

Andrzej P. SIKORA¹

Mateusz SIKORA¹

Amoniak surowcem energetycznym?

Kto by się spodziewał? Amoniak w energetyce? Niewielu dopuszcza taką myśl ale pokora i holistyczne podejście do nauki natychmiast podpowiedzą, że tak, bo to prosty związek, gdzie znajdują się aż 3 atomy wodoru.

Zwyczajowa nazwa zaczęła się od salmiaku, chlorku amonu (NH_4Cl). Amoniak – nazwa – pochodzi od miejsca świątyni Amona w oazie Siwa na terenach dzisiejszego Egiptu. To tam około 322 r. p.n.e. z odchodów wielbłądów otrzymano i opisano właśnie salmiak. Uważa się, że to stąd pochodzi nazwa „amoniak” używana w różnych formach, w większości języków świata (Wayne i Felty 1982). Amoniak (nazwy systematyczne: azan, trihydrodoazot Neil 2005) NH_3 to nieorganiczny związek chemiczny azotu i wodoru, który wraz z helem jest głównym budulcem znanego nam otoczenia. Należy tu na moment wejść w obszar kosmologii, budowy Wszechświata i uzmysłwić sobie, że 95% otaczającego nas właśnie Wszechświata to ciemna energia i ciemna materia, a pozostałe 5% to neutrina, galaktyki z Drogą Mleczną, gwiazdy, międzygalaktyczny gaz i nasz Układ Słoneczny (a w nim Ziemia, która wydaje się być z tego punktu widzenia oczywistym ewenementem, szczególnym przypadkiem, aby nie powiedzieć wybrykiem – „anomalią”). Znana nam materia, w tym neutrina, stanowią tylko 1% masy Wszechświata, bo pozostałe 4% to właśnie wodór i hel. Czysty wodór i czysty hel – a właśnie to ma ogromne energetyczne znaczenie. Ta „anomalia”, w odniesieniu do ostatnich badań Marsa, nie jest taka oczywista, jak oczywisty już nie jest brak wody w stanie ciekłym nawet w naszym Układzie Słonecznym poza Ziemią.

Chcielibyśmy mieć szansę napisać kolejny artykuł opisujący właśnie neutrina jako źródła energii. Neutrina nie oddziałują za pomocą oddziaływań silnych i elektromagnetycznych, a jedynie za pośrednictwem oddziaływań słabych (i grawitacyjnych). Są tak przenikliwe, że obiekt wielkości Wenus czy Ziemi nie stanowi dla nich prawie żadnej przeszkody – przez jeden centymetr kwadratowy Ziemi zwrócony prostopadle do Słońca, co sekundę przelatuje 60,5 miliardów neutrin. Co ciekawe, Ziemianie ciągle jeszcze nie potrafią z tego korzystać, choć Wolfgang Pauli teoretycznie już w 1930 r. przewidział ich istnienie. Jak to pięknie

¹ Instytut Studiów Energetycznych Sp. z o.o. Warszawa; e-mail: andrzej.sikora@ise.com.pl.

brzmi – „energia z oddziaływań grawitacyjnych”. Pewnie Kopernik, Newton czuli się tak samo jak my teraz, myśląc: oni o energii elektrycznej, a my o neutrinach.

Rachunek prawdopodobieństwa podpowie, że nasz Układ Słoneczny, Ziemia, jest wielokrotnie powtarzalną, ale jednak w bezmiarze Wszechświata „anomalią”. Może bardziej niż „anomalią” lepiej pisać szczególnym przypadkiem, gdyż wodór na Ziemi jest uwięziony w związkach węglowodorowych, azotowych (amoniak – NH_3 czyli azan) i wodzie.

Amoniak – znany jest przede wszystkim jako nawóz w rolnictwie. Może jednak pełnić również funkcję wysokiej jakości nośnika energii, mając znaczną przewagę nad wodorem. Wodór należy bowiem przechowywać w temperaturze 20,15 K (-253°C) w postaci cieczy lub pod ciśnieniem około 70 MPa (700 barów) – w postaci gazu. Ciekły amoniak można przechowywać w rozsądnej temperaturze 240,15 K (-33°C) przy standardowym ciśnieniu i 293,15 K ($+20^\circ\text{C}$) pod ciśnieniem 0,9 MPa (9 barów). To sprawia, że przechowywanie i transport tego nośnika energii jest znacznie łatwiejsze i prostsze.

W przeciwieństwie do Kosmosu w przyrodzie ziemskiej, wodór praktycznie nie występuje samodzielnie.

Wodór to nośnik, magazyn energii także w związkach chemicznych – węglowodory z metanem na czele. Staje się dostawcą energii, kiedy w procesach syntezy jądrowej (procesy na przykład zachodzące na Słońcu) w wyniku połączenia atomów wodoru w olbrzymich temperaturach staje się budulcem helu, wydając jednocześnie olbrzymie kwanty energii i właśnie wolnych neutrin. Reakcja termojądrowa jest głównym, poza energią grawitacyjną, źródłem energii Słońca – energii gwiazd. Ziemianom daleko do możliwości sterowania tym procesem, na razie opanowaliśmy jedynie destrukcję w postaci bomby wodorowej, a proces syntezy w laboratoriach osiągnął rekordowy sukces 18 sekund (poprzednio 4,6 s). Mamy go na Ziemi związanej także z azotem. I można go wykorzystać w sposób pokojowy.

Kiedy tworzony jest ten tekst, trwają Igrzyska Olimpijskie w Tokio, w czasie których Japonia stale podkreśla wykorzystanie wodoru, dostarczanego w postaci azanu. Pierwszy raz Japonia była gospodarzem IO w 1964 r. i wtedy do znicza olimpijskiego używany był propan. W 2021 r. mamy mieszaninę wodoru i propanu. Ponadto wodór jest używany w 500 pojazdach na ogniwa paliwowe do przewozu urzędników oraz w 100 autobusach na ogniwa paliwowe do przewozu sportowców. Wodór z ogniw paliwowych zasila również część Wioski Olimpijskiej Harumi Flag. Wodór używany na Igrzyskach Olimpijskich Tokio 2020 jest produkowany przy użyciu energii słonecznej wytwarzanej w prefekturze Fukushima, gdzie znajduje się obecnie wyłączona elektrownia jądrowa Fukushima Daiichi (to swoistego rodzaju paradoks, bo właśnie do wybuchu wodoru – tylko wiadomo, że powstałego z innej przyczyny doszło w 2 blokach elektrowni w Fukushima w 2011 r.).

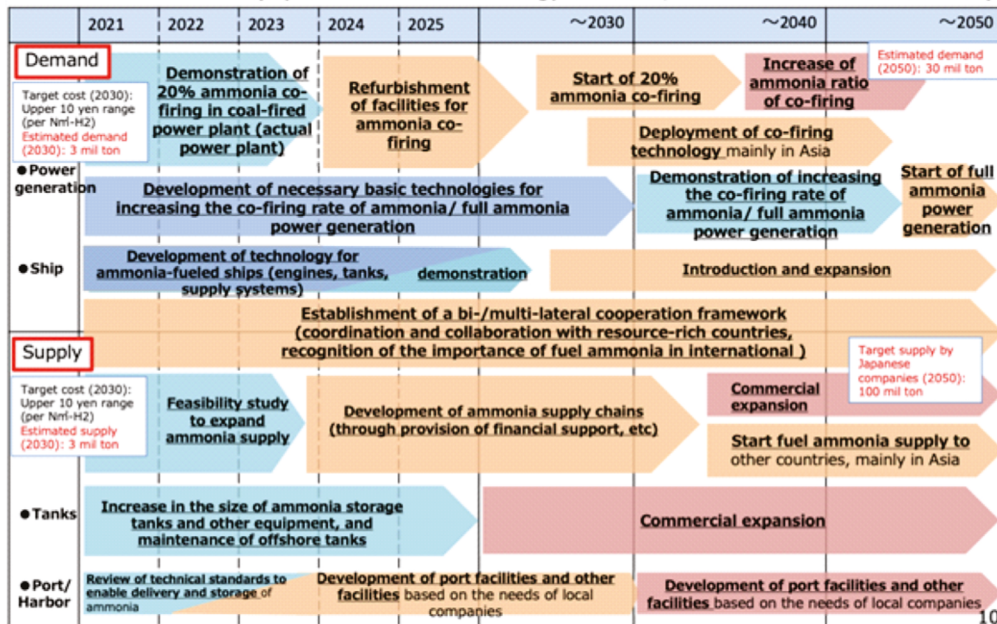
Japonia chce, aby wodór był tak konkurencyjny cenowo, jak wytwarzanie energii elektrycznej z LNG. Częścią planów Japonii jest zmniejszenie kosztów wytwarzania, transportu i przechowywania wodoru za pomocą amoniaku. Transport amoniaku jest znacznie tańszy, ponieważ można go upłynniać i transportować w podobnych warunkach jak propan. Amoniak można następnie wykorzystać bezpośrednio jako paliwo, np. w turbinach energetycznych. W maju 2021 r. japońska firma energetyczna JERA rozpoczęła stosowanie amoniaku jako paliwa w komercyjnej elektrowni węglowej na dużą skalę w ramach czteroletniego projektu testowego. Alternatywnie, amoniak można ponownie przekształcić w wodór. Niebieski

amoniak, który jest wytwarzany z gazu ziemnego z wykorzystaniem wychwytywania i sekwestracji dwutlenku węgla w celu uniknięcia emisji gazów cieplarnianych, jest już importowany przez Japonię z Arabii Saudyjskiej. Docelowo Japonia planuje importować zielony amoniak, który byłby wytwarzany z wodoru pozyskiwanego w wyniku elektrolizy wody przy użyciu odnawialnej energii elektrycznej. Japonia jest głównym importerem energii, dysponującym niewielką ilością zasobów konwencjonalnych. W 2020 roku Japonia importowała blisko 90% swojego zapotrzebowania na energię. Import do Japonii wzrósł po trzęsieniu ziemi w 2011 roku i towarzyszącym mu tsunami, które doprowadziło do wypadku w elektrowni jądrowej Fukushima Daiichi. Ten wypadek tymczasowo spowodował wyłączenie większości japońskiej floty reaktorów jądrowych. Od czasu awarii udział energii jądrowej w całkowitej produkcji energii elektrycznej wzrósł jedynie do 4% w 2020 r. z 25% w 2010 r. przed awarią. Wzrost produkcji z węgla, gazu ziemnego i OZE równoważy zmniejszenie produkcji energii jądrowej. Udział całkowitej produkcji energii elektrycznej z tych paliw wzrósł odpowiednio o 3, 7 i 9% w latach 2010–2020.

W lutym 2021 r. Ministerstwo Gospodarki, Handlu i Przemysłu (METI) rozpoczęło promocję zaktualizowanej mapy drogowej dla amoniaku paliwowego (por. [Lu i in 2018](#) – bardzo ciekawe opracowanie – model pokazujący zapotrzebowanie na amoniak w Japonii), skupiającej się na wykorzystaniu amoniaku w elektrowniach ciepłych i jako paliwie żegludowym.

Japan's Road Map for Fuel Ammonia

(Japan's Green Growth Strategy: Dec 2020, Public-Private Council: Feb 2021)



Rys. 1. Japońska mapa drogowa dla amoniaku jako paliwa.

Źródło: METI February 2021; Mapa drogowa 2021

Fig. 1. Japan's Road Map for Fuel Ammonia

TABELA 1. Rola wodoru i produktów wodorowych w wytwarzaniu energii
TABLE 1. The role of hydrogen in energy generation

	Obecna rola	Perspektywy popytu	Przyszłe wdrożenie	
			możliwości	wyzwania
Współspalanie amoniaku w elektrowniach węglowych	Dotychczas brak wdrażania; współspalanie zostało zademonstrowane w komercyjnej elektrowni węglowej w Japonii	20% udziału we współspalaniu w światowej flocie elektrowni węglowych może do 2030 r. doprowadzić do wzrostu zapotrzebowania na amoniak na poziomie 670 Mt lub odpowiadającego zapotrzebowaniu na wodór w ilości 120 Mt	Zmniejszenie wpływu węgla w istniejących elektrowniach w najbliższym czasie	Koszty ograniczania emisji CO ₂ mogą być niskie, ale polegać na tanich dostawach amoniaku. Należy zwrócić uwagę na emisje NO _x ; konieczna może być dalsza obróbka NO _x . Z uwagi na nadal znaczną pozostającą emisję CO ₂ , należy tę metodę traktować jako środek przejściowy
Elastyczne wytwarzanie energii	Obecnie działa niewiele komercyjnych turbin gazowych wykorzystujących gazy bogate w wodór. Zainstalowano 363 000 takich jednostek ogniw paliwowych (1600 MW)	Zakładając, że 1% światowej mocy opalanej gazem będzie zasilana wodorem do 2030 r., dąłoby to moc 25 GW, generując 90 TWh energii elektrycznej przy użyciu 4,5 Mt wodoru	Wspieranie integracji VRE* z systemem elektroenergetycznym. Niektóre projekty turbin gazowych mogą już pracować na dużych udziałach wodoru	Dostępność taniego i niskoemisyjnego wodoru i amoniaku. Konkurencja z innymi elastycznymi opcjami generacji, a także innymi opcjami elastyczności (np. reakcja popytu, przechowywanie)
Zasilanie rezerwowe i sieciowe	Projekty demonstracyjne w zakresie elektryfikacji małych miast i wiosek. Systemy ogniw paliwowych w połączeniu z zasobnikiem	Wraz ze wzrostem telekomunikacji rośnie także zapotrzebowanie na niezawodne zasilanie	Systemy ogniw paliwowych w połączeniu z magazynowaniem jako opłacalna i mniej zanieczyszczająca alternatywa dla generatorów diesla. Są bardziej wytrzymałe od systemów akumulatorowych	Często wyższe potrzeby w zakresie inwestycji początkowych w porównaniu z generatorami diesla
Długoterminowe i wielkoskalowe magazynowanie energii	Obecnie działają trzy miejsca do przechowywania wodoru w jaskiniach solnych w Stanach Zjednoczonych oraz trzy w Wielkiej Brytanii	W perspektywie długoterminowej, przy bardzo wysokich udziałach VRE, konieczne będzie magazynowanie na dużą skalę dla zabezpieczenia sezonowych zakłóceń równowagi lub dłuższych okresów bez generowania VRE. W połączeniu z handlem na duże odległości, będzie możliwe wykorzystanie zapasów w przypadku sezonowych różnic w globalnej podaży VRE	Ze względu na bardzo wysokie wartości energetyczne wodoru, stosunkowo niskie koszty CAPEX dla jego magazynowania obecnie jest niewiele alternatywnych technologii przechowywania długoterminowego i na dużą skalę. Straty konwersji można zmniejszyć, jeżeli zmagazynowany wodór lub amoniak można bezpośrednio wykorzystać w zastosowaniach końcowych	Wysokie straty konwersji. Geologiczna dostępność kavern solnych do przechowywania wodoru w zależności od regionu. Niewielkie doświadczenie ze zubożonymi polami naftowymi i gazowymi lub wodonosnymi warstwami do magazynowania wodoru (np. problemy z zanieczyszczeniem)

* VRE – *Variable Renewable Energy* – zmienna energia odnawialna.

Źródło: IEA 2019.

Do 2030 r. Japonia spodziewa się importu 3 mln ton czystego amoniaku, a do 2050 r. popyt wzrośnie do 30–100 mln Mg czystego amoniaku rocznie.

Dziś powszechnie pojawia się pytanie, kiedy nastąpi „wybuch ery wodoru”. W naszej opinii ten okres rozpoczął się w drugiej dekadzie XXI wieku. Setki artykułów dotyczących możliwości wykorzystania pojazdów mechanicznych napędzanych wodorem, planowanych stacji tankowania wodoru czy budowy podziemnych magazynów H_2 w kawernach solnych to podstawowa przesłanka. Natomiast, aby uzyskać odpowiednie efekty ekonomiczne, należy nastawić się na optymalizację procesów produkcji, magazynowania i przesyłu wodoru na skalę przemysłową. Stąd także popularny amoniak NH_3 (azan), i to dlatego pragmatyczni Japończycy już na szczycie G-7 w 2019 r. razem z Międzynarodową Agencją Energetyczną (IEA) przygotowali publikację *The Future of Hydrogen* (IEA 2019), gdzie szczegółowo zebrano dane o kosztach, technologiach – przygotowano kompendium wiedzy o wodorze.

Prawdopodobnie w najbliższych latach światowe zużycie gazu (z pewnością), ropy naftowej (prawdopodobnie) i węgla (mniej prawdopodobnie, znacznie mniej niż dla ropy) będzie nadal rosło w wartościach bezwzględnych. Biorąc pod uwagę tę rzeczywistość, niezwykle trudne (i mało prawdopodobne) będzie osiągnięcie światowych celów w zakresie emisji CO_2 i światowego wzrostu temperatury, jeśli nie zwiększy się znacząco produkcja energii elektrycznej z OZE. Dalsze spalanie dużych ilości paliw kopalnych będzie musiało być połączone z szeroko zakrojonym wdrażaniem nowoczesnych niskoemisyjnych technologii, aby zrównoważyć domniemany wzrost emisji, a wraz z rozwojem odnawialnych źródeł energii i innych źródeł energii ropa i gaz będą podążać za węglem i będą coraz częściej zmuszane do konkurencji cenami z innymi źródłami, aby utrzymać swoje role w światowym miksie energetycznym.

Węgiel zachował dużą rolę w systemie energetycznym w drugiej połowie XX wieku i na początku XXI wieku, będąc niestety tańszy od alternatyw (mowa tu jednak o innej niż aktualnie świadomości ekologicznej). Ropa i gaz prawdopodobnie podążą tą samą trajektorią. Wraz z rozwojem alternatyw, takich jak odnawialne źródła energii, ropa i gaz będą musiały pozostać stosunkowo tanie, aby utrzymać swoje rynki, szczególnie wraz ze wzrostem nacisku politycznego na odchodzenie od paliw kopalnych.

Wodór na Ziemi to przede wszystkim woda – dwa atomy wodoru i jeden atom tlenu, silnie ze sobą związane. Wodór w dwóch atomach – tak nazwany, bo „rodzi wodę”. Związany w cząsteczkę wodoru na Ziemi mamy jeszcze w postaci opisanego wyżej amoniaku, mocznika $CO(NH_2)_2$, ale także w metanie (najprostszy węglowodór – CH_4) i innych węglowodorach, które w ostatnim stuleciu zmieniły historię ludzkości. Jednak to powszechnie na Ziemi występująca woda wydaje się być łatwiejszym źródłem pozyskania wodoru. Oczywiście, dzisiaj większość wykorzystywanego w procesach technologicznych wodoru w europejskim przemyśle rafineryjnym, chemicznym i petrochemicznym wytwarzamy z metanu, ale to dlatego, że mamy tam lokalnie elektrociepłownie i energię w postaci pary wodnej o odpowiednich ciśnieniach i temperaturze, że mamy tam w dyspozycji drogie katalizatory, które reakcję pozyskania wodoru praktycznie umożliwiają. Drugim i ciągle niestety największym (bo reakcja ta to tworzenie tzw. gazu syntezowego, która daje duże emisje tlenku i ditlenku węgla) źródłem wodoru przemysłowego na Ziemi jest reakcja węgla z wodą – podobnie jak z metanu do gazu syntezowego.

Objętość i zakres niniejszego tekstu nie pozawala na dalsze i głębsze skupienie się na kwestiach energetycznych i technologicznych. Autorzy odsyłają zainteresowanych m.in. do „*Leading The Energy Transition Factbook. Hydrogen-based Energy Conversion*”. *More than storage – System Flexibility*”. *SBC Energy Institute Luty 2012*. Fantastycznie i wizjonersko na temat wodoru pisze w swoich książkach „Wizje”i „Fizyka Przyszłości” Michio Kaku.

Przyszłość w wodrze

Światowa polityka energetyczno-klimatyczna zmusza do szukania alternatywnych rozwiązań i źródeł taniej energii elektrycznej. O ile wdrażanie polityki OZE i idących za nią regulacji prawnych przebiega żmudnie, o tyle rewolucja wodorowa (choć ciągle nieefektywna) rozwija się dynamicznie i daje szansę na ustabilizowanie sytuacji magazynowania energii m.in. w Polsce oraz urzeczywistni działania proekologiczne. Wciąż wzrastający udział wodoru w sektorze energetycznym, szczególnie w ujęciu światowym, zmusza czołowych producentów energii elektrycznej do zwiększenia dofinansowania tych sektorów badawczych.

Najintensywniejsze badania nad właściwościami wodoru są realizowane przede wszystkim w Stanach Zjednoczonych, Niemczech i Francji. Osiągnięciami w tej dziedzinie może również poszczycić się Polska, na czele z projektami firmy Grupa PGNiG*; PKN Orlen/Lotos, PGE**, GAZ-SYSTEM SA***, we współpracy z uczelniami m.in. Akademią Górniczo-

* PGNiG program wodorowy ogłosił w maju 2020 roku. Składa się na niego pięć projektów z budżetem 40 mln złotych. Jest to jednak program rozwijający się i kolejne projekty są w trakcie inicjowania i planowania. Kluczowy jest projekt „InGrid – Power to Gas”, którego celem jest zbadanie możliwości przesyłu i magazynowania wodoru w sieciach gazowniczych. Na terenie oddziału w Odolanowie ma być budowana kompleksowa instalacja wytwarzania wodoru z energetyki odnawialnej, przede wszystkim w celu pozyskania paliwa, które będzie zatłaczane do zamkniętej, badawczej sieci gazowej. Gazoprojekt SA wykonał studium wykonalności, określony został również harmonogram tego przedsięwzięcia, który zakłada, że instalacja demonstracyjna zostanie wybudowana do końca 2022 roku. Inwestycja w Odolanowie ma pozwolić określić, np. jakie ilości wodoru można mieszać z gazem i bezpiecznie transportować w sieci. PGNiG w strategii wodorowej ma też projekt związany z transportem, który został uruchomiony w 2019 roku, a w kwietniu 2020 roku podpisano umowę z konsorcjum polsko-brytyjskim, które zbuduje stacje tankowania pojazdów wodorowych. Źródło: opracowanie własne na podstawie danych dostępnych publicznie.

** BiznesAlert/Cire: Prezes PGE Wojciech Dąbrowski powiedział, że spółka przygląda się technologii wodorowej, jednak nie zamierza obecnie w nią inwestować, ponieważ wciąż jest zbyt droga. Prezes został zapytany o zastosowanie wodoru w energetyce. Powiedział, że „... ta technologia jest wciąż bardzo droga. – Jest wciąż wiele pracy, wysiłku, aby obniżyć cenę do poziomu akceptowalnego przez naszych klientów. Zastosowanie wodoru w ciepłownictwie, energetyce byłoby dla nich nieopłacalne. My dążymy do tego, aby zdjąć obciążenia z naszych klientów. Dąbrowski nie wykluczył jednak, że w przyszłości ta technologia znajdzie zastosowanie w energetyce. – „Nasze turbiny w budowanych blokach gazowych w Elektrowni Dolna Odra będą dostosowane do spalania gazu z domieszką wodoru. Obecnie jednak nie widać końca tej drogi, aby to paliwo było powszechne i dostępne po akceptowalnej cenie. To wciąż wiąże się z dużymi kosztami”.

*** 14 września 2020 r. pojawiła się informacja, że Komisja Europejska zaakceptowała wniosek o przystąpienie Gaz-System do Europejskiego Sojuszu na rzecz Czystego Wodoru (European Clean Hydrogen Alliance – ECH2A). Jest to kolejna inicjatywa, po podpisaniu w lipcu tego roku listu intencyjnego o ustanowieniu partnerstwa na rzecz

-Hutniczą w Krakowie, Politechniką Warszawską i Politechniką Śląską. Szerokie rozpowszechnienie tegoż pierwiastka we wszechświecie oraz proste, choć bardzo drogie, sposoby jego pozyskiwania, skutkują rozwojem w kierunku energetyki i nadania mu miana paliwa ekologicznego. Czym zatem proces zastępowania wszechobecnie stosowanej ropy naftowej czy gazu ziemnego dotychczas był hamowany? Czy będzie hamowany? Dotychczasowe koszty pozyskania wodoru były wyższe niż energia uzyskana z jego spalania, co decydowało o nieopłacalności procesu. Zwróćmy zatem uwagę na zalety przemawiające za zwiększeniem udziału wodoru w światowej i krajowej produkcji energii elektrycznej. Jego ekologicznego charakteru, związanego z produkcją wody (pary wodnej) w procesie spalania trudno nie skonfrontować z ditlenkiem siarki i ditlenkiem węgla będącymi produktami ubocznymi spalania paliw kopalnych. Wodór ponadto posiada niską temperaturę zapłonu oraz relatywnie bardzo wysokie ciepło spalania w odniesieniu do masy tego pierwiastka. Coraz większą popularnością cieszą się samochody napędzane wodorem, uzyskiwana przez nie wysoka wydajność i zastosowanie „czystego paliwa” przekonuje użytkowników do ponoszenia większych wydatków i pokonywania trudności związanej z brakiem stacji tankowania*.

Priorytetowe wydają się aspekty magazynowania i przesyłu wodoru na skalę przemysłową oraz optymalizacja procesu jego produkcji.

budowy gospodarki wodorowej w Polsce, w którą zaangażowana jest Spółka Gaz-System. Europejski Sojusz na rzecz Czystego Wodoru został powołany przez Komisję Europejską, aby wesprzeć realizację inwestycji i tworzenie gospodarki wodorowej w Unii Europejskiej zgodnie z założeniami Europejskiej Strategii Wodorowej opublikowanej w lipcu 2021 r. Sojusz ma odegrać zasadniczą rolę we wsparciu działań inwestycyjnych prowadzonych w ramach całego łańcucha wartości, obejmującego produkcję, transport, magazynowanie oraz wykorzystanie wodoru w poszczególnych sektorach gospodarki (np. transport, przemysł, energetyka, ciepłownictwo). W razie potrzeby Sojusz na rzecz Czystego Wodoru będzie podejmował działania mające na celu wsparcie rynku pracy i dostosowanie go do potrzeb gospodarki wodorowej. W skład sojuszu wejdą przedstawiciele przemysłu, władz krajowych, regionalnych i lokalnych oraz przedstawiciele społeczeństwa obywatelskiego. „Gaz-System bierze aktywny udział w kształtowaniu dialogu nt. wdrażania założeń Europejskiego Zielonego Ładu. Poprzez członkostwo w Sojuszu pragniemy wskazywać, jak gaz ziemny może pełnić istotną rolę w transformacji energetycznej w Polsce i w całej UE. Gaz-System jako operator systemu przesyłowego podejmuje działania, które mają umożliwić wykorzystanie gazu ziemnego jako niskoemisyjnego źródła energii, wspierającego realizację celów polityki klimatycznej Unii Europejskiej w perspektywie długoterminowej. Ponadto, Gaz-System jest również silnie zaangażowany w projekty badawczo-rozwojowe, mające na celu wdrożenie nowych sposobów eksploatacji infrastruktury gazowej. Działania te obejmują m.in. dostosowanie aktywów na potrzeby odbioru i transportu gazów odnawialnych i zdekarbonizowanych, w tym wodoru”. – cytat za Tomasz Stepień, Prezes Zarządu Gaz-System. Więcej informacji na temat Europejskiego sojuszu na rzecz czystego wodoru jest dostępna na stronie internetowej <https://www.ech2a.eu/>.

* „Instytut Transportu Samochodowego (ITS) przygotował plan projektu zbudowania w Polsce sieci kilku stacji, na których będzie można zatankować wodorem pojazdy (autobusy i auta osobowe) zasilane ogniwami paliwowymi. – ITS jest jedną z instytucji realizujących europejski projekt Hit-2-Corridors, którego celem jest stworzenie oraz późniejsza integracja europejskiej sieci infrastrukturalnej służącej wykorzystaniu wodoru jako paliwa w transporcie drogowym – wyjaśnia Wojciech Gis. Jednym z efektów prac nad projektem jest plan zbudowania stacji w Polsce. Głównie w ciągach europejskich korytarzy transportowych TEN-T. Jednak odpowiedź na pytanie kiedy to się stanie, nie jest taka łatwa. ITS zakłada powstanie 9 takich obiektów do 2030 roku, w zależności od zainteresowania (PB 2015).

Jaką rolę w „wodorowej rewolucji” odegrać może grafen?

Grafen to atomy węgla ułożone w przestrzennie płaską strukturę, formą przypominającą cieniutki (grubość to zaledwie jeden atom) plaster węzy (węza to używany w pszczelarstwie szablon z wytłoczonymi kształtami komórek plastra pszczelego umieszczany w ramce). Jedną z jego sztandarowych cech jest przewodnictwo cieplne (przewodność cieplna wynosi od 4840 do 5300 W/mK), która to jest intensywnie wykorzystywana w różnych gałęziach przemysłu. Jako materiał bardzo wytrzymały (100 razy twardszy od stali) poddaje się rozciągnięciu nawet o 25%. Grafen może pełnić funkcję bardzo czułego detektora gazu, a związane jest to z jego właściwościami sorpcyjnymi, w których udział bierze cała powierzchnia materiału. Możliwość zastosowania go jako izolacji/zapory dla najmniejszych atomów m.in. helu czy wodoru, stanowi istotę procesu magazynowania energii, a jego obojętność chemiczna na działanie wody pozwala zrealizować ideę katalizy procesu hydrolizy wody. Grafen jest podatny na modyfikacje, a w dalszym toku rozumowania, wpływaniu na właściwości fizyko-chemiczne grafenu (tworzenie materiałów do konstrukcji elektrod organicznych, ogniw fotowoltaicznych czy budowy warstw kolektorów słonecznych).

Brak wystarczającej infrastruktury wodorowej

Niestety rozwój infrastruktury wodorowej jest powolny. Hamuje go brak potrzeby (czyli ciągle zbyt niski popyt), a ceny wodoru dla konsumentów końcowych są wysoce zależne od liczby tankowań. Łączna długość gazociągów wodorowych w Europie to około 1500 km. Na-



Rys. 2. System gazociągów wodorowych w Zagłębiu Rury

Źródło: Air Liquide www.airliquide.com

Fig. 2. Germany Ruhr's hydrogen pipeline system

leży podkreślić, że to bardzo efektywna droga transportu energii – straty na przesyłanie wodoru są co najmniej dwukrotnie niższe niż te, jakie mamy na przesyłanie energii sieciami przesyłowymi. Gazociągi budowane ze specjalnej stali (wodór wypiera węgiel) o średnicy 25–30 cm pozwalają na tłoczenie wodoru pod ciśnieniem 10–20 bar. Najstarsza w Europie sieć wodorkowa znajduje się w Zagłębiu Ruhry, gdzie pięćdziesięcioletni gazociąg o długości 210 km łączy 18 dostawców i odbiorców bez jakiegokolwiek awarii. Najdłuższa – 400 km – sieć łączy zakłady we Francji i Belgii.

Kluczowym zagadnieniem stojącym przed badaczami jest wykorzystanie technologii kawernowych do magazynowania wodoru jako energii i wykonanie kawern solnych, spełniających wymogi bezpieczeństwa odnośnie do szczelności i stabilności. Powinny być one lokalizowane w rejonach umożliwiających zagospodarowanie solanki z ługowania i odbiór energii do sieci wysokich napięć. Instalacje magazynowe wodoru winny być ulokowane w pobliżu potencjalnych miejsc jego wykorzystania. W lipcu 2020 r. pojawił się sponsorowany przez kilku operatorów systemów przesyłowych (Enagás, Energinet, Fluxys Belgium, Gasunie, GRTgaz, NET4GAS, OGE, ONTRAS, Snam, Swedegas, Teréga) raport *European Hydrogen Backbone (Backbone Report 2020)*, gdzie zarysowano wstępnie sieć przesyłową wodoru w Europie.

Obecnie, jak podaje IEA, wodór na świecie w przeciwieństwie do Europy jest prawie całkowicie (hydroliza wody jest znacznie bardziej kosztowna i wymaga jej destylacji) otrzymywany z gazu ziemnego i z węgla (*The Future of Hydrogen*) (produkcja tzw. gazu syntezowego), a jego produkcja – około 70 mln ton rocznie w formie czystej i dalsze 45 mln ton bez uprzedniej separacji – jest odpowiedzialna za łączną roczną emisję CO₂ szacowaną na 830 mln Mg. IEA dalej podaje, że istnieją ogromne regionalne różnice w kosztach produkcji wodoru. Gaz ziemny bez CCUS (CCUS – *Carbon Capture Utilization and Storage* – wychwytywanie, zużywanie i magazynowanie dwutlenku węgla) jest obecnie najbardziej ekonomicznym źródłem produkcji wodoru w większości części świata, przy tak niskich kosztach jak np. 1 USD/kg H₂ na Bliskim Wschodzie. Wśród opcji niskoemisyjnych elektroliza wymaga ceny energii elektrycznej 10–40 USD/MWh, aby stać się konkurencyjnym kosztowo dla gazu ziemnego z CCUS (w zależności od lokalnych cen gazu).

„W dostępnej literaturze można odnaleźć informacje, że koszt wytworzenia 1 kg H₂ z paliw kopalnianych, połączony z emisją CO₂ do atmosfery, wynosi około 1,5 €. Dla porównania koszt wytworzenia 1 kg H₂ z paliw kopalnianych w połączeniu z sekwestracją CO₂ to blisko 2,0 €. W takiej sytuacji mogą zastanawiać plany Komisji Europejskiej dotyczące promowania budowy i rozwoju rynku wodoru odnawialnego – zielonego, którego koszty produkcji szacuje się w zależności od ceny energii elektrycznej na poziomie 2,5–5,5 €/kg” (EC Europa 2020).

Na przełomie maja i czerwca 2020 roku do konsultacji społecznych w UE przekazano mapę drogową, która miała na celu pozyskanie wkładu społecznego dla opracowywanej unijnej strategii wodorowej. W przywołanym dokumencie opisano ogólnikowo szanse i wyzwania stojące przed rozwojem transgranicznego rynku „zielonego” wodoru w UE. Dokument ten wpisuje się w politykę osiągnięcia neutralności klimatycznej Europy do 2050, której główne cele to brak emisji netto gazów cieplarnianych do atmosfery oraz doprowadzenie do oddzielenia wzrostu ekonomicznego od zasobów. Rola wodoru w założeniach tej polityki

klimatycznej wydaje się nie do przecenienia. Ma on przede wszystkim zastąpić paliwa kopalne w tych sektorach, których nie da się w pełni zelektryfikować oraz pozwolić na magazynowanie energii elektrycznej wytworzonej z OZE w okresie nadpodaży. Celem konsultacji było przedstawienie informacji na temat barier i wyzwań, które w opinii strony społecznej nie pozwalają na utworzenia opłacalnego i konkurencyjnego rynku wodoru w Europie w perspektywie krótko- i długoterminowej. Dotyczyły one pełnego cyklu życia „zielonego” wodoru począwszy od etapu tworzenia ram prawnych i unifikacji nomenklatury, zagadnień związanych z szeroko pojętą produkcją i integracją z siecią elektryczną, przesyłem i magazynowaniem wodoru, skończywszy na wymaganiach związanych z koniecznością dostosowania urządzeń odbiorców końcowych, niezbędnym rozwojem nowych technologii wodorowych, koniecznością zapewnienia odpowiedniej środków finansowych i propozycji, na jakich warunkach powinny być one przyznawane.

W ramach cytowanej pracy przeanalizowano przesłane uwagi w kontekście wyzwań stojących przed europejskim przemysłem chemicznym związanych z planami dekarbonizacji.

Podsumowanie

Wodór, szczególnie w postaci amoniaku, ma aktualnie zasadnicze znaczenie w dekarbonizacji Japonii i wpisany jest mapę drogową odchodzenia od paliw kopalnych. Infrastruktura dla przesyłu i magazynowania wodoru jest bardziej kosztowna i energochłonna niż dla amoniaku. Ciągłe jeszcze jest czas i miejsce na znalezienie miejsca dla grafenu, ze szczególnym uwzględnieniem magazynowania wodoru. Ludzkość stoi przed wielkim wyzwaniem jakim jest znalezienie efektywnych energetycznie nowych technologii dla wodorowych źródeł energii.

Literatura

- EC Europa 2020 – European Commission, A hydrogen strategy for climate-neutral Europe, COM(2020) 301 final, 8.7.2020, Brussels. [Online] https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/hydrogen_strategy [Dostęp: 14.09.2020].
- IEA 2019 – *The Future of Hydrogen*. [Online] <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen> [Dostęp: 3.08.2021].
- Lu i in. 2018 – Lu, Z., Kawakami, Y. i Hirai, H. 2018. A Study on the Utilization of Ammonia as Energy in Japan. *IEEJ*. [Online] <https://eneken.ieej.or.jp/data/7923.pdf> [Dostęp: 3.08.2021].
- Connelly i in. 2005 – Connelly, N.G., Damhus, T., Hartshorn, R.M. i Hutton, A.T. 2005. *Nomenclature of Inorganic Chemistry. IUPAC Recommendations 2005* (Red Book), International Union of Pure and Applied Chemistry, RSC Publishing, s. 314.
- Backbone Report 2020. [Online] https://www.fluxys.com/en/news/fluxys-belgium/2020/200717_news_european_hydrogen_backbone [Dostęp 3.08.2021].
- Wayne, L. i Felty, G.C. 1982. Miller From camel dung. *Journal of Chemical Education* 59(2), s. 170, DOI: 10.1021/ed059p170.3.

Amoniak surowcem energetycznym?

Słowa kluczowe: amoniak, wodór, gaz ziemny, skroplony gaz ziemny (LNG)

Streszczenie: W rozdziale opisano podjęte próby wykorzystania amoniaku jako surowca energetycznego. Podano genezę nazwy amoniak. Opisano jego strukturę i dotychczasowe sposoby wykorzystania, wskazując na znaczącą rolę wodoru – także w cząsteczkach wody, metanu czy innych węglowodorów. Autorzy nawiązują do zmienionej japońskiej polityki energetycznej oraz mapy drogowej „w której wodór, ale przede wszystkim amoniak, mają podstawową do spełnienia rolę. Pokazują rolę wodoru i produktów wodoropochodnych w wytwarzaniu energii. Japońska Mapa drogowa określa drogę dojścia do zero emisyjności gospodarki w perspektywie 2050 r. Wskazano także na bolączki infrastruktury przesyłowej i magazynowania wodoru wobec znacznie łatwiejszej logistyce dla amoniaku. Zaznaczono możliwość do wypełnienia rolę grafenu jako materiału do magazynowania wodoru. Opisano szanse i wyzwania stojące przed rozwojem transgranicznego rynku „zielonego” wodoru w UE. Jednocześnie pokazano podobieństwo w celu osiągnięcia neutralności klimatycznej Europy do 2050, której główne cele to brak emisji netto gazów cieplarnianych do atmosfery oraz doprowadzenie do oddzielenia wzrostu ekonomicznego od zasobów. Rola wodoru w założeniach tej polityki klimatycznej wydaje się nie do przecenienia. Ma on przede wszystkim zastąpić paliwa kopalne w tych sektorach, których nie da się w pełni elektryfikować oraz pozwolić na magazynowanie energii elektrycznej wytworzonej z OZE w okresie nadpodaży.

Amonia as an energy resource?

Keywords: ammonia, hydrogen, natural gas, liquefied natural gas (LNG)

Abstract: The chapter describes the attempts to use ammonia as an energy raw material. The origin of the name ammonia is given. Its structure and current methods of use have been described, indicating the significant role of hydrogen – also in water, methane and other hydrocarbons. The authors refer to the revised Japanese energy policy and the roadmap in which hydrogen, but above all ammonia, have a fundamental role to play. They show the role of hydrogen and hydrocarbon products in energy production. The Japanese roadmap outlines the path to a zero-carbon economy by 2050. It also points to the disadvantages of hydrogen transmission and storage infrastructure in the face of much easier logistics for ammonia. The possible role of graphene as a material for hydrogen storage is marked. The opportunities and challenges facing the development of the cross-border „green” hydrogen market in the EU are described. And the similarity is shown with the aim of achieving Europe’s climate neutrality by 2050, the main goals of which are no net emissions of greenhouse gases to the atmosphere and a decoupling of economic growth from resources. The role of hydrogen in the assumptions of this climate policy cannot be overestimated. It is primarily intended to replace fossil fuels in those sectors that cannot be fully electrified and allow the storage of electricity generated from RES in the period of oversupply.