

Piotr Ignaciuk\*, Leszek Gil\*\*, Stefan Liścak\*\*\*

## PORÓWNANIE EMISJI ZWIĄZKÓW TOKSYCZNYCH SILNIKA ZS ZASILANEGO OLEJEM NAPĘDOWYM I BIOPALIWAMI OPARTYMI NA ESTRACH OLEJU LNIANKI I ESTRACH OLEJU RZEPAKOWEGO

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono wyniki badań emisji wybranych związków toksycznych silnika 4CT90 zasilanego klasycznym olejem napędowym i estrami oleju lnianki oraz biopaliwem B100. Badania przeprowadzono w oparciu o wymagania testów ETC, ESC oraz NRTC.

**Słowa kluczowe:** silnik spalinowy, biopaliwa, emisja związków toksycznych, testy emisji

### Wstęp

Ograniczenia emisji dwutlenku węgla zawierającego węgiel kopalny wymuszają zwiększanie udziału biokomponentów w paliwach. Biopaliwa lub biododatki do paliw silnikowych mają w 2014 roku stanowić 7,55% całego rynku paliwowego. Wynika z tego, że najważniejszym efektem stosowania biododatków paliwach ma być obniżenie globalnej emisji dwutlenku węgla – jako gazu cieplarnianego. W przypadku biopaliw całość spalanego węgla pochodzi z fotosyntezy i wpisuje się w naturalny obieg tego pierwiastka w przyrodzie. Oczywiście osobną kwestią jest miara wpływu emisji CO<sub>2</sub> przez silniki spalinowe na tzw. efekt cieplarniany. W artykule przedstawiono wyniki stanowiskowych badań emisji wybranych związków toksycznych silnika 4CT90 zasilanego olejem napędowym, handlowymi estrami oleju rzepakowego (B100) oraz estrami metylowymi oleju lnianki siewnej (EL). Estry oleju lnianki – jako paliwo nie zawierały żadnych dodatków uszlachetniających i zostały wytworzone specjalnie na potrzeby badań. Porównując emisję związków toksycznych przez silnik zasilany tymi paliwami należy pamiętać, że obniżenie wartości emisji tlenu węgla i węglowodorów podczas zasilania estrami olejów roślinnych wynika głównie z zawartości tlenu związanego chemicznie w cząsteczkach estrów, który ułatwia proces spalania.

### 1. Procedura badawcza

Pomiary emisji związków toksycznych przeprowadzono w oparciu o standardowe procedury tzw. testy emisji ETC (Emission Test Cycles) oraz ESC (European Stationary Cycle)

\* Katedra Silników Spalinowych i Transportu Politechniki Lubelskiej, p.ignaciuk@pollub.pl

\*\* Wydział Transportu i Informatyki, Wyższa Szkoła Ekonomii i Innowacji w Lublinie

\*\*\* Katedra Cestnej a Mestkej Dopravy, Zilinska Univerzita v Ziline

wykorzystywane do certyfikacji emisji związków toksycznych przez silniki Diesla. Warunki pracy silnika w teście ETC odzwierciedlają jazdę różnych warunkach tj. w warunkach miejskich, pozamiejskich oraz po autostradzie. Z kolei w teście ESC silnik pracuje z trzema różnymi wartościami prędkości obrotowej przy różnych obciążeniach. Testy ETC zostały wprowadzone wraz z ESC, do certyfikacji emisji ciężkich silników Diesla w Europie od roku 2000 [3, 4]. Testami ESC i ETC zastąpiono wcześniej stosowane badania określane jako R-49.

Test ETC odzwierciedla rzeczywiste warunki ruchu drogowego pojazdów ciężarowych, uwzględniając jazdę w miastach, w terenach pozamiejskich i jazdę autostradą.

Czas trwania całego testu to 1800 s. Czas trwania każdej części wynosił 600 s.

- część pierwsza przedstawia jazdę po mieście z maksymalną prędkością 50 kilometrów na godzinę, która charakteryzuje się częstymi zatrzymaniami pojazdu i dużym udziałem pracy silnika na biegu jałowym,
- część druga to jazda w warunkach pozamiejskich z częstymi przyśpieszeniami, średnia prędkość jazdy wynosi około 72 kilometrów na godzinę,
- część trzecia jazda autostradą, ze średnią prędkością około 88 km/h [4].

W teście ESC prędkości obrotowe silnika, są określone w następujący sposób:

- wysoka prędkość  $n_{hi}$  jest określona przez obliczenie 70% deklarowanej maksymalnej mocy netto. Najwyższa prędkość silnika przy tej wartości rozwijanej mocy występuje na krzywej mocy określanej jako  $n_{hi}$ ,
- $n_{lo}$  niskiej prędkości określa się przez obliczenie 50% deklarowanej maksymalnej mocy netto. Najniższą prędkość obrotową silnika, gdzie występuje ta wartość mocy na krzywej mocy określa się jako  $n_{lo}$ ,
- prędkości silnika A, B i C, które mają być używane podczas badań są następnie obliczane ze wzorów:

$$A = n_{lo} + 0,25 (n_{hi} - n_{lo}) \quad (1)$$

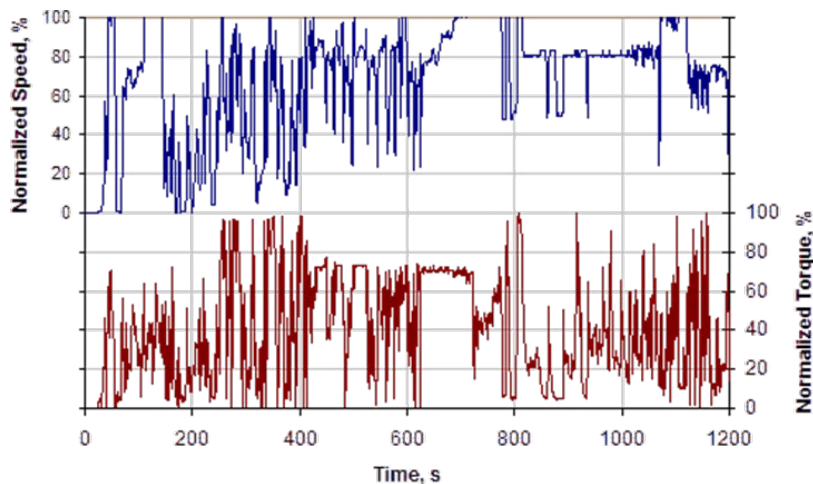
$$B = n_{lo} + 0,50 (n_{hi} - n_{lo}) \quad (2)$$

$$C = n_{lo} + 0,75 (n_{hi} - n_{lo}) \quad (3)$$

**Tabela 1.** Tryby pracy silnika według testu ESC [3]

Tryby testu ESC				
Tryb	Prędkość obrotowa silnika	% obciążenia	Czynnik wagi, %	Czas trwania
1.	Biegu jałowego	0	15	4 minuty
2.	A	100	8	2 minuty
3.	B	50	10	2 minuty
4.	B	75	10	2 minuty
5.	A	50	5	2 minuty
6.	A	75	5	2 minuty
7.	A	25	5	2 minuty
8.	B	100	9	2 minuty
9.	B	25	10	2 minuty
10.	C	100	8	2 minuty
11.	C	25	5	2 minuty
12.	C	75	5	2 minuty
13.	C	50	5	2 minuty

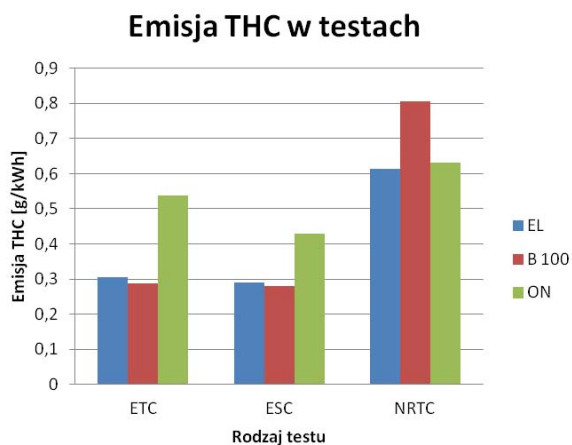
Test NRTC odzwierciedla dynamiczny cykl pracy silników wysokoprężnych. Cykl prowadzony na hamowni silnikowej przeprowadza się według harmonogramu o łącznej długości czasu 1200 sekund. Prędkość i moment obrotowy podczas testu NRTC są przedstawione w na rysunku 1.



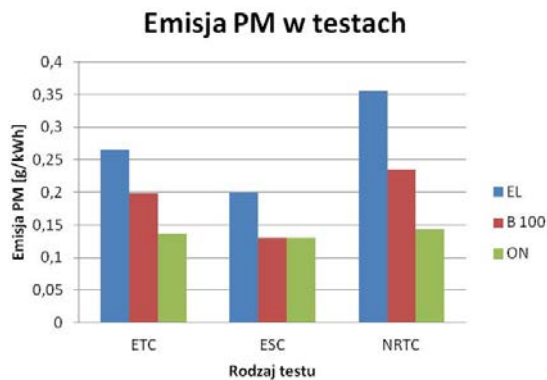
Rys. 1. Znormalizowana prędkość (normalized speed) i moment obrotowy (normalized torque) podczas testu NRTC w czasie 1200 s [5]

## 2. Wyniki badań

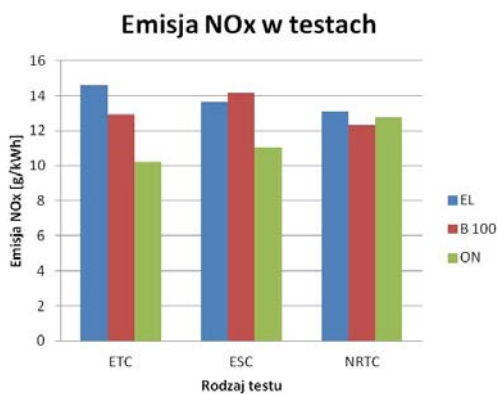
Na rysunkach 2 – 6 przedstawiono wyniki badań emisji wykonane według testów ETC (Emission Test Cycles), ESC (European Stationary Cycle) i NRTC (Nonroad Transient Cycle).



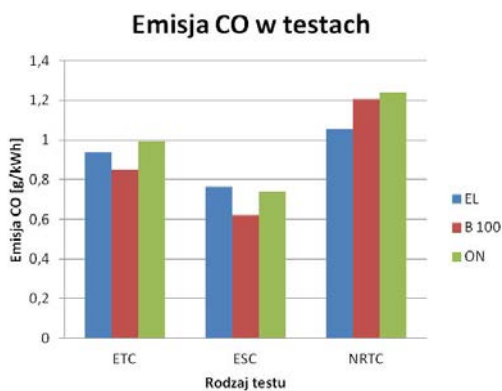
Rys. 2. Porównanie emisji węglowodorów w testach ETC, ESC i NRTC przy zasilaniu silnika EL, B 100 i ON



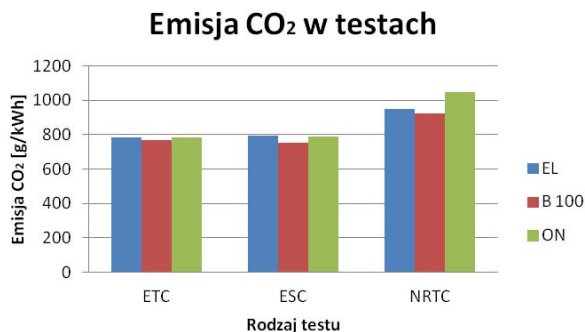
Rys. 3. Porównanie emisji cząstek stałych w testach ETC, ESC i NRTC przy zasilaniu silnika EL, B 100 i ON



Rys. 4. Porównanie emisji tlenków azotu w testach ETC, ESC i NRTC przy zasilaniu silnika EL, B 100 i ON



Rys. 5. Porównanie emisji tlenku węgla w testach ETC, ESC i NRTC przy zasilaniu silnika EL, B 100 i ON



**Rys. 6.** Porównanie emisji dwutlenku węgla w testach ETC, ESC i NRTC przy zasilaniu silnika EL, B 100 i ON

Dokonując porównania emisji wybranych związków toksycznych w spalinach według testów ETC, ESC i NRTC można dostrzec istotne różnice w zależności od metody prowadzenia badań. Najważniejszym czynnikiem decydującym o emisji wybranych związków jest rodzaj paliwa, którym zasilano silnik podczas badań.

Testy ETC i ESC w porównaniu z testem NRTC mają bardziej zbliżone wyniki i pokazują, że największa emisja węglowodorów powstaje podczas spalania ON a najmniejsza przy biopaliwach (rys. 2). Natomiast z testu NRTC, przeprowadzanego w innych warunkach, opisanych powyżej wynika, iż najwyższa emisja węglowodorów powstaje podczas spalania B 100, a najniższa przy EL. We wszystkich trzech testach wyniki emisji cząstek stałych dla badanych paliw są zbliżone. Najmniej cząstek stałych dostaje się do środowiska przy spalaniu ON, najwięcej przy zasilaniu silnika EL. Według testów ETC i NRTC najwięcej tlenków azotu jest emitowanych podczas pracy silnika zasilanego EL. W teście ESC największa emisja powstaje przy zastosowaniu B 100, natomiast przy EL jest na nieco niższym poziomie. Przeprowadzone testy dotyczące emisji NO<sub>x</sub> wykazały, że najbardziej przyjazne środowisku jest zasilanie silnika ON. Najniższą emisję tlenku węgla zaobserwowano podczas zasilania silnika B 100, nieznacznie wyższa jest przy zastosowaniu EL. Najmniej korzystnym do zasilania silników, pod względem emisji tlenku węgla jest ON. Wszystkie prowadzone testy pokazały zbliżoną ilość emisji CO<sub>2</sub> we wszystkich badanych paliwach.

Testy badawcze ETC, ESC i NRTC, dotyczące emisji gazów spalinowych przy zasilaniu silnika EL, B 100 i ON dowodzą, że zasilanie wszystkimi wymienionymi paliwami powoduje powstawanie zbliżonej ilości poszczególnych składników spalin.

### 3. Wnioski

Badania emisji związków toksycznych w spalinach przeprowadzone według testów: ESC, ETC i NRTC pozwalają stwierdzić, że:

- emisja węglowodorów dla wszystkich badanych paliw jest na zbliżonym poziomie,
- emisja cząstek stałych jest największa dla estrów lnianki,

- emisja tlenków azotu przy estrami lnianki jest zasilaniu największa w teście ETC i NRTC, natomiast w teście ESC jest nieco mniejsza niż przy zasilaniu paliwem rzepakowym B100,
- we wszystkich testach emisja tlenków azotu jest większa przy zasilaniu silnika biopaliwami, niż w przypadku zasilania silnika olejem napędowym,
- emisja tlenku węgla jest najmniejsza dla estrów lnianki w teście NRTC, w pozostałych testach porównywalna do innych badanych paliw.

## Literatura

1. Gil L.: Badania zużycia tribologicznego elementów układu wtryskowego silnika o zapłonie samoczynnym zasilanego olejami roślinnymi. Rozprawa doktorska . Lublin 2010.
2. Dyrektywa 1999/96/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 13 grudnia 1999 r. w sprawie zbliżenia ustawodawstwa Państw Członkowskich odnoszących się do działań, jakie mają zostać podjęte przeciwko emisji zanieczyszczeń gazowych i pyłowych przez silniki wysokoprężne stosowane w pojazdach oraz emisji zanieczyszczeń gazowych z silników z wymuszonym zapłonem napędzanych gazem ziemnym lub gazem płynnym stosowanych w pojazdach oraz zmieniająca dyrektywę Rady 88/77/EWG.
3. [www.dieselnet.com/standards/cycles/esc.html](http://www.dieselnet.com/standards/cycles/esc.html), 20. 04.2010.
4. [www.dieselnet.com/standards/cycles/etc.html](http://www.dieselnet.com/standards/cycles/etc.html), 20. 04.2010.
5. [www.dieselnet.com/standards/cycles/nrtc.htm](http://www.dieselnet.com/standards/cycles/nrtc.htm), 20. 04.2010.

### COMPARISON OF EXHAUST TOXIC EMISSIONS FROM DIESEL ENGINE FUELED WITH DIESEL FUEL AND BIOFUELS BASED ON RAPE-SEED AND CAMELIE-SEED METYL ESTERS

**Summary.** The paper presents exhaust emissions of some toxic compounds measured on the 4CT90 engine fueled with classical diesel fuel and methyl esters of cameline-seed oil and biofuel B100. Research was done using procedures corresponding to test ETC, ESC and NRTC.

**Key words:** diesel engine, biofuels, toxic exhaust emissions, emission tests