

Podstawowe informacje o wodorze

Dlaczego wodór?

Podstawowym warunkiem wstępnym zastosowania wodoru we wszystkich odnośnych sektorach jest przejście na gospodarkę niskoemisyjną lub bezemisyjną. Ze względu na ciągłe wysiłki państw na wszystkich kontynentach poszukuje się nowych alternatyw dla rozwoju technologii neutralnych dla klimatu. Sama Unia Europejska postawiła sobie za cel osiągnięcie całkowitej neutralności klimatycznej do 2050r., tj. wychwycenie i magazynowanie takiej samej ilości emisji gazów cieplarnianych, jaka zostanie uwolniona do atmosfery. Sam fakt rozwoju odnawialnych źródeł energii w państwach członkowskich stwarza wówczas przestrzeń do stabilizacji ich nieprzewidywalnej produkcji energii elektrycznej. W takim przypadku wodór będzie odgrywał rolę nośnika energii, co jest szczególnie przydatne w przypadku akumulacji sezonowej i niektórych zastosowań związanych z mobilnością.

Co to jest wodór?

Wodór jest najlżejszym gazowym pierwiastkiem chemicznym, który tworzy ponad dwie trzecie całej kosmicznej masy. Szacuje się, że stanowi ponad 30% całkowitej masy Słońca. Jest trzecim najbardziej rozpowszechnionym pierwiastkiem na Ziemi, ale prawie nigdy nie występuje jako pojedyncza cząsteczka, ponieważ jest wysoce reaktywny i natychmiast tworzy związki. Wodór jest wszechobecny, czy to w postaci wody, gazu ziemnego czy metanolu. Ponieważ jest to najprostszy i najlżejszy pierwiastek, ulatniając się bardzo szybko rozprasza się w powietrzu. Wodór podczas uniku w żaden sposób nie zanieczyszcza środowiska. Jest to substancja bezemisyjna, nietoksyczna i pozbawiona zapachu. Wodór jest palny, ale nie sprzyja spalaniu, paląc się bezbarwnym płomieniem.

Jakie właściwości energetyczne ma wodór?

Wodór jest paliwem bardzo wysokoenergetycznym (33 kWh/kg) i obecnie jest bezpośrednim konkurentem, zwłaszcza w przypadku technologii akumulatorowych.

W bezpośrednim porównaniu wodoru z akumulatorami, liderem w dziedzinie technologii akumulatorów jest dziś firma motoryzacyjna Tesla, której akumulatory osiągają gęstość energii 250 - 260 Wh/kg. Wodór ma, więc prawie 126 razy większą gęstość energetyczną na 1 kg. Jednak każda technologia ma swoje wady, a mianowicie niska objętościowa gęstość energetyczna wodoru (3 kWh/m³ przy 20°C i 1 bar). Zbiornik mogący pomieścić np. 6,3 kg wodoru ma więc łączną pojemność 156 litrów (Hyundai Nexa).

Jaka jest historia wykorzystania wodoru?

Wodór to od dawna znany gaz na świecie, odkryty w 1776 roku przez brytyjskiego naukowca Henry'ego Cavendisha. Niestety wodór nie był szeroko stosowany w przemyśle w momencie jego odkrycia, głównie ze względu na pojawienie się tańszych paliw kopalnych w XIX i XX wieku. Wypowiadając słowo „wodór”, wszyscy przypominają sobie katastrofę sterowca Hindenburg. Choć wodór nadal jest oskarżany, jako „trzaskający” gaz, katastrofę spowodowało spięcie elektryczne, które zapaliło wysoce łatwopalny materiał, z którego wykonano kadłub. Do dziś przerażające wideo przedstawiające płonący sterowiec budzi obawy i stygmatyzuje różne zastosowania wodoru. Rozszerzenie wykorzystania wodoru było spowodowane misjami badań kosmicznych w latach 60. XX wieku, takimi jak misje programu Apollo. Wodór był wówczas używany głównie jako paliwo do rakiet kosmicznych. Ponadto podczas lotów kosmicznych Apollo, na pokładzie zastosowano technologię wodorowych ogniw paliwowych do wytwarzania energii elektrycznej, ciepła i wody. W Republice Czeskiej wodór był używany, jako jeden z głównych składników dobrze znanego gazu węglowego, który później został zastąpiony gazem ziemnym.

Jakie jest zastosowanie wodoru?

Wodór jest nośnikiem (magazynem) energii. Znajduje szerokie zastosowanie w transporcie, energetyce i przemyśle. W przyszłości wodór ma służyć, jako jeden z nośników energii do zastosowania tzw. sector coupling, czyli koncepcji integracji sektorów.

Sector coupling to proces, w którym powinno dojść do pełnej dekarbonizacji większości sektorów (przemysł, transport, energetyka) poprzez wykorzystanie energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii. Wodór ma odegrać znaczącą rolę w tej strategii, jako nośnik energii we wszystkich wymienionych powyżej sektorach.

W transporcie wodór jest głównym konkurentem pojazdów elektrycznych zasilanych bateriami (BEV). Samochody napędzane wodorem (FCEV) mają większy zasięg (600 km i więcej), krótki czas napełniania (ok. 5 minut), lepiej pracują w zimnych warunkach, kiedy występują znacznie mniejsze straty dojazdu i jednocześnie mają mniejsze zużycie przy wyższych prędkościach. Strata dojazdu przy wyższych prędkościach jest równa rządowi samochodów spalinowych. W porównaniu do akumulatorów preferowanie wodoru jest oczekiwane zwłaszcza w przypadku ciężkiego transportu towarowego, transportu autobusowego i innych rodzajów transportu dalekobieżnego. Obecnie mobilność wodorowa działa na zasadzie ogniw paliwowych, które wytwarzają energię elektryczną w wyniku bezpośredniej reakcji elektrochemicznej wodoru i tlenu na wodę. Jako odpad wytwarzana jest tylko woda destylowana i powietrze, które są oczyszczane za pomocą filtrów. Trochę przesadą jest stwierdzenie, że samochody napędzane wodorem oczyszczają planetę. Masowy rozwój FCEV utrudnia jedynie wysoka cena zakupu i mała infrastruktura stacji paliw. Wraz z szerszym zastosowaniem FCEV nastąpi dramatyczny spadek cen nabycia z powodu masowej produkcji.

W energetyce wodór może służyć, jako magazyn energii. Ze względu na to, że wodór magazynuje dużą ilość energii (ok. 33 kWh/kg) i można go łatwo magazynować w dużych pojemnościach, wodór jest idealnym medium do sezonowej akumulacji energii (rzędu TWh). Tam, gdzie zawodzą technologie akumulatorowe, tj. w celu pokrycia długoterminowych niedoborów energii elektrycznej w systemie przesyłowym, wodór sprawdza się, jako idealna alternatywa. Wodór zmagazynowany w ten sposób, czy to w zbiornikach magazynowych, czy w systemie gazowym, można następnie przekształcić z powrotem w energię elektryczną w połączeniu z tlenem przy użyciu technologii ogniw paliwowych.

W przemyśle wodór może zastąpić paliwa kopalniane. Na przykład w przemyśle stalowym może być stosowany do redukcji żelaza. Obecnie wodór wykorzystywany jest przede wszystkim do produkcji amoniaku, który następnie wykorzystywany jest głównie do produkcji i przetwarzania nawozów. Inne przemysłowe zastosowania wodoru obejmują produkcję polimerów, materiałów wybuchowych, ale także w przemyśle spożywczym do utwardzania tłuszczów przy produkcji margaryn. Na całym świecie prowadzone są również projekty pilotażowe, które testują wykorzystanie spalania wodoru zamiast węgla.

Jak powstaje wodór?

96% całego produkowanego obecnie wodoru pochodzi z paliw kopalnych. Tylko 4% jest wytwarzane przez elektrolizę wody. Jednak w najbliższym dziesięcioleciu stosunek ten powinien ulec zmianie na rzecz bezemisyjnej produkcji za pomocą wspomnianej elektrolizy wody.

Obecnie podaje się, że 96% światowej produkcji wodoru pochodzi z paliw kopalnych, głównie w wyniku tzw. reformingu parowego gazu ziemnego. Jest to najtańsza obecnie technologia produkcji wodoru. Reforming parowy to proces chemiczny, w którym para wodna o temperaturze 750 - 950 °C jest doprowadzana do metanu. Mieszanina metanu i pary reaguje następnie tworząc wodór, tlenek węgla i mniejszą ilość dwutlenku węgla. Następnie tlenek węgla reaguje z dodatkową parą wodną, tworząc wodór i dwutlenek węgla. Całkowita wydajność tego procesu wynosi około 75%. Generuje jednak dużą ilość CO₂, do 9-12 kg CO₂ jest wytwarzane na 1 kg wyprodukowanego wodoru. Wytworzony w ten sposób wodór nazywany jest szarym.

Przejsiową metodą produkcji wodoru może być połączenie technologii już dziś znanych, gdy są to reforming parowy gazu ziemnego z CCS (Carbon Capture Storage). W tym wariantcie powstałe emisje CO₂ są wychwytywane za pomocą technologii CCS lub CCU (Carbon Capture Utilization), dzięki czemu wytwarzany wodór jest praktycznie bezemisyjny (emisje są zmniejszone nawet o 95%). Wytworzony w ten sposób wodór nazywany jest niebieskim.

W przyszłości najbardziej wspieraną metodą produkcji wodoru w Unii Europejskiej jest produkcja wodoru poprzez elektrolizę wody z wykorzystaniem energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii. Niestety, obecnie produkcja wodoru z wykorzystaniem energii elektrycznej sięga ok. 4% udział w całej produkcji. Ponadto większość tego wodoru jest produktem ubocznym produkcji chloru w technologii elektrolizy solanki - tj. biały wodór (powstający jako produkt uboczny dalszych reakcji chemicznych).

Jeśli wodór jest wytwarzany przez elektrolizę wody, i wykorzystywana energia elektryczna pochodzi ze źródeł odnawialnych, to wodór ten nazywa się zielonym. Zielony wodór jest bezemisyjny i ma największy potencjał w zakresie redukcji emisji gazów cieplarnianych. Podczas elektrolizy wody wiązanie chemiczne między wodorem i tlenem zostaje zerwane w roztworze, tworząc gazowy wodór i tlen. Obecnie ogólna wydajność wynosi około 50-60% w zależności od zastosowania technologii ogniów. Do wyprodukowania 1 kg wodoru potrzeba około 9 l wody i około 50 kWh energii elektrycznej.

W literaturze można znaleźć inne metody produkcji wodoru. Obecnie dyskutowany jest potencjał produkcji wodoru w nowo opracowanych reaktorach jądrowych czwartej generacji z wykorzystaniem wysokotemperaturowej elektrolizy pary wodnej na ogniwach ze stałymi utleniaczami. Ponadto wodór

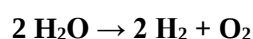
jest klasyfikowany w innych „kolorach” na podstawie źródła, z którego jest wytwarzany. Możemy dalej odkryć wodór brązowy (wytwarzany przez zgazowanie węgla) lub wodór turkusowy (wytwarzany z gazu ziemnego, ale produktem ubocznym jest węgiel w stanie stałym).

W jaki sposób wodór jest produkowany w Republice Czeskiej i jaki jest potencjał do produkcji zielonego wodoru w naszym kraju?

Ze względu na swoje szczególne położenie w sercu Europy, Republika Czeska ma stosunkowo niewielki potencjał do produkcji tzw. zielonego wodoru. Współczynnik wykorzystania (około nieco powyżej 20%) elektrowni wiatrowych jest w naszym kraju niższy niż w sąsiednich państwach nadmorskich, gdzie na wybrzeżach mórz wieją silne i stabilne wiatry (około 30%). Obecnie w Republice Czeskiej nie ma żadnego dużego elektrolizera, który byłby przeznaczony do komercyjnej produkcji zielonego wodoru. Niewielki elektrolizer wykorzystujący energię słoneczną o mocy 6 kW znajduje się w ÚJV Řež i jest przeznaczony wyłącznie do celów badawczych. Mimo to w Republice Czeskiej istnieją duże elektrolizery, ale są one wykorzystywane przede wszystkim do produkcji innych chemikaliów, a tak zwany biały wodór powstaje tu tylko, jako produkt uboczny. Warto wspomnieć o największym czeskim elektrolizerze, który jest eksploatowany przez firmę Spolchemie do produkcji chloru. Jako produkt uboczny powstaje tam również wodór, odnośnie którego we współpracy z miastem Ústí nad Labem rozważa się teza jego wykorzystania w przyszłości w transporcie miejskim. Największą ilość wodoru w Republice Czeskiej produkuje Unipetrol, który wykorzystuje częściowe utlenianie pozostałości ropy naftowej, reforming parowy i instalację etylenu do produkcji ponad 85.000 ton wodoru rocznie, który również zużywa głównie do produkcji amoniaku.

Co to jest elektroliza wody?

Elektroliza to proces, w którym stały prąd elektryczny szczepi wiązanie chemiczne między wodorem i tlenem w roztworze wodnym.



Bardzo czysty wodór w postaci gazowej powstaje z kolei na katodzie, skąd jest odprowadzany i następnie magazynowany. Nie można również pominąć powstawania tlenu na anodzie, bez którego by dana technologia nie mogła działać, ponieważ nie można dokonywać reakcję jedynie na jednej elektrodzie. Proces można również prowadzić w temperaturze pokojowej i wymaga tylko energii elektrycznej. Wydajność obecnych komercyjnych elektrolizerów używanych do produkcji wodoru wynosi około 50-75%.

Jakie mamy typy elektrolizerów?

Obecnie mówi się o łącznie trzech typach elektrolizerów, które są wystarczająco zaawansowane, aby nasycić popyt rynkowy. Są to elektrolizery wykorzystujące elektrolizę alkaliczną, elektrolizę PEM oraz elektrolizę wysokotemperaturową zachodzącą w ogniwach paliwowych ze stałymi utleniaczami.

Najtańszą i obecnie najbardziej rozwiniętą komercyjnie jest technologia elektrolizy alkalicznej. Pod względem atrakcyjności i właściwości technicznych technologia PEM jest obecnie najbardziej odpowiednia do produkcji zielonego wodoru z nadwyżek odnawialnych źródeł energii ze względu na jej szybki rozruch i stosunkowo niską temperaturę pracy. Wadą elektrolizerów PEM jest ich wyższa cena, co wynika głównie z zastosowania metali szlachetnych do jej produkcji, takich jak iryd i platyna, przy jednoczesnej wysokiej cenie membrany.

Ile wody zużywa się do elektrolizy?

Do wyprodukowania 1 kg wodoru i 8 kg tlenu potrzeba 8,92 litra wody demineralizowanej, tj. woda wolna od wszystkich obecnych minerałów (bardziej czystsza niż woda destylowana).

Obecne procesy przemysłowego przetwarzania ropy naftowej zużywają około 40% więcej wody niż podczas elektrolizy. Ponadto, gdy ponownie wykorzystamy wodór w ogniwie paliwowym, odzyskamy podobną ilość wody, jaką zużyliśmy w danym procesie.

Jakiej wody można użyć do elektrolizy?

Woda potrzebna do produkcji bardzo czystego wodoru musi być zdemineralizowana, tj. wolna od wszelkich substancji rozpuszczonych i zanieczyszczeń. Można ją jednak uzyskać praktycznie z dowolnego źródła wody.

Na przykład proces odsalania kosztuje dziś około 0,8 euro za 1 m³ wody. Jeśli przeliczymy ten proces na produkcję wodoru, to produkcja wodoru z wody morskiej kosztuje o 0,007 euro więcej na 1 kg wodoru.

Magazynowanie wodoru

Jak można przechowywać wodór?

Obecnie sprężanie wodoru w stanie gazowym jest wymieniane, jako najbardziej obiecująca, a także najbardziej zaawansowana komercyjnie technologia przechowywania wodoru. W ten sposób zmagazynowany wodór ma tendencję do ulatniania się, ze względu na bardzo mały rozmiar swojej cząsteczki. Nowoczesne zbiorniki magazynowe są już wykonane z niezwykle mocnych i szczelnych materiałów, które pozwalają na bezpieczne przechowywanie przy minimalnych stratach zmagazynowanego wodoru. W porównaniu z konkurencyjnymi możliwościami magazynowania wodoru, sprężanie wodoru ma wyraźnie najmniej przeciwwskazań.

Wodór jest przechowywany stacjonarnie w postaci gazowej w zbiornikach ciśnieniowych ze stali o dużej objętości. Do sprężenia wodoru do 350 barów potrzeba około 15 - 20% energii zawartej w paliwie. Drugą opcją jest przekształcenie wodoru w stan ciekły. Wadą tego procesu jest jednak

konieczność utrzymywania wodoru w tej postaci w temperaturze $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$ w kriogenicznych zbiornikach magazynowych. Podczas obchodzenia się z nim i użytkowania dochodzi następnie do uników, które powstają w wyniku parowania wodoru, który zachowuje się tak w temperaturze wyższej niż $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$. Prawie 30-40% całkowitej energii zawartej w paliwie jest potrzebne do samego skroplenia.

Zastosowania wodoru w mobilności

Co to są ogniwa paliwowe?

Ogniwa paliwowe w samochodach elektrycznych to w zasadzie małe generatory prądu, które pozyskują energię z bezpośredniej reakcji elektrochemicznej między tlenem i wodorem. Wodór jest przechowywany w zbiorniku, z którego jest podawany do ogniwa paliwowego. Tam reaguje z tlenem, wytwarzając energię elektryczną. Produktem tej reakcji elektrochemicznej jest tylko woda destylowana.

Dana technologia jest czasami nazywana odwróconą elektrolizą, ponieważ dochodzie do odwrotnych czynników niż podczas elektrolizy wody. Średnia sprawność ogniw paliwowych wynosi od 50 do 60%. Z 1 kg wodoru ogniwo paliwowe jest w stanie wyprodukować około 16 kWh energii elektrycznej.

Jak działają ogniwa paliwowe w samochodach elektrycznych?

Ogniwo paliwowe ma konstrukcję podobną do baterii. W ogniwie paliwowym znajdziemy anodę, katodę i membranę z katalizatorem. Wodór dostaje się do układu po stronie anody, a tlen po stronie katody. Wodór jest rozkładany na elektron na anodzie i proton wodoru, który jest transportowany przez membranę do katody, reaguje tam z obecnym tlenem. Produkt to tylko woda destylowana i prąd, ponadto ogniwo paliwowe opuszcza niewykorzystany tlen.

Czym różni się samochód elektryczny na baterie od samochodu z ogniwem paliwowym?

Pojazd z ogniwami paliwowymi (FCEV) jest również pojazdem elektrycznym. Samochód zawiera akumulator, silnik elektryczny i ogniwo paliwowe wraz ze zbiornikiem wodoru.

W przeciwieństwie do pojazdów elektrycznych zasilanych bateriami (BEV), pojazdy elektryczne z ogniwami paliwowymi (FCEV) mają małą baterię o pojemności rzędu kWh. Energia elektryczna wytwarzana z ogniw paliwowych jest przechowywana w baterii, z której następnie silnik elektryczny bezpośrednio pobiera energię elektryczną. Sprawność takiego układu jest w wyniku dodania ogniwa paliwowego do całego procesu niższa niż w systemie czysto akumulatorowym o około 40-50%, ale cały proces jest bardziej energooszczędny niż w przypadku silnika spalinowego.

Jak tankować wodorowy samochód elektryczny?

Tankowanie odbywa się na stacjach do napełniania. Cały proces jest bardzo podobny do tankowania tradycyjnych paliw kopalnych. Po podłączeniu pistoletu do napełniania do zaworu zbiornika, naciskasz dźwignię, a cały system zajmie się resztą pracy. Napełnianie zbiorników zajmuje 5 minut i zapewnia pełną pojemność samochodu.

Cały system działa w sposób wysoce automatyczny, a gdy pistolet napełniający kliknie, system zamyka się i blokuje. Dlatego wódór nie może przedostać się ze stacji paliw do otoczenia. Po zatankowaniu wystarczy „odłączyć” pistolet do napełniania, zapłacić i podróżować dalej.

Ile mamy stacji gazowych w Czechach?

Na chwilę obecną nie została otwarta żadna publicznie dostępna stacja gazowa w Czechach. Jedna stacja gazowa, która jest wykorzystywana głównie do celów badawczych, znajduje się w miejscowości Neratovice. Niemniej jednak budowane są trzy stacje gazowe planowane do oddania do użytku w roku 2021r., którymi będzie zarządzać Unipetrol - w Litvínovie, Pradze i Brnie.

Krajowy plan działań na rzecz czystej mobilności zakłada, że do 2030 roku w Republice Czeskiej powinno funkcjonować łącznie 80 publicznie dostępnych wodorowych stacji paliw.

Jak działa wodorowy samochód elektryczny w zimne dni?

Zaletą jest niezawodność całego systemu w chłodne dni. Ogniwa paliwowe nie ulegają degradacji podczas zimnej pogody w porównaniu do akumulatorów.

Sprawność całego samochodu jest lepsza w warunkach zimowych niż w przypadku akumulatorowych samochodów elektrycznych, ponieważ wodorowy samochód elektryczny nie musi być ogrzewany z wytworzonej energii elektrycznej, ale może pracować z ciepłem odpadowym wytwarzanym podczas pracy ogniw paliwowych. Natomiast zimą sprawność auta elektrycznego na akumulator spada mniej więcej do poziomu FCEV, który zachowuje swoją sprawność nawet w niskich temperaturach.

Czy woda odpadowa w układzie wodorowego samochodu elektrycznego nie może zamarznąć?

Systemy ogniw paliwowych i odprowadzanie wody są obecnie projektowane tak, aby woda nie zamarzła w całym układzie samochodu.

Na przykład konstruktorzy wodorowego samochodu elektrycznego Hyundai Nexa gwarantują, że ich system działa bezproblemowo w zakresie temperatur od -30 °C do + 50 °C.

Czy elektromobilność akumulatorów jest lepszym rozwiązaniem transportowym niż ogniw paliwowe?

Zależy od tego, kogo zapytamy i o jakim rodzaju transportu mówimy. Jednak wodór i akumulatory powinny być dwiema uzupełniającymi się technologiami, które będą się wzajemnie uzupełniać. Dlaczego?

Transport towarowy na duże odległości: Wodór oferuje obecnie większy potencjał w transporcie towarów na większe odległości. Pomimo hipotetycznej ewolucji technologicznej akumulatorów (akumulatorów z elektrolitem stałym) jest mało prawdopodobne, aby w ciągu dziesięciu lat możliwe było doładowanie akumulatorów w taki sposób, aby można było bez większych problemów wykorzystać zwiększoną pojemność na przejazdy powyżej 1000 km. Ponadto obecne akumulatory są bardzo ciężkie i nawet gdyby podwoić gęstość energii z obecnych 260 Wh na 1 kg akumulatora do 500 Wh na 1 kg, nadal potrzebowalibyśmy akumulatora o minimalnej pojemności 1,5 MW i wadze akumulatora 3 ton do transportu na większe odległości powyżej 1000 km. Problemem jest również ładowanie tak znacznej ilości prądu. Jaką moc musiałyby mieć ładowarki do naładowania 1,5 MW w nocy między zmianami? Z hipotetyczną liczbą 20 takich ciężarówek stojących na parkingu w rzędzie dochodzimy do liczb, dzięki czemu nie da się już zbudować tylko mocniejszej stacji transformatorowej, ale bezpośrednio małą elektrownię w pobliżu takich ładowarek. Już tylko z tego powodu oczywiste jest zastanowienie się nad tym, aby elektryczność zamienić w inny, łatwy do magazynowania nośnik energii, który możemy produkować w sposób ciągły z odnawialnych źródeł energii. Możemy znacznie szybciej przetransportować wodór do ciężarówki i nie zagrozić stabilności układu przesyłowego podczas ładowania/tankowania. Wodór oferuje, zatem obecnie większy potencjał w transporcie towarów na większe odległości.

Transport towarowy w miastach: Z drugiej strony w miastach elektromobilność akumulatorów może odgrywać bardziej znaczącą rolę ze względu na swoją wysoką wydajność i niskie koszty. Akumulator świetnie sprawdza się w ruchu miejskim, gdzie operatorzy nie potrzebują dużego dojazdu. Dodatkowo o zaletach całego rozwiązania przemawiają niskie koszty eksploatacji oraz wysoka sprawność dzięki odzyskowi energii i niewielkim prędkościom transportu.

Transport samochodów osobowych: Rynek pojazdów typu BEV (pojazdy elektryczne na baterie) jest obecnie rynkiem stosunkowo rozwiniętym. Ponadto każdego roku następuje znaczący postęp w osiąganiu charakterystyk jezdnych samochodów spalinowych (zasięg, prędkość ładowania). BEV to idealne rozwiązanie do standardowej codziennej jazdy i ładowania w domu z gniazdka. Obecnie pojazdy typu BEV oferują już przyzwoity zasięg 400 km, są bardzo wydajne i lokalnie bezemisyjne. Zwłaszcza w transporcie miejskim nie będzie obecnie ani w najbliższej przyszłości równorzędnego konkurenta dla BEV. Z drugiej strony samochody osobowe napędzane ogniwami paliwowymi (FCEV) nie mogą konkurować w niektórych obszarach BEV, ale ich zastosowanie jest możliwe, w szczególności biorąc pod uwagę ich specyficzne cechy. Oferują większy i stabilniejszy dojazd, nawet przy wyższych prędkościach, zwłaszcza na autostradach, a ich właściwości są zbliżone dojazdem do silników spalinowych. FCEV mogą być również odpowiednią alternatywą dla kierowców mieszkających na gęsto zaludnionych obszarach bez odpowiednich opcji ładowania w domu. Jednak rozwój FCEV był dotychczas hamowany przez wysokie koszty akwizycji i niedostateczną infrastrukturę wodorowych stacji paliw, które są jednocześnie znacznie droższe w porównaniu z budową stacji ładowania.

Transport autobusowy: Najbardziej efektywnym rozwiązaniem dla transportu miejskiego z przejazdem rzędu kilkudziesięciu kilometrów jest autobus akumulatorowy, podobnie jak w miejskim transporcie towarowym. Autobusy napędzane wodorem mają większy potencjał, zwłaszcza w transporcie międzymiastowym i dalekobieżnym, ponieważ oferują stabilniejszy i większy dojazd.

Transport kolejowy: wodór może zastąpić transport kolejowy z silnikiem diesla w częściach krajów, w których nie ma zelektryfikowanej kolei. Projekty pilotażowe już dziś działają na całym świecie, na przykład we Francji, która planuje testować pociągi wodorowe od 2023 roku. Podobnie jak w Republice Czeskiej, gdzie pociągi wodorowe mogą podążać po torach, zwłaszcza w północnej części Czech.

Jak ciężkie są zbiorniki na przechowanie wodoru w samochodach?

Przy hipotetycznym przechowywaniu 4,2 kg sprężonego wodoru pod ciśnieniem 700 barów potrzebujemy zbiornika w samochodach o masie około 135 kg. Zbiorniki są obecnie wykonane ze wzmocnionego włókna węglowego.

W porównaniu do pojazdu spalającego benzynę, zbiornik wodoru ma 4-5 razy większą objętość i 10 razy większą masę.

Czy wodoru nie można skroplić, a następnie zatankować jak zwykłą benzynę?

To rozwiązanie jest wyjątkowo nieefektywne energetycznie. Ciekły wodór należy utrzymywać w temperaturze $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$, a jeśli te warunki nie zostaną spełnione, wodór wyparuje.

Wpływ ciepła na zbiornik paliwa może być spowodowany przez środowisko, ciepło z silnika i inne aspekty. Powoduje to duże straty (zwykle około 3% zmagazynowanej energii dziennie) i jednocześnie w zbiornikach paliwa powstaje nadciśnienie, które następnie należy skompensować zrzucając je ze zbiornika.

Czy wodór jest bezpieczny?

Wszystkie paliwa zawierają wysokie stężenie energii i dlatego w pewnych warunkach mogą być niebezpieczne. Jednak wodór można uznać za równie bezpieczny, a nawet bezpieczniejszy niż jakiegokolwiek inne paliwo. Oprócz standardowych testów zderzeniowych zbiorniki wodoru są również testowane pod kątem odporności na ostrzał z karabinu snajperskiego. Zbiorniki mogą wytrzymać dwukrotnie większe ciśnienie, jakie zostanie osiągnięte w standardowych warunkach. Podobnie bezpieczne są stacje gazowe, które posiadają szereg systemów skupiających się na bezpieczeństwie podczas pracy pod wysokim ciśnieniem.

Zaletą bezpieczeństwa stosowania wodoru jest również jego bardzo mała gęstość, w czasie przebicia zbiornika dochodzi do jego szybkiego parowania i unoszenia się, dzięki czemu nie gromadzi się w pobliżu wypadku. W przypadku pożaru powstanie płomień, który będzie unosił się pionowo do góry, a pojazd nie zapali się jak w przypadku płynnych paliw kopalnych.

Produkcja wodoru trwa od dziesięcioleci i nie ma praktycznie żadnych nadzwyczajnych tragedii. Wodór to także między innymi gaz, który nie jest szkodliwy dla zdrowia, więc nie należy się go bać poprzez jego wyciek i parowanie. Ponadto systemy w nowoczesnych samochodach wodorowych są

opracowywane w taki sposób, aby zamykały się w razie wypadku i aby nie dochodziło do nagłego zapłonu.

Gospodarka wodorowa

Ile kosztuje wyprodukowanie 1 kg wodoru?

Cena zależy głównie od metody produkcji. Ponadto w przypadku produkcji zielonego wodoru konieczne jest uwzględnienie różnych cen w różnych częściach świata, w zależności od tego, ile kosztuje produkcja energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii. Według Międzynarodowej Agencji Energetycznej cena produkcji wodoru kształtuje się następująco:

Parowy reforming gazu ziemnego 1-3,5 \$/kg

Zgazowanie węgla 1,2 - 2,2 \$/kg

Elektroliza wody 3 - 7,5 \$/kg

Ile kosztuje 1 kg wodoru na wodorowych stacjach paliw?

Dla użytkownika końcowego cena wodoru za kilogram w Niemczech jest obecnie ustalona na 9,5 euro (gdzie znajduje się najwięcej stacji gazowych). Po przeliczeniu na kilometry i średnim zużyciu 1 kg na 100 km, 1 km w samochodzie wodorowym kosztuje ~ 0,43 PLN.

W porównaniu z paliwami konwencjonalnymi, samochód napędzany wodorem jest obecnie droższy w eksploatacji. Jednak w przyszłości cena powinna spadać wraz ze wzrostem produkcji. Napełnienie pełnego zbiornika Hyundaia Nexa (6,3 kg) z podawanym dojazdem 666 km kosztowałoby dziś około 272 PLN.

W jaki sposób obniżka ceny zostanie osiągnięta w ciągu najbliższych 10 lat?

Gospodarka wodorowa nie będzie wystarczająco rozwinięta bez pomocy państwowych dotacji. Aby obniżyć cenę, konieczne jest zainwestowanie w produkcję. W nadchodzących latach w Europie dominować będzie wsparcie dla niskoemisyjnego i bezemisyjnego (zielonego wodoru), gdy celem do roku 2030 jest zbudowanie 40 GW elektrolizerów w UE, oraz wsparcie budowy kolejnych 40 GW elektrolizerów za granicą w celu zwiększenia importu. Oprócz zwiększania mocy produkcyjnych, cenę zielonego wodoru obniży również postęp technologiczny i wydajność samych elektrolizerów.