

WPLYW DODATKÓW PALIWOWYCH NA SKŁAD SPALIN SILNIKÓW O ZAPŁONIE SAMOCZYNNYM

Anna MUSIALIK-PIOTROWSKA, Tomasz BUKATA
Politechnika Wrocławska, Wydział Inżynierii Środowiska
ul. Wybrzeże S. Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław
anna.musialik-piotrowska@pwr.wroc.pl

STRESZCZENIE

Przedstawiono wyniki analizy składu spalin emitowanych z silnika o zapłonie samoczynnym podczas spalania emulsji wodno-paliwowych, o zawartości 10% obj. wody lub roztworu H_2O_2 w handlowym oleju napędowym (ON) i porównano ze składem spalin podczas spalania samego ON. Analizowano stężenia NO i sumy NO_x , tlenu węgla i sumy węglowodorów oraz lotnych związków organicznych, w rozbiciu na węglowodory aromatyczne, aldehydy i pozostałe związki. Spalanie emulsji spowodowało znaczące obniżenie stężeń tlenków azotu (ale tylko przy małym obciążeniu silnika) i nieznacznie zadymienia spalin, natomiast wzrost stężeń CO, węglowodorów aromatycznych i największy, w niektórych warunkach pracy silnika aż 10-krotny wzrost stężeń aldehydów, typowych produktów niepełnego spalania związków organicznych.

1. Wstęp

Rozwój środków transportu ma charakter globalny i jego tempo jest nieprzewidywalne. I tak, w roku 1950, przy stanie ludności około 3 mld użytkowano około 100 mln pojazdów. Prognozy na rok 2010 przewidywały ponad dwukrotny wzrost liczby ludności (do około 7 mld), podczas gdy liczba użytkowanych pojazdów może wzrosnąć aż do 1,5 miliarda, co daje wzrost piętnastokrotny. Szczególnie intensywny wzrost liczby pojazdów samochodowych, związany z gwałtownym rozwojem technologicznym, ma miejsce w krajach dalekiego wschodu. Przewidywano, że tylko w Pekinie liczba zarejestrowanych pojazdów wzrośnie z 2,3 mln w roku 2000 do 4,3 mln sztuk w roku 2010 [1]. Również w Polsce obserwuje się wyraźny wzrost liczby zarejestrowanych pojazdów, w porównaniu z latami ubiegłymi (tabela 1) [2].

Tabela 1. Liczba zarejestrowanych pojazdów w wybranych sektorach (w tys. sztuk) w latach 1970, 1990, 2000 i 2007

Sektor	1970	1990	2000	2007
Samochody osobowe	479	5 261	9 991	14 589
Samochody ciężarowe	274	1 045	1 879	2 521
Autobusy		80	82	88

Paliwa konwencjonalne, do których zaliczamy benzynę i olej napędowy (ON), stanowią mieszaninę rozmaitych węglowodorów. W efekcie ich całkowitego spalania w silnikach, zarówno o zapłonie iskrowym (ZI), zasilanych benzyną, jak i o zapłonie samoczynnym (ZS), zasilanych olejem napędowym, powinno się otrzymać jedynie związki nieszkodliwe CO_2 i wodę. Podobnie jak we wszystkich procesach spalania paliw węglowodorowych w spalinach można wykryć cały szereg zanieczyszczeń powietrza – tlenek węgla, węglowodory, a wśród nich szczególnie niebezpieczne wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA), tlenki azotu, tlenki siarki i cząstki stałe. Wielkość emisji zanieczyszczeń powietrza typowych dla motoryzacji, na tle innych źródeł, w roku 2006 przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Wielkość emisji (tys. Mg) w roku 2006 z wybranych procesów spalania [2]

Sektor	SO ₂	NO _x	CO	NMLZO*	Pył
Ogółem, a w tym:	1 221,9	810,9	3 333,4	885,4	457,5
Energetyka zawodowa	688,5	262,2	42,6	12,2	42,0
Sektor komunalny (ciepłownictwo, mieszkalnictwo, usługi, itp.)	314,0	108,6	1 763,3	110,0	186,2
Procesy spalania w przemyśle	204,6	114,0	18,2	5,7	48,9
Transport drogowy i inne pojazdy	1,6	312,0	725,6	143,0	53,0

* niemetanowe lotne związki organiczne

Udział motoryzacji w zanieczyszczeniu powietrza miejskiego wybranymi zanieczyszczeniami powietrza jest jeszcze większy i sięga około 70% w przypadku tlenku węgla, około 50% w emisji tlenków azotu i węglowodorów, około 20% w emisji pyłów i sadzy, natomiast jest znacznie niższy w przypadku SO₂ i wynosi około 2%.

Zanieczyszczenia powietrza stanowią do 10% obj. spalin. Emisja zanieczyszczeń zależy od rodzaju paliwa i sposobu jego spalania w silniku. W przypadku silników o zapłonie samoczynnym (ZS), zasilanych olejem napędowym (ON), w których spalanie przebiega zawsze z dużym nadmiarem powietrza, podstawowym problemem jest emisja tlenków azotu i cząstek stałych, tzw. sadzy dieslowskiej. Szkodliwość tzw. „sadzy dieslowskiej” wynika ze zdolności adsorpcji na jej powierzchni związków organicznych, w tym tak szkodliwych wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA), tworzących tzw. organiczną frakcję rozpuszczalną (SOF – *Soluble Organic Fraction*), związków rozpuszczalnych w chlorku metylenu. Sadza dieslowska charakteryzuje się zdolnością do łączenia się w coraz większe łańcuchy. Początkowo niewielkie cząstki sadzy, o wielkości molekuł paliwa (oleju napędowego), poprzez molekuły prekursora sadzy, zarodki i sferolity, łatwo łączą się w łańcuchy, dochodząc do rozmiarów cząstek o wymiarach 200-500 nm.

Aby uniknąć oczyszczania spalin silnikowych, emisję zanieczyszczeń można ograniczać metodami pierwotnymi, polegającymi na ulepszeniu konstrukcji silnika i całego układu dolotowego paliwa. Innym rozwiązaniem jest stosowanie niekonwencjonalnych napędów i paliw. Tu najczęściej wymienia się biopaliwa, np. estry kwasów tłuszczowych pochodzenia roślinnego (FAME – *Fatty Acid Metyl Esters*), stosowane jako dodatek w różnych proporcjach do ON. Estry te nie zawierają w swym składzie ciężkich węglowodorów, w tym WWA, zawartość siarki jest śladowa i są one związkami całkowicie biodegradowalnymi. Dzięki zastosowaniu mieszanin ON i estrów można zmniejszyć emisję przede wszystkim cząstek stałych (o około 20-50%), tlenku węgla (11-25%), węglowodorów 20-32%), może wzrastać jednak emisja NO_x [3, 4].

Inną propozycją jest zasilanie silników o ZS emulsjami wodno-paliwowymi, w których zbiorowisko kropeł wody jest otoczone warstwą płynnego paliwa. Po rozpyleniu takiej emulsji część kropeł wody występuje w obłoku paliwa. W wysokiej temperaturze panującej w komorze spalania najpierw ma miejsce odparowanie wody, potem paliwa. Parująca woda wspomaga rozdrobnieniu kropeł paliwa, jednocześnie powodując bardzo dobre ich wymieszanie z powietrzem, co sprzyja całkowitemu spalaniu paliwa, przy nieco niższej temperaturze. W efekcie spalania emulsji zmniejsza się zawartość podstawowych zanieczyszczeń spalin z silników o ZS – sadzy oraz tlenków azotu w spalinach. Parametrem charakteryzującym emulsje wodno-olejowe jest udział wody w objętości paliwa. Praktycznie zawartość ta nie przekracza 30%. Stosowane przez firmę Elf paliwo pod nazwą Aquazole, zawierające około 13% wody oraz 2% dodatków stabilizujących w niskozasiarczonym ON, powoduje zmniejszenie emisji NO_x o 15-30% a cząstek stałych o 10-50%. Jednocześnie obserwuje się spadek mocy silnika o około 4% i o 10-15% wzrasta zużycie paliwa w

porównaniu z samym ON [5]. Inne badania wskazują na obniżenie emisji NO_x i zadymienia przy jednoczesnym wzroście stężeń CO i związków organicznych [6].

Celem pracy było porównanie składu spalin silnika o zapłonie samoczynnym zasilanym czystym handlowym ON oraz emulsjami wodno-olejowymi, zawierającymi 10% obj. wody destylowanej lub taką samą ilość 30% wodnego roztworu H₂O₂.

2. Metodyka badań

Badania prowadzono na silniku o ZS typu S301D z hamulcem obciążeniowym hydraulicznym typu HWZ1, wyposażonym w tensometryczny przetwornik siły z osprzętem umożliwiającym pomiar i kontrolę parametrów pracy silnika. W celu odwzorowania charakterystycznego standardowego trybu jazdy badania prowadzono dla trzech wartości prędkości obrotowej wału korbowego 1200, 1400 i 1600 obr/min i dwóch wartości momentu obrotowego wału korbowego 10,72 i 21,28 Nm. Badania przeprowadzono dla następujących punktów pracy silnika:

Punkt 1: n = 1200 obr/min;	Mo = 10,72 Nm
Punkt 2: n = 1200 obr/min	Mo = 21,28 Nm
Punkt 3: n = 1400 obr/min;	Mo = 10,72 Nm
Punkt 4: n = 1400 obr/min	Mo = 21,28 Nm
Punkt 5: n = 1600 obr/min	Mo = 10,72 Nm
Punkt 6: n = 1600 obr/min	Mo = 21,28 Nm

Do badań, obok handlowego oleju napędowego letniego (ON) wytworzono dwie emulsje wodno-olejowe, o zawartości 10% obj. wody destylowanej w ON (oznaczono symbolem ON+) oraz 10% zawartości 30% roztworu H₂O₂ (ON++). Emulsje wykonano w Instytucie Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Politechniki Wrocławskiej przy pomocy płuczki ultradźwiękowej.

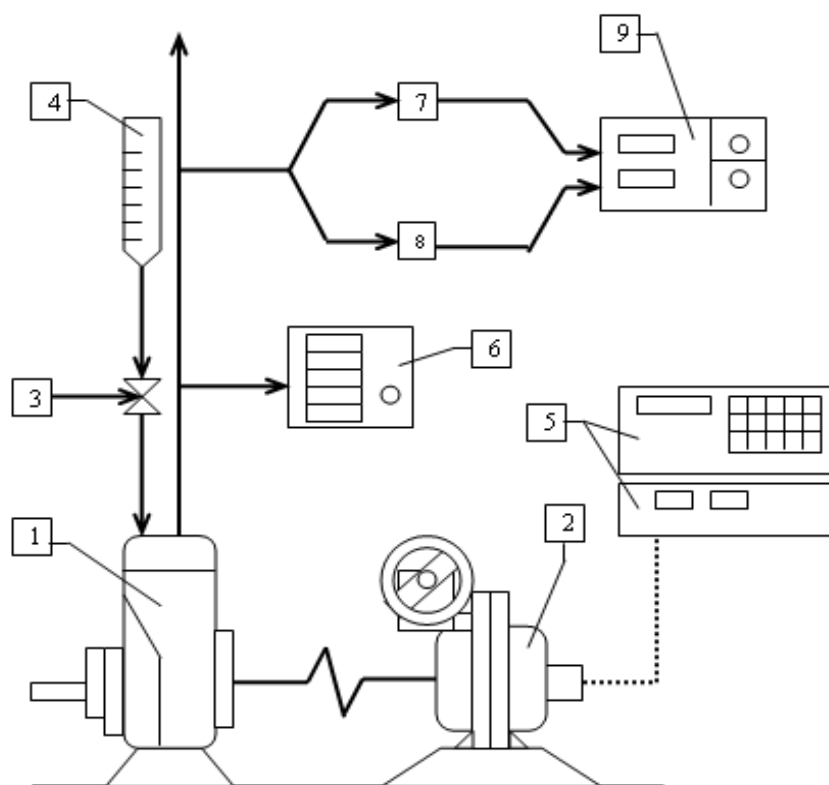
2.1. Metody analityczne

Stężenia normowanych zanieczyszczeń w spalinach (tlenek węgla, tlenki azotu, suma węglowodorów), pobieranych z układu wylotowego spalin przy pomocy sondy, oznaczano przy pomocy analizatorów. Stężenia tlenu (zakres 0-21% obj. – metoda elektrochemiczna), CO₂ (zakres 0-20% obj.), CO (zakres 0-10% obj.) i węglowodorów (zakres 0-0,2% obj.) mierzono analizatorem NDIR Infracal 2000 firmy Junkalor, działającym na zasadzie absorpcji w podczerwieni, stężenie tlenków azotu (w zakresie 10-10 000 ppm) chemiluminescencyjnym analizatorem CLD PM-2000 firmy Pireburg GmbH Neuss. Oznaczano również zadymienie spalin przy użyciu dymomierza AVL 415 firmy AVL Austria, mierzącym zadymienie wg skali Boscha w zakresie 0-10 FSN (*Filter Smoke Number*). Wszystkie z tych urządzeń odpowiadają normom dla prowadzenia pomiarów podczas standardowych procedur homologacyjnych.

Przeprowadzono również analizę jakościową i ilościową lotnych związków organicznych (LZO) w spalinach. Stężenia formaldehydu (aldehydu mrówkowego) oznaczano kolorymetrycznie, zgodnie z normą PN-71/C-04593, po zaabsorbowaniu aldehydu w wodzie. Pozostałe związki z grupy LZO zagęszczano na węglu aktywnym i po desorpcji CS₂ analizowano chromatograficznie, przy pomocy chromatografu gazowego Hewlett-Packard HP 5890 seria II, wyposażonego w kolumnę kapilarną HP PONA, o długości 50 m z filmem fazy stacjonarnej o grubości 0,5 μm. Analizę jakościową dokonano w oparciu o czasy retencji charakterystycznych dla określonego związku, natomiast analizę ilościową na podstawie odpowiednio sporządzonych wzorców. Próbkę spalin pobierano z układu wylotowego przy

pomocy sondy, a następnie gaz rozdzielano na dwie drogi – część spalin przepuszczano przez płuczki pochłaniające, zawierające 10 cm³ wody destylowanej (absorpcja formaldehydu) drugą część przepuszczano przez rurkę z węglem aktywnym (zagęszczenie LZO). Próby pobierano równocześnie przy pomocy dwukanałowego aspiratora. Natężenie przepływu spalin przez oba układy wynosiło 20 dm³/h, a czas poboru wynosił 30 minut.

Schemat stanowiska badawczego przedstawiono na rys. 1.

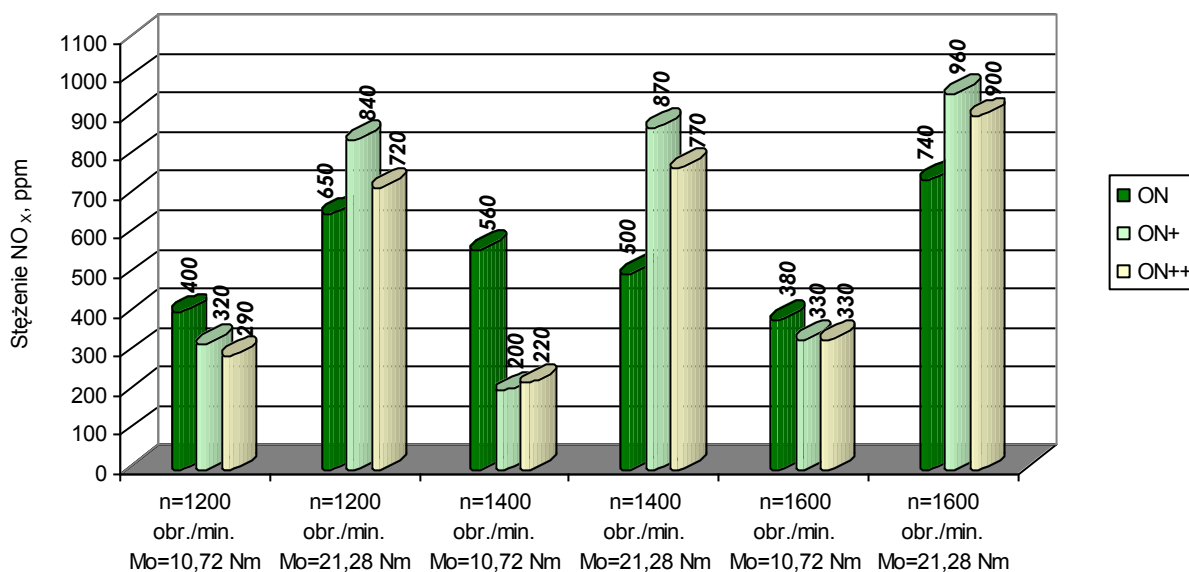


Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego: 1 – silnik, 2 – hamulec obciążeniowy, 3 – doprowadzenie paliwa, 4 – instalacja zasilania paliwem badawczym, 5 – mierniki prędkości obrotowej i momentu obrotowego, 6 – analizatory gazów spalinowych, 7 – płuczka pochłaniająca, 8 – rurka z adsorbentem (węglem aktywnym), 9 – aspirator dwukanałowy

3. Wyniki badań

3.1. Wyniki analiz stężeń normowanych zanieczyszczeń powietrza

Wyniki analiz stężeń tlenków azotu (NO_x) dla przebadanych paliw przedstawiono na rys. 2, natomiast w tabeli 3 przedstawiono zmianę stężeń NO i NO_x w spalinach w zależności od spalane go paliwa, dla ustalonych warunków pracy silnika.



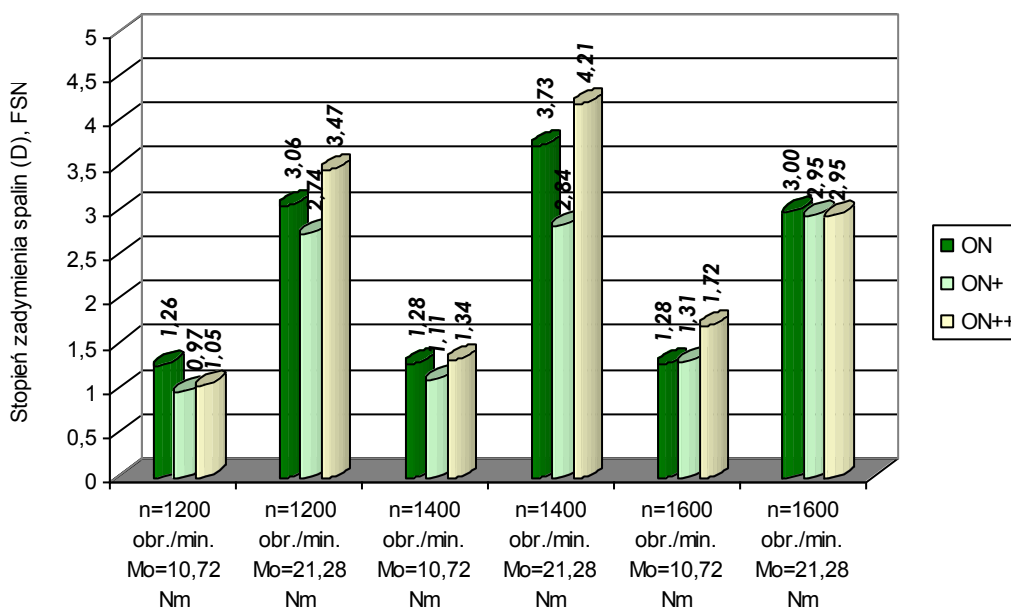
Rys. 2. Stężenie sumy tlenków azotu (NO_x) w spalinach w zależności od zastosowanego paliwa przy ustalonych parametrach pracy silnika

Tabela 3. Zmiana stężeń NO i sumy tlenków azotu NO_x w spalinach w zależności od rodzaju paliwa przy ustalonych parametrach pracy silnika

Parametry pracy silnika		Zmiana stężenia NO [%]		Zmiana stężenia NO_x [%]	
n [obr./min]	Mo [Nm]	ON+	ON++	ON+	ON++
1200	10,72	- 33,3	- 33,3	- 20,0	- 27,5
1200	21,28	24,1	0,0	29,2	10,8
1400	10,72	- 73,4	- 70,2	- 64,3	- 60,7
1400	21,28	43,5	13,0	74,0	54,0
1600	10,72	- 28,1	- 21,9	- 13,2	- 13,2
1600	21,28	9,4	6,2	29,3	21,6

Analiza stężeń NO i sumy NO_x wykazała, że tlenek azotu stanowi 67-84% sumy tlenków azotu. Ogólnie można stwierdzić, że wyższe stężenia zarówno NO jak i sumy NO_x , niezależnie od spalane go paliwa, wystąpiły podczas pracy silnika przy wyższym obciążeniu (wyższy moment obrotowy). Wynika to z wyższej temperatury spalania paliwa. Najwyższe stężenia zarówno NO jak i NO_x dla wszystkich spalanych paliw stwierdzono podczas pracy silnika przy najwyższych parametrach prędkości i momentu obrotowego ($n = 1600$ obr./min i $Mo = 21,28$ Nm). Spalanie obu emulsji, a szczególnie wodno-olejowej, spowodowało wzrost stężeń NO i NO_x . Największy wzrost stężeń tlenków azotu zaobserwowano w punkcie 4 pracy silnika ($n = 1400$ obr./min i $Mo = 21,28$ Nm). Wzrost stężeń NO sięgał 43,5% i 13% odpowiednio dla emulsji wodnej i zawierającej H_2O_2 , natomiast wzrost stężeń sumy NO_x wyniósł aż 74% i 54%, odpowiednio dla emulsji z wodą i perhydrolem. Spodziewane zmniejszenie stężeń zarówno NO jak i sumy tlenków azotu podczas spalania emulsji wodno-paliwowych uzyskano jedynie przy pracy silnika mniejszym momencie obrotowym i wyniosło ono 70-73% oraz 60-64% odpowiednio dla emulsji zawierającej wodę i perhydroł.

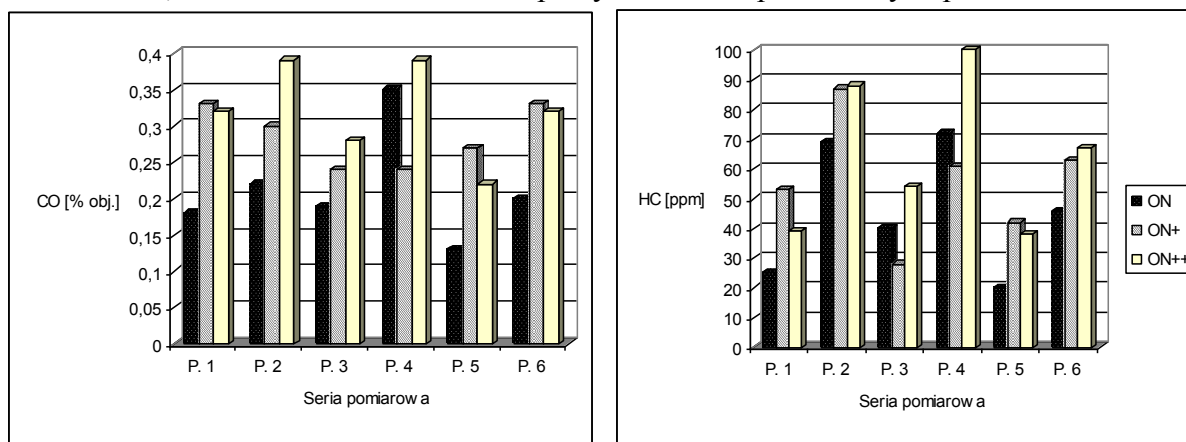
Na rys. 3. przedstawiono wyniki pomiarów zadymienia spalin podczas spalania wszystkich paliw.



Rys. 3. Zadymienie spalin w zależności od spalanej paliwa przy ustalonych parametrach pracy silnika

Ogólnie wyższe zadymienie spalin zaobserwowano, niezależnie od rodzaju paliwa i prędkości obrotowej silnika, podczas pracy silnika przy większym obciążeniu. Zadymienie spalin w tych warunkach wahało się w granicach 2,74-4,21 FSN (w skali Boscha), podczas gdy przy niższym obciążeniu było ponad dwukrotnie niższe. Spalanie emulsji wodno-olejowych, a zwłaszcza paliwa ON+, miało korzystny wpływ na stopień zadymienia spalin. Spalanie emulsji wodno-olejowej praktycznie w każdych warunkach pracy silnika powodowało mniejsze zadymienie spalin, w porównaniu z samym ON, w największym stopniu, o około 25% w punkcie 4. pracy silnika. Dodatek perhydrofluorowodoru jedynie w punkcie 1. pracy silnika spowodował o 17% mniejsze zadymienie spalin i nieznaczne w punkcie 6; w pozostałych warunkach zadymienie spalin nieco wzrosło w porównaniu do samego ON, maksymalnie o około 25% w punkcie 5.

Na rys. 4 przedstawiono stężenia tlenu węgla i sumy węglowodorów, mierzonych analizatorem, w zależności od warunków pracy silnika dla przebadanych paliw.



Rys. 4. Stężenia tlenu węgla oraz sumy węglowodorów w spalinach w zależności od rodzaju paliwa i warunków pracy silnika

Ogólnie można stwierdzić wyższe stężenia CO i HC, niezależnie od rodzaju spalanej paliwa i prędkości obrotowej silnika, przy wyższym momencie obrotowym. Dodatek zarówno wody jak i perhydrołu do ON miał natomiast niekorzystny wpływ na stężenia tlenu węgla i węglowodorów w spalinach. W przypadku obu emulsji stężenia tych związków w niemal wszystkich warunkach pracy silnika były wyższe, niż gdy spalany był sam ON. Podczas spalania samego ON najwyższe stężenia CO i HC, wynoszące odpowiednio 0,35% obj. i 72 ppm, oznaczono w punkcie 4 pracy silnika – przy wyższym momencie obrotowym i prędkości obrotowej 1400 obr/min. W tych warunkach pracy silnika wykryto również najwyższe stężenia, zarówno CO jak i HC, podczas spalania emulsji z perhydrolem. Były one wyższe niż podczas spalania samego ON i wynosiły odpowiednio 0,39% obj. i 100 ppm, dla CO i HC. Jednocześnie był to jedyny punkt pracy, w którym stężenia CO i HC były niższe podczas spalania paliwa ON+, w porównaniu do ich stężeń podczas spalania samego ON i wyniosły odpowiednio 0,24% obj. i 61 ppm. Najniższe stężenia CO i HC wystąpiły w punkcie 5 pracy silnika, podczas pracy z mniejszym Mo i najwyższej prędkości obrotowej. Niestety nie miało miejsca spodziewane obniżenie stężeń obu typów zanieczyszczeń ze wzrostem obciążenia silnika. W warunkach wyższych obciążeń, co jednocześnie przekłada się na wyższą temperaturę spalania, całkowite i zupełne spalanie paliwa powinno być ułatwione.

Spalanie emulsji paliwowych nie miało natomiast istotnego wpływu na stężenia CO₂ i tlenu. Zgodnie z oczekiwaniem wyższe stężenia CO₂ wystąpiły przy wyższym obciążeniu silnika i wahały się w granicach 6,2-7,9% obj., podczas gdy przy niższym obciążeniu zakres ten wynosił 3,4-4,2% obj. Podczas spalania emulsji z wodą w punktach 2 i 6 zaobserwowano niewielki, wynoszący około 4%, spadek stężeń CO₂, natomiast spalanie emulsji z perhydrolem spowodowało obniżenie stężeń w czterech punktach pracy, a największy spadek stężenia, sięgający 7,4%, zaobserwowano w punkcie 6 pracy silnika. Również stężenie tlenu zgodnie z oczekiwaniem było wyższe przy niższym obciążeniu silnika i sięgało 15,7-16,8% obj., natomiast przy wyższym obciążeniu silnika wahało się w granicach 11-13,75% obj. Wynika to z większego zużycia tlenu do spalania paliwa przy wyższych obciążeniach silnika. Spalanie obu emulsji paliwowych spowodowało nieznaczny, nie przekraczający 2,5%, spadek stężenia tlenu przy niższym momencie obrotowym, niezależnie od prędkości obrotowej silnika. Przy wyższym Mo silnika obserwowano wzrost stężenia tlenu w spalinach ze wzrostem prędkości obrotowej i w punkcie 6. pracy, a więc zarówno przy najwyższym obciążeniu jak i prędkości obrotowej, wzrost stężenia tlenu podczas spalania emulsji wodnej i z perhydrolem wyniósł odpowiednio 5,1 i 9,4%. To zjawisko można tłumaczyć rosnącym zużyciem tlenu, zawartego w cząsteczce wody czy perhydrołu, do spalania wzrastających w kolejnych seriach ilości paliwa.

3.2. Wyniki analiz LZO w spalinach

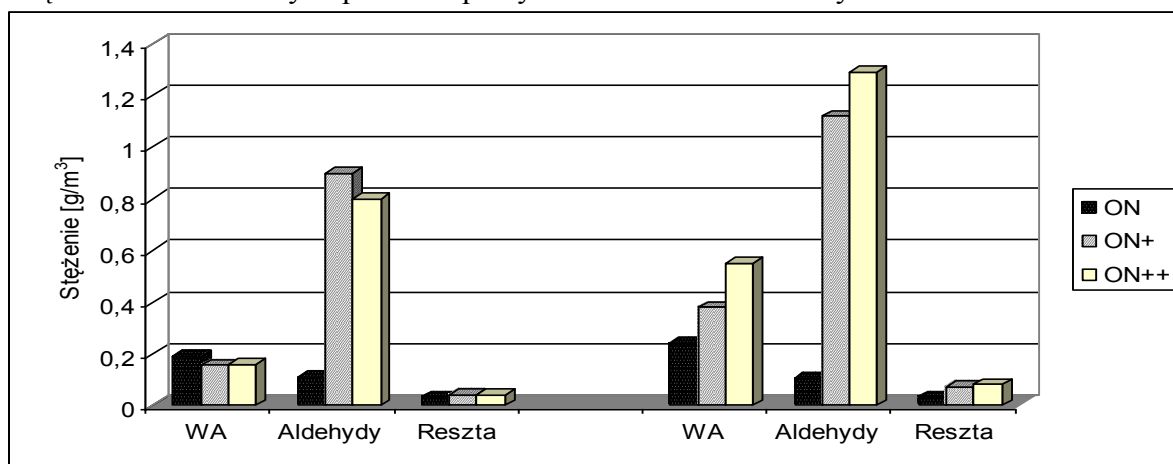
Spośród LZO w spalinach odrębną metodą, kolorymetryczną, oznaczano formaldehyd, pozostałe związki z tej grupy zagęszczano na węglu aktywnym i po ekstrakcji CS₂ analizowano chromatograficznie. Chromatogram wykazał obecność szeregu pików, z czego jakościowo i ilościowo oznaczono 14 związków, dających największe piki chromatograficzne. W grupie aldehydów, oprócz formaldehydu w spalinach wykryto aldehyd octowy, propionowy, akrylowy, alkohole (amyłowy, n-butyłowy i izobutyłowy), metyloizobutylo keton oraz węglowodory – aromatyczne (benzen, toluen, ksyleny) i alkany (heptan, oktan, dekan).

Analiza spalin podczas spalania samego oleju napędowego wykazała, że wśród węglowodorów aromatycznych (WA) w najwyższych stężeniach występował benzen (maks. 0,126 g/m³). Jego stężenie było wyższe przy większym Mo i rosło ze wzrostem prędkości

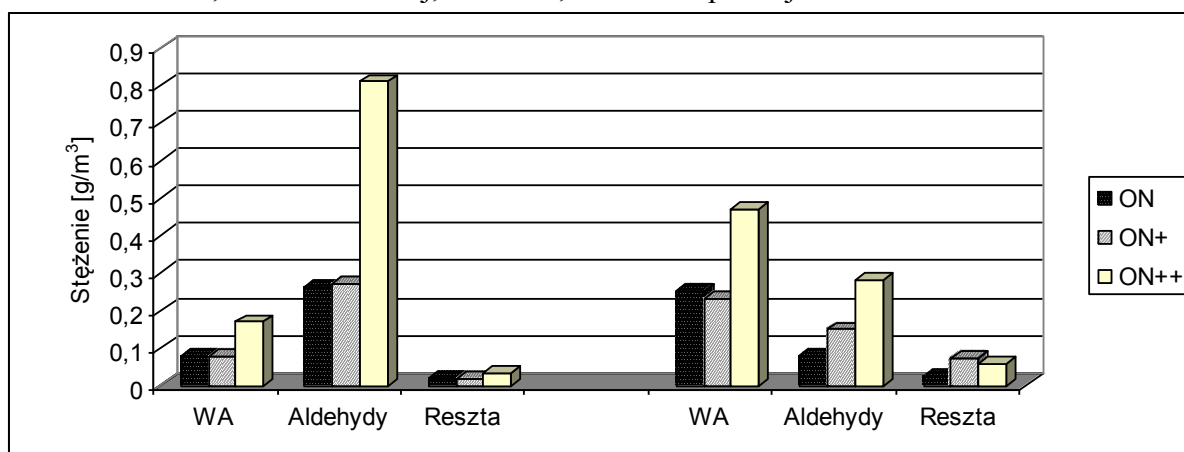
obrotowej silnika. Podobną tendencję zmian stężeń zaobserwowano dla pozostałych WA, ale ich stężenia były znacznie niższe i sięgały maksymalnie 0,11 i 0,037 g/m³, odpowiednio dla ksyłenu i toluenu. W znacznie niższych stężeniach, o co najmniej dwa rzędy w porównaniu z benzenem, występowały alkanany i były podobne dla wszystkich oznaczonych związków.

W grupie tlenowych pochodnych węglowodorów, w najwyższych stężeniach wystąpiły aldehydy, szczególnie aldehyd octowy, typowy produkt niepełnego spalania LZO reprezentujących związki organiczne o różnorodnej budowie [7-9]. Jego stężenie wahało się w granicach 0,03-0,063 g/m³. Stężenia pozostałych oznaczonych aldehydów były niższe i wynosiły około 0,04 g/m³, 0,03 g/m³ oraz 0,02 g/m³ odpowiednio dla aldehydu propionowego, akroleiny i formaldehydu. Stężenia pozostałych związków tlenopochodnych nie przekraczały wartości 0,007 g/m³.

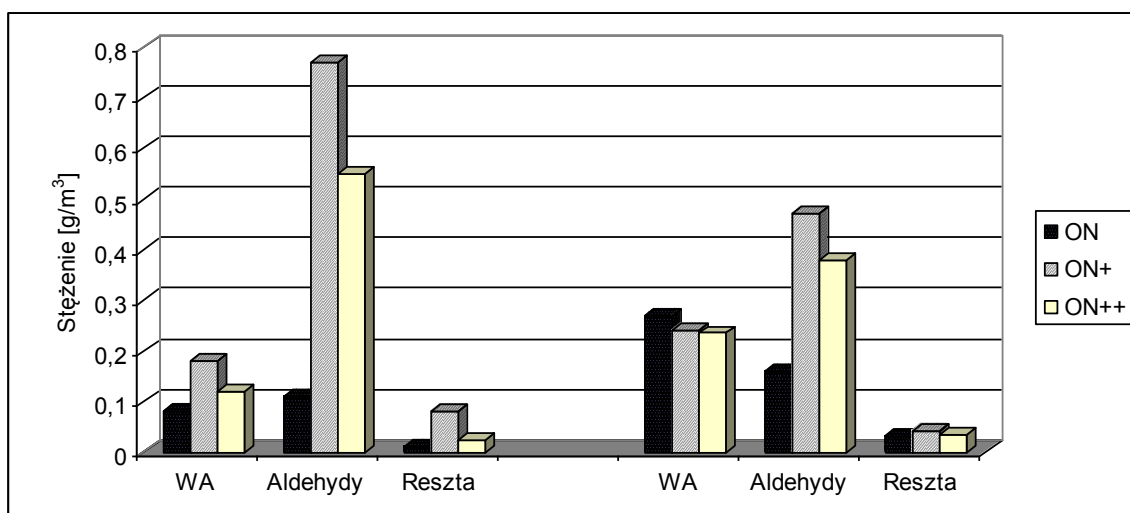
Spalanie obu emulsji spowodowało wzrost stężeń związków organicznych reprezentujących wszystkie grupy LZO. Podobny wynik uzyskano dla sumy węglowodorów oznaczonej analizatorem Infracyt. Zmiany stężeń sumy LZO w rozbiciu na grupę węglowodorów aromatycznych (WA), aldehydów i pozostałych zidentyfikowanych związków dla określonych punktów pracy silnika zestawiono na rys. 5-7.



Rys. 5. Sumaryczne stężenia [g/m³] węglowodorów aromatycznych (WA), aldehydów i pozostałych zidentyfikowanych związków organicznych (alkany, ketony i alkohole) w zależności od spalanego paliwa; prędkości obrotowa 1200 obr./min; Mo = 10,72 Nm – z lewej, Mo = 21,28 Nm – z prawej



Rys. 6. Sumaryczne stężenia [g/m³] węglowodorów aromatycznych (WA), aldehydów i pozostałych zidentyfikowanych związków organicznych (alkany, ketony i alkohole) w zależności od spalanego paliwa; prędkość obrotowa 1400 obr./min; Mo = 10,72 Nm – z lewej, Mo = 21,28 Nm – z prawej



Rys. 7. Sumaryczne stężenia [g/m^3] węglowodorów aromatycznych (WA), aldehydów i pozostałych zidentyfikowanych związków organicznych (alkany, ketony i alkohole) w zależności od spalane paliwa; prędkość obrotowa 1600 obr./min; $M_o = 10,72 \text{ Nm}$ – z lewej, $M_o = 21,28 \text{ Nm}$ – z prawej

Podczas spalania samego ON większe stężenia węglowodorów aromatycznych zaobserwowano przy wyższym obciążeniu silnika i niezależnie od jego prędkości obrotowej wynoszą one około $0,25 \text{ g}/\text{m}^3$. Przy tym obciążeniu silnika spalanie emulsji z wodą powoduje niewielkie obniżenie stężeń WA, natomiast bardzo wyraźny, niemal dwukrotny, wzrost stężeń tych związków nastąpił podczas spalania emulsji z perhydrolem, szczególnie w punktach 3, 4 i 5 pracy silnika.

Stężenie aldehydów, z wyjątkiem serii 3., jest nieco niższe, niż WA i wynosi około $0,1 \text{ g}/\text{m}^3$. Spalanie obu emulsji powoduje znaczący wzrost stężeń sumy aldehydów, szczególnie przy najmniejszej prędkości obrotowej silnika 1 200 obr./min, niemal 8- i ponad 10-krotny, odpowiednio dla mniejszego i większego momentu obrotowego silnika. Taki wynik jest szczególnie niekorzystny ze względu na znaczną szkodliwość aldehydów, nie tylko przez silnie drażniący błony śluzowe i oczy charakter tych związków, ale i znaczny potencjał w tworzeniu wraz z tlenkami azotu smogu fotochemicznego.

Udział pozostałych LZO w ogólnej ich emisji jest znacznie mniejszy, ale i w tej grupie, podczas spalania obu emulsji, obserwuje się wzrost stężeń związków organicznych, w porównaniu do samego ON.

4. Podsumowanie

Analizując otrzymane wyniki można stwierdzić, że spalanie emulsji wodno-olejowych powoduje zmniejszenie emisji najistotniejszych zanieczyszczeń powietrza, wytwarzanych przez silniki wysokoprężne – tlenków azotu oraz zadymienia spalin. Przyczynia się natomiast do wzrostu stężeń lotnych związków organicznych w spalinach, a w tej grupie tak niebezpiecznych węglowodorów aromatycznych czy aldehydów.

Spalanie emulsji wodno-olejowych pomimo poprawy stopnia dyspersji samego paliwa może być utrudnione poprzez obecność wody, balastu obniżającego temperaturę spalania. Takie warunki powinny sprzyjać obniżeniu stężeń tlenków azotu i sadzy. Zaletą spalania emulsji jest możliwość zasilania niż każdego silnika o ZS z bezpośrednim wtryskiem, bez konieczności przeprowadzania jakichkolwiek zmian konstrukcyjnych czy regulacyjnych. Podstawową wadą jest zwykle niska trwałość emulsji wodno-olejowych. Do ich wytwarzania

niezbędne jest stosowanie odpowiednich dodatków – emulgatorów, obniżających napięcie powierzchniowe, a tym samym zwiększając trwałość emulsji. Należy podkreślić, że badania te były prowadzone na silniku o starej konstrukcji i w takich warunkach bardziej uwypuklają się trudności spalania innego niż olej napędowy paliwa.

Obecnie bardzo rzadko stosowane są emulsje wodno-olejowe, głównie jako paliwo dla autobusów miejskich w niektórych miastach Francji czy w USA. Ze względu na możliwość ograniczenia emisji najbardziej szkodliwych zanieczyszczeń powietrza, wytwarzanych przez silniki o ZS, badania nad spalaniem emulsji wodno-paliwowych z pewnością powinny być kontynuowane.

Wyniki badań nad spalaniem emulsji wodno-olejowych wskazują na możliwość ograniczenia emisji niektórych grup zanieczyszczeń powietrza, głównie NO_x i sadzy, jednak aby ograniczyć emisję wszystkich grup zanieczyszczeń, przede wszystkim tlenku węgla i lotnych związków organicznych, łatwo utlenianych katalitycznie, należałoby zastosować kompleksowe systemy oczyszczania spalin.

Autorzy pragną podziękować dr inż. Czesławowi Kolankowi z Instytutu Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Politechniki Wrocławskiej za udostępnienie stanowiska badawczego i życzliwą pomoc w trakcie realizacji badań.

Literatura

1. Environmental Catalysis, red. G. Ertl, H. Knoezinger, J. Weitkamp, wyd. Willey-VCH, Weinheim, 1999
2. Rocznik Statystyczny Ochrona Środowiska, GUS Warszawa, 2008
3. Wrzosek J., Piekarski W.: Udział estru oleju rzepakowego w mieszance paliwowej z olejem napędowym a poziom emisji tlenków azotu, Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa, 2006, nr 8.
4. Ozkan M.: Comparative Study of the Effect of Biodiesel and Diesel Fuel on a Compression Ignition Engine's Performance, Emissions, and Its Cycle by Cycle Variations, Energy Fuels, 2007, v. 21, 3627-3636
5. Bemert L., Strey R.: Diesel-Mikroemulsionen als alternativer Kraftstoff, 5. FAD-Konferenz, 7-8.11.2007 Dresden, 17-25
6. Merkisz J., Piaseczny L.: Wpływ zasilania emulsją paliwowo-wodną na toksyczność I wskaźniki pracy okrętowego, średnioobrotowego silnika spalinowego, J. Kones Comb. Eng., 2001, v. 8, nr 3-4, 294-303
7. Barresi A.A., Baldi G.: Reaction mechanism of ethanol deep oxidation over platinum catalyst, Chem. Eng. Comm., 1993, v. 123, 17-19
8. Blasin-Aube V., Belkouch J., Monceaux L.: General study of catalytic oxidation of various VOCs over $\text{La}_{0,8}\text{Sr}_{0,2}\text{MnO}_{3+x}$ perovskite catalyst – influence of mixture, Appl. Catal. B: Environ., 2003, v. 43, 175-188
9. Linz H.-G., Wittstock K.: Catalytic combustion of solvent containing air on base metal catalysts, Cat. Today, 1966, v. 29, 457-461