

COLD START CONTROL OF THE SI ENGINE SUPPLIED WITH HYDROGEN

Damian Borecki, Jerzy Jantos

Opole University of Technology, Poland
Department of Road and Agricultural Vehicles
Mikołajczyka Street 6, 45-271 Opole
tel.: +48 77 4006272, fax: +48 77 4006272
e-mail: d.borecki@doktorant.po.edu.pl

Abstract

In a day when stockpiles of petroleum are finishing and exhaust norm are getting more and more restricted very important thing in new vehicles is the environment protection. Many researches are led in the range of emission of harmful substances limitation. As is well known the combustion engine produce the largest part of harmful substances during start and transitional phases. One of the methods which could improve this threat is using of heated catalytic converters. In this paper other method is presented-additional fuel circuit. Thanks to this installation ignition phase is realized when a vehicle is hydrogen fuelled. This paper initial research of cold start using gasoline and hydrogen is presented. All measurements was prepared in the same conditions and theirs results are graphically presented.

The use of the additional feed system with the gas- start fuel improves indicators of engine work. The use of the start fuel gives the considerable reduction of the concentration of injurious compounds in exhausts gases. The use of hydrogen as a start fuel and the feed system with weak fuel-air mixture permits to limit losses of pumping which at feed system petrol comes up to 40% during idle work of the engine. The hydrogen feed directly before switch of the engine is necessary.

Keywords: *emission, cold start, alternative fuel*

STEROWANIE ROZRUCHEM SILNIKA ZASILANEGO WODOREM

Streszczenie

W dobie kończących się zasobów ropy naftowej oraz rygorystycznych norm emisji spalin w najnowszych modelach samochodów osobowych bardzo dużą wagę przywiązuje się do zagadnień związanych z ochroną środowiska. Poszukiwane są rozwiązania pozwalające na obniżenie emisji substancji szkodliwych. Jak wiadomo silnik spalinowy charakteryzuje największa emisja podczas rozruchu i w fazach przejściowych. W artykule przedstawiono koncepcję obniżenia emisji substancji szkodliwych podczas rozruchu zimnego silnika poprzez zastosowanie dodatkowej instalacji paliwowej. Zastosowano rozwiązanie oparte na rozruchu zimnego silnika przy zasilaniu wodorem. Osiągnięto znaczną redukcję emisji substancji szkodliwych w pierwszej fazie pracy silnika. Dokonano porównania wyników pomiarów emisji przy zasilaniu benzyną oraz sprężonym wodorem. W celu uzyskania wiarygodnych wyników pomiaru powtórzone wielokrotnie. Badania zostały przeprowadzone w takich samych warunkach a ich wyniki przedstawiono w formie graficznej. Zastosowanie wodoru jako paliwa rozruchowego przy zasilaniu ubogą mieszanką pozwala ograniczyć straty pompowania, które przy zasilaniu benzyną dochodzą do 40% pracy indykowanej podczas pracy na biegu jałowym. Zasilanie wodorem bezpośrednio przed zatrzymaniem pracy silnika jest konieczne.

Słowa kluczowe: *emisja substancji szkodliwych, zimny rozruch, paliwa alternatywne*

1. Wstęp

Rozruch i faza nagrzewania silnika charakteryzuje się zwiększoną emisją substancji szkodliwych. Spowodowane jest to słabym odparowaniem paliwa związanym z niską temperaturą silnika. Przekłada się to na złe wymieszanie i niejednorodny skład mieszanki paliwowo powietrznej [1-4]. Problem niskiej temperatury dotyczy również reaktora katalitycznego, którego sprawność jest związana z temperaturą i gwałtownie maleje poniżej 300°C [5]. Zastosowanie wstępnego, małego, szybko nagrzewającego się dopalacza katalitycznego pozwala na skrócenie

czasu light-off. Jednak i tak problemem wymagającym rozwiązania pozostaje podwyższona emisja w pierwszej fazie pracy silnika, czyli około 40 sekund od zimnego rozruchu. Dla ograniczenia niekorzystnych zjawisk, towarzyszących rozruchowi i fazie nagrzewania stosuje się specjalne procedury rozruchowe w celu podniesienia temperatury w komorze spalania [8]. Mimo to rozruch silnika spalinowego charakteryzuje się nadal zdecydowanie podwyższoną emisją substancji szkodliwych i stanowi duży problem [5-7].

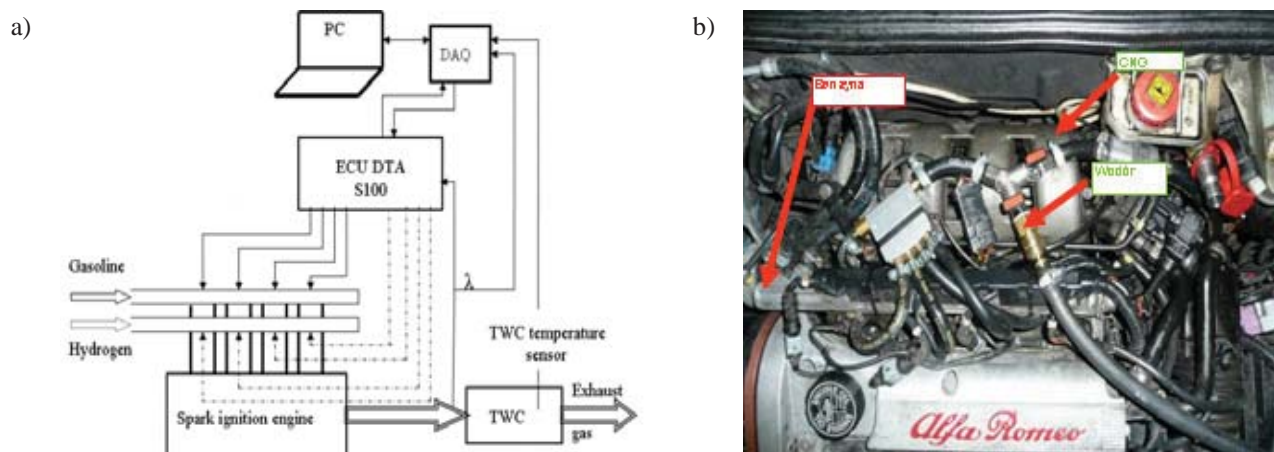
2. Obiekt badań

Do badań wykorzystano seryjny samochód Alfa-Romeo 156 z silnikiem o zapłonie iskrowym, którego podstawowe dane techniczne zestawiono w Tab. 1.

Tab. 1. Dane techniczne silnika
Tab. 1. Technical data of the engine

Rodzaj	Jednostka	rzędowy, czterosuwowy, czterocyldrowy, 16-to zaworowy, zapłon iskrowym
Kod silnika	-	AR 67601
Usytuowanie	-	poprzecznie z przodu
Rodzaj chłodzenia	-	ciecz
Rozrząd	-	2 wałki w głowicy, zmienne fazy rozrządu zaworów dolotowych
Pojemność skokowa	cm ³	1598
Średnica cylindra	Mm	82
Skok tłoka	Mm	75,65
Stopień sprężania	-	10,3
Moc max	kW	88 (6300 obr/min)
Moment obrotowy max	Nm	144 (4500 obr/min)

Układ zasilania składa się z standardowego układu zasilania benzyną oraz z dodatkowego układu zasilania wodorem. Na Rys. 1 przedstawiono schemat i widok układu zasilania.



Rys. 1. Układ zasilania paliwem: (a)-schemat, (b)-widok
Fig. 1. The feed system with the fuel: (a)-the schema, (b)-the view

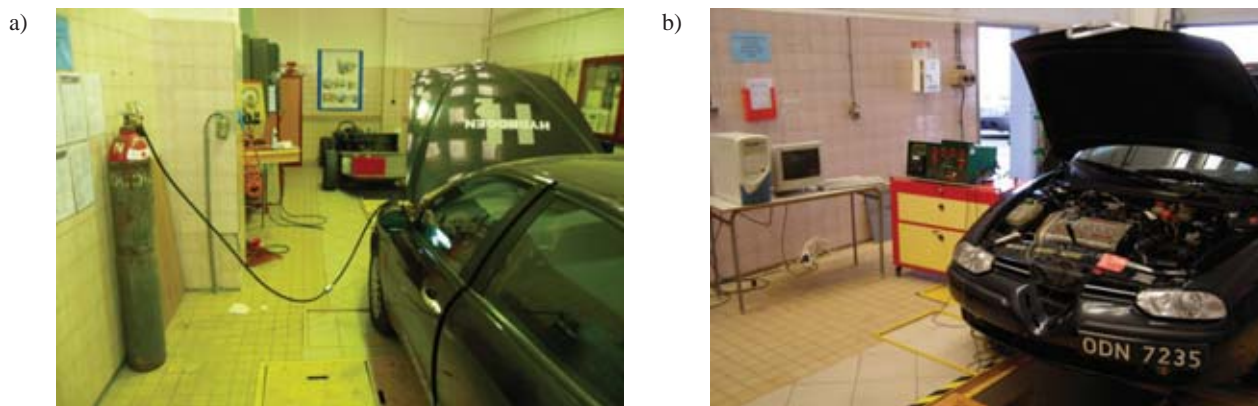
Samochód został doposażony w dodatkowy układ zasilania paliwem gazowym odpowiednio zmodyfikowanym aby możliwe było zasilanie wodorem.

W celu przeprowadzenia niezbędnych badań konieczne było zmodyfikowanie algorytmu sterowania układu zasilania paliwem gazowym.

Silnik jest zasilany wodorem wyłącznie podczas rozruchu oraz w fazie nagrzewania silnika. Po uzyskaniu wymaganej temperatury pracy light-off układu oczyszczania spalin silnik zasilany jest paliwem standardowym – benzyną. Zastosowanie takiego rozwiązania pozwala wyeliminować problemy związane ze złym odparowaniem paliwa ciekłego w niskich temperaturach. Uzyskuje się również jednorodną mieszaninę palną, gdyż wodór o wiele lepiej miesza się z powietrzem, a utrzymanie odpowiedniego składu mieszanki w pierwszej fazie pracy silnika pozwala na polepszenie jego wskaźników pracy. Dzięki szerokiemu zakresowi palności wodoru możliwe jest zasilanie silnika mieszaną ubogą zarówno podczas rozruchu jak i w fazie nagrzewania. Pozwala to na dodatkową poprawę wskaźników pracy silnika oraz ograniczenie zużycia wodoru do niezbędnego minimum.

3. Stanowisko pomiarowe

Stanowisko pomiarowe składa się z dwóch analizatorów spalin, Leader 8000 firmy Motorscan oraz AGS 200 firmy Brain Bee. Analizatory posiadają możliwość zapisu danych z częstotliwością 1 Hz. Dane pomiarowe zapisywane są równoległe z obydwu analizatorów. Pomiar emisji substancji szkodliwych prowadzony jest przed i za katalizatorem. W skład stanowiska wchodzi również komputer klasy PC służący do sterowania układem zasilania oraz zapisem danych, oraz karta pomiarowa i czujnik ciśnienia w cylindrze GM12D firmy AVL. Układ sterowania doposażono w szerokopasmową sondę LM1 firmy Innovate, która umożliwia obserwowanie składu mieszanki w całym zakresie, dodatkowo urządzenie posiada możliwość ciągłego zapisu składu AFR. Całość zestawiono na stanowisku pomiarowym przedstawionym na Rys. 2.

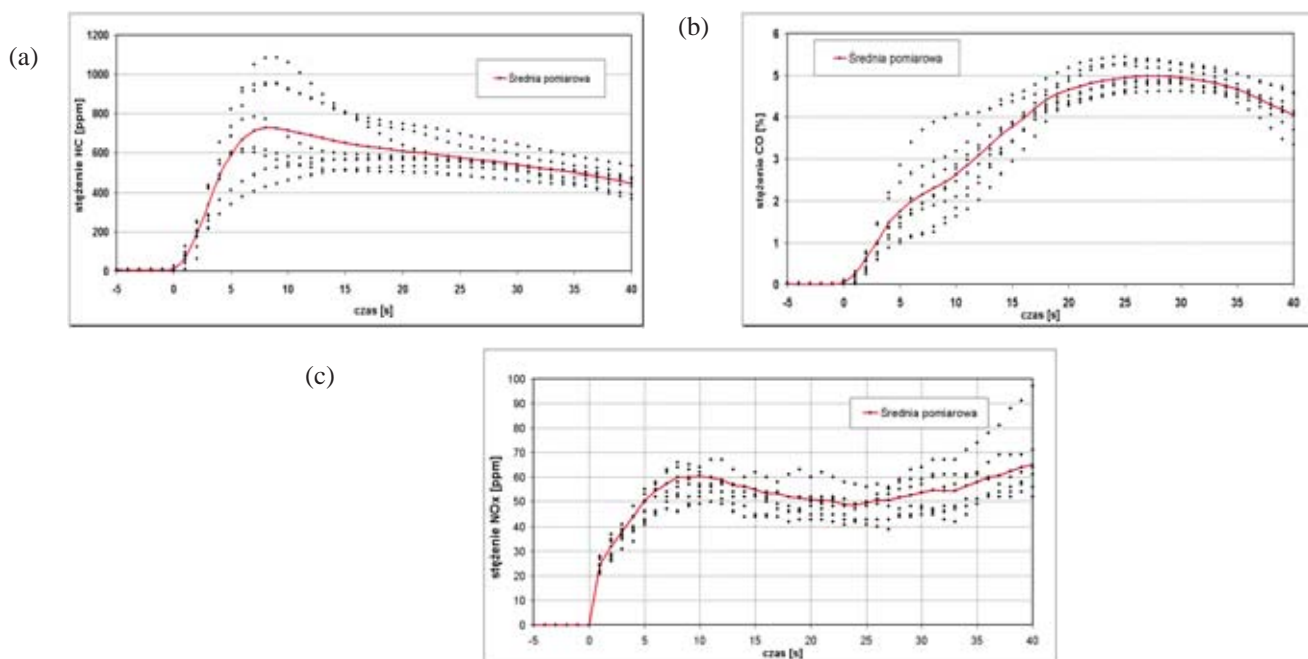


*Rys. 2. Stanowisko pomiarowe
Fig. 2. Test stand*

4. Wyniki badań

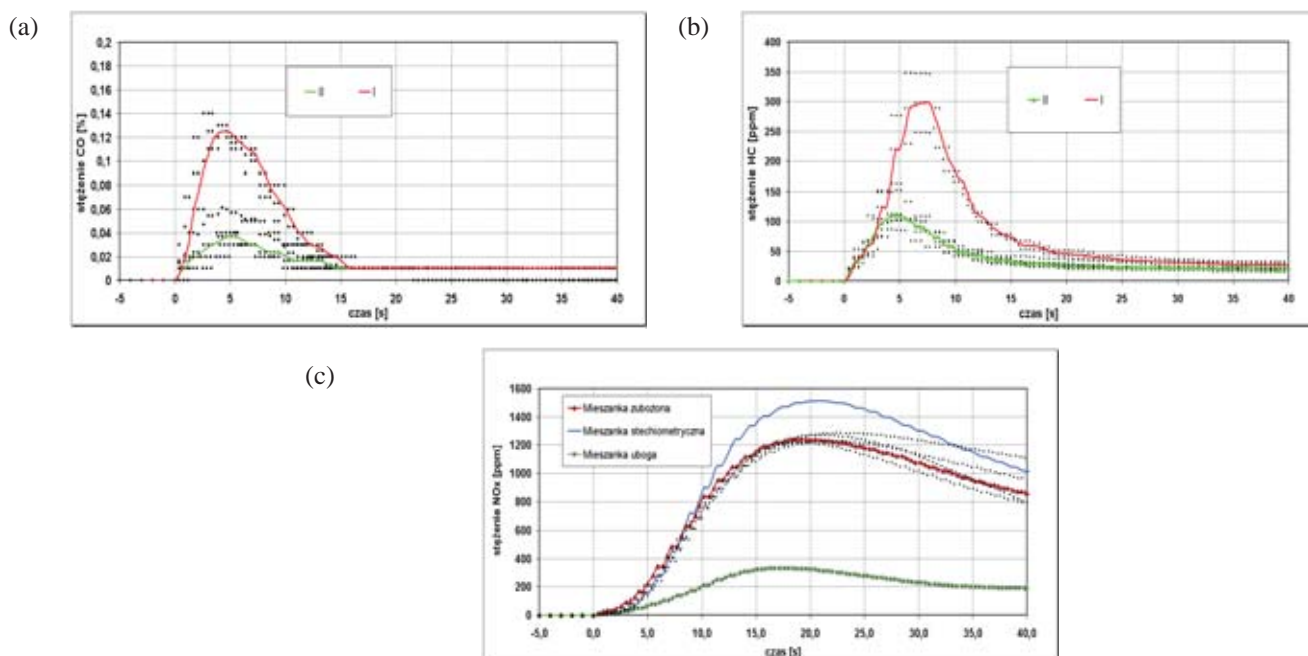
Badania przeprowadzono w celu porównania emisji substancji szkodliwych podczas rozruchu zimnego silnika zasilanego benzyną i sprężonym wodorem. Pomiary wykonano w takich samych warunkach, przy początkowej temperaturze silnika poniżej 20°C. Próby powtarzano kilkakrotnie po każdorazowym wychłodzeniu silnika w celu wyeliminowania przypadkowych błędów. Równocześnie prowadzono pomiar ciśnienia w cylindrze oraz pomiar składu mieszanki paliwowo powietrznej.

Wyniki pomiarów dla silnika zasilanego benzyną przedstawiono na Rys. 3.



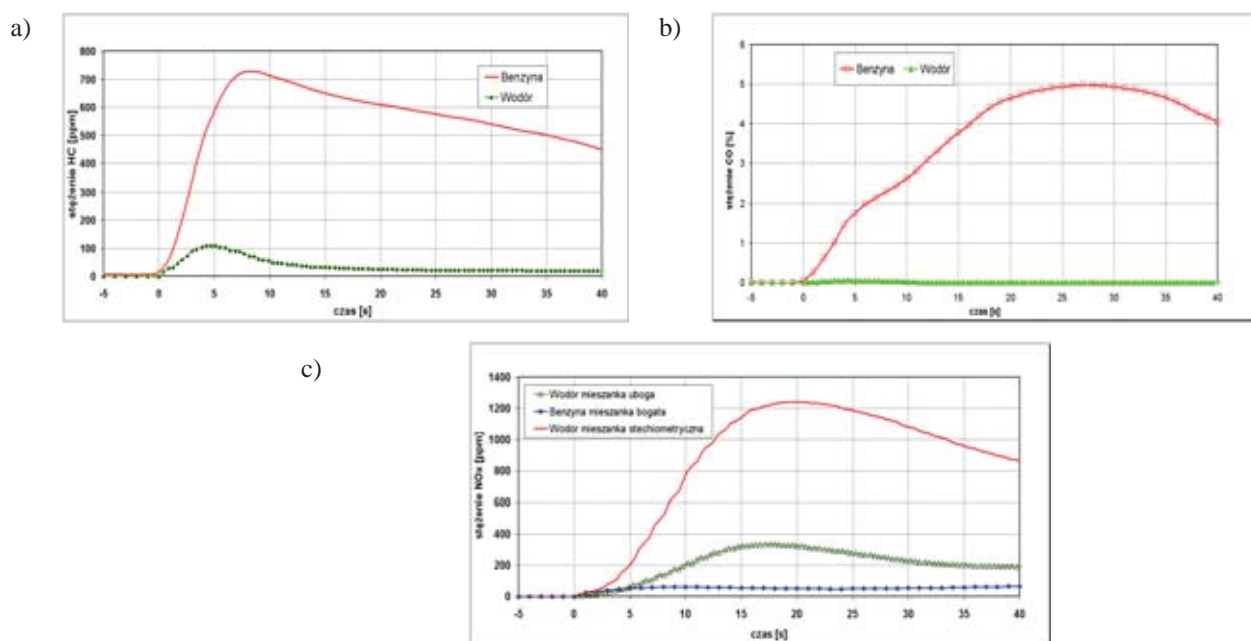
Rys. 3. Stężenie substancji szkodliwych podczas rozruchu zimnego silnika zasilanego benzyną: (a)- węglowodory, (b)- tlenek węgla, (c)- tlenki azotu
 Fig. 3. The concentration of injurious compounds during the start of the cold engine supplied petrol: (a)- hydrocarbons, (b)- carbon monoxide, (c)- nitrous oxides

Na Rys. 4 przedstawiono wyniki pomiarów dla silnika zasilanego wodorem. W tym jednak przypadku zrealizowano dwa warianty zatrzymania silnika. W pierwszym, przedstawionym na wykresach za pomocą linii ciągłej (I) silnik przed zatrzymaniem zasilano benzyną. W drugim, przypadku przedstawionym na wykresach linią ciągłą (II), silnik przed zatrzymaniem na 5 s przełączono na zasilanie wodorem.



Rys. 4. Stężenie substancji szkodliwych podczas rozruchu zimnego silnika zasilanego wodorem: (a)- węglowodory, (b)- tlenek węgla, (c)- tlenki azotu; wariant I - silnik przed zatrzymaniem zasilany benzyną, wariant II - silnik przed zatrzymaniem zasilany wodorem
 Fig. 4. The concentration of injurious compounds during the start of the cold engine supplied with hydrogen: (a)- hydrocarbons, (b)- carbon monoxide, (c)- nitrous oxides; variant I - the engine before stop supplied petrol, the variant II - the engine before stop supplied with hydrogen

Jak widać rodzaj paliwa wykorzystanego do zasilania silnika bezpośrednio przed jego zatrzymaniem, ma znaczący wpływ na emisję węglowodorów i tlenku węgla przy kolejnym rozruchu. Porównanie uśrednionego stężenia substancji szkodliwych przy wykorzystaniu różnego rodzaju paliwa przedstawiono na Rys. 5.

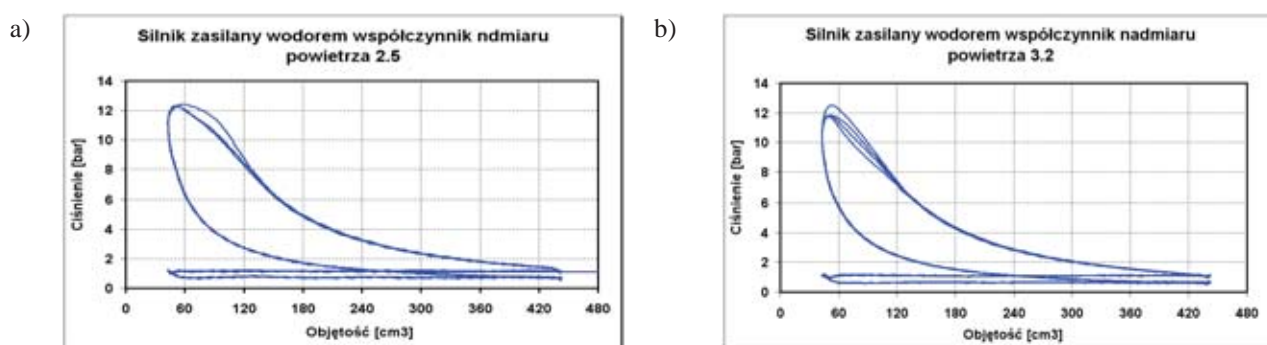


Rys. 5. Porównanie stężenia substancji szkodliwych przy zasilaniu benzyną i wodorem: a)- węglowodory, b)- tlenek węgla, c)- tlenki azotu

Fig. 5. The comparison of the concentration of injurious compounds at feed petrol and hydrogen: a)- hydrocarbons, b)- carbon monoxide, c)- nitrous oxides

Zgodnie z oczekiwaniami w przypadku wodoru, uzyskuje się znaczne (10-krotne) obniżenie stężenia węglowodorów w spalinach. Stężenie tlenku węgla jest bliskie zeru. Znacznie zwiększył się udział stężenia tlenków azotu. Jest jednak możliwość zaradzenia tej podwyższonej emisji przechodząc na zasilanie silnika bardzo ubogimi mieszankami.

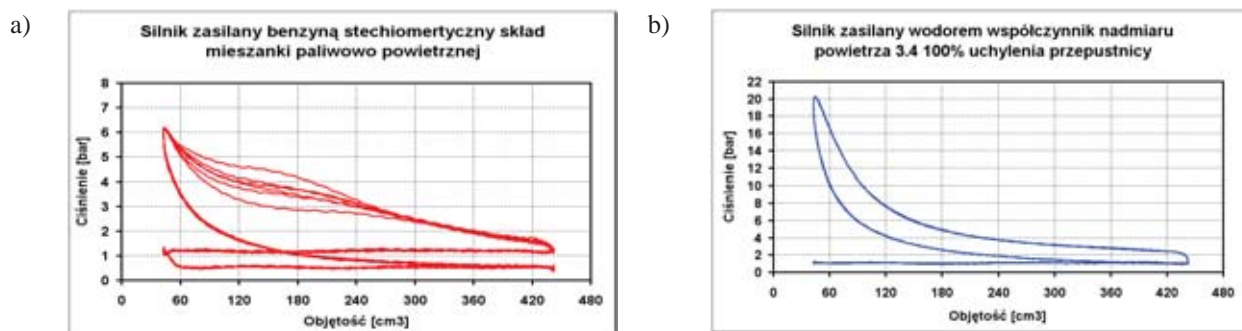
Z przebiegu ciśnienia w cylindrze (Rys. 6.) widać, że zubożona mieszanka wodorowo-powietrzna nie pogarsza sprawności a szybkość spalania (wywiązywania się ciepła) jest nadal bardzo wysoka.



Rys. 6. Zamknięty wykres indykatorowy silnika pracującego na biegu jałowym z prędkością obrotową 1000 obr/min: a)-zasilanie wodorem, mieszanka uboga ($\lambda=2,5$), b)-zasilanie wodorem, mieszanka bardzo uboga ($\lambda=3,2$)

Fig. 6. Closed indicator diagram of the engine working in idle operation with the rotational speed 1000 rpm: a)-the power supply hydrogen, the lean mixture ($\lambda=2,5$), b)-the power supply hydrogen, the mixture very poor ($\lambda=3,2$)

Zubożenie mieszanki wodorowo-powietrznej nie tylko korzystnie wpływa na emisję tlenków azotu, ale jednocześnie pozwala na znaczną poprawę sprawności cieplnej silnika. Na Rys. 7 przedstawiono zamknięty wykres indykatorowy przy zasilaniu silnika benzyną i wodorem.



Rys. 7. Zamknięty wykres indykatorowy silnika pracującego na biegu jałowym z prędkością obrotową 1000 obr/min: a)-zasilany benzyną, mieszanka stechiometryczna, dławienie napęlenia za pomocą przepustnicy, b)-zasilany wodorem, mieszanka bardzo uboga ($\lambda=3.4$) przepustnica całkowicie otwarta

Fig. 7. Closed indicator diagram of the engine working in gear idle operation with the rotational speed 1000 rpm: a)-fed with petrol, stoichiometric mixture, filling strangling with throttle, b)-supplied with the hydrogen, the mixture the very poor ($\lambda=3.4$) throttle entirely open

Na szczególną uwagę zasługuje pętla wymiany ładunku (praca ujemna). Przy zasilaniu tak ubogą mieszanką wodorowo-powietrzną praca ujemna (Rys. 7.b) jest wyraźnie mniejsza od koniecznej do wykonania przy zasilaniu benzyną (Rys. 7.a).

5. Podsumowanie

Zastosowanie dodatkowego układu zasilania z gazowym paliwem rozruchowym poprawia wskaźniki pracy silnika. Po przeanalizowaniu wyników można stwierdzić, że poprzez zastosowanie paliwa rozruchowego uzyskano znaczną redukcję stężenia substancji szkodliwych w spalinach. Zastosowanie wodoru jako paliwa rozruchowego i zasilanie ubogą mieszanką paliwowo powietrzną pozwala ograniczyć straty pompowania, które w przypadku zasilania benzyną dochodzą do 40% pracy indykowanej podczas pracy na biegu jałowym. Przeprowadzone badania potwierdziły przyjęte założenia, zauważono że konieczne jest krótkotrwałe zasilanie wodorem bezpośrednio przed zatrzymaniem pracy silnika.

Skróty i oznaczenia

HC - Węglowodory, CO – Tlenek węgla, NO_x – Tlenki azotu
 TWC - (Three-Way Conversion) trójdrożny reaktor katalityczny
 PC - (Personal Computer) Komputer osobisty, DAQ – (Data Acquisition) Karta pomiarowa
 ECU - (Engine Control Unit) Sterownik Silnika, light-off – temperatura rozpoczęcia pracy TWC

Literatura

- [1] Chłopek, Z., *Ochrona środowiska naturalnego*, WKiŁ, Warszawa 2004.
- [2] Merksiz, J., *Wpływ motoryzacji na skażenie środowiska naturalnego*, Wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań 1999.
- [3] Merksiz, J., *Emisja związków toksycznych przez silniki spalinowe w świetle obowiązujących przepisów i perspektywy ich zmian*, Silniki spalinowe, Nr 1-2, 1992.
- [4] Borecki, D., Jantos, J., Hetmańczyk, I., Bieniek, A., Malewicz, K., *Ecological problems of ignition of the engine*, Journal of KONES Powertrain and Transport, Vol. 14, No. 3, pp. 83-89, 2007.
- [5] Brzeżański, M., *Ocena pracy reaktora katalitycznego w fazie nagrzewania silnika spalinowego*, Konferencja naukowo techniczna Diagnostyka pojazdów samochodowych 2002, s. 129-138, Katowice 2002.

- [6] Merkisz, J., Mazurek, S., *Pokładowe systemy diagnostyczne pojazdów samochodowych OBD*, WKiŁ, Warszawa 2007.
- [7] Brzeżański, M., *Wpływ fazy nagrzewania silnika na obliczenia emisji komunikacyjnej*, Czasopismo Techniczne P.K. Z.7 M/2004.
- [8] Bielaczyc, P., Merkisz, J., *Konieczność i możliwość obniżenia emisji związków toksycznych w początkowej fazie pracy po rozruchu silnika ZI*, Autoprogres 1998, Jachranka 1998.

Praca współfinansowana ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2008/2009 jako projekt badawczy PBP-3598/B/T02/2008/35.

