Zbigniew Kneba[1)], Jacek Kropiwnicki[1)]

WPŁYW TEMPERATURY ROZRUCHU SILNIKA NA CZAS PRACY BEZ UWZGLĘDNIENIA W STEROWANIU SYGNAŁU Z CZUJNIKA STĘŻENIA TLENU

Streszczenie. W pracy omówiono wybrane zagadnienia związane z wpływem temperatury rozruchu silnika spalinowego na emisję związków toksycznych w spalinach. Jednym z czynników powodujących wzrost emisji związków toksycznych podczas zimnego rozruchu jest sterowanie pracą silnika spalinowego bez udziału sygnału z czujnika tlenu. Warunkiem poprawnej pracy czujnika stężenia tlenu oraz uwzględnienia w sterowaniu silnikiem generowanego przez niego sygnału jest rozgrzanie czujnika stężenia tlenu do odpowiedniej temperatury. Rozgrzewanie czujnika stężenia tlenu może zostać przyspieszone za pomocą grzałki elektrycznej. Użycie grzałki elektrycznej umożliwia z jednej strony redukcję emisji związków toksycznych, z drugiej strony powoduje wzrost zużycia energii elektrycznej w pojeździe. W pracy przedstawiono wyniki badań wpływu temperatury rozruchu silnika na czas pracy bez uwzględnienia w sterowaniu sygnału z czujnika stężenia tlenu.

Słowa kluczowe: sterowanie silnikiem spalinowym, czujnik stężenia tlenu, warunki pracy silnika.

CEL PRACY

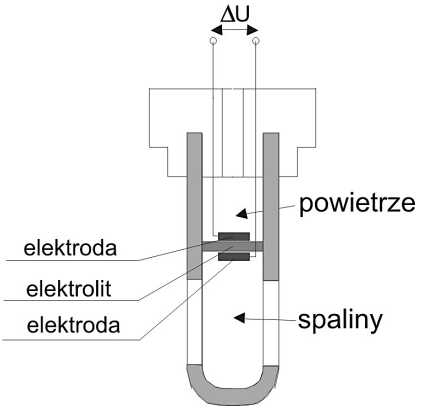
Celem pracy badawczej było stwierdzenie jak długo układ sterowania składem mieszanki nie może pracować w pętli sprzężenia zwrotnego z czujnikiem stężenia tlenu, przy rozgrzewaniu silnika samochodowego. Czujnik stężenia tlenu do prawidłowej pracy musi osiągnąć minimalną temperaturę w wyniku ogrzewania przez gorące spaliny lub grzałkę elektryczną. Czas opóźnienia załączenia obwodu sprzężenia zwrotnego w sterowaniu mieszanką zależy od: obciążenia silnika, prędkości obrotowej i warunków otoczenia podczas rozgrzewania. W pracy analizie poddano również określenie wpływu stanu cieplnego silnika (części metalowych, płynu chłodzącego, oleju smarnego i elementów układu oczyszczania spalin) na emisje związków toksycznych w spalinach. Ten problem był poruszany w wielu publikacjach [1–3] lecz często ich autorzy badali stan rozruchu „zimnego" silnika i w pełni rozgrzanego, a nie pośrednie stany po krótkotrwałym postoju samochodu. Czujniki stężenia tlenu nowej generacji bada się najczęściej w stałej temperaturze 600 ºC [7].

[1)] Wydział Mechaniczny, Politechnika Gdańska, ul. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk, e-mail: zkneba@pg.gda.pl, e-mail: jkropiwn@pg.gda.pl

ZADANIE I BUDOWA CZUJNIKA STĘŻENIA TLENU

W układach wielopunktowego wtrysku pośredniego benzyny algorytm sterowania ma za zadanie utrzymywać skład mieszanki zbliżony do stechiometrycznego, który umożliwia z kolei utrzymanie wysokiej sprawności pracy reaktora katalitycznego. We wtrysku bezpośrednim skład mieszanki może być znacząco różny od stechiometrycznego. Czas wtrysku benzyny, wyznaczany w sterowniku silnika, jest obliczany z wykorzystaniem sygnału z czujnika położenia pedału przyspieszenia, przepływomierza powietrza lub czujnika ciśnienia absolutnego i czujnika temperatury, a następnie jest korygowany przy wykorzystaniu sygnału z czujnika stężenia tlenu [6].

Dwustanowy czujnik stężenia tlenu jest ogniwem elektrochemicznym. Jego budowę przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Budowa czujnika stężenia tlenu

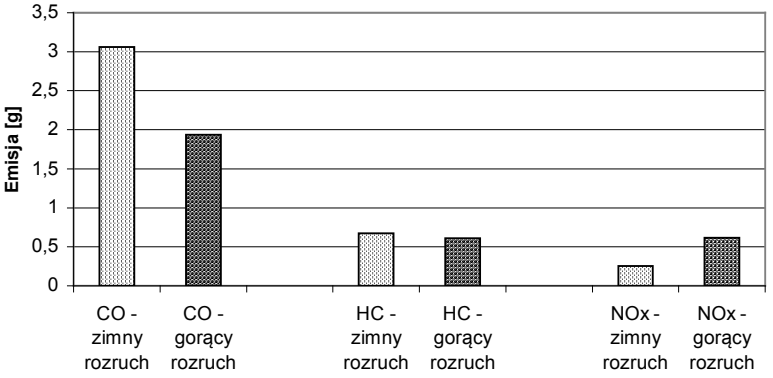
WPŁYW STANU CIEPLNEGO NA EMISJE TOKSYCZNYCH SKŁADNIKÓW SPALIN I DWUTLENKU WĘGLA

Obecnie wiele uwagi poświęca się zmniejszeniu emisji dwutlenku węgla a więc również redukcji przebiegowego zużycia paliwa [1, 5]. Wskutek rozwoju techniki oczyszczania spalin, na przestrzeni ostatnich dwudziestu lat emisja drogowa związków toksycznych została znacząco zredukowana. Natomiast redukcja przebiegowego zużycia paliwa w kolejnych generacjach pojazdów nie następuje w sposób jednoznaczny ze względu za wzrost masy samochodów i ich wymiarów. W wielu publikacjach wspominana się także o wpływie temperatury rozruchu silnika na przebiegowe zużycie paliwa, brak jest jednak szerszych danych opisujących to zjawisko w sposób ilościowy.

Próbę uzupełnienia tej wiedzy stanowią testy przeprowadzone przez autora na hamowni podwoziowej w zakładach Daimler-Benz Werk Bremen. Badaniom poddano 10 samochodów typu Mercedes C 200 Kompressor z silnikiem o zapłonie iskro-

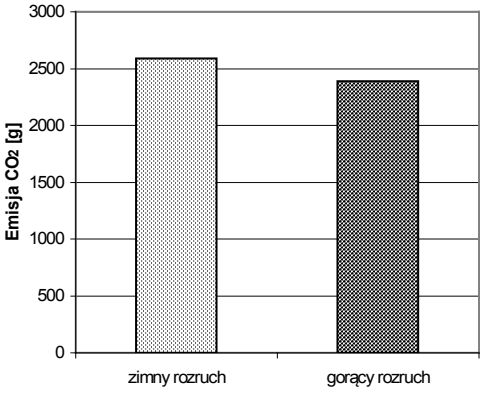
MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

wym, doładowanym mechanicznie, o objętości skokowej 2 dm³. Badania dotyczyły emisji związków toksycznych oraz zużycia paliwa zarówno przy zimnym rozruchu, przy temperaturze cieczy chłodzącej w zakresie 20–24 ºC, jak i przy gorącym rozruchu, przy zakresie 85–95 °C. Uśrednione wyniki badań przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Emisja związków toksycznych przy zimnym i gorącym rozruchu silnika samochodowego o zapłonie iskrowym w teście NEDC (Dzięki uprzejmości zakładu Daimler-Benz Werk Bremen – pomiary autora)

Na podstawie uzyskanych wyników (rys. 4.1) można stwierdzić, że gorący rozruch silnika zmniejsza emisję CO o 36%, a emisję HC o 12%, w stosunku do zimnego rozruchu. Jednocześnie o 150% rośnie emisja NOx. Podczas badań samochodu w fazie jazdy miejskiej testu NEDC emisja CO_2, jest mniejsza o 14% przy gorącym rozruchu silnika od mającego miejsce przy zimnym rozruchu (rys. 3).



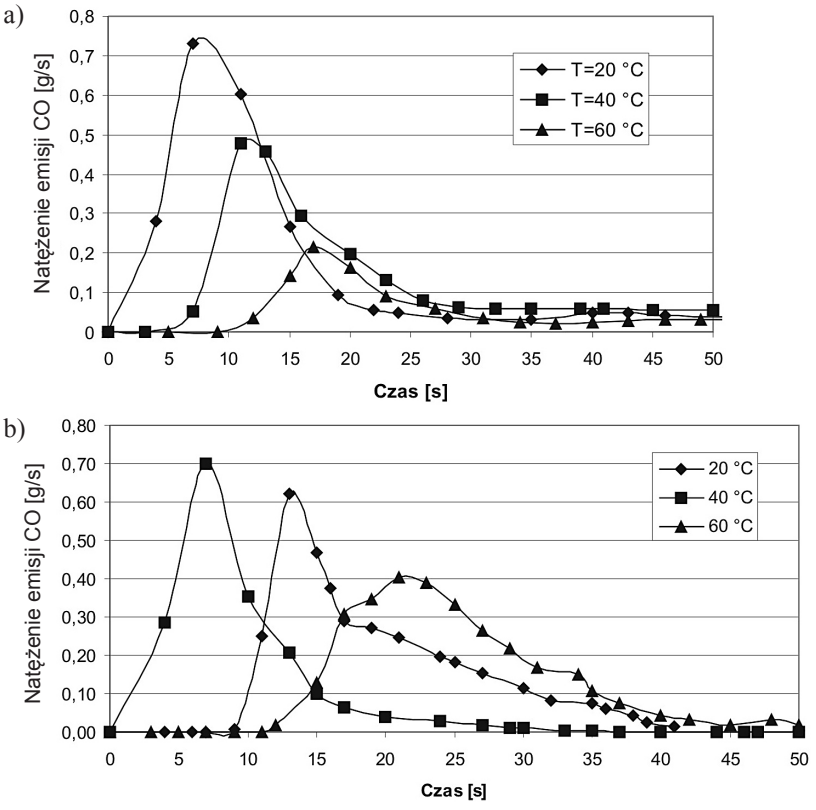
Rys. 3. Emisja CO_2, w fazie jazdy miejskiej testu NEDC przy zimnym i gorącym rozruchu silnika samochodowego o zapłonie iskrowym (Dzięki uprzejmości zakładu Daimler-Benz Werk Bremen – pomiary autora)

W celu sprawdzenia różnicy w poziomie emisji związków toksycznych w spalinach po rozruchu silnika samochodu przy różnej temperaturze cieczy chłodzącej

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

wykonano pomiary składu spalin na biegu jałowym, przy wykorzystaniu analizatora typu Leader 8000, który przed pomiarami kalibrowano gazami wzorcowymi. Badaniom poddano 2 samochody z silnikami o zapłonie iskrowym: Ford Fiesta 1,3 oraz Honda Accord 2,0.

Wybrane wyniki pomiarów, dla trzech temperatur rozruchu przedstawiono na rysunku 4. Niezależnie od temperatury rozruchu, maksimum natężenia emisji CO występowało w początkowej fazie rozgrzewania silnika.



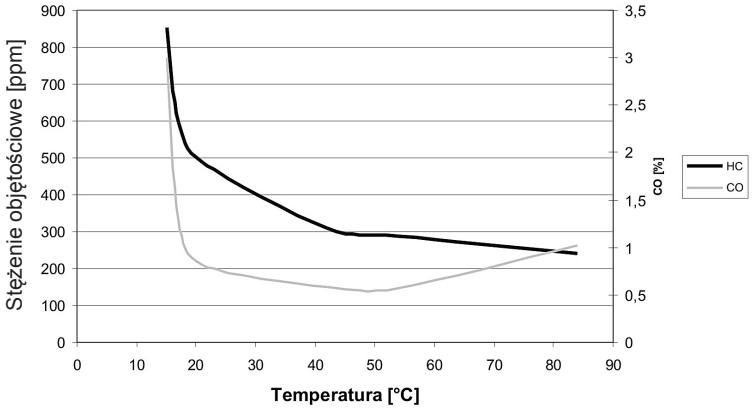
Rys. 4. Zmiany natężenia emisji składników toksycznych w spalinach w funkcji czasu po rozruchu silnika : a) Ford Fiesta 1,3, b) Honda Accord 2.0

W następnych próbach rejestrowano jednocześnie tylko maksymalne wartości objętościowego stężenia HC i CO. Przeprowadzono 25 prób rozruchu przy różnych temperaturach cieczy chłodzącej w zakresie 15–85 °C. Wyniki pomiarów zależności po aproksymacji przedstawiono na rysunku 5.

Na podstawie wykonanych pomiarów obliczono wielkości emisji HC i CO w okresie 40 s pracy silnika na biegu jałowym zgodnie z następującymi zależnościami:

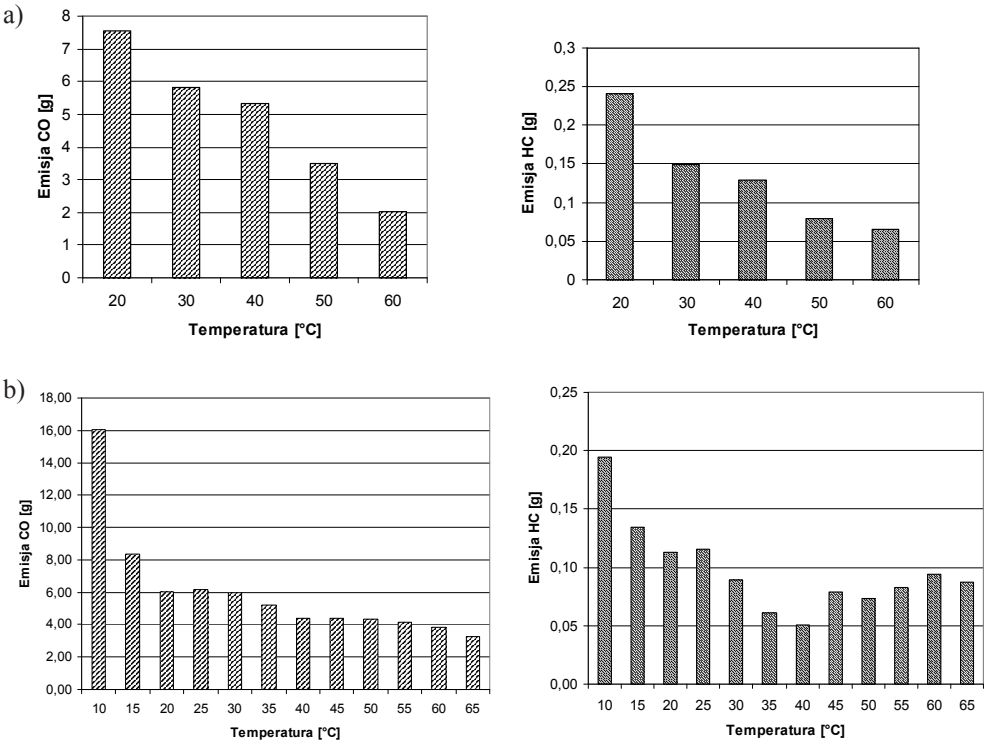
$$HC_{śr} = \int_0^{40} HC(t)dt \quad CO_{śr} = \int_0^{40} CO(t)dt \tag{1}$$

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rys. 5. Zależność maksymalnych wartości stężenia objętościowego HC i CO od temperatury płynu chłodzącego w chwili rozruchu występujących, występujących w okresie 10-20 s od uruchomienia silnika na biegu jałowym dla samochodu Ford Fiesta 1,3

Wyniki obliczeń w postaci wykresów słupkowych przedstawiono na rysunku 6.

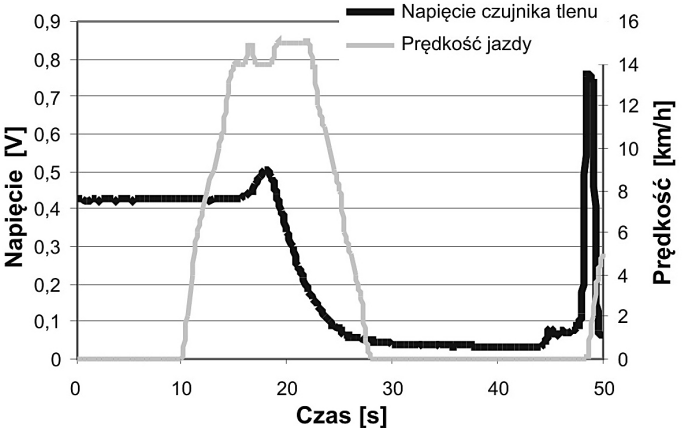


Rys. 6. Średnie wartości emisji związków toksycznych w spalinach, w czasie pierwszych 40 s od rozruchu silnika, przy różnych temperaturach cieczy chłodzącej w momencie rozruchu silnika a) Ford Fiesta 1,3, b) Honda Accord 2,0

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Największy wpływ na zmniejszenie emisji związków toksycznych w spalinach po rozruchu nie rozgrzanego silnika ma stała czasowa czujnika stężenia tlenu w spalinach, która osiąga niską wartość po przekroczeniu temperatury pracy czujnika około 250 °C. Na rysunku 7 przedstawiono przebieg napięcia czujnika stężenia tlenu pomiędzy elektrodami czujnika stężenia tlenu po zimnym rozruchu w funkcji czasu na początku testu NEDC. Pomiar napięcia czujnika przeprowadzono w samochodzie Mercedes W 202 (C 200 Kompressor) na hamowni podwoziowej podczas pracy według testu NEDC. Na podstawie badań czujnika tego samochodu, powtórzonych w badaniach innych tego typu samochodów, można stwierdzić, iż czujnik stężenia tlenu rozpoczyna pracę, w warunkach testu NEDC, dopiero po upływie 45-50 s od rozruchu silnika w temperaturze 22–24 °C. W tym teście rozpoczęcie jazdy występowało w 10–13 s od rozruchu. Napięcie czujnika stężenia tlenu zmieniało się stosownie do składu spalin dopiero na początku drugiej fazy miejskiej części testu. Wynika stąd, że w pierwszych 10–20 s testu dominujący wpływ na skład spalin ma stan cieplny samego silnika, a nie układu oczyszczania spalin.

Należy też zauważyć, że spaliny, które mogłyby podgrzewać układ oczyszczania spalin, przekazują swoje ciepło zimnym częściom silnika i jego płynom. W warunkach miejskich kierowcy zwykle szybciej rozpoczynają jazdę niż w teście NEDC i często intensywniej przyspieszają, co skutkuje szybszym nagrzaniem układu oczyszczania spalin, szczególnie czujnika stężenia tlenu. Tym nie mniej nawet w tych warunkach zamknięcie obwodu sterowania składem mieszanki następowało dopiero po upływie około 5 s. Do tego momentu emisja związków toksycznych w spalinach była bardzo wysoka i zależała od temperatury silnika w chwili rozruchu.

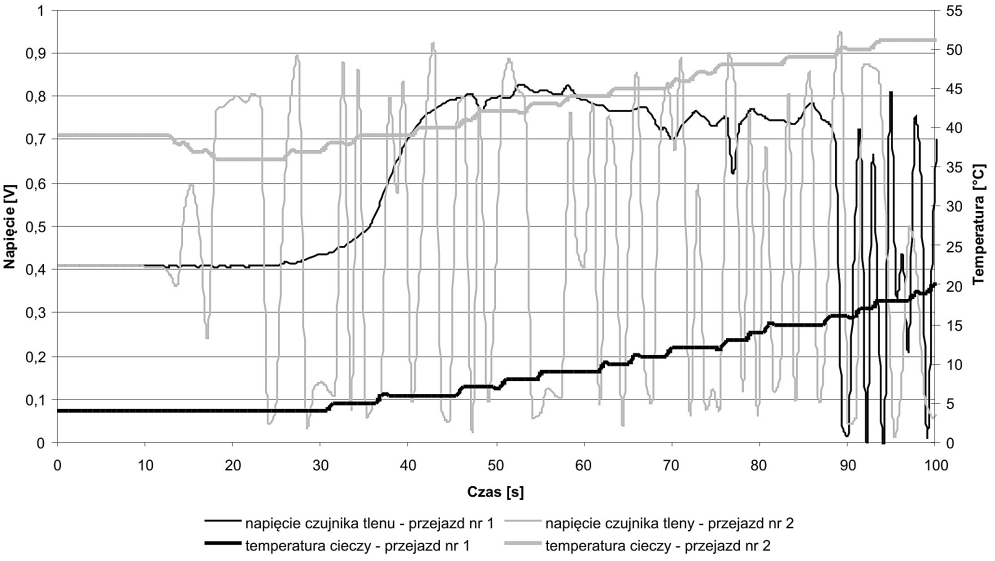


Rys. 7. Przebieg napięcia czujnika stężenia tlenu w funkcji czasu na początku testu NEDC. Samochód testowy Mercedes W203 (C 200 Kompressor) (Dzięki uprzejmości zakładu Daimler-Benz Werk Bremen – pomiary autora)

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

OPÓŹNIENIE ZAŁĄCZENIA CZUJNIKA STĘŻENIA TLENU ZMIERZONE W TESTACH DROGOWYCH

Czas załączenia czujnika stężenia tlenu do pętli sterowania silnikiem został sprawdzony w trakcie jazd miejskich. Na rysunku 8 przedstawiono przebiegi napięcia czujnika stężenia tlenu i temperatury cieczy chłodzącej, dla dwóch wybranych przejazdów po zimnym rozruchu. Drugi przejazd następował po postoju z unieruchomionym silnikiem trwającym 1,5 godziny.

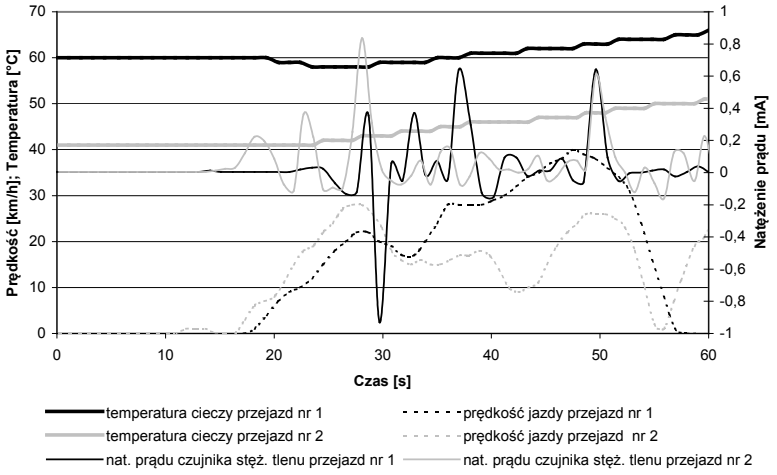


Rys. 8. Napięcie czujnika stężenia tlenu i temperatura cieczy chłodzącej na początku jazd miejskich dla 2 różnych wartości początkowych temperatury cieczy chłodzącej

Na podstawie wyników przedstawionych na rys. 8 czas opóźnienia pracy układu regulacji składu mieszanki ze sprzężeniem zwrotnym od czujnika stężenia tlenu zależy od temperatury cieczy chłodzącej, a ściślej od stanu cieplnego wielu elementów silnika. Czas ten zmienia się od około 90 s, dla niskich temperatur początkowych cieczy chłodzącej, do około 25 s dla silnika po 1,5 godzinnym postoju w temperaturze otoczenia 0 °C. Takie wartości zwłoki zadziałania układu regulacji składu mieszanki z uwzględnieniem sygnału czujnika stężenia tlenu były typowe dla trzech samochodów badanych podczas 10 jazd testowych.

Podobny czas zwłoki miały szerokopasmowe czujniki stężenia tlenu. Na rysunku 9 przedstawiono dwa zarejestrowane przebiegi natężenia prądu czujnika stężenia tlenu dla dwóch jazd przy różnej temperaturze początkowej cieczy chłodzącej.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rys. 9. Natężenie prądu szerokopasmowego czujnika stężenia tlenu samochodu Honda Accord 2.0 w funkcji czasu podczas dwu jazd miejskich przy rozruchach przy dwóch różnych wartościach temperatur początkowych cieczy chłodzącej

Po załączeniu sprężania zwrotnego do układu regulacji składu mieszanki zawartość związków toksycznych w spalinach gwałtownie maleje, ale nie osiąga minimalnej wartości bo nierozgrzany reaktor katalityczny nadal pracuje z małą sprawnością. Z powyższych rozważań wynika, że początkowy okres pracy silnika rzędu 40 s odpowiada bardzo dużej emisji niespalonych związków HC oraz CO i jest typowy dla jazd miejskich przy zimnych rozruchach. Czas ten stanowi znaczący udział w całym okresie pojedynczej jazdy wynoszącym średnio 12 min, wpływając znacząco na pogorszenie właściwości ekologicznych samochodu.

PODSUMOWANIE

Czas opóźnienia załączenia czujnika stężenia tlenu jest ważnym czynnikiem zwiększającym emisję toksycznych składników spalin podczas rozgrzewania silnika samochodowego. Jednak nie jest to jedyny czynnik podwyższający emisję. Równie ważny jest stan cieplny silnika, który w krótkich jazdach miejskich zależy od wielu czynników. Potrzebne są dalsze badania eksploatacyjne dla usprawnienia procesu rozgrzewania samego czujnika stężenia tlenu ale i części silnika oraz jego płynów podczas rozgrzewania silnika.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

LITERATURA

1. Bielaczyc P., Merkisz J., Pielecha J.: Stan cieplny silnika spalinowego a emisja związków szkodliwych. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2001.
2. Bielaczyc P., Merkisz J., Szczotka A.: An investigation of cold start and warm-ups phases with a SI engine for meeting new European emissions regulations. The Archives of Automotive Engineering 1999, nr 1/2, 67–84.
3. Bielaczyc P.: Analiza wpływu faz rozruchu i nagrzewania się silnika ZI na emisję toksycznych składników spalin. Praca doktorska. Politechnika Poznańska 1999.
4. Kneba Z.: Engine temperature during warm-up influence of load and cooling system parameters. Journal of KONES 2001 vol. 8, nr 1-2.
5. Laurikko J.: Cold start emissions and excess fuel consumption in low ambient temperatures – Assessment of EU2, EU3 and EU4 passenger car performances. FISITA 2008, www.fisita2008.com/programme/pdf/F2008-09-049.pdf.
6. Rokosch U.: Układy oczyszczania spalin i pokładowe systemy diagnostyczne samochodów. WKiŁ, Warszawa 2007.
7. Anderson J.E., Graves Y.B.: The transient response of ZrO_2 oxygen sensors to step changes in gas composition, Journal of Applied Electrochemistry, Volume 12, Nr 3, 335–341.

THE INFLUENCE OF THE ENGINE START TEMPERATURE ON THE ENGINE CONTROL OPERATION TIME WITHOUT A SIGNAL FROM THE OXYGEN CONCENTRATION SENSOR

Abstract

The influence of engine start temperature on emission of toxic compounds in exhaust gases has been presented in the paper. One of the factors causing the increase in emission of toxic compounds during cold start is operation of the engine control system without a signal from the oxygen concentration sensor. The condition for the correct operation of the oxygen concentration sensor and the integration of signal from the sensor in the engine control system is warming up of the oxygen concentration sensor to the proper temperature. Warming up the oxygen concentration sensor may be accelerated by an electric heater. Using the electric heater on one hand reduces emissions of toxic compounds, on the other hand causes an increase in the electric energy consumption in the vehicle. The influence of the engine start temperature on the engine control operation time without a signal from the oxygen concentration sensor has been also presented in the paper.

Key words: engine control, oxygen concentration sensor, engine operating conditions.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl