

WODÓR JAKO BRAKUJĄCE OGNIWO?

Marek Garbicz

Słowa kluczowe: wodór, odnawialne źródła energii, dekarbonizacja, magazynowanie energii

Streszczenie. Wodór zaczyna być dziś postrzegany jako rozwiązanie wielu kluczowych problemów jakie pojawiły się na drodze projektu dekarbonizacji. Jednak dostępne dziś technologie produkcji wodoru są wysoce energochłonne. A ponieważ ma być on produkowany z wykorzystaniem OZE, tj. źródeł o niskiej gęstości energetycznej, ta produkcja generuje dodatkowe, nierealistycznie duże, zapotrzebowanie na ziemię. Pokazano to w hipotetycznym scenariuszu elektro-wodorowym z wykorzystaniem danych dla Polski. Dlatego nadzieje związane z wykorzystaniem wodoru w energetyce przy obecnych technologiach wydają się nadmiernie optymistyczne.

1. WSTĘP

10 czerwca 2020 roku niemiecki rząd przyjął Narodową Strategię Wodorową, w której zapisano, że „wodór jest istotnym elementem integracji sektorowej. W tych obszarach, gdzie nie jest możliwe użycie elektryczności bezpośrednio ze źródeł odnawialnych, wodór i jego produkty pochodne otwierają nowe drogi do dekarbonizacji” [3]. Niemiecki rząd deklaruje zatem, że wodór ma stać centralnym komponentem całej strategii dekarbonizacji gospodarki. W podobnym kierunku działa ostatnio także Komisja Europejska. W lipcu 2020 roku opublikowany został dokument Komisji [1] awizujący podobne zamiary na poziomie całej UE. Zdaniem Komisji „wodór ma kluczowe znaczenie dla wsparcia przyjętych przez UE zobowiązań co do osiągnięcia neutralności węglowej do 2050 roku i w globalnych wysiłkach na rzecz osiągnięcia celów Porozumienia Paryskiego w kwestii zerowych emisji”. Ostatnio mamy także prawdziwy zalew publikacji na temat wodoru, a w fachowych czasopismach ukazuje się tysiące tekstów podejmujących różne wątki związane z wykorzystaniem tego surowca. A przecież w przypadku wodoru nie rejestrujemy dziś jakiegoś przełomu technologicznego w dziedzinie produkcji tego gazu, magazynowania, transportu czy nieznanymi zastosowań. Co spowodowało zatem, że w ciągu ostatnich kilkunastu miesięcy nastąpiła taka zmiana i tak gwałtowny wzrost zainteresowania wodorem ze strony rządów, specjalistów, biznesu i przemysłu? Bo przecież wcześniej wodór nie budził aż tak silnych emocji.

2. PROBLEM ZE STRATEGIĄ

ENERGETYCZNĄ I KLIMATYCZNĄ UE

Zdeklarowanym celem polityki klimatycznej UE jest doprowadzenie do zeroemisyjnej gospodarki do roku 2050, a jeśli okaże się to możliwe to nawet osiągnięcie wcześniej tego celu. Dotychczas, polityka ta wsparta była na przekonaniu, że jest to możliwe poprzez odejście od spalania paliw organicznych na rzecz energii pozyskiwanej z wiatru i słońca i osiągnięcia w ten sposób dekarbonizacji gospodarki przy

niejasnych wciąż perspektywach energetyki jądrowej. W Unii Europejskiej występują silne opory przed rozwijaniem tej ostatniej, a nawet kontynuowaniem wytwarzania energii z uranu. Niektóre kraje, w tym Niemcy, wywierają silną presję na jej wygaszanie. Obecne regulacje unijne preferują inwestycje energetyczne mogące się wykazać tzw. zielonym certyfikatem (w żargonie Komisji Europejskiej regulacje nazywane taksonomią; są to kryteria identyfikowania tych rodzajów aktywności które kwalifikują się do otrzymania środków finansowych). Problem w tym, iż energetyka jądrowa – zdaniem autorów taksonomii – nie spełnia tak ustalonych kryteriów „zielonego finansowania”, co praktyce oznacza eliminowanie tej energetyki z gospodarek europejskich.

Nawet pobieżne rachunki wskazują, że w tej sytuacji osiągnięcie neutralności klimatycznej do 2050 roku w oparciu jedynie o energetykę wiatrową i słoneczną jest mało realne bez jakiegoś znaczącego przełomu technologicznego. Spore nadzieje pokładane w skutecznym rozwiązaniu problemu magazynowania energii elektrycznej na skalę przemysłową póki co, nie zmaterializowały się. Jest pewien postęp w tym zakresie, ale powolny i na małą skalę. Osiągnięcie celów polityki klimatycznej zaczyna jawić się jako problematyczne przy czym występują tu trzy kluczowe rafy.

Po pierwsze, mamy niedyspozycyjność energetyki wiatrowej i słonecznej i w przypadku braku możliwości magazynowania energii oraz braku źródeł dyspozycyjnych (elektrownie klasyczne, w tym jądrowe) żadne zarządzanie popytem nie jest w stanie rozwiązać problemu ewentualnych niedoborów energii w sytuacji gdy wiatr nie wieje a słońce nie świeci. Znany jest niemiecki pomysł rozwiązania tej kwestii w postaci wpięcia się w skandynawski system energetyczny i wykorzystania jako buforów norweskich i szwedzkich elektrowni wodnych. Tego rodzaju pomysły są lokalnie do przeprowadzenia, ale nie stanowią jednak rozwiązania ogólnoeuropejskiego. Po drugie, dekarbonizacja nie może ograniczać się jedynie do sektora elektroenergetyki. Energia elektryczna

stanowi w Europie zaledwie około 20% końcowego zapotrzebowania na energię (w Polsce 2018 to tylko 17%). Przemysł zużywa w UE 25% energii końcowej, a transport nawet 31% (UE_28 2018 rok). Idea przejścia na samochody elektryczne jest wykonalna, ale okazuje się już trudna do realizacji dla ciężkiego transportu lądowego. Natomiast wykorzystanie silników elektrycznych w przypadku transportu morskiego i lotniczego obecnie w ogóle nie wchodzi w rachubę ze względu na nadmierną wagę znanych nam dziś baterii jako źródła prądu dla tych silników. Pojawia się impas w kwestii dekarbonizacji poważnej części transportu. Po trzecie wreszcie, w niektórych, bardzo energochłonnych gałęziach przemysłu jak produkcja stali czy cementu, nie mamy poważnej alternatywy dla węgla jako źródła ciepła. A są to bardzo emisyjne sektory gospodarki.

3. CO ROBIĆ?

Polityka energetyczna uchwyciła się zatem idei wykorzystania wodoru jako panaceum na rozwiązanie wszystkich tych problemów. Wodór stał się – potencjalnie - brakującym ogniwem całej układanki ponieważ można go wykorzystać jako sposób na magazynowanie energii, jako paliwo w transporcie i jako źródło ciepła w przemyśle. Rzeczywiście, wodór ma liczne zalety. Jest czystym gazem albowiem jego spalanie w tlenie produkuje jako odpad jedynie wodę, podobnie kiedy wykorzystywany jest w ogniwach paliwowych. Co prawda kiedy wodór spalany jest w powietrzu pojawiają się także związki azotu, ale to zanieczyszczenie jest relatywnie niewielkie. Wodór cechuje się także wysoką gęstością energetyczną: w ujęciu wagowym energia zawarta w wodorze przewyższa 3 – krotnie energię zawartą w benzynie. Z tego punktu widzenia gaz ten dobrze nadaje się do wykorzystania w silnikach wodorowych np. w transporcie, ale także w energochłonnych przemysłach, w których procesy technologiczne wymagają wysokich temperatur. Wodór może być użyty zarówno do produkowania jak i do magazynowania oraz transportowania energii. Dlatego rozważa się dla Europy takie strategie energetyczne, które zakładają finalny mix energetyczny w którym występuje w zasadzie jedynie energia elektryczna i wodór jako nośniki. A pierwotnym źródłem są OZE w postaci wiatru i słońca. Pozostałe nośniki takie jak hydroenergetyka czy biomasa mają czy mogą zostać w perspektywie europejskiej (choć niekoniecznie lokalnie) potraktowane jako marginalne.

Przeanalizujemy wybrany scenariusz tej „elektro-wodorowej” strategii i jej niektóre konsekwencje na przykładzie polskiej gospodarki. Wbrew pewnej tradycji polegającej na budowie długofalowych 20-30 letnich prognoz tu założymy, że punktem wyjścia jest

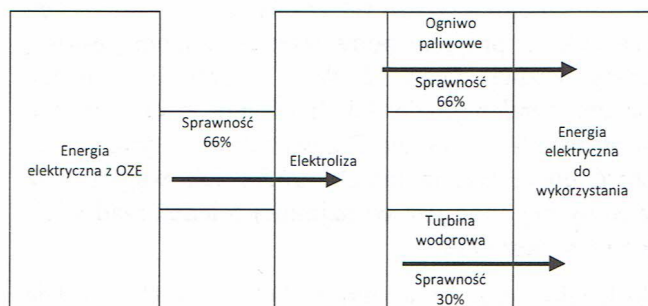
sytuacja polskiej gospodarki w 2018 roku. Założenia rozważanego scenariusza są następujące:

1. Polska gospodarka zgłasza łączne zapotrzebowanie na energię w wielkości i strukturze jak dla 2018 roku.
2. Rozważamy hipotetyczną sytuację, w której już w roku 2018 polska gospodarka poddana została pełnej konwersji na końcowy mix: energia elektryczna + wodór. Pozostałe rodzaje energii są pomijane lub nie istnieją.
3. Jedynym źródłem energii pierwotnej jest wiatr i słońce.
4. Końcowe zapotrzebowanie energetyczne polskich podmiotów zaspokajane byłoby jedynie za pośrednictwem dwóch nośników: energii elektrycznej i wodoru. Eksport i import energii nie istnieje, traktujemy polską energetykę jako układ zamknięty.
5. Preferowaną technologią produkowania wodoru jest elektroliza wody z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii. Rozważane niekiedy scenariusze produkcji wodoru z metanu z wykorzystaniem CCS zostały pominięte jako niespełniające warunków utrzymania zrównoważonego rozwoju [por. 3].
6. Zakłada się zwiększenie zapotrzebowania na energię elektryczną w stosunku do rejestrowanego popytu z 2018 roku o energię elektryczną wykorzystywaną do napędu osobowych samochodów elektrycznych oraz o energię elektryczną do wytwarzania ciepła w gospodarstwach domowych i sektorze usług. Energia elektryczna zastąpi tu paliwa pochodzące z ropy lub gaz ziemny.
7. Zakłada się, że wodór zostanie wykorzystany jako (a) sposób magazynowania energii, (b) zastąpi paliwa ciekłe w ciężkim transporcie lądowym, transporcie lotniczym i morskim oraz (3) zastąpi w przemyśle dotychczasowe źródła ciepła.
8. Zakłada się, że wykorzystywane technologie odpowiadają warunkom roku 2018. Powoduje to, że analiza unika spekulacji co do przyszłych możliwych zmian technologicznych. Takie prognozy co do tempa postępu technicznego mają czysto hipotetyczny charakter i w zależności od optymizmu badaczy pozwalają w zasadzie na dowolne wnioski.

4. MAGAZYNOWANIE ENERGII W POSTACI WODORU

W świecie, w którym wyeliminowano by wszystkie dyspozycyjne i liczące się rodzaje energii wykorzystywane do produkcji energii elektrycznej jak węgiel, gaz ziemny i uran, wodór może być - potencjalnie - użyty jako sposób przechowywania energii elektrycznej (jest sporne w jakim zakresie uda się

magazynować energię w bateriach samochodów elektrycznych, więc w tym miejscu nie rozpatruje się takiej możliwości). W sytuacji niskiej lub zerowej produkcji siłowni wiatrowych i słonecznych popyt na energię elektryczną może być zaspokojony jedynie poprzez wykorzystanie wcześniej zmagazynowanego energii, czyli np. wodoru. Produkować brakującą energię elektryczną przy pomocy wodoru można albo za pośrednictwem ogniw paliwowych albo poprzez spalanie wodoru w turbinach gazowych. Pełny cykl energia elektryczna – wodór - energia elektryczna ma dość niską sprawność energetyczną jak pokazano na rys.1.



Rys.1. Sprawność procesu przejścia od energii elektrycznej przez wodór (elektroliza wody) do energii elektrycznej [wg 2, 7]

Formalnie sprawność samego procesu elektrolizy jest wyższa niż pokazano na rys.1 (ponad 66%, nawet do 75%), ale wykorzystanie wodoru wymaga jeszcze sprężania tego gazu i transportowania, co wymaga dostarczenia dużych ilości energii (ubytek rzędu 10%). Stąd przyjęto, że pozyskanie wodoru do wykorzystania ma sprawność na poziomie około 66%. Sprawność ogniw paliwowych przyjęto (względnie optymistycznie) na poziomie 66%, zaś gazowej turbiny wodorowej 30% (sprawność tę można by zapewne podnieść przy dodatkowym wykorzystaniu turbiny parowej). Ale całe przejście energia – wodór – energia oznacza, w zależności od sposobu energetycznego wykorzystania wodoru, że odzyskujemy zaledwie 20% - 44% zainwestowanej energii. Nawet górny optymistyczny kraniec tego przedziału oznacza straty ponad połowę energii na magazynowaniu. Potrzeba wyłożyć ponad dwie jednostki energii elektrycznej np. z wiatru by odzyskać z wodoru jedną jednostkę energii elektrycznej.

Te teoretyczne rozważania można uzupełnić estymacją realnych energetycznych kosztów magazynowania w warunkach polskich dla wcześniej przyjętego scenariusza i przy założeniu, że całość produkcji wodoru jest otrzymywana z siłowni wiatrowych. Skala produkcji wodoru musiałaby być dostosowana do poziomu niezbędnego dla wyrównywania niedoborów podaży energii elektrycznej powodowanych

wahaniami/spadkami produkcji siłowni wiatrowych. Przybliżoną ocenę sytuacji uzyskamy gdy zbadamy jakie ilości wodoru byłyby niezbędne dla pełnego wygładzenia produkcji energii elektrycznej z wiatru. Pośrednio, każde źródło pracowałoby wtedy równomiernie w ciągu roku na poziomie średniego wykorzystania mocy. Takie rozwiązanie pozwoliłoby de facto przekształcić energetykę wiatrową w system źródeł dyspozycyjnych.

Odpowiednie rachunki przeprowadzone dla polskiej gospodarki dla lat 2013, 2016, 2018 pokazały, że wytworzenie niezbędnych ilości wodoru (jako zmagazynowanej energii) dość istotnie zmniejsza wielkość energii elektrycznej netto do pozyskania z siłowni wiatrowych. To zmniejszenie zależy oczywiście od efektywności cyklu energia – wodór – energia. Jeśli ta efektywność leży w przedziale od 33% do 50%, to generacja energii netto z wiatru spada od 20% do 30% średniej wielkości produkcji. Przy czym dla wszystkich zbadanych lat te spadki są niemal identyczne. W praktyce oznacza to, że magazynowanie energii elektrycznej przy wykorzystaniu wodoru wywołałoby taki właśnie wzrost kosztów tej energii i taki niedobór średniej mocy elektrycznej. Alternatywnie oznaczałoby to konieczność rozbudowy mocy OZE o wskazane wyżej wielkości.

Ponadto, tak niska sprawność pełnego cyklu energia – wodór – energia dyskwalifikuje lansowaną ideę pozyskiwania energii elektrycznej na potrzeby elektrolizy wody z nadwyżek OZE ponad zgłaszany popyt, czyli ideę bezpłatnej energii do produkcji wodoru. Istnienie takich nadwyżek może mieć miejsce jedynie w sytuacji gdy istnieją rezerwowe źródła, które w każdej chwili wejdą z podażą energii elektrycznej przy zaniku dostaw z OZE. W razie braku takich rezerwowych mocy, żadne nadwyżki energii nie istnieją bo są one konieczne do stworzenia odpowiedniego buforu, w tym przypadku w postaci magazynowanego wodoru. A biorąc pod uwagę skalę potrzebnego wodoru należałoby raczej mówić o wysokim niedoborze energii niż o nadwyżkach. Dla systemu zbudowanego z odnawialnych źródeł energii problemem nie są nadwyżki energii, ale niedostateczna podaż - potencjalnie zawsze grożąca blackoutem.

5. CO WYNIKA Z FAKTU, ŻE WODÓR MA BYĆ PRODUKOWANY PRZEZ ŹRÓDŁA O NISKIEJ GĘSTOŚCI ENERGII?

W 2018 roku w Polsce finalne zapotrzebowanie na energię zgłaszane przez różne podmioty szacowane jest na 814 TWh (dane o strukturze energii pochodzą z Eurostatu). Przymierzmy do tych danych scenariusz elektro-wodorowy. Pełne przejście gospodarki na

energię elektryczną i wodór przy zaspokojeniu dokładnie takich samych potrzeb ludności i gospodarki wprowadza pewne korekty do wielkości 814 TWh. Wynikają one z kilku powodów.

1. Po pierwsze, zakłada się pełne przejście na elektryczne samochody osobowe. Dotychczas paliwa używane przez samochody osobowe pochłaniają około połowy energii w sektorze transportu czyli 130 TWh [6]. Są to jednak pojazdy spalające benzynę lub olej napędowy tj. o silnikach o niskiej sprawności. Silniki elektryczne mają sprawność około 3 razy wyższą. Częściowa elektryfikacja sektora transportu redukuje zatem potrzeby energetyczne do poziomu 43,5 TWh energii elektrycznej, czyli zmniejsza je o około 87 TWh.
2. Ciężarowy transport lądowy, morski i lotniczy używający dotąd łącznie 130 TWh przechodzi na napęd w postaci silników wodorowych lub silników wykorzystujących ogniwa paliwowe (czyli także wodór). Te pierwsze mają sprawność analogiczną jak silniki spalinowe (30%), te drugie mają sprawność około 2 razy wyższą od silników benzynowych (66%). Jeśli założymy wariant efektywniejszy, to zapotrzebowanie energetyczne zmniejsza się do 59,3 TWh w formie wodoru, czyli do energii zawartej w 1,8 mln t H_2 (wartość energetyczną LHV wodoru przyjęto jako 33 kWh/kg).
3. Przemysł zużywa w 2018 roku 190 TWh energii, w tym 56 TWh w postaci energii elektrycznej. W uproszczeniu można przyjąć dla rozważanego scenariusza, że cała reszta energii będzie pochodzić z wodoru, tj. $190 - 56 = 134$ TWh energii w wodrze, czyli w ilości 4,1 mln t H_2 .
4. Zapotrzebowanie na energię elektryczną netto wyniosłoby zatem (w TWh): $814 - 261 + 43,5 - 134 = 462,5$ TWh, czyli początkowe zapotrzebowanie na energię finalną pomniejszone o zużycie energii w transporcie (ropa i pochodne), powiększone o energię elektryczną dla samochodów osobowych i pomniejszone o energię zużywaną w przemyśle (poza elektryczną). Jednakże dodać do tego należy produkcję wodoru jako rezerwę (magazyn). Przyjmując maksymalną (zapewne przesadną) efektywność cyklu energia – wodór – energia na poziomie 50%, dodatkowa produkcja energii elektrycznej na ten cel wyniosłaby nie mniej niż 20% energii netto, czyli co najmniej 92,5 TWh.
5. Energia wytworzona z OZE obejmuje oczywiście energię elektryczną $462,5 + 92,5 = 555,0$ TWh, ale także energię na produkcję wodoru dla przemysłu i transportu. Zużycie wodoru szacuje się na 5,9 mln t, czyli w wartości energetycznej 193,3

TWh. Dla wytworzenia tej ilości wodoru przy efektywności elektrolizy wody na poziomie 66% potrzeba 292,9 TWh energii elektrycznej. Łącznie, w scenariuszu elektro-wodorowym konieczne zatem byłoby wytworzenie energii elektrycznej z OZE w wysokości 847,9 TWh.

Problem polega na tym, że roczna produkcja energii elektrycznej w wysokości 847,9 TWh z wiatru i słońca, to wytwarzanie ze źródeł o niskiej gęstości energii. Bardzo kompetentny ekspert Vaclav Smil ocenia [5], że w warunkach europejskich w przypadku energii słonecznej jej gęstość energetyczna wynosi średnio 10 W/m^2 , natomiast gęstość energetyczna energii z wiatru tylko 1 W/m^2 . W niniejszych szacunkach przyjęto podwyższony poziom gęstości energetycznej wiatru 2 W/m^2 biorąc pod uwagę obecną tendencję do lokalizowania wielu siłowni wiatrowych nad morzem. Zauważmy przy tym, że gęstość energetyczna takich źródeł jak węgiel, gaz ziemny czy uran jest co najmniej o jeden rząd wielkości większa [5].

Jeśli założyć, że 25% energii z OZE pochodzić będzie ze słońca, zaś 75% to będzie produkcja z wiatru (posłużono się tu strukturą analogiczną do aktualnych niemieckich realiów), to łączne zapotrzebowanie terenowe na produkcję energii elektrycznej wyniosłoby $38,7 \text{ tys. km}^2$ [$25\% \cdot 847,9 \text{ TWh} / 8760 \text{ h} / 10 \text{ W/m}^2 + 75\% \cdot 847,9 \text{ TWh} / 8760 \text{ h} / 2 \text{ W/m}^2$]. Stanowi to aż 12,4% powierzchni Polski. Widać tym samym, że analizowany scenariusz jest całkowicie nierealistyczny. Należy przy tym odnotować, że do produkcji wodoru potrzeba byłoby co najmniej 1/3 generowanej energii elektrycznej.

Czy oznacza to, że pomysł z wodorem należy zarzucić? Niekoniecznie. Główną, a niedocenianą słabością dotychczasowych projektów dekarbonizacji gospodarki jest próba zrealizowania planów dekarbonizacji w oparciu o źródła energii o niskiej gęstości. Im niższa gęstość energetyczna źródła, tym większe zapotrzebowanie na ziemię. Wodór pozornie rozwiązuje wiele spraw, w tym problem magazynowania energii. Jednakże choć sam wodór w postaci sprężonej jest paliwem o wysokiej wartości energetycznej w przeliczeniu wagowym, to wybór sposobu jego wytwarzania cechuje się nie tylko niską sprawnością energetyczną ale dodatkowo odsyła do odnawialnych źródeł energii o niskiej gęstości. Dlatego warto być może wrócić do wysuniętej swego czasu koncepcji Marchettiego [4] oparcia produkcji wodoru za pomocą dużych i specjalnie do tego celu dedykowanych reaktorów jądrowych.

6. PODSUMOWANIE

Dzisiejsze nadzieje związane z wykorzystaniem wodoru w energetyce wydają się przesadne. Znane są zalety paliwa i jego możliwości. Wodór może być zastosowany w transporcie oraz przemyśle zamiast ropy naftowej i jej pochodnych oraz gazu ziemnego. Może być także nośnikiem energii i sposobem jej magazynowania. W opinii zwolenników szybkiej dekarbonizacji gospodarki i zastępowania wszystkich pierwotnych źródeł energii przez energię czerpaną z wiatru i słońca, wodór jest postrzegany jako rozwiązanie kluczowych problemów jakie pojawiły się na drodze projektu dekarbonizacji. Jednak wodór nie występuje

w wolnej postaci w przyrodzie i musi być produkowany, podczas gdy dostępne dziś technologie są wysoce energochłonne. Co więcej, wodór nie tylko nie łagodzi presji wywieranej na ziemię/teren przez rosnący udział OZE w produkcji energii elektrycznej, ale tę presję wzmacnia ponieważ on sam ma być także produkowany dzięki OZE. Czysty scenariusz elektrowodorowy dla Polski dla danych z roku 2018, wykorzystujący źródła energii o niskiej gęstości energetycznej jak wiatr i słońce, pokazuje skrajnie wysokie, nierealistyczne zapotrzebowania na ziemię do produkcji energii. Samo wprowadzenie wodoru do gry nie rozwiązuje zatem problemu.

LITERATURA

- [1] *A Hydrogen Strategy for a climate neutral Europe*, European Commission, Communication from The Commission to The European Parliament, the Council, The European Economic and Social Committee and The Committee of The Regions, 8.07.2020
- [2] Bossel U.: *Does a Hydrogen Economy Make Sense?* Proceedings of the IEEE | Vol. 94, No. 10, October 2006
- [3] Die Nationale Wasserstoffstrategie, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) Öffentlichkeitsarbeit, Juni 2020
- [4] Marchetti C.: *Hydrogen and Energy*, CEER: Chemical Economy & Engineering Review, 1973
- [5] Smil V.: *Power Density. A Key to Understanding Energy Sources and Uses*, MIT Press, London 2015
- [6] Waśkiewicz J., Pawlak P.: *Prognozy eksperckie zmian aktywności sektora transportu drogowego*, Instytut Transportu Samochodowego, wrzesień 2017
- [7] Yamada Y., Mohamad M.N.A.: *Efficiency of hydrogen internal combustion engine combined with open steam Rankine cycle recovering water and waste heat*, International Journal of Hydrogen Energy (35), February 2010

HYDROGEN AS A MISSING LINK?

Key words: hydrogen, renewable energy sources, decarbonisation, energy storage

Summary: Today, hydrogen is seen as a solution to some key problems which emerged in the process of decarbonisation of the world economy. But existing technologies for hydrogen production are energy intensive. If this production is to use in electrolysis only renewable energy sources which have very low power densities, hydrogen production will generate huge demand for land area. In hypothetical electricity - hydrogen scenario based on Polish data, energy generation would occupy too much area to be acceptable. Therefore, hydrogen hopes are possibly too optimistic.

Marek Garbicz, prof. dr hab., Szkoła Główna Handlowa w Warszawie, specjalizuje się w teorii ekonomii i zagadnieniach rynków energetycznych, e-mail: mgarbi@sgh.waw.pl