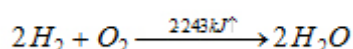


Streszczenie:

W artykule zawarto kilka najpopularniejszych metod przechowywania wodoru, zarówno w postaci gazowej, jak i stałej czy też ciekłej. Przedstawione zostały najważniejsze cechy poszczególnych metod, ich zalety i wady, z szczególnym naciskiem na praktyczne możliwości zastosowania w energetyce. Wodór jest gazem który znakomicie spełnia funkcję nośnika energii. W wyniku jego spalania powstaje jej ogromna ilość, a jedynym produktem reakcji spalania jest czysta para wodna. Wodór jest również źródłem potencjału elektrycznego w ogniwach paliwowych, których sprawność znacznie przekracza osiągi tradycyjnych turbin gazowych. Niestety największym problemem w wykorzystaniu tego obiecującego paliwa jest sposób jego przechowywania. O ile energia zgromadzona w jednej małej bryłce węgla kamiennego, uwolniona w trakcie spalania, pozwala nam na wykonanie dużej ilości pracy (na przykład wyparowania wody w celu napędzenia turbiny), o tyle do wykonania tej samej pracy potrzebnych byłoby kilka m³ H₂ pod ciśnieniem atmosferycznym.



Innymi słowy, wodór ma małą gęstość energii, przez co jest dla nas tak niewygodny. Szczególnie daje to o sobie znać w trakcie konstrukcji pojazdów napędzanych wodorem. O ile bak w małym samochodzie jest w stanie zapewnić zasięg kilkuset kilometrów bez tankowania, to do osiągnięcia tego samego rezultatu w przypadku wodoru, niezbędny jest potężny zbiornik wypełniony gazem, w dodatku pod ogromnym ciśnieniem.



Rys. 1. Toyota Prius przerobiona na zasilanie wodorem

Najprostszym i najbardziej oczywistym rozwiązaniem jest właśnie sprężanie wodoru do butli. Jest to sposób sprawdzony i powszechnie stosowany do innych gazów technicznych. Niestety ze względu na małą gęstość wodoru, potrzeba bardzo dużego ciśnienia aby otrzymać wystarczającą masę zgromadzonego gazu. Dzięki stosowaniu odpowiednio wytrzymałych materiałów na butle, możliwe jest uzyskanie ciśnienia nawet 300 atmosfer, ale nawet w takich warunkach wodór ma gęstość zaledwie 21 kg/m³ (dla porównania, sprężone powietrze ma wtedy gęstość 339 kg/m³). Dzięki zastosowaniu materiałów kompozytowych, takich jak włókno węglowe, produkuje się zbiorniki zdolne wytrzymać ciśnienie nawet 700 atmosfer[2], jednak nadal są to produkty stosunkowo drogie i podatne na uszkodzenia mechaniczne. Problemem jest wyjątkowo mały rozmiar cząsteczki wodoru, która jest stanie przenikać przez większość materiałów stosowanych na butle. Ważnym aspektem jest także efekt psychologiczny. Wielu osobom słowa WODÓR POD

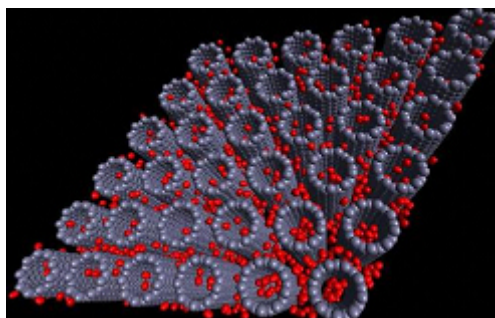
WYSOKIM CIŚNIENIEM kojarzą się natychmiast z płonącym Hinderburgiem, lub eksplodującą elektrownią w Czernobylu. Niewiele osób zdecydowałoby się jeździć pojazdem, który pod fotelami ukrywa niemal tykającą bombę zegarową, a prawdopodobnie nawet solidnie zabezpieczony i odosobniony budynek na odludziu miałby swoich przeciwników. Mimo, że wodór nie był bezpośrednią przyczyną tych katastrof, to jednak pozostawił po sobie w historii znaczący ślad, narzucający na obecnych inżynierów zwiększone rygory bezpieczeństwa.



Rys. 2. Porównanie zbiornika Kriogenicznego z ciśnieniowym [3]

Nieco bezpieczniejszym rozwiązaniem jest użycie zbiorników kriogenicznych, o ciśnieniu normalnym, lecz o bardzo niskiej temperaturze. Przy -253°C następuje zmiana stanu z gazowego na ciekły, co znacząco zwiększa gęstość energii tego paliwa. Najważniejszą wadą tej technologii jest konieczność ciągłego dostarczania energii w celu chłodzenia zbiornika, który nigdy nie jest w stanie całkowicie izolować termicznie od otoczenia. Oprócz dyfuzji mamy wtedy do czynienia z parowaniem, przez co wycieki dobowe mogą sięgać nawet 4% masy. Zbiorniki tego typu są bardzo kłopotliwe przez konieczność zastosowania całego mechanizmu do chłodzenia cieczy i dużą konsumpcję prądu. Są one często stosowane w przemyśle, na przykład do przechowywania ciekłego azotu (którego temperatura wrzenia jest jednak znacznie wyższa, bo aż $-195,8^{\circ}\text{C}$), więc technologia ta jest wciąż rozwijana, a nowoczesne zbiorniki mają coraz większą sprawność.

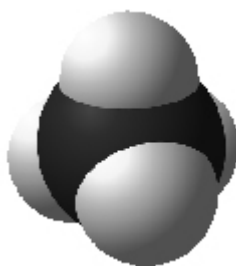
Bardzo perspektywicznym obecnie rozwiązaniem jest gromadzenie wodoru za pomocą adsorpcji. Ideą tej technologii jest tymczasowe połączenie wodoru z inną substancją (siłami fizycznymi, nie wiązaniem chemicznym), wyłącznie w celu przechowania. Następnie, po dostarczeniu małej ilości energii (najczęściej przez ogrzanie) wodór może być uwolniony. Idealnie do tego celu nadają się porowate materiały węglowe o bardzo rozbudowanej mikrostrukturze.



Rys. 3. Wizualizacja cząsteczek wodoru adsorbowanych na powierzchni nanorurek węglowych[4]

Stosowany w tych przypadkach węgiel aktywny adsorbuje wodór, pozwalając na jego gromadzenie w nieznacznie tylko zwiększonym ciśnieniu. Wciąż istnieje tu konieczność schłodzenia pojemnika, do temperatury ok. 77 K, jednak zastosowane ciśnienie jest znacznie niższe. W przypadku ciśnienia 1,5 MPa, gęstość zmagazynowanego wodoru jest ponad 3 razy większa niż w przypadku sprężania bez adsorbentu. Oczywiście ta metoda jest korzystna wyłącznie w przypadku, gdy zwiększona gęstość magazynowanego wodoru kompensuje dodatkową masę adsorbentu.

Równie efektywną metodą jest tworzenie wodorków metali. Przy odwracalnych reakcjach chemicznych istnieje możliwość wielokrotnej absorpcji, a następnie dysocjacji wodoru. Zaletą tej techniki jest duża gęstość magazynowanego wodoru i możliwość odzysku ciepła w trakcie procesu. Wykorzystywane w tym celu wodorki magnezu charakteryzują się stosunkowo niską masą, lecz także niską sprawnością cyklu, nie przekraczającą 70%. Dobrze sprawdzają się w tej roli także metale ziem rzadkich, ale są one drogie i ciężkie. Najbardziej przyszłościową metodą może okazać się użycie metanu. Łącząc 4 cząsteczki wodoru z 1 cząsteczką węgla otrzymujemy bardzo korzystną proporcję, jednocześnie mając do dyspozycji równie wartościowy gaz.



Rys. 4. Budowa cząsteczki metanu [5]

CH₄ jest głównym składnikiem gazu ziemnego, powszechnie wykorzystywanego w przemyśle, przez co można korzystać z gotowej już infrastruktury i urządzeń specjalnie do niego przystosowanych. Do jego przygotowania niezbędny jest tylko tlenek węgla (II):



Reakcja odwrotna daje równie przydatny gaz syntezowy (mieszaninę tlenku węgla (II) i wodoru), stosowany do otrzymywania wielu substancji (na przykład metanolu). Wykorzystanie takiej techniki niesie z sobą dodatkowe korzyści wynikające z możliwości wykorzystania zgromadzonej przez nas energii. Nie jesteśmy wyłącznie ograniczeni do powrotnej produkcji prądu, ale w przypadku nadwyżki, możemy sprzedać naszą „baterię”, która będzie z łatwością wykorzystana do innych celów.

Oprócz wymienionych metod gromadzenia wodoru, istnieją jeszcze inne, polegające na budowaniu różnych wiązań chemicznych. Głównym problemem większości z nich są straty występujące podczas reakcji lub nietrwałość produktów. Mimo tak wielu różnych metod, wodór wciąż nie jest wykorzystywany na tak dużą skalę, jaką sugerują potencjalne możliwości jego wykorzystania. Z pewnością zmieni się to, gdy tylko nauczymy się go w prosty i efektywny sposób magazynować.

Bibliografia:

1. Focus.pl – „Samochód na wodór pobił rekord”,
2. Broszura zbiornika firmy Quantum
3. Wikipedia – Metody przechowywania wodoru
4. Wykaz publikacji Karla Jahnsa
5. Wikipedia - Metan
6. D. A. Corrigan, “Introduction to NiMH Battery Technology,” June 21, 2002
7. „Magazynowanie wodoru w porowatych materiałach węglowych”, Biuletyn Polskiego Stowarzyszenia Ogniw Paliwowych, nr 2/2007
8. „Adsorpcja wodoru na materiałach węglowych”, Węgiel Aktywny w Ochronie Środowiska i Przemysłu, Politechnika Częstochowska 2004