



Łukasiewicz

Instytut Organizacji i Zarządzania
w Przemysle ORGMASZ



**BEZPIECZEŃSTWO W
TECHNOLOGIACH WODOROWYCH
VIII - ZAGADNIENIA PODSUMOWUJĄCE
TEMAT BEZPIECZEŃSTWA W OBSZARZE
TECHNOLOGII WODOROWYCH**

BEZPIECZEŃSTWO W TECHNOLOGIACH WODOROWYCH

VIII

ZAGADNIENIA PODSUMOWUJĄCE TEMAT BEZPIECZEŃSTWA W OBSZARZE TECHNOLOGII WODOROWYCH

Warszawa, czerwiec 2023 r.

Recenzenci: prof. dr. hab. inż. Piotr Wolański, dr inż. Katarzyna Stec, dr inż. Renata Kulesza, dr hab. inż. Grzegorz Wojtasiewicz, dr inż. Antoni Migdał, dr inż. Piotr Wieczorek, Damian Wijatyk, dr inż. Kamil Kulesza

Kierownik projektu: dr Katarzyna Iwińska

Zespół projektu: dr Katarzyna Iwińska, dr inż. Kamil Kulesza, dr hab. Michał Wróblewski, Joanna Grudowska

Publikacja dofinansowana ze środków budżetu państwa w ramach programu Ministra Edukacji i Nauki pod nazwą „Nauka dla Społeczeństwa” nr projektu NdS 545480/2022/2022, kwota dofinansowania 1 410 152 zł, całkowita wartość projektu 1 410 152 zł.



**Bezpieczny
Wodór**



Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Organizacji i Zarządzania w Przemśle ORGMASZ
ul. Żelazna 87 00-879 Warszawa

SPIS TREŚCI

Spis treści	2
1. Wyniki wywiadów z uczestnikami badania oraz podsumowanie tych wywiadów.....	3
2. Identyfikacja kierunków rozwoju wodorowej inżynierii bezpieczeństwa	11
3. Wyznaczenie kierunków rozwoju wodorowej inżynierii bezpieczeństwa	12
4. Istota budowania strategii bezpieczeństwa w obszarze wodorowym	14
5. Podsumowanie raportów	15
6. Bibliografia	17

1. WYNIKI WYWIADÓW Z UCZESTNIKAMI BADANIA ORAZ PODSUMOWANIE TYCH WYWIADÓW

Wyniki wywiadów zostały przedstawione w załączniku nr 1 do niniejszego raportu. Opis metodologii wywiadów został opisany w raporcie nr 7. Można stwierdzić, że dobór respondentów do wywiadów pozwolił na zapoznanie się z szerokim spektrum spojrzenia przedstawicieli przemysłu, nauki oraz polityki na rozwój technologii wodorowych w Polsce i w Europie.

Respondenci w wywiadach skupiali się na ogólnych zagadnieniach związanych z technologiami wodorowymi, również odnosząc się niejednokrotnie do zagadnień wodorowej inżynierii bezpieczeństwa. Po analizie materiału z wywiadów, można stwierdzić, że obecnie najważniejszym obszarem w rozwoju tych technologii wodorowych są aspekty związane z ogólną możliwością ich rozwoju.

Wskazali oni, że głównym geopolitycznym aspektem w rozwoju gospodarki wodorowej jest konieczność podjęcia wyzwań, jakie stoją przed gospodarką z powodu globalnego ocieplenia, zawirowań politycznych, czy epidemicznych w połączeniu z dużą konkurencyjnością na rynku światowym, szczególnie w obszarze kosztów wytworzenia wodoru.

Respondenci zwrócili też szczególną uwagę na aspekty legislacyjne zarówno na poziomie europejskim, jak i krajowym. Wskazali oni, że Komisja Europejska jest odpowiedzialna za wyznaczanie kierunków rozwoju dla swoich członków. Wskazali również, że wodór miał w założeniu Komisji Europejskiej stanowić czynnik uniezależnienia się energetycznego Europy. Jednakże już dzisiaj wiadomo, że z powodu indywidualnych aspektów społecznych i klimatycznych Europy, konieczne będzie importowanie wodoru, co może zmniejszyć konkurencyjność rynku europejskiego. Respondenci wskazali również, że tworzone prawo jest czasami uwarunkowane oczekiwaniami krajów członkowskich czy innych podmiotów biznesowych. Na przykład Niemcy miały według respondentów duży wpływ na kształtowanie się polityki europejskiej w obszarze wodorowym. Respondenci obawiają się silnego lobbingu w toku tworzenia prawa na poziomie europejskim, co daje dużą niepewność rozwoju technologii wodorowych. Dobrym działaniem Unii Europejskiej w obszarze wodorowym jest finansowanie projektów wodorowych mających na celu przyspieszenie transformacji energetycznej^a.

Według respondentów Polska wciąż nie zdecydowała się na konkretne kierunki rozwoju w obszarze gospodarki wodorowej oraz że ciągle panuje niepewność związana z brakiem jasno zdefiniowanej strategii na najbliższe lata. Nie dokonano też wyboru pomiędzy formą rozproszoną czy scentralizowaną gospodarki wodorowej. Rozwój gospodarki wodorowej w Polsce jest również obarczony szeregiem barier makroekonomicznych, w tym wysoką inflacją. Obszar legislacji związany z technologią wodorową, również uzależniony jest według respondentów od regulacji unijnych. W efekcie mamy stan dwojaki, z jednej strony częściowo opisana jest większość wymogów technicznych takich jak przepisy precyzujące kwestie projektowania, instalacji czy eksploatacji rozwiązań wodorowych, przepisy bezpieczeństwa, rozporządzenia w sprawie ochrony przeciwpożarowej, odpowiednie standardy techniczne (głównie w oparciu o standardy międzynarodowe), jednak z drugiej strony brakuje polskich regulacji, ułatwiających wsparcie inwestycyjne oraz jasnego prawa

a Fundusze europejskie w obszarze wodorowym aktywne w okresie tworzenia niniejszego raportu –

https://single-market-economy.ec.europa.eu/industry/strategy/hydrogen/funding-guide/eu-programmes-funds_en zarchiwizowano: <http://archive.today/3nae4>

na poziomie krajowym. Respondenci wskazali również, że bardzo istotną rolę w gospodarce wodorowej w Polsce stanowią samorządy jako odbiorcy samej technologii, w tym pojazdów mobilnych takich jak autobusy, co może stanowić duży czynnik akcelerujący rozwój gospodarki wodorowej.

Według respondentów wodór wytwarzany w Polsce jest wciąż z paliw kopalnych, z którymi wiąże się duża emisyjność, z przeznaczeniem na aplikację głównie rafineryjną, chemiczną czy petrochemiczną. Brak jest też na rynku polskim dystrybutorów wodoru, gdyż firmy zajmujące się gazami technicznymi, mające doświadczenie w technologiach wodorowych nie zajmują się ich dystrybucją. Respondenci wymieniają Polskę obok Niemiec i Francji, jako jeden z głównych krajów mających perspektywę rozwoju w technologiach wodorowych, głównie z powodu szczególnie sprzyjających warunków geologicznych do magazynowania wodoru. Z drugiej strony samo położenie Polski jest bardzo strategiczne ze względu na możliwość wypracowania statusu kraju tranzytowego między północą, Ukrainą i resztą Europy.

Jednakże respondenci wskazują równocześnie, że inwestycje wodorowe, ze względu na swoją kapitałochłonność charakteryzują się długim okresem zwrotu. Wskazują również, że konsumpcja wodoru w obszarze mobilności, jako paliwa do aut i autobusów wodorowych stanowi jedynie margines popytowy w obszarze całej gospodarki wodorowej. Komercyjne technologie wodorowe znajdują się we wczesnej fazie rozwoju. Na rynku polskim brak jest pełnego łańcucha dostaw związanych z wodorem, jednakże w tym obszarze respondenci dopatrują się szans dla małych przedsiębiorstw, które wykazują się większą elastycznością i mogą dostosować się do zapotrzebowania rynku w krótkim czasie.

Jeżeli chodzi o ogniwa łańcucha wartości w gospodarce wodorowej w Polsce respondenci zwrócili uwagę na kilka obszarów związanych z tą technologią, takich jak wytwarzanie, magazynowanie, transport, dystrybucja czy wykorzystanie wodoru. Jak już wspomniano w obszarze wytwarzania respondenci kładą nacisk na doświadczenie polskiego przemysłu w obszarze wytwarzania wodoru ze źródeł nieodnawialnych, wysokoemisyjnych. Respondenci podkreślili, że doświadczenie polskiego przemysłu w obszarze szarego wodoru jest na tyle duże, że obszar bezpieczeństwa wodorowego w tym zakresie jest dobrze rozpoznany i wiedza ta może być wykorzystana w rozwoju nowych technologii wodorowych związanymi ze źródłami odnawialnymi. Szczególną uwagę należy zwrócić na proces elektrolizy, który jest w Polsce znany, jednakże nie jest wykorzystywany na dużą skalę do produkcji wodoru, a wodór jest produktem ubocznym w tym procesie. Respondenci szacują, że pierwsze niepilotażowe instalacje dedykowane produkcji wodoru zaczną powstawać w Polsce dopiero około 2025 roku. Ważnym aspektem jest również fakt, że na polskim rynku rozwija się technologia elektrolizerów alkalicznych i stałotlenkowych, na poziomie gotowości technicznej około poziomu piątego. Ciekawym zagadnieniem jest również fakt, że w zakresie elektrolizy na przykład stałotlenkowej, polskie podmioty posiadają patenty krajowe i zagraniczne^b, nie tylko w obszarze nauki, ale również w sferze biznesowej, co powoduje, że rozwijają polską technologię. Ograniczeniem w technologiach elektrolizy jest fakt, że podzespoły do produkcji elektrolizerów należy sprowadzać z zagranicy, brak jest bowiem lokalnych łańcuchów dostaw w tym zakresie. Reasumując Polska według respondentów w zakresie elektrolizy znajduje się na wczesnym etapie rozwoju technologicznego, technologie te mają lokalnie jeszcze istotne wady (tzw. syndrom wieku dziecięcego) i nie są konkurencyjne ani ekonomicznie opłacalne, a przede wszystkim nie ma w Polsce podmiotu, który dostarczyłby komercyjnie rozwiązania na większą, w opinii uczestnika badania skalę. Respondenci wskazali również, że bardzo ważnym aspektem produkcji odnawialnego wodoru jest dostęp do wody. Wskazali oni na wykorzystywanie

^b Zdaniem respondenta

wody szarej do procesu elektrolizy jako perspektywiczny kierunek wykorzystania wody odpadowej, z procesów przemysłowych oraz wody kopalnianej. Prace badawczo rozwojowe w tym obszarze prowadzone są bardzo intensywnie również ze względu na rozwój na Bałtyku morskiej energetyki wiatrowej oraz dostępność na tym akwenie wody o względnie niskim poziomie zasolenia^c.

Zdaniem uczestników wywiadów w obszarze transportu i dystrybucji na poziomie międzynarodowym wskazano, jako istotny obszar transportu wodoru z powodu konieczności importu oraz transportu wewnątrz kraju. Również porty w Polsce nie są przygotowane infrastrukturalnie i organizacyjnie na przyjęcie technologii wodorowych, a zmiany w tym zakresie są dosyć powolne. W porównaniu z portami europejskimi, porty polskie są zdecydowanie we wcześniejszej fazie rozwoju, szczególnie w obszarze planowania i konkretnych projektów. Przesył wodoru rurociągami przemysłowymi i dystrybucyjnymi jest również często brany pod uwagę w budowaniu strategii wodorowych polskich przedsiębiorstw, również w koncepcji przesyłu sieciami wysokiego ciśnienia^d. Strategiczny operator rurociągów przesyłowych prowadzi wstępne badania nad wykorzystaniem swojej infrastruktury w celu przesyłu wodoru już od około 10 lat. Wiąże się to z identyfikacją Polski jako jednego z 11 priorytetowych korytarzy związanych z infrastrukturą energetyczną Unii Europejskiej. Program „*European Hydrogen Backbone*”^e, który ma na celu określenie kluczowej roli infrastruktury wodorowej opartej na istniejących i nowych rurociągach wskazuje jednoznacznie na wykorzystanie sieci wysokiego ciśnienia do przesyłu wodoru dla odbiorców przemysłowych. Na poziomie krajowym prace w tym zakresie prowadzi główny dystrybutor gazu ziemnego który rozpoczął prace w tym obszarze w 2016 roku. Respondenci wskazują, że krajowa infrastruktura dystrybucyjna jest w różnym stanie technicznym, większość sieci powstała w latach 60 oraz 70. Dlatego też operator stoi przed wyzwaniem budowy nowych sieci krajowych do dystrybucji wodoru oraz modernizacji sieci już istniejących. Jest to ogromne wyzwanie ze względu na bezpieczeństwo związane z fizykochemicznymi właściwościami wodoru. Odbiór wodoru przez przemysł jest według respondentów o wiele prostszym przedsięwzięciem, ponieważ dysponuje on bezpieczną sprawną i nowoczesną infrastrukturą oraz ogromnym doświadczeniem również w obszarze bezpieczeństwa wodorowego. W obszarze prywatnej infrastruktury konsument nie będzie mógł być przez nikogo zmuszony do jej wymiany, co może prowadzić do ogromnego zróżnicowania poziomu technologicznego rozwiązań wodorowych.

Wodór może być też transportowany drogą wodną, śródlądową lub morską. Transport drogą morską jest szczególnym wyzwaniem związanym z bezpieczeństwem wodorowym, ponieważ uszkodzenie infrastruktury może prowadzić do wtórnych zjawisk kryzysowych. Jednocześnie są to metody rozpatrywane w strategiach wodorowych szczególnie w ujęciu wodoru jako substratu do produkcji amoniaku czy metanolu.

Szczególnym wyzwaniem jest według respondentów infrastruktura związana z dystrybucją wodoru poza obiektami przemysłowymi. W Polsce wciąż nie powstała jeszcze żadna stacjonarna stacja tankowania wodorem, funkcjonują tylko stacje mobilne, na potrzeby podmiotów instytucjonalnych korzystające z wodorowej floty samochodów osobowych oraz autobusów, dla porównania w Niemczech powstało już 150 stacji tankowania wodoru.

^c Obecnie na rynku prowadzi się prace badawczo rozwojowe w obszarze odsalania wody morskiej i użytkowania, jako źródło wody dla elektrolizerów.

^d ciśnienie powyżej 1,6MPa, ROZPORZĄDZENIE MINISTRA GOSPODARKI z dnia 26 kwietnia 2013 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać sieci gazowe i ich usytuowanie.

^eEuropean Hydrogen Backbone <https://ehb.eu/>, zarchiwizowano: <http://archive.today/jOcJ9>.

zakłada budowę minimum 32 stacji (razem stacjonarnych i mobilnych) do 2025 roku („Polska Strategia Wodorowa Do Roku 2030 Z Perspektywą Do Roku 2040”^{1f}). Mobilne stacje tankowania wodoru, jak również cysterny z wodorem są większym wyzwaniem, jeżeli chodzi o bezpieczeństwo wodorowe, niż stacjonarne stacje tankowania wodorem, ze względu na możliwość przemieszczania się, co wiąże się z dynamiką samego czynnika w zbiorniku oraz ewentualnymi kolizjami i wypadkami. Respondenci wskazywali również konieczność dywersyfikacji podmiotów mających zajmować się dystrybucją wodoru tak jak w przypadku tradycyjnych stacji paliw. Takie rozwiązanie według respondentów pozwoli na utrzymanie i budowanie odpowiedniego łańcucha dostaw w tym obszarze.

W obszarze magazynowania wodoru respondenci wskazali, że magazyny energii są obiektem szczególnie dynamicznego rozwoju oraz że jest to niezbędny komponent w większości rozwiązań technologii wodorowych w obszarze produkcji dystrybucji czy wykorzystanie wodoru. Techniczne aspekty bezpieczeństwa związane ze zbiornikami i magazynami wodoru dotyczą według respondentów głównie przenikalności wodoru, a więc kwestii materiałowych, ciśnienia oraz temperatury wodoru. Polska ma potencjał w zakresie magazynowania wodoru w kawernach solnych, jednakże respondenci nie ocenili jednoznacznie ekonomicznych aspektów tej technologii, co ma wpływ na budowanie strategii w tym obszarze. Respondenci podkreślali też możliwość wykorzystania doświadczenia z obszaru LNG^g, w tym również w zakresie technologii niskich temperatur.

Jednym z dominujących polskich ośrodków badawczych w obszarze zbiorników wodoru i magazynowania wodoru jest Politechnika Wrocławska, dysponująca specjalnym laboratorium, z którego korzystają również największe gracze przemysłowi.

W zakresie użytkowania wodoru respondenci stwierdzili, że technologii wodorowych w przestrzeni publicznej istnieje niewiele oraz że są to aspekty w bardzo silnej fazie rozwoju. Zwrócili szczególną uwagę, że inżynieria bezpieczeństwa oraz legislacja stoją przed sporym wyzwaniem związanym z rozproszeniem infrastruktury wodorowej. Energetyka i ciepłownictwo wykorzystują aktualnie wodór między innymi do chłodzenia generatorów, a perspektywicznie wodór ma być wykorzystywany jako magazyn energii w przypadku okresowej nadprodukcji energii z OZE^h i tutaj znów pojawia się problem rozproszenia, co według respondentów może z jednej strony być szansą, a z drugiej zagrożeniem dla ogólnego systemu obrotu wodorem w Polsce. Polska struktura rynku ciepłowniczego jest również rozproszona, co jest charakterystyczne dla krajów postkomunistycznych, na przykład Ukrainy. Ważnym aspektem jest również rozwój technologii zeroemisyjnych kotłów wodorowych, które są na obecnie na etapie patentowym w Polsceⁱ.

W przemyśle wodór jest wykorzystywany głównie jako surowiec do procesów technologicznych rafineryjnych i chemicznych, a także w przemyśle spożywczym. Zastosowanie wodoru odnawialnego w tym obszarze respondenci wskazują jako zjawisko niemożliwe w pełnym zakresie, jednakże wskazują, że należy zastąpić wodór wysokoemisyjny w jak największym stopniu.

Dostarczenie wodoru do sektora transportowego, jest to obszar kluczowy zarówno dla wytwórcy wodoru jak i dla konsumenta, również dla producenta ogniw paliwowych.

^f Przypisa autora.

^g LNG – Liquefied Natural Gas – skroplony gaz ziemny.

^h OZE – Odnawialne Źródła Energii.

ⁱ Przykład, <https://ewyszukiwarka.pue.uprp.gov.pl/search/pwp-details/P.436444> (Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej), zarchiwizowano: <http://archive.today/ffxdJ>.

Czystość wodoru jest według respondentów bardzo istotną kwestią, która ma wpływ również na obszar gwarancyjny urządzeń wykorzystujących wodór.

Według respondentów przemysł chemiczny oraz produkcja stali, to gałęzie, które będą zmuszone przesterować się na odnawialny wodór. Wskazują oni, że zielona stal mimo, że jest droższa będzie atrakcyjniejsza dla klientów. W przemyśle górniczym zaś, ze względów na małe bezpieczeństwo stosowania maszyn napędzanych wodorem, może być niebezpieczne. Natomiast w kopalniach odkrywkowych w perspektywie kolejnych 20 lat planuje się wprowadzenie wodoru jako paliwa do maszyn i urządzeń pracujących przy wydobywaniu.

Transport wodny, czyli śródlądowy i morski jest wskazywany przez respondentów, jako jeden z możliwych kierunków rozwoju wykorzystania wodoru jako paliwa. Jednakże możliwości zastosowania technologii związanych z wodorem w jednostkach pływających są zróżnicowane ze względu na ich specyfikę. Jednostki pływające powinny mieć bowiem jak największą przestrzeń ładowaną tak, żeby sprostać wyzwaniom ekonomicznym transportu morskiego i śródlądowego. Respondenci wskazują, że im większa odległość jaką pokonuje dana jednostka pływająca zastosowanie wodoru jako paliwa jest bardziej nieopłacalne, ze względu na zajmowanie dużej przestrzeni infrastruktury związanej z magazynowaniem wodoru. Respondenci wskazują tutaj paliwo LNG jako bardziej opłacalne, a jeżeli chodzi o wodór może on być wykorzystany do produkcji amoniaku, który będzie stanowił paliwo na jednostkach pływających. Inne zdanie mają respondenci na temat krótkich dystansów, na przykład transportu wodnego śródlądowego i tutaj wskazują, że technologie wodorowe mogą mieć szerokie zastosowanie.

Jeżeli chodzi o transport samochodowy to najbardziej rozwijającą się gałęzią transportu wodorowego w Polsce jest transport publiczny, zbiorowy. Dlatego też ważnym aspektem jest rozwój infrastruktury związanej z flotą autobusów wodorowych. Według respondentów będą one coraz powszechniejsze ze względu na dużą konkurencyjność producentów na polskim rynku. Miejskie zakłady transportowe wprowadzają już pierwsze autobusy w miastach takich jak Poznań, Kraków, Konin, Gdańsk czy Wałbrzych. Po stronie użytkownika takiego pojazdu jest zagospodarowanie infrastruktury, która stanowi co do zasady oddzielne zadanie przetargowe na etapie inwestycji, również w obszarze bezpieczeństwa. Transport osobowy będzie się rozwijać najwolniej ze względów ekonomicznych. Prognozuje się bowiem, że koszt nabycia pojazdu wodorowego będzie relatywnie wysoki. Dla rozwoju indywidualnego transportu wodorowego istotnym wsparciem byłoby uruchomienie publicznych mechanizmów wsparcia tak jak w przypadku aut elektrycznych.

Jeżeli chodzi o transport kolejowy respondenci wskazali manewrową lokomotywę wodorową^j, której odbiorcami mają być przewoźnicy cargo. Trwają również prace nad wykorzystaniem lokomotywy wodorowej na odcinkach niezelektryfikowanych, to jest na przykład na trasie Gdańsk-Hel. Jednak w tym przypadku również kluczową kwestią jest utworzenie odpowiedniej infrastruktury kolejowej do technologii wodorowych również w obszarze bezpieczeństwa.

Respondenci podczas wywiadu wskazali także bariery oraz szanse związane z technologiami wodorowymi w Polsce.

Jako główną barierę respondenci wskazali na brak dostępu do wodoru odnawialnego, również na brak energii pochodzącej z OZE do produkcji wodoru. Obecnie jest on bardzo ograniczony. Dzieje się tak według respondentów z powodu, że nie dokonywano

^j Przykład <https://pesa.pl/produkty/lokomotywy/sm42-6dn-hydrogen/>, zarchiwizowano: <http://archive.today/WjnKw>.

w ostatnich latach dużych inwestycji w OZE i jest około 10-15 lat opóźniony w tym obszarze, niż na przykład w stosunku do Niemiec. Inwestycje w OZE na polskim rynku nastroczają dużo problemów, chociażby z powodu słabości sieci przesyłowych oraz barier legislacyjnych. Z drugiej strony obecnie prowadzone są wzmożone inwestycje w OZE, na przykład farmy wiatrowe na Bałtyku. Będą one jednakże zlokalizowane tylko na północy kraju. Wytwarzanie wodoru z energii OZE z morskich farm morskich niesłoby za sobą konieczność rozwoju sieci dystrybucyjnej oraz transportowej. Finałowo respondenci wskazali na niestabilność dostaw energii pochodzącej z OZE co może wpływać negatywnie na pracę elektrolizerów.

Jeżeli chodzi o logistykę, rozwój gospodarki wodorowej wymaga według respondentów stworzenia systemu transportowania i dystrybucji wodoru. Jest to wg nich jeden z najbardziej problematycznych elementów wdrożenia technologii wodorowych w Polsce. Brak sieci stacji tankowania wodorem, krótkie odcinki dla transportu wodoru i brak koniecznej infrastruktury towarzyszącej spowalniają rozwój technologii wodorowej w obszarze transportu i dystrybucji.

Jak już wspomniano, dużym wyzwaniem w rozwoju polskiej gospodarki wodorowej zdaniem respondentów jest brak odpowiedniej jednoznacznej legislacji w tym obszarze. Brak prawa wodorowego powoduje, że wiele przepisów dotyczących technologii wodorowych jest niejasnych i trudnych w interpretacji również tych z obszaru bezpieczeństwa wodorowego. Problem rozproszenia legislacyjnego wiąże się również z resortową różnorodnością polityk. Różne departamenty mogą na wodór patrzeć przez pryzmat odmiennych interesów, co prowadzić może do konfliktów, a w rezultacie do sprzecznych aktów prawnych. Jeden z respondentów stwierdził, że departament odpowiedzialny za legislację w obszarze energetycznym, może stwierdzić, że przesterowanie na energię odnawialną może stanowić potencjalne zagrożenie dla bezpieczeństwa funkcjonowania tych sieci, natomiast z punktu widzenia departamentu rozwoju paliw alternatywnych i wodoru jest to zupełnie sprzeczny interes. Przemysł czeka na konkretne wytyczne np. w obszarze inżynierii bezpieczeństwa czy technologii budowlanych, brak tych rozwiązań przekłada się na duże ryzyko inwestycyjne, a w efekcie wycofywanie się potencjalnych inwestorów z projektów wodorowych. Ciekawostką może być fakt, że w Polsce nadal nie ma ustaw ani rozporządzeń regulujących kwestię stacji tankowania wodorem, ale wykorzystuje się w tym obszarze regulacje dotyczące CNG. Ważną kwestią są również luki legislacyjne, dotyczące jakości wodoru, jak również brak spójnej definicji wodoru jako paliwa czy definicji bio-wodoru.

Respondenci obawiają się, że tworzenie prawa będzie ukierunkowane na wytworzenie swoistego monopolu scentralizowanego w obszarze spółek Skarbu Państwa^k, z drugiej strony istnieje silna potrzeba regulacji w związku z specyfiką wodoru, chociażby ze względów bezpieczeństwa. Również obszar ubezpieczeniowy nie jest gotowy na technologie wodorowe ze względu na brak doświadczenia w szacowaniu ryzyk. Szacowanie ryzyk w tym obszarze jest ściśle związane z bezpieczeństwem wodorowym. Jednakże brak jest jasnych wytycznych, a informacje związane z danymi historycznymi są ograniczone. Powoduje to duże utrudnienia w procesie ubezpieczeniowym.

Jeżeli chodzi o bariery ekonomiczne głównym czynnikiem wskazywanym przez respondentów jest brak dostępu do programów wsparcia publicznego dla wszystkich elementów łańcucha wartości w technologiach wodorowych. W połączeniu z wysokim ryzykiem finansowym przekłada się to na niskie zainteresowanie inwestorów produktami i usługami związanymi z wodorem. Respondenci zwrócili również uwagę, że rozwój

^k Przypis autora, <https://kig.pl/nowelizacja-prawa-energetycznego-moze-zablokowac-rozwoj-ryнку-wodoru/> zarchiwizowano: <http://archive.today/2o6xX>.

technologii wodorowych wiąże się ze zamożnością społeczeństwa polskiego, która jest relatywnie niższa niż społeczeństwa zachodnioeuropejskiego.

Bardzo istotnym obszarem według respondentów jest konieczność wykształcenia, szkolenia odpowiednich kadr, zarówno w obszarze badawczo rozwojowym, użytkowym czy produkcyjnym. Szansę respondenci upatrują tutaj w zmianie pokoleniowej, która może wskazywać na większą otwartość społeczeństwa na technologie wodorowe, również w obszarze postrzegania tego medium jako bezpiecznego, na poziomie zadowalającym w ujęciu społecznym.

Ryzyka technologiczne, środowiskowe oraz społeczne wskazane przez respondentów to głównie właściwości samego wodoru, który jest substancją niebezpieczną, łatwopalną i wybuchową. Wskazują tutaj również na to, że potencjalny wyciek wodoru może być praktycznie niezauważalny. Zagrożeń to głównie konsumentom, a wyzwaniem według respondentów jest odpowiednie dobranie nawianacza do mieszanki gazowo - wodorowej, tam, gdzie to jest możliwe. Jeżeli chodzi o wodór odnawialny służący do tankowania, nie ma tutaj możliwości stosowania domieszek, aby gaz był "widzialny" i "wyczuwalny", ze względu na konieczną czystość wodoru. Respondenci wskazują tutaj na konieczność zastosowania odpowiednich zabezpieczeń i czujników, ale również poruszają temat tak zwanej „techniki miotły”, która polega na bardzo szerokim spektrum stosowania czujników oraz nadzoru ludzkiego. Technika ta według respondentów polega na użyciu dosłownie „miotły”, z którą pracownik przemieszcza się po hali/obszarze, sprawdzając czy nie zaistniał wyciek i wodór akurat się nie spala. Wskazuje to, że świadomości respondentów pomimo stosowania zaawansowanych systemów bezpieczeństwa nadal pozostaje medium bardzo niebezpiecznym również dla profesjonalistów.

Respondenci wymienili pełen wachlarz zagrożeń wynikających z właściwości wodoru takich jak palność, wybuchowość czy zjawisko korozji wodorowej. Również zwrócili uwagę na konieczność tworzenia tak zwanych stref bezpieczeństwa, na przykład na stacjach wodorowych, które zapewnić ma nie tylko spełnienie norm i wytycznych, ale również indywidualne podejście do bezpieczeństwa obsługi i użytkowników. Respondenci wskazują również, że wykorzystanie wodoru do produkcji amoniaku nie zamyka jego właściwości jako pierwiastka palnego, ponieważ amoniak również jest substancją niebezpieczną i podlega normom i wytycznym dla substancji niebezpiecznych.

Szanse związane z technologiami wodorowymi respondenci podzielili na ekonomiczne, polityczne, społeczne, środowiskowe, infrastrukturalne oraz technologiczne.

Ryzyka środowiskowe według respondentów, to nie tylko możliwość oddziaływania na zdrowie, życie i infrastrukturę, ale przede wszystkim ryzyko dostępności wody do produkcji wodoru w procesie elektrolizy. Wskazują oni, że możliwe jest wykorzystaniem wody szarej, czyli wody odpadowej z przemysłu, czy wody morskiej. Jednakże w tym przypadku konieczne jest opracowanie osobnych technologii oczyszczania, odsalania wody, tak by wodór wyprodukowanych w procesie elektrolizy mógł być odpowiednio czysty, a elektrolizer nie uległ awarii.

Ryzyka społeczne związane z wodorem to przede wszystkim akceptacja społeczna wodoru jako substancji niebezpiecznej. Respondenci wskazali, że rozwój technologii wodorowych musi opierać się na działaniach informacyjnych oraz edukacyjnych dla społeczeństwa. Powinien on wskazywać na odpowiednie zabezpieczenia związane z inżynierią bezpieczeństwa oraz edukować w zakresie koniecznej transformacji energetycznej z udziałem wodoru.

¹ Przypis autora, określenie potoczne.

Szanse ekonomiczne, to możliwość korzystnego wpływu na ekonomikę Skarbu Państwa w wyniku inwestycji w gospodarkę wodorową w dużej skali. Z uwagi na konieczność obliczania śladu węglowego rozwiązania te z czasem będą zyskiwały na konkurencyjności. Według respondentów istnieją elementy łańcucha wartości związanego z wodorem, w którym polski przemysł mógłby stać się konkurencyjny w skali międzynarodowej. Na przykład w obszarze komponentów do elektrolizerów. Według respondentów rozproszony system ciepłowniczy pozwala na budowanie mikrosystemów wykorzystujących technologie wodorowe, na przykład do ogrzewania obiektów. Jednakże w tym przypadku również niezwykle istotna jest kwestia bezpieczeństwa oraz akceptacji społecznej.

W obszarze politycznym rozwój gospodarki wodorowej jest jednym z elementów uniezależnienia się od zewnętrznych dostaw źródeł energii. Dodatkowo Polska leży w bardzo strategicznym miejscu w Europie, jeżeli chodzi o kanały transportu energii, co może przyczynić się do wejścia polskich przedsiębiorstw w łańcuch dostaw związanych z wodorem.

Społeczne szanse według respondentów, to nowe pokolenie, które jest bardziej świadome ekologicznie i bardziej otwarte na nowe rozwiązania. Korzyści środowiskowe jakie przynosi gospodarka wodorowa wpływa również na rozwój różnych sektorów w tym publicznych, na przykład transportowych.

Respondenci stwierdzili, że szanse środowiskowe związane z technologiami wodorowymi to przede wszystkim jego bezemisyjność oraz ogromny potencjał dekarbonizacyjny.

Szanse infrastrukturalne i technologiczne produkcji wodoru w Polsce to tworzenie habów wodorowych z instalacjami OZE, zlokalizowanymi blisko elektrolizerów. Model lokalnej produkcji i konsumpcji wodoru będzie budowany na bazie regulacji europejskich, które przewidują, że każdej nowej instalacji wodorowej będzie musiała towarzyszyć instalacja OZE. Jednakże Polska w tym obszarze jest nieco zapóźniona i nie ma dużo instalacji tego typu, dlatego też przewiduje się szybki rozwój tej gałęzi przemysłu. W Polsce istnieje duży potencjał odzysku ciepła odpadowego, respondenci wskazują, że wysokie temperatury mogą być wykorzystane do wytworzenia wodoru w elektrolizerach stałotlenkowych, dodatkowo w Polsce jest jej duży potencjał do magazynowania wodoru w kawiarniach solnych ze względu na budowę geologiczną naszego kraju, dodatkowo instalacjom wodorowym mogłoby towarzyszyć systemy przechwytywania wody w celu ponownego jej użycia w procesie elektrolizy.

2. IDENTYFIKACJA KIERUNKÓW ROZWOJU WODOROWEJ INŻYNIERII BEZPIECZEŃSTWA

Respondenci dużo chętniej niż na tematach bezpieczeństwa w technologiach wodorowych skupili się na ogólnym postrzeganiu rynku wodorowego w Polsce i w Europie. Według uczestników wywiadów wyzwania wodorowej inżynierii bezpieczeństwa, to głównie:

- brak barwy i woni wodoru,
- wyciek i zapłon wodoru,
- eksplozje,
- przenikanie wodorowe, korozja wodorowa^m,
- akumulacja wodoru w przestrzeniach zamkniętych.

Organizacje wprowadzające technologie wodorowe powinny wprowadzić spójny dokument dotyczący zarządzania bezpieczeństwem wodorowym. Jako przykład mogą tutaj posłużyć opublikowane przez Europejski Panel Bezpieczeństwa Wodorowego (EHSP) wytyczne do stworzenia dokumentu „Planowanie oraz zarządzanie bezpieczeństwem w projektach wodorowych oraz ogniw paliwowych”. EHSP propaguje również gromadzenie danych historycznych związanych z bezpieczeństwem wodorowym jako źródło wiedzy w procesie identyfikacji kierunków rozwoju inżynierii bezpieczeństwa.

EHSP ściśle współpracuje z Centrum Badawczym JRCⁿ (*Joint Research Centre*). Wspólne publikacje EHSP oraz JRC dostępne na stronie internetowej EHSP zawierają liczne wnioski i zalecenia dotyczące wodorowej inżynierii bezpieczeństwa.

Według opublikowanych przez organizację Partnerstwa na Rzecz Czystego Wodoru^o (*Clean Hydrogen Partnership*) Unii Europejskiej, wytycznych, dokument opisujący politykę zarządzania bezpieczeństwem wodorowym w organizacji powinien obejmować następujące obszary²:

1. Skrócony opis projektu,
 - informacje ogólne,
 - specyficzny charakter pracy (np. badania w skali laboratoryjnej,
 - rozwój inżynierii, prototyp, demonstracje,
 - lokalizacja (np. przemysłowa, publiczna, etc.),
 - identyfikacja obszarów projektu związanych z wodorem,
 - inne technologie i zagrożenia itp.
2. Projekt zagadnień bezpieczeństwa,
 - określenie podstawy prawnej oraz wytycznych, pod które podlega projekt,
 - identyfikacja zagrożeń,
 - wykonanie analizy ryzyka,
 - określenie wszystkich strategii zapobiegawczych,

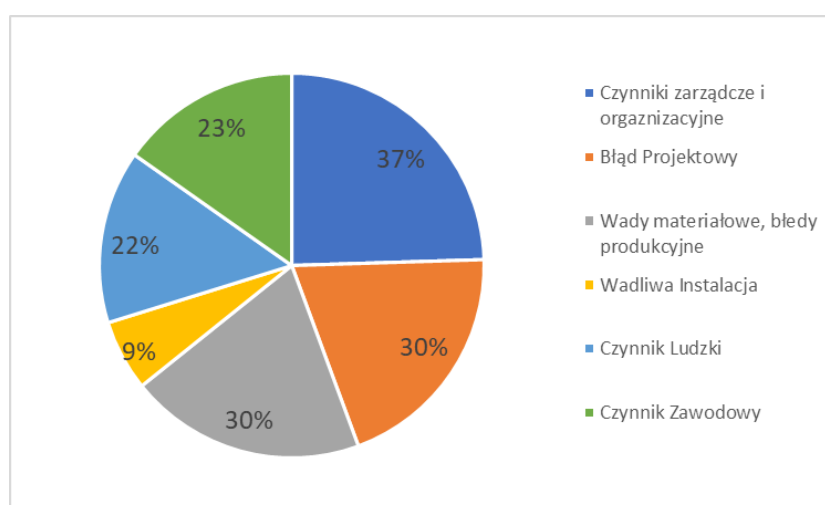
^m Korozja wodorowa - zespół zjawisk związanych z obniżaniem właściwości plastycznych i wytrzymałościowych metali pod wpływem działania na nie wodoru, polegający na uszkodzeniach metali (głównie stali) wskutek zmian ich struktury spowodowanych wnikaniem atomowego wodoru w głąb tworzywa metalicznego (PWN).

ⁿ JRC – Joint Research Centre, Wspólne Centrum Badawcze przy Komisji Europejskiej. JRC zapewnia niezależną, opartą na dowodach wiedzę i naukę, wspierając politykę UE mającą na celu wywieranie pozytywnego wpływu na społeczeństwo.

^o Partnerstwo na Rzecz Czystego Wodoru - jest następcą Joint Undertaking Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking (FCH 2 JU) i przejęło jego dotychczasowe portfolio z dniem 30 listopada 2021 r.

- spis wszystkich zastosowanych zabezpieczeń i procedur, stosowana technologia łagodzenia zagrożeń (mitygacji).
3. Zarządzanie operacyjne,
- określenie wartości nominalnych i granicznych (krytycznych) dla procesu,
 - zapoznanie się z listami kontrolnymi dotyczącymi uruchamiania i/lub wyłączania systemu, instrukcją obsługi etc.,
 - plany i implementacja procedur alarmowych, ewakuacji etc.,
 - plany i implementacja monitorowania i przeglądów okresowe,
 - zgłaszanie zdarzeń związanych z bezpieczeństwem i wyciągniętych wniosków,
 - wykorzystywanie baz danych zdarzeń historycznych jako bazy wiedzy,
 - schemat blokowy procesu lub przynajmniej diagram uproszczony,
 - karty materiałowe, listy kontrolne, procedury bezpieczeństwa.

Rysunek 1 przedstawia główne przyczyny zdarzeń kryzysowych w technologiach wodorowych.



Rysunek 1 Główne przyczyny zdarzeń kryzysowych w technologiach wodorowych, opracowano na podstawie².

Jak widać z powyższego zestawienia czynniki wywołujące zdarzenia kryzysowe w technologiach wodorowych biorą swoje źródło z różnych obszarów działania przedsiębiorstwa czy systemu, dlatego tak ważne w procesie identyfikacji zagrożeń oraz opracowywania działań zaradczych jest budowanie międzydyscyplinarnych zespołów w procesie analizy ryzyka oraz przeprowadzanie szkoleń na każdym poziomie operacyjnym i zarządczym przedsiębiorstwa.

3. WYZNACZENIE KIERUNKÓW ROZWOJU WODOROWEJ INŻYNIERII BEZPIECZEŃSTWA

Respondenci wskazywali, że obszar inżynierii bezpieczeństwa jest kluczowym obszarem rozwoju technologii wodorowych, również ze względu na akceptację społeczną tych technologii. Jednakże, można równocześnie zauważyć, że respondenci pełniący wysoką funkcję zarządczą, lub przedstawiciele obszaru legislacyjnego skupiali się znacznie częściej na funkcjonalności oraz ekonomice technologii wodorowych.

Wyznaczenie kierunków rozwoju inżynierii bezpieczeństwa jest podyktowane głównie zmianami w prawie oraz zmianami wytycznych branżowych. Respondenci zwrócili uwagę, że istnieją międzynarodowe regulacje europejskie i amerykańskie, na których opierają się obecnie instytucje certyfikacyjne, które zawsze indywidualnie wyznaczają zakres

obowiązujących wytycznych i norm w tym obszarze. Wprowadza to nieco chaosu w procesy inwestycyjne dotyczące wodoru, ale dają z drugiej strony zamknięty katalog wytycznych związanych m. in. z bezpieczeństwem wodorowym.

Niezwykle ważne w obszarze inżynierii bezpieczeństwa jest opieranie się na wiedzy i doświadczeniu branży, również w ujęciu historycznym. Podstawowym kierunkiem rozwoju wodorowej inżynierii bezpieczeństwa jest więc wymiana doświadczeń, tworzenie faktycznych sieci informacyjnych, czy baz danych zdarzeń kryzysowych. Bardzo ważnym obszarem w tym zakresie jest zabezpieczenie infrastruktury wodorowej przed cyberatakami oraz innymi zdarzeniami związanymi z terroryzmem.

Zagrożenia związane z obszarem wodorowym wykraczają poza obszar zabezpieczeń przed ryzykiem awarii, z powodów technicznych czy organizacyjnych.

Tabela 1 opisuje analizę zagrożeń wynikających z działań człowieka.

Tabela 1 Analiza zagrożeń, opracowanie na podstawie³

Rodzaj zagrożenia	Motywacje	Potencjalne zdarzenia	Zdolność zagrożenia
Terrorysta	Motywacje ekstremistyczne polityczne, religijne etc.	Używa broni, materiałów wybuchowych, atakuje pracowników, klientów, przypadkowe osoby i infrastrukturę	Ataki są zorganizowane, terrorysta jest sprawny i często posiada wsparcie, posiada przy sobie przedmioty niebezpieczne
Aktywista	Wykluczenie technologii wodorowych	Powoduje publiczne zakłopotanie, czasami atakuje obsługę i klientów,	Aktywista często posiada wsparcie oraz niebezpieczne przedmioty, działa fizycznie, lub poprzez media, często organizuje zgromadzenia publiczne
Podpalacz	Czynniki zdrowotne, materialne, etc.	Powoduje pożar	Używa przedmiotów łatwopalnych
Niezadowolony pracownik	Motywacja wynikająca z problemów prywatnych/służbowych	Atakuje ludzi i uszkadza wyposażenie	Ma dostęp do stref bezpieczeństwa, funkcjonalny, fizyczny etc.
Złodziej	Motywacje materialna	Zajmuje wartościowe przedmioty, w tym pieniądze czy elementy infrastruktury	Często posiada przy sobie niebezpieczne przedmioty
Niezadowolony kierowca ciężarówki	Motywacja wynikająca z problemów prywatnych/służbowych, niezadowolony z rozkładu fabryki, czasu pracy etc.	Atakuje ludzi i uszkadza wyposażenie	Może używać ciężarówki niezgodnie z przeznaczeniem

Obecnie z powodów społeczno-politycznych w wodorowej inżynierii bezpieczeństwa powinno się brać pod uwagę aspekty takie jak: terroryzm, cyberbezpieczeństwo, czynnik ludzki związany z zachowaniami nie wynikającymi bezpośrednio z błędu ludzkiego.

Obszar ten powinien stać się przedmiotem badań oraz rozwoju, w celu ustalenia zabezpieczeń dodatkowych minimalizujących niebezpieczeństwo wynikające z celowych działań człowieka.

4. ISTOTA BUDOWANIA STRATEGII BEZPIECZEŃSTWA W OBSZARZE WODOROWYM

Tworzenie strategii, w tym strategii w obszarze wodorowym, to przede wszystkim wyznaczenie celów oraz sposobów ich osiągnięcia, również w niepewnym otoczeniu.

W dokumencie opublikowanym przez Ministerstwo Klimatu i Środowiska we współpracy z ESPERIS Sp. z o.o.⁴ jasno wskazano, że elementem strategii wodorowej dla Polski jest rozwój lokalnych inwestycji wodorowych, a finansowanie tych rozwiązań powinno odbywać się za pośrednictwem dolin wodorowych. Istotą budowania strategii w obszarze wodorowym, w tym w obszarze bezpieczeństwa wodorowego jest stworzenie polityki możliwej do szybkiej adaptacji w zmieniającym się otoczeniu prawno-technologicznym, w tym również presji otoczenia prawno-legislacyjnego oraz społecznego.

W powyższym opracowaniu zwrócono uwagę, na to, że wiele czynników technologicznych stanowi barierę dla rozwoju gospodarki wodorowej, co potwierdza informacje przekazane przez respondentów podczas przeprowadzonych wywiadów.

Skala oddziaływania tych czynników zaprezentowana została od najniższej⁴:

- powolny rozwój i skalowanie CCS/CCU^p,
- zróżnicowana dojrzałość technologii produkcji wodoru,
- dostępność komponentów,
- modernizacja i rozbudowa infrastruktury transportowej,
- technologie wodorowe w przemyśle,
- rozwój technologii magazynowania wodoru.

Prawdopodobieństwo wystąpienia powyższych czynników oszacowano wg. kolejności od najbardziej prawdopodobnych:

- modernizacja i rozbudowa infrastruktury transportowej,
- technologie wodorowe w przemyśle,
- rozwój technologii magazynowania wodoru,
- rosnąca efektywność OZE,
- zróżnicowana dojrzałość technologii produkcji wodoru,
- dostępność komponentów,
- wodór w transporcie,
- inteligentne zarządzanie popytem,
- powolny rozwój i skalowanie technologii CCS/CCU^p.

Jak widać z wyników wywiadów, konieczne do rozwiązania są ograniczenia dotyczą głównie transportu i magazynowania wodoru, co implikuje rozwijanie technologii bezpieczeństwa w tym zakresie. Dla zachowania opłacalności w tym obszarze należy wypracować odpowiednie rozwiązania w obszarach właściwości wodoru oraz możliwości jego masowego transportu oraz magazynowania.

Budowanie strategii bezpieczeństwa wodorowego pozwala na rozpoznanie możliwości w tym zakresie, również w obszarze ekonomiczno-finansowym. Aspekty bezpieczeństwa

^p CCS – Carbon Capture and Storage, CCU – Carbon Capture Utilisation – systemy wychwytywania, składowania oraz wykorzystywania CO₂

powinny być względnie dobrze opisane już na etapie studiów wykonalności, ponieważ stanowią one znaczną część nakładów inwestycyjnych, niemożliwych do pominięcia w procesie eksploatacyjnym.

Respondenci wskazali możliwości rozwoju gospodarki wodorowej w perspektywie najbliższych 30 lat. Wskazali oni, że w obszarze transportowym prognozują, że najszybciej rozwinie się wzrost wykorzystania wodoru w transporcie publicznym wraz z powstaniem 15-20 stacji tankowania wodorem do roku 2030. Jako obszary w oddalonym do 2050 roku kadrze realizacji wskazali znaczący wzrost udziału aut wodorowych w rynku oraz zakończenie eksploatacji pojazdów szynowych napędzanych paliwami konwencjonalnymi.

Jako prognozę możliwą do realizacji do roku 2030 w obszarze przemysłowym respondenci wskazali znaczne zwiększenie udziału wodoru w przemyśle rafineryjnym, instalacjach przemysłowych oraz przemyśle nawozowym. W tym samym okresie prognozują też dla obszaru energii i ciepłownictwa bardzo dynamiczny wzrost mocy dostarczonej z OZE oraz transformację lokalnych ośrodków, w tym samorządów na zasilanie wodorem.

Jeżeli chodzi o prognozy respondentów w odniesieniu do łańcucha wartości technologii wodorowych, respondenci wskazali, że do roku 2030 nie przewidują dużego wzrostu produkcji, a co za tym idzie handlu hurtowego wodorem, co może być spowodowane ostrożnością inwestorów oraz brakiem współpracy między nimi. Respondenci wykazują nieco większy optymizm w tym zakresie w kadrze do 2040 roku.

Respondenci prognozują, że polska gospodarka wodorowa do 2030 roku wykorzysta potencjał związany doświadczeniami z szarym wodorem oraz że trwające już prace nad rozwiązaniami wodorowymi dają szansę szybkiego rozwoju w tym obszarze. Prognozują również, że do 2050 roku będziemy mieć ok. 30% udział wodoru w gospodarce, będziemy mieć możliwości czerpania korzyści ze skalowanej produkcji wodoru, wykorzystując kierunki rozwoju legislacji europejskiej w kierunku wykorzystania wodoru we wszelkich obszarach związanych z efektywnością energetyczną.

Informacje uzyskane od respondentów i z publikacji oraz artykułów budują obraz niestabilności rynku wodorowego w Polsce oraz wskazanie konieczności uporządkowania tych aspektów w celu szybkiego rozwoju. Polska Strategia wodorowa powinna być budowana również na podstawie strategii poszczególnych interesariuszy, cele jakie sobie wyznaczają, będą bowiem krokami milowymi w polskiej dekarbonizacji związanej z wodorem. Oczywiście legislacja nie powinna zatracać swojej roli drogowskazu dla rozwoju rynku, jednak bez wzajemnej komunikacji rozwój gospodarki wodorowej może zostać znacznie spowolniony.

5. PODSUMOWANIE RAPORTÓW

Sporządzono osiem raportów, których celem był przegląd technologii wodorowych, również w obszarze bezpieczeństwa, jako tło do wywiadów z 24 respondentami z obszaru wodorowego. Źródło wiedzy eksperckiej przy tak niestabilnym otoczeniu legislacyjnym oraz rozproszeniu technologii wydaje się być niezwykle istotne, aby określić trendy w strategiach wodorowych, w tym w obszarze bezpieczeństwa.

Reasumując wypowiedzi respondentów można stwierdzić, że pozytywne hipotezy związane z rozwojem technologii wodorowych w Polsce, to:

- rozwój technologii wodorowych jest prowadzony w dynamicznym tempie i nie jest do zatrzymania,
- uruchomienie polskich technologii wodorowych: budowa polskiego IP, know-how, wspieranie polskiej gospodarki, żeby nie kupować technologii z zagranicy,

- kluczową kwestią dla polskiej gospodarki wodorowej jest uruchomienie polskiej fabryki elektrolizerów i polskiej fabryki zbiorników wodorowych. Stworzenie rozwiązań, które będą konkurencyjne ze światowymi i ekonomiczne dla Polski. Jeżeli roczna produkcja ma wynosić 2 GW do roku 2030, to nawet jeżeli polska fabryka nie pokryje całego zapotrzebowania, może pokryć je w części, a w pozostałej będziemy się wspierać technologiami z zagranicy lub innymi krajowymi technologiami,
- opracowanie tańszych katalizatorów związanych z produkcją i wykorzystaniem wodoru będzie bardzo ważnym elementem dla obniżenia kosztów produkcji i ceny wodoru.

Negatywne zaś:

- wódór nie rozwinie się, bo będzie brakować surowców do stworzenia nowej bazy technologiczno-infrastrukturalnej,
- Polska będzie wykorzystywać zagraniczne technologie, ze względu na brak własnych, opracowanych technologii i wdrożeń. Mogą pojawić się praktyki, mające na celu zablokowanie dostępu dla technologii dla wybranych regionów,
- nie będziemy mogli zapewnić podaży na popyt na elektrolizery zarówno, jeżeli chodzi o krajową produkcję elektrolizerów oraz o dostępność na rynkach zagranicznych (będzie mocno ograniczona, w tym momencie fabryki są zakontraktowane do 2029 r.). To przyczyni się do blokady już na pierwszym, podstawowym ogniwie łańcucha wartości uniemożliwiając dalszy rozwój. Ryzykiem jest długi czas oczekiwania na elektrolizery, według uczestników wywiadów, nawet do dziesięciu lat.

W każdym z powyższych obszarów kluczową rolę pełni wodorowa inżynieria bezpieczeństwa, która będzie obok akceptacji społecznej oraz wytycznych legislacyjnych podstawą budowania strategii wodorowych dla polskich przedsiębiorstw.

6. BIBLIOGRAFIA

¹ „Polska Strategia Wodorowa Do Roku 2030 Z Perspektywą Do Roku 2040”, Warszawa 2021 r., <https://www.gov.pl/web/klimat/polska-strategia-wodorowa-do-roku-2030> , str. 16, data uzyskania dostępu 28-03-2022, archiwum: <https://archive.ph/2Z0X3> zarchiwizowano 10-06-2023 r.

² Clean Hydrogen Partnership, 22 04 2022, https://www.clean-hydrogen.europa.eu/media/news/webinar-safety-planning-and-management-eu-hydrogen-and-fuel-cell-projects-2022-03-30_en., dostęp 28-03-23, archiwum: <http://archive.today/Es4Gl>.

³ Nakayama, J. et al., „Security risk analysis of a hydrogen fuelling station with an on-site hydrogen production system involving methylcyclohexane”, 07-2019, <https://h2tools.org/sites/default/files/2019-07/Paper-134.pdf>, dostęp: 28-03-2023, archiwum: <http://archive.today/zPsiu>.

⁴ „Analiza instrumentów wsparcia finansowego dla rozwoju rynku wodoru w Polsce,” Ministerstwo Klimatu i Środowiska, Warszawa, 2023.



Łukasiewicz

Instytut Organizacji i Zarządzania
w Przemśle ORGMASZ



BEZPIECZEŃSTWO W TECHNOLOGIACH WODOROWYCH

ZAŁĄCZNIK DO: VII - ZAŁOŻENIA
TECHNICZNE I TECHNOLOGICZNE ORAZ
PRZEGLĄD STRATEGII WODOROWYCH

**STAN I PERSPEKTYWY ROZWOJU
GOSPODARKI WODOROWEJ W POLSCE:
OPINIE EKSPERTÓW.**

ZAŁĄCZNIK „STAN I PERSPEKTYWY ROZWOJU GOSPODARKI WODOROWEJ W POLSCE: OPINIE EKSPERTÓW”

DO: BEZPIECZEŃSTWO W TECHNOLOGIACH WODOROWYCH

VII

ZAŁOŻENIA TECHNICZNE I TECHNOLOGICZNE ORAZ PRZEGLĄD STRATEGII WODOROWYCH

Warszawa, czerwiec 2023 r.

Recenzenci: prof. dr. hab. inż. Piotr Wolański, dr inż. Katarzyna Stec, dr inż. Renata Kulesza, dr hab. inż. Grzegorz Wojtasiewicz, dr inż. Antoni Migdał, dr inż. Piotr Wieczorek, Damian Wijatyk, dr inż. Kamil Kulesza

Kierownik projektu: dr Katarzyna Iwińska

Zespół projektu: dr Katarzyna Iwińska, dr inż. Kamil Kulesza, dr hab. Michał Wróblewski, Joanna Grudowska

Publikacja dofinansowana ze środków budżetu państwa w ramach programu Ministra Edukacji i Nauki pod nazwą „Nauka dla Społeczeństwa” nr projektu NdS 545480/2022/2022, kwota dofinansowania 1 410 152 zł, całkowita wartość projektu 1 410 152 zł.



Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Organizacji i Zarządzania w Przemśle ORGMASZ
ul. Żelazna 87 00-879 Warszawa

SPIS TREŚCI

Wstęp	4
Metodologia	6
Wyniki badania	5
Uwarunkowania rozwoju wodoru	5
Geopolityka	5
Polityka i prawo w Unii Europejskiej	5
Polityka i prawo w Polsce	6
Rynek	7
Ogniwa łańcucha wartości	9
Wytwarzanie	9
Transport i dystrybucja	12
Magazynowanie	16
Użytkowanie	17
Bariery	20
OZE i kwestia odnawialnego wodoru	20
Logistyka i infrastruktura	21
Regulacje i legislacja	22
Bariery ekonomiczne	24
Kadry	24
Ryzyka	24
Technologiczne	25
Środowiskowe	25
Społeczne	26
Szanse	26
Ekonomiczne	26
Polityczne	27
Społeczne	27
Środowiskowe	28
Infrastrukturalne	28
Technologiczne	28
Potencjał i scenariusze rozwoju gospodarki wodorowej w Polsce	29

WSTĘP

Niniejsze opracowanie przedstawia rezultaty badania eksperckiego dot. aktualnego stanu i perspektyw rozwoju gospodarki wodorowej ze specjalnym uwzględnieniem szeroko pojętego bezpieczeństwa technologii wodorowych oraz procesu ich wdrażania. Raport omawia uwarunkowania rozwoju polskiej gospodarki wodorowej, aktualny stan rozwoju każdego z ogniw łańcucha wartości: wytwarzania, transportu i dystrybucji, magazynowania, użytkowania, a także perspektywy i potencjalne scenariusze rozwoju. Każdy z rozdziałów stanowi autonomiczną część, tzn., że można je czytać niezależnie od siebie, w dowolnej kolejności, ponieważ kompleksowo omawiają dany obszar problemowy. Informacje są prezentowane w odmiennym kontekście.

Wodór wskazywany jest jako kluczowy element transformacji energetyczno-klimatycznej¹, która jest głównym mechanizmem służącym osiągnięciu celów Porozumienia Paryskiego² i Europejskiego Zielonego Ładu³, takich jak: obniżanie ogólnego poziomu emisji (tzw. zeroemisyjność) oraz redukcja emisji gazów cieplarnianych. Zakłada się osiągnięcie zerowego poziomu emisji w 2050 r. Do 2030 r. - zgodnie z pakietem unijnych aktów prawnych Fit for 55⁴ - Unia Europejska (UE) chce ograniczyć emisję gazów cieplarnianych o co najmniej 55% w porównaniu z poziomem z 1990 r. Jak podkreśla Europejska strategia wodorowa z 2021 r.: wodór produkowany ze źródeł odnawialnych ma kluczowe znaczenie dla transformacji energetycznej UE, ponieważ tylko wodór odnawialny może w sposób zrównoważony przyczynić się do osiągnięcia neutralności klimatycznej. Wodór stabilizuje energię pochodzącą z odnawialnych źródeł energii (OZE), której udział w miksie energetycznym sukcesywnie się zwiększa. OZE charakteryzuje się dużą zmiennością, przez co niemożliwe jest oparcie na nich systemu energetycznego. Wodór pod postacią magazynu energii rozwiązuje ten problem. Połączenie wodoru z OZE generuje tzw. zielony, czyli zeroemisyjny wodór, stosowany do dekarbonizowania i zmniejszania emisyjności gospodarki.

Europejska Strategia Przemysłowa podkreśla konieczność wykorzystywania wodoru w dekarbonizacji przemysłu. Energetyka, ciepłownictwo, budownictwo, transport czy przemysł ciężki, stanowią te sektory gospodarki, dla których dekarbonizacja i ograniczeniem emisyjności stanowią największe problemy. Dodatkowo, emisje z tych sektorów stanowią największy udział w ogólnych emisjach UE. Może być też stosowany w rozwiązaniach, w których nie sprawdza się elektryfikacja lub źródła nisko- bądź zero-emisyjne. Strategia na rzecz zrównoważonej i czystej mobilności zaznacza wykorzystywanie wodoru w napędach lub jako magazyn energii we wszystkich środkach mobilności. Wodór pod postacią ogniw paliwowych może stać się innowacyjnym systemem napędowym o masowym zastosowaniu.

Polska jest trzecim największym producentem wodoru w Europie⁵. Produkowany wodór pochodzi z największych zakładów przemysłowych - chemicznych, petrochemicznych i rafineryjnych, jest więc do tej pory wykorzystywany głównie w procesach przemysłowych. Wodór produkowany w procesie reformingu parowego to tzw. wodór szary. Jest to

¹ Rezolucja Parlamentu Europejskiego z dnia 19 maja 2021 r. w sprawie europejskiej strategii w zakresie wodoru, Teksty przyjęte - Europejska strategia w zakresie wodoru - Środa, 19 maja 2021 r. (europa.eu) [dostęp: 26.03.2023].

² Porozumienie Paryskie, EUR-Lex - 22016A1019(01) - PL - EUR-Lex (europa.eu) [dostęp: 26.03.2023].

³ COM(2019)640 final, EUR-Lex - 52019DC0640 - PL - EUR-Lex (europa.eu) [dostęp: 26.03.2023].

⁴ COM(2021) 550 final, EUR-Lex - 52021DC0550 - EUR-Lex (europa.eu) [dostęp: 26.03.2023].

⁵ Instytut Energetyki. Analiza potencjału technologii wodorowych w Polsce do roku 2030 z perspektywą do 2040 roku, https://klasterwodorowy.pl/images/zdjecia/9_Analiza_potencjalu_tehnologii_wodorowych_opracowanie.pdf s. 86 [dostęp: 21.04.2023]

technologia, która cechuje się wysoką emisyjnością. Wytwarzanie wodoru o charakterystykach nisko- i zero- emisyjnych jest głównym celem rozwoju gospodarki wodorowej. Stanowi on technologiczną szansę w obliczu wyzwań jakie wywołały transformację energetyczno-klimatyczną, co czyni go strategicznie cennym zasobem z perspektywy polskiej racji stanu. W obliczu transformacji energetyczno-klimatycznej może pozytywnie wpłynąć na bezpieczeństwo energetyczne Polski. Krajowy Plan na rzecz Energii i Klimatu⁶ [KPEiK] na lata 2021-2030 odnosi działania w ramach unii energetycznej do obszaru jakim jest wytwarzanie energii elektrycznej: [...] *Polska podejmuje działania w celu zapewnienia stabilności i ciągłości produkcji energii elektrycznej – opartej na krajowych nośnikach energii – która ma za zadanie zaspokoić popyt wewnętrzny. Podejmowane są środki o charakterze regulacyjnym oraz działania w obszarze inwestycji infrastruktury wytwórczej, przesyłowej i dystrybucyjnej* [KPEiK: 12]. Wodór ma przyczynić do zwiększania potencjału dywersyfikacji energetycznej i zwiększającego się zapotrzebowania na energię. KPEiK wskazuje na wykorzystywanie wodoru w celu osiągnięcia zeroemisyjności. Polska Strategia Wodorowa⁷ [PSW] do roku 2030 z perspektywą do 2040 r. dookreśla działania związane z gospodarką wodorową. Stawia sześć celów związanych z tworzeniem gospodarki wodorowej, a tym samym kreowania bezpieczeństwa energetycznego Polski:

1. Cel 1: wdrożenie technologii wodorowych w energetyce i ciepłownictwie
2. Cel 2: wykorzystanie wodoru jako paliwa alternatywnego w transporcie
3. Cel 3: wsparcie dekarbonizacji przemysłu
4. Cel 4: produkcja wodoru w instalacjach
5. Cel 5: sprawny i bezpieczny przesył, dystrybucja i magazynowanie wodoru
6. Cel 6: stworzenie stabilnego otoczenia regulacyjnego

Żeby realizować cele klimatyczne Europejskiego Zielonego Ładu, Europejskiej Strategii Wodorowej, Polskiej Strategii Wodorowej czy Krajowego Planu na Rzecz Energii i Klimatu potrzebny jest wzrost poziomu rozwoju technologicznego technologii wodorowych (*technology readiness level*, TRL). Aktualnie technologie wodorowe znajdują się generalnie na stosunkowo niskim poziomie TRL. Jednakże rozwój nowych technologii wodorowych nieodłącznie związany jest z koniecznością zapewnienia bezpieczeństwa powstających rozwiązań technologicznych w każdym elemencie łańcucha wartości: produkcji, magazynowania i konwersji, dystrybucji i zastosowania [PSW]. Znane już problemy z bezpieczeństwem wodoru dotyczą m.in.: zagrożenia zapłonu wodoru, przenikania wodoru przez ściany zbiorników i rurociągów, występowania tzw. korozji wodorowej obniżającej parametry wytrzymałościowe materiałów zastosowanych do wytworzenia niezbędnej infrastruktury, a także zagrożenia związane z wybuchowym spalaniem z gwałtownym rozprężaniem wodoru zmagazynowanego pod wysokim ciśnieniem.

Wyniki badania przedstawiają obraz potencjału, który obarczony jest dużym wkładem inwestycyjnym - w rozumieniu nie tylko finansowym. Opisane wyżej uwarunkowania i wyzwania stanowią jedynie partykularne przytoczenie zagadnień omówionych w raporcie. Razem stanowią skomplikowaną układankę, której rozwiązanie zdaje się być możliwe, i która może przynieść Polsce korzyści nie tylko środowiskowe, ale i gospodarcze, polityczne, czy też społeczne.

⁶ Krajowy Plan na rzecz Energii i Klimatu, Krajowy plan na rzecz energii i klimatu na lata 2021-2030 - Ministerstwo Klimatu i Środowiska - Portal Gov.pl (www.gov.pl) [dostęp: 26.03.2023].

⁷ Polska Strategia Wodorowa do roku 2030 z perspektywą do roku 2040 r. Polska Strategia Wodorowa do roku 2030 - Ministerstwo Klimatu i Środowiska - Portal Gov.pl (www.gov.pl) [dostęp: 26.03.2023].

METODOLOGIA

Badanie polegało na przeprowadzeniu łącznie 24 wywiadów eksperckich: 23 indywidualnych wywiadów pogłębionych (IDI, *Individual in-Depth Interview*) oraz jednego wywiadu grupowego z trójgiem respondentów. z ekspertami reprezentującymi instytucjonalnych interesariuszy gospodarki wodorowej. Wywiad ekspercki to forma wywiadu z respondentem, który z założenia posiada dużą wiedzę o przedmiocie badania i jest specjalistą w danej dziedzinie. W przypadku tego badania, respondenci posiadali dużą wiedzę nt. stanu gospodarki wodorowej w Polsce.⁸

Badanie było realizowane od 31.01.2023 r. do 03.03.2023 r. w formule online. Wywiady były prowadzone techniką średnio-standaryzowaną (*semi-structured interview*). Badacz korzystał z opracowanego scenariusza wywiadu dostosowanego pod kątem grupy, jaką reprezentował respondent, lecz badacz dysponował swobodą co do kolejności zadawania pytań, ich sformułowania oraz możliwości pogłębiania wątków, które w toku badania czy pojedynczych wywiadów zostały ocenione za wartości eksploracji ze względu na cele badania.

Badanie miało na celu:

- poznanie stanowisk ekspertów dot. szans, ryzyk, zagrożeń i potrzeb wynikających z zapewnienia bezpiecznego i stabilnego funkcjonowania oraz wdrażania technologii wodorowych w polskiej gospodarce,
- określenie luk i deficytów, a także koniecznych i możliwych działań w obszarze bezpieczeństwa technologii wodorowych,
- porównanie perspektyw ekspertów wielu dyscyplin i branż gospodarki wodorowej w wymienionych aspektach,
- określenie aktualnego stanu polskiej gospodarki wodorowej i potencjalnych scenariuszy jej rozwoju na podstawie wiedzy eksperckiej.

Dobór uczestników badania był celowy, w szczególności ważne było, aby osoby w badaniu:

- posiadały dużą wiedzę na temat aktualnego stanu i perspektyw rozwoju wodoru w Polsce,
- reprezentowały jedną z grup: przemysł, administracja publiczna, nauka,
- reprezentowały element ogniwa łańcucha wartości technologii wodorowych: wytwarzanie, transport, magazynowanie, użytkowanie i/lub istotnego otoczenia łańcucha,
- reprezentowały instytucję o znacznym oddziaływaniu na rozwój gospodarki wodorowej i/lub specjalnych kompetencjach w zakresie gospodarki wodorowej,

Uczestnicy badania, nazywani dalej ekspertami, reprezentowali: przemysł, transport, publiczne instytucje naukowe i badawczo-rozwojowe, administrację publiczną oraz stowarzyszenia i instytucje branżowe. Badani często byli afiliowani jednocześnie przedsiębiorstwem, organizacjami branżowymi oraz innymi instytucjami związanymi z polską gospodarką wodorową. Taki dobór pozwala na opracowanie szerokiego spektrum możliwych problemów, widzianych z perspektyw różnych grup interesów.

Wywiady przeprowadzono z respondentami reprezentującymi następujące organizacje:

- Port Gdynia,
- KGHM,
- Remontowa Holding,
- Stasto Automation,

⁸ Ze względu na przyjętą metodologię, badani w dalszych partiach raportu mogą być opisywani zarówno jako respondenci lub eksperci.

- PKN Orlen,
- Grupa Azoty,
- Bibus Menos,
- Politechnika Gdańska,
- Instytut Energetyki,
- Sescom,
- Solaris Bus & Coach,
- PESA,
- Rockfin,
- DNV,
- Hynfra,
- Polska Spółka Gazownictwa,
- Agencja Rozwoju Przemysłu,
- Ministerstwo Klimatu i Środowiska,
- Hydrogen Europe,
- Hydrogen Poland,
- Polska Izba Przemysłu Chemicznego,
- Porozumienie sektorowe na rzecz rozwoju gospodarki wodorowej.

Uczestnicy badania pozostali zanonimizowani. Wywiady zostały poddane pełnej transkrypcji wraz z korektą językową, we wskazanych przypadkach były autoryzowane i zakodowane w schemacie zamkniętym, tj. na podstawie określonej a priori listy kodów i drzewa kodowego, czyli zbioru etykiet opisowo-analitycznych, za pośrednictwem oprogramowania do analizy danych Atlas.TI.

Drzewo kodowe wykorzystane do analizy danych:

- **Uwarunkowania rozwoju rynku wodorowego**
 - Uwarunkowania europejskie i globalne
 - Uwarunkowania krajowe
 - Pozostałe
- **Technologie wodorowe w Polsce**
 - Wdrożenie technologii wodorowych [tempo/stan aktualny]
 - Technologie wodorowe w Polsce [potencjał rozwoju]
 - Technologie wodorowe [przykłady zastosowania]
- **Bariery/trudności/wyzwania - już dzisiaj**
 - Technologiczne
 - Legislacyjne
 - Ekonomiczne
 - Charakterystyczne dla polski
 - Kadry
 - Współpraca z innymi podmiotami
 - Infrastruktura
- **Ryzyko/niebezpieczeństwo - potencjalna przyszłość**
 - Technologiczno
 - Środowiskowe
 - Społeczne
 - Ekonomiczne
 - Infrastrukturalne
 - Legislacyjne
- **Łańcuch wartości technologii wodorowych**
 - Wytwarzanie wodoru
 - Magazynowanie wodoru
 - Transport i dystrybucja
 - Użytkowanie bezpośrednie
 - Działania B+R

- **Szanse:**
 - Środowiskowe
 - Społeczne
 - Polityczne
 - Ekonomiczne
- **Scenariusze przyszłości**

WYNIKI BADANIA

UWARUNKOWANIA ROZWOJU WODORU

GEOPOLITYKA

- Główną przyczyną związaną z zainteresowaniem wodorem jest walka z globalnym ociepleniem i dążenie do bezemisyjnej produkcji energii oraz bezemisyjnej gospodarki. Światowe mocarstwa, w tym Unia Europejska, podpisały Porozumienie Paryskie zobowiązując się do dekarbonizacji.
- Najpoważniejszymi czynnikami destabilizującymi w realizacji Porozumienia Paryskiego w ciągu ostatnich paru lat są: wybuch epidemii koronawirusa COVID-19 i inwazja Rosji na Ukrainę. Nadwyrężona została idea globalizacji, skłaniając światowych przywódców do zwiększenia niezależności gospodarczej poszczególnych krajów. Dodatkowo, Rosja - dotychczas główny dostawca gazu do Europy - stanowi dziś poważne zagrożenie dla bezpieczeństwa energetycznego Unii Europejskiej. Głównymi celami Unii i krajów członkowskich stały się dywersyfikacja miksu energetycznego i znalezienie nowych źródeł energii.
- Najlepsze warunki do produkcji OZE posiadają m.in. kraje Afryki, Ameryki Południowej i Australia. Dysponują lepszym nasłonecznieniem i dużą powierzchnią pozwalającą na bardziej wydajną produkcję, co może przełożyć się na szczególnie niskie ceny energii pochodzącej z tych krajów. Europejski wodór prawdopodobnie okaże się droższy w produkcji i nie będzie stanowił konkurencyjnego produktu eksportowego.

Wodór można wytwarzać wszędzie tam, gdzie świeci i wieje (...). Australia, Chile to dwa różne końce świata, ale też na przykład kraje arabskie bardzo chętne są, a mamy też dobre połączenia z nimi, które przecież tylko dzisiaj wykorzystujemy na ropę. Jest i bliżej Europy właśnie Afryka Północna. No nie, w praktyce wydaje mi się, że ta dywersyfikacja będzie dużo większa (H2_202320131_02(P)).

POLITYKA I PRAWO W UNII EUROPEJSKIEJ

- Komisja Europejska jest odpowiedzialna za wskazanie krajom członkowskim ogólnego kierunku rozwoju. Według pierwotnych założeń wodór miał stanowić narzędzie do całkowitego uniezależnienia się energetycznego Europy. Aktualnie uważa się jednak, że ze względu na małą powierzchnię i niskie nasłonecznienie, **europejska produkcja wodoru nie będzie w stanie zaspokoić całego zapotrzebowania krajów członkowskich**. W związku z tym Unia Europejska może być zmuszona do importu wodoru z innych części świata. Jednocześnie akceptacja energii atomowej jako zeroemisyjnej, zwiększa szanse na osiągnięcie pewnej niezależności w produkcji wodoru.

Jeżeli będziemy opierać się tylko na odnawialnych źródłach energii, to moim zdaniem trzeba będzie ten wodór sprowadzać z innych stron świata, bo my nie mamy warunków w Europie do tak dużej nadprodukcji energii elektrycznej. Potrzeba też przyjąć, że każdy sektor gospodarki będzie się elektryfikował, więc my nie będziemy potrzebować tylko energii elektrycznej na produkcję wodoru, ale będziemy potrzebować energii elektrycznej tam, gdzie teraz używamy gaz ziemny, po prostu jako energii elektrycznej, więc nagle nam bardzo wzrośnie zużycie energii elektrycznej. Nie wiem, czy będziemy w stanie wyrobić tyle energii elektrycznej, wyprodukować tylko z odnawialnych źródeł, bez na przykład wspomagania się energetyką jądrową, a nawet jeżeli będziemy, no to czy będziemy mieć takie nadwyżki energii, aby produkować z nich wodór (H2_20230217L).

- Rozwój regulacji uwarunkowany jest różnymi interesami krajów członkowskich i podmiotów biznesowych. Niemcy z silnie rozwiniętą infrastrukturą OZE, miały silny wpływ na kształtowanie regulacji, podczas gdy w interesie francuskim było powiązanie produkcji wodoru z atomem. Ostatecznie prawo unijne zaakceptuje wodór z atomu jako zeroemisyjny. Kontrowersje może wzbudzać wprowadzenie kryterium dodatkowości - każda nowa instalacja produkcji wodoru z energii odnawialnej będzie wymagała stworzenia nowego źródła OZE. Stanowi to pewne zagrożenie dla krajów takich jak Niemcy, które takich źródeł wybudowały już sporo (przez co będą musiały radzić sobie z nadprodukcją energii lub z inwestowaniem w kolejne moce OZE) i szansę dla krajów takich jak Polska, które wciąż nie mają rozbudowanej infrastruktury OZE. Regulacje wodorowe są również przedmiotem kontrowersyjnego lobbingu ze strony branży gazowej, która poszukuje uzasadnienia dla utrzymania swojej rozległej infrastruktury. Doszło więc do konfliktu między zwolennikami wykorzystania infrastruktury gazowej na rzecz wodoru i podmiotami, które uważają takie rozwiązanie za nieopłacalne. Za reprezentację polskich interesów odpowiada m.in. inicjatywa Business & Science Poland, a niektórzy polscy producenci należą do European Clean Hydrogen Alliance, które działa na rzecz promocji wodoru w Europie.

No i teraz patrząc na Niemcy, które bardzo mocno zainwestowały w OZE, mają dzisiaj duże nadmiary tej energii przez jakiś krótkoterminowy okres, oni będą mogli wykorzystywać tą energię ze źródeł istniejących do produkcji wodoru, ale po pewnym okresie - od pewnego punktu czasowego to będzie niedopuszczalne. Będą musieli sobie zbudować nowe, dedykowane źródła dla produkcji energii na potrzeby wodoru. No i w tej sytuacji nasz kraj, który do tej pory nie ma tych źródeł zbyt wiele, no jest jakby na wygranej pozycji, bo my i tak musimy to zrobić. Więc spełnimy te kryteria, a inne kraje mogą mieć problem, no bo będą musiały gdzieś postawić tego OZE, a już i tak mają tego dużo, a terenu jest Europie bardzo niewiele, jest ograniczony (H2_20230215_05(P)).

- Przykładowym narzędziem wpływania na największych emitentów - przemysł energochłonny - są opłaty za nadmierne emisje, Europejski System Handlu Emisjami. Dekarbonizacja procesów przemysłowych może zostać istotnie wsparta przez wykorzystanie wodoru. **Unijne regulacje pośrednio przymuszają podmioty do inwestycji w wodór. Wprowadzone dyrektywy RED I i RED II wprost wskazują procentowy udział OZE w transporcie, a dyrektywa RED III ma najprawdopodobniej wprowadzić do tych wymogów wodór.**
- Unia Europejska zapewnia różne ścieżki finansowania projektów wodorowych, mające na celu przyspieszenie transformacji energetycznej. W przygotowaniu znajduje się koncepcja banku wodorowego, który ma dopłacać do produkowanego wolumenu zielonego wodoru. W założeniach jest to sposób na sztuczne obniżenie ceny zielonego wodoru. **Wdrożenie tej koncepcji może się przyczynić do zwiększenia opłacalności budowy miejsc produkcji wodoru. Program dopłat miałby trwać 10 lat i przypuszcza się, że po tym okresie wszystkie inwestycje wodorowe przekroczyłyby, lub zbliżyły się do progu opłacalności.** Poza tym, Europejski Bank Inwestycyjny oferuje szereg preferencyjnych instrumentów finansowych dla uczestników gospodarki wodorowej. Wykorzystywane też są mechanizmy IPCEI (ang. Important Projects of Common European Interest) czy PCI (ang. Projects of Common Interest). Na działania badawczo-rozwojowe Unia Europejska rozdysponowuje środki np. poprzez program Horyzont Europa. Polskie podmioty (m.in. przedsiębiorcy, instytucje z sektora nauki) mogą z kolei korzystać z uruchamianych Funduszy Europejskich dla Nowoczesnej Gospodarki (FENG).

- Rozwój gospodarki wodorowej w znacznej mierze znajduje się na etapie decyzyjno-analitycznym – Polska wciąż nie zdecydowała o charakterze rozwoju. Panuje niepewność wynikająca z braku jasno zdefiniowanej strategii na najbliższe lata. W dyskusji dominują dwie wizje gospodarki wodorowej: rozproszona i scentralizowana. Gospodarce rozproszonej sprzyja fakt, że dystrybucja wodoru na dalsze odległości może być problematyczna. Utrzymywanie wodoru w mniejszych, zamkniętych systemach – hubach, czy też dolinach wodorowych – może być łatwiejsze i wydajniejsze. Doliny wodorowe pozwalają z góry przewidzieć łańcuch wartości skupiony regionalnie wokół wodoru. Innymi słowy, demonstratory i pierwsze projekty pozwalają zasymulować gospodarkę regionalną. Z drugiej strony, **PKN Orlen planuje zostać kreatorem gospodarki wodorowej w Polsce i jej kluczowym uczestnikiem. Ma to ułatwić m.in. kontrolę nad rynkiem, kierowanie jego optymalnym rozwojem.**

PKN Orlen - tak jak państwo widzicie, bo to są publiczne informacje - że inwestuje i planuje, że my już mamy hub w Trzebini jakości automotive, mamy pilotaż w Krakowie, gdzie autobus wodorowy jeździ na nasz wodór, mamy projekty w Poznaniu, Wałbrzychu, Pile, Gdańsku - więc jest dużo projektów i wydaję mi się, że w Polsce to PKN Orlen jest największym inwestorem w obszarze wodoru póki co i raczej będzie w najbliższych latach (H2_20230215_05(P)).

- Rozwój gospodarki wodorowej w Polsce obarczony jest szeregiem barier. Polska boryka się z inflacją, co nie sprzyja szybkiemu albo stabilnemu rozwojowi. Dodatkowo, większość energii elektrycznej wciąż pochodzi ze spalania węgla kamiennego, **a szeroko zakrojone plany transformacji energetycznej pozostają na etapie planu, z racji na wstrzymanie środków z Krajowego Planu Odbudowy.**

No tak, ja sami wiemy jak to z tym KPO (śmiej). To raczej nie ma co liczyć, że to nam tutaj w szybkiej perspektywie powiedzmy - kilku czy kilkunastu miesięcy - wiele zmieni. Natomiast no te mniejsze projekty pewnie będą startować (H2_20230214_04(P)).

- Tworzenie polskiej legislacji uzależnione jest od rozwoju regulacji unijnych. Ustawodawca jest zmuszony do znalezienia kompromisowego tempa zmian – uwzględniającego zarówno bieżące potrzeby i wizje, jak i niepewność co do zmian na szczeblu unijnym. W efekcie stan przepisów jest dwojaki – z jednej strony obecnych jest już większość wymogów technicznych takich jak przepisy precyzujące kwestie projektowania, budowania i eksploatacji instalacji produkujących wodór; rozporządzenia w sprawie ochrony przeciwpożarowej; przepisy definiujące zakres dozoru technicznego; standardy techniczne definiowane są także na poziomie międzynarodowym, np. w formie ISO i EN. Z drugiej strony **brakuje polskich legislacji ułatwiających wsparcie inwestycyjne w obszarze wodoru; brakuje wytycznych (zarówno w Polsce jak i w Europie) dla bezpieczeństwa związanych z eksploatacją pojazdów wodorowych**, np. podczas serwisowania autobusów, a także wytycznych dla rozwoju wodoru w gospodarce morskiej. Przepisy morskie zwykle stanowią pochodną przepisów lądowych, ich pojawienie się obarczone jest więc zwiększonym opóźnieniem.
- **Ważny głos w rzeczywistym wdrażaniu założeń gospodarki wodorowej w Polsce mają samorządy.** Władze niektórych województw, np. wielkopolskiego czy

dolnośląskiego planują powiązać rozwój OZE z potencjalną produkcją bezemisyjnego wodoru. Rozwój samochodów i autobusów zasilanych wodorem ma stanowić pierwszy większy impuls zwiększający popyt na zeroemisyjny wodór. Zasilenie w wodór floty autobusów w obrębie jednego miasta jest relatywnie łatwe, w porównaniu z rozbudową całego łańcucha wartości. W związku z tym oczekiwać można szybszego rozwoju tego typu rozwiązań i bardziej przystępnych regulacji. Decyzja o zakupie np. autobusów wodorowych związana jest także z inwestycją w infrastrukturę i coraz więcej miast interesuje się testowaniem wodorowych rozwiązań. Gotowość i przychylność polskich miast na rozwój gospodarki wodorowej różni się diametralnie – niektóre miasta chętnie współpracują w tym zakresie (np. Gdańsk, Sanok), inne są niezdecydowane, część jak na razie nie zamierza podejmować tego typu inwestycji.

RYNEK

- Polska jest 3. producentem wodoru w Europie. Większość produkcji wodoru w Polsce wykorzystywana jest w procesach przemysłowych przedsiębiorstw rafineryjnych, chemicznych, petrochemicznych. Polski wodór nie jest produkowany w sposób bezemisyjny i jest ograniczony do zamkniętego obiegu w zakresie systemów poszczególnych zakładów. W związku z tym **produkcja wodoru bezemisyjnego najpierw musi zaspokoić potrzeby dekarbonizacyjne polskich firm wykorzystujących wodór, a dopiero w drugiej kolejności – potrzeby potencjalnych indywidualnych konsumentów**. Firmy zajmujące się gazami technicznymi (jak Linde albo Air Products), o ile posiadają spore doświadczenie w produkcji, magazynowaniu i przewożeniu wodoru, o tyle nie zajmują się ogólnopolską dystrybucją paliwa - te kompetencje posiadają z kolei koncerny paliwowe.

Produkujemy wodór już od wielu lat, więc mamy ten temat jakby dość dobrze rozeznany. Wiemy, jak bezpiecznie zarządzać produkcją wodoru w procesie reformingu parowego metanu, jak ten wodór później magazynować - może nie na taką dużą skalę, w jakiś tam sposób na terenie rafinerii go wykorzystywać do produkcji paliw klasycznych. Też to mamy bardzo dobrze rozeznane. No teraz mówimy tak naprawdę o zupełnie innym sposobie wykorzystania tego wodoru, czyli właśnie jako paliwa samoistne czy to w transporcie czy też dekarbonizacja różnych procesów przemysłowych, magazynowanie energii w kawernach solnych, no jest ciepłownictwo, mieszanie z gazem ziemnym i współspalanie w elektrociepłowniach. Jest mnóstwo różnych możliwości (H2_20230215_05(P)).

- **Polska, Niemcy i Francja to kraje o szczególnie sprzyjających warunkach geologicznych do magazynowania wodoru, np. w kawernach solnych.** Co więcej, Polska dzięki swojemu położeniu może służyć jako kraj tranzytowy, między północą (kraje skandynawskie), wschodem (Ukraina) i resztą Europy. Potencjalna rola tranzytowa wymaga od Polski rozbudowy sieci rurociągów i terminali importowych. **Istniejąca infrastruktura gazowa nadaje się do transportu wodoru jedynie w formie domieszki do gazu.** O rolę w tranzycie walczą także europejskie porty, na czele z Holandią. Polskie porty również zakładają rozbudowę infrastruktury wodorowej w perspektywie kolejnych lat, jednak mogą pozostać poza europejskim peletonem.
- Ceny wodoru zmieniają się w sposób nieprzewidywalny. Dotychczasowe prognozy nie sprawdziły się, co uniemożliwia rzetelne opracowanie biznesplanów. Aktualnie jest wielokrotnie droższy od tradycyjnych paliw. Większość ceny wodoru wynika z cen energii. W związku z tym w kolejnych latach wodór europejski może okazać się nieopłacalny. W ostateczności bardziej opłacalny może się okazać import i ograniczona produkcja wodoru. **Ze względu na wysokie ceny energii i niski**

udział OZE w miksie energetycznym, polski wodór może okazać się jednym z najdroższych na kontynencie.

- Polska ma pogłębiający się problem związany z zasobami wodnymi. Woda jest potrzebna w elektrolizie. Rozwiązaniem może okazać się dostęp do Morza Bałtyckiego, które jest mniej zasolone np. od Morza Śródziemnego, predestynując Bałtyk jako źródło odsalania wody na potrzeby produkcji wodoru. Wybrzeże Morza Bałtyckiego będzie także zabudowane farmami wiatrowymi (offshore), dostarczając niezbędną energię odnawialną.
- **Inwestycje wodorowe obarczone są długim okresem nieopłacalności. Niewystarczający jest popyt na wodór – liczba użytkowników takich jak samochody czy autobusy jest niewielka. Zarazem polskie podmioty borykają się z brakiem środków finansowych. Muszą konkurować z zagraniczną ofertą, szybkością i niższymi kosztami.**

Te firmy mniejsze cały czas obserwują, patrzą, w którą stronę, czy warto, czy odpuścić rozwój bieżących kompetencji, które miały przez lata, a pójść w nowe i tam zaryzykować. Trochę to podejście jest inne niż w Europie Zachodniej, gdzie tematy wodorowe, no trochę inaczej są konstruowane, no bo tam trochę w innym punkcie czasu one wystartowały. Oni też trochę obserwują. Niektórzy potrafią się podczepić, ale jednak mimo wszystko nadal jest obserwacja, co wybiorą duzi i na co postawią (H2_20230302_22(P)).

- Założenie dolin wodorowych powinno przyczynić się do znacznej mobilizacji w wielu regionach i zachęcić do współpracy niezależne od siebie podmioty. W opinii badanych ekspertów, aktywność jednak już spadła i skumulowała się wokół największych firm. Niemniej, dekarbonizacja to rozległy proces, który stwarza mnóstwo miejsca dla nowych podmiotów na rynku wodoru. Może się okazać, że liczba firm nie będzie nawet wystarczająca, by zaspokoić polskie potrzeby transformacji energetycznej, co stanowiłoby okazję szczególnie dla mniejszych firm, które będą w stanie elastycznie dostosowywać się do zmieniających warunków gospodarki. Poza tym, **zachodni rynek był dotychczas skupiony na wodorze emisyjnym. Stwarza to dla Polski okazję, by wyjść z inicjatywą jako producent wodoru bezemisyjnego. Dekarbonizacja polskich firm dzięki bezemisyjnemu wodorowi może znacznie podnieść ich konkurencyjność w międzynarodowych łańcuchach wartości i dostaw.**
- Komercyjne technologie wodorowe znajdują się we wczesnej fazie rozwoju. **Na polskim rynku dostępna jest niewielka ilość rozwiązań potrzebnych do funkcjonowania pełnego łańcucha wartości gospodarki wodorowej.** Najwcześniejsze instalacje produkujące bezemisyjny wodór powstaną prawdopodobnie w okolicach 2025 roku. Brakuje np. wielkoskalowych elektrolizerów potrzebnych do uruchomienia produkcji wodoru. Polska wciąż nie rozpoczęła ich produkcji, a na rynku międzynarodowym czas oczekiwania na dostawę wynosi kilka lat terminy te mogą się wydłużać. Eksperci sygnalizowali, że ze względu na wczesny etap rozwoju rynku i brak doświadczenia, potencjalni klienci oczekują kompleksowej obsługi – dostarczenia urządzeń na wodór, wodoru jako takiego, zapewnienia obsługi eksploatacyjnej czy zadbania o bezpieczeństwo. Aktualny stan rynku nie pozwala zapewnić takiego zakresu usług. Niemniej, technologie wokół wodoru rozwijają się relatywnie szybko i jest to tempo relatywnie zbliżone na całym świecie. Wciąż istnieją luki do zagospodarowania dla polskich producentów, np. w zakresie produkcji ogniw paliwowych lub elektrolizerów. Polskie firmy, instytuty badawcze i uniwersytety inwestują w badania i rozwój technologii wodorowych, sporo programów finansujących planują także polskie instytucje pomostowe, np. Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska. Warto także zauważyć, że polscy inżynierowie posiadają bogate doświadczenie z racji pracy przy istniejących instalacjach wodorowych.

Opanowana jest dystrybucja, bo są urządzenia np. automotive pozwalające zatankować, ale nie ma jeszcze tej strony popytowej - nie ma samochodów które przyjadą po wodór,

nie ma autobusów które dadzą znaczące źródło wykorzystania, nie ma jeszcze rozwiniętych pociągów, nie ma infrastruktury, która pozwoli w sposób szybki załadować, i przede wszystkim bezpiecznie. I brakuje jeszcze jednego elementu, na który zwracają uwagę przyszli użytkownicy tych zeroemisyjnych pojazdów - nie ma zaplecza technicznego, które pozwoli te pojazdy eksploatować (H2_20230224_19(P)).

OGNIWA ŁAŃCUCHA WARTOŚCI

WYTWARZANIE

- **Polska jest ważnym i doświadczonym graczem na rynku wytwarzania nieodnawialnego wodoru (emisyjnego)⁹ od kilkudziesięciu lat.** Wodór na własne potrzeby wytwarzają podmioty przemysłowe, głównie w branży chemicznej i petrochemicznej. Branże te mają bogaty *know-how* w zakresie produkcji i wykorzystywania wodoru w procesach przemysłowych, wytwarzania i produkowania wodoru przemysłowego, czyli gazu syntezowego będącego mieszaniną wodoru z innymi gazami. Polski przemysł zdobywa doświadczenia w wytwarzaniu wodoru o jakości automotive (wysokiej czystości) do aplikacji w ogniwach paliwowych. Daje to duże przewagi oraz stanowi o potencjale rozwojowym w paradygmacie „nowego wodoru”. Ekspertki oceniają produkcję wodoru szarego na poziomie przemysłowym jako w pełni dojrzałą. Wymieniali głównie technologię reformingu parowego gazu ziemnego, metanu, metanolu, które są wysoce emisyjne.
- **Produkcja odnawialnego wodoru to nowy obszar działalności dla większości podmiotów, nawet dla tych, które są doświadczone w produkcji wodoru emisyjnego.** Dekarbonizacja na skalę światową i plany wobec wodoru zdefiniowane m.in. przez Unię Europejską zapowiadają rozwój olbrzymiej gałęzi rynku energetycznego. Dlatego też wielu wchodzi w zupełnie nowe łańcuchy i tworzy zupełnie nowe obszary biznesowe. Wiodą podmioty, które od dziesięcioleci pracują przemysłowo z wodorem.
- **W początkowej fazie, nawet doświadczone podmioty, mogą konfrontować się z dużą niepewnością np. mogą wystąpić potencjalne problemy z dostępnością wodoru.** W sytuacji zmiany biznesowej, gdzie dotąd wodór był produkowany na potrzeby własne, firma może nie być w stanie określić, czy uda jej się wyprodukować na tyle dużo wodoru, żeby zaspokoić potrzeby potencjalnych odbiorców. Sama dopiero będzie wchodzić w obszar produkcji wodoru z elektrolizy, pozyskiwać technologię, skalować ją i zdobywać doświadczenia. Potrzeba jej też wyspecjalizowanego laboratorium analizującego jakość wodoru np. do automotive – ale nie tylko na potrzeby producenta, ale również na potrzeby innych interesariuszy.
- Wśród potencjalnych liderów polskiego rynku wodorowego zaobserwować można dwa podstawowe modele produkcji. **Jeden z nich to produkcja scentralizowana, w kilku firmowych instalacjach.** Świadczy to o pewności firmy co do swoich możliwości wytwórczych. **Drugi to rozproszone-zdecentralizowane wytwarzanie wodoru w mniejszych wolumenach.**
- **Umiemy wytwarzać wodór czysty (99.(9)%),** nadający się do aplikacji szczególnych takich jak ogniwa paliwowe dla pojazdów. W przypadku wytwarzania wodoru jakości automotive, przewagę mają zdecydowanie koncerny paliwowe.

⁹ Roczna produkcja wodoru w Polsce wynosi około 1 miliona ton. Całość produkcji stanowi obecnie wodór wytwarzany z paliw kopalnych.

Nowe podmioty, które będą chciały wchodzić w rynek takiego wodoru (jego wytwarzania, a szczególnie dystrybucji), według ekspertów będą miały trudniejszy start. Wprowadzenie wodoru do zastosowania w sektorze automotive oznacza też znalezienie klientów na wodór i tworzenie nowej grupy klientów.

- **Pierwszym kluczowym zasobem dla produkcji odnawialnego wodoru jest OZE i zeroemisyjna energia.** Wodór odnawialny wymaga OZE, ale Polska nie produkuje wystarczającej ilości energii elektrycznej w sposób bezemisyjny, która jest potrzebna do produkcji tego rodzaju wodoru. Osiągnięcie odpowiedniego marginesu rezerwy elektrycznej, który pozwoliłby zarówno na zaspokojenie potrzeb energetycznych Polski, jak i potrzeb produkcyjnych w związku z wodorem, przewiduje się na 2040 rok. Przy powstawaniu nowych farm OZE, coraz częściej uwzględnia się przy inwestycji elektrolizer i produkcję wodoru w funkcji magazynu energii.
- **Energia atomowa będzie mogła być wykorzystywana do produkcji odnawialnego wodoru. Polska ma strategiczne plany związane z budową dużych i małych bloków atomowych.** Według wiedzy ekspertów nie istnieją jeszcze wielkoskalowe instalacje składające się z reaktora i podłączonego do niego elektrolizera. W przypadku krajów, które wytwarzają energię atomową, jest to rozsięte po całym systemie: w jednym punkcie funkcjonuje blok atomowy, a w innym elektrolizer.
- Wielkoskalowa produkcja wodoru z powiązaniem z reaktorami atomowymi jest atrakcyjnym kierunkiem. Prowadzi się prace mające na celu opracowanie wielkoskalowych instalacji do produkcji wodoru w siłowniach jądrowych w różnych technologiach. Wodór można produkować w reaktorach HTG – Polska ma w tym obszarze doświadczenia B+R.
- **Atom daje szerokie spektrum możliwości. Energię elektryczną można wykorzystać bezpośrednio do wytwarzania wodoru w elektrolizerze. Można również wykorzystać ciepło odpadowe, jakie produkują bloki atomowe, szczególnie do elektrolizy stałotlenkowej, gdzie „na wejściu” wykorzystuje się parę wodną, żeby zużywać mniej energii do produkcji wodoru.** Duże elektrolizery stałotlenkowe można zlokalizować koło elektrowni atomowych i produkować wodór jeszcze taniej niż z wykorzystaniem innych technologii elektrolizy. Ciepło odpadowe z siłowni atomowych można również wykorzystać w procesie reformingu parowego metanu. CO₂, które wydzielą się w tym procesie, będzie w jakiś sposób magazynowane i wiązane w inne produkty, bądź np. przewożone, żeby składować je długoterminowo. Według ekspertów to sprawia, że wodór też będzie miał emisyjność na niskim poziomie, która będzie dopuszczała jego obrót i sprzedaż na rynku.
- O ile technologia reformingu parowego gazu ziemnego jest wykorzystywana na poziomie przemysłowym, o tyle technologia elektrolizy do produkcji wodoru nie była wykorzystywana na tak wysokim poziomie. Technologia elektrolizy jest znana od dziesięcioleci. W Polsce pracują spore elektrolizery, natomiast nie są wykorzystywane do produkcji wodoru - wodór jest produktem ubocznym. **Eksperti szacują, że pierwsze niepilotażowe instalacje dedykowane produkcji wodoru zaczną powstawać w latach 2025/2026.**
- Występuje problem dojrzałości technologicznej charakterystyczny dla wczesnego etapu rozwoju. Jeżeli chodzi o elektrolizery do wytwarzania wodoru, występuje wiele niewiadomych technicznych, które aktualnie są na etapie B+R: *Ta gospodarka wodorowa, będzie miała takie choroby wieku dziecięcego: że coś nam się będzie wydawało, że przez pięć lat będzie działać, ale po trzech latach się zepsuje* (H2_20230217_17L). W tym kontekście kluczowe polskie podmioty współpracują z różnymi potencjalnymi dostawcami technologii nad wypracowaniem najlepszych

standardów dla elektrolizerów i najlepszego produktu, który potencjalnie mogą zakupić.

- **Na polskim rynku rozwijają się pilotażowe projekty elektrolizy (alkalicznej, stałotlenkowej i PEM) w małej skali, uogólniając są aktualnie w okolicy TRL 5.** Są realizowane zarówno przez podmioty przemysłowe lub we współpracy między przemysłem oraz publicznym sektorem badawczo-rozwojowym. Elektroliza - zarówno alkaiczna, stałotlenkowa czy PEM - była grupą technologii najczęściej wymienianą wśród ekspertów w zakresie nowych zastosowań wodoru w gospodarce. Kolejnymi etapami rozwoju tej technologii, będzie jej skalowanie do wyższych możliwości. Przykładem może być opracowanie tańszych katalizatorów, które mogą pozytywnie wpłynąć na poprawę efektywności ekonomicznej procesu.
- W zakresie elektrolizy m.in. stałotlenkowej polskie podmioty posiadają patenty krajowe i zagraniczne. Można powiedzieć, że Polska rozwija w tym zakresie IP nie tylko po stronie publicznych jednostek naukowych i B+R, ale również przedsiębiorstw.
- Polskie podmioty korzystają z zagranicznych komponentów do produkcji elektrolizerów. Przykład stanowi pewna firma, która korzysta z tej możliwości ze względu na konieczność skrócenia czasu potrzebnego do dostarczenia finalnej technologii.
- Polska w z zakresie elektrolizy znajduje się na wczesnym etapie rozwoju technologicznego. W opinii ekspertów technologie mają jeszcze istotne wady i nie są konkurencyjne ani ekonomicznie opłacalne, a przede wszystkim nie ma w Polsce gracza, który dostarczałby komercyjne rozwiązania na większą skalę.
- **Istotną barierą jest dostępność technologii: oczekiwania na dostawę elektrolizera u dostawców zagranicznych wynosi kilka lat. Ryzykiem jest to, że ten czas z biegiem może się jeszcze zwiększać ze względu na zwiększanie się popytu na elektrolizery.** Może to negatywnie wpływać na opóźnienie realizacji inwestycji, rozwój kluczowego ogniwa - wytwarzania i opóźnienia dla rozwoju całego łańcucha. Niepewnością w tym kontekście jest również wpływ zwiększenia produkcji elektrolizerów na ich ceny - będzie niższa czy wyższa? Szansą w tym kontekście jest stworzenie polskiej fabryki elektrolizerów, która mogłaby chociażby w części pokryć zapotrzebowania na polskim rynku. Według niektórych badanych jedyną szansą dla rozwoju technologii jest przejęcie zagranicznego producenta i stworzenie polskiej marki.
- **Szansą dla Polski jest wpisanie się w lukę technologiczną w gospodarce światowej, którą jest produkcja ogni w paliwowych i elektrolizerów na rynku mniejszym niż 200 MW.**
- Poza elektrolizą wody, badani wskazywali również na:
 - zgazowywanie odpadów, pyrolizę,
 - technologie zgazowania i produkcji syn-gazu o wysokiej zawartości wodoru,
 - produkcja paliw syntetycznych – power2X – wytwarzanie paliw gazowych, płynnych, amoniaku (etap B+R),
 - wykorzystanie węgla np. w procesie gazyfikacji,
 - wykorzystanie biometanu i biogazu w procesie reformingu parowego,
 - reaktory wysokotemperaturowe HTR.
- **Drugim kluczowym zasobem dla produkcji odnawialnego wodoru jest woda. Ekspertsi wskazywali na wykorzystywanie wody szarej do procesu elektrolizy jako perspektywiczny kierunek: odpadowej z procesów przemysłowych i wody kopalnianej.** Nie byli jednak zgodni, co do kosztów i faktycznej możliwości oczyszczania takiej wody do elektrolizy. Prace B+R prowadzone są także w zakresie odsalania wody morskiej na potrzeby wykorzystania jej w procesie elektrolizy, co jest perspektywicznym kierunkiem zarówno ze względu na bliskość do źródła morskiej energetyki wiatrowej (offshore)

oraz dużego źródła wody. Morze Bałtyckie jest stosunkowo mało zasolone, co zwiększa szanse na powodzenie tego typu rozwiązania technologicznego.

- **Firmy identyfikują trend i kierunek rozwoju rynku wodorowego polegający na lokalnej konsumpcji i produkcji, jako najatrakcyjniejszy biznesowo.** Dlatego decydują się np. na oferowanie rozwiązań dla energetyki rozproszonej, czyli urządzeń dostosowanych do możliwości budowania wytwórni wodoru, czy też wytwórni ciepła w miejscu, gdzie jest dostępna energia z OZE. Firmy zagraniczne oferują w pakiecie ze stacją tankowania również małe elektrolizery do produkcji wodoru na miejscu.
- W aspekcie cyfrowym na polskim rynku występuje oferta związana z zarządzaniem pracą hubu wodorowego. Rozbudowywane są systemy informatyczne służące do zarządzania, bilansowania produkcji i zużycia wodoru w lokalnej wyspie energetycznej, w danym ekosystemie przy koegzystencji różnych źródeł energii, magazynów energii etc. Drugi związany jest z cyberbezpieczeństwem infrastruktury krytycznej, jaką jest infrastruktura wodorowa. Polski podmiot zajmuje się cyfrowymi zabezpieczeniami dla infrastruktury energetycznej (rozwiązania oparte na technologii postkwantowej, której Polska jest zagłębiem, w założeniach skuteczne przeciwko komputerom kwantowym). Realizuje zlecenia głównie z zagranicy, ale jest gotowa do obsługi polskich klientów.

TRANSPORT I DYSTRYBUCJA

TRANSPORT I DYSTRYBUCJA NA POZIOMIE MIĘDZYNARODOWYM

- **Ze względu na duże zapotrzebowanie, poza wytwarzaniem wodoru w Polsce, będzie on musiał być też najprawdopodobniej importowany, a dodatkowo Polska będzie umiejscowiona na międzynarodowym szlaku dystrybucji wodoru północ-południe i wschód-zachód.**
- W przypadku, gdy wodór będzie dostarczany przez terminale i rurociągi - działania takie wymagają obecności odpowiedniej infrastruktury.
- Porty w Polsce nie są przygotowane infrastrukturalnie i organizacyjnie na wodór, a tempo działania w tym zakresie jest dość powolne. W zakresie pojawienia się infrastruktury bunkrowania wodoru, eksperci związani z branżą morską i portową, oceniali, że pojawi się ona na przestrzeni najbliższych kilkudziesięciu lat. Fizyczne stacje bunkrowania wodoru mogą być rozwiązaniem bardziej efektywnym operacyjnie i ekonomicznie niż bunkrowanie wodoru bezpośrednio z cystern, co jest logistycznym utrudnieniem.
- **W porównaniu z przodującymi w zakresie wodoru europejskimi portami (np. w Rotterdamie), polskie porty są zdecydowanie zapóźnione, szczególnie w zakresie planów rozwojowych. Uwodorowienie danego portu w przyszłości może stanowić o jego konkurencyjności i atrakcyjności z perspektywy armatorów i odbiorców:**

Jedno to jest dostępność paliwa, ale drugie jest to, że powstaje taka mapa w zasadzie portów w Europie, które wyposażone są albo mają w planach budowę stacji bunkrowania wodoru. Więc wydaje mi się, że to jest też pozytywny efekt marketingowy, gdyby pójść w tym kierunku. No i to jest jakby taki też czynnik, który jeśli będą dostępne przepisy w tym zakresie, no to można faktycznie myśleć o jednostkach zasilanych wodorem, kiedy będzie faktycznie infrastruktura do pobierania tego wodoru (H2_20230201_03(P)).

- Gotowość portów w zakresie wodoryzacji może być też kluczowa w zakresie odbioru wodoru niezbędnego polskiej gospodarce.

- Rozróżniamy dwa zasadnicze rodzaje rurociągów: przesyłowe i dystrybucyjne, a dodatkowo na poziomie UE pojawiają się koncepcje na poziomie sieci wysokiego ciśnienia, czyli sieci przesyłowych dla przemysłu.
- Gaz-System, strategiczny operator rurociągów przesyłowych, rozpoczął pierwsze poważniejsze przymiarki do wodoru około dekadę temu od działań analitycznych. Według firmy kluczowe jest rozporządzenie TEN-E z 23.06.2022. Reguluje kwestie transgranicznej infrastruktury energetycznej i wskazuje na 11 priorytetowych korytarzy związanych z infrastrukturą energetyczną w UE, a w dwóch z nich jest Polska: HI West i HI East. Celem jest stworzenie infrastruktury wodorowej i zmiany przeznaczenia infrastruktury gazowej, umożliwiającej powstanie zintegrowanej sieci łączącej w przypadku HI West kraje jak: Belgia, Czechy, Dania, Niemcy, Irlandia, Hiszpania, Francja, Włochy, Luksemburg, Malta, Holandia, Austria i Portugalia oraz w przypadku HI East: Bułgarię, Czechy, Niemcy, Grecję, Chorwację, Włochy, Cypr, Węgry, Austrię, Polskę, Rumunię, Słowenię i Słowację. Gaz-system złożył wnioski dot. wymienionych dwóch korytarzy, aby uzyskać dla nich status projektów infrastrukturalnych PCI (projektów wspólnego zainteresowania). Ponadto operator realizuje dwa projekty B+R finansowane ze środków Horyzont Europa, związane z gospodarką wodorową¹⁰.
- **Uruchomiono inicjatywę European Hydrogen Backbone (EHB)¹¹, która ma na celu określenie kluczowej roli infrastruktury wodorowej opartej na istniejących i nowych rurociągach oraz stworzenia korytarzy dostaw wodoru.** W ramach EHB dotychczas wskazuje się koncepcje na poziomie sieci wysokiego ciśnienia, czyli sieci przesyłowych dla odbiorców przemysłowych. Dodatkowo, w przyszłości - po ustabilizowaniu sytuacji za wschodnią granicą - odmrożony może zostać projekt produkcji wodoru na Ukrainie i dystrybucji go przez Polskę w inne części UE, który może utworzyć ważny korytarz przesyłowy wodoru.

TRANSPORT I DYSTRYBUCJA NA POZIOMIE KRAJOWYM

- Drugi kluczowy rodzaj rurociągów, tj. dystrybucyjne, funkcjonuje na poziomie krajowym. Największym krajowym operatorem systemu dystrybucyjnego gazu jest **Polska Spółka Gazownictwa (PSG)**. Około 2016 r., PSG zaczęło analizy związane z dystrybucją wodoru: materiałów, które są aktualnie wykorzystywane, trendów na świecie, czy prognoz, jak infrastruktura może się zachowywać na podstawie deklaracji producentów. **Obecnie otwiera się możliwość sprawdzenia w praktyce oraz zbadania realnego funkcjonowania infrastruktury liczącej aktualnie 200 tysięcy km.**
- **Krajowa infrastruktura dystrybucyjna jest w zróżnicowanym stanie technicznym. Najstarsze z odcinków istnieją od kilkadziesiąt lat. Pojawia się wiele niewiadomych i kontrowersji:** jak infrastruktura poradzi sobie z przesyłem wodoru pod kątem materiałów, czy technologie łączenia rur pozwolą na dystrybucję etc. Dodatkowo, w zależności od tego, czy mowa o domieszkowaniu

¹⁰ Polskie Radio. 2023. Gaz-System będzie inwestował w infrastrukturę przesyłu wodoru. Wnioski są już w Komisji Europejskiej, [Gaz-System będzie inwestował w infrastrukturę przesyłu wodoru. Wnioski są już w Komisji Europejskiej - Gospodarka - polskieradio24.pl](#) [dostęp: 26.03.2023].

¹¹ European Hydrogen Backbone. 2022. A european hydrogen infrastructure vision covering 28 countries, [ehb-report-220428-17h00-interactive-1.pdf](#) [dostęp: 26.03.2023].

European Hydrogen Backbone Maps, [European Hydrogen Backbone Maps | EHB European Hydrogen Backbone](#) [dostęp: 26.03.2023].

wodoru do gazu lub dystrybucji 100% wodoru, zmieniają się wymagania techniczne dla takiej infrastruktury, co jest dodatkowym kryterium wpływającym na podejmowane działania modernizacyjne. Istnieją rurociągi badawcze do transportu wodoru, ale rurociągi do transportu 100% wodoru w Polsce wciąż nie funkcjonują.

Bo to trzeba mieć na uwadze, że nasza infrastruktura to jest część też infrastruktury, która powstała w latach 60., 70. albo jeszcze wcześniej, gdzie wtedy nikt nie myślał o czymś takim jak wodór. Wodór się oczywiście wtedy pojawiał po części w sieciach gazowych, ale on się pojawiał w gazie koksowniczym, który był transportowany tymi sieciami. Ale też żywotność tych sieci była dość mocno ograniczona, bo po prostu wodór korodował tak jak korodował gaz koksowniczy. W sobie też zawierał zupełnie inne niepożądane substancje różnego rodzaju, smoły, jakieś produkty otrzymywane podczas procesu koksowania. Niestety gazociągi raczej, mówiąc krótko, długo nie żyły. (H2_20230221_23(P))

- Operator stoi przed wyzwaniem budowy nowych sieci krajowych do dystrybucji wodoru oraz modernizacji aktualnych dostosowanych do wymagań fizyko-chemicznych wodoru i sprostania wyzwaniom technicznym związanych z dystrybucją wodoru. W opinii ekspertów, żeby operator zbudował nowy rurociąg dedykowany wodorowi, ze względu na wysokie nakłady inwestycyjne, musi znać zapotrzebowanie na rynku. Aktualnie tego typu dane są bardzo trudne do oszacowania.
- Jedną z istotnych właściwości wodoru, wpływających na działalność operatora, jest ulotność wodoru przy wzroście ciśnienia. Wodór ze względu na to, że jest małą cząsteczką, ma szczególną tendencję do „migrowania”. Istnieje ryzyko, że w ostatnim punkcie dystrybucji wodoru będzie o kilka procent mniej, niż na jej początku. Operator jest zobowiązany dostarczyć całość medium i po jego stronie leży odpowiedzialność ekonomiczna za straty, co w konsekwencji oznacza konieczność ekonomicznego bilansowania takich operacji i pewną nieatrakcyjność biznesową dla operatora.
- **W opinii ekspertów, odbiór wodoru przez przemysł jest o wiele prostszym przedsięwzięciem, bo co do zasady dysponuje bezpieczną, sprawną i nowoczesną infrastrukturą. Natomiast w przypadku konsumentów w grę wchodzi potencjalnie np. inwentaryzacja stanu urządzeń końcowych pod kątem dostosowania do wodoru. Konsument nie będzie mógł być przez nikogo zmuszony do wymiany prywatnej infrastruktury na nową, może ją wymienić dopiero za kilkanaście lat, kiedy jej stan techniczny będzie krytyczny, co w pewien sposób uniemożliwia masowe dostosowanie urządzeń pod kątem wodoru (co w przypadku przemysłu jest znacznie prostsze).**
- Kwestia ekonomiczności danego medium dla klienta końcowego jest decydująca. Składowymi są wyjściowa cena wodoru i taryfa operatora w przeliczeniu za jednostkę energii - operator traktuje transportowany gaz jak energię i rozlicza się w jednostkach energii. Wodór ma trzykrotnie mniejszą wartość ciepła spalania niż gaz. Może się okazać, że pomimo transportu tych samych wolumenów wodoru jak dotychczas gazu, to dostarcza się netto mniej energii.
- Operator jest odpowiedzialny również za infrastrukturę (żeby nie uległa uszkodzeniu) i bezpieczną eksploatację (szczególnie po stronie użytkowników końcowych), dlatego może niezbyt aktywnie podejmować działania w stosunku do medium, które na dany moment generuje dużo ryzyk. Rodzi to problemy w zarządzaniu: z jednej strony powinno się wpisać w trendy związane z transformacją energetyczną, ale z drugiej strony pojawia się istotne ryzyko, że operator może jednak nie będzie dopuszczać wodoru, bo np. aktualna infrastruktura dostosowana

do gazu może jeszcze być sprawna przez kilkadziesiąt lat i musi zabezpieczyć bezpieczeństwo sieci dystrybucyjnej i klientów.

- Wodór może być też transportowany drogą wodną, śródlądową (Odra), a nie wyłącznie lądowo. Takie rozwiązanie mogłoby pobudzić lokalną produkcję i konsumpcję. Wodór mógłby być lokalnie produkowany i dostarczany do centrów logistycznych przy rzekach, które też mogłyby obsługiwać transport intermodalny: *mogą również być właśnie takimi centrami, takimi mini hubami wodorowymi albo przynajmniej tą końcówką całego dużego hubu, który może się nazywać np. hub województwo opolskie i będzie mieć 5 czy 6 różnego rodzaju punktów, w których wodór będzie generowany i założymy parę punktów, w których odbędzie dostarczany i odbierany* H2_20230224_18(P).

TRANSPORT I DYSTRYBUCJA WODORU DLA TRANSPORTU

- O ile infrastruktura przemysłowa związana z zastosowaniem wodoru jest ulokowana w obrębie konkretnych przedsiębiorstw, o tyle ogólnodostępna infrastruktura do tankowania wodoru, znajduje się głównie na etapie planowania. W Polsce wciąż nie powstała jeszcze żadna stacjonarna stacja tankowania¹², funkcjonują tylko stacje mobilne na potrzeby podmiotów instytucjonalnych korzystających z wodorowej floty samochodów osobowych oraz autobusów. Dla porównania, w Niemczech powstało już około 150 stacji tankowania wodoru, Polska Strategia Wodorowa zakłada budowę minimum 32 stacji do 2025 roku. W obszarze stacji tankowania wodorem najbardziej aktywny będzie PKN Orlen, mający w planach wybudowanie do 2030 roku 102 stacji w regionie, a w tym 54 w Polsce w ramach projektu Hydrogen Eagle¹³.
- Stacje mobilne, czyli cysterny z wodorem (rurowozy, bateriowozy, trajlery) są aktualnie jedynym dostępnym sposobem tankowania pojazdów wodorowych. Trajlery są drogimi pojazdami, a logistyka procesu dostarczania wodoru wymusza, aby w obiegu pozostawało kilka pojazdów. W małej skali, na aktualnym etapie rozwoju, taki model może być akceptowalny, ale przy większej skali będzie całkowicie nieefektywny operacyjnie ani kosztowo.
- **W opinii ekspertów brakuje jasnych przepisów do budowy stacji tankowania wodoru.** Stwarza to sytuacje, gdy urzędy nie chcą ryzykować wyrażenia zgody bez jasnych przepisów prawnych, przez co sam proces uzyskiwania niezbędnych zgód i pozwoleń przy braku przepisów jest trudniejszy niż zwykle. Podejście urzędów do budowy stacji jest zróżnicowane ze względu na region - te, które mają zaplanowane działania związane z zastosowaniem wodoru, są przychylniejsze do składanych wniosków i zapytań.
- Brakuje w Polsce istotnego gracza w zakresie stacji tankowania wodoru, mogącego konkurować z podmiotami za granicą, gdzie te technologie są rozwinięte. Rozwiązania technologiczne związane z tankowaniem wodoru będą musiały w większości zostać pozyskane poza Polską.
- W przypadku dystrybucji paliwa wodorowego do transportu, eksperci wskazywali, że nie można wszystkiego postawić na barkach PKN Orlen i rafinerii. Konieczny jest rozwój sieci dystrybucyjnych wodoru identycznie jak w przypadku paliw tradycyjnych. Takie podejście umożliwi też budowanie łańcucha dostaw. W takiej sytuacji podmiot może podpisać z koncernem umowę na dostawę wodoru na stację dostosowaną do tankowania wodoru.

¹² Stan na marzec 2023 r.

¹³ PKN Orlen. Hydrogen Eagle. Orlen CG project, [Orlen prezentacja Hydrogen final.pdf.coredownload.pdf](#) [dostęp: 26.03.2023].

- PKN Orlen jest potentatem na polskim rynku paliw. W przypadku wytwarzania paliw alternatywnych rozwijają się też podmioty, dla których to zupełnie nowy obszar biznesowy. Koncern naftowy ma stworzoną sieć logistyczną, dystrybucyjną, więc pod tym względem traktuje wodór jak każde jak inne paliwo. Ma zbudowaną główną bazę operacyjną, którą podmioty wchodzące w obszar wytwarzania wodoru automotive, dopiero będą musiały zbudować - chyba, że zdecydują się na inny model biznesowy.

MAGAZYNOWANIE

- **Ekspert wskazuje, że magazyny energii są obiektem szczególnie dynamicznego rozwoju.** W przypadku inwestycji w OZE jest to niezbędny komponent – magazyny energii są kluczowe dla rozwoju OZE, które cechują się niestabilnością produkcji.

Tak, magazynowanie energii to jest taki komponent związany z tym, że widzimy, że magazyny są fundamentalnym elementem układów zdekarbonizowanych, w ogóle magazynowanie energii jest ich fundamentalnym elementem. To one stabilizują te niesterowalne i zmiennopogodowe odnawialne źródła energii. W związku z tym, ponieważ w każdym projekcie wodorowym potrzebny jest magazyn, to też postanowiliśmy rozwijać magazyn dla samych magazynów i okazało się to słusznym kierunkiem, ponieważ no mamy już w tej chwili bardzo duże portfolio projektów magazynowych. One się bardzo szybko, dużo szybciej niż projekty wodorowe domykają i będą realizowane. Także one się już fizycznie zresztą pojawiać w 2024 roku w naszym wypadku. (H2_20230213_14(P))

- W przypadku ekonomicznych aspektów magazynowania energii w wodorze, oceniano, że im mniej się magazynuje, tym bardziej opłacalna jest inwestycja, co świadczy o wysokich kosztach inwestycji i eksploatacji magazynów.
- Techniczne aspekty związane ze zbiornikami i magazynami wodoru dotyczą szczególnie: przenikalności wodoru, a więc kwestii materiałowych, ciśnienia oraz temperatury wodoru. Wraz ze wzrostem ciśnienia, wzrasta migracja cząsteczek wodoru, a trend związany ze zbiornikami wodorowymi kieruje się w stronę wysokociśnieniowych - między 500 a 1000 bar. Sprężenie wodoru do tak wysokiego ciśnienia poprawia ekonomikę. W przypadku skroplonego wodoru, jest on przechowywany w bardzo niskich temperaturach (ok. -260°C), więc kriogenika jest kolejnym wyzwaniem technicznym. *Więc to jest przeszkoda pod wieloma względami - zarówno przeszkoda, jeśli chodzi o kwestie ekonomiczne, jak i projektowe. [H2_20230201_03(P)]*
- **Polska ma potencjał w zakresie magazynowania wodoru w kawernach solnych¹⁴**, wynikający z uwarunkowań geologicznych szczególnie sprzyjających w obszarze zachodniej części kraju. Ekspert nie ocenił jednoznacznie ekonomicznych aspektów tej technologii i jej bieżącego dostosowania do wodoru czy konieczności prowadzenia prac B+R nad jej udoskonaleniem. Wskazywali, że Polska ma na tyle duże możliwości, że w ramach usługi może magazynować wodór dla innych krajów.
- **W polskiej gospodarce leży potencjał do stworzenia polskiego producenta magazynów i zbiorników wodoru.** Ekspert oceniali, że mamy krajowe zdolności do produkcji zbiorników. Obszary zbiorników ciśnieniowych, składowania wodoru

¹⁴ Zacharski, Jarosław, Adam Wójcicki, Grzegorz Czapowski. 2022. Polska "cysterna". Podziemne magazynowanie paliw i gazu ziemnego, PIG-PIB, [PIG-PIB Geologiczna cysterna EuroPower 2022 new ppt \(3\) \[tryb zgodności\] \(pgi.gov.pl\)](#) [dostęp: 26.03.2023].

czy ciekłego wodoru są potencjalnymi szansami technologicznymi i konkurencyjnymi dla polskiej gospodarki.

- Bardzo często, przez analogię np. do LNG, eksperci nawiązywali do dostosowania infrastruktury i technologii pod wymogi wodoru, o wykorzystaniu doświadczenia zdobytego w odniesieniu do LNG oraz szansach z tego wynikających. Odnoszono to zarówno do perspektywy danych firm i łańcuchów oraz całej gospodarki.

Plus nawet mieliśmy przez jakiś czas w naszej grupie kapitałowej firmę, która takie zbiorniki na skroplony gaz ziemny produkowała. Tutaj, akurat, że tak powiem wyparły ją inne podmioty, raczej azjatyckie głównie, które to robią znacznie taniej. Poza tym oni no ze względu na ograniczone zdolności produkcyjne, nie byli w stanie wejść w ten segment naprawę dużych zbiorników. Ale ci ludzie, o ile nie ma samej spółki, to ci ludzie jak najbardziej dalej są, więc są kompetencje projektowe, produkcyjne. H2_20230201_03(P).

- Politechnika Wrocławska jest jednym z dominujących polskich ośrodków badawczych w obszarze zbiorników wodoru i magazynów wodoru o międzynarodowej renomie: *W Polsce mamy też laboratorium, które bada takie zbiorniki we Wrocławiu na Politechnice. I proszę mi wierzyć, że tam badają to najwięksi gracze dzisiaj, którzy produkują zbiorniki wodorowe. I oni to badają. To nie jest tak, że my jesteśmy gdzieś tam z tyłu, tylko my w niektórych obszarach jesteśmy naprawdę na przedzie. (H2_20230115_15(LS)).*

UŻYTKOWANIE

- Niewiele istnieje technologii wodorowych do użytku w przestrzeni publicznej. Wiele jest natomiast projektów rozwijanych, a technologie z fazy laboratoryjnej przystosowuje się właśnie do zastosowań przemysłowych: organizuje się pilotaże i demonstracje. Działy bezpieczeństwa stoją przed sporym wyzwaniem – charakterystyka wodoru jest znana, ale warunki będą nowe – infrastruktura zostanie rozproszona po całej Polsce, opuszczając zamknięte ekosystemy zakładów. Stopniowo wzrasta liczba projektów i zapotrzebowania na poszczególne produkty gospodarki wodorowej.

ENERGETYKA I CIEPŁOWNICTWO:

- Aktualnie wodór jest wykorzystywany w polskiej energetyce m.in. do chłodzenia generatorów. Perspektywicznie wodór może być wykorzystywany jako magazyn energii w przypadku nadprodukcji energii z OZE. Charakterystyką OZE jest to, że są one rozproszone, więc takie zastosowanie wodoru zgłaszają przedstawiciele różnych sektorów gospodarki, którzy będą zazieleniać swoją energią i mierzyć się z problemami stabilizacji tego źródła. Dekarbonizacja ciepłownictwa komunalnego jest istotną aplikacją wodoru ze względu na skalę. Polska struktura rynku ciepłowniczego jest relatywnie rozproszona, co jest charakterystyczne dla krajów postkomunistycznych, np. Ukrainy. Pozwala to na jednoczesną transformację wielu małych ośrodków, zamiast skupiać się na kilku skoncentrowanych. Na polskim rynku istnieją już patenty dot. wytwarzania ciepła przez zeroemisyjne kotły wodorowe, które w kolejnych latach będą skomercjalizowane nie tylko na polskim rynku, ale również w Niemczech i Skandynawii.

PRZEMYSŁ

- Wodór służył dotychczas głównie jako medium w procesach przemysłowych. Jest wykorzystywany głównie jako surowiec do procesów technologicznych, rafineryjnych i chemicznych czy spożywczych. Szeroko rozumiana dekarbonizacja procesów przemysłowych i produktów we wszystkich branżach jest szczególnie istotnym elementem zastosowań wodoru w zamian za paliwa i energię konwencjonalną. Zastosowania wodoru odnawialnego we wszystkich procesach technologicznych zapewne będą niemożliwe, natomiast wszędzie tam, gdzie będzie można zastosować wodór odnawialny jako medium również przyczyni się do zmniejszania śladu węglowego.
- W przemyśle rafineryjnym wodór może być wykorzystany do produkcji paliw klasycznych, ale coraz to bardziej zdekarbonizowanych. Dodatkowo, otwiera się zupełnie nowy obszar w postaci czystego paliwa wodorowego.
- Dostarczenie czystego wodoru do sektora automotive jest kluczowe zarówno dla wytwórcy paliwa, konsumenta oraz wytwórcy ogniw paliwowych. Podmiot dostarczający zanieczyszczony wodór automotive, mógłby wejść w konflikt z producentem, który udziela gwarancji, a najprawdopodobniejsze jest to, że w tej sytuacji głównym poszkodowanym byłby konsument. Producenci nie dostrzegają jednak zagrożenia związanego z produkowaniem zanieczyszczonego wodoru.
- Przemysł chemiczny i produkcja stali w opinii ekspertów stanowią dwie branże, dla których nie ma alternatywy innej niż wodór, jeżeli chodzi o dekarbonizację. Według ekspertów zielona stal, mimo że droższa będzie atrakcyjniejsza dla klientów niż szara z Chin. W przemyśle cementowym ograniczanie emisji CO₂ jest trudniejsze ze względu na specyfikę sektora, eksperci zaznaczali, że sektor nie wyraża zainteresowania zastosowaniem wodoru.
- W przemyśle górniczym ze względów bezpieczeństwa zastosowanie maszyn napędzanych na wodór może być niebezpieczne, ale w kopalniach odkrywkowych w perspektywie kolejnych 20 lat, planuje się wymianę ciężkich maszyn na paliwa konwencjonalne, na wodór.
- Niezależnie od sektora przemysłu czy gospodarki, uniwersalnym zastosowaniem logistycznym mogą być wodorowe wózki widłowe, które stosunkowo łatwo pozyskać i wdrożyć. Są atrakcyjniejsze od bateryjnych ze względu na krótki czas tankowania. Drugim istotnym, cross-sektorowym rozwiązaniem są różnego rodzaju palniki wodorowe, na które jest szerokie zapotrzebowanie np. w przemyśle hutniczym i wydobywczym czy energetyczno-ciepłowniczym.

TRANSPORT WODNY

- W obszarze gospodarki morskiej eksperci wskazywali na słaby rozwój technologii wodorowych przy zwiększającym się zapotrzebowaniu na nie.
- Możliwości zastosowania technologii związanych z wodorem w jednostkach pływających są zróżnicowane ze względu na ich specyfikę. Najcenniejszym zasobem na pokładzie jest powierzchnia i ładowność, a wodór wraz ze zwiększeniem dystansu i np. przeznaczeniem danej jednostki do transportu towarów, zajmuje więcej miejsca. Generalnie, im dłuższa odległość jaką pokonuje dana jednostka, tym aplikacja technologii wodorowych jest mniej opłacalna ze względu na zajmowanie dużej przestrzeni i kwestie ekonomiczne.

Każda jednostka zasilana wodorem ma ten magazyn czasami spory na pokładzie otwartym, bo dla niektórych jednostek pokład otwarty to jest całe clue programu, więc on nie może być zajęty przez gigantyczny zbiornik, bo wtedy ten statek już nie ma sensu operacyjnego. Także to jest jedna kwestia, która jest chyba jednym z największych wyzwań do

opanowania w naszej branży. [...] z perspektywy szczególnie naszej branży, to główną wadą wodoru jest niska gęstość objętościowa. Czyli generalnie, żeby uzyskać tą samą ilość energii, potrzebujemy zająć na pokładzie jednostki kilkakrotnie razy więcej przestrzeni do przechowywania wodoru, niż gdybyśmy chcieli uzyskać tą energię z diesla. A przestrzeń na statku no wiąże się oczywiście z takimi aspektami jak ładowność, nośność, ostatecznie też stateczność. Więc no, generalnie te jednostki nie mogą być taką sztuką dla sztuki. One mogą być napędzane wodorem, ale przede wszystkim mają realizować swoje jakieś zadania. Dlatego dla wielu statków wodór po prostu nie jest jakby w ogóle opcją na dłuższą metę. H2_20230201_03(P)

- Z tego powodu np. na długich odcinkach bardziej popularne mogą być zastosowania metanolu, LNG, bioLNG lub amoniaku. Utrudnieniem związanym ze stosowaniem amoniaku jest jego toksyczność. Maersk, operator kontenerowy, według opinii ekspertów idzie w kierunku zastosowania metanolu, czym może wyznaczać trend dla branży. Innym trendem jest również tworzenie napędów heterogenicznych pod względem paliwa, na jakie mogą być zasilane.
- Na krótszych dystansach morskich i w transporcie śródlądowym wodór może być z powodzeniem wykorzystywany. Producenci jachtów, katamaranów i mniejszych jednostek widzą potencjał dla napędów wodorowych (już dziś korzystają z fotowoltaiki) albo do magazynowania energii w wodorze, którą nie zawsze wykorzystują. Odbiorcy np. jachtów są gotowi zapłacić więcej również ze względu na prestiż takiej zeroemisyjnej jednostki.
- W kontekście transformacji i dekarbonizacji sektora morskiego, podobnie jak każdego innego obszaru transportu, cezurę wyznacza koniec eksploatacji większości floty skarbonizowanej. Czas eksploatacji jednostki morskiej to od kilkunastu kilkadziesiąt lat.
- Jeden z polskich armatorów tworzy już jednostkę zasilaną na wodór przeznaczoną na krótkie dystanse morskie. Polska jest również producentem jednostek pływających, natomiast eksperci wyrażali wątpliwości związane z ich know-how w zakresie wodoru.

TRANSPORT SAMOCHODOWY

- Najdynamiczniej rozwijającą się gałęzią transportu w Polsce jest ten publiczny, zbiorowy, a szczególnie autobusy wodorowe. Będą coraz powszechniejsze ze względu na dostępność producentów autobusów w Polsce, publicznych mechanizmów finansowania oraz ze względu na instytucjonalnych organizatorów. Miejskie zakłady transportowe wprowadzają już pierwsze autobusy w miastach jak np. Poznań, Kraków, Konin. Kolejne miasta jak np. Gdańsk czy Wałbrzych są na etapach postępowań przetargowych lub zapytań związanych z autobusami wodorowymi. Według ekspertów, Fabryka Pojazdów Szynowych H. Cegielski ma potencjał do zbudowania wodorowego szynobusu.
- Obszarem do zagospodarowania po stronie odbiorcy autobusu wodorowego jest zapewnienie niezbędnej infrastruktury, która stanowi co do zasady oddzielnie zadanie przetargowe na etapie inwestycji, utrzymanie pojazdów i dostawa paliwa.
- Na polskim rynku mamy kilka podmiotów, które już mają potencjał związany z produkcją wodorowych autobusów. Solaris ma doświadczenie związane z wodorowymi autobusami od 2014 r., kiedy dostarczył dwa pojazdy bateryjne do Hamburga z tak zwanym wodorowym *range extenderem*, czyli wodorowym ogniwnem paliwowym, zwiększającym zasięg. Od tamtego momentu zwiększano portfolio autobusów wodorowych i firma dostarcza pojazdy zarówno na rynek polski, jak i za granicę. PAK-PCE będzie producentem NesoBus. Firma jest na etapie budowy fabryki w Świdniku, która będzie mogła produkować ponad 100 autobusów

rocznie. W ramach grupy ARP funkcjonuje spółka ARP e-vehicles, aktualnie produkująca autobusy bateryjne, a niewykluczone, że w przyszłości również na ogniwo wodorowe.

- Transport osobowy będzie rozwijać się najwolniej ze względów ekonomicznych. Przy stosunkowo niskiej podaży ze strony producentów, pojawia się wysoki koszt nabycia takiego pojazdu, który jest istotną przeszkodą dla znacznego grona konsumentów. Natomiast producenci, oferują już auta drugiej generacji, które nie posiadają już tzw. problemów wieku dziecięcego, co z perspektywy konsumenta jest istotną kwestią. Dla rozwoju indywidualnego transportu wodorowego, istotnym wsparciem, byłoby uruchomienie publicznych mechanizmów wsparcia jak w przypadku aut elektrycznych. Obszar ten na początku i tak będzie zdominowany przez klientów instytucjonalnych, kupujących floty aut służbowych lub indywidualnych konsumentów o wyższym statusie materialnym.

TRANSPORT KOLEJOWY

- Obiecującym obszarem transportu zbiorowego są wodorowe pociągi. Aktualnie bydgoska PESA opracowała manewrową lokomotywę wodorową, której odbiorcami będą np. przewoźnicy cargo. Tworzy również jednostkę, która będzie mogła być stosowana na odcinkach kolejowych, które dotąd są z różnych względów trudne logistycznie. Przykład stanowi odcinek na Hel, na którym pociąg będzie zasilany ogniwem wodorowym, a momencie powrotu na standardowy odcinek, będzie zasilany z trakcji. Obecne będzie również trzecie źródło energii, wykorzystywane w sytuacji braku dostępu do trakcji lub wodoru. W przypadku kolei, wodór stwarza więc duże możliwości do zagospodarowania niezelektryfikowanych odcinków. Coraz szersze wykorzystywanie wodorowych napędów w pojazdach kolejowych, będzie obecne wraz z postępującą eksploatacją pojazdów konwencjonalnych. Kluczowe jest pojawianie się infrastruktury kolejowej związanej z tankowaniem wodoru.

BARIERY

OZE I KWESTIA ODNAWIALNEGO WODORU

Z uwagi na wymogi transformacji energetycznej, gospodarka wodorowa powinna być w przyszłości oparta na wodorze odnawialnym, tzn. nisko- czy zero-emisyjnym. Oznacza to, że energia niezbędna do wytwarzania w procesie elektrolizy musi pochodzić z odnawialnych źródeł energii. To z kolei zakłada, że w miksie energetycznym będzie na tyle dużo nadwyżki energii pochodzącej z OZE, że będzie można przeznaczyć ją do wytwarzania wodoru. W kontekście polskim takich okolicznościach stwarza szereg barier:

- W stosunku do innych państw UE, Polska nie dokonywała w ostatnich latach dużych inwestycji w OZE. W Niemczech czy krajach skandynawskich inwestycje tego rodzaju zaczęły się już 10-15 lat temu, dzięki czemu te kraje w momentach zwiększonej produkcji prądu z wiatru i słońca generują wysokie nadwyżki energii, które można lokować w produkcję wodoru. **Polska chociaż technologicznie posiada know-how do produkcji wodoru, nie ma infrastruktury niezbędnej do wytwarzania zielonej energii w takiej ilości, aby mogła ją przeznaczyć na produkcję wodoru** i na tym polu odstaje od innych krajów UE, co może osłabiać pozycję Polski w budowaniu gospodarki wodorowej.
- Inwestycje w OZE są w polskim kontekście problematyczne z dwóch powodów: 1) z uwagi na słabość sieci przesyłowych, niemożliwe będzie w krótkim czasie

radikalne zwiększenie mocy generowanych z OZE; 2) nadal istnieją poważne bariery legislacyjne, spowalniające rozwój OZE w Polsce (np. słynna "ustawa wiatrakowa").

- Obecnie prowadzone inwestycje w OZE (np. farmy wiatrowe na Bałtyku) są zlokalizowane głównie na północy kraju, co oznacza, że w tych miejscach będzie ewentualnie możliwość produkcji wodoru. Taka okoliczność powoduje, że 1) gospodarka wodorowa będzie mogła się rozwinać jedynie lokalnie; 2) próby zdelokalizowania zakładałyby rozwinięcie systemu dystrybucji wodoru, co samo w sobie również jest problematyczne (patrz niżej).
- Wśród wielu zastosowań wodoru istnieją takie obszary, które wymagają stabilnego źródła energii (np. przemysł). Wytwarzanie zielonego wodoru z OZE nie daje takiej możliwości z uwagi na zależność od warunków atmosferycznych. Wyjściem z tej sytuacji jest uznanie wodoru powstałego z energetyki atomowej jako niskoemisyjnego (w takim kierunku idzie legislacja europejska).
- Niestabilność energii pochodzącej z OZE powoduje, że działanie elektrolizerów wytwarzających wodór (których budowa jest sama w sobie kosztowna) jest uzależnione od pogody, a to oznacza, że z koniecznością nie mogą one działać w sposób ekonomicznie zoptymalizowany, ponieważ w momentach braku słońca i wiatru pozostają bezczynne:

On działa przez jakąś część roku. Będą okresy, kiedy on będzie kompletnie wyłączony. Kiedy będzie na takim stand by, nie będzie to korzystne. Najbardziej korzystne jest zasilenie elektrolizera, energią o stałym profilu, a stały profil daje energetyka atomowa i to jest jakby też klucz do tego, żeby doprowadzić finalnie, że koszt produkcji wodoru będzie niski (H2_20230215_05(P)).

LOGISTYKA I INFRASTRUKTURA

Rozwinięcie pełnoskalowej gospodarki wodorowej wymaga stworzenia systemu transportowania i dystrybucji wodoru. Z różnych powodów jest to jeden z najbardziej problematycznych elementów wdrożenia technologii wodorowych:

- Rozwój gospodarki wodorowej będzie wymagał określonych technologii i komponentów (np. do elektrolizerów). W Polsce jest duży problem z dostępnością tych technologii, dlatego istnieje potrzeba rozwoju produkcji w kraju. Nie lepiej jest w innych krajach europejskich - na elektrolizer w zagranicznych fabrykach czeka się po kilka lat, co powoduje opóźnienie w inwestycjach.
- W Polsce nie ma rozwiniętej sieci stacji wodorowych, co przekłada się na niski popyt na samochody z napędem wodorowym i tym samym obniża atrakcyjność biznesową inwestycji w wodór (brak popytu związany z brakiem infrastruktury zniechęca biznes do inwestycji).
- Transport wodoru zakłada jego wysokie sprężenie, co powoduje, że można go przewozić tylko w niewielkich ilościach. Jeden bateriowóz, czy tzw. trajler, może przewieźć ok. 500 kg wodoru, co pozwala na zatankowanie 90 samochodów bądź 10-12 autobusów. Regularne dostawy wodoru do stacji tankowania wymagałyby zaangażowania dużej floty bateriowozów, co zwiększałoby koszty produktu końcowego, a także emisyjność procesu dystrybucji.
- Wyjściem z tej sytuacji mogłoby być skroplenie wodoru, dzięki czemu można byłoby go przewozić w większych ilościach. Wiąże się to jednakże z procesem wymagającym dużej energii, a także powoduje problemy z magazynowaniem,

ponieważ konieczne są do tego zbiorniki trzymające temperaturę -260°C , których produkcja jest kosztowna.

- Jednym z dyskutowanych rozwiązań w celu zoptymalizowania procesu przesyłania wodoru jest wykorzystanie istniejącej już infrastruktury gazowej. Z tym rozwiązaniem związany jest np. problem korozji wodorowej (degradacja metalu spowodowana przenikaniem i gromadzeniem się atomów wodoru wewnątrz metalu), który powoduje konieczność konserwacji infrastruktury, co również zwiększa koszty.

Proszę zwrócić uwagę - infrastruktura działa tak długo, na jakie warunki zostanie zaprojektowana. Jeżeli coś zostało zaprojektowane, że będzie w tym gazociągu transportowany gaz ziemny o takich, a nie innych parametrach, o takich, a nie innych właściwościach, to może to funkcjonować bardzo długi okres czasu. A jeżeli wpuścić do tego zupełnie inne medium [np. wodór - przyp. autorów], to może to okres eksploatacji skrócić i to dość znacznie (H2_20230221_23(P)).

- Jeżeli wodór ma dekarbonizować procesy przemysłowe, energia będzie musiała być dostarczana w sposób ciągły i wodór też będzie musiał być produkowany w sposób ciągły, dlatego odnawialny wodór ze względu na potrzebne duże wolumeny, będzie dużym wyzwaniem dla przemysłu.

REGULACJE I LEGISLACJA

- Z uwagi na wysokie nakłady finansowe, **wiele inwestycji prywatnych i publicznych związanych z wodorem uzależnionych jest od środków europejskich, w tym tych z Funduszu Odbudowy**. Z uwagi na opóźnienia w decyzji o przyznaniu środków z KPO (co ma związek z wypełnieniem przez Polskę tzw. kamieni milowych), istnieje ryzyko, że niektóre inwestycje nie będą mogły zostać sfinansowane albo rozpoczną się później niż planowano. Co więcej, niektóre kraje, uzyskawszy już pieniądze z FO, rozpoczynają inwestycje wodorowe, co dodatkowo pogłębia nasze zapóźnienie w wyścigu wodorowym.
- Brak jednego prawa wodorowego powoduje, że **wiele przepisów dotyczących technologii wodorowych jest niejasnych i trudnych w interpretacji**, a także są one umieszczone w wielu szczegółowych aktach prawnych, co rodzi ryzyko wzajemnie się wykluczających zapisów. Wynika to poniekąd z samej "natury" wodoru, którego zastosowanie jest bardzo szerokie, w związku z tym dotyka wiele branż i obszarów, wymagających osobnych regulacji, bądź których regulacje znajdują się już w różnych aktach prawnych.
- Problem rozproszenia legislacyjnego wiąże się również z resortowością polityk. Różne departamenty mogą na wodór patrzeć przez pryzmat odmiennych interesów, co prowadzić może do konfliktów, a w rezultacie do sprzecznych aktów prawnych; dla przykładu: „departament zarządzający sieciami energetycznymi i gospodarką gazową, czy sieciami elektroenergetycznymi - produkcja wodoru może stanowić potencjalne zagrożenie dla bezpieczeństwa funkcjonowania tych sieci w tym znaczeniu, że jeśli będzie silnie nastawione na zmianę źródła energii, to może być mniej stabilna. Natomiast z punktu widzenia departamentu rozwoju paliw alternatywnych i wodoru, to jest zupełnie sprzeczny interes. W jednym z celów Komisja Europejska wskazuje, że produkując wodór odnawialny jedną z możliwości jest dostarczanie energii elektrycznej za pomocą linii bezpośredniej. I z punktu widzenia rozwoju linii bezpośredniej, to taki departament elektromobilności

powinien być jak najbardziej zainteresowany, żeby rozwijać gospodarkę wodorową. Bez linii bezpośredniej tracimy bardzo istotny element sposobu na zasilenie produkcji elektrolizy, wodoru elektrolitycznego. Z kolei dla sieci elektroenergetycznych, linia bezpośrednia powoduje olbrzymie problemy z bilansowaniem". Bariery legislacyjne związane z wodorem są wyrazem szerszego problemu orkiestrowania polityk zgodnie z celami transformacji energetycznej i dekarbonizacją gospodarek. Takie dokumenty jak Polska Strategia Wodorowa są niewystarczające, gdyż nie podchodzą holistycznie do całego procesu.

- Brak jest również konkretnych wytycznych (na przykład w zakresie prawa budowlanego w związku z budową stacji tankowania wodorem, homologacji pojazdów używanych w transporcie publicznym, składowania wodoru na statkach, mieszanina wodoru z innym gazem). Przekłada się to na duże ryzyko inwestycyjne, wiążące się z obawą przed biurokracją (np. urzędnicy w obliczu braku jednoznacznych regulacji nie są w stanie wydawać odpowiednich pozwoleń).
- Chociaż istnieją normy związane z tankowaniem wodorem, w Polsce nadal nie ma ustawy ani rozporządzeń regulujących tę kwestię (wyjściem z tej sytuacji jest posiłkowanie się regulacjami dot. CNG);

Stacje tankowania wodorem teoretycznie podlegają pod te same rozporządzenia, co stacje CNG i to w dalszym ciągu jest utrzymywane w taki sposób i powinno być traktowane. Czyli tak naprawdę chcąc wybudować tylko i wyłącznie stacje tankowania wodorem, nie ma konieczności starania się o decyzję środowiskową. Ze względu właśnie na tą niską szkodliwość, jak gdyby powstającej budowy. No ale niestety, ze względu na to, że to jest wódór, nie ma przepisów i w ogóle część urzędów miast tak naprawdę wymaga jak gdyby przeprowadzenia pełnej procedury urzędowej ze zdobyciem decyzji środowiskowej, z opinią wszystkich niezależnych Urzędów, więc tutaj niestety jest problem. (H2_20230213_11(P))

- Jednym z pomysłów na uzyskiwanie niskoemisyjnego wodoru jest wytwarzanie go jako biopaliwa, jednakże nie ma w polskim ustawodawstwie definicji biowodoru.
- Brak regulacji ogólnych bądź szczegółowych jest ważną barierą dla rozwoju wodoru w Polsce, ponieważ jego specyfika wymaga dookreślenia kwestii związanych z bezpieczeństwem. Przy braku regulacji biznes obawia się o inwestycje, ponieważ nie wiadomo, w którym kierunku te regulacje podążą (czy będą restrykcyjne, czy liberalne).
- Ustawodawstwo i regulacje dotyczące wodoru powstają w dużej mierze na poziomie europejskim. Stanowi to z jednej strony wyznacznik dla legislacji polskiej, z drugiej jest dla niej poważnym ograniczeniem. Dodatkowo, nie zawsze prawo na poziomie europejskim powstaje jako wynik merytorycznych prac, ale również politycznych nacisków różnych krajów, które starają się lobbować na rzecz rozwiązań, które przyniosą korzyści w pierwszej kolejności swojemu krajowi.
- Istnieje po stronie respondentów związanych z biznesem obawa, że regulacje będą zmierzały w stronę stworzenia państwowego monopolu i uprzywilejowania w pierwszej kolejności jednej ze spółek skarbu państwa. Z drugiej strony istnieje silna potrzeba regulacji w związku ze specyfiką wodoru (problem zapewnienia bezpieczeństwa).
- Z uwagi na fakt, że zastosowanie rozwiązań wodorowych w wielu sektorach jest dopiero wdrażane bądź będzie wdrażane w przyszłości, to brak jest praktyki kalkulowania ryzyka, co objawia się na przykład w kwestii gwarancji i ubezpieczeń produktów wodorowych. Brak regulacji powoduje brak jasności w procedurze

szacowania ryzyka, a także uniemożliwia obejmowania gwarancjami produktów związanych z wodorem, co może powodować obawę przed inwestycjami.

- W związku z kalkulowaniem ryzyka istotną barierą jest również niskie doświadczenie ubezpieczycieli w zabezpieczaniu inwestycji wodorowych; te doświadczenia są dopiero zbierane.
- Wdrożenie wielu inwestycji wodorowych będzie odbywało się na poziomie lokalnym. Zakłada to udział urzędów gminnych w zakresie planowania zagospodarowania przestrzennego. Coraz więcej obowiązków planistycznych po stronie gmin może rodzić ryzyko, że te mogą nie poradzić sobie z tym wyzwaniem zarówno na poziomie kadrowym, jak i merytorycznym (tzn. z wydawaniem decyzji zgodnie z obowiązującym prawem w taki sposób, aby nie spowalniać inwestycji).

BARIERY EKONOMICZNE

- **Bariera finansowa jest podstawowym ograniczeniem dla rozwoju technologii wodorowych. Chodzi przede wszystkim o koszty wytwarzania, magazynowania oraz transportowania wodoru, które sprawiają, że zarówno koszt wytworzonej energii, jak i produkt bazujący na technologii wodorowej jest drogi oraz mało konkurencyjny.** Wpływa to na potencjalną niską podaż produktów, a także zwiększa wstrzeźliwość w inwestycjach.

Takie szacunki robiliśmy, że w 2024 kilogram wodoru będzie kosztował 50-60 centów czy tam góra 1 €, no ale się wydarzyło mnóstwo rzeczy po drodze, przez co ten kilogram wodoru zamiast tam z tych 4 € nie potaniał nam do jednego tylko tak naprawdę podrożał nam do 8-10 €.No więc to jest taki hamulec, który mamy na tą chwilę (H2_20230201_07(PM)).

- Na popyt technologii i produktów wodorowych wpływ ma również ogólna zamożność społeczeństwa polskiego, która jest relatywnie niższa od społeczeństw, w których gospodarka wodorowa rozwija się dynamiczniej. Sytuacja ta będzie się jeszcze pogarszała w kontekście inflacji oraz spodziewanych wysokich cen energii.
- Zbyt duże ryzyko finansowe przekłada się na niskie zainteresowanie produktami i usługami związanymi z wodorem w stosunku do tych firm, które mają już doświadczenie wodorowe. Firmy te coraz częściej współpracują z podmiotami zagranicznymi (które są bardziej otwarte na inwestycje w wodór), co rodzi ryzyko, że polskie firmy będą budowały gospodarki wodorowe innych krajów.
- W celu rozwoju całościowej gospodarki wodorowej potrzeba dużych inwestycji ze strony sektora prywatnego, tymczasem w Polsce inwestycje angażują niskie nakłady, mają charakter małoskalowy, dokonywane są punktowo i przez pojedyncze podmioty. Tę sytuację może potęgować fakt, że polski rynek - dotychczas nastawiony na gazyfikację - wciąż raczej nie dostrzega potrzeby transformacji energetycznej, a więc i nie traktuje wodoru, jako środka do tego celu.
- **Istnieją elementy łańcucha wartości, których nie adresują programy wsparcia środkami publicznymi.** Bez tego typu środków i w obliczu dużego ryzyka inwestycyjnego nie da się rozwijać tych elementów samodzielnie.

KADRY

- **Różne zastosowania wodoru będą wymagały istnienia wyspecjalizowanej kadry o wykształceniu technicznym, której na chwilę obecną brakuje nie tylko w Polsce, ale w całej Europie.**
- Na poziomie edukacji wyższej nie ma dużej liczby dedykowanych studiów kształcących kompetencje związane z rozwojem gospodarki wodorowej. Jeszcze trudniejsza sytuacja panuje na poziomie edukacji technicznej i zawodowej.

Pierwszego października zeszłego roku [2022 - przypis autorów] został uruchomiony kurs inżynierski technologie wodorowe (...). No może troszeczkę naprędce, ale został skonstruowany pierwszy taki kurs inżynierski międzywydziałowy, gdzie próbujemy tych wychowywać nowych adeptów i ten kurs cieszył się chyba najlepszym zainteresowaniem nowych tutaj kandydatów, którzy już złożyli swoje papiery do Politechniki (H2_20230213_08(N)).

- Barię w rozwoju kadrowym może być również przekonanie potencjalnych pracowników oraz przeszkolenie ich do pracy w warunkach potencjalnie niebezpiecznych.
- Obsługa inwestycji wodorowych po stronie zarówno instytucji centralnych (np. Urząd Regulacji Energetyki), jak i samorządów będzie wymagała wykwalifikowanej kadry urzędniczej. Bez odpowiednich doświadczeń i wiedzy tempo wydawania decyzji urzędniczych będzie wolne, co przełoży się na niską atrakcyjność inwestycyjną.

RYZYKA

TECHNOLOGICZNE

- Na niebezpieczeństwo związane z wodorem wpływ ma szybkie tempo spalania, niska energia zapłonu (niższa niż w przypadku gazu ziemnego), niewidzialność oraz bezwonność płomienia w trakcie spalania. Potencjalny wyciek wodoru i pożar mogą być praktycznie niezauważalny dla człowieka, co szczególnie zagraża konsumentom. W przypadku gazu stosowane są specjalne nawaniacze, które powodują, że gaz staje się zmysłowo wyczuwalny. Wyzwaniem jest odpowiednie dopasowanie nawaniacza do mieszanki gazowo-wodorowej. W przypadku wodoru odnawialnego służącego do tankowania, to nie ma możliwości stosowania domieszek po to, aby był widzialny i wyczuwalny, ponieważ taki wodór musi być bardzo czysty. W zakładach przemysłowych stosuje się specjalne czujniki oraz tzw. „technikę miotły” polegającą na wykorzystaniu nomen omen miotły, do sprawdzenia obecności wodoru poza instalacją. Mimo, że technika jest dość banalna, pozwala w prosty i szybki sposób zweryfikować stan bezpieczeństwa, które kluczowe jest dla pracowników.
- Stosowane systemy bezpieczeństwa przybierają postać od mało skomplikowanych jak technika „miotły” do szerokiego spektrum stosowanych czujników. Technika miotły polega na użyciu dosłownie miotły, z którą pracownik przemieszcza się po hali, sprawdzając czy np. nie zaistniał wyciek i wodór akurat się nie spala. Pokazuje to, że pomimo stosowania zaawansowanych systemów bezpieczeństwa, wodór dalej pozostaje niebezpiecznym nawet dla profesjonalistów.

- Wodór jest substancją potencjalnie niebezpieczną oraz łatwo przenikającą, dlatego wymaga określonych sposobów magazynowania i transportu, a w przypadku jego bezpośredniego użytkowania (np. na stacjach wodorowych), tworzenia stref bezpieczeństwa. Istnienie ryzyka związanego z cechami charakterystycznymi wodoru wymaga stworzenia dodatkowych systemów bezpieczeństwa i odpowiedniego przeszkolenia kadry (np. w zakresie BHP).

Stacje tankowania wodorem są też w ogóle.... Ten segment rynku jest jednym z nielicznych, który ma już wypuszczoną normę ISO, jakby definiującą jakie parametry musi spełnić, co musi przejść, żeby być dopuszczony. No i to są bardzo wysokie wymagania w porównaniu ze standardowymi aplikacjami to jest.... No nie ma co porównywać. 10 razy, 10 razy jest cięższe do spełnienia niż inne (H2_20230214(P)).

- Jednym ze sposobów wykorzystywania wodoru jest produkowanie amoniaku (który służy również jako magazyn wodoru). Amoniak jest toksycznym gazem, które może skończyć się uduszeniem osób znajdujących się w pobliżu, a w przypadku statków - zanieczyszczeniem wód.
- Pojemniki do przechowywania wodoru (sprężonego bądź skroplonego) są wykonane z materiałów wysokostopowych, z którymi praca wymaga dużych kwalifikacji.

Klient mówi: panie, ja mam warsztat, tam mam autobusy, samochody LPG na propan butan to wiem o co chodzi. Ja mówię: to jest zupełnie inna technologia. To są zupełnie inne wymagania, inne przepisy BHP, inne przepisy ateksowe (H2_20230201_07(PM)).

- Przystosowanie istniejącej infrastruktury przesyłowej (np. gazu) rodzi pytanie, na ile są one gotowe przyjmować mieszanki gazowo-wodorowe. To ryzyko jest szczególnie istotne w kontekście polskim, ponieważ duża część infrastruktury gazowej powstała w latach 60 i 70.
- Poważnym wyzwaniem technologicznym jest sprężanie oraz skraplanie wodoru (np. w celu jego transportowania). Ten ostatni aspekt jest szczególnie wymagający, ponieważ związany jest z technologiami kriogenicznymi, funkcjonującymi w bardzo niskich temperaturach.
- Potencjalnej awarii może ulec elektrolizer, np. wskutek wymieszania się tlenu i wodoru w samym urządzeniu, co może prowadzić do wybuchu

ŚRODOWISKOWE

- Obecnie najwięcej w Polsce produkuje się wodoru szarego, który powstaje przy użyciu emisyjnej energii elektrycznej.
- **Budowa infrastruktury wokół wodoru może być wysokoemisyjna (np. sieć przesyłowa, stacje wodorowe, bateriowozy).**
- **Do produkcji wodoru zużywa się dużą ilość wody. Biorąc pod uwagę sytuację z dostępnością wody w Polsce, rozwój gospodarki wodorowej może potencjalnie negatywnie wpłynąć na środowisko w zakresie dostępu do wody.** Możliwe jest korzystanie z wody szarej, ale nie do produkcji wodoru potrzebnego do tankowania (ten powinien być bardzo czysty). Ponadto woda, która jest zanieczyszczona psuje elektrolizer, który sam w sobie jest urządzeniem niezwykle drogim. Proces oczyszczania wody jest niezwykle energochłonny. W ramach prac B+R rozwijane są technologie odsalania wody, dzięki którym możliwe

będzie jej pozyskiwanie np. ze zbiorników morskich, ale są one na wczesnym etapie rozwoju.

Tam, gdzie będzie potrzebny wodór do procesów o niższej jakości, to można go produkować być może ze ścieków. A tam, gdzie będzie do jakości automotive, która - patrząc na skalę - będzie 10 razy mniejsza, będziemy musieli stosować inne źródła, albo przygotowywać w droższy sposób, ale cena wodoru też będzie inna (H2_20230224_19(P)).

SPOŁECZNE

- Wodór może być źródłem lęków społecznych z powodu skojarzeń z wybuchem bądź bombą wodorową. Lęki te są nie tylko po stronie zwykłych członków społeczeństwa, ale również przedstawicieli firm.

Dochodzi ten komponent, że ten gaz no jest zbiorniku ciśnieniowym, który jak się potencjalnie uszkodził czy intencjonalnie ktoś go uszkodził, to tam są też takie konsekwencje związane z rozerwaniem zbiornika na potężnych ciśnieniach. To rodzi pewne lęki (H2_20230303_20(N)).

- Z uwagi na niższą zamożność w porównaniu do innych społeczeństw UE i potęgującą ją wysoką inflację, Polacy mogą w mniejszym stopniu akceptować polityki z zakresu transformacji energetycznej.

My nie jesteśmy jako społeczeństwo też tak bardzo przekonani i pewnie w wielu aspektach do tej transformacji energetycznej. Mamy trochę niższe PKB, jesteśmy trochę biedniejsi, jednak transformacja jest kosztowna. Wiąże się z pewnymi kosztami i to trudno jest czasami ludziom wytłumaczyć, że - grzejcie się energią elektryczną. Jak będą płacić 3 razy więcej niż jakby palili węglem (H2_20230217_17L).

- Wodór jako nośnik energii i element transformacji energetycznej nie istnieje w świadomości społecznej (w przeciwieństwie do fotowoltaiki czy turbin wiatrowych).
- Z uwagi na duże ilości wody zużywane przez elektrolizery, możliwa jest sytuacja, że w miejscu usytuowania dużych hubów wodorowych obniży się poziom wód gruntowych, co może spowodować protesty lokalnej społeczności.
- Budowanie infrastruktury do przesyłania wodoru może budzić kontrowersje społeczne (np. związane z wywłaszczaniem gruntów).

SZANSE

EKONOMICZNE

- **Inwestycje w gospodarkę wodorową dokonywane w dużej skali mogłyby być korzystne w pierwszej kolejności dla skarbu państwa, które dotując wiele tego typu projektów mogłoby również czerpać z nich zyski.**
- Z uwagi na konieczność liczenia śladu węglowego, produkty związane z gospodarką wodorową będą z czasem zyskiwały na konkurencyjności względem materiałów i technologii o wyższym poziomie emisyjności.

- Istnieją elementy łańcucha wartości związanego z wodorem, w którym polski przemysł mógłby stać się konkurencyjny w skali międzynarodowej. Biorąc pod uwagę wysoki i w przyszłości wzrastający popyt na wodór, to takim elementem może być produkcja komponentów niezbędnych do technologii wodorowych (np. części do elektrolizerów).

Moglibyśmy zbudować również fabrykę elektrolizerów na miejscu w Polsce, byłoby to bardzo pożądane, bo czas oczekiwania na tego rodzaju sprzęt potwornie się wydłużył.

Rynek jest na tyle rozwojowy, potrzebujący infrastruktury, że nie możemy się ograniczać ani zamykać na nic tak naprawdę (H2_20230224_10(P)).

Walczymy o zamówienia tym, że jesteśmy szybsi i tańsi od konkurencji zagranicznej (H2_20230214_04(P)).

- **W porównaniu do zachodnich krajów UE, Polska posiada bardzo rozproszony system ciepłowniczy. Pozwala to na lokalną i punktową transformację systemu, co ułatwia wdrożenie w mniejszej skali rozwiązań opartych na wodorze jedynie w miejscach, w których jest to najbardziej racjonalne (z perspektywy ekonomicznej bądź infrastrukturalnej).** Wodór może być tutaj wykorzystany jako sposób na dekarbonizację ciepłownictwa, chociaż wymaga to działania na poziomie samorządu lokalnego.

POLITYCZNE

- Za budowę gospodarki wodorowej będą opowiadały duże koncerny i formy, które są najbardziej emisyjne (wodór może być dla nich dobrym sposobem na szybką dekarbonizację). Z uwagi na fakt, że wodorem zainteresują się najwięksi gracze na rynku, jest tutaj szansa, że wyznaczą trendy rozwojowe dla mniejszych firm i innych uczestników rynku.
- **Rozwój gospodarki wodorowej może przyczynić się do uniezależnienia polskiego systemu energetycznego** na dwóch poziomach: 1) w dalszej perspektywie i przy założeniu rozwoju technologii wodorowych w różnych rejonach świata zapotrzebowanie na zielony wodór będzie wzrastało, co stworzy problem z dostępnością; inwestycje w OZE i skupienie się na produkcji zielonego wodoru w Polsce może w tym kontekście zmiętygować ryzyko uzależnienia się od dostaw z zewnątrz; 2) w bliższej perspektywie, rozwój gospodarki wodorowej może obniżyć uzależnienie polskiego systemu energetycznego od węglowodorów, które, co pokazała wojna w Ukrainie, stają się coraz droższe i mniej dostępne.

Nie postawimy sobie lokalnie nie wiem rafinerii czy elektrowni w każdym miejscu. Dla wodoru jest dużo bardziej możliwe, żeby lokalnie wytwarzać sobie to paliwo i uniezależnić się od właśnie takiego globalnego łańcucha dostaw (H2_20230213_10PM)

- Inwestycje w technologie wodorowe mogą przyczynić się do nadgonienia technologicznego zapóźnienia gospodarki polskiej. Chociaż rozwój tych technologii przebiega w zachodniej Europie szybciej niż w Polsce, to różnica nie jest na tyle duża, aby nie dało się jej zniwelować. Jest na to duża szansa również dlatego, że wodór jest tematem stosunkowo nowym, technologie oparte o ten nośnik energii są dopiero rozwijane, dlatego próg wejścia do wyścigu technologicznego nie jest

jeszcze zbyt wysoki. Dodatkowym atutem jest duże doświadczenie polskiego przemysłu w wytwarzaniu wodoru szarego.

- Po wojnie Ukraina może stać się poważnym producentem wodoru (m.in. dzięki rozwiniętej energetyce atomowej). Polska może stać się krajem tranzytującym wodór do zachodniej Europy.

SPOŁECZNE

- **Rozwój gospodarki wodorowej w modelu dolin wodorowych stwarza ogromne szanse dla społeczności lokalnych, zarówno na poziomie korzyści ekonomicznych, środowiskowych i zdrowotnych.** Rozwój dolin wodorowych może w tym kontekście znacząco przyczynić się do podwyższenia jakości życia (np. przejście na wodorowy transport publiczny obniża zanieczyszczenie powietrza, które jest jednym z kluczowych wyzwań zdrowotnych w wielu regionach Polski). Istnieją już w Polsce lokalne klastry energetyczne (np. w Słupsku czy Ostrowie Wielkopolskim), w których wodór mógłby być dobrym uzupełnieniem.

Ale są też miasta, które potrafią na zasadzie takiej: mamy trochę śmieci i zamiast budować spalarnię śmieci, budujemy instalację do produkcji wodoru, przez gazyfikację tych odpadów. Produkcja tego wodoru, na skali miasta z odpadów to jest mniej więcej taka ilość, że można wszystkie autobusy w mieście na wodór napędzać. To wtedy nie wymaga ani koordynacji ogólnokrajowej, ani nie wymaga wielkich inwestycji - to jest coś, co możemy zrobić lokalnie. (H2_20230208_12(S))

- Spośród różnych sektorów, transport publiczny jest najbardziej obiecujący, ponieważ w tym obszarze potencjalnie najszybciej można przejść na korzystanie z wodoru.
- W Polsce jest wiele małych tras kolejowych, które nadal nie są zelektryfikowane, na których wykorzystanie pociągów wodorowych miałoby ekonomiczny sens (np. trasa na Hel).
- Rynek pracy jest zasilany nowym pokoleniem, które jest bardziej świadome ekologicznie, niż starsze pokolenia. Poza tym coraz więcej osób pragnie realizować cele klimatyczne i ratować Ziemię dla kolejnych pokoleń, co zdaniem ekspertów pozytywnie wpływa na zmianę biznesu w stosunku do transformacji i proklimatycznych rozwiązań.

ŚRODOWISKOWE

- **Podstawową korzyścią wodoru jako nośnika energii jest jego bezemisyjność: rozwój gospodarki wodorowej może być w związku z tym kluczowym elementem transformacji energetycznej i dekarbonizacji gospodarek.**
- Potencjał dekarbonizacyjny wodoru widoczny jest przede wszystkim w transporcie, który z różnych powodów jest sektorem bardziej opornym na przechodzenie na bezemisyjność.

Przede wszystkim mamy pojazd bezemisyjny, gdzie rzeczywiście tym produktem ubocznym jest para wodna. I tak jak powiedziałem bez względu na to, skąd pochodzi ten wodór, to jest czysty bezemisyjny pojazd w miejscu użytkowania (H2_20230213_10PM)

INFRASTRUKTURALNE

- Tworzenie hubów wodorowych (z instalacjami OZE zlokalizowanymi blisko elektrolizerów; model lokalnej produkcji i konsumpcji) może zmiętygować problem infrastruktury przesyłowej, ponieważ prąd wytworzony przez farmy wiatrowe bądź fotowoltaiczne mógłby być od razu zużywany na procesy produkcji wodoru. Sprzyja to modelowi lokalnej produkcji i lokalnej konsumpcji wodoru, który w świetle aktualnej wiedzy jest najbardziej optymalny ekonomicznie i logistycznie.

Jest taki pomysł na to, żeby tworzyć takie huby dekarbonizowane na bazie transformacji ciepłownictwa komunalnego. To jest taka cecha charakterystyczna dla państw postkomunistycznych, że wszyscy mamy podobne systemy centralnego ogrzewania czy systemy grzewcze scentralizowane. No i wymiana źródła ciepła z węglowego właśnie na oparte na technologiach wodorowych OZE są pretekstem do tego, żeby zaproponować samorządom nie tylko dekarbonizację ciepła, ale również samowystarczalność energetyczną, ciepłą, paliwową oraz tworzenie się stref zielonych centralnych stref przemysłowych w takich miastach, co jest równoznaczne z zieloną reindustrializacją tych obszarów. To jest bardzo ciekawy kierunek i bardzo dynamicznie się rozwijający. (H2_20230213_14(P)).

Także to jest najszybsza droga [dekarbonizacja ciepłownictwa] i paradoksalnie, jeżeli pójdziemy tą drogą, to możemy znacząco przegonić zachodnie gospodarki. Które transformują się w tym kierunku, no bo tam nie ma tego potencjału ciepłowniczego, czy nie ma takiego potencjału jednoczesnej transformacji w wielu różnych małych ośrodków (H2_20230213_14(P)).

- W świetle nowych regulacji EU, każdej nowej instalacji wodorowej będzie musiała towarzyszyć instalacja OZE. Z uwagi na fakt, że w Polsce instalacji OZE nie ma tak dużo, stwarza to nam przewagę nad takimi krajami jak Niemcy, które mogą już nie mieć przestrzennych możliwości na duży rozwój takich klastrów.
- **Polska może włączyć się w inicjatywę European Hydrogen Backbone, której nitki przebiegają również w Polsce. Udział w takiej inicjatywie pozwoli na rozbudowę infrastruktury do przesyłania wodoru i sfinansowanie jej ze środków zewnętrznych.**

TECHNOLOGICZNE

- **W Polsce istnieje duży potencjał do odzysku ciepła odpadowego pochodzącego z procesów funkcjonujących w niektórych gałęziach przemysłu.** Wysokie temperatury mogą zostać wykorzystane do wytwarzania wodoru w elektrolizerach stałotlenkowych, które są co prawda technologią zaawansowaną, ale dostępną i często stosowaną.
- W Polsce istnieje duży potencjał do magazynowania wodoru w kawernach solnych z uwagi na geologiczne uwarunkowania (np. na Pomorzu).
- Rozwój rodzimej produkcji technologii związanych z wodorem (np. fabryka elektrolizerów i magazynów energii) może przyczynić się do unowocześnienia polskiej gospodarki, ponieważ przestawi ją na wytwarzanie nowoczesnych technologii.

Więc jest jakaś szansa, ale może nie wchodzić na duży rynek 200 megawatowych elektrolizerów, ale na mniejszy rynek. Ale też się będzie pojawiał dla jakichś mniejszych zakładów przy produkcji wodoru, czy będzie wykorzystywany jako magazyn. No jest szansa, ja bym widział tu szansę właśnie tej produkcji komponentów do technologii wodorowych (H2_20230217_17L).

- Efektem spalania wodoru jest skraplanie się wody. Z uwagi na jej czystość, ma ona wyższą jakość niż woda pochodząca z kranu. Instalacją wodorowym mogłyby towarzyszyć systemy przechwytywania wody w celu ponownego jej użycia w procesie elektrolizy.

Wiele firm stawia takie pilotaże, gdzie mówi, że to jest duża innowacja, że my nie wykorzystujemy wody z zewnątrz, tylko w takim zamkniętym cyklu wykorzystujemy wodę odpadową, która by była oczyszczana, więc to jest też jakby duża szansa, żeby to się rozwinęło (H2_20230215_05(P)).

POTENCJAŁ I SCENARIUSZE ROZWOJU GOSPODARKI WODOROWEJ W POLSCE

Poniższe zestawienia prezentują prognozy opracowane na podstawie opinii badanych ekspertów. Badani proszeni byli o zaprezentowanie opinii prognostycznych. Zostały sklasyfikowane według głównych bloków tematycznych: wykorzystanie wodoru w transporcie, wódor w przemyśle, wódor a energia i ciepłownictwo, łańcuch wartości wodoru oraz polska gospodarka wodorowa w odniesieniu do horyzontu 2030, 2040 i 2050. Zestawienia zawierają prognozy optymistyczne i pesymistyczne (oznaczone szarym kolorem), które w przypadku zaistnienia mogą okazać się czarnymi koniami, hamującymi rozwój. Poza hipotezami, które zostały skategoryzowane w odniesieniu do konkretnego horyzontu czasowego, pojawiają się również takie, które są niezależne od kryterium czasowego, ale uwarunkowane np. systemowymi i stanowią cenne uzupełnienie (są opisane pod poszczególnymi tabelami).

Tabela 1. Prognozy wykorzystania wodoru w transporcie.

Wykorzystanie wodoru w transporcie			
Prognoza	2030	2040	2050
Wystąpi wzrost wykorzystania wodoru w transporcie publicznym, szczególnie autobusów ze względu na aktywność samorządów, zachęt dla nich i dostępności pojazdów na rynku.			
W Polsce będzie obecnych 15-20 stacji tankowania wodoru dla klientów detalicznych			
Wystąpi duża dywersyfikacja pojazdów odbiorców komercyjnych. Pojazdy wodorowe będą powszechniejsze od samochodów elektrycznych i będą miały większy udział w rynku. Samochody prywatne będą pojawiać się w miarę rozwoju infrastruktury, ale one nie są kluczowe. Pojazdy elektryczne, w tym wodorowe, mogą stanowić 10% rynku. Zwiększy się 1,5-krotnie udział nisko/-zero			

emisyjnego transportu w stosunku do 2030 r.			
Udział pojazdów elektrycznych w rynku, w tym wodorowych, może stanowić około 30%. Od 2035 r. obowiązuje zakaz rejestracji nowych pojazdów spalinyowych, co jest stymulatorem trendu.			
W 5-6 województwach będą jeździły pociągi wodorowe.			
Zakończy się eksploatacja pojazdów szynowych dieslowych/na paliwa konwencjonalne. Wszystkie nowe pojazdy, które jeżdżą na liniach niezelektryfikowanych będą zasilane wodorem, coraz popularniejsze będą pociągi-hybrydy – tam, gdzie dostępna jest sieć elektryczna, będzie jechał na sieci, tam, gdzie nie będzie sieci - będzie jechał na ogniwie paliwowym.			

Źródło: opracowanie na podstawie danych z wywiadów.

Tabela 2. Prognozy wykorzystania wodoru w przemyśle.

Wodór w przemyśle			
Prognoza	2030	2040	2050
Będzie duże wykorzystanie wodoru w sektorze rafineryjnym i nawozowym w instalacjach przemysłowych. Będą pojawiać się pilotaże w innych sektorach/branżach, natomiast nie wydarzy się znaczące wykorzystanie/wytwarzanie wodoru w szerszej skali.			
Odnawialny wodór będzie wykorzystywany w przemyśle na szeroką skalę.			
W produkcji stali czy amoniaku oraz w innych przemysłach energochłonnych i wysokoemisyjnych nie ma innej alternatywy niż wodór - będzie on coraz częściej stosowany.			

Źródło: opracowanie na podstawie danych z wywiadów.

Dodatkowe hipotezy odnoszące się do prognozy w obszarze „wodór w przemyśle”:

- Główna rola w zwiększeniu wykorzystania wodoru i transformacji gospodarki w kierunku niskoemisyjnej jest po stronie koncernów energetycznych i największych firm. Dopóki będą mogły wykorzystywać paliwa konwencjonalne, będą to robić, natomiast są stymulowane coraz mocniejszymi impulsami do zmiany.
- Największe koncerny odgrywają bardzo ważną rolę, ale potrzeba przemysłowego strategicznego podejścia, planu na poziomie centralnym oraz zaangażowania danych jednostek samorządów terytorialnych.

Tabela 3. Prognozy dla wodoru w odniesieniu dla sektorów energii i ciepłownictwa.

Wodór a energia i ciepłownictwo			
Prognoza	2030	2040	2050
W Polsce będziemy mieć za mało odnawialnej i zeroemisyjnej energii.			
Nie nastąpi drastyczny wzrost mocy OZE, ale będzie utrzymywać się trend wzrostowy.			
Nastąpi zastąpienie gazu ziemnego wodorem w Polsce i szersze odejście od paliw kopalnych w gospodarce.			
Nastąpi dziesięciokrotny wzrost mocy OZE w stosunku do 2023 r., ponieważ inwestycje firm w wodór będą zwiększać się dziesięciokrotnie.			
Będziemy obserwować transformację wielu małych ośrodków (rozproszony rynek ciepłowniczy) na przykładzie dekarbonizacji systemów ciepłowniczych z zastosowaniem wodoru. Będzie to bardzo efektywna ścieżka ze względu na dużą liczbę samorządów i nieliniową ich transformację (tzn., że samorządy nie mogą czekać w kolejce) – Polska – oraz inne kraje postkomunistyczne – ma tu zdecydowanie większy potencjał niż kraje zachodnie.			
Wodór będzie odgrywał dużą rolę w ciepłownictwie i instalacjach grzewczych.			

Źródło: opracowanie na podstawie danych z wywiadów.

Dodatkowe hipotezy odnoszące się do prognozy w obszarze „wodór a energia i ciepłownictwo”:

- Okres przejściowy oparty na gazie w przypadku dekarbonizacji jest niepotrzebny i zachowawczy w odniesieniu do sytuacji geopolitycznej i ekonomicznej. Lepiej od razu zmobilizować zasoby do przejścia na OZE i wodór.
- Koszty związane z rozwojem OZE, a szczególnie energetyki jądrowej są wysokie i będą decydujące dla tempa rozwoju wodoru.
- Produkcja wodoru z OZE jest najkorzystniejszym rozwiązaniem ze względu na brak zależności jak w przypadku paliw kopalnych. Produkcja z OZE jest korzystna z powodu osiągania niezależności energetycznej.
- Transformacja rozproszonych systemów energetycznych i ciepłowniczych w kierunku wodoru pozwoli na posiadanie nadwyżek wodoru, który będzie mógł być importowany (Polska netto eksporterem). Zanim dojdzie do tej sytuacji będzie konieczność importowania wodoru.

Tabela 4. Prognozy w odniesieniu do łańcucha wartości technologii wodorowych.

Łańcuch wartości technologii wodorowych			
Prognoza	2030	2040	2050
Przedłużymy etap początkowy albo zakończymy tylko na nim – nie nadamy dynamiki rozwojowi gospodarki i rynku wodorowego. Nie zadamy ani o podaż, ani o popyt na wodór – nie określimy jednoznacznie zapotrzebowania na wodór, nie będzie masowych producentów wodoru ani odbiorców, mimo dużego szumu informacyjnego i ogólnych chęci.			
W Polsce, wśród interesariuszy gospodarki wodorowej, będzie dominować postawa (1) kontestująca zieloną zmianę i przez to opóźnimy transformację np. przeciągając okres przejściowy oraz (2) postawa „nie opłaca mi się”, która będzie blokować rozwój i może spowodować nieodwracalność możliwości podjęcia odpowiednich działań.			
Nie uda się zbudować łańcucha dostaw wodoru i poukładać łańcuchy z perspektywy indywidualnej i zbiorowej. Interesariusze nie będą chcieli ze sobą współpracować, żeby dojść do efektu synergii i wartości dodanej, co będzie wstrzymywać tempo/sprawiać, że tempo będzie niewystarczające.			
Logistyka/dystrybucja/transport wodoru będą głównym problemem dla rozwoju gospodarki wodorowej. Nawet jeżeli będziemy mieć duży popyt i podaż, to nie będziemy mieli efektywnych sposobów pod względem technologicznym i/lub ekonomicznym.			
Nastąpi etap doprecyzowania modeli produkcji i zbudowanie łańcucha wartości i dostaw.			
W dolinach wodorowych rozwiną się lokalne ekosystemy i łańcuch dostaw.			
Zaistnieje wielkoskalowa produkcja wodoru ze względu na zwiększenie mocy OZE.			
Rozwój technologii będzie postępował w kierunku łatwiejszego, szybszego i tańszego sposobu produkcji wodoru – usprawnienie technologiczne i ekonomiczne procesu produkcji wodoru.			
Reaktory jądrowe współpracują z elektrolizerami, jest sporo wirtualnych systemów – wirtualnych elektrowni, czyli systemów OZE współpracujących z elektrolizerami (dużo mniejszych instalacji, wariant rozproszony).			

Odnawialny wodór będzie stosowany w stabilizowaniu OZE.			
Nastąpi rozwój magazynowania, w tym użytkowania kavern solnych.			
Nastąpi rozwój w zakresie transportu i dystrybucji wodoru: sieci przesyłowej (wodorociągi), rozbudowy sieci dystrybucyjnych wyłącznie dla wodoru, rozbudowy terminali obok tych na LNG do odbioru wodoru, amoniaku lub metanolu zarówno do importu, jak i eksportu.			

Źródło: opracowanie na podstawie danych z wywiadów.

Dodatkowe hipotezy odnoszące się do prognozy w obszarze „Łańcuch wartości technologii wodorowych”:

- Wodór jest medium, które można stosować w masowej skali do dekarbonizacji gospodarki. Być może w przypadku samej energii elektrycznej pojawią się atrakcyjniejsze formy magazynowania i stabilizowania, ale to wcale nie ujmuje potencjałowi wodoru.
- Obecność na szlaku między Skandynawią (producentami wodoru), a Europą Zachodnią (odbiorcami wodoru) razem z możliwościami magazynowania wodoru, daje Polsce szanse do wykorzystania.

Tabela 5. Prognozy dla polskiej gospodarki wodorowej.

Polska gospodarka wodorowa			
Prognoza	2030	2040	2050
Wykorzystamy potencjał związany z doświadczeniami z szarym wodorem i już trwającymi projektami wodorowymi największych polskich graczy, do zaistnienia jako istotny kraj na arenie międzynarodowej. Nie przegapimy swojej szansy i nadrobimy zapóźnienie technologiczno-energetyczne.			
Polska znajdzie się w czołówce krajów europejskich, jeśli chodzi o wdrażanie technologii wodorowych. Nie będzie żadnych lub będą nieznaczące bariery geopolityczne i finansowe.			
Wodór wychodzi z niszy paliwa alternatywnego, staje się jednym z głównych paliw napędzających polską gospodarkę			

W 2050 r. będziemy mieć około 30% udziału wodoru w całej gospodarce.			
Wodór z racji na to, że nie potrzeba naturalnych, specyficznych złóż występujących w konkretnych częściach świata, stwarza możliwości do lokalnej produkcji i rozwoju gospodarczego opartego na tej produkcji, podobnie jak w krajach bogatych w złoża paliw kopalnych. Możemy czerpać korzyści z bycia producentem wodoru łącznie z budowaniem renty społecznej dla przyszłych pokoleń (tak jak to miało miejsce z paliwami kopalnymi w krajach Bliskiego Wschodu lub z węglem w Polsce).			
Europa będzie szła w kierunku wykorzystania wodoru we wszelkich elementach związanych z efektywnością energetyczną: ogrzewanie budynków, eliminowanie strat ciepła oraz w kierunku transportu zeroemisyjnego, co będzie również obecne w Polsce.			

Źródło: opracowanie na podstawie danych z wywiadów.

Dodatkowe hipotezy odnoszące się do prognozy w obszarze „Polska gospodarka wodorowa”:

- Rozwój gospodarki wodorowej będzie wpleciony w długoterminową strategię rozwojową kraju, wodór będzie główną strategiczną osią rozwoju kraju.
- Będziemy mieć gospodarkę wodorową, bo zostaniemy do tego zmuszeni przez UE (Fit455, REPowerEU, handel ETS, Marine Fuel EU) i europejski trend wodoryzacji oraz dekarbonizacji. Czynniki te będą stanowić presję zewnętrzną, Polska będzie zaledwie uczestnikiem procesu, ale nie jego beneficjentem/dostawcą/hubem wodorowym.
- Wodór to jest szansa modernizacyjna dla Polski oraz szansa na zwiększenie odporności społeczno-gospodarczej na kryzysy (jak np. energetyczny związany z wojną na Ukrainie czy pandemiczny – według respondentów kryzysy dobitnie uwiarydliły to, że kapitał ma narodowość). Gospodarka wodorowa stwarza ogromne szanse dla rozwoju Polski.
- Polska będzie mogła wykorzystać tzw. przewagi zapóźnionych związane z OZE m.in. w odniesieniu do nowych mocy OZE przy instalacjach wodorowych.
- Zapóźnienie Polski względem Europy Zachodniej w zakresie energetyki odnawialnej i nisko/-zero emisyjnej jest znaczące.
- Zapóźnienie Polski względem Europy Zachodniej w zakresie wodoru nie jest znaczące i będziemy mogli nadgonić Zachód i być konkurencyjni, a w pewnych obszarach zdobyć nawet przewagi rynkowe.
- Brak rozwoju wodoru (w tym brak procesów dekarbonizacyjnych) będzie oznaczać problemy gospodarcze dla Polski ze względów taksonomicznych. Większość naszej gospodarki jest w łańcuchu dostaw dla zachodnich rynków, więc brak dekarbonizacji oznacza dla nas katastrofę.
- Pojawi się lobbing opóźniający bądź zniechęcający do rozwoju wodoru w Polsce.
- Ze względu na koszty transformacyjne – w tym wodoru, europejski przemysł może stracić konkurencyjność. Będziemy wykorzystywać infrastrukturę spoza Europy oraz wykorzystywać zasoby spoza Europy (wodę i OZE), a w ten sposób trudno budować krajową gospodarkę wodorową.

- Gospodarka wodorowa będzie rozwijać się w kierunku nacjonalizacji. Okazuje się, że globalizacja uderza w interesy poszczególnych gospodarek i jest niewydolna w przypadku kryzysów. W gospodarce wodorowej tkwi potencjał, dlatego trzeba o niego zadbać głównie na poziomie krajowym.
- Gminy będą odgrywać fundamentalną rolę w transformacji wodorowej. W związku z decentralizacją systemu energetycznego (energii, ciepła, gazów etc.) na gminach będzie spoczywać coraz więcej obowiązków planistycznych dot. transformacji energetycznej danych jednostek. Transformacja energetyczna wytworzy nowy podział na gminy lepiej i gorzej radzące sobie w tym zakresie. Powinno się przekazać duże wsparcie w zakresie tworzenia lokalnych planów rozwojowych, aby gminy mogły prawidłowo adresować kwestie dot. transformacji, nowych technologii na szczeblu lokalnego prawa i planów.

Infografika 1. Hipotezy związane z potencjałem rozwoju technologii wodorowych – pozytywne scenariusze związane z potencjałem rozwoju technologii wodorowych.

Pozytywne scenariusze

Rozwój technologii wodorowych jest prowadzony w dynamicznym tempie, nie jest do zatrzymania.

Ważna jest uruchomienie polskich technologii wodorowych: budowa polskiego IP, know-how, wspieranie polskiej gospodarki, żeby nie kupować technologii zza granicy.

Kluczową kwestią dla polskiej gospodarki wodorowej jest uruchomienie polskiej fabryki elektrolizerów i polskiej fabryki zbiorników wodorowych. Stworzenie rozwiązań, które będą konkurencyjne ze światowymi i ekonomiczne dla Polski. Jeżeli roczna produkcja ma wynosić 2 GW do roku 2030, to nawet jeżeli polska fabryka nie pokryje całego zapotrzebowania, może pokryć je w części, a w pozostałej będziemy się wspierać technologiami zza granicy lub innymi krajowymi technologiami.

Opracowanie tańszych katalizatorów związanych z produkcją i wykorzystaniem wodoru będzie bardzo ważnym elementem dla obniżenia kosztów produkcji i ceny wodoru.

Źródło: opracowanie na podstawie danych z wywiadów.

Infografika 2. Hipotezy związane z potencjałem rozwoju technologii wodorowych – pozytywne scenariusze związane z potencjałem rozwoju technologii wodorowych.

Negatywne scenariusze związane z potencjałem rozwoju technologii wodorowych

Wodór nie rozwinie się, bo będzie brakować surowców do stworzenia nowej bazy technologiczno-infrastrukturalnej.

Polska będzie wykorzystywać zagraniczne technologie, bo nie będzie właścicielem żadnych na polski rynek. Mogą pojawić się praktyki, mające na celu zablokowanie dostępu dla technologii dla wybranych regionów.

Nie będziemy mogli zapewnić podaży na popyt na elektrolizery. Zarówno, jeżeli chodzi o krajową produkcję elektrolizerów oraz o dostępność na rynkach zagranicznych (będzie mocno ograniczona, w tym momencie fabryki są zakontraktowane do 2029 r.). To przyczyni się do blokady już na pierwszym, podstawowym ogniwie łańcucha wartości uniemożliwiając dalszy rozwój. Ryzykiem jest długi czas oczekiwania na elektrolizery, np. 10 lat.

Źródło: opracowanie na podstawie danych z wywiadów.

Infografika 3. Hipotezy związane z importem eksportem wodoru.

Hipotezy związane z importem/eksportem wodoru

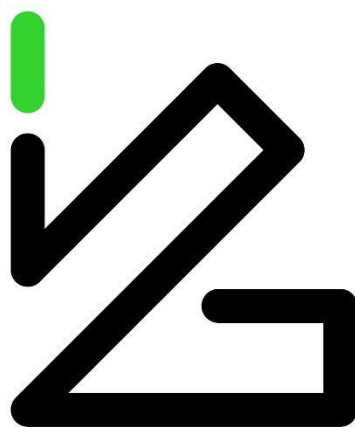
Będziemy zależni od importu wodoru z krajów, do których przenieśliśmy produkcję przemysłową (Chile, Chiny, Afryka, Ameryka Południowa) ze względu na wyśrubowane wymogi w Europie.

Import ani eksport wodoru nie jest atrakcyjny. Jedyną opcją jest produkcja wodoru na miejscu ze względu na większą łatwość logistyczną i pod kątem bezpieczeństwa oraz akceptacji.

Polska może zamienić zależność od paliw kopalnych, na zależność od wodoru i energii nisko/-zeroemisyjnej i może dojść do sytuacji, w której będziemy importować więcej wodoru niż go wytwarzać na własne potrzeby i/lub eksportować.

Kraje peryferyjne (afrykańskie, azjatyckie, latynoskie) nie podlegają takiej samej presji jak UE czy USA. Mogą negatywnie wpływać na kierunki rozwoju lub na polską sytuację związaną z wodorem.

Źródło: opracowanie na podstawie danych z wywiadów.



Łukasiewicz

Instytut
Organizacji
i Zarządzania
w Przemysle
ORGMAZ