



Robert PRZEKOP

Centrum Zaawansowanych Technologii, Uniwersytet im. A. Mickiewicza, Poznań



Julia GŁOWACKA

Wydział Chemii, Uniwersytet im. A. Mickiewicza, Poznań



Agnieszka MARTYŁA

Centrum Zaawansowanych Technologii, Uniwersytet im. A. Mickiewicza, Poznań

Wykorzystanie ogniw paliwowych w gospodarce wodorowej

The use of fuel cells in the hydrogen economy

DOI: 10.21303/2023.1.1

Zastosowanie wodoru jako nośnika energii było rozpatrywane w literaturze naukowej i technicznej już w latach 60. XX w. Obecna sytuacja geopolityczna oraz zmiana wektorów w globalnej gospodarce energetycznej doprowadziła do sytuacji, w której potencjalna zmiana nośników energii staje się znacznie bardziej realna niż w ostatnich dekadach. Zrozumienie zależności występujących w gospodarce wodorowej wymaga znajomości nie tylko wielu pojęć z zakresu energetyki, inżynierii i technologii chemicznej, ale też powoduje konieczność zrozumienia relacji i zależności pomiędzy poszczególnymi komponentami nowego systemu. W pracy przybliżono podstawowe relacje i zależności pomiędzy składowymi gospodarki wodorowej, wskazano przepływy i połączenia oraz zależności. W dalszej części przybliżono wybrany komponent wykonawczy (wykorzystujący wodór), jakim są ogniwa paliwowe. W kolejnych pracach zostaną przybliżone inne elementy tego złożonego systemu.

Słowa kluczowe: wodór, transformacja energetyczna, ogniwa paliwowe, magazyny energii

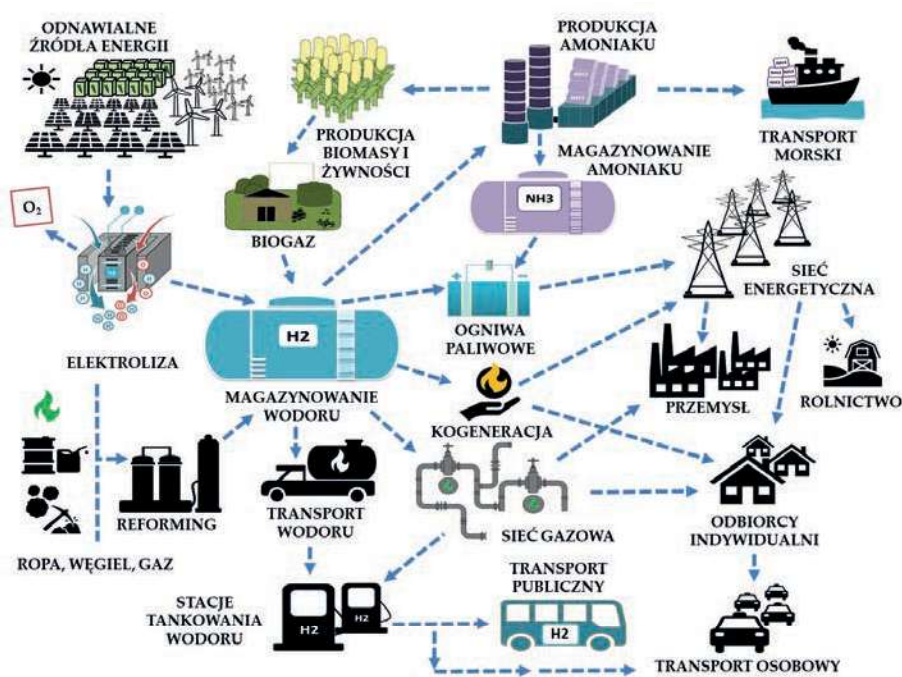
The use of hydrogen as an energy carrier was considered in the scientific literature and technical literature as early as the 1960s. The current geopolitical situation and changing vectors in the global energy economy has led to a situation in which the potential change in energy carriers is becoming much more real than in recent decades. Understanding the interrelationships occurring in the hydrogen economy requires knowledge not only of many concepts in energy, engineering and chemical technology, but also makes it necessary to understand the relationships and dependencies between the various components of the new system. The paper introduces the basic relationships and dependencies between the components of the hydrogen economy, and identifies the flows and connections and dependencies. It goes on to introduce the selected executive component (using hydrogen), which is the fuel cell. Other components of this complex system will be approximated in subsequent work.

Zastosowanie wodoru jako nośnika energii było rozpatrywane w literaturze naukowej i technicznej już w latach 70. ubiegłego wieku [1]. Jednak realne wdrożenie takiego sposobu magazynowania energii w skali większej niż pilotowa urzeczywistnia się dopiero w wyniku splotu czynników politycznych (przyjęcie określonych dyrektyw i założeń formalno-prawnych), czynników zewnętrznych, takich jak kryzys energetyczny wywołany konfliktem zbrojnym z udziałem największego dostawcy gazu ziemnego do Unii Europejskiej oraz czynnikami wynikającymi z przyjętych w obszarze Unii Europejskiej celów tzw. redukcji emisji CO₂. Kolejne wdrażane regulacje prawne i dyrektywy zmierzające do ograniczenia emisji dwutlenku węgla prowadzą do stałego zmniejszania opłacalności technologii wykorzystujących kopalne źródła energii. Dzieje się tak w obszarze produkcji energii elektrycznej, transporcie czy produkcji energii cieplnej. Rozszerzenie tych reguł na kolejne obszary gospodarki powoduje nieuchronnie wymuszanie stosowania tzw. odnawialnych źródeł energii, opartych głównie na energii słonecznej (panele fotowoltaiczne), energetyce wiatrowej, wodnej czy biomasy. Pierwsze dwa źródła energii (słoneczna i wiatrowa) charakteryzują się zmiennością intensywności produkcji, zarówno w cyklu dziennie-nocnym jak i w zależności od pory roku. Rozbudowa instalacji fotowoltaicznych i elektrowni wiatrowych w nieuchronny sposób doprowadziła do niestabilności tradycyjnego systemu energetycznego. Jednym z rozwiązań zmierzających do bilansowania zarówno w cyklu dziennie-nocnym, jak i sezonowym jest rozbudowa systemów magazynów energii. O ile magazyny oparte na tradycyjnych systemach ogniw elektrochemicznych (tzw. baterie) są stosunkowo proste do wdrożenia, o tyle ich wielkoskalowe zastosowanie do magazynowania dużych ilości energii w skali gospodarki

(w szczególności do magazynowania sezonowego) jest niemożliwe z technicznego punktu widzenia (zbyt mała gęstość magazynowanej energii). Jedynym racjonalnym rozwiązaniem z punktu widzenia termodynamiki, strat energii oraz kosztów inwestycyjnych są chemiczne nośniki energii, takiej jak wodór, a w dalszej kolejności jego chemiczne pochodne, takie jak amoniak, metanol czy paliwa syntetyczne. Równoczesne wykorzystanie wodoru jako nośnika i magazynu energii może w przyszłości prowadzić do związania znacznych ilości CO₂ w postaci alkoholi i/lub węglowodorów. Dodatkowo, wodór jest istotnym substratem w produkcji kluczowego dla bezpieczeństwa żywnościowego związku chemicznego – amoniaku. Mając na uwadze powyższe czynniki możemy zrozumieć, jak istotny dla transformacji energetycznej jest ten pierwiastek.

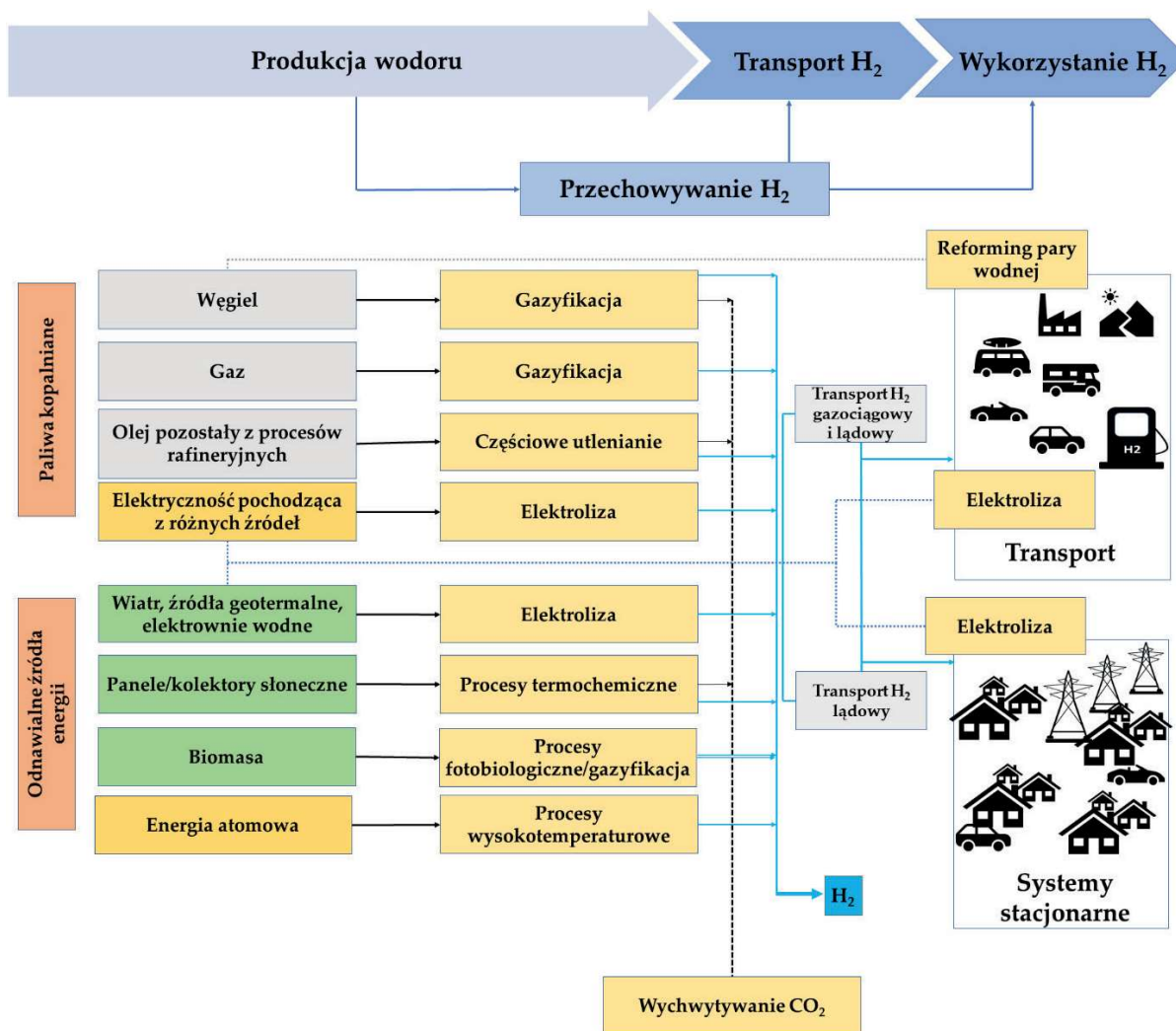
Opis

Przepisy Unii Europejskiej, w tym plan aktów prawnych Fit for 55 nakładają na wszystkie kraje unijne nowy cel redukcji emisji gazów cieplarnianych w 2030 [2]. Działania mające na celu zarówno ochronę zasobów, jak i ograniczenie emisji dwutlenku węgla opierają się na trwającej już transformacji energetycznej, w której paliwa kopalne zastępowane są przez odnawialne źródła energii oraz paliwa alternatywne. Wśród istniejących odnawialnych źródeł energii, takich jak energia słoneczna, czy energia wiatru, które są zależne od pogody, i paliw alternatywnych, takich jak biopaliwa, paliwa syntetyczne itd., to właśnie wodór został uznany za atrakcyjne źródło energii o dużym potencjale, który może stanowić podstawę do zmniejszenia zależności od – często importowanych – nieodnawialnych źródeł

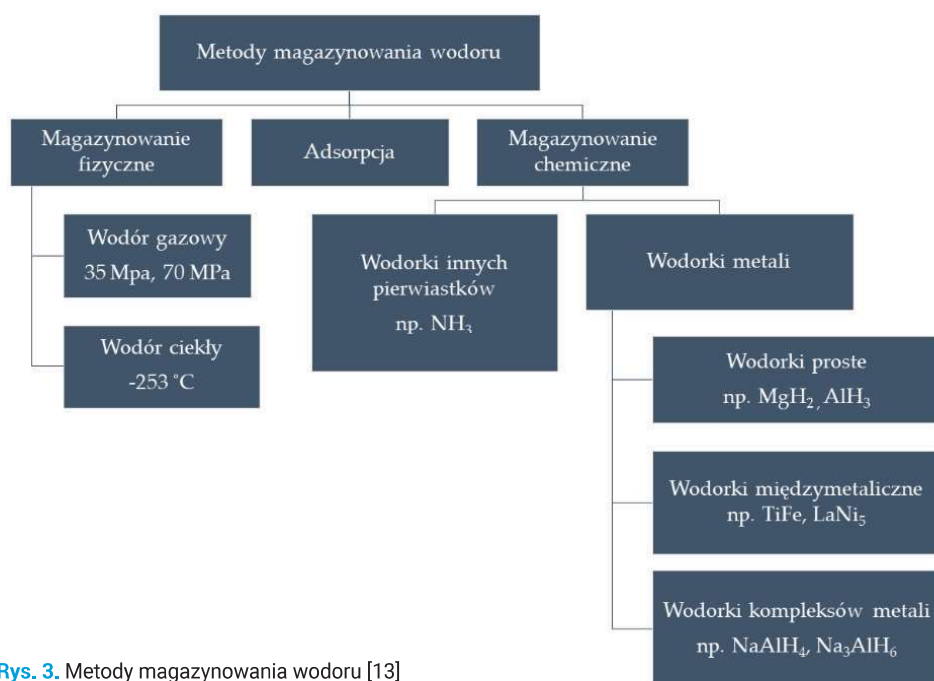


Rys. 1. Gospodarka wodorowa

energii. Udział odnawialnych źródeł energii w miksie energetycznym wzrósł znacząco w ostatniej dekadzie i stały się one jednymi z głównych źródeł energii elektrycznej w krajach takich jak Niemcy, Dania i Hiszpania [3]. W innych krajach europejskich takich jak np. Polska elektrownie w listopadzie 2022 r. wyprodukowały 15165,6 GWh energii elektrycznej, z tego 2301,6 GWh (15,1 %) pochodziło z odnawialnych źródeł energii [4]. Jednakże odnawialne źródła energii są zależne od warunków atmosferycznych (światło słoneczne oraz prędkość i kierunki wiatru) i mogą powodować fluktuacje w dostawach energii, stąd ciągłe poszukiwania alternatywy. Jako atrakcyjne źródło energii został uznany wodór, który ma ogromny potencjał. Dzięki temu, że może on stanowić nośnik energii, paliwo, a także magazyn energii [5] jest niekwestionowanym kandydatem do odegrania kluczowej roli w rozwoju nowego systemu energetycznego.



Rys. 2. Metody otrzymywania wodoru [11]



Rys. 3. Metody magazynowania wodoru [13]

Wodór to najczęściej występujący pierwiastek we wszechświecie. Posiada on najwyższą grawimetryczną gęstość energii wśród wszystkich paliw niejądrowych (tj. 120 MJ kg^{-1} w porównaniu do ropy naftowej (47 MJ kg^{-1}) i jest najlżejszym pierwiastkiem we wszechświecie [6]. Ze względu na swoje właściwości, wodór jest uważany za opłacalne paliwo alternatywne, które może zasilać bezemisyjne ogniwa paliwowe m.in. do pojazdów elektrycznych. Rozwiązałyby to nie tylko problem emisji gazów cieplarnianych przez pojazdy, ale także problem wyczerpujących się zasobów ropy naftowej. Poza tym, wodorowe ogniwa paliwowe w połączeniu z silnikami elektrycznymi są 2-3 razy bardziej wydajne w porównaniu z silnikami spalinowymi [7]. Jednakże wdrożenie go na szeroką skalę stawia wyzwania technologiczne, do których między innymi należy przyjazna dla środowiska produkcja, wydajna dystrybucja i magazynowanie oraz wykorzystanie [6].

Otrzymywanie wodoru może odbywać się kilkoma metodami. Do głównych technik pozyskiwania wodoru należy rozkład paliw kopalnych (tj. gaz ziemny, ropa naftowa, węgiel), biomasy za pomocą procesów chemicznych, termochemicznych i biologicznych. Inną opcją jest dysocjacja wody na wodór i tlen poprzez wykorzystanie energii elektrycznej lub ciepłej pochodzącej z energii jądrowej lub źródeł odnawialnych (wiatru, słońca) [8]. Do niekonwencjonalnych metod otrzymywania wodoru należą techniki plazmowe, a wśród nich plazmowa elektroliza roztworu [9] i plazmowe metody otrzymywania katalizatorów reformingu [10]. Zestawienie metod otrzymywania wodoru przedstawiono na rysunku 2.

Jednym z kluczowych elementów zastosowania wodoru jest jego magazynowanie. Zasilanie pojazdu napędzanego ogniwem paliwowym do pokonania dystansu 500 km, wymaga magazynowania 5 kg wodoru w temperaturze 298 K i pod ciśnieniem 0,1 MPa [6]. Stosuje się różne sposoby klasyfikowania metod magazynowania wodoru. Te, które wynikają z charakteru oddziaływania pomiędzy wodorem a zbiornikiem lub materiałem magazynującym przedstawiono na rysunku 3 [12].

Takie ujęcie magazynowania wodoru wprowadza podział metod przechowywania wodoru na trzy główne grupy: (1) wodór może być przechowywany jako gaz lub ciecz w czystej, molekularnej postaci bez

znaczących wiązań fizyczno-chemicznych z innymi materiałami; (2) wodór cząsteczkowy może być adsorbowany na lub w materiale, utrzymywany przez stosunkowo słabe wiązania van der Waalsa; (3) wodór atomowy może być związany chemicznie (zaabsorbowany). Ponadto, użyteczne jest podzielenie technologii składowania opartej na wiązaniu chemicznym na dwie podkategorie: wodorki metali i wodorki chemiczne. Podział ten ma sens z uwagi na zasadniczo różne właściwości magazynowania wodoru przez te materiały. W wodorkach metali wodór może być bezpośrednio związany z atomem metalu (wodorki metali i wodorki międzymetaliczne) lub być częścią jakiegoś złożonego jonu, który jest związany z atomem metalu. Wodorki chemiczne składają się wyłącznie z pierwiastków niemetalicznych, na ogół pewnej kombinacji węgla, azotu, boru, tlenu i wodoru.

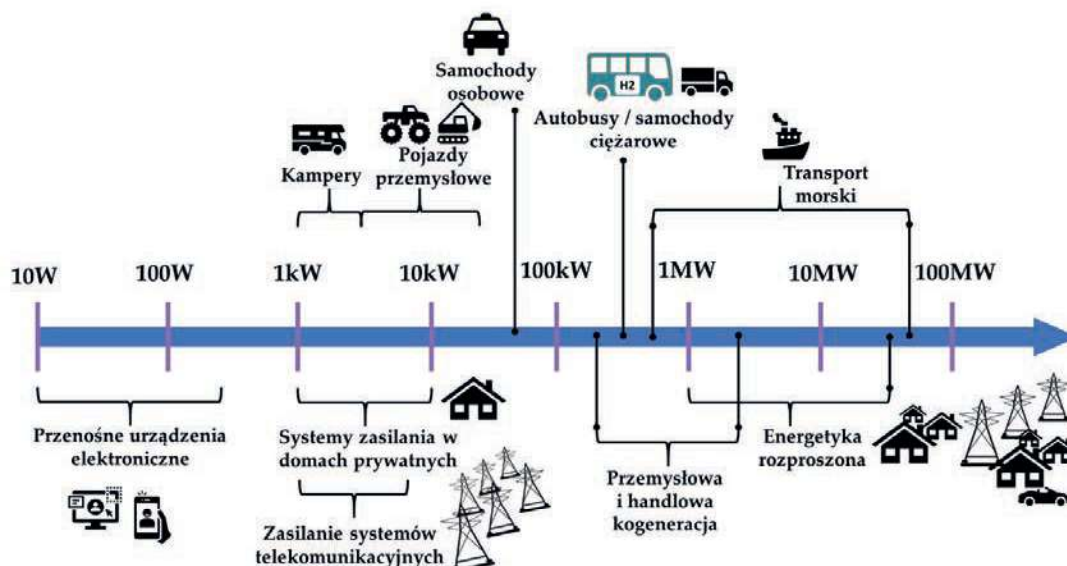
Wykorzystanie wodoru do bezpośredniego otrzymywania energii elektrycznej – ogniwa paliwowe

Wodór może być również stosowany do wytwarzania energii elektrycznej i obejmuje to zarówno zasilanie pojazdów w postaci ogniwa paliwowych, jak i zasilanie produkcji rozproszonej. Pozwala to na wprowadzenie energii odnawialnej do lokalnego sektora transportu wodorowego, co przynosi znaczne korzyści w zakresie bezpieczeństwa energetycznego i ekonomicznego. Magazynowanie wodoru jest więc kluczowym elementem magazynowania energii [7]. Na rysunku 4 przedstawiono możliwości wykorzystania wodoru, jako nośnika energii w zależności od mocy.

Ogniwa paliwowe to urządzenia elektrochemiczne służące do przekształcania energii chemicznej w energię elektryczną. Oferują one wyższą sprawność elektryczną w porównaniu z konwencjonalnymi systemami wytwarzania energii elektrycznej, takimi jak np. silnik tłokowy (35 %), generator turbinowy (30–40 %), fotowoltaika (62 %) i turbiny wiatrowe (25 %). Ogniwa paliwowe produkują więcej energii elektrycznej z tej samej ilości paliwa wolnej od zanieczyszczeń. Bezgłośna praca i modułowa konstrukcja to dodatkowe cechy, które umożliwiają zastosowanie ogniwa paliwowych w małych budynkach mieszkalnych, samochodach, przenośnych urządzeniach elektronicznych, a także do wytwarzania energii elektrycznej poza siecią w odległych miejscach, na morzu i w przestrzeni kosmicznej [14–15].

Ogniwa paliwowe mogą mieć wiele zastosowań, należą do nich m.in. obszary, w których wymagana jest niezawodność zasilania, minimalizacja lub eliminacja emisji spalin i gazów lub tam, gdzie występuje ograniczony dostęp do sieci energetycznej. Wobec takich wymagań, ogniwa paliwowe znajdują zastosowanie w następujących sferach:

- obiekty komputerowe, centrale telefoniczne, obiekty komunikacyjne, centra przetwarzania danych, zakłady produkcyjne wykorzystujące zaawansowane technologie.
- samochody, autobusy, obszary miejskie, obiekty przemysłowe, lotniska, strefy o surowych normach emisji.



Rys. 4. Zakres zastosowań wodoru jako nośnika energii w zależności od mocy [11]

■ obszary wiejskie lub odległe, maksymalna przepustowość sieci. Na tych terenach dostępne są biologiczne gazy odpadowe: zakłady przetwarzania odpadów, w których ogniwa paliwowe mogą przekształcać gazy odpadowe w energię elektryczną i ciepło przy minimalnej ingerencji w środowisko [16].

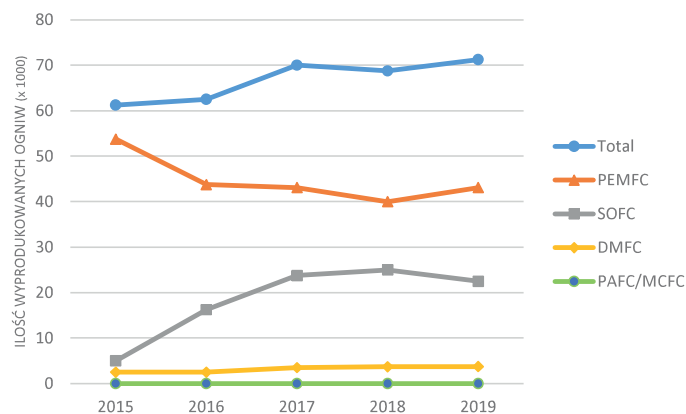
Ogniwo paliwowe wytwarza energię elektryczną i ciepło poprzez elektrochemiczne połączenie paliwa, którym jest wodor z gazem utleniającym, którym jest tlen z powietrza, przez elektrody i elektrolit przewodzący jony. Podczas tego procesu powstaje woda. Ogniwo paliwowe nie wyczerpuje się, nie wymaga ładowania, w przeciwieństwie do akumulatora będzie produkować energię tak długo, jak długo będzie dostarczane paliwo [16].

Podział ogniw paliwowych wynika najczęściej z temperatury ich pracy oraz rodzaju zastosowanego elektrolitu. Istnieje kilka rodzajów technologii ogniw paliwowych, opracowywanych dla różnych zastosowań, co podsumowano w tabeli 1.

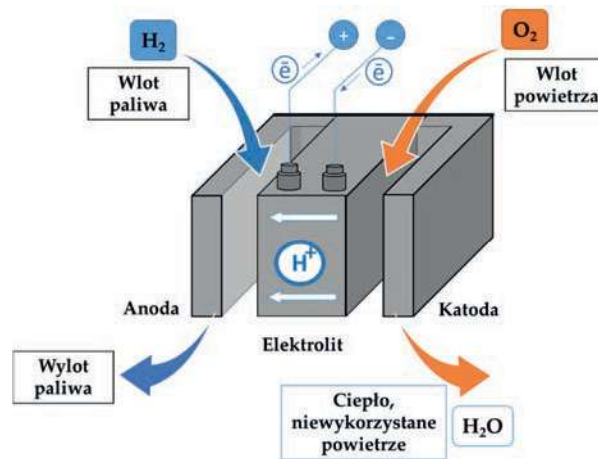
Tab. 1. Podział ogniw paliwowych

Rodzaj ogniwa	Elektrolit	Temperatura pracy, °C	Paliwo
AFC – Alkaline Fuel Cell	KOH	50-200	Wodór, hydrazyna
DMFC – Direct Methanol Fuel Cell	Polimer	60-200	Metanol
PAFC Phosphoric Acid Fuel Cell	H ₃ PO ₄	160-210	Wodór z węglowodorów i alkoholu
SAFC Sulphuric Acid Fuel Cell	H ₂ SO ₄	80-90	Alkohol lub wodór
PEMFC Proton – Exchange Membrane Fuel Cell	Polimer	50-80	Wodór z węglowodorów lub metanol
MFC Molten Carbonate Fuel Cell	Stopione sole tj. węglany, azotany, siarczany	630-650	Wodór, tlenek węgla, gaz ziemny, propan, ropa
SOFC Solid Oxide Fuel Cell	Stabilizowany tlenek cyrkonu, domieszkowane perowskity	600-1000	Gaz ziemny, propan

Spośród ogniw wymienionych w tabeli 1, PEMFC jest najbardziej atrakcyjnym ogniwo paliwowe. W ostatnich latach nastąpił znaczny rozwój tego układu. Mocnymi stronami tego ogniwa są: lekkość, wysoka sprawność (>60%), niska temperatura pracy (80°C), brak emisji zanieczyszczeń, zerowa emisja gazów cieplarnianych (CO lub CO₂) i woda, jako produkt uboczny reakcji. Według danych [17] produkcja tego typu ogniw jest wiodąca na rynku (rysunek 5).



Rys. 5. Wielkość produkcji ogniw paliwowych według typów [17]

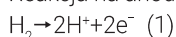


Rys. 6. Budowa ogniwa PEMFC

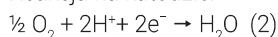
Ogniwo paliwowe PEMFC, z jonowymienną membraną polimerową, zbudowane jest z elektrod (katody i anody) oraz elektrolitu, w którym zanurzona jest półprzepuszczalna membrana. Elektrody z kolei tworzone są z nawęglonego papieru z dodatkiem platyny, która pełni rolę katalizatora. Membrana ma postać cienkiej warstwy polimeru, rozgraniczającej obydwie elektrody, jest nim najczęściej syntetyczny kopolimer tetrafluoroetenu i perfluorowanego eteru oligowinyloвого zakończonego silnie kwasową resztą sulfonową, znany komercyjnie jako Nafion®. Membrana ta służy jako medium wymiany protonów pomiędzy anodą i katodą, jak pokazano na rysunku 6.

Mechanizm działania PEMFC polega na przekształcaniu gazowego wodoru i tlenu w wodę. Reakcje przebiegające w ogniwie paliwowym mają postać:

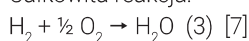
Reakcja na anodzie:



Reakcja na katodzie:



Całkowita reakcja:



Paliwem zasilającym ogniwo jest wodór, który – wprowadzony do porowatej anody – ulega jonizacji na protony oraz elektrony. Proces ładowania ogniwa paliwowego następuje podczas przenikania protonów przez półprzepuszczalną membranę (jest ona nieprzepuszczalna dla jonów tlenkowych oraz elektronów). Do katody ogniwa doprowadzany jest gazowy tlen, który przyłącza cztery elektrony, ładując się w ten sposób ujemnie. Następnie ujemnie naładowane jony tlenkowe reagują z dodatnimi jonami wodoru, w wyniku czego powstaje cząsteczka wody. Z kolei elektrony przepływają przez zewnętrzny obwód, tworząc prąd ogniwa.

Najważniejszą reakcją w PEMFC jest reakcja redukcji tlenu (ORR, z ang. oxygen reduction reaction), która silnie zależy od katalizatora platynowego. Jeżeli ładunek Pt zwiększa się, szybkość ORR wzrasta i daje większą moc. Jeśli natomiast ładunek Pt jest niski, wtedy moc maleje. Ze względu na fakt, że głównym składnikiem katalizatora jest platyna, jej koszt jest czynnikiem determinującym wejście na rynek ogniw paliwowych. Przeprowadzono wiele badań, które nadal trwają, aby zwiększyć szybkość reakcji ORR w ogniwie, stosując różne obciążenia katalizatora Pt lub poprzez modyfikację Pt innymi metalami, aby stworzyć stop lub zastąpić Pt innymi metalami [18].

Zalety stosowania ogniw paliwowych

Ogniwa paliwowe mogą znacznie poprawić bezpieczeństwo energetyczne dzięki zwiększeniu ilości dostępnej na rynku energii elektrycznej. Nie jest konieczne stosowanie w nich ropy naftowej, co nie tylko wpłynie na zmniejszenie jej importu, ale przede wszystkim na ochronę jej zasobów.

Ogniwa paliwowe zasilane wodorem nie wymagają zastosowania określonej metody otrzymywania tego paliwa. Wodór może być pozyskiwany z różnych źródeł. Może to być gaz ziemny, metanol, woda. Ponieważ ogniwo paliwowe generuje energię w sposób ciągły, w przeciwieństwie np. do generatorów Diesla, jest niemal niezawodnym źródłem energii. Moc jest dostępna przez 99,99 % czasu pracy. Wysoka sprawność ogniw paliwowych, które przetwarzają

50–70% dostępnego paliwa na energię elektryczną z odzyskiem ciepła, zmniejsza koszty paliwa oraz chroni zasoby naturalne [15].

Wysoka wydajność systemu ogniw paliwowych pozwoli na obniżenie rachunków za energię, jeżeli produkcja ogniw paliwowych będzie prowadzona na masową skalę.

Praca ogniw paliwowych jest 100-1000 razy czystsza w porównaniu z tradycyjnymi silnikami spalinowymi, NO_x i SO₂ nie są uwalniane do środowiska, co zmniejsza o około 20 000 kg ilość kwaśnych deszczy oraz innych zanieczyszczeń powodujących smog. Dzięki temu zmniejsza się emisja dwutlenku węgla o ponad dwa miliony kg rocznie [19-20].

Podsumowanie

Mając na uwadze potencjał energetyczny i zerową emisję, wiódące gospodarki świata uznały wodór za paliwo przyszłości. Wytwarzanie energii elektrycznej w ogniwach paliwowych, zarówno stacjonarnych jak i mobilnych, są obiecującą technologią. Alternatywne napędy, tj. stosowane w pojazdach elektrycznych, są uzależnione od kosztownych akumulatorów litowych, co znacznie ogranicza zakres ich użytkowania. Produkcja wodoru z odnawialnych źródeł energii, jego magazynowanie i wykorzystanie w ogniwach paliwowych do wytwarzania energii elektrycznej może być jednym z rozwiązań problemów [21] transformacji energetycznej.

Prof. UAM dr hab. Robert PRZEKOP jest absolwentem Wydziału Chemii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Stopień doktora habilitowanego uzyskał na Politechnice Poznańskiej w 2020 roku. Specjalizuje się w chemii materiałowej, katalizie heterogenicznej, biopaliwach.

W latach 2008-2010 zajmował stanowisko Wicedyrektora ds. Innowacji i Rozwoju Technologicznego w BGW WPH Sp. z o.o. W latach 2012-2014 Technolog w Poznańskim Parku Naukowo-Technologicznym Fundacji UAM. Od 2011 roku Profesor w Centrum Zaawansowanych Technologii UAM.

Od 2010 roku jest recenzentem w programach Narodowego Centrum Badań i Rozwoju, autor ponad 300 ekspertyz i ocen na zlecenie tej agencji, głównie w obszarze badań stosowanych w przedsiębiorstwach i jednostkach naukowych.

Od roku 2019 przewodniczący panelu nauki Wielkopolskiej Platformy Wodorowej. Od roku 2022 członek Rady Koordynacyjnej ds. Gospodarki Wodorowej przy Ministerstwie Klimatu, przewodniczący Panelu Nauki w Platformie Wodorowej Urzędu Marszałkowskiego Województwa Wielkopolskiego. Członek Zarządu Głównego Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Przemysłu Chemicznego w Warszawie.

Laureat programu LIDER (NCBiR) na UAM. W latach 2018-2019 przygotował i brał udział w przygotowaniu szeregu wniosków projektowych, m.in. w ramach działania – RPWP.01.01.00 (WRPO) POIR.02.03.02 (PARP), POIR.01.01.01 (NCBiR) POIR.04.04.00 (FNP) oraz wniosku w programie OPUS (NCN). W latach 2014-2020 brał udział w pracach w zespole przygotowującym do fazy operacyjnej i w fazie operacyjnej projektu Wielkopolskie Centrum Zaawansowanych Technologii.

Jest promotorem oraz promotorem pomocniczym w 7 przewodach doktorskich, był promotorem 20 prac licencjackich, inżynierskich i prac magisterskich. Jest autorem i współautorem 90. publikacji oraz 8. zgłoszeń patentowych. Jego zespół zrealizował w latach 2018-2021 ponad 200 prac badawczych i ekspertyz dla przemysłu (w tym największych przedsiębiorstw chemicznych w kraju – PKN ORLEN, GRUPA AZOTY, CIECH).

e-mail: rprzekop@amu.edu.pl

Mgr inż. Julia GŁOWACKA – absolwentka kierunku Inżynieria Materiałowa na Wydziale Budowy Maszyn i Zarządzania Politechniki Poznańskiej (2019). W 2019 roku nagrodzona Stypendium naukowym Marszałka Województwa Wielkopolskiego za wybitne osiągnięcia na polu naukowym w obrębie nauk technicznych. Aktywna działaczka SITPChem. Studentka studiów doktoranckich w Szkole Nauk Ścisłych UAM. Zainteresowania naukowe skupiają się w szczególności na rozwoju wiedzy o kompozytach polimerowych i gospodarce obiegu zamkniętego. Jest współautorką 5. publikacji oraz 1. monografii o zasięgu międzynarodowym.

e-mail: julia.glowacka@amu.edu.pl

Dr Agnieszka MARTYŁA jest absolwentką Wydziału Chemii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Zawodowo związana z chemią materiałową, charakterystyką fizykochemiczną, katalizą, chemicznymi źródłami prądu. Zawodowo, w latach poprzednich IMN CLAIO w Poznaniu, obecnie pracuje w Centrum Zaawansowanych Technologii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu.

W trakcie swojej pracy zawodowej realizowała i kierowała pracami wykonywanymi w ramach projektów finansowanych przez NCN, NCBR, czy ze środków unijnych, a także pracami badawczo-rozwojowymi, ekspertyzami i opracowaniami tematycznymi realizowanymi dla ministerstw oraz przemysłu, w tym dla największych przedsiębiorstw chemicznych w kraju: Grupa Azoty, KGHM, PKN ORLEN poruszającymi problematykę materiałów stosowanych w chemicznych i alternatywnych źródłach prądu, a także oczyszczania roztworów produkcyjnych, otrzymywania nowych materiałów wielofunkcyjnych, opracowywania założeń produkcyjnych.

Jest autorem i współautorem szeregu publikacji o zasięgu krajowym i międzynarodowym. Członek SITPChem oraz Platformy Wodorowej przy Urzędzie Marszałkowskim Województwa Wielkopolskiego.

Zainteresowania naukowe: nośniki energii, wodór, materiały katalityczne, ogniwa paliwowe, fotowoltaika, paliwa alternatywne.

e-mail: agnieszka.martyla@amu.edu.pl

LITERATURA

- [1] Bielański A., Perspektywy wykorzystania wodoru jako paliwa przyszłości. *Nauka Polska* 1970,11, 53.
- [2] <https://300gospodarka.pl/explainer/fit-for-55-co-to-jest>, 16-02-2023.
- [3] Zivar A., Kumar S., Foroosh J., Underground hydrogen storage: A comprehensive review. *International Journal of Hydrogen Energy* 2021, 46, 23462.
- [4] <https://www.rynelektyczny.pl/energia-elektryczna-ze-zrodel-odnawialnych>, 16-02-2023.
- [5] Seo S.K., Yun D.Y., Lee C.J., Design and optimization of a hydrogen supply chain using a centralized storage model. *Applied Energy* 2020, 262, 114452.
- [6] Ramirez-Vidal P., Canevesi R. L. S., Sdanghi G., Schaefer S., Maranzana G., Celzard A., Fierro V., A Step Forward in Understanding the Hydrogen Adsorption and Compression on Activated Carbons. *ACS Appl. Mater. Interfaces* 2021, 13, 12562.
- [7] Singla M. K., Nijhawan P., Singh A., Oberoi A. S., Hydrogen fuel and fuel cell technology for cleaner future: A review. *Environmental Science and Pollution Research* 2021, 28, 15607.
- [8] Scipioni A.: *Hydrogen Economy Supply Chain, Life Cycle Analysis and Energy Transition for Sustainability*. Elsevier Ltd. 2017.
- [9] Bospalko S., Mizeraczyk J., Overview of the Hydrogen Production by Plasma-Driven Solution Electrolysis *Energies* 2022, 15, 7508.
- [10] Chen H.L., Lee H.M., Chen S.H., Chao Y., Chang M.B., Review of plasma catalysis on hydrocarbon reforming for hydrogen production—Interaction, integration, and prospects, *Applied Catalysis B: Environmental* 2008, 85, 1–9.
- [11] Conte M.: *Hydrogen Economy*. Elsevier B.V. 2009.
- [12] Andersson J., Grönkvist S. Large-scale storage of hydrogen. *Int. Journal of Energy* 2019, 44, 11901.
- [13] Zhu J., Dai L., Yu Y., Cao J., Wang L. Direct electrochemical route from oxides to TiMn2 hydrogen storage alloy. *Chin J Chem Eng* 2015, 23(1),1865.
- [14] Mahapatra M. K., Singh P. Fuel Cells: Energy Conversion Technology, chapter 24, in *Future Energy, Improved, Sustainable and Clean Options for our Planet* Elsevier 2014, 511-547.
- [15] EG&G Technical Services, Inc., *Fuel Cell Handbook*, Seventh ed., 2004.
- [16] Stambouli B.A., Traversa E. Fuel cells, an alternative to standard sources of Energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2002, 6, 297–306.
- [17] E4tech Ltd., 2019, *The fuel cell industry review 2019*. www.afhyapac.org/documents/publications/rapports/TheFuelCellIndustryReview2019.pdf. 20-02-2023.
- [18] Lin R., Cai X., Zeng H., Yu Z. Stability of high-performance Pt based catalysts for oxygen reduction reactions. *Adv. Mat.* 2018, 30(17), 1705332.
- [19] Koppel T., Reynolds J. A fuel cell primer, Rev 6. 2001.
- [20] Data from *The International Fuel Cells*, A United technology Company. *Fuel Cells Review*. 2000.
- [21] Oberoi A.S. Reversible electrochemical storage of hydrogen in activated carbons from Victorian brown coal and other precursors. RMIT University Australia PhD thesis. 2015.

KUJAWY POMORZE

KUJAWSKO-POMORSKIE FORUM INNOWACJI, NAUKI, BIZNESU I SAMORZĄDU

Hotel Filmar, Toruń
5-7 listopada 2023



Kujawsko-Pomorskie Forum Innowacji, Nauki, Biznesu i Samorządu to wydarzenie o charakterze naukowo-technologicznym poświęcone nowym technologiom, innowacjom, wynalazkom i nowatorskim inwestycjom zmieniającym kraj i region w oparciu o inteligentne specjalizacje. Wiodącymi tematami dyskusji będą wyzwania innowatorów związane z transferem wiedzy z sektora nauki do biznesu oraz z pomyślnym wprowadzeniem na rynek nowych lub ulepszonych produktów i usług.

Konferencja promuje regionalny potencjał naukowy, innowacyjny oraz współpracę biznesową w ramach wszelkich sektorów istotnych z punktu widzenia rozwoju województwa, kraju i świata.

W ramach przedsięwzięcia przewidziano panele dyskusyjne, spotkania dedykowane kluczowym dla rozwoju regionu i kraju specjalistom, a także spotkania i wydarzenia promujące współpracę między nauką a biznesem z uwzględnieniem wsparcia administracji samorządowej.



Zarejestruj się na stronie: www.rfi.biz.pl