

Analiza metod produkcji biowodoru pod kątem wielkości emisji GHG

Analysis of biohydrogen production methods in terms of GHG emission value

Kamil Berdechowski

Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy

STRESZCZENIE: Jednym z paliw, jakie w przyszłości planuje się wykorzystywać w dużo większym stopniu niż obecnie jest wodór. Wiele wdrażanych technologii ma pozwolić na to, aby bez większych przeszkód stosować ten rodzaj paliwa do pojazdów silnikowych. Jednak już od dawna wodór jest niezbędnym surowcem w wielu instalacjach do produkcji paliw tradycyjnych i używany przede wszystkim do tzw. wodorowych procesów katalitycznych (m.in. hydrokrakingu i hydrotreatingu). Tradycyjna technologia produkcji wodoru polegająca na reformingu parowym gazu ziemnego generuje wysoką emisję GHG w cyklu życia. Przyczyną tego jest wykorzystanie surowca kopalnego, z którego na etapie produkcji powstaje CO₂ (traktowany jako emisja z paliwa kopalnego i wliczany do bilansu emisji GHG). Drugim powodem jest wysoka energochłonność procesu, która przekłada się na dodatkową emisję gazów cieplarnianych generowaną w cyklu życia. Mając na uwadze ten aspekt, celem jest wykorzystanie alternatywnych sposobów otrzymywania wodoru oraz znanych procesów, ale z wykorzystaniem biomasy odpadowej jako wyjściowego surowca. Procesy takie prowadzą do uzyskania wodoru, który ze względu na pochodzenie surowca z jakiego powstał, traktowany jest jako biopaliwo. Obecne rozwiązania prawne dają możliwość zakwalifikowania biowodoru używanego w wyżej wymienionych procesach rafineryjnych jako biogeny składnik tradycyjnego paliwa. Jednak aby uzyskać on status biopaliwa zaliczonego na poczet realizacji NCW, musi on spełniać wymogi dyrektywy 2009/28/WE (tzw. RED) i ILUC. Kluczowym jest więc udowodnienie, że surowce z których dane biopaliwo wyprodukowano spełniają tzw. kryteria zrównoważonego rozwoju. W artykule opisano metody produkcji wodoru ze szczególnym uwzględnieniem biomasy jako surowca do jego produkcji. W przypadku jej wykorzystania, otrzymany w wyniku jej przeróbki wodór posiada biogeny charakter, a zatem może być potraktowany jako biopaliwo. Jednak zgodnie z obecnymi przepisami, każde biopaliwo, aby zostało zaliczone na poczet realizacji Narodowego Celu Wskaźnikowego (NCW), musi wykazać spełnienie tzw. kryteriów zrównoważonego rozwoju. Jednym z nich jest minimalny poziom ograniczenia emisji gazów cieplarnianych liczony w cyklu życia. Dlatego w artykule przeanalizowano trzy ścieżki produkcyjne, tj. produkcję biowodoru z biogazu, resztek drzewnych oraz surowej gliceryny. Spośród tych trzech najkorzystniejszym wariantem okazał się reforming biogazu, który wykazał ograniczenie emisji GHG na poziomie około 77%. Dodatkowo, tylko ta ścieżka produkcji spełniła wymagania stawiane biopaliwom otrzymywanym w nowych instalacjach.

Słowa kluczowe: biowodór, biopaliwo, reforming, zgazowanie, emisja GHG.

ABSTRACT: One of the fuels which will be used in the future to a much greater extent than currently is hydrogen. Many of the implemented technologies will allow this kind of fuel to drive motor vehicles without major obstacles. However, hydrogen has long been an indispensable raw material for many installations for the production of traditional fuels and used primarily for the so-called hydrogen catalytic processes (including hydrocracking, hydrotreating). Traditional hydrogen production based on natural gas steam reforming, generates high GHG emissions over the life cycle. The reason for this is the use of fossil raw material, from which CO₂ is generated at the production stage (treated as emission from fossil fuel and included in the GHG emission balance). The second reason is the high energy consumption of the process, which translates into additional greenhouse gas emissions generated in the life cycle. Given this aspect, it is advisable to use alternative methods of obtaining hydrogen and known processes, but using waste biomass as the starting raw material. Such processes lead to obtaining hydrogen, which due to the origin of the raw material from which it was created, is treated as a biofuel. Current legislation allows the possibility to qualify the biohydrogen used in the abovementioned refinery processes as a biogenic component of traditional fuel. However, according to the current regulations, each biofuel must meet the sustainability criteria. One of them is the minimum level of greenhouse gas emission reduction calculated in the whole life cycle. Therefore, as part of this work, three production paths have been analyzed. The following pathways were analyzed: biohydrogen from biogas, biohydrogen from wood residues and biohydrogen from raw glycerine. Of the three, the most advantageous variant turned out to be biogas reforming, which showed a GHG emission reduction of around 77%. In addition, only this production path met the requirements for biofuels obtained on new installations.

Key words: biohydrogen, biofuel, reforming, gasification, GHG emissions.

Autor do korespondencji: K. Berdechowski, e-mail. kamil.berdechowski@inig.pl

Artykuł nadesłano do Redakcji 28.12.2018 r. Zatwierdzono do druku 25.03.2019 r.

Wprowadzenie

Pozyskiwanie wodoru odbywa się w różnej skali natężenia jego produkcji z zastosowaniem wielu metod: termochemicznych (reforming, piroliza, zgazowanie, rozkład węglowodorów i wody, technologia plazmowa), elektrolizy wody, chemicznych (w różnych reakcjach), biologicznych (różnego rodzaju fermentacje), fotolitycznych i technologii jądrowej. Surowcami do jego produkcji mogą być różne substancje zawierające w swym składzie chemicznym wodór: woda, gaz ziemny, ropa naftowa, węgiel kamienny i brunatny, a także biomasa. Nadaje się do tego również wiele surowców wtórnych: gazy z metod termicznych (surowy gaz syntezowy), gaz syntezowy (syngaz; wodór + tlenek węgla), węglowodory, metanol i wyższe alkohole, eter dwumetylowy (DME), olej popirolityczny, surowce rafineryjne, produkty fermentacji, a także odpady przemysłowe (np. tworzywa sztuczne). Dotychczas około 95% gazu syntezowego, z którego produkuje się wodór otrzymuje się z przetwórstwa termochemicznego surowców kopalnych, głównie metodami reformingu z gazu ziemnego i w mniejszym stopniu metodami zgazowania. Jednakże mając na uwadze ograniczone zasoby surowców kopalnych oraz nowe trendy technologiczne i aspekt polityczny, wzrasta rola biomasy jako jednego z istotnych nośników energii (Warowny, 2008).

Wielu autorów opisuje wyżej wymienione procesy – zarówno te wykorzystujące surowce kopalne (Wender, 1996; Higman et al., 2003; Warowny et al., 2006; Demusiak, 2012), jak i biomasę (Lu et al., 2006; Ni et al., 2006; Chmielniak et al., 2003). Produkcja wodoru w przemianach termochemicznych wymaga oprócz substratów chemicznych dostarczenia energii. Do bezpośredniego pozyskania wodoru z surowego gazu syntezowego z procesów reformingu, zgazowania i pirolizy stosuje się metodę adsorpcji zmiennociśnieniowej PSA (*Pressure Swing Adsorption*) albo metodę pośrednią selektywnego utleniania tlenu węgla z surowego gazu syntezowego i następnie oczyszczanie metodą PSA, celem uzyskania wodoru o czystości 99,9% (Warowny, 2008).

Analiza teoretyczna

Wodór może być produkowany z biomasy. Biorąc pod uwagę obowiązek zwiększania udziału biopaliw oraz korzystniejszego rozliczanie biopaliw w przypadku ich odpadowego charakteru, najkorzystniejszym wydaje się produkcja wodoru z biogennych surowców odpadowych. Załącznik IX (część A i B) do dyrektywy ILUC wymienia surowce, które w wyniku przetwarzania na kolejnych etapach prowadzą do biowodoru. Mogą to być między innymi odpady piekarnicze (do produkcji etanolu przetwarzanego do wodoru w procesie reformingu), gliceryna

surowa (po produkcji FAME kierowana do piroreformingu), resztki drzewne (poddawane zgazowaniu a następnie reformingowi) oraz biogaz (kierowany do reformingu parowego).

Zgazowanie biomasy jest przeprowadzane przy użyciu reaktora ze złożem fluidalnym, gdzie następuje uzyskanie gazowych produktów, a z zastosowaniem aparatury towarzyszącej odzyskanie wodoru. W celu uzyskania wodoru można poddawać procesowi reformingu parowego również olej otrzymany w wyniku pirolizy biomasy, który jest mieszaniną kwasów karboksylowych, alkoholi, aldehydów i ketonów. Decydującym czynnikiem w procesie reformingu parowego jest stosunek pary wodnej do węgla zawartego w oleju. W temperaturze 800°C stosując katalizator CeZrO₂ z dodatkiem Pt, Rt w reformingu oleju pirolitycznego z drewna można uzyskać nawet 70% wodoru. Bardzo ważne są mieszane metody produkcji wodoru z biomasy. Jedną z nich jest metoda łącząca fluidalne zgazowanie biomasy i reformingu surowego gazu otrzymanego w procesie jej pirolizy. Szybka piroliza suchej biomasy w złożu fluidalnym zachodzi w temperaturze 530°C. Bioolej kondensuje się z przeznaczeniem do dalszej przeróbki. Karbonizat i gazy popirolityczne spala on natomiast w celu ogrzewania reaktora. Bioolej będący produktem wielu niezależnych procesów pirolizy jest poddawany w reaktorze zbiorczym ekstrakcyjnemu rozdzielaniu na frakcję ligninową i węglowodanową oraz katalitycznemu procesowi reformingu parowego w temperaturze 850°C pod ciśnieniem 3,5 MPa. W dwóch kolejnych reaktorach układu (dla warunków 370°C, 3 MPa oraz 200°C, 2,5 MPa) z gazu syntezowego produkuje się gaz bogaty w wodór poprzez przesunięcie stanu równowagi, stosownie do homogenicznej reakcji gazu wodnego. Ostatecznie czysty wodór otrzymuje się po procesie oczyszczania metodą PSA.

Wodór można także pozyskiwać metodami reformingu używając biogazu jako surowca. Do tego celu nadaje się doskonale reforming parowy. Natomiast biogaz używany w reformingu powstaje w biogazowniach rolniczych, oczyszczalniach ścieków lub na wysypiskach śmieci w beztlenowej fermentacji z surowców organicznych.

Kolejnym przykładem surowca kwalifikowanego jako pozostałość i możliwego do wykorzystania w produkcji wodoru jest surowa gliceryna jako produkt uboczny wytwarzania FAME. W przypadku, gdy FAME jest produkowane z oleju odpadowego to powstający produkt uboczny procesu, czyli gliceryna ma również status produktu/surowca odpadowego. W miejscowości Leuna (Niemcy) uruchomiono fabrykę demonstracyjną, której zdolność produkcyjna wodoru wynosi 4,5 kg/h (Tamhankar, 2012). Glicerol z instalacji transestryfikacji kierowany jest do połączonego procesu piroreformingu. Glicerol jako produkt uboczny wytwarzania biodiesla (około 10% w stosunku do produktu głównego – FAME), powstaje w dużych ilościach ze względu na jego duże zapotrzebowanie.

Część doświadczalna

W niniejszej pracy przeprowadzono kalkulacje emisji GHG w cyklu życia dla trzech możliwych ścieżek produkcji biowodoru, tj.: (i) wodoru z reformingu parowego biometanu uzyskiwanego w biogazowni (instalacje połączone), (ii) wodoru z procesu zgazowania i pirolizy resztek drzewnych oraz (iii) wodoru z piroreformingu gliceryny surowej.

Dane do sporządzenia bilansów materiałowych i energetycznych wyżej wymienionych procesów, które były podstawą wyliczeń emisji GHG zaczerpnięto z opisu poszczególnych technologii (Wulf et al., 2013). Wskaźniki emisji GHG przyjęte do obliczeń wraz z ich źródłami umieszczono w tabeli 5. Jako jednostkę funkcjonalną przyjęto gCO₂eq/MJ energii zawartej w biowodorze.

Do wykonania obliczeń niezbędne były również dane na temat wskaźników emisji GHG użytych mediów oraz

chemikaliów. Użyte wartości wraz z ich źródłami przedstawione zostały poniżej.

Tabela 3. Dane wejściowe do obliczeń – bilans strumieni wejściowych i wyjściowych – zgazowanie resztek drzewnych

Table 3. Input data for calculations - balance of input and output streams – gasification of wood residues

Surowiec/medium	
Nazwa	Ilość
Resztki drzewne	37435500 kg
Energia elektryczna (z sieci)	145275120 MJ
Woda	11167,2 m ³
Azot	827388 kg
Uzysk	
Nazwa	Ilość
Biowodór + wodór	253800000 MJ

Tabela 1. Dane wejściowe do obliczeń – bilans strumieni wejściowych i wyjściowych – biogazownia

Table 1. Input data for calculations – balance of input and output streams – biogas plant

Surowiec/medium	
Nazwa	Ilość
Odpady biologiczne	576 000 000 kg
Energia elektryczna	15696000 MJ
Woda	0,2311 m ³
FeCl ₃	12875 kg
Glikol trietylenowy	281,8 kg
Uzysk	
Nazwa	Ilość
Biometan	26496000 kg (1247961600 MJ)

Tabela 4. Dane wejściowe do obliczeń – bilans strumieni wejściowych i wyjściowych – piroreformingu gliceryny

Table 4. Input data for calculations – balance of input and output streams – piroreforming of glycerine

Surowiec/medium	
Nazwa	ilość
Gliceryna surowa	22464000 kg
Para technologiczna (zużycie gazu ziemnego z sieci)	178848000 MJ
Energia elektryczna (z sieci)	432034560 MJ
Woda	178848 m ³
Uzysk	
Nazwa	Ilość
Biowodór + wodór	259200000 MJ

Tabela 2. Dane wejściowe do obliczeń – bilans strumieni wejściowych i wyjściowych – reforming

Table 2. Input data for calculations – balance of input and output streams – reforming

Surowiec/medium	
Nazwa	Ilość
Biometan	26496000 kg (1247961600 MJ)
Energia elektryczna (z sieci)	3396556,8 MJ
Ciepło (ze spalania biogazu)	946183680 MJ
Woda	82892,16 m ³
Uzysk	
Nazwa	Ilość
Biowodór + wodór	673920000 MJ

Tabela 5. Wskaźniki emisji GHG użyte do obliczeń

Table 5. GHG emission factors used for calculations

Surowiec/medium	Wskaźnik emisji GHG	Źródło
Odpady biologiczne (w biogazowni)	0	2009/28/WE
Resztki drzewne	0	
Gliceryna surowa	0	
Biometan otrzymany w biogazowni	1,63 CO ₂ eq/MJ	Na podstawie danych bilansowych z tabeli 1.
Ciepło	56,2 g CO ₂ eq/MJ	(Raport JRC 2017)
Energia elektryczna	129,19 g CO ₂ eq/MJ	(Biograce 2015)
Woda	320 g CO ₂ eq/m ³	(Raport Veolia Water 2011)
Azot	430 g CO ₂ eq/kg	
FeCl ₃	180 g CO ₂ eq/kg	

Metodyka

Zgodnie z wytycznymi podanymi w załączniku V do dyrektywy 2009/28/WE (dyrektywa 2015/1513) emisję gazów cieplarnianych w cyklu życia biopaliw (E) obliczono zgodnie z następującym wzorem:

$$E = e_{ec} + e_l + e_p + e_{td} + e_u - e_{sca} - e_{ccs} - e_{ccr} - e_{ee} \quad (1)$$

Emisja GHG dla poszczególnych operacji jednostkowych została wyznaczona na podstawie poniższego równania:

$$C_x = \varepsilon_x \cdot F_{ex} \quad (2)$$

gdzie:

C_x – jest wyrażoną w jednostkach masy ilością gazów cieplarnianych (CO_{2eq}) w zadanym okresie czasu w wyniku zużycia energii,

ε_x – jest ilością surowców lub energii zużytych w zadanym okresie czasu,

F_{ex} – jest wskaźnikiem emisji GHG dla danego surowca lub paliwa, uwzględniającym jego wyprodukowanie i zużycie końcowe (wyrażony w jednostce CO_{2eq} /jednostkę masy lub energii).

Przy przeprowadzaniu obliczeń przyjęto dodatkowo następujące założenia i wykluczenia: (i) obliczenia prowadzono dla przypadków, gdy surowcami wyjściowymi były surowce

zaliczane do grupy odpadów i pozostałości, (ii) pominięto emisję związaną z produkcją i utylizacją katalizatorów do procesu, (iii) nie uwzględniono emisji związanej z produkcją maszyn i urządzeń oraz (iv) przyjęto, że instalacja reformingu parowego znajduje się w pobliżu biogazowni i ciepło dla instalacji pochodzi ze spalania biogazu.

Wyniki oraz ich dyskusja

Na podstawie danych zawartych w tabelach 1–5 oszacowano całkowitą emisję w procesie, a następnie po uwzględnieniu energii zawartej w produktach poszczególnych procesów oszacowano wskaźniki emisji wytworzonego wodoru.

Przedstawione wyniki obliczeń wskazują, że spośród trzech przeanalizowanych metod otrzymywania wodoru, najwyższy poziom ograniczenia emisji wykazała ścieżka bazująca na biogazowni, z której otrzymywany biometan jest kierowany do procesu reformingu parowego. Duży wpływ na wynik ma w tym przypadku „połączenie” dwóch instalacji, tj. biogazowni i reformingu. Dzięki temu biogaz pochodzenia odpadowego i niskim wskaźnikowi emisji GHG, z jednej strony, stanowi niskoemisyjny surowiec oraz dodatkowo niskoemisyjne źródło energii do produkcji ciepła niezbędnego w

Tabela 6. Składowe emisji GHG w cyklu życia i ich omówienie

Table 6. Components of GHG emissions in the life cycle and their discussion

Nazwa składowej	Komentarz
e_{ec} • emisja spowodowana wydobyciem lub uprawą surowców	• analizie poddano wyłącznie surowce o statusie odpadu lub pozostałości. W związku z tym wartość składowej wynosi zero
e_l • emisja w ujęciu rocznym spowodowana zmianami ilości pierwiastka węgla w związku ze zmianą sposobu użytkowania gruntu	• w przypadku analizowanych surowców wartość składowej wynosi zero
e_p • emisja spowodowana procesami technologicznymi	• składowa liczona w dalszej części pracy
e_{td} • emisja spowodowana transportem i dystrybucją	• składowa pominięta w obliczeniach, ze względu na to, że celem było porównanie samych procesów technologicznych. Transport i dystrybucja dla tych ścieżek nie różnią się natomiast znacząco od siebie, co do wielkości emisji GHG
e_u • emisja spowodowana stosowanym paliwem	• dla paliw z biomasy wartość wynosi zero
e_{sca} • wartość ograniczenia emisji spowodowanego akumulacją pierwiastka węgla w glebie dzięki lepszej gospodarce rolnej	• składowa równa zero (brak ograniczenia) – technika nie stosowana
e_{ccs} • ograniczenie emisji spowodowane wychwytywaniem ditlenku węgla i składowaniem w głębokich strukturach geologicznych	• składowa równa zero (brak ograniczenia) – technika nie stosowana
e_{ccr} • ograniczanie emisji spowodowane wychwytywaniem ditlenku węgla i jego zastępowaniem	• składowa równa zero (brak ograniczenia) – technika nie stosowana
e_{ee} • ograniczenie emisji dzięki zwiększonej produkcji energii elektrycznej w wyniku kogeneracji	• składowa równa zero (brak ograniczenia) – technika nie stosowana

Tabela 7. Całkowita emisja GHG dla danego procesu

Table 7. Total GHG emission for a given process

Nazwa produktu/ ścieżki produkcyjnej	Całkowita emisja w procesie, GHG	Ilość energii zawarta w produkcie (wodorze)
	[g CO _{2eq}]	[MJ]
Wodór z biometanu otrzymanego w biogazowni	4036117141	673920000
Wodór ze zgazowania resztek drzewnych	19127443097	253800000
Wodór z piroreformingu gliceryny surowej	65923033766	259200000

Tabela 8. Wskaźniki emisji GHG wyznaczone dla analizowanych procesów

Table 8. GHG emission factors determined for the analyzed processes

Nazwa produktu/ ścieżki produkcyjnej	Wskaźnik emisji GHG, g CO _{2eq} /MJ wodoru	Procent ograniczenie emisji względem odpowiednika kopalnego (83,8 g CO _{2eq} /MJ)
Wodór z biometanu otrzymanego w biogazowni	5,99	77,81%
Wodór ze zgazowania resztek drzewnych	75,36	8,43%
Wodór z piroreformingu gliceryny surowej	254,33	brak ograniczenia

reformingu. Wodór otrzymany z resztek drzewnych wykazał się bardzo małym ograniczeniem emisji GHG. Wodór otrzymany z gliceryny surowej wygenerował natomiast wyższą emisję niż tzw. odpowiednik kopalny. Tak więc z punktu widzenia rynku paliwowego, dla którego kluczowym jest osiągnięcie przez biopaliwa minimalnego poziomu ograniczenia emisji GHG 2015/1513 (wg dyrektywy 2015/1513 jest to przynajmniej 60% dla instalacji, które rozpoczęły pracę po dniu 5 października 2015 r.), tylko wodór uzyskany z biometanu spełnił te wymagania.

Wnioski końcowe

1. W ramach niniejszej pracy opisano metody produkcji wodoru ze szczególnym uwzględnieniem biomasy jako surowca do jego produkcji. W przypadku jej wykorzystania, otrzymany w ten sposób wodór ma biogeny charakter, a zatem może być potraktowany jako biopaliwo.
2. Zgodnie z obecnymi przepisami, każde biopaliwo, aby zostało zaliczone na poczet realizacji Narodowego Celu Wskaźnikowego, musi wykazać spełnienie tzw. kryteriów zrównoważonego rozwoju. Jednym z nich jest minimalny poziom ograniczenia emisji gazów cieplarnianych liczonej w cyklu życia. Obecne wymogi to w zależności od wieku instalacji produkcyjnej 50% lub 60% (licząc względem odpowiednika kopalnego).
3. Ze względu na to, że niezależnie od wyboru procesu produkcji wodoru, każdy z nich jest bardzo energochłonny, celem jest więc minimalizowanie innych składowych emisji GHG, w szczególności składowej wnoszonej

z surowcami. Racjonalnym rozwiązaniem jest w tym przypadku stosowanie surowców odpadowych, które zgodnie z ogólnie przyjętą metodyką są zeroemisyjne.

4. W ramach niniejszej pracy przeanalizowano trzy ścieżki produkcyjne, tj. sposoby otrzymywania biowodoru z biogazu, resztek drzewnych oraz surowej gliceryny. Spośród tych trzech najkorzystniejszym wariantem okazał się reforming biogazu, który wykazał ograniczenie emisji GHG na poziomie około 77%. Na tak dobry wynik wpłynął fakt, że w obliczeniach przyjęto m.in., że proces reformingu zasilany jest ciepłem pochodzącym również z biogazu (instalacja reformingu w pobliżu biogazowni).
5. Pozostałe dwa procesy cechowała dużo wyższa energochłonność - głównie zapotrzebowanie na energię elektryczną, co przełożyło się na wysoką całkowitą emisję. W konsekwencji tylko ścieżka otrzymywania biowodoru z biometanu uzyskanego z odpadów spełniła stawiane wymagania dotyczące minimalnego progu ograniczenia emisji GHG dla tzw. nowych instalacji.

Artykuł powstał na podstawie pracy statutowej pt.: *Analiza metod produkcji biowodoru pod kątem wielkości emisji GHG* – praca INiG – PIB na zlecenie MNiSW; nr zlecenia 0089/TP/18, nr archiwalny DK-4100-81/18.

Literatura

- Biograce, The BioGrace GHG calculation tool: a recognised voluntary scheme. <https://www.biograce.net/content/ghgcalculation-tools/recognisedtool/> (dostęp: październik 2018).
- Chmielniak T., Siciążko M., 2003. Co-gasification of biomass and coal for methanol synthesis. *Applied Energy*, 74: 393–403. DOI: 10.1016/s0306-2619(02)00184-8.
- Demusiak G., 2012. Otrzymywanie paliwa wodorowego metodą

- reformowania gazu ziemnego dla ogni paliwowych małej mocy. *Nafta-Gaz*, 10: 661–673.
- Higman C., van der Burgt M., 2003. Gasification. Burlington: Elsevier. ISBN: 978-0-7506-8528-3.
- Lu. Y.J., Guo L.J., Ji C.M., Zhang X.M., Xiao X.H., Yan Q., 2006. Hydrogen production by biomass gasification in supercritical water: A parametric study. *International Journal of Hydrogen Energy*, 31(7): 822–831. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2005.08.011.
- Ni M., Leung D.Y.C., Leung M.K.H., Sumathy K., 2006. An overview of hydrogen production from biomass. *Fuel Processing Technology*, 87(5): 461–472. DOI: 10.1016/j.fuproc.2005.11.003.
- Raport JRC, 2017. Definition of input data to assess GHG default emissions from biofuels in EU legislation, <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/eur-scientific-and-technical-research-reports/definition-input-data-assess-ghg-default-emissions-biofuels-eu-legislation-version-1c-july> (dostęp: październik 2018).
- Tamhankar S., 2012. Green hydrogen by pyroreforming of glycerol. In: *Hydrogen Systems: Enabling Energy Solutions*. World Hydrogen Energy Conference, Toronto, 3–7.06.2012.
- Warowny W., 2008. Podstawowe technologie termochemicznego pozyskiwania wodoru. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 5: 8–14. ISSN: 0016-5352.
- Warowny W., Kwiecień K., 2006. Reforming gazu ziemnego ditlenkiem węgla. *Nafta-Gaz*, 12: 680–691.
- Wender I.: Reactions of synthesis gas, *Fuel Processing Technology*, 1996,48,189-297, DOI: 10.1016/s0378-3820(96)01048-x;
- Winnipeg Sewage Treatment Program. South end Plant. Process Selection Report. https://www.winnipeg.ca/finance/findata/matmgt/documents//2012/682-2012//682-2012_Appendix_H-WSTP_South_End_Plant_Process_Selection_Report/PSR_rev%20final.pdf (dostęp: październik 2018).
- Wulf C., Kaltschmitt M., 2013: Life cycle assessment of biohydrogen production as a transportation fuel in Germany. *Bioresource Technology*, 150: 466–475. DOI: 10.1016/j.biortech.2013.08.127.

Akty prawne i normatywne

- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2015/1513 z dnia 9 września 2015 r. zmieniająca dyrektywę 98/70/WE odnoszącą się do jakości benzyny i olejów napędowych oraz zmieniająca dyrektywę 2009/28/WE w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE.



Mgr Kamil BERDECHOWSKI
 Starszy specjalista badawczo-techniczny w Zakładzie Paliw i Procesów Katalitycznych
 Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
 ul. Lubicz 25 A
 31-503 Kraków
 E-mail: kamil.berdechowski@inig.pl

OFERTA

ZAKŁAD PALIW I PROCESÓW KATALITYCZNYCH

Zakres działania:

- opracowywanie, rozwijanie i wdrażanie technologii produkcji LPG, benzyn silnikowych, paliw lotniczych, olejów napędowych, biopaliw I i II generacji oraz olejów opałowych, prowadzenie nadzoru technologicznego nad opracowanymi i wdrożonymi technologiami;
- ocena i atestacja komponentów paliwowych, w tym biokomponentów I i II generacji oraz komponentów ze źródeł alternatywnych;
- opracowywanie technologii uszlachetniania paliw i biopaliw silnikowych oraz olejów opałowych i rozpuszczalników, dobór odpowiednich dodatków uszlachetniających;
- wykonywanie badań i ekspertyz dotyczących jakości paliw i biopaliw silnikowych, olejów opałowych, rozpuszczalników i ich komponentów oraz ocena zgodności ze specyfikacją;
- ocena skażenia mikrobiologicznego paliw w systemie produkcji i dystrybucji;
- ocena właściwości niskotemperaturowych olejów napędowych i opałowych;
- badania stabilności pozostałościowych olejów opałowych i kompatybilności ich komponentów;
- opracowywanie, rozwijanie i wdrażanie nowych wodorowych procesów katalitycznych, ocena testowa i procesowa katalizatorów stosowanych w przemyśle rafineryjnym w procesach zeoformingu, hydroodsarczania, hydrorafinacji i katalitycznego odparafinowania;
- ocena oddziaływania na środowisko paliw, biopaliw i innych produktów pochodzących z przemysłu rafineryjnego i petrochemicznego w oparciu o analizę cyklu życia produktu (LCA).



Kierownik: dr inż. Jan Lubowicz
Adres: ul. Łukasiewicza 1, 31-429 Kraków
Telefon: 12 617 75 50
Faks: 12 617 75 22
E-mail: jan.lubowicz@inig.pl

