

Prace badawczo rozwojowe dotyczące efektywnego wykorzystania dodatku gazu wodorotlenowego w trakcyjnym silniku spalinowym

Paweł Iljaszewicz ⁽¹⁾ Grzegorz Przybyła ⁽²⁾

(1, 2) Instytut Techniki Ciepłej Politechniki Śląskiej, ul. Konarskiego 22 44-100 Gliwice,
Email: pawel.iljaszewicz@polsl.pl, grzegorz.przybyla@polsl.pl

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono wyniki badań układu, składającego się z generatora HHO współpracującego z silnikiem spalinowym obciążanym elektrycznym silnikiem asynchronicznym połączonym z falownikiem. Celem badań było określenie wpływu gazu HHO na parametry efektywne silnika, takie jak moc i moment obrotowy oraz ilość substancji szkodliwych w spalinach. Na podstawie wyników badań dokonano oceny zastosowania dodatku gazu wodorotlenowego (HHO) na pracę silnika spalinowego ZI.

Słowa kluczowe: gaz wodorotlenowy, HHO, trakcyjny silnik spalinowy, prace badawczo-rozwojowe

ABSTRACT

The article presents the results of the system, consisting of HHO generator cooperating with a combustion engine biased asynchronous electric motor connected to the inverter. The aim of the study was to determine the effect of HHO gas to the operating parameters of the engine, such as power and torque and the amount of harmful substances in exhaust gases. Based on the results of research analyzes the use of addition of hydroxide gas (HHO) on the work of the internal combustion engine for reduced transport costs and emissions.

Keywords: Hydroxy gas, HHO, traction engine, research and development

1. WSTĘP

Z uwagi na coraz większe zainteresowanie alternatywnymi źródłami zasilania i rosnącą popularnością zastosowania wodoru, jako dodatku do paliwa przeprowadzono badania wpływu gazu wodorotlenowego (HHO) na efektywne wykorzystanie w trakcyjnym silniku spalinowym. W obecnej chwili 48% produkowanego wodoru powstaje w efekcie reformingu metanu przy użyciu pary wodnej, 30% z ropy naftowej głównie w rafineriach, 18% z węgla a pozostałe 4% z elektrolizy wody [7].

Gaz HHO (zwany również gazem Browna) [8] to mieszanina wodoru i tlenu w stosunku 2:1 (objętościowo) lub 1:8 (wagowo), wytworzona poprzez elektrolizę wody.

W wyniku elektrolizy pod wpływem energii elektrycznej następuje rozpad cząsteczki wody na wodór cząsteczkowy H₂ (elektroda katodowa) i tlen cząsteczkowy O₂ (elektroda anodowa). Reakcja przebiega następująco:

- reakcja na katodzie: $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e} \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$;
- reakcja na anodzie: $4\text{OH}^- \rightarrow \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^-$.

Urządzenie odpowiadające za ten proces nazywa się elektrolizerem i składa się z dwóch elektrod: anody i katody, których zadaniem jest wydzielanie produktów reakcji. Czynnikiem podlegającym rozpadowi jest woda, jednak ze względu na małą przewodność właściwą musi być wzbogacona odpowiednimi kwasami lub solami. Najczęściej spotykanymi roztworami są 16–18% NaOH i 25–29% KOH. Wydajność katodowa wydzielania wodoru jest znaczna i może osiągać nawet 98%, dlatego uzyskiwany wodór posiada wysoki poziom czystości. Problemem jest sprawność elektrolizerów, która wynosi zaledwie 27%.

Doniesienia naukowe wskazują na możliwe zastosowanie w instalacjach umożliwiających zmniejszenie zużycia paliwa w pojazdach z silnikami spalinowymi, a także obniżenie zawartości toksycznych substancji w spalinach.

Zakres prac badawczych obejmujących wspomniany problem jest bardzo ubogi, a zaprezentowane w nich wyniki są niejednoznaczne.

Z punktu widzenia działania procesu elektrolizy bilans energetyczny układu z generatorem HHO stosowanym przy silniku spalinowym i zasilanym pośrednio z energii chemicznej paliwa spalane w tym silniku jest ujemny. Można spodziewać się korzystnego wpływu generatora (zawartego w gazie HHO wodoru) na pracę silnika spalinowego, jednak głównie w odniesieniu do ewentualnego ograniczenia emisji substancji szkodliwych. Co prawda w literaturze występują teorie wskazujące na wyzwianie dodatkowych energii [1], jednak opierają się na teoriach przedstawiających tezę, że dominująca energia pochodząca z elektrolizy wody nie wynika z zawartego wodoru, ale raczej jest z innego źródła np. naładowanych klastrów gazowych wody, które aktywują energię punktu zerowego (ZPE).

2. WYKORZYSTANIE GAZU HHO W SILNIKACH SPALINOWYCH

Istnieje dosyć bogaty zasób literatury obejmujący swym zakresem problematykę spalania mieszaniny propan butan (LPG) w tłokowych silnikach trakcyjnych.

Wyraźnie mniej jest opracowań dotyczących paliw będących mieszaniną LPG i wodoru, a jeszcze mniej dodatku gazu wodorotlenowego (HHO).

W przedstawionych poniżej pracach wykazano, że wzbogacenie LPG gazem HHO przynosi wzrost sprawności energetycznej silnika.

Jednak przedstawione wyniki badań nie są kompletne i wyczerpujące a czasem przynoszą sprzeczne rezultaty.

W pracy [2] przedstawiono wpływ dodatku HHO na silnik ZI ze Skoda Felicia. Dokonano analizy procesu elektrolizy prowadzonego z wykorzystaniem wodnych roztworów różnych substancji (KOH, NaOH, NaCl), oraz z elektrodami o różnym kształcie. Wyprodukowany gaz HHO dostarczano bezpośrednio do silnika. Uzyskano zwiększenie wartości momentu obrotowego w szerokim zakresie prędkości, zwiększenie sprawności, oraz zmniejszenie wskaźników emisji CO i HC. Stosowano elektrolizer o maksymalnej wydajności 5 [l/min]. Stwierdzono, że poniżej prędkości granicznej (1750 [obr/min]) należy zmniejszyć strumień produkowanego HHO, ponieważ długi czas otwarcia zaworu wlotowego powoduje wpłynięcie dużej jego ilości do cylindra, co ogranicza ilość powietrza potrzebnego do właściwego spalania głównego paliwa. Skonstruowano układ do kontroli wielkości strumienia (HECU).

W artykule nie podano czy silnik był modyfikowany i zmieniano kąt wyprzedzenia zapłonu.

Nie podano parametrów obciążenia prądowego celi HHO. Z artykułu wynika, że nie stosowano PWM by zmieniać natężenie prądu. Stężenie KOH 6 g / l prawdopodobnie było optymalne dla specyficznych warunków eksperymentu. Nie podano wyników, jakie uzyskano dla innych parametrów. Wiadomo jedynie, że cewa HHO była zasilana energią elektryczną z akumulatora silnika, który jest ładowany przez alternator silnika. Przy różnych obciążeniach występują różne wielkości prądowe. Wydajność komórek badano bez połączenia silnika z 2 różnymi katalizatorami, KOH i NaOH, aby znaleźć najlepszy elektrolit z najlepszymi koncentracjami doświadczalnie. Nie podano, w jaki sposób mierzono wydajność dla różnych prędkości. Problemem jest właśnie pomiar ilości wytworzonego HHO i jego zużycie przy różnych prędkościach. Przy stałym wytwarzaniu HHO, a tak wynika z opisu dla większych prędkości następuje mniejsze podawanie ilości HHO do komory silnika. Czyli stosunek HHO do ilości powietrza staje się coraz mniejszy, co również nie zostało uwzględnione w obliczeniach. W obliczeniach nie uwzględniono dodatkowego obciążenia silnika, potrzebnego do wytworzenia HHO. Wykresy interpolowano jedynie na podstawie 4 punktów pomiarowych, nie została przeprowadzona analiza błędów.

W pracach np. [3] i [4], na podstawie analizy składu spalin zauważono, że wzrastała zawartość NOX oraz CO (tlenki azotu o średnio 47%, dwutlenek węgla o ok. 1%), natomiast ilość węglowodoru zmniejszyła się średnio o ponad 6%, a tlenek węgla prawie całkowicie zanikł. Autorzy zwrócili uwagę na fakt, że efekt dodania HHO jest najbardziej widoczny w przypadku niskich obciążeń silnika. Zaznaczyli również problem przedwczesnego zapłonu przy użyciu dodatku gazu Browna do paliwa. Warunki, w których uzyskano wzrost sprawności poprzez zastosowanie HHO nie zakładały, aby procentowa objętość HHO lub H₂ w stosunku do objętości powietrza zasysanego przez silnik była stała. Badany silnik spalinowy posiadał zawór EGR, a więc część spalin była wykorzystywana w kolejnym cyklu pracy. Wyniki nie uwzględniały zmiennego stosunku HHO do całości.

W pracy [5] badano wpływ HHO na działanie silnika ZS od Mitsubishi Canter.

Na podstawie badań eksperymentalnych silnika wysokoprężnego, można wyciągnąć następujące wnioski:

- Wzbogacenie powietrza wlotowego poprzez dostarczenie czystego wodoru lub grupę hydroksylową gazu daje obiecujące wyniki w porównaniu z czystym olejem napędowym w zależności od warunków doświadczenia.
- Wszystkie inne emisje wydajności i wydechowe poprawiły się za wyjątkiem emisji spalin NOx. Oba dodatki, czyli biodiesel oraz wodór wykazują predyspozycje do zwiększenia emisji NOx.
- Dla gazu HHO zawierającego więcej tlenu, otrzymano wyższą wydajność spalania w porównaniu do wydajności spalania czystego wodoru, jako paliwa dodatkowego.
- W stosunku do czystego oleju napędowego, zmniejszenie emisji CO wyniosło odpowiednio przy zastosowaniu odpowiednio 29 % i 22 % dla mieszanin H₂ + B10 i B10 + HHO. Te ulepszenia zależy głównie od zużycia paliwa bez emisji, które jest bardziej dotlenione, takich jak biodiesel, czysty (H₂) i oksywodór (HHO).
- Podobnie jak w przypadku CO zastosowanie hydroksylowych paliw gazowych i wodoru zmniejsza emisję CO₂, powodując lepsze wyniki niż zastosowanie czystego oleju napędowego. Uzyskano zmniejszenie emisji CO₂, które zostały zmierzone dla paliwa H₂ + B10 i HHO + B10 w stosunku do zastosowania olejów napędowych (odpowiednio 8,72 % i 22,3 %). W badaniach wykorzystano dostarczony z zewnątrz wodór, natomiast produkcja HHO jak wynika z opisu wykorzystuje akumulator pojazdu. W wynikach nie uwzględniono dodatkowego obciążenia silnika wytwarzającego dodatkowo 12Vx30A=360VA, co ma bezpośredni wpływ na moc i moment obrotowy na hamowni. Autorzy nie podali czy zmieniany był kąt wtrysku α w zależności od stosowanej mieszanki Nieznany był również współczynnik λ składu mieszanki, czy wprowadzanie H₂ i HHO miało wpływ na zwiększenie lub zubożenie zawartości tlenu O₂

2.1. Stanowisko badawcze

Stanowisko badawcze wykorzystane do badań zamieszczonych w tym opracowaniu składało się z silnika o zapłonie iskrowym przystosowanego do spalania paliw gazowych (gaz ziemny, LPG, CNG). W układzie obciążenia silnika znajduje się silnik elektryczny (możliwość pracy w trybie napędowym oraz prądnicowym) wraz z układem odbioru mocy. Na rysunku 1 pokazano widok na stanowisko badawcze natomiast w tablicy 1 podano podstawowe dane techniczne silnika spalinowego.

Badania przeprowadzone zostały w przy pełnym obciążeniu silnika spalinowego (pełne otwarcie przepustnicy powietrza) w zakresie zmiennych wartości kąta wyprzedzenia zapłonu oraz stałej wartości stosunku nadmiaru powietrza $\lambda=1$. Prędkość obrotowa silnika była stała i wynosiła 1500 obr/min.

Generator wodoru zasilany z zewnętrznego źródła energii dostarczał do układu gaz wodorotlenowy (HHO) doprowadzany bezpośrednio do kolektora silnika poprzez układ filtrujący, osuszacz i flashback arrestor uniemożliwiający cofanie się płomienia.



Rys. 1. Stanowisko badawcze.

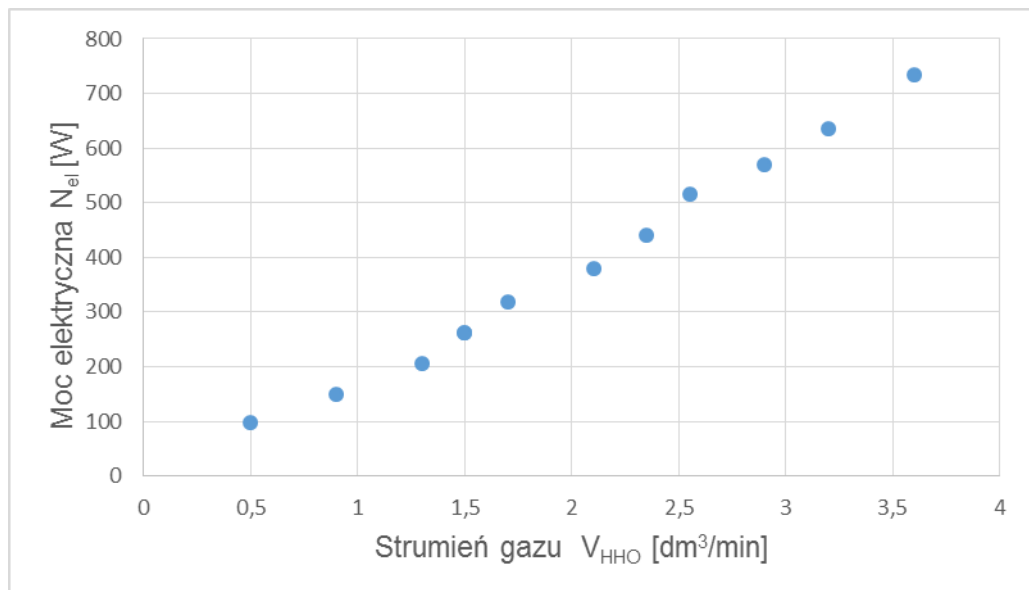
W celu określenia ilościowego oddziaływania silnika spalinowego na środowisko naturalne, bazowano na pomiarze składu spalin suchych bezpośrednio na wylocie z silnika za pomocą analizatora spalin.

Tab. 1 Podstawowe parametry silnika ZI zainstalowanego na hamowni z hamulcem elektrycznym

Dane techniczne silnika F8CV	
Rodzaj silnika	z zapłonem iskrowym, 4-suwowy wolnossący
Liczba i układ cylindrów	3, rzędowy, pionowy
Objętość skokowa, dm^3	0.796
Stopień kompresji	9.3
Średnica cylindra, mm	68.5
Skok tłoka, mm	72
Moc maksymalna, kW/KM	37.3/50.7 przy 6000 obr/min
Maksymalny moment obrotowy, Nm	69 przy 4600 obr/min
Chłodzenie	Wodne, wymuszone

Generator wodoru wypełniono destylowaną wodą z wodorotlenkiem sodu KOH o stężeniu 6%, celem zwiększenia przewodności właściwej. W celu wyznaczenia wydajności generatora dokonano pomiaru wydobywającego się gazu mierzonego odpowiednio skalibrowanym

rotametrem w zależności od dostarczonej mocy. Wyniki przedstawiono na rys. 2. Strumień gazu V_{HHO} jest praktycznie liniowo zależny od dostarczonej mocy elektrycznej N_{el} z zasilacza laboratoryjnego firmy Voltcraft. Należy podkreślić, że zasilacz miał wbudowany układ zapobiegający zwarceniu a tym samym automatycznie dostosowywał napięcie do zadanego natężenia prądu. Przy braku zabezpieczenia następowałoby zwarcie pomiędzy poszczególnymi płytami generatora i występowanie zjawiska parowania wody a nie wydzielania się gazu HHO. Zbyt wysokie stężenie KOH ze względu na niewielką odległość płyt generatora (2 mm) mogłoby doprowadzić do zwarcia pomiędzy płytami. Podczas podłączenia generatora do kolektora występujące podciśnienie, powodowało szybsze odłączanie tworzących się na powierzchni płyt bąbli wodoru i tlenu, co powodowało większą produkcję gazu HHO niż przy braku podciśnienia.



Rys.2. Wykres charakterystyki generatora

Ilość zużytego paliwa LPG mierzono w kg/h za pomocą przepływomierza typu Coriolisa. Wielkość dawki zależała od nastawionych parametrów pracy silnika, dla stałego współczynnika λ składu mieszanki wynoszącego 1 (mieszanka stechiometryczna).

2.2. Badania eksperymentalne

Badania przeprowadzono dla stałego obciążenia silnika. Obciążenie wynosiło 100% mocy znamionowej, generowane było za pomocą elektrycznego silnika asynchronicznego. Zmieniano kąt wyprzedzenia zapłonu α_z ,^o przed GZP GZP od 5 do 45 stopni co 5 stopni, ilość HHO \dot{m} [kg/h]. Pomiary wykonano podczas zasilania wyłącznie gazem LPG a także podczas zasilania mieszanką LPG i HHO dla trzech wartości strumienia objętościowego HHO, tj. 1, 2, 3.2 [dm³/min]. Ilość podawanego gazu LPG HHO występowała przy niezmiennym współczynniku $\lambda=1$, dla zachowania stałej mieszanki stechiometrycznej. Zawory regulacyjne służyły do stabilizacji parametrów termicznych silnika, tak, aby temperatura czynnika chłodzącego silnik oraz olej smarujący była utrzymywana na poziomie $80 \pm 5^\circ\text{C}$. Dokonano również analizy spalin. Mierzono skład spalin suchych bezpośrednio na wylocie z silnika spalinowego będącym na wyposażeniu analizatorem spalin. Silnik nie był wyposażony w jakikolwiek układ oczyszczania spalin.

3. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

Na podstawie pomiaru zużycie paliwa oraz mocy efektywnej na wale korbowym w pierwszym kroku wyznaczono z wzoru (1) sprawność energetyczną η_o silnika zdefiniowaną, jako stosunek mocy efektywnej do strumienia energii dostarczanego paliwa (HHO i LPG).

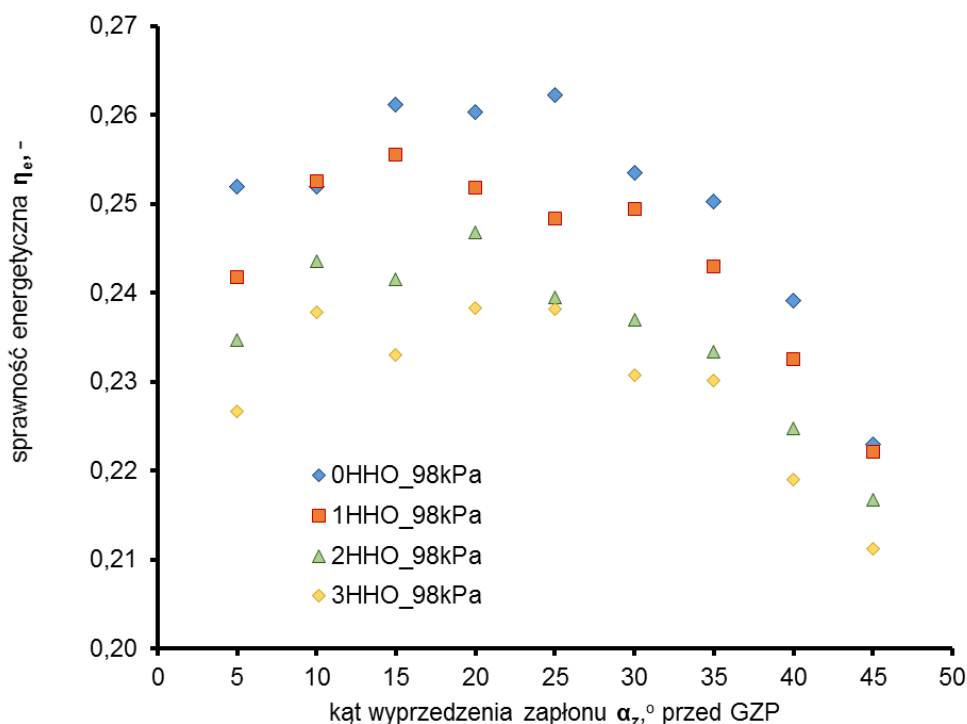
$$\eta_o = \frac{N}{m_{HHO}W_{HHO} + m_{LPG}W_{LPG}} \quad (1)$$

Gdzie odpowiednio N, kW - moc efektywna silnika spalinowego, m_{HHO} , m_{LPG} [kg/s] to strumienie masowe HHO i LPG, W_{HHO} , W_{LPG} wartości opałowe [MJ/kg]

Wartości opałowe wynoszą odpowiednio $W_{HHO}= 119,8$ [MJ/kg] i $W_{LPG}= 46$ [MJ/kg].

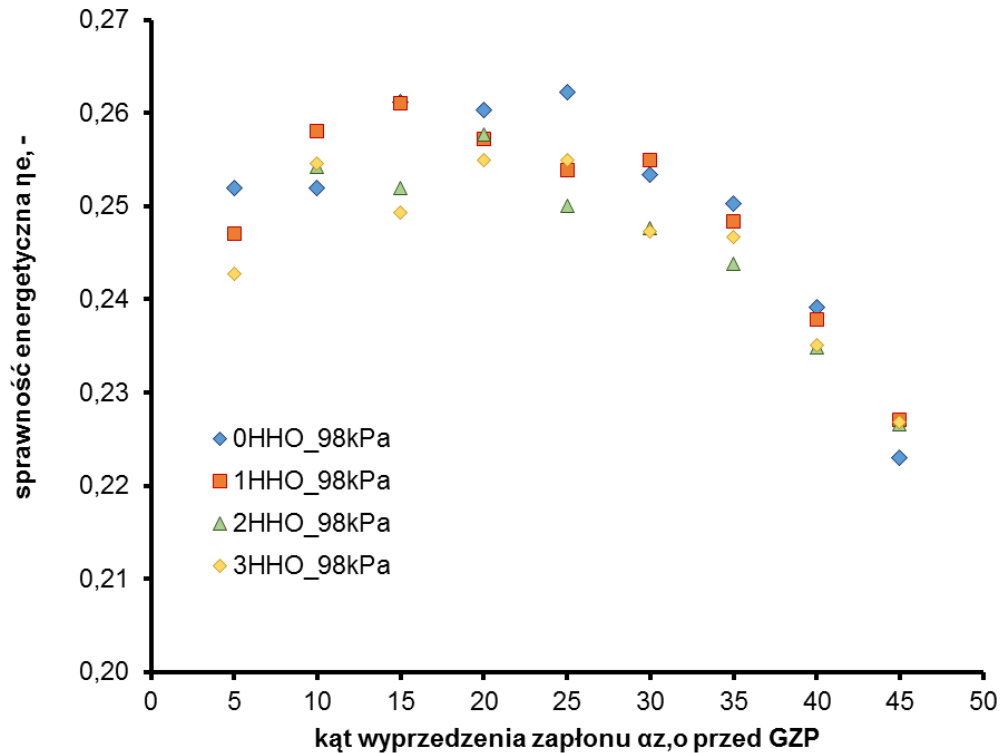
Dla gazu HHO przyjęto wartość opałową wodoru.

Na rys. 3 przedstawiono wpływ zmiany kąta wyprzedzenia zapłonu oraz dodatku gazu HHO na sprawność energetyczną badanego silnika ZI (bez uwzględnienia energii chemicznej HHO). Jak widać dla samego LPG najwyższą wartość ponad 26% osiągnięto dla kąta wyprzedzenia 25° . W przypadku zasilania HHO + LPG dla przepływu HHO $1\text{dm}^3/\text{min}$ maksymalna moc 25,5 % wystąpiła dla kąta 15° . Dla kątów większych od 25° następuje spadek wyraźny spadek sprawności. Jest to jak najbardziej zrozumiałe, gdyż została dostarczona dodatkowa energia dla uzyskania HHO z elektrolizy.



Rys. 3. Wpływ zmiany kąta wyprzedzenia zapłonu oraz dodatku gazu HHO na sprawność energetyczną badanego silnika ZI (bez uwzględnienia energii chemicznej HHO)

Na rys. 4 przedstawiono wpływ zmiany kąta wyprzedzenia zapłonu oraz dodatku gazu HHO na sprawność energetyczną badanego silnika ZI z uwzględnieniem energii chemicznej HHO. Również tutaj dla samego LPG najwyższą wartość ponad 26% osiągnięto dla kąta wyprzedzenia 25° . W przypadku zasilania HHO + LPG dla przepływu HHO $1\text{dm}^3/\text{min}$ maksymalna moc 25,5 % wystąpiła dla kąta 15° . Dla kątów większych od 25° następuje spadek sprawności energetycznej silnika. Po uwzględnieniu energii chemicznej krzywe prawie nakładają się na siebie.



Rys. 4. Wpływ zmiany kąta wyprzedzenia zapłonu oraz dodatku gazu HHO na sprawność energetyczną badanego silnika ZI (z uwzględnieniem energii chemicznej HHO)

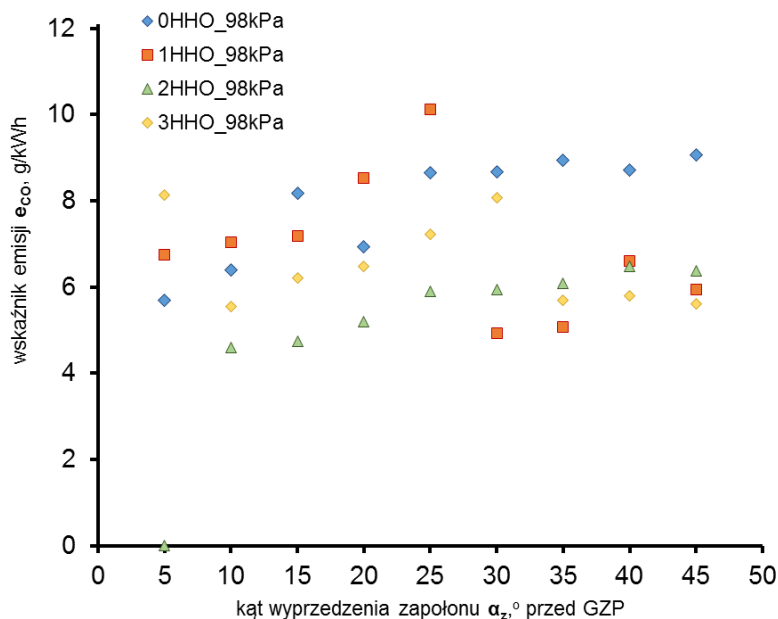
Oddziaływanie silnika na środowisko naturalne określone na podstawie wskaźników emisji tlenku węgla oraz tlenków azotu. W pierwszej kolejności obliczono według wzoru (2) wskaźnik emisji wyrażony w ilości masy substancji szkodliwej na ilość spalnego paliwa:

$$E_i = [i] * n_{ss}'' * M_i \text{ [kg/kg}_{LPG}] \quad (2)$$

Gdzie $[i]$ udział objętościowy substancji w spalinach suchych, n_{ss}'' jednostkowa ilość spalin suchych, M_i masa molowa substancji.

Wyliczono również wskaźnik emisji e_i [g/kWh] odniesiony do wykonanej pracy użytecznej (jednostkowa emisja tlenku węgla oraz tlenków azotu).

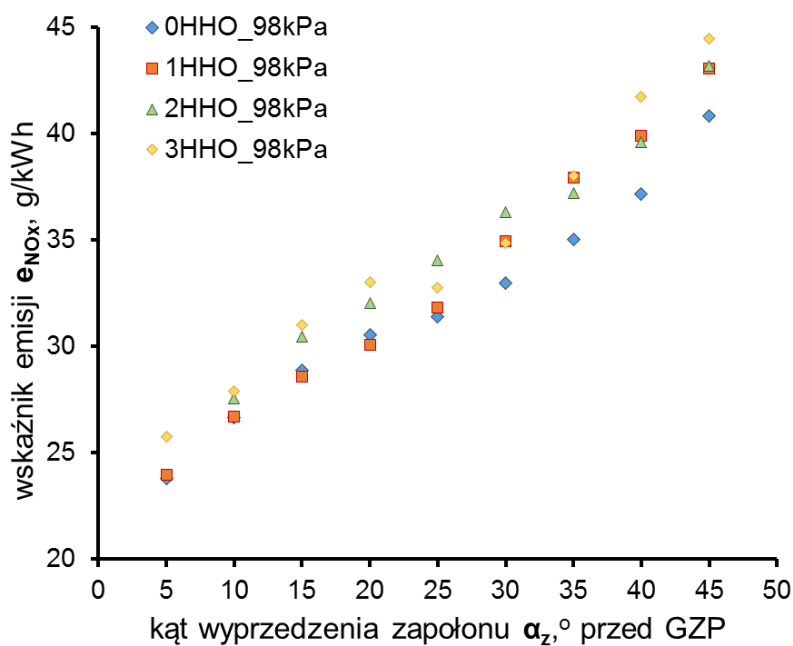
Na rys. 5 pokazano wpływ zmiany kąta wyprzedzenia zapłonu oraz dodatku gazu HHO na jednostkową emisję CO.



Rys. 5. Wpływ zmiany kąta wyprzedzenia zapłonu oraz dodatku gazu HHO na jednostkową emisję CO

Zwiększenie kąta wyprzedzenia wpływa również na zwiększenie emisji CO, co prawda znaczące różnice występują dla dodatku 1 dm³/min HHO w zakresie kąta 25° na 30° jednak powinny być to poparte dalszymi badaniami. Dodatek HHO na wpływ na zmniejszenie emisji CO w porównaniu z samym zasilaniem LPG można to tłumaczyć dokładniejszym spalaniem węgla w środowisku gazu HHO.

Na rys. 6 pokazano wpływ zmiany kąta wyprzedzenia zapłonu oraz dodatku gazu HHO na jednostkową emisję NO_x.



Rys. 6. Wpływ zmiany kąta wyprzedzenia zapłonu oraz dodatku gazu HHO na jednostkową emisję NO_x

Zmniejszenie kąta wyprzedzenia wpływa bezpośrednio na obniżenia wskaźnika emisji tlenków azotu (NO_x), przy nieco zwiększonej ilości CO. Dodatek HHO wpływa na zwiększenie emisji tlenków azotu. Szczególnie w zakresie powyżej 25°. Jest to spowodowane większą średnią temperaturą ładunku podczas spalania oraz możliwością wystąpienia lokalnych pików temperatury w komorze spalania podczas zasilania mieszanką LPG i HHO.

4. WNIOSKI

Dokonano oceny wpływu działania instalacji HHO na pracę silnika spalinowego. Na podstawie przedstawionych pomiarów i wykresów nie stwierdzono radykalnej poprawy jakości spalin przy zastosowaniu różnych strumieni HHO odpowiednio 1, 2 i 3.2 dm³/min.

Przyszłe badania powinny się skupić w szerszym polu pracy silnika spalinowego oraz miana regulacji wartości stosunku nadmiaru powietrza.

Zarejestrowano negatywny wpływ dodatku HHO na sprawność energetyczną silnika spalinowego. Dla badanych punktów pracy silnika spalinowego warunków nie jest opłacalne stosowanie instalacji HHO.

Sprawność skorygowana uwzględniająca produkcję wodoru z zasilacza laboratoryjnego zmalała z oczywistych względów zdecydowanie bardziej względem sprawności ogólnej obliczonej dla pracy bez instalacji HHO.

Stwierdzono, że dodatek gazu HHO wpływa na wzrost emisji tlenków azotu oraz w niektórych punktach regulacji przyczynia się do obniżenia emisji tlenku węgla.

W związku z niezaobserwowaniem zmniejszenia strumienia LPG uważa się za mało prawdopodobne, aby instalacja HHO mogła dla warunków panujących w tych punktach odnieść pozytywny skutek w postaci wzrostu sprawności silnika dla jakichkolwiek możliwych do zastosowania wielkości strumienia gazu HHO. Należy podkreślić, że silnik był badany w warunkach stacjonarnych i wymagane są dalsze próby w warunkach trakcyjnych.

Liczba prac obejmujących swoją tematyką badania dodatku HHO do zasilania silników trakcyjnych jest bardzo mała, a prezentowane wyniki niejednoznaczne. Co prawda jest duża grupa użytkowników takich układów, jednak wszystko odbywa się w warunkach amatorskich i nie jest poparte rzetelnymi badaniami naukowymi.

Wymagane są dalsze prace w szerszym zakresie parametrów regulacyjnych silnika spalinowego ZI by wykazać w sposób jednoznaczny wpływ gazu wodorotlenowego na jego pracę.

LITERATURA

- [1] King M. B.: Water Electrolyzers and the Zero-Point Energy, *Physics Procedia* 20 (2011) 435–445
- [2] Yilmaz A.C., Uludamar E., Aydin K.: *Effect of hydroxyl (HHO) gas addition on performance and exhaust emissions in compression ignition engines*, *International journal of hydrogen energy* 35(2010), p. 11366-11372.
- [3] Liew C., Li H., Liu S., Besch M.C., Ralston B., Clark N., Huang Y.: *Exhaust emissions of a H₂-enriched heavy-duty diesel engine equipped with cooled EGR and variable geometry turbocharger*, *Fuel* 91(2012), p. 155-163.
- [4] Miyamoto T., Hasegawa H., Mikami M., Kojima N., Kabashima H., Urata Y.: *Effect of hydrogen addition to intake gas on combustion and exhaust emission characteristics of a diesel engine*, *International Journal of Hydrogen Energy* 36(2011), p. 13138-13149.
- [5] Mustafa Kaan Baltacioglu, Huseyin Turan Arat, Mustafa Ozcanli, Kadir Aydin: *Experimental comparison of pure hydrogen and HHO (hydroxy) enriched biodiesel (B10) fuel in a commercial diesel engine*, *International Journal of Hydrogen Energy* 41 (2016) 8347-8353
- [6] Selvi Rajaram, P., et al.: *Effectiveness of oxygen enriched hydrogen-hho gas addition on direct injection diesel engine performance, emission and combustion characteristics*. *THERMAL SCIENCE: Year 2014, Vol. 18, No. 1, pp. 259-268*

- [7] <http://www.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/hydrogen/production.html>
- [8] Kardasz P. Włostowski R. . *Ekologiczny gaz Browna*. Auto naprawa 75 (2013)
<http://www.e-autonaprawa.pl/archiwum/pdf/1381149724.pdf>