

Anna M. Bocheńska*, Cezary I. Bocheński**

BADANIA WPŁYWU ZMIANY KĄTA WYPRZEDZENIA WTRYSKU I STOPNIA RECYRKULACJI SPALIN NA TOKSYCZNOŚĆ SPALIN I ZUŻYCIE PALIWA SILNIKA Z ZAPŁONEM SAMOCZYNNYM

Streszczenie. Emisja związków toksycznych do atmosfery jest głównym problemem nadchodzących czasów, co powoduje wprowadzenie coraz bardziej restrykcyjnych przepisów określających dopuszczalne limity poziomu toksyczności spalin.

W artykule zaprezentowano wyniki testów badających wpływ zmiany kąta wyprzedzenia wtrysku na poziom toksyczności spalin, zmiany zużycia paliwa i zadymienia dla różnych wartości stopnia recyrkulacji oraz wpływ stopnia recyrkulacji na emisję spalin silnika z zapłonem samoczynnym.

Słowa kluczowe: związki toksyczne, kąt wyprzedzenia wtrysku, zużycie paliwa

WSTĘP

W Unii Europejskiej eksploatowanych jest ok. 200 mln pojazdów samochodowych, z których znaczna część napędzana jest silnikiem z zapłonem samoczynnym (Diesla). W Polsce na ok. 14 mln eksploatowanych pojazdów, w silnik Diesla wyposażonych jest ok. 5 mln pojazdów, głównie w transporcie ciężkim oraz w maszynach rolniczych i roboczych.

Transport samochodowy ma główny udział w emisji związków toksycznych, w tym ok. 90% w emisji tlenków węgla (CO), ok. 50% w emisji tlenków azotu (NO_x) i ok. 40% w emisji węglowodorów (CH).

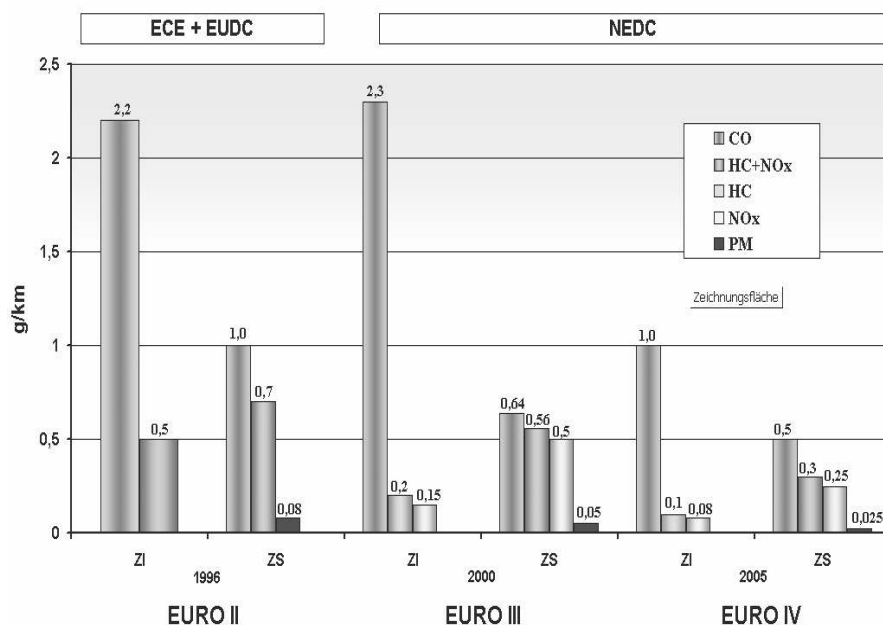
Emisja związków toksycznych do atmosfery jest głównym problemem nadchodzących czasów, co powoduje wprowadzenie coraz bardziej restrykcyjnych przepisów określających dopuszczalne limity poziomu toksyczności spalin.

Największy udział w gazach emitowanych do atmosfery ma dwutlenek węgla (CO₂), odpowiedzialny za zmiany klimatyczne na kuli ziemskiej. Coraz większa emisja związków

* Mgr inż. Anna M. Bocheńska, Instytut Transportu Samochodowego w Warszawie

** Prof. dr hab. Cezary I. Bocheński, Wydział Inżynierii Produkcji, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego

toksycznych spalin powoduje, że wprowadzane są ostrzejsze ograniczenia emisji tych związków, również w pojazdach samochodowych, co przedstawia rysunek 1.



Rys. 1. Zmiany limitów emisji związków toksycznych dla pojazdów samochodowych

Fig. 1. Changeability of toxic contents emission standards for automotive vehicles

Ograniczenia te ujęte w odpowiednich przepisach Unii Europejskiej podlegają weryfikacji w krótkich odstępach czasowych. Zmusza to producentów pojazdów do stosowania zmian konstrukcyjnych w silnikach oraz specjalnych systemów oczyszczania spalin. Obniżenie poziomu toksyczności spalin i zużycia paliwa jest podstawowym kryterium produkcji silników.

W silnikach z zapłonem samoczynnym zmniejszenie toksyczności w nowych konstrukcjach uzyskuje się przez wprowadzenie różnych rozwiązań:

- nowe systemy doprowadzania paliwa, elektronicznie sterowany, wysokociśnieniowy wtrysk paliwa (Common Rail, pompowtryskiwacze),
- nowe systemy doprowadzenia powietrza (sterowanie wydatkiem, doładowanie, zwiększenie liczby zaworów),
- zmiany konstrukcji komór spalania,
- chłodzenie powietrza doładowania,
- zmniejszenie oporów tarcia,
- urządzenia poprawiające pracę silnika na biegu jałowym i przy rozruchu,
- zmniejszenie masy pojazdu i inne.

Wprowadzenie tych zmian zwiększa koszty produkcji i eksploatacji silników spalinowych. W celu zmniejszenia toksyczności spalin stosuje się również nowe paliwa o odpowiednio dobranych właściwościach. W paliwach tych zmianie podlega skład frakcyjny,

zmniejsza się zawartość siarki i węglowodorów aromatycznych oraz koryguje inne cechy istotne z punktu widzenia ochrony środowiska.

Większość firm samochodowych prowadzi intensywne badania w celu obniżenia toksyczności spalin. Jedną z możliwości osiągnięcia tego celu jest optymalizacja doboru parametrów regulacyjnych oraz wprowadzenie recyrkulacji spalin, doładowania powietrza z jego chłodzeniem i inne proste metody. Możliwe jest wtedy znaczne obniżenie toksyczności spalin bez zmiany konstrukcji silnika. Przedstawione zostaną badania wpływu na toksyczność gazów wylotowych zmiany kąta wyprzedzenia wtrysku i stopnia recyrkulacji. Silnikiem badawczym był silnik z zapłonem samoczynnym o objętości skokowej 2000 cm³ i mocy nominalnej 74 kW przy 4300°/min.

BADANIA TOKSYCZNOŚCI SPALIN W TEŚCIE NEDC

Badania przeprowadzono na stanowisku wyposażonym w maszynę asynchroniczną, umożliwiającą odwzorowanie testu jezdnego. Do oceny toksyczności spalin zastosowano testy jezdne odwzorowujące warunki ruchu miejskiego i pozamiejskiego. W Europie stosowany jest test NEDC (New European Driving Cycle) lub jego modyfikacje. W teście tym występują różne stany pracy silnika, jak przyśpieszenie, opóźnienie czy bieg jałowy. Podczas testu pobierane są spaliny i wyznaczana zawartość poszczególnych składników toksycznych. Następnie wartości te porównywane są z wartościami dopuszczalnymi, określonymi w przepisach europejskich. Układ pomiarowy stanowiska umożliwiał pomiar zużycia paliwa i powietrza oraz składu spalin. Do sterowania procesem badawczym i oceny wyników stosowano specjalne oprogramowanie [Bosch]. Obowiązujący dla nowo produkowanych pojazdów w Europie test NEDC składa się z dwóch części: cyklu miejskiego odwzorowującego w pełni jazdę w mieście (UDC) w czasie 4 razy po 195 s i cyklu pozamiejskiego (EUDC) trwającego 400 s [Chłopek 2004].

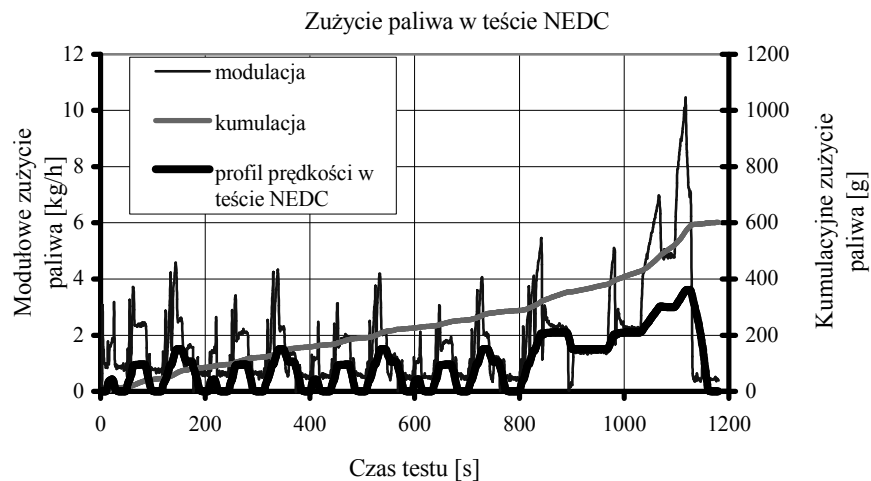
Warunki testu określone przez Wspólnotę Europejską obejmowały pomiar emisji i zużycia paliwa w typowych stanach pracy silnika – zimnym starcie, przyśpieszaniu i opóźnieniu silnika.

Pomiary toksyczności przeprowadzane są w czasie 1180 s, w sekundowych odstępach czasowych, odpowiadających 11 km odcinkowi drogi. Wyniki pomiarów chwilowych podawane są jako wartości modulowane, odpowiadające danemu obciążeniu silnika. W każdej fazie testu przy przyśpieszaniu bądź opóźnianiu zmieniają się obciążenia silnika i chwilowe wartości zużycia oraz emisji. Wartości chwilowe są sumowane i podawane w formie wartości skumulowanych.

Zmianę zużycia paliwa dla badanego silnika w teście NEDC, przedstawia rysunek 2. Z przedstawionego wykresu wynika, że w okresie cyklu miejskiego (do 800 s) zużywa się około połowy paliwa, a reszta ulega zużyciu w okresie jazdy pozamiejskiej.

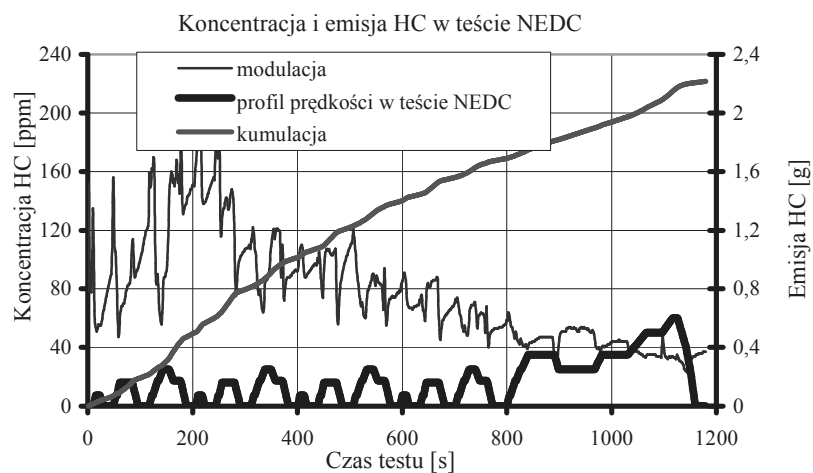
Wyniki pomiarów chwilowej i skumulowanej wartości emisji związków toksycznych spalin przedstawiono na rysunku 3, 4 i 5.

Z pomiarów tych wynika, że największa koncentracja węglowodorów i tlenku węgla występuje w okresie początkowym przy zimnym silniku. Badany silnik uzyskał w teście NEDC następujące skumulowane wartości poszczególnych składników toksycznych: CO – 10,5 g/test, CH – 2,2 g/test, NO_x – 3,8 g/test.



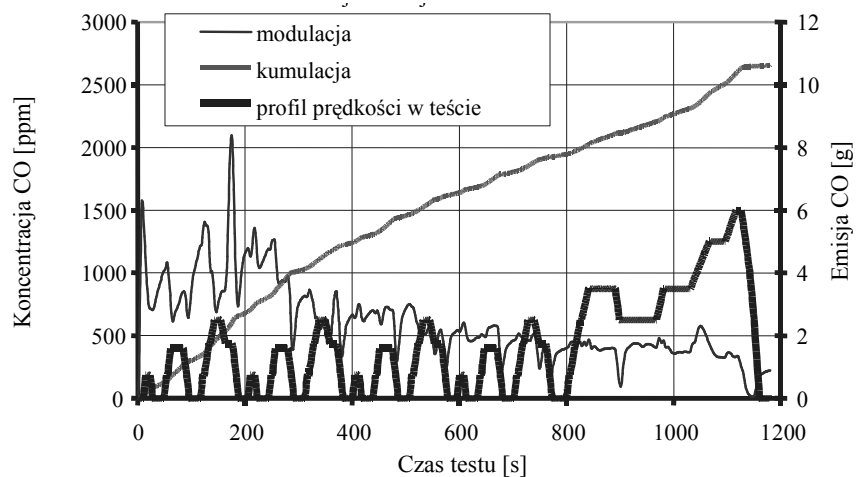
Rys. 2. Zużycie paliwa w teście NEDC

Fig. 2. Fuel consumption in NEDC test



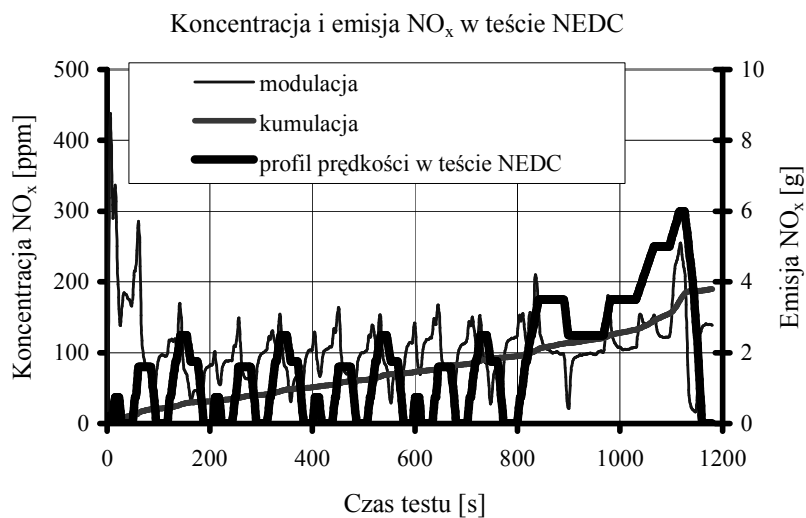
Rys. 3. Emisja węglowodorów w teście NEDC

Rys. 3. Hydrocarbons emission in NECD test



Rys. 4. Emisja tlenków węgla w teście NEDC

Fig. 4. Carbon monoxides emission in NECD test



Rys. 5. Emisja tlenków azotu w teście NEDC

Fig. 5. Nitric oxides emission in NECD test

Wartości dopuszczalne, określone w Dyrektywie Europejskiej, w badaniach według testu NEDC, dla silnika o pojemności skokowej 2000 cm³ wynoszą: CO – 30 g/test, CH + NO_x – 8 g/test. Badany silnik spełnia warunki określające wartości graniczne emisji związków toksycznych.

Od roku 2005 obowiązywać będą nowe, bardziej rygorystyczne normy EURO IV, w stosunku do obowiązujących, określonych w EURO III (rys. 1).

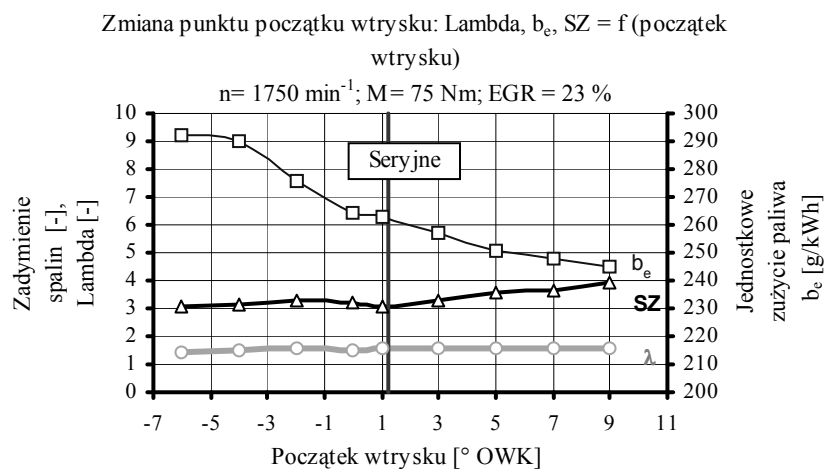
BADANIA MOŻLIWOŚCI REDUKCJI ZWIĄZKÓW TOKSYCZNYCH W SPALINACH

Normy emisji toksyczności zawarte w EURO IV zmuszają producentów silników do szukania możliwości dalszego obniżenia zawartości związków toksycznych w spalinach. Najprostszą i najtańszą formą jest dobór parametrów regulacyjnych oraz zastosowanie doładowania i recyrkulacji spalin.

Przedstawione zostaną wyniki badań wpływu na emisję toksyczności i zużycie paliwa takich czynników jak:

- kąta wyprzedzenia wtrysku,
- stopień recyrkulacji spalin.

Wpływ kąta wyprzedzenia wtrysku na zużycie jednostkowe paliwa, zadymienie i współczynnik nadmiaru powietrza przedstawia rys. 6.

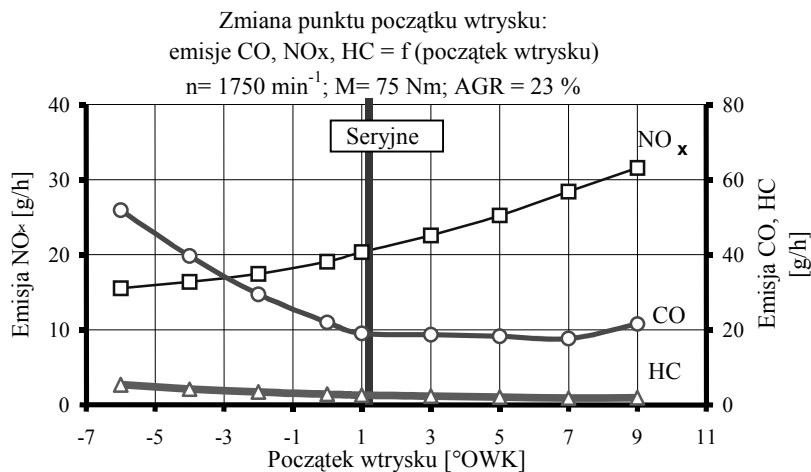


Rys. 6. Wpływ zmiany kąta wyprzedzenia wtrysku na badane parametry

Fig. 6. An influence of injection advance angle change on the tested parameters

Zwiększenie kąta prowadzi do zmniejszenia zużycia paliwa, przy nieznacznym wzroście wartości zadymienia i stałej wartości współczynnika λ . Zmianę emisji związków toksycznych w zależności od kąta wyprzedzenia wtrysku przedstawia rysunek 7.

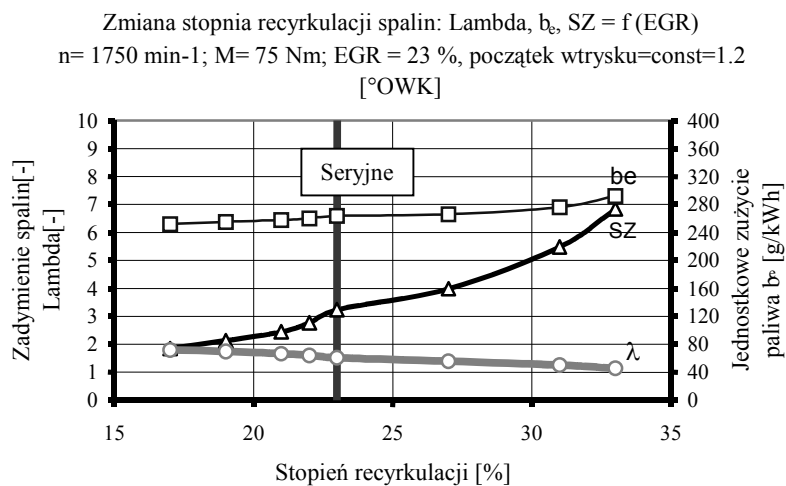
Przy wzroście kąta wyprzedzenia wtrysku zwiększa się zawartość tlenków azotu (NO_x), przy niewielkich zmianach zawartości CO i CH. Aby zachować niskie zużycie paliwa i ograniczoną toksyczność spalin, zmiana kąta może być w zakresie 1° do 3° owk przy seryjnym ok. 1,3° owk.



Rys. 7. Wpływ zmiany kąta wyprzedzenia wtrysku na poziom toksyczności spalin

Fig. 7. An influence of injection advance angle change on fumes toxicity level

Następnie określono wpływ recyrkulacji spalin (EGR) na jednostkowe zużycie paliwa i poziom toksyczności spalin. Zwiększenie stopnia recyrkulacji spalin w stosunku do wartości stosowanej w silniku seryjnym, nie spowodowało wyraźnego wzrostu zużycia paliwa i współczynnika λ , ale bardzo silny wzrost zadymienia, co przedstawia rysunek 8.

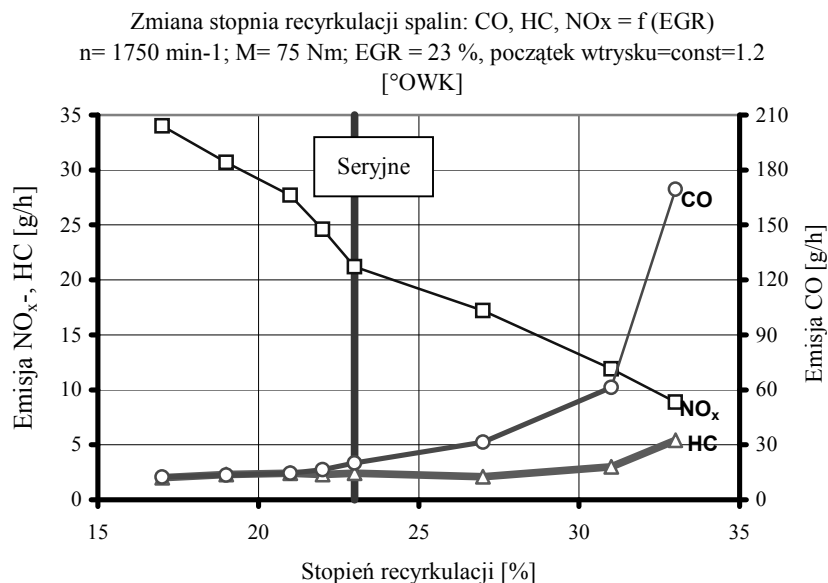


Rys. 8. Zmiana jednostkowego zużycia paliwa i zadymienia dla różnych wartości stopnia recyrkulacji

Fig. 8. Change in fuel consumption per unit and smokiness for different re-circulation level values

Wzrost recyrkulacji spalin przyczyniła się do bardzo silnego zmniejszenia emisji tlenków azotu (NO_x) i pewnego wzrostu CH i CO.

Powyżej wartości 30% EGR nastąpił gwałtowny wzrost CO i pewien CH, przy dalej malejącej wartości NO_x . Zmiany te przedstawia rysunek 9.



Rys. 9. Wpływ stopnia recyrkulacji na emisję spalin

Fig. 9. An influence of re-circulation level on fumes emission

WNIOSKI

Istnieją możliwości dalszego obniżenia toksyczności spalin produkowanych obecnie silników z zapłonem samoczynnym, bez zmiany ich konstrukcji, poprzez dobór parametrów regulacyjnych i wprowadzenie dodatkowych obiegów (recyrkulacja spalin, doładowanie, chłodzenie powietrza).

W badaniach wykazano, że przy zwiększaniu recyrkulacji spalin (do ok. 27%) następuje spadek emisji tlenków azotu, przy zachowaniu niezmiennego poziomu zużycia paliwa i niewielkich zmianach zawartości pozostałych składników toksycznych. Podobnie zmniejszenie kąta wyprzedzenia wtrysku obniżyło ilość tlenków azotu (NO_x), przy niezmiennym poziomie węglowodorów i sadzy oraz nieco zwiększonej ilości CO. Zastosowanie programów badawczych pozwala na optymalizację doboru parametrów wpływających na toksyczność spalin i jej obniżenie bez zmiany konstrukcji silnika. Metoda ta może być stosowana w odniesieniu do konstrukcji silników starszej generacji.

PIŚMIENNICTWO

1. **Bocheński C. I. 2003:** Biodiesel – paliwo rolnicze. Wyd. SGGW.
2. **Bocheńska A. M. 2004:** Badania wpływu wybranych parametrów na zużycie paliwa i toksyczność spalin silnika wysokopiętnego. Praca dyplomowa. SGGW, Warszawa.
3. **Bosch R.:** Dieselmotoren Management. Vieweg 2. Auflage.
4. **Chłopek Z. 2004:** Ochrona środowiska naturalnego. WKŁ, Warszawa.
5. **Merkisz J. 1999:** Wpływ motoryzacji na skażenie środowiska naturalnego. Wyd. Politechniki Poznańskiej
6. Ueberschär – Kolbenmaschinen. F.H. – Darmstadt 2001

TESTING THE INFLUENCE OF INJECTION ADVANCE ANGLE CHANGE
AND FUMES RECIRCULATION EXTENT ON FUMES TOXICITY
AND FUEL CONSUMPTION IN A SELF-IGNITION ENGINE

Summary. Toxic contents emissions to the atmosphere is the main problem nowadays. E.U. restrictions force vehicles producers to introduce construction changes and fumes clearance systems.

The present paper discusses results of tests on injection advance angle change and fumes recirculation level on fumes toxicity and fuel consumption in a self-ignition engine.

Key words: toxic contents, injection advance angle, fuel consumption

Recenzent: prof. dr hab. inż. Eugeniusz Krasowski