

THE EFFECT OF WATER ADDITION IN EMULSION FUEL ON NITRIC OXIDES CONCENTRATION IN DIESEL ENGINE EXHAUSTS

Czesław Kolanek, Marek Kulażyński, Zbigniew Sroka, Wojciech Walkowiak

Politechnika Wroclawska
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, Poland
tel.: +48 71 34 77 918, fax: +48 71 34 77 918
e-mail: czeslaw.kolanek@pwr.wroc.pl

Abstract

Nitric oxides (NO_x) concentration in exhaust gases of self-ignition engine is a result of air usage for hydrocarbon fuel compounds oxidation in combustion process. The methods of limitation of NO_x concentration based on adjusting optimization of injection advance angle and they are responsible for aim conflict in exhaust smokiness sphere. The progressive expectation of European Union, defined by Euro V and still discussable Euro VI implementation, caused a necessary of reaching for solutions apart from an engine like exhaust gas recirculation (EGR), selective catalytic reduction (SCR) and diesel particle filters – DPF. The method of water addition (especially the most effective – in water-fuel emulsion form) to combustion process has been known since years. This paper presents the results of the researches which aim was to investigate nitric oxides concentration in exhausts of one-cylinder self-ignition engine (type S301D) fuelled 10%, 20%, 30% water-emulsion fuel.

Using of emulsion cut down emission nitric oxides (NO_x), carbon monoxide and smoking of an engine with relation to fuelled with diesel oil. Using of the fuel containing 20% H_2O cut down emission NO approx. 61%, emission NO_x approx. 67%, carbon monoxide approx. 20% with relation to fuelled with diesel oil.

Keywords: combustion engines, fuel, water-emulsion, nitric oxides

WPLYW DODATKU WODY W PALIWIE EMULSYJNYM NA STĘŻENIE TLENKÓW AZOTU W SPALINACH SILNIKA O ZAPŁONIE SAMOCZYNNYM

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań wpływu zasilania silnika o zapłonie samoczynnym (typu S301D) paliwem emulsyjnym, zawierającym 10, 20 i 30% wody. Obserwowano stężenia tlenu azotu i tlenków azotu, tlenu węgla oraz dymienie silnika. W celu porównania efektów wyznaczono emisje jednostkowe poszczególnych wielkości i odniesiono je do takich wielkości wyznaczonych dla handlowego oleju napędowego. W przypadku NO_x i CO zaobserwowano ekstremum efektu dla zawartości 20% wody; w przypadku dymienia silnika maksymalny efekt odpowiada maksymalnemu udziałowi wody w paliwie.

Użycie paliwa emulsyjnego obniża emisję tlenków azotu (NO_x), tlenu węgla (CO) i dymienie silnika (S) w stosunku do zasilania olejem napędowym. W obszarze tlenu azotu (NO) użycie paliwa zawierającego 20% H_2O spowodowało obniżenie emisji NO do poziomu 61% w stosunku do zasilania olejem napędowym. W obszarze tlenu węgla (CO) użycie paliwa zawierającego 20% H_2O obniża emisję do poziomu 20% w stosunku do zasilania silnika olejem napędowym. W obszarze tlenków azotu (NO_x) użycie paliwa zawierającego 20% H_2O obniżyło emisję NO_x do poziomu 67% w stosunku do zasilania olejem napędowym.

Słowa kluczowe: silnik spalinowy, paliwo, emulsja wodna, tlenki azotu

1. Wstęp

Spalanie paliw jest i będzie w najbliższej przyszłości podstawowym sposobem pozyskiwania energii, między innymi dla jednostek napędowych środków transportu. Transport jest przyczyną wielu zagrożeń dla środowiska naturalnego – emituje pyły i cząstki stałe wraz z wieloma gazowymi

substancjami szkodliwymi oraz hałas i drgania.

Źródłami napędu stosowanymi w transporcie są prawie wyłącznie tłokowe silniki spalinowe, wśród których dominują silniki o zapłonie samoczynnym. Wobec znanych zalet tych silników takich jak wysoka, dochodząca do 45%, sprawność (w wolnoobrotowych doładowanych silnikach okrętowych nawet około 60%) oraz stosunkowo niska emisja związków toksycznych w spalinach, zostały one zaakceptowane jako najbardziej korzystne źródło napędu pojazdów samochodowych w najbliższych dziesięcioleciach, przy założeniu, że spełnią wymagania przyszłych uregulowań prawnych dotyczących ochrony środowiska [12].

Jednym z kierunków ograniczania szkodliwego oddziaływania silnika spalinowego na środowisko są poszukiwania w obszarze bezpośredniego oddziaływania na proces spalania przez zastosowanie paliw alternatywnych.

Ekologicznym problemem do rozwiązania w silnikach spalinowych jest emisja tlenków azotu (oznaczana symbolem NO_x). Spośród wielu różnych metod ograniczania powstawania i emisji NO_x upowszechniana jest metoda selektywnej redukcji katalitycznej (SCR). Metoda ta wymaga specjalnej instalacji z katalizatorem oraz zbiornika na „klinicznie” czysty środek redukcyjny.

W aspekcie kształtujących się opinii o potrzebie ograniczania dodatkowych instalacji i mediów, interesującym rozwiązaniem wydaje się zasilanie silnika paliwem emulsyjnym [1-5, 7-11, 13, 14, 18, 20-26].

Rozpylone w wyniku procesu wtrysku cząsteczki paliwa emulsyjnego zawierają pewną ilość kropelek wody w obłoku paliwa. W wysokich temperaturach, jakie panują w cylindrze silnika podczas spalania, cząsteczka taka ulega przegrzaniu i zmienia się jej skład. Na skutek różnicy temperatur wrzenia część paliwowa kropli pozostaje początkowo w stanie płynnym, podczas gdy drugi jej składnik: woda, przechodzi w stan pary. Przy dalszym ogrzewaniu cząsteczka taka ulega rozpyleniu na drobniejsze krople w wyniku tzw. mikrowybuchów. Zjawisko to wpływa bardzo korzystnie na proces wymieszania paliwa z powietrzem [6]. Spalanie jest bliższe zupełnemu, ponieważ zawartość dużej ilości pary wodnej w komorze spalania (w sytuacji względnego niedoboru tlenu) sprzyja krakingowi paliwa i gazyfikacji wydzielonego węgla, dzięki czemu zmniejsza się ilość cząstek sadzy. Poza tym woda jako balast obniża temperaturę w komorze spalania, co powoduje redukcję zawartości tlenków azotu w spalinach [6].

2. Metodyka badań

Badania przeprowadzono na silnikowym stanowisku badawczym. W celu uzyskania możliwości bezpośredniego porównania wartości mierzonych wielkości, badania prowadzono metodą charakterystyk obciążeniowych silnika dla wybranych, takich samych wartości prędkości obrotowej wału korbowego i stanu obciążenia, oczywiście poza obszarem charakterystyk biegu jałowego oraz zewnętrznej, będących przebiegami „spontanicznych” odpowiedzi obiektu na zastosowane paliwa. Użyte paliwa to handlowy olej napędowy (oznaczenie ON) oraz paliwa zawierające ON i 10%, 20% lub 30% wody (oznaczenie 10% H_2O , 20% H_2O , 30% H_2O).

3. Stanowisko badawcze

Badania przeprowadzono na silnikowym stanowisku badawczym składającym się z jednocylindrowego silnika o zapłonie samoczynnym typu S301D oraz hydraulicznego hamulca obciążeniowego typu HWZ1, wyposażonego w tensometryczny przetwornik siły oraz sprzęt i aparaturę pomiarową o danych technicznych zamieszczonych poniżej.

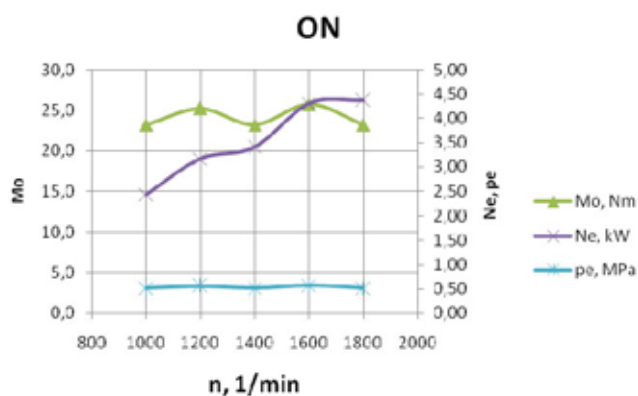
Silnik S301D

- moc nominalna $N_e = 5,2 \text{ kW}$,
- przy prędkości obrotowej wału korbowego $n = 2000 \text{ obr/min}$,
- liczba cylindrów 1,
- objętość skokowa $V_s = 0,567 \text{ dm}^3$,

- średnica cylindra D = 85 mm,
- skok tłoka S = 100 mm,
- masa m = 105 kg,
- pompa wtr. P21 E4a-6.13,
- rozpylacz AD1Z1042,
- producent Wytwórnia Silników Wysokoprężnych „Andoria” Andrychów.

4. Wyniki badań i ich analiza

Wyniki badań stanu wyjściowego silnika (zasilanego ON) przedstawiono na wykresach (Rys. 1-5). Rys. 1-4 prezentują przebiegi wartości wskaźników pracy silnika dla charakterystyki zewnętrznej a na Rys. 5. przedstawiono charakterystykę uniwersalną stężenia tlenków azotu NO_x .

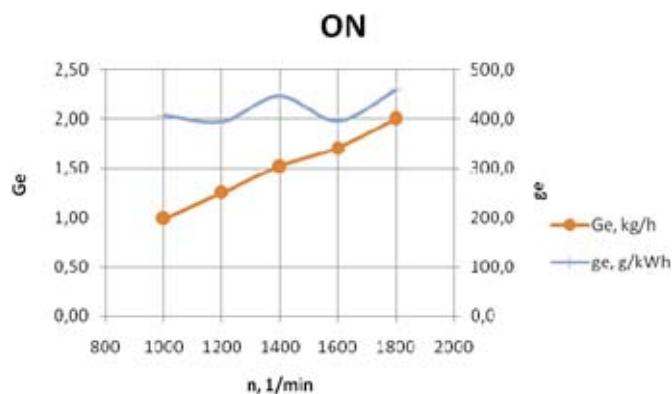


Rys. 1. Przebiegi mocy (N_e), momentu obrotowego (M_o) i średniego ciśnienia użytecznego (p_e) dla charakterystyki zewnętrznej silnika zasilanego olejem napędowym (ON)

Fig. 1. Engine power (N_e), torque moment (M_o) and mean effective pressure (p_e) for diesel fuel (ON) fuelled engine in function of engine speed (n)

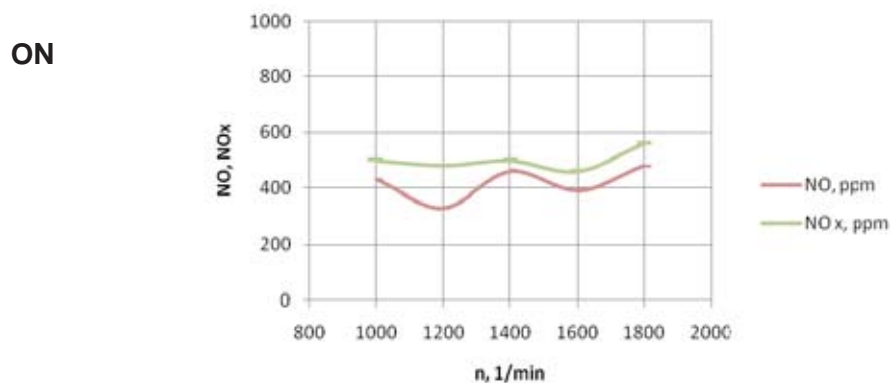
Ze względu na fakt wielkości i nieokreślonego przeznaczenia użytego silnika badawczego, do analizy wykorzystano zmodyfikowany cykl badawczy typu B „uniwersalny” [17]. Zasady modyfikacji i wyznaczania emisji jednostkowych przedstawiono w [9].

Efekty zasilania silnika paliwem handlowym i paliwami emulsyjnymi o zawartości 10%, 20% i 30% wody przeliczono na tzw. emisje jednostkowe dla tlenku azotu (NO), tlenków azotu (NO_x), tlenku węgla (CO) oraz dymienia silnika (S). Dla oceny wpływu wody na sygnalizowane wskaźniki, w tabeli 1 przedstawiono wartości względne (odniesione do emisji jednostkowych dla ON) emisji jednostkowych dla emulsyjnych paliw badawczych.



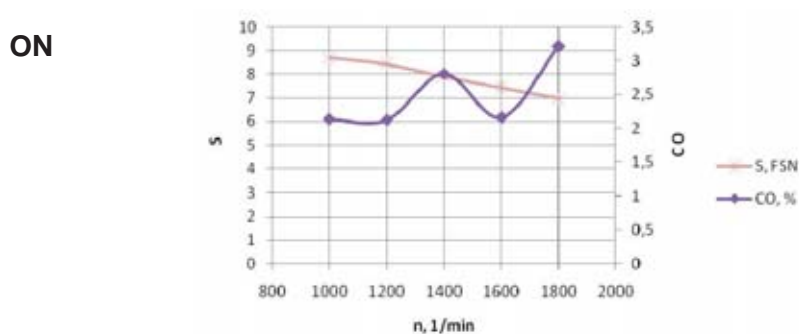
Rys. 2. Przebiegi godzinowego (G_e) i jednostkowego (g_e) zużycia paliwa dla charakterystyki zewnętrznej silnika zasilanego olejem napędowym (ON)

Fig. 2. Fuel consumption (G_e) and specific fuel consumption (g_e) for diesel fuel (ON) fuelled engine in function of engine speed (n)



Rys. 3. Przebiegi stężenia tlenku azotu (NO) i tlenków azotu (NO_x) dla charakterystyki zewnętrznej silnika zasilanego olejem napędowym (ON)

Fig. 3. The NO and NO_x concentration in exhaust gases for diesel fuel (ON) fuelled engine in function of engine speed (n)



Rys. 4. Przebiegi stężenia tlenku węgla (CO) i dymienia silnika (S) dla charakterystyki zewnętrznej silnika zasilanego olejem napędowym (ON)

Fig. 4. The concentration of CO and Filter Smoke Number (S) in exhaust gases for diesel fuel (ON) fuelled engine in function of engine speed (n)

Uprawnioną, bo znormalizowaną procedurą analizy porównawczej wyników badań są cykle badawcze, pozwalające wyznaczyć tzw. emisję jednostkową wybranego składnika spalin [15, 16].

Tab. 1. Wartości względne emisji jednostkowych dla paliw badawczych, odniesione do emisji jednostkowych dla ON
Tab. 1. NO, NO_x, CO and Smoke specific emissions for investigated emulsion fuel

wskaźnik paliwo	NO/NO(ON)	NO _x /NO _x (ON)	CO/CO(ON)	S/S(ON)
10% H ₂ O	0,79	0,91	0,28	0,75
20% H ₂ O	0,61	0,67	0,20	0,53
30% H ₂ O	0,65	0,78	0,26	0,51

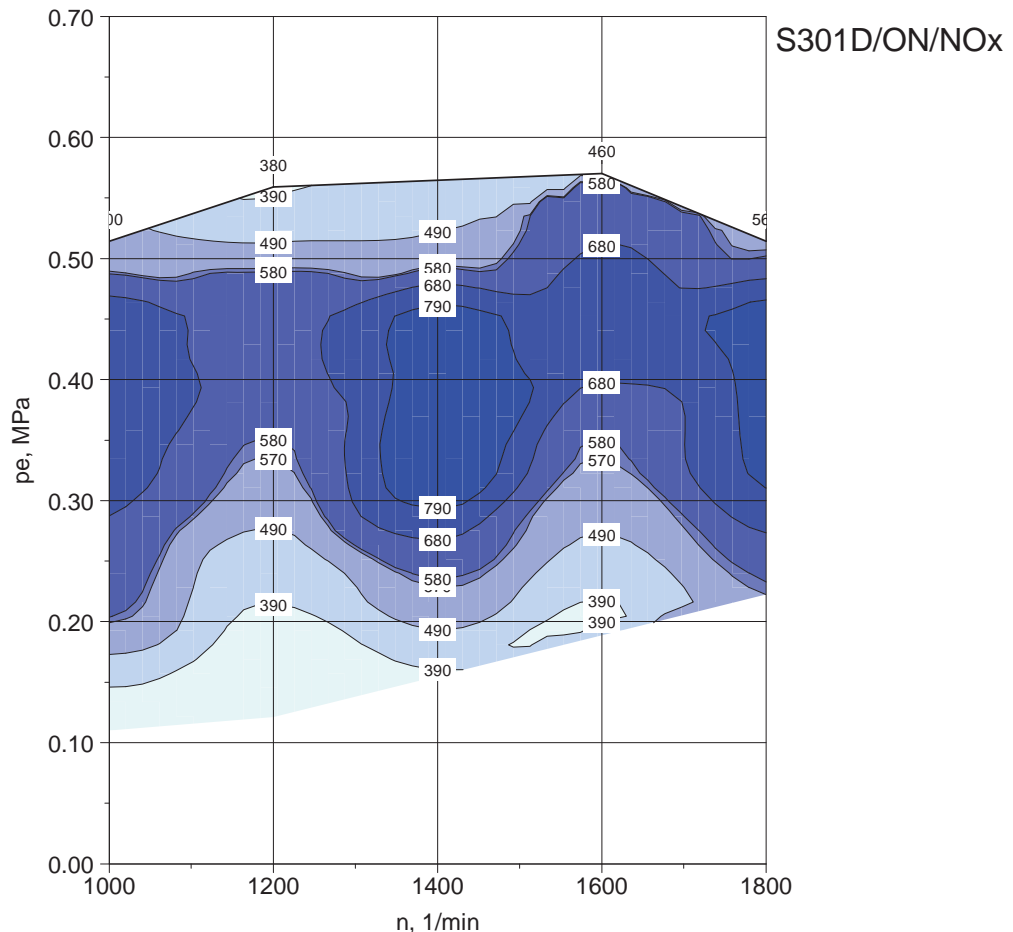
Z analizy danych w Tab. 1 widać, że użycie paliwa emulsyjnego obniża emisje obserwowanych wskaźników w stosunku do sytuacji zasilania silnika handlowym olejem napędowym. W przypadku tlenków azotu i tlenku węgla występuje maksimum zmian dla paliwa badawczego zawierającego 20% wody – w przypadku dymienia silnika maksymalny efekt odpowiada maksymalnemu udziałowi wody w paliwie.

5. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań i analizy ich wyników można postawić następujące wnioski:

1. Użycie paliwa emulsyjnego obniża emisję tlenków azotu (NO_x), tlenku węgla (CO) i dymienie silnika (S) w stosunku do zasilania olejem napędowym.

2. W obszarze tlenku azotu (NO) użycie paliwa zawierającego 20% H₂O spowodowało obniżenie emisji NO do poziomu 61% w stosunku do zasilania olejem napędowym.
3. W obszarze tlenków azotu (NO_x) użycie paliwa zawierającego 20% H₂O obniżyło emisję NO_x do poziomu 67% w stosunku do zasilania olejem napędowym.
4. W obszarze tlenku węgla (CO) użycie paliwa zawierającego 20% H₂O obniża emisję do poziomu 20% w stosunku do zasilania silnika olejem napędowym.



Rys. 5. Charakterystyka ogólna stężenia tlenków azotu (NO_x, ppm) dla silnika zasilanego olejem napędowym (ON)
Fig. 5. The NO_x concentration in exhaust gases for diesel fuel (ON) fuelled engine in function of engine speed (n) and mean effective pressure (pe)

5. W obszarze dymienia silnika największy efekt powoduje użycie paliwa zawierającego 30% H₂O, obniżając emisję do poziomu 51% w stosunku do zasilania silnika olejem napędowym.
6. Użycie paliw emulsyjnych, z oczywistych powodów powoduje obniżenia wartości opałowej paliwa a przez to, ekstremalnych parametrów pracy silnika.

Literatura

- [1] Bemert, L., Strey, R., *Diesel-Mikroemulsionen als alternativer Kraftstoff*, 5, FAD Konferenz Herausforderung – Abgasnachbehandlung fuer Dieselmotoren, Dresden 2007.
- [2] Born, C., Peters, N., *Reduzierung der Russmissionen am DI-Dieselmotor durch zusaetzliche Einspritzung von Wasserstoffperoxid*, MTZ 59, 6, 1998.
- [3] Chłopek, Z., Danilczyk, W., Kruczyński, S., *Ocena możliwości zmniejszenia emisji tlenków azotu przez dodatek wody do układu zasilania silnika o zapłonie samoczynnym*, Zeszyty Instytutu Pojazdów 3, Warszawa 1994.
- [4] Heider, G., *Rechenmodell zur Vorausrechnung der NO-Emission von Dieselmotoren*,

- Disertation der TU Muenchen 1996.
- [5] Huen, W., *Russbildung bei der dieselmotorischen Verbrennung und Moeglichkeiten ihrer Verminderung*, MTZ 3, 1970.
- [6] Jakubowski, J., *Silniki samochodowe zasilane paliwami zastępczymi*. Warszawa, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności 1987.
- [7] Kolanek, C., Kułażyński, M., Kempieńska, M., *Examination of the effects of water presece in Fuel on toxicity indices of a cxompression-ignitonengine*, Journal of KONES, European Science Society of Powertrain and Transport Publication, Warsaw 2007.
- [8] Kolanek, C., *Ograniczenie emisji NO_x z silników o zapłonie samoczynnym przez wprowadzenie wody do procesu spalania*, Ochrona środowiska, Wyd. Oddziału Dolnośląskiego PZTIS, 1(64), 1997.
- [9] Kolanek, C., *Emulsyjne paliwo dla silnika o zapłonie samoczynnym, oparte na nadtlenu wodoru*, Politechnika Wrocławska, Raport S/104/2007 z realizacji projektu badawczego PB 4T12D03129.
- [10] Kolanek, C., Sroka, Z. J., Walkowiak, W. W., *Exhaust gas toxicity problems in ship drives*, Polish Maritime Research 2007.
- [11] Kruczyński, S., Danilczyk, W., Chłopek, Z., *Ultradźwiękowe rozpylanie cieczy w silnikach spalinowych*, Zeszyty Instytutu Pojazdów 4(26), 1997.
- [12] Kruczyński, S. W., *Wybrane metody ograniczania emisji tlenków azotu w silnikach o zapłonie samoczynnym*, Studia i rozprawy SIMR, Warszawa-Radom 2002.
- [13] Piaseczny, L., Zadrag, R., *Wpływ zasilania emulsją paliwowo-wodną na dymienie okrętowego silnika spalinowego*, Journal of KONES Internal Combustion Engines, Vol. 10, 3-4, 2003.
- [14] Piaseczny, L., Zadrag, R., *Badania wpływu dostarczania wody do cylindra na wskaźniki procesu spalania i toksyczności silnika ZS*, Silniki spalinowe, Nr 3, 122, 2005.
- [15] PN-EN ISO 8178-1: *Silniki spalinowe tłokowe - Pomiar emisji spalin - Pomiar emisji składników gazowych i cząstek stałych na stanowisku badawczym*, 1999.
- [16] PN-EN ISO 8178-2: *Silniki spalinowe tłokowe - Pomiar emisji spalin - Pomiar emisji składników gazowych i cząstek stałych w miejscu zainstalowania*, 1999.
- [17] PN-EN ISO 8178-4: *Silniki spalinowe tłokowe - Pomiar emisji spalin - Cykle badawcze silników o różnym zastosowaniu*, 1999.
- [18] Pucher, H., Netzel, H. O., *NO_x-Senkung bei Gasmotoren durch Saugrohr-Wassereinspritzung*, MTZ 45, Nr. 1, 1984.
- [19] Rauscher, M., Remmels, W., Schoenfeld, D., *Einfluss der geschichteten Einspritzung auf die Stickoxidemission*, MTZ 57, Nr. 2, 1996.
- [20] Riom, E., Larson, L. O., Hagstroem, U., *Verminderung des NO_x-Ausstosses von Dieselmotoren mit dem Humid Air Motor-Prinzip*, MTZ 63, Nr. 5, 2002.
- [21] Sowa, K., *Wprowadzenie do badań zasilania silników Diesla emulsją paliwowo-wodną*, Journal of KONES Internal Combustion Engines, Vol. 12, 3-4, 2005.
- [22] Takasaki, K., *Verbesserung der Verbrennung im Dieselmotor durch geschitete Wassereinspritzung*, MTZ 59, Nr. 4, 1998.
- [23] Tschalamoff, T., Lass, U., Janicke, D., *Direkte Wassereinspritzung im mittelschnelllaufenden Gasmotor*, MTZ 68, Nr. 11, 2007.
- [24] Ustawa z dnia 25 sierpnia 2006 r. *O biokomponentach i biopaliwach ciekłych*.
- [25] Velji, A., Eichel, E., Remmels, W., Haug, F., *Dieselmotoren erfuellen mit Wassereinspritzung zukuenftige NO_x – und Russgrenzwerte*, MTZ 57, Nr. 7/8, 1996.
- [26] Wachter, W., *Untersuchungen zum Emissions-verhalten von Nutzfahrzeug-Diselmotoren*, Fortschritt-Berichte VDI Reihe 12, Nr. 266.
- [27] Zabłocki, M., *Wtrysk i spalanie paliwa w silnikach wysokoprężnych*, WKŁ, Warszawa 1976.