

IDZIOR Marek¹
 BAJERLEIN Maciej²
 BIELIŃSKI Maciej³
 BOROWCZYK Tomasz⁴
 DASZKIEWICZ Paweł⁵
 STOBNIKI Paweł⁶

Wpływ dodatku wodoru do oleju napędowego w aspekcie emisji CO, HC i PM silnika badawczego AVL 5804

wodór, współspalanie, emisja,
 silnik z zapłonem samoczynnym

Streszczenie

W artykule omówiono wyniki z przeprowadzonych badań, w Instytucie Silników Spalinowych i Transportu Politechniki Poznańskiej dotyczące Wpływu dodatku wodoru do oleju napędowego w aspekcie emisji CO, HC i cząstek stałych silnika badawczego AVL 5804. Część teoretyczna zawiera informacje o nośniku energii, jakim jest wodór. Scharakteryzowane zostały cechy wodoru, które przemawiają za zastosowaniem go w przyszłości jako podstawowego paliwa. Omówione zostało zastosowanie wodoru w silnikach tłokowych, stechiometryczny proces spalania wodoru oraz możliwości wykorzystania wodoru w Polsce. W części badawczej wykonane zostały badania dotyczące pomiaru stężenia związków toksycznych w spalinach, przy spalaniu paliwa konwencjonalnego (olej napędowy) oraz przy współspalaniu wodoru z olejem napędowym stosowanym do silników o zapłonie samoczynnym.

IMPACT OF HYDROGEN FOR FUEL OIL IN THE ASPECT OF CO, HC AND PM TEST ENGINE AVL 5804

Abstract

The article discusses the results of these trials, the Institute of Internal Combustion Engines and Transport, University of Technology on the influence of the addition of hydrogen to diesel in the aspect of CO, HC and particulate emissions test engine AVL 5804. The theoretical part contains information about the energy carrier, which is hydrogen. Characteristics of hydrogen have been described that would justify using it in the future as the primary fuel. Discussed was the use of hydrogen in piston engines, the stoichiometric combustion of hydrogen and the possibility of using hydrogen in Poland. As part of research studies have been done on measuring the concentration of toxic compounds in exhaust gases, the combustion of conventional fuels (diesel) and the co-combustion of hydrogen from diesel fuel used for diesel engines.

1. WSTĘP

Duże przyspieszenie oraz dojrzewanie cywilizacji w ostatnich kilku dziesięcioleciach, nieustanna i ciągle postępująca degradacja środowiska naturalnego, a także narastające niedobory surowców energetycznych, wymuszają na krajach poszukiwanie alternatywnych źródeł energii oraz związanych z nimi nowoczesnych technologii.

W związku z tym, uwaga wielu ośrodków naukowo-badawczych została skupiona na technologiach wodoru. Zakresem podjętych badań objęto zagadnienia wytwarzania, transportu, magazynowania oraz zastosowań energetycznych i pędnych tego gazu. Szczególnie duże nadzieje pokłada się w rozwoju technologii ogniwi paliwowych, które w połączeniu z wodorem jako nośnikiem energii rysują wizję najbliższej przyszłości w dziedzinie paliw.

Podejmowane od kilku lat programy rządowe dotyczące badań nad zastosowaniem wodoru jako paliwa samochodowego, udowadniają już dzisiaj realność techniczną stworzenia czystych systemów transportu np. w dużych aglomeracjach miejskich w oparciu o autobusy napędzane ogniwami paliwowymi zasilanymi wodorem.

Ważnym aspektem przemawiającym za stosowaniem wodoru jako paliwo w transporcie jest ochrona środowiska, ponieważ wodór jest paliwem, które podczas spalania emituje zdecydowanie mniej związków toksycznych aniżeli obecne stosowane paliwa konwencjonalne. Użycie tego gazu jako podstawowego paliwa w znaczący sposób zredukowałoby kwestię smogu, w coraz bardziej zatłoczonych aglomeracjach miejskich.

¹ Politechnika Poznańska, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu, Instytut Silników Spalinowych i Transportu, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań.
 Tel: + 48 61 665-23-55, Fax: + 48 61 665-22-04, E-mail: marek.idzior@put.poznan.pl

² Politechnika Poznańska, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu, Instytut Silników Spalinowych i Transportu, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań.
 Tel: + 48 61 665-22-07, Fax: + 48 61 665-22-04, E-mail: maciej.bajerlein@put.poznan.pl

³ Politechnika Poznańska, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu, Instytut Silników Spalinowych i Transportu, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań.
 Tel: + 48 61 647-58-62, Fax: + 48 61 665-22-04, E-mail: maciej.bieliński@doctorate.put.poznan.pl

⁴ Politechnika Poznańska, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu, Instytut Silników Spalinowych i Transportu, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań.
 Tel: + 48 61 647-58-62, Fax: + 48 61 665-22-04, E-mail: tomasz.borowczyk@doctorate.put.poznan.pl

⁵ Politechnika Poznańska, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu, Instytut Silników Spalinowych i Transportu, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań.
 Tel: + 48 61 647-58-62, Fax: + 48 61 665-22-04, E-mail: pawel.daszkiwicz@doctorate.put.poznan.pl

⁶ Politechnika Poznańska, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu, Instytut Silników Spalinowych i Transportu, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań.
 Tel: + 48 61 665-20-49, Fax: + 48 61 665-22-04, E-mail: pawel.stobnicki@doctorate.put.poznan.pl

Bardzo ważnym problemem globalnym jest efekt cieplarniany, za co odpowiedzialna jest emisja CO₂ do atmosfery, która nie występuje w przypadku pojazdów napędzanych wodorem. Wobec wyżej przedstawionych faktów zastosowanie wodoru, jako nośnika energii w połączeniu z ekologicznymi formami jego wytwarzania, daje perspektywę globalnego zmniejszenia emisji CO₂ do atmosfery.

2. WODÓR JAKO PALIWO SILNIKOWE

2.1 Wartość opałowa

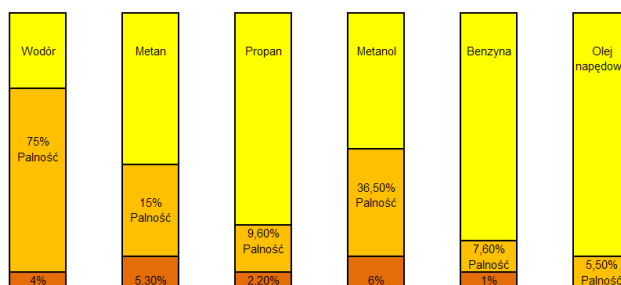
Wartość opałowa jest to ilość ciepła powstała podczas całkowitego i zupełnego spalania jednostki paliwa (m³ lub kg wodoru) przy warunku, że spaliny zostały ochłodzone do temperatury pierwotnej substratów, a woda znajdująca się w spalinach jest w postaci pary. Gęstość wodoru w warunkach normalnych jest dużo mniejsza niż metanu i znacznie mniejsza od gęstości benzyny czy oleju napędowego.

Tab. 1. Wartość opałowa paliw [2]

Paliwo	Wartość opałowa (przy t=25°C i p =1 atm) [kJ/g]
Wodór	119,93
Metan	50,02
Propan	45,6
Benzyna	44,5
Olej napędowy	42,5
Metanol	18,05

2.2 Granica palności

Ważnymi parametrami charakterystycznymi paliwa są ich granice palności. Pod tym terminem rozumiany jest stosunek wodoru do powietrza przy którym następuje zapłon mieszanki. W przypadku wodoru obejmują one zakres od 4% do 75% zawartości wodoru w powietrzu. Wodór spala się w dużym zakresie koncentracji mieszanki wodor-powietrze [3]. W porównaniu do innych paliw, takich jak benzyna czy olej napędowy zakres palności wodoru jest kilkukrotnie wyższy. Ważnym jest, to że dolna granica palności dla wodoru wynosi 4%, natomiast dla oparów oleju napędowego tylko 0,6% a benzyny 1%, co oznacza że wodór przy małych stężeniach jest bezpieczniejszy.



Rys.1. Porównanie granicy palności wodoru w stosunku do innych paliw [2]

2.3 Prędkość spalania

Prędkość spalania jest wartością charakteryzującą dynamikę procesu spalania. Prędkość spalania dla mieszanki wodorowo-powietrznej wynosi 2,65 – 3,25 m/s. Dla porównania mieszanka benzyny z powietrzem wynosi 0,37 – 0,43 m/s a metanu z powietrzem 0,37 – 0,45 m/s. Z powyższego opisu wynika, że dynamika procesu spalania wodoru jest wyższa od innych paliw.

2.4 Temperatura samozapłonu

Temperaturą samozapłonu jest określana temperatura przy której ciepło wydzielone z reakcji utlenienia w jednostce czasu jest równe ciepłu wypromieniowanemu do otoczenia. Powyżej tej temperatury następuje gwałtowny wzrost prędkości reakcji utleniania oraz wydzielania się dużych ilości ciepła. Dla wodoru temperatura samozapłonu jest relatywnie wysoka w porównaniu z innymi paliwami.

Tab. 2. Temperatury zapłonu poszczególnych paliw [5]

Paliwo	Temperatura samozapłonu (°C)
Wodór	585
Metan	540
Propan	490
Metanol	385
Benzyna	od 230 do 480

2.5 Odległość krytyczna propagacji płomienia

Odległość krytyczna jest to minimalna szerokość szczeliny przy której nie występuje dalsza propagacja otwartego płomienia w mieszance paliwowo-powietrznej. W warunkach normalnych dla mieszanki wodoru z powietrzem dystans ten wynosił 0,6mm. Dla mieszanki propanu, butanu lub benzyny z powietrzem dystans ten wynosi 2 mm. Efekt ten jest spowodowany przez ochładzanie płomienia poprzez ścianki szczeliny.

Odległość krytyczna zależy od: mieszanki, temperatury, ciśnienia oraz od kształtu szczeliny. Przy dużych nieszczelnościach zaworków w silnikach tłokowych (w sprawnych silnikach nieszczelności zaworków sięgają 0,4 mm) może nastąpić wówczas cofnięcie się płomienia do przewodu doprowadzającego mieszankę paliwowo powietrzną. Z powyższych względów mała odległość krytyczna wodoru jest nie korzystna dla silników spalających wodór, wymaga ona bowiem użycia w silnikach spalinowych szczelniejszych zaworków niż jak to ma miejsce w przypadku innych paliw.

2.6 Energia zapłonu

Energia zapłonu jest najmniejszą wartością energii wyładowania iskrowego, jaka w danych warunkach może wzbudzić zapłon lub wybuch mieszaniny wybuchowej. Energia zapłonu wodoru wynosi tylko 0,02 mJ, o jeden rząd wielkości mniej niż gazu ziemnego (0,29 mJ) lub propanu (0,26 mJ). Wynika z tego, że wodór nadaje się do silników.

3. STECHIOMETRYCZNY PROCES SPALANIA

Spalanie wodoru przebiega według następującej reakcji:



Celem dokonania obliczeń zapotrzebowania powietrza (rachunek objętościowy), należy wyliczyć ilość tlenu potrzebnego do utlenienia wodoru. Obliczenie potrzebnego tlenu wykonujemy dla warunków normalnych ($p=0,1 \text{ Mpa}$, $T=273,15\text{K}$).

Wodór zgodnie ze wzorem stechiometrycznym spala się w proporcji 1:2. W związku z tym względna objętość tlenu przypadająca na m^3 wodoru (tzw. tlen teoretyczny) będzie wynosić:

$$\text{O}_t = 0,5\text{H}_2 \quad [\text{m}^3\text{O}_2/\text{m}^3\text{paliwa}] \qquad (2)$$

Celem dokonania obliczeń względnej objętości potrzebnego powietrza (powietrza teoretycznego) należy uwzględnić zawartość azotu w powietrzu. Stosunek objętości powietrza do zawartego w nim tlenu wynosi 100/21, zatem objętość względna dla powietrza wyniesie:

$$\text{V}_t = 100/21\text{O}_t = 4,762\text{O}_t \quad [\text{m}^3\text{O}_2/\text{m}^3\text{wodoru}] \qquad (3)$$

po uwzględnieniu powyższego otrzymamy:

$$\text{V}_t = 4,762 \cdot 0,5 = 2,42 \quad [\text{m}^3\text{powietrza}/\text{m}^3\text{wodoru}] \qquad (4)$$

Proporcja objętości względnej powietrza do objętości wodoru wynosi więc:

$$\text{V}_t / \text{VH}_2 = 2,4 : 1 \qquad (5)$$

Celem wyliczenia masy potrzebnego powietrza, należy w pierwszej kolejności obliczyć masę tlenu potrzebnego do utlenienia wodoru.

- Masa jednego mola tlenu $m_{\text{O}_2} = 1 \text{ mol} \times 32 \text{ g/mol} = 32\text{g}$
- Masa jednego mola azotu $m_{\text{N}_2} = 1 \text{ mol O}_2 \times (79\% \text{ N}_2 / 21\%) \times 28 \text{ g/mol} = 3,762 \text{ mol} \times 28 \text{ g/mol} = 105,33 \text{ g}$
- Masa jednego mola powietrza $m_{\text{powietrza}} = m_{\text{N}_2} + m_{\text{O}_2} = 32\text{g} + 105,33 \text{ g} = 137 \text{ g}$
- Masa jednego mola wodoru $m_{\text{H}_2} = 2 \text{ mol H}_2 \times 2 \text{ g/mol} = 4\text{g}$

Proporcja masy powietrza do masy wodoru wynosi $m_{\text{powietrza}}/m_{\text{H}_2} = 137,33\text{g} / 4\text{g} = 34,33:1$

Z przedstawionych obliczeń wynika, iż do spalania 1g wodoru należy dostarczyć 34 g powietrza. Do spalania 1g benzyny należy dostarczyć tylko 14,7 g powietrza. Stąd wynika, że układy zasysające powietrze w silnikach wodorowych muszą być bardziej wydajne niż w silnikach spalinowych. Chcąc uzyskać zwiększoną moc silnika należy zwiększyć ilość wprowadzanego wodoru do cylindra, co możemy wykonać wprowadzając wodór pod wysokim ciśnieniem lub doprowadzając płynny wodór. Jednak w takim przypadku spalanie odbędzie się z niedomiarem powietrza (współczynnik nadmiaru powietrza $\lambda < 1$). Będzie to skutkowało zwiększeniem emisji NOx.

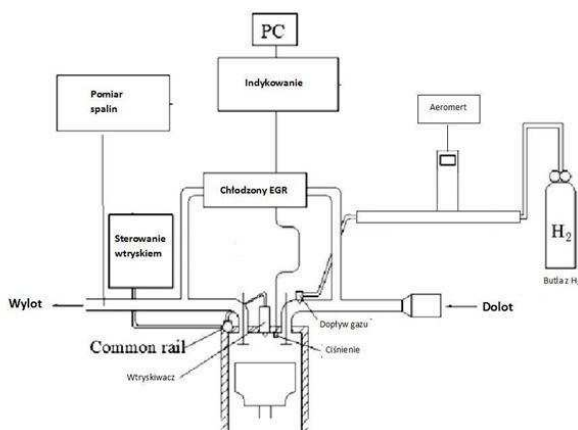
Tab. 3. Zajmowane objętości przez powietrze i paliwo w cylindrze oraz ich różnice w zależności od rodzaju zastosowanego paliwa. (porównanie różnych systemów wtrysku paliwa do cylindra o objętości 1000cm³) [5]

	System gaźnikowy benzynowy	System gaźnikowy na wogór gazowy	System gaźnikowy na wodór ciekły	System bezpośredniego wtrysku wodoru
Objętość teoretyczna zajmowana przez paliwo [cm ³]	17	300	405	420
Objętość teoretyczna zajmowana przez powietrze [cm ³]	983	700	965	1000
Wyzwolona energia [kJ]	3,5	3	4	4,2
Zysk procentowy energetyczny danego systemu[%]	100	85	115	120

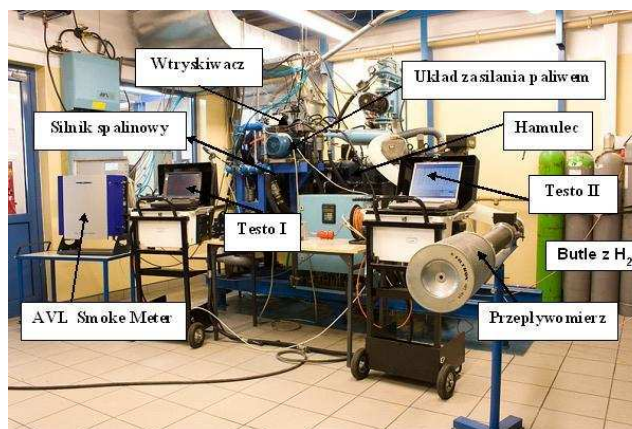
4. STANOWISKO BADAWCZE

Stanowisko badawcze składa się z pięciu głównych części:

- silnik badawczy AVL 5804 z hamulcem prądnicowym asynchronicznym AMK ASYN typ DW13-170-4-AOW,
- pompy wysokiego ciśnienia dla roztworu gazu i paliwa oraz pompy *common rail*,
- elektronicznego systemu sterowania pracą wtryskiwacza elektromagnetycznego,
- systemu AVL Iset 620 do rejestracji ciśnień szybkozmiennych,
- analizatorów spalin: Testo 360, AVL Opacimeter 438, dymomierz Bosch.



Rys.2. Schemat stanowiska badawczego [11]



Rys.3. Widok stanowiska badawczego [11]

Silnik badawczy AVL 5804 wyposażony jest w głowicę z trzema zaworami i dwoma wałkami rozrządu.

Tab. 4. Podstawowe parametry silnika

pojemność skokowa	510,7 cm ³
średnica cylindra	85 mm
skok tłoka	90 mm
objętość komory spalania	23,63 cm ³
stopień sprężania	19,9
moc maksymalna	16 kW przy 4200 obr/min,
moment obrotowy	53 N·m przy 2000 obr/min,
średnie ciśnienie użyteczne w wersji doładowanej	1,22 MPa przy 2000 obr/min,
jednostkowe zużycie paliwa	251g/(kW·h) przy maksymalnej wartości momentu obrotowego,
	287g/(kW·h) przy mocy znamionowej,
maksymalna prędkość obrotowa	5000 obr/min
maksymalne ciśnienie w cylindrze	15,0 MPa
silnik posiada wałki wyrównowążające	



Rys.4. Widok głowicy i tłoka silnika badawczego AVL 5804

Stanowisko jest wyposażone w zewnętrzny układ stabilizacji temperatury cieczy chłodzącej silnika i oleju smarującego AVL 577. Parametry pracy silnika takie jak prędkość obrotowa i obciążenie zadawane są hamulcem elektrycznym AMK ASYN typ DW13-170-4-AOW.

Zainstalowany hamulec prądnicowy posiada dwa tryby pracy. W pierwszym trybie pracy hamulec służy do zadawania obciążenia dla pracującego silnika spalinowego w tym trybie hamulec pracuje jako prądnica. Drugi tryb pracy pozwala na zewnętrzny napęd silnika spalinowego; w tym trybie hamulec pracuje jako silnik elektryczny. W warunkach pracy stanowiska badawczego, gdy jest konieczne utrzymanie stałej wartości prędkości obrotowej silnika spalinowego niezależnie od ilości paliwa dostarczanej do spalania w cylindrach, hamulec ten może pracować na przemian w dwóch trybach pracy, w zależności od energii wytwarzanej przez silnik spalinowy. Jeżeli energia pochodząca z procesu spalania paliwa w cylindrach silnika spalinowego jest na tyle duża, by mogła pokonać opory ruchu przy ustalonej prędkości obrotowej i napęd ze źródła zewnętrznego nie jest potrzebny, to hamulec samoczynnie przechodzi z trybu pracy jako silnik elektryczny w fazę pracy jako hamulec prądnicowy.

W skład układu zasilania wchodzi zasobnik paliwa z czujnikiem ciśnienia i zaworem upustowym paliwa oraz wtryskiwacz BOSCH 0445 110 131. Wtryskiwacz zaadoptowano do silnika, wykonując nową obsadę wtryskiwacza i umieszczono go w głowicy w miejscu wtryskiwacza standardowego.

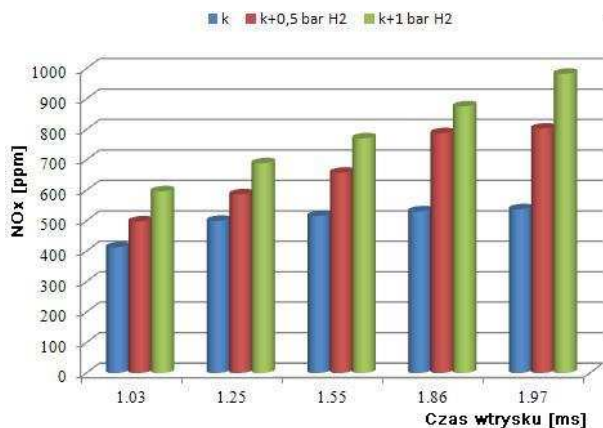
5. WYNIKI BADAŃ

Zestawienie stężenia poszczególnych związków toksycznych występujących w spalinach, w zależności od rodzaju zastosowanej mieszanki paliwowej oraz od czasu wtrysku przedstawia poniższa tabela.

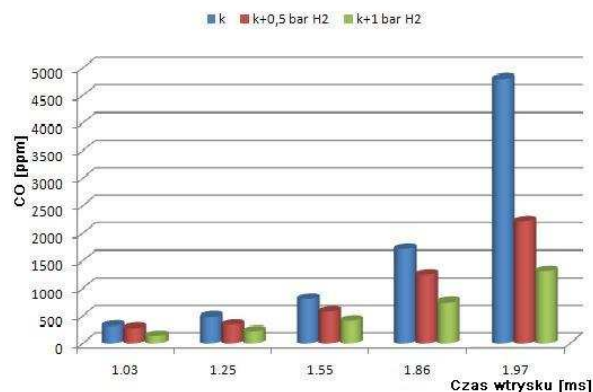
Tab. 5. Stężenie poszczególnych związków toksycznych

	t [ms]	k	k+0,5 bar H ₂	k+1 bar H ₂	k	k+0,5 bar H ₂	k+1 bar H ₂	k	k+0,5 bar H ₂	k+1 bar H ₂	k	k+0,5 bar H ₂	k+1 bar H ₂
		NOx [ppm]			CO [ppm]			HC [%]			D [jB]		
2000 obr/min	1.03	413	498	597	316,5	276	128	0,1309	0,1	0,081	2,88	2,1	1,7
	1.25	500	587	689	481,5	336	218	0,1275	0,091	0,071	4,08	2,8	2,1
	1.55	516	658	771	802,5	574	411	0,1513	0,092	0,073	5,52	2,8	2,6
	1.86	531	788	876	1708,5	1241	744	0,2108	0,134	0,11	7,2	3,98	4,12
	1.97	538	803	983	4800	2212	1310	0,3608	0,217	0,2	9	6,3	5,7

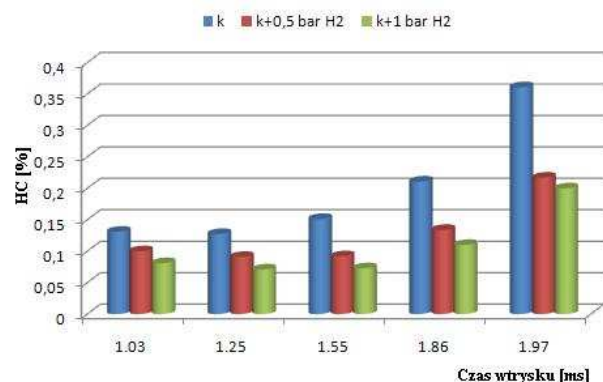
Przeprowadzone badania miały na celu ocenę wpływu dodatku wodoru do oleju napędowego oraz jego wpływ na zmiany stężenia związków toksycznych w spalinach. Badania przeprowadzone zostały na silniku o zapłonie samoczynnym AVL 5804, przy stałej prędkości obrotowej (n=2000obr/min).



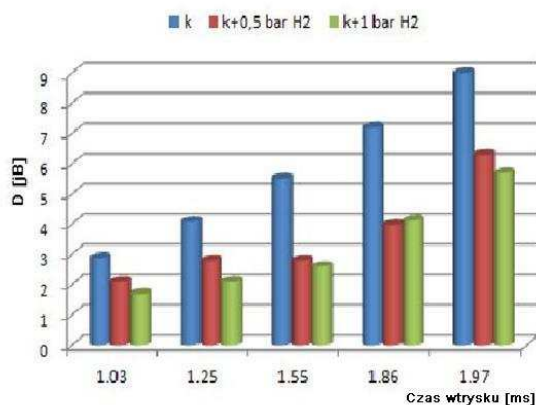
Rys.5. Wykres stężenia NOx [ppm]



Rys.6. Wykres stężenia CO [ppm]



Rys.7. Wykres stężenia HC [%]



Rys.8. Wykres zadymienia spalin D [jB]

Poniższa tabela prezentuje zestawienie procentowe zmian stężenia poszczególnych związków toksycznych spalin w odniesieniu do stężenia tych związków dla paliwa konwencjonalnego (k), w zależności od zastosowanej mieszanki paliwowej oraz czasu wtrysku.

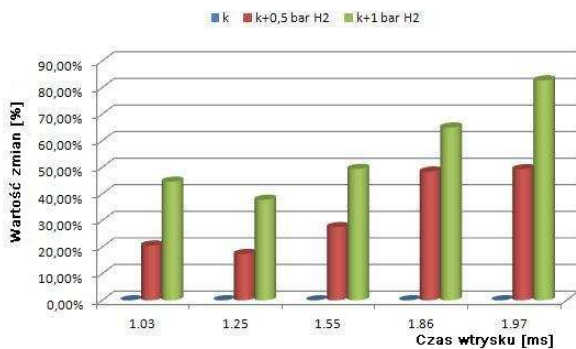
Tab. 6. Procentowe wartości względne zmian stężenia związków toksycznych

	t [ms]	k	k+0,5 bar H ₂	k+1 bar H ₂	k	k+0,5 bar H ₂	k+1 bar H ₂	k	k+0,5 bar H ₂	k+1 bar H ₂	k	k+0,5 bar H ₂	k+1 bar H ₂
		NOx [ppm]			CO [ppm]			HC [%]			D [jB]		
2000 obr/min	1.03	0,0%	20,6%	44,6%	0,0%	-12,8%	-59,6%	0,0%	-23,6%	-38,1%	0,0%	-27,1%	-41,0%
	1.25	0,0%	17,4%	37,8%	0,0%	-30,2%	-54,7%	0,0%	-28,6%	-44,3%	0,0%	-31,4%	-48,5%
	1.55	0,0%	27,5%	49,4%	0,0%	-28,5%	-48,8%	0,0%	-39,2%	-51,8%	0,0%	-49,3%	-52,9%
	1.86	0,0%	48,4%	65,0%	0,0%	-27,4%	-56,5%	0,0%	-36,4%	-47,8%	0,0%	-44,7%	-42,8%
	1.97	0,0%	49,3%	82,7%	0,0%	-53,9%	-72,7%	0,0%	-39,8%	-44,8%	0,0%	-30,0%	-36,7%

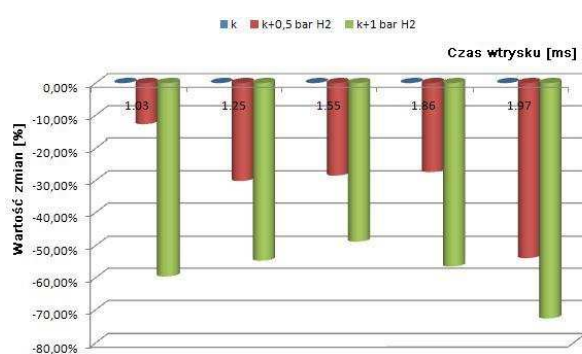
Wyniki badań świadczą o istotnym oddziaływaniu redukcyjnym przy dodatku wodoru na stężenie związków szkodliwych, co potwierdza prawidłowość przyjętej koncepcji przeprowadzonego testu. Jak można zaobserwować, dla emisji CO zanotowano blisko 50% redukcję stężenia tego związku toksycznego. Pozytywnym objawem jest także zmniejszenie zawartości HC w spalinach o około 30%-50%. W podobnych proporcjach procentowych przedstawia się redukcja zadymienia spalin. W przypadku NO_x zauważyć można wzrost emisji tego związku toksycznego, przy współspalaniu wodoru z paliwem konwencjonalnym, z 0,5 bar H₂ dodatku wodoru oraz 1 bar H₂. Widać, iż wzrost emisji jest znaczący. Przy czasie wtrysku równym 1,25 ms, i przy dodatku wodoru 0,5 bar wzrost emisji NO_x wynosi 17,4%, natomiast dla czasu wtrysku 1,97 ms, i przy dodatku wodoru 1 bar, zanotowano wzrost emisji tego związku na poziomie 82,7%.

Można stwierdzić, że ze względu na osiągi i obciążenie podstawowych elementów konstrukcyjnych, dodawanie wodoru w ilości 5-7% m/m w czasie spalania paliwa węglowodorowego w silniku z zapłonem samoczynnym nie wywiera

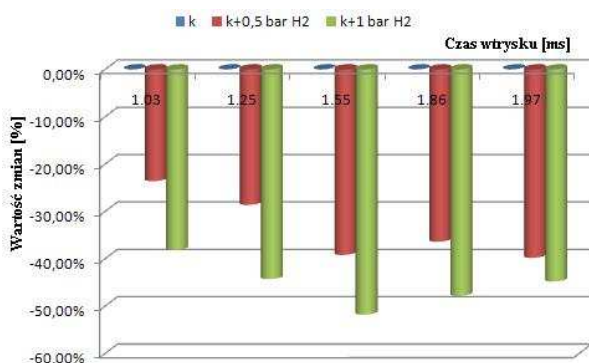
większego wpływu na efekty spalania mieszanki. Uzyskane wyniki zapewnią materiał do dalszych prac mających na celu optymalizację samego procesu otrzymywania, jak również sterowania składem mieszanki wodorowo-paliwowo-powietrznej w zależności od obciążenia silnika.



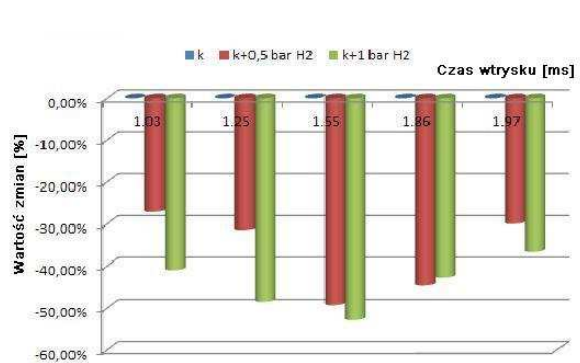
Rys.9. Procentowa względna zmiana stężenia NO_x [ppm]



Rys.10. Procentowa względna zmiana stężenia CO [ppm]



Rys.11. Procentowa względna zmiana stężenia HC [%]



Rys.12. Procentowa względna zmiana stężenia D [jB]

6. WNIOSKI

Wzrastająca nieustannie ilość pojazdów z silnikami spalinowymi, prognozy dotyczące wyczerpywania się złóż ropy naftowej oraz dążenie do ochrony środowiska naturalnego sprawiły, iż nastąpił wzrost zainteresowania zastosowaniem innych rodzajów paliw. Paliwa alternatywne powinny charakteryzować się następującymi cechami:

- napędzane nimi silniki nie powinny mieć gorszych charakterystyk funkcjonalnych niż zasilane paliwami konwencjonalnymi,
- silniki te powinny być bardziej przyjazne dla środowiska naturalnego,
- pochodzić z odnawialnych źródeł energii.

Paliwa takie można nazwać niekonwencjonalnymi, zastępczymi lub alternatywnymi. Powszechnie przyjmowana definicja traktuje je jako substancje, które nie są produktami przerobu ropy naftowej, a ich właściwości są zbliżone do właściwości powszechnie stosowanych benzyn silnikowych i olejów napędowych.

Obecnie najbardziej ekologicznym paliwem gazowym jest wodór, którego produktem spalania jest para wodna. Ponadto w spalinach występują niewielkie ilości tlenków azotu oraz węglowodorów i CO (produkty spalania oleju silnikowego). Zmniejszenie emisji tlenków azotu można uzyskać przez zubożenie mieszanki, co jednak prowadzi do spadku mocy silnika, jak również rozwiązaniem, nie obniżającym mocy silnika może być wykorzystanie zewnętrznego układu recyrkulacji spalin (EGR), nad którym badania będą prowadzone w kolejnych etapach.

Na podstawie przeprowadzonych badań na silniku AVL 5804, można ocenić, że dodatek wodoru do oleju napędowego pozytywnie wpływa na emisję poszczególnych związków toksycznych spalin. Dostarczenie dodatku wodoru do oleju napędowego spowodowało wzrost emisji NO_x, oraz spadek emisji CO, HC i zadymienia spalin. Badania zostały przeprowadzone na trzech różnych mieszankach paliwowych: pierwsze pomiary dotyczyły emisji związków toksycznych spalin w przypadku spalania oleju napędowego (k), kolejne pomiary dotyczyły emisji ze spalania oleju napędowego z 0,5 bar dodatku wodoru (k+ 0,5 bar H₂), natomiast ostatnie pomiary dotyczyły emisji ze spalania oleju napędowego z 1 bar dodatku wodoru (k+ 1 bar H₂). Zaobserwowano następujące zmiany emisji związków toksycznych:

- wzrost emisji NO_x nawet o 82,7% w przypadku spalania oleju napędowego z 1 bar dodatku H₂ przy czasie wtrysku t=1.97 ms,
- ogólny spadek emisji CO w granicach od 12,8% dla spalania oleju napędowego z 0,5 bar wodoru przy czasie wtrysku t=1.03 ms, aż do obniżenia emisji CO o ok. 72,7% dla spalania oleju napędowego z dodatkiem wodoru 1 bar, i przy czasie wtrysku t=1.97 ms,
- obniżenie emisji HC na poziomie 50% w przypadku spalania oleju napędowego z dodatkiem wodoru 1 bar,

- obniżenie stopnia zadymienia spalin w granicach nawet 30-50%.

Jednakże wodór jako paliwo posiada również wiele niekorzystnych cech, do których bez wątpienia zaliczyć można:

- mała wartość liczby oktanowej,
- reaktywność chemiczna w stosunku do metali (korozja wodorowa),
- oddziaływanie chemiczne na olej silnikowy (przyśpieszenie procesów jego starzenia),
- trudności w przechowywaniu (magazynowaniu).

Wodór może być magazynowany w pojazdach w postaci:

- gazowej pod bardzo wysokim ciśnieniem (do 70 MPa) w butlach stalowych, aluminiowych lub kompozytowych,
- ciekłej pod ciśnieniem zbliżonym do atmosferycznego w zbiornikach kriogenicznych (-253°C),
- związanej chemicznie w postaci wodoroków metali (najczęściej są to żelazo, tytan, mangan, magnez i nikiel) w zbiornikach będących jednocześnie wymiennikami ciepła,
- w mikrokulach szklanych i nanorurkach węglowych.

Niestety wymienione sposoby są kosztowne i skomplikowane. Ponadto współczesne metody otrzymywania tego paliwa są procesami kosztownymi. Wydaje się, że perspektywnym zastosowaniem wodoru jako paliwa będą ogniwa paliwowe, które mogą być źródłem energii elektrycznej do napędzania pojazdów.

Ciągły i dynamiczny rozwój motoryzacji wymusza wzrost zapotrzebowania na paliwa. Obecnie aż 98% pojazdów napędzanych jest paliwami otrzymywanymi w procesach przerobu ropy naftowej. Pociąga to za sobą wiele negatywnych skutków, związanych w dużej mierze z niekorzystnym oddziaływaniem transportu na środowisko naturalne. Dotychczas wprowadzono wiele przedsięwzięć o charakterze techniczno-technologicznym mających ograniczyć to oddziaływanie.

Nie należy zapominać, że niezależnie od wymogów ochrony środowiska (które są zresztą zróżnicowane w różnych regionach świata) o rozwoju nowych napędów i paliw decyduje w znacznym stopniu rachunek ekonomiczny. Dla przeciętnego kierowcy mniej ważne są względy ochrony środowiska, niż cena pojazdu oraz koszty jego eksploatacji (w tym głównie cena paliwa). Dlatego też można domniemywać, że o rozwoju napędów i paliw decydować będą następujące czynniki: dostępność oraz cena ropy naftowej, problemy ochrony środowiska (świadomość ekologiczna), zapewnienie bezpieczeństwa energetycznego, polityka fiskalna, społeczna i ekonomiczna.

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] K. Baczkowski, T. Kałdoński.; Paliwa do silników o zapłonie iskrowym. WKŁ Warszawa 2005 r.
- [2] J. Surygała J.; Wodór jako paliwo. WNT Warszawa 2008 r.
- [3] J. Surygała, E. Śliwka.; Emisje komunikacyjne w świetle unormowań prawnych. Nafta Gaz 2001.57 (5).282
- [4] D, L. Heiserman.; Księga pierwiastków chemicznych. Przekład. J . Kurylewicz. Warszawa. Prószyński 1997 r.
- [5] W.M. Lewandowski.; Proekologiczne odnawialne źródła energii. WNT Warszawa 2007 r.
- [6] K, Kurzepa, A, Grabowska, J, Prokop, A, W, Lipkowski.; Perspektywy zastosowania biologicznych metod produkcji wodoru. Przemysł Chemiczny. 2005.84 (11),833.
- [7] K. Baczkowski, T. Kałdoński.; Paliwa do silników o zapłonie iskrowym. WKŁ Warszawa 2005 r.
- [8] W. Rybak,.; Spalanie i współpraca paliw stałych. Wrocław. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej 2003,s.6.
- [9] W. Waligórska, M. Łamiecki.; Biomasa źródłem wodoru. Przemysł Chemiczny. 2005, 84 (5),333.
- [10] www.ekooszczedni.pl/artykuly/wodor-jako-paliwo-przyszlosci