

Agata PENCONEK, Arkadiusz MOSKAL

e-mail: a.penconek@ichip.pw.edu.pl

Katedra Inżynierii Procesów Zintegrowanych, Wydział Inżynierii Chemicznej i Procesowej, Politechnika Warszawska, Warszawa

Budowa stanowiska do generowania i analizy spalin z wysokoprężnego silnika *Diesla*

Wstęp

Spaliny samochodowe są głównym źródłem zanieczyszczenia powietrza, a silniki *Diesla* są największym pojedynczym źródłem cząstek stałych obecnych w atmosferze. Zgodnie z przewidywaniami do 2015 roku trzy z pięciu samochodów poruszających się po drogach Europy wyposażonych będzie w wysokoprężny silnik *Diesla* [1]. Pomimo ciągłych modernizacji wynikających z wprowadzania kolejnych norm emisji spalin (obecna norma Euro 5a obowiązuje od września 2009 r.), silnik *Diesla* jest wciąż większym obciążeniem dla środowiska niż silnik benzynowy.

Postanowienia *Protokołu z Kioto* zobowiązują również Polskę do ograniczenia do 2012 r. emisji gazów powodujących efekt cieplarniany, nie tylko dwutlenku węgla, ale również np. tlenku azotu. Popularne biopaliwa są jedną z form rozwiązania tego problemu. Jednocześnie prawodawstwo Unii Europejskiej narzuca państwom członkowskim konieczność osiągnięcia odpowiedniego udziału biopaliw w transporcie. Do końca 2010 r. poziom ten ma wynieść 5,75%, a do końca 2020 r. 10%. Nie stanowi problemu wytworzenie odpowiedniej ilości biopaliwa umożliwiającej spełnienie przez państwa UE narzucanych norm. 2/3 światowej produkcji biopaliw, czyli blisko 8 bilionów litrów rocznie, należy do państw europejskich takich jak Niemcy, Francja czy Włochy [2]. Ale czy rzeczywiście produkty spalania biopaliwa są mniej szkodliwe dla otoczenia niż spaliny z silników pracujących na tradycyjnym oleju napędowym?

Od lat wiadomo, że spaliny pochodzące z silników *Diesla*, oprócz frakcji gazowej, zawierają również cząstki stałe o rozbudowanej powierzchni, na której mogą ulegać zaadsorbowaniu liczne związki zarówno organiczne jak np. wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA), jak i nieorganiczne np. metale pochodzące ze mechanicznego ścierania elementów silnika w czasie pracy i niepełnego spalania mieszanki paliwowej. Nanostrukturalne agregaty aerozolowe pochodzące między innymi ze spalin z silników *Diesla* odpowiedzialne są za blisko 6% zgonów na świecie [3]. DEP (*Diesel Exhaust Particles*) wywierają negatywny wpływ na drogi oddechowe, męskie zdolności reprodukcyjne oraz centralny układ nerwowy. *Międzynarodowa Organizacja Badań nad Rakim* (IARC) zaklasyfikowała spaliny pochodzące z silników wysokoprężnych do substancji o właściwościach potencjalnie rakotwórczych dla ludzi (grupa 2A).

Choć sam autor silnika wysokoprężnego *Rudolf Diesel* do napędu swoich pierwowzorów używał oleju z orzeszków ziemnych, a produkcja w Polsce paliwa zawierającego do 30% alkoholu ruszyła w 1929 r. to wciąż nieliczna jest literatura mówiąca o składzie i ilości spalin z biodiesla oraz o ich wpływie na zdrowie człowieka i środowisko.

Część doświadczalna

Budowane stanowisko badawcze umożliwia pracę z różnymi typami paliwa przeznaczonymi dla silników wysokoprężnych. Przy jego udziale możliwa jest analiza jakościowa i ilościowa nie tylko tradycyjnego oleju napędowego, ale również biopaliwa czy nawet zwykłych olejów roślinnych. Ponadto budowane stanowisko planuje się również wykorzystać do określenia depozycji spalin *Diesla*, pracującego na ropie i biopaliwie, w drogach oddechowych człowieka oraz ich wpływu na komórki nabłonkowe płuc.

Opis stanowiska

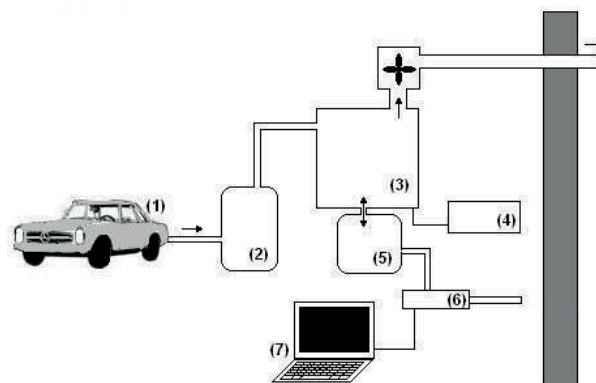
Stanowisko składa się z: wysokoprężnego silnika *Mercedes-Benz* typu 616.912 240D, wyposażonego w filtr paliwa 4 MAX 0218 - 03 - 0052E i suchy filtr powietrza AR 204 FILTRON 2706012, zbiornika

buforowego spalin o objętości 200 l i komory pomiarowej (0,9×0,9×0,9 m). Spaliny z komory pomiarowej przewodami wyprowadzane są na zewnątrz budynku.

W komorze, w strumieniu spalin umieszczona jest sonda pomiarowa połączona z suszarką GD-10 i analizatorem spalin MADUR GA-60. Suszarka jest konieczna do szybkiego schłodzenia gorących spalin wlotowych, skroplenia pary wodnej i odprowadzenia kondensatu, aby nie dopuścić do skroplenia wody zawartej w spalinach w przewodach analizatora. Analizator umożliwia określanie stężeń w spalinach następujących związków CO, NO, NO₂ i NO_x, SO₂.

W celach bezpieczeństwa bieżącemu monitoringowi podlega również zawartość wyżej wymienionych związków w pomieszczeniu badawczym.

Budowane stanowisko wykorzystywane jest również do badania depozycji nanostrukturalnych agregatów aerozolowych w modelu dróg oddechowych człowieka stąd też, w klatce pomiarowej umieszczane są silikonowe odlewy górnych dróg oddechowych człowieka, a w przestrzeni pod klatką model dolnych dróg oddechowych człowieka połączony z silnikiem tłokowym i systemem sterującym tworząc tzw. sztuczne płuco. Na rys. 1 przedstawiono schemat budowanego stanowiska.



Rys. 1. Schemat budowanego stanowiska. 1 – silnik *Diesla*, 2 – zbiornik buforowy, 3 – komora pomiarowa, 4 – analizator spalin, 5 – model dolnych dróg oddechowych człowieka, 6 – silnik tłokowy, 7 – system sterujący

Metodyka badań

W badaniach wykorzystano dwa typy paliwa: olej napędowy oraz biopaliwo. Przed kolejną analizą zbiornik paliwa był całkowicie opróżniany z poprzednio badanego materiału.

Analizę składu gazowego spalin prowadzono dla dwóch prędkości obrotowych silnika 720 rpm, w dalszej części tekstu oznaczoną „1” oraz 960 rpm w dalszej części tekstu oznaczoną „2” podczas gdy silnik ustawiony był na biegu jałowym. Jednocześnie sprawdzano skład spalin emitowanych z nierozgrzanego silnika oraz silnika w którym temperatura oleju osiągnęła 82°C.

Analizę składu paliwa wykonano z użyciem chromatografii gazowej połączonej z detektorem masowym (GC-MS).

Wyniki i dyskusja

W przypadku nierozgrzanego silnika i używania oleju napędowego, obserwuje się blisko dwukrotny wzrost zawartości CO w spalinach dla silnika pracującego na wolnych obrotach (242 ppm), niż podczas pracy na szybkich obrotach (115 ppm). Sytuacja jednak ulega odwróceniu,

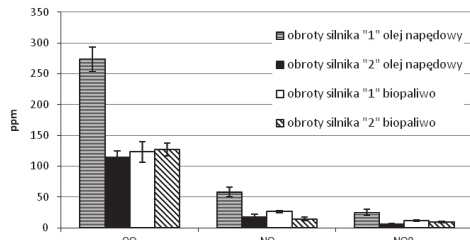
gdy temperatura oleju w silniku osiągnie 82°C, wówczas na wyższych obrotach zawartość CO w spalinach jest rzędu 80 ppm, podczas gdy na niższych 40 ppm. Emisja NO ulega obniżeniu przy nagraniu silnika z 50 ppm do 21 ppm na niższych obrotach, podobnie zawartość NO₂ spada z 19 ppm do 7 ppm, gdy olej osiąga temperaturę 82°C, nie obserwuje się natomiast istotnych różnic w zawartości NO, NO₂ przy zmianie temperatury silnika, gdy pracuje on na wyższych obrotach.

W przypadku używania biopaliwa nie obserwuje się istotnych różnic w emisji CO przy różnych obrotach i zimnym silniku (średnio 130 ppm), natomiast nagrzanie silnika powoduje zwiększenie emisji CO przy wyższych obrotach (92 ppm), w porównaniu do niższych obrotów (70 ppm). Emisja NO, NO₂ jest jednakowa dla zimnego i nagrzanego silnika, dodatkowo w przypadku NO przy niższych obrotach odnotowuje się wyższą emisję (28 ppm), niż przy wyższych (15 ppm). Dla NO₂ poziom emisji jest stały na poziomie 10 ppm. Na rys. 2 przedstawiono uzyskane wyniki w przypadku zimnego silnika, natomiast na rys. 3 w przypadku silnika, w którym temperatura oleju wynosi 82°C.

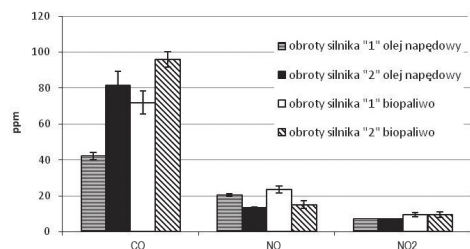
Stężenie SO₂ w spalinach, zarówno dla oleju napędowego, jak i dla biopaliwa, niezależnie od obrotów silnika i jego temperatury wynosiło średnio 2 ppm.

Uzyskiwane przez nas wyniki porównania składu frakcji gazowej spalin z oleju napędowego i biopaliwa wskazują na istotne różnice wynikające z warunków pracy. Podczas gdy poziom NO_x i CO w czasie pracy zimnego silnika jest niższy dla biopaliwa, to po nagraniu silnika obie wartości odpowiednio porównywane są wyższe dla biopaliwa. O ile dane literaturowe wskazują jednoznacznie na wyższą emisję NO_x dla biopaliw [4], to w przypadku emisji CO sugerowana jest jego mniejsza zawartość.

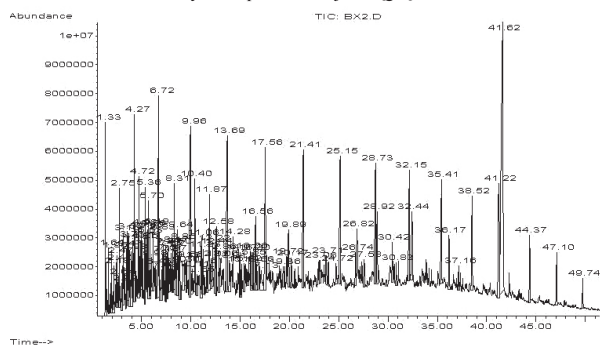
Chromatogram oleju napędowego i biopaliwa używanych podczas pracy silnika przedstawiono na rys. 4 i 5 odpowiednio. Olej napędowy jest mieszaniną blisko 100 związków, podczas gdy biopaliwo jedynie 20. Zestawienie najważniejszych składników oleju napędowego i biopaliwa zamieszczono w tab. 1. wraz z ich procentową zawartością (Z) oraz czasem retencji (RT) dla identyfikacji na odpowiednich chromatografach.



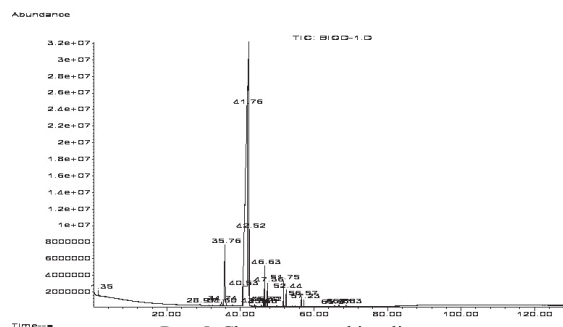
Rys. 2. Porównanie składu spalin z oleju napędowego i biopaliwa dla zimnego silnika



Rys. 3. Porównanie składu spalin z oleju napędowego i biopaliwa dla silnika, w którym temperatura oleju osiągnęła 82°C



Rys. 4. Chromatogram oleju napędowego



Rys. 5. Chromatogram biopaliwa

Tab. 1. Związki występujące w oleju napędowym i biopaliwie w stężeniu objętościowym >2%. Z – zawartość, RT – czas retencji

	biopaliwo		olej napędowy	
	Z %	RT	Z %	RT
ester metylowy kw. oktadekadienowego	72,04	41,76	2,97	41,22
ester metylowy kw. palmitynowego	11,13	35,76	< 2	36,17
ester metylowy kw. stearynowego	4,01	42,52	11,22	41,62
ester metylowy kw. eikozenowego	3,61	46,63	–	–
metyl kw. oktadekadienowego	2,02	40,53	–	–
undekan	–	–	3,09	6,72
dodekan	–	–	3,03	9,96
tridekan	–	–	2,85	13,69
tetradekan	–	–	2,95	17,56
pentadekan	–	–	2,75	21,41
heksadekan	–	–	2,45	25,15
heptadekan	–	–	2,37	28,73
oktadekan	–	–	2,04	32,15

Jednocześnie trwają próby określenia jakie związki ulegają w największej ilości zaadsorbowaniu na powierzchni cząstek stałych obecnych w spalinach pochodzących zarówno ze spalania oleju napędowego, jak i biopaliwa, jednak dotychczas używane metody ekstrakcji i analizy nie przyniosły oczekiwanych rezultatów.

Podsumowanie

Budowane stanowisko do generowania i analizy spalin z silnika wysokoprężnego umożliwia odtworzenie realnych warunków powstawania zanieczyszczeń. Jednocześnie poddając bieżącemu monitoringowi skład używanego paliwa oraz powstających w wyniku jego spalania zanieczyszczeń, zarówno w postaci gazowej, jak i w postaci stałej możliwe jest uzyskanie zależności wiążących skład mieszaniny paliwowej i skład powstających zanieczyszczeń. Ponieważ budowane stanowisko planuje się w dalszym etapie badań wykorzystać do określania wpływu zanieczyszczeń emitowanych z silnika *Diesla* na drogi oddechowe człowieka, dlatego istotne jest posiadanie danych odnoszących się do pracy konkretnego modelu silnika, bo jak pokazały wyniki, emisja CO różni się od danych literaturowych i również z tego powodu nie możemy korzystać z dostępnych w literaturze danych o składzie oleju napędowego i biopaliwa [5] oraz składzie spalin [6].

LITERATURA

- [1] J.D. Power and Associates Reports (16.01.2008): <http://businesscenter.jpowers.com/news/pressrelease.aspx?ID=2008010>
- [2] REN21 Renewables 2009 Global Status Report, www.ren21.net
- [3] N. Kunzli, R. Kaiser, S. Medina, M. Studnicka, O. Channel, P. Filinger, M. Herry, F. Horak, P. Qenel, J. Schneider, R. Steethaler, J. Vergnaud, H. Sommer: *Lancet* **256**: 759 (2000).
- [4] F. Payri, V. R. Bermúdez, B. Tormos, W. G. Linares: *Atmospheric Environment* **43**, 1273 (2009).
- [5] S.P. Singh, D. Singh: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **14**, 200 (2010).
- [6] M. Pośniak, I. Makhniashvili, E. Koziel, J. Kowalska: *Bezpieczeństwo pracy* **9**, 11 (2001).

Praca realizowana w ramach projektu zamawianego PBZ-MEiN-3/2/2006 pt. „Inżynieria procesów ograniczenia emisji oraz utylizacji gazów szkodliwych i cieplarnianych.”