



Łukasiewicz
ITECH



3W: woda, wodór, węgiel.

Raport analityczny przedstawiający stan i perspektywy rozwoju gospodarki wodorowej w Polsce, państwach Trójmorza i na świecie.

Warszawa, październik 2023 r.

Autorzy:

Dominik Zieliński

Joanna Grudowska

Adam Rosik

Dr Piotr Lewandowski

Dr Katarzyna Iwińska

Jakub Kucharczuk (współpraca)

Współpraca i recenzja:

Dr inż. Kamil Kulesza

Dr hab. inż. Jakub Kupecki, prof. IEn

Dariusz Pachniewski

Sieć Badawcza Łukasiewicz – ITECH Instytut Technologii i Innowacji

ul. Żelazna 87, 00-879 Warszawa

Spis treści

WYKAZ SKRÓTÓW	5
WPROWADZENIE.....	6
STRATEGICZNA ROLA WODORU WE WSPÓŁCZESNEJ I PRZYSZŁEJ GOSPODARCE	7
Proponowana klasyfikacja sposobów pozyskiwania wodoru	11
Kolory wodoru	12
Odnawialne źródła energii i woda w kontekście wodoru	12
Odnawialne Źródła Energii.....	13
Woda.....	13
WODÓR NA ŚWIECIE	14
Globalny łańcuch wartości	16
Produkcja.....	16
Dystrybucja.....	18
Magazynowanie	18
Zastosowania wodoru	19
Globalny rynek wodoru	20
Kraje Europejskie	21
Główne obszary zastosowań wodoru	23
Trendy na globalnym rynku wodorowym	27
Społeczno-Ekonomiczne.....	27
Technologiczne	27
Polityczno-regulacyjne	28
Środowiskowe	28
Przykładowe projekty wodorowe na świecie	28
TRÓJMORZE: THREE SEAS INITIATIVE (3S). WODÓR MIĘDZY BAŁTYKIEM, ADRIATYKIEM I MORZEM CZARNYM	31
Wodór w deklaracjach 3S	31
Wodór w projektach 3S.....	32
Znaczenie państw 3S dla rozwoju technologii wodorowych	33
3 Seas Hydrogen Council	35
Wodór w dokumentach strategicznych państw 3S.....	35
Strategie.....	35
Główne sektory/kierunki rozwoju gospodarki wodorowej	36
Transport.....	36
Gospodarka i innowacje	37
Bezpieczeństwo energetyczne.....	38
WODÓR W POLSCE.....	40
Wielkość krajowego rynku wodorowego	40

Wdrożenie technologii wodorowych w energetyce (energia elektryczna i ciepła) ..	41
Wsparcie dekarbonizacji przemysłu	43
Produkcja wodoru w nowych instalacjach	44
Sprawny i bezpieczny przesył wodoru	45
Współpraca na polskim rynku	46
Interesariusze polskiej gospodarki wodorowej.....	47
Sieci.....	48
Doliny wodorowe.....	48
Agencje rządowe.....	49
Organizacje naukowo-badawcze.....	50
Perspektywy rozwoju i trendy na krajowym rynku wodorowym	50
Kluczowe czynniki i uwarunkowania rozwoju krajowego rynku wodoru	50
Szanse i potencjały związane z rozwojem krajowego rynku wodoru	52
Bariery i wyzwania związane z rozwojem krajowego rynku wodoru	52
Trendy i perspektywy rozwoju na krajowym rynku wodoru	54
Przykładowe projekty wodorowe w Polsce	56
Polska na tle 3S	58
PORÓWNANIE AKTYWNOŚCI PATENTOWEJ PAŃSTW ŚWIATA, 3S ORAZ POLSKI W OBSZARZE TECHNOLOGII WODOROWYCH	58
Aktywność patentowa w ujęciu globalnym	60
Aktywność patentowa w grupie 3S	63
Porównanie państw 3S i świata	69
JAK ROZWIJAĆ DZIAŁALNOŚĆ W OBSZARACH TEMATYCZNYCH ZWIĄZANYCH Z WODOREM? WNIOSKI I REKOMENDACJE.....	73
Podsumowanie.....	73
Priorytety dalszego rozwoju w obszarze wodoru w Polsce	73
Jakie działania podjąć w kontekście multistrategii dla 3W?	75
LITERATURA CYTOWANA.....	77
SPIS TABEL	82
SPIS RYSUNKÓW	82
SPIS WYKRESÓW	82

WYKAZ SKRÓTÓW

OZE: odnawialne źródła energii
SMR: Small Modular Reactors (małe reaktory modułowe)
UE: Unia Europejska
EHB: EU Hydrogen Bank
CCS: *Carbon Capture and Storage*
CCUS: *Carbon Capture, Usage/Utilization and Storage*
PSW: Polska strategia wodorowa do roku 2030 z perspektywą do roku 2040
IPC: *International Patent Classification*
EPO: European Patent Office,
WIPO: World Intellectual Property Organization,
EPO: Eurasian Patent Organization.
3S: Three Seas (Trójmorze)
ARP: Agencja Rozwoju Przemysłu
IEA: International Energy Agency
CO₂: dwutlenek węgla
3SHC: 3 Seas Hydrogen Council
RFNBO: Renewable fuels of non-biological origin
3W: inicjatywa woda, wodór, węgiel Banku Gospodarstwa Krajowego
PIE: Polski Instytut Ekonomiczny
NFOŚiGW: Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej

Raport przedstawia podsumowanie stanu wiedzy w zakresie rozwoju ekosystemu wodorowego w odniesieniu do poziomu globalnego, krajowego oraz 3S. W środowisku branżowym obserwowany jest dość wysoki poziom optymizmu związany z rozwojem gospodarki wodorowej.

Główne wnioski:

1. Zainteresowanie wodorem, a w szczególności wodorem nisko- i zeroemisyjnym wzrasta szczególnie od drugiej dekady XXI wieku. W Azji prym wiodą Japonia, Chiny i Korea Południowa. W Ameryce Łacińskiej przoduje Chile. Silnymi graczami są także Stany Zjednoczone, Australia i Kanada.
2. Pod względem charakterystyki największych podmiotów na rynku wodoru można wyróżnić dwa główne sektory zastosowań wodoru w przemyśle: chemiczny (w tym głównie nawozy) oraz rafineryjny i petrochemiczny. Pozostałe sektory stanowią w skali globalnej mniej niż 10% wykorzystania wodoru.
3. Przewidywany jest wzrost zastosowania wodoru w obszarach transportu (kolej, autobusy, samochody osobowe i ciężarowe), przemysłu stalowego (zastąpienie strumieni technologicznych pochodzących ze źródeł kopalnych wodorem w procesie produkcji), przemysłu metali "kolorowych" (głównie otrzymywanie miedzi i srebra), magazynowania energii (wodór jako nośnik energii) i ciepłownictwa.
4. Dla Europy wodór ma być narzędziem, które pozwoli ograniczyć emisję CO₂, a więc "zdekarbonizować" przemysł i transport. W związku z tym pierwszym wyzwaniem jest zaspokojenie wewnętrznego popytu na wodór. Można przypuszczać, że z racji na wysokie zapotrzebowanie, Europa będzie musiała wodór dodatkowo importować.
5. Rocznie na całym świecie zużywa się około 95 milionów ton wodoru rocznie (dane na rok 2022) i liczba ta rośnie przeciętnie o 3% do roku. 99% to wodór szary (produkowany z paliw kopalnych i odpowiadający za 900 Mt emisji CO₂). Taka ilość odpowiada za kilka procent światowego popytu na energię i wystarczy, by zasilić np. całe Niemcy. Największym producentem wodoru są Chiny, produkując około 32 miliony ton wodoru rocznie.
6. Nakład na rozwój innowacyjnych technologii opartych na wodorze stale rośnie. Przodują w tym aspekcie Europa i Stany Zjednoczone. Globalnie, w roku 2021 wydatki wzrosły w porównaniu z 2020 r. o 35%, przy czym Europa te wydatki podwoiła. Patrząc na szerszy kontekst dekarbonizacji, technologie oparte na wodorze stanowią 5% wszystkich wydatków na "czyste innowacje".
7. Rynek wodorowy przyciąga duże inwestycje na produkcję, sprzedaż, badania, rozwój i edukację. Wartość światowego rynku wodorowego w 2022 roku, według PIE, szacuje się na około 600 mld złotych. Jego wartość do 2050 roku może się potroić w wyniku dekarbonizacji światowej gospodarki.
8. Dla państw 3S technologie wodorowe stanowią jeden z elementów polityki bezpieczeństwa energetycznego, a także szansę na realizację polityki klimatycznej, dekarbonizację czy wzrost bezpieczeństwa dostaw energii. Szczególnie obecnie wodór zyskuje na znaczeniu w zmieniających się warunkach geopolitycznych regionu.
9. Program RePowerUE zakłada, że przez obszar państw 3S będą przechodzić dwa ważne korytarze przesyłowe wodoru: z regionu nordyckiego i bałtyckiego oraz z Europy Wschodniej i Południowo-Wschodniej do Niemiec.

10. Szczególną rolę w zakresie bezpieczeństwa, rozwoju innowacji i współpracy pełnią doliny wodorowe. Państwa 3S podejmują inicjatywy o charakterze regionalnym z innymi państwami europejskimi, czego przykładem jest Bałtycka Dolina Wodorowa. Uczestniczą w niej interesariusze reprezentujący branże technologiczne czy energetyczne z Finlandii, Estonii (lider projektu), Polski, Danii, Szwecji, Niemiec, Norwegii, Litwy i Łotwy.
11. Polska posiada szczególny potencjał do rozwoju światowej gospodarki wodorowej. Rocznie wytwarzane jest w kraju 1,3 mln ton wodoru. Jest trzecim producentem wodoru w Unii Europejskiej (po Niemczech – 2,5 mln ton i Holandii – 1,5 mln ton). W skali świata, Polska jest piątym producentem wodoru.
12. Najwięcej wodoru w Polsce produkuje Grupa Azoty S.A. (rocznie 190 tys. ton w Puławach, 77 tys. ton w Kędzierzynie Koźlu i 88 tys. ton w Policach).
13. Sektor energetyczny można podzielić na dwie główne gałęzie - produkcję energii elektrycznej oraz energii cieplnej. Wodór może znaleźć zastosowanie w Polsce w obydwu tych obszarach - pod warunkiem zapewnienia odpowiednich mocy OZE czy energii jądrowej, wspierając uniezależnienie od paliw kopalnych i zmniejszając emisję gazów cieplarnianych. Warto podkreślić, że obydwa te obszary są synergiczne - produkcja energii może generować zarówno prąd, jak i ciepło.
14. Aby obniżyć emisję CO₂ w sektorze stalowym, węgiel i koks należy zastąpić wodorem niskoemisyjnym. Duży potencjał do dekarbonizacji sektora hutnictwa stali z wykorzystaniem wodoru wykazują technologie wielkiego pieca hutniczego.
15. W 2022 roku, Polska spożytkowała ok. 31 TWh wodoru¹. Prognozy zapotrzebowania na 2030 rok wskazują na 46 TWh, a w 2040 roku – 89 TWh². Prognozowany wzrastający popyt na wodór, wymaga pobudzenia jego podaży zarówno w zakresie produkcji krajowej oraz importu.
16. Gospodarka wodorowa ma potencjał do budowania współpracy w zakresie bezpieczeństwa energetycznego (w państwach 3S, EU i globalnie). Wspólna strategia rozwoju technologii i gospodarki wodorowej wśród państw 3S może być trudna do wypracowania, niemniej warto by państwa te wypracowały pewne pryncypia, takie jak: priorytety dla wspólnej polityki regionalnej w obszarze rozwoju technologii wodorowych, wzmacnianie mechanizmów rozwoju innowacyjności w obszarze bezpieczeństwa energetycznego, działania na rzecz integracji rynku wodorowego.

STRATEGICZNA ROLA WODORU WE WSPÓŁCZESNEJ I PRZYSZŁEJ GOSPODARCE

Ograniczanie emisji gazów cieplarnianych stanowi jedno z głównych wyzwań społeczno-gospodarczych wynikających z pakietu działań przewidzianych do realizacji w ramach Europejskiego Zielonego Ładu. W ramach zrównoważonej transformacji odbywającej się w krajach Unii Europejskiej (UE), zakłada się osiągnięcie neutralności klimatycznej w 2050 r. Do 2030 r. - zgodnie z pakietem unijnych aktów prawnych Fit for 55 - Unia Europejska planuje ograniczyć emisję gazów cieplarnianych o co najmniej 55% w porównaniu z poziomem z 1990 r. W tej zmianie bardzo ważną rolę mogą odegrać technologie wodorowe.

¹ Wyliczone na podstawie: Fuel Cells and Hydrogen Observatory, [Chapter 2. 2022 Hydrogen Supply Capacity and Demand](#) [31.07.2023].

² Dolnośląski Instytut Studiów Energetycznych, <http://psew.pl/raport-zielony-wodor/>, 2023_[dostęp dn. 31.07.2023].

Wodór może odgrywać ważną rolę w procesie osiągnięcia neutralności klimatycznej. Oferuje on rozwiązania dla tych segmentów gospodarki, w których trudno osiągnąć redukcję emisji w drodze elektryfikacji lub w których zastąpienie paliw kopalnych systemami bateryjnymi jest wręcz niemożliwe, przykładowo w hutnictwie stali czy przemyśle cementowym. Inwestycje w rozwój technologii wodorowych są szansą na obniżenie emisyjności (rozumianej jako emisja gazów cieplarnianych) sektorów energochłonnych i tym samym nie tylko przyczynią się do zrównoważonego wzrostu gospodarczego, lecz również do utrzymania i przekwalifikowania pracowników w sektorach zagrożonych redukcją zatrudnienia.

W listopadzie 2021 roku przyjęto „Polską strategię wodorową do roku 2030 z perspektywą do roku 2040” (dalej: PSW). Stawia się w niej sześć głównych celów:

- Wdrożenie technologii wodorowych w energetyce i ciepłownictwie,
- Wykorzystanie wodoru jako paliwa alternatywnego w transporcie,
- Wsparcie dekarbonizacji przemysłu,
- Produkcja wodoru w nowych instalacjach,
- Sprawny i bezpieczny przesył, dystrybucja oraz magazynowanie wodoru,
- Stworzenie stabilnego otoczenia regulacyjnego.

PSW realnie podchodzi do możliwości transformacyjnych na gruncie krajowej gospodarki, np. poprzez odwołania do wspierania produkcji wodoru niskoemisyjnego. Dodatkowo, na 48 celów szczegółowych, wskazano siedem celów ilościowych skompilowanych w niżej wymienione kategorie:

- 50 MW zainstalowanej mocy wszystkich urządzeń do produkcji wodoru do 2025 r. i 2 GW do 2030 r.,
- 100-250 autobusów wodorowych do 2025 r., 800-1000 autobusów wodorowych do 2030 r.,
- Min. 32 stacje tankowania wodoru do 2025 r.,
- 5 dolin wodorowych do roku 2030 r.

W krajowym kontekście istotną rolę będzie odgrywać tzw. konstytucja dla wodoru³, czyli pakiet legislacyjny, mający uregulować i wesprzeć budowę gospodarki wodorowej w Polsce. Zgodnie z przeprowadzoną analizą⁴, najkorzystniejszym mechanizmem wsparcia dla rynku wodoru, który pakiet ten miałby wprowadzić, to wodorowy kontrakt różnicowy. Zaproponowano organizację wspólnych aukcji dla wytwórcy i odbiorcy wodoru, którzy tworzą partnerstwo biznesowe, na ten sam wolumen wodoru, co pozwala na redukcję ryzyka niezbilansowania podaży i popytu na wodór.

Na gruncie europejskiej polityki oraz krajowych planów rozwoju w zakresie wodoru, istotną rolę odgrywają tzw. doliny wodorowe (ang. *hydrogen valleys*). *Dolina Wodorowa to obszar geograficzny – miasto, region, wyspa, obszar przemysłowy – gdzie różne zastosowania wodoru łączą się w zintegrowany ekosystem wodorowy, który wykorzystuje duże jego wolumeny, dążąc do optymalizacji ekonomicznej. Docelowo powinny pokrywać cały łańcuch wartości: produkcję, magazynowanie, dystrybucję i wykorzystanie*⁵. Doliny powstają w UE (np. Niemcy, Holandia, Wielka Brytania, Hiszpania, Dania, Włochy, Austria, Francja), w Ameryce Południowej (np. Chile), w Azji (np. Chiny, Japonia, Australia)⁶. W Polsce istnieje na ten moment osiem dolin wodorowych, powołanych z inicjatywy

³ MKiŚ, [Kolejny etap prac nad "Konstytucją dla wodoru"](#), 2023 [31.07.2023].

⁴ Esperis, [Analiza instrumentów wsparcia finansowego dla rozwoju rynku wodoru w Polsce. Streszczenie zarządcze](#), 2023 [31.07.2023].

⁵ Clean Hydrogen Partnership, [Mission Innovation Hydrogen Valleys Platform](#), 2021 [31.07.2023].

⁶ Clean Hydrogen Partnership, [Mission Innovation Hydrogen Valleys Platform. Virtual Launch Event](#), 2021, s. 14 [31.07.2023].

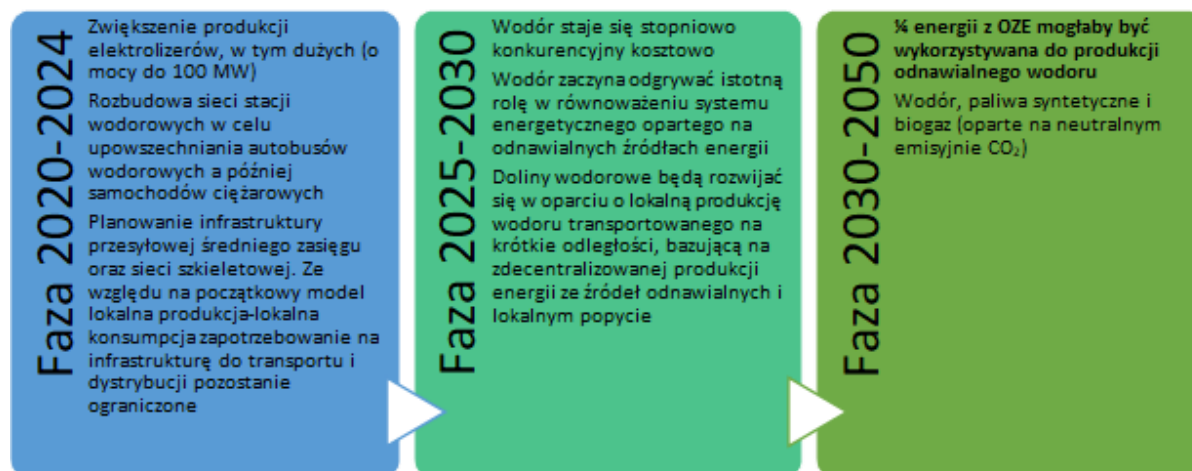
porozumienia sektorowego na rzecz rozwoju gospodarki wodorowej w Polsce - w tym Centralna Dolina Wodorowa oraz Bursztynowa Dolina Wodorowa, będąca projektem Orłenu.

Priorytetem w europejskim horyzoncie strategicznym, związanym z wodorem jest rozwój i wdrażanie technologii wytwarzania wodoru nisko- i zeroemisyjnego. Premiuje się dodatkowo model lokalnej produkcji i lokalnej konsumpcji wodoru (model zdecentralizowany), w ramach którego elektrolizery mogłyby być zlokalizowane obok największych centrów popytu i korzystałyby z energii produkowanej w lokalnych OZE.

W 2020 roku Komisja Europejska przyjęła „Strategię w zakresie wodoru na rzecz Europy neutralnej dla klimatu” (2020), która jest częścią Europejskiego Zielonego Ładu. Strategia opisuje cele i środki mające promować produkcję i wykorzystanie wodoru z OZE w UE. Przedstawia następujące główne cele strategiczne:

- **Faza 2020-2024:** zainstalowanie w UE elektrolizerów zasilanych energią ze źródeł odnawialnych o mocy co najmniej 6 GW i produkcja 1 mln ton wodoru odnawialnego w UE,
- **Faza 2025-2030:** zainstalowanie w UE elektrolizerów zasilanych energią ze źródeł odnawialnych o mocy 40 GW i produkcja 10 mln ton wodoru odnawialnego w UE,
- **Faza 2030-2050:** technologie związane z wodorem powinny osiągnąć dojrzałość i być wdrażane na dużą skalę w celu dotarcia do sektorów, w których trudno obniżyć emisyjność.

Rysunek 1 Cele Europejskiej Strategii Wodorowej



Źródło: opracowanie własne na podstawie Europejskiej Strategii Wodorowej.

Innymi kluczowymi dokumentami dla wodoru na gruncie europejskim są:

- **Akt delegowany do Taksonomii UE (2021)** | Rozporządzenie delegowane Komisji 2021/2139; C/2021/800 | Dostarcza kryteriów, które muszą być spełnione, aby wodór mógł być uznany za niskoemisyjny lub odnawialny zgodny z wymogami Taksonomii UE. Określono m.in.: emisje gazów cieplarnianych z procesu produkcji wodoru, zużycie energii, wykorzystanie OZE, wydajność energetyczną, zarządzanie

odpadami, zużycie wody i innych zasobów naturalnych, spełnianie odpowiednich standardów technicznych etc.

- **Dyrektywa o odnawialnych źródłach energii RED (2021)** | COM/2021/557/final | Wodór odnawialny wraz z jego pochodnymi definiuje się w dyrektywie RED jako paliwa odnawialne pochodzenia niebiologicznego (RFNBO). Są to paliwa, które nie są produkowane ze źródeł biologicznych takich jak biopaliwa albo biogaz. Zamiast tego są one wytwarzane np. w procesie elektrolizy wody przy użyciu OZE. RFNBO oraz węglowe paliwa z recyklingu (RCF) są jednym z elementów, które mogą przyczynić się do osiągnięcia celów dot. udziału energii odnawialnej w transporcie.
- **Akt delegowany do RED** – zasady produkcji RFNBO (2023) C (2023) 1087 final; ROZPORZĄDZENIE DELEGOWANE KOMISJI (UE) 2023/1184 z dnia 10.02.2023 | Akt wskazuje, kiedy energię elektryczną wykorzystywaną przy produkcji RFNBO można uznać za w pełni odnawialną. Akt wprowadza dwa rodzaje produkcji: on-site (z dedykowanego źródła) oraz grid-connected (z sieci). Wymogi stawiane produkcji on site: kryterium dodatkowości – instalacja OZE była oddana do użytku nie wcześniej jak 36 miesięcy od oddania do użytku elektrolizera, nie pobrano energii elektrycznej z sieci do produkcji RFNBO. RFNBO wytwarzane jest z OZE z linią bezpośrednią i magazynem energii. Wymogi stawiane produkcji grid-connected związane są z instalacją do produkcji RFNBO w odniesieniu do jej lokalizacji, poziomu OZE, średniej emisyjności miksu energetycznego w strefie bilansowania energii, zasilania energią elektryczną, która pochodzi z niezbilansowanego systemu, zasilania z OZE (dodatkowość).
- **Akt delegowany do RED** – pomiar emisji CO₂ dla RFNBO (2023) C (2023) 1086 final; ROZPORZĄDZENIE DELEGOWANE KOMISJI (UE) 2023/1185 z dnia 10.02.2023 | Akt ustanawia minimalny próg ograniczenia emisji gazów cieplarnianych w przypadku paliw pochodzących z recyklingu paliw węglowych oraz określono metodykę obliczania emisji gazów cieplarnianych uzyskanego dzięki RFNBO.
- **Pakiet Dekarbonizacji Rynku Gazu Ziarnego i Wodoru (tzw. Nowy Pakiet Gazowy) (2021)** COM/2021/803/final; COM/2021/804/final | Pakiet wprowadza zasady dot. certyfikacji, klasyfikacji, raportowania, monitorowania produkcji i zużycia wodoru, definiuje się kryteria zrównoważonego wodoru, w tym emisji gazów cieplarnianych, efektywności energetycznej, udziału OZE etc. Nowa dyrektywa gazowa wprowadza definicje wodoru niskoemisyjnego i paliw niskoemisyjnych. Wodór niskoemisyjny pochodzi ze źródeł nieodnawialnych i który ma próg redukcji emisji na poziomie min. 70%. Paliwa niskoemisyjne to: wodór niskoemisyjny, syntetyczne paliwa gazowe oraz powstające z recyklingu paliw węglowych (1) pochodzące z wodoru niskoemisyjnego i (2) które mają próg redukcji emisji na poziomie min. 70%.
- **REPower UE (2022)** COM (2022) 230 | REPowerEU ma na celu szybkie zmniejszenie naszej zależności od rosyjskich paliw kopalnych przez przyspieszenie transformacji w kierunku czystej energii i połączenia sił, aby osiągnąć bardziej odporny system energetyczny i prawdziwą unię energetyczną. Zgodnie z mandatem udzielonym przez Radę Europejską, Komisja i państwa członkowskie **utworzyły unijną platformę energetyczną na rzecz dobrowolnych wspólnych zakupów gazu, LNG i wodoru** (EU Energy Platform). W ramach platformy **powstanie specjalny kanał współpracy z państwami członkowskimi poświęcony wspólnym zakupom wodoru**. Umożliwi **uruchomienie europejskiego globalnego instrumentu na rzecz wodoru**. Odnawialny wodór będzie miał zasadnicze znaczenie dla zastąpienia gazu ziemnego, węgla i ropy naftowej w gałęziach przemysłu i w transporcie, w których trudno obniżyć emisyjność. REPowerEU określa cel na poziomie 10 mln ton

wewnętrznej produkcji wodoru odnawialnego i 10 mln ton przywozu wodoru odnawialnego do 2030 r. Podkreślane jest, aby **przyspieszyć starania na rzecz wdrożenia infrastruktury wodorowej do produkcji, przywozu i transportu 20 mln ton wodoru do 2030 r.** Aby ułatwić przywóz 10 mln ton wodoru odnawialnego, Komisja będzie wspierać rozwój trzech głównych korytarzy wodoru przez Morze Śródziemne, obszar Morza Północnego i z Ukrainą (gdy warunki na to pozwolą). Planowane jest też wsparcie we wprowadzeniu wodoru i elektryfikacji w sektorach przemysłowych. Komisja wymienia poniższe zadanie, które ma służyć jako wsparcie: wdrożenie kontraktów na transakcje różnicowe dotyczące dwutlenku węgla oraz specjalne segmenty REPowerEU w ramach funduszu innowacyjnego.

- **Net Zero Industry Act (2023)** Rozporządzenie COM (2023) 161 final, EU H2 Bank –COM (2023) 156 final | Wodór odnawialny i technologia CCUS są zaklasyfikowane jako *net-zero technologies*, czyli kluczowe technologie strategiczne. Dodatkowo, zakomunikowano uruchomienie EU Hydrogen Bank – Europejskiego Banku Wodoru. Planuje się m. in.: zmniejszenie barier administracyjnych, uproszczenie procesów wydawania pozwoleń, nadawanie statusów projektów strategicznych, tworzenie piaskownic regulacyjnych⁷, tworzenie akademii branżowych, zwiększenie zdolności wytwórczych elektrolizerów etc. EHB będzie wspierał dwa rodzaje aukcji: wewnętrzne (mające na celu tworzenie krajowych rynków) oraz mające na celu import wodoru do UE. W przypadku pierwszego rodzaju aukcji, istniejącymi europejskimi instrumentami finansowania są: InvestEU, Fundusze Strukturalne oraz Fundusz Innowacyjny. Jeżeli chodzi o aukcje importowe, będą się one opierać na międzynarodowym instrumentach finansowania, jak: pożyczki preferencyjne, łączenie, gwarancje. W czwartym kwartale 2023 r. zostanie przeprowadzona pilotażowa aukcja wewnętrzna dla wodoru odnawialnego w ramach Europejskiego Banku Wodorowego szacowana na około 3,5 mld zł. Aukcja planowana jest w ramach Funduszu Innowacyjnego UE. W 2024 r. rozpoczną się prace koncepcyjne w związku z planowanymi aukcjami importowymi⁸.

Proponowana klasyfikacja sposobów pozyskiwania wodoru

- **Wodór elektrolityczny:** wodór wytwarzany za pośrednictwem technologii elektrolizy wody. Technologia elektrolizy wody polega na wytwarzaniu wodoru w elektrolizerze zasilanym energią elektryczną niezależnie od jej źródła pochodzenia. Emisje uwarunkowane są sposobem wytwarzania energii elektrycznej, która została wykorzystana do procesu.
- **Wodór odnawialny/czysty wodór/zeroemisyjny:** wodór wytwarzany powyższą metodą, z tą różnicą, że energia elektryczna wykorzystywana w procesie pochodzi z OZE. Emisje są bardzo niskie, stąd mówi się też o nim jako „zeroemisyjny”. Do wytwarzania tego rodzaju można wykorzystać energię np. słoneczną lub wiatrową - ta druga „na lądzie” (ang. *onshore*) lub poza nim (ang. *offshore*), a w przyszłości być może również z wykorzystaniem energii jądrowej.
- **Wodór z paliw kopalnych (nieodnawialny):** produkowany przy użyciu konwencjonalnych źródeł energii, głównie w procesie reformingu parowego. Jest to rodzaj wodoru niezrównoważonego środowiskowo ze względu na emisję CO₂ podczas jego produkcji. Aktualnie jest to główny rodzaj wodoru jaki jest produkowany i użytkowany.

⁷ Piaskownica regulacyjna (*regulatory sandbox*) - to konstrukcja prawna dzięki której podmioty gospodarcze mogą w warunkach testowych bezpiecznie funkcjonować w danym środowisku, aby eksperymentować z działalnością np. w celu zmniejszania barier we wdrażaniu innowacji i skuteczniej odpowiadać na potrzeby rynkowe (MKiŚ. [Piaskownice regulacyjne - rozwiązania przyjazne innowacjom w energetyce](#), 2021 [31.07.2023]).

⁸ Esperis. [Europejski Bank Wodoru \(EHB\). Nowy instrument rozwoju gospodarki wodorowej](#), 2023 [31.07.2023].

- **Wodór z paliw kopalnych z wychwytem CO₂:** produkowany przy użyciu konwencjonalnych źródeł energii, jak paliwa kopalne, natomiast w procesie produkcji stosuje się pirolizę lub technologie wychwytywania, składowania i użytkowania CO₂ (*Carbon Capture and Storage, CCS* i *Carbon Capture, Usage/Utilization and Storage, CCUS*). Ten rodzaj wodoru postrzegany jest jako rozwiązanie przejściowe w drodze do pełnej dekarbonizacji sektora wodorowego.
- **Wodór niskoemisyjny:** produkowany przy użyciu konwencjonalnych źródeł energii, jednak cechuje się niższym poziomem emisji. Może być produkowany z paliw kopalnych z CCS, OZE lub w procesie elektrolizy wody niezależnie od źródła pochodzenia energii elektrycznej. Kluczowe jest to, że ten wodór charakteryzuje się znacznym ograniczeniem emisji gazów cieplarnianych w porównaniu z produkcją z paliw kopalnych. Ten rodzaj wodoru postrzegany jest jako rozwiązanie przejściowe w drodze do pełnej dekarbonizacji sektora wodorowego.
- **Paliwa syntetyczne:** paliwa gazowe i ciekłe oparte o wodór i CO₂. Paliwa syntetyczne powstaje z odnawialnego wodoru i CO₂ wychwytywanego w procesach petrochemicznych, w którym powstają syntetyczne węglowodory. Rozważane są jako potencjalne alternatywne paliwa, które mogą redukować emisje gazów cieplarnianych.

Kolory wodoru

Potocznie przyjęło się używać kolorów, aby wskazać rodzaj i sposób wytwarzania wodoru. Najczęściej używa się następującej typologii:

- **Zielony:** Wytwarzany w procesie elektrolizy wody z wykorzystaniem energii odnawialnej (a perspektywicznie np. fotolizy). Wodór odnawialny może być również wytwarzany w procesie reformingu biogazu/ biochemicznego przekształcania biomasy.
- **Żółty:** Wytwarzany w procesie elektrolizy wody z wykorzystaniem energii słonecznej; często klasyfikowany jako jeden z podtypów wodoru zielonego.
- **Fioletowy:** Wytwarzany w procesie elektrolizy wody z wykorzystaniem energii elektrycznej produkowanej w elektrowniach atomowych.
- **Niebieski:** Wytwarzany w procesach wykorzystujących paliwa kopalne, uzupełnione o technologie wychwytywania, składowania lub przetwarzania CO₂ (czasami nazywany też różowym).
- **Szary:** Wytwarzany w procesie reformingu gazu ziemnego lub innych węglowodorów powstałych w procesie rafinacji ropy naftowej.
- **Brazowy:** Wytwarzany w procesie gazyfikacji węgla brunatnego.
- **Czarny:** Wytwarzany w procesie gazyfikacji węgla kamiennego.
- **Turkusowy:** Wytwarzany w procesie pirolizy metanu lub przetwarzania odpadowych tworzyw sztucznych.
- **Białe:** Pochodzący z naturalnych źródeł geologicznych.

Warto jednak podkreślić, że coraz częściej rezygnuje się nomenklatury bazującej na kolorach wodoru na rzecz precyzyjnego określania emisyjności poszczególnych technologii.

Odnawialne źródła energii i woda w kontekście wodoru

Według raportu IEA z 2023 r. więcej niż 90% produkowanego wodoru pochodzi z paliw kopalnych, czyli m.in. gazu ziemnego i węgla (przede wszystkim w procesach chemicznych i rafinacyjnych). Taki sposób produkcji wiąże się z emisją dużych ilości dwutlenku węgla, przyczyniając się do zanieczyszczenia atmosfery i efektu globalnego ocieplenia. Produkcja

wodoru możliwa jest także w sposób mniej emisyjny. Aby wyprodukować "zielony" wodór, potrzebna jest woda do procesu elektrolizy oraz prąd z OZE⁹.

Przyszłość zeroemisyjnego wodoru jest więc związana z dostępnością wody i OZE. Powoduje to pewne komplikacje, ponieważ zasoby obydwu tych mediów obarczone są specyficznymi uwarunkowaniami i ograniczeniami. Jednocześnie obydwa te składniki są w pewnym stopniu zależne od sposobu, w jaki rozwinie się masowa produkcja zeroemisyjnego wodoru.

Odnawialne Źródła Energii

Odnawialne źródła energii w polskim prawie obejmują "odnawialne, niekopalne źródła energii" w tym przede wszystkim¹⁰:

- **Energię wiatru,**
- **Energię promieniowania słonecznego,**
- **Energię geotermalną,**
- **Energię fal, prądów i pływów morskich.**

Główne zalety OZE to fakt, że są one w zasadzie niewyczerpalne i mają potencjał, aby zmniejszyć ilość emitowanego **CO₂**. Za główną wadę OZE uważa się ich godzinową zmienność i niestabilność w zakresie możliwości produkcji energii.

Wodór może być efektywnym nośnikiem do magazynowania energii z OZE. Nadwyżki energii dostępne w danym momencie można wykorzystać do produkcji wodoru, a następnie wodór - jako źródło energii - wykorzystać już w dowolnym momencie¹¹.

Drugie wyzwanie to wysokie koszty wytwarzania energii z OZE i koniecznej infrastruktury. W efekcie produkcja zeroemisyjnego wodoru jest znacznie droższa od produkcji wodoru z wykorzystaniem paliw kopalnych. Koszty te jednak stale maleją, a UE przewiduje, że z czasem cena wodoru niskoemisyjnego stanie się konkurencyjna w porównaniu do wodoru, który powstał na bazie paliw kopalnych¹². Przyczyni się do tego także rozwój alternatywnych źródeł energii w państwach członkowskich, m.in. Polsce¹³.

Woda

Woda jest niezbędna do produkcji nisko- i zeroemisyjnego wodoru. Niskoemisyjna produkcja wodoru odbywa się w procesie elektrolizy, czyli upraszczając - rozpadzie cząsteczek wody na cząsteczkę wodoru i cząsteczkę tlenu pod wpływem energii elektrycznej. Dostęp do zasobów wodnych jest coraz większym wyzwaniem zarówno dla społeczeństwa oraz gospodarki. Polska jest jednym z państw o najmniejszych zasobach

⁹ International Energy Agency, [Hydrogen patents for a clean energy future. A global trend analysis of innovation along hydrogen value chains, 2023](#) [31.07.2023].

¹⁰ Zgodnie z art. 2 pkt 22 ustawy OZE. Ustawa wymienia także energię otrzymywaną z biomasy, biogazu, biogazu rolniczego oraz z biopłynów, nie są one jednak kluczowe dla niniejszego tekstu.

¹¹ Fundacja Edukacji Rozwoju i Innowacji, [Energetyka zrównoważona - WODÓR](#), 2018 [31.07.2023].

¹² Komisja Europejska, [Strategia w zakresie wodoru na rzecz Europy neutralnej dla klimatu. COM \(2020\) 301 final](#) [31.07.2023].

¹³ Ministerstwo Klimatu i Środowiska, [PSW do roku 2030 z perspektywą do roku 2040. Warszawa, październik 2021 r.](#) [31.07.2023].

wody pitnej w Europie. Co więcej, jedynie 10% rzek w Polsce ma dobry lub bardzo dobry stan ekologiczny, 60% ma stan umiarkowany, natomiast 30% słaby lub zły¹⁴.

Co więcej, producenci wodoru muszą "konkurować" o wodę z innymi producentami energii. W przypadku Polski największe przemysłowe zapotrzebowanie na wodę dotyczy właśnie energetyki – jest to ok. 25% jej krajowego rocznego zużycia. Woda jest wykorzystywana przede wszystkim w elektrowniach węglowych do chłodzenia bloków energetycznych¹⁵.

Produkcja wodoru w procesie elektrolizy zużywa mniej wody niż produkcja wodoru z paliw kopalnych. Zgodnie z reakcją elektrochemiczną potrzeba co najmniej 9 kg czystej, zdeminiaralizowanej wody do wytworzenia 1 kg wodoru w elektrolizerze. W przypadku gazyfikacji węgla, jest to 40-85 kg wody na 1 kg wodoru¹⁶, jednakże wymogi co do jakości wody są mniej rygorystyczne.

Naukowcy pracują nad wykorzystaniem do tego procesu wody słonej pochodzącej z morza, co pozwoliłoby ograniczyć zużycie wody słodkiej. Biorąc pod uwagę, że Bałtyk jest najmniej zasolonym morzem na świecie, stwarza to szczególnie korzystne warunki do rozwoju elektrolizerów zasilanych wodą morską w Polsce¹⁷.

Alternatywą jest przetwarzanie ścieków. Oczyszczone ścieki mogą nadać się do mycia i chłodzenia urządzeń, a teoretycznie nawet do picia przez ludzi. Po demineralizacji, woda ściekowa nada się natomiast do elektrolizy wodoru¹⁸.

Technologie produkcji wodoru z wody są wciąż rozwijane, natomiast należy pamiętać, że każdy dodatkowy krok w produkcji wodoru, np. proces oczyszczania wody, wpływa na cenę wodoru.

WODÓR NA ŚWIECIE

Zainteresowanie wodorem, a w szczególności wodorem nisko- i zeroemisyjnym wzrasta szczególnie od drugiej dekady XXI wieku. Silnymi graczami na rynku technologii wodorowych są szczególnie Stany Zjednoczone i Kanada. W Ameryce Łacińskiej przoduje Chile, a swoje prace nad strategią ogłosiły Brazylia, Kolumbia i Urugwaj. Swoje strategie opublikowały także Australia i Nowa Zelandia. W Azji prym wiodą Japonia i Korea Południowa, a „gonią” je Chiny i Singapur. Oficjalne dyskusje wokół wodoru odbywają się także w Afryce - Egipt i Maroko w 2021 roku zadeklarowały pracę nad narodową strategią wodorową. Na Bliskim Wschodzie pracę zadeklarowały Oman i Arabia Saudyjska¹⁹. Warto zauważyć, że rozwinięta produkcja wodoru nie zawsze wiąże się z zaawansowaniem technologii wodorowych, zwłaszcza opartych na wodrze niskoemisyjnym – produkcja wodoru może być związana z zastosowaniami ściśle przemysłowymi, a nie np. dekarbonizacyjnymi.

¹⁴ Bank Gospodarstwa Krajowego, [Idea 3W. Woda, wodór, węgiel: zasoby, które zbudowały i zmieniają świat](#), 2022 [31.07.2023].

¹⁵ Tamże.

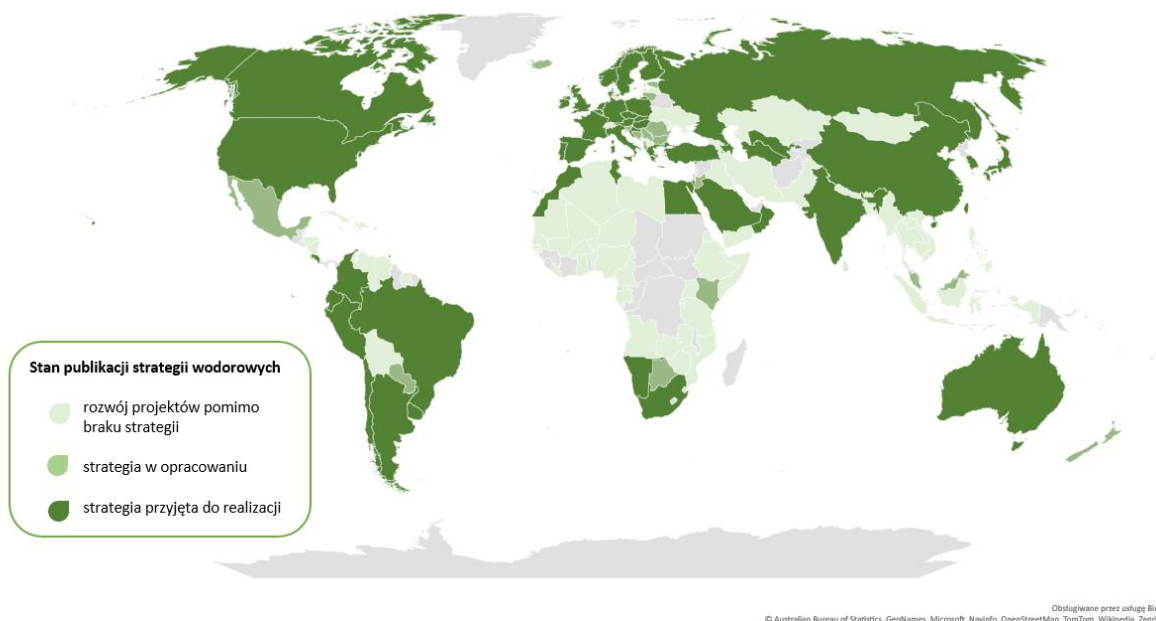
¹⁶ International Energy Agency, [Global Hydrogen Review 2021](#) [31.07.2023].

¹⁷ Bank Gospodarstwa Krajowego, [Idea 3W. Woda, wodór, węgiel: zasoby, które zbudowały i zmieniają świat](#), 2022 [31.07.2023].

¹⁸ Zawadzki P., A. Smoliński, [Otrzymywanie zielonego wodoru w procesie elektrolizy wody odzyskanej ze ścieków komunalnych](#), "3xW. Węgiel. Wodór. Wiedza" I kwartał 2023 [31.07.2023].

¹⁹ World Energy Council, [Working Paper | National Hydrogen Strategies. Hydrogen on the horizon: ready, almost set, go?](#), 2021 [31.07.2023].

Rysunek 2 Globalna mapa krajowych strategii wodorowych (stan na 17.07.2023)



źródło: opracowanie własne.

Priorytety poszczególnych krajów są jednak inne. Dla Europy wodór ma być narzędziem, które pozwoli ograniczyć emisję CO₂, a więc "zdekarbonizować" przemysł i transport. Australia planuje oprzeć się na zeroemisyjnym wodorze, podczas gdy Kanada zamierza jedynie ograniczyć się do wodoru niskoemisyjnego. Francja zamierza produkować wodór na eksport, podczas gdy Holandia zamierza stać się centrum dystrybucji w Europie, przekształcając swój słynny port w Rotterdamie w największy hub wodorowy.

Japonia i Korea Południowa, z racji ograniczonego dostępu do zasobów naturalnych, zamierzają wykorzystać wodór z Australii do uwolnienia się od dostaw energii z Rosji. Duży potencjał upatrują także w pojazdach napędzanych ogniwami wodorowymi. Australia jako istotny uczestnik na rynku energetycznym, również postrzega produkcję wodoru przede wszystkim jako szansę na ekspansję na zagraniczne rynki. UE i Kanada podchodzą do gospodarki wodorowej w inny sposób - planują wytworzyć najpierw zapotrzebowanie wewnątrz swojego terytorium, a dopiero w dalszej kolejności myśleć o eksporcie. Można jednak przypuszczać, że Europa, z racji na wysokie zapotrzebowanie, będzie musiała dodatkowo importować wodór²⁰.

Jeśli chodzi o Polskę, znajduje się ona wśród najbardziej rozwiniętych wodorowych gospodarek w Europie. Konkurencja staje się jednak coraz większa, ponieważ wraz z ogłoszoną strategią wodorową UE, niemal cały kontynent zaangażował się w prace nad rozwojem gospodarki wodorowej. W najbliższych latach i dekadach możemy być świadkami olbrzymiego wzrostu i rozwoju technologii wodorowych²¹.

²⁰ Tamże.

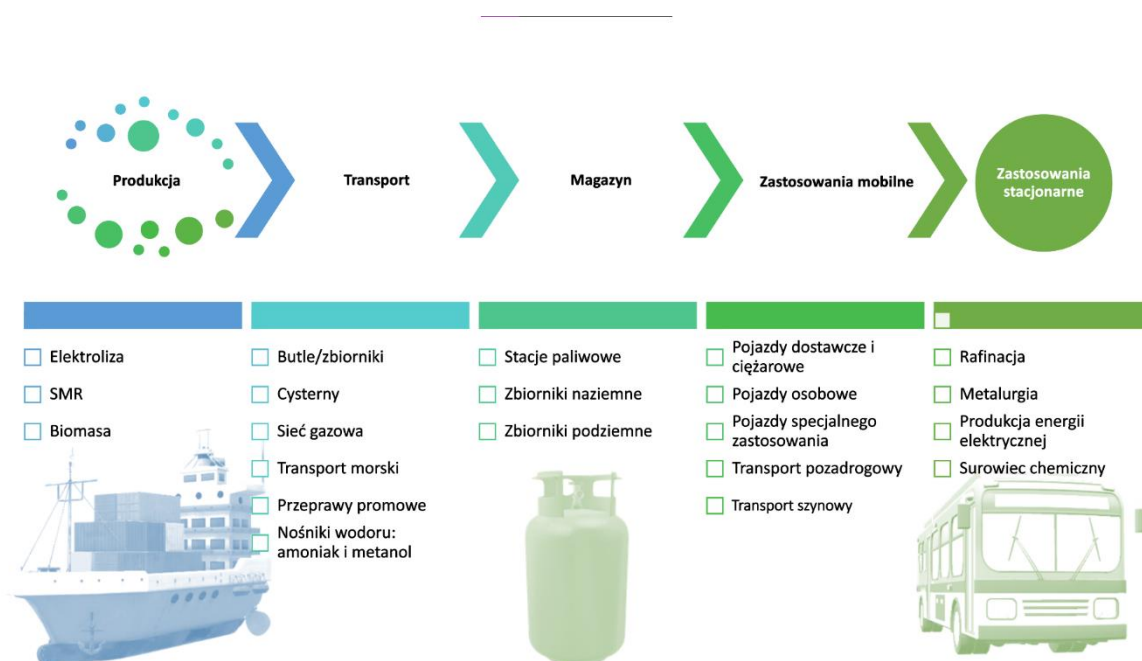
²¹ Instytut Energetyki, Wydział Zarządzania Uniwersytetu Warszawskiego, Instytut Ekologii Terenów Uprzemysłowanych, [Analiza potencjału technologii wodorowych w Polsce do roku 2030 z perspektywą do 2040 roku](#), 2020 [31.07.2023].

Globalny łańcuch wartości

Globalny łańcuch wartości to grupa powiązanych ze sobą elementów, które muszą wzajemnie współpracować, aby zapewnić użytkownikom dostęp do wodoru. Elementy łańcucha można podzielić na 5 obszarów²²:

- Produkcja,
- Przesył, dystrybucja i transport,
- Magazynowanie,
- Zastosowania transportowe,
- Zastosowania stacjonarne.

Rysunek 3 Uproszczony łańcuch wartości wodoru



źródło: opracowanie własne na podstawie IEn, Analiza potencjału technologii wodorowych w Polsce do roku 2030 z perspektywą do 2040 roku, 2020.

Produkcja

Wodór może być produkowany z paliw kopalnych i biomasy, a także wody. Główne obecne i potencjalne metody produkcji to:

- Reforming parowy,
- Reforming w procesach rafineryjnych,
- Elektroliza wody,
- Zgazowanie paliw stałych (węgla, biomasy, odpadów i innych).

Alternatywą dla powyższych metod może być produkcja biologiczna, w końcu wodór produkowany jest także w trakcie naturalnych procesów, m.in. w procesie fermentacji. Naukowcy opracowali połączenie procesów fotosyntezy i fermentacji wykorzystując algi i

²² Tamże.

sinice, które w określonych warunkach mogą rozkładać cząsteczki wody na wodór i tlen. Obecnie trwają prace nad zwiększeniem wydajności metod biologicznych²³.

Na całym świecie zużywa się około 95 milionów ton wodoru rocznie (dane na rok 2022) i liczba ta rośnie przeciętnie o 3% rok do roku. 99% to wodór nieodnawialny (produkowany z paliw kopalnych i odpowiadający za 900 Mt emisji CO₂²⁴). Taka ilość odpowiada za kilka procent światowego popytu na energię i wystarczy, by zasilić np. całe Niemcy²⁵. Największym producentem wodoru są Chiny²⁶, produkując około 32 miliony ton wodoru rocznie²⁷.

W 2022 roku najwięcej instalacji wytwarzania wodoru znajdowało się w Australii (96 placówek), następnie w Niemczech i Hiszpanii (50), Holandii (48), Wielkiej Brytanii (46) i USA (37). Chiny posiadały 26 placówek produkujących wodór²⁸. Liczba wszystkich placówek wytwarzających wodór w Unii Europejskiej wynosiła 535²⁹.

Przewiduje się, że produkcja wodoru odbywać się będzie w myśl dwóch głównych modeli: centralnego i rozproszonego. Produkcja centralna zogniskowana będzie wokół dużych farm wiatrowych lub fotowoltaicznych, natomiast rozproszona będzie składała się z lokalnych instalacji zlokalizowanych w pobliżu mniejszych miejscowości, miast i aglomeracji. Instalacje przypisane tym jednostkom mogą sprzyjać tworzeniu obiegu zamkniętego, poprzez produkcję wodoru w procesach wykorzystujących zgazowanie odpadów komunalnych.

Produkcja niskoemisyjnego wodoru w 2022 roku wynosiła poniżej 1% jego całkowitej produkcji³⁰. Większość tego wodoru produkowana jest z energii słonecznej, mniejsza część z energii wiatru (wyjątkiem jest Chile, które niemal całość zielonego wodoru wytwarza dzięki energii wiatrowej), a znikoma ilość - z morskich farm wiatrowych³¹. Biorąc pod uwagę rolę wodoru jako nośnika energii, produkcja zielonego wodoru odbywać się może w dwóch trybach: wodór z OZE jako główny produkt lub wodór wykorzystany jako magazyn energii z OZE (energia wykorzystywana w procesie elektrolizy wody przeprowadzonej w czasie, gdy na rynku jest jej nadmiar, będzie następnie częściowo odzyskiwana w czasie, gdy na rynku będzie występował jej niedobór).

Wzrost ilości wytwarzanego nisko- i zeroemisyjnego wodoru wymaga produkcji elementów infrastruktury zdolnych do jego wytwarzania, przede wszystkim elektrolizerów. Rozwój potencjału produkcji nisko- i zeroemisyjnego wodoru zaczął szczególnie szybko wzrastać w drugiej dekadzie XXI wieku. Podczas, gdy globalne zdolności produkcyjne w 2005 roku nie przekraczały 5 MW, w 2010 roku było to już ponad 40 MW, w 2015 roku niemal 100 MW, a w 2020 – 304 MW³². W 2022 roku wartość ta przekroczyła 1000 MW (1 GW), a pod koniec 2023 roku prognozuje się zdolności na poziomie 5 517 MW (ponad 5,5 GW)³³.

²³ Wodorowy świat, [Biologiczne metody pozyskiwania wodoru](#), 2021 [31.07.2023].

²⁴ International Energy Agency, [Hydrogen. Energy system overview](#), 2023 [11.10.2023].

²⁵ International Renewable Energy Agency, [Hydrogen](#), 2022 [31.07.2023].

²⁶ Center for Strategic and International Studies, [China's Hydrogen Industrial Strategy](#), 2022 [31.07.2023].

²⁷ International Energy Agency, [Hydrogen. Energy system overview](#), 2023 [11.10.2023].

²⁸ Statista, [Number of green hydrogen production facilities worldwide as of 2022, by country](#) [31.07.2023].

²⁹ Fuel Cells and Hydrogen Observatory, [Chapter 2. 2022 Hydrogen Supply Capacity and Demand](#) [31.07.2023].

³⁰ International Energy Agency, [Hydrogen. Energy system overview](#), 2022 [31.07.2023].

³¹ International Energy Agency, [How much will renewable hydrogen production drive demand for new renewable energy capacity by 2027?](#) 2022 [31.07.2023].

³² International Energy Agency, [The Future of Hydrogen. Seizing today's opportunities](#), 2019 [31.07.2023].

³³ International Energy Agency, [Electrolysers. Technology deep dive](#), 2022 [31.07.2023].

Dystrybucja

Sposób dostarczania wodoru zależy przede wszystkim od odległości i ilości wodoru, która jest transportowana, np. poprzez:

- Butle i małe zbiorniki,
- Transport kołowy (na bliższe i dalsze odległości),
- Rurociągi (przy bardzo dużym zapotrzebowaniu),
- Transport morski.

Wykorzystanie rurociągów zakłada dwa główne scenariusze: budowę "wodorociągów" lub wykorzystanie już istniejących gazociągów poprzez mieszanie wodoru z gazem ziemnym. W Niemczech dopuszcza się do 10% wodoru w gazach (nie dotyczy to gazu ziemnego, tu przepisy UE rekomendują 2% objętości wodoru w gazie ziemnym³⁴), natomiast charakterystyka wodoru stwarza wyższe wymagania pod kątem szczelności i ciśnienia³⁵). Gdyby pomysł ten sprawdził się na szerszą skalę, nie trzeba byłoby budować rozbudowanej sieci rurociągów dedykowanych wodorowi. Największą europejską sieć obsługuje firma Air Liquide. Rurociągi o długości około 1 000 km, rozciągającą się od północnej Francji po Rotterdam, łączącą kilka zakładów produkcyjnych i klientów w północnej Francji, Belgii i południowo-zachodniej Holandii³⁶.

Transport morski należy na razie do rzadkości, choć jego wykorzystanie może wzrosnąć z uwagi na plany rozwoju międzynarodowego rynku wodorowego. Uważa się, że pierwsza jednostka morska przetransportowała wodór w 2022 roku, z Australii do Japonii. Statek zbudowany na potrzeby współpracy tych dwóch krajów przewozi wodór w stanie ciekłym³⁷.

Magazynowanie

Metody magazynowania wiążą się z metodami dystrybucji. Stalowe butle i małe zbiorniki służą głównie w zastosowaniach badawczych i przy mniejszych wolumenach produkcji. Większe zbiorniki, np. na stacjach paliw lub w pojazdach transportu ciężkiego wykonuje się w innej technologii.

Przechowywanie wodoru stwarza znaczące wyzwania. W stanie gazowym wodór należy utrzymywać w relatywnie podwyższonym wysokim ciśnieniu, nawet do 970 bar, przy czym transport pasażerski wymaga rozwiązań dedykowanych dla ciśnienia do 700 barów a transport zbiorowy, przykładowo rozwiązania dla autobusów do 350 barów.

Jednocześnie zmiana stanu skupienia wodoru wpływa znacznie na jego objętość. Dla przykładu 4 kg wodoru w stanie ciekłym zajmują 57 litrów, podczas gdy wodór pod ciśnieniem 200 barów ma objętość 110 litrów³⁸.

Alternatywne formy przechowywania wodoru obejmują także:

³⁴ Rada UE, [Państwa członkowskie ustaliły stanowisko w sprawie przyszłego rynku gazu i wodoru](#), 2023 [31.07.2023].

³⁵ Wysokienapięcie.pl, [Polska energetyka gaz zastąpi wodorem? To nie takie proste, 2023](#) [31.07.2023].

³⁶ Instytut Energetyki, Wydział Zarządzania Uniwersytetu Warszawskiego, Instytut Ekologii Terenów Przemysłowych, [Analiza potencjału technologii wodorowych w Polsce do roku 2030 z perspektywą do 2040 roku](#), 2020 [31.07.2023].

³⁷ Reuters, [World's first hydrogen tanker to ship test cargo to Japan from Australia](#), 2022 [11.10.2023].

³⁸ Züttel A., [Hydrogen-storage materials for mobile applications](#), "Nature" (414)6861, 2001, s. 353-358 [31.07.2023].

- Wodoroki metali – metale (np. magnez, aluminium, glin – prowadzone są badania nad nowymi nośnikami), mogą absorbować cząstki wodoru, umożliwiając przechowywanie w stanie stałym,
- Wykorzystanie adsorbentów w postaci materiałów węglowych - polega na zastosowaniu zbiorników, w których jako materiał wiążący cząsteczki wykorzystuje się materiały węglowe o rozwiniętej powierzchni (np. węgiel aktywny, grafen, grafit, nanorurki węglowe),
- Ciekłe nośniki - wodór można związać z innymi substancjami ciekło-organicznymi, pozwalając na przechowywanie bezciśnieniowe, w temperaturze pokojowej (np. w alkoholu, oleju, amoniaku, zasadach i innych związkach)³⁹.

Ze względu na niższe koszty, na większą skalę najbardziej adekwatne wydają się magazyny podziemne, w tym kawerny solne. Kawerna solna, to pusta przestrzeń w złożach soli, która - jeśli spełnia odpowiednie wymagania - poddawana zostaje ługowaniu i szczelinowaniu, po czym włacza się do niej gaz.

Rozmiar kawern może być imponujący, przykładowo magazyn Aces Delta w Utah w Stanach Zjednoczonych ma mieć rozmiary 800 metrów głębokości i szerokości. Tak duży zbiornik mógłby pomieścić zapas wodoru zdolny do zasilania 150 000 domów przez cały rok⁴⁰. Inne przykłady z USA, to kawerny Clemens Terminal⁴¹ oraz Air Liquide w Teksasie⁴². W Polsce aktywnie wykorzystuje się dwie kawerny solne: Mogilno i Kosakowo. Łącznie pojemność tych magazynów wystarcza, by zaspokoić około 5 proc. rocznego zużycia gazu ziemnego w Polsce⁴³.

Zastosowania wodoru

O wodorze często mówi się jako o nośniku energii, który pozwoli zmniejszyć negatywny wpływ człowieka na środowisko. Niemniej, wodór już dziś jest czynnikiem dość wszechobecnym, a jego zastosowania obejmują różne gałęzie gospodarki. Człowiek wykorzystuje wodór przede wszystkim jako surowiec w przemyśle technicznym, ale także powoli jako nośnik energii oraz paliwo na potrzeby zasilania pojazdów lub spalania w piecach.

Zapotrzebowanie na wodór generują przede wszystkim zastosowania przemysłowe. Dwa główne obszary jego wykorzystania w 2022 roku to⁴⁴:

- Chemia (51%):
 - Produkcja nawozów sztucznych (wodór wykorzystywany jest do produkcji amoniaku, który z kolei służy do produkcji nawozów),
 - Produkcja kwasu azotowego (także poprzez amoniak, jako produkt pośredni, kwas azotowy służy do produkcji m.in. nawozów sztucznych, barwników, tworzyw sztucznych, służy także w chemii analitycznej i jest wykorzystywany w procesach oczyszczania metali),
 - Procesy uwodornienia inne niż produkcja amoniaku oraz procesy rafineryjne (wzbogacenie substancji o wodór, zmieniając jej właściwości, co przydaje się np. w produkcji margaryny),

³⁹ Starobrat A., [Nowe materiały do magazynowania wodoru oparte na skandzie, itrze i glinie: synteza i właściwości fizykochemiczne](#). Praca doktorska realizowana w ramach MISDoMP w latach 2015–2020 pod kierunkiem: prof. dr hab. Wojciecha Grochali [31.07.2023].

⁴⁰ PV Magazine, [World's largest underground hydrogen storage project](https://www.pv-magazine.com/2022/08/04/worlds-largest-underground-hydrogen-storage-project/), <https://www.pv-magazine.com/2022/08/04/worlds-largest-underground-hydrogen-storage-project/> [31.07.2023].

⁴¹ WSP, [Clemens Cavern Terminal](#) [31.07.2023].

⁴² Air Liquide, [USA: Air Liquide operates the world's largest hydrogen storage facility](#) [31.07.2023].

⁴³ PGNiG, [Podziemne Magazyny Gazu](#), 2023.[31.07.2023].

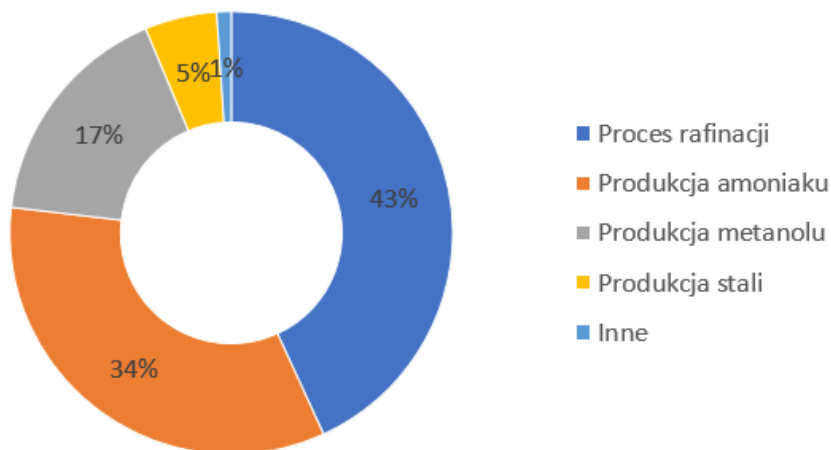
⁴⁴ International Energy Agency, [Hydrogen. Energy system overview](#), 2023 [11.10.2023].

- Rafinerie (43%):
 - Produkcja oleju napędowego i paliwa odrzutowego (wodór wykorzystywany jest w procesie hydrokrakingu ropy naftowej – przemysłowej formie uwodornienia),
 - Hydrowodowa rafinacja – oczyszczanie produktów i półproduktów z przeróbki ropy naftowej (wodór zastępuje niechciane związki chemiczne).

Powyższa lista pokazuje najważniejsze obecnie obszary zastosowania wodoru. Pozostałe zastosowania (obecnie znikoma część zapotrzebowania na wodór):

- Metalurgia:
 - produkcja stali (wodór, jako czynnik redukujący rudę żelaza do formy stali),
 - obniżanie zawartości fosforu i siarki w stali (co zmienia jej właściwości),
- Transport,
- Produkcja energii elektrycznej (w tym współspalanie wodoru w turbinach gazowych),
- Produkcja materiałów budowlanych (głównie w cementowniach),
- Ciepłownictwo,
- Wytwarzanie paliw syntetycznych.
- Przemysł spożywczy.

Wykres 1 Obszary zastosowania wodoru na świecie w 2022 roku



Źródło: opracowanie własne na podstawie International Energy Agency, [Hydrogen. Energy system overview, 2023](#) [11.10.2023].

Przewidywany jest wzrost zastosowania wodoru w obszarach transportu (kolej, autobusy samochodowe osobowe i ciężarowe, transport morski), przemysłu stalowego (zastąpienie strumieni technologicznych pochodzących ze źródeł kopalnych wodorem w procesie produkcji), przemysłu metali "kolorowych" (głównie otrzymywanie miedzi i srebra), magazynowania energii (wodór jako nośnik energii) i ciepłownictwa.

Globalny rynek wodoru

W 2020 r. wartość eksportu wodoru na świecie przekroczyła 450 mln zł (na podstawie niepełnych danych dotyczących handlu zagranicznego, pochodzących z 37 krajów). W poprzedzającym roku było to około 670 milionów złotych (na podstawie danych dot. handlu

pochodzących z 65 krajów). Wśród największych eksporterów znajdują się Kanada, Holandia, Belgia, Stany Zjednoczone, Niemcy, Słowacja oraz Polska. Dane dotyczące importu wodoru rozkładają się trochę inaczej. Najwięcej importują Stany Zjednoczone, Holandia, Niemcy, Kanada, Meksyk i Czechy. Polska znajduje się pod tym względem na 14 pozycji⁴⁵.

Jeśli jednak zestawić te dane z powiązaniem między krajami i infrastrukturą transportu i przesyłu wodoru, okaże się, że nie jest to ranking przypadkowy. Jak twierdzą eksperci odpowiedzialni za PSW, wodór produkowany jest głównie na własne zastosowania, a eksport wodoru odbywa się stosunkowo rzadko – „podczas gdy globalna produkcja wodoru wynosi 100-120 mln ton rocznie, w obrocie znajduje się ok. 100-150 tys. ton”⁴⁶, czyli zaledwie ok. 0,1% całkowitej produkcji.

Mając to na uwadze, łatwiej zrozumieć, dlaczego Chiny – jako największy producent wodoru, nie znajdują się w czołówce eksporterów i importerów. Stany Zjednoczone – największy importer – kupuje wodór od sąsiedniej Kanady – największego eksportera. Pokazuje to także, że kraje europejskie, dzięki bliskiemu położeniu względem siebie, łatwiej mogą transportować wodór między granicami.

Nakłady na rozwój innowacyjnych technologii opartych na wodorze stale rośnie. Przewiduje się, że w tym aspekcie Europa i Stany Zjednoczone. Globalnie, w roku 2021 wydatki wzrosły w porównaniu z 2020 r. o 35%, przy czym Europa te wydatki podwoiła. Patrząc na szerszy kontekst dekarbonizacji, technologie oparte na wodorze stanowią 5% wszystkich wydatków na „czyste innowacje”⁴⁷.

Co próbują osiągnąć poszczególne kraje? Najpopularniejsze cele wskazywane w narodowych strategiach wodorowych, to:

- Zmniejszanie emisji,
- Dekarbonizacja przemysłu ciężkiego,
- Zeroemisyjny transport,
- Dywersyfikacja kierunków dostaw energii,
- Wspieranie wzrostu gospodarczego,
- Wspieranie rozwoju krajowych technologii,
- Integracja odnawialnych źródeł energii,
- Rozwój wodoru na eksport⁴⁸.

Kraje Europejskie

Analizując kontekst wyłącznie europejski, okaże się, że Polska jest jednym z ważniejszych graczy na rynku wodorowym. Dane wskazują bowiem, że 5 największych producentów wodoru w Europie, to:

- Niemcy,

⁴⁵ Instytut Energetyki, Wydział Zarządzania Uniwersytetu Warszawskiego, Instytut Ekologii Terenów Uprzemysłowionych, [Analiza potencjału technologii wodorowych w Polsce do roku 2030 z perspektywą do 2040 roku](#), 2020 [31.07.2023].

⁴⁶ Instytut Energetyki, Wydział Zarządzania Uniwersytetu Warszawskiego, Instytut Ekologii Terenów Uprzemysłowionych, [Analiza potencjału technologii wodorowych w Polsce do roku 2030 z perspektywą do 2040 roku](#), 2020 [31.07.2023].

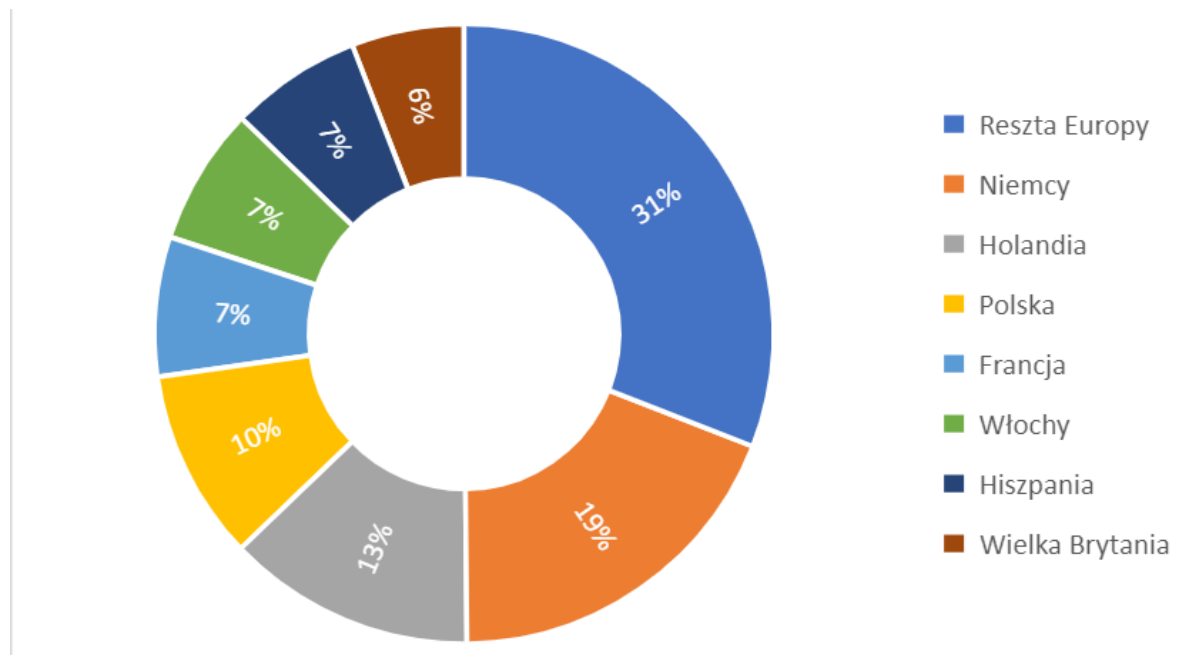
⁴⁷ International Energy Agency, [Hydrogen. Energy system overview](#), 2022 [31.07.2023].

⁴⁸ Instytut Energetyki, Wydział Zarządzania Uniwersytetu Warszawskiego, Instytut Ekologii Terenów Uprzemysłowionych, [Analiza potencjału technologii wodorowych w Polsce do roku 2030 z perspektywą do 2040 roku](#), 2020 [31.07.2023].

- Holandia,
- Polska,
- Włochy,
- Francja.

Łącznie, z końcem 2022 roku, kraje europejskie były w stanie wyprodukować około 11,4 milionów ton wodoru rocznie, czyli niemal 31 ton wodoru dziennie⁴⁹.

Wykres 2 Udział w produkcji wodoru w Europie (% z 11,4 mln ton wodoru w 2020 roku)



Źródło: opracowanie własne na podstawie Fuel Cells and Hydrogen Observatory, [Chapter 2. 2022 Hydrogen Supply Capacity and Demand](#) [31.07.2023].

Strategia wodorowa dla Europy neutralnej dla klimatu koncentruje się na dwóch podstawowych sektorach: przemyśle i transporcie oraz na założeniu, że produkcja wodoru będzie oparta na elektrolizie. Jest to wizja przyszłości - w 2022 r. niskoemisyjne (CCS/CCU) i zeroemisyjne metody produkcji wodoru (elektroliza z OZE) stanowiły około 1% całkowitych zdolności wytwórczych. Zdolności te jednak są sukcesywnie powiększane. Dynamika przyrostu mocy instalacji elektrolizy w latach 2018-2021 w Europie przekraczała 30-50% rocznie⁵⁰.

Rozwój w krajach europejskich odbywa się w stosunkowo szybkim tempie. Według ekspertów FleishmanHillard, Francja posiada najbardziej rozwinięty system prawny odnośnie wodoru w Europie, a Holandia prowadzi największą liczbą wielkoskalowych projektów wodorowych. W swoim rankingu, do krajów "biegnących na czele maratonu", firma zakwalifikowała aż 15 krajów, w tym Polskę. 10 krajów (np. Włochy, Irlandia) zostało ocenionych jako "deweloperzy", a Cypr, Łotwa, Malta i Słowenia określono mianem "guzdrzących się"⁵¹.

⁴⁹ Fuel Cells and Hydrogen Observatory, [Chapter 2. 2022 Hydrogen Supply Capacity and Demand](#) [31.07.2023].

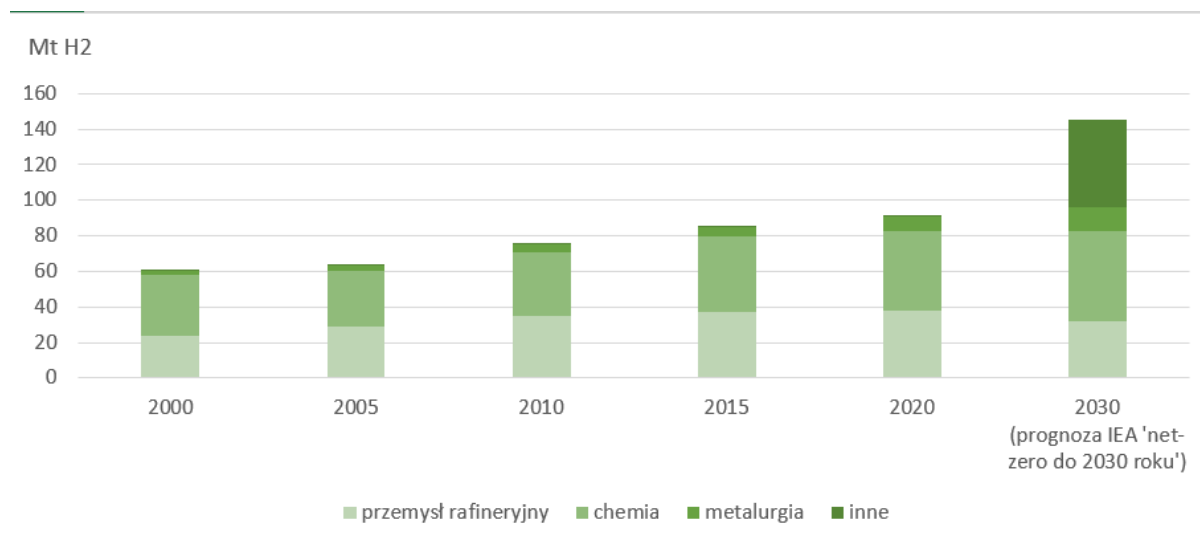
⁵⁰ Instytut Energetyki, Wydział Zarządzania Uniwersytetu Warszawskiego, [Łańcuch wartości gospodarki wodorowej w Polsce](#), 2023 [31.07.2023].

⁵¹ FleishmanHillard, [National Hydrogen Strategies In The Eu Member States. A FleishmanHillard overview of national hydrogen strategies](#), 2022 [31.07.2023].

Rynek wodorowy przyciąga duże inwestycje na produkcję, sprzedaż, badania, rozwój i edukację. Wartość światowego rynku wodorowego w 2022 roku, według PIE, szacuje się na około 600 mld złotych⁵². Jego wartość do 2050 roku może się potroić w wyniku dekarbonizacji światowej gospodarki⁵³.

Ilość potrzebnego wodoru stale rośnie. W 2000 roku potrzebnymi było niecałe 60 milionów ton wodoru, w 2020 roku około 90 milionów ton⁵⁴, a w 2030 roku prognozuje się zapotrzebowanie w okolicach 150 milionów ton wodoru⁵⁵.

Wykres 3 Zapotrzebowanie na wodór według sektorów



Źródło: opracowanie własne na podstawie International Energy Agency, [Hydrogen. Energy system overview, 2023](#) [11.10.2023].

Główne obszary zastosowań wodoru

Rafinacja

Rafinacja to proces oczyszczania substancji w celu nadania im odpowiednich właściwości. Wodór wykorzystywany jest przede wszystkim w rafinacji ropy naftowej. Pomaga przekształcać "czarne złoto" w produkty takie jak paliwo do pojazdów czy surowiec petrochemiczny, wykorzystywany następnie do produkcji np. gumy i plastiku.

W wielu przypadkach zakłady rafineryjne samodzielnie wytwarzają wodór na własne potrzeby. Wodór dostarczany przez zewnętrznych dostawców stanowi od 15% do 30%, w zależności od lokalnych uwarunkowań (zwykle dostawcy są częstszą opcją w regionach silnie uprzemysłowionych)⁵⁶.

⁵² Centrum Informacji o Rynku Energii, [PIE: w 2022 r. wartość światowego rynku wodoru osiągnie 600 mld zł, 2020](#) [31.07.2023].

⁵³ Centrum Informacji o Rynku Energii, [Wartość rynku produkcji wodoru wzrośnie trzykrotnie do 2050 roku, 2021](#) [31.07.2023].

⁵⁴ Deloitte, [Hydrogen. Making it happen, 2023](#) [31.07.2023].

⁵⁵ International Energy Agency, [Hydrogen. Energy system overview, 2022](#); McKinsey & Company, [Global Hydrogen Flows: Hydrogen trade as a key enabler for efficient decarbonization, 2022](#) [31.07.2023].

⁵⁶ International Energy Agency, [The Future of Hydrogen. Seizing today's opportunities, 2019](#) [31.07.2023].

Sektor Chemiczny – metanol i amoniak

Sektor chemiczny pełni szczególną funkcję w łańcuchu wartości wodoru. Jest to największy konsument wodoru, a zarazem jeden z największych producentów wodoru. Produkcja ta odbywa się przede wszystkim z wykorzystaniem gazu ziemnego⁵⁷. Wodór jest wykorzystywany przez firmy chemiczne do produkcji amoniaku i metanolu. W większości przypadków amoniak jest podstawą do produkcji nawozów. Dodatkowo wykorzystywany jest także w produkcji materiałów syntetycznych, fenoplastów (do wytwarzania np. wszelkiego rodzaju odlewów) i innych. Metanol jest wykorzystywany w szeregu przemysłowych zastosowań - np. służy do wytwarzania aldehydu mrówkowego (konserwant, środek odkażający) oraz metakrylanu metylu (m.in. składnik do produkcji reflektorów, paneli do okien, barier kuloodpornych)⁵⁸.

Transport

Wodór stanowi podstawę do niskoemisyjnych jednostek napędowych. W przypadku pojazdów kołowych wykorzystuje się hybrydę ogniw paliwowych i silników elektrycznych (Fuel Cell Electric Vehicles – FCEV). Różnią się one od zwykłych aut elektrycznych źródłem energii – nie korzystają one z samej baterii, a właśnie z ogniw zasilanych wodorem, które w wyniku utleniania wodoru generują energię i ładują baterię. Główna zasada działania ogniwa polega na bezpośrednim przekształcaniu energii chemicznej paliwa w energię elektryczną i ciepło. Wodór łączy się z tlenem w reakcji utleniania, w efekcie której powstaje prąd elektryczny i produkt uboczny – woda. Auto nie jest więc ładowane, a tankowane, jak auto spalinowe. Spaliny z takiego auta nie zawierają ani dwutlenku węgla, ani żadnych innych gazów cieplarnianych – jedynie wodę.

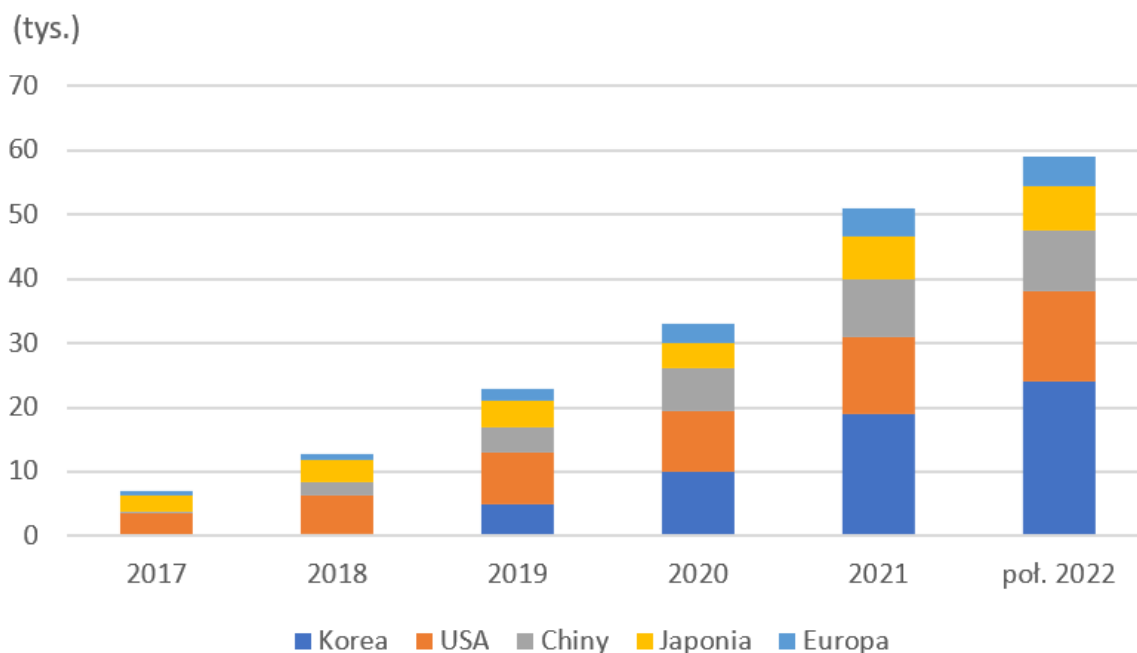
Pojazdy zasilane wodorem wciąż stanowią zdecydowaną mniejszość, ale ich liczba z roku na rok rośnie. W 2017 roku po drogach na całym świecie jeździło niecałe 10 tysięcy aut, a pod koniec 2021 roku już niemal 45 tysięcy. Na tę liczbę składają się samochody osobowe (34 tys.), autobusy (6 tys.) i pojazdy użytkowe (3 tys.). Dla porównania, w 2021 roku sprzedano prawie 7 milionów aut elektrycznych, a łączna liczba aut elektrycznych wyniosła 18,6 milionów sztuk⁵⁹.

⁵⁷ Instytut Energetyki, Wydział Zarządzania Uniwersytetu Warszawskiego, [łańcuch wartości gospodarki wodorowej w Polsce](#), 2023 [31.07.2023].

⁵⁸ International Energy Agency, [The Future of Hydrogen. Seizing today's opportunities](#), 2019 [31.07.2023].

⁵⁹ International Council on Clean Transportation, [Annual update on the global transition to electric vehicles: 2021](#), s. 2 [31.07.2023].

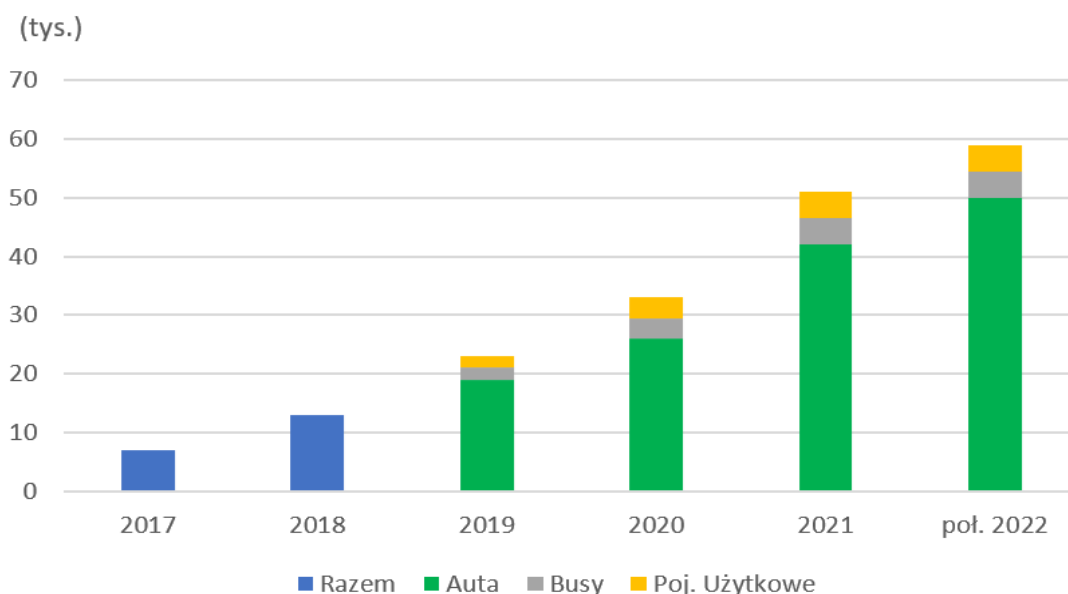
Wykres 4 Liczba pojazdów elektrycznych z ogniwami paliwowymi (FCEV) zasilanych wodorem w podziale na rejon rejestracji



Źródło: opracowanie własne na podstawie International Energy Agency, [Hydrogen. Energy system overview, 2023](#) [11.10.2023].

Jeśli spojrzeć na te dane regionalnie, największym rynkiem aut wodorowych w 2021 roku była Korea Południowa z około 23 tysiącami pojazdów. W dalszej kolejności plasują się Stany Zjednoczone (ok. 10 tys.), Chiny (ok. 8 tys.), Japonia (ok. 5 tys.) i Europa (niecałe 5 tys.). Poza tymi regionami zarejestrowano raptem kilkadziesiąt aut FCEV⁶⁰.

Wykres 5 Liczba pojazdów elektrycznych z ogniwami paliwowymi (FCEV) zasilanych wodorem w podziale na typy



⁶⁰ International Energy Agency, [Global Hydrogen Review 2021](#) [dostęp dn. 31.07.2023].

Źródło: opracowanie własne na podstawie International Energy Agency, [Hydrogen. Energy system overview, 2023](#) [11.10.2023].

Dostępność stacji tankowania wodoru w roku 2023 wciąż jest ograniczona. Do końca 2022 roku Europejczycy wybudowali 254 stacje (45 nowych stacji w 2022), Japonia 165, a Chiny - 138⁶¹. Korea Południowa, gdzie jeździ najwięcej pojazdów wodorowych, ma najwyższy stosunek aut do stacji - 168 aut na jedną stację tankowania wodoru (razem 149 stacji)⁶².

Transport kolejowy w oparciu o wodór jest na wcześniejszym etapie rozwoju niż transport drogowy. Polska firma PESA przedstawiła prototyp lokomotywy manewrowej do zastosowań przemysłowych (patrz frag. „Lokomotywa wodorowa PESA” na str. 60), a francuski Alstom – pociąg pasażerski zasilany wodorem⁶³. Przewoźnicy na całym świecie wyrażają zainteresowanie tym rodzajem napędu, niektóre europejskie kraje złożyły nawet pierwsze zamówienia, natomiast dotychczas odbyły się głównie przejazdy testowe w Niemczech, Austrii, Holandii i Wielkiej Brytanii⁶⁴.

Potencjalne zastosowania dla wodoru eksperci upatrują także w transporcie morskim jak i śródlądowym. Transport morski mógłby korzystać z wodoru np. w małych statkach pasażerskich (transport przybrzeżny), holownikach portowych i morskich czy małych statkach załóg farm wiatrowych. Transport śródlądowy mógłby wykorzystać wodór w transporcie towarowym (holowniki, pchacze, barki) i transporcie osobowym (małe statki pasażerskie). We Francji i w Norwegii w ramach projektu FLAGSHIP projektowane są dwa komercyjne statki napędzane wodorowymi ogniwami paliwowymi, przy czym produkcja wodoru ma się odbywać na miejscu z wykorzystaniem napędzanych energią elektryczną ze źródeł odnawialnych elektrolizerów o mocy 1 MW⁶⁵.

Budownictwo i ciepłownictwo

Niemal 55% emisji związanych z budownictwem pochodzi z podgrzewania wody oraz pomieszczeń, a w regionach szczególnie zimnych, nawet 80% emisji⁶⁶, dlatego wodór postrzegany jest również jako potencjalne paliwo do ogrzewania budynków. W 2022 roku był on wykorzystywany w znikomym stopniu. Głównie były to projekty demonstracyjne, polegające na mieszanii wodoru w sieci gazowej⁶⁷. Planuje się jednak rozwój technologii wodorowych w trzech obszarach:

- Bojlery ogrzewane ciepłem spalania wodoru,
- Ogniwia paliwowe generujące energię elektryczną i ciepło,
- Hybrydowe pompy ciepła (łącznie funkcjonalność bojlera z elektryczną pompą ciepła).

Uwarunkowania wynikające ze stacjonarności budownictwa sprawiają, że ogniwa paliwowe, które można wykorzystywać w ogrzewaniu domów muszą spełniać inne wymagania, niż te, które zostaną zastosowane w transporcie. Co ciekawe, są one już wdrażane w niektórych krajach, np. w Japonii funkcjonuje aktualnie ponad 350 tysięcy generatorów z ogniwami paliwowymi, które głównie zasilają prywatne domostwa. Tego

⁶¹ TÜV SÜD, Another record addition of european hydrogen refuelling stations [in 2022](#) [dostęp dn. 31.07.2023].

⁶² International Energy Agency, [Global Hydrogen Review 2021](#) [31.07.2023].

⁶³ H2Poland.eu, [Coradia iLint pierwszy na świecie pociąg napędzany wodorem](#) [31.07.2023].

⁶⁴ International Energy Agency, [Global Hydrogen Review 2021](#) [31.07.2023].

⁶⁵ Komisja Europejska, [Strategia w zakresie wodoru na rzecz Europy neutralnej dla klimatu. COM \(2020\) 301 final](#) [31.07.2023].

⁶⁶ International Energy Agency, [Global Hydrogen Review 2021](#) [31.07.2023].

⁶⁷ International Energy Agency, [The Future of Hydrogen. Seizing today's opportunities](#), 2019 [31.07.2023].

typu rozwiązania w Europie najbardziej rozpowszechniły się w Niemczech, gdzie działa około 15 000 jednostek⁶⁸.

Trendy na globalnym rynku wodorowym

Społeczno-Ekonomiczne

- **Koszty produkcji wodoru:** zależne od wielu czynników (koszt produkcji elektrolizerów, kryzys energetyczny, dostęp do OZE, skala produkcji wodoru, ceny gazu ziemnego i energii elektrycznej, zmiany w regulacjach). Koszty technologiczne maleją, a skala produkcji regularnie rośnie również obniżając koszty, ale uwarunkowania makroekonomiczne trudno jednoznacznie przewidzieć.
- **Inwestycje w technologie wodorowe:** regularnie wzrastają. Inwestycje przechodzą z fazy planowania do działań wdrożeniowych (metody produkcji, infrastruktura). Rynek wymaga integratorów, podmiotów podejmujących ryzyko (duże przedsiębiorstwa i samorządy). Cykl inwestycyjny w sektorze czystej energii trwa ok. 25 lat, a więc większość inwestycji energetycznych odbędzie się w bieżącej dekadzie.
- **Popyt na wodór:** plany gospodarcze uwzględniające wodór publikują największe mocarstwa na świecie, większość prognoz przewiduje wzrost popytu. Wodór może być konkurencyjny szczególnie w lokalnych łańcuchach wartości.
- **Korzyści z wdrożenia technologii wodorowych:** w skali światowej nawet 30 milionów miejsc pracy, 1 mln w Europie.
- **Produkty związane z wodorem:** auta wodorowe jako produkt komplementarny dla "elektryków".
- **Rozwój współpracy:** nowe technologie wodorowe umożliwiają rozwój międzynarodowej oraz międzysektorowej współpracy wielu państw.
- **Podnoszenie świadomości społecznej:** rozwój technologii wodorowych wpływa na wzrost świadomości energetycznej i zaangażowania w oszczędzanie energii.

Technologiczne

- **Dekarbonizacja:** wodór z elektrolizy wspiera dekarbonizację i ma inne właściwości niż prąd, dlatego znalazł zastosowanie w różnych sektorach, takich jak produkcja cementu, amoniaku, huty (szkła, żelaza, stali), oraz w transporcie (żegluga, kolej, komunikacja miejska, pojazdy komunalne) i ogrzewaniu budynków.
- **Wąskie gardło w rozwoju produkcji wodoru:** zainteresowanie wodorem przekroczyło dostępność np. elektrolizerów. Realizacja zamówień na elektrolizery jest aktualnie opóźniona około 3-4 lata. Ma to wpływ na rozbudowę infrastruktury.
- **System energetyczny:** wodór wykorzystywany będzie jako nośnik lub magazyn nadmiaru prądu z OZE, a elektrolizery będą instalowane obok punktów popytu, takich jak rafinerie, huty stali i kompleksy chemiczne. W razie potrzeby, wodór będzie służył jako bufor, umożliwiając transport energii na dalsze dystanse lub przesunięcie jej wykorzystania w czasie.
- **Technologie produkcji wodoru:** rozwój w obszarach fermentacji beztlenowej, zgazowania biomasy, elektrolizy z wykorzystaniem energii pochodzącej z OZE, metod foto-biologicznych.
- **Infrastrukturalne perspektywy:** transport wodoru możliwy jest przez jego mieszanie z gazem ziemnym. Infrastruktura tankowania wodoru w Europie to obecnie 120 stacji, planowana jest jej ekspansja, do 2025 roku ma zostać

⁶⁸ International Energy Agency, [Global Hydrogen Review 2021](#), 2021 [31.07.2023].

rozszerzona sześciokrotnie. Magazynowanie wodoru odbywa się w mniejszych butlach, cysternach oraz w większych zbiornikach podziemnych, takich jak kawerny solne.

Polityczno-regulacyjne

- **Finanse:** zwrot ku finansowaniu zielonych inwestycji (np. Taksonomia UE). Technologie wodorowe będą wymagały znacznego zwiększenia środków finansowych, w tym wsparcia ze środków publicznych, na inwestycje (600 mld zł do 2030 r.), badania i rozwój czy standaryzację wodoru.
- **Cele zrównoważonego rozwoju:** wódór jest aktualnie głównym narzędziem politycznym, które może pozwolić na rozwiązanie problemu zmian klimatu, konkurencyjności gospodarek i bezpieczeństwa zasobów.
- **Rynek międzynarodowy:** dominujące kraje dążą do utworzenia międzynarodowego rynku handlu wodorem. Zawijają międzykontynentalne umowy o współpracy, skupiające się na handlu, inwestycjach i rozwoju naukowym. W przypadku UE współpraca ma obejmować także Ukrainę i Bałkany Wschodnie oraz Afrykę Północną.
- **Strategia energetyczna:** zarządzanie energią ma odbywać się w ramach strategii "Sector coupling", czyli łączenia sektorów. Przepływ energii ma odbywać się przede wszystkim między przemysłem, transportem i budownictwem.
- **Oczekiwanie na regulacje:** kształtowane są definicje odnośnie gospodarki wodorowej, np. dotyczące piaskownic regulacyjnych, czyli środowisk pozwalających testować produkty dotychczas nieuregulowane prawnie. Oczekiwanie na regulacje zwiększa ryzyko inwestycyjne.

Środowiskowe

- **Czystsze powietrze:** wykorzystanie wodoru zmniejszy zanieczyszczenie powietrza, szczególnie w miastach.
- **Zmniejszenie emisji:** Celem Unii Europejskiej jest uczynienie systemu energetycznego neutralnym dla klimatu – m.in. dzięki wodorowi i OZE.
- **Zagospodarowanie odpadów:** Odpady stałe – produkcja wodoru z pirolizy. Ścieki komunalne mogą znaleźć zastosowanie w produkcji wodoru z ich elektrolizy oraz jako pożywka do fermentacji beztlenowej, pirolizy lub zgazowania osadu czynnego.
- **Zwiększone wydobycie surowców:** Wzrost wykorzystania surowców krytycznych w urządzeniach do produkcji wodoru.
- **Dominacja paliw kopalnych:** w pierwszej połowie 2023 roku, pomimo wzrostu wykorzystania OZE, ponad 90% wodoru produkowane jest z paliw kopalnych.

Przykładowe projekty wodorowe na świecie

Asian Renewable Energy Hub w Australii

Projekt zakłada stworzenie jednego z największych producentów energii odnawialnej na świecie w regionie Pilbowa w Zachodniej Australii przez konsorcjum firm: BP International Energy, Vestas, CWP Global Pathway investments. Projekt uzyskał znaczenie strategiczne w kontekście przyspieszenia realizacji planów gospodarki zero emisyjnej w zakresie produkcji wodoru (plan osiągnięcia 1,6 mln ton wodoru i produkcji energii na poziomie 90 TWh, zredukowałby zużycie 17 mln ton węgla). Zakłada pozyskiwanie energii z miks słonecznego i wiatrowego o łącznej mocy 26 GW. Technologicznym rozwiązaniem w

zakresie produkcji wodoru było łączenie go z pozyskiwaniem amoniaku jako wydajniejszego i przystępniejszego do eksportu.

W ramach projektu planowano utworzyć kilka tysięcy miejsc pracy, zbudować nowy ośrodek miejski między Port Hedland i Broome oraz zakładu odsalania wody morskiej na cele proedukacyjne i bytowe.

Pomimo wstępnych zgód środowiskowych z 2020 r. rząd Australii w 2021 r. stwierdził, że realizacja przedsięwzięcia jest niemożliwa z uwagi na zagrożenie dla zwierząt wędrownych i ekosystemu obszarów podmokłych, na których miały powstać farmy słoneczne i wiatrowe. Obecnie trwają prace nad analizą oddziaływania na środowisko. Ważnym wnioskiem na przyszłość jest uwzględnienie wszystkich aspektów istotnych z punktu widzenia gospodarczego, środowiskowego i społecznie-kulturowego przy realizacji nowych rozwiązań energetycznych⁶⁹.

Port Rotterdam w Holandii

Holandia, dzięki swojemu położeniu w Europie planuje utworzyć Port Rotterdam największym hubem energetycznym na świecie. Projekt ten obejmuje budowę największej elektrowni wodorowej na świecie (200 MW) z ekosystemem energetycznym łączącym wymianę, produkcję i dystrybucję zero emisyjnych środków energii (wodór, amoniak, metanol, energia z OZE).

Projekt jest elementem działań strategicznych w ramach projektów unijnych (FCH2-JU) na rzecz procesów dekarbonizacji UE. Jego realizacją będą kierować koncerny światowe: Shell i ThyssenKrupp, zaś konsorcjum BP i Novartis wybuduje moduł elektrolizy o mocy 250 MW. W realizacji projektu uczestniczy kilka podmiotów międzynarodowych (Air Liquide, Deltalys, Koniukkaljke Vopak, Port Rotterdam, Uniper). W rafinerii Neste, która znajduje się na terenie portu powstanie skalowalna sieć elektrolizerów o mocy 100 MW. Wodór będzie dostarczany rurociągiem, który wybuduje firma Gasunie. Port Rotterdam ma wdrożyć do zastosowań logistycznych 500 ciężarówek wodorowych. Oprócz wodoru port ma być miejscem produkcji i dystrybucji amoniaku na cele własne i do bunkrowania statków.

Wodór powstający w Porcie Rotterdam ma spełniać wymogi dla ogniwo paliwowych w pojazdach wodorowych. Wodór z portu będzie eksportowany do państw UE i krajów sąsiadujących. Plan zakłada budowę sieci stacji wydawania wodoru na potrzeby transportu oraz do bunkrowania wodorem statków morskich.

Ważnym wnioskiem z tego projektu jest wskazanie konieczności współpracy i synergii kilku sektorów: organizacji pozarządowych, proekologicznych, konsorcjów czy polityk międzynarodowych. Dzięki współpracy wielu podmiotów projekt ma szansę zrealizować postawione cele⁷⁰.

Projekt Aquas Ventos w Niemczech

Projekt ma być realizowany na sztucznych wyspach wokół Heligolandu na Morzu Północnym, które będą miejscami produkcji i eksportu wodoru. Projekt jest realizowany przez 27 podmiotów energetycznych i instytutów badawczych (m. in.: Vattenfall, Shell, E.ON, Northland, Gasunie, Paukwin). Celem projektu jest uzyskanie mocy 1 GW do 2030 r., 10 GW do 2035 r. i 1 mln ton wodoru dla kilku gospodarek UE.

⁶⁹ Infrastructure Partnerships Australia, [Asian Renewable Energy Hub](#) [31.07.2023].

⁷⁰ Zielonagospodarka.pl, [Zielona elektrownia wodorowa w Port Rotterdam. Shell podpisał kontrakt](#), 2022 [31.07.2023]; Gospodarkamorska.pl, [Holenderskie i brazylijskie porty łączą siły w kierunku zielonego wodoru](#), 2023 [31.07.2023].

Na potrzeby projektu zbudowany zostanie rurociąg do transportu wodoru na ląd w kierunku Niemiec o długości 60 km, który zostanie podłączony do europejskiego systemu wodorociągów i morski system rurociągów Aqua Ductos na Morzu Północnym.

Aquas Ventos jest zaawansowany technologicznie – łączy się produkcję energii z farm wiatrowych na morzu, odsalanie wody, produkcję wodoru i dystrybucję rurociągiem do systemu gazowego UE. Szerokie zaangażowanie podmiotów i strategiczne znaczenie projektu wskazują, że ma on duże szanse realizacji. Kwestiami problematycznymi pozostają sztuczne wyspy na Morzu Północnym, których funkcjonowanie zostało uzależnione od dodatkowych sprawozdań środowiskowych. Obecnie nie ma przeciwwskazań ekologicznych wobec realizacji projektu.

Projekt wpisuje się w strategiczne podejście do niezależności energetycznej państw UE, w tym maksymalizowania stabilizowania systemu energetycznego oraz w strategię transgranicznego działania w celu osiągnięcia neutralności energetycznej UE. Projekt wpisuje się w politykę klimatyczną zgodną z Fit for 55 dot. redukcji emisji CO₂ w całej UE. Dzięki temu całość projektu jest w znacznym stopniu dofinansowana ze środków UE. Ważne w kontekście realizacji projektu jest ujęcie szeregu prac badawczo-rozwojowych w zakresie wytwarzania wodoru, implementacji w gospodarce czy zastosowanie w ogniwach paliwowych⁷¹.

Projekt budowy najdłuższego na świecie wodorociągu w Chinach

W ramach planów dekarbonizacji gospodarki do 2060 r. Chiny zamierzają zbudować gazociąg dedykowany dla wodoru o łącznej długości 6 tys. km. Realizacją projektu zajmuje się China Petroleum Engineering Corporation w perspektywie do roku 2050. To największy tego typu projekt na świecie.

Dotychczas produkcja wodoru w Chinach koncentruje się w regionach północno-zachodnich, północno-wschodnich i środkowo-wschodnich, natomiast zapotrzebowanie na niego we wschodnich i południowych częściach kraju. Celem projektu jest połączenie wszystkich regionów w jeden organizm gospodarczy poprzez stworzenie systemu do dystrybucji wodoru. Wodór ma stać się powszechnie dostępnym dla producentów na terenie kraju.

Wyzwaniem przy realizacji tego projektu będzie zapewnienie odporności infrastruktury na powodzie, trzęsienia ziemi czy zjawiska atmosferyczne. Oprócz tego ważnym aspektem będzie rozwój technologii rur syntetycznych minimalizujących straty w przesyłce wodoru oraz bezpieczeństwo tego procesu. Ponadto, rurociąg będzie przechodził przez różne prowincje i terytoria autonomiczne, co staje się ważnym czynnikiem polityczno-formalnym wpływającym na powodzenie takiego projektu.

Chiny podejmują tym samym wyścig o neutralność klimatyczną. Wyzwania z jakimi będą się przy tym mierzyć odnoszą się do czynników zewnętrznych⁷².

Projekt North H2 w Holandii

Projekt ten zakłada produkcję wodoru odnawialnego w północnej Holandii, w Eeneskaven o 10 GW planowanej mocy z elektrolizerów z farm wiatrowych do 2040 r. Do 2027 r. planuje się osiągnąć 1 GW, a w 2030 r. już 4 GW.

Produkcja wodoru ma osiągnąć 1 mln ton na potrzeby Niemiec i Holandii na potrzeby procesów i polityki dekarbonizacji i osiągnięcia neutralności klimatycznej. Projekt zakłada podłączenie pod tworzony w całej UE system dedykowanych wodorociągów, który ma pełnić rolę stabilizującą i gwarantującą niezależność energetyczną państw UE. Wodór H35

⁷¹ RWE, [AquaVentus. Hydrogen production in the North Sea](#) [31.07.2023].

⁷² Biznesalert.pl, [Chiny wybudują sieć wodorociągów o długości sześciu tys. kilometrów, 2023](#) [31.07.2023].

i H70 powstały w North H2, będzie wykorzystywany na cele transportowe na rzecz ograniczania śladu węglowego.

W projekt zaangażowane są światowe konsorcja energetyczne: Shell, RWE, Equinor, Gasunie i operator Energetyczny Groningen Seaports.

Współpraca rządu holenderskiego z organizacjami proekologicznymi wskazuje, że projekt nie będzie miał negatywnego oddziaływania na ekosystem morski w obszarach chronionych⁷³.

Projekt SouthH2Port w Szwecji

Szwedzki projekt wodorowy odnosi się do polityki państwa i celu klimatycznego jakim jest osiągnięcie w 2045 r. niezależności od kopalnych źródeł energii. To najważniejszy szwedzki projekt energetyczny.

Konsorcjantami projektu są Lhyfe, Skyborn – deweloper farmy wiatrowej Stougumarkt, ABB. Zakłada się produkcję około 240 ton wodoru dobowo z mocą 600 MW. Mocą docelową ma być 1 GW. Wodór będzie wykorzystywany przy produkcji zielonej stali. Ten priorytetowy i przełomowy projekt zakłada produkcję wyrobów stalowych opartą na ograniczonym śladzie węglowym w ramach projektu Hybryt, wpisującego się w SouthH2Port.

Projekt zakłada dalszy rozwój technologii wykorzystania energii z OZE do wyprodukowania wodoru a następnie ponowna zamiana na energię elektryczną poprzez ogniwa paliwowe (Power-to-Gas-to-Power; P2G2P).

Szwecja przykłada duże znaczenie dla symbiozy środowiska i działalności człowieka. Współpraca z organizacjami proekologicznymi gwarantuje bezproblemową realizację projektu. Przykład Szwecji pokazuje, że rozwiązania ekologiczne znajdują uznanie i wsparcie rządu w drodze ku zrównoważonej gospodarce.

Szwecja jest w czołówce państw proekologicznych. Ponad to nie posiada problemów z dostępem do wody niezbędnej do produkcji wodoru. Firmy realizujące projekt posiadają niezbędne technologiczne kompetencje, a gospodarka Szwecji jest otwarta na wykorzystanie wodoru w transporcie morskim⁷⁴.

TRÓJMORZE: THREE SEAS INITIATIVE (3S). WODÓR MIĘDZY BAŁTYKIEM, ADRIATYKIEM I MORZEM CZARNYM

Dla państw 3S technologie wodorowe stanowią jeden z elementów polityki bezpieczeństwa energetycznego, a także szansę na realizację polityki klimatycznej, dekarbonizację czy wzrost bezpieczeństwa dostaw energii. Szczególnie obecnie wodór zyskuje na znaczeniu w zmieniających się warunkach geopolitycznych regionu.

Wodór w deklaracjach 3S

Państwa 3S wskazują na konieczność rozwijania technologii wodorowych w zgodzie z europejskimi i światowymi celami klimatycznymi, a dodatkowo realizują własne polityki bezpieczeństwa energetycznego w zmieniających się realiach politycznych. Szczęólnego znaczenia nabiera polityka bezpieczeństwa energetycznego państw 3S w obliczu agresji

⁷³ Equinor, [Equinor joins Europe's biggest green hydrogen project, the NorthH2-project](#), 2020 [31.07.2023]; RWE, NorthH2, [A green hydrogen hub in Northwest Europe](#), [31.07.2023]; Energy. Industry Review, [Europe's Largest Green Hydrogen Project: NorthH2](#), 2020, [31.07.2023].

⁷⁴ ABB, [Zielony wodór z morskiej farmy wiatrowej w Szwecji. To może być punkt odniesienia dla polskich firm](#), 2023 [31.07.2023].

rosyjskiej na Ukrainę. Wodór jako nośnik energii zyskał na znaczeniu w wymiarze przyspieszenia rozwoju OZE i poprawy efektywności energetycznej.

Wodór znalazł szczególne uznanie podczas szóstego szczytu 3S w Sofii w 2021 r. Wskazano, że wodór jest rozpatrywany w szerokiej perspektywie bezpieczeństwa energetycznego ze szczególnym uwzględnieniem trzech strategii jego rozwoju:

- Zapewnienie ciągłości dostaw energii,
- Dywersyfikacja źródeł energii,
- Realizacja celów transformacji na rzecz neutralności klimatycznej⁷⁵.

W deklaracji państw 3S wskazano, że państwa członkowskie będą dążyć do rozwoju technologii wodorowych pozwalających na pozyskiwanie tego pierwiastka z OZE (fotowoltaika, farmy wiatrowe). Projekty te traktowane są jako wspierające i realizujące unijną politykę klimatyczną i bezpieczeństwa energetycznego. Priorytetową rolę technologii wodorowych podkreślił premier Polski Mateusz Morawiecki w maju 2023 r. wskazując, że dla transformacji energetycznej państw 3S energia wodorowa będzie jednym z filarów bezpieczeństwa⁷⁶.

Wodór w projektach 3S

Priorytetami w tym zakresie są krajowe projekty rozwoju technologii wodorowych oraz międzynarodowe działania na rzecz modernizacji infrastruktury energetycznej służącej do tranzytu energii. Znaczenie państw 3S w zapewnieniu bezpieczeństwa energetycznego Europie zostało podkreślone w marcu 2023 r. w The Partnership for Transatlantic Energy and Climate Cooperation (P-TECC)⁷⁷. Państwa członkowskie upatrują możliwości uniezależnienia całego regionu od rosyjskich dostaw w perspektywie dwóch dekad poprzez wzmocnienie technologii geotermalnych i wodorowych. W przypadku wodoru zakłada się silne wsparcie finansowe w integrację infrastruktury przesyłowej.

Przykładem realizacji polityki państw 3S w odniesieniu do technologii wodorowych są pierwsze projekty realizowane międzynarodowo lub przy współpracy z aktorami zewnętrznymi jak np.: Projects Launching a Hungarian-American pilot project in Hungary. Projekt zakłada badanie wykorzystania wodoru na Węgrzech przy współpracy z sektorem nowych technologii wodorowych pochodzącym ze Stanów Zjednoczonych. Projekt zakłada: otwarcie centrum badań nad wodorem i utworzenie koncernu produkującego wodór na Węgrzech, które będą realizować politykę klimatyczną i dywersyfikacyjną w tym państwie. Zgodnie z węgierską strategią energetyczną do 2030 r. ma powstać 6000 MW mocy z elektrowni słonecznych. Wodór będzie pełnił funkcję magazynu energii oraz będzie bilansował system energetyczny. Założenia tego projektu wpisują się w działania na rzecz: bezpieczeństwa, dywersyfikacji oraz rozwoju wodoru jako nośnika i źródła energii. Uzależnienie Węgier od rosyjskich dostaw węglowodorów jest dużym zagrożeniem zarówno w skali kraju, jak i regionu. Działania państw 3S wskazują solidarną pomoc w tym zakresie⁷⁸.

Innym przykładem rozwoju technologii wodorowych w obszarze 3S jest zawarcie porozumienia między rumuńskim Transgaz, a 3S Investment Fund na rozwój

⁷⁵ [Wspólna deklaracja VI Szczytu Inicjatywy Trójmorza \(Sofia, 8-9 lipca 2021\)](#) [31.07.2023].

⁷⁶ TheFirstNews, [Three Seas project necessary owing to Russia-Ukraine war says PM](#), 2023 [31.07.2023].

⁷⁷ U.S. Department of Energy, [The Partnership for Transatlantic Energy and Climate Cooperation \(P-TECC\) Statement of Principles – 2023](#) [31.07.2023].

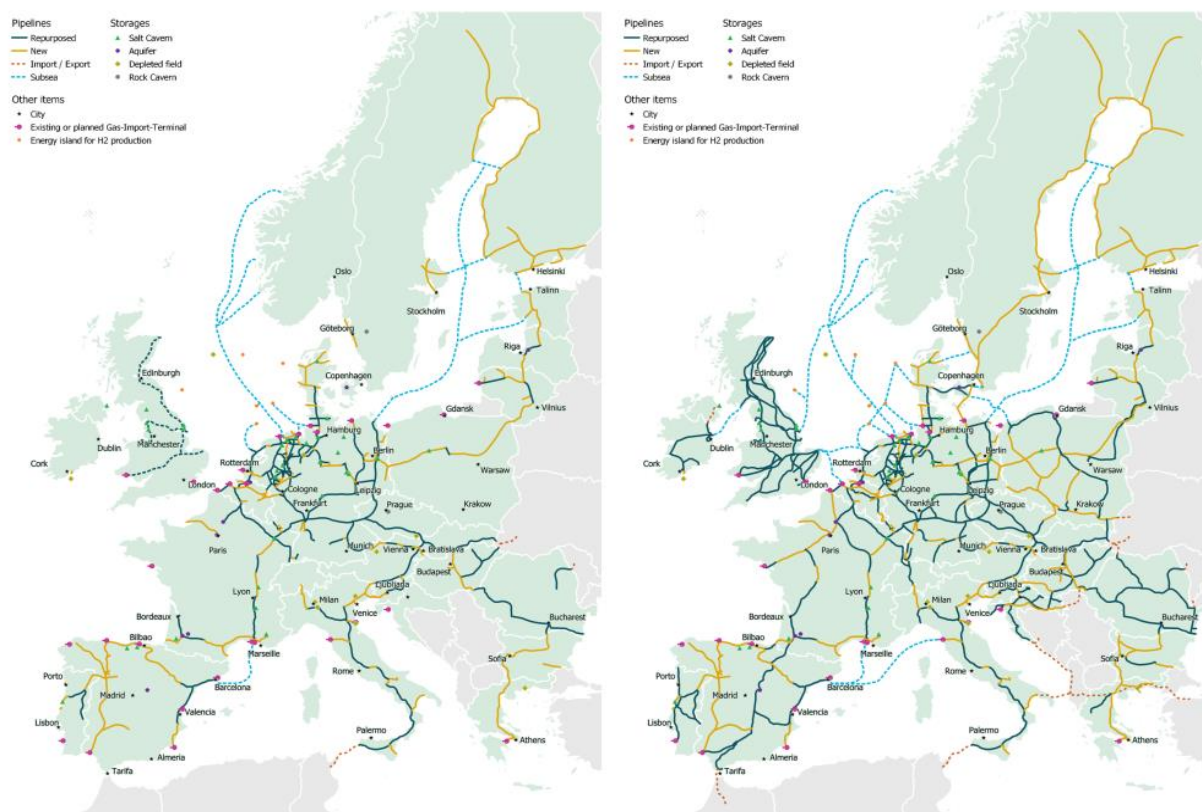
⁷⁸ 3seas, [Launching a Hungarian-American pilot project in Hungary](#) [31.07.2023].

infrastruktury przesyłu gazu z integracją transportu wodorowego. Wartość projektu szacuje się na 2,7 mld zł⁷⁹.

Znaczenie państw 3S dla rozwoju technologii wodorowych

Znaczenie państw 3S dla rozwoju technologii wodorowych stale wzrasta i jest podyktowane zmianami geopolitycznymi oraz wymogami bezpieczeństwa energetycznego, a także zmianami technologicznymi w zakresie pozyskiwania i wykorzystania wodoru w energetyce. European Hydrogen Backbone Initiative dokonało aktualizacji mapy przyszłego rozwoju rurociągów przesyłowych wodoru. Zmiany w zakresie rurociągów wodoru wynikają z krajowych i regionalnych polityk rozwoju technologii wodorowych. Uwzględnienie ich w okresie od połowy 2022 do 2023 r. pozwoliło autorom European Hydrogen Backbone Initiative na aktualizację wizji rozwoju wodoru w całej Europie. Główne zmiany w intensywności rozwoju technologii wodorowych pojawiają się w obszarze 3S: w Polsce, Czechach, Rumunii, Bułgarii.

Rysunek 4 Aktualizacja mapy infrastruktury EHB zgodnej z wizją rozwoju EHB



Źródło: European Hydrogen Backbone, [EHB Infrastructure Maps Update February – including latest feasibility estimates and PCI submissions](#), 2023 [31.07.2023].

⁷⁹ Transgaz, [Three Seas Initiative Investment Fund signs agreement to invest in greenfield gas infrastructure in Romania](#) [31.07.2023].

Rysunek 5 Korytarze przesyłowe EHB



Źródło: European Hydrogen Backbone, [EHB publishes five potential hydrogen supply corridors to meet Europe's accelerated 2030 hydrogen goals](#), 2022, [31.07.2023].

Program RePowerUE zakłada, że przez obszar państw 3S będą przechodzić dwa ważne korytarze przesyłowe wodoru: z regionu nordyckiego i bałtyckiego oraz z Europy Wschodniej i Południowo-Wschodniej do Niemiec. Wszystkie korytarze przesyłowe prowadzą w jednym kierunku - do Niemiec, jednak dopiero po odpowiednim wysyceniu zapotrzebowania gospodarek regionalnych około 2030 roku⁸⁰.

Z polskiej perspektywy szczególnie istotny jest korytarz nordycko-bałtycki, który będzie produkował wodór pochodzący z lądowych i morskich farm wiatrowych. W tym obszarze wodór będzie odgrywał szczególną rolę w procesach dekarbonizacji, rozwoju produkcji stali, e-paliwach i przemyśle chemicznym. W przypadku południowych państw 3S wodór będzie pochodził z energii słonecznej i będzie stanowić nośnik energii dla odbiorców przemysłowych jak i indywidualnych. Do obszaru państw 3S będzie docierać także wodór z Afryki Północnej, którego dostępność będzie stanowić wyzwanie dla państw regionu w zakresie konkurencyjności lokalnego odpowiednika⁸¹. Może okazać się, że projekt 3S zakładający łączenie gospodarek na osi północ-południe będzie na tyle energochłonny, że wodór powstający w tym regionie posłuży do rozwoju regionalnych gospodarek zamiast wspierać gospodarkę niemiecką. Procesy dekarbonizacji i dywersyfikacji mogą wymusić zwiększenie zaangażowania wodoru jako nośnika stabilizującego bilans energetyczny poszczególnych państw.

⁸⁰ European Hydrogen Backbone, [Five hydrogen supply corridors for Europe in 2030. Executive Summary](#), 2022, [31.07.2023].

⁸¹ CIRE, [Inicjatywa 2 x 40 GW szansą dla dekarbonizacji Europy](#) [31.07.2023].

3 Seas Hydrogen Council

Dla zabezpieczenia interesów państw 3S w zakresie energetyki wodorowej powołano 3 Seas Hydrogen Council⁸². Porozumienie w tej sprawie zostało podpisane w Poznaniu w 2023 r. przez przedstawicieli organizacji wodorowych z Polski, Czech, Estonii, Litwy, Łotwy, Słowacji, Słowenii, Węgier i Ukrainy. Zadaniem 3SHC jest uzupełnianie kompetencji biznesowych, technologicznych i politycznych członków, a szczególnie: międzynarodowa współpraca biznesowa państw sygnatariuszy, prowadzenie dialogu i wypracowywanie wspólnego stanowiska wobec Komisji Europejskiej, Rady i Parlamentu Europejskiego.

3SHC wypunktowała główne deficyty, zależności i zbieżne cele państw 3S w zakresie gospodarki wodorowej. Są one podyktowane uwarunkowaniami takimi jak:

- Wspólna przeszłość i doświadczenie państw 3S,
- Porównywalną strukturę energetyczną,
- Zbliżone warunki klimatyczne,
- Sezonowy wzrost zapotrzebowania na energię i ciepło,
- Regionalne i światowe znaczenie produkcyjne państw 3S.

Państwa 3S posiadają wysoki potencjał zmian, które 3 Seas Hydrogen Council ma realizować poprzez:

- Działania na rzecz zmniejszenia udziału paliw kopalnych w krajowym bilansie energetycznym,
- Promocję polityki restrukturyzacji rynku pracy,
- Promocję krajowych i regionalnych rozwiązań, firm i technologii wodorowych,
- Kreowanie zmian prawnych w UE ze szczególnym uwzględnieniem i poszanowaniem specyfiki regionu państw 3S,
- Wspieranie inicjatyw finansujących powstanie wspólnego ekosystemu wodorowego,
- Pełnienie funkcji platformy wymiany wiedzy i doświadczeń i dobrych praktyk,
- Wypracowanie sprawnej transgranicznej gospodarki wodorowej w regionie,
- Zrównoważenie regionalnego systemu energetycznego,
- Rozwój innowacyjności technologii energetycznych.

Wodór w dokumentach strategicznych państw 3S

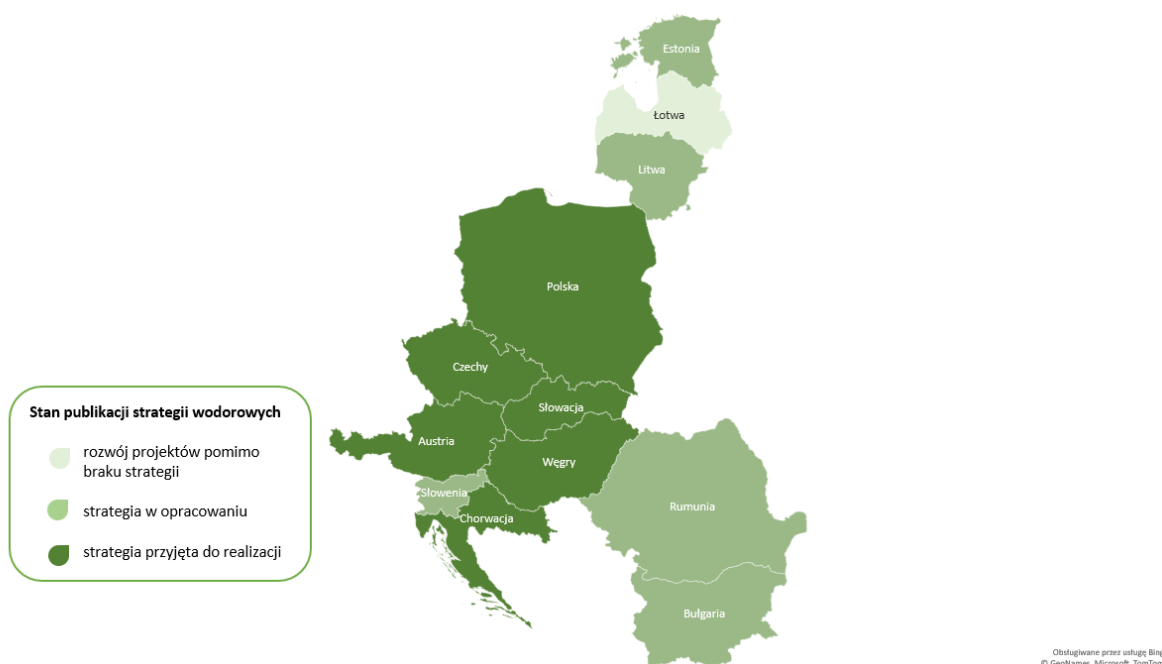
Strategie

Państwa 3S nie posiadają wypracowanej spójnej strategii na rzecz rozwoju gospodarki wodorowej. Wszystkie państwa 3S deklarują realizację wspólnych celów europejskiej polityki określonej w Europejskiej Strategii Wodorowej. Działania państw 3S otwierają się na współpracę bilateralną i rozwój transgranicznego przesyłu wodoru w perspektywie lat 2030-2040.

Nie wszystkie państwa 3S posiadają strategie, programy lub mapy drogowe rozwoju technologii wodorowych do 2030 r. Poniższa mapa prezentuje zaawansowanie prac nad strategią wodorową w poszczególnych krajach 3S.

⁸² Klaster Technologii Wodorowych, [3 Seas Hydrogen Council. A hydrogen council is established, consisting of Central European and Baltic states](#), 2023 [31.07.2023].

Rysunek 6 Mapa strategii wodorowych wśród państw 3S (stan na 17.07.2023)



Źródło: opracowanie własne.

Krajowe strategie wodorowe lub strategie energetyczne pozwalają wskazać wspólne cele, które wypracowują państwa 3S w zakresie gospodarki wodorowej:

- Rozwój krajowych gałęzi gospodarek wodorowych,
- Działania na rzecz neutralności klimatycznej, ograniczenie produkcji CO₂,
- Dekarbonizacja transportu i gospodarki,
- Utrzymanie konkurencyjności gospodarczej,
- Samowystarczalność energetyczna.

Główne sektory/kierunki rozwoju gospodarki wodorowej

Główne kierunki rozwoju gospodarek wodorowych w państwach 3S nie są spójne i zależą od trzech głównych czynników: struktury gospodarczej kraju, możliwości związanych z OZE oraz od położenia geograficznego. Gospodarka wodorowa będzie rozwijana w państwach 3S w zakresie produkcji wodoru, przesyłu i tranzytu wodoru, a także użytkowania wodoru.

Łańcuch wartości w zakresie gospodarki wodorowej zakłada maksymalne wykorzystywanie wodoru w gospodarce krajowej w czterech głównych obszarach: transporcie, ciepłownictwie, przemyśle i w realizacji polityki klimatycznej (zeroemisyjnej i dekarbonizacji). Ważnym aspektem rozwoju gospodarki wodorowej jest również poruszany w deklaracjach szczytu filar bezpieczeństwa energetycznego.

Transport

Transport jest głównym obszarem rozwoju gospodarki wodorowej i technologii wodorowych w państwach 3S. Obecne możliwości technologiczne wskazują na możliwość wykorzystania wodoru w transporcie drogowym, kolejowym, morskim, rzeczonym, jak również w pojazdach specjalnego przeznaczenia (dronach i samolotach). Głównym wyzwaniem dla transportu w państwach 3S jest niski wskaźnik pojazdów wodorowych. W

zakresie użytkowania wodoru w transporcie istnieją różnice wynikające m. in. z dostępu poszczególnych państw do morza lub interesu narodowego w tranzycie międzynarodowym.

W wymiarze transportu państwa 3S wskazują na konieczność rozwoju:

- Infrastruktury przesyłowej, tranzytowej i dystrybucyjnej,
- E-paliw, paliw alternatywnych, amoniaku, paliw syntetycznych,
- Wsparcia dla rozwoju transportu publicznego – pobudzanie podaży i popytu na wodór w wodrze poprzez zeroemisyjny transport publiczny,
- Technologii ogni wodorowych,
- Transportu intermodalnego.

Poniższa tabela ukazuje podejście do polityki rozwoju wykorzystania wodoru w transporcie w poszczególnych państwach 3S w postaci dotacji, ulg, programów pilotażowych, programów wsparcia.

Tabela 1 Podejście do polityki rozwoju wykorzystania wodoru w transporcie w poszczególnych państwach 3S















Państwo	Działania na rzecz wykorzystania wodoru w transporcie
Austria	Brak
Bułgaria	2,7% udziału pojazdów wodorowych do 2030
Chorwacja	brak
Czechy	brak
Estonia	brak
Litwa	5% udziału energii z biometanu oraz nisko- i zeroemisyjnego wodoru w transporcie do 2030 r
Łotwa	Badania pilotażowe dot. wykorzystania wodoru w transporcie
Polska	4,4 mld zł dla autobusów wodorowych i 1,2 mld dla stacji tankowania wodoru
Rumunia	brak
Słowacja	Wsparcie dla stacji tankowania wodoru i autobusów
Słowenia	brak
Węgry	Program dekarbonizacji transportu publicznego – nakład do 20 mld HUF



























Źródło: opracowanie własne.

Gospodarka i innowacje

W obszarze państw 3S gospodarka wodorowa ma pełnić rolę sektora strategicznego. Widać to po wadze i zakresie obszarów, do których ma służyć wodór jako nośnik lub magazyn energii. Istnieją różnice w poszczególnych państwach 3S w zakresie strategicznych planów wykorzystania wodoru w gospodarce krajowej.

Tabela 2 Obszary zastosowania wodoru wymienione w krajowych planach polityki państw 3S

	Energetyka	Ciepłownictwo	Przemysł	Transport		
				Pasażerski	Ciężarowy	Morski
Austria						
Bułgaria						
Chorwacja						
Czechy						

Estonia						
Litwa						
Łotwa						
Polska						
Rumunia						
Słowacja						
Słowenia						
Węgry						

Źródło: Wolf, André, Nils Zander, *Green Hydrogen in Europe: Do Strategies Meet Expectations?*, 2021, *Intereconomics. Review of European Economic Policy* 56(6), s. 316-323 [31.07.2023].

Większość państw 3S wskazuje na konieczność rozwoju technologii i innowacji w zakresie wodoru jako przedmiotu tak szerokiego spektrum użytkowania. Przede wszystkim wskazuje się na:

- Badania nad wodorem jako paliwem, domieszką do paliwa,
- Udoskonalaniem technologii wytwarzania wodoru,
- Udoskonalaniem technologii transportu wodoru i bezpieczeństwa transportu wodoru.

Inwestycje w gospodarkę wodorową w państwach 3S zakładają pozyskiwanie funduszy inwestycyjnych, w których upatruje się transformacji systemów energetycznych w poszczególnych regionach. Transformacja ta obejmuje nie tylko zwiększenie udziału wodoru w miksie energetycznym, dekarbonizację i wsparcie zielonej transformacji, ale również zwiększenie świadomości społecznej, przebranżowienie pracowników z obszarów energetycznych i kreowanie nowych miejsc pracy oraz nowych pól innowacji technologicznych.

Państwa 3S cechują się dużym potencjałem inwestycyjnym. Struktura energetyczna państw wymusza inwestycje krajowe i dotowane międzynarodowo. Podnosi to rentowność inwestycji doświadczonych koncernów zachodnich. Oprócz tego państwa 3S dysponują wykształconą kadrą, odpowiednim zapleczem technologicznym i dużym zapotrzebowaniem na stabilną energię pochodzącą z krajowej produkcji.

Bezpieczeństwo energetyczne

Dla części państw 3S gospodarka i technologie wodorowe stanowią jeden z elementów dywersyfikacji energetycznej lub tak jak w przypadku Litwy, planu uniezależnienia wybranych sektorów gospodarki od dostaw gazu ziemnego. Wodór to także dostosowanie się gospodarek państw 3S do regulacji unijnych w zakresie dekarbonizacji. Zakłada się, że państwa 3S będą podłączone do europejskiej sieci przesyłu wodoru w celu zapewnienia bezpieczeństwa dostaw energii, zapewnienia rentowności źródeł energii, wzrostu konkurencyjności dostawców energii. Nadrzędnym celem jest budowa krajowych i regionalnych systemów transportu wodoru, który poprawi bezpieczeństwo w zakresie strategicznych dostaw.

Szczególną rolę w zakresie bezpieczeństwa, rozwoju innowacji i współpracy pełnią doliny wodorowe. Państwa 3S podejmują inicjatywy o charakterze regionalnym z innymi państwami europejskimi, czego przykładem jest Bałtycka Dolina Wodorowa. Uczestniczą w niej interesariusze reprezentujący branże technologiczne czy energetyczne z Finlandii, Estonia (lider projektu), Polski, Danii, Szwecji, Niemiec, Norwegii, Litwy i Łotwy. Państwa 3S w ramach współpracy w zakresie bezpieczeństwa energetycznego zakładają współpracę

z rozmieszczonymi na całym świecie dolinami wodorowymi uznawanymi za centra kompetencji technologicznych i biznesowych w obszarze gospodarki wodorowej⁸³.

Państwowe strategie dotyczące bezpieczeństwa energetycznego państw 3S określają poziom mocy elektrolizerów do 2030 roku. Ujęcie to prezentuje tabela⁸⁴:

Tabela 3 Zestawienie zakładanych poziomów mocy elektrolizerów do 2030 roku w państwach 3S

Państwo	Planowana moc elektrolizerów do 2030 r
Austria	989 MW
Bułgaria	3,800 MW
Chorwacja	2 MW
Czechy	47 MW
Estonia	63 MW
Litwa	200 MW
Łotwa	30 MW
Polska	1065 MW
Rumunia	1235 MW
Słowacja	263 MW
Słowenia	1,000 MW do 2025
Węgry	141 MW

Źródło: EES, [Generation Capacity for Green Hydrogen to Rise Rapidly](#), 2023 [31.07.2023].

⁸³ ARP, [Doliny Wodorowe](#) [31.07.2023].

⁸⁴ Należy podkreślić, że poniższe prognozy miejscami wskazują wyższe wartości, niż zadeklarowane w narodowych strategiach wodorowych. W naszej ocenie prognozy te przedstawiają scenariusz optymistyczny rozwoju elektrolizerów w Europie.

WODÓR W POLSCE

Wielkość krajowego rynku wodorowego

Polska posiada szczególny potencjał do rozwoju gospodarki wodorowej. Rocznie wytwarzane jest w kraju 1,3 mln ton wodoru. Jest trzecim producentem wodoru w Unii Europejskiej (po Holandii – 1,5 mln ton i Niemczech – 2,5 mln ton). W skali świata, Polska jest piątym producentem wodoru⁸⁵.

Najwięcej wodoru rocznie produkuje się w Grupie Azoty S.A. (190 tys. ton w Puławach, 77 tys. ton w Kędzierzynie Koźlu i 88 tys. ton w Policach). Jeśli spojrzymy na przemysł petrochemiczny najwięcej wodoru rocznie produkuje Orlen S.A. – ok. 140 tys. ton oraz Grupa Lotos (aktualnie należąca do Orlen) – ok. 59 tys. ton. Dwie największe koksownie w Polsce – Zdieszowice i Przyjaźń – łącznie wytwarzały 149 tys. ton wodoru (dane na rok 2015)⁸⁶. Zdecydowana większość produkowanego w Polsce wodoru pochodzi z paliw kopalnych i jest wykorzystywana do procesów przemysłowych - w procesach rafineryjnych do produkcji nawozów oraz metanolu.

Rysunek 7 Najwięksi producenci i konsumenci wodoru w Polsce



Źródło: opracowanie własne na podstawie EY, Hynfra, [Zielony wodór - rewolucja czy przejściowa moda? Szanse i wyzwania dla polskiej gospodarki](#), 2023 [31.07.2023].

⁸⁵ BOŚ Bank, [Wodór na rynku krajowym i zagranicznym](#), 2021 [31.07.2023].

⁸⁶ Polski Instytut Ekonomiczny, [Kierunki rozwoju gospodarki wodorowej w Polsce. Working Paper 7/2019](#), [31.07.2023].

Wdrożenie technologii wodorowych w energetyce (energia elektryczna i ciepła)

Sektor energetyczny można podzielić na dwie główne gałęzie - produkcję energii elektrycznej oraz energii cieplnej. Wodór może znaleźć zastosowanie w Polsce w obydwu tych obszarach - pod warunkiem zapewnienia odpowiednich mocy OZE czy energii jądrowej, wspierając uniezależnienie od paliw kopalnych i zmniejszając emisję gazów cieplarnianych. Warto podkreślić, że obydwa te obszary są synergiczne - produkcja energii może generować zarówno prąd, jak i ciepło⁸⁷.

Warto także zwrócić uwagę na tzw. układy poligeneracyjne. Podstawą ich działania jest magazynowanie nadprodukcji energii. Nadprodukcja energii najczęściej dotyczy energii z OZE. Nadmiar energii może zostać wykorzystany do zasilania elektrolizerów, które wytwarzają wodór. W ten sposób energia zostaje zmagazynowana. Gdy nastąpi okres niewystarczającej produkcji energii, wodór może zostać wykorzystany do uzupełnienia braków. Dodatkowo, produkt uboczny pracy elektrolizerów to ciepło, które można przechwytywać, magazynować i wykorzystywać⁸⁸.

Samochody

Samochody na wodór nie są nowością technologiczną, ale liczba modeli dostępnych komercyjnie pozostaje ograniczona. Na ten moment na polskim rynku dostępne są dwa auta: japońska Toyota Mirai i koreański Hyundai Nexa. W latach 2008-2015 dostępny był także model Hondy FCX Clarity. Aktualnie druga generacja tego modelu dostępna jest jedynie w Japonii, ale marka zapowiedziała powrót na rynek europejski. Podobne plany przedstawia BMW. SUV iX5 Hydrogen ma trafić na rynek w 2025 roku, a obecnie około 100 egzemplarzy uczestniczy w testach pilotażowych⁸⁹. W 2016 roku polscy inżynierowie z Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie i naukowcy Wojskowej Akademii Technicznej opracowali prototyp samochodu wodorowego. Samochód Hydrocar Premier jest sportowym roadsterem, który miał cechować się "nowatorską konstrukcją układu zasilania i niepowtarzalnym designem"⁹⁰. Aktualnie nad autem zasilanym wodorem pracuje także polski start-up Ampere⁹¹.

Jeśli chodzi o wygodę użytkowania, samochody wodorowe praktycznie nie różnią się od elektrycznych. Barięą jest jednak znikoma dostępność infrastruktury, szczególnie stacji tankowania, które w większości są na etapie planowania, inwestycji lub budowy⁹². Dla porównania, w Niemczech znajduje się 91 stacji tankowania, a w całej UE - 177 stacje. Plany UE zakładają dalszy rozrost sieci tankowania wodoru, który jest konieczny do rozwoju transportu wodorowego. Do 2030 roku w Polsce ma być dostępnych 49 stacji, a

⁸⁷ EY, Hynfra, https://www.ey.com/pl_pl/climate-change-sustainability-services/zielony-wodor-rewolucja-czy-przejsciuwa-moda, 2023 [dostęp dn. 31.07.2023].

⁸⁸ Tamże.

⁸⁹ BMW Group, <https://www.press.bmwgroup.com/poland/article/detail/T0409834PL/bmw-group-wprowadza-na-drogi-samochody-wodorowe:-uruchomienie-floty-pilota%C5%BCowej-bmw-ix5-hydrogen?language=pl>, 2023, [dostęp dn. 31.07.2023].

⁹⁰ Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, <https://www.agh.edu.pl/aktualnosci/info/hydrocar-premier-samochod-na-wodor-rodem-z-agh>, 2016, [dostęp dn. 31.07.2023].

⁹¹ Dziennik.pl, <https://auto.dziennik.pl/aktualnosci/artykuly/8230727,polski-samochod-wodor-suv-zasieg-ampere-life.html>, 2021 [dostęp dn. 31.07.2023].

⁹² GasHD.eu, <http://qashd.eu/wodor-h2/stacje-wodorowe-w-polsce/>, 2023; H2stations.eu, [https://hydrogenready.com/mapa-inwestycji-wodorowych-w-polsce/](https://www.h2stations.org/stations-map/?lat=49.763948&lng=12.582221&zoom=4&ql=1*riev1s* qa*MTcyMTU3NDgzNS4xNjg5MTYyODU4* up *MQ, 2023; Hydrogenready, <a href=), 2023 [dostęp dn. 31.07.2023].

w Europie ponad 650⁹³. W 2023 roku funkcjonuje jedna stacja w Warszawie, a kolejna budowana jest w Rybniku.

Zakładając, że planowane do 2030 roku stacje będą pracowały przez 365 dni w roku, roczne zapotrzebowanie na wodór w sektorze transportu drogowego wynosiłoby przynajmniej 17 885 ton H₂⁹⁴.

Aktualnie w Polsce zarejestrowano 177 pojazdów osobowych FCEV, z czego 51 w okresie od stycznia do marca 2023 roku. Dla porównania, w tym samym czasie po polskich drogach jeździło 67 tysięcy aut z napędem elektrycznym⁹⁵.

Autobusy miejskie

Ostatnie lata przyniosły znaczny wzrost popularności autobusów elektrycznych, jednak od niedawna trwają przygotowania także do wdrożenia w szerszej niż w 2023 roku skali autobusów na wodór. Mają one dwie ważne zalety - większy zasięg i krótszy czas tankowania w porównaniu do zasięgu i czasu ładowania autobusów elektrycznych

Na co dzień w Polsce jeździ około 12 tysięcy autobusów⁹⁶. Jeśli chodzi o autobusy na wodór, aktualnie jeździ ich kilka w Polsce w ramach testów pilotażowych⁹⁷. Są to głównie autobusy polskiej produkcji. Na polskim rynku funkcjonują dwie firmy gotowe dostarczać autobusy na wodór - Solaris oraz konsorcjum Grupy Polsat Plus i koncernu energetycznego ZE PAK pod marką NesoBus.

Solaris wprowadził do sprzedaży modele Urbino 12 Hydrogen oraz Urbino 18 Hydrogen w 2022 roku. Jeszcze tego samego roku Solaris dostarczył 62 wodorowe autobusy do Włoch, Niemiec, Holandii, Szwecji oraz Polski. Niedługo później, jesienią 2022 roku duże zamówienie złożył Poznań - na 35 autobusów zasilanych wodorem⁹⁸.

Inną polską marką jest NesoBus. Fabryka została zbudowana w Świdniku, a produkcja ma się rozpocząć w 2023-2024 roku. Testowe modele już w tym roku jeździły po m.in. Gdańsku i Wrocławiu⁹⁹. Kolejnym polskim wodorowym autobusem ma być PILEA, konstruowana w ramach ARP E-Vehicles¹⁰⁰.

UE wspiera finansowo zakup ekologicznych pojazdów komunikacji miejskiej, a polskie firmy deklarują rozwój infrastruktury wodorowej. Miasta zaczęły składać coraz więcej zamówień na wodorowe autobusy. W kwietniu 2023 roku liczba zamówionych autobusów przekraczała 80 sztuk¹⁰¹. NFOŚiGW udziela dotacji oraz preferencyjnych pożyczek na rozwój transport wodorowego jak np. zakup autobusów miejskich czy budowa stacji

⁹³ Instytut Energetyki, Wydział Zarządzania Uniwersytetu Warszawskiego, http://www.wz.uw.edu.pl/files/2023_04_Hydrogen_Conference_konferencja_raport_21_DRUK.pdf, 2023 [dostęp dn. 31.07.2023].

⁹⁴ Tamże.

⁹⁵ PSPA, <https://pspa.com.pl/2023/informacja/licznik-elektromobilnosci-samochody-elektryczne-w-i-kwartale-2023-r-ze-znaczny-wzrostem-sprzedazy-na-polskim-ryнку/>, 2023 [dostęp dn. 31.07.2023].

⁹⁶ GUS, [Transport drogowy w Polsce w latach 2020 i 2021](#), 2023 [dostęp dn. 11.10.2023].

⁹⁷ Zespół Doradców Gospodarczych TOR, <https://www.transport-publiczny.pl/raport-zdg-tor-transport-kluczem-do-rozwoju-technologiei-wodorowych.html>, 2020 [dostęp dn. 31.07.2023].

⁹⁸ Forsal.pl, <https://forsal.pl/motoforsal/motobiznes/artykuly/8576046,solaris-autobusy-wodorowe-poznan.html>, 2023 [dostęp dn. 31.07.2023].

⁹⁹ NesoBus, <https://www.nesobus.pl/#/informacje-techniczne>, 2023 [dostęp dn. 31.07.2023].

¹⁰⁰ ARP E-Vehicles, <https://arpev.pl/551/pilea-na-kongresie-wodorowym-h2poland>, 2023 [dostęp dn. 31.07.2023].

¹⁰¹ Wysokienapiecie.pl, <https://wysokienapiecie.pl/84856-wodor-w-polsce-raczkuje-w-transporcie/>, 2023 [dostęp dn. 31.07.2023].

tankowania. W perspektywie 2023-2026 uruchomiono program „Wodoryzacja gospodarki”, którego całkowity budżet wynosi 1 109 778 tys. zł. Dedykowany on jest inwestycjom w technologie wodorowe oraz infrastrukturę towarzyszącą w odniesieniu do systemów wytwarzania, magazynowania, transportu (przesył i dystrybucja) oraz wykorzystania¹⁰².

Przy założeniu, że wodór osiągnie cenę konkurencyjną w stosunku do innych paliw i energii elektrycznej, liczba zamówień prawdopodobnie będzie wzrastać¹⁰³. Według niektórych wyliczeń, całkowity koszt eksploatacji autobusu (w całym cyklu jego użytkowania) – pomimo wyższej ceny zakupu – okazuje się niższy w porównaniu do autobusów spalinowych oraz elektrycznych¹⁰⁴.

Pozostałe środki transportu

Producent pojazdów szynowych PESA pokazał prototyp lokomotywy wodorowej SM42-6Dn w 2021 roku. Lokomotywa przeznaczona jest do tzw. manewrowania i posiada m.in. system jazdy autonomicznej. Pierwszym zakładem, który z niej skorzysta, ma być Rafineria w Płocku. W dalszych latach PESA planuje rozwój pociągów pasażerskich z wykorzystaniem lokomotyw zasilanych wodorem¹⁰⁵.

Rozwój morskiej gospodarki wodorowej znalazł się wśród celów Portu w Gdyni. Jednym z pierwszych zadań jest budowa tzw. hub’u wodorowego w ramach Pomorskiej Doliny Wodorowej. Zadaniem portu byłby więc import, eksport, a także produkcja wodoru. Port planuje przystosować swoją infrastrukturę, aby mogły korzystać z niego statki zasilane wodorem lub amoniakiem. W planach jest także wykorzystanie wodoru do zasilania pojazdów obsługi wodoru, np. holowników lub wózków widłowych¹⁰⁶.

Wsparcie dekarbonizacji przemysłu

Największe branże przemysłu ciężkiego w Polsce - huty stali, przemysł chemiczny czy produkcja cementu – to zarazem branże najtrudniejsze w dekarbonizacji i nie posiadają aktualnie technologii, które pozwoliłyby w wystarczającym stopniu zredukować emisje CO₂. Wodór może być remedium w tym zakresie. Zdaniem ekspertów z Instytutu Energetyki, sektory które obecnie wykorzystują wodór emisyjny, w pierwszej kolejności skorzystają na wykorzystaniu niskoemisyjnego lub zeroemisyjnego wodoru, a projekty pilotażowe na dużą skalę są już realizowane.

Dla przykładu w sektorze chemicznym, modyfikacja będzie polegała przede wszystkim na zmianie sposobu wytwarzania wodoru. Dotychczas zakłady do produkcji amoniaku wykorzystywały wodór produkowany z paliw kopalnych, a w ramach dekarbonizacji do produkcji wodoru wykorzystane zostaną OZE, np. fotowoltaika.

¹⁰² NFOŚiGW. [Wodoryzacja gospodarki](#), 2022 [06.09.2023].

¹⁰³ Zespół Doradców Gospodarczych TOR, <https://www.transport-publiczny.pl/raport-zdg-tor-transport-kluczem-do-rozwoju-technologii-wodorowych.html>, 2020_[dostęp dn. 31.07.2023].

¹⁰⁴ Tamże.

¹⁰⁵ PESA, <https://pesa.pl/kolejowa-premiera-roku-pesa-zaprezentowala-lokomotywe-wodorowa-na-trako/>, 2022 [dostęp dn. 31.07.2023].

¹⁰⁶ Port Gdynia, <https://www.port.gdynia.pl/hub-wodorowy-w-porcie-gdynia/>, 2022 [dostęp dn. 31.07.2023].

Aby obniżyć emisję CO₂ w sektorze stalowym, węgiel i koks należy zastąpić wodorem niskoemisyjnym^{107, 108}. Duży potencjał do dekarbonizacji sektora hutnictwa stali z wykorzystaniem wodoru wykazują technologie wielkiego pieca hutniczego (ang. *hydrogen into blast furnace*). Potencjał zastosowania wodoru w tym rozwiązaniu polega na dużych możliwościach ograniczania emisyjności: wodór może zastępować tlenek węgla (CO) wytwarzany w procesach hutniczych z węgla lub koksu. W ten sposób wodór zastępuje węgiel i koks wykorzystywane w charakterze reduktora. Rozwojowym podejściem jest tzw. *hydrogen injection in blast furnace*, czyli bezpośrednio wprowadzenie wodoru jako czynnika redukującego, do wielkiego pieca. Wprowadzenie wstępnie podgrzanego wodoru pozwala na zmniejszenie zużycia koksu w procesach hutniczych, co przyczynia się do zmniejszania emisji CO₂¹⁰⁹. Inną technologią jest wykorzystanie wodoru do bezpośredniej redukcji rudy żelaza (ang. *hydrogen based direct reduction of iron*, H-DRI) przed wprowadzeniem produktu do elektrycznych pieców łukowych (EAF). Technologia DRI polega generalnie na wykorzystaniu gazu syntezowego (wodoru - H₂ i tlenku węgla - CO) do procesu redukcji rudy żelaza. W technologii H-DRI stosuje się gaz bogatszy w wodór niż gaz syntezowy lub wyłącznie wodór¹¹⁰.

Produkcja wodoru w nowych instalacjach

Według danych na 2021 rok, zapotrzebowanie na wodór w Polsce wynosiło 33 TWh. Prognozy na 2030 rok wskazują na 46 TWh, a w 2040 roku – 89 TWh. Prognozowany wzrastający popyt na wodór, wymaga pobudzania jego podaży zarówno w zakresie produkcji krajowej oraz importu¹¹¹.

Największymi producentami wodoru są obecnie Grupa Azoty i ORLEN. Zakłady produkujące wodór znajdują się głównie na południu Polski, ale także w Policach, Gdańsku i Włocławku. Rozwój produkcji wodoru związany będzie z rozwojem polskiej energetyki – aby produkować zeroemisyjny wodór, potrzebne jest zwiększenie produkcji energii oznaczanej jako nieszkodliwa dla środowiska. Według aktualnych definicji UE, do tej grupy należą wodór produkowany w procesie elektrolizy z OZE i wodór niskoemisyjny (elektroliza z wykorzystaniem energii jądrowej, instalacje termochemiczne (ang. *Thermochemical Water Splitting Cycles*, TWSC) lub produkcja z gazu ziemnego połączona z przechwytywaniem CO₂). Przewiduje się, że metody konwencjonalne będą stopniowo zastępowane na rynku metodami zrównoważonymi¹¹².

Według PSW, największy potencjał ekonomiczny posiada energia elektryczna z morskich farm wiatrowych. Równie dużą rolę odegra fotowoltaika, także urządzenia przydomowe¹¹³.

¹⁰⁷ Instytut Energetyki, http://www.wz.uw.edu.pl/files/2023_04_Hydrogen_Conference_konferencja_raport_21_DRUK.pdf, 2023 [dostęp dn. 31.07.2023].

¹⁰⁸ Ministerstwo Klimatu i Środowiska, <https://www.gov.pl/web/klimat/polska-strategia-wodorowa-do-roku-2030>, 2023 [dostęp dn. 31.07.2023].

¹⁰⁹ Cheng, Z., Tan, Z., Guo, Z., Yang, J. & Wang, Q., <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110034>, 2020 [dostęp dn. 31.07.2023].

¹¹⁰ Tang, J., Chu, M.-., Li, F., Feng, C., Liu, Z.-. & Zhou, Y, <https://link.springer.com/article/10.1007/s12613-020-2021-4>, 2020 [dostęp dn. 31.07.2023].

¹¹¹ Dolnośląski Instytut Studiów Energetycznych, <http://psew.pl/raport-zielony-wodor/>, 2023 [dostęp dn. 31.07.2023].

¹¹² Instytut Energetyki, Wydział Zarządzania Uniwersytetu Warszawskiego, http://www.wz.uw.edu.pl/files/2023_04_Hydrogen_Conference_konferencja_raport_21_DRUK.pdf, 2023 [dostęp dn. 31.07.2023].

¹¹³ Ministerstwo Klimatu i Środowiska, <https://www.gov.pl/web/klimat/polska-strategia-wodorowa-do-roku-2030>, 2021 [dostęp dn. 31.07.2023].

Aby ilość OZE była wystarczająca dla zaspokojenia popytu na wodór, w 2040 roku generacja energii odnawialnej powinna wynosić ponad 60 GW¹¹⁴.

Drugim ważnym źródłem energii do produkcji wodoru będzie energia jądrowa. Opublikowany w 2020 roku Program Polskiej Energetyki Jądrowej zakłada uzyskanie od 6 do 9 GWe z energii atomowej "w oparciu o sprawdzone, wielkoskalowe, wodne ciśnieniowe reaktory jądrowe generacji III (+)"¹¹⁵. Aktualnie planowane są prace nad budową elektrowni atomowej w Choczewie, która prawdopodobnie rozpocznie się po 2030 roku^{116,117}. W kontekście rozwoju energetyki atomowej coraz szerzej planuje się wykorzystanie małych reaktorów modułowych, czyli tzw. SMRów (Small Modular Reactors). Obecnie plany wprowadzenia technologii SMR w Polsce mają Orlen w kooperacji z Synthos¹¹⁸, Grupą Kapitałową KGHM Polska Miedź S.A.¹¹⁹ i Świętokrzyska Grupa Przemysłowa Industria¹²⁰.

Sprawny i bezpieczny przesył wodoru

Równoległe z zapewnieniem wytwarzania należy zabezpieczyć dostępność infrastruktury dystrybucyjnej. PSW zakłada w tym zakresie wykorzystanie istniejących już rurociągów gazowych, poprzez wzbogacanie gazu ziemnego wodorem. Poza tym, szczególnie w pierwszych latach rozwoju, transport ma odbywać się w cysternach i butlowozach, zarówno transportem kolejowym, jak i drogowym¹²¹.

W związku z aktualnymi wysokimi kosztami dystrybucji i transportu wodoru, atrakcyjnym modelem funkcjonowania łańcucha wartości jest ten oparty na lokalnej produkcji i konsumpcji. Zakłady produkcyjne mają być zlokalizowane w relatywnie niewielkiej odległości od ośrodków zapotrzebowania na wodór. Inicjatywą wspierającą ten model rozwoju rynku są rozwijające się w Polsce doliny wodorowe¹²².

Zasoby kavern solnych w Polsce, jeśli chodzi o łączną objętość, są drugie co do wielkości w Europie. Najwięcej przestrzeni magazynowej w kavernach posiadają Niemcy. W Polsce aktywnie wykorzystuje się dwie kawerny solne: Mogilno i Kosakowo. Aktualnie, przechowuje się w nich gaz ziemny o objętości 880 mln m³. Łącznie pojemność tych

¹¹⁴ Dolnośląski Instytut Studiów Energetycznych, Polskie Stowarzyszenie Energetyki Wiatrowej, <http://psew.pl/raport-zielony-wodor/>, 2021_[dostęp dn. 31.07.2023].

¹¹⁵ Ministerstwo Klimatu i Środowiska, <https://www.gov.pl/web/polski-atom/program-polskiej-energetyki-jadrowej>, 2020_[dostęp dn. 31.07.2023].

¹¹⁶ Gmina Choczewo, <https://www.choczewo.com.pl/polskie-elektrownie-jadrowe/>, 2023 [dostęp dn. 31.07.2023].

¹¹⁷ Business Insider, <https://businessinsider.com.pl/wiadomosci/zielone-swiatlo-dla-budowy-elektrowni-jadrowej-jest-decyzja-zasadnicza/m1d0bhj>, 2023_[dostęp dn. 31.07.2023].

¹¹⁸ EY, Hynfra, https://www.ey.com/pl_pl/climate-change-sustainability-services/zielony-wodor-rewolucja-czy-przejsciowa-moda, 2023_[dostęp dn. 31.07.2023].

¹¹⁹ KGHM, [Pierwszy w Polsce wniosek o ocenę technologii SMR złożony – KGHM robi kolejny znaczący krok w kierunku atomu | Informacje prasowe | Biuro prasowe KGHM Polska Miedź](https://www.kghm.pl/aktualnosci/pierwszy-w-polsce-wniosek-o-ocene-technologie-smr-zlozony-kgmh-robi-kolejny-znacacy-krok-w-kierunku-atomu), 2023_[dostęp dn. 31.07.2023].

¹²⁰ Zielonagospodarka.pl, [Grupa Industria i Rolls-Royce SMR będą współpracować przy wdrażaniu małych reaktorów modułowych](https://zielonagospodarka.pl/grupa-industria-i-rolls-royce-smr-beda-wspolpracowac-przy-wdrazaniu-malych-reaktorow-modulowych), 2023_[31.07.2023].

¹²¹ Ministerstwo Klimatu i Środowiska, <https://www.gov.pl/web/klimat/polska-strategia-wodorowa-do-roku-2030>, 2021 [dostęp dn. 31.07.2023].

¹²² Tamże.

magazynów wystarcza, by zaspokoić około 5 procent rocznego zużycia gazu ziemnego w Polsce^{123,124}.

Do 2030 r. w Polsce ma nastąpić zwiększenie pojemności magazynów do 4 mld m³. Pojemność magazynu wykorzystującego Kawernę Mogilno do 2027 r. ma zostać zwiększona do 800 mln m³. Nad przystosowaniem kawerny solnej pracuje także Ciech wraz ze spółką Gaz-System. Oprócz rozbudowy własnych magazynów podziemnych Polska może korzystać z kawern znajdujących się na terytorium krajów sąsiadujących¹²⁵. Stwarza to potencjał dla świadczenia usług magazynowych nie tylko na potrzeby polskich odbiorców, ale także klientów europejskich. Z kolei kawerny zlokalizowane w niewielkiej odległości od wybrzeża mogą pomieścić wodór przeznaczony na eksport lub pochodzący z importu¹²⁶.

Współpraca na polskim rynku

Główni twórcy powstającego rynku wodorowego to administracja rządowa, spółki Skarbu Państwa oraz organizacje wspierające, finansowane z kapitału państwowego. Silny udział kapitału państwowego może prowadzić do efektu synergii między organizacjami i zapewnienie większych środków inwestycyjnych. Jednocześnie wadą może okazać się preferowanie przez państwo spółek państwowych ponad firmy prywatne¹²⁷.

W opinii ekspertów¹²⁸:

- Polska posiada wieloletnie doświadczenie w produkcji i wykorzystywaniu wodoru przez przemysł chemiczny i rafineryjny (np. Grupa Azoty, Orlen, Jastrzębska Spółka Węglowa),
- Polska posiada silny sektor autobusów miejskich z doświadczeniem w produkcji napędów nisko- i zeroemisyjnych,
- Polska posiada silnych producentów pojazdów kolejowych (m.in. Pesa, Newag), a na jej terytorium znajdują się także zakłady firm zagranicznych (np. Alstom, Bombardier, Stadler),
- Polska posiada doświadczenie w przemyśle stoczniowym, który jest otwarty na rozwój ogniw paliwowych,
- Polskie przedsiębiorstwa cechują się elastycznością i łatwo adaptują się do zmieniającego się rynku,
- Polskie ośrodki badawczo-rozwojowe cechują się wysokim poziomem naukowym,
- Polska posiada kilkuletnie doświadczenie w zakresie wdrażania aut elektrycznych, które są blisko spokrewnione z autami na wodór.

¹²³ Polski Instytut Ekonomiczny, <https://pie.net.pl/wp-content/uploads/2020/06/PIE-WP7.pdf>, 2019 [dostęp dn. 31.07.2023].

¹²⁴ PGNiG, <https://pgnig.pl/podziemne-magazyny-gazu>, 2023 [dostęp dn. 31.07.2023].

¹²⁵ Polski Instytut Ekonomiczny, <https://pie.net.pl/wp-content/uploads/2020/06/PIE-WP7.pdf>, 2019 [dostęp dn. 31.07.2023].

¹²⁶ Instytut Energetyki, Wydział Zarządzania Uniwersytetu Warszawskiego, http://www.wz.uw.edu.pl/files/2023_04_Hydrogen_Conference_konferencja_raport_21_DRUK.pdf, 2023 [dostęp dn. 31.07.2023].

¹²⁷ Polski Instytut Ekonomiczny, https://pie.net.pl/wp-content/uploads/2021/01/PIE-PP_Wodor.pdf, 2020 [dostęp dn. 31.07.2023].

¹²⁸ Instytut Energetyki, Wydział Zarządzania Uniwersytetu Warszawskiego, Instytut Ekologii Terenów Przemysłowych, <https://www.gov.pl/web/klimat/polska-strategia-wodorowa-do-roku-2030>, 2020 [dostęp dn. 31.07.2023].

Na korzyść Polski działają także lokalne uwarunkowania¹²⁹:

- Dostęp do lokalnych surowców wykorzystywanych do niskoemisyjnej produkcji wodoru (np. bioodpadów),
- Ukształtowanie geologiczne kraju (np. podziemne magazyny),
- Centralne położenie geograficzno-polityczne (np. możliwość tranzytu wodoru pomiędzy Ukrainą a Niemcami oraz koordynacji handlu wodorem w całym regionie Europy Środkowo-Wschodniej).

Pod kątem społeczno-ekonomicznym, eksperci docenili również¹³⁰:

- Duży poziom społecznej akceptacji transformacji klimatycznej i wysoka świadomość ekologiczna społeczeństwa (w tym dużych firm, które uwzględniają rozwój wodoru w swoich planach),
- Duży rynek i potencjał gospodarczy,
- Możliwość wykorzystania wodoru nie tylko w procesie transformacji energetycznej, ale też w przebudowie polskiej gospodarki.

Wczesna dojrzałość rynku wodorowego w Polsce może być okazją do rozwoju. Wśród producentów technologii zaistnieć mogą zarówno małe i średnie przedsiębiorstwa, jak i większe firmy. Jest to jednak obarczone ryzykiem – trudno przewidzieć, które sektory okażą się opłacalne dla polskich przedsiębiorców. Dojrzałość technologiczna w zakresie technologii wodorowych jest oceniona jako przeciętna, ale jeśli przyjrzymy się konkretnym technologiom to okaże się, że niektóre rozwiązania stanowią dużą wartość dla polskiego rynku. Analizy dokonane w ramach PSW wskazują na szczególną atrakcyjność rynku stacji tankowania, a najwyższy potencjał w Polsce przypisuje się autobusom wodorowym.

Eksperti rekomendują rozwój również komponentów takich, jak¹³¹:

- Komponenty dla pociągów i statków,
- Komponenty dla aut,
- Stacje ładowania dla autobusów,
- Technologie skraplania wodoru,
- Elektrolizery i ogniwa paliwowe,
- Zbiorniki ciśnieniowe,
- Kompresory,
- Układy chłodzenia,
- Rury,
- Działania z zakresu bezpieczeństwa, pomiarów i technologii informatycznych.

Polska ma dużą szansę, aby wyspecjalizować się w konkretnych podzespołach, które znajdą zastosowanie w większych wodorowych produktach na całym świecie.

Interesariusze polskiej gospodarki wodorowej

Najważniejsze podmioty i instytucje, które zaangażowane w tworzenie polskiego rynku wodorowego można podzielić na kilka głównych kategorii:

- Przemysł - firmy, w tym Spółki Skarbu Państwa
- Organizacje naukowe i badawcze,
- Agencje rządowe,

¹²⁹ Tamże.

¹³⁰ Tamże.

¹³¹ Tamże.

- Organizacje wspierające,
- Aktorzy przemysłowi,
- Sieci i stowarzyszenia,
- Doliny wodorowe.

Sieci

Podmioty działające w ramach gospodarki wodorowej tworzą własne struktury, aby ułatwić współpracę, zdobywanie inwestorów, pozyskiwanie zleceń, czy wpływanie na politykę państwa.

Wśród europejskich sieci, do których należą polskie podmioty, wskazać możemy:

- Hydrogen Europe,
- Hydrogen Europe Research,
- European Energy Research Alliance, Fuel Cells and Hydrogen,
- International Energy Agency, Annex 32 Advanced Fuel Cells,
- European Clean Hydrogen Alliance,

Ogólnopolskie sieci to przede wszystkim:

- Izba Gospodarcza Gazownictwa,
- Polskie Stowarzyszenie Energetyki Wiatrowej,
- Polska Izba Paliw Płynnych,
- Polska Izba Magazynowania Energii,
- Polskie Stowarzyszenie Paliw Alternatywnych,
- Krajowa Izba Gospodarcza,
- Polska Izba Przemysłu Chemicznego.

Wśród lokalnych sieci wskazać możemy:

- Gdański klaster wodorowy,
- Wieluński klaster energii,
- Stowarzyszenie Polski Wodór,
- Doliny Wodorowe.

Doliny wodorowe

Doliny wodorowe, to regiony, które zostały wybrane na stworzenie lokalnych rynków gospodarki wodorowej. Pozwalają skupić w jednym miejscu wysiłki samorządu, przedstawicieli rządu, lokalnych przedsiębiorców i lokalnej społeczności. Założeniem doliny wodorowej jest utrzymanie całego cyklu życia wodoru w danym regionie. To znaczy, zamiast przesyłać wodór po całej Polsce, może on być lokalnie produkowany i lokalnie zużywany.

W dolinach wodorowych mają być tworzone demonstratory polskich technologii wodorowych powstałe w wyniku współpracy regionalnych podmiotów i interesariuszy, w tym jednostek naukowych i przedsiębiorstw. Doliny wodorowe będą spełniać ważną rolę w mobilizacji prywatnych środków na zielone inwestycje Europejskiego Zielonego Ładu¹³².

Aktualnie w całej Polsce rozwija się 9 dolin wodorowych:

- Dolnośląska Dolina Wodorowa,

¹³² Agencja Rozwoju Przemysłu, <https://arp.pl/pl/jak-dzialamy/doliny-wodorowe/>, 2023 [dostęp dn. 31.07.2023].

- Mazowiecka Dolina Wodorowa,
- Centralna Dolina Wodorowa
- Śląsko-małopolska Dolina Wodorowa,
- Podkarpacka Dolina Wodorowa,
- Pomorska Dolina Wodorowa,
- Bursztynowa Dolina Wodorowa,
- Wielkopolska Dolina Wodorowa,
- Zachodniopomorska Dolina Wodorowa.

Dodatkowo, należy wspomnieć o międzynarodowej dolinie wodorowej - Bałtyckiej Dolinie Wodorowej. Dolnośląska Dolina Wodorowa dołączyła do konsorcjum, które łączy 37 podmiotów z basenu Morza Bałtyckiego¹³³. Natomiast Bursztynowa Dolina Wodorowa jest jedną w Polsce certyfikowaną doliną wodorową, która została utworzona do wdrażania pełnego ekosystemu wodorowego w województwie pomorskim¹³⁴.

Rysunek 8 Mapa dolin wodorowych w Polsce



źródło: opracowanie własne.

Agencje rządowe

Zaangażowanie instytucji publicznych w rozwój gospodarki wodorowej odbywa się na kilku poziomach. Najbardziej widocznym efektem tej pracy jest opublikowana już PSW. Nad jej opracowaniem czuwał Międzyresortowy Zespół ds. gospodarki wodorowej, w którego skład

¹³³ Tamże.

¹³⁴ Money.pl, <https://www.money.pl/gospodarka/wodor-w-grupie-ornen-6908937632307840a.html>, 2023 [dostęp dn. 31.07.2023].

weszli przedstawiciele Ministerstwa Aktywów Państwowych, Ministerstwa Klimatu i Środowiska, Ministerstwa Rozwoju, Ministerstwa Infrastruktury i Ministerstwa Edukacji i Nauki¹³⁵. Z inicjatywy Ministerstwa Klimatu i Środowiska od 14.10.2021 r. funkcjonuje Porozumienie sektorowe na rzecz rozwoju gospodarki wodorowej, którego sygnatariuszami są interesariusze rozwoju polskiej gospodarki wodorowej. Porozumienie to jest kontynuacją prac rozpoczętych przez MKiŚ w 2020 r. wraz z podpisaniem listu intencyjnego o ustanowieniu partnerstwa na rzecz budowy gospodarki wodorowej i zawarcia sektorowego porozumienia wodorowego¹³⁶.

Organizacje naukowo-badawcze

W prace wokół wodoru zaangażowane są instytuty z całej Polski zajmujące się przede wszystkim chemią i energetyką. Za główną instytucję zaangażowaną w polskie działania badawczo-rozwojowe w obszarze wodoru uważa się Instytut Energetyki (IEn). W strukturach jednostki funkcjonuje Centrum Technologii Wodorowych (CTH₂), które było pierwszym centrum tego typu w Polsce (powstało w 2020 roku). Pracownicy CTH₂ odpowiedzialni są m.in. za prace badawcze i rozwój wysokotemperaturowych elektrolizerów, dostawę instalacji elektrolizy i ich integrację z obiektami przemysłowymi i siłowniami jądrowymi, palnikami do spalania i współspalania wodoru oraz technologiami towarzyszącymi. W strukturach polskich uczelni funkcjonują podobne jednostki. W Politechnice Warszawskiej istnieje Centrum Wodoru i Ogniw Paliwowych, w Politechnice Wrocławskiej zaś Centrum Technologii Wodorowych i Odnawialnych Źródeł Energii (CTW_OZE), natomiast w Politechnice Gdańskiej – Centrum Technologii Wodorowych.

Z ramienia Polskiej Akademii Nauk prace prowadzą m.in. Instytut Fizyki Molekularnej PAN, Instytut Inżynierii Chemicznej PAN oraz Instytut Chemii Fizycznej PAN. W Sieci Badawczej Łukasiewicz w rozwój wodoru zaangażowane są m.in. Łukasiewicz - Instytut Chemii Przemysłowej (np. produkcja wodoru z odpadów, ogniwa paliwowe), Łukasiewicz - Instytut Elektrotechniki (np. ogniwa paliwowe), Łukasiewicz - Instytut Nowych Syntezy Chemicznych (produkcja nisko- i zeroemisyjnego wodoru w zakładach Grupy Azoty) czy Łukasiewicz - Poznański Instytut Technologiczny (zastosowanie wodoru w pojazdach szynowych). Wśród aktywnych instytucji należy także wymienić Główny Instytut Górnictwa - Instytut Badawczy, Instytut Nafty i Gazu, Instytut Technologii Paliw i Energii oraz Instytut Wysokich Ciśnień¹³⁷.

Perspektywy rozwoju i trendy na krajowym rynku wodorowym

Kluczowe czynniki i uwarunkowania rozwoju krajowego rynku wodoru

Rozwój krajowego rynku wodoru zależy od wielu czynników. Oto kilka istotnych czynników wpływających na rozwój krajowego rynku wodoru.

- **Wyzwania klimatyczno-środowiskowe**
 - **Dekarbonizacja:** gospodarka, szczególnie europejska, dąży do ograniczania emisji CO₂, zanieczyszczeń i gazów cieplarnianych, dążąc do stworzenia systemu neutralnego dla klimatu.

¹³⁵ Polski Instytut Ekonomiczny, https://pie.net.pl/wp-content/uploads/2021/01/PIE-PP_Wodor.pdf, 2020 [dostęp dn. 31.07.2023].

¹³⁶ MKiŚ, <https://www.gov.pl/web/klimat/podpisano-porozumienie-sektorowe-na-rzecz-rozwoju-gospodarki-wodorowej-w-polsce>, 2023 [dostęp dn. 31.07.2023].

¹³⁷ Polski Instytut Ekonomiczny, https://pie.net.pl/wp-content/uploads/2021/01/PIE-PP_Wodor.pdf, 2020 [dostęp dn. 31.07.2023].

- **Transformacja energetyczna:** silnie związana z dekarbonizacją, wynika również z malejącego dostępu do zasobów paliw kopalnych, a co za tym idzie rozwoju OZE i konieczności magazynowania energii oraz stabilizacji sieci elektro-energetycznej. W ramach paradygmatu transformacji, postępuje elektryfikacja wszędzie tam, gdzie jest to możliwe. Dodatkowo cena energii z OZE sukcesywnie maleje, ale jednocześnie wzrasta cena emisji CO₂). W obliczu tej ogromnej zmiany, transformacja ta powinna być sprawiedliwa społecznie i racjonalna ekonomicznie.
- **ESG (environmental, social, governance)/zrównoważony rozwój:** paradygmat rozwoju gospodarczego uwzględniający oddziaływanie na środowisko i społeczeństwo. ESG używane jest jako narzędzie do oceny przedsiębiorstw pod względem ich praktyk zrównoważonego rozwoju i odpowiedzialności społecznej. Staje się istotnym czynnikiem z perspektywy ekonomicznej i inwestycyjnej – otoczenie coraz częściej uwzględnia aspekty ESG w procesach podejmowania decyzji.
- **Efektywność energetyczna:** jest jednym z filarów koncepcji integracji sektora energii UE¹³⁸. Ma na celu minimalizowanie strat energii, eliminowanie marnotrawstwa oraz zwiększenie wydajności i oszczędności energetycznej. Poprawa efektywności energetycznej jako wysiłek na poziomie indywidualnym czy całych sektorów gospodarki, prowadzi do zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych, obniżenia kosztów energii, zwiększenia niezależności energetycznej i zrównoważonego wykorzystania zasobów.
- **Wojna w Ukrainie:**
 - **Uniezależnienie od importu paliw węglowodorowych i węglowych z Rosji:** polega na zmniejszeniu/wyeliminowaniu importu tych surowców energetycznych w celu zwiększenia poziomu bezpieczeństwa energetycznego Polski.
 - **Dywersyfikacja źródeł energii i rozwój gospodarki:** duże uzależnienie od paliw węglowodorowych i węglowych, może prowadzić do uniezależnienia tych sektorów i zainwestowania np. w sektor zielonej energii, co może przyczynić się do rozwoju gospodarczego, zwiększenia konkurencyjności kraju oraz rozwoju lokalnych źródeł energii.
 - **Przyspieszenie transformacji energetycznej UE:** podważenie możliwości oparcia okresu przejściowego o płynne węglowodory i konieczność skrócenia tego okresu, co przyspiesza działania transformacyjne w UE.
- **Pandemia COVID-19:**
 - **Zerwane łańcuchy dostaw:** pandemia nadwyrężyła ideę globalizacji, skłaniając poszczególne kraje do większej niezależności gospodarczej poprzez problemy w zarządzaniu relacjami z klientami w światowych łańcuchach dostaw.
 - **Deglobalizacja:** pandemia pokazała w jakich dużych zależnościach gospodarczych znajdują się poszczególne kraje w obliczu globalnego kryzysu i że kapitał ma swoją narodowość. Okazało się, że gospodarki narodowe powinny być bardziej samowystarczalne.
 - **Problemy ekonomiczne:** pandemia wywołała gospodarczy kryzys, z którego odbudowuje się większość światowych gospodarek.
- **Demokratyzacja energetyki:** przekształcanie systemu energetycznego w sposób, który zapewnia uczestnictwo społeczeństwa w procesie podejmowania decyzji, dostępie do energii, produkcji energii i korzystaniu z niej. Dąży do rozproszenia władzy i przekazania większej kontroli nad energetyką obywatelom. Obejmuje: partycypację społeczną w procesie podejmowania decyzji dot. polityki energetycznej, rozwój własności społecznej i lokalnej związanych z zarządzaniem i

¹³⁸ Komisja Europejska, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/ALL/?uri=CELEX:52020DC0299>, 2020 [dostęp dn. 31.07.2023].

kontrolowaniem lokalnych projektów energetycznych, przejrzystość w zarządzaniu sektorem energetyki – zapewnienie prawa obywateli do dostępu do informacji nt. energetyki, promowanie zdekarbonizowanych źródeł energii.

Szanse i potencjały związane z rozwojem krajowego rynku wodoru

Rozwój krajowego rynku wodoru niesie za sobą istotne szanse i potencjały, które mogą być zarówno wyzwaniem zmian czy możliwościami do wykorzystania w skali gospodarki:

- Dekarbonizacja związana z wyzwaniami środowiskowo-klimatycznymi i europejską legislacją,
- Ulokowanie Polski w Europie Centralno-Wschodniej i wynikające z tego korzystne uwarunkowania geopolityczne,
- Decentralizacja systemu elektroenergetycznego skutkująca np. powstawaniem rozproszonej sieci i bardziej odpornego oraz elastycznego systemu, w którym produkcja energii odbywa się na wielu lokalnych poziomach czy wsparciem dla rozwoju OZE,
- Wykorzystanie międzynarodowej pozycji i polskiego know-how w zakresie produkcji szarego wodoru na podstawie doświadczeń przemysłu,
- Kryterium dodatkowości mocy OZE do produkcji wodoru z elektrolizy jako szansa rozwojowa dla Polski,
- Szeroko zakrojone plany spółek skarbu państwa związanych z transformacją energetyczną, dotyczące wodoru,
- Oddolne działania lokalnych interesariuszy związane z pobudzaniem lokalnych i regionalnych łańcuchów wartości i rynku, a w tym rozwój dolin wodorowych,
- Rozwój wodorowego transportu osobowego: publicznego i indywidualnego oraz towarowego jako sektora gospodarki,
- Plany rozwoju odnawialnych źródeł energii w Polsce: szczególnie morską energetyką wiatrową i energetyką atomową,
- Polska ma potencjał w zakresie magazynowania wodoru w kawernach solnych, wynikający z uwarunkowań geologicznych szczególnie sprzyjających w obszarze zachodniej części kraju oraz dostępność głębokich poziomów wodonośnych i czerpanych złóż węglowodorów¹³⁹,
- Szansą dla Polski jest wpisanie się w lukę technologiczną w gospodarce światowej, którą jest produkcja ogniw paliwowych i elektrolizerów na rynku urządzeń o mocy poniżej 200 MW.

Bariery i wyzwania związane z rozwojem krajowego rynku wodoru

Na potrzeby raportu „Łańcuch wartości gospodarki wodorowej w Polsce” przeprowadzono badanie ankietowe, dotyczące łańcucha wartości gospodarki wodorowej oraz roli podmiotów Porozumienia Wodorowego. Badani wskazali w następującej kolejności pięć największych wyzwań dla rozwoju gospodarki wodorowej¹⁴⁰:

- brak systemu wsparcia dedykowanego dla wodoru odnawialnego i pochodnych w Polsce (pokrycie luki finansowej, długoterminowy off-take),
- utrudnienia związane z brakiem odpowiednio rozwiniętego i uregulowanego systemu elektroenergetycznego w Polsce,

¹³⁹ Polski Instytut Ekonomiczny, <https://pie.net.pl/wp-content/uploads/2020/06/PIE-WP7.pdf>, 2019_[dostęp dn. 31.07.2023].

¹⁴⁰ Instytut Energetyki, Wydział Zarządzania Uniwersytetu Warszawskiego, http://www.wz.uw.edu.pl/files/2023_04_Hydrogen_Conference_konferencja_raport_21_DRUK.pdf, 2023 [dostęp dn. 31.07.2023].

- brak infrastruktury przesyłowej, dystrybucyjnej, magazynowej i terminalowej co utrudnia stworzenie płynnego rynku hurtowego oraz łączenie strony popytowej z podażową,
- brak odpowiednich regulacji w Polsce dedykowanych dla wodoru odnawialnego i pochodnych (trudność w realizacji inwestycji, w szczególności na poziomie administracyjnym i środowiskowym),
- brak jasno określonej wizji strategicznej w zakresie rozwoju gospodarki wodorowej (aktualizacja PSW, PEP2040, KPEiK pod kątem wodoru).

Poza wskazanymi wyzwaniami, które mają przede wszystkim wymiar systemowy, można wymienić jeszcze następujące, wskazywane w raportach branżowych¹⁴¹:

- wysokie koszty produkcji nisko- i zeroemisyjnego wodoru,
- duże straty energii w całym łańcuchu,
- ograniczenia infrastrukturalne i brak dedykowanej infrastruktury dla wodoru,
- słabo rozwinięty rynek i łańcuch wartości wynikający z początkowego etapu jego rozwoju,
- niski poziom technologiczny w niektórych ogniwach, charakterystyczny dla wczesnego etapu rozwoju.

W obrębie poszczególnych ogniw łańcucha wartości występują specyficzne dla nich wyzwania. Zostaną one przedstawione w odniesieniu do wybranych, przeanalizowanych raportów branżowych¹⁴². W przypadku wytwarzania można wskazać:

- wysokie koszty wejścia (koszt instalacji OZE i koszt elektrolizera),
- wysokie koszty instalacji oraz zastosowania technologii do produkcji wodoru,
- niskie poziomy dojrzałości technologicznej, wymagające prac B+R w tym np. technologii odsalania wody morskiej do produkcji wodoru w pobliżu farm wiatrowych na Bałtyku,
- wykorzystanie wody wodociągowej do produkcji wodoru za pośrednictwem elektrolizy, niska dojrzałość technologiczna i potencjał wykorzystania wody innych rodzajów,
- duże straty energii w procesie produkcji. Dopracowanie zoptymalizowanych pod tym kątem technologii oraz ich wdrożenie, może stanowić o przewadze konkurencyjnej danego podmiotu,
- niewystarczające moce OZE, zapóźnienie Polski w zakresie rozwoju mocy OZE w stosunku do państw Europy zachodniej. Trudności związane z OZE wynikają z dwóch spraw: słabości sieci elektroenergetycznych oraz barier legislacyjnych,
- niedostępność elektrolizerów, długi czas oczekiwania na dostawę.

W obrębie magazynowania występują wyzwania i bariery takie jak:

- niska sprawność odzyskiwanej energii ze zmagazynowanego wodoru,
- wysokie koszty instalacji do magazynowania wodoru,
- problemy z magazynowaniem na dużą skalę ze względu na konieczność zapewnienia określonych warunków,

¹⁴¹ Dolnośląski Instytut Studiów Energetycznych, Polskie Stowarzyszenie Energetyki Wiatrowej, <http://psew.pl/raport-zielony-wodor/>, 2021; EY, Hynfra, https://www.ey.com/pl_pl/climate-change-sustainability-services/zielony-wodor-rewolucja-czy-przejsciowa-moda, 2023; Esperis, UN Global Compact, https://ungc.org.pl/wp-content/uploads/2021/12/Rozwo%CC%81j_gospodarki_wodorowej.pdf, 2021; Instytut Energetyki, Wydział Zarządzania Uniwersytetu Warszawskiego, Instytut Ekologii Terenów Przemysłowych, <https://www.gov.pl/web/klimat/polska-strategia-wodorowa-do-roku-2030>, 2021; Polski Instytut Ekonomiczny, <https://pie.net.pl/wp-content/uploads/2020/06/PIE-WP7.pdf>, 2019_[dostęp dn. 31.07.2023].

¹⁴² Dolnośląski Instytut Studiów Energetycznych, Polskie Stowarzyszenie Energetyki Wiatrowej, <http://psew.pl/raport-zielony-wodor/>, 2021; EY, Hynfra, https://www.ey.com/pl_pl/climate-change-sustainability-services/zielony-wodor-rewolucja-czy-przejsciowa-moda, 2023; Esperis, UN Global Compact, https://ungc.org.pl/wp-content/uploads/2021/12/Rozwo%CC%81j_gospodarki_wodorowej.pdf, 2021; Instytut Energetyki, Wydział Zarządzania Uniwersytetu Warszawskiego, Instytut Ekologii Terenów Przemysłowych, <https://www.gov.pl/web/klimat/polska-strategia-wodorowa-do-roku-2030>, 2021; Polski Instytut Ekonomiczny, <https://pie.net.pl/wp-content/uploads/2020/06/PIE-WP7.pdf>, 2019_[dostęp dn. 31.07.2023].

- właściwości fizyko-chemiczne wodoru, prowadzące m. in. do kruchości wodorowej – wpływające na zwiększenie kosztów konstrukcji osprzętu do magazynowania wodoru.

Transport i dystrybucja mierzą się z poniższymi problemami:

- brakiem dedykowanych sieci do przesyłu i dystrybucji wodoru,
- niewystarczająco rozwiniętymi możliwościami domieszkowania wodoru do gazu celem przesyłu/dystrybucji gazowymi sieciami,
- transport kołowy (np. butlowozy) – o ile nie będzie zielony – generuje emisje i zanieczyszczenia.

W przypadku wykorzystania wodoru wskazuje się na następujące wyzwania i bariery:

- słabo rozwinięty rynek produkcji urządzeń docelowych do wykorzystania wodoru i/lub brak popytu,
- brak zintegrowanych łańcuchów wartości i dostaw wodoru wykorzystujących zasoby regionalne i krajowe,
- wysokie koszty dostosowania obecnej infrastruktury do wykorzystania wodoru (po stronie odbiorców, rozproszenie generuje utrudnienie) oraz produkcji infrastruktury do zastosowania wodoru,
- brak kierunków i egzekwowanego harmonogramu przejścia na nisko- i zeroemisyjnego wodoru,
- brak bazy edukacyjnej w zakresie produkcji, transportu i wykorzystania nisko- i zeroemisyjnego wodoru,
- brak wytycznych do integracji, testowania, walidacji zintegrowanych systemów wodorowych,
- opracowanie i wdrożenie systemu edukacji pracowników sektora wodorowego - od szkół zawodowych, technicznych, aż po studia wyższe.

Trendy i perspektywy rozwoju na krajowym rynku wodoru

1. **Model rozwoju top-down (scentralizowany):** model zakładający kluczową rolę państwa w rozwoju gospodarki wodorowej. Polega m.in. na: wyznaczaniu strategicznych kierunków rozwojowych, stymulowaniu branż, mobilizacji zasobów, angażowaniu spółek skarbu państwa w działania na poziomie makroekonomicznym. W związku z wczesnym etapem rozwoju rynku wodorowego w Polsce, jest on w głównej mierze aktualnie w ten sposób zarządzany¹⁴³. Dodatkowo, przemysł, który jest głównym odbiorcą odnawialnego wodoru, jest zdominowany przez spółki skarbu państwa, co może długofalowo oddziaływać na dominację tego modelu. Mimo znacznej roli przemysłu, nie jest on w stanie odpowiedzieć na wszystkie potrzeby z zakresu rozwoju gospodarki wodorowej, stąd model ten musi współistnieć z innymi podejściami.
2. **Model rozwoju bottom-up (oddolny):** kluczowymi aktorami w tym modelu zarządzania są lokalni interesariusze, samorządy, MŚP i organizacje lokalne. Główną aktywność wykazują lokalni interesariusze, którzy najlepiej znają swoje potrzeby, problemy i możliwości. Wokół tego mogą budować lokalne łańcuchy wartości gospodarki wodorowej w oparciu o demokratyzację energetyki i realizację obowiązków samorządów¹⁴⁴.
 - a. Przykładem tego modelu jest funkcjonowanie dolin wodorowych, które angażują szerokie spektrum interesariuszy na poziomie lokalnym do podejmowania wspólnych inicjatyw w zakresie gospodarki wodorowej.

¹⁴³ EY, Hynfra, https://www.ey.com/pl_pl/climate-change-sustainability-services/zielony-wodor-rewolucja-czy-przejsciova-moda, 2023 [dostęp dn. 31.07.2023].

¹⁴⁴ Tamże.

Innymi przykładami jest oddolna aktywność w zakresie "wodoryzacji" transportu publicznego czy ciepłownictwa.

- b. 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.
3. **Scentralizowana produkcja:** oznacza koncentrację procesów produkcji wodoru w określonych miejscach/ośrodkach, w korzystnych strategicznych lokalizacjach, które mają warunki do produkcji wodoru na dużą skalę, który później jest wykorzystywany na własne potrzeby i/lub dystrybuowany do odbiorców, co wymaga transportu oraz infrastruktury dystrybucyjnej. Przykładami w ramach takiego modelu są zakłady przemysłowe dotychczas wykorzystujące wodór w swoich procesach, mające powstawać instalacje z elektrolizerami zlokalizowane w pobliżu dużych mocy OZE jak np. farma wiatrowa na Bałtyku czy firmy zajmujące się produkcją i dystrybucją gazów technicznych.
4. **Lokalna produkcja, lokalna konsumpcja:** zakłada zdecentralizowane podejście, w którym produkcja wodoru jest rozproszona w różnych lokalizacjach, a wodór produkowany jest w mniejszej skali, tak żeby pokryć lokalne zapotrzebowanie. Produkcja wodoru odbywa się bliżej miejsc jego wykorzystania, co zmniejsza potrzebę długotrwałego transportu i obecności rozbudowanej infrastruktury dystrybucyjnej. Model ten zapewnia większą elastyczność i dostępność wodoru w różnych lokalizacjach, co może być szczególnie interesujące w przypadku obszarów o trudnym położeniu geograficznym lub specyficznych potrzebach. W modelu tym inwestycje w infrastrukturę transportową i dystrybucyjną mogą być ograniczone. Dodatkowo, największą jego zaletą jest to, że model ten może przyspieszyć transformację energetyczną oraz zwiększyć niezależność energetyczną społeczności lokalnych. W ramach tego modelu funkcjonować będą np. doliny wodorowe.
5. **Paradygmat „starego” wodoru:** w ramach tego modelu głównymi interesariuszami wodoru jest przemysł, który będzie sukcesywnie obniżał emisyjność przez przechodzenie do wodoru nisko- i zeroemisyjnego. Przemysł jest tzw. rynkiem pionierskim dla wodoru. Dodatkowo, paliwa kopalne w miarę możliwości, będą zastępowane w niektórych wysokotemperaturowych procesach przemysłowych np. w sektorze chemicznym i stalowym, które są najbardziej problematyczne w zakresie redukcji emisji. Ponadto, będą produkowane paliwa płynne i gazowe oparte na wodorze, takie jak: amoniak, metanol, syntetyczne paliwo do silników odrzutowych oparte na neutralnym emisyjnie CO₂ do zastosowań w różnych sektorach gospodarki. Wodór dalej będzie mieć się dobrze w sektorze kosmicznym, w którym jego aplikacje znajdują się na bardzo wysokim poziomie dojrzałości technologicznej np. w specjalnych silnikach odrzutowych.
6. **Paradygmat „nowego” wodoru:** oznacza całkowicie nowy obszar praktycznie dla wszystkich interesariuszy gospodarki wodorowej oraz produkcji i wykorzystywania wodoru w nowych sektorach gospodarki zarówno na poziomie, globalnym, krajowym oraz lokalnym. Wodór może służyć do stabilizacji systemu elektroenergetycznego jako magazyn energii na dużą skalę. Może być wykorzystywany w budownictwie oraz ciepłownictwie. Atrakcyjnym sektorem jest transport – w którym występują również obszary rynkowe o pionierskim znaczeniu dla wodoru, a w tym:
 - a. Kolej
 - b. Ciężkie pojazdy drogowe i transport lądowy dalekobieżny
 - c. Pojazdy specjalnego przeznaczenia
 - d. Wodny, szczególnie żegluga śródlądowa i żegluga morska bliskiego zasięgu

7. **Import i eksport wodoru:** w związku ze zróżnicowanymi możliwościami produkcji wodoru w różnych krajach, a co za tym idzie jego ceną oraz krajowymi potrzebami związanymi z wodorem, międzynarodowa dystrybucja i przesył wodoru mogą być dla Polski istotne zarówno w pozycji tranzytowej oraz importera wodoru. Ceny wodoru z innych części świata mogą być konkurencyjne dla polskich przedsiębiorstw. Ponadto międzynarodowa współpraca w tym zakresie może przyczynić się do transferu wiedzy i technologii, szybszego zastosowania nisko- i zeroemisyjnego wodoru na dużą skalę w gospodarce oraz przyspieszenie rozwoju gospodarczego związanego z wodorem i dekarbonizacją.
8. **Łączenie/integracja sektorów (sector coupling):** polega na optymalizacji przepływów energii pomiędzy przemysłem, transportem oraz budownictwem i innymi sektorami w sposób stabilizujący pracę sieci elektroenergetycznej poprzez wykorzystanie wodoru jako nośnika energii.

Przykładowe projekty wodorowe w Polsce

Projekt HYDROGIN – drugie życie Elektrociepłowni Elbląg¹⁴⁵

Projekt miał nadać nową rolę jednostkom wytwórczym centralnie dysponowanym (JWCD) poprzez magazynowanie nadmiaru energii w wodrze. JWCD są podstawowymi obiektami krajowej energetyki, ale ich praca jest poddawana regularnemu obniżaniu mocy i częstym zatrzymaniom (rocznie od kilkudziesięciu do ponad stu). Częste zatrzymania przyspieszają zużycie komponentów elektrowni i powodują wzrost wskaźników emisyjnych.

Kotły bloków energetycznych opalanych węglem, biomasą (jak w przypadku bloku BB20p w Elektrociepłowni Elbląg) lub innymi paliwami mają za zadanie wytworzenie dużej ilości pary, która napędza turbinę generującą energię elektryczną. W przypadku obniżania obciążenia bloku, ilość pary maleje, a jednostka wytwarza mniej mocy. Wartością graniczną obniżania mocy bloku jest tzw. minimum techniczne - poniżej minimum blok zostaje zatrzymany.

Alternatywną możliwością, jest przekierowanie nadmiarowej pary i/lub wykorzystanie energii elektrycznej do zasilania wysokotemperaturowego elektrolizera. Rozwiązanie takie umożliwi znaczącą poprawę elastyczności bloku energetycznego, który zamiast zatrzymania może kontynuować pracę w warunkach optymalnych a wytwarzana w nim para i/lub energia elektryczna zasila elektrolizer. W przypadku stosowania biomasy, co miało miejsce w projekcie HYDROGIN, wytwarzany w elektrolizerze stałotlenkowy wodór pozbawiony był śladu węglowego. Dodatkową funkcjonalnością tej unikatowej, pierwszej na świecie instalacji łączącej elektrolizer z elektrociepłownią, była możliwość przełączenia elektrolizera (klasy 10kW) do trybu pracy ogniwa paliwowego (SOFC). Umożliwia to zwiększenie mocy układu hybrydowego (elektrociepłownia + ogniwo paliwowe) w momentach zwiększonego zapotrzebowania na moc elektryczną. Paliwem dla SOFC w przypadku tej instalacji był wytwarzany wcześniej wodór, magazynowany na miejscu.

¹⁴⁵ Przedsięwzięcie dofinansowane ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Realizowane przez Centrum Badawczo Rozwojowe im. Faraday, Energa S.A., Grupa Orlen w konsorcjum z Instytutem Maszyn Przepływowych Polskiej Akademii Nauk im. Szewalskiego oraz we współpracy z Instytutem Energetyki – Instytutem Badawczym, którego zespół był autorem koncepcji, zaprojektował i wybudował instalację wraz z dostawą stosów stałotlenkowych ogniwo elektrochemicznych własnej produkcji.

Lokomotywa wodorowa PESA¹⁴⁶

W aktualnym stanie techniki wyróżnić można dwa istniejące rozwiązania: lokomotywy elektryczne, które są eksploatowane na liniach zelektryfikowanych, oraz lokomotywy spalinowe, które stosuje się w przypadku linii niezelektryfikowanych. Brak elektryfikacji wybranych odcinków sieci kolejowych oraz problem eksploatacji krajowego taboru kolejowego opartego na silnikach spalinowych powoduje istotne emisje CO₂. Problem dotyczy zarówno lokomotyw manewrowych jak i lokomotyw dla transportu pasażerskiego. Wykorzystanie lokomotyw elektrycznych wymaga rozbudowy sieci elektrycznych jak również sukcesywnego zwiększania mocy przyłączeniowej.

Alternatywą może być napęd elektryczny oparty na pokładowym generatorze energii elektrycznej z ogniwami paliwowymi zasilanymi wodorem. Opracowana została własnej konstrukcji lokomotywa (SM42-6Dn), przedstawiona po raz pierwszy w roku 2021. Lokomotywa manewrowa PESA posiada stos ogniw paliwowych o mocy 170 kW i zbiorniki mogące zmagazynować do 175 kg wodoru. Napęd lokomotywy stanowi zespół czterech silników trakcyjnych o łącznej mocy 720 kW sprzężonych z baterią trakcyjną. Prototyp pod koniec 2022 roku – jako pierwszy na świecie pojazd tego typu - z powodzeniem zakończył testy homologacyjne. Efekt końcowy projektu stanowi bazę do dalszego rozwoju rozwiązań wodorowych dla kolejnictwa. Lokomotywa w pierwszej kolejności będzie eksploatowana w Petrochemii ORLEN w Płocku.

Zakłada się, że doświadczenia zdobyte w ramach tworzenia lokomotywy SM42-6Dn będą mogły być wykorzystane w horyzoncie 5 lat do opracowania hybrydowych pojazdów wodorowych dla transportu pasażerskiego. Pojazdy takie umożliwiłyby korzystanie z odcinków zelektryfikowanych jak i bez trakcji – co będzie bezpośrednio oddziaływać na liczbę dotychczasowych, jak i potencjalnych nowych połączeń kolejowych oraz komfortu pasażerów. Jednocześnie, wprowadzenie lokomotywy SM42-6Dn do eksploatacji na terenie instalacji petrochemicznej pozwala stworzyć lokalny ekosystem wodorowy, który objąłby komponenty od wytwarzania paliwa, poprzez jego magazynowanie i wykorzystania dla potrzeb zdekarbonizowanego transportu w ramach jednego obiektu przemysłowego.

Projekt Hydrogen Eagle – niskoemisyjna sieć transportowa

Obecnie, absolutna zeroemisyjność jest nieosiągalną ideą, ponieważ samo dążenie do ograniczenia emisji CO₂, np. poprzez wykorzystanie OZE do wytwarzania wodoru, wiąże się z innymi emisjami. Emisje te związane są z wytworzeniem wszystkich urządzeń, materiałów itd., potrzebnych do zbudowania i zapewnienia obsługi farm wiatrowych, fotowoltaicznych oraz infrastruktury zapewniającej korzyści eksploatacyjne z poczynionych inwestycji.

Koncern ORLEN S.A. w 2021 roku rozpoczął realizację projektu Hydrogen Eagle. Skala inwestycji pozwoli uzyskać doświadczenie technologiczne oraz logistyczne do sprawnego reagowania na czynniki, które staną się jaśniejsze wraz z kolejnymi latami działań zmierzających do ograniczenia wpływu na środowisko naturalne. Jest to kilkietapowy projekt infrastrukturalny, w ramach którego powstaje międzynarodowa sieć hubów¹⁴⁷ wodorowych zasilanych z OZE oraz obiekty przetwarzające odpady komunalne w niskoemisyjny wodór. Projekt przewiduje również budowę ponad 100 stacji tankowania wodoru dla transportu indywidualnego, publicznego i cargo. Całość jest powiązana z planami obejmującymi stacje tankowania wodoru w Polsce, Czechach, Słowacji i Niemczech. Wodór ma być pozyskiwany poprzez transformację energii wiatrowej oraz odpadów komunalnych.

¹⁴⁶ Wspólne przedsięwzięcie PKP, ORLEN i PESA. Rozwiązanie to jest efektem współpracy wielu podmiotów, w tym firm ABB, Ballard (dostawca stosów ogniw paliwowych), Worthington, Luccini, Rawag, TSA oraz CADD.

¹⁴⁷ Centrum redystrybucji o znacznych rozmiarach.

Głównym celem jest zbudowanie zdolności produkcyjnych, transportowych i dystrybucyjnych dla tzw. zeroemisyjnego oraz niskoemisyjnego wodoru z intencją wykorzystania go w sektorze transportowym oraz potencjalnie do zastosowań w energetyce i przemyśle, przyczyniając się do spójnego łańcucha dostaw wodoru na poziomie rynku europejskiego.

Polska na tle 3S

Za szczególną rolę w gospodarce wodorowej wśród państw 3S odpowiadają czynniki obiektywne: położenie geograficzne, specyfika i wielkość gospodarki oraz polityka klimatyczna UE. Jednakże Polska na tle 3S pozytywnie wykorzystuje te warunki realizując własne cele energetyczne.

Polska w układzie geograficznym i geopolitycznym pełni istotną funkcję w całości polityki europejskiej w zakresie wodoru. Położenie geograficzne Polski predestynuje ją do funkcji tranzytowości i pomostowości w odniesieniu do europejskiego łańcucha wartości rynku wodorowego. Tranzytowość sprowadza się do przesyłu wodoru z trzech kierunków: północnego (Finlandia, Estonia, Łotwa i Litwa), wschodniego (Ukraina) i południowego (Słowacja, Rumunia oraz Bułgaria). Potrzebne jest wypracowanie działań w wyniku których produkcja, dystrybucja i transport wodoru w tych państwach będą wykazywały synergizm z polską strategią i polityką wodorową. W kwestii polskiej pozostaje magazynowanie i przesył do Niemiec, co w perspektywie geopolitycznej będzie równoważyć pewne polityki sektorowe zwłaszcza w kontekście bezpieczeństwa energetycznego. Tu pojawia się pomostowość jako koncepcja łączenia polityk i strategii państw 3S w odniesieniu do silniejszych graczy europejskich, głównie Niemiec. Polska będzie politycznym, gospodarczym i technologicznym pomostem dla państw EŚW w zakresie współpracy w obszarze wodoru z państwami zachodniej Europy.

Polska wraz z Austrią jest liderem patentowym w obszarze państw 3S. Wielkość polskiego rynku pretenduje Polskę do pozycji lidera zwłaszcza w kontekście wielkości gospodarki, ilości podmiotów związanych z innowacyjnością czy położeniem geograficznym. Polska, Słowacja i Węgry przykładają szczególną uwagę do technologii wodorowych w obszarze całego łańcucha wartości: produkcji, magazynowania, dystrybucji, zastosowania. Obecne wysiłki państw 3S w zakresie wodoru są porównywalne do sytuacji globalnej i wiążą się z jego pozyskiwaniem (produkcją). Wydaje się, że zgodnie ze strategią wodorową rola i udział Polski będą sukcesywnie wzrastać wraz ze wzrostem produkcji wodoru. Polska w regionalnym łańcuchu wartości będzie odgrywać rolę lidera szczególności w zakresie dystrybucji i magazynowania wodoru, a w przyszłości również transportu opartego na wodorze.

Polska na tle państw 3S realizuje własną politykę wodorową w silnym odniesieniu do bezpieczeństwa energetycznego. Powoduje to, że skupia się na tych obszarach, które gwarantują uniezależnienie się od zewnętrznych źródeł energii. Te działania silnie przekładają się na pozycję Polski jako partnera w zakresie technologii wodorowych. W określonych obszarach łańcucha wartości Polska pełni lub będzie pełnić funkcję lidera.

PORÓWNANIE AKTYWNOŚCI PATENTOWEJ PAŃSTW ŚWIATA, 3S ORAZ POLSKI W OBSZARZE TECHNOLOGII WODOROWYCH

Porównanie aktywności patentowej państw świata, 3S oraz Polski w obszarze technologii wodorowych ma na celu ustalenie wielkości i charakteru aktywności wybranych państw w obszarze ochrony praw wynalazczych. Aktywności te skwantyfikowano w zakresie liczby

dokonanych zgłoszeń patentowych, czyli wniosków składanych przez wynalazców do urzędów patentowych, krajowych i międzynarodowych, liczby uzyskanych patentów¹⁴⁸ oraz szacowanej wartości patentów. Ponadto zbadano różnice w kierunkach technologicznych eksplorowanych przez wynalazców.

Porównanie różnic pomiędzy poszczególnymi obszarami geograficznymi (świat, 3S, Polska) pozwala ocenić ogólny poziom innowacyjności w zbiorze technologii wodorowych, które występują w poszczególnych elementach łańcucha wartości tj. produkcji, magazynowania oraz transportu wodoru.

Analizę wykonano wykorzystując analizę porównawczą zbiorów patentów, będących efektem przeszukiwania i filtrowania baz patentowych. Źródłem danych patentowych było profesjonalne narzędzie-platforma dostępowa PatSnap®, podłączona do 170 baz danych krajowych urzędów patentowych oraz międzynarodowych organizacji EPO, WIPO, EAPO.

W celu przeszukiwania baz patentowych przyjęto następujące zasady i kryteria:

- kryterium czasowe: 10-letni okres analizy danych (data zgłoszenia patentowego lub uznania prawa do patentu między 01.01.2013 a 31.12.2022);
- kryterium technologiczne: trzy wartości parametru „*Technology Topic*”;
- kryterium geograficzne: obszar pochodzenia wniosku patentowego = Polska, kraje 3S (12 państw) lub cały świat;
- jurysdykcje: urzędy patentowe na całym świecie;
- stan prawny patentów: aktywny, nieaktywny, w rozpatrywaniu;
- podział wg Międzynarodowej Klasyfikacji Patentowej IPC.

Wymienione powyżej „kryterium technologiczne” to parametr w narzędziu PatSnap, ustalany dla każdego patentu na drodze analizy semantyki oraz słów kluczowych użytych w tytule, podsumowaniu, zastrzeżeniach i opisie. Do wyfiltrowania zbiorów patentów przyjęto następujące wartości parametru: produkcja (*hydrogen production*) lub magazynowanie (*hydrogen storage*) lub transport („*hydrogen transport*”, „*hydrogen pipeline transport*”, „*hydrogen network*”). W związku z brakiem predefiniowanej w PatSnap tematyki technologicznej (np. *hydrogen usage/application*) - analiza ogniwa „zastosowanie wodoru” została wyłączona z analizy. Wyszukanie poprawnych zbiorów patentowych za pomocą zestawu słów kluczowych mogących występować w technologiach zastosowania wodoru, okazało się bardzo wrażliwy na ich dobór, co podważało adekwatność uzyskiwanych rezultatów. Takie skupienie się na trzech pierwszych, rozwijających się najbardziej dynamicznie ogniwach łańcucha wodorowego, jest stosowane w raportach organizacji branżowych¹⁴⁹.

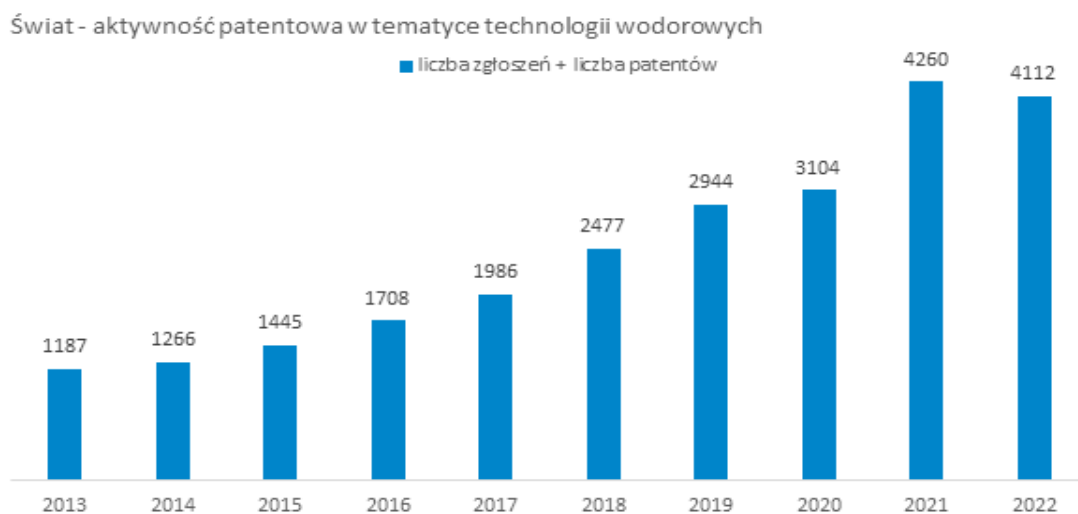
Uzyskane informacje przeanalizowano w dwóch perspektywach: globalnej oraz Polski na tle państw 3S. Analiza wykazała istotne różnice w aktywności patentowej poszczególnych państw w obszarach produkcji, magazynowania i transportu wodoru. Aktywność patentowa jest definiowana jako suma wszystkich zgłoszeń patentowych oraz udzielonych patentów, należących do osób fizycznych, instytutów badawczo-naukowych, instytucji finansowych oraz przedsiębiorstw, z siedzibą w danym państwie.

¹⁴⁸ Należy pamiętać, że proces uzyskania patentu trwa 3-5 lat, co oznacza, że część patentów uzyskanych w danym okresie, jest efektem uznania wniosków patentowych sprzed tego okresu oraz że część wniosków dokonanych w tym okresie, nie skończy się jeszcze uznaniem prawa do patentu.

¹⁴⁹ Na przykład: <https://www.fchobservatory.eu/sites/default/files/reports/Chapter%205%20-%20Patents%20-%202022%20Final.pdf>, 2022.[dostęp dn. 31.07.2023].

Aktywność patentowa w ujęciu globalnym

Wykres 6 Świat - aktywność patentowa w tematyce technologii wodorowych



Źródło: opracowanie własne na podstawie PatSnap® Analytics

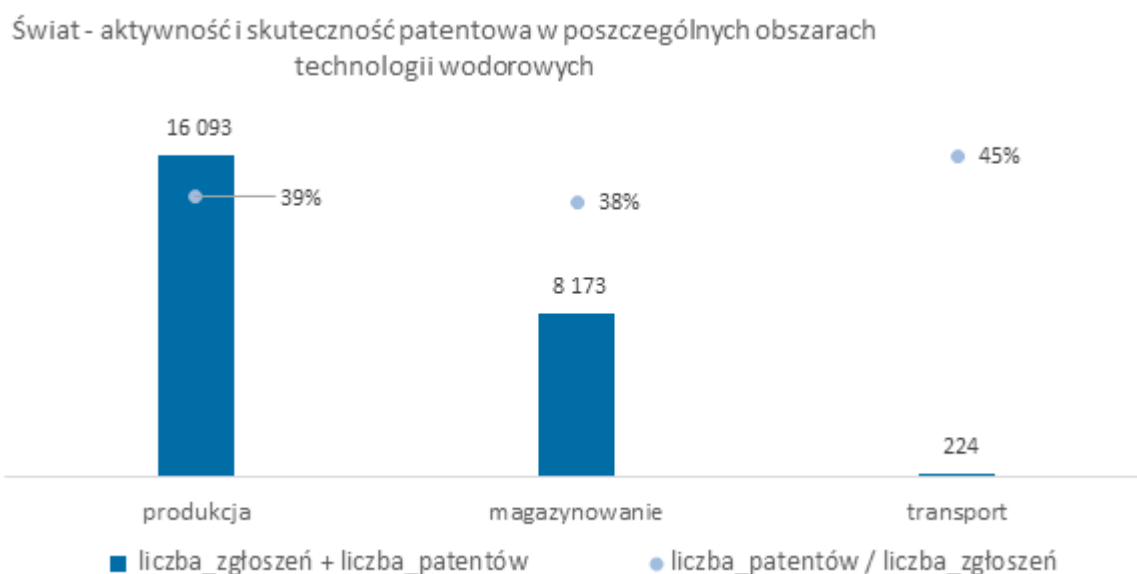
Aktywność patentowa w zakresie technologii wodorowych, rośnie wykładniczo na świecie od 10 lat, za wyjątkiem 2020 roku, kiedy była zauważalnie mniejsza niż wynikająca ze wzrostów w latach poprzedzających. Jest to prawdopodobnie efekt spowalniający pandemii COVID-19. Niemniej jednak już w 2020 r. aktywność patentowa w technologiach wodorowych przekroczyła wartość 3 tysiące zgłoszeń i patentów rocznie, co pozwala stwierdzić, że technologie wodorowe stały się obszarem istotnego zainteresowania wynalazców na świecie¹⁵⁰.

Poniższy wykres obrazuje skumulowaną aktywność patentową w obszarach produkcji, magazynowania i transportu wodoru oraz skuteczność patentowania w tych obszarach, wyrażoną współczynnikiem „liczba patentów podzielona przez liczbę zgłoszeń patentowych”. Należy zauważyć, że zastosowanie tego współczynnika wprowadza niewielki błąd¹⁵¹, gdyż część patentów uzyskanych w rozpatrywanym okresie lat 2013-2022, jest efektem uznania wniosków sprzed tego okresu, a pewna część wniosków złożonych w tym okresie, nie zaowocuje jeszcze przyznaniem ochrony patentowej.

¹⁵⁰ We wszystkich bazach patentowych, liczby patentów przyznanych (stany na koniec 2021 i 2022 r.) są mniejsze od rzeczywistych, w związku trwającym nadal procesowaniem zgłoszeń patentowych. Liczby te są aktualizowane wstecznie w dniu uznania/odrzućenia prawa do patentu.

¹⁵¹ Ten błąd danych można uznać za nieistotny przy porównywaniu ze sobą zbiorów patentowych o dużej liczbie, tak jak w tym przypadku.

Wykres 7 Świat - aktywność i skuteczność patentowa w poszczególnych obszarach technologii wodorowych



źródło: opracowanie własne na podstawie PatSnap® Analytics

W ujęciu globalnym wynalazki w obszarze produkcji wodoru są zgłaszane dwa razy częściej niż w obszarze jego magazynowania. Natomiast aktywność patentowa w zakresie transportu wodoru jest od nich kilkadziesiąt razy mniejsza, ale jednocześnie obserwowana jest większa skuteczność zgłoszeń patentowych. Ponadto analiza trendu w tych trzech obszarach, wykazała podobną dynamikę wzrostu aktywności patentowej w zakresie produkcji i magazynowania wodoru, a nieco większą od nich dynamikę wzrostu w przypadku jego transportu. W wyniku syntezy tych informacji, można sądzić, że w patentach adresujących technologie transportu wodoru, łatwiej jest uzyskać wyższy poziom wynalazczy niż w technologiach „produkcji” i „magazynowania” - sytuacja ta jest podobna do popytu na rynku rozwiązań komercyjnych.

Poniższa tabela przedstawia wartość wszystkich patentów wodorowych na świecie, uznanych w latach 2013-2020. Nie jest to rynkowa lecz szacunkowa wycena¹⁵² narzędzia analitycznego PatSnap, dokonana na podstawie szeregu czynników ekonomicznych, tj. kondycji finansowej i wartości podmiotów patentujących, a także trendów na rynkach oraz stopnia komercjalizacji patentów.

Tabela 4 Świat - szacunkowe wartości patentów w poszczególnych obszarach technologicznych

obszar	całkowita wartość patentów	średnia wartość patentu
produkcja	523 996 400 \$	59 282 \$
magazynowanie	306 533 700 \$	70 081 \$
transport	15 480 500 \$	123 844 \$
Łącznie/średnia:	846 010 600 \$	63 429 \$

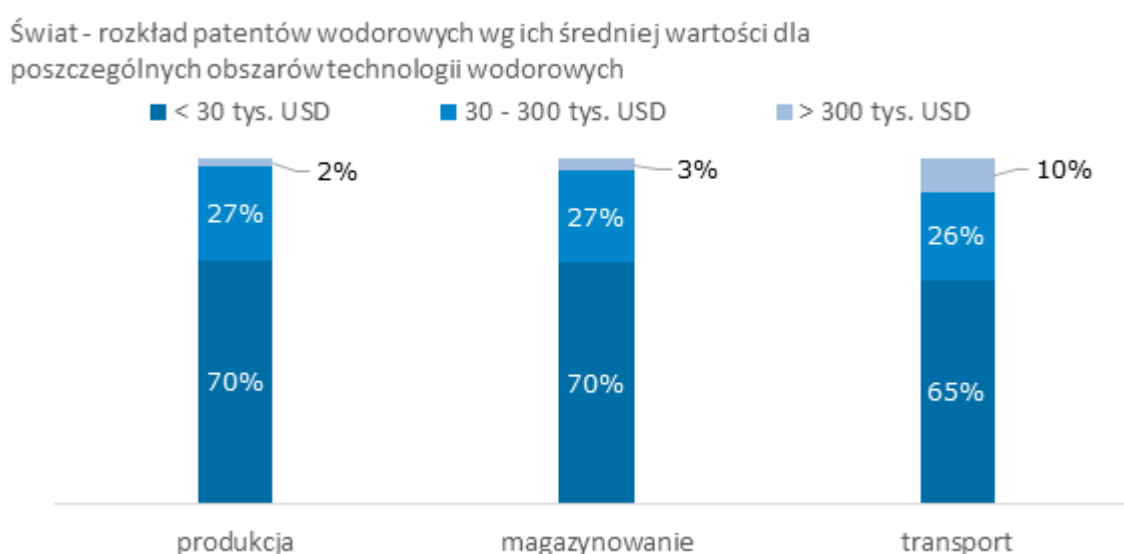
źródło: opracowanie własne na podstawie PatSnap® Analytics

¹⁵² PatSnap dokonuje szacunków za pomocą algorytmów uczących (AI) o nieznannej doskonałości, lecz wycena taka jest wystarczająca do wyliczenia i zestawienia ze sobą wartości średnich dla produkcji, magazynowania i transportu wodoru.

Średnia wartość patentów dot. produkcji wodoru jest najmniejsza, lecz ich całkowita wartość przekracza 500 mln USD, co stanowi 2/3 wartości rozpatrywanego rynku. Z kolei średnia wartość - nielicznej grupy - patentów „transportowych”, jest aż dwa razy większa niż dla „produkcyjnych”, co potwierdza tezę o ich atrakcyjności z punktu widzenia komercyjnego. Można zakładać, że patenty te są atrakcyjne nie tylko w aspekcie sprzedaży własności IP, ale przede wszystkim komercjalizacji (wdrożenia technologii) patentu.

Poniższy wykres pozwala lepiej zrozumieć, co składa się na ww. średnie wartości patentów. Do filtrowania baz patentowych przyjęto tylko dwie¹⁵³ progowe wartości patentów: 30 oraz 300 tysięcy dolarów. Taka gradacja jest wystarczająca do zaobserwowania różnic pomiędzy poszczególnymi obszarami wykorzystania technologii wodorowych.

Wykres 8 Świat - rozkład patentów wodorowych wg ich średniej wartości dla poszczególnych obszarów technologii wodorowych



Źródło: opracowanie własne na podstawie PatSnap® Analytics

We wszystkich analizowanych obszarach, udziały patentów o średniej wartości (30 – 300 tys. USD) były zbliżone. Istotna różnica dotyczy patentów o wartości przekraczającej 300 tys. dolarów – w przypadku transportu wodoru ich odsetek wynosi aż 10 procent, podczas gdy w pozostałych obszarach (produkcji i magazynowania), najwyżej wycenionych patentów jest tylko 2-3%.

Tabela poniżej przedstawia światową czołówkę państw pod względem liczby zgłoszeń patentów. Pokazuje to kraje, w których zgłoszenia składane są najwcześniej, a więc które określa się czasem jako geograficzne źródła innowacyjności. Zbiór patentów zgłaszanych przez podmioty z danego państwa, nie jest tożsamy ze zbiorem tych patentów, które ustanawiają ochronę IP na obszar kraju ich pochodzenia. Innymi słowy ranking może, ale nie musi przedstawiać obszarów geograficznych uzyskiwania faktycznej ochrony patentowej.

¹⁵³ Narzędzie PatSnap proponuje dodatkowe progi 1 i 3 mln USD, co pozwala na utworzenie sześciu rozłącznych przedziałów liczbowych.

Tabela 5 Świat - ranking TOP5 państw wg liczby zgłoszeń

pozycja	kraj pochodzenia (ang. Country of Origin)	liczba zgłoszeń
1	Chiny	10 562
2	Japonia	1 987
3	USA	1 032
4	Korea	950
5	Francja	224
15	Polska	45

Źródło: opracowanie własne na podstawie PatSnap® Analytics

Liderem innowacji „wodorowych” są Chiny, z których w latach 2013-2022 pochodziło aż 2/3 wszystkich patentów na świecie. Francja jest jedynym krajem europejskim w ścisłej czołówce. Polska w tym rankingu zajmuje wysokie 15-te miejsce, wyprzedzając takie państwa rozwinięte jak Izrael, Szwecja czy Kanada.

Aktywność patentowa w grupie 3S

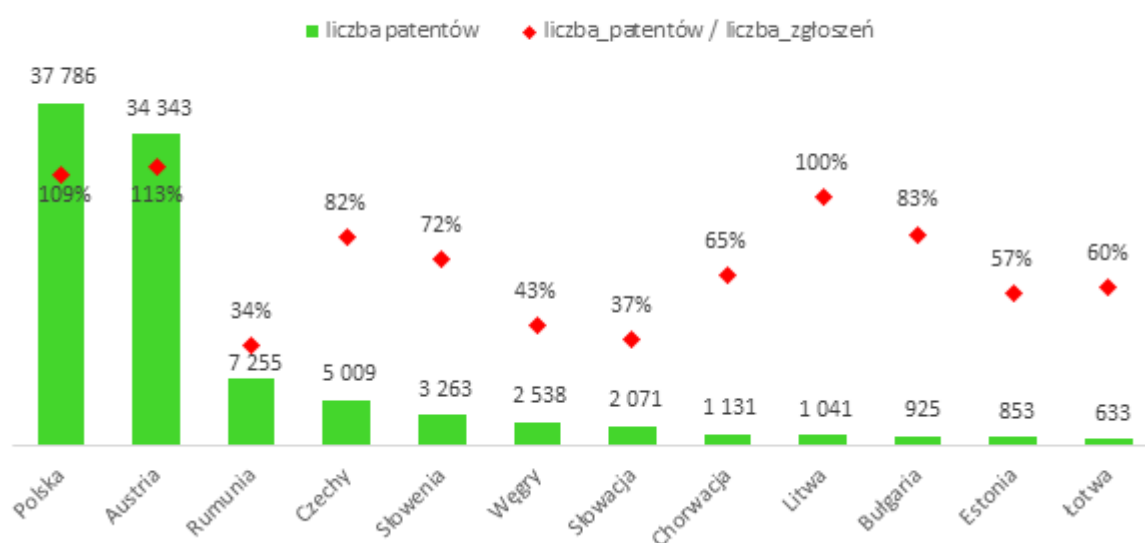
Aby ustalić czy technologie wodorowe przyciągają uwagę wynalazców z państw 3S bardziej niż inne dziedziny techniki, konieczne jest przedstawienie jak wygląda całkowita aktywność patentowa w tych krajach¹⁵⁴.

Na poniższym wykresie zobrazowano aktywność patentową mierzoną liczbą przyznanych patentów w analizowanym okresie oraz skuteczność patentowania poszczególnych państw wyrażoną współczynnikiem „liczba patentów / liczba zgłoszeń”. Należy pamiętać, że zastosowanie tego współczynnika wprowadza niewielki błąd, który można pominąć tylko przy analizowaniu zbiorów o dużej liczebności. Ponadto, w związku z tym że proces uzyskania praw do patentu trwa 3-5 lat, część patentów uzyskanych w analizowanym okresie, jest efektem uznania wniosków patentowych złożonych sprzed tego okresu oraz analogicznie część wniosków dokonanych w tym okresie, nie skończy się jeszcze uznaniem prawa do patentu.

¹⁵⁴ Niewielkie zbiory zgłoszeń patentowych i patentów dot. technologii wodorowych nie pozwalają na analizę trendów czasowych aktywności patentowej.

Wykres 9 3S - aktywność patentowa (we wszystkich technologiach)

3SI - aktywność patentowa (we wszystkich technologiach)

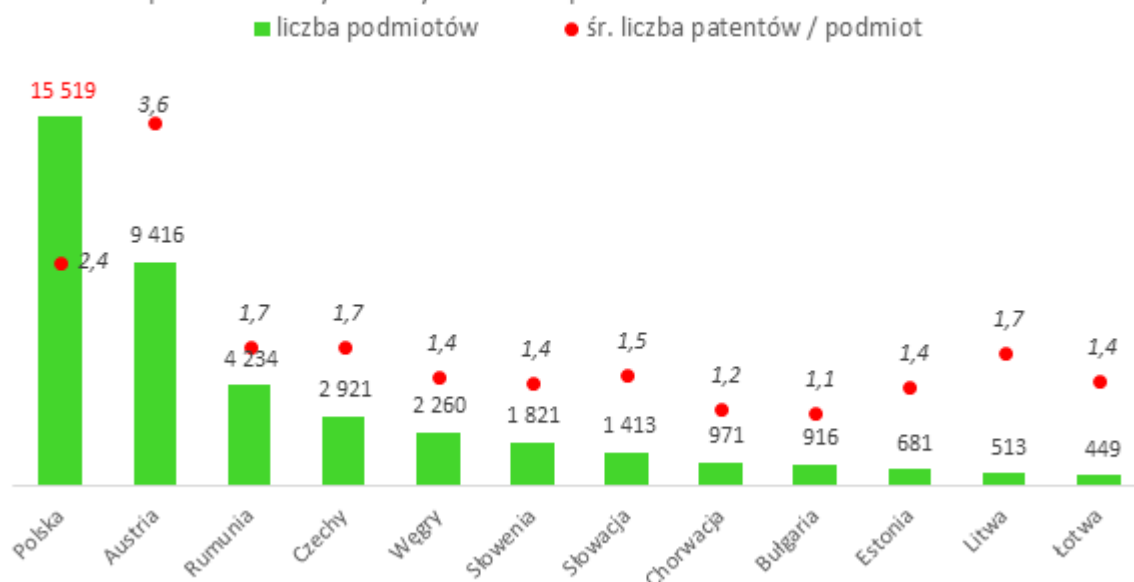


źródło: opracowanie własne na podstawie PatSnap® Analytics

Spśród państw 3S Polska oraz Austria wyróżniają się zbliżoną liczbą uzyskanych patentów (kilku- do kilkunastokrotnie większą od pozostałych krajów) i podobną, bardzo wysoką skutecznością patentowania. W analizowanym okresie, podmioty z Polski oraz Austrii, tj. instytuty badawczo-naukowe, instytucje finansowe, przedsiębiorstwa prywatne oraz osoby fizyczne, uzyskały ochronę nawet większej liczby wynalazków niż złożyły nowych wniosków patentowych¹⁵⁵.

Wykres 10 3S - liczba podmiotów wynalazczych vs liczba patentów

3SI - liczba podmiotów wynalazczych vs liczba patentów



źródło: opracowanie własne na podstawie PatSnap® Analytics

¹⁵⁵ Patenty uzyskane w danym okresie, są efektem pozytywnego rozpatrzenia wniosków złożonych w oraz sprzed tego okresu.

Średnia liczba uzyskanych patentów w odniesieniu do liczby podmiotów patentujących wśród państw 3S jest największa w Austrii. Z kolei Polska a potem Austria, mają najwięcej podmiotów wynalazczych, co do wartości bezwzględnej. Jednak ranking państw, w zakresie liczby tych podmiotów odniesionej do populacji państw¹⁵⁶, tworzą kolejno Austria, Słowenia, Estonia, Polska i Czechy, co jest silnie skorelowane z liczbą pracowników sektora B+R, w poszczególnych gospodarkach 3S.

Tabela 6 Ranking państw pod względem całkowitych wartości wszystkich patentów i odsetka pracowników B+R (lewa strona) oraz ranking państw pod względem średniej wartości wszystkich patentów

kraj pochodzenia	całkowita wartość patentów (mln USD) ¹⁵⁷	Odsetek pracowników B+R w latach 2012-21	kraj pochodzenia	średnia wartość patentu (tys. USD)
Austria	7 113	1,82%	Austria	207
Polska	843	0,88%	Węgry	166
Czechy	549	1,39%	Czechy	109
Węgry	421	1,00%	Estonia	101
Słowenia	173	1,68%	Bułgaria	89
Słowacja	130	0,75%	Litwa	87
Litwa	91	0,91%	Łotwa	77
Estonia	87	0,98%	Słowacja	62
Bułgaria	83	0,80%	Słowenia	52
Rumunia	64	0,43%	Chorwacja	38
Łotwa	49	0,67%	Polska	22
Chorwacja	44	0,76%	Rumunia	8

źródło: opracowanie własne na podstawie PatSnap® Analytics

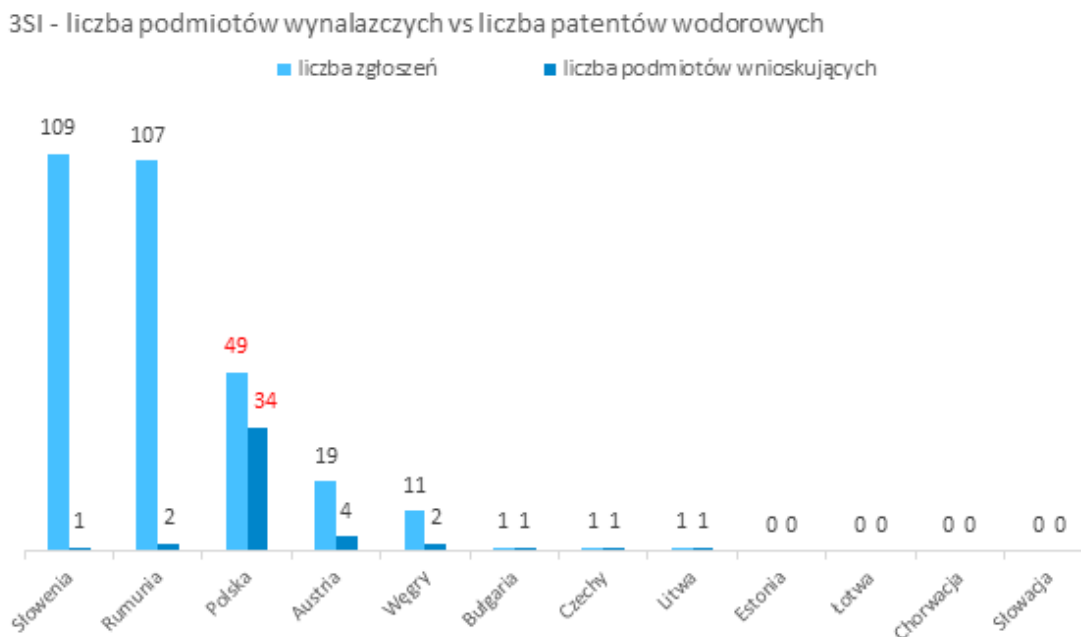
Całkowita wartość wszystkich patentów pozycjonuje Polskę na drugim miejscu rankingu. Jednak porównując liczby wszystkich uzyskanych patentów oraz ich szacunkowe wartości w poszczególnych krajach 3S można stwierdzić, że patent z Austrii (najbardziej wartościowe) jest średnio dziesięciokrotnie więcej wart niż z Polski.

W obszarze technologii wodorowych analizę aktywności w funkcji czasu, taką jak w analizie globalnej, pominięto z powodu zbyt małych wartości w latach kolejnych. Z tych samych powodów posługiwanie się współczynnikiem skuteczności patentowej poszczególnych krajów, rozumianym jako liczba patentów wodorowych vs. liczba zgłoszeń wodorowych, nie pozwala na uzasadnione wnioski.

¹⁵⁶ Liczba podmiotów wykazujących aktywność patentową jest pochodną liczby mieszkańców.

¹⁵⁷ Są to wartości szacunkowe narzędzia analitycznego PatSnap.

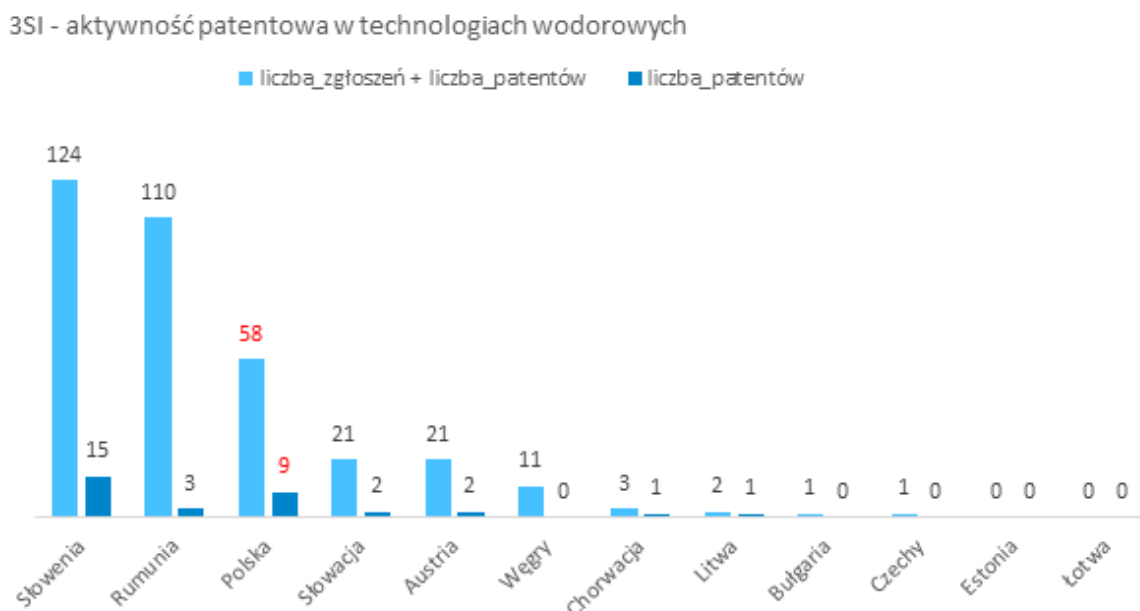
Wykres 11 3S - liczba podmiotów wynalazczych vs liczba patentów wodorowych



źródło: opracowanie własne na podstawie PatSnap® Analytics

Liczba podmiotów wykazujących aktywność patentową w Polsce jest zbliżona do liczby dokonanych zgłoszeń w technologiach wodorowych. Odróżnia to polski rynek patentowy od bardziej „skonsolidowanych” rynków pozostałych państw 3S, gdzie na jeden podmiot przypada od kilku do ponad stu zgłoszeń.

Wykres 12 3S - aktywność patentowa w technologiach wodorowych



źródło: opracowanie własne na podstawie PatSnap® Analytics

Największą aktywność w rozpatrywanych obszarach technologii wodorowych wykazują podmioty ze Słowenii i Rumunii (prawie dwa razy większą od polskich). Polska w tym rankingu zajmuje trzecie miejsce, ale jednocześnie jest druga pod względem liczby

uzyskanych patentów. Listę 5-ciu państw 3S liczących się w technologiach wodorowych, zamyka Słowacja i Austria.

Warto zauważyć, że 4 państwa tj. Słowenia, Rumunia, Polska i Austria, występują w czołówce aktywności „wodorowej” i jednocześnie, chociaż w innej kolejności, w rankingu aktywności patentowej we wszystkich obszarach techniki. Jednak, jeśli zbada się aktywność „wodorową” w odniesieniu do aktywności ogólnej, obraz ulega zmianie.

Rysunek 9 3S - udział analizowanych obszarów technologii wodorowych w całkowitej aktywności patentowej

3SI - Udział analizowanych obszarów technologii wodorowych w całkowitej aktywności patentowej

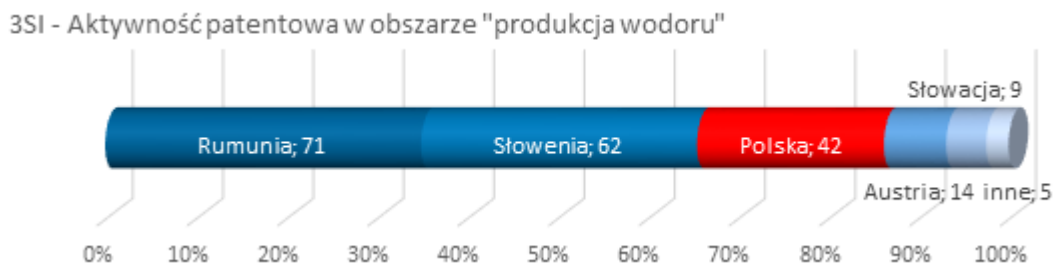


źródło: opracowanie własne na podstawie PatSnap® Analytics

Węgry oraz Słowacja mają największy udział w zakresie analizowanych obszarów technologii wodorowych w odniesieniu do całej aktywności wynalazczej z tym, że „wysoki” poziom udziału w analizowanym obszarze wynosi zaledwie 0,28%. Oznacza to, że podmioty z tych państw, tj. instytuty badawczo-naukowe, instytucje finansowe, przedsiębiorstwa oraz osoby fizyczne, poświęcają relatywnie dużo swojej uwagi technologiom produkcji, magazynowania i transportu wodoru. Względne zaangażowanie podmiotów z Polski jest średnie i plasuje Polskę w środku stawki.

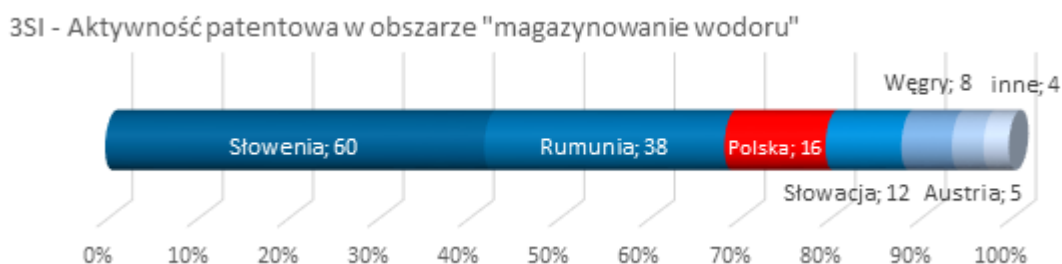
Wyniki analizy aktywności patentowej państw 3S w wybranych obszarach związanych z technologiami wodorowymi, dostarczają interesujących informacji o zaangażowaniu państw, lecz nie uzasadniają formułowania daleko idących wniosków w związku z niewielkimi wolumenami zgłoszeń i patentów.

Wykres 13 3S - aktywność patentowa w obszarze "produkcja wodoru"



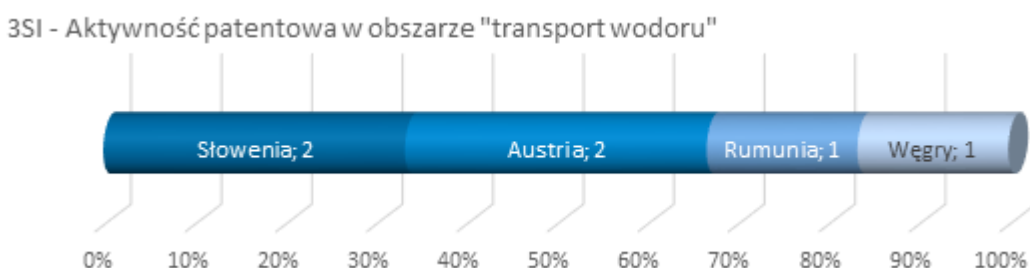
* Wartości podane po średniku, to suma liczby zgłoszeń i liczby patentów.
 źródło: opracowanie własne na podstawie PatSnap® Analytics

Wykres 14 Aktywność patentowa w obszarze "magazynowanie wodoru"



* Wartości podane po średniku, to suma liczby zgłoszeń i liczby patentów.
 źródło: opracowanie własne na podstawie PatSnap® Analytics

Wykres 15 Aktywność patentowa w obszarze "transport wodoru"



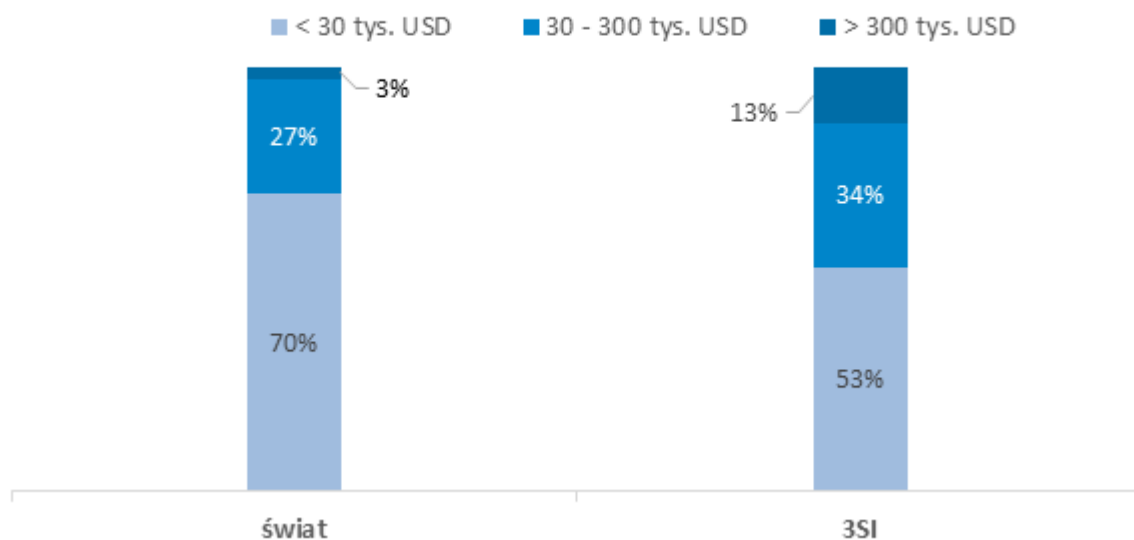
* Wartości podane po średniku, to suma liczby zgłoszeń i liczby patentów.
 źródło: opracowanie własne na podstawie PatSnap® Analytics

Największą aktywność w obszarze produkcji wodoru wykazują podmioty z Rumunii. W obszarze magazynowania wodoru blisko 2/3 aktywności należy do podmiotów ze Słowenii. Aktywność polskich wynalazców jest zauważalna (trzecie miejsce) w technologiach produkcji a także magazynowania wodoru. W obszarze transportu wodoru, aktywność patentowa podmiotów z 3S jest znikoma.

Porównanie państw 3S i świata

Wykres 16 Udział patentów w analizowanych obszarach technologii wodorowych wg ich średniej wartości na świecie i w grupie państw 3S

Udział patentów w analizowanych obszarach technologii wodorowych wg ich średniej wartości na świecie i w grupie państw 3S

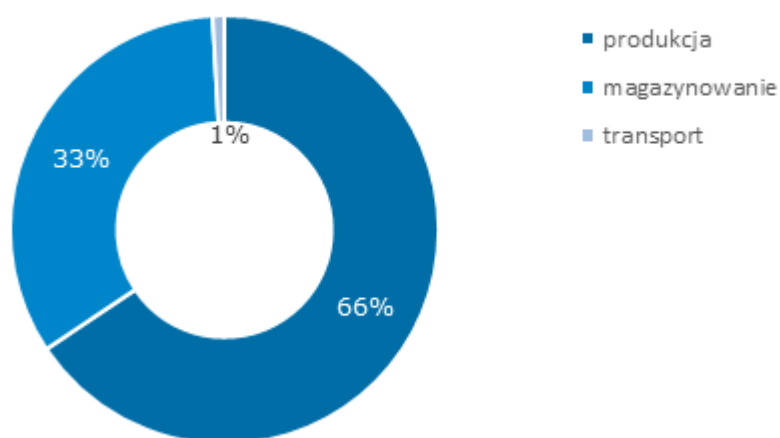


źródło: opracowanie własne na podstawie PatSnap® Analytics

Patenty o wartości wycenianej powyżej 30 tys. USD, stanowią prawie połowę wszystkich „wodorowych” w 3S oraz jedną trzecią w skali świata. Jednocześnie w grupie 3S aż 13% stanowią patenty o wartości 300 tys. USD i więcej. Oznacza to, że patenty „wodorowe” w grupie 3S, zostały przez algorytmy zastosowanego narzędzia ocenione wyżej, prawdopodobnie z powodu ich większego potencjału komercyjnego.

Wykres 17 Świat - udział zgłoszeń patentowych w poszczególnych obszarach technologii wodorowych w całości analizowanego zakresu tych technologii

Świat - udział zgłoszeń patentowych w poszczególnych obszarach technologii wodorowych w całości analizowanego zakresu tych technologii

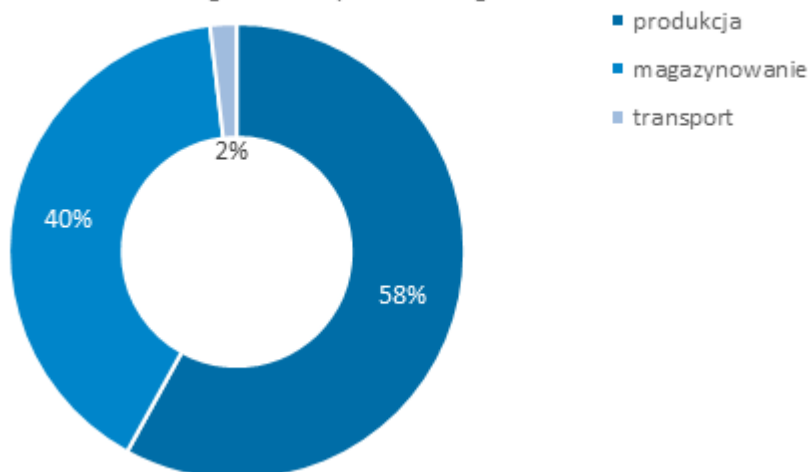


źródło: opracowanie własne na podstawie PatSnap® Analytics

Aż dwie trzecie wszystkich zgłoszeń patentowych na świecie dotyczy pierwszego ogniwa łańcucha wodorowego tj. produkcji. Względna ilość zgłoszeń adresujących „transport wodoru” jest obecnie znikoma. Upraszczając, wynalazcy na świecie, a pośrednio gospodarki państw, skupiają się na sposobach wytwarzania oraz magazynowania (wliczając w to technologie wykorzystujące procesy konwersji) wodoru, a nie jego transporcie (i dystrybucji).

Wykres 18 3S - udział zgłoszeń patentowych w poszczególnych obszarach technologii wodorowych w całości analizowanego zakresu tych technologii

3S1 - udział zgłoszeń patentowych w poszczególnych obszarach technologii wodorowych w całości analizowanego zakresu tych technologii



źródło: opracowanie własne na podstawie PatSnap® Analytics

Udział zgłoszeń patentowych dotyczących poszczególnych obszarów technologii wodorowych różni się nieco w państwach 3S od rozkładu globalnego¹⁵⁸. Podmioty w państwach 3S, relatywnie częściej interesują się technologiami magazynowania i transportu wodoru, niż analogiczne podmioty w ujęciu globalnym. Analiza danych wykazała również, że wynalazcy z państw 3S interesują się nieco innymi obszarami techniki niż na świecie. Poniższa tabela przedstawia ranking podklas według IPC, w których stwierdzono największą aktywność patentową.

Tabela 7 Ranking podklas według IPC, w których stwierdzono największą aktywność patentową¹⁵⁹

3S	
IPC	Definicja
C01B3	Oddzielanie wodoru od mieszanin zawierających wodór; oczyszczanie wodoru
H01M8	Ogniwa paliwowe; ich produkcja
C25B1	<i>Elektrolityczne wytwarzanie związków nieorganicznych lub pierwiastków niemetalicznych</i>
C25B9	Elektrolizery lub zespoły elektrolizerów
C25B11	Elektrody; wytwarzanie elektrod nie ujęte gdzie indziej
B01J23	<i>Katalizatory zawierające metale, tlenki lub wodorotlenki metali</i>
B01J27	<i>Katalizatory zawierające pierwiastki lub związki chlorowców, siarki, selenu, telluru, fosforu lub azotu; Katalizatory zawierające związki węgla</i>

¹⁵⁸ Warto pamiętać, że porównywane zbiory różnią się liczebnością ponad 50-krotnie. Świat ma 17 670 zgłoszeń "wodorowych", a 3S ma 319.

¹⁵⁹ Gdzie: "IPC, definicja" - podklasy unikatowe, odróżniające porównywane dwa zbiory i "IPC, definicja" - podklasy identyczne, występujące w obu zbiorach.

C25B15	<i>Eksplatacja lub obsługa techniczna elektrolizerów</i>
F17C13	Elementy zbiorników oraz szczegóły dotyczące napełniania lub opróżniania zbiorników
B01J35	<i>Katalizatory, ogólnie, znamienne postacią lub własnościami fizycznymi</i>
ŚWIAT	
IPC	Definicja
C01B3	Oddzielanie wodoru od mieszanin zawierających wodór; oczyszczanie wodoru
C25B1	<i>Produkcja elektrolityczna związków nieorganicznych lub niemetali</i>
H01M8	Ogniwa paliwowe; ich produkcja
C25B9	Elektrolizery lub zespoły elektrolizerów
F17C11	<i>Stosowanie w zbiornikach rozpuszczalników lub sorbentów gazu</i>
F17C13	Elementy zbiorników oraz szczegóły dotyczące napełniania lub opróżniania zbiorników
B01J37	<i>Sposoby wytwarzania katalizatorów; sposoby aktywowania katalizatorów ogólnie</i>
C01B32	<i>Węgiel; jego związki</i>
C12P3	<i>Wytwarzanie pierwiastków lub związków nieorganicznych z wyjątkiem dwutlenku węgla</i>
C25B11	Elektrody; wytwarzanie elektrod nie ujęte gdzie indziej

źródło: opracowanie własne na podstawie PatSnap® Analytics

Zainteresowanie podmiotów mających siedzibę na terenie 3S obszarami techniki związanymi z wodorem pokrywa się w dużej mierze z trendami światowymi, lecz występują też „obszary specjalizacji” wynalazców z państw 3S, zaznaczone kursywą w powyższej tabeli. Na podstawie lektury definicji podklas wspólnych i rozłącznych można zauważyć, że ww. specjalizacja nie jest silna, lecz taka teza może zostać potwierdzona dodatkową ekspertyzą technologiczną.

Jednym z kryteriów oceny innowacyjności państw, ale także sektorów gospodarki, branż czy instytucji, jest ocena ich aktywności w obszarze ochrony własności intelektualnej (tutaj: aktywności patentowej, związanej z ochroną prawa do wynalazku technicznego). Analiza wykazała sporo różnic w charakterystyce aktywności patentowej podmiotów pochodzących ze świata w porównaniu z podmiotami posiadającymi swoje siedziby na terenie 3S, zarówno w ujęciu całościowym, jak i w analizowanych obszarach technologii wodorowych. Światowa aktywność patentowa w rozpatrywanych obszarach technologii wodorowych, rośnie wykładniczo nieprzerwanie od 10 lat. Bardzo silnym liderem są tutaj Chiny, a w Europie – Francja. Polska w tym rankingu zajmuje wysokie piętnaste miejsce przy 23. miejscu wg PKB nominalnego na świecie.

Pośród państw 3S cztery państwa, tj. Słowenia, Rumunia, Polska i Austria, występują jednocześnie w czołówce aktywności „wodorowej” i w rankingu ogólnej aktywności patentowej. Warto odnotować, że spośród państw 3S, Polska oraz Austria wyróżniają się zbliżoną, znacznie większą od pozostałych krajów aktywnością i podobną, bardzo wysoką skutecznością patentowania.

Na świecie najwięcej innowacji dokonuje się w obszarze wytwarzania wodoru (2/3 wszystkich patentów), a ich łączna wycena przekracza kwotę 500 mln dolarów. Jednak ich średnia wartość, jest aż dwa razy mniejsza niż patentów związanych z transportem wodoru. W ujęciu globalnym wynalazki adresujące „produkcję wodoru” są tworzone dwa razy częściej niż „magazynowania”, zaś patenty adresujące „transport wodoru”, są relatywnie bardzo nieliczne. W pewnym stopniu ten stan rzeczy wynika ze sposobu klasyfikacji patentów. Na przykład wynalazki związane ze zbiornikami ciśnieniowymi wodoru oraz ich osprzętem są najczęściej klasyfikowane jako

magazynowanie wodoru nawet, jeżeli w tle opracowanego rozwiązania leży wykorzystanie go do zastosowań mobilnych.

Najwięcej wniosków o przyznanie ochrony patentom w zakresie technologii wodorowych, zgłaszają podmioty ze Słowenii i Rumunii (prawie 2 razy więcej od polskich). Polska w tym rankingu zajmuje 3 miejsce, ale jednocześnie jest druga pod względem liczby uzyskanych patentów. Świadczy to o dobrej skuteczności patentowania wynalazków przez podmioty polskie.

Udział zgłoszeń patentowych dla analizowanych obszarów technologicznych w państwach 3S różni się nieco od rozkładu globalnego. Podmioty z państw 3S bardziej koncentrują się na technologiach magazynowania i transportu wodoru. Ponadto, w 3S aż 13% (na świecie 3%) stanowią patenty o wartości powyżej 300 tys. USD. Oznacza to, że patenty „wodorowe” są w grupie 3S uznawane za bardziej atrakcyjne z punktu ich widzenia komercjalizacji, tj. sprzedaży praw lub wdrożenia opatentowanego rozwiązania.

Największą aktywność patentową w zakresie produkcji wodoru miały podmioty z Rumunii, a w obszarze magazynowania, ze Słowenii. Polska zajmuje trzecie miejsca, w technologiach produkcji oraz magazynowania wodoru.

Szansą dla grupy 3S, jest jeszcze silniejsze skupienie swojej innowacyjności na obszarach „magazynowanie i konwersja” oraz „transport i dystrybucja” wodoru. Aby zwiększyć swój potencjał innowacyjny państwa 3S powinny, wzorem Austrii i Słowenii, zwiększać udział pracowników sektora B+R w ogóle osób aktywnych zawodowo. Pozwoli to urealnić wizję, w której grupa 3S osiągnie pozycję lokalnego lidera UE w technologiach wodorowych.

Wynalazcy z krajów 3S nie powielają światowego zainteresowania kierunkami technologicznymi, lecz mają swoje obszary specjalizacji, m.in. katalizatory zawierające metale, niemetale i związki węgla. Rekomendowane jest wyjaśnienie przyczyn oraz ocena czy taka specjalizacja, jest szansą czy zagrożeniem dla rozwoju technologii wodorowych w 3S.

W Słowenii i Rumunii funkcjonuje model bardzo nielicznych, ale mocno wyspecjalizowanych podmiotów, które patentują. Próba dokładnego skopiowania modelu ze Słowenii i Rumunii w Polsce, może spowodować utratę benefitów płynących z aktywności ośrodków, dla których aktywność patentowa w zakresie trzech analizowanych obszarów technologicznych jest poboczna, gdyż koncentrują się np. na technologiach zastosowania wodoru. W Polsce zaś aktywność patentowa jest bardziej rozproszona i jednocześnie sumarycznie niższa niż w porównywanych krajach. Jedną z przyczyn takiego stanu rzeczy może być niewystarczający stopień specjalizacji podmiotów. Istnieją inne istotne czynniki mające wpływ na uzyskiwany wynik, w szczególności poziom i sposób finansowania oraz rozliczania dofinansowywanych projektów – zagadnienie to wymaga odrębnej analizy. Rekomendowane jest intensywne wspieranie podmiotów, które już teraz znajdują się w czołówce aktywności „wodorowej”. Jednak w przypadku, w którym to wzmacnianie miałyby odbywać się metodą transferu potencjału z innych podmiotów, wymagana jest bardzo staranna analiza – odrębna dla każdego indywidualnego przypadku.

JAK ROZWIJAĆ DZIAŁALNOŚĆ W OBSZARACH TEMATYCZNYCH ZWIĄZANYCH Z WODOREM? WNIOSKI I REKOMENDACJE

Podsumowanie

Zbieżność celów i wielu różnych krajowych działań powoduje, że z dużą pewnością można przewidywać przyspieszenie rozwoju technologii wodorowych.

Członkowie państw 3S wskazują na konieczność rozwijania synergii w gospodarce wodorowej. Jest ona wielowymiarowym działaniem o charakterze lokalnym, jak i międzynarodowym. W przypadku lokalnych działań synergia zakłada koordynację zasobów i potencjałów poszczególnych państw w produkcji wodoru i jego użytkowaniu. Międzynarodowy wymiar synergii zakłada wsparcie w kreowaniu projektów o charakterze transnarodowym. Przykładem takich działań jest Bałtycka Dolina Wodorowa czy North Adriatic Hydrogen Valley (Chorwacja, Słowenia, Włochy)¹⁶⁰. Inicjowanie i wspieranie takich działań jest niezbędne do dalszego rozwoju technologii i gospodarki wodorowej państw 3S. Dużą rolę w kreowaniu kierunków rozwoju strategii dla państw Inicjatywy Trójmorza ma Fundusz Trójmorza, którego współzałożycielem jest Bank Gospodarstwa Krajowego i który wspiera projekty wodorowe w poszczególnych państwach¹⁶¹.

W wielu przypadkach funkcjonują różne modele rozwoju gospodarki wodorowej: scentralizowane (głównie w państwach małych) lub zdecentralizowane (np. Polska). Niektóre państwa nie posiadające strategii, nie definiują modelu rozwoju (np. Słowenia).

Gospodarka wodorowa ma potencjał do budowania współpracy w zakresie bezpieczeństwa energetycznego (w państwach 3S, EU i globalnie). Wspólna strategia rozwoju technologii i gospodarki wodorowej wśród państw 3S może być trudna do wypracowania, niemniej warto by państwa te wypracowały pewne pryncypia takie jak, np. priorytetyzację celów dla poszczególnych państw w obszarze wodoru i obrona interesów narodowych poprzez przeciwdziałanie uzależnieniom własnościowym.

Priorytety dalszego rozwoju w obszarze wodoru w Polsce

Wyniki badania delfickiego przeprowadzonego w 2023 r. w ramach projektu „Strategia bezpieczeństwa technologii wodorowych dla Polski na lata 2022-2030”¹⁶² wskazują na trzy kluczowe czynniki, które mogą znacząco wpłynąć na rozwój gospodarki wodorowej w Polsce:

1. **Legislacja obniżająca ryzyko inwestycyjne w obszarze wodoru do 2030 roku;**

Eksperti uznają to za kluczowy element, który może przyspieszyć rozwój produkcji niskoemisyjnego wodoru. Ważne będzie stworzenie stabilnego otoczenia regulacyjnego dla niskoemisyjnego wodoru, co pomoże zminimalizować ryzyko inwestycyjne, przyspieszy budowę łańcucha wartości i dostaw oraz poprawi bilans popytu i podaży. Ponadto krajowe regulacje powinny pozwalać na działania pilotażowe w zakresie wykorzystania poszczególnych technologii wodorowych w różnych sektorach gospodarki (np.: transport,

¹⁶⁰ NAHV, <https://www.clean-hydrogen.europa.eu/system/files/2023-03/2.%20North%20Adriatic%20cross-border%20Hydrogen%20Valley%20%28NAHV%29.pdf>, 2023 [dostęp dn. 31.07.2023].

¹⁶¹ Hydrogen Europe, <https://hydrogeneurope.eu/clean-hydrogen-monitor2022/>, 2022 [dostęp dn. 31.07.2023].

¹⁶² Projekt Instytutu Łukasiewicza OrgMasz <https://orgmasz.pl/bezpieczny-wodor/> [dostęp dn. 31.07.2023].

przemysł, ciepłownictwo). Wyjątkowym sukcesem mogą wkrótce okazać się wszelkiego rodzaju inicjatywy o charakterze lokalnym np. w postaci tzw. dolin wodorowych.

2. Instrumenty finansowe wspierające polskie firmy do 2030 roku;

Ustanowienie odpowiednich instrumentów finansowych, takich jak Europejski Bank Wodorowy, może istotnie przyspieszyć rozwój rynku wodoru. Brak środków finansowych utrudnia polskim firmom samodzielny start na rynku niskoemisyjnego wodoru. Ważne jest określenie strategicznych kierunków i poziomu finansowania przedsięwzięć oraz oczekiwanych, wymiernych efektów w perspektywie do roku 2030-2035. Brak klarownego kierunku działania – z potencjalnymi zmianami wywołanymi czynnikami politycznymi i rynkowymi – limituje wolę wielu podmiotów do inicjowania i realizowania przedsięwzięć dużego kalibru, które mogą mieć realne przełożenie na gospodarkę i tworzenie ekosystemu wodorowego.

3. Zabezpieczenie środków publicznych na transformację energetyczną do 2030 roku;

To istotny aspekt dla rozwoju gospodarki wodorowej. Ekspertki podkreślają potrzebę wsparcia finansowego, szczególnie dla pierwszych projektów. Jednak istnieje obawa, że wielkość dostępnych środków publicznych może być niewystarczająca, a konflikt z UE i brak porozumienia wewnętrznego w kierunkach transformacji mogą stanowić ryzyko dla pełnego zabezpieczenia tych środków.

Zarówno regulacje, jak i wsparcie finansowe są kluczowe dla przyspieszenia rozwoju sektora wodorowego w Polsce. Konieczne jest podjęcie działań w celu zapewnienia odpowiednich warunków inwestycyjnych i finansowych, aby Polska mogła skutecznie wykorzystać potencjał technologii wodorowych dla dekarbonizacji gospodarki.

Ponadto, istotne są:

- **Synergia z politykami klimatycznymi i krajowymi**

Wodór jako zasób przyszłości postrzegany jest przez pryzmat szerszych kontekstów gospodarczych, którymi są: dekarbonizacja, zielona transformacja czy walka ze zmianami klimatycznymi. Wodór spaja szereg inicjatyw politycznych i społecznych w tym zakresie i znajduje się w szeregu różnych strategii politycznych. Wyodrębnienie i ujednoczenie polityk wodorowych na poziomach krajowych i regionalnych pozwoli pełniej wykorzystywać i unaoczniać zmiany jakie zachodzą w środowisku lokalnym i globalnym pod wpływem technologii wodorowych.

- **Dostęp do surowców mineralnych i analizy**

Rekomenduje się wykonanie analiz w zakresie dostępności surowców mineralnych – nie tylko na obszarze Polski, wskazane uwzględnienie 3S – wystarczająco zasadowych do celów sekwestracji CO₂ oraz wykonanie analiz opłacalności wykorzystania takich surowców do celów sekwestracji CO₂. Jeżeli z takich analiz wynikają szanse w zakresie istotnej dostępności oraz potencjalnych szans ekonomicznych, wtedy następnym krokiem powinno być opracowanie programów badawczych dotyczących: w pierwszym etapie analizy możliwości wykorzystania surowców do celów sekwestracji CO₂, a następnie opracowania i wdrożenia wynikających z nich technologii.

Dodatkowo zaleca się analizę całkowitego śladu węglowego wytwarzania mocznika w różnych scenariuszach.

- **Stworzenie programów badawczych i rozwojowych**

Kontynuowanie badań naukowych i działań rozwojowych w dziedzinie technologii wodorowych jest kluczowe. Potrzebny jest stały monitoring rozwoju z analizą wyzwań, szans i zagrożeń związanych z wodorem w obszarach technologicznym, politycznym i społeczno-kulturowym. Ponadto, konieczne będzie zwiększenie inwestycji w nowe innowacje, optymalizacja procesów i poszukiwanie bardziej efektywnych rozwiązań technologicznych. W szczególności rekomenduje się stworzenie programów w zakresie:

- wsparcia projektów technologii związanych z wykorzystaniem wodoru do redukcji rud miedzi,
- rozwoju tanich metod oczyszczania wód pochodzących z rzek do poziomu wymaganego w dostępnych technologiach elektrolizy wody,
- przeprowadzenie analiz oraz stworzenie programu pozwalającego na określenie i, w razie potrzeby, opracowanie oraz wdrożenie technologii wykorzystania tlenu powstającego w procesach elektrolizy (lub w przyszłości fotolizy) wody, ze szczególnym uwzględnieniem czynników logistycznych,
- ustanowienie programu związanego z fotolizą wody w zakresie wszystkich wymaganych elementów, ze szczególnym uwzględnieniem komplementarności zapotrzebowania aparaturowych z zakresem wymaganych prac badawczych.

- **Rozwój możliwości produkcji elektrolizerów w Polsce i plan zwiększenia ich dostępności w polskiej gospodarce**

Dostępność elektrolizerów – w szczególności czas oczekiwania na nie – stanowi wyzwanie już dzisiaj. Długi czas oczekiwania, opóźnienia w dostawach mogą negatywnie wpływać na rozwój inwestycji i tempo rozwoju gospodarki wodorowej. Ważne pod tym kątem jest przeprowadzenie analizy możliwości stworzenia mocy produkcyjnych elektrolizerów na polskie potrzeby oraz opracowania planu organizacji dostępu do tych urządzeń.

- **Rozwój sektora "zielonej" stali w Polsce**

Sektor stali jest tym, w którym dekarbonizacja jest trudna i kosztowna, ale bardzo potrzebna. Ważne jest stworzenie warunków, w których zagraniczne koncerny będą skłonne do inwestowania w wykorzystanie wodoru w produkcji stali wcześniej niż w innych konkurujących krajach, w których mają swoje instalacje. Może to przyczynić się do zwiększenia międzynarodowej konkurencyjności tego sektora polskiej gospodarki i zapobiec zamykaniu oddziałów zagranicznych koncernów w Polsce.

Jakie działania podjąć w kontekście multistrategii dla 3W?

Najważniejsze rekomendacje:

1. Uspójnienie i powiązanie strategii krajów Unii Europejskiej tak, aby określały główne cele oraz były realistyczne do osiągnięcia. Ważne jest, aby uwzględniały one harmonogram działań dopasowany do poszczególnych gospodarek, umożliwiając skuteczne wdrożenie efektywnej gospodarki wodorowej i 3W. Rekomendujemy, aby strategie uwzględniały dostępność odpowiednich zasobów i środków, niezbędnych do osiągnięcia lokalnych rozwiązań w zakresie 3W. Dodatkowo, strategie powinny skupić się na zapewnieniu odpowiednich środków finansowych i prawnych, wspierających rozwój technologii wodorowych i innowacji w poszczególnych państwach członkowskich.
2. Budowanie partnerstw międzynarodowych oraz współpraca w zakresie realizacji strategii regionalnych uwzględniających możliwości, potrzeby i specyfikę państw i

regionów tworzących instytucjonalne rozwiązania na rzecz wzmocnienia gospodarki i technologii wodorowych.

3. Działania sektorowe, uwzględniające rolę wodoru w poszczególnych obszarach gospodarki (energetyka, ciepłownictwo, transport itd.) z ich uwzględnieniem synergii i działań na jej rzecz w zakresie rozwoju wodoru.
4. Rozwój B+R oraz projektów pilotażowych w poszczególnych państwach i sektorach gospodarki w celu weryfikacji potencjału technologii i rozwiązań wodorowych.
5. Zwiększenie świadomości: edukacja i zwiększenie świadomości społeczeństwa o technologiach wodorowych są ważne dla akceptacji i rozwoju tej branży. Informowanie społeczeństwa o zaletach i potencjale wodoru jako zielonego paliwa pomoże zdobyć większe wsparcie i zainteresowanie.

LITERATURA CYTOWANA

- ABB, [Zielony wodór z morskiej farmy wiatrowej w Szwecji. To może być punkt odniesienia dla polskich firm](#), 2023 [31.07.2023].
- ARC Group, [China's Hydrogen Strategy: Present & Future State](#), 2022 [31.07.2023].
- Agencja Rozwoju Przemysłu, [Doliny wodorowe](#), 2023 [31.07.2023].
- Agencja Rozwoju Przemysłu, [Transport 4.0. Rozwój elektromobilności i wodoromobilności na świecie i w Polsce. Część II – Infrastruktura, Finansowanie, Inicjatywy ARP](#), 2021 [31.07.2023].
- Air Liquide, [USA: Air Liquide operates the world's largest hydrogen storage facility](#) [31.07.2023].
- ARP E-Vehicles, [Wodorowa PILEA jeszcze w tym roku](#), 2023, [31.07.2023].
- Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, [HYDROCAR PREMIER – samochód na wodór rodem z AGH](#), 2016 [31.07.2023].
- Wolf, André, Nils Zander, [Green Hydrogen in Europe: Do Strategies Meet Expectations?, 2021, "Intereconomics. Review of European Economic Policy" 56\(6\), s.316-323](#) [31.07.2023].
- Bank Gospodarstwa Krajowego, [Idea 3W. Woda, wodór, węgiel: zasoby, które zbudowały i zmieniają świat](#), 2022 [31.07.2023].
- Biznesalert.pl, [Chiny wybudują sieć wodorociągów o długości sześciu tys. kilometrów, 2023](#) [31.07.2023].
- BMW Group, [BMW Group wprowadza na drogi samochody wodorowe: uruchomienie floty pilotażowej BMW iX5 Hydrogen](#), 2023 [31.07.2023].
- Business Insider, [Zielone światło dla budowy elektrowni jądrowej. Jest decyzja zasadnicza](#), 2023, [31.07.2023].
- BOŚ Bank, [Wodór na rynku krajowym i zagranicznym](#), 2021 [31.07.2023].
- Center for Strategic and International Studies, [China's Hydrogen Industrial Strategy](#), 2022 [31.07.2023].
- Centrum Informacji o Rynku Energii, [PIE: w 2022 r. wartość światowego rynku wodoru osiągnie 600 mld zł](#), 2020 [31.07.2023].
- Centrum Informacji o Rynku Energii, [W Elblągu pracuje pierwsza na świecie instalacja produkcji wodoru w elektrolizerze zintegrowanym z elektrociepłownią](#), 2023 [31.07.2023].
- Centrum Informacji o Rynku Energii, [Wartość rynku produkcji wodoru wzrośnie trzykrotnie do 2050 roku](#), 2021 [31.07.2023].
- Cheng, Z., Tan, Z., Guo, Z., Yang, J. & Wang, Q. 2020, *Recent progress in sustainable and energy-efficient technologies for sinter production in the iron and steel industry*, "Renewable and Sustainable Energy Reviews" vol. 131 <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110034> [31.07.2023].
- Clean Hydrogen Partnership, [Mission Innovation Hydrogen Valleys Platform](#), 2021[31.07.2023].
- Clean Hydrogen Partnership, [Mission Innovation Hydrogen Valleys Platform. Virtual Launch Event](#), 2021, s. 14 [31.07.2023].
- Deloitte, [Hydrogen. Making it happen](#), 2023 [31.07.2023].
- Dolnośląski Instytut Studiów Energetycznych, Polskie Stowarzyszenie Energetyki Wiatrowej, [Zielony wodór z OZE w Polsce. Wykorzystanie energetyki wiatrowej i PV do produkcji zielonego wodoru jako szansa na realizację założeń Polityki Klimatyczno-Energetycznej UE w Polsce](#), 2021 [31.07.2023].
- Dziennik.pl, [Powstaje polski samochód na wodór. To SUV z dużym zasięgiem](#), 2021 [31.07.2023].
- EES, [Generation Capacity for Green Hydrogen to Rise Rapidly](#), 2023 [31.07.2023].
- Energy. Industry Review, [Europe's Largest Green Hydrogen Project: NorthH2](#), 2020, [31.07.2023].

Esperis, [Analiza instrumentów wsparcia finansowego dla rozwoju rynku wodoru w Polsce. Streszczenie zarządcze](#), 2023 [31.07.2023].

Esperis. Europejski Bank Wodoru (EHB). [Nowy instrument rozwoju gospodarki wodorowej](#), 2023 [31.07.2023].

Esperis, UN Global Compact, [Rozwój Gospodarki Wodorowej w UE i Państwach Członkowskich – Środowisko Regulacyjne i Finansowe](#), 2021 [31.07.2023].

Equinor, [Equinor joins Europe's biggest green hydrogen project, the NorthH2-project](#), 2020 [31.07.2023].

European Hydrogen Backbone, [Five hydrogen supply corridors for Europe in 2030. Executive Summary](#), 2022 [31.07.2023].

European Hydrogen Backbone, [EHB publishes five potential hydrogen supply corridors to meet Europe's accelerated 2030 hydrogen goals](#), 2022 [31.07.2023].

European Hydrogen Backbone, [EHB Infrastructure Maps Update February – including latest feasibility estimates and PCI submissions](#), 2023 [31.07.2023].

EY, Hynfra, [Zielony wodór - rewolucja czy przejściowa moda? Szanse i wyzwania dla polskiej gospodarki](#), 2023 [31.07.2023].

FleishmanHillard, [National Hydrogen Strategies In The Eu Member States. A FleishmanHillard overview of national hydrogen strategies](#), 2022 [31.07.2023].

Forsal.pl, [Solaris z największym w swojej historii zamówieniem na autobusy wodorowe](#), 2022 [31.07.2023].

Fuel Cells and Hydrogen Observatory, [Chapter 1. 2021 Technology and Market](#) [31.07.2023].

Fuel Cells and Hydrogen Observatory, [Chapter 2. 2022 Hydrogen Supply Capacity and Demand](#) [31.07.2023].

Fuel Cells and Hydrogen Observatory, [Chapter 5. 2022 Patent Report](#) [31.07.2023].

Fundacja Edukacji Rozwoju i Innowacji, [Energetyka zrównoważona - WODÓR](#), 2018 [31.07.2023].

Główny Urząd Statystyczny (GUS), [Transport drogowy w Polsce w latach 2020 i 2021, 2023](#) [11.10.2023].

Gmina Choczewo, [Polskie Elektrownie Jądrowe](#), 2023 [31.07.2023].

Gospodarkamorska.pl, [Holenderskie i brazylijskie porty łączą siły w kierunku zielonego wodoru](#), 2023 [31.07.2023].

H2stations.eu. [H2 stations map](#), 2023 [31.07.2023].

H2Poland.eu, [Coradia iLint pierwszy na świecie pociąg napędzany wodorem](#) [31.07.2023].

Hydrogen Europe, [Clean Hydrogen Monitor](#), 2022 [31.07.2023].

Hydrogenready. [Mapa wodorowa Polski](#), 2023 [31.07.2023].

CIRE, [Inicjatywa 2 x 40 GW szansą dla dekarbonizacji Europy](#) [31.07.2023].

Infrastructure Partnerships Australia, [Asian Renewable Energy Hub](#), [31.07.2023].

Instytut Energetyki, Wydział Zarządzania Uniwersytetu Warszawskiego, Instytut Ekologii Terenów Przemysłowych, [Analiza potencjału technologii wodorowych w Polsce do roku 2030 z perspektywą do 2040 roku](#), 2020 [31.07.2023].

Instytut Energetyki, Wydział Zarządzania Uniwersytetu Warszawskiego, [łańcuch wartości gospodarki wodorowej w Polsce](#), 2023 [31.07.2023].

International Energy Agency, [Global Hydrogen Review 2021](#) [31.07.2023].

International Energy Agency, [How much will renewable hydrogen production drive demand for new renewable energy capacity by 2027?](#) 2022 [31.07.2023].

International Energy Agency, [Hydrogen patents for a clean energy future. A global trend analysis of innovation along hydrogen value chains](#), 2023 [31.07.2023].

International Energy Agency, [Hydrogen. Energy system overview](#), 2022 [31.07.2023].

International Energy Agency, [The Future of Hydrogen. Seizing today's opportunities](#), 2019 [31.07.2023].

International Renewable Energy Agency, [Hydrogen](#), 2022 [31.07.2023].

KGHM, [Pierwszy w Polsce wniosek o ocenę technologii SMR złożony – KGHM robi kolejny znaczący krok w kierunku atomu](#), 2023 [31.07.2023].

- Klaster Technologii Wodorowych, [3 Seas Hydrogen Council. A hydrogen council is established, consisting of Central European and Baltic states](#), 2023 [31.07.2023].
- Kopernikus Projekte, [How the Kopernikus project P2X converts renewable electricity into plastics and fuels, gases and heat](#) [31.07.2023].
- 3seas, [Launching a Hungarian-American pilot project in Hungary](#) [31.07.2023].
- McKinsey & Company, [Global Hydrogen Flows: Hydrogen trade as a key enabler for efficient decarbonization](#), 2022 [31.07.2023].
- MKiŚ. [Piaskownice regulacyjne - rozwiązania przyjazne innowacjom w energetyce](#), 2021 [31.07.2023].
- MKiŚ. [Podpisano „Porozumienie sektorowe na rzecz rozwoju gospodarki wodorowej w Polsce”](#), 2023 [31.07.2023].
- MKiŚ, [Kolejny etap prac nad „Konstytucją dla wodoru”](#), 2023 [31.07.2023].
- Money.pl, [Wodór w Grupie ORLEN \(materiał sponsorowany\)](#), 2023 [31.07.2023].
- Nesobus, [Polski Autobus Wodorowy](#), 2023 [31.07.2023].
- NFOŚiGW. [Wodoryzacja gospodarki](#) [06.09.2023].
- PESA, [Kolejowa premiera roku – PESA zaprezentowała lokomotywę wodorową na TRAKO](#), 2021 [31.07.2023].
- PGNiG, [Podziemne Magazyny Gazu](#), 2023 [31.07.2023].
- Polski Instytut Ekonomiczny, [Gospodarka wodorowa w Polsce. Obserwacje na podstawie ram badawczych Technologicznego Systemu Innowacji. Policy Paper 5/2020](#) [31.07.2023].
- Polski Instytut Ekonomiczny, [Kierunki rozwoju gospodarki wodorowej w Polsce. Working Paper 7/2019](#) [31.07.2023].
- Polskie Stowarzyszenie Paliw Alternatywnych, [Licznik Elektromobilności: samochody elektryczne w I kwartale 2023 r. ze znacznym wzrostem sprzedaży na polskim rynku](#) [31.07.2023].
- Port Gdynia, [Hub wodorowy w Porcie Gdynia](#), 2022 [31.07.2023].
- PV Magazine, [World's largest underground hydrogen storage project](#), <https://www.pv-magazine.com/2022/08/04/worlds-largest-underground-hydrogen-storage-project/> [31.07.2023].
- Rada UE, [Państwa członkowskie ustaliły stanowisko w sprawie przyszłego rynku gazu i wodoru](#), 2023 [31.07.2023].
- Reuters, [World's first hydrogen tanker to ship test cargo to Japan from Australia](#), 2022 [11.10.2023].
- RWE, [AquaVentus. Hydrogen production in the North Sea](#) [31.07.2023].
- RWE, NorthH2. [A green hydrogen hub in Northwest Europe](#) [31.07.2023].
- Starobrat A., [Nowe materiały do magazynowania wodoru oparte na skandzie, itrze i glinie: synteza i właściwości fizykochemiczne](#). Praca doktorska realizowana w ramach MISDoMP w latach 2015–2020 pod kierunkiem: prof. dr hab. Wojciecha Grochali [31.07.2023].
- Statista, [Number of green hydrogen production facilities worldwide as of 2022, by country](#) [31.07.2023].
- Tang, J., Chu, M.-., Li, F., Feng, C., Liu, Z.-. & Zhou, Y.-. 2020, *Development and progress on hydrogen metallurgy*, *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, vol. 27, no. 6, pp. 713-723, <https://doi.org/10.1007/s12613-020-2021-4> [31.07.2023].
- Transgaz, [Three Seas Initiative Investment Fund signs agreement to invest in greenfield gas infrastructure in Romania](#) [31.07.2023].
- TheFirstNews, [Three Seas project necessary owing to Russia-Ukraine war says PM](#), 2023 [31.07.2023].
- TÜV SÜD, [Another record addition of european hydrogen refuelling stations in 2022](#) <https://www.tuvsud.com/en/e-ssentials-newsletter/automotive-essentials/e-ssentials-01-2023/another-record-addition-of-european-hydrogen-refuelling-stations-in-2022> [dostęp dn. 31.07.2023].

- U.S. Department of Energy, [The Partnership for Transatlantic Energy and Climate Cooperation \(P-TECC\) Statement of Principles – 2023](#) [31.07.2023].
- Wodorowy świat, [Biologiczne metody pozyskiwania wodoru](#), 2021 [31.07.2023].
- World Energy Council, [Working Paper | National Hydrogen Strategies. Hydrogen on the horizon: ready, almost set, go?](#), 2021 [31.07.2023].
- Wysokienapiecie.pl, [Wodór w Polsce raczkuje w transporcie](#), 2023 [31.07.2023].
- Wysokienapiecie.pl, [Polska energetyka gaz zastąpi wodorem? To nie takie proste, 2023](#) [31.07.2023].
- Zawadzki P., A. Smoliński, [Otrzymywanie zielonego wodoru w procesie elektrolizy wody odzyskanej ze ścieków komunalnych](#), "3xW. Węgiel. Wodór. Wiedza" I kwartał 2023 [31.07.2023].
- Zespół Doradców Gospodarczych TOR, [Transport. Kluczem do Rozwoju Technologii Wodorowych w Polsce](#), 2020 [31.07.2023].
- Zielonagospodarka.pl, [Grupa Industria i Rolls-Royce SMR będą współpracować przy wdrażaniu małych reaktorów modułowych](#), 2023 [31.07.2023].
- Zielonagospodarka.pl, [Zielona elektrownia wodorowa w Port Rotterdam. Shell podpisał kontrakt](#), 2022 [31.07.2023].
- Züttel A., [Hydrogen-storage materials for mobile applications](#), "Nature" (414)6861, 2001, s. 353-358 [31.07.2023].


Dokumenty strategiczne

- Baringa Partners, [Lithuanian Hydrogen Sector Development Roadmap and the Action Plan for its Implementation. Final Report Summary](#), 2022 [31.07.2023].
- Federal Ministry of Austria for Climate Action, Environment, Energy, Mobility, Innovation and Technology, [Hydrogen Strategy for Austria](#), 2022 [31.07.2023].
- Komisja Europejska, [Strategia w zakresie wodoru na rzecz Europy neutralnej dla klimatu. COM \(2020\) 301 final](#) [31.07.2023].
- Magyarország Kormánya, [Hungary's National Hydrogen Strategy. Strategy for The Introduction of Clean Hydrogen and Hydrogen Technologies to The Domestic Market and for Establishing Background Infrastructure for The Hydrogen Industry, 2021](#) [31.07.2023].
- Ministerstwo Klimatu i Środowiska, [PSW do roku 2030 z perspektywą do roku 2040. Warszawa, październik 2021 r.](#) [31.07.2023].
- Ministerstwo Klimatu i Środowiska, [Program polskiej energetyki jądrowej](#), 2020 [31.07.2023].
- Ministry of Economy and Sustainable Development, [Hydrogen Strategy Of The Republic Of Croatia Until 2050](#), 2022, [31.07.2023].
- Ministry of Economy of the Slovak Republic, [National Hydrogen Strategy: Ready for the Future](#), 2021, https://nvas.sk/NVS_EN.pdf [31.07.2023].
- Ministry of Energy, Ministry of the Environment and Water, [Integrated Energy and Climate Plan of The Republic of Bulgaria. 2021–2030](#), 2020 [31.07.2023].
- Ministry of Industry and Trade of the Czech Republic, [The Czech Republic's Hydrogen Strategy](#), 2021 [31.07.2023].
- ORLEN, [Strategia wodorowa Grupy ORLEN do 2030 roku](#), 2022 [31.07.2023].
- Centrum Badawcze Inicjatywy Trójmorza (ISP PAN), [Wspólna deklaracja VI Szczytu Inicjatywy Trójmorza](#) (Sofia, 8-9 lipca 2021) [31.07.2023].

Akty prawne

- Akt delegowany do RED – pomiar emisji CO₂ dla RFNBO (2023). C(2023) 1086 final; Rozporządzenie Delegowane Komisji (UE) 2023/1185 z dnia 10.02.2023
- Akt delegowany do RED – zasady produkcji RFNBO (2023). C (2023) 1087 final; Rozporządzenie Delegowane Komisji (UE) 2023/1184

Akt delegowany do Taksonomii UE (2021). Rozporządzenie delegowane Komisji 2021/2139; C/2021/800.
Dyrektywa o odnawialnych źródłach energii RED (2021). COM/2021/557/final.
Dz. U. 2015 poz. 478. Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii.
EU H2 Bank. COM (2023) 156 final.
Impuls dla gospodarki neutralnej dla klimatu: strategia UE dotycząca integracji systemu energetycznego. COM (2020) 299 final.
Net Zero Industry Act (2023). Rozporządzenie COM (2023) 161 final.
Pakiet Dekarbonizacji Rynku Gazu Ziemnego i Wodoru (tzw. Nowy Pakiet Gazowy) (2021). COM/2021/803/final; COM/2021/804/final.
REPower UE (2022). COM (2022) 230.



SPIS TABEL

TABELA 1 PODEJŚCIE DO POLITYKI ROZWOJU WYKORZYSTANIA WODORU W TRANSPORCIE W POSZCZEGÓLNYCH PAŃSTWACH 3S.....	37
TABELA 2 OBSZARY ZASTOSOWANIA WODORU WYMIENIONE W KRAJOWYCH PLANACH POLITYKI PAŃSTW 3S	37
TABELA 3 ZESTAWIENIE ZAKŁADANYCH POZIOMÓW MOCY ELEKTROLIZERÓW DO 2030 ROKU W PAŃSTWACH 3S.....	39
TABELA 4 ŚWIAT - SZACUNKOWE WARTOŚCI PATENTÓW W POSZCZEGÓLNYCH OBSZARACH TECHNOLOGICZNYCH	61
TABELA 5 ŚWIAT - RANKING TOP5 PAŃSTW WG LICZBY ZGŁOSZEŃ	63
TABELA 6 RANKING PAŃSTW POD WZGLĘDEM CAŁKOWITYCH WARTOŚCI WSZYSTKICH PATENTÓW I ODSETKA PRACOWNIKÓW B+R (LEWA STRONA) ORAZ RANKING PAŃSTW POD WZGLĘDEM ŚREDNIEJ WARTOŚCI WSZYSTKICH PATENTÓW	65
TABELA 7 RANKING PODKLAS WEDŁUG IPC, W KTÓRYCH STWIERDZONO NAJWIĘKSZĄ AKTYWNOŚĆ PATENTOWĄ.....	70

SPIS RYSUNKÓW

RYSUNEK 1 CELE EUROPEJSKIEJ STRATEGII WODOROWEJ	9
RYSUNEK 2 GLOBALNA MAPA KRAJOWYCH STRATEGII WODOROWYCH (STAN NA 17.07.2023)	15
RYSUNEK 3 UPROSZCZONY ŁAŃCUCH WARTOŚCI WODORU.....	16
RYSUNEK 4 AKTUALIZACJA MAPY INFRASTRUKTURY EHB ZGODNEJ Z WIZJĄ ROZWOJU EHB	33
RYSUNEK 5 KORYTARZE PRZESYŁOWE EHB	34
RYSUNEK 6 MAPA STRATEGII WODOROWYCH WŚRÓD PAŃSTW 3S (STAN NA 17.07.2023)	36
RYSUNEK 7 NAJWIĘKSI PRODUCENCI I KONSUMENCI WODORU W POLSCE	40
RYSUNEK 8 MAPA DOLIN WODOROWYCH W POLSCE	49
RYSUNEK 9 3S - UDZIAŁ ANALIZOWANYCH OBSZARÓW TECHNOLOGII WODOROWYCH W CAŁKOWITEJ AKTYWNOŚCI PATENTOWEJ.....	67

SPIS WYKRESÓW

WYKRES 1 OBSZARY ZASTOSOWANIA WODORU NA ŚWIECIE W 2022 ROKU.....	20
WYKRES 2 UDZIAŁ W PRODUKCJI WODORU W EUROPIE (% Z 11,4 MLN TON WODORU W 2020 ROKU).....	22
WYKRES 3 ZAPOTRZEBOWANIE NA WODÓR WEDŁUG SEKTORÓW	23
WYKRES 4 LICZBA POJAZDÓW ELEKTRYCZNYCH Z OGNIWAMI PALIWOWYMI (FCEV) ZASILANYCH WODOREM W PODZIALE NA REJON REJESTRACJI	25
WYKRES 5 LICZBA POJAZDÓW ELEKTRYCZNYCH Z OGNIWAMI PALIWOWYMI (FCEV) ZASILANYCH WODOREM W PODZIALE NA TYPY... ..	25
WYKRES 6 ŚWIAT - AKTYWNOŚĆ PATENTOWA W TEMATYCE TECHNOLOGII WODOROWYCH.....	60
WYKRES 7 ŚWIAT - AKTYWNOŚĆ I SKUTECZNOŚĆ PATENTOWA W POSZCZEGÓLNYCH OBSZARACH TECHNOLOGII WODOROWYCH	61
WYKRES 8 ŚWIAT - ROZKŁAD PATENTÓW WODOROWYCH WG ICH ŚREDNIEJ WARTOŚCI DLA POSZCZEGÓLNYCH OBSZARÓW TECHNOLOGII WODOROWYCH	62
WYKRES 9 3S - AKTYWNOŚĆ PATENTOWA (WE WSZYSTKICH TECHNOLOGIACH)	64
WYKRES 10 3S - LICZBA PODMIOTÓW WYNAŁAZCZYCH VS LICZBA PATENTÓW	64
WYKRES 11 3S - LICZBA PODMIOTÓW WYNAŁAZCZYCH VS LICZBA PATENTÓW WODOROWYCH	66
WYKRES 12 3S - AKTYWNOŚĆ PATENTOWA W TECHNOLOGIACH WODOROWYCH.....	66
WYKRES 13 3S - AKTYWNOŚĆ PATENTOWA W OBSZARZE "PRODUKCJA WODORU"	68
WYKRES 14 AKTYWNOŚĆ PATENTOWA W OBSZARZE "MAGAZYNOWANIE WODORU"	68
WYKRES 15 AKTYWNOŚĆ PATENTOWA W OBSZARZE "TRANSPORT WODORU"	68
WYKRES 16 UDZIAŁ PATENTÓW W ANALIZOWANYCH OBSZARACH TECHNOLOGII WODOROWYCH WG ICH ŚREDNIEJ WARTOŚCI NA ŚWIECIE I W GRUPIE PAŃSTW 3S	69
WYKRES 17 ŚWIAT - UDZIAŁ ZGŁOSZEŃ PATENTOWYCH W POSZCZEGÓLNYCH OBSZARACH TECHNOLOGII WODOROWYCH W CAŁOŚCI ANALIZOWANEGO ZAKRESU TYCH TECHNOLOGII.....	69
WYKRES 18 3S - UDZIAŁ ZGŁOSZEŃ PATENTOWYCH W POSZCZEGÓLNYCH OBSZARACH TECHNOLOGII WODOROWYCH W CAŁOŚCI ANALIZOWANEGO ZAKRESU TYCH TECHNOLOGII.....	70



Łukasiewicz

ITECH

Institut Innowacji
i Technologii