

The effect of composition of syngas supplying the spark-ignition engine on the exhaust gas toxicity

Wpływ składu syngazu zasilającego silnik o zapłonie iskrowym na toksyczność spalin

DOI: 10.15199/62.2016.9.5

Three MeH, H₂, CO₂ and CO-contg. syngas mixts. were prepd. and used for supplying the engine to study the toxicity of exhaust gases. The combustion of the studied mixts. resulted in substantially lower contents of CO and hydrocarbons than the combustion of a com. gasoline (comparison test). The content of hydrocarbons in the exhaust gas increased with increasing the MeH content in the syngas.

Przedstawiono wyniki badań przeprowadzonych w celu oceny możliwości zastosowania syngazu do napędzania silnika spalinowego oraz ocenę wpływu jego spalania w silniku na emisję toksycznych składników spalin. W badaniach zastosowano gazy techniczne, z których tworzono mieszanki metanu, tlenu węgla(II), ditlenku węgla i wodoru o różnym składzie ilościowym. Wyeliminowano w ten sposób zmienność parametrów biomasy oraz zanieczyszczenia biogazu. Oceniono jaki skład syngazu jest dla silnika spalinowego najkorzystniejszy z punktu widzenia zarówno pracy silnika, jak również emisji spalin. Zbadano łącznie trzy różne mieszaniny oraz dla porównania przeprowadzono takie same pomiary dla benzyny.

Mimo że w ostatnich latach można zaobserwować wzrost udziału alternatywnych źródeł zasilania pojazdów silnikowych, to jednak paliwa kopalne nadal stanowią główne źródło zasilania silników samochodowych. Poszukiwania nowych systemów napędowych, czy

też nowoczesnych paliw silnikowych wymuszane są wieloma aspektami gospodarczymi, społecznymi i ekologicznymi. Szacuje się, że zasoby ropy naftowej wykorzystywanej do produkcji benzyny i oleju napędowego wystarczą jeszcze na kilkadziesiąt lat. Oprócz tego, konwencjonalne paliwa silnikowe powodują wysoką emisję toksycznych substancji stanowiących składniki spalin, jak np. tlenki azotu, tlenek węgla(II) lub węglowodory¹⁾.

Od wielu lat jako paliwa alternatywne do zasilania pojazdów silnikowych stosowane są takie gazy, jak LPG (*liquefied petroleum gas*) lub CNG (*compressed natural gas*). O ile CNG jest gazem naturalnym (którego zasoby jednak również są ograniczone), to LPG pozyskiwany jest również, podobnie jak benzyna i olej napędowy z ropy naftowej. W przypadku wyczerpania tego surowca, produkcja LPG również się zakończy. Dlatego niezbędne jest poszukiwanie kolejnych paliw możliwych do zasilania silników spalinowych w skali przemysłowej.

Jednym z możliwych rozwiązań jest gaz syntetyczny, tzw. syngaz, którego głównymi składnikami są metan, tlenek węgla(II), ditlenek węgla oraz wodór. Gaz ten, ze względu na swój skład charakteryzuje się dość wysoką kalorycznością, co wskazuje, że możliwe jest jego stosowanie w silniku spalinowym. Syngaz pozyskiwany jest w procesie zgazowania biomasy, zgodnie z procesem Fischera i Tropsha^{2, 3)}. Występuje kilka istotnych problemów związanych z pozyskiwaniem syngazu na skalę przemysłową, jednak po ich rozwiązaniu gaz ten ma szansę stać się popularnym i szeroko dostępnym paliwem alternatywnym. Jednym z głównych problemów jest fakt, że w zależności od składu i parametrów biomasy (jak np. wilgotność), skład syngazu (szczególnie udział czterech głównych składników) może się nieco różnić. Kolejnym są zanieczyszczenia syngazu. W procesie zgazowania, oprócz czterech podstawowych i pożądaných składników syngazu powstaje również wiele innych związków gazowych, ciekłych i stałych, stanowiących zanieczyszczenia, m.in. tlenki siarki, węglowodory, tlenki azotu, pyły i smoły⁴⁾. Niezbędne jest zatem zastosowanie dodatkowej instalacji oczyszczającej produkowany gaz. Ze względu



Dr hab. inż. Anna JANICKA, prof. PWR, w roku 2004 ukończyła studia na Wydziale Inżynierii Środowiska Politechniki Wrocławskiej. W 2008 r. uzyskała stopień doktora nauk technicznych na tym samym Wydziale, a w 2014 r. stopień doktora habilitowanego na Wydziale Maszyn Roboczych i Transportu Politechniki Poznańskiej. Jest profesorem na Wydziale Mechanicznym Politechniki Wrocławskiej Specjalność – ekologia w transporcie.



Mgr inż. Ewelina KOT w roku 2015 ukończyła studia na Wydziale Mechanicznym Politechniki Wrocławskiej. Specjalność – konstrukcja i eksploatacja maszyn.

du na szeroką dostępność biomasy możliwej do wykorzystania w procesie zgazowania, syngaz ma szansę stać się w przyszłości jednym z ważniejszych paliw alternatywnych^{5,6}. Jakie są jednak możliwości i korzyści ekologiczne zasilania tym gazem silnika spalinowego?

Część badawcza

Stanowisko badawcze

Badania zostały wykonane na specjalnie do tego przygotowanym stanowisku badawczym, którego podstawowym elementem był silnik spalinowy. Stanowisko zajmowało dwa pomieszczenia rozdzielone szybą: w jednym pomieszczeniu pracował silnik, drugie stanowiło sterownię do ustalania składu syngazu. Stanowisko składało się z 3 zasadniczych części: (i) układu zasilającego silnik (butle z gazami wyposażone w manometry oraz zawory, mieszalnik gazów, wyświetlacz, rotometry, stacyjka uruchomienia silnika oraz przewody doprowadzające), (ii) układu napędowego (silnik spalinowy wraz z niezbędnym wyposażeniem oraz czujnikami i regulatorami) oraz (iii) elementów dodatkowych (np. analizatory spalin). W badaniach wykorzystano silnik marki Honda typu GX630 o mocy znamionowej 16 kW i stałej prędkości obrotowej. Silnik oraz układ zasilania gazami przedstawiono na rys. 1.

Badane mieszanki gazów

Przed rozpoczęciem badań ustalono skład poszczególnych mieszanek gazów tworzących syngaz. Zgodnie z jego definicją w badaniach wykorzystano gazy techniczne: metan, wodór, ditlenek węgla oraz tlenek węgla(II), będące głównymi składnikami syngazu. Łącznie przebadano 3 mieszanki o różnych udziałach gazów oraz dla porównania benzynę bezołowiową o liczbie oktanowej 95. W tabeli 1 zamieszczono składy poszczególnych mieszanek gazów.

Metodyka badań

Czterosuwowy dwucylindrowy silnik Honda GX630, pod obciążeniem 6 kW zasilano kolejnymi ustalonymi paliwami: benzyną oraz trzema różnymi mieszankami gazów, oznaczonych odpowiednio: mieszanka I, mieszanka II oraz mieszanka III (tabela 1). Mieszanki gazowe podawane do silnika jako syngaz tworzone były na bieżąco podczas badań w układzie zasilania gazami poprzez zmianę przepływu poszczególnych gazów za pomocą rotometrów. Za pomocą odpowiedniego oprogramowania zmieniano ustawienie kąta wyprzedzenia zapłonu dla każdego z paliw w celu ustalenia najbardziej odpowiedniej wartości tego parametru (pod względem parametrów pracy silnika oraz toksyczności spalin). Dla mieszanek gazowych ustalono 4 różne wartości kąta wyprzedzenia zapłonu (5°, 10°, 15° i 23°). Dla mieszanki



Fig. 1. Test station with engine and supply system

Rys. 1. Stanowisko badawcze wraz z układem zasilania gazami

Table 1. Syngas components in mixtures studied, %

Tabela 1. Udział składników syngazu w badanych mieszankach, %

Mieszanka	I	II	III
CO ₂	29	43	41
CO	45	50	54
H ₂	9	3	1
CH ₄	17	5	4

III dodatkowo wykonano również badania przy kącie wyprzedzenia zapłonu równym 30°, a w przypadku benzyny, ze względów praktycznych nie wykonano badań przy kącie wyprzedzenia równym 5° (nieprawidłowy przebieg spalania).

Podczas pracy silnika, za pomocą specjalistycznego programu komputerowego określano podstawowe parametry pracy (prędkość obrotowa, temperatura na obu cylindrach) przy danym ustawieniu wału korbowego. Z wyświetlacza ustawionego przy rotametrach odczytywano również moc dla każdej z trzech faz generatora, a po zsumowaniu obliczano generowaną moc. Do określenia toksyczności spalin silnikowych wykorzystano analizator spalin Infracal. Dzięki temu możliwe było określenie stężeń najważniejszych składników spalin, jak tlenek węgla(II), ditlenek węgla, suma węglowodorów oraz tlen.

W wyniku przeprowadzonych badań dla czterech paliw uzyskano, przy odpowiednim ustawieniu kąta wyprzedzenia zapłonu, prędkość obrotową, toksyczność spalin, moc generowaną oraz temperaturę przy wylocie spalin dla każdego z dwóch cylindrów. Wyniki pomiarów przedstawiono w tabeli 2.



Dr inż. Maria SKRĘTOWICZ w roku 2009 ukończyła studia na Wydziale Inżynierii Środowiska Politechniki Wrocławskiej, a w 2014 r. na Wydziale Mechanicznym tej samej uczelni. W 2013 r. uzyskała stopień doktora nauk technicznych na Wydziale Inżynierii Środowiska Politechniki Wrocławskiej. Jest adiunktem na Wydziale Mechanicznym tej uczelni. Specjalność – ekologia w transporcie.

* Autor do korespondencji:

Katedra Inżynierii Pojazdów, Wydział Mechaniczny, Politechnika
Wrocławska, ul. Braci Gierymskich 164, 51-640 Wrocław, tel./fax.:
(71) 347-79-18, e-mail: maria.skretowicz@pwr.edu.pl



Mgr inż. Radosław WŁOSTOWSKI w roku 2010 ukończył studia na Wydziale Mechanicznym Politechniki Wrocławskiej. Jest asystentem oraz doktorantem na tym samym Wydziale. Specjalność – transport.

Table 2. Results of the measurements

Tabela 2. Wyniki przeprowadzonych pomiarów

Paliwo	Kąt wyprzedzenia zapłonu, °OWK	Prędkość obrotowa, rpm	Toksyeczność spalin, % obj.				Moc, W			Moc generowana, W	Temperatura, °C	
			CO	CO ₂	HC (10 ⁻⁴ obj.)	O ₂	L1	L2	L3	L	L	P
Benzyna	10	2959	4,17	8,6	117	0	2045	2087	2089	6221	689	675
	15	2970	4,15	8,7	120	0	2048	2092	2094	6234	678	656
	23	2988	4,36	8,65	121	0	2034	2095	2097	6246	642	619
Mieszanka I	5	2887	0,65	10,4	36	2,8	2023	2065	2067	6135	751	648
	10	2896	1,21	10,55	53	2,05	2028	2070	2073	6171	718	645
	15	2903	1,03	10,5	56	2,45	2030	2071	2070	6171	723	636
Mieszanka II	5	2843	0,42	15,4	9	0,8	2022	2061	2063	6146	764	720
	10	2858	1,62	15,1	12	0,6	2028	2065	2069	6162	741	724
	15	2865	1,33	15,45	16	0,1	2027	2066	2070	6163	740	717
Mieszanka III	5	2885	1,51	15,6	36	0,3	2026	2066	2072	6164	727	709
	10	2817	0,36	16,95	4	0,45	1978	1932	1938	5848	791	748
	15	2834	0,49	17	1	0,3	1943	2005	2013	5961	768	735
	23	2851	0,72	16,95	21	0,15	2018	2038	2061	6117	757	730
Mieszanka III	23	2874	1,58	16,95	33	0	2029	2069	2073	6171	733	725
	30	2869	1,1	17,15	25	0,05	2034	2075	2078	6187	749	720

Omówienie wyników

Na podstawie uzyskanych wyników, w celu ich łatwej analizy wykonano wykresy zależności mierzonych i ustalonych wielkości lub parametrów (m.in. stężeń poszczególnych składników spalin) dla każdego z badanych paliw. Na rys. 2 przedstawiono poziomy stężeń poszczególnych składni-

ków spalin dla każdego badanego paliwa w zależności od wartości kąta wyprzedzenia zapłonu, a na rys. 3 przedstawiono porównanie poziomów zanieczyszczeń emitowanych przez poszczególne mieszanki.

Jak wynika z rys. 2 i 3, każda z badanych mieszanek powodowała niższą emisję każdego z analizowanych składników spalin niż benzyna. Zasilanie silnika benzyną pozwalało uzyskać więcej mocy,

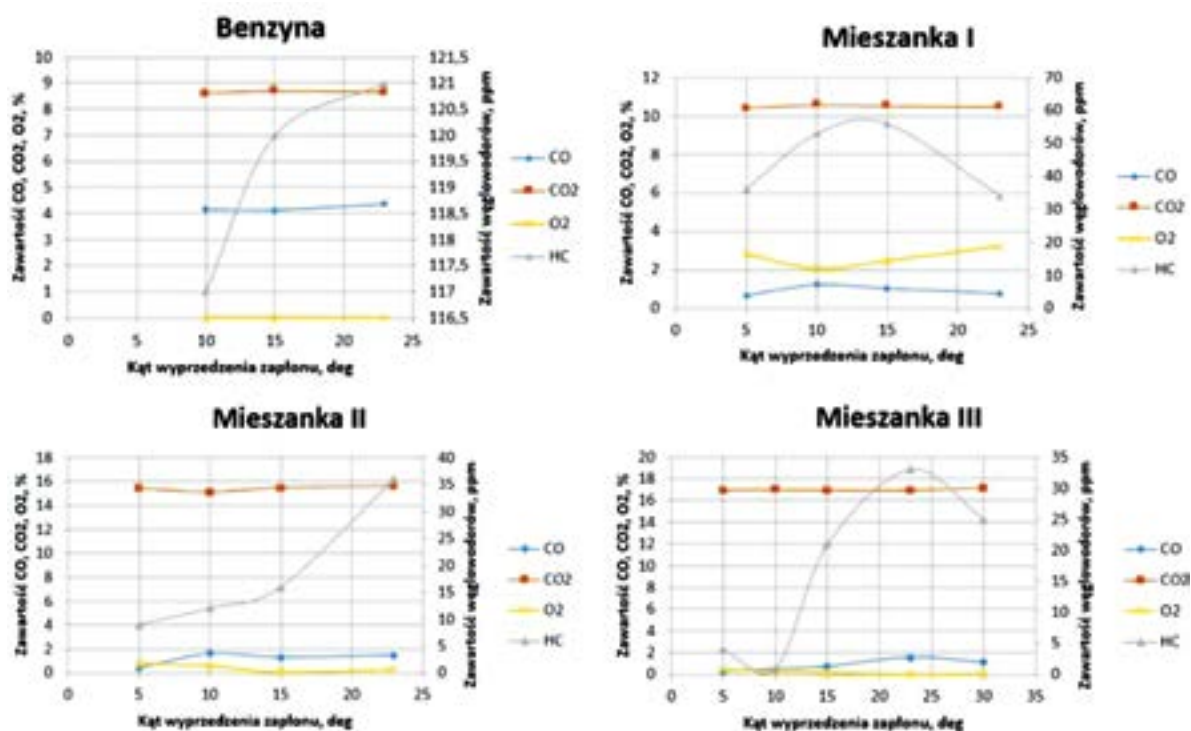


Fig. 2. The concentration levels of exhaust ingredients' for the fuels studies

Rys. 2. Poziomy stężeń składników spalin dla poszczególnych paliw



Dr inż. Maciej ZAWIŚLAK w roku 2000 ukończył studia na Wydziale Mechanicznym Politechniki Wrocławskiej. W 2005 r. uzyskał stopień doktora nauk technicznych na tym samym Wydziale. Jest adiunktem na Wydziale Mechanicznym Politechniki Wrocławskiej. Specjalność – budowa i eksploatacja maszyn.

jednak różnica ta w odniesieniu do mieszanek nie była duża i przy odpowiednim ustawieniu kąta wyprzedzenia zapłonu nie przekraczała 100 W (tabela 2). Najmniej tlenu węgla(II), związku o bezpośrednim działaniu toksycznym dla człowieka, emitowała mieszanka I, o największej zawartości metanu. Przy tej mieszance silnik osiągał również największą moc (pomijając zasilanie benzyną). Z kolei mieszanki II i III charakteryzowały się dość wysoką emisją ditlenku węgla, znacznie większą nawet niż benzyna. Należy jednak zaznaczyć, że mieszanki te były tworzone przy znacznym udziale CO. Mieszanka I

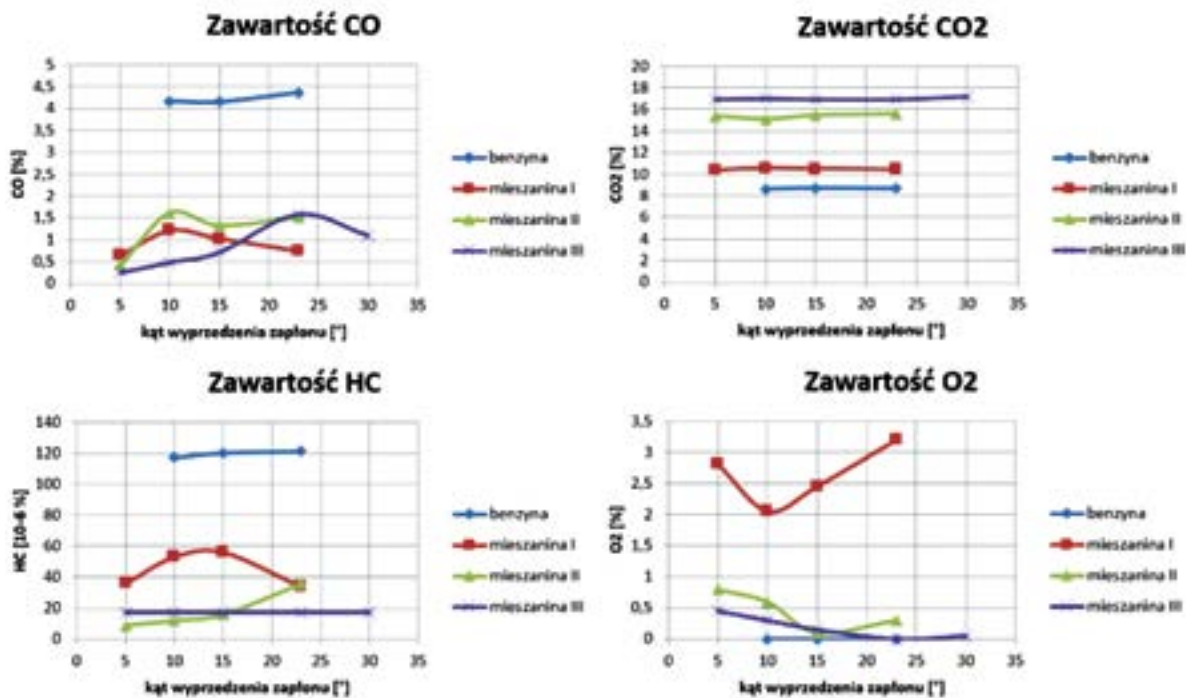


Fig. 3. Comparison of exhaust emissions for the mixtures studied

Rys. 3. Porównanie toksyczności spalin dla badanych mieszanek

przy mniejszym kącie wyprzedzenia zapłonu emitowała największe ilości węglowodorów. Sytuacja ta zmieniała się wraz ze zwiększaniem kąta wyprzedzenia zapłonu. Im kąt był większy, tym mniejsza była emisja węglowodorów. Przy kącie 23° emisja węglowodorów dla mieszanki I była niższa niż dla mieszanki II. Najniższą emisją węglowodorów charakteryzowała się mieszanka III. Należy również podkreślić, że generowana przez silnik moc przy mieszance III była nieznacznie niższa od mocy przy spalaniu mieszanki I.

Podsumowanie

W czasach, kiedy coraz częściej mówi się o wizji wyczerpania się zasobów paliw kopalnych, poszukiwanie alternatywnych źródeł energii do zasilania pojazdów silnikowych na skalę przemysłową stało się przedmiotem badań wielu ośrodków naukowych na całym świecie. Dodatkowym, niezwykle istotnym aspektem jest ochrona powietrza atmosferycznego i ograniczenie emisji zanieczyszczeń. Transport drogowy jest jednym z głównych źródeł emisji do atmosfery. Dlatego też paliwa alternatywne muszą spełnić kryterium nie tylko związane z odpowiednią wartością opałową, ale również być przyjazne dla środowiska. Jednym z proponowanych rozwiązań może być zastosowanie tzw. syngazu, czyli gazu syntetycznego, w czystej postaci składającego się z metanu, wodoru, tlenu węgla(II) oraz ditlenku węgla. Przedstawione

w pracy wyniki badań różnych mieszanek syngazu pokazują, że przy odpowiednim składzie mieszanki i odpowiedniej regulacji pracy silnika (m.in. poprzez zmianę kąta wyprzedzenia zapłonu, który determinuje przebieg procesu spalania w silniku) można uzyskać bardzo dobre wyniki pracy silnika oraz niską emisją szkodliwych składników spalin do atmosfery. W przyszłości, po dopracowaniu technologii pozyskiwania w procesie zgazowania biomasy oraz oczyszczania syngazu może stać się paliwem alternatywnym stosowanym w przemyśle motoryzacyjnym.

Praca wykonana w ramach projektu badawczo-rozwojowego DEMONSTRATOR+ numer WND-DEM-1-527/001 współfinansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

Otrzymano: 09-05-2016

LITERATURA

- [1] A.J. Badyda, *Modelowanie Inżynierskie* 2009, **37**, 11.
- [2] Z. Zhang, J. Liu, F. Shen, Y. Yang, F. Liu, *Fuel* 2016, **178**, 202, doi:10.1016/j.fuel.2016.03.067.
- [3] S.S. Ail, S. Dasappa, *Renewable Sustainable Energy Rev.* 2016, **58**, 267, doi:10.1016/j.rser.2015.12.143.
- [4] A. Górniak, A. Janicka, M. Skrętowicz, K. Trzmiel, R. Włostowski, R. Wróbel, M. Zawiślak, *Comb. Engines* 2015, **44**, nr 3, 816.
- [5] T. Bhaskar, A. Pandey, *Adv. Thermochem. Conv. Biomass Introduction* 2015, 3, doi:10.1016/B978-0-444-63289-0.00001-6.
- [6] F.L. Chan, A. Tanksale, *Appl. Catal. B: Environmental* 2016, **187**, 310, doi:10.1016/j.apcatb.2016.01.042.

Na witrynie internetowej Wydawnictwa SIGMA-NOT Sp. z o.o. www.sigma-not.pl są udostępnione bezpłatnie publikacje zamieszczone w naszym i innych czasopiśmie Wydawnictwa z lat 2004–2008.

W tym archiwum cyfrowym „Przemysłu Chemicznego” znajduje się 722 publikacji naukowych oraz pozostałe działy naszego czasopisma (Personalia, Aktualności, Konferencje, Z półki księgarskiej, Z prasy zagranicznej, Przegląd zgłoszeń patentowych i inne), łącznie 4788 stron.

Pobranie pliku PDF publikacji jest możliwe po rejestracji użytkownika. Witryna umożliwia również przeszukanie bazy publikacji wg nazwiska Autora, nazwy związku chemicznego czy słowa kluczowego. Kolejne roczniki archiwum będą udostępniane sukcesywnie.