

Analiza składu spalin silników ZI cz.1

Kompendium praktycznej wiedzy

dodatek techniczny do WIADOMOŚCI Inter Cars S.A. nr 28 / Wrzesień 2008

Wiadomości

AUTOR:
mgr inż. Stefan Myszkowski

Spis treści

Mieszanka paliwowo-powietrzna	2
Składniki spalin i ich powstawanie	3
Analizatory spalin silników ZI	7
Pomiar prędkości obrotowej silników ZI	9
Możliwości wykorzystania informacji o składzie spalin silnika ZI	11
Szczelność układu wylotowego	12
Regulacja układów zasilania	14

Od autora

Szanowni czytelnicy,



analiza spalin silnika ZI, jako narzędzie do regulacji i diagnostyki silników, wraz z rozwojem konstrukcji silników, zmieniła zakres możliwego wykorzystania. Według niektórych opinii, po wprowadzeniu systemów diagnostyki pokładowej standardu OBDII/EOBD, nie ma już ona zastosowania w serwisach samochodowych i stacjach kontroli pojazdów. Praktyka pokazała jednak, że systemy diagnostyczne nie są jeszcze tak dopracowane, aby to nastąpiło. Są też przeciwstawne opinie, według których analiza spalin pomaga wykryć prawie wszystkie uszkodzenia.

W mojej opinii, jeśli samochód pochodzi z lat dziewięćdziesiątych, lub jest młodszy i posiada system diagnostyczny standardu OBDII/EOBD to analiza spalin, jest istotnym wsparciem dla diagnostyki prowadzonej z wykorzystaniem testera diagnostycznego. To jedyna metoda diagnostyczna, która pozwala poznać skład spalin, a on zależy od czynników, których elektroniczne systemy diagnostyczne nie potrafią jeszcze rozpoznać.

Niniejsze opracowanie (cz.1 i 2) jest moim własnym. Nie ma odpowiednika w dostępnej literaturze. To wynik rozmów z konstruktorami silników, lektury i własnych testów. Publikuję go po raz pierwszy. Liczę na Państwa wszelkie uwagi - stefan.myszkowski@neostrada.pl.

Pierwsza część niniejszego dodatku technicznego poświęcona jest analizie składu spalin silników ZI. W drugiej części, która ukaże się wraz z grudniowym numerem „Wiadomości IC”, zaprezentuję sugestie dotyczące oceny składu spalin, mierzonego wieloskładnikowym analizatorem spalin. Poznamy też zależności pomiędzy składem spalin a uszkodzeniami lub zużyciem regulacyjnego czujnika tlenu. Omówię parametry informujące o ocenie rzeczywistych wartości czasu wtrysku, dokonywanej przez program sterownika. Ta wiedza umożliwi ocenę pracy silnika i jego układów. Jeśli będzie negatywna, to pozwoli określić prawdopodobną przyczynę i wskazać kierunek poszukiwań uszkodzenia.

1. Mieszanka paliwowo-powietrzna

1.1. Powstanie mieszanki paliwowo-powietrznej

Jeśli paliwo jest w formie płynnej (benzyna, gaz LPG lub LNG) to zanim będzie mogło utworzyć mieszankę paliwo-powietrzną, musi przejść w stan gazowy. Paliwo w stanie ciekłym nie spala się! Ta uwaga jest istotna w stosunku do benzyny. Nie zawsze są warunki, by odparowały jej wszystkie frakcje. Tak jest np. podczas uruchamiania silnika, nagrzewania i szybkiego zwiększania prędkości obrotowej silnika (przyspieszanie samochodu). Wówczas niespalone paliwo jest usuwane ze spalinami przez układ wylotowy.

Paliwo tworzy z powietrzem mieszankę, w której składniki powietrza: tlen (O₂) - jest utleniaczem dla składników paliwa; azot (N₂) - nie bierze udziału w procesie spalania, ale pełni istotną rolę gazu roboczego.

1.2. Współczynnik lambda (λ) składu mieszanki

To podstawowa wielkość charakteryzująca skład mieszanki paliwo-powietrznej. Obliczamy go z wzoru:

$$(1) \quad \lambda = \frac{m_{\text{POW.}}}{m_{\text{PAL.}} \times L_T}$$

gdzie:

λ - współczynnik składu mieszanki - bezwymiarowy;

m_{POW} - masa powietrza w mieszance paliwo-powietrznej [kg];

m_{PAL} - masa paliwa w mieszance paliwo-powietrznej [kg];

L_T - teoretyczna masa powietrza potrzebna do spalania 1kg paliwa;

Teoretyczna masa powietrza potrzebna do spalania 1kg paliwa, to masa powietrza wynikająca z równania chemicznego - patrz rozdz. 2.1., potrzebna do spalania 1kg paliwa. Jej wartość zależy od składu chemicznego paliwa. Jest wielkością charakterystyczną dla każdego paliwa. Teoretyczna masa powietrza potrzebna do spalania:

- 1kg benzyny - wynosi 14,7kg powietrza;
- 1kg gazu LPG (propan 50% / butan 50%) - wynosi 15,5kg powietrza;
- 1kg gazu CNG - wynosi 17,2kg powietrza.

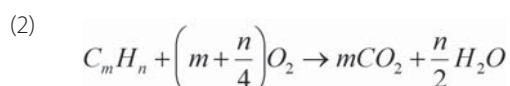
Jeśli wartość współczynnika lambda (λ):

- $\lambda = 1$ - to oznacza, że w mieszance paliwowo-powietrznej jest dokładnie tyle tlenu, ile trzeba do spalania paliwa; mówimy, że mieszanka ma skład stechiometryczny;
- $\lambda > 1$ - to oznacza, że w mieszance paliwowo-powietrznej jest więcej tlenu niż jest potrzebne do spalania paliwa, a więc część tlenu nie zostanie wykorzystana w procesie spalania; mówimy, że jest to mieszanka uboga;
- $\lambda < 1$ - to oznacza, że w mieszance paliwowo-powietrznej jest mniej tlenu niż jest potrzebne do spalania paliwa; mówimy, że jest to mieszanka bogata.

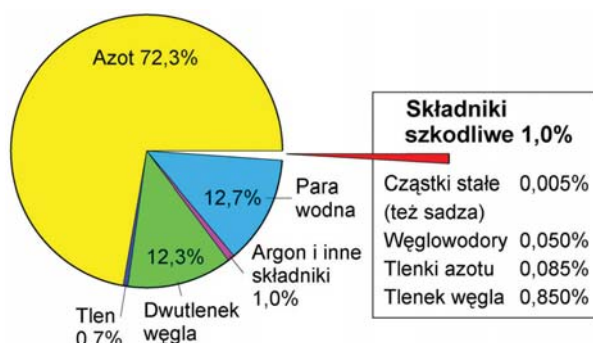
2. Składniki spalin i ich powstawanie

2.1. Skład spalin silnika ZI

Mieszanka o składzie stechiometrycznym ($\lambda = 1$) spala się teoretycznie według równania chemicznego:



Masa tlenu w takiej mieszance, jest dokładnie taka, jaka według powyższego równania jest konieczna do spalania masy paliwa znajdującej się w mieszance, więc po procesie spalania powinny pozostać tylko dwutlenek węgla (CO_2) i para wodna (H_2O). W rzeczywistych warunkach procesu spalania, również mieszanki stechiometrycznej, spaliny emitowane przez silnik ZI mają skład przedstawiony na rys.1. Tylko ok. 1% ich objętości to składniki szkodliwe.



Rys.1 Udziały objętościowe składników spalin silnika ZI - patrz rozdz. 2.2.
(Źródło: Robert Bosch)

2.2. Jednostki zawartości składników spalin

W praktyce warsztatowej, udziały dwutlenku węgla (CO_2), tlenku węgla (CO) i tlenu (O_2) w spalinach, są określane przez podanie ich udziału objętościowego UOBJ. Obliczamy go z wzoru:

$$(3) \quad U_{OBJ} = \frac{V_{SSP}}{V_{CSP}}$$

Jest to stosunek objętości mierzonego składnika spalin VSSP, która znajduje się w spalinach, do całkowitej objętości spalin VCSP. Jest on podawany w procentach i oznaczany [%vol] (vol to skrót od słowa volume, które oznacza objętość). Jest to więc informacja, jaki procent objętości spalin zajmuje mierzony składnik.

Zawartość w spalinach węglowodorów (HC) oraz tlenków azotu (NOX) jest określana też jako udział objętościowy, ale ze względu na ich małe zawartości, z zastosowaniem jednostki [ppm]. Oznaczenie [ppm] to skrót z języka angielskiego, od słów parts per million, oznaczający jedno milionową część objętości, a więc

$$1 \text{ ppm} = 1 \times 10^{-6}$$

Przykładowo, jeśli zawartość węglowodorów (HC) wynosi 50 ppm, to znaczy że węglowodory wypełniają 50 milionową część objętości spalin.

Pomiędzy podawaniem udziału objętościowego w [ppm] i [%vol], istnieją następujące zależności:

$$100 \text{ ppm} = 0,01 \% \text{vol}$$

$$10000 \text{ ppm} = 1 \% \text{vol}$$

2.3. Azot (N_2) w spalinach silnika

Azot (N_2) w spalinach pochodzi z powietrza. Dla człowieka jest gazem obojętnym.

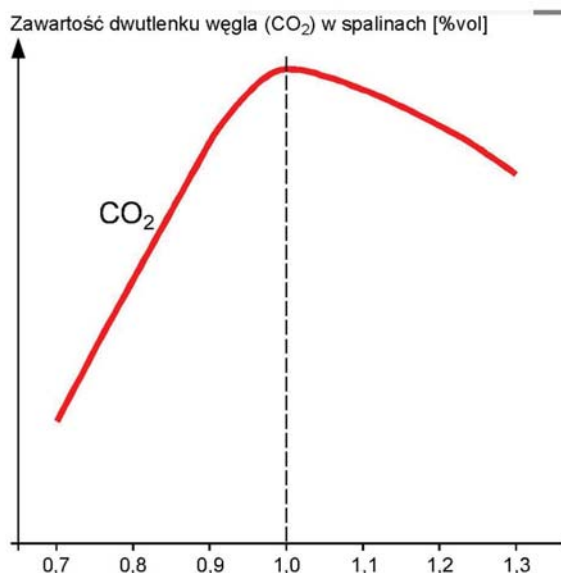
2.4. Para wodna (H_2O) w spalinach silnika

Para wodna (H_2O) w spalinach jest produktem spalania wodoru (H), składnika paliwa węglowodorowego. W spalinach silnika zasilanego np. gazem CNG jest go więcej niż zasilanego benzyną, bowiem w gazie CNG jest więcej atomów wodoru (H) w stosunku do atomów węgla (C), niż w benzynie silnikowej.

2.5. Dwutlenek węgla (CO₂) w spalinach silnika

Powstawanie. Dwutlenek węgla (CO₂), to produkt spalania węgla (C), składnika paliwa węglowodorowego. Powstaje tylko wówczas, gdy mieszanka jest spalana. Jeśli nie ma procesu spalania, to dwutlenek węgla (CO₂) nie powstaje.

Zawartość w spalinach silnika przed konwerterem katalitycznym pokazuje rysunek 2. Najwyższa zawartość dwu-



Rys.2 Zawartość dwutlenku węgla (CO₂) w spalinach silnika ZI, przed konwerterem katalitycznym, w zależności od wartości współczynnika lambda (λ).

tlenku węgla (CO₂) jest w spalinach, powstałych ze spalania mieszanki stechiometrycznej. Jeśli:

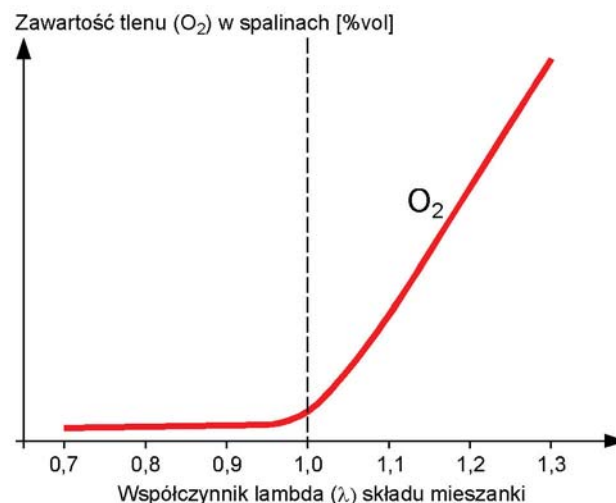
- są spalane mieszanki bogate lub ubogie;
- spalaniu ulega tylko część mieszanki - przykładowo: w jednym cylindrze spala się tylko część mieszanki do niego wprowadzonej, bo proces spalania przebiega za wolno, lub nie spala się ona wcale;

to zawartość w spalinach dwutlenku węgla (CO₂) jest mniejsza od maksymalnej.

Własności. Powietrze, którym oddychamy, zawiera dwutlenek węgla (CO₂). Jest on bezwonny, przeźroczysty, nietrujący i nieszkodliwy. W opinii części ekspertów, nadmierny wzrost jego zawartości w atmosferze powoduje na kuli ziemskiej tzw. efekt cieplarniany, a w konsekwencji zmianę klimatu i kataklizmy. Ponieważ zależy nam by paliwa spalały się jak najpełniej, a wówczas powstaje najwięcej dwutlenku węgla (CO₂), więc jedyną metodą ograniczenia jego emisji jest zmniejszenie zużycia paliwa, lub stosowanie paliw o małej zawartości węgla (C), np. paliw z wysoką zawartością metanu CH₄.

2.6. Tlen (O₂) w spalinach silnika

Pochodzenie. Tlen (O₂) wprowadzany do komory spalania, jest składnikiem powietrza (ok. 21% jego objętości).



Rys.3 Zawartość tlenu (O₂) w spalinach silnika ZI, przed konwerterem katalitycznym, w zależności od wartości współczynnika lambda (λ).

Jego niewielka ilość, jest też w benzynie silnikowej. Jest niezbędny do procesów spalania.

Zawartość w spalinach silnika przed konwerterem katalitycznym (rys.3). Cały tlen (O₂), znajdujący się w mieszance paliwowo-powietrznej, nigdy nie jest wykorzystywany w procesie spalania, dlatego jest on też w spalinach powstałych ze spalania mieszanki bogatej (λ<1).

Gdy spalane są mieszanki uboższe od stechiometrycznej, w spalinach pozostaje również tlen (O₂), którego jest za dużo w stosunku do paliwa znajdującego się w mieszance - im uboższa jest mieszanka, tym więcej tlenu (O₂) jest w spalinach.

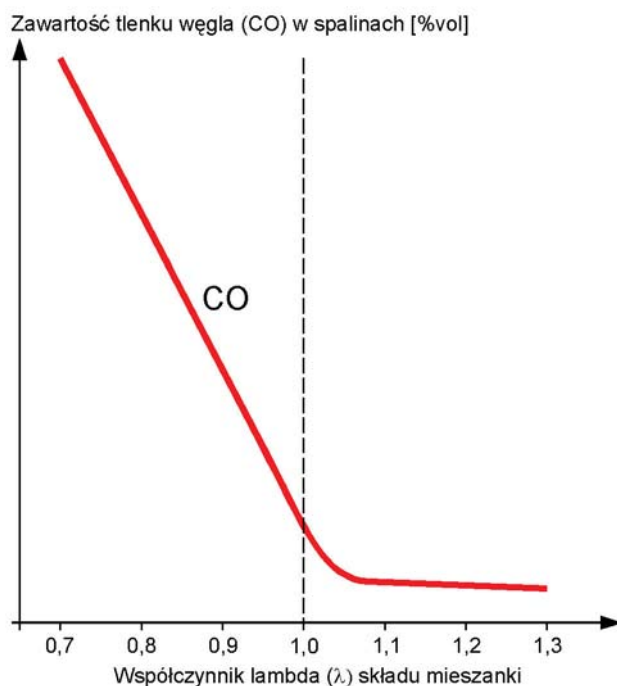
Jeśli spalaniu ulega tylko część mieszanki, ponieważ np. w jednym cylindrze spala się tylko część mieszanki, bo proces spalania przebiega za wolno, lub nie spala się ona wcale, to niewykorzystany w procesie spalania tlen (O₂) opuszcza komorę spalania wraz ze spalinami - wzrasta więc jego zawartość w spalinach.

Własności. Tlen (O₂) jest gazem niezbędnym do życia.

2.7. Tlenek węgla (CO) w spalinach silnika

Powstawanie. Tlenek węgla (CO) jest produktem niekończonego procesu spalania węgla (C), składnika paliwa węglowodorowego. Nigdy w komorze spalania nie ma warunków, aby całość węgla (C) spaliła się tak, by powstał tylko dwutlenek węgla (CO₂), dlatego tlenek węgla (CO) zawsze jest w spalinach silnika.

Powstawanie tlenu węgla (CO) towarzyszy procesowi spalania mieszanki. Jeśli mieszanka nie jest spalana, to tlenek węgla (CO) nie powstaje.



Rys.4 Zawartość tlenku węgla (CO) w spalinach silnika ZI, przed konwerterem katalitycznym, w zależności od wartości współczynnika lambda (λ).

Zawartość w spalinach silnika przed konwerterem katalitycznym pokazuje rysunek 4. W mieszance bogatej ($\lambda < 1$) ilość tlenu (O_2) jest za mała, aby całość węgla (C) spaliła się tak, by powstał tylko dwutlenek węgla (CO_2). Im bogatsza jest mieszanka, tym powstaje więcej tlenku węgla (CO). Dla mieszanek bogatych, zawartość tlenku węgla (CO) w spalinach, jest dobrą informacją o składzie spalanej mieszanki.

W mieszance ubogiej ($\lambda > 1$) ilość tlenu (O_2) jest większa niż wymagana, aby całość węgla (C) mogła się spalić tak, by powstał tylko dwutlenek węgla (CO_2). Zawsze jednak w komorze spalania są takie strefy, w których mieszanka jest bogata i palna. Jednym z produktów jej spalania jest tlenek węgla (CO), dlatego w spalinach powstałych ze spalania mieszanki ubogiej też jest on obecny. Im uboższa jest mieszanka, tym mniejsza jest zawartość tlenku węgla (CO).

Jednak im uboższa jest mieszanka, tym większa jest w spalinach zawartość azotu (N_2) oraz niewykorzystanego w procesie spalania tlenu (O_2) - patrz rys.3. Powoduje to wzrost całkowitej objętości spalin (VCSP - patrz wzór 3), a więc zmniejszenie udziału objętościowego tlenku węgla (CO). Jego zawartość błędnie informuje o przebiegu procesu spalania mieszanek ubogich, o większych wartościach współczynnika lambda (λ). Dla prawidłowej oceny procesu spalania takiej mieszanki, należy dodatkowo mierzyć zawartość węglowodorów (HC) w spalinach.

Własności. Tlenek węgla (CO) jest bezwonny, przezroczysty, bezbarwny i pozbawiony smaku. Jest to silna trucizna, szczególnie niebezpieczna, bo niewyczuwalna „nosem”. Oddychanie przez 30min. powietrzem o zawartości 0,3%vol tlenku węgla (CO), może spowodować śmierć.

2.8. Węglowodory (HC) w spalinach silnika

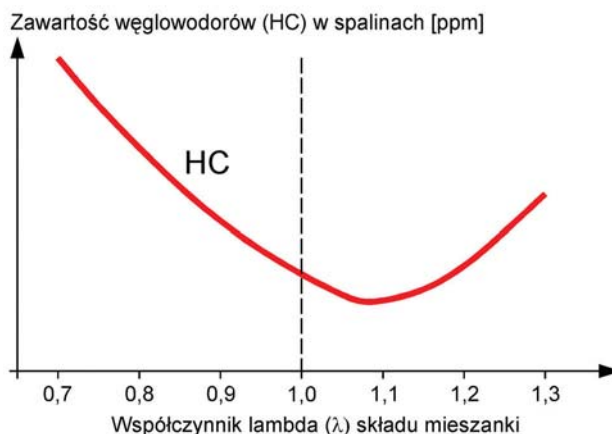
Powstawanie. „Węglowodorami” nazywamy grupę związków chemicznych, które składają się z węgla (C) i wodoru (H). Oznaczamy je symbolem (HC). W spalinach jest ok.180 różnych związków typu węglowódor. Mają one różne własności i są w różnym stopniu toksyczne.

Paliwa silnikowe składają się głównie z węglowodorów - benzyny silnikowe też z innych składników. Ich końcowymi produktami spalania (patrz równanie 2) są dwutlenek węgla (CO_2) i para wodna (H_2O). W komorze spalania nie ma warunków, by wszystkie węglowodory tak się spaliły. Są strefy, w których:

- proces spalania części węglowodorów rozpoczyna się, ale na którymś etapie, pomiędzy kolejnymi reakcjami, zostaje przerwany i nie kończy się (spalanie paliwa jest tzw. procesem łańcuchowym, składającym się z wielu następujących po sobie reakcji); w następstwie przerwania procesu spalania część węglowodorów zmienia tylko swój rodzaj, pozostając nadal węglowodorami;
- proces spalania węglowodorów nie nastąpił.

Oba procesy, powodują, że w spalinach zawsze są węglowodory (HC). Im lepiej przebiega proces przygotowania i spalania mieszanki, tym jest ich mniej.

Zawartość w spalinach silnika przed konwerterem katalitycznym pokazuje rysunek 5. Zawsze w komorze spalania są strefy, w których:



Rys.5 Zawartość węglowodorów (HC) w spalinach silnika ZI, przed konwerterem katalitycznym, w zależności od wartości współczynnika lambda.

1. proces spalania węglowodorów nie kończy się;
2. mieszanka paliwowo-powietrzna jest za bogata lub za uboga, aby proces spalania nastąpił.

W mieszance bogatej ($\lambda < 1$), ilość tlenu (O_2) jest za mała, aby wszystkie węglowodory spaliły się tak, by zostały po nich tylko para wodna (H_2O) i dwutlenek węgla (CO_2), dlatego im bogatsza jest mieszanka, tym emisja węglowodorów (HC) jest wyższa.

W mieszance ubogiej ($\lambda > 1$) ilość tlenu (O_2) jest większa niż

wymagana, aby wszystkie węglowodory spaliły się, dlatego przy spalaniu lekko zubożonych mieszanek - przykładowo λ od 1,05 do 1,1 (rys.5), emisja węglowodorów jest najmniejsza. Jeśli są spalane mieszanki uboższe, w porównaniu z mieszkanką, przy spalaniu której zawartość węglowodorów (HC) w spalinach jest najniższa, to w komorze spalania jest więcej stref, w których:

- mieszanka uboga spala się za wolno, aby proces spalania skończył się przed otwarciem zaworu wylotowego (jego otwarcie pogarsza warunki procesu spalania);
- mieszanka jest tak uboga, że nie spala się.

Powoduje to wzrost emisji węglowodorów (HC).

Zawartość węglowodorów (HC) w spalinach lepiej informuje o jakości procesu spalania niż zawartość tlenku węgla (CO), szczególnie w zakresie mieszanek ubogich.

Własności. Grupa węglowodorów (HC) obejmuje związki chemiczne o różnych własnościach. Niektóre są bezwonne, a inne mają intensywny zapach. Większość z nich szkodliwie oddziałuje na drogi oddechowe i układ krwionośny. Mają również działanie rakotwórcze. Uczestniczą w tworzeniu smogu.

2.9. Tlenki azotów (NOX) w spalinach silnika

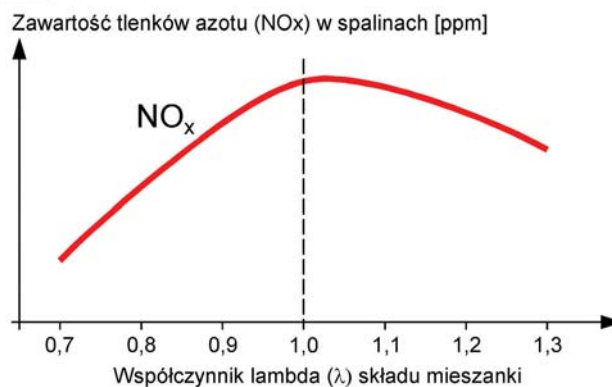
Powstawanie. Przy ciśnieniu i temperaturze panujących w naszym otoczeniu, azot (N_2) nie reaguje z tlenem (O_2) (oba są składnikami powietrza). Jednak w komorze spalania silnika, przy ciśnieniach i temperaturach towarzyszących procesowi spalania, przekraczających lokalnie ok. 1800°C, azot (N_2) wchodzi w reakcje z tlenem (O_2), tworząc tlenek azotu (NO). Przyjmuje się, że temperatura 1800°C jest graniczną, po przekroczeniu której ilość powstających tlenków azotu (NO) szybko rośnie. Podkreślam - powstawanie tlenków azotu (NOX) w komorze spalania silnika nie jest bezpośrednim wynikiem procesu spalania paliwa, ale wynikiem reakcji pomiędzy azotem (N_2) i tlenem (O_2), w korzystnych warunkach panujących w komorze spalania, stworzonych przez proces spalania.

W następstwie procesów zachodzących w komorze spalania i w układzie wylotowym silnika, przez końcówkę układu wylotowego są emitowane różne związki chemiczne, będące połączeniem azotu (N_2) i tlenu (O_2). Podstawowe z nich to:

- tlenek azotu (NO);
- dwutlenek azotu (NO_2);
- podtlenek azotu (N_2O).

Wszystkie związki azotu (N_2) i tlenu (O_2) są ogólnie nazywane tlenkami azotu i oznaczane symbolem NOX.

Zawartość w spalinach silnika przed konwerterem katalitycznym pokazuje rysunek 6. Zawartość tlenków azotu (NOX) w spalinach jest najwyższa, gdy spalane są mieszanki trochę zubożone, charakteryzowane współczynnikiem lambda λ wynoszącym od 1,05 do 1,1 (rys. 6). Gdy spalane są mieszanki uboższe lub bogatsze, to emisja tlenków azotu (NOX) jest niższa od maksymalnej.



Rys.6 Zawartość tlenków azotu (NOX) w spalinach silnika ZI, przed konwerterem katalitycznym, w zależności od wartości współczynnika lambda.

Zawartość tlenków azotu (NOX) w spalinach zależy silnie od ciśnienia i temperatur panujących w komorze spalania, a więc od obciążenia silnika. W warunkach warsztatowych, analiza składu spalin silnika ZI jest wykonywana prawie wyłącznie dla silnika nieobciążonego - wówczas emisja tlenków azotu (NOX) jest bardzo niska. Dopiero obciążenie silnika powoduje wyraźny wzrost emisji tlenków azotu (NOX). Przykładowo, zawartość tlenków azotu (NOX) w spalinach przed konwerterem katalitycznym wynosi na biegu jałowym silnika 300ppm, a przy pełnym obciążeniu silnika 5000ppm. Z tego powodu, oraz ze względu na różnice konstrukcyjne między silnikami (wartość stopnia sprężania), trudno jest określić normę emisji tlenków azotu (NOX) dla silnika nieobciążonego, dlatego pomiar ich zawartości w spalinach silnika nieobciążonego, nie ma znaczenia praktycznego.

Własności. Związki z grupy tlenków azotu (NOX), mają różne własności:

- tlenek azotu (NO) - bezwonny, bezbarwny gaz, powodujący ciężkie zatrucie krwi i porażenie centralnego układu nerwowego;
- dwutlenek azotu (NO_2) - gaz o czerwono-brunatnym zabarwieniu, o drażniącym zapachu, podrażnia i powoduje choroby układu oddechowego;
- podtlenek azotu (N_2O) - bezbarwny gaz, o działaniu odurzającym, stosowany też jako gaz rozwesalający.

Tlenkom azotu (NOX) przypisuje się ok. dziesięciokrotnie silniejsze szkodliwe oddziaływanie na organizm człowieka niż tlenkom węgla (CO). Ponadto reagując z węglowodorami (HC) w atmosferze, już po opuszczeniu układu wylotowego, powodują powstanie ozonu i kolejnych „odmian” trujących węglowodorów (zjawisko smogu). Przyczyniają się również do powstawania kwaśnych deszczy (opady kwasu azotowego) i obumierania roślinności.

3. Analizatory spalin silników ZI

3.1. Typy analizatorów spalin

Dwa podstawowe to: laboratoryjne i warsztatowe. Laboratoryjny analizator spalin mierzy zawartość w spalinach tych samych składników spalin co warsztatowy, ale dodatkowo może mierzyć też inne, o istotnym wpływie na organizmy żywe i otoczenie. W porównaniu z analizatorem warsztatowym:

- wykorzystuje inne metody pomiarowe,
- mierzy z większą dokładnością i szybciej reaguje na zmiany składu spalin;
- podaje zawartości poszczególnych składników spalin w innych jednostkach, np. w gramach;

Laboratoryjne analizatory spalin są niezbędne w pracach badawczo-rozwojowych silników oraz w badaniach homologacyjnych toksyczności spalin. Ich cena jest porównywalna z ceną dużego serwisu, z budynkami i wyposażeniem.

Warsztatowy analizator spalin, w porównaniu z analizatorem laboratoryjnym, mierzy mniej dokładnie (patrz rozdz.3.3), wolniej reaguje na zmiany składu spalin (nie nadaje się do pomiarów szybko zmieniających się składów), ale jest wielokrotnie tańszy od niego i ma możliwości pomiarowe wystarczające do prac wykonywanych w serwisach. Warsztatowym analizatorem spalin nie można więc weryfikować badań homologacyjnych czy prowadzić prac badawczo-rozwojowych na wymaganym dziś poziomie. Nie jest przy tym ważne, czy jest to warsztatowy analizator spalin czołowego producenta np. AVL, Bosch lub Sun, czy mało znanej firmy.

3.2. Możliwości pomiarowe wieloskładnikowych warsztatowych analizatorów spalin

Wieloskładnikowe warsztatowe analizatory spalin, nazywane też 4-ro lub 5-cio gazowymi analizatorami spalin:

- mierzą w spalinach udział objętościowy (patrz rozdz.2.2.): dwutlenku węgla (CO_2), tlenku węgla (CO), węglowodorów (HC), tlenu (O_2) oraz dodatkowo tlenku azotu (NO);
- na podstawie zmierzonych zawartości składników spalin obliczają: korygowaną zawartość tlenku węgla (CO_{kor}) - patrz rozdz.6, wartość współczynnika lambda składu mieszanki, a w niektórych analizatorach również wartość współczynnika AFR (masa powietrza w spalanej mieszance, w przeliczeniu na 1kg paliwa);
- mierzą prędkość obrotową silnika - patrz rozdz.6, temperaturę oleju silnikowego, a niektóre również kąt zwarcia, kąt wyprzedzenia zapłonu i napięcie czujnika tlenu;

- mogą być wyposażone w moduł do diagnostyki samochodów z systemem diagnostyki pokładowej standardu OBD-II/EOBD.

3.3. Pomiar zawartości węglowodorów (HC) przez warsztatowe analizatory spalin

Warsztatowy analizator spalin jest tak skonstruowany, aby przede wszystkim wykrywał w spalinach obecność węglowodoru typu heksan (C_6H_{14}). Jego zawartość w spalinach silnika ZI zasilanego benzyną, jest dobrą informacją o jakości procesu spalania. Obecność węglowodorów innych typów jest również wykrywana, ale pomiar ich zawartości jest obciążony dużym błędem. Mówimy więc, że mierzona przez warsztatowy analizator spalin zawartość węglowodorów (HC) w spalinach silnika zasilanego benzyną jest przeliczana na węglowodor o nazwie heksan (C_6H_{14}). Warsztatowy analizator spalin, w porównaniu do laboratoryjnego analizatora spalin, mierzy ok. 16% zawartości węglowodorów (HC) w spalinach. Wynika to z wykorzystania różnych metod pomiarowych w obu analizatorach

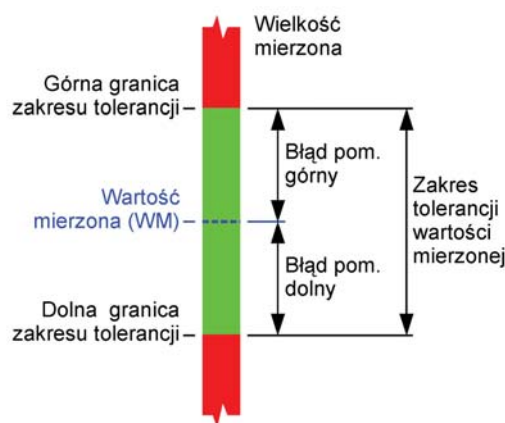
Jeśli analizator spalin jest przewidziany również do pomiaru zawartości węglowodorów (HC) w spalinach silnika zasilanego gazem LPG lub CNG, musi mieć możliwość wyboru rodzaju paliwa: benzyna, gaz LPG lub gaz CNG. Zależnie od wybranego rodzaju gazu, powinien przeliczać zmierzone zawartości węglowodorów (HC):

- na propan (C_3H_8) - przy zasilaniu silnika gazem LPG;
- na metan (CH_4) - przy zasilaniu silnika gazem CNG.

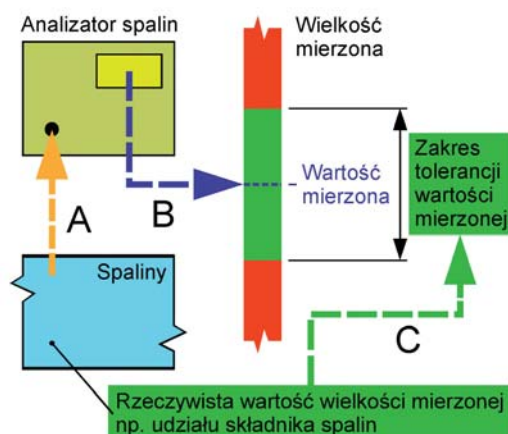
3.4. Dokładność pomiaru analizatorem spalin

Wartość mierzona wielkości mierzonej (WM , rys.7), np. zawartość tlenku węgla (CO) w spalinach, pokazywana przez wyświetlacz analizatora spalin, jest zawsze obciążona błędem pomiaru. Błąd to różnica pomiędzy rzeczywistą wartością wielkości mierzonej, np. rzeczywistą zawartością tlenku węgla (CO) w spalinach, a wartością mierzoną.

Nigdy nie znamy jednak wartości błędu danego pomiaru, dlatego nigdy nie poznamy rzeczywistej wartości wielkości mierzonej. Producent każdego urządzenia pomiarowego podaje tylko maksymalny błąd pomiaru: górny i dolny (rys.7). Jeśli pomiar jest wykonywany prawidłowo a urządzenie sprawne, to na pewno różnica pomiędzy rzeczywistą wartością wielkości mierzonej a wartością mierzoną (pokazywaną przez przyrząd pomiarowy) nie jest większa niż błąd pomiarowy górny lub błąd pomiarowy dolny, a więc rzeczywista wartość wielkości mierzonej, na pewno znajduje się w zakresie tolerancji. Górną i dolną granicę zakresu tolerancji można obliczyć dodając do wartości mierzonej (rys.7) odpowiednio błąd pomiarowy górny lub błąd pomiarowy dolny. Jak powyższą teorię przełożyć na praktykę - pokazuje rys.8 i omawia jego podpis.



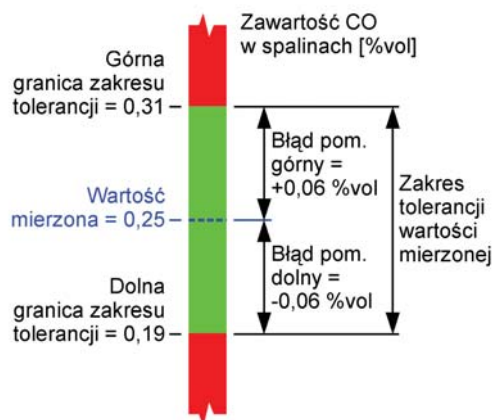
Rys.7 Każda wartość mierzona (WM) przez analizator spalin (zawartość składnika w spalinach) jest mierzona z błędem. Jeśli pomiar jest wykonany poprawnie, wartość błędu nie przekracza wartości błędu górnego lub dolnego, które są podane w instrukcji obsługi analizatora spalin. Wartości błędów: górna i dolna, służą do określenia zakresu tolerancji wartości mierzonych, w którym znajduje się rzeczywista wartość wielkości mierzonych.



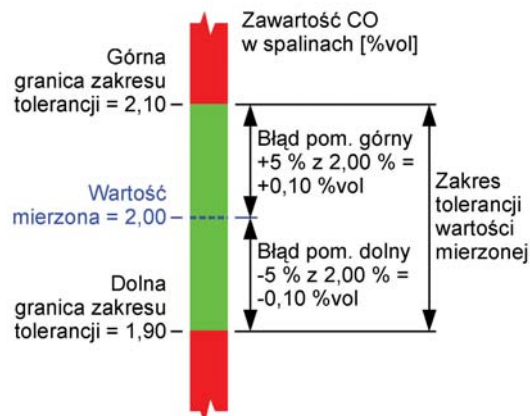
Rys.8 W spalinach jest określona ilość jakiegoś składnika, którą chcemy poznać - to tzw. rzeczywista wartość wielkości mierzonych. W tym celu wykonujemy pomiar analizatorem spalin (A), który po pomiarze pokazuje na wyświetlaczu wartość mierzoną wielkości mierzonych, czyli w przypadku pomiaru analizatorem spalin, zawartość w spalinach interesującego nas składnika. W codziennej praktyce przyjmujemy, że taka jest zawartość tego składnika w spalinach, ale warto wiedzieć, szczególnie gdy mierzymy małe zawartości, że jest to uproszczenie. Jeśli chcemy być ściśli, to najpierw dla wartości mierzonych, należy określić dolny i górny błąd pomiarowy (są w instrukcji obsługi) a następnie na ich podstawie wyznaczyć zakres tolerancji wartości mierzonych (B). Na pytanie ile wynosi rzeczywista zawartość składnika w spalinach, którą mierzyliśmy, możemy tylko odpowiedzieć - leży w zakresie tolerancji, od .. do.. (C). Niestety nic więcej. Powyższa zasada dotyczy wszystkich pomiarów.

Dla analizatorów spalin klas dokładności 0 i 1, są określone dwa rodzaje błędów: bezwzględne i względne. Ich wartości, dla każdej z klas analizatora, określa rekomendacja OIML. Powinny być podane w instrukcji obsługi analizatora. Ponieważ zauważyłem, że błędy pomiarowe są podawane przeważnie nieprawidłowo, niezrozumiale, lub jako błędy pomiarowe są podawane rozdzielczości pomiaru (patrz rozdz. 3.5.), dlatego ich wartości zestawiałem w tabeli 1.

Bezwzględny błąd pomiarowy, to błąd, którego wartość nie zależy od wartości mierzonej - patrz przykład na rys.9. Względny błąd pomiarowy, to błąd, którego wartość zależy od wartości mierzonej. Jego wartość jest określana jako procent wartości mierzonej - patrz przykład na rys.10. To, czy w danym pomiarze uwzględniamy błąd bezwzględny czy względny, zależy od wartości mierzonej. Przykładowo, dla pomiaru zawartości tlenku węgla (CO):



Rys.9 Jeśli analizator spalin klasy dokładności 1, mierzy zawartość tlenku węgla (CO) w spalinach, o wartości 0,25%vol (wartość mierzona), to błąd tego pomiaru nie jest większy od wartości górnej (+) lub dolnej (-) błędów bezwzględnych. Rzeczywista zawartość tlenku węgla (CO) w spalinach może mieć każdą wartość z zakresu tolerancji, od 0,19 do 0,31%vol.



Rys.10 Jeśli analizator spalin klasy dokładności 1, mierzy zawartość tlenku węgla (CO) w spalinach, o wartości 2,00%vol (wartość mierzona), to błąd tego pomiaru nie jest większy od wartości górnej (+) lub dolnej (-) błędów względnego. Rzeczywista zawartość tlenku węgla (CO) w spalinach może mieć każdą wartość z zakresu tolerancji, od 1,90 do 2,10%vol.

- jeśli wartość mierzona jest mniejsza niż 1,2%vol (tabela 1), to uwzględniamy błąd bezwzględny;
- jeśli wartość mierzona jest równa lub większa od 1,2%vol (tabela 1), to uwzględniamy błąd względny.

Piszę o błędach pomiarowych analizatora spalin, nie po to, aby przy każdym pomiarze je obliczać, ale aby o nich pamiętać, szczególnie gdy mierzone są małe zawartości składników spalin.

Tabela 1. Maksymalne, dopuszczalne błędy pomiarowe analizatorów spalin samochodowych klas dokładności 0 i 1, w znamionowych warunkach pracy

Wielkość mierzona lub obliczana	Błędy pomiarowe analizatora spalin samochodowych, klasy dokładności 0	Błędy pomiarowe analizatora spalin samochodowych, klasy dokładności 1
Zawartość CO	WM < 0,6 %vol - $\pm 0,03$ %vol	WM < 1,2 %vol - $\pm 0,06$ %vol
	WM ³ 0,6 %vol - $\pm 5\%$ WM (1)	WM ³ 1,2 %vol - $\pm 5\%$ WM
Zawartość CO ₂	WM < 10 %vol - $\pm 0,5$ %vol	WM < 10 %vol - $\pm 0,5$ %vol
	WM ³ 10 %vol - $\pm 5\%$ WM	WM ³ 10 %vol - $\pm 5\%$ WM
Zawartość HC	WM < 200 ppm - ± 10 ppm	WM < 240 ppm - ± 12 ppm
	WM ³ 200 ppm - $\pm 5\%$ WM	WM ³ 240 ppm - $\pm 5\%$ WM
Zawartość O ₂	WM < 2 %vol - $\pm 0,1$ %vol	WM < 2 %vol - $\pm 0,1$ %vol
	WM ³ 2 %vol - $\pm 5\%$ WM	WM ³ 2 %vol - $\pm 5\%$ WM
Zawartość NOX (2)	WM < 500 ppm - ± 50 ppm	-
	WM ³ 500 ppm - $\pm 10\%$ WM	-
Współczynnik lambda (λ)	$\pm 0,3\%$ WM	$\pm 0,3\%$ WM

Uwagi:

1. Oznaczenie „WM” to skrót od określenia „Wartość Mierzona”. Zapis, np. „ $\pm 5\%$ WM” należy interpretować, że błąd względny wynosi $\pm 5\%$ wartości mierzonej.

2. Dokładność pomiaru zawartości tlenków azotu (NOX) nie jest normowana dla analizatorów spalin stosowanych w krajach Unii Europejskiej. Podane wartości błędów są wartościami przykładowymi dla analizatorów BEA firmy Bosch i Digas 480 firmy AVL.

3.5. Rozdzielczość pomiaru analizatorem spalin

To najmniejsza zmiana wartości mierzonej, jaką może pokazać wyświetlacz lub wskaźnik wychyłowy analizatora spalin. Jeśli przykładowo rozdzielczość pomiaru zawartości węglowodorów (HC) wynosi 1 ppm, to na wyświetlaczu możemy zobaczyć następującą zmianę zawartości węglowodorów (HC): 20, 19, 20, 21 ppm. Nie należy mylić rozdzielczości z dokładnością pomiaru!

3.6. Czas narostu wskazań analizatora

Aby analizator spalin określił zawartość danego składnika szkodliwego, spaliny muszą zostać zassane sondą pomiarową, przepłynąć przez przewód do komór pomiarowych (CO, CO₂, HC) lub czujnika (O₂), a następnie układ pomiarowy potrzebuje trochę czasu dla dokonania pomiaru.

Czas, od momentu włożenia sondy poboru spalin do końcówki układu wylotowego lub ustalenia się nowego składu spalin (np. po regulacji silnika, lub zmianie prędkości obrotowej silnika), do momentu pokazania przez wyświetlacz lub wskaźnik wychyłowy analizatora spalin 95 % wartości mierzonej, nazywa się czasem narostu wskazań. Jest to minimalny czas, który należy odczekać, aby pokazywaną przez wyświetlacz lub wskaźnik wychyłowy wartość mierzoną, można zaakceptować jako wynik pomiaru. Casy narostu wskazań analizatorów spalin klas dokładności 0 i 1, nie mogą być dłuższe niż:

- 15 sekund dla pomiaru zawartości CO, CO₂ i HC;
- 60 sekund a dla pomiaru zawartości O₂.

Z powyższego wynika, że na możliwą do akceptacji wartość współczynnika składu mieszanki lambda, trzeba czekać również 60s, bowiem do jego obliczenia potrzebna jest zawartość tlenu w spalinach. Casy narostu wskazań analizatora spalin powinny być podane w instrukcji obsługi. Mogą być one krótsze niż podane.

4. Pomiar prędkości obrotowej silników ZI

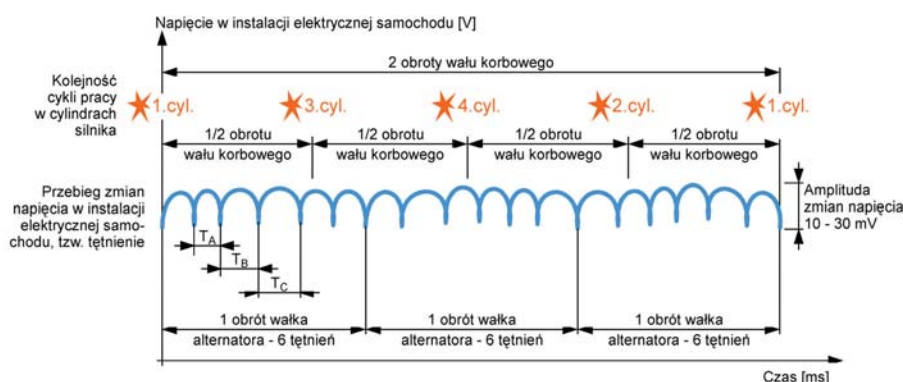
Prędkość obrotowa silnika jest jednym z dwóch parametrów charakteryzujących warunki pracy silnika (drugim jest obciążenie silnika). Podstawową metodą, jest pomiar sondą indukcyjną założoną na przewód wysokiego napięcia świecy zapłonowej. Niektóre analizatory spalin oferują możliwość wykorzystania wielu innych metod pomiarowych, np. czujnika optycznego lub pomiar na podstawie impulsów w obwodzie pierwotnym cewki zapłonowej. Wykorzystanie tych metod jest jednak coraz trudniejsze, ze względu na: np. brak przewodów wysokiego napięcia oraz obudowywanie silnika osłonami, utrudniającymi dostęp. Można odczytać prędkość obrotową silnika ze sterownika, testerem diagnostycznym, jeśli posiadamy oprogramowanie dla danego samochodu.

Przedstawiam dwa uniwersalne moduły do pomiaru prędkości obrotowej, firm: Bosch i AVL.

4.1. Pomiar prędkości obrotowej silnika, na podstawie tętnienia napięcia w instalacji elektrycznej pojazdu

W samochodach, powszechnie są wykorzystywane alternatory, czyli prądnice prądu przemiennego z układem prostowniczym. W instalacji elektrycznej pojazdu, zasilanej przez alternator, występują niewielkie cykliczne zmiany napięcia, tzw. tętnienia, o amplitudzie od 10 do 30mV (rys.11).

Dla alternatora z 9-ma diodami prostowniczymi, wystąpienie 6 tętnień napięcia oznacza, że wałek alternatora wykonał 1 obrót. Tylko na podstawie tej informacji



Rys.11 Zasada pomiaru prędkości obrotowej silnika, z wykorzystaniem tętnienia napięcia w instalacji elektrycznej, na przykładzie silnika czterosuwowego, o kolejności zapłonów 1-3-4-2 i przełożeniu przekładni pasowej pomiędzy wałem korbowym silnika a wałkiem alternatora, wynoszącym 3/2. Opis w tekście artykułu.

nie można mierzyć prędkości obrotowej silnika, ponieważ nie jest znane przełożenie przekładni pasowej napędzającej alternator (nie są podawane). Aby mierzyć prędkość obrotową silnika na podstawie tętnienia napięcia, w całym zakresie prędkości obrotowej, musi być wykonana kalibracja czyli określenie ile tętnień napięcia w instalacji elektrycznej przypada na 2 obroty wału korbowego silnika. Przypominam, że w czterosuwowym silniku ZS i ZI, wał korbowy musi wykonać 2 obroty wału korbowego, aby wystąpiły procesy spalania we wszystkich cylindrach, w kolejności pracy (po jednym procesie spalania w każdym cylindrze).

Moduł BDM298 firmy Bosch (rys.12), wymaga przed kalibracją, ustawienia ilości cylindrów silnika. Do wykonania kalibra-

cji, wykorzystuje on fakt, że wał korbowy silnika obraca się z różną, chwilową prędkością obrotową. Dla obserwatora z zewnątrz, silnik obraca się ze stałą prędkością obrotową. Chwilowych, niewielkich zmian prędkości obrotowej, bez odpowiednio czułych metod pomiarowych, nie można stwierdzić. Napędzany od wału korbowego wałek alternatora, też obraca się z różną chwilową prędkością obrotową, w wyniku czego, czas trwania pojedynczych tętnień napięcia będzie różny. Ideę tej metody szczegółowo wyjaśnia rys.11. Gdy w cylindrze nr 1 wystąpi zapłon mieszanki a następnie suw pracy, to w jego następstwie wzrośnie chwilowa prędkość obrotowa wału korbowego, a więc czas trwania jednego

tętnienia TA (rys.11) zmaleje. Jednak w następnej kolejności zaczyna się suw sprężania w cylindrze nr 3, co powoduje obniżenie chwilowej prędkości obrotowej wału korbowego, a więc czasy trwania dwóch kolejnych tętnień TB i TC (rys.11) wzrosną. Analogicznie, kolejne suwy sprężania i pracy w kolejnych cylindrach powodują, że czasy trwania tętnień rosną i maleją. Jeśli wał korbowy silnika wykona dwa obroty, to czasy trwania kolejnych tętnień utworzą charakterystyczny dla danego silnika cykl zmian. Jest on dlatego charakterystyczny, ponieważ wartości przyrostu i spadku czasu trwania tętnień, zależą np. od

sprawności poszczególnych cylindrów. Przy każdych następnych dwóch obrotach wału korbowego, cykl zmian czasów trwania tętnień napięcia powtarza się.

Gdy dla silnika pracującego na biegu jałowym moduł określi co ile tętnień powtarza się cykl zmian czasów trwania tętnień, to wie również ile tętnień przypada na dwa obroty wału korbowego. Może wówczas mierzyć każdą prędkość obrotową silnika.



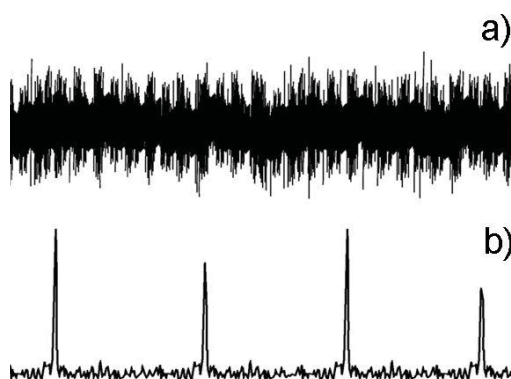
Rys.12 Moduł BDM298 (1) firmy Bosch do pomiaru prędkości obrotowej czterosuwowych silników spalinyowych, na podstawie tętnienia napięcia w instalacji elektrycznej samochodu. Opis w tekście artykułu. (Źródło: Robert Bosch)

Moduł BDM298 firmy Bosch (1, rys.12), mierzy prędkość obrotową silników ZI i ZS w zakresie od 300 do 6000 obr/min. Zakres wartości napięcia w instalacji elektrycznej pojazdu od 9 do 32V. Aby wykonać pomiar prędkości obrotowej silnika wystarczy przyłączyć moduł BDM298 do instalacji elektrycznej, za pośrednictwem gniazdka zapalniczki (2), bezpośrednio do akumulatora lub zacisku B alternatora (3). Aby tętnienia były bardziej wyraźne, zalecane jest włączenie kilku „dużych” odbiorników energii. Pokrętło służy do ustawienia liczby cylindrów silnika (od 1 do 12). Na pętlę indukcyjną można założyć standardowy czujnik indukcyjny (4), dowolnego urządzenia diagnostycznego, które do pomiaru prędkości obrotowej silnika wykorzystuje impulsy generowane w pętli indukcyjnej przez moduł BDM298.

Firma Bosch ocenia, że ta metoda jest przydatna w stosunku do 80% pojazdów, bowiem prawidłowe wyniki pomiaru zależą od zakłóceń w instalacji elektrycznej pojazdu.

4.2. Pomiar prędkości obrotowej silnika, na podstawie widma akustycznego silnika

Silnik podczas pracy jest źródłem drgań (rys.13a). Czujemy je, jeśli dotykamy jakiegoś elementu silnika lub słyszymy je, przenoszone przez powietrze. Można wydzielić z nich drgania, których częstotliwość jest zależna od prędkości obrotowej silnika (rys.13b).



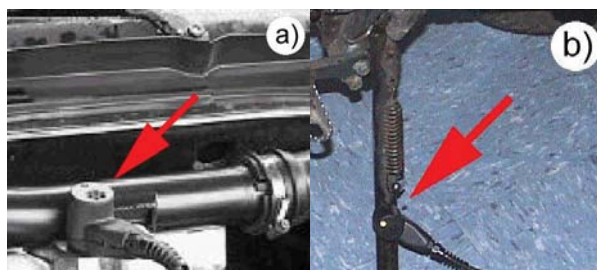
Rys.13 Fale widma akustycznego silnika, emitowane przez pracujący silnik (a). Z widma akustycznego można wydzielić drgania, których częstotliwość (b) jest zależna od prędkości obrotowej silnika. (Źródło AVL DiTest)

Tę zależność wykorzystuje moduł AVL DiSpeed 492 firmy AVL DiTEST (1, rys.14a) do pomiaru prędkości obrotowej silników. Drgania silnika są odbierane głowicą pomiarową (2). Posiada ona mikrofon (2a, rys.14b), którym „słucha” drgania przenoszone przez powietrze. W stopce (2b, rys.14b) znajduje się czujnik przyspieszeń, który odbiera drgania przenoszone przez elementy silnika i jego osprzęt, oraz magnes, który służy do mocowania głowicy pomiarowej. Głowica odbiera oba sygnały, ale moduł mierzy prędkość obrotową silnika wykorzystując sygnał, na podstawie którego można to zrobić lepiej.

Moduł mierzy prędkość obrotową silników ZI lub ZS, dwu lub czterosurowych (wybór przełącznikiem 3, rys.14a), w zakresie od 400 do 10000 obr/min. Na kabłąk (4) można założyć standardowy czujnik indukcyjny do pomiaru prędkości obrotowej. W gnieździe (5) można odebrać sygnały



Rys.14 Moduł AVL DiSpeed 492 (rys.a) do pomiaru prędkości obrotowej silników na podstawie częstotliwości ich drgań, z głowicą pomiarową (rys.b). Opis w tekście artykułu. (Źródło AVL DiTest)



Rys.15 Możliwe miejsca montażu głowicy pomiarowej modułu AVL DiSpeed 492: a - na płaskim elemencie blaszanym silnika; b - na nóżce motocykla. (Źródło AVL DiTest)

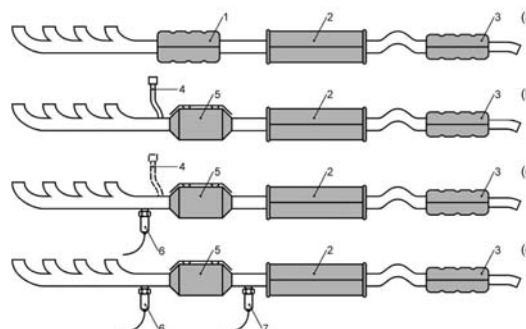
czujnika zaciskowego (dla przewodów wtryskowych silników ZS) lub sygnał cyfrowy TTL - oba generowane przez moduł AVL DiSpeed 492. Na ich podstawie urządzenia diagnostyczne mogą mierzyć prędkość obrotową silnika. Dodatkowym wyposażeniem modułu jest wyświetlacz (6). Głowicę pomiarową modułu AVL DiSpeed 492 można mocować do np. różnych elementów silnika lub ramy motocykla (rys.15).

5. Możliwości wykorzystania informacji o składzie spalin silnika ZI

Zależą one od tego, czy w układzie wylotowym silnika są zamontowane:

- konwerter katalityczny (jeden lub więcej);
- rurka do poboru spalin przed konwerterem katalitycznym;
- jeden, lub więcej, czujnik tlenu w spalinach.

Obecność konwertera katalitycznego w układzie wylotowym (rys.16b, c i d), powoduje zmianę składu spalin, w stosunku do składu spalin opuszczających silnik.



Rys.16 Różne konstrukcje układów wylotowych silników: od a do d. Od jego budowy, zależy możliwy sposób wykorzystania analizatora spalin silnika ZI - patrz tabela 2. Elementy na rysunku: 1, 2 i 3 - tłumiki; 4 - rurka poboru spalin; 5 - trójfunkcyjny konwerter katalityczny; 6 - czujnik tlenu w spalinach tzw. regulacyjny; 7 - czujnik tlenu w spalinach tzw. prowadzący.

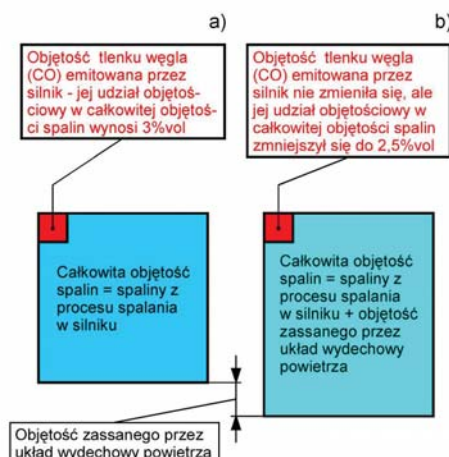


Obecność w układzie wylotowym jednego lub więcej czujnika zawartości tlenu w spalinach oznacza, że najprawdopodobniej nie ma możliwości regulacji układu zasilania. W niektórych układach zasilania gaźnikowego, lub pierwszych konstrukcjach układów zasilania wtryskowego, które współpracowały z czujnikiem tlenu w układzie wylotowym, była możliwość regulacji układu zasilania, ale wówczas na pewno w układzie wylotowym była rurka poboru spalin przed konwerterem katalitycznym (4, rys.16c).

Jeśli w układzie wylotowym jest zamontowany konwerter katalityczny (rys.16b, c i d), to z powodu jego wpływu na skład spalin opuszczających silnik, nie ma możliwości diagnostyki tylko silnika i jego układów lub tylko konwertera katalitycznego, na podstawie składu spalin pobranych do analizy z końca układu wylotowego. Możliwa jest tylko łączna diagnostyka silnika, jego układów oraz konwertera katalitycznego. Wyjątkiem są silniki, które w układzie wylotowym mają zamontowaną rurkę poboru spalin (4, rys.16b i c).

Dla większości silników, z konwerterem katalitycznym i jednym lub więcej czujnikami tlenu w spalinach (nie dotyczy to starszych konstrukcji układów sterowania), pomocne w interpretacji składu spalin są określone parametry bieżące, odczytywane testerem diagnostycznym ze sterownika silnika - omówię to w drugiej części „Dodatku technicznego”.

W tabeli 2 są zestawione możliwości wykorzystania informacji o składzie spalin silników ZI, wyposażonych w układy wylotowe o konstrukcjach przedstawionych na rys.16.



Rys.17 Udział objętościowy tlenu węgla (CO) w spalinach silnika, symbolizują: na rys.a - stosunek powierzchni czerwonego kwadratu (objętość tlenu węgla) do powierzchni ciemnego niebieskiego kwadratu (objętość spalin); na rys.b - stosunek powierzchni czerwonego kwadratu (objętość tlenu węgla) do powierzchni jasnego niebieskiego prostokąta (objętość spalin zmieszanych z powietrzem, które wpłynęło przez nieuszczelnienie). Udział objętościowy tlenu węgla (CO), o wartości 3% (rys.a), jest mierzony prawidłowo przez analizator spalin, jeśli cała objętość spalin pochodzi z procesu spalania w silniku (ciemny niebieski kwadrat na rys.a). Jeśli strumień spalin miesza się z dodatkową objętością powietrza, np. wskutek nieuszczelnienia układu wylotowego, to objętość spalin zwiększa się (jasny niebieski prostokąt na rys.b). Ponieważ objętość tlenu węgla (CO) nie zmienia się (czerwony kwadrat), jego udział objętościowy w spalinach zmniejsza się do wartości 2,5% - jest to informacja błędna.

Możliwości wykorzystania informacji o składzie spalin silnika ZI, do regulacji układu zasilania oraz diagnostyki silnika i jego układów, w zależności od konstrukcji układu wydechowego silnika

Opis układu wylotowego - bloku silnika ZI	Nr rysunku układu wylotowego	Regulacja układu zasilania silnika na podstawie składu spalin:(2)		Możliwy zakres diagnostyki silnika i jego układów, na podstawie składu spalin:(6)	
		pobranych z końcówki układu wylotowego	pobranych z rurki, przed konwerterem katalitycznym	pobranych z końcówki układu wylotowego	pobranych z rurki, przed konwerterem katalitycznym
- bez konwertera katalitycznego;	16a	TAK	---	- silnik i jego układy;	---
- z konwerterem katalitycznym; - z rurką poboru spalin przed konwerterem katalitycznym;(1)	16b	NIE	TAK(3, 4)	- tylko łączna diagnostyka silnika i jego układów oraz konwertera katalitycznego;(7)	- silnik i jego układy;(3 - obliczenie współczynnika konwersji tlenu węgla przez konwerter katalityczny - patrz rozdz.8 i rys.24;(3
- z konwerterem katalitycznym; - z regulacyjnym czujnikiem tlenu, zamontowanym przed konwerterem katalitycznym;	16c	NIE	TAK(3, 4)	- tylko łączna diagnostyka silnika i jego układów oraz konwertera katalitycznego;(7, 8	- silnik i jego układy;(3 - obliczenie współczynnika konwersji tlenu węgla przez konwerter katalityczny - patrz rozdz.8 i rys.24;(3
- opcjonalnie, w niektórych starszych konstrukcjach - z rurką poboru spalin przed konwerterem katalitycznym; - z konwerterem katalitycznym; - dwoma czujnikami tlenu: regulacyjnym - zamontowanym przed konwerterem katalitycznym i prowadzącym - zamontowanym za konwerterem katalitycznym	16d	NIE	NIE(5)	- tylko łączna diagnostyka silnika i jego układów oraz konwertera katalitycznego;(7, 8	---

Uwagi:

1. Jeśli konwerter katalityczny nie został zamontowany w układzie wylotowym przez producenta samochodu, rurka poboru spalin może nie być zamontowana.

2. Dotyczy benzynowych i gazowych układów zasilania.

3. Tylko jeśli w układzie wylotowym jest zamontowana rurka poboru spalin.

4. Tylko jeśli jest możliwość regulacji układu zasilania.

5. Układy sterowania silników, posiadających taki układ wylotowy, nie mają żadnych możliwości regulacji.

6. Zakres diagnostyki układów zasilania gazem silników, zależy od ich konstrukcji oraz zasad współpracy z benzynowym układem zasilania.

7. Nie ma możliwości określenia wielkości emisji każdego składnika spalin przez silnik oraz zmiany zawartości każdego składnika spalin po przepłynięciu spalin przez konwerter katalityczny, dlatego nie można oddzielnie ocenić: silnika i jego układów oraz konwertera katalitycznego.

8. Jeśli w układzie wylotowym bloku silnika ZI, przed konwerterem katalitycznym, jest zamontowany czujnik tlenu (regulacyjny), to program sterownika prowadzi na bieżąco ogólną ocenę sprawności silnika i jego układów, przez porównanie rzeczywistej wartości czasu wtrysku, z wartością czasu wtrysku zaprogramowaną w pamięci sterownika. Wynik tego porównania można odczytać testerem diagnostycznym z programu sterownika. Ten sposób oceny nie jest prowadzony w starszych konstrukcjach układów sterowania. W układach sterowania silnika z systemem OBDII/EOBD, sposób porównywania rzeczywistej wartości czasu wtrysku z wartością zaprogramowaną w sterowniku jest znormalizowany i taki sam we wszystkich samochodach z tym systemem diagnostycznym (z wyjątkami). To zagadnienie opiszę w dodatku technicznym grudniowych „Wiadomości IC”.

6. Szczelność układu wylotowego

Jest to podstawowy warunek:

- prawidłowej pracy układu regulacji składu mieszanki, jeśli w układzie wylotowym jest zamontowany jeden, lub więcej, czujnik tlenu;
- prawidłowej pracy konwertera katalitycznego;
- prawidłowego pomiaru składu spalin;
- ewentualnej regulacji układu zasilania.

6.1. Nieszczelność układu wylotowego a udziały objętościowe składników spalin

Jeśli strumień spalin z silnika miesza się powietrzem wskutek:

- nieszczelności układu wylotowego;
- wprowadzenia sondy poboru spalin analizatora do końcówki układu wylotowego, na za małą głębokość;
- niewłaściwego montażu końcówki wyciągu spalin i sondy poboru spalin - końcówka wyciągu spalin jest założona na końcówkę układu wylotowego, ale sonda poboru spalin analizatora pobiera rozrzedzone powietrzem spaliny z rury wyciągu spalin, zamiast pobierać nierozcieńczone powietrzem spaliny z końcówki układu wylotowego; to udziały objętościowe poszczególnych składników spalin maleją. Zjawisko to prezentuje rys.17 a przyczynę omawia podpis.

Problem ten jest istotny, gdy mierzona jest tylko zawartość tlenu węgla (CO) i na tej podstawie jest określany skład spalanej w silniku mieszanki. Wówczas pozornie niska zawartość tlenu węgla (CO) w rozrzedzonych powietrzem spalinach, jest myląca. Błędu tego można uniknąć:

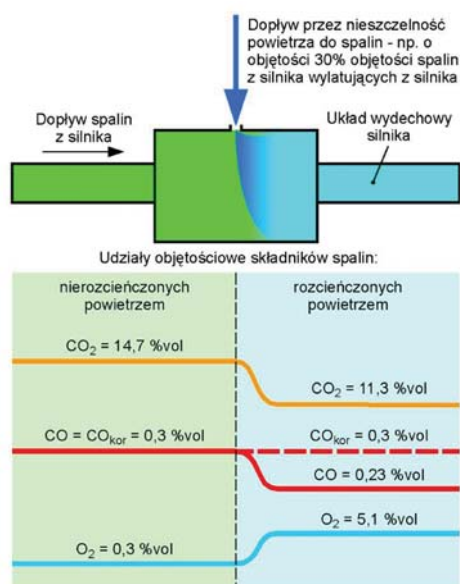
- sprawdzając szczelność układu wylotowego przed pomiarem - gdy jest on nieszczelny, pomiar składu spalin nie ma sensu;
- montując prawidłowo sondę do poboru spalin w końcówce układu wylotowego.

Pomocna w wykryciu rozrzedzenia spalin powietrzem jest korygowana zawartość tlenu węgla (CO_{kor}).

6.2. Korekcja zawartości w spalinach tlenu węgla (CO) uwzględniająca nieszczelność w układzie wylotowym

Jeśli przez nieszczelność, wpływa do układu wylotowego powietrze (rys.18), to:

- maleją udziały objętościowe tlenu węgla (CO) i dwutlenku węgla (CO₂) w spalinach, bo powietrze zwiększa objętość spalin, nie zwiększając zawartości tych związków w sposób mierzalny dla analizatora;
- udział objętościowy tlenu (O₂) zwiększa się, ponieważ



Rys.18 Dopływ powietrza do strumienia spalin, przez nieszczelność układu wylotowego, zmienia udziały objętościowe składników spalin. Obniżona zawartość tlenu węgla (CO), wskutek zmieszania spalin z powietrzem, mierzona przez analizator spalin, może być przyczyną błędów diagnosty. Obliczona, korygowana zawartość tlenu węgla (CO_{kor} - czerwona, przerywana linia), informuje o zawartości tlenu węgla w spalinach, uwzględniając ewentualne rozcieńczenie spalin powietrzem.

powietrze składa się w ok. 21% z tlenu, więc po zmieszaniu ze spalinami jego zawartość w tej mieszaninie rośnie.

Zmierzony przez analizator spalin udział objętościowy tlenu węgla (CO) w mieszaninie spalin i powietrza, będzie niższy od udziału objętościowego tlenu węgla (CO) w spalinach nierozcieńczonych powietrzem. Niektóre analizatory spalin obliczają tzw. korygowaną zawartość tlenu węgla (CO_{kor}) w spalinach, która uwzględnia występowanie ewentualnego rozcieńczenia spalin powietrzem. Jest ona obliczana z wzoru:

$$CO_{kor} = CO \times \frac{15}{CO + CO_2}$$

gdzie: CO - mierzona przez analizator zawartość tlenu węgla w spalinach [%vol];

CO₂ - mierzona przez analizator zawartość dwutlenku węgla w spalinach [%vol];

Jeśli:

- zawartość tlenu węgla (CO) i jego korygowana zawartość (CO_{kor}) są prawie równe (patrz na rys.18 - udziały objętościowe składników spalin nierozcieńczonych powietrzem) to znaczy, że układ wylotowy i rurka poboru spalin analizatora są szczelne, a sonda poboru spalin włożona na prawidłową głębokość do końcówki układu wylotowego (napisałem „prawie równe”, bo należy pamiętać, że zawartości tlenu i dwutlenku węgla są mierzone z określoną dokładnością);
- zawartość tlenu węgla (CO) jest niższa od jego kory-

gowanej zawartości (COkor) (patrz na rys.18 - udziały objętościowe składników spalin rozcieńczonych powietrzem) to znaczy, że układ wylotowy lub rurka poboru spalin analizatora nie są szczelne, względnie głębokość montażu sondy poboru spalin w końcówce układu wylotowego jest za mała - należy usunąć przyczynę dopływu dodatkowego powietrza i powtórzyć pomiar;

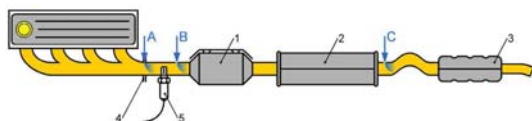
- zawartość tlenku węgla (CO) jest wyższa od jego korygowanej zawartości (COkor), to znaczy, że konwerter katalityczny ma wysoką sprawność.

Można również ocenić szczelność układu wylotowego, rurki poboru spalin analizatora, lub prawidłowość osadzenia rurki poboru spalin, sumując zmierzone przez analizator spalin zawartości tlenku węgla (CO) i dwutlenku węgla (CO₂). Jeśli suma:

- = 15 - to znaczy, że powietrze nie rozcieńcza spalin, a więc wyniki pomiaru są prawidłowe;
- < 15 - to znaczy, że powietrze rozcieńcza spaliny, w więc trzeba znaleźć przyczynę;
- > 15 - to znaczy, że konwerter katalityczny ma wysoką sprawność.

6.3. Nieszczelności układu wylotowego z konwerterem katalitycznym i czujnikiem zawartości tlenu w spalinach

Każda nieszczelność w takim układzie wylotowym (A, B lub C, rys.19), powoduje rozcieńczenie spalin powietrzem. Dodatkowo, powietrze wpływające przez nieszczelność A zakłóca pracę układu regulacji składu mieszanki.



Rys.19 Od miejsca nieszczelności układu wylotowego: A, B lub C, zależy wpływ zassanego powietrza na: pracę układu sterowania silnikiem, pracę konwertera katalitycznego oraz skład spalin mierzony na końcu układu wylotowego. Elementy na rysunku: 1 - trójfunkcyjny konwerter katalityczny; 2 i 3 - tłumiki; 4 - przykładowe miejsce nieszczelności A to połączenie kolektora wylotowego i rury układu wylotowego; 5 - czujnik tlenu w spalinach tzw. regulacyjny.

Jeśli nieszczelność jest mała, to czujnik tlenu (5) mierzy dodatkową ilość tlenu, która wpłynęła z powietrzem, a sterownik interpretuje ten fakt, jako wynik spalania mieszanki ubogiej, więc wydaje polecenie wzbogacenia mieszanki zasilającej silnik. Jeśli nieszczelność jest duża, to sterownik nie jest w stanie tak wzbogacić mieszanki, by sterownik uznał, że silnik spala mieszankę bogatą. Powinno to spowodować rejestrację kodu usterki w sterowniku silnika, informującego o (alternatywnie, zależnie od programu sterownika):

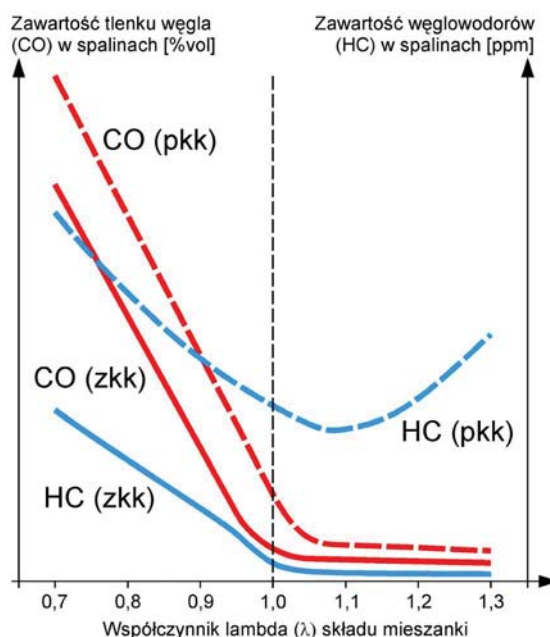
- niemożności uzyskania mieszanki o wymaganym składzie;
- za ubogiej mieszance.

Powietrze wpływające przez nieszczelności A i B zakłócają pracę konwertera katalitycznego. Wprawdzie lepiej usuwa on ze spalin tlenek węgla (CO) i węglowodory (HC) - patrz

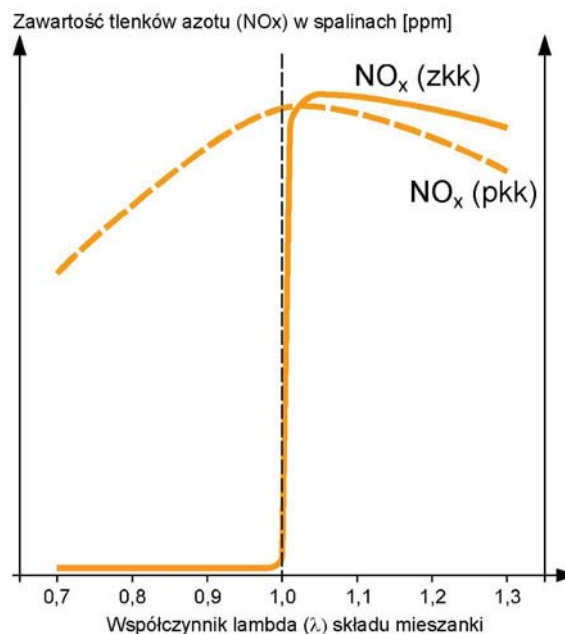
rys.21, ale znacznie gorzej usuwa ze spalin tlenki azotu (NO_x) - patrz rys.22. Jeśli nieszczelność B jest za czujnikiem tlenu, ale blisko, to w wyniku tzw. przepływów zwrotnych spalin, tlen z powietrza wpływającego przez tę nieszczelność, może też zakłócić pracę układu regulacji składu mieszanki.

W układzie wylotowym silnika z systemem OBDII/EOBD, za konwerterem katalitycznym jest zamontowany drugi czujnik tlenu (niepokazany na rys.19). W takim układzie tlen z powietrza wpływającego przez nieszczelności A i B może zakłócić też pracę tego czujnika, co jednak zostanie najprawdopodobniej wykryte przez system OBDII/EOBD, i nastąpi rejestracja kodu usterki w sterowniku silnika.

Powietrze wpływające przez nieszczelność C (rys.19) powoduje tylko rozcieńczenie spalin powietrzem.



rys. 21



rys. 22

7. Regulacja układów zasilania

Czytelnik, po zapoznaniu się z tabelą na str. 12, stwierdzi zapewne, że regulacja układów zasilania to dziś rzadko wykonywana czynność - silniki o obecnej konstrukcji jej nie potrzebują.

Ze względu na małą objętość tego opracowania, zagadnienie to tylko zasygnalizuję.

7.1. Literatura o układach zasilania

Osobom, które chcą zgłębić zagadnienia regulacji, szczególnie gaźników, polecam następujące podręczniki:

1. Stanisław Radzimirski, Układy zasilania gaźnikowych silników samochodowych, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1985;
2. Krzysztof Trzeciak, W moim samochodzie - Gaźnik, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1989;
3. Jürgen Kasedorf, Zasilanie gaźnikowe, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1992;
4. Jürgen Kasedorf, Gaźniki i katalizatory - Sprawdzanie i regulacja, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1995;
5. Jürgen Kasedorf, Ernst Woisetschläger, Układy wtryskowe benzyny, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2000;

Niestety chyba wszystkich z nich trzeba szukać w antykwariatach lub bibliotekach. Książek o układach zasilania silników ZI i ZS, wydawnictwa WKiŁ, autorstwa Jürgena Kasedorfa, prócz wymienionych, jest jeszcze kilka na rynku.

Podstawą dobrze wykonanej regulacji jest znajomość układu, procedury regulacji i danych dla regulowanego układu - nie przybliżonych! O dane i procedury regulacyjne może być czasami trudno - pozostaje Autodata i ewentualna możliwość zagłębienia do dokumentacji fabrycznej.

7.2. Zasady ogólne regulacji układów

Regulację układów zasilania, według wymagań producentów samochodów, wykonuje się tylko na podstawie zawartości w spalinach tlenku węgla (CO). Gdy była standardową czynnością, i nie montowano konwerterów katalitycznych, większość analizatorów spalin mierzyła zawartość w spalinach tylko tego składnika. Wprowadzenie do układów wylotowych konwerterów katalitycznych, spowodowało pojawienie się na rynku wieloskładnikowych analizatorów spalin (patrz rozdz.3.2.). Stało się tak, by możliwa była diagnostyka konwerterów katalitycznych i układów sterowania silników, których pierwsze wersje miały słabo rozwinięte systemy diagnostyczne.

Jeśli do regulacji układu zasilania wykorzystujemy wieloskładnikowy analizator spalin, to robimy to też na podstawie

zawartości w spalinach tlenku węgla (CO) - wyjątkiem jest metoda opisana w rozdz.7.3. Producenci nie podają wymaganych zawartości innych składników spalin (HC, CO₂ i O₂) i wartości współczynnika lambda (λ) składu mieszanki, aby na ich podstawie można regulować układ zasilania, ponieważ dla silnika bez konwertera katalitycznego, ich wartości mogą się zmieniać w szerokich granicach i zależą też od innych czynników. Konwertery katalityczne wymusiły ujednolicenie tych wartości

Gdy regulujemy układ zasilania silnika ZI (jeśli jest to możliwe, w silnikach posiadających konwerter katalityczny - patrz. rozdz.5), to należy:

- pamiętać, że jest to ostatnia czynność regulacyjna - najpierw regulujemy luzy zaworowe, kąt zwarcia i wyprzedzenia zapłonu;
- przestrzegać ewentualnych wymagań dotyczących przygotowania silnika do regulacji np. odłączenia od kolektora dolotowego układu przewietrzania skrzyni korbowej;
- w gaźnikach wykonać wszystkie inne regulacje, np. ustawienie przepustnicy względem otworów układu przejściowego, jeśli jest ono przewidziane;
- w układach wielogaźnikowych wykonać tzw. balans gaźników, czyli spowodować, by pracowały przy takich samych podciśnieniach, mierzonych za przepustnicą;
- regulować układ zasilania na podstawie zawartości tlenku węgla (CO) w spalinach, tak by uzyskać jego zalecaną zawartość (jeśli w układzie wylotowym jest konwerter katalityczny, to określona zawartość tlenku węgla (CO) w spalinach jest konieczna);
- jeśli w układzie wylotowym nie ma konwertera katalitycznego, można wykorzystać metodę opisaną w rozdz.7.3.;
- jeśli w układzie wylotowym silnika nie ma konwertera katalitycznego, to po zakończeniu regulacji należy zwiększyć prędkość obrotową silnika do ok. 2500 do 3000 obr/min i sprawdzić czy nastąpiło wyraźnie zmniejszenie zawartości tlenku węgla (CO) w spalinach, w stosunku do wyregulowanej zawartości na biegu jałowym silnika, co świadczy o prawidłowej charakterystyce układu zasilania; jeśli ten warunek nie jest spełniony, to znaczy, że układ zasilania jest uszkodzony.

7.3. Regulacja układów zasilania na podstawie zawartości w spalinach węglowodorów: (HC) i tlenku węgla (CO)

Metoda ta może być stosowana do regulacji układów zasilania silników, bez konwertera katalitycznego w układzie wylotowym. Zasadą tej metody regulacji jest uzyskanie na biegu jałowym silnika spalin o:

- najniższej zawartości węglowodorów (HC) w spalinach - oznacza to, że możliwie największa część paliwa jest spalana;
- zawartości tlenku węgla (CO) nie wyższej, niż wynika z wymagań technicznych dla pojazdów (obowiązują one przy przeglądach rejestracyjnych w SKP).



Regulację wykonujemy w opisany poniżej sposób (rys.20).

1. Warto na początek oznaczyć śrubę regulacji składu mieszanki np. niezmywalnym flamastrem, po jednej stronie rowka na śrubokręt.

2. Kierując się słuchem, ustawić śrubę składu mieszanki tak, by mieszanka była najuboższa, ale silnik pracował równo - pozycja śruby 1 (rys.20). Po ustaleniu wskazań analizatora proszę zanotować na kartce zawartość w spalinach węglowodorów (1HC) i tlenku węgla (1CO).

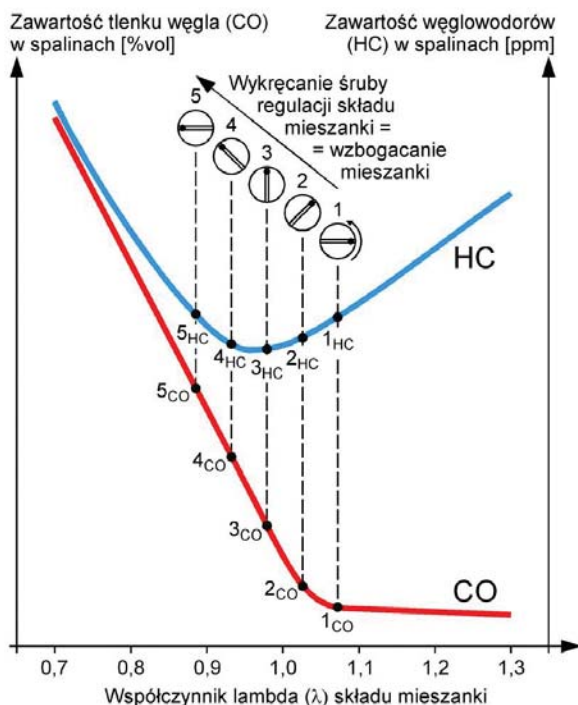
3. Proszę wykręcać co 1/8 obrotu śrubę składu mieszanki - pozycje śruby od 2 do 5 (rys.20), notując każdorazowo

zawartości w spalinach węglowodorów (od 2HC do 5HC) i tlenku węgla (od 2CO do 5CO). Regulacja przebiega prawidłowo, jeśli zawartość węglowodorów (HC) najpierw maleje a potem ponownie rośnie. Prowadzimy ją do momentu, aż uzyskamy taką zmianę zawartości węglowodorów. Jeśli zawartość węglowodorów (HC) stale rośnie, to znaczy, że zaczęliśmy od za bogatej mieszanki. Zawartość tlenku węgla (CO) w spalinach, powinna rosnąć stale.

4. Ustawiamy śrubę regulacji składu mieszanki w pozycji, przy której zawartość węglowodorów (HC) w spalinach była najmniejsza - pozycja 3 (rys.20), lub pomiędzy pozycjami, przy których zawartość węglowodorów w spalinach była najmniejsza - np. pomiędzy pozycjami 3 i 4.

5. Sprawdzamy, czy zawartość tlenku węgla (CO) w spalinach nie jest większa niż: 4,5% - dla samochodów rejestrowanych po raz pierwszy przed 1.10.86 lub 3,5% - dla samochodów rejestrowanych po raz pierwszy od 1.10.86. Jeśli ten warunek jest spełniony, regulacja jest skończona.

ku pomiaru analizatorem spalin, zawartość w spalinach interesującego nas składnika. W codziennej praktyce przyjmujemy, że taka jest zawartość tego składnika w spalinach, ale warto wiedzieć, szczególnie gdy mierzymy małe zawartości, że jest to uproszczenie. Jeśli chcemy być ściśli, to najpierw dla wartości mierzonej, należy określić dolny i górny błąd pomiarowy (są w instrukcji obsługi) a następnie na ich podstawie wyznaczyć zakres tolerancji wartości mierzonej (B). Na pytanie ile wynosi rzeczywista zawartość składnika w spalinach, którą mierzyliśmy, możemy tylko odpowiedzieć - leży w zakresie tolerancji, od .. do.. (C). Niestety nic więcej. Powyższa zasada dotyczy wszystkich pomiarów.



Rys.20 Zasada regulacji silnika z zapłonem iskrowym (ZI), na podstawie zawartości w spalinach węglowodorów: (HC) i tlenku węgla (CO). Numery od 1 do 5 oznaczają kolejne ustawienia śruby regulacji składu mieszanki. Symbole - od 1_{HC} do 5_{HC} oznaczają zawartości węglowodorów (HC) w spalinach, które odpowiadają kolejnym ustawieniom śruby regulacji składu mieszanki. Symbole od 1_{CO} do 5_{CO} oznaczają zawartości tlenku węgla (CO) w spalinach, które odpowiadają kolejnym ustawieniom śruby regulacji składu mieszanki.

