

## **OCENA MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA GAZU BROWNA W OKRĘTOWNICTWIE**

*Artykuł na charakter pogłówny i dotyczy możliwości zastosowania gazu Browna (HHO) jako dodatku do procesu spalania dla okrętowych silników tłokowych. Zaprezentowano wyniki badań prowadzonych w różnych ośrodkach naukowych i przedstawiono zalety oraz wady tego dodatku. Do najważniejszych zalet wykorzystania HHO zaliczono zmniejszenie jednostkowego zużycia paliwa, ograniczenie emisji toksycznych składników spalin, a także zwiększoną szybkość spalania. Największą wadą jest możliwość wystąpienia przedwczesnego zapłonu oraz duża energochłonność procesu pozyskiwania gazu Browna. W podsumowaniu dokonano wstępnej oceny możliwości stosowania HHO w transporcie morskim.*

**Słowa kluczowe:** gaz Browna, HHO, okrętownictwo, wodór, silnik, elektroliza, zużycie paliwa, emisja spalin.

### **WSTĘP**

Transport morski jest jedną z tych gałęzi przemysłu, którą niezwykle silnie dotykają wszystkie kryzysy „energetyczne”, ekonomiczne, a także obecna światowa tendencja do zaostrzania norm i przepisów zmniejszających oddziaływanie na środowisko morskie. Jednostki transportu morskiego stają się największym generatorem zanieczyszczeń powietrza w Unii Europejskiej. Prawdopodobnie w 2020 roku emisje tlenków siarki oraz azotu, pochodzące z transportu morskiego, przekroczą emisje lądowe w UE [11]. Restrykcyjne wymagania dotyczące emisji zanieczyszczeń powstających w trakcie eksploatacji statków, zmuszają do poszukiwań nowych, czystszych źródeł energii [5]. Jedną z możliwości zwiększenia osiągnięć silnika oraz zmniejszenia emisji spalin jest użycie dodatków do procesu spalania, takich jak: biogaz, gaz ziemny, propan – butan, wodór, biopaliwa i gazy bogate w wodór [10].

Przewiduje się, że to właśnie wodór będzie paliwem przyszłości, pomimo trudności technicznych związanych z jego zastosowaniem [2]. Wodór może zaspokoić wszystkie potrzeby ludzkości w zakresie energii elektrycznej, cieplnej i mechanicznej. Jest to łatwo dostępny oraz czysty nośnik energii, stosowany w ogniach paliwowych, silnikach tłokowych, czy turbinach gazowych [4].

## 1. WODÓR JAKO PALIWO

Wodór (H) ma szczególne cechy w porównaniu do paliw węglowodorowych (tab. 1). Najbardziej znaczące są: brak obecności węgla, duża prędkość spalania, szeroki zakres palności, a także najwyższa wartość energii w odniesieniu do jednostki masy [1, 3].

**Tabela 1.** Charakterystyka benzyny, oleju napędowego, oleju roślinnego i wodoru [1, 10]

**Table 1.** Characteristics of gasoline, diesel oil, vegetable oil and hydrogen [1, 10]

Właściwości	Benzyna	Olej napędowy	Olej roślinny	Wodór
Gęstość [kg/m <sup>3</sup> ]	721–785	840	917	82
Dolna wartość opałowa [MJ/kg]	44	42,3	39,8	119,8
Szybkość płomienia [m/s]	0,4	0,3	–	2,7
Temp. samozapłonu [°C]	260–460	280	–	585
Pozostałość po koksowaniu	0,1	0,3	0,6	0,0

Wodór otrzymuje się w wyniku podziału związków, których jest składnikiem. Jedną z metod jest elektrolityczny rozpad wody, natomiast dla celów przemysłowych wodór zwykle pozyskiwany jest z naturalnych surowców energetycznych. W wyniku elektrolizy pod wpływem energii elektrycznej następuje rozpad cząsteczki wody na wodór cząsteczkowy H<sub>2</sub> (elektroda katodowa) i tlen cząsteczkowy O<sub>2</sub> (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% [1].

Posługiwanie się gazowym czy ciekłym wodorem jest niebezpieczne ze względu na palność i wybuchowość tego pierwiastka w kontakcie z tlenem, więc wymaga szczególnej ostrożności. W związku z tym czystość i skład ciekłego wodoru muszą być ściśle monitorowane i kontrolowane [1].

Pomimo niebezpieczeństw związanych z wodorem jest on wykorzystywany w różnych gałęziach przemysłu, np. do produkcji amoniaku, a następnie nawozów sztucznych, utwardzania tłuszczów, produkcji metanolu, w spawalnictwie oraz metalurgii itp. Obok wspomnianych sposobów wykorzystania wodór ma także zastosowanie jako paliwo, co więcej, uważa się go za jeden z najbardziej proekologicznych nośników energii. Zastosowanie wodoru jako paliwa odbywa się w trzech kierunkach [1]:

- ogniwa paliwowe wytwarzające energię elektryczną wykorzystywaną następnie w samochodowym silniku elektrycznym;
- jedyne paliwo napędzające silnik spalinowy;
- dodatek do procesu spalania powszechnie stosowanych paliw.

Niedawna koncepcja dodatku wodoru do silników wysokoprężnych jest nadal na etapie badań. Jednak już wiadomo, że ze względu na wysoką temperaturę samozapłonu wodór nie może być stosowany bezpośrednio do silników o zapłonie samoczynnym bez świecy zapłonowej lub świecy żarowej. Dodatkowo konieczny jest zbiornik magazynujący wodór. Problemy te znikają w przypadku zastąpienia wodoru gazem Browna (mieszanina wodoru oraz tlenu, powstająca w wyniku rozkładu wody), który nie potrzebuje zewnętrznego źródła zapłonu oraz jest produkowany i konsumowany przez silnik jednocześnie.

## 2. GAZ BROWNA JAKO DODATEK DO PROCESU SPALANIA

Gaz Browna stanowi swego rodzaju czwartą postać wody, którą uzyskuje się dzięki elektrolizie. Udowodniło to dwóch naukowców, tj. Yull Brown oraz William Rhodes. Gaz Browna, zwany również HHO, jest to bezbarwna, bezwonna i nietrująca mieszanina wodoru i tlenu w stosunku 2:1 (objętościowo) lub 1:8 (wagowo). Wodór rozszerza zakres palności mieszanki paliwowo-powietrznej, natomiast tlen wspiera proces spalania i poprawia stabilizację płomienia. Dodanie gazu Browna do procesu spalania ma na celu poprawę sprawności silnika, redukcję zużycia paliwa, poprawę efektywności procesu spalania oraz znaczne zmniejszenie zawartości toksycznych związków w spalinach [10]. Pierwsze instalacje służące do podawania mieszaniny tlenu oraz wodoru do silnika są znane w lotnictwie od okresu II wojny światowej. Zasada tworzenia gazu HHO podobna była do patentu Jana Gulaka, który wykorzystywał parę przegrzaną. Para wodna była dostarczana do komory spalania, gdzie ulegała podziałowi na wodór i tlen, a następnie była spalana z paliwem [9].

Badania nad zastosowaniem gazu Browna są aktualnie prowadzone na całym świecie. Obecnie istnieje wiele możliwości zamontowania generatora HHO w samochodach osobowych [2, 9, 12]. Jednak proces pozyskiwania omawianego gazu jest bardzo energochłonny. Rozkład wody na wodór i tlen nie daje dodatniego bilansu energetycznego. Alternatywą jest tu jednak wykorzystanie ciepła odpadowego silnika [4].

## 3. ANALIZA WYNIKÓW PROWADZONYCH BADAŃ

Autorka niniejszego opracowania nie prowadziła dotychczas własnych badań nad możliwością zastosowania gazu Browna jako dodatku do procesu spalania w tłokowych silnikach spalinowych, w tym przede wszystkim silników stoso-

wanych w transporcie morskim. W związku z tym posiłkowano się wynikami, które zostały przeprowadzone przez inne ośrodki naukowe na silnikach tłokowych o zapłonie iskrowym oraz samoczynnym, stosowanych w transporcie lądowym. Wadą takiego podejścia jest znaczna niepełność danych. Jednak w celu otwarcia dyskusji co do zasadności zastosowania gazu HHO dla silników spalinowych okrętowych oraz stworzenia własnego planu badawczego warto spróbować takiego rozwiązania.

### 3.1. Badania prowadzone przez Uniwersytet Çukurova w Turcji

Badania prowadzono na silniku rzędownym czterocylindrowym o zapłonie samoczynnym, napędzanym olejem napędowym. Najważniejsze dane techniczne tego silnika zamieszczono w tabeli 2 [12].

**Tabela 2.** Charakterystyka techniczna badanego silnika w laboratorium na Uniwersytecie Çukurova [12]

*Table 2. Technical characteristics of the engine in the laboratory at the University of Cukurova [12]*

Parametr	Wartość
Pojemność skokowa	3567 cm <sup>3</sup>
Średnica	104 mm
Skok	105 mm
Chłodnica oleju	Chłodzona wodą
Moment obrotowy	255 Nm przy 1800 obr/min
Moc hamowania	80 kW przy 3500 obr/min
Zalecana maksymalna prędkość obrotowa	3600 obr/min

Gaz Browna, podawany do wlotu kolektora, był wytworzony w szczelnym pojemniku reaktora za pomocą procesu elektrolizy. Pojemnik, zwany generatorem HHO, wykonano z tworzywa sztucznego (pleksiglasu).

Charakterystykę zastosowanego systemu HHO zaprezentowano w tabeli 3.

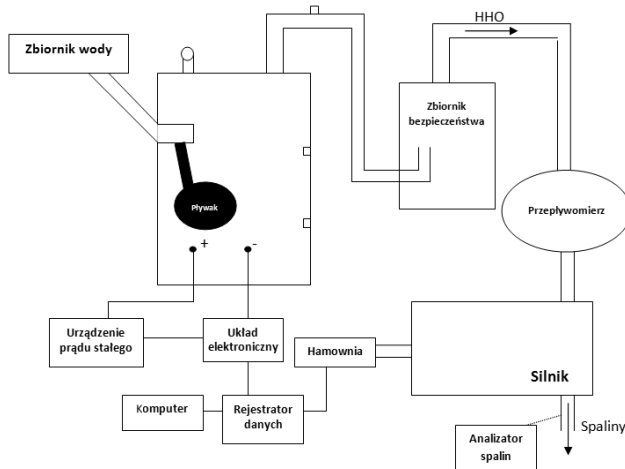
**Tabela 3.** Charakterystyka systemu HHO [12]

*Table 3. HHO system characteristics [12]*

Parametr	Wartość
Maksymalne zasilenie gazem	5 l/min
Elektrody	Płytki ze stali nierdzewnej 316 L
Maksymalne napięcie i natężenie prądu >1750 obr/min	12 Ve 10 A
Elektrolit (1% wagi)	Wody roztwór NaOH
Pojemność pojemnika	8,5 l
Kontrola poziomu wody	Pływak
Temperatura wody	40°C – 45 °C
Wymiary	170 mm x 400 mm
Waga	3,5 kg

Badania przeprowadzono na hamowni, która umożliwiała obciążanie badanego silnika momentem obrotowym w zakresie od 0 do 1700 Nm. Dokonano m.in. pomiaru emisji węglowodoru (HC) oraz tlenku węgla (CO) w spalinach, a także momentu obrotowego i jednostkowego zużycia paliwa. HHO na początku jest przesyłany do zbiornika bezpieczeństwa, aby zapobiec gwałtownej reakcji. W czasie eksperymentu skrupulatnie kontrolowano temperaturę i ciśnienie gazu w generatorze.

Schemat układu pomiarowego przedstawiono na rysunku 1.



**Rys. 1.** Układ pomiarowy zastosowany na Uniwersytecie Çukurova [12]

**Fig. 1.** The measuring system used at the University of Cukurova [12]

Wyniki eksperymentu wskazują, że przy średnich i wysokich prędkościach obrotowych silnika zastosowany dodatkowy system HHO wywołuje zwiększenie momentu obrotowego o blisko 20% oraz zmniejszenie jednostkowego zużycia paliwa o około 14% w porównaniu do pracy silnika bez wspomaganie gazem Browna. Powyższe działanie może być spowodowane zmianą dynamiki procesu spalania, poprzez zwiększoną ilość tlenu z gazu HHO, a tym samym doskonalszą mieszankę powietrza, paliwa oraz gazu Browna. Większa prędkość spalania oraz niższa energia zapłonu tej mieszanki minimalizuje efekt osłabionego przepływu ładunku w cylindrze oraz pojawiania się gazu resztkowego. Nastąpiła również redukcja HC oraz CO w składzie spalin, gdzie przy znacznych prędkościach obrotowych silnika (3000 obr/min) udział węglowodoru spadł o 10%, a tlenku węgla o ponad 30%.

Problemy wystąpiły przy niskich prędkościach obrotowych silnika, kiedy zawór dolotowy jest za długo otwarty i następuje zachwianie równowagi między odpowiednimi ilościami powietrza i gazu Browna. Skutkiem tego jest spadek współczynnika napełnienia cylindra, a następnie pogorszenie wszystkich parametrów pracy. Autorzy zaproponowali rozwiązanie wspomnianego problemu poprzez zastosowanie elektronicznego modułu sterowania HHO (ang. *Hydroxy electronic control unit* – HECU), którego zadaniem będzie dostosowanie natężenia

przepływu HHO do aktualnego obciążenia silnika, w wyniku automatycznego zmniejszenia napięcia i prądu, poprzez odpowiednie zaprogramowanie rejestratora danych. Drugą wadą, którą dostrzeżono, jest możliwość wystąpienia przedwczesnego zapłonu ze względu na dużą prędkość spalania oraz szeroki zakres palności wodoru.

### 3.2. Badania prowadzone przez Mutah Uniwersytet

Kolejne badania eksperymentalne zostały przeprowadzone na Uniwersytecie Mutah w Jordanii [6] na silniku jednocylindrowym, chłodzonym powietrzem o zapłonie iskrowym – silnik Honda G 200.

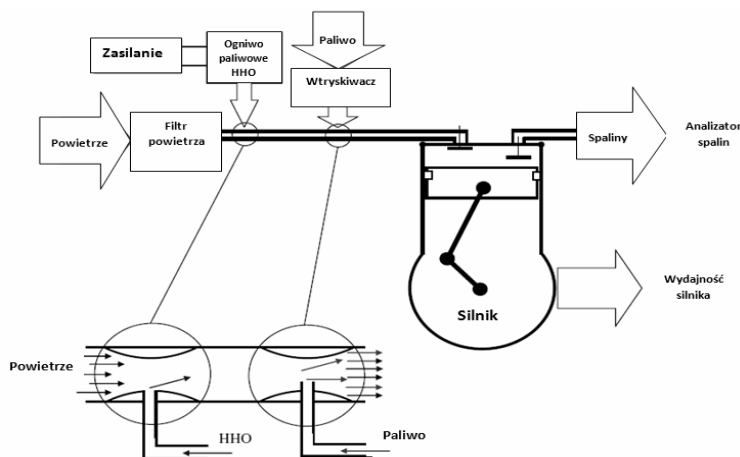
Charakterystykę techniczną obiektu badań przedstawiono w tabeli 4.

**Tabela 4.** Charakterystyka techniczna badanego silnika w laboratorium na Uniwersytecie Mutah [6]

**Table 4.** Technical characteristics of the engine in the laboratory on Mutah University [6]

Parametr	Wartość
Pojemność skokowa	197 cm <sup>3</sup>
Średnica	67 mm
Skok	56 mm
Moment obrotowy	10,4 Nm przy 2500 obr/min

Do wytworzenia gazu Browna zastosowano ogniwo paliwowe, które wykorzystuje proces elektrolizy wody, ze stopniowym dodawaniem elektrolitu (wodorowęglanu sodu), który przyspiesza rozkład cząstki wody destylowanej do HHO oraz zapewnia kontrolę wydzielania ciepła. Wytworzony HHO jest łączony z powietrzem, następnie z paliwem, a utworzona mieszanka podawana do gaźnika (rys. 2).

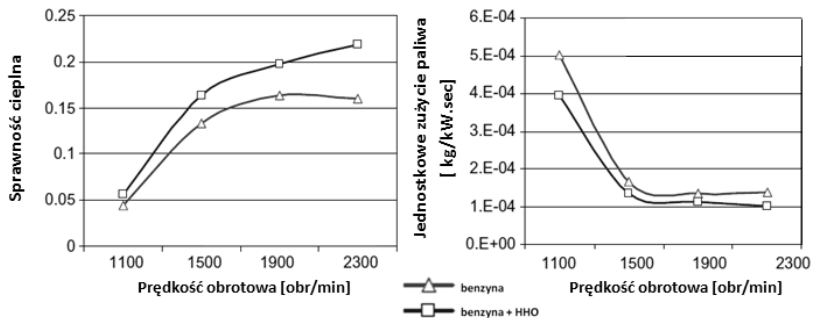


**Rys. 2.** Schemat układu pomiarowego zastosowanego na Uniwersytecie Mutah [6]

**Fig. 2.** Schematic of the measuring system used at Mutah University [6]

Dokonano pomiarów emisji: tlenku węgla (CO), dwutlenku węgla (CO<sub>2</sub>), tlenków azotu (osobny pomiar NO oraz NO<sub>x</sub>), węglowodoru (HC) i czystego tlenu (O<sub>2</sub>). Wyznaczono również sprawność cieplną oraz jednostkowe zużycie paliwa, w zakresie zmian prędkości obrotowych silnika od 1000 obr/min do 2300 obr/min.

Wyznaczone w badaniu zależności sprawności cieplnej oraz jednostkowego zużycia paliwa w funkcji prędkości obrotowej przedstawiono na wykresach (rys. 3). Można zauważyć wzrost sprawności cieplnej oraz zmniejszenie jednostkowego zużycia paliwa dla wszystkich realizowanych prędkości obrotowych silnika.



**Rys. 3.** Wykresy sprawności cieplnej oraz jednostkowego zużycia paliwa w funkcji prędkości obrotowej dla badań przeprowadzonych na Uniwersytecie Mutha [6]

**Fig. 3.** Thermal efficiency and specific fuel consumption obtained on Mutha University [6]

W całym zakresie prędkości obrotowych zanotowano spadek zawartości w spalinach mierzonych składników toksycznych, w tym NO<sub>x</sub>, NO, HC oraz CO (tab. 5). Wyjątek stanowi CO<sub>2</sub>, którego emisja dla prędkości obrotowych silnika przekraczających 1900 obr/min jest większa o blisko 16% w porównaniu ze spalaniem bez dodatku gazu Browna. Zjawisko to tłumaczone jest przez autorów krótszym czasem spalania dla wyższych prędkości obrotowych silnika.

**Tabela 5.** Procentowy spadek składowych emisji spalin przy użyciu układu HHO w silniku na Uniwersytecie Mutha

**Table 5.** Percent reduction of the emission parameters using HHO system in the laboratory on Mutha University

Rodzaj gazu	NO <sub>x</sub>	NO	HC	CO
Spadek	54 %	50 %	40 %	redukcja do zera

### 3.3. Hanoi University of Science and Technology

Badania oddziaływania dodatku gazu Browna na pracę silnika przeprowadzono również na Hanoi University of Science and Technology na jednocyndrowym silniku z zapłonem iskrowym (tab. 6), gdzie HHO był podawany do wlotu kolektora [10].

**Tabela 6.** Charakterystyka techniczna badanego silnika w laboratorium na Hanoi University of Science and Technology [10]

**Table 6.** Technical characteristics of the engine in the Hanoi University of Science and Technology [10]

Parametr	Wartość
Pojemność skokowa	97 cm <sup>3</sup>
Średnica	50 mm
Skok	49,5 mm
Stopień sprężania	9,0 : 1

Podczas eksperymentu rejestrowano prędkość obrotową oraz moment obrotowy silnika, zużycie paliwa, a także zawartość w spalinach następujących związków: CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub> i HC. Gaz Browna wytwarzany był w procesie elektrolizy wody i przekazywany do zbiornika o ciśnieniu 3,5 bara. Badania doświadczalne przeprowadzono w trzech położeniach przepustnicy, 30%, 50% i 70% w zakresie prędkości obrotowych od 3600 do 7200 obr/min. Wyniki wykazały, że moc silnika wzrosła w przypadku zastosowanej mieszanki paliwo + powietrze + HHO o około 2,78% w stosunku do tradycyjnej mieszanki paliwowo-powietrznej.

Na podstawie analizy składu spalin zauważono, że wzrastała zawartość NO<sub>x</sub> 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.

## PODSUMOWANIE

Analiza badań przedstawionych ośrodków naukowych podkreśla stan niepewności laboratoryjnej oceny idei dodatku gazu Browna do procesu spalania konwencjonalnych paliw. Niekompletność danych, różnice w układach pomiarowych, czy różnice w konstrukcji i przeznaczeniu stosowanych silników pozwalają na wyciągnięcie tylko ogólnych wniosków dotyczących przydatności HHO. Jednak takie podejście pozwala stworzyć własny program badawczy. Do pomiarów zużycia paliwa, mocy, składu emisji spalin powinny być dołączone pomiary ilości wykorzystanego gazu Browna. Ponadto eksperymenty powinny być powtarzane wielokrotnie, ponieważ nie jest znane długotrwałe oddziaływanie omawianego dodatku na stan i pracę silnika.

Można jednak sformułować szereg wniosków ogólnych, świadczących o wadach i zaletach stosowania HHO. Do grupy zalet stosowania gazu Browna można zaliczyć wielokrotnie zwiększoną szybkość spalania mieszanki (7 razy wyższa od spalania benzyny z powietrzem), a tym samym mniej ciepła zostaje wypro-



mieniowane do otoczenia. Uzyskuje się lepszą mieszalność oraz homogeniczność mieszaniny paliwo – powietrze – HHO. Mała wartość energii zapłonu umożliwia natychmiastowy zapłon i łatwiejszy start silnika, a w wyniku efektywniejsze spalanie [2]. W zaprezentowanych badaniach odnotowuje się spadek jednostkowego zużycia paliwa, z różnym efektem od kilku do kilkudziesięciu procent, a także ograniczenie emisji węgłowodoru oraz tlenku węgla.

Do najistotniejszych problemów należy zaliczyć przedwczesny zapłon, wywołany bardzo niską energią zapłonu wodoru, szerokim zakresem jego palności oraz małą odległością krytyczną propagacji płomienia. Przedwczesny zapłon skutkuje spadkiem sprawności, nierównomierną pracą silnika, a także możliwością cofnięcia się płomienia do przewodu dolotowego. W przypadku niskich prędkości obrotowych silnika, kiedy zawór dolotowy jest za długo otwarty, następuje zachwianie równowagi między odpowiednimi ilościami powietrza i gazu Browna, co prowadzi do pogorszenia wszystkich parametrów pracy silnika. Problem ten może być częściowo rozwiązany za pomocą elektronicznego modułu sterowania ilością podawanego gazu HHO w zależności od stanu obciążenia silnika oraz prędkości kątownej na wale silnika.

Kolejną trudnością jest fakt, że do spalania wodoru potrzebna jest duża ilość powietrza (ponad dwa razy więcej niż do benzyny). Jeśli warunek ten nie zostanie spełniony, to wówczas spalanie odbywa się z niedomiarem powietrza, co zwiększa zawartość  $\text{NO}_x$  w spalinach. Przy niskich prędkościach obrotowych silnika zwiększony jest również udział w spalinach  $\text{CO}_2$ . Proces pozyskiwania HHO jest bardzo energochłonny. Rozkład wody na wodór i tlen nie daje dodatniego bilansu energetycznego. Efektywny proces elektrolizy zachodzi w przedziale 1,75–2,3 V, natomiast na wyprodukowanie  $1 \text{ m}^3$  wodoru potrzeba około 5 kWh energii elektrycznej. Alternatywą jest tu jednak wykorzystanie ciepła odpadowego silnika, odpowiedni dobór elektrod i membran dla elektrolizera, a także dopasowanie temperatury, ciśnienia i gęstości prądu procesu elektrolizy [2].

Bezpośrednie przeniesienie doświadczeń dotyczących możliwości wykorzystania dodatku HHO w silnikach samochodowych na okrętowe silniki tłokowe nie jest możliwe. Wynika to ze specyfiki konstrukcyjnej i eksploatacyjnej tych obiektów, charakterystycznej dla transportu morskiego. Prędkości obrotowe mieszczą się w granicach od kilkudziesięciu obrotów na minutę (doładowane silniki wolnoobrotowe dwusuwowe) do kilkuset obrotów na minutę (doładowane silniki średnioobrotowe czterosuwowe). Bardzo duże moce napędów głównych statków sięgają nawet do ponad 80 MW. Okrętowe silniki tłokowe zasilane są często tzw. paliwami ciężkimi typu pozostałościowego, rzadziej zaś – paliwami lekkimi o właściwościach zbliżonych do olejów napędowych. W związku z tym w przyszłych badaniach należy m.in. szukać odpowiedzi na pytania dotyczące wpływu mieszanin tych paliw z HHO i powietrzem doładowującym na parametry pracy silników okrętowych.

Dodatkowo warto zwrócić uwagę na fakt, że ląd i morze są to dwa bardzo różne środowiska i stwarzają różne rodzaje przeszkód. Zasolenie powietrza morskiego, niewielkie odległości pomiędzy urządzeniami i ludźmi, wielotygodniowe

rejsy – to tylko niektóre z nich. Do tego brak zainteresowania inwestowaniem w technologię, a także brak wsparcia ze strony politycznej, aktualnie dość skutecznie zamykają drogę gazu Browna w okrętownictwie. Jednak z drugiej strony zakłada się, że do 2020 roku 20% paliw używanych w transporcie będą stanowić paliwa alternatywne i może to właśnie będzie szansa dla instalacji HHO na statkach.

## LITERATURA

1. Daszkiewicz P., *Badania możliwości poprawy wskaźników ekologicznych silników o zapłonie samoczynnym zasilanych paliwami konwencjonalnymi z domieszką wodoru*, praca doktorska, Poznań 2014.
2. Deczyński J., Żółtowski B., *Wodór jako paliwo alternatywne do zasilania silników ze spalaniem wewnętrznym*, Polskie Towarzystwo Zarządzania Wiedzą, seria: *Studia i Materiały*, 2014, nr 69, s. 18–31.
3. Feldzensztajn A., Pacuła L., Pusz J., *Wodór „paliwem” przyszłości*, INTECH, Instytut Wdrożeń Technicznych, Gdańsk 2003.
4. Gumuła S., Woźniak A., *Wybrane technologie produkcji energii elektrycznej z rozproszonych surowców odnawialnych*, [w:] „Energetyka. Problemy Energetyki i Gospodarki Paliwowo-Energetycznej”, listopad 2012, nr 11(701), s. 683–686.
5. Kołwzan K., Adamkiewicz A., *Zapobieganie zanieczyszczeniu powietrza przez statki w świetle najnowszych wymagań Załącznika VI do Konwencji MARPOL*, Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie, 2009, nr 18(90) s. 66–70.
6. Musmar Sa'ed A., Al-Rousan Ammar A., *Effect of HHO gas on combustion emissions in gasoline engines*, „Fuel”, 2011, Vol. 90, s. 3066–3070.
7. Naresh C., Sureshbabu Y., Bhargavi Devi S., *Performance and Exhaust Gas Analysis of a Single Cylinder Diesel Engine Using HHO Gas (Brown's Gas)*, International Journal of Engineering Research, 2014, Vol. 3, No: Special 1, s. 40–47.
8. Różycka E., *Analiza opłacalności zastosowania niekonwencjonalnych źródeł energii w projektowanym budynku jednorodzinym. Kolektory słoneczne, pompy ciepła*, „Rocznik Ochrony Środowiska”, 2009, t. 11, s. 1353–1371.
9. Skrzyniowski A., *Gaz Browna – HHO jako dodatek do paliw zasilających silniki spalinowe*, „Czasopismo Techniczne Politechniki Krakowskiej. Mechanika”, 5-M/2012, Vol. 109, z. 10, s. 281–290.
10. Tuan Le Anh, Khanh Nguyen Duc, Huong Tran Thi Thu, Tai Cao Van, *Improving Performance and Reducing Pollution Emissions of a Carburetor Gasoline Engine by Adding HHO Gas into the Intake Manifold*, SAE International, 2013, TSAE-13AP-0104.
11. *Wodór na otwartym morzu*, Community Research and Development Information Service, cordis.europa.eu/news/rcn/26826\_pl.pdf (kwiecień 2014).
12. Yilmaz A.C., Uludamar E., Aydin K., *Effect of hydroxy (HHO) gas addition on performance and exhaust emissions in compression ignition engines*, International Journal of Hydrogen Energy, 2010, 35(19), s.1–7.

## THE POSSIBILITY OF USING HHO IN MARINE ENGINES

### Summary

*Brown's gas (HHO) is a gas of diatomic structure ( $H_2$ ,  $O_2$ ), which is obtained by electrolysis of water. The article of debate on the possibility of applying a hydroxy to marine engines. They presented studies conducted in different research centers and shows the advantages and disadvantages of this supplement. The major advantages of using HHO included a reduction in specific fuel consumption, reduce emissions of toxic compounds burn, as well as an increased rate of combustion. The most important disadvantages are the possibility of premature ignition and high energy consumption during electrolysis. In conclusion, it made a preliminary assessment of the using of the HHO in maritime transport.*

**Keywords:** *Brown's Gas, hydroxy, HHO, hydrogen, marine engine, electrolysis, fuel consumption, emissions.*