

WPLYW KATALIZATORA OKSYDACYJNEGO NA TOKSYCZNOŚĆ SPALIN SILNIKA GAZOWEGO 8A20G

(INFLUENCE OF AN OXIDABLE CATALYZER ON TOXICITY OF EXHAUST GASES FROM THE 8A20G BIOGAS ENGINE)

Karol Cupiał, Adam Dużyński, Janusz Grzelka

Politechnika Częstochowska
Katedra Maszyn Tłokowych i Techniki Sterowania
Al. Armii Krajowej 21, 42-200 Częstochowa

W pracy omówiono wyniki badań toksyczności spalin stacjonarnego silnika gazowego o mocy 650 kW/ 1000 obr/min wyprodukowanego przez H.CEGIELSKI – Poznań S.A. uzyskane w Katedrze Maszyn Tłokowych i Techniki Sterowania Politechniki Częstochowskiej.

(Experimental results of toxicity of exhaust gases from the stationary biogas engine power output 650 kW/1000 rpm, manufactured by H.CEGIELSKI – Poznań S.A., have been presented at this article. This experimental research was carried out in The Chair Of Internal Combustion Engines and Control Engineering Of The Technical University Of Częstochowa.

1. Skład spalin

Produktem spalania paliw mineralnych takich jak gaz, paliwa napędowe, ropa naftowa lub węgiel, oprócz głównych dwutlenku węgla i wody są także szkodliwe związki takie jak: tlenek węgla (CO), węglowodory (HC) czy tlenki azotu (NO_x). Substancje te są toksyczne i dąży się do ograniczenia ich emisji.

Związki azotu (NO, NO₂, N₂O) są substancjami niszczącymi hemoglobinę człowieka (NO₂) i wywołują objawy porażenia centralnego podrażniając jednocześnie płuca prowadząc do ich perforacji.

Tlenek węgla jest silnie trującym, bezbarwnym i bezwonnym gazem, który przy stężeniu 0,3% (objętościowo) w ciągu trzydziestu minut powoduje śmierć na skutek wiązania chemicznie tlenu zawartego we krwi. Przy stężeniu ok. 0,01% powoduje on chroniczne lub ostre zatrucie organizmu.

Nie spalone węglowodory wydalone ze spalinami nie stanowią bezpośredniego zagrożenia dla otoczenia. Powodują jednak silnie podrażnienie śluzówki nosa i oczu. Ponadto, wraz z tlenkami azotu przy intensywnym nasłonecznieniu otoczenia i bezwietrznej pogodzie przyczyniają się do powstawania smogu.

2. Normy toksyczności spalin silnika gazowego

Rzeczywiste stężenie substancji toksycznych w spalinach stacjonarnego tłokowego silnika spalinowego zależy od jego konstrukcji, nastaw regulacyjnych i od obciążenia. Stężenia dopuszczalne poszczególnych substancji toksycznych są w różnych krajach rozmaicie definiowane i mają różne wartości liczbowe.

Przepisy prawne ustalają przede wszystkim wartość emisji wielkości gazowych: tlenków węgla CO, niespalonych węglowodorów HC, tlenków azotu NO_x a także cząstek stałych PM wydzielanych w spalinach.

Dla silników wysokoprężnych eksploatowanych na lądzie i wodzie a zasilanym paliwem płynnym (za wyjątkiem silników samochodowych i lotniczych) projekt europejskiej normy EN 16779-1:1998 „Tłokowe silniki spalinowe – bezpieczeństwo – część 1”, ustala graniczne wartości emisji substancji toksycznych przedstawione w tabeli 1. W tym przypadku warunki pomiaru określa norma EN ISO 8178-1÷8, która dla silników stacjonarnych napędzających generatory elektryczne przewiduje pomiary przy obciążeniu zmiennym wg programu testu D1 i D2.

Tablica 1. Wartości graniczne emisji substancji toksycznych wg EN 1679-1:1998
(Table 1. Limits of toxic emission according to EN 1679-1:1998)

Moc efektywna [kW]	CO [g/kWh]	HC [g/kWh]	NO _x [g/kWh]	PT [g/kWh]
37«P<75	6,5	1,3	9,2	0,85
75«P<130	5,0	1,3	9,2	0,70
130«P<560	5,0	1,3	9,2	0,54

W Polsce jednostkową emisję związków toksycznych spalin z układu wylotowego silnika samochodowego z zapłonem samoczynnym określa norma BN-84/1374-12 „Silniki samochodowe z zapłonem samoczynnym. Emisja zanieczyszczeń gazowych. Wymagania i badania”. Wartości dopuszczalne przedstawiono w tabeli 2.

Tablica 2. Wartości graniczne emisji substancji toksycznych wg BN-84/1374-12
(Table 2. Limits of toxic emission according to BN-84/1374-12)

Substancja	CO [g/kWh]	HC [g/kWh]	NO _x [g/kWh]
Emisja graniczna	14,0	3,5	18,0

Dla silników gazowych w Polsce i w Europie dotychczas nie zostały ustalone graniczne wartości emisji jednostkowej [g/kWh]. W Niemczech i innych krajach graniczne wartości emisji substancji toksycznych określa się w g/m³ na podstawie przepisów TALuft-86. Wartości normatywne zostały zestawione w tabeli 3. Warunki pracy silnika (czas, obciążenie) w czasie pomiarów nie są w tych przepisach jednoznacznie ustalone. Zazwyczaj pomiary przeprowadza się w warunkach ustalonej pracy silnika pod pełnym obciążeniem.

3. Test toksyczności spalin

Dla stacjonarnego silnika o stałej prędkości obrotowej według normy ISO/DIS 8178-4 najbardziej odpowiedni jest test D2 (generating sets with intermittent load) lub test D1 (Power plants). Parametry tych testów zestawiono w tablicy 4.

Tablica 3. Wielkości normatywne emitowanych substancji toksycznych przez stacjonarne silniki gazowe wg TALuft-86

(Table 3. Standard values of toxic emission of stationary biogas engines according to TALuft-86)

Typ silnika	Wartość graniczna wg TA-Luft	
Silnik gazowy z ZI 4-o suwowy	NO _x	< 0,50 g/m ³ (5% O ₂)
	CO	< 0,65 g/m ³ (5% O ₂)
	NMHC	< 0,15 g/m ³ (O ₂ - rzeczywiste)
Silnik gazowy z ZI 2-o suwowy	NO _x	< 0,80 g/m ³ (5% O ₂)
	CO	< 0,65 g/m ³ (5% O ₂)
	NMHC	< 0,15 g/m ³ (O ₂ - rzeczywiste)
Silnik gazowy z ZS 4-o suwowy	NO _x	< 0,50 g/m ³ (5% O ₂)
	CO	< 0,65 g/m ³ (5% O ₂)
	NMHC	< 0,15 g/m ³ (O ₂ - rzeczywiste)
	PM	< 0,05 g/m ³ (O ₂ - rzeczywiste)

Tablica 4. Parametry testu D2 i D1 wg ISO/DIS 8178-4
(Table 4. Parameters of D2 and D1 test according to ISO/DIS 8178-4)

Określenie	Faza cyklu				
	1	2	3	4	5
Faza cyklu					
TEST D2					
% obciążenia momentem obrotowym	100	75	50	25	10
Współczynnik wagi	0,05	0,25	0,3	0,3	0,1
TEST D1					
% obciążenia momentem obrotowym	100	75	50		
Współczynnik wagi	0,3	0,5	0,2		

Dla każdej fazy pracy silnika dokonuje się pomiarów stężenia głównych składników toksycznych spalin: CO, CO₂, HC, NO_x i określa się w nich zawartość tlenu. Przepisy zalecają dokonywania poszczególnych pomiarów z wykorzystaniem niżej wymienionych typów analizatorów:

- NDIR – analizator niedyspersyjny (non-dispersive infra-red) do pomiarów CO i CO₂;
- FID – analizator płomieniowo - jonizacyjny (flame ionization detector) do pomiarów węglowodorów HC;
- CLA – analizator chemiluminescencyjny (chemiluminescent analyzer) do pomiarów tlenków azotu NO_x
- PMD, ECS, ZRDO – analizatory do pomiaru O₂ (Paramagnetic Detector, Zirconium Dioxide Sensor, Electrochemical Sensor).

Po przeprowadzeniu pomiarów obliczana jest jednostkowa emisja poszczególnych substancji toksycznych jako średnia ważona wg zależności:

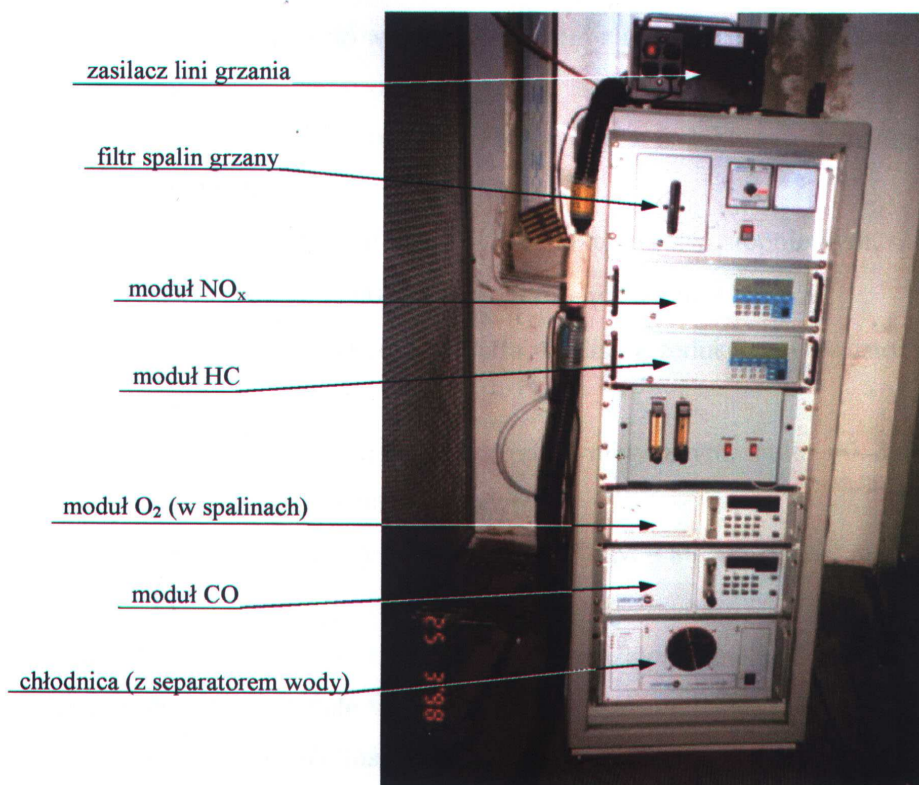
$$e_i = \frac{\sum_{i=1}^n (E_{x_i} \cdot U_i)}{\sum_{i=1}^n (N_{e_i} \cdot U_i)},$$

gdzie:

- N_{ei} [kW] – moc użyteczna silnika w i-tej fazie;
- U_i [-] – współczynnik udziału pracy w i-tej fazie,
- E_{Xi} [g/h] – emisja X-substancji w i-tej fazie.

4. Aparatura pomiarowa

Toksyczność spalin mierzono za pomocą zestawu analizatorów spalin firmy SIGNAL (NO_x – chemoluminescencyjny, THC – płomieniowo-jonizacyjny, O_2 – paramagnetyczny, CO – podczerwień) jako średnią ważoną wyników pomiarów uzyskanych w warunkach ustalonej pracy silnika pod obciążeniem zmienianym wg programu pięciostopniowego testu D2 i D1 przeznaczonego dla stacjonarnych zespołów prądowórczych załączanych okresowo. Emisję substancji toksycznych obliczano wg ISO 8178-2 jako średnią ważoną dla całego cyklu. System analizatorów spalin firmy SIGNAL przedstawiono na rys. 1.



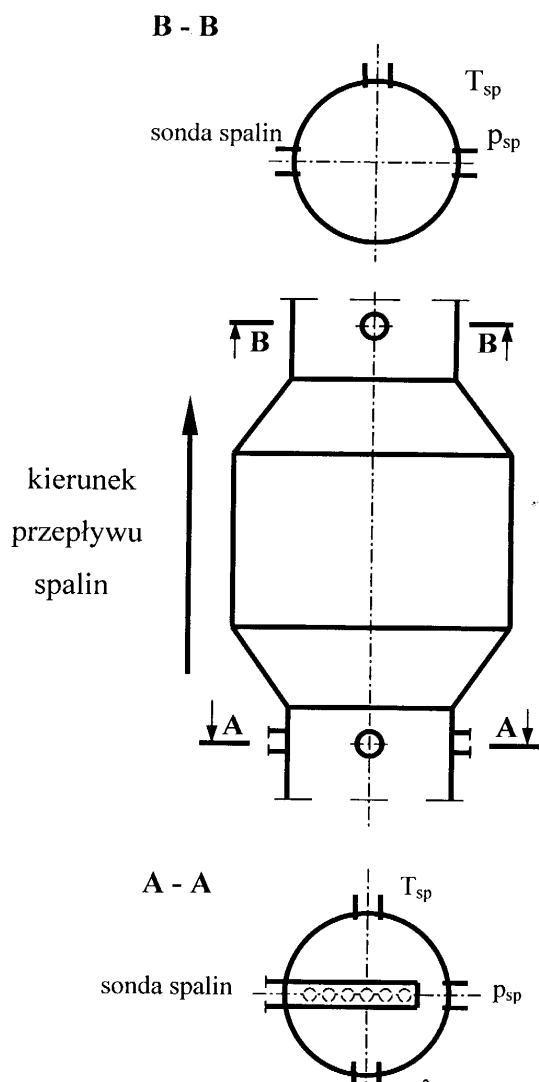
Rys. 1 System analizatorów spalin firmy SIGNAL
(Fig. 1. An exhaust-gas analyzer product by the firm SIGNAL)

5. Stanowisko pomiarowe

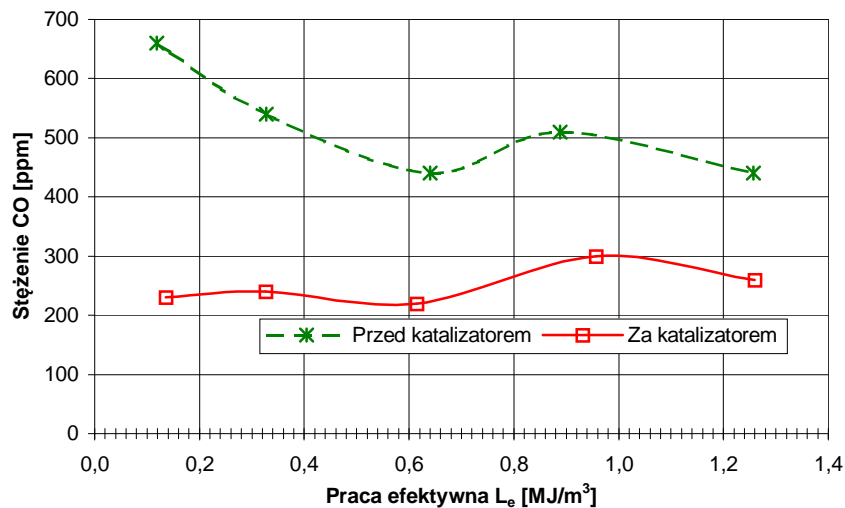
Badaniom poddano eksploatowany w oczyszczalni ścieków PSW WARTA w Częstochowie prototypowy silnik gazowy 8A20G. W układzie wylotowym silnika zamontowano katalizator oksydacyjny typu DC18. Na rys. 2 przedstawiono schemat tego katalizatora i usytuowanie punktów pomiaru toksyczności spalin.

6. Wyniki badań toksyczności spalin

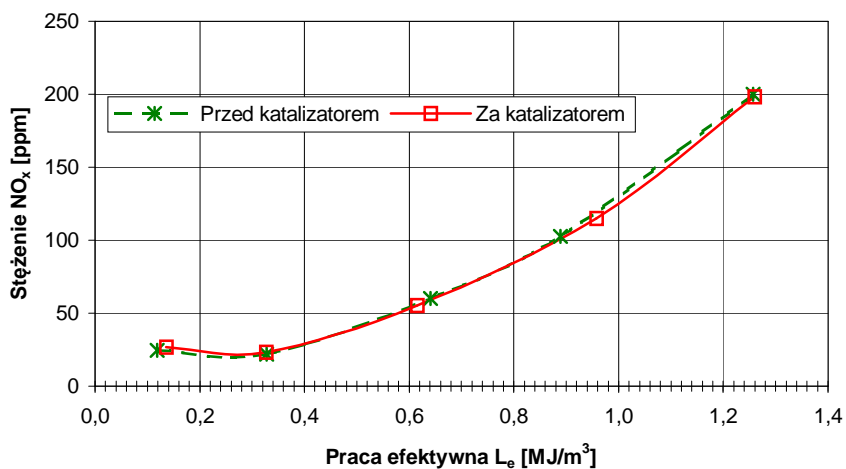
Badania składu spalin prowadzono z zamontowanym katalizatorem oksydacyjnym w układzie wylotowym. Zmierzoną emisję substancji toksycznych zestawiono na rysunkach 3÷6, a na rysunku 7 przedstawiono zmiany temperatury przed i za katalizatorem. Jako moc maksymalną w teście D2 przyjęto 600 kW mocy elektrycznej zmierzonej na zaciskach generatora elektrycznego współpracującego z silnikiem gazowym, co odpowiada 650 kW mocy efektywnej silnika gazowego.



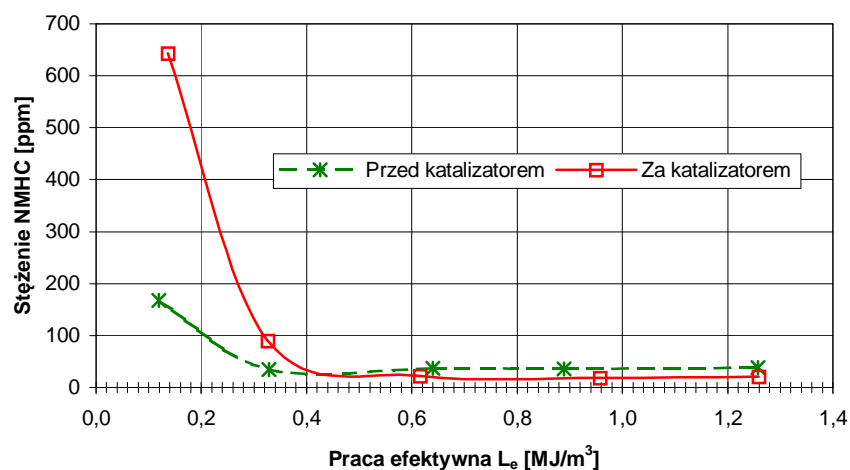
Rys. 2. Schemat katalizatora oksydacyjnego i miejsca poboru spalin do analizy.
 (Fig. 2. A scheme of an oxidable catalyzer with the point of taking out exhausts gases)



Rys. 3. Zawartość tlenku węgla (CO) w spalinach silnika 8A20G przed i za katalizatorem.
 (Fig. 3. CO – content of both catalyzed – and non-catalyzed exhaust gases of the 8A20G biogas engine)

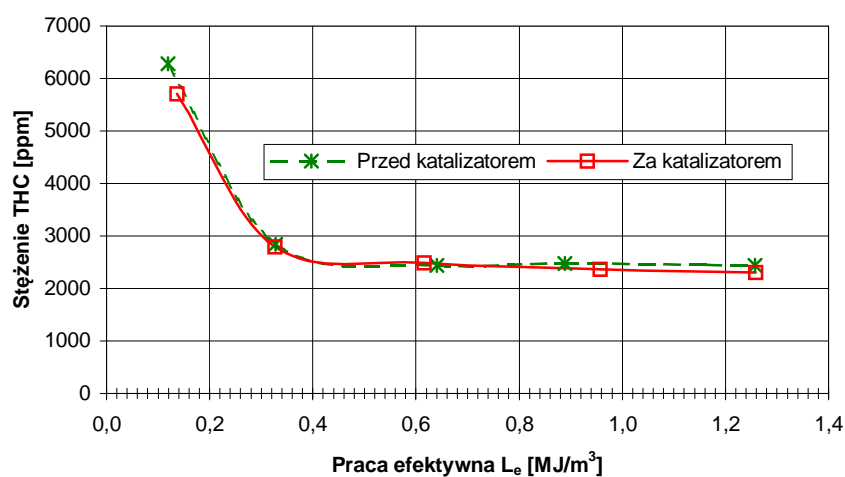


Rys. 4. Zawartość tlenku azotu (NO_x) w spalinach silnika 8A20G przed i za katalizatorem.
 (Fig. 4. NO_x - content of both catalyzed – and non-catalyzed exhaust gases of the 8A20G biogas engine)



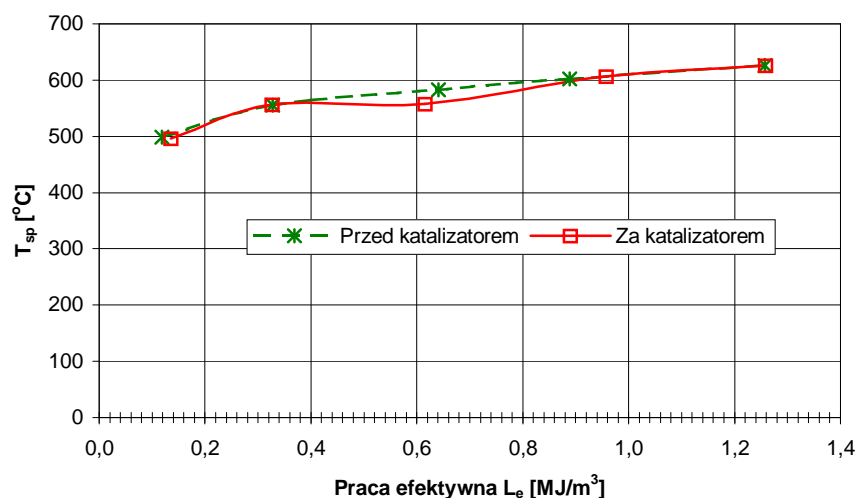
Rys. 5. Zawartość węglowodorów (NMHC) w spalinach silnika 8A20G przed i za katalizatorem.

(Fig. 5. NMHC content of both catalyzed – and non-catalyzed exhaust gases of the 8A20G biogas engine).



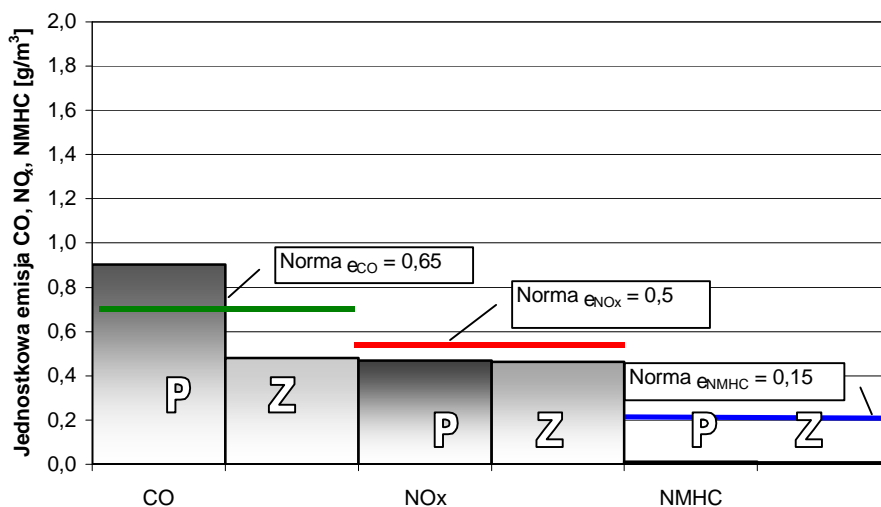
Rys. 6. Zawartość węglowodorów (THC) w spalinach silnika 8A20G przed i za katalizatorem.

(Fig. 6. THC content of both catalyzed – and non-catalyzed exhaust gases of the 8A20G biogas engine).



Rys. 7. Temperatura spalin silnika 8A20G przed i za katalizatorem.
(Fig. 7. An exhaust – gas temperature in front – and after the catalyzer).

Na rys. 8 porównano jednostkowe emisje substancji toksycznych emitowanych przez badany silnik gazowy przeprowadzone dla pełnej mocy silnika gazowego (ok. 650 kW) a liczone wg normy TALuft-86.



Rys. 8. Porównanie jednostkowych emisji CO, NO_x, NMHC obliczonych wg normy TALuft-86: P – badania przed katalizatorem, Z – badania za katalizatorem oksydacyjnym.
(Fig. 8. Comparison of elementary emissions of CO, NO_x and NMHC calculated according to TALuft-86: P – monitoring in front of the catalyzer, Z – monitoring after the catalyzer).

Wyniki przedstawione na rysunku 8 zestawiono w tabeli 5 porównując je z odpowiednimi wartościami normatywnymi.

Tablica 5. Zestawienie emisji substancji toksycznych przez silnik gazowy liczone dla pełnej mocy (ok. 600kW) w świetle wymogów normy TA-Luft86
 (Table 5. Comparison of elementary emissions of CO, NO_x and NMHC from the biogas engine at full load (600kW) with TALuft-86 requirements).

Związek toksyczny	Norma TALuft-86		
	Przed katalizatorem	Za katalizatorem	Wartość dopuszczalna
	g/m _n ³	g/m _n ³	g/m _n ³
CO	0,9031	0,4818	0,65
NO _x	0,4684	0,4617	0,50
NMHC	0,0114	0,0085	0,15

7. Podsumowanie

Silnik gazowy 8A20G bez katalizatora spełnia wymogi TALuft-86 w zakresie emisji tlenków azotu i węglowodorów, natomiast niewielkie przekroczenia tych wymogów jeszcze występują w zakresie emisji tlenku węgla. Po zastosowaniu katalizatora oksydacyjnego emisja tlenku węgla obniżyła się o ok. 50%, emisja węglowodorów niemetalicznych uległa obniżeniu o ok. 25%, a emisja tlenków azotu nie uległa istotnym zmianom. Silnik 8A20G wyposażony w katalizator oksydacyjny spełnia wymogi TALuft-86 w zakresie emisji gazowych substancji toksycznych.

Literatura

1. Normy krajowe i międzynarodowe z zakresu toksyczności spalin.
2. Cupiał K., Mendera K., Dużyński A., Grzelka J.: „Biogazowy zespół prądotwórczy o mocy elektrycznej 600 kW z użyciem ciepła. Materiały Międzynarodowej Konferencji Silnikowej "KONES'99". JOURNAL OF KONES - INTERNAL COMBUSTION ENGINES - Warszawa - Zakopane 1999. s.30-37, rys.4, tabl.2, poz.bibl.4.
3. Cupiał K., Dużyński A., Grzelka J.: „Stanowisko badawcze w silowni biogazowej.”, Materiały konferencyjne IV Międzynarodowej Konferencji Naukowej „SILNIKI GAZOWE'97 - konstrukcja, badania, eksploatacja”. s.47-58, rys.13, poz.bibl.4. Politechnika Częstochowska, Seria Konferencje 19. Częstochowa 9-12.12.1997.