu talerzyka 8 w stosunku do gniazda 7, wskutek pokrycia osadami obu elementów, to następuje chwilowy wzrost wartości natężenia prądu, płynącego przez element wykonawczy, który powoduje chwilowy wzrost momentu obrotowego otwierającego zawór.

9.4. Elektryczny, kłapowy zawór recykulacji spalin

Jest to zawór (rys.39) opracowany w celu zapewnienia dużych masowych natężeń przepływu spalin, wymaganych w silnikach ZS samochodów ciężarowych. Przepływ spalin jest regulowany kłapą 8 (rys.40). Jej ruch obrotowy zmienia pole przekroju przepływu spalin przez szczelinę pomiędzy kłapą 8 z obudową 9.

Elektryczny, kłapowy zawór recykulacji spalin otwiera się pod wpływem momentu obrotowego elementu wykonawczego 2, a zamyka się pod wpływem momentu obrotowego sprężyny 4. Przy braku zasilania elektrycznego, zawór pozostaje w pozycji zamkniętej.

Ze względu na względnie dużą średnicę kłapy 8, przy dużych różnicach ciśnień, na łożyska 5 działają duże obciążenia.

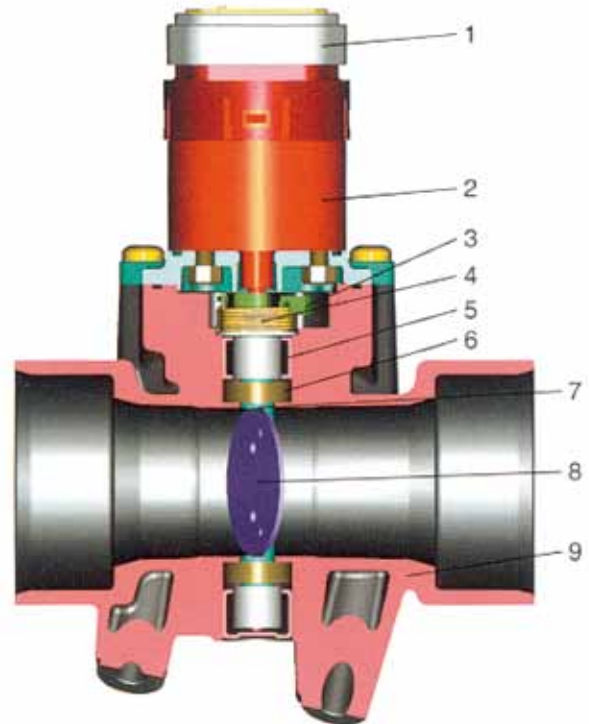


Rys.39 Elektryczny, klapowy zawór recykulacji spalin. (Źródło: Wahler)

Ten element wymaga szczególnej uwagi przy projektowaniu, gdyż od tych zaworów jest wymagana duża trwałość. Element sprzęgający 3, ma za zadanie kompensację wydłużenia i przesunięcia promieniowego trzpienia kłapy zaworu 7, aby one nie przenosiły się na element wykonawczy 2. Elektryczny, klapowy zawór recykulacji spalin, w pozycji zamkniętej, jest mniej szczelny od zaworów typu wzniosowego. Ilość spalin, które przepływają przez nieszczelności pomiędzy zamkniętą klapą 8 zaworu a obudową 9, zależy od średnicy kłapy 8, ale przeciętnie przepływa pięciokrotnie więcej spalin niż wokół zamkniętego grzybka zaworu wzniosowego.

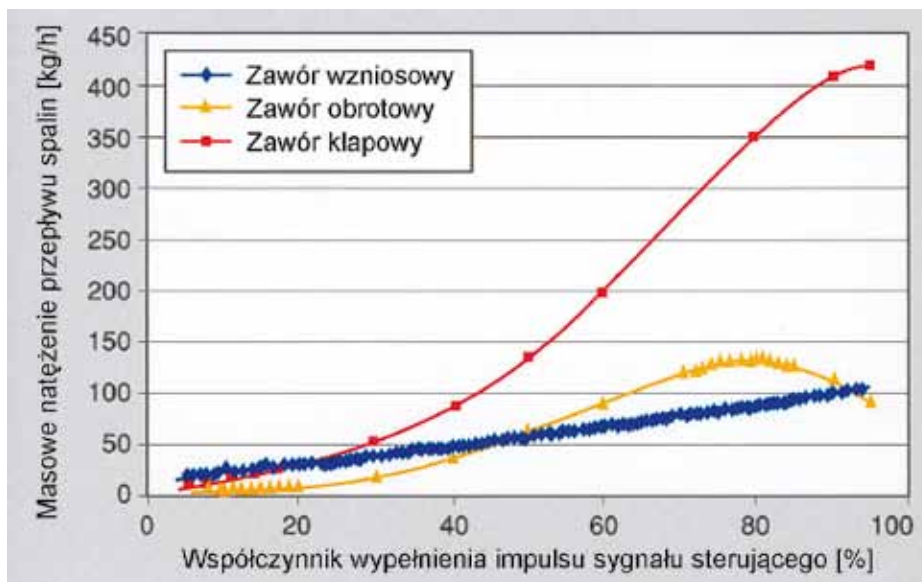
Czas ustawienia zadanej wielkości otwarcia elektrycznego zaworu klapowego, liczony od chwili wydania przez sterownik polecenia zmiany wielkości otwarcia zaworu, zarówno przy ruchu otwarcia jak i zamknięcia zaworu, wynosi do 100 ms.

Kłapa 8 zaworu, jest narażona na blokowanie się względem obudowy 9, wskutek pokrywania się obu elementów osadami (patrz. pkt.10). Jeśli układ elektroniczny, elektrycznego klapowego zaworu recykulacji spalin rozpozna, że wzrosły



Rys.40 Przekrój elektrycznego, klapowego zaworu recykulacji spalin. Elementy zaworu: 1 - elektroniczny układ sterujący wraz z czujnikiem kąta otwarcia zaworu; 2 - elektryczny element wykonawczy, wymuszający obrót kłapy zaworu, w kierunku otwarcia; 4 - sprężyna wymuszająca obrót kłapy zaworu w kierunku zamknięcia; 5 - łożysko toczne; 6 - uszczelnienie trzpienia kłapy zaworu; 7 - trzpień kłapy zaworu; 8 - kłapa zaworu. 9 - obudowa zaworu. (Źródło: Wahler)

opory obrotu kłapy 8 w stosunku do obudowy 9, wskutek pokrycia osadami obu elementów, to następuje chwilowy wzrost wartości natężenia prądu, płynącego przez element wykonawczy, który powoduje chwilowy wzrost momentu obrotowego otwierającego klapę.



Rys.41 Porównanie masowego natężenia przepływu spalin, dla trzech typów zaworów recykulacji spalin. (Źródło: Wahler)

9.5. Dobór zaworów recykulacji spalin

Dobór typu zaworu do silnika odbywa się (w uproszczeniu) z uwzględnieniem następujących kryteriów:

- rodzaj samochodu;
- masa pojazdu;
- rodzaj silnika (ZI, ZS), jego pojemność skokowa i liczba cylindrów;
- obecna i przyszła homologacyjna norma emisji składników szkodliwych, którą samochód musi spełnić;
- temperatura spalin na wejściu do zaworu recykulacji spalin;
- wymagane masowe natężenie przepływu spalin;
- wymagana szybkość otwierania/zamykania zaworu;
- wymagana dokładność regulacji masowego natężenia przepływu spalin, z szczególnym uwzględnieniem zakresu małego masowego natężenia przepływu spalin;
- wymagana szczelność zaworu w stanie zamkniętym.

Niekiedy trzeba uwzględnić specjalne warunki, np. niska temperatura spalin silnika ZS, w granicach od 70 do 90°C, przy której jest duża skłonność do pokrywania zaworu osadami typu węglowodorowego, podobnymi do laków, które powodują zakleszczanie się zaworu.

Konstruktorzy mają do wyboru różne wersje przedstawionych zaworów. Proszę zwrócić uwagę na wykresie na rys.41, (na poprzedniej stronie), na różnice pomiędzy zaworami poszczególnych typów, jeśli chodzi o masowe natężenie przepływu spalin. W celach poglądowych, tabela 4 przedstawia przykładowy dobór zaworów.

Tabela 4

Przykładowe zastosowania zaworów recykulacji spalin, różnych typów (Źródło: Wahler)

Typ zaworu recykulacji spalin	Natężenie przepływu spalin przez zawór - w kg/godzinę przy różnicy ciśnień 100 hPa	Przykładowe zastosowanie zaworu recykulacji
Elektryczny zawór wzniosowy	Poniżej 120	Silnik ZS samochodu osobowego lub silnik ZI z bezpośrednim wtryskiem benzyny, o pojemności skokowej do 2500 cm ³
Elektryczny zawór obrotowy	Od 120 do 160	Silnik ZS samochodu osobowego lub średniego ciężarowego
Elektryczny zawór kłapowy	Powyżej 200	Silnik ZS ciężkiego samochodu ciężarowego

10. Zanieczyszczenie zaworów recykulacji spalin

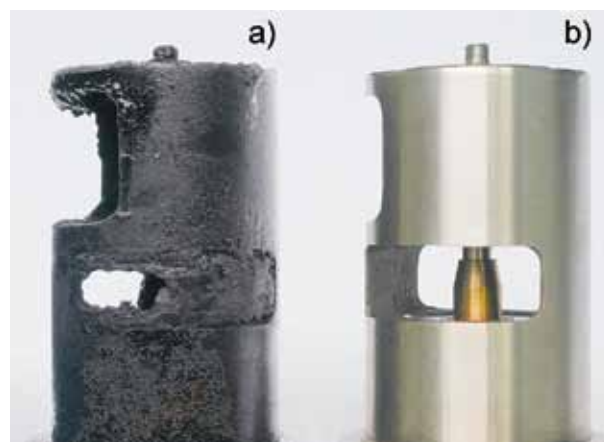
Zawory recykulacji spalin, w trakcie pracy silnika, pokrywają się osadami (rys.42). Osady nie powstają w wyniku pracy zaworu. Przyczyna powstawania osadów jest zawsze poza zaworem, dlatego wymiana lub czyszczenie zaworu musi być poprzedzone ustaleniem przyczyny zanieczyszczenia - w innym wypadku mija się ono z celem.

Osady pokrywające zawór recykulacji spalin:

- zmniejszają pole przepływu spalin przez kanały lub okna zaworu (rys.42, 43);
- zwiększają opory ruchu zaworu (rys.44);
- zmniejszają wielkość otwarcia zaworu lub całkowicie blokują otwarcie zaworu (rys.45);
- uniemożliwiają szczelne zamknięcie zaworu.

Przyczyny pokrywania zaworów recykulacji spalin nadmierną warstwą osadów:

- za duża ilość oleju w powietrzu dopływającym do silnika układem dolotowym - dotyczy to szczególnie powietrza tłoczonego przez turbosprężarkę;
- proces spalania paliwa, pozostawiający za sobą dużą ilość osadów;
- silnik pracuje w temperaturze niższej od roboczej;
- uszkodzenie układu sterowania silnika, które powoduje jego nieprawidłową pracę;
- nieprawidłowa lub stara wersja oprogramowania sterownika silnika;
- częsta jazda na krótkich trasach, podczas których silnik



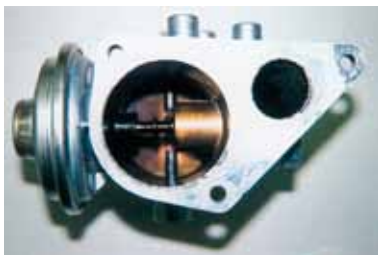
Rys.42 Zawór recykulacji spalin pokryty osadami typu węglowego, tzw. nagarami (a) i zawór czysty, tego samego typu. Przyczyna zanieczyszczenia zaworu jest zawsze poza zaworem. (Źródło: Pierburg)



Rys.43 Zawór recykulacji spalin pokryty osadami typu węglowego, tzw. nagarami. (Źródło: Pierburg)



Rys.46 Trzonek zaworu recykulacji spalin i jego obudowa, pokryte kondensatem ze spalin (skroplona para wodna znajdująca się w spalinach, o kwaśnym odczynie, wskutek rozpuszczenia w niej kwaśnych produktów spalania). (Źródło: Pierburg)



Rys.44 Zawór recykulacji spalin pokryty osadami pochodzącymi z procesu utleniania oleju silnikowego. Mogą one utrudnić lub uniemożliwić pracę takiego pneumatycznego zaworu wzniosowego recykulacji spalin. (Źródło: Pierburg)



Rys.45 Grzybek zaworu recykulacji spalin, pokryty osadami typu węglowego, tzw. nagarami. (Źródło: Pierburg)

nie osiąga temperatury roboczej; tworzy się wówczas emulsja oleju i pary wodnej, która dostaje się przez układ odpowietrzenia skrzyni korbowej do układu dolotowego; przy takim sposobie eksploatacji samochodu, wykrapla się wówczas ze spalin w układzie wylotowym, duża ilość kondensatu (rys.46), a ponieważ ma odczyn kwaśny, działa korozyjne na elementy zaworu.

- duża zawartość cząstek stałych w spalinach silników ZS. Za duża ilość oleju w powietrzu dopływającym układem dolotowym do silnika, może być spowodowana przez:
 - nieprawidłową pracę układu przewietrzania skrzyni korbowej silnika, wskutek niesprawnego separatora par oleju lub zaworu przewietrzania skrzyni korbowej silnika;

- zwiększoną ilość przedmuchów spalin do skrzyni korbowej silnika;
- zużyte prowadnice zaworów lub uszczelniacze trzoneków zaworów;
- uszkodzenie turbosprężarki - za duże zużycie łożysk turbosprężarki lub zablokowany przewód powrotny oleju w układzie smarowania;
- użycie oleju silnikowego o nieprawidłowej jakości;
- za wysoki poziom oleju silnikowego.

Klient serwisu, może zgłosić następujące niesprawności, których pierwotną przyczyną jest nadmierna ilość osadów pokrywające elementy zaworu recykulacji spalin:

- nierówny bieg jałowy silnika;
- szarpanie;
- zmniejszenie mocy silnika;
- silnik pracuje z wykorzystaniem procedury awaryjnej;
- w zestawie wskaźników świeci się kontrolka MIL, informująca kierowcę o rejestracji potwierdzonego kodu usterki. Według informacji firmy Pierburg, osady pokrywające grzybek zaworu lub jego gniazdo, są najczęstszymi przyczynami uszkodzenia zaworu recykulacji spalin. Pokryciu zaworu recykulacji spalin nadmierną ilością osadów może towarzyszyć rejestracja lub pokrycie zaworu recykulacji spalin nadmierną ilością osadów może być powodem rejestracji w pamięci sterownika następujących kodów usterek:
 - P0172 - Mieszanka paliwowo-powietrzna zasilająca blok cyl. nr 1 - za bogata;
 - P0175 - Mieszanka paliwowo-powietrzna zasilająca blok cyl. nr 2 - za bogata;
 - P0400 - Recykulacja spalin - nieprawidłowy przepływ;
 - P0401 - Recykulacja spalin - wykryte za małe natężenie przepływu;
 - P0402 - Recykulacja spalin - wykryte za duże natężenie przepływu;
 - P0403 - Obwód sterowania układu recykulacji spalin - nieprawidłowe działanie;
 - P0404 - Obwód sterowania układu recykulacji spalin - nieprawidłowy zakres wartości sygnału lub problem ze sprawnością.

Zawsze należy też sprawdzić sprawność układu sterowania silnika, bowiem uszkodzenia czujników, powodują błędy w sterowaniu silnikiem, a te mogą skutkować nieprawidłowym przebiegiem procesu spalania, którego następstwem będzie duża ilość osadów gromadząca się na zaworze recykulacji spalin.

Firma Pierburg odradza mycie zaworów. Powód tego jest taki, że usunięcie osadów, szczególnie pochodzenia olejowego, wymaga użycia agresywnych środków chemicznych, a te mogą uszkodzić układy elektroniczne, w które są wyposażone zawory, z wyjątkiem całkowicie mechanicznego pneumatycznego zaworu recykulacji spalin, bez czujnika położenia grzybka zaworu. Według mojej opinii, można to robić, ale „z głową”, tak aby środek myjący nie dostał się do nastawnika i układów elektrycznych.

Jako środek zaradczy na zanieczyszczenia zaworów recykulacji spalin, firma Pierburg zaleca sprawdzenie, czy w sterowniku silnika jest najnowsza wersja oprogramowania dla danego typu silnika. Zalecenie to wynika z następujących względów:

- oprogramowanie może zawierać błędy, które powodują nieprawidłową pracę silnika - uaktualnienie oprogramowania usuwa problemy z nich wynikające;
- w nowszych wersjach oprogramowania mogą być dodane funkcje, których zadaniem jest pomoc w usuwaniu osadów, aby one nie hamowały ruchu elementów zaworu recykulacji spalin.

Tak więc w przypadku nadmiernego zanieczyszczenia zaworu recykulacji spalin, warto zaktualizować oprogramowanie sterownika silnika, do jego najnowszej wersji.

11. Adaptacja zaworów recykulacji spalin

Oprogramowanie sterowników wielu nowoczesnych silników, np. samochodów Audi, Seat, Skoda i VW (rys.47), po zamontowaniu nowego zaworu recykulacji spalin, wymaga przeprowadzenia procedury jego adaptacji. Aby ją przeprowadzić, należy dysponować testerem diagnostycznym z funkcją „Adaptacja” lub „Ustawienia podstawowe”. Procedura adaptacji ma na celu poznanie przez sterownik charakterystycznych punktów charakterystyki danego egzemplarza zaworu recykulacji spalin, aby można było zachować wymagane, odpowiednio krótkie, czasy zmiany otwarcia zaworów.

Jeśli zostanie zamontowany zawór recykulacji spalin, a nie zostanie wykonana procedura jego adaptacji, klient serwisu może zgłosić następujące niesprawności:

- zawór recykulacji spalin nie działa;
- sterownik nie rozpoznał nowego zaworu recykulacji spalin, po jego zamontowaniu;
- w zestawie wskaźników świeci się kontrolka MIL, informująca kierowcę o rejestracji potwierdzonego kodu usterki. Niewykonanie procedury adaptacji zaworu recykulacji spalin, może spowodować zarejestrowanie następujących kodów usterek (w nawiasach są podane kody usterek wg oznaczeń firm: Audi, Seat, Skoda i VW):
- P0400 (16784) - Recykulacja spalin - nieprawidłowy przepływ;
- P0401 (16785) - Recykulacja spalin - wykryte za małe natężenie przepływu;
- P0402 (16786) - Recykulacja spalin - wykryte za duże natężenie przepływu;
- P0404 (16787) - Obwód sterowania układu recykulacji spalin - nieprawidłowy zakres wartości sygnału lub problem ze sprawnością.

Jeśli wystąpią powyżej opisane objawy, lub zostaną zarejestrowane podane powyżej kody usterek, to wg informacji firmy Pierburg jest prawdopodobne, że zawór recykulacji spalin nie jest uszkodzony, tylko nie została wykonana jego adaptacja. In nowszy samochód, tym jest to bardziej prawdopodobne.

Kupując tester warto sprawdzić, czy ten tester umożliwia wykonanie procedury adaptacji w pojazdach, które tego wymagają, a które chcemy serwisować. W przeciwnym wypadku, po wykonaniu wymiany zaworu recykulacji spalin lub innego elementu wymagającego procedury adaptacji (np. przepustnicy), nie będzie możliwe uruchomienie tego elementu.



Rys.47 Przykłady elektrycznych zaworów recykulacji spalin, dla silników samochodów Audi, Seat, Skoda i VW, które po zamontowaniu wymagają procedury adaptacji. (Źródło: Pierburg)

12. Uszkodzenia zewnętrznych układów recyrkulacji spalin i wyszukiwanie ich przyczyn

W przypadku podejrzenia uszkodzenia układu recyrkulacji spalin, zapraszam do zapoznania się z ujętymi w tabelach 5 i 6 możliwymi uszkodzeniami tego układu, oraz uszkodzeniami innych układów, które mogą powodować nieprawidłową pracę układu recyrkulacji spalin.

Obie tabele zostały opracowane przez firmę Pierburg. Ja wykonałem ich tłumaczenie, dodałem do obu tabel nazwy, a dla tabeli 5 rozszerzyłem zakres informacji ujętych w uwagach.

Zanim rozpoczniecie Państwo zapoznanie z tabelami, proszę zapoznać się z nagłówkami tabel, oraz uwagami odnoszącymi się do niej. Są tam wskazówki, dla których pojazdów informacje z danej tabeli mają zastosowanie. Proszę jednak traktować te informacje tylko jako wskazówki, gdzie szukać przyczyny niesprawności układu recyrkulacji spalin. W tabelach nie są ujęte wszystkie możliwe przyczyny uszkodzeń, ale uważam, że obie tabele mogą być pomocne.

Tabela 5
Uszkodzenia zewnętrznych układów recyrkulacji spalin silników i ich możliwe przyczyny
- orientacyjnie dla pojazdów wyprodukowanych do roku 1999⁽¹⁾
(Źródło: Pierburg)

Opis usterki	Następstwa lub objawy usterki	Możliwe przyczyny powstania usterki	Środki zaradcze - usunięcie usterki
Zewnętrzne układy recyrkulacji spalin silników ZI			
<ul style="list-style-type: none"> Zawór recyrkulacji spalin nie otwiera się⁽²⁾ 	<ul style="list-style-type: none"> Silny wzrost emisji tlenków azotu (NO_x) Ilość recykulowanych spalin nie odpowiada wartościom zapisanym w pamięci sterownika (w tzw. mapach, zawierających dane do sterowania silnikiem) Wartości kątów wyprzedzenia zapłonu są za duże w tych warunkach pracy silnika, w których miały być recykulowane spaliny, a nie są, w wyniku usterki⁽³⁾ Zwiększone zużycie paliwa 	<ul style="list-style-type: none"> Brak sterowania zaworem recyrkulacji spalin lub zawór został celowo wyłączony z pracy - odłączony, zaślepiony⁽⁴⁾ 	<ul style="list-style-type: none"> Sprawdzenie prawidłowości połączeń i pracy elektrycznego układu sterującego Sprawdzenie szczelności połączeń pneumatycznego układu sterującego Sprawdzenie: elektrycznego zaworu przełącznikowego podciśnienia, zaworu modulacji podciśnienia typu elektrycznego lub elektropneumatycznego
	<ul style="list-style-type: none"> Nierówny bieg jałowy silnika lub jego całkowity brak Nierównomierna praca silnika podczas jego nagrzewania Zwiększone zużycie paliwa Ilość recykulowanych spalin nie odpowiada wartościom zapisanym w pamięci sterownika (w tzw. mapach, zawierających dane do sterowania silnikiem) Wartości kątów wyprzedzenia zapłonu są za duże w tych warunkach pracy silnika, w których miały być recykulowane spaliny, a nie są, w wyniku usterki⁽³⁾ W sterowniku został zapamiętany kod usterki. W zestawie wskaźników może się również zapalić kontrolka MIL, informująca kierowcę o rejestracji kodu usterki⁽⁷⁾ 	<ul style="list-style-type: none"> Zawór recyrkulacji spalin jest zablokowany osadami lub pokryty ich nadmierną ilością⁽⁵⁾ 	<ul style="list-style-type: none"> Wymiana zaworu recyrkulacji spalin lub jego czyszczenie⁽⁶⁾
	<ul style="list-style-type: none"> Nierówny bieg jałowy silnika lub jego całkowity brak Opóźniona reakcja silnika na zwiększenie otwarcia przepustnicy Pracy silnika w zakresie małych lub średnich obciążań, towarzyszy szarpanie Silnik nie osiąga maksymalnych wartości momentu obrotowego i mocy Nadtopienia kolektora dolotowego wykonane go z tworzywa sztucznego 	<ul style="list-style-type: none"> Nieszczelność w podciśnieniowym układzie sterującym, która powoduje dopływ „falszywego” powietrza⁽⁸⁾. Może być ona spowodowana przez: <ul style="list-style-type: none"> uszkodzenie membrany lub puszki siłownika zaworu recyrkulacji spalin nieszczelnością przewodów lub połączeń przewodów podciśnieniowych Elektryczny zawór przełącznikowy podciśnienia, zawór modulacji podciśnienia typu elektrycznego lub elektropneumatycznego: <ul style="list-style-type: none"> uszkodzony błędne sterowanie zaworem lub jego brak Uszkodzenie zaworu recyrkulacji spalin wskutek przegrzania⁽⁹⁾, spowodowanego przez nieprawidłowe sterowanie zaworem 	<ul style="list-style-type: none"> Odczyt pamięci kodów usterek Zlokalizowanie miejsca nieszczelności i jego usunięcie. W razie konieczności wymiana zaworu recyrkulacji spalin Odczyt pamięci kodów usterek Sprawdzenie prawidłowości pracy zaworów i ich sterowania. W razie konieczności wymiana uszkodzonego zaworu Odczyt pamięci kodów usterek Sprawdzenie sprawności zaworu recyrkulacji spalin i prawidłowości jego sterowania. W razie konieczności wymiana uszkodzonego zaworu
	<ul style="list-style-type: none"> Silnik nie osiąga maksymalnych wartości momentu obrotowego i mocy⁽¹⁰⁾ 	<ul style="list-style-type: none"> Uszkodzenie zaworu recyrkulacji spalin wskutek przegrzania⁽⁹⁾, spowodowanego przez za wysokie opory przepływu spalin w układzie wylotowym 	<ul style="list-style-type: none"> Sprawdzenie swobody przepływu spalin przez układ wylotowy (sprawdzenie oporów przepływu spalin) Wymiana zaworu recyrkulacji spalin
<ul style="list-style-type: none"> Zawór recyrkulacji spalin nie zamyka się - jest stale otwarty⁽¹¹⁾ 	<ul style="list-style-type: none"> Nierówny bieg jałowy silnika lub jego całkowity brak Opóźniona reakcja silnika na zwiększenie otwarcia przepustnicy Pracy silnika w zakresie małych lub średnich obciążań, towarzyszy szarpanie Silnik nie osiąga maksymalnych wartości momentu obrotowego i mocy Nadtopienia kolektora dolotowego wykonane go z tworzywa sztucznego 	<ul style="list-style-type: none"> Duża ilość osadów na grzybku zaworu lub trzpieniu zaworu recyrkulacji spalin Po wyłączeniu zasilania podciśnieniem, siłownik podciśnieniowy zaworu recyrkulacji spalin, nie jest łączony z powietrzem atmosferycznym. Układ sterowania zaworu recyrkulacji spalin nie pracuje prawidłowo - zawór recyrkulacji spalin jest stale otwarty 	<ul style="list-style-type: none"> Czyszczenie zaworu recyrkulacji spalin lub jego wymiana⁽⁶⁾ Sprawdzenie układu sterowania zaworu recyrkulacji spalin, pod kątem prawidłowości jego sterowania. Sprawdzenie, czy po wyłączeniu zasilania podciśnieniem, siłownik podciśnieniowy zaworu recyrkulacji spalin jest łączony z powietrzem atmosferycznym. Sprawdzenie kolektora dolotowego z tworzywa sztucznego i ewentualna wymiana

cd. Tabela 5
Uszkodzenia zewnętrznych układów recykulacji spalin silników i ich możliwe przyczyny
- orientacyjnie dla pojazdów wyprodukowanych do roku 1999¹
(Źródło: Pierburg)

Zewnętrzne układy recykulacji spalin w silnikach ZS			
<ul style="list-style-type: none"> • Zawór recykulacji spalin nie otwiera się¹² 	<ul style="list-style-type: none"> • Silny wzrost emisji tlenków azotu (NO_x) • W samochodach, z silnikiem posiadającym system diagnostyki pokładowej, może nastąpić zapamiętanie kodu usterki w pamięci sterownika. Jeśli system diagnostyczny jest pewny, że usterka występuje, kierowca jest o tym informowany przez włączenie kontrolki w zestawie wskaźników • Ilość recykulowanych spalin nie odpowiada wartościom zapisanym w pamięci sterownika (w tzw. mapach, zawierających dane do sterowania silnikiem) 	<ul style="list-style-type: none"> • Brak sterowania zaworem recykulacji spalin lub zawór został celowo wyłączony z pracy - odłączony, zaślepiony⁴ 	<ul style="list-style-type: none"> • Sprawdzenie prawidłowości połączeń i pracy elektrycznego układu sterującego • Sprawdzenie szczelności połączeń pneumatycznego układu sterującego • Sprawdzenie: elektrycznego zaworu przełącznikowego podciśnienia, zaworu modulacji podciśnienia typu elektrycznego lub elektropneumatycznego
	<ul style="list-style-type: none"> • Nieprawidłowa praca silnika podczas jazdy • Silnik nie osiąga maksymalnych wartości momentu obrotowego i mocy 	<ul style="list-style-type: none"> • Zawór recykulacji spalin jest zablokowany osadami lub pokryty ich nadmierną ilością⁵ • Nieszczelność w podciśnieniowym układzie sterującym, która powoduje dopływ „fałszywego” powietrza. Może być ona spowodowana przez: <ul style="list-style-type: none"> – uszkodzenie membrany lub puski siłownika zaworu recykulacji spalin – nieszczelnością przewodów lub połączeń przewodów podciśnieniowych 	<ul style="list-style-type: none"> • Wymiana zaworu recykulacji spalin lub jego czyszczenie⁶ • Odczyt pamięci kodów usterek • Zlokalizowanie miejsca nieszczelności i jego usunięcie. W razie konieczności wymiana zaworu recykulacji spalin
<ul style="list-style-type: none"> • Zawór recykulacji spalin nie zamyka się - jest stale otwarty 	<ul style="list-style-type: none"> • Zmniejszona zdolność samochodu do przyspieszania • Zwiększone zadymienie spalin • Silnik nie osiąga maksymalnych wartości momentu obrotowego i mocy • W samochodach, z silnikiem posiadającym system diagnostyki pokładowej, może nastąpić zapamiętanie kodu usterki w pamięci sterownika, a kierowca zostanie o tym poinformowany przez włączenie kontrolki w zestawie wskaźników • Układ sterowania silnika przeszedł do pracy w trybie awaryjnym • Ilość recykulowanych spalin nie odpowiada wartościom zapisanym w pamięci sterownika (w tzw. mapach, zawierających dane do sterowania silnikiem) 	<ul style="list-style-type: none"> • Uszkodzenie zaworu recykulacji spalin wskutek przegrzania⁹, spowodowanego przez: <ul style="list-style-type: none"> – nieprawidłowe sterowanie zaworem – za wysokie opory przepływu spalin w układzie wylotowym – nie otwierający się zawór upustowy turbosprężarki 	<ul style="list-style-type: none"> • Odczyt pamięci kodów usterek • Sprawdzenie sprawności zaworu recykulacji spalin i prawidłowości jego sterowania. W razie konieczności wymiana uszkodzonego zaworu • Sprawdzenie swobody przepływu spalin przez układ wylotowy (sprawdzenie oporów przepływu spalin) • Sprawdzenie sprawności zaworu upustowego turbosprężarki i prawidłowości jego sterowania. W razie konieczności wymiana uszkodzonego zaworu¹²
		<ul style="list-style-type: none"> • Duża ilość osadów na grzybku zaworu lub trzpieniu zaworu recykulacji spalin • Zużycie ściernic przewodnicy trzpienia zaworu recykulacji spalin 	<ul style="list-style-type: none"> • Czystczenie zaworu recykulacji spalin lub jego wymiana⁶ • Wymiana zaworu recykulacji spalin
		<ul style="list-style-type: none"> • Uszkodzenie zaworu recykulacji spalin wskutek przegrzania⁹, spowodowanego przez: <ul style="list-style-type: none"> • nieprawidłowe sterowanie zaworem • za wysokie opory przepływu spalin w układzie wylotowym • nie otwierający się zawór upustowy turbosprężarki • Błędny sygnał wyjściowy masowego przepływomierza powietrza lub innego czujnika • Przewód dolotowy powietrza, szczególnie w okolicy dopływu spalin z układu recykulacji spalin, pokryty osadami¹³ 	<ul style="list-style-type: none"> • Odczyt pamięci kodów usterek • Sprawdzenie sprawności zaworu recykulacji spalin i prawidłowości jego sterowania. W razie konieczności wymiana uszkodzonego zaworu • Sprawdzenie swobody przepływu spalin przez układ wylotowy (sprawdzenie oporów przepływu spalin) • Sprawdzenie sprawności zaworu upustowego turbosprężarki i prawidłowości jego sterowania. W razie konieczności wymiana uszkodzonego zaworu¹² • Sprawdzenie prawidłowości sygnału wyjściowego masowego przepływomierza powietrza lub innych czujników, szczególnie pod względem wartości • Czystczenie przewodu dolotowego powietrza • Sprawdzenie turbosprężarki według zaleceń producenta lub jej wymiana

Uwagi

1. Informacje z tabeli dotyczą silników bez systemu diagnostyki pokładowej lub z systemem diagnostyki pokładowej o niewielkich możliwościach diagnostycznych, który np. umie wykryć uszkodzenia powodujące całkowitą niesprawność elementu układu, ale nie umie wykryć uszkodzeń po-

wodujących tylko ich częściową niesprawność.

2. Systemy diagnostyczne starszych silników mogą nie wykryć tej usterki. Kierowca może również nie zauważyć objawów będących następstwem tej usterki.

3. W układach sterowania silnika bez czujnika spalania stu-

kowego, następstwem mogą być uszkodzenia silnika, spowodowane przez występowanie spalania stukowego lub detonacyjnego.

4. Celowe wyłączenie z pracy zaworu recykulacji spalin powoduje, że pojazd nie spełnia wymagań technicznych. Taki pojazd może nie „przejsć” z wynikiem pozytywnym okresowych badań technicznych, a po policyjnej kontroli stanu technicznego, może zostać zabrany dowód rejestracyjny pojazdu.

5. Usterka może być też spowodowana błędem oprogramowania silnika. W przypadku elektrycznych zaworów recykulacji spalin, wystąpieniu tej usterki może sprzyjać brak aktualizacji oprogramowania sterującego pracą silnika.

6. Producenci zalecają ostrożność przy myciu zaworów recykulacji spalin, szczególnie zaworów posiadających układy elektroniczne, ze względu na możliwość ich uszkodzenia. Twierdzą, że przy silnych zabrudzeniach są one trudne do usunięcia (jest to prawda, szczególnie trudne do usunięcia są tzw. twarde nagary) i najlepszym rozwiązaniem jest wymiana zaworu.

7. Dotyczy silników z system diagnostyki pokładowej, które umieją wykryć taki rodzaj usterki.

8. Nieszczelności w układzie dolotowym silnika, pomiędzy objętościowym lub masowym przepływomierzem powietrza, a silnikiem, powodują zaniżony pomiar objętości lub masy zasysanego powietrza. W rzeczywistości, silnik zasysa większą objętość/masę powietrza. Dla spełnienia wymogu

utrzymania składu mieszanki bliskiego stechiometrycznemu, program sterujący pracą silnika przesuwa zakres zmian czasu wtrysku do wyższych wartości.

9. Puszka siłownika podciśnieniowego ma niebieskawe zabarwienie, spowodowane utlenieniem, w następstwie przegrzania. Części, zamontowanego na puszcze siłownika, elektrycznego zaworu modulacji podciśnienia, są stopione.

10. Zmniejszenie momentu obrotowego i mocy silnika, może być również spowodowane sterowaniem silnika w trybie awaryjnym. Przejście do tego stanu jest spowodowane wykryciem przez system diagnostyki pokładowej istotnego uszkodzenia w układzie sterowania silnika. Dotyczy to silników z elektrycznie sterowaną przepustnicą (układ E-Gas).

11. Niekontrolowana recykulacja spalin - również na biegu jałowym silnika. Może ona spowodować: brak prawidłowej pracy układu regulacji składu mieszanki, rejestrację kodu usterki w pamięci sterownika, włączenie kontrolki w zestawie wskaźników informującej o rejestracji kodu usterki, przejście do sterowania silnika w trybie awaryjnym (silniki z elektrycznie sterowaną przepustnicą - układ E-Gas).

12. Zawór upustowy turbosprężarki może nie być uszkodzony, ale przegrzanie zaworu recykulacji spalin może być spowodowane przez działanie mające na celu zwiększenie ciśnienia doładowania.

13. Proszę sprawdzić turbosprężarkę, czy nie występują z niej wycieki oleju.

Tabela 6
Uszkodzenia zewnętrznych układów recykulacji spalin w silnikach i ich możliwe przyczyny - orientacyjnie dla pojazdów wyprodukowanych po roku 2000¹⁾
(Źródło: Pierburg)

Opis usterki, kod usterki, jej następstwa lub objawy	Możliwe przyczyny powstania usterki	Środki zaradcze - usunięcie usterki
Usterki spowodowane niesprawnością zaworu recykulacji spalin		
<ul style="list-style-type: none"> Nierówny bieg jałowy silnika lub jego całkowity brak Silnik szarpie Silnik nie osiąga maksymalnych wartości momentu obrotowego i mocy W pamięci sterownika jest zapamiętany kod usterki. Jeśli system diagnostyczny jest pewny, że usterka występuje, kierowca jest o tym informowany przez włączenie kontrolki MIL w zestawie wskaźników Silnik Z1 dysponuje niższą wartością momentu obrotowego i mocy, szczególnie w zakresie małych i średnich obciążeń lub w fazie nagrzewania się silnika Silnik Z5 dysponuje niższą wartością momentu obrotowego i mocy, w zakresie dużych obciążeń 	<ul style="list-style-type: none"> Zawór recykulacji spalin jest zablokowany osadami lub pokryty ich nadmierną ilością Nieprawidłowy proces spalania, który pozostawia po sobie osady (nagar) Częsta jazda na krótkich odcinkach Nieszczelności w podciśnieniowym układzie sterującym 	<ul style="list-style-type: none"> Sprawdzić, czy w pamięci są zapisane kody usterki Sprawdzić układ sterowania silnika, czy prawidłowe są wartości sygnałów Sprawdzić, czy w sterowniku silnika jest najnowsza wersja oprogramowania Starać się unikać jazd na krótkich odcinkach Wymienić zawór recykulacji spalin
	<ul style="list-style-type: none"> Uszkodzone zawory elektromagnetyczne, pneumatycznego układu sterującego Nieszczelności pneumatycznego układu sterującego 	<ul style="list-style-type: none"> Sprawdzić sprawność części elektrycznej układu sterującego i prawidłowość jej działania Zlokalizować miejsca nieszczelności pneumatycznego układu sterującego i je usunąć W razie konieczności, wymiana zaworu recykulacji spalin
	<ul style="list-style-type: none"> Powietrze zasysane przez silnik lub tłoczone przez turbosprężarkę, zawiera za dużą ilość oleju silnikowego, z powodu: <ul style="list-style-type: none"> nieprawidłowej pracy układu przewietrzania skrzyni korbowej silnika za wysokiego poziomu oleju silnikowego w misce olejowej nieprawidłowej jakości oleju silnikowego zużycia prowadnic zaworów silnikowych lub uszczelnaczy trzonków zaworów 	<ul style="list-style-type: none"> Sprawdzić separator par oleju i zawór układu przewietrzania skrzyni korbowej Sprawdzić zużycie tłoków, pierścieni tłokowych, tulei cylindrowej, prowadnic zaworów w głowicy silnika oraz stan uszczelnaczy trzonków zaworów Sprawdzić drożność przewodów i kanałów układu smarowania turbosprężarki Przeprowadzić prawidłową wymianę oleju silnikowego wraz z filtrem
<ul style="list-style-type: none"> Błędny sygnał wyjściowy masowego przepływomierza powietrza lub innego czujnika 	<ul style="list-style-type: none"> Sprawdzenia prawidłowości sygnału wyjściowego, szczególnie pod względem wartości, masowego przepływomierza powietrza lub innych czujników 	

cd. Tabela 6

Uszkodzenia zewnętrznych układów recykulacji spalin w silnikach i ich możliwe przyczyny - orientacyjnie dla pojazdów wyprodukowanych po roku 2000¹⁾ (Źródło: Pierburg)

<ul style="list-style-type: none"> • P0401 - Recykulacja spalin - wykryte za małe natężenie przepływu • P0103 - Obwód przepływomierza „A” mierzącego masowe lub objętościowe natężenie przepływu powietrza - wartość sygnału wejściowego powyżej prawidłowego zakresu 	<ul style="list-style-type: none"> • Zawór recykulacji spalin nie otwiera się lub nie jest sterowany • Zawór recykulacji spalin został celowo wyłączony z pracy - odłączony, zaślepiony(2) 	<ul style="list-style-type: none"> • Sprawdzenie prawidłowości połączeń i pracy elektrycznego układu sterującego i prawidłowości pracy układu sterującego
<ul style="list-style-type: none"> • P0402 - Recykulacja spalin - wykryte za duże natężenie przepływu • P0102 - Obwód przepływomierza „A” mierzącego masowe lub objętościowe natężenie przepływu powietrza - wartość sygnału wejściowego poniżej prawidłowego zakresu 	<ul style="list-style-type: none"> • Zawór recykulacji spalin nie zamyka się/jest stale otwarty • Niekontrolowana stała recykulacja spalin 	<ul style="list-style-type: none"> • Wymiana zaworu recykulacji spalin • Sprawdzenie prawidłowości połączeń i pracy, elektrycznego układu sterującego
<ul style="list-style-type: none"> • Uszkodzenie zaworu recykulacji spalin wskutek przegrzania; widoczne niebieskawe zabarwienie, spowodowane utlenieniem, w następstwie przegrzania i nadtopienia elementów z tworzywa sztucznego (dotyczy silników ZI) 	<ul style="list-style-type: none"> • Zawór recykulacji spalin jest nieprawidłowo sterowany • Za wysokie opory przepływu spalin w układzie wylotowym • Nietwierający się zawór upustowy turbosprężarki 	<ul style="list-style-type: none"> • Sprawdzenie sprawności zaworu recykulacji spalin i prawidłowości jego sterowania. W razie konieczności, wymiana uszkodzonego zaworu • Sprawdzenie prawidłowości pracy układu sterującego • Sprawdzenie swobody przepływu spalin przez układ wylotowy (sprawdzenie oporów przepływu spalin) • Sprawdzenie sprawności zaworu upustowego turbosprężarki i prawidłowości jego sterowania. W razie konieczności, wymiana uszkodzonego zaworu
<ul style="list-style-type: none"> • Nowy, wymieniony zawór recykulacji spalin, nie pracuje • Wysoka prędkość obrotowa biegu jałowego silnika po wymianie zaworu recykulacji spalin 	<ul style="list-style-type: none"> • Nie została wykonana procedura adaptacji nowego zaworu recykulacji spalin, po jego wymianie 	<ul style="list-style-type: none"> • Wykonanie tzw. adaptacji zaworu recykulacji spalin, z wykorzystaniem funkcji tzw. ustawienia podstawowego, testera diagnostycznego (patrz również pkt.11)
Usterki spowodowane niesprawnością podciśnieniowego układu sterującego wraz z jego elektrozaworami		
<ul style="list-style-type: none"> • Głośna praca silnika • Wypadanie zapłonów • Praca silnika w trybie awaryjnym • Zmniejszona siła wspomagania hamulca głównego (nożnego) 	<ul style="list-style-type: none"> • Niesprawne przewody elastyczne - popękane, pogryzione przez kuny, szczury lub inne gryzonie • Nieszczelności połączeń przewodów elastycznych z króćcami elementów układu (zawory, siłowniki) • Nieszczelne zawory zwrotne lub akumulatory podciśnienia • Uszkodzone, porowate membrany siłowników pneumatycznych lub ich uszczelnienia • Nieszczelności układu dolotowego silnika 	<ul style="list-style-type: none"> • Sprawdzenie szczelności: całego pneumatycznego układu sterującego układem recykulacji spalin, połączonych z nim innych układów pneumatycznych oraz układu dolotowego silnika
Usterki spowodowane niesprawnością masowego przepływomierza powietrza		
<ul style="list-style-type: none"> • P0401 - Recykulacja spalin - wykryte za małe natężenie przepływu • Nadmierne zadymienie spalin • Silnik nie osiąga maksymalnych wartości momentu obrotowego i mocy • Praca silnika w trybie awaryjnym 	<ul style="list-style-type: none"> • Masowy przepływomierz powietrza uszkodzony lub zanieczyszczony przez: <ul style="list-style-type: none"> – zanieczyszczenie wpływające do układu dolotowego wraz z zasysanym przez silnik powietrzem; – zanieczyszczenia lub woda przyskająca na elementy silnika, wpływające do układu dolotowego przez jego nieszczelności – zanieczyszczenia, które dostały się do układu dolotowego podczas wymiany filtra powietrza lub innych czynności obsługowych – zanieczyszczenia, które uwolniły się z zatkanego filtra powietrza – zanieczyszczenia, które wpłynęły do układu dolotowego, omijając filtr powietrza, niedopasowany do obudowy – olej, który uwolnił się z tzw. mokrego sportowego filtra powietrza • Uszkodzenie turbosprężarki 	<ul style="list-style-type: none"> • Usunąć wszystkie przyczyny przedostawania się do układu dolotowego zanieczyszczeń, wody oraz oleju • Montować, szczególnie do silników turbodoładowanych, filtry powietrza dobrej jakości, dobrze dopasowane do obudowy • Kontrola stanu technicznego i sprawności turbosprężarki

Uwagi

1. Informacje z tabeli dotyczą silników z systemem diagnostyki pokładowej standardu OBDII/EOBD lub z systemem diagnostyki pokładowej innego standardu np. standardu własnego producenta. Te systemy diagnostyczne umieją wykryć większą ilość usterek, ale ich możliwości diagno-

styczne, w różnych markach i modelach samochodów, są różnicowane.

2. Celowe wyłączenie z pracy zaworu recykulacji spalin powoduje, że pojazd nie spełnia wymagań technicznych. Taki pojazd może nie „przejsć” z wynikiem pozytywnym okresowych badań technicznych, a po policyjnej kontroli stanu technicznego, może zostać zabrany dowód rejestracyjny pojazdu.