# UDZIAŁ ESTRU OLEJU RZEPAKOWEGO W MIESZANCE PALIWOWEJ Z OLEJEM NAPĘDOWYM A POZIOM EMISJI TLENKÓW AZOTU

## Jacek Wawrzosek\*, Wiesław Piekarski\*\*

## \*Katedra Zastosowań Matematyki \*\*Katedra Pojazdów i Silników, Akademia Rolnicza w Lublinie

**Streszczenie.** W modelu analizy kowariancji poziomu emisji tlenków azotu NO<sub>x</sub> w spalinach silników S-4002, zasilanych mieszankami paliwowymi mineralnego oleju napędowego ON z dodatkiem estru oleju rzepakowego RME, jako zmienną niezależną (grupującą) obrano udział procentowy RME w paliwie. Za zmienną towarzyszącą obrano moc efektywną  $N_e$ . Badano wzajemne położenie odpowiednich krzywych, opisujących zmienną zależną – poziom NO<sub>x</sub>. Dodanie estru oleju rzepakowego RME przy prędkości obrotowej 1600 min<sup>-1</sup> powoduje wzrost poziom emisji tlenków azotu zależny od mocy efektywnej  $N_e$ . Emisja wzrasta wraz ze wzrostem mocy silnika.

Slowa kluczowe: biopaliwo, estry oleju rzepakowego, tlenki azotu, spaliny silnika, analiza kowariancji

### WSTĘP

Nieustający wzrost emisji spalin powoduje degradację środowiska przyrodniczego. Najwięcej szkód wywołują związki toksyczne zawarte w emitowanych spalinach obecnie użytkowanych pojazdów. Do toksycznych składników spalin zanieczyszczających środowisko zalicza się między innymi tlenki azotu NO<sub>x</sub>.

Problem badawczy wynika między innymi z szeregu ograniczeń norm europejskich. Szacuje się, że w spalinach pojazdów samochodowych, ciągników, maszyn rolniczych, kolei i żeglugi emitowanych jest do środowiska przyrodniczego około 290 tys. ton tlenków azotu. Chociaż stanowią nieco mniej niż 2% ogólnej masy spalin emitowanej przez pojazdy, to powodują kwaśne deszcze, działające niszcząco na florę i faunę, są przyczyną wielu chorób układu oddechowego, znacznie przyspieszają korozję konstrukcji metalowych (np. elementów budynków, samochodów) oraz zabytków (np. brak odporności wielu gatunków kamieni budowlanych na kwaśne deszcze). Tabela 1. Emisja w tys. ton składników spalin zanieczyszczających środowisko przyrodnicze Table 1. Components of fumes (in thousands of tons) who are polluting the nature environment

Substancja zanieczyszczająca	CO	$CO_2$	СН	NO <sub>x</sub>	Pb	$SO_3$
Emisja w tys. ton	1 040	13 350	270	290	1,2	54

Najskuteczniejszą metodą zmniejszania emisji szkodliwych składników spalin wydzielanych przez pojazdy jest ograniczanie ich powstawania przez właściwy dobór paliwa (spalane są głównie kopaliny). Stąd dużą nadzieję wiąże się z wykorzystaniem paliw niekonwencjonalnych, tzn. biopaliw do zasilania silników. Sprzyja temu nowa polityka rolna państw europejskich, zmierzająca do zagospodarowania nieprzeznaczonych i niewykorzystywanych do konsumpcji nadwyżek produkcyjnych tłuszczów roślinnych jako biokomponentów do paliw konwencjonalnych.

#### CEL I ZAKRES PRACY

Celem pracy jest statystyczne porównanie poziomu sumarycznej ilości tlenków azotu  $NO_x$  w emitowanych spalinach wydzielanych przez silnik S-4002 zasilany mieszankami paliwowymi składającymi się z mineralnego oleju napędowego ON i estru oleju rzepakowego RME, zestawionych w sześciu różnych proporcjach.

Badania parametrów energetycznych i ekologicznych dotyczących wskaźników pracy i składników spalin silnika S-4002 zasilanego RME i jego mieszaninami z olejem napędowym ON przeprowadzono w Katedrze Pojazdów i Silników Akademii Rolniczej w Lublinie. Badania przeprowadzono na charakterystyce obciążeniowej przy prędkościach momentu maksymalnego  $Mo_{max} = 1600 \text{ min}^{-1}$ . (Mocy maksymalnej  $N_{e max} = 2000 \text{ min}^{-1}$  dotyczy oddzielna praca autorów.)

W niniejszych badaniach wykorzystano sześć rodzajów mieszanin RME i ON, zawierających odpowiednio: 0, 20, 40, 60, 80 i 100% RME, zaś pomiary wykonywano dla dziesięciu poziomów obciążeń silnika (2-25 kW).

Do opracowania statystycznego zebranych wyników pomiarów posłużono się analizą kowariancji [Wawrzosek 2004]. Niezbędnych obliczeń dokonano z wykorzystaniem programu *EXCEL*.

## ZASTOSOWANIE MODELI ANALIZY KOWARIANCJI W KLASYFIKACJI POJEDYNCZEJ

Zauważmy, że poziom emisji tlenków azotu zależy od dwu zmiennych: rozwijanej mocy  $N_e$  (kW) oraz procentowego udziału RME w mieszance RME i ON. Tę statystyczną zależność NO<sub>x</sub> (ppm) od  $N_e$  oraz udział RME w mieszance przedstawiają na rysunku 1 punkty uzyskane z 60 pomiarów przy prędkości 1600 min<sup>-1</sup>. RME w legendzie rysunków oznacza zmienną określającą procentowy udział estru oleju rzepakowego w paliwie.



Rys 1. Zależność poziomu emisji NO<sub>x</sub> (ppm) od rozwijanej mocy przy 1600 min<sup>-1</sup> Fig 1. Dependency of NO<sub>x</sub> emission level (ppm) on the power at 1600 rpm

Z analizy wykresu 1 wynika, że występuje wyraźna zależność między poziomem sumarycznej ilości niespalonych tlenków azotu NO<sub>x</sub> w emitowanych spalinach a mocą efektywną  $N_{\rm e}$ , dlatego też znaczna część zmienności NO<sub>x</sub> jest wyjaśniona przez zmienną  $N_{\rm e}$ . Z tego względu wykorzystano analizę kowariancji dla zbadania statystycznego wpływu zawartości estru RME w paliwie na poziom tlenków azotu. W modelu tym zmienną niezależną (grupującą) jest udział procentowy RME w paliwie, zmienną zależną – poziom tlenków azotu, zaś zmienną towarzyszącą moc efektywna  $N_{\rm e}$  [Milliken i Johnson 2002]. Ta analiza pozwala usunąć znane źródło zmienności ( $N_{\rm e}$ ) tak, aby uwidocznić wpływ czynnika RME na zmienną zależną NO<sub>x</sub>.

Wstępna analiza statystyczna wykazała, że w analizie kowariancji dla prędkości 1600 min<sup>-1</sup> (czyli gdy k = 1) należy uwzględnić zmienną towarzyszącą  $N_{e kij}$  wraz z jej kwadratem  $N_{e kij}^2$  i sześcianem  $N_{e kij}^3$ .

Przyjmujemy, że *i* = 1 dla 0% zawartości RME, *i* = 2 dla 20% zawartości RME,..., *i* = 6 dla 100% zawartości RME. Dla *k* = 1,2 oraz w każdej *i*-tej grupie (*i* = 1,2,...,6) dokonano 10 pomiarów dla różnych poziomów mocy efektywnej  $N_{e \text{ kij}}$ , co oznacza, że mamy *j* = 1,2,...,10.

Dla lepszej orientacji podajemy sposób indeksowania zastosowany w poniższych modelach:

$$NO_{x_{i,j}}^{s,k} = NO_{x,nr\%RME,nr}^{nrModelu,nr} Pr edkości$$

Stąd, gdy k = 1, czyli dla prędkości 1600 obr/min, w modelu analizy kowariancji w klasyfikacji pojedynczej rozważanym *w pierwszym kroku (s = 1)*:

$$NO_{xij}^{11} = \alpha_i^{11} + \beta_{i1}^{11}N_{e1ij} + \beta_{i2}^{11}N_{e1ij}^2 + \beta_{i3}^{11}N_{e1ij}^3 + e_{ij}^{11}$$
(1)

dla *i*-tej grupy (*i* = 1,2,..,6), gdzie oprócz indywidualnego  $\alpha_i^{11}$ -efektu obiektowego występuje też indywidualna regresja postaci:

$$\beta_{i1}^{11}N_{e1j} + \beta_{i2}^{11}N_{e1j}^2 + \beta_{i3}^{11}N_{e1ij}^3.$$
<sup>(2)</sup>

Stawiamy hipotezę zerową, że współczynniki regresyjne  $\beta_{i1}^{11}, \beta_{i2}^{11}, \beta_{i3}^{11}$ są wspólne dla wszystkich 6 grup (wartości RME), tj.:

$$H_0^{1}: \beta_{11}^{11} = \dots = \beta_{61}^{11}, \ \beta_{12}^{11} = \dots = \beta_{62}^{11} \ i \ \beta_{13}^{11} = \dots = \beta_{63}^{11}$$
(3)

Hipotezę  $H_0^{1}$  o braku interakcji  $N_e \cdot RME$ , oznaczającą równoległość sześciu linii regresji (1) przecinających oś rzędnych w punktach  $\alpha_i^{11}$  odrzucono na podstawie danych z tabeli 2.

Tabela 2 Wyniki testowania równoległości 6 linii regresji przy prędkości obrotowej 1600 min<sup>-1</sup> Table 2. Results of tests on parallelism of the 6 regression lines at the rotational speed 1600 rpm

	Sumy kwadratów	Stopnie swobody	Średnie kwadraty	F	р
Interakcje $N_e \cdot RME$	73836,8252	15	4922,455	3,0467	0,0031
Błąd	58164,4039	36	1615,678		

Dalej stawiamy hipotezę zerową, że współczynniki regresyjne  $\beta_{i1}^{11}, \beta_{i2}^{11}, \beta_{i3}^{11}$ są wspólne tylko dla 5 grup, z wyjątkiem *i* = 1 (wartości RME 0%), tj.:

$$H_0^{2}: \beta_{21}^{11} = \dots = \beta_{61}^{11}, \ \beta_{22}^{11} = \dots = \beta_{62}^{11} \ i \ \beta_{23}^{11} = \dots = \beta_{63}^{11}$$
(4)

Zgodnie z danymi z tabeli 3 hipoteza  $H_0^2$  nie została odrzucona, co pozwala uznać równoległość pięciu linii regresji (1) przecinających oś rzędnych w punktach  $\alpha_i^{11}$ .

Tabela 3 Wyniki testowania równoległości 5 linii regresji przy prędkości obrotowej 1600 min<sup>-1</sup> Table 3. Results of tests on parallelism of the 5 regression lines at the rotational speed 1600 rpm

	Sumy kwadratów	Stopnie swobody	Średnie kwadraty	F	р
Interakcje N <sub>e</sub> •RME	15722,945	12	1310,245	0,8110	0,6377
Błąd	58164,404	36	1615,678		

Zatem dla prędkości 1600 min<sup>-1</sup> (czyli gdy k = 1) *w drugim kroku (s = 2)* rozważamy model:

$$NO_{xij}^{21} = \alpha_i^{21} + \beta_{u1}^{21} N_{e1ij} + \beta_{u2}^{21} N_{e1ij}^2 + \beta_{u3}^{21} N_{e1ij}^3 + e_{ij}^{21}$$
$$NO_{xij}^{21} = \alpha_i^{21} + \beta_{u1}^{21} N_{e1ij} + \beta_{u2}^{21} N_{e1ij}^2 + \beta_{u3}^{21} N_{e1ij}^3 + e_{ij}^{21}$$
(5)

gdzie:

u = 1 dla i = 1 oraz u = 2 dla i = 2,3,...,6.

W modelu (5) dla i = 1,2,..,6, oprócz indywidualnego  $\alpha_i^{21}$ -efektu obiektowego i-tej grupy, występuje też dla i = 1 (u = 1) oraz odrębnie dla pięciu grup i = 2,3,...,6 (u = 2) regresja postaci:

$$\beta_{u1}^{21}N_{e1ij} + \beta_{u2}^{21}N_{e1ij}^2 + \beta_{u3}^{21}N_{e1ij}^3 \tag{6}$$

W tabelach 4 i 5 zestawiamy odpowiednie oceny parametrów modelu (5).

Tabela 4. Porównanie oszacowanych parametrów regresji w modelu (5) (dla u = 1 tj. dla i = 1oraz dla u = 2 tj., gdy i = 2,3,...,6)

		5.	05	, , , ,	, ,	
Table 4	. The estimated	parameters	of the	model (	(5) for $u =$	1 and $u=2$

	$\hat{oldsymbol{eta}}^{21}_{u1}$	$\hat{oldsymbol{eta}}^{21}_{u2}$	$\hat{oldsymbol{eta}}^{21}_{u3}$
<i>u</i> = 1	-55,9046	14,7845	-0,3803
<i>u</i> = 2	-61,6245	16,8997	-0,4435

Tabela 5. Estymatory efektów grupowych  $\alpha_i^{21}$  w modelu (5) dla s = 2 i k = 1 Table 5. The estimated parameters of  $\alpha_i^{21}$  from the model (5) for s = 2 and k = 1



Uzyskane wartości estymatorów  $\hat{\alpha}_i^{21}$ -efektów obiektowych oraz weryfikacja kilku hipotez porównujących parami powyższe efekty pozwalają postawić hipotezę o równości tych parametrów w dwóch grupach po trzy i dwa elementy:

$$H_0^{3}: \alpha_2^{21} = \alpha_3^{21} = \alpha_4^{32} \quad \text{i} \quad \alpha_5^{21} = \alpha_6^{21}$$
(7)

	Sumy kwadratów	Stopnie swobody	Średnie kwadraty	F	р
2 grupy	7340,3358	3	2446,779	1,3594	0,2664
Błąd	86396,8238	48	1799,934		

Tabela 6. Wyniki testowania hipotezy  $H_0^3$  przy prędkości obrotowej 1600 min<sup>-1</sup> Table 6. Results of tests on the hypothesis  $H_0^3$  at the rotational speed 1600 rpm

Jak pokazuje tabela 6 hipoteza  $H_0^3$  nie została odrzucona, co pozwala skonstruować kolejny *model trzeci (s = 3)* o trzech elementach:

$$NO_{xij}^{31} = \alpha_r^{31} + \beta_{u1}^{31}N_{e1ij} + \beta_{u2}^{31}N_{e1ij}^2 + \beta_{u3}^{31}N_{e1ij}^3 + e_{ij}^{31}, \qquad (8)$$

gdzie:

dla i = 1 mamy r = 1, u = 1, dla i = 2,3,4 mamy r = 2, u = 2oraz dla i = 6 mamy r = 3, u = 2.

Hipoteza

$$H_0^{4}: \alpha_2^{31} = \alpha_3^{31}$$
 (9)

o równości parametrów grupy r = 2 i r = 3 odrzucono, co pokazuje tabela 7.

Tabela 7. Wyniki testowania hipotezy  $H_0^4$  przy prędkości obrotowej 1600 min<sup>-1</sup> Table 7. Results of tests on the hypothesis  $H_0^4$  at the rotational speed 1600 rpm

	Sumy kwadratów	Stopnie swobody	Średnie kwadraty	F	р
Hipoteza H <sub>0</sub> <sup>4</sup>	25898,39	1	25898,39	14,0907	0,0004
Błąd	93737,1596	51	1837,98		

W tabelach 8 i 9 zestawiamy odpowiednie oceny parametrów modelu (8).

Tabela 8. Porównanie oszacowanych parametrów modelu (8) dla k = 1 i s = 3Table 8. The estimated parameters of the model (8) for k = 1 and s = 3

			I I I I I I I I I I I I I I I I I I I			)	
			$\hat{lpha}_{r}^{_{3l}}$		$\hat{eta}^{31}_{u1}$	$\hat{eta}^{31}_{u2}$	$\hat{eta}^{31}_{u3}$
<i>i</i> = 1	' r	• = 1	309,3801	<i>u</i> = 1	-55,9046	14,7845	-0,3803
<i>i</i> = 2,3,4	, <i>'</i>	· = 2	350,332	<i>u</i> = 2	-61,6225	16,8899	-0,4432
<i>i</i> = 5,	6 r	r = 3	303,8669				

Zwróćmy uwagę, że oszacowania  $\hat{\beta}_{uh}^{31}$  dla u = 1 pozostały jak w modelu (5), dla p = 2 uległy zaledwie nieznacznej korekcie (por. tab. 4). Istotność krzywych regresji (z rysunku 2) w modelu (5) zweryfikowano testem F (por. tab. 9).

Krzywe regresji dla NO



Rys. 2 Krzywe regresji dla  $NO_x$  przy prędkości obrotowej 1600 min<sup>-1</sup>. Fig. 2. Curves of the regression for  $NO_x$  at the rotational speed 1600 rpm

Tabela 9. Test F dla modelu (5) przy prędkości obrotowej 1600 min<sup>-1</sup> Table 9. Test F for the model (5) at the rotational speed 1600 rpm

Składniki	Stopnie swobody	Sumy kwadratów	Średnie kwadraty	F	р
Regresja	9	375967,15	4177415,017	2272,825	0,0000
Resztkowy	51	93737,16	1837,984		
Razem	60	37690472,31			

## OCENA ZMIAN W POZIOMIE EMISJI TLENKÓW AZOTU WYWOŁANYCH ZAWARTOŚCIĄ RME

Wraz z dodaniem RME do paliwa następuje zmiana w poziomie emisji NO<sub>x</sub> w spalinach wydzielanych przez silnik S-4002. Różnicę  $\hat{\alpha}_2^{31} - \hat{\alpha}_3^{31} = 46,4651$  interpretujemy następująco: zastąpienie 20, 40 bądź 60% RME przez co najmniej 80% RME przy 1600 min<sup>-1</sup> daje spadek o około 46,5 jednostek ppm (tj. rzędu około 20%) emisji tlenków azotu. Istotność tej różnicy wykazano w tabeli 7. Dalsze wnioskowanie na temat pozostałych różnic wymaga ostrożności, gdyż kontrasty są między sobą silnie skorelowane.

247

Pozostaje pytanie, czy różnice emisji tlenków azotu między grupami poziomów odpowiadającymi różnym wartościom *u* są istotne statystycznie. Innymi słowy, należy zbadać, zależny od mocy efektywnej  $N_{\rm e}$ , wzrost w emisji tlenków azotu występujący przy prędkości 1600 min<sup>-1</sup> (*k* = 1) przy przejściu pomiędzy paliwem z 0% RME (*i* = 1) a grupą z 20, 40 lub 60% RME (*i* = 2,3,4) oraz przy przejściu pomiędzy paliwem z 0% RME (*i* = 1) a grupą 80% lub 100% RME (*i* = 5,6).

Oszacowane na podstawie modelu (8) różnice

$$NO_{xr}^{31} - NO_{xl}^{31} = \alpha_r^{31} - \alpha_l^{31} + (\beta_{2l}^{31} - \beta_{l1}^{31})N_e + (\beta_{22}^{31} - \beta_{l2}^{31})N_e^2 + (\beta_{23}^{31} - \beta_{l3}^{31})N_e^3$$
(10)

wyznaczają wzrost emisji tlenków azotu wywołany dodaniem RME do paliwa (dla i = 2, 3, 4 mamy r = 2 oraz dla i = 5, 6 mamy r = 3). Wielkość tego wzrostu zależną od  $N_e$  zaprezentowano na rysunku 3.



Rys. 3 Zależny od N<sub>e</sub> wzrost emisji tlenków azotu występujący przy prędkości 1600 min<sup>-1</sup> przy przejściu pomiędzy paliwem z 0% RME na 20, 40 lub 60% RME oraz przy przejściu pomiędzy paliwem z 0% RME na paliwo z 80% lub 100% RME

Fig. 3. Charts of the  $NO_x(N_e)$  difference functions for the change from the fuel with 0% RME to 20%, 40% or 60% RME and from the fuel with 0% RME to 80% or 100% RME at the rotational speed 1600 rpm

By zbadać istotność różnicy (10), należy zweryfikować hipotezy zerowe:

$$H_0^{5r}:[-1,a,b,-N_e,-N_e^2,-N_e^3,N_e,N_e^2,N_e^3]\cdot[\alpha_l^{3l},\alpha_2^{3l},\alpha_3^{3l},\beta_{ll}^{3l},\beta_{l2}^{3l},\beta_{l3}^{3l},\beta_{2l}^{3l},\beta_{22}^{3l},\beta_{23}^{3l}]^{\prime}=0.$$
(11)

Dla i = 2,3,4 mamy r = 2, a = 1, b = 0 oraz dla i = 5,6 mamy r = 3, a = 0, b = 1.

Hipotezy (11) każdorazowo prowadzą do funkcji testowej  $F(N_e)$ . Jeden z takich wykresów wartości  $F(N_e)$  wraz z odpowiadającymi mu p – wartościami dla r = 3 prezentuje rysunek 4. Charakterystyczną rzeczą jest, że na rysunku 4 linia posiąga maksimum w punkcie przecięcia osi odciętych przez grubszą linie {(80, 100%) minus 0%} na rysunku 3. Podobnie na rysunku 4 linia F osiąga maksimum dla  $N_e$  w punkcie maksimum na rysunku 3.

Dla r = 2 wartość  $F(4,61)_{(0,5;1;51)} = 4,0304$  oznacza, że gdy N<sub>e</sub>>4,61, badana różnica (10) w emisji tlenków azotu jest istotną na poziomie istotności 0,05. (Rozważa się przy tym N<sub>e</sub> jedynie w zakresie 2–25 kW). Analogicznie  $F(6,07)_{(0,1;1;51)} = 7,1597$  daje dla 6,07 kW  $\leq N_e \leq 25$  kW istotną różnicę (10) w emisji tlenków azotu na poziomie istotności 0,01. Podobnie dla r = 3 wartość  $F(8,26)_{(0,5;1;51)} = 4,0304$  oznacza, że gdy 8,26 kW  $\leq N_e \leq 25$  kW, badana różnica (10) w poziomie emisji NO<sub>x</sub> jest istotną na poziomie istotności 0,05. Analogicznie  $F(9,30)_{(0,1;1;51)} = 7,1597$  powoduje dla 9,30 kW  $\leq N_e \leq 25$  kW istotną różnicą (10) w emisji NO<sub>x</sub> na poziomie istotności 0,01.



Rys. 4. Rysunek funkcji testowej  $F(N_{e'})$  i odpowiadających mu *p*-wartości przy testowaniu różnicy w emisji tlenków azotu występującej przy przejściu z paliwa z 0% RME na paliwo z 80 lub 100% RME (r = 3) przy prędkości 1600 min<sup>-1</sup>

Fig. 4. Charts of the  $F(N_e)$  function and *p*-values at testing the difference in the emission of nitric oxides at the change from the fuel with 0% RME to the fuel with 80% or 100% RME (r = 3) at the rotational speed 1600 rpm

#### PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Wyprowadzony model (8) z parametrami oszacowanymi w tabeli 8 pozwala stwierdzić, że przy prędkościach momentu maksymalnego  $Mo_{max} = 1600 \text{ min}^{-1}$  zmienność poziomu tlenków azotu NO<sub>x</sub> w spalinach może być w prawie 99,8% wyjaśniona zmiennością mocy  $N_e$  (kW) rozwijanej przez silnik oraz rodzajem mieszanki RME.

Na podstawie analizy wyników badań można sformułować następujące wnioski:

1. Wraz z dodaniem RME do paliwa następuje wzrost poziomu emisji  $NO_x$  w spalinach wydzielanych przez silnik S-4002. Wzrost ten uzależniony jest od poziomu  $N_e$  i opisuje go rysunek 3.

 Zastąpienie 20, 40 bądź 60% RME przez co najmniej 80% RME przy 1600 min<sup>-1</sup> daje spadek o około 46,5 jednostek ppm (tj. rzędu około 20%) emisji tlenków azotu. 3. Największa emisje NO<sub>x</sub> zaobserwowano dla N<sub>e</sub> równego około 24 ppm.

4. Przy prędkości obrotowej 2000 min<sup>-1</sup> (czyli k = 2) wzrost poziomu emisji tlenków azotu NO<sub>x</sub> w spalinach silników S-4002 zasilanych mieszankami paliwowymi mineralnego oleju napędowego ON z dodatkiem estru oleju rzepakowego RME bada oddzielna praca.

### PIŚMIENNICTWO

- Milliken G. A., Johnson D. E. 2002: Analysis of messy data. Vol. III: Analysis of covariance. Chapman &Hall/CRC, New York.
- Mysłowski J. 1997: Uwagi na temat zasilania paliwem pochodzenia rzepakowego silnika doładowanego Pojazd a środowisko. Politechnika Radomska. Radom.
- Piekarski W. 1997: Analiza oddziaływania agregatów ciągnikowych na środowisko przyrodnicze. Rozprawy naukowe. Wydawnictwo Akademii Rolniczej w Lublinie.
- Piekarski W., Wawrzosek J. 2004: An influence of rape oil ester content in fuel blend on carbon dioxide emission level. Teka Com. Mot. and Power Ind. in Agricult, IV, 159–164.
- Tarasińska J. 2002: Zastosowanie analizy kowariancji do zbadania wpływu biopaliwa rzepakowego na stopień zadymienia spalin Coll. Biometr. 32, 205–212.
- Wawrzosek J., Piekarski W. 2002: The toxicity level of exhaust gases in tractor engines fed with biofuels. Teka Komis. Mot. Energ. Rol. t. 2, 164–172.
- Wawrzosek J. 2004: Narzędzia wspomagające poszukiwanie obszaru różnic istotnych statystycznie. Algorytmy, metody i programy naukowe (monografia), PTI, red. Grzegórski i in., Lublin, 143–152.

#### SHARE RAPE OIL ESTER IN FUEL BLEND WITH DIESEL OIL AND NITRIC OXIDES EMISSION LEVELS

**Summary.** The article presents an analysis of  $NO_x$  emission levels in the fumes of S-4002 engines fed with fuel blends composed of the mineral engine oil ON and rape oil ester RME in various proportions. The statistical analysis of covariance with the engine's power as covariate was applied to experimental data.

Key words: biofuel, rape oil ester, nitric oxides, fumes of engines, analysis of covariance

Recenzent: prof. dr hab. Bogdan Żółtowski