

Analiza składu spalin w zależności od rozregulowań silnika spalinowego o zapłonie iskrowym

Sebastian Kilimnik¹, Julia Hernet², Ewa Kuliś³

¹ Szkoła Doktorska, Katedra Eksploatacji Maszyn i Transportu, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy; e-mail: sebastian.kilimnik@gmail.com

² Absolwentka Wydziału Technologii i Inżynierii Chemicznej, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy; e-mail: julia.hernet@gmail.com

³ Katedra Eksploatacji Maszyn i Transportu, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy; e-mail: ekukla@utp.edu.pl

Streszczenie: Efektem ubocznym pracy silnika spalinowego jest wytwarzanie gazów spalinowych. Ze względu na ich szkodliwość dla środowiska naturalnego wprowadzone zostały normy emisji spalin, które wraz z kolejnymi zmianami stają się coraz bardziej rygorystyczne. Celem analiz było określenie zmian składu spalin występujących podczas pracy silnika o zapłonie iskrowym w zależności od zainicjowanych w nim uszkodzeń. Rozregulowaniu poddano układ dolotowy, zapłonowy oraz sondę Lambda układu wydechowego.

Słowa kluczowe: gazy spalinowe, uszkodzenia silnika spalinowego, silnik spalinowy, skład spalin, analizator spalin

Exhaust gas research depending on gasoline engine damage

Sebastian Kilimnik¹, Julia Hernet², Ewa Kuliś³

¹ Szkoła Doktorska, Katedra Eksploatacji Maszyn i Transportu, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy; e-mail: sebastian.kilimnik@gmail.com

² Absolwentka Wydziału Technologii i Inżynierii Chemicznej, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy; e-mail: julia.hernet@gmail.com

³ Katedra Eksploatacji Maszyn i Transportu, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy; e-mail: ekukla@utp.edu.pl

Abstract: A side effect of the internal combustion engine is the production of exhaust gas. The result of exhaust gas pollution has been the introduction of exhaust emission standards. The study presents exhaust gas analysis test depending on simulated damages. The damage was subjected to: air intake system, ignition and Lambda probe.

Key words: exhaust gases, combustion engine faults, combustion engine, exhaust gas composition, exhaust gas analyzer

1. Wprowadzenie

Działanie silników spalinowych możliwe jest dzięki uzyskaniu energii z paliw węglowodorowych. Energia powstaje w momencie ich spalania co powoduje wytworzenie gazów spalinowych, takich jak: dwutlenek węgla (CO_2), tlenek węgla (CO), związki azotu (NO_x), węglowodory (HC), cząstki stałe (PM), związki ołowiu (Pb), związki siarki (SO_2) i (SO_3) [4, 5, 7]. W związku z coraz większą liczbą pojazdów poruszających się po drogach, wprowadzone zostały normy emisji spalin. Zaostrzają one kryteria emisji spalin, nowo wyprodukowanych pojazdów. Pozwala to na zmniejszenie ilości substancji szkodliwych przenikających do powietrza, wody oraz gleby, zanieczyszczających środowisko naturalne [3]. Gdy elementy osprzętu silnika oraz silnik, nie są uszkodzone, normy emisji spalin zostają spełnione [2, 6, 8]. Kiedy podczas pracy silnika pojawiają się rozregulowania lub uszkodzenia, zmianie ulega również skład gazów wylotowych. Biorąc pod uwagę możliwość powstania uszkodzeń podczas całej żywotności silnika spalinowego, przeprowadzono analizę składu spalin w zależności od jego rozregulowań.

2. Badania analizy spalin

Analiza spalin w silnikach o zapłonie iskrowym przebiega za pomocą czterogazowych analizatorów spalin. Dzięki nim określa się zawartość węglowodorów (CH), tlenu (O_2), tlenku węgla (CO) oraz dwutlenku węgla (CO_2). Analizator przedstawia ilość węglowodorów w cząstkach na milion [ppm]. Pozostałe z nich przedstawiane są procentowo co do całkowitej objętości spalin.

Warunkami koniecznymi do przeprowadzenia badania są:

- szczelność układu wydechowego,
- temperatura cieczy chłodzącej 80°C lub temperatura oleju silnikowego powyżej 70°C .

Badanie przeprowadzane jest dwuetapowo. Pierwszy etap obejmuje pomiary składu spalin, podczas gdy silnik pracuje z prędkością obrotową w zakresie $800\text{--}1200\text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$. Podczas drugiego etapu prędkość obrotowa musi zawierać się w przedziale od 2000 do $3000\text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$.

Wartości graniczne dla pojazdów zarejestrowanych od 01.05.2004 r. przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Wartości graniczne składu spalin określone przez ustawodawcę [1]

Table 1. Limits of the exhaust gas composition set by the legislator [1]

Pojazd	Prędkość obrotowa silnika	CO w % obj. spalin	CH w [ppm]	Lambda
Motocykl	Bieg jałowy	4,5	–	–
Inny pojazd	Bieg jałowy	0,3	100	–
	Podwyższone obroty	0,2	100	0,97–1,03

Silniki o zapłonie samoczynnym badane są odnośnie zadymienia spalin. Można w ten sposób określić zawartość cząstek stałych w spalinach. Pozostałe warunki są

niezmienne, konieczna jest szczelność układu wydechowego oraz odpowiednia temperatura robocza silnika.

Badanie zadymienia spalin powinno się przeprowadzać według określonych zasad. Przed rozpoczęciem pomiarów należy nacisnąć kilkakrotnie pedał gazu, a następnie utrzymywać zwiększoną prędkość obrotową silnika przez minutę. Wykonanie tego procesu pozwoli na podgrzanie komór spalania. Sonda analizatora spalin powinna znajdować się w rurze wylotowej, na głębokości większej niż trzykrotność średnicy rury. Pomiar musi zostać wykonany w warunkach płynnego przyspieszania od obrotów jałowych do maksymalnej prędkości obrotów utrzymywanej przez trzy sekundy. Konieczne jest wykonanie trzech pomiarów w odstępach czasu pozwalających na usunięcie sadzy z układu. Wynikiem jest uzyskanie współczynnika pochłaniania światła o symbolu k i jednostce $[1/m]$.

Jest to współczynnik pochłaniania światła, mierzony w dymomierzu po przejściu energii świetlnej przez warstwę spalin o grubości 1 metra. Spełniony musi zostać warunek $k_1 < k_2 < k_3$. Różnica pomiędzy pomiarami nie może być większa niż 0,5 $[1/m]$. Zadymienie uznajemy za prawidłowe, gdy nie przekracza one norm ustawowych. Dla silnika wolnossącego wynosi ona 2,5 $[1/m]$, dla doładowanego 3,0 $[1/m]$.

3. Stanowisko badawcze

W celu przeprowadzenia badań analizy spalin w zależności od rozregulowań silnika wykorzystano silnik spalinowy z zapłonem iskrowym przedstawiony na rysunku 1. Silnik produkcji FIATA o następujących parametrach:

Pojemność skokowa:	1372 cm ³
Moc silnika:	71 KM przy 6000 obr.·min ⁻¹
Maksymalny moment obrotowy:	108 Nm przy 3000 obr.·min ⁻¹
Liczba cylindrów:	4 w układzie rzędownym
Liczba zaworów:	8
Stopień sprężania:	9,0:1:1
Typ wtrysku:	jednopunktowy



Rys. 1. Stanowisko badawcze wyposażone w silnik z zapłonem iskrowym (fot. S. Kilimnik)
Fig. 1. Research lab with spark-ignition engine (photo by S. Kilimnik)

Do pomiarów wykorzystano Bosch BEA 250 – cyfrowy, wielokanałowy analizator spalin, który analizuje spaliny na podstawie zjawiska pochłaniania promieniowania podczerwonego w gazach.

Urządzenie badawcze przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Analizator spalin Bosch BEA 250 (fot. S. Kilimnik)
Fig. 2. Exhaust gas analyzer Bosch BEA 250 (photo by S. Kilimnik)

4. Metodyka przeprowadzonych badań

Pierwszą z czynności, jaką należało wykonać, była obsługa codzienna silnika wykorzystanego do badań. Dokonano zewnętrznych oględzin silnika, mającego na celu wykrycie uszkodzeń, następnie sprawdzono oraz uzupełniono płyny eksploatacyjne. Wykonano otwór techniczny, który pozwolił na wprowadzenie sondy analizatora spalin do układu wydechowego.

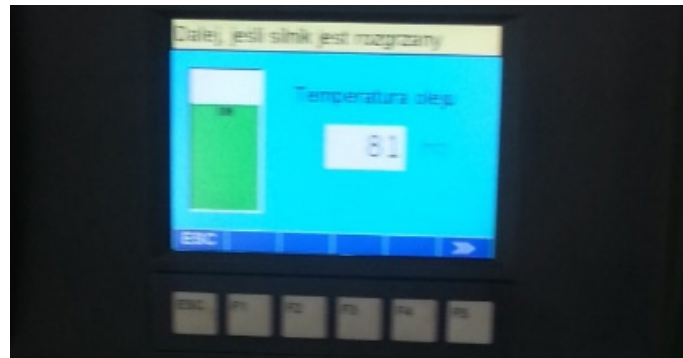
Kolejną z czynności było podłączenie analizatora do akumulatora stanowiska badawczego oraz umieszczenie czujnika temperatury w miejscu bagnetu oleju. Urządzenie Bosch wskazało prędkość obrotową pracy silnika (rys. 3).



Rys. 3. Prędkość obrotowa silnika (fot. S. Kilimnik)
Fig. 3. Engine speed (photo by S. Kilimnik)

Następnie należało przeprowadzić kalibrację urządzenia, wprowadzając dane silnika oraz dokonać wyboru analizy.

Zgodnie z zaleceniami rozgrzano silnik do temperatury oleju powyżej 70°C (rys. 4).



Rys. 4. Temperatura oleju silnikowego (fot. S. Kilimnik)

Fig. 4. Engine oil temperature (photo by S. Kilimnik)

Zrealizowano dwa badania testowe, które miały wskazać prawidłowe działanie zarówno silnika, jak i analizatora. Następnie wykonano trzy badania właściwe, wskazujące parametry silnika nie poddanego rozregulowaniom.

Kolejne etapy to dokonywanie celowych uszkodzeń silnika, a następnie analiza spalin.

Pierwsze rozregulowanie polegało na rozłączeniu sondy Lambda znajdującej się w układzie wydechowym oraz na przeprowadzeniu trzech analiz. Na rysunku 5 przedstawiono celowo wykonane uszkodzenie.

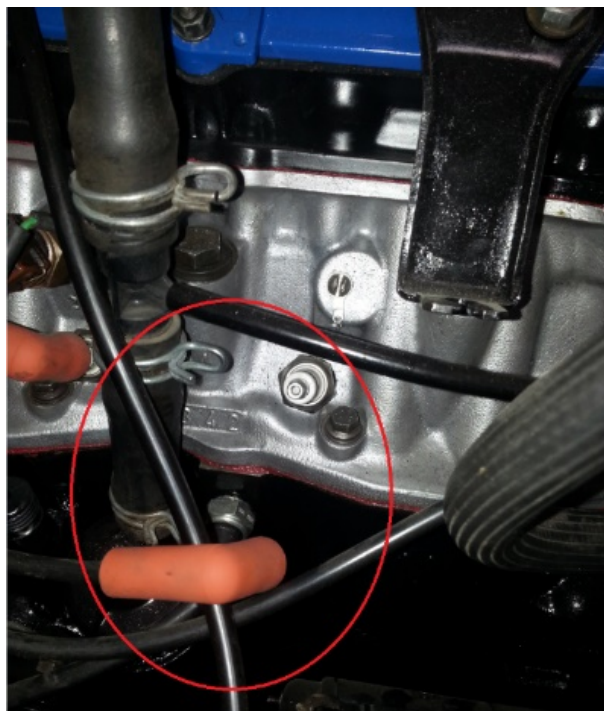


Rys. 5. Rozłączenie sondy Lambda (fot. S. Kilimnik)

Fig. 5. Disconnection of the Lambda probe (photo by S. Kilimnik)

Po zakończeniu analizy sonda została usprawniona, analizator wykonał procedurę czyszczenia, silnik pracował na biegu jałowym, aby ustabilizować skład spalin.

Drugie z rozregulowań polegało na odłączeniu przewodu zapłonowego od jednej ze świec. Taka wada może być spowodowana uszkodzeniem cewki zapłonowej, przewodów zapłonowych bądź świecy zapłonowej (rys. 6). Spowodowało to brak zapłonu na jednym z cylindrów.



Rys. 6. Rozłączenie przewodu zapłonowego (fot. S. Kilimnik)
Fig. 6. Disconnection of the ignition cable (photo by S. Kilimnik)

Wykonano trzy kolejne pomiary, podłączono przewód zapłonowy oraz sprawdzono poprawność pracy silnika.

Kolejnym rozregulowaniem było odłączenie wtyczki od przepływomierza powietrza (rys. 7). Symulowało to pracę silnika w trybie awaryjnym z uszkodzonym przepływomierzem. Zmieniło to charakterystykę pracy silnika.



Rys. 7. Rozłączenie sondy przepływomierza powietrza (fot. S. Kilimnik)
Fig. 7. Disconnection of the airflow sensor (photo by S. Kilimnik)

Jako ostatnie z rozregulowań zastosowano zmiany kąta zapłonu. Standardowo kąt wyprzedzenia zapłonu wynosi 10° . Wykonano rozregulowania, ustawiając wyprzedzenie na wartość 15° oraz 5° (rys. 8). Silnik w obu przypadkach pracował nierównomiernie. Dla każdego ustawienia dokonano trzech pomiarów analizy spalin.



Rys. 8. Wyprzedzenie zapłonu (fot. S. Kilimnik)

Fig. 8. Ignition timing (photo by S. Kilimnik)

5. Wyniki i analiza zrealizowanych badań

Dla każdego z rozregulowań wykonano trzy pomiary. Średnia temperatura oleju silnikowego podczas badań wynosiła 81,7°C. Wskazania podawane są dla pomiarów pracy silnika na biegu jałowym. Prędkość obrotowa wyniosła średnio 1006,7 obr.·min⁻¹, a dla podwyższonych obrotów 2450 obr.·min⁻¹. Wyniki pomiarów przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Wyniki pomiaru właściwego [1]

Table 2. Test results with right parameters [1]

Nazwa pomiaru	Pomiar właściwy (1)	Pomiar właściwy (2)	Pomiar właściwy (3)	Średnia pomiarów
Temperatura oleju [°C]	83	81	81	81,67
Bieg jałowy pomiar				
Obroty [1/min]	1030	1010	980	1006,67
Lambda	1,209	1,246	1,203	1,22
CO [% obj]	0,167	0,154	0,163	0,16
CO ₂ [% obj]	10,61	10,4	10,65	10,55
HC [ppm]	60	64	69	64,33
O ₂ [% obj]	3,39	3,88	3,32	3,53
COkor [% obj]	0,232	0,219	0,226	0,23
Podwyższone obroty biegu jałowego				
Obroty [1/min]	2470	2450	2430	2450,00
Lambda	1,15	1,219	1,182	1,18
CO [% obj]	0,18	0,155	0,296	0,21
CO ₂ [% obj]	11,27	10,66	10,85	10,93
HC [ppm]	31	15	31	25,67
O ₂ [% obj]	2,6	3,49	3,12	3,07
COkor [% obj]	0,236	0,215	0,398	0,28

Kolejne z pomiarów dotyczyły symulowanego uszkodzenia sondy Lambda. Temperatura oleju średnio wyniosła 83,7°C. Pomiary wykonywane na biegu jałowym ze średnią prędkością obrotową 1180 obr. \cdot min⁻¹; dla podwyższonych obrotów średnia wyniosła 2506,67 obr. \cdot min⁻¹. Całkowite wyniki przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Wyniki pomiaru dla uszkodzonej sondy Lambda [1]

Table 3. Test results for disconnected Lambda probe [1]

Nazwa pomiaru	Uszkodzona sonda Lambda (1)	Uszkodzona sonda Lambda (2)	Uszkodzona sonda Lambda (3)	Średnia pomiarów
Temperatura oleju [°C]	80	85	86	83,67
Bieg jałowy pomiar				
Obroty [1/min]	1240	1120	1180	1180,00
Lambda	1,243	1,236	1,252	1,24
CO [% obj]	0,156	0,138	0,144	0,15
CO ₂ [% obj]	10,31	10,5	10,24	10,35
HC [ppm]	147	141	155	147,67
O ₂ [% obj]	3,92	3,86	4,03	3,94
COkor [% obj]	0,223	0,195	0,208	0,21
Podwyższone obroty biegu jałowego				
Obroty [1/min]	2480	2370	2670	2506,67
Lambda	1,165	1,212	1,133	1,17
CO [% obj]	0,162	0,182	0,159	0,17
CO ₂ [% obj]	10,95	10,51	11,27	10,91
HC [ppm]	97	57	78	77,33
O ₂ [% obj]	2,83	3,41	2,36	2,87
COkor [% obj]	0,219	0,255	0,209	0,23

Trzecie pomiary dotyczyły uszkodzenia przewodu zapłonowego jednej z świec. Temperatura oleju średnio wyniosła 81,7°C. Średnio na wolnych obrotach silnik pracował z prędkością 1090 obr. \cdot min⁻¹, dla podwyższonych 2482,3 obr. \cdot min⁻¹. Wyniki pomiarów przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Wyniki pomiaru dla uszkodzonych przewodów zapłonowych [1]

Table 4. Test results for disconnected ignition cable [1]

Nazwa pomiaru	Uszkodzone przewody zapłonowe (1)	Uszkodzone przewody zapłonowe (2)	Uszkodzone przewody zapłonowe (3)	Średnia pomiarów
Temperatura oleju [°C]	80	82	83	81,67
Bieg jałowy pomiar				
Obroty [1/min]	1060	1090	1120	1090,00
Lambda	1,346	1,326	1,329	1,33
CO [% obj]	0,132	0,147	0,136	0,14
CO ₂ [% obj]	7,84	8,08	7,96	7,96
HC [ppm]	2454	2498	2495	2482,33
O ₂ [% obj]	7,77	7,67	7,65	7,70
COkor [% obj]	0,248	0,268	0,252	0,26
Podwyższone obroty biegu jałowego				
Obroty [1/min]	2520	2310	2380	2403,33
Lambda	1,29	1,324	1,281	1,30
CO [% obj]	0,161	0,176	0,187	0,17
CO ₂ [% obj]	8,37	8,06	8,37	8,27
HC [ppm]	2315	2349	2393	2352,33
O ₂ [% obj]	7,02	7,45	7,02	7,16
COkor [% obj]	0,283	0,321	0,328	0,31

Pomiary dla symulowanych uszkodzeń przepływomierza wykonano, podczas gdy temperatura oleju silnikowego wynosiła 80,0°C. Niskie obroty wynosiły średnio 940 obr.·min⁻¹, a wysokie 2350 obr.·min⁻¹. Pozostałe wyniki zamieszczono w tabeli 5.

Tabela 5. Wyniki pomiaru dla uszkodzenia przepływomierza powietrza [1]

Table 5. Test results for disconnected airflow sensor [1]

Nazwa pomiaru	Uszkodzenie przepływomierza (1)	Uszkodzenie przepływomierza (2)	Uszkodzenie przepływomierza (3)	Średnia pomiarów
Temperatura oleju [°C]	80	80	80	80,00
Bieg jałowy pomiar				
Obroty [1/min]	950	920	950	940,00
Lambda	0,692	0,688	0,683	0,69
CO [% obj]	9,837	9,942	10,06	9,95
HC [ppm]	3465	3134	3420	3339,67
Podwyższone obroty biegu jałowego				
Obroty [1/min]	2310	2350	2390	2350,00
Lambda	0,619	0,728	0,731	0,69
CO [% obj]	8,537	7,404	7,335	7,76
HC [ppm]	4844	7433	7638	6638,33

W badaniach analizy spalin w momencie przyspieszenia zapłonu temperatura oleju wyniosła 81,3°C. Średnie prędkości obrotowe 1120 obr·min⁻¹, a dla podwyższonych obrotów – 2410 obr·min⁻¹. Wyniki przedstawiono w tabeli 6.

Tabela 6. Wyniki pomiaru dla przyspieszonego zapłonu, kąt wyprzedzenia 15° [1]

Table 6. Test results for ignition timing changes at 15° [1]

Nazwa pomiaru	Zapłon przyspieszony (1)	Zapłon przyspieszony (2)	Zapłon przyspieszony (3)	Średnia pomiarów
Temperatura oleju [°C]	80	82	82	81,33
Bieg jałowy pomiar				
Obroty [1/min]	1150	1090	1120	1120,00
Lambda	1,218	1,198	1,22	1,21
CO [% obj]	0,164	0,16	0,159	0,16
CO ₂ [% obj]	9,78	9,75	9,7	9,74
HC [ppm]	1053	1011	1055	1039,67
O ₂ [% obj]	4,65	4,57	4,65	4,62
COkor [% obj]	0,247	0,25	0,243	0,25
Podwyższone obroty biegu jałowego				
Obroty [1/min]	2440	2380	2410	2410,00
Lambda	1,205	1,21	1,227	1,21
CO [% obj]	0,173	0,174	0,168	0,17
CO ₂ [% obj]	10,29	10,2	10,18	10,22
HC [ppm]	565	558	561	561,33
O ₂ [% obj]	3,93	3,88	3,89	3,90
COkor [% obj]	0,248	0,252	0,249	0,25

Ostatnie pomiary dotyczyły opóźnienia zapłonu. Temperatura oleju silnikowego dla pomiarów wyniosła 82,0°C. Prędkość obrotowa średnio wyniosła 1090 obr·min⁻¹. Pozostałe wyniki przedstawiono w tabeli 7.

Tabela 7. Wyniki pomiaru dla zmiany wyprzedzenia kąta zapłonu, kąt wyprzedzenia 5° [1]

Table 7. Test results for ignition timing changes at 5° [1]

Nazwa pomiaru	Zapłon opóźniony (1)	Zapłon opóźniony (2)	Zapłon opóźniony (3)	Średnia pomiarów
Temperatura oleju [°C]	81	83	82	82,00
Bieg jałowy pomiar				
Obroty [1/min]	1160	1090	1020	1090,00
Lambda	1,226	1,199	1,172	1,20
CO [% obj]	0,142	0,135	0,128	0,14
CO ₂ [% obj]	10,55	10,28	10,01	10,28
HC [ppm]	62	59	56	59,00
O ₂ [% obj]	3,62	3,68	3,74	3,68
COkor [% obj]	0,199	0,195	0,191	0,20

cd. tabeli 7

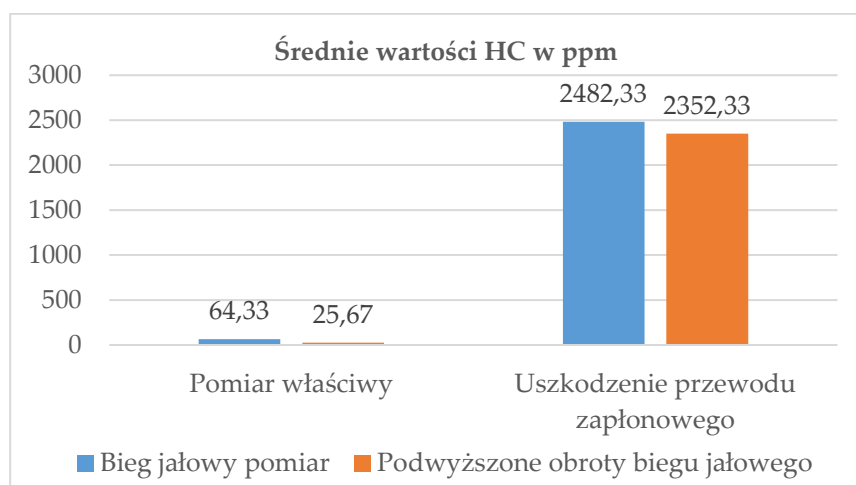
Table 7 cont.

Podwyższone obroty biegu jałowego				
Obroty [1/min]	2360	2310	2260	2310,00
Lambda	1,14	1,15	1,16	1,15
CO [% obj]	0,148	0,185	0,222	0,19
CO ₂ [% obj]	11,06	11,03	11	11,03
HC [ppm]	27	30	33	30,00
O ₂ [% obj]	2,36	2,34	2,32	2,34
COkor [% obj]	0,198	0,196	0,194	0,20

Badania testowe wskazały na prawidłową pracę silnika. Podwyższony wskaźnik Lambda spowodowany jest brakiem katalizatora w układzie spalinowym. Pomiar testowe wykazały stabilną pracę silnika.

Uszkodzenie sondy Lambda wpłynęło na podwyższenie ilości węglowodorów w składzie spalin. Podczas pracy silnika na niskich obrotach wzrosły one z poziomu 64,3 ppm do poziomu 147,7 ppm. Podczas pracy silnika na podwyższonych obrotach również zanotowano wzrost ilości węglowodorów z nominalnego poziomu 25 ppm do poziomu 77 ppm.

W przypadku kolejnego symulowanego uszkodzenia zmianie uległy trzy badane składniki. Uszkodzenie przewodu zapłonowego spowodowało zmianę objętości dwutlenku węgla z poziomu 10,55% do poziomu 7,96% dla pracy silnika na niskich obrotach oraz zmianę z poziomu 10,93% do poziomu 8,27% podczas podwyższonych obrotów. W spalinach zwiększyła się ilość tlenu z poziomu 3–3,5% obj. do poziomu 7% obj.; stan dotyczy niskich oraz wysokich obrotów pracy silnika. Główna zmiana nastąpiła w ilości węglowodorów, które wzrosły do poziomów 2482 ppm dla niskich obrotów oraz 2352 ppm dla obrotów podwyższonych. Różnica pomiędzy pomiarami zdatego silnika oraz z uszkodzeniem przewodu zapłonowego została ukazana na rysunku 9.



Rys. 9. Zmiany zawartości węglowodorów w gazach wylotowych po uszkodzeniu przewodu zapłonowego [1]

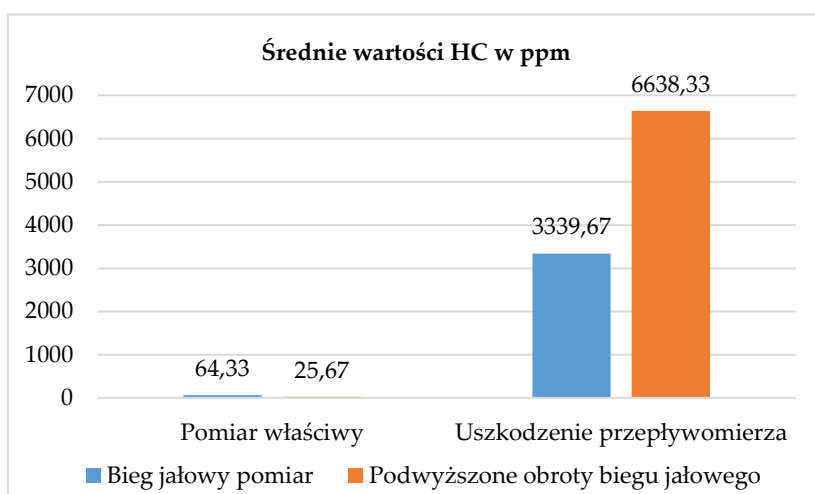
Fig. 9. Changes of hydrocarbons pollution after disconnected ignition cable [1]

Wymuszenie awarii układu dolotowego spowodowało możliwość uzyskania tylko części wyników. Analizator spalin ograniczył możliwość uruchomienia pełnej analizy ze względu na znacznie podwyższone wartości składu spalin. Uzyskano wyniki dla współczynnika Lambda, tlenków węgla oraz węglowodorów. Odczytano obniżone wartości współczynnika Lambda, porównując je z pomiarem właściwym. Analizator nie wykonał pełnego badania ze względu na podwyższone zawartości CO oraz HC w składzie spalin. Średni poziom objętości tlenków węgla dla wolnych obrotów wyniósł 9,95%, natomiast dla zwiększonych – 7,76% objętości. Średnia wartość dla węglowodorów wyniosła kolejno 3340 ppm oraz 6638 ppm. Takie rozregulowanie spowodowało konieczność kilkugodzinnego automatycznego czyszczenia analizatora Bosch. Zadymienie, jakie powstało w wyniku rozregulowania, przedstawia osad na sondzie (rys. 10).

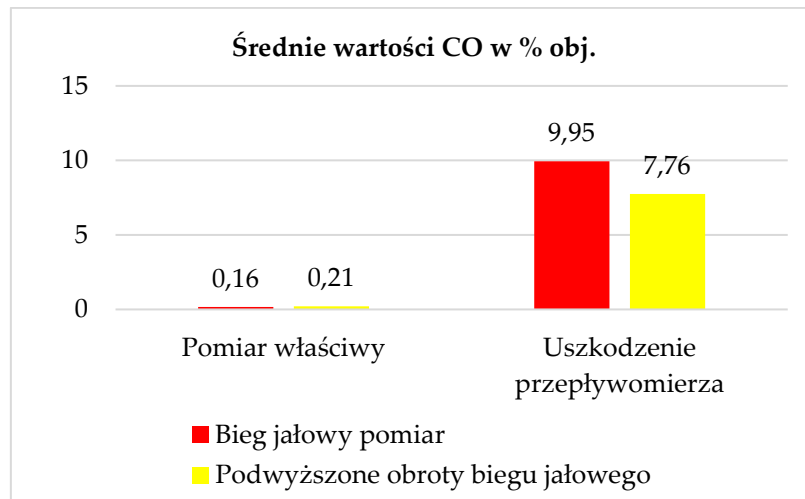


Rys. 10. Zadymiona sonda analizatora spalin Bosch BEA 250 (fot. S. Kilimnik)
Fig. 10. Smoked probe of exhaust gas analyzer Bosch BEA 250 (photo by S. Kilimnik)

Przedstawione wykresy przedstawiają wzrost zawartości węglowodorów oraz wzrost wartości tlenków węgla po uszkodzeniu przepływomierza (rys. 11, 12).



Rys. 11. Zmiany zawartości węglowodorów dla uszkodzonego przepływomierza [1]
Fig. 11. Changes of hydrocarbons pollution after disconnect airflow sensor [1]



Rys. 12. Zmiany zawartości tlenków węgla dla uszkodzonego przepływomierza [1]

Fig. 12. Changes of carbon oxides pollution after disconnect airflow sensor [1]

Przyspieszenie zapłonu spowodowało duże zmiany w ilości nagromadzonych węglowodorów. Dla niskich obrotów wyniosły one 1040 ppm, przyspieszone obroty średnio wykazały zawartość 551 ppm HC. Podczas badania zmianom uległa również zawartość dwutlenku węgla, którego poziom obniżył się o około 0,7% objętości, wzrosła za to o około 1% obj. zawartość tlenu. Opóźnienie zapłonu nie spowodowało znaczących zmian w składzie spalin.

6. Podsumowanie

Symulowanie uszkodzeń pozwoliło na wykazanie, że wpływ na jakość spalin ma właściwy stan techniczny silnika spalinowego. Podczas badań zmianie znacznie ulegała ilość węglowodorów. Wadliwa praca przepływomierza zwiększyła zawartość tlenków węgla w spalinach. Uszkodzenia powodowały, że wartości składu spalin przekraczały normy emisji spalin nawet kilkadziesiąt razy. Wyniki badań pozwalają stwierdzić, że poprzez analizę spalin można określić stan techniczny silnika. Oznacza to, że usterki występujące w silniku spalinowym mają wpływ nie tylko na jego sprawność, ale poprzez zmianę składu spalin również znacznie wpływają na zanieczyszczenie środowiska naturalnego.

Bibliografia

- [1] Kilimnik, S., Opracowanie własne dla „Pomiarów składu spalin”. Stacja Kontroli UTP ul. Sucha 9, Bydgoszcz 2015.
- [2] Legutko, S., „Podstawy eksploatacji maszyn i urządzeń”. Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne Spółka Akcyjna, Warszawa 2004.
- [3] Markiewicz, M., Muślewski, Ł., “The Impact of Powering an Engine with Fuels from Renewable Energy Sources including its Software Modification on a Drive Unit Performance Parameters”. Sustainability, 2019.
- [4] Markiewicz, M., Muślewski, Ł., Kaszkowiak, J., Knopik, L., “Analysis of selected operating parameters of engine powered by mixture of biocomponents and diesel oil”. *Journal of KONES Powertrain and Transport*, 2018.

- [5] Merkisz, J., „Ekologiczne problemy silników spalinowych”. T. 1 i 2, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 1999.
- [6] Wajand, J.A., Wajand, J.T., „Tłokowe silniki spalinowe średnio i szybkoobrotowe”. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2005.
- [7] Zając, P., Kołodziejczyk, L.M., „Silniki spalinowe”. WSiP Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa 2008.
- [8] Żółtowski, B., Kwiatkowski, K., „Zagrożone środowisko”. Wydawnictwa Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego, Bydgoszcz 2012.



© 2020 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).