

KONWENCJONALNE ŹRÓDŁA ENERGII

W tej chwili około 88% energii na świecie pozyskuje się z paliw kopalnych: ropy naftowej, węgla oraz gazu ziemnego. Wiąże się to z emisją wielu gazów spalinowych, które niekorzystnie wpływają na stan zdrowia ludzi, a także oddziałują destrukcyjnie na środowisko naturalne. Podczas spalania tradycyjnych paliw do atmosfery przedostaje się: ditlenek węgla (CO₂), tlenek węgla (CO), ditlenek siarki (SO₂), tlenki azotu (NO_x), węglowodory (głównie CH₄). Rodzaj i ilość emitowanych gazów zależy od rodzaju spalanej paliwa, jego ilości, czystości i sposobu spalania [1]. W tabeli 1 zaprezentowano udziały różnych źródeł w emisji spalin do atmosfery. Wnika z niej, że największą szkodliwych gazów emituje transport drogowy i przemysł.

Tabela 1. Udział w emisji CO, NO_x i C_xH_y różnych źródeł [2,3].

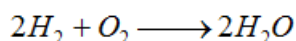
Źródło emisji	Emisja		
	CO [%]	NO _x [%]	C _x H _y [%]
Transport drogowy	90	50	40
Gospodarstwa domowe	5	3	2
Elektrociepłownie	1	26	<1
Przemysł	5	16	56
Inne	0	5	1

Ditlenek węgla, tlenki azotu i metan są głównymi sprawcami powstawania tzw. efektu cieplarnianego przyczyniającego się do ocieplania klimatu na Ziemi. Chcąc to zjawisko ograniczyć doprowadzono do podpisania w 2005 roku (wynegocjowanego w 1997 roku) przez 165 krajów tzw. Protokołu z Kioto. Zobowiązuje on kraje, które go ratyfikowały do ograniczenia emisji gazów cieplarnianych do wynegocjowanych limitów. Negocjacje z 1997 roku były pierwszym znaczącym sygnałem, aby poszukiwać alternatywnych, bardziej przyjaznych środowisku źródeł energii. Unia Europejska widząc kurczące się zasoby konwencjonalnych paliw i ich ujemny wpływ na środowisko, chętnie wspiera inicjatywy w poszukiwaniu i wdrażaniu w życie nowych przyjaznych środowisku sposobów pozyskiwania energii. Okazuje się, że jednym z takich nowych, perspektywicznych i korzystnych dla środowiska paliw może być wodór.

WODÓR I JEGO WŁAŚCIWOŚCI

Ogólne wiadomości o wodorze

Paracelsus przeprowadzając reakcję kwasu octowego z żelazem jako pierwszy uzyskał wodór. Nazwał go wtedy „palnym powietrzem”. W 1671 roku istnienie palnego powietrza potwierdził Robert Boyle, zalewając opiłki żelaza kwasem solnym. W 1766 roku Henry Cavendish zidentyfikował wodór jako osobny pierwiastek chemiczny. Jednak uważał on, że źródłem wodoru jest metal, a nie kwas. Dopiero 20 lat później A.L. Lavoisier udowodnił, że „palne powietrze” jest składnikiem wody, a nie metalu i nawał je „hydrogene” (łac. Hydrogenium – tworzący wodę) [1].



Wodór jest najbardziej rozpowszechnionym i najlżejszym pierwiastkiem we wszechświecie. Stanowi 92,7% ogólnej liczby atomów. W skorupie ziemskiej jest go niewiele, bo około 0,15%, a w atmosferze około 1 ppm [4]. Najwięcej wodoru występuje w wodzie, której zasoby są praktycznie niewyczerpane.

Właściwości fizyczne i termodynamiczne wodoru

Gazowy wodór występuje w cząsteczkach dwuatomowych jako H₂. Cząsteczki wodoru mogą występować w dwóch formach, jako orto-wodór i para-wodór. W cząsteczce orto-wodoru spiny pierwszego i drugiego atomu są zorientowane równolegle względem siebie (są „zgodne”), natomiast w para-wodorze spiny atomów są przeciwne względem siebie [5].

Wiele właściwości fizycznych i termodynamicznych tych dwóch form jest różna. Dotyczy to głównie właściwości cieplnych, entalpii, entropii i przewodnictwa cieplnego. Chemiczne właściwości tych dwóch form są takie same. Gazowy wodór w temperaturze pokojowej zawiera 75% orto-wodoru, w -200oC po 50% orto- i para-wodoru [1].

Tabela 2. Właściwości fizyczne i termodynamiczne różnych form wodoru [6].

Właściwości	Wodór	
	para-	75% orto- + 25% para-
Gęstość w 0°C, 10 ³ mol/cm ³	0,0546	0,0446
Współczynnik ściśliwości w 0°C, $Z = pV/RT$	1,0005	1,0004
Ściśliwość adiabatyczna w 300 K, MPa ⁻¹	7,12	7,03
Współczynnik ekspansji objętościowej w 300 K, K ⁻¹	0,00333	0,00333
C _p w 0°C, J/(mol*K)	30,35	28,59
C _v w 0°C, J/(mol*K)	21,87	20,30
Entalpia w 0°C, J/mol	7656,6	7749,2
Energia wewnętrzna w 0°C, J/mol	5384,5	5477,1
Entropia w 0°C, J/(mol*K)	127,77	139,59
Lepkość w 0°C, mPa*s	0,00839	0,00839
Przewodnictwo cieplne w 0°C, mW/(cm*K)	1,841	1,740
Stała dielektryczna w 0°C	1,00027	1,000271

Z danych zawartych w powyższej tabeli wynika, że para-wodór ma o ponad 1/5 większą gęstość niż wodór o składzie 75% orto- i 25% para- normalnie występujący w temperaturze pokojowej. Ciepła właściwe C_p i C_v para-wodoru są średnio o ok. 7% większe od analogicznych parametrów wodoru normalnego. Entropia jest o około 9% niższa od entropii wodoru normalnego. Inne właściwości są zbliżone lub takie same. Konwersja wodoru normalnego do para-wodoru podczas obniżania temperatury jest powolna, dlatego często stosuje się katalizatory. Za ich pomocą można uzyskać prawie czysty para-wodór (>95%) [1]. Świadomość istnienia różnic we właściwościach różnych form wodoru może mieć znaczenie podczas jego praktycznego zastosowania jako paliwa. Odpowiednio dobierając mieszankę form orto- i para-wodoru można uzyskać najbardziej odpowiednie właściwości.

Właściwości technologiczne wodoru

Wodór występuje w trzech różnych stanach skupienia w zależności o temperatury:

- gazowej – powyżej temperatury wrzenia -253°C ,
- ciekłej – w temp. od -259 do -253°C ,
- stałej – poniżej temp. -259°C .

Wodór w warunkach atmosferycznych jest gazem, dlatego są pewne trudności w jego użytkowaniu, musi być on magazynowany pod ciśnieniem lub jako ciecz kriogeniczna (ciecze w temp. poniżej -73°C). Zwiększenie ciśnienia wodoru do 130 atmosfer podnosi temperaturę wrzenia do -240°C , dalszy wzrost ciśnienia nie podnosi temp. wrzenia. Jako że wodór ma najmniejszą masę atomową, ma też najmniejszą gęstość. 1 m³ gazowego wodoru to niecałe 84 g (co stanowi ok. 7% gęstości powietrza). Zwiększając ciśnienie gazowego wodoru gęstość znacząco rośnie. 1 m³ ciekłego wodoru waży ok. 71 kg, podczas gdy 1 m³ wody zawiera 111 kg wodoru, a 1 m³ metanolu – 100 kg wodoru [7-10].

Należy zwrócić tu uwagę, że węglowodory są zwartymi nośnikami wodoru, dodatkowo mają większą gęstość energetyczną niż ma czysty wodór. Emitują jednak podczas spalania CO₂ oraz inne toksyczne gazy [1].

Właściwości chemiczne wodoru

Cząsteczka wodoru jest bardzo stabilna, gdyż energia wiązania między atomami H – H wynosi 436 kJ/mol. Jest też mało reaktywna w warunkach normalnych. Dopiero w wyższej temperaturze i przy obecności odpowiednich katalizatorów ulega reakcjom. Reaguje z halogenkami (z fluorem wybuchowo w temp pokojowej), metalami alkalicznymi, metalami przejściowymi i innymi o pośredniej elektroujemności. Wybuchowo reaguje z tlenem przy zawartości objętościowej H₂ od 4% do 74%. Z tlenem bezpiecznie można go między innymi spalać w palniku Daniella (temp. spalania przekracza wówczas 2300°C) [1,11,12].

W trakcie spalania wodoru uwalniana jest energia, a produktem ubocznym jest woda. Energia ta jest doświadczalnie mierzona jako górne lub dolne ciepło spalania. Dolne ciepło spalania jest to górne ciepło spalania pomniejszone o ciepło parowania pary wodnej zawartej w spalinach. Para wodna w spalinach pochodzi z odparowania wilgoci paliwa oraz ze spalania wodoru zawartego w paliwie.

Tabela 3. Ciepła spalania paliw [7,10].

Paliwo	Górne ciepło spalania (25°C , 1 atm), kJ/g	Dolne ciepło spalania (25°C , 1 atm), kJ/g
Wodór	141,86	119,93
Metan	55,53	50,02
Propan	50,36	45,6
Benzyna	47,5	44,5
Olej napędowy	44,8	42,5
Metanol	19,96	18,05

Z zaprezentowanych danych z tabeli 3 wynika, że wodór ma największy stosunek energii do masy, dlatego wodór stosowany jest jako paliwo w pojazdach kosmicznych.

Ważnym elementem oceny jakości paliw jest gęstość energii paliwa (tabela 4).

Tabela 4. Gęstość energii kilku paliw [7,10].

Paliwo	Stan fizyczny paliwa	Dolne ciepło spalania kJ/m ³
Wodór	gaz (15°C, 1 atm)	10 050
	gaz (15°C, 200 atm)	1 825 000
	gaz (15°C, 690 atm)	4 500 000
	ciecz	8 491 000
Benzyna	ciecz	31 150 000
Olej napędowy	ciecz	31 435 800
Metanol	ciecz	15 800 100
Metan	ciecz	23 488 800

Z danych zawartych w tabeli 4 wynikają bardzo istotne i praktyczne informacje dla konstruktorów, np.: 500 litrowy zbiornik oleju napędowego o wadze 400 kg jest równoważny zbiornikowi ciekłego wodoru o pojemności 2100 litrów i masie 150 kg, czyli pojemność zbiornika ciekłego wodoru jest 4,2 razy większa, a masa 2,8 razy mniejsza od zbiornika z olejem napędowym [1].

Wodór ma swoje wady i zalety, jeśli chodzi o jego magazynowanie i klasyczne spalanie w silnikach. Od pewnego czasu istnieją jednak inne ciekawe możliwości wykorzystania wodoru jako paliwa np.: w ogniwach paliwowych generujących prąd elektryczny.

SPOSOBY OTRZYMYWANIA I ZASTOSOWANIE WODORU

Wstęp

W 2005 roku światowa produkcja wodoru przekroczyła 500 mld Nm³ i wciąż rośnie z powodu większego zapotrzebowania w sektorze przemysłowym i paliwowym [13]. W tym drugim używany jest głównie do poprawy wydajności i jakości produktów. Pełni on w nim rolę składnika w reakcjach, a także pośrednio czynnika chroniącego środowisko, ponieważ ma on możliwość hydrowodorafinacji (usuwanie związków siarki, azotu, tlenu, węglowodorów nienasyconych z frakcji destylacji ropy naftowej lub smoły węglowej przez działanie wodorem) komponentów masowo używanych paliw naftowych. Jest to jeden z kierunków działania wspieranych przez Parlament Europejski [14].

Niewielu badaczy wierzy w stworzenie pojazdu napędzanego silnikiem spalinowym zasilanym paliwem węglowodorowym z zerową emisją. Alternatywą mogłoby być pojazd napędzany silnikiem elektrycznym czerpiącym energię z ogniwa paliwowego [1].

Klasyczne metody otrzymywania wodoru

Obecnie większość produkowanego wodoru pochodzi z naturalnych surowców energetycznych [1]:

- gazu ziemnego (48%)
- ropy naftowej (30%)
- węgla (18%)

- elektrolizy wody (4%)

Klasyczne technologie stosowane do wytwarzania wodoru na skalę przemysłową [1]:

- reforming parowy metanu lub innych węglowodorów małowczątkowych,
- częściowe utlenianie pozostałości rafinacyjnych,
- odzysk wodoru z gazowych produktów przetwarzania ropy naftowej i węgla,
- zgazowanie węgla

Metody te wymagają w większości dostarczenia dużej ilości energii, a także podczas tych procesów emitowane są duże ilości szkodliwych dla środowiska gazów.

Innowacyjne metody produkcji wodoru

Do innowacyjnych metod produkcji wodoru możemy zaliczyć obecnie stosowane metody z pewnymi modyfikacjami technologicznymi np. zmianą rodzaju i jakości surowca, typu reaktora, sposobu wydzielania lub oczyszczania produktów. Zmiany te powinny prowadzić do ograniczenia emisji gazów cieplarnianych, zwiększyć wydajność oraz polepszyć czystość kluczowego produktu. Metodami innowacyjnymi są również metody będące w trakcie opracowania w skali laboratoryjnej, półtechnicznej lub projektowej.

Niezależnie od wybranej metody produkcji wodoru musi ona spełniać następujące warunki [1]:

- nie powinna emitować gazów cieplarnianych,
- w technologiach wytwarzających produkty uboczne (CO₂, sadza, siarka) powinna być stosowana metoda zagospodarowania lub sekwestracji produktu ubocznego,
- powinna być konkurencyjna z klasycznymi metodami wytwarzania wodoru

Aktualnie i w najbliższej przyszłości do produkcji wodoru przewiduje się stosowanie: gazu ziemnego, ropy naftowej, węgla z sekwestracją CO₂ i sadzy. Docelowo źródłem wodoru powinna być woda i biomasa, a metody produkcji powinny bazować na odnawialnych źródłach energii: promieniowaniu słonecznym, energii wiatrów, energetyce wodnej i ciepłe reaktorów jądrowych [1]. Energię słoneczną można wykorzystać do produkcji prądu za pomocą nowoczesnych metod np.: heliologicznej, helioelektrycznej, a uzyskany prąd wykorzystać do elektrolitycznego rozkładu wody z wydzielaniem wodoru. Prąd z siłowni wiatrowych i wodnych można stosować w podobny sposób. Promieniowanie słoneczne można też wykorzystać do dysocjacji wody wykorzystując metody: fotoelektrochemiczne, fotokatalityczne lub termolizy wody [1].

Biomasa może być stosowana do produkcji wodoru poprzez etap pirolizy, gazyfikacji lub/i rozkład biologiczny.

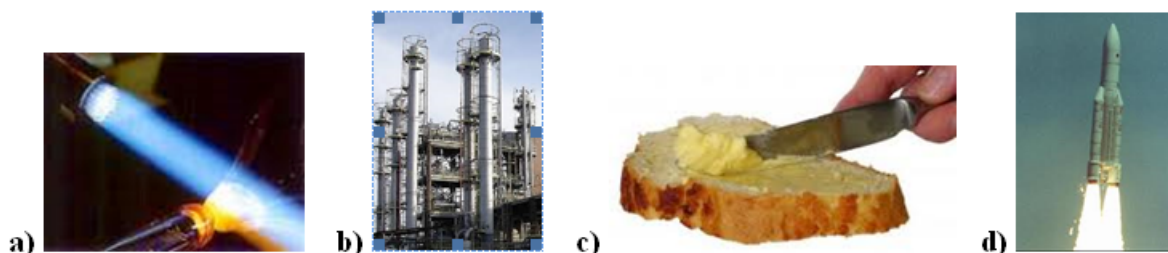
Do najbardziej perspektywicznych metod produkcji wodoru i najczęściej wymienianych w literaturze należą:

- otrzymywanie wodoru metodami biologicznymi,
- fotokatalityczny/fotoelektrochemiczny rozkład wody,
- rozkład wody w cyklach termochemicznych,
- termochemiczny rozpad węglowodorów.

Zastosowanie wodoru

Wodór jest ważnym surowcem przemysłowym. Stosuje się go jako reagent w przemyśle rafineryjnym i petrochemicznym (do produkcji benzyny syntetycznej) oraz w przemyśle chemicznym do otrzymywania: amoniaku, metanolu, mocznika, chlorowodoru, wyższych alkoholi, kwasu solnego, związków metaloorganicznych, eterów i wielu innych materiałów. Jest używany do

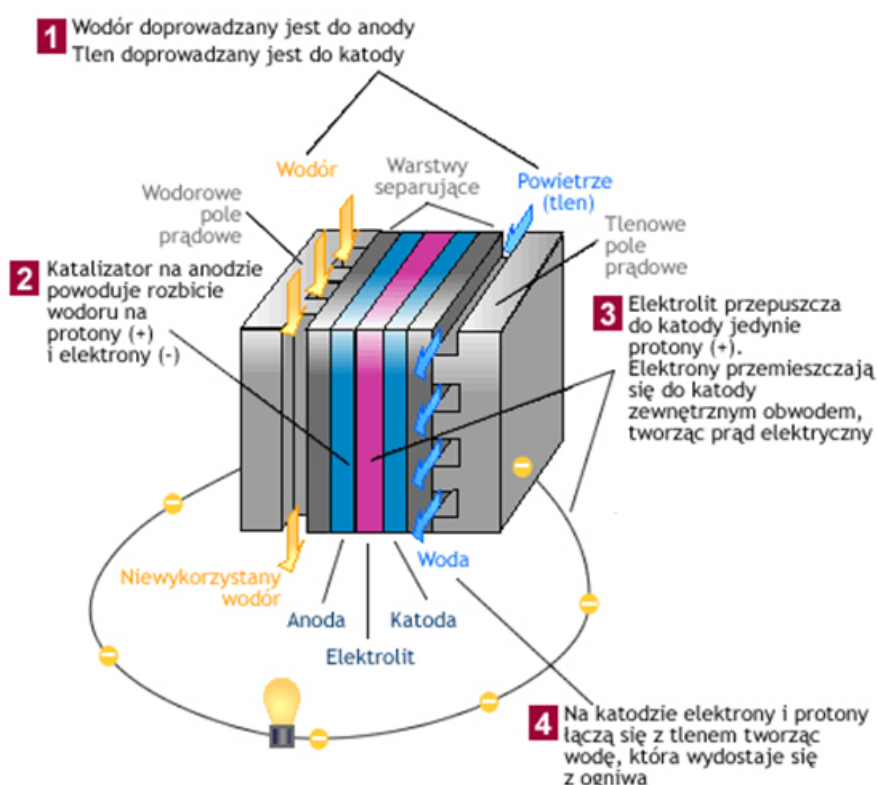
przewodzenia procesów redukcji (np. tlenków metali) i uwodornienia (utwardzania) tłuszczów w przemyśle spożywczym (produkcja masła roślinnego). Stosowany jest do uzyskiwania wysokich temperatur w palnikach tlenowo-wodorowych. Wodór ma duże znaczenie jako materiał napędowy (w mieszaninie z tlenem) raket kosmicznych. Był stosowany do napełniania balonów i sterowców.



Rys.1. Zastosowanie wodoru: a) palniki tlenowo-wodorowe, b) przemysł chemiczny, rafineryjny i petrochemiczny, c) przemysł spożywczy (masła roślinnego), d) paliwo w silnikach raketowych.

Od niedawna wodór stosowany jest również do zasilania ogniw paliwowych wytwarzających prąd elektryczny. Produktami ubocznymi tej technologii jest jedynie woda i ciepło, a więc jest to bardzo czysta i przyjazna dla środowiska metoda produkcji energii.

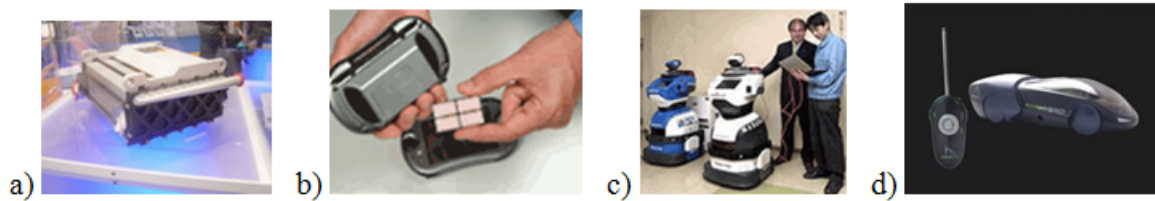
Ogniwo paliwowe zużywa wodór lub paliwo bogate w wodór oraz tlen (ewentualnie powietrze) produkując elektryczność w procesie elektrochemicznym. Ogniwo zawiera elektrolit i dwie pokryte katalizatorem porowate elektrody: katodę i anodę [1]. Poniżej umieszczony został schemat budowy i działania ogniwa paliwowego (rys. 2):



Rys.2. Budowa i schemat działania ogniwa paliwowego [15].

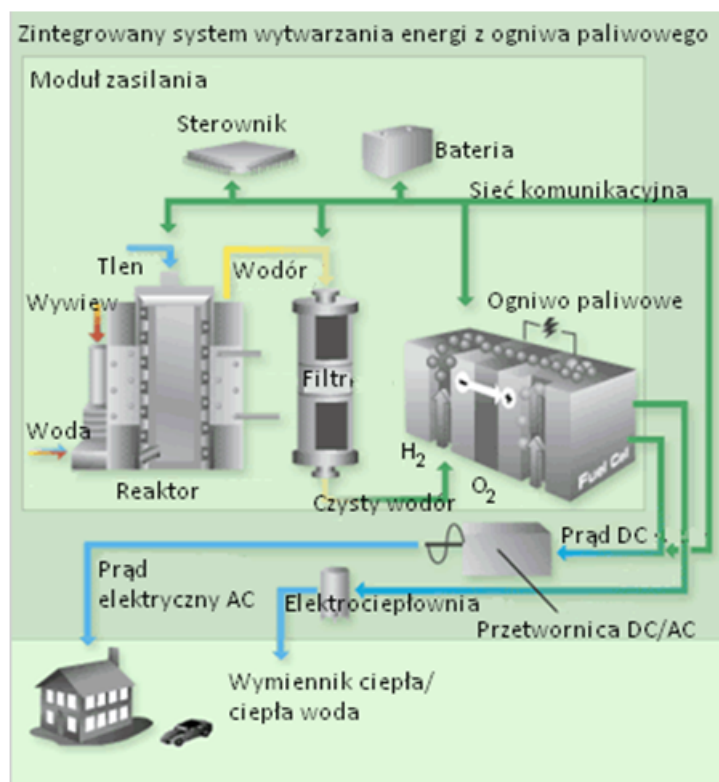
Ogniwa już teraz nabierają coraz większego znaczenia, jeśli chodzi o produkcję energii w

zastosowaniach praktycznych. Oto kilka zastosowań ogniw paliwowych:



Rys.3. Zastosowanie ogniw paliwowych: a) 50 kW mobilny system ogniw paliwowych do zastosowań w środkach transportu i samochodach [15], b) mikro ogniwo paliwowe do urządzeń przenośnych [15] c) Robot Guardbot D1 zasilany ogniwami paliwowymi [15] d) zabawki (w tym edukacyjne) zasilane ogniwami paliwowymi [16].

Ogniwa paliwowe wykorzystywane są obecnie także do produkcji ciepła i energii elektrycznej dla domów.



Rys.4. Przykład zastosowania generatora firmy Nuvera wraz z reformatorem paliwa [15].

Zastosowania ogniw paliwowych przedstawione na rysunkach 3 i 4 wykorzystywane są głównie na zachodzie Europy, w Japonii oraz USA. W Polsce również zaczyna się produkować systemy oparte na ogniwach paliwowych zasilanych wodorem. Firma APS Energia przy współpracy z Politechniką Warszawską stworzyła pierwszy w Polsce kompletny, komercyjny wodorowy system zasilania awaryjnego PULSAR (rys. 5). System eliminuje wszystkie wady klasycznych układów zasilania awaryjnego, takie jak problemy z akumulatorami i agregatem prądowtórczym oraz niepewność, co do ilości zgromadzonej energii. Może zasilac odbiory zmiennoprądowe, jak i stałoprądowe. System zasilany jest wodorem

dostarczonym w butlach [17].

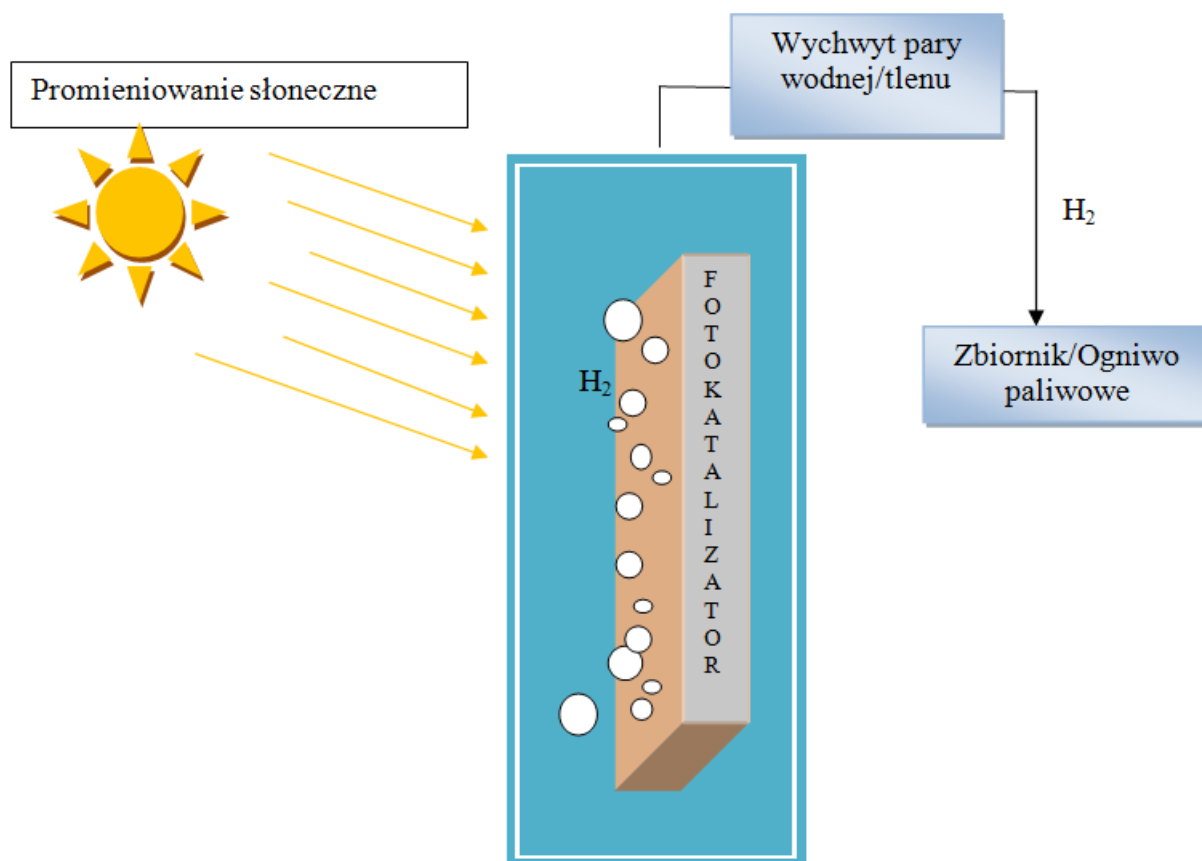


Rys.5. System PULSTAR z ogniwem paliwowym zasilanym wodorem.

Technologia ogniw paliwowych jest bardzo przyjazna dla środowiska, ponieważ emituje głównie wodę do atmosfery. Jednak, żeby technologię tę uznać za w pełni ekologiczną, należy jeszcze opracować bezemisyjną metodę produkcji paliwa do zasilania ogniw. W swoich badaniach wraz z zespołem z Zakładu Inżynierii Molekularnej, chcę podjąć próbę opracowania takiej metody produkcji wodoru.

Rozkład wody z wydzieleniem wodoru pod wpływem działania światła słonecznego

W ramach projektu Bioenergia dla Regionu – Zintegrowany Program Rozwoju Doktorantów, chcę przeprowadzić badania nad możliwością produkcji wodoru poprzez rozkład wody, przy udziale światła słonecznego. Badania te mogą w znaczny sposób przyczynić się do rozwoju i stabilizacji sektora odnawialnych źródeł energii. Chcę również zaproponować rozwiązanie pozwalające w przyszłości zastosować w praktyce taki sposób wytwarzania wodoru. Prace badawcze prowadził będę wraz z zespołem z Zakładu Inżynierii Molekularnej, którego kierownikiem jest prof. dr hab. inż. Jacek Tyczkowski, na Wydziale Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska PŁ. Pomysł polega na uzyskaniu nowych, innowacyjnych katalizatorów, (fotokatalizatorów) w formie cienkich warstw, które obniżą energię aktywacji procesu rozkładu wody. Będą one zbudowane z tlenków metali nieszlachetnych (z domieszkami lub bez). Proces produkcji wodoru inicjowany będzie poprzez promieniowanie słoneczne, padające na zanurzony w wodzie fotokatalizator. Schematycznie proces produkcji wodoru będzie wyglądał następująco (rys. 6):



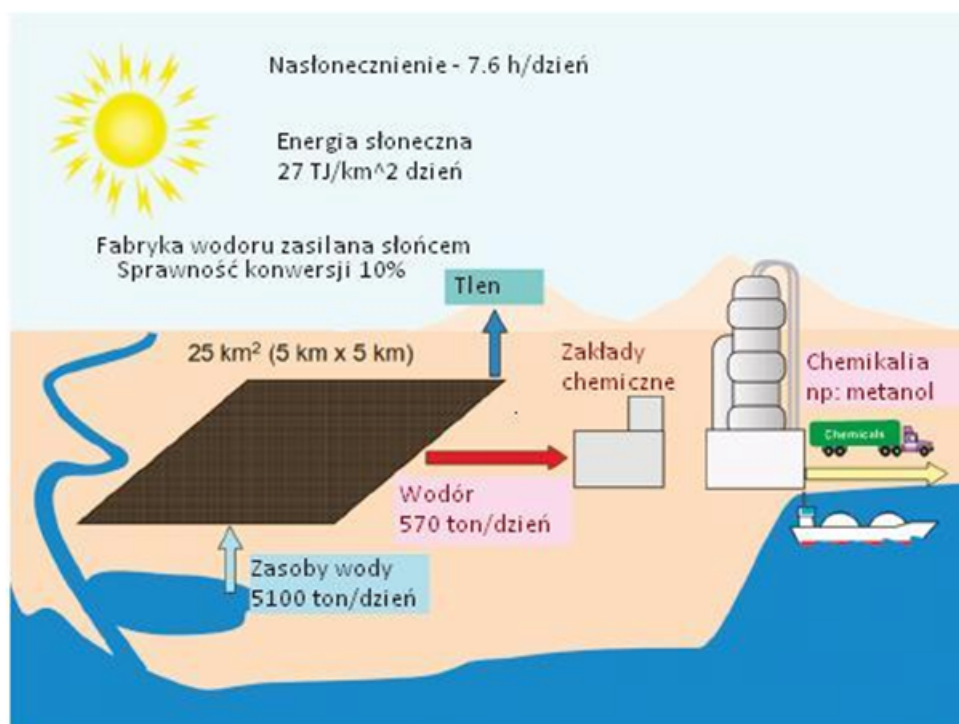
Rys. 6. Schemat instalacji do produkcji wodoru z wody pod wpływem działania światła słonecznego.

Do wytwarzania tak działających fotokatalizatorów, wykorzystany będzie w proces polimeryzacji plazmowej z zastosowaniem plazmy nierównowagowej. Prawdopodobnie uda się w ten sposób uzyskać na powierzchni katalizatora nanostruktury tlenku metalu, polepszając dodatkowo cały proces produkcji wodoru.

Ilość produkowanego wodoru, z jednostki powierzchni fotokatalizatora, w początkowych stadium pracy badawczej będzie prawdopodobnie nieduża. Będzie można go wtedy zastosować np.: do dobijania (w ciągu dnia) butli w systemach zasilania awaryjnego (rys.5) lub typowego zasilania opartego na ogniwach paliwowych, co obniży częstotliwość wymiany zbiornika z wodorem.

Pozwolić to może na przykład na nocne oświetlenie pomieszczeń z zainstalowanymi żarówkami typu LED lub zaopatrywanie w energię niewielkich urządzeń. Można by też zastosować taki sposób wytwarzania wodoru w samochodach, wbudowując go w dach, gdzie swobodny dostęp miałoby światło słoneczne. Produkowany w dzień wodór mógłby być podawany na ogniwa paliwowe, jako system pomocniczy dla typowego zbiornika H₂, zmniejszając częstość tankowania samochodu lub mógłby służyć do doładowywania akumulatorów podczas postoju.

Jeśli badania doprowadzą do odpowiednio dużej wydajności wytwarzania H₂ z jednostki powierzchni fotokatalizatora, będzie można wtedy wykorzystać je do wielotonażowej produkcji wodoru, co może drastycznie zmienić obraz odnawialnych źródeł energii. Pierwsze tego typu plany pojawiają się już w publikacjach [18].



Rys.7. Przykładowy schemat produkcji wodoru w wielkiej skali poprzez rozkład wody na fotokatalizatorach [18].

W następnym artykule dokładnie przybliżę opisywaną przeze mnie metodę produkcji wodoru z wody na fotokatalizatorach. Zaprezentuję również co w tym temacie dzieje się aktualnie na świecie.

LITERATURA:

- [1] Surygała J.: Wodór jako paliwo, Warszawa, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 2008, s. 34.
- [2] Surygała J., Śliwka E.: Emisje komunikacyjne w świetle unormowań prawnych, Nafta-Gaz, 57(5), (2001), 282.
- [3] Marshall E.L., Owen K.: Motor Gasoline. Cambridge, Royal Society of Chemistry 1995.
- [4] Heiserman D. L.: Księga pierwiastków chemicznych. Przekład J.Kurylewicz. Warszawa, Prószyński 1997.
- [5] www.mundi.com/paliwo.html
- [6] Czuppon T.A., Knez S.A.: Hydrogen. In: The Wiley Encyclopedia of Energy and the Environment. Red. A. Bisio, S. Boots, New York, Wiley 1997, s.23.
- [7] www.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells
- [8] <http://hydrogen.pnl.gov/cocoon/morf/hydrogen>
- [9] <http://www.lenntech.com>
- [10] <http://www.shfca.org.uk>
- [11] <http://airproducts.com>
- [12] Heiserman D. L.: Księga pierwiastków chemicznych. Przekład J.Kurylewicz. Warszawa, Prószyński 1997
- [13] Vezirolu T.N., Barbier F.: Transportation fuel-hydrogen. In: The Wiley Encyclopedia of Energy and the Environment. Red. A. Bisio, S. Boots, New York, Wiley 1997, s.1439.
- [14] Directive 2003/17/EC of the European Parliament and the Council of 3 March 2003, Official Journal of the European Union, L76/10-L76/19
- [15] rysunki zaczerpnięte ze strony: www.ogniwa-paliwowe.com
- [16] rysunek zaczerpnięty ze strony: www.gizmag.com
- [17] materiały opracowane przez Bartłomieja Krasa - APS Energia Sp.z o.o. ul. Drewnicka 5, Ząbki k/Warszawy
- [18] Kazuhiko M., Kazunari D.: Photocatalytic Water Splitting: Recent Progress and Future Challenges, J. Phys. Chem. Lett., 1, (2010), 2655.



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Publikacja powstała w ramach projektu "Bioenergia dla Regionu - Zintegrowany Program Rozwoju Doktorantów",
współfinansowanego przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego