300 GOSPODARKA

WODOROWA ALTERNATYWA

RAPORT 2019

Warszawa, kwiecień 2019 r.
Autorzy: Michał Dorociak, Maciej Tomecki
Projekt graficzny: SUBKO&CO
Skład i łamanie: SUBKO&CO
Redakcja: 300GOSPODARKA
ul. Bagatela 15/73
00-585 Warszawa
© Copyright by 300GOSPODARKA SP. Z O.O.
ISBN 978-83-954071-0-9

SPIS TREŚCI

W SKRÓCIE 6

CZĘŚĆ 1

DLACZEGO WODÓR 8

JAK TO DZIAŁA? 11

RYNEK WODORU NA ŚWIECIE 14

OBSZARY ZASTOSOWANIA WODORU 15

PROJEKTY WODOROWE POLSKICH FIRM 24

CZĘŚĆ 2

JAK ROZWIJAĆ TECHNOLOGIE WODOROWE W POLSCE 26

POLITYKA TECHNOLOGICZNA W ZAKRESIE TECHNOLOGII WODOROWYCH NA ŚWIECIE 27

POLITYKA TECHNOLOGICZNA W ZAKRESIE TECHNOLOGII WODOROWYCH W POLSCE 32

LISTA DZIAŁAŃ, KTÓRE POWINIEN UWZGLĘDNIĆ RZĄD DLA ROZWOJU TECHNOLOGII WODOROWYCH W POLSCE 34

PRZYPISY 36

W SKRÓCIE

- Wodór nie jest źródłem energii, lecz jej bardzo efektywnym nośnikiem. W procesie transformacji energetycznej, skupiającej się na dekarbonizacji, sam nie będzie w stanie zastąpić paliw kopalnych. Jego szersze zastosowanie wydaje się jednak konieczne, aby konwencjonalne źródła emisyjne mogły zostać zastąpione przez bezemisyjne źródła odnawialne (OZE), a świat zbliżył się do realizacji porozumienia paryskiego.

- Wodór można wykorzystać **do napędzania samochodów**. Obecnie w Stanach Zjednoczonych jeździ 4500 takich pojazdów, w aspirującej do miana lidera wodorowej transformacji Japonii – 2500, a w Niemczech - 500. Te trzy kraje prowadzą bardzo zaawansowaną politykę dla technologii wodorowych, a kolejne, m.in. Chiny i Norwegia, wprowadzają własne rozwiązania.

- Wodór jako nośnik energii może służyć **do magazynowania energii wyprodukowanej z OZE** (odnawialnych źródeł).

- Z perspektywy polskich utrapień związanych ze smogiem i wciąż przegrywanej walki o czyste powietrze, interesujące wydają się możliwości zastosowania wodoru **w ciepłownictwie**. Już dzisiaj można byłoby zacząć wprowadzać wodór do sieci przesyłu gazu. Według operatora tej infrastruktury na terenie Polski, spółki Gaz System, w niektórych miejscach można przesyłać mieszaninę składająca się do 10 proc. z wodoru. Gaz może być także wykorzystywany w kogeneracji, czyli połączonej produkcji energii elektrycznej i cieplnej.

- Jego zastosowanie na szeroką skalę **pozwoliłoby oprzeć produkcję energii na OZE** oraz **rozwiązałoby problem jej przesyłu** na dalekie odległości. Z drugiej strony, właśnie dzięki użyciu OZE wodór można produkować przy zerowej emisji CO_2 - w takim wypadku jedynym produktem ubocznym jego aktywności jest para wodna. W hutnictwie wodór **może być wykorzystywany zamiast gazu ziemnego**, którego wydobycie nie jest pozbawione kosztów środowiskowych, a sam proces produkcji energii z jego wykorzystaniem emituje dwutlenek węgla.

- Wodór znajduje zastosowanie **w petrochemii, hutnictwie i przy wytwarzaniu nawozów**.

- **Polska jest jednym z największych producentów wodoru w Europie** - produkuje się u nas rocznie megatonę tego pierwiastka. To ilość odpowiadająca 14 procentom zapotrzebowania na ten surowiec w Unii Europejskiej. To 10 razy mniej niż w Stanach Zjednoczonych, lecz nadal imponująco dużo wziąwszy pod uwagę dotychczasowy brak zainteresowania tym sektorem w Polsce.

- W innych krajach to administracja daje impuls do rozwoju i inwestycji. Rząd w **Tokio** przygotował długoterminową strategię technologiczną dla rozwoju branży wodorowej. W ciągu ostatnich sześciu lat w badania i rozwój w tym obszarze zainwestowano tam 1,5 mld dol. Rząd w **Berlinie** już w 2006 r. zainicjował sojusz strategiczny pomiędzy nauką, biznesem i administracją na rzecz rozwoju technologii wodorowych, w ramach którego w ciągu 10 lat, do 2016 r., wydano 1,4 mld dol. **Biały Dom** na finansowanie programu wodorowego przeznacza 20 mln dol. każdego roku.

- W Polsce istnieje potrzeba zainicjowania rozwoju technologii i rynku rozwiązań wodorowych. Rząd powinien podjąć próbę stworzenia mapy technologicznej, zaczynając od analizy rynku i ustalenia metod i finansowych możliwości wsparcia. Równie ważne są granty na finansowanie badań i wypracowanie innowacji, niskooprocentowane pożyczki, jak i sam klimat poparcia działań jednostek badawczych i firm, które chcą wprowadzić rozwiązania wodorowe na rynek.

Zanim do tego dojdzie, wodór musi być w Polsce rozpoznany jako technologia, na której można oprzeć rozwój współczesnego przemysłu. Dlatego między innymi powstał ten raport.

Projekty wodorowe na polskim rynku

GRUPA LOTOS

Produkcja wodoru: **15,5 tony / h**

- **To tyle, ile zużywa autobus wodorowy w ciągu roku**

PLANY:

- budowa stacji tankowania wodoru w Gdańsku i Warszawie (koszt: 10 mln euro)
- projekt budowy prototypowej lokomotywy manewrowej o napędzie hybrydowym (elektryczno-wodorowym)
- współpraca badawczo-rozwojowa z Politechniką Warszawską w sprawie opracowania ogniw jonowych i wodorowych
- badania możliwości pozyskiwania wodoru przy wykorzystaniu energii z farm wiatrowych na Pomorzu - testy produkcji wodoru w drodze elektrolizy (wspólnie z jedną ze spółek energetycznych).

ENERGA

WE WSPÓŁPRACY Z INSTYTUTEM MASZYN PRZEPŁYWOWYCH PAŃSTWOWEJ AKADEMII NAUK

Projekt badawczo-rozwojowy:
Program strategiczny pt.
Zaawansowane technologie pozyskiwania energii

- **Mikrofalowy układ rozproszonej produkcji wodoru**

PGNIG

Projekt badawczy: **Eliza**

- **Rozwój technologii elektrolizy do produkcji wodoru z OZE (zostanie zakończony w 2019 r. tylko pozytywne rekomendacje uruchomią proces komercjalizacji)**

PLANY:

- możliwość wykorzystania technologii wodorowych w dystrybucji i magazynowaniu gazu.

CELE:

- włączanie tzw. czystego wodoru do miksu energetycznego, z wykorzystaniem OZE.

NARODOWE CENTRUM BADAŃ I ROZWOJU

II faza projektu pt.
Magazynowanie wodoru

- **Pięciu zakwalifikowanych wykonawców (przedsiębiorstwa i jednostki naukowe) otrzyma do 2,5 mln zł na prace badawczo-rozwojowe. Czas zakończenia i przedstawienia efektów: marzec 2020 r.**

GRUPA JSW

- **Prace nad dostosowaniem technologii separacji wodoru z gazu koksowniczego metodą zmienno-ciśnieniowej adsorpcji (Pressure Swing Adsorption), która umożliwia otrzymanie wodoru do wykorzystania w transporcie.**

PLANY:

- produkcja wodoru wysokiej czystości z przeznaczeniem do ogniw paliwowych.

GRUPA AZOTY

Produkcja wodoru:
400 tys. ton rocznie

PLANY:

- zwiększenie produkcji, w zależności od potrzeb rynku.

DLACZEGO WODÓR

Część 1

Porozumienie paryskie z 2015 r. wyznaczyło kierunek, w którym 185 państw (które jak dotąd dokonały ratyfikacji traktatu) zobowiązało się podążać: ograniczenie wzrostu średniej temperatury na świecie do poziomu znacznie niższego niż 2°C powyżej poziomu sprzed epoki przemysłowej oraz podejmowanie wysiłków mających na celu ograniczenie wzrostu do 1,5°C[1]. Tzw. pakiet katowicki przyjęty w grudniu 2018 roku, podczas 24. Konferencji Stron w Katowicach (COP 24), określił, jak mierzyć i raportować postępy w działaniach zapewniających realizację powyższego celu. Pytaniem otwartym pozostaje, jakie działania należy podjąć, by ten cel osiągnąć.

Choć każde państwo ma dowolność w doborze środków i metod, coraz liczniejsza staje się grupa krajów, które zdają sobie sprawę, że droga do realizacji porozumienia paryskiego, oznaczająca transformację energetyczną i dekarbonizację, wiedzie przez zwiększenie w gospodarce udziału paliwa zeroemisyjnego, jakim jest wodór. Biorąc pod uwagę, że Polska już teraz jest jednym z jego największych producentów (wielkość produkcji wodoru w Polsce równa się 1/7 jego całkowitej konsumpcji w UE), a także zdając sobie sprawę z wyzwań stojących przed polską energetyką, nie możemy pozwolić sobie na przespanie nadchodzącej wodorowej rewolucji.

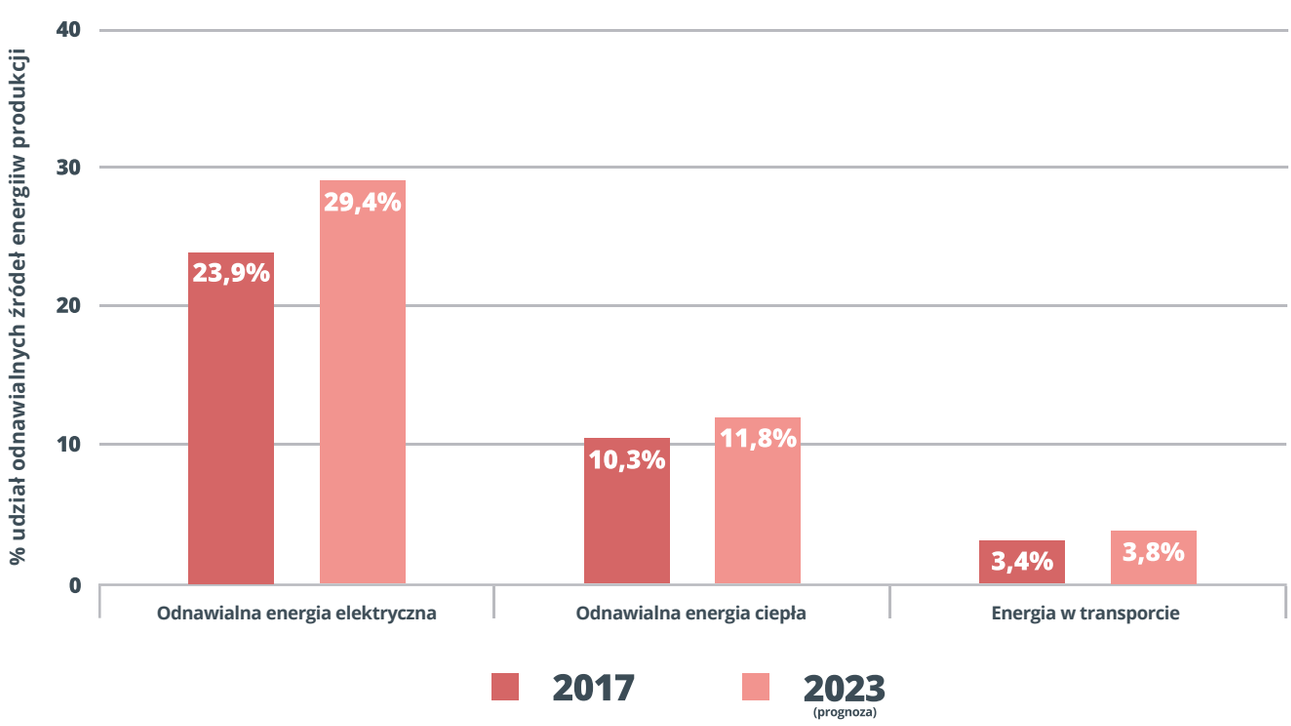
Międzynarodowa Agencja Energii (MAE) szacuje, że aby osiągnąć cel 2°C z porozumienia paryskiego do 2050 r., poziom emisji CO_2 w UE musi spaść z 3536 MT rocznie (2015 r.) do 771 MT[2]. Według Reference Technology Scenario opracowanego przez MAE przewidywany rozwój technologii może pozwolić na ograniczenie emisji CO_2 o 1695 MT, pozostawiając lukę [pomiędzy przewidywanym, a potrzebnym poziomem redukcji emisji CO_2] o wielkości 1070 MT. Zdaniem organizacji Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking, przedstawiającej jedne z najbardziej ambitnych prognoz dotyczących popularyzacji wodoru, zwiększenie jego zastosowania może pozwolić na zmniejszenie tej luki o ponad 50 proc.[3] Jak ma się to dokonać? Należy wskazać przede wszystkim na trzy aspekty.

Po pierwsze

Wodór może odegrać kluczową rolę w magazynowaniu energii i bilansowaniu systemu elektroenergetycznego zdominowanego przez odnawialne źródła energii.

Rosnący udział OZE – zwłaszcza energii wiatrowej i słonecznej – w produkcji energii elektrycznej stał się już faktem. Łączny udział OZE w produkcji energii elektrycznej osiągnął w 2017 r. poziom 23,8 proc.[4]. Coraz więcej zainstalowanych mocy z energii wiatrowej oraz słonecznej, należących do kategorii „niestabilnych", rodzi jednak poważne wyzwania dla bilansowania systemu elektroenergetycznego polegającego na łączeniu popytu

Udział odnawialnych źródeł energii w produkcji energii elektrycznej i ciepła oraz w transporcie



Źródło: IEA, Renewables 2018

z podażą. Wodór oferujący możliwości efektywnego magazynowania energii (wynikające z bardzo wysokiej gęstości energetycznej oraz niskiej wytracalności energii) wykazuje tu pierwszą ze swoich zalet.

Po drugie

Wodór daje szansę na dekarbonizację innych sektorów, znacznie mocniej uzależnionych od paliw kopalnych.

O ile tempo przyrostu OZE w produkcji energii elektrycznej jest naprawdę imponujące, o tyle ich udział w produkcji ciepła oraz wykorzystanie w transporcie pozostaje wciąż rozczarowujące – w 2017 r. kształtował się on w tych sektorach na poziomie odpowiednio 10,3 proc. oraz 3,4 proc.[5]. Aby zapewnić dalszą dekarbonizację tych sektorów konieczne może być tzw. połączenie sektorów (ang. sector coupling)[6]. Wodór ma w tym procesie kluczową rolę do odegrania. Zielona energia elektryczna z wiatru i słońca służyłaby do produkcji wodoru, który następnie wykorzystywany byłby w transporcie i ciepłownictwie. Wodór dzięki swoim właściwościom magazynującym oraz możliwości stosunkowo taniego i efektywnego przesyłu mógłby stać się więc brakującym ogniwem pomiędzy produkcją zielonej energii elektrycznej, a jej wykorzystaniem w transporcie i ciepłownictwie.

Po trzecie

Wodór daje szansę na zmniejszenie emisyjności przemysłu.

Choć wodór prezentuje duży potencjał wykorzystania w energetyce, dziś stosowany jest przede wszystkim jako surowiec w procesach przemysłowych, zwłaszcza w sektorze rafineryjnym i chemicznym do produkcji m.in. amoniaku czy metanolu[7]. „Oczyszczenie" używanego w przemyśle wodoru, a także zwiększenie jego wykorzystania jako surowiec w innych procesach przemysłowych może pozwolić na znaczne ograniczenie emisji CO_2 również w tym sektorze.

JAK TO DZIAŁA

Aby zrozumieć, jak wodór może przyczynić się do transformacji energetycznej i walki ze zmianami klimatu, należy przyjrzeć się technologiom służącym do produkcji wodoru (w wyniku której energia zostaje zmagazynowana) oraz do wykorzystania zakumulowanej w nim energii.

Produkcja

Dziś produkcja wodoru dokonywana jest przede wszystkim w jednym z trzech procesów:

- reformingu parowego (ang. Steam Methane Reforming - SMR),
- częściowego utleniania,
- elektrolizy.

Na różnych etapach dojrzałości znajdują się również inne technologie produkcji, wykorzystujące takie procesy, jak fotokataliza czy pyroliza, ale aby mogły one dojść do fazy komercjalizacji, potrzebne są dalsze inwestycje.

Reforming parowy odpowiada za ok. 48 proc. całkowitej produkcji wodoru na świecie[8]. Jest to też najczęściej używana obecnie technologia produkcji wodoru w Polsce w przemyśle rafineryjnym i chemicznym. Proces ten polega na reakcji w wysokiej temperaturze pary wodnej z metanem przy obecności katalizatora metalicznego. W jego efekcie uzyskuje się wodór oraz tlenek węgla. Jako że towarzyszący temu procesowi poziom emisji gazów cieplarnianych jest bardzo wysoki, dalsza użyteczność tej technologii w procesie transformacji energetycznej wymagać będzie zastosowania technologii sekwestracji i wykorzystania węgla[9] (ang. Carbon Captore Utilization and Storage, CCUS) oraz wykorzystywania surowca – przede wszystkim biometanu[10].

Elektroliza wody jest zaś tym procesem produkcji wodoru, z którym wiąże się największe nadzieje na przyszłość. Zainstalowana obecnie na świecie moc instalacji do produkcji wodoru w procesie elektrolizy szacowana jest na 8 GW. W procesie tym energia elektryczna zamieniana jest na energię chemiczną; w jego efekcie dochodzi do rozpadu wody na cząsteczki wodoru oraz tlenu. Niekwestionowaną zaletą elektrolizy jest jej całkowity brak emisyjności. Zerowa emisyjność, a także brak potrzeby stosowania innych surowców oraz oparcie całego procesu niemal wyłącznie na wykorzystaniu energii elektrycznej, czynią tę technologię idealnie dopasowaną do wykorzystania w działalności typu power-to-gas, która może okazać się konieczna w procesie bilansowania systemu elektroenergetycznego w momentach nadwyżki energii elektrycznej produkowanej z OZE. Przy takim zastosowaniu bardziej opłacalna od technologii alkaline water electrolysis (ALK) – używanej w przemyśle od lat 20. XX w. – jest polymer electrolyte membrane electrolysis (PEM), która, choć rozwijana stosunkowo od niedawna i na razie droższa, cechuje się większą elastycznością potrzebną przy zmiennej produkcji energii elektrycznej z niestabilnych i zmiennych źródeł odnawialnych.

Aby porównać koszty produkcji wodoru przy użyciu różnych technologii, należałoby stosować uśredniony koszt produkcji wodoru – wskaźnik analogiczny do wskaźnika używanego w porównywaniu kosztów produkcji energii elektrycznej z różnych źródeł (ang. Levelised Cost of Hydrogen, LCOH – analogicznie do Levelised Cost of Energy, LCOE).

Koszty produkcji

Koszt produkcji wodoru, podobnie jak w przypadku kosztów produkcji energii elektrycznej, zależny jest od szeregu czynników, takich jak:

- poziom kosztów inwestycyjnych (CAPEX),
- koszty operacyjne (OPEX),
- rodzaj i sprawność instalacji,
- żywotność instalacji,
- koszty energii elektrycznej, a w przypadku procesu reformingu parowego – koszty niezbędnego surowca.

Według kalkulacji International Renewable Energy Agency LCOH w Danii w 2017 r., przy współczynniku wykorzystania mocy na poziomie co najmniej 40 proc., koszt wynosił ok. 6 dol./kg

dla PEM oraz 4 dol./kg dla ALK[11]. Artykuł z marca 2019 r. z „Nature Energy" wskazuje na koszty produkcji wodoru z paliw kopalnych w wielkoskalowych instalacjach przemysłowych na poziomie 1,5-2,5 euro/kg w Niemczech i 1,8-2,9 dol./kg w USA, przy granicy opłacalności produkcji wodoru z OZE na poziomie odpowiednio 3,23 euro/kg i 3,53 dol./kg[12].

Koszty produkcji wodoru z paliw kopalnych w wielkoskalowych instalacjach przemysłowych kształtują się na poziomie 1,5-2,5 euro/kg w Niemczech i 1,8-2,9 dol./kg w USA. Jednocześnie granica opłacalności produkcji wodoru z OZE wynosi odpowiednio 3,23 euro/kg i 3,53 dol./kg.

Sprężanie

Aby wodór mógł być magazynowany i przesyłany, musi on ulec po produkcji procesowi kompresji. Poziom ciśnienia wodoru waha się od 20 do 180 barów w podziemnym magazynowaniu, od 350 do 500 barów przy transporcie drogowym wodoru w cysternach oraz do 700 barów przy użyciu jako paliwo w samochodach napędzanych ogniwami paliwowymi (FCEV).

Magazynowanie

Najbardziej dojrzałymi technologiami magazynowania wodoru są zbiorniki ciśnieniowe oraz kriogeniczne, a ich pojemność sięga od 100 kWh (zbiorniki ciśnieniowe) do 100 GWh (zbiorniki kriogeniczne). Oba rozwiązania mają wady i zalety. Podczas gdy zbiorniki ciśnieniowe charakteryzują się wysokimi kosztami, zbiorniki kriogeniczne mniej nadają się do długoterminowego magazynowania. W Polsce analizowane są przede wszystkim możliwości magazynowania wodoru w kawernach solnych, które służą dzisiaj do utrzymywania zapasów gazu ziemnego[14].

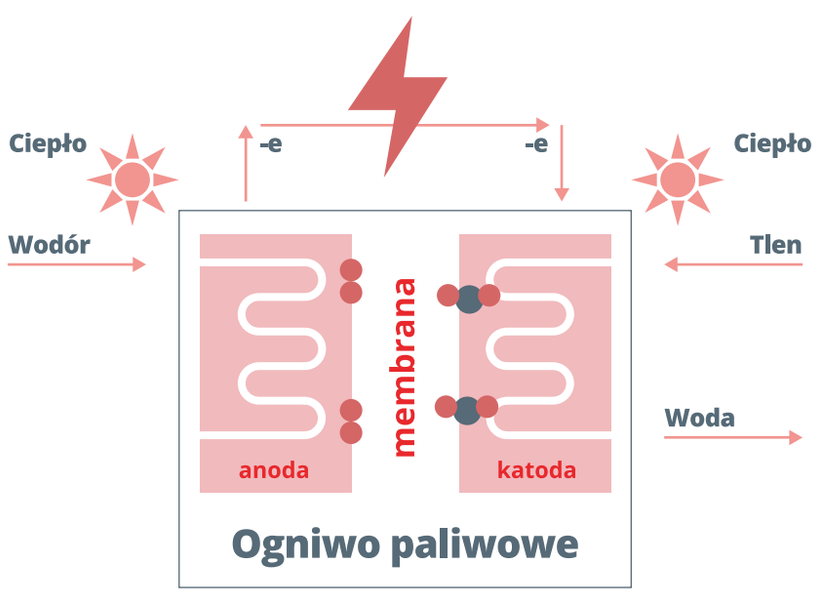
Przesył i dystrybucja

Wodór podobnie jak gaz ziemny może być przesyłany systemem gazociągów lub, pod znacznie większym ciśnieniem, transportowany w ruchu drogowym w cysternach lub w naczepach ze sprężonym wodorem (tzw. tube trailers).

Technologia

Wykorzystanie wodoru w różnych gałęziach gospodarki opierać się będzie przede wszystkim na technologii ogniw paliwowych (ang. fuel cell). Technologia ta jest zbliżona do technologii baterii jonowo-litowych, lecz, w przeciwieństwie do nich, ogniwa paliwowe nie potrzebują ładowania, a jedynie paliwa, jakim może być wodór. Ogniwa paliwowe

Technologia wykorzystania wodoru



składają się z dwóch elektrod – ujemnej (anody) i dodatniej (katody). Paliwo – wodór – dostarczane jest do anody, zaś powietrze do katody. Katalizator pozwala na rozbicie atomów wodoru na protony i elektrony, które wędrują odrębnymi drogami do katody. Elektrony wędrują przez obwód zewnętrzny, powodując przepływ energii elektrycznej, zaś protony poprzez elektrolit przemieszczają się do katody, gdzie łączą się z elektronami i cząsteczkami tlenu. W efekcie produkowane jest ciepło oraz produkt dodatkowy, uboczny – woda destylowana.

Alternatywną metodą konwertowania wodoru na energię elektryczną (i/lub ciepło) są turbiny gazowe używane dzisiaj do produkcji energii elektrycznej z gazu ziemnego, takie jak tzw. Turbiny Gazowego Otwartego Cyklu (ang. Open Cycle Gas Turbines). Już dzisiaj turbiny te są w większości w stanie używać paliwa złożonego z mieszanki gazu ziemnego i wodoru, a w przyszłości, po dokonaniu odpowiednich dostosowań, możliwe powinno być przestawienie ich w całości na wodór.

RYNEK WODORU NA ŚWIECIE

Rynek wodoru jest dzisiaj na świecie w stanie zalążkowym. Większość wodoru produkowana jest na cele wewnętrzne spółek zaangażowanych w jego produkcję – przede wszystkim w przemyśle rafineryjnym oraz chemicznym. Wartość rynku produkcji wodoru szacowana była w 2017 r. na 115,25 mld dol.[15]. Do państw najbardziej zaawansowanych na drodze do „gospodarki wodorowej" należą m.in. Stany Zjednoczone, Japonia, Chiny, Niemcy oraz Australia.

115,25 mld dol.

szacowana wartość produkcji wodoru w 2017 r.

Największy potencjał produkcyjny mają Chiny – ocenia się, iż zainstalowane moce pozwalają tam na produkcję nawet 25 megaton wodoru rocznie. Z kolei w Stanach Zjednoczonych, gdzie produkuje się obecnie ok. 10 megaton wodoru rocznie[16], widać największe postępy w budowie rynku – ok. 40 proc. produkowanego wodoru sprzedaje się podmiotom trzecim[17], a długość rurociągów używanych do przesyłu wodoru sięga już 1600 mil.

Jeśli chodzi o rynek samochodów napędzanych wodorowymi ogniwami paliwowymi, to prym wiodą właśnie Stany Zjednoczone. Według stanu na 2017 r. liczba pojazdów FCEV sięgnęła tam już 4500[18]. Na kolejnych miejscach plasują się Japonia (ok. 2500 aut) oraz Niemcy (500 aut). W przypadku infrastruktury do tankowania wodoru najbardziej rozwinięta jest Japonia, gdzie stacji wodorowych jest już setka (na kolejnych miejscach są znów Niemcy i Stany Zjednoczone).

Powyższe liczby nie są zbyt imponujące, pokazują jednak, że istnieje potencjał dla dalszego rozwoju. Choć niemożliwe byłoby przesunięcie całej konsumpcji wodoru z sektora przemysłowego do sektora motoryzacyjnego, to według wyliczeń amerykańskiego Departamentu Energii obecna roczna produkcja wodoru w USA pozwoliłaby na zasilanie 47 milionów pasażerskich samochodów FCEV rocznie[19].

47 milionów

tyle samochodów pasażerskich rocznie można by zasilić wodorem obecnie produkowanym w USA

OBSZARY ZASTOSOWANIA WODORU

Dotychczasowe analizy pozwalają na wskazanie co najmniej czterech obszarów, które wykazują największy potencjał i w których wykorzystanie wodoru może przyczynić się do udanego przeprowadzenia procesu dekarbonizacji i globalnej transfomacji energetycznej:

- sektor elektroenergetyczny,
- transport,
- ciepłownictwo,
- przemysł.

Sektor elektroenergetyczny

W 2017 r. przyrost mocy z OZE w systemie elektroenergetycznym na świecie wyniósł 8 proc. rdr., co oznaczało instalację rekordowych 178 GW nowych, zielonych mocy w zaledwie rok[20]. Było to efektem łącznych inwestycji na kwotę 298 mld dol. Moce z OZE stanowiły ponad 2/3 wszystkich nowych zainstalowanych mocy netto i było ich praktycznie dwa razy więcej niż nowych mocy opartych o paliwa kopalne i energię jądrową. Choć jest to zjawisko niezwykle pozytywne z perspektywy dekarbonizacji, rodzi dwa wyzwania dla sektora elektroenergetycznego:

- zapewnienie bilansowania systemu elektroenergetycznego,
- usprawnienie przesyłu energii.

Bilansowanie systemu elektroenergetycznego

Ponad 80 proc. nowych mocy OZE zainstalowanych na świecie w 2017 r. pochodziło z energii słonecznej oraz wiatrowej. Oba rodzaje należą do kategorii źródeł niestabilnych, zależnych od warunków pogodowych, które uniemożliwiają stałą produkcję energii elektrycznej, lecz mogą prowadzić do sytuacji nadwyżki lub niedoboru energii elektrycznej w systemie elektroenergetycznym. Bilansowanie systemu elektroenergetycznego możliwe jest na dwa sposoby:

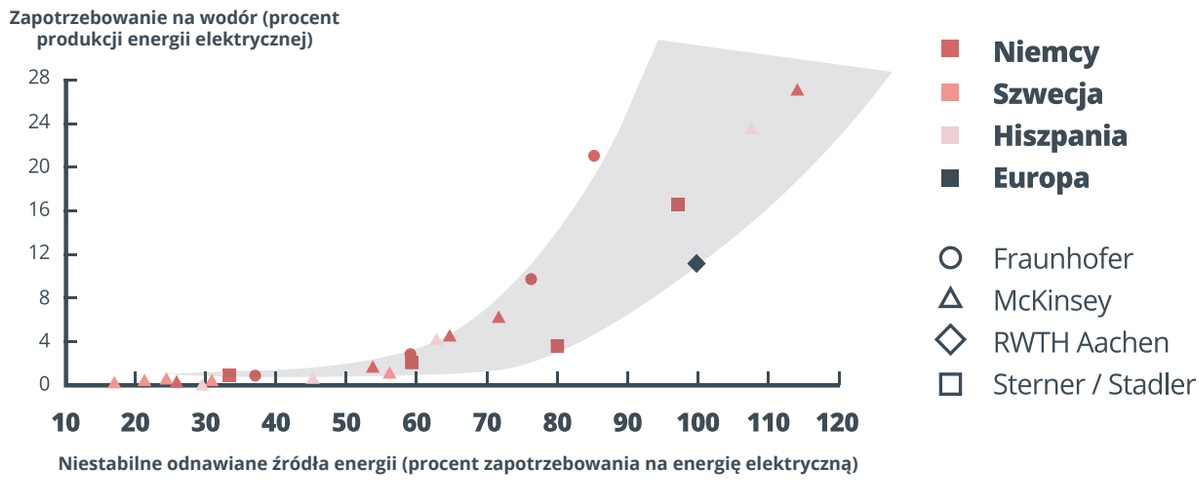
- przez utrzymywanie w gotowości elastycznych mocy konwencjonalnych (z których produkcja jest obniżana przy warunkach pogodowych sprzyjających OZE oraz zwiększana w razie braku słońca i wiatru), co możliwe jest dzisiaj dzięki tzw. rynkom mocy, ale co pozostaje wysoce nieefektywne ekonomicznie.
- poprzez rozwój technologii magazynowania energii. Choć obserwujemy dziś trend zwyżkowy dla inwestycji w magazyny energii elektrycznej używające technologii baterii litowo-jonowych, a kolejne podmioty ogłaszają uruchomienie coraz większych, rekordowych mocy, technologia ta ma jedno zasadnicze ograniczenie – umożliwia jedynie krótkoterminowe magazynowanie energii elektrycznej. Rozwiązanie to będzie więc niewystarczające dla państw, w których dochodzi do bardzo wysokich różnic sezonowych w popycie na energię elektryczną. Wielką szansę oferuje wodór.

Wodór jako jedyna z obecnie dostępnych technologii pozwala na długoterminowe magazynowanie energii na przestrzeni tygodni, a nawet miesięcy.

Wodór jako jedyna z obecnie dostępnych technologii pozwala na długoterminowe magazynowanie energii na przestrzeni tygodni, a nawet miesięcy. Potrzeba długoterminowego magazynowania energii jest już dzisiaj szczególnie wysoka w państwach o dużych różnicach w popycie na energię elektryczną pomiędzy poszczególnymi porami roku, na przykład w Niemczech.

Co więcej, technologia ta może być niezbędna dla systemów elektroenergetycznych przyszłości opartych w ponad 60 proc. na źródłach odnawialnych. Według różnych scena-

Potrzeba magazynowania wodoru wzrasta w sposób wykładniczy wraz ze wzrostem udziału niestabilnych źródeł energii



Źródło: Hydrogen Council, Hydrogen Scaling Up (Fraunhofer Insitute for Solar Energy Systems ISE, 2017; BMW; RWTH Aachen; Sterner i Stadler 2014; McKinsey)

riuszy popyt na długoterminowe magazynowanie energii rośnie w sposób wykładniczy po przekroczeniu progu 60 proc. udziału niestabilnych OZE w miksie energetycznym[21].

Wodór używany do magazynowania energii elektrycznej może pozwolić na ograniczenie nieefektywności na rynkach energii.

Wodór używany do magazynowania energii elektrycznej może więc pozwolić na ograniczenie nieefektywności na rynkach energii cechujących się rosnącym udziałem niestabilnych OZE. W chwili obecnej w razie nadpodaży zielonej energii konieczny jest tzw. redispatching, w ramach którego dochodzi do obniżania lub wyłączania produkcji energii elektrycznej ze źródeł o najwyższych kosztach produkcji, a dodatkowo w niektórych państwach prąd sprzedawany jest po cenach ujemnych (odbiorcy otrzymują zapłatę za to, że zgodzą się odebrać nadwyżki energii elektrycznej). Z drugiej strony, na czas deficytu energii elektrycznej utrzymywane są duże ilości mocy rezerwowych, używane tylko w sytuacjach spadku produkcji energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych.

Pierwszy problem próbuje się obecnie redukować poprzez usługi zarządzania popytem (ang. Demand Side Response, DSR) oraz magazynowanie energii elektrycznej w bateriach litowo-jonowych (które pozwalają też na wprowadzanie energii elektrycznej do systemu w chwilach spadku produkcji). Skala tych działań jest jednak ograniczona, a na dodatek mogą mieć one tylko zastosowanie krótkoterminowe.

Drugi problem próbuje się rozwiązywać poprzez coraz bardziej powszechny w wielu państwach rynek mocy. Pozwala on na utrzymywanie dużych mocy rezerwowych, które pozostają wyłączone przez większą część roku i otrzymują dochody za samo pozostawanie w gotowości.

Długoterminowe **magazynowanie wodoru** rozwiązałoby oba te problemy za jednym razem – podmioty oferujące nowe usługi na rynku energii mogłyby zarabiać w okresach nadpodaży energii elektrycznej na produkcji wodoru i magazynowaniu energii, zaś w okresach deficytu – na produkcji energii elektrycznej ze zmagazynowanego wodoru. Do oferowania tego typu usług najlepiej dostosowane wydają się:

- technologia elektrolizy, pozwalająca na produkcję tzw. czystego wodoru z energii odnawialnej;
- ogniwa paliwowe o bardzo wysokiej sprawności (sięgającej 70 proc.[22]) do produkcji energii elektrycznej z wodoru (jak dotąd niedostępne w skali przekraczającej kilka megawatów);
- turbiny gazowe otwartego cyklu (ang. Open Cycle Gas Turbine, OCGT), które dzisiaj są napędzane przede wszystkim gazem ziemnym, ale w przyszłości będą mogły być dostosowane do działania w oparciu o 100-proc. paliwo wodorowe (już teraz mogą działać na bazie zmieszanego gazu ziemnego i wodoru). Ich wadą jest mniejsza sprawność.

Drugim po konieczności bilansowania systemu wyzwaniem dla sektora elektroenergetycznego związanym z rosnącym udziałem energii odnawialnej – zwłaszcza wiatrowej i słonecznej – jest nierównomierne geograficzne rozłożenie warunków odpowiednich do produkcji energii z tych źródeł. Innymi słowy, nie wszędzie wieje wystarczająco dużo wiatru i wystarczająco często świeci słońce, aby opłacalne było tam zainstalowanie wiatraków lub paneli fotowoltaicznych.

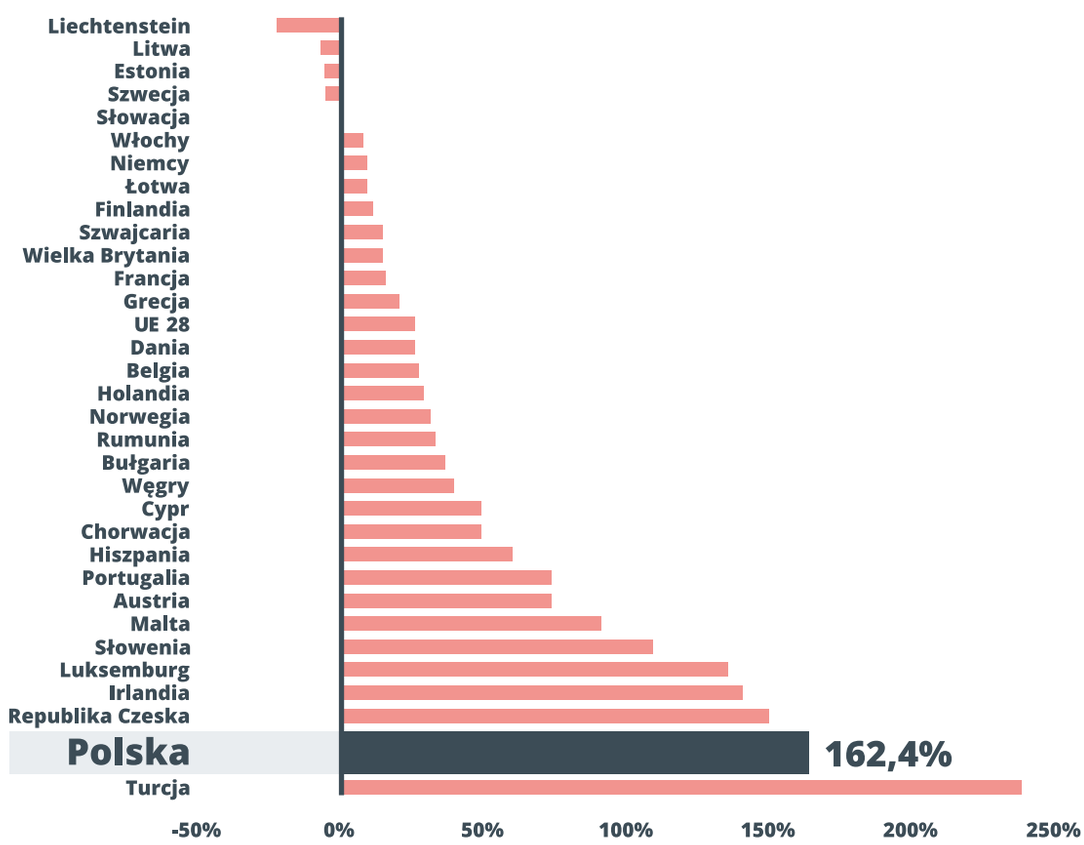
Jednym z państw najlepiej zdających sobie z tego sprawę są Niemcy, które mają coraz większe problemy z przesyłem energii elektrycznej produkowanej na wietrznej północy kraju do energochłonnego południa. Ze względu na ograniczone możliwości sieci elektroenergetycznych nasi sąsiedzi próbowali przerzucić problem na naszą stronę, posiłkując się tzw. przesyłami kołowymi przez terytorium Polski. Po zablokowaniu tej możliwości jasne stało się, że konieczna jest rozbudowa sieci przesyłowej. W swoim pierwszym przemówieniu przed Bundestagiem w marcu 2018 r. minister ds. gospodarki Peter Altmeier w sposób otwarty zakomunikował, że „rewolucja energetyczna odniesie sukces, tylko jeśli zapewnimy rozwój sieci”[23].

Problemy z długodystansowym przesyłem energii są jednak wielorakie: energia jest wytracana podczas przesyłu, budowa nowych napowietrznych linii wysokiego napięcia napotyka duże opory ze strony lokalnych wspólnot, zaś budowa linii podziemnych jest niezwykle kosztowna. W tej sytuacji produkcja wodoru z energii odnawialnej i jego przesył odpowiednio dostosowaną infrastrukturą (używaną dzisiaj do przesyłu gazu ziemnego) do miejsc, gdzie może być z powrotem konwertowany na energię elektryczną, jawi się jako alternatywa warta rozpatrzenia.

Produkcja wodoru z energii odnawialnej i jego przesył odpowiednio dostosowaną infrastrukturą (używaną dzisiaj do przesyłu gazu ziemnego) do miejsc, gdzie może być z powrotem konwertowany na energię elektryczną, jawi się jako alternatywa.

Największą jednak zaletą wykorzystania technologii power2gas (lub power2hydrogen) jest możliwość implementacji wskazanego powyżej procesu sector coupling. Tym samym wodór wyprodukowany przy użyciu energii odnawialnej będzie mógł być wykorzystywany nie tylko w sektorze energii elektrycznej, ale również w innych dziedzinach, przyczyniając się do zmniejszania ich uzależnienia od paliw kopalnych i przybliżając nas do dekarbonizacji gospodarki.

Zmiany w ilości emisji gazów cieplarnianych w transporcie w latach 1990-2016



Źródło: EEA

Transport

Sektor transportu jest jednym z głównych źródeł emisji CO_2 w Polsce. Chociaż zgodnie z protokołem z Kioto Polska ograniczyła emisje CO_2 o 40 proc. w stosunku do 1988 r., to jednocześnie pomiędzy rokiem 1990 a 2016 emisje z transportu wzrosły o 62,4 proc., najmocniej w całej UE[24]. Potrzeba redukcji emisji w tym sektorze jest więc wyjątkowo pilna.

W odpowiedzi na powyższe wyzwanie rząd przyjął w 2018 r. Plan rozwoju elektromobilności w Polsce[25]. Niestety, słowo wodór nie pada w nim jednak ani razu, a elektromobilność rząd zdaje się rozumieć niemal wyłącznie jako pojazdy napędzane energią zmagazynowaną w pokładowych akumulatorach (Battery Electric Vehicles, BEV). Chociaż w Ustawie o elektromobilności i paliwach alternatywnych z 11 stycznia 2018 r. wodór jako źródło napędu samochodów elektrycznych jest już uwzględniony, poświęcone jest mu nieproporcjonalnie mniej miejsca niż samochodom elektrycznym BEV, a definicja kluczowej dla całej ustawy ogólnodostępnej stacji ładowania nie obejmuje infrastruktury służącej do tankowania wodoru[26].

Decyzja ta wydaje się być uzasadniona faktem, iż dzisiaj to samochody BEV podbijają rynek, zaś technologia wodorowych ogniw paliwowych jest znacznie droższa i rozwijana od lat w zasadzie tylko przez jedną firmę. O ile samochody elektryczne typu BEV wydają się być odpowiednim rozwiązaniem do dekarbonizacji podsektora samochodów osobowych (zakładając rosnący udział OZE w miksie energetycznym), to pochylenie się nad technologią wodorową jest konieczne, jeśli chcemy zapewnić dekarbonizację transportu w pozostałym zakresie. Niemniej analiza przeprowadzona w 2018 roku na potrzeby amerykańskiego Departamentu Energii pokazuje, że całkowite koszty użytkowania (Total Cost of Ownership, TCO) samochodów wodorowych będą spadać znacznie dynamiczniej niż samochodów BEV i już w 2030 r. również rynek samochodów lekkich może być podzielony równomiernie pomiędzy obie technologie[27].

Całkowite koszty użytkowania samochodów wodorowych będą spadać znacznie dynamiczniej niż samochodów BEV.

Już dzisiaj koszt wodoru używanego na cele motoryzacyjne w sąsiadujących z Polską Niemczech to ok. 9,5 euro/kg. Biorąc pod uwagę, że zużycie paliwa np. w wodorowej Toyocie Mirai wynosi 0,9-1,2 kg/100 km, koszt w wysokości ok. 40 zł/100 km czyni wodór coraz bardziej konkurencyjnym. W przyszłości, jeśli uda się osiągnąć wartości planowane przez poszczególne państwa, może on wręcz stać się bezkonkurencyjny – 3 dol./kg dla Japonii, 5 dol./kg dla USA oraz 6-7 dol./kg w Europie[28].

Na razie barierę stanowi cena samochodu – w przypadku najbardziej popularnego modelu Mirai to około 60 tys. dolarów. Dla porównania, wprowadzony niedawno elektryczny model Tesli oferowany jest po cenie prawie dwukrotnie niższej – 35 tys. dolarów.

Co istotne dla Polski, dekarbonizacja transportu poprzez zastąpienie samochodów z silnikami spalinowymi pojazdami BEV możliwa jest tylko przy odpowiednio dużym udziale OZE w miksie energetycznym. Oczywiście, bez względu na sposób produkcji energii elektrycznej, pojazdy BEV mogą zredukować problem smogu w miastach. Niemniej tak długo, jak w naszym miksie energetycznym dominować będzie węgiel kamienny i brunatny, wpływ sektora transportu na emisyjność będzie znikomy.

Poziom emisji z samochodu elektrycznego na 1 km (uwzględniający także emisje w trakcie produkcji baterii/ogniwa paliwowego, produkcji samochodu oraz produkcji wodoru/energii elektrycznej) jest wyższy w przypadku samochodu elektrycznego niż na wodór.

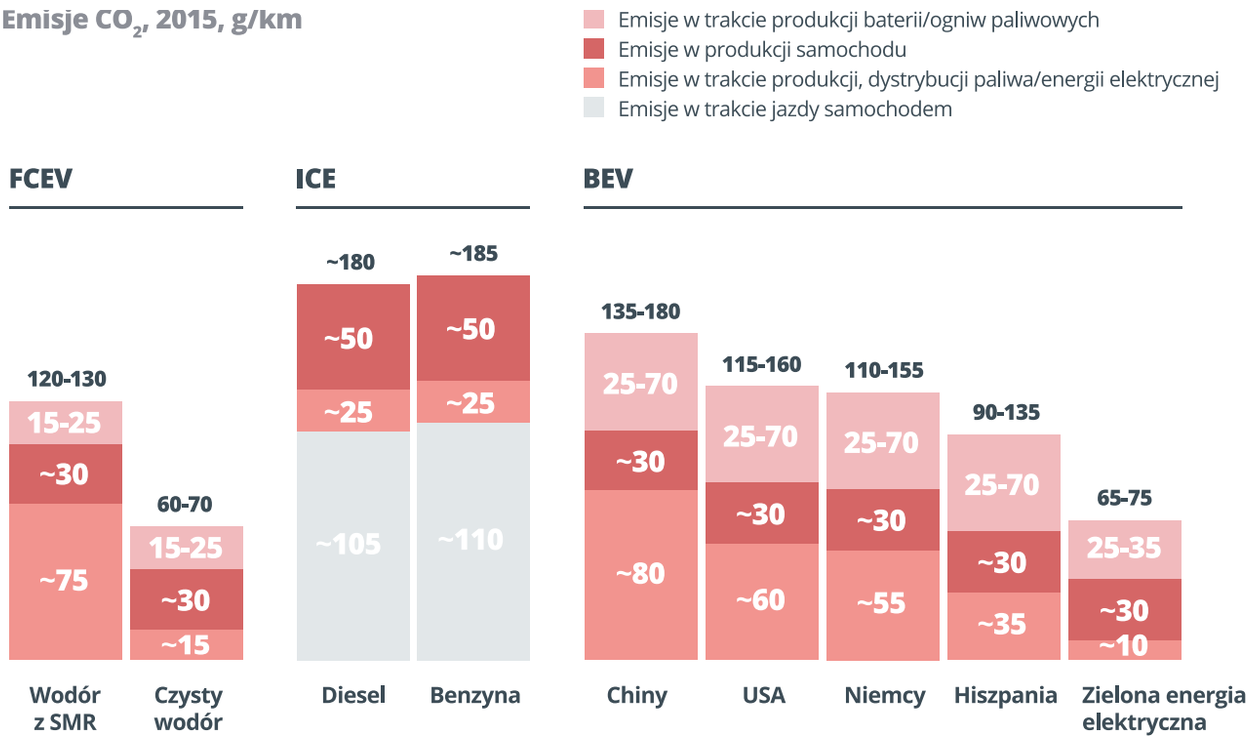
Nawet w państwie z tak dużym udziałem OZE jak Niemcy poziom emisji z samochodu elektrycznego na 1 km (uwzględniający także emisje w trakcie produkcji baterii/ogniwa paliwowego, produkcji samochodu oraz produkcji wodoru/energii elektrycznej) jest wyższy w przypadku samochodu BEV niż samochodu FCEV używającego nawet mniej czystego wodóru uzyskanego z reformingu parowego paliw kopalnych. W Polsce różnica ta musi być jeszcze większa, na niekorzyść dla BEV.

Technologia ogniw paliwowych wydaje się jednak szczególnie obiecująca w przypadku samochodów ciężarowych, autobusów, mniejszych samochodów dostawczych, a nawet statków, pociągów i samolotów.

Wdrożenie technologii wodorowej na dużą skalę będzie wyjątkowo istotne dla sektora przewozu ładunków w Polsce. Jest on prawie całkowicie zdominowany przez transport samochodowy: w 84 proc. – opierając się na wskaźniku przewozu

Pojazdy napędzane wodorowymi ogniwami paliwowymi mogą osiągnąć bardzo niskie poziomy emisji CO_2, jeśli uwzględniany jest cały cykl życia produktu

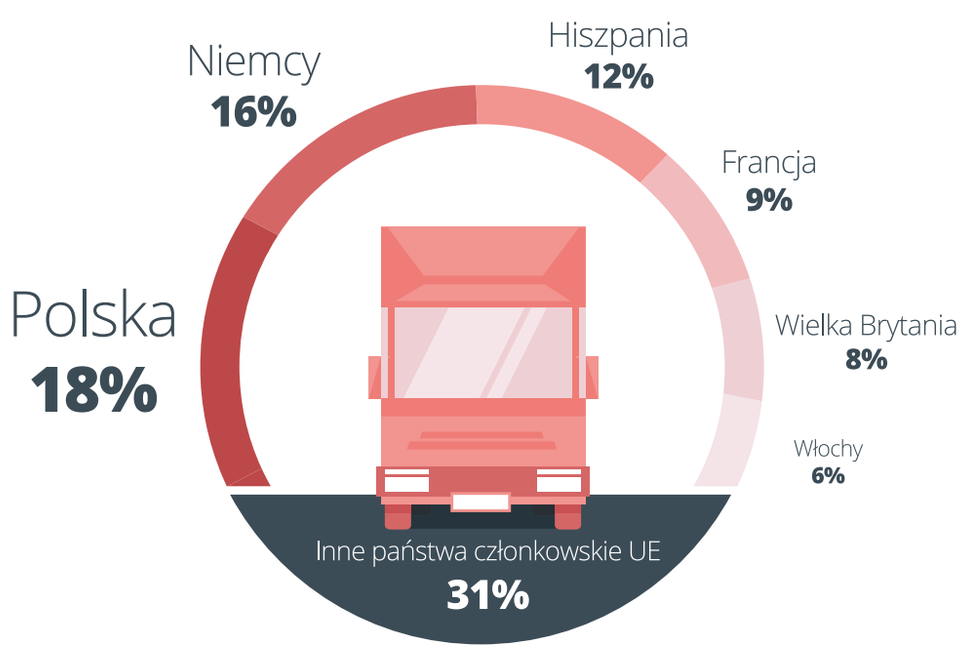
Emisje CO_2, 2015, g/km



Założenia: samochód kompaktowy (segment C) jako punkt odniesienia (4,1 l/100 km diesel; 4,8 l/100 km benzyna; 35,6 kWh baterii); średnio 120.000 km przejechanych w trakcie „życia" pojazdu; poziom emisji z sektora elektroenergetycznego w Chinach, Niemczech i Hiszpanii w 2015 r.; produkcja samochodów elektrycznych (z wyłączeniem baterii i ogniw paliwowych) o 40 proc. mniej energochłonna niż produkcja samochodów z silnikami spalinowymi; 10 kg CO_2/H_2 z SMR;13 kWh/100 km

Źródło: Hydrogen Council, Scaling Up

Drogowy przewóz ładunków w 2017 r. (proc. tonokilometrów)



Źródło: Eurostat

ładunków w tysiącach ton - i w 78 proc. w milionach tonokilometrów całkowitego przewozu ładunków w Polsce[29]. Stanowiąc aż 18 proc. tego sektora w Unii Europejskiej, drogowy przewóz ładunków w Polsce jest największy w całej Wspólnocie[30].

Dla ciężkiego i długodystansowego transportu ciężarowego technologia BEV wydaje się być niewystarczająca, a wodorowe ogniwa paliwowe będą w tym przypadku znacznie lepszym rozwiązaniem. Największym problemem w przypadku baterii litowo-jonowych (auta BEV) jest ich niska gęstość energetyczna (ilość energii zmagazynowanej na kg). Jest ona około czterech razy niższa niż gęstość energetyczna wodoru w baku samochodu napędzanego ogniwem paliwowym, takiego jak Toyota Mirai (0,6 MJ/kg kontra 2,3 MJ/kg[31]). W efekcie porównywalnych rozmiarów samochody wodorowe mają względem samochodów BEV większy zasięg oraz cechują się szybszym (10 do 15 razy) tempem tankowania. O ile powyższe cechy nie są tak istotne w przypadku samochodów osobowych, używanych na co dzień do komunikacji na krótkich dystansach, czy lekkich samochodów dostawczych, stają się one kluczowe dla ciężkich samochodów ciężarowych.

Bateria potrzebna do 40-tonowej ciężarówki zwiększyłaby masę samochodu o 3 tony w porównaniu do silnika spalinowego, co z kolei przekłada się na potrzebę większej mocy napędu[32]. Wodorowe ogniwa paliwowe nie zwiększają masy samochodów ciężarowych w porównaniu do stanu obecnego. Dodatkowo, koszt baterii jest mocno uzależniony od jej wielkości – o ile przy małej pojemności koszt baterii jest znacznie niższy niż koszt ogniw paliwowych, o tyle wraz ze wzrostem pojemności ich koszty wzrastają kilkakrotnie, podczas gdy koszt ogniw paliwowych pozostaje stosunkowo stabilny niezależnie od ich wielkości.

Prognozy na 2030 r. przewidują, że nawet przy spadku kosztów małych baterii do osobowych samochodów elektrycznych (do poziomu 100 dol./kWh), pozostaną one tańsze od ogniw paliwowych jedynie do przekroczenia granicy ok. 55 kWh pojemności. Powyżej tej wielkości baterii jej koszty zaczną przewyższać koszty ogniw paliwowych. Przy pojemności 150 kWh mogą być nawet trzy razy wyższe. Dla porównania, Tesla Model 3 w wersji bazowej jest wyposażona w baterię o pojemności 50 kWh, które pozwala na pokonanie ok. 350 km na jednym ładowaniu.

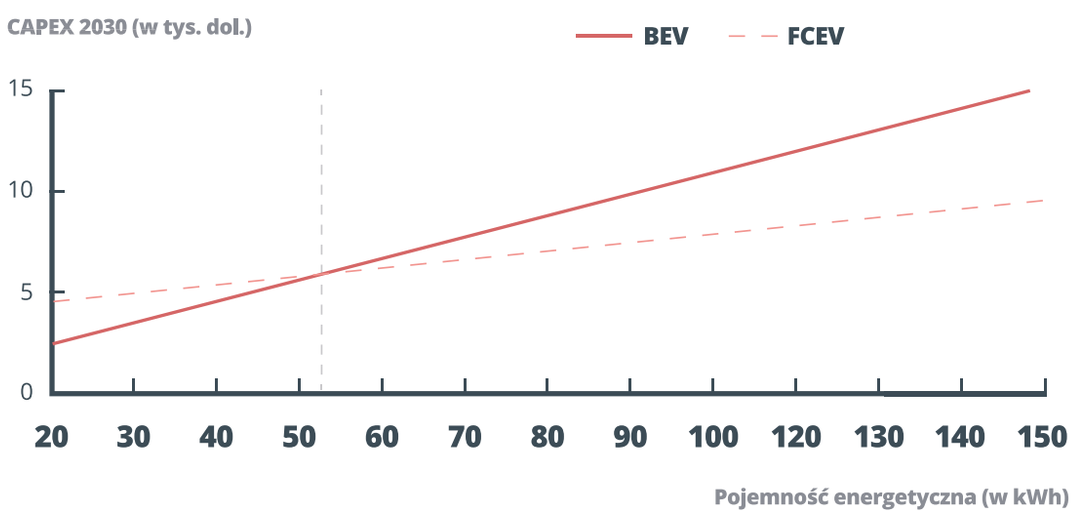
Wykorzystanie ogniw paliwowych, wydaje się być jedynym możliwym sposobem dekarbonizacji innych środków transportu.

Dziś pionierem na rynku wodorowych samochodów ciężarowych wydaje się być amerykańska firma Nikola, która zapowiedziała rozpoczęcie masowej produkcji w 2020 r.

Powyższe argumenty przemawiają na korzyść wodoru również w przypadku autobusów oraz innych pojazdów użytkowych, które potrzebują

Samochody z napędem wodorowym vs elektryczne

Auta napędzane wodorowymi ogniwami paliwowymi cechują się niższymi kosztami inwestycyjnymi w przypadku pojazdów długodystansowych.



Założenia: koszt baterii - 100 dol./kWh; koszt ogniwa paliwowego o mocy 100 kW – 40 dol./kW; koszt zbiornika na wodór - 24 dol./kWh.

Źródło: Hydrogen Council, Hydrogen Scaling Up.

większego zasięgu i skróconego czasu ładowania. W zeszłym roku Toyota ogłosiła sprzedaż autobusów napędzanych wodorowymi ogniwami paliwowymi, a jeszcze w 2019 r. 300 autobusów ma wjechać na ulice pięciu dystryktów chińskiego miasta Foshan[33].

Kolejną zaletą wodoru przemawiającą za jego powszechniejszym wprowadzeniem na nasze drogi są również przewagi w zakresie infrastruktury do tankowania. Biorąc pod uwagę znacznie szybsze (10-15 razy) tempo tankowania pojazdów FCEV niż BEV, możliwe byłoby wykorzystanie dotychczasowych stacji benzynowych bez konieczności poważniejszego zwiększenia jej powierzchni.

Biorąc pod uwagę szybsze (10-15 razy) tempo tankowania pojazdów FCEV niż BEV, możliwe byłoby wykorzystanie dotychczasowych stacji paliw bez konieczności poważniejszego zwiększenia ich powierzchni.

Także sposób przesyłu i dystrybucji wodoru (przy użyciu rurociągów i cystern) pozwala na przejście z benzyny/oleju napędowego na wodór bez większych rewolucji w łańcuchu wartości. Przy wielkoskalowym wykorzystaniu wodoru w transporcie wskazywane możliwości magazynowania energii mogą pozwolić na rozwiązanie problemów z bilansowaniem systemu elektroenergetycznego zamiast ich pogłębiania, co może stać się niepożądanym skutkiem intensywnej rozbudowy infrastruktury do ładowania samochodów elektrycznych.

Wreszcie, wykorzystanie ogniw paliwowych, z tych samych względów, co opisane powyżej, wydaje się być jedynym sposobem dekarbonizacji innych środków transportu.

Na niezelektryfikowanych torach kolejowych pociągi napędzane ogniwami paliwowymi mogą zastąpić pociągi korzystające dziś z oleju napędowego. W tym obszarze najbardziej zaawansowany jest francuski koncern Alstom, który w 2017 r. zaprezentował model pociągu Coradia iLint napędzany wodorowymi ogniwami paliwowymi i stworzony z myślą o zastąpieniu w Niemczech lokomotyw spalinowych.

Podobnie wodór jawi się jako jedyna alternatywa dla paliw kopalnych w przypadku statków pasażerskich. Na 2020 r. prezentację pierwszego komercyjnego promu napędzanego wodorowymi ogniwami paliwowymi zapowiedzieli Norwegowie. Równolegle nad podobnymi rozwiązaniami pracują Amerykanie.

Jeśli chodzi o samoloty oraz statki towarowe, wprowadzenie paliwa opartego w 100 proc. na wodorze wydaje się niemożliwe, ale za to wodór może stać się składnikiem znacznie mniej emisyjnych paliw syntetycznych.

Planowana liczba pojazdów wodorowych						
ROK	2020	2022	2023	2025	2028	2030
USA	13 000	40 000				
NORWEGIA						1 000 000
JAPONIA				200 000		800 000
FRANCJA		5 000			20 000 - 50 000	
CHINY	5 000			50 000		1 000 000

Planowana liczba stacji do tankowania pojazdów wodorowych						
ROK	2020	2022	2023	2025	2028	2030
USA	80	100				
KALIFORNIA				200		1 000
JAPONIA	160			320		
FRANCJA		100			400 - 1 000	
CHINY	100			300		500
NIEMCY	100			400		1 000

Źródło: International Energy Agency, 2018

Ciepłownictwo

Kolejnym obszarem, w którym wodór ma szansę zaistnieć, jest sektor ciepłowniczy, pilnie potrzebujący intensywnej dekarbonizacji. Wyzwanie to jest szczególnie palące w Polsce, gdzie co roku razem ze startem sezonu grzewczego startuje sezon smogowy.

Dotychczasowe działania, opierające się na wprowadzeniu norm jakościowych dla węgla i zakazie sprzedaży kotłów o najgorszych standardach emisyjności, mogą stanowić jedynie krótkoterminową odpowiedź. Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (NFOŚiGW), prowadzący wieloletni program termomodernizacji, w kolejnych latach wśród wspieranych rozwiązań powinien uwzględnić również te oparte na wodorze, jako na paliwie zeroemisyjnym.

Warto podkreślić, że do zwiększenia jego udziału w produkcji ciepła w Polsce może być wykorzystana istniejąca infrastruktura gazu ziemnego. Pierwszym etapem byłoby wprowadzenie do sieci wodoru zmieszanego z gazem ziemnym. Według Gaz-Systemu obecna infrastruktura sieci przesyłowej pozwala na przesył w niektórych częściach systemu paliwa składającego się do 10 proc. z wodoru. Taki udział wodoru w paliwie służącym do ogrzewania gospodarstw domowych powinien pozwolić na dalsze korzystanie z istniejących instalacji bez potrzeby ich dostosowywania[34].

Infrastruktura sieci pozwala na przesył w niektórych częściach systemu paliwa składającego się do 10 proc. z wodoru. Taki udział wodoru w paliwie do ogrzewania domów powinien pozwolić na korzystanie z istniejących instalacji.

W drugim, długoterminowym etapie możliwe byłoby podjęcie próby całkowitego przejścia z gazu ziemnego na wodór, co wymagałoby inwestycji zarówno w infrastrukturę przesyłową, jak i w instalacje grzewcze. Podjęcie takiej próby zostało ogłoszone niedawno przez miasto Leeds w Wielkiej Brytanii, które zapowiedziało przejście w 100 proc. z gazu ziemnego na wodór do 2029 r.

Co więcej, wodór może być wykorzystywany również w kogeneracji – skojarzonej produkcji energii elektrycznej i ciepła. Jest to rozwiązanie już dosyć powszechnie używane w Japonii w mikroinstalacjach kogeneracyjnych (mCHP) opartych na technologii wodorowych ogniw paliwowych - ich liczba sięgnęła 200 tys. w 2017 r., a celem rządu jest osiągnięcie poziomu 5,3 mln do 2030 r. Całkowita sprawność tego typu instalacji produkujących zarówno ciepło, jak i energię elektryczną osiąga poziom 90 proc. Według Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking do 2050 r. mogą one osiągnąć w krajach UE nawet 50-proc. udział w rynku domowych instalacji grzewczych[35]. Wydaje się to być odpowiednim rozwiązaniem szczególnie dla tych gospodarstw domowych, które będą odchodzić od kotłów węglowych. Wreszcie, wodór mógłby być wykorzystany w wielkoskalowych instalacjach kogeneracyjnych opartych o technologię OCGT.

Przemysł

Sektor przemysłowy odpowiada w Polsce za 22,6 proc. całkowitego zużycia energii i zajmuje trzecie miejsce w rankingu największych konsumentów energii (za transportem i gospodarstwami domowymi). Do przemysłów szczególnie energochłonnych należą: przemysł hutniczy, mineralny oraz chemiczny, które odpowiadają za 60 proc. konsumpcji energii w przemyśle[36]. W sektorach tych procesy produkcyjne wymagają ciepła o bardzo wysokiej temperaturze, które uzyskiwane jest najczęściej ze spalania paliw kopalnych.

Alternatywa w postaci wykorzystywania energii elektrycznej bywa bardzo kosztowna. Na przykład w przemyśle hutniczym zużycie energii w procesie elektrycznym jest ok. dziesięć razy wyższe niż przy wykorzystaniu metody konwertorowej[37].

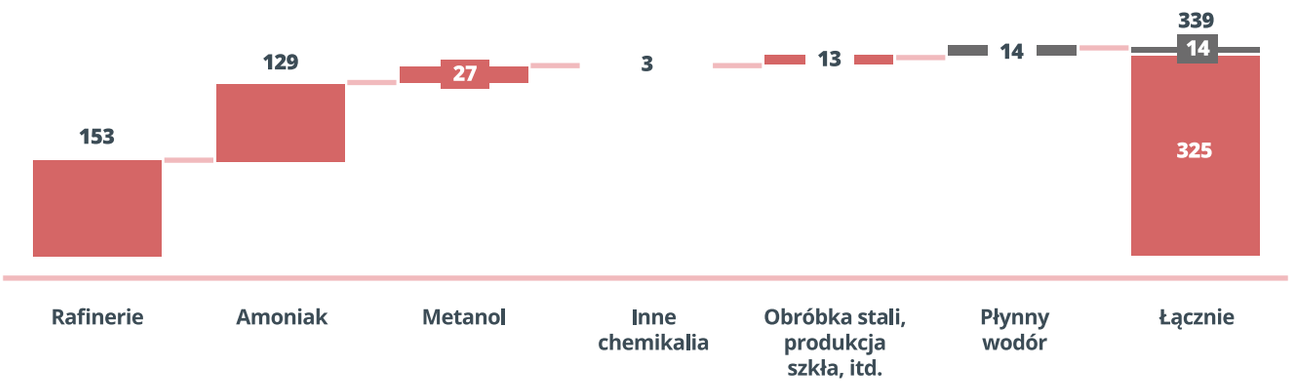
Choć wymagałoby to oczywiście inwestycji dostosowujących dzisiejszą technologię do możliwości zastąpienia paliw kopalnych wodorem lub przynajmniej ich zmieszania, w przyszłości wykorzystanie wodoru do uzyskiwania ciepła wysokich temperatur mogłoby pozwolić na dekarbonizację procesu produkcji stali bez jednoczesnego spadku efektywności energetycznej i znacznego wzrostu kosztów (przy założeniu spadkowego trendu kosztów wodoru).

325 TWh

tyle wodoru jest używane rocznie w UE jako surowiec w procesach przemysłowych, przede wszystkim w przemyśle rafineryjnym i przy produkcji amoniaku.

Dzisiaj jednak wodór jest używany w przemyśle najczęściej jako surowiec w procesach produkcyjnych. Zwiększenie wykorzystania go w tej roli –

Całkowite zużycie wodoru w UE (w TWh)



Źródło: Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking, Hydrogen roadmap Europe.

poprzez zastąpienie nim paliw kopalnych używanych w niektórych przypadkach również jako surowiec do produkcji finalnych produktów – stwarza kolejne szanse na dekarbonizację.

Obecnie w Unii Europejskiej około 325 TWh wodoru rocznie jest używane jako surowiec w procesach przemysłowych, przede wszystkim w przemyśle rafineryjnym oraz przy produkcji amoniaku. Przewiduje się, że do dalszego zwiększenia jego użycia może dojść w dwojaki sposób:

- w przemyśle hutniczym, gdzie wodór mógłby zastąpić koks w produkcji stali – projekty pilotażowe są prowadzone w Europie (projekt Ultra-Low-Carbon Dioxide Steelmaking) i Japonii (projekt CO2 Ultimate Reduction in Steelmaking Process by Innovative Technology for Cool Earth 50);
- w przemyśle chemicznym, gdzie w połączeniu z technologią sekwestracji i wykorzystania węgla (Carbon Capture and Usage, CCU), mógłby on pomóc w niskoemisyjnym uzyskiwaniu substancji chemicznych.

Choć powyższe scenariusze są na razie hipotetyczne (zwłaszcza w zakresie produkcji ciepła z wodoru na potrzeby przemysłu), powracają one w różnych prezentacjach organizacji branżowych na świecie. Świadomość istnienia tych scenariuszy wydaje się być potrzebna przynajmniej dla tych podmiotów, np. producentów koksu, których pozycja może być zagrożona w wyniku przyszłych zmian.

PROJEKTY WODOROWE POLSKICH FIRM

W Polsce produkuje się obecnie ok. 1 megatonę wodoru rocznie. Zaspokaja to ok. 14 proc. całkowitej konsumpcji w UE[38]. Pozwoliłoby to – stosując wyliczenia amerykańskiego Departamentu Energii – na zasilenie 4,7 mln samochodów osobowych FCEV rocznie. To nieco ponad ¼ całej floty samochodowej w Polsce.

Za ponad 50 proc. produkcji są odpowiedzialne dwie spółki Skarbu Państwa – Grupa Azoty oraz Lotos (z dużo większą częścią przypadającą na Grupę Azoty). Prawie całość wyprodukowanego wodoru wykorzystywana jest jednak obecnie na cele wewnętrzne obu spółek:

- w Grupie Azoty przede wszystkim do produkcji amoniaku, potrzebnego z kolei do produkcji nawozów
- w Grupie Lotos na potrzeby procesu nazywanego hydrokrakingiem, który pozwala zwiększyć konwersję ropy naftowej (czyli pozwala zwiększyć ilość paliwa uzyskiwanego z jednej baryłki ropy);
  Dzisiaj to właśnie Grupa Lotos wydaje się być najbardziej zaawansowana w projektach mających na celu zwiększenie wykorzystania wodoru w gospodarce.

Grupa Lotos

W 2018 roku z inicjatywy Grupy Lotos powstał Klaster Technologii Wodorowych i Czystych Technologii Energetycznych, którego misją jest inicjowanie działań na rzecz zwiększenia znaczenia technologii wodorowych. Spółka podpisała dwa listy intencyjne z władzami miast Gdynia i Wejherowo na realizację dostaw wodoru do napędu autobusów z ogniwami paliwowymi.

Grupa Lotos ma szansę nie tylko być pierwszym w Polsce producentem oczyszczonego wodoru, który można zastosować w transporcie opartym na ogniwach paliwowych, ale także wybudować dwie pierwsze stacje umożliwiające tankowanie czystego wodoru. W czasie odbywającego się w grudniu 2018 roku w Katowicach szczytu klimatycznego COP24 z Connecting Europe Facility podpisana została umowa na finansowanie projektu „Pure H_2", dzięki czemu już za 2 lata wodór będzie można zatankować w bezpośrednim sąsiedztwie gdańskiej rafinerii oraz na warszawskiej stacji paliw sieci Lotos przy ul. Łopuszańskiej. Na obu stacjach dostępny będzie H35 (350 bar) lub H70 (700 bar). Koszt inwestycji wynosi blisko 10 mln euro.

Również Lotos realizuje projekt budowy dwóch prototypowych lokomotyw manewrowych o napędach hybrydowych oraz nawiązał współpracę ze stroną akademicką. Wreszcie, spółka podpisała list intencyjny z jedną ze spółek energetycznych planujących budowę morskich farm wiatrowych na Morzu Bałtyckim, zakładający realizację pilotażowego projektu produkcji wodoru przy wykorzystaniu procesu elektrolizy wody.

Innymi spółkami, które realizują obecnie projekty rozwojowe z zakresu wodoru, są m.in. Grupa JSW, PGNiG i Energa.

JSW

JSW pracuje nad dostosowaniem technologii separacji wodoru z gazu koksowniczego, która umożliwia otrzymanie produktu wysokiej czystości – wodoru z przeznaczeniem dla elektromobilności, zgodnego z wymaganiami czystości stawianymi przez ogniwa paliwowe. W połowie marca spółka jako pierwsza w Polsce ogłosiła przystąpienie do Europejskiego Stowarzyszenia Wodoru i Ogniw Paliwowych „Hydrogen Europe". Do stowarzyszenia należą światowe firmy najbardziej zaawansowane w rozwoju technologii wodorowych, m.in. 3M, Airbus, Alstom, Anglo American, Audi, BMW GROUP, China Energy, General Motors, Toyota.

PGNiG

PGNiG ogłosił w listopadzie 2018 r. rozpoczęcie projektu badawczego ELIZA. Projekt skupia się na analizie technologii wytwarzania wodoru z odnawialnych źródeł energii metodą elektrolizy oraz możliwości zatłaczania go do magazynów używanych dzisiaj do utrzymywania gazu ziemnego. Zgodnie z harmonogramem projekt ma się zakończyć w tym roku. Jeżeli rekomendacje okażą się pozytywne, na przełomie roku 2019/2020 może rozpocząć się proces komercjalizacji, który potrwa kilka lat.

Energa

Energa we współpracy z Instytutem Maszyn Przepływowych Państwowej Akademii Nauk realizuje obecnie projekt badawczo-rozwojowy Zaawansowane technologie pozyskiwania energii, w ramach którego zbudowano mikrofalowy układ rozproszonej produkcji wodoru. Opracowany układ mikrofalowego reformingu oczyszczonego biogazu (metanu) umożliwia rozproszoną produkcję wodoru na potrzeby małych i średnich przedsiębiorstw oraz dla transportu. W obecności katalizatora i pary wodnej układ może transformować około 22 kg/h metanu w około 7 kg/h wodoru. Paliwem może być dobrze oczyszczony biogaz, metan (H_2S < 2 ppm), metanol i inne.

NCBiR

Krajowe władze deklarują wsparcie działań mających na celu rozwój technologii wodorowych na etapie przedkomercyjnym. 1 marca 2019 r. rozpoczęła się druga faza programu Narodowego Centrum Badań i Rozwoju mającego na celu opracowanie technologii magazynowania wodoru. Zakwalifikowanych zostało do niej pięciu wykonawców. Każdy z nich otrzyma teraz nawet do 2,5 mln zł na realizację prac badawczo-rozwojowych (B+R). W ramach realizowanych prac B+R wykonawcy będą musieli opracować tzw. demonstratory (prototypy) proponowanych rozwiązań.

Gaz-System

Jeśli chodzi o możliwości zmniejszenia emisyjności procesu spalania gazu ziemnego poprzez zmieszanie go z wodorem, według informacji przedstawionych przez Gaz-System obecny stan infrastruktury przesyłowej pozwala (w niektórych jego częściach) na przesył paliwa, w którym udział wodoru będzie nie wyższy niż 10 proc.

Polskie Sieci Elektroenergetyczne

Operator elektroenergetycznego systemu przesyłowego nie przewiduje na razie wykorzystania technologii wodorowych do magazynowania energii i wsparcia procesu bilansowania systemu elektroenergetycznego, skupiając się głównie na technologii magazynowania energii elektrycznej przy użyciu baterii litowo-jonowych.

Powyższe informacje krajowych firm (zobacz także: mapa polskich projektów na str. 5) wskazują, że rynek wodoru jest w Polsce obecnie na etapie zalążkowym, choć podmioty mogące najbardziej skorzystać na nadchodzącej rewolucji wodorowej już dostrzegają potencjał nowych technologii.

JAK ROZWIJAĆ TECHNOLOGIE WODOROWE W POLSCE

Część 2

POLITYKA TECHNOLOGICZNA W ZAKRESIE TECHNOLOGII WODOROWYCH NA ŚWIECIE

W poprzednich częściach raportu wskazaliśmy, że możliwości wykorzystania wodoru w Polsce są bardzo szerokie. Wodór, oprócz klasycznych zastosowań przemysłowych, może przynieść naszej gospodarce wiele korzyści także w innych sektorach, począwszy od transportu, poprzez ogrzewanie domów, a skończywszy na ciepłownictwie i energetyce przemysłowej. Wodór to paliwo przyszłości, które może pozwolić na transformację wielu sektorów polskiej gospodarki w kierunku niskoemisyjnym. Może przyczynić się do poprawy jakości powietrza, a dzięki temu do obniżenia poziomu smogu w miastach. Wodór jako nośnik energii może być produkowany przy niskiej emisji gazów cieplarnianych z wielu różnych źródeł energii.

Ogniwa paliwowe przekształcają wodór w energię elektryczną i cieplną, często w sposób bardziej wydajny, czysty i niezawodny niż wiele innych technologii.

Wodór mógłby także przyczynić się do rozwiązania problemu magazynowania energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych, a przez to umożliwić jej wykorzystanie w innych sektorach[39].

Aby jednak wizja niskoemisyjnej, wodorowej gospodarki została zrealizowana, Polska musi podjąć wiele proaktywnych decyzji i działań. Obecnie nie możemy mówić ani o rynku wodoru, ani o rozwoju technologii wodorowych w Polsce. Pierwsze firmy dopiero deklarują działania w tym kierunku (patrz: Projekty wodorowe polskich firm), jednak Polska może w stosunkowo szybkim czasie dołączyć do czołówki państw rozwijających technologie wodorowe.

Dobrym punktem wyjścia do dyskusji o wykorzystaniu wodoru w Polsce jest przystąpienie naszego kraju do porozumienia w sprawie technologii wodorowych, co miało miejsce w październiku 2018 r. w Tokio. Jest to rzecz warta odnotowania, ponieważ Japonia ma dziś najbardziej zaawansowany program wodorowy na świecie – tylko na badania nad wodorem przeznaczyła dotąd 1,5 mld dol.

Oficjalnym celem strategii wodorowej w Japonii jest stworzenie „społeczeństwa wodorowego" – plan brzmi może futurystycznie, ale pokazuje poziom ambicji Japonii. Mechanizm współfinansowany przez rząd pozwala bardzo sprawnie testować nowe technologie wodorowe.

Dla Polski ważne jest zaś to, że obecnie Japonia zaczyna się dzielić efektami swoich wieloletnich prac nad wodorem z innymi krajami i szuka partnerów do komercjalizacji technologii wodorowych. Organizacja Rozwoju Nowych Technologii Energetycznych i Przemysłowych (NEDO) sponsoruje takie projekty w ramach wspólnego mechanizmu kredytowego (JCM) lub w ramach programu transferu technologii związanych z redukcją zużycia energii i efektywnością energetyczną. Ten interesujący mechanizm umożliwia również rozliczanie się z redukcji emisji poprzez transfer technologii, usług i produktów niskoemisyjnych do krajów rozwijających się. W ramach JCM od 2013 r. Japonia zaangażowała we współpracę 19 krajów[40]. Współpraca z Japonią może być ważnym impulsem dla polskich firm, które myślą o rozwoju technologii wodorowych.

1,5 mld dol.

tyle przeznaczyła dotąd Japonia na badania nad wodorem

Ten przykład pokazuje, że rozwój technologii wodorowych w Polsce jest realny i możliwy w najbliższej przyszłości. Polska dysponuje dużym potencjałem, jednak konieczny jest skoordynowany wysiłek, w który będzie zaangażowany sektor publiczny, z wyznaczonym, jasnym celem. Dobrym narzędziem, które warto wykorzystać są tzw. mapy technologiczne do rozwoju wodoru w Polsce.

Wyznaczanie map drogowych dla technologii

Na globalnych rynkach firmy stają przed wieloma wyzwaniami. Produkty stają się coraz bardziej złożone i jednocześnie coraz bardziej zindywidualizowane. Czas wprowadzania nowych produktów na rynek kurczy się, a ich żywotność jest

skracana. Badania i rozwój są kosztowne, a zmniejszone budżety uniemożliwiają indywidualnym przedsiębiorstwom samodzielne rozwijanie wszystkich technologii, które mogą być konieczne, aby sprostać przyszłemu rynkowi. Konkurencja jest globalna i ostra, zwłaszcza ze strony krajów, które są zaawansowane technologicznie oraz ze strony tych o niższych kosztach pracy. Coraz częściej bariery wejścia i rozwoju nowych technologii są bardzo wysokie, a państwa dysponują ograniczonymi środkami, które należy alokować w sposób efektywny[41].

Możliwość identyfikacji, oceny i wyboru sposobu osiągnięcia celów technologicznych spośród strategicznych alternatyw daje decydentom proces planowania nazywany mapowaniem drogowym technologii.

Robert Phaal z Uniwersytetu w Cambridge[42] wskazuje, że w przypadku planowania rozwoju nowych technologii tworzenie map technologicznych ma trzy podstawowe korzyści:

- pozwala na koordynację wysiłków różnych podmiotów zaangażowanych w rozwój technologii w gospodarce (cel koordynacyjny działań),
- zapewnia inwestowanie w badania i rozwój (B+R) określonych technologii w sposób długofalowy (cel innowacyjny/stabilnościowy),
- umożliwia zbudowanie ekosystemu dla wybranej technologii (cel sieciowy).

Powstały już różne rodzaje map rozwoju technologii wodorowych. Niektóre z nich mają charakter globalny i dotyczą globalnych łańcuchów wartości, inne – lokalny czy krajowy, przez co reprezentują różne podejście do rozwoju technologii wodorowych.

Członkowie International Energy Agency Hydrogen Technology Collaboration (IEA H2 TCP) – niezależnie od tego, czy są to państwa, jednostki regionalne, organizacje międzynarodowe, branżowe czy stowarzyszenia – opracowali specjalne programy badań nad wodorem i rozwoju konkretnych technologii. Kilka krajów członkowskich IEA H2 TCP – zwłaszcza Stany Zjednoczone, Japonia, Niemcy i Korea – jak również Komisja Europejska, mają dziś naprawdę solidne programy badawczo-rozwojowe o szerokim i dogłębnym zakresie tematycznym. Niektóre rządowe agencje badawczo-rozwojowe ściśle współpracują z przemysłem. Poszczególne państwa wpływają także na siebie nawzajem, jeśli chodzi o politykę rozwoju wodoru i jej wdrażanie, na przykład imponujące wysiłki amerykańskiego California Fuel Cell Partnership w celu zaprojektowania infrastruktury FCEV w Kalifornii były kontynuowane przez niemiecką National Organisation Hydrogen and Fuel Cell Technology poprzez stworzenie publiczno-prywatnej spółki H2 Mobility. Wraz z 17 partnerami branżowymi publiczno-prywatna H2 Mobility jest odpowiedzialna za rozwój niemieckiej infrastruktury do tankowania pojazdów wodorowych.

Międzynarodowe przykłady

Na całym świecie uwaga rządów co do możliwości wykorzystywania wodoru zwiększa się, zarówno jeśli chodzi o obszar B+R i tworzenie map technologicznych, jak i w kwestii rozwoju infrastruktury do tankowania[43].

Japonia

Japońska strategia opiera się na silnym przekonaniu, że wodór może stanowić odpowiedź na wyzwania energetyczne i klimatyczne kraju, który jest silnie uzależniony od importu paliw. Ma ona sprzyjać głębokiej dekarbonizacji sektorów transportu, energetyki, przemysłu i mieszkalnictwa, przy jednoczesnym zwiększeniu bezpieczeństwa energetycznego. To holistyczna, wielosektorowa strategia, mająca na celu stworzenie zintegrowanej gospodarki wodorowej. Japońska strategia obejmuje cały łańcuch dostaw, od produkcji do zastosowań rynkowych niższego szczebla. Sukces zależeć będzie przede wszystkim od konkurencyjności kosztowej i dostępności bezwęglowego paliwa wodorowego.

Japonia od dawna ma reputację państwa, które potrafi tworzyć i wdrażać długofalową politykę technologiczną. Początkowo projekt wodorowy był tylko projektem badawczym, jednak po dokładnym zdefiniowaniu potencjału – zarówno w produkcji wodoru, jak i w jego wykorzystywaniu jako paliwa – w 2014 roku Japonia ogłosiła swą mapę technologiczną[44]. Zgodnie ze strategiczną mapą drogową dla technologii wodorowych i ogniw paliwowych od 2016 r. w czterech ośrodkach (Tokio, Nagoya, Fukuoka, Osaka) rozwijane są technologie wodorowe.

Wiosną 2017 r. grupa 11 japońskich firm podpisała protokół ustaleń w sprawie rozszerzenia rynku ogniw paliwowych poprzez budowę systemu HRS. Były to: Toyota, Nissan, Honda, XTG Nippon Oil & Energy, Idemitsu Kosan, Iwatani Corporation, Tokyo Gas, Toho Gas, Air Liquide Japan, Toyota Tsusho Corporation i Development Bank of Japan. Japonia potwierdziła swoje zaangażowanie na rzecz zapoczątkowania pierwszego na świecie „społeczeństwa wodorowego". Celem strategii jest przede wszystkim obniżenie kosztów technologii wodorowych, zwłaszcza wodoru jako paliwa, tak by stał się

konkurencyjny kosztowo w stosunku do innych paliw, jak benzyna w transporcie i skroplony gaz ziemny (LNG) w produkcji energii. Cena detaliczna wodoru wynosi obecnie około 100 jenów za metr sześcienny, a celem jest obniżenie jej do 30 jenów/Nm3 (jednostka natężenia przepływu, stosowana w inżynierii) do 2030 r.[45]. W tym celu w ciągu ostatnich sześciu lat japoński rząd przeznaczył około 1,5 mld dol. na badania i rozwój technologii, a także wspierał finansowo badania i działania mające na celu:

- obniżenie kosztów produkcji wodoru,
- magazynowanie energii z wykorzystaniem wodoru,
- rozwój infrastruktury dla importu i krajowej dystrybucji wodoru,
- zwiększenie wykorzystania wodoru w różnych sektorach, takich jak transport, kogeneracja budynków mieszkalnych.

Do 2025 r. w kraju ma powstać 320 stacji tankowania wodoru.

Niemcy

Niemiecki rząd wskazuje, że technologie wodorowe (m.in. ogniw paliwowych) odegrają kluczową rolę w rozwoju mobilności i dostaw energii. W celu zagwarantowania dalszego rozwoju tych technologii już w 2006 r. rząd, przemysł i nauka uruchomiły strategiczny sojusz – Krajowy Program Innowacji w zakresie technologii wodoru i ogniw paliwowych (NIP)[46]. NIP ma na celu przyspieszenie procesu przygotowania rynkowego produktów opartych na technologii wodorowej. Wydatki w ramach NIP wyniosły już 1,4 mld euro. Federalne Ministerstwo Transportu i Infrastruktury Cyfrowej (BMVI) oraz Federalne Ministerstwo Gospodarki i Energetyki (BMWi) zapewniły wydatkowanie połowy tej kwoty, reszta jest finansowana przez przemysł uczestniczący w programie.

1,4 mld euro

tyle zainwestowały Niemcy w rozwój technologii wodorowych od 2006 do 2016 r.

Niemcy rozwijają także infrastrukturę do tankowania pojazdów wodorowych. Niezależnie od rejestracji samochodów FCEV w Niemczech powstanie 60 stacji tankowania wodoru. 35 już działa, 15 jest w budowie, 6 w fazie projektowej. Zgodnie z danymi Międzynarodowej Agencji Energii w 2017 roku w Niemczech działała już setka stacji ładowania pojazdów wodorowych.

Stany Zjednoczone

USA posiadają kilka map technologicznych dla rozwoju sektora wodoru, które wskazują perspektywy rozwoju tego rynku i korzyści dla gospodarki. Dwa najważniejsze projekty to program Hydrogen Energy Roadmap[47] oraz Vision of America's Transition to Hydrogen[48] z 2002 roku, które po wielu latach rozwijania przez Departament Energii zostały zaprezentowane w 2013 roku jako Hydrogen Research, Developlemt and Demonstration[49].

Na sfinansowanie programu wodorowego rząd federalny przeznacza 20 mln dol. rocznie. Zgodnie z planem do 2023 roku ma zostać uruchomionych 100 stacji tankowania wodoru (28 stacji już działa, 28 następnych jest w trakcie budowy).

Norwegia

Norwegia, podobnie jak w przypadku rozwoju pojazdów elektrycznych, w pierwszym etapie chce przygotować infrastrukturę do tankowania pojazdów wodorowych. Elementem drugiego etapu będzie wdrożenie zachęt podatkowych, które wpłyną na decyzje zakupowe konsumentów. Ocenia się, że koszty utworzenia i eksploatacji niezbędnej infrastruktury w okolicach Oslo wyniosą około 250 mln koron, czyli 30 mln euro. Całkowite inwestycje w infrastrukturę na terenie kraju w tym okresie mają wynieść około 85 mln euro[50]. Celem jest taka rozbudowa zaplecza, aby do 2025 r. istniała przepustowość dla co najmniej 10 000 pojazdów napędzanych wodorem.

Również sektor prywatny w Norwegii chce inwestować w wodór. Przykładem są dwie firmy: UNO_X, która prowadzi sieć stacji paliw w Norwegii i Danii, oraz NEL, norweska firma wodorowa, które mają solidne plany zbudowania 20 stacji tankowania wodoru do 2020 roku.

Chiny

Rozwój zielonej energii i pojazdów elektrycznych to jeden z dziesięciu priorytetowych sektorów gospodarki chińskiej. W 2016 r. opublikowano tam Plan działania na rzecz energooszczędnych technologii i nowych energooszczędnych pojazdów, który zawiera Technologiczną mapę drogową dla pojazdów napędzanych wodorem z ogniwami paliwowymi[51]. Celem Chin jest wprowadzenie do 2030 r. miliona pojazdów napędzanych paliwem wodorowym i zbudowanie ponad 1000 stacji do ich tankowania. W ramach programu rząd centralny wprowadził

także subsydia i ulgi podatkowe mające zachęcić obywateli do kupowania samochodów osobowych (rząd dopłaca 32 tys. dol./os. przy zakupie pojazdu) oraz dotację na zakup autobusów i ciężarówek w wysokości 48 – 79 tys. dol. Ciężar sfinansowania rozwoju sieci stacji ładowania spoczywa zaś na poszczególnych miastach i regionach Chin.

Działanie państwa

Powyższe przykłady pokazują, że rządy poszczególnych państw bardzo poważnie podchodzą do rozwoju technologii wodorowych i widzą w wodorze paliwo przyszłości. Oczywiście poziom ich zaangażowania jest rożny, ale wszystkie kraje łączy jedna wspólna cecha: polityka technologiczna wymaga zaangażowania sektora prywatnego i świata akademickiego.

Przykłady publiczno-prywatnej współpracy w zakresie projektów wodorowych przedstawia poniższa tabela.

Publiczno-prywatne inicjatywy wodorowe dotyczą każdego etapu rozwoju technologii. Podejście japońskie przewiduje publiczno-prywatny wehikuł inwestycyjny, którego celem jest wdrażanie konkretnych rozwiązań wodorowych w różnych sektorach. Projekty w UE natomiast koncentruje się obecnie na pracach badawczo-rozwojowych. Zakres współpracy państwa z przemysłem i światem akademickim może być naprawdę szeroki przy odpowiednio zaprojektowanej polityce technologicznej.

Przykłady inicjatyw publiczno-prywatnych w rozwoju technologii wodorowych

Europa	• Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertaking (FCH-JU, UE) • Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NOW GmbH, Niemcy) • Clean Energy Partnership (CEP, Niemcy) • Mobilité Hydrogène (Francja) • Scandinavian H2 Highway Partnership (SHHP, Skandynawia) • HyNor (Norwegia) • Hydrogen Sweden (wcześniej HyFuture, Szwecja) • UK H2 Mobility (Wielka Brytania)
Ameryka Północna	• CaFCP (Kalifornia) • H2USA (USA) • Canadian Hydrogen and Fuel Cell Association (CHFCA, Kanada)
Japonia	• The Research Association of Hydrogen Supply/ Utilization Technology (HySUT) • Fuel Cell Commercialisation Conference of Japan (FCCJ)

Rola państwa w rozwoju technologii

ETAP 1 Wczesna interwencja	ETAP 2 Tworzenie rynku dla nowej technologii	ETAP 3 Wdrażanie technologii i jej integracja
Państwo jako katalizator zmian	Regulator nowego rynku	Państwo jako inteligentny klient
Przyspieszenie innowacji (B+R)	Tworzenie standardów technicznych dla nowej technologii	Państwo jako pierwszy nabywca produktów nowych technologii
Dostosowanie umiejętności	Zachęty fiskalne dla nowej technologii	

Źródło: Opracowanie własne na podstawie International Energy Agency, Technology Roadmaps – a Guide to Development and Implementation. 2014, Phaal R., Farrukh C.J.P, Probert D.R. Visualising Strategy: a classification of graphical roadmap forms. Journal of Technology Management. 2009; 47. Automotive Council UK, Advanced Programme Propulsion Centre UK. Electrical Energy Storage Roadmap 2017.

Etap 1. Wczesna interwencja

- Państwo jako katalizator zmian – w obecnych czasach sektory publiczne wielu państw starają się aktywnie analizować łańcuchy wartości w celu identyfikacji, które technologie w dłużej perspektywie mogą być wartościowe dla gospodarki krajowej. Na tym etapie należy stworzyć mapę technologiczną dla wodoru.
- Przyspieszenie innowacji i procesu B+R w konkretnym obszarze – rząd posiada narzędzia i zasoby, aby skoncentrować wysiłki badawcze na wybranych zagadnieniach sektorowych (np. na rozwoju technologii wodorowej).
- Planowanie umiejętności – każda nowa technologia wymaga nowych umiejętności i wiedzy specjalistycznej. Rząd dysponuje narzędziami do uprzedniego wykształcenia specjalistów potrzebnych do pracy w nowej technologii. Wymaga to jednak odpowiednio wcześniejszego zaplanowania tych działań.

Etap 2. Tworzenie rynku dla nowej technologii

- Regulator nowego rynku. Rząd w naturalny sposób zapewnia otoczenie regulacyjne dla nowej technologii. Musi być ono adekwatne i znaleźć właściwy balans miedzy otwartością na zmiany, a bezpieczeństwem.
- Dostawca standardów dla branży – otwarta współpraca z branżą. Standardy na wczesnym etapie rozwoju technologii powinny być maksymalnie otwarte i nie mogą wykluczać żadnej technologii.
- Zachęty fiskalne – rząd może stworzyć system zachęt podatkowych do inwestowania w wodór, co będzie dużym bodźcem fiskalnym dla branży.

Etap 3. Wdrażanie technologii i jej integracja

- Państwo jako inteligentny klient. Sektor publiczny dysponuje narzędziami – zamówienia publiczne, partnerstwo innowacyjne – dzięki którym można wypracować pożądany produkt rynkowy. Obecnie państwa coraz częściej wykorzystują zamówienia publiczne nie tylko do zamawiania gotowych, wystandaryzowanych produktów, ale także do zamawiania nowych, innowacyjnych rozwiązań. W Polsce pozwala na to tryb partnerstwa innowacyjnego – zamawiający i sektor prywatny wspólnie wypracowują nowe rozwiązanie. Narzędzie to zostało w Polsce wykorzystane przez jedną ze spółek energetycznych do zamówienia innowacyjnych, inteligentnych liczników poboru energii.
- Państwo jako pierwszy nabywca – np. przez zakup aut napędzanych wodorem; rząd ma też wielu partnerów, którzy mogą być odbiorcami i kreować platformy zbytu dla nowej technologii.

POLITYKA TECHNOLOGICZNA W ZAKRESIE TECHNOLOGII WODOROWYCH W POLSCE

Powyższe przykłady pokazały, że metodyczne i długofalowe podejście do rozwoju technologii wodorowych jest charakterystyczne dla państw, które duży nacisk kładą na rozwój niskoemisyjnego transportu oraz chcą być liderami w zakresie tej technologii.

W przypadku Polski dość oczywiste wydaje się, że potrzebna jest jasna, strategiczna decyzja i przyjęcie celu politycznego, zgodnie z którym wodór, jako energia, ma odegrać ważną rolę w niskoemisyjnej gospodarce. Wdrożenie technologii wodorowych na masową skalę wymaga bowiem koordynacji ze strony państwa i znacznych zmian zarówno po stronie podażowej, jak i po stronie popytowej różnych sektorów gospodarki Polski.

Na obecnym etapie rozwoju technologii wodorowych sektor publiczny w Polsce powinien skupić się na dwóch etapach tworzenia mapy technologicznej: wczesnej interwencji oraz tworzeniu rynku dla technologii wodorowych.

Etap wczesnej interwencji

Analiza łańcuchów wartości w celu identyfikacji, czy technologie wodorowe w dłużej perspektywie mogą być wartościowe dla gospodarki krajowej. Na tym etapie należy stworzyć mapę technologiczną dla wodoru. Bazując na doświadczeniach innych państw oraz Międzynarodowej Agencji Energii, na tym etapie sektor publiczny powinien dokonać analizy:

- potencjału technologicznego wodoru w gospodarce krajowej,
- wpływu wodoru na łańcuch wartości,
- oddziaływania na środowisko,
- oceny potencjału tej technologii w połączeniu z branżami pokrewnymi.

Przyspieszenie wydatków na innowacje i procesy badawcze (B+R) w obszarze technologii wodorowych. Rząd powinien nadać wyższy priorytet finansowaniu badań w zakresie technologii wodorowych. W Polsce zasadniczym wyzwaniem będzie koordynacja finansowania i pracy różnych agencji rządowych, środków z funduszy unijnych, Polskiego Funduszu Rozwoju, NCBiR, zachęt podatkowych dla firm i jednostek badawczych, które mają rozwijać technologie wodorowe. Ten cel wymaga długofalowego podejścia, stworzenia przyjaznego otoczenia, ekosystemu dla nowej dziedziny oraz cierpliwości państwa jako tzw. inwestora pierwszej szansy[52].

Planowanie umiejętności. Już teraz należy nawiązać strategiczną współpracę z wiodącymi ośrodkami badawczymi, żeby wprowadzić do programu kształcenia zagadnienia związane z technologiami wodorowymi, aby w perspektywie kilku lat Polska miała odpowiednie kadry i zaplecze akademickie zdolne do pracy w tym sektorze gospodarki. Polska powinna włączyć się aktywnie w działania na arenie międzynarodowej, a zwłaszcza w prace MEA i Komisji Europejskiej.

Przykładowe działania państwa na tym etapie:

- opodatkowanie pojazdów w oparciu o emisję CO_2,
- wprowadzenie przywilejów dla pojazdów wodorowych, np. bezpłatne korzystanie z publicznego parkingu, korzystanie z buspasów, zwolnienie z opłat drogowych,
- normy oszczędności paliwa,
- dotacje na infrastrukturę związaną z sektorem wodorowym.

Tworzenie rynku dla nowej technologii

Państwo jako regulator i kreator nowego rynku wodoru: rząd w naturalny sposób zapewnia otoczenie regulacyjne dla technologii wodorowych w Polsce. Musi ono być adekwatne i znaleźć właściwy balans między otwartością na zmiany, a bezpieczeństwem użytkowników. Standardem międzynarodowym w zakresie podejścia regulacyjnego jest duża otwartość na pierwszym etapie rozwoju

technologii oraz wykorzystywanie prawa jako narzędzia do stymulowania rozwoju tej technologii.

Państwo jako dostawca standardów technicznych dla branży – oparte na zasadzie „showing, not telling", która zakłada otwartą współpracę z branżą. Standardy na wczesnym etapie rozwoju technologii powinny być maksymalnie otwarte i nie mogą wykluczać żadnej technologii. Przykładowo w innej mapie technologicznej rząd Wielkiej Brytanii opublikował standardy i zasady testowania pojazdów autonomicznych[53].

W przypadku wodoru mogłoby to być:

- opracowanie przepisów dotyczących bezpieczeństwa przy postępowaniu z wodorem, określenie maksymalnych udziałów mieszanki dla wodoru w gazie ziemnym, stworzenie standardów dla jakości mieszanek gazu ziemnego i wodoru oraz przepisów bezpieczeństwa, produkcja w ramach nowych ogólnoświatowych zharmonizowanych procedur testowych dla pojazdów lekkich (WLTP);
- zapewnienie standaryzacji sprzętu do tankowania wodoru.

W ramach kreowania rynku rząd może na przykład uruchomić zachęty fiskalne – stworzyć system zachęt podatkowych do inwestowania w wodór, co będzie dużym bodźcem fiskalnym dla branży. Przykładowe działania:

- udzielanie długoterminowych niskooprocentowanych pożyczek;
- przyznawanie dotacji na energię odnawialną;
- rozwój zielonych obligacji;
- ulgi podatkowe z tytułu inwestycji w technologie wodorowe;
- długoterminowe finansowanie B+R;
- dedykowane finansowanie uniwersytetów, które specjalizują się w technologiach wodorowych;
- nagrody konkursowe dla naukowców.

Lista działań, które powinien uwzględnić rząd dla rozwoju technologii wodorowych w Polsce:

1. Przyjęcie, że wodór jest technologią, która może przyczynić się do realizacji długoterminowych celów klimatycznych oraz ustalenie stabilnych i przewidywalnych ram i regulacji dla technologii wodorowej.

2. Opracowanie mapy technologicznej dla wodoru w Polsce.

3. Przyjęcie norm zachęcających do oszczędzania paliwa i technologii o niskiej emisji gazów cieplarnianych we wszystkich sektorach energetycznych.

4. Wzmocnienie regulacji dotyczących zużycia paliw i emisji CO_2 oraz emisji zanieczyszczeń dla pojazdów drogowych w sektorze non-ETS.

5. Oparte na emisji CO_2 opodatkowanie pojazdów oraz opodatkowanie związane z ruchem drogowym.

6. Harmonizacja kodeksów bezpieczeństwa i norm bezpieczeństwa dla infrastruktury wodorowej i infrastruktury detalicznej, jak również w przypadku pomiaru wodoru.

7. Wspieranie projektów badawczych zwiększających interakcję między różnymi sektorami energetycznymi, co pomaga w określeniu korzyści i wyzwań związanych z systemem.

8. Wspieranie badań niezbędnych do poprawy kluczowych technologii wodorowych, takich jak elektrolizery i ogniwa paliwowe.

9. Wspieranie zaangażowania rządu w projekty pilotażowe, w szczególności w odniesieniu do przesyłu wodoru, dystrybucji i rozwoju infrastruktury detalicznej.

10. Zajęcie się potencjalnymi barierami rynkowymi tam, gdzie istnieją możliwości wykorzystania technologii niskoemisyjnych w przemyśle (np. w rafineriach).

11. Rozszerzenie kampanii informacyjnych i programów edukacyjnych w celu zwiększenia świadomości społeczeństwa.

12. Współpraca międzynarodowa z państwami mającymi doświadczenia w rozwoju technologii wodorowych.

Prace analityczne niezbędne przy tworzeniu mapy technologii wodorowej:

- Identyfikacja najniższych kosztów projektowania systemu i metod produkcji ogniw paliwowych oraz elektrolizatorów.
- Oszacowanie wielkoskalowego potencjału mobilności pojazdów wodorowych poprzez sprawdzenie ich zasięgu na drodze.
- Oszacowanie pozycji polskich firm w łańcuchach wartości.
- Ewaluacja wykonalności ekonomicznej i rozbudowy możliwości w zakresie wytwarzania wodoru, przesyłu i dystrybucji na poziomie niezbędnym do zatankowania kilkudziesięciu tysięcy samochodów napędzanych wodorem.
- Przeprowadzenie pilotażowego projektu dotyczącego wodorowych systemów magazynowania energii w zastosowaniach na dużą skalę.

Współpraca rządu ze środowiskiem akademickim na obecnych etapach powinna mieć na celu:

- Analizę synergii między wodorem i OZE, przy uwzględnieniu kwestii magazynowania energii.
- Poprawę danych dotyczących dostępności zasobów, kosztów i formacji geologicznych odpowiednich do podziemnego magazynowania gazowych nośników energii.
- Opracowanie strategii klastra infrastruktury tankowania wodoru w technologii roll-out.
- Uwzględnienie i poprawę powiązań między różnymi systemami infrastruktury energetycznej (np. gazu ziemnego) w krajowych modelach systemów energetycznych.

PRZYPISY

1. Artykuł 2 Porozumienia Paryskiego
2. International Energy Agency: Energy Technology Perspectives https://www.iea.org/etp/explore/
3. Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking, Hydrogen Roadmap Europe: A sustainable pathway for the European Energy Transition, Luksemburg 2019, s. 9.
4. International Energy Agency, Renewables Information 2018, Paryż 2018, s. IX.
5. International Energy Agency: Renewables https://www.iea.org/topics/renewables/
6. M. Olczak, A. Piebalgs, Sector coupling : the new EU Climate and Energy Paradigm?, Florence School of Regulation 2018/17, s.2.
7. Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking, Hydrogen Roadmap Europe..., s. 40.
8. International Energy Agency, Technology roadmap Hydrogen Fuel Cells, Paryż 2015, s. 28.
9. Ibidem.
10. International Renewable Energy Agency, Hydrogen from..., s. 18.
11. Ibidem, s. 26.
12. G. Glenk, S. Reichelstein, Economics of converting renewable power to hydrogen, „Nature Energy", tom 4/2019, s. 218-219.
13. International Energy Agency, Global Trends and Outlook for Hydrogen, Paryż 2017, s. 33.
14. R. Tarkowski, Wybrane aspekty podziemnego magazynowania wodoru, „Przegląd Geologiczny", nr 5/tom 65/2017, s. 285.
15. International Energy Agency, Global Trends..., s. 7.
16. US Department of Energy, https://www.energy.gov/eere/fuelcells/fact-month-may-2018-10-million-metric-tons-hydrogen-produced-annually-united-states.
17. US Department of Energy, https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/16015_current_us_h2_production.pdf.
18. International Energy Agency: Tracking Clean Progress: Hydrogen https://www.iea.org/tcep/energyintegration/hydrogen/.
19. US Department of Energy, https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/16015_current_us_h2_production.pdf.
20. International Energy Agency, Renewables..., s. 36.
21. Hydrogen Council, Hydrogen Scaling Up, 2017, s. 60.
22. International Energy Agency, Technology roadmap..., s. 30.
23. Clean Energy Wire https://www.cleanenergywire.org/dossiers/energy-transition-and-germanys-power-grid.
24. European Environment Agency https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/transport-emissions-of-greenhouse-gases/transport-emissions-of-greenhouse-gases-11.
25. Ministerstwo Energii, Plan Rozwoju Elektromobilności w Polsce „Energia do przyszłości", Warszawa 2018.
26. Art. 2 pkt 6 ustawy z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych, Dz. U. 2018 poz. 317.
27. G. Morrison, J. Stevens, F. Joseck, Relative economic competitiveness of light-duty battery electric and fuel cell electric vehicles, "Transportation Research Part C: Emerging Technologies", tom 87/2018, s. 194.
28. International Renewable Energy Agency, Hydrogen from..., s. 28.
29. Główny Urząd Statystyczny, Przewozy ładunków i pasażerów w 2017 roku, Warszawa 2018, s. 1.
30. Eurostat https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Road_freight_transport_statistics.
31. Hydrogen Council, Hydrogen Scaling..., s. 31.
32. Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking, Hydrogen Roadmap Europe..., s. 27.
33. Z. Liu, China Progress on Renewable Energy Vehicles:Fuel Cells, Hydrogen and Battery Hybrid Vehicles, "Energies", nr 1/tom 12/2019, s. 2.
34. Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking, Hydrogen Roadmap Europe..., s. 35.
35. Ibidem, s. 48.

36. Główny Urząd Statystyczny, Efektywność wykorzystania energii w latach 2001-2011, Warszawa 2013, s. 54-55.
37. B. Gajdzik, Enerochłonność produkcji stali – analiza retrospektyna i prognostyczna, „Prace Instytutu Metalurgii Żelaza", nr 4/tom 68/2016, s. 37.
38. CertifHy, Overview of the market segmentation for hydrogen across potential customer groups, based on key application areas, 2015, s. 3.
39. https://www.iea.org/tcep/energyintegration/hydrogen/
40. Szczegółowy opis The Joint Crediting Mechanism dostępny na stronie: http://gec.jp/jcm/about/
41. R. Phaal, C.J. Farrukh, D.R. Probert, Technology roadmapping—a planning framework for evolution and revolution Tech. Forecast. Soc. Change, 71 (1) (2004), pp. 5-26
42. R. Phaal, Roadmapping for Strategy and Innovation: Aligning Technology and Markets in a Dynamic World. Univeristy of Cambridge, 2015.
43. D. Hart, Roadmapping w: "Science and Engineering of Hydrogen-Based Energy Technologies, Hydrogen Production and Practical Applications in Energy Generation" 2019, s. 357-382
44. Agency for Natural Resources and Energy, Ministry for Economy, Trade and Industry Japan. Summary of the Strategic Roadmap for Hydrogen and Fuel Cells. 2014.
45. M. Nagashima, Japan's Hydrogen Strategy and Its Economic and Geopolitical Implications, "Études de l'Ifri", Ifri, October 2018.
46. https://www.now-gmbh.de/en/national-innovation-programme
47. United States Department of Energy. National Hydrogen Energy Roadmap, 2002.
48. United States Department of Energy. A National Vision of America's Transtion to a Hydrogen Economy – to 2030 and beyond. 2002
49. United States Department of Energy, Multi-year Research, Development and Demonstration Plan, 2013.
50. Hydrogen Strategy 2014-2015 summary –Akershus County Council hydrogen commitment 2014.
51. Strategy Advisory Committee of the Technology Roadmap for Energy Saving and New Energy Vehicles (2016). Hydrogen Fuel Cell Vehicle Technology Roadmap. http://www.ihfca.org.cn/file/FCV%20Tech%20Roadmap.pdf
52. Mariana Mazzucato, The Entrepreneurial State: debunking public vs. private sector myths, 2016.
53. UK Department for Transport, The Pathway to Driverless Cars Summary report and action plan, London, 2015. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/401562/pathway-driverless-cars-summary.pdf