

Wodór – niebiesko-zielona rewolucja

Hydrogen – the blue-green revolution

Marta Gburzyńska, Michał Kwaśniewski^{*)}

Słowa kluczowe: Wodór, strategie wodorowe, wytwarzanie wodoru, magazynowanie wodoru, zerowa emisja gazów, odnawialne źródła energii, gaz ziemny, elektroliza wody, reforming parowy, gazowanie węgla, wodór zielony, wodór szary, wodór niebieski, wodór różowy, wodór żółty, dwutlenek węgla.

Streszczenie

W artykule przedstawiono cele i strategię wodorowe Unii Europejskiej i Polski na lata 2021-2030. Przeanalizowano metody wytwarzania i magazynowania wodoru. Zwrócono szczególną uwagę na możliwości dystrybucji wodoru i problemy związane z tym zagadnieniem. W opracowaniu zawarto również informacje na temat wpływu poszczególnych metod produkcji wodoru na aspekty środowiskowe, ze szczególnym zwróceniem uwagi na emisję dwutlenku węgla. Opisano również projekty związane z transportem i wytwarzaniem wodoru, realizowane przez polskie firmy.

Keywords: Hydrogen, hydrogen strategies, hydrogen production, hydrogen storage, zero gas emission, renewable energy sources, natural gas, water electrolysis, steam reforming, coal gasification, green hydrogen, gray hydrogen, blue hydrogen, pink hydrogen, yellow hydrogen.

Abstract

The article presents the hydrogen goals and strategy of the European Union and Poland for 2021-2030. The methods of hydrogen production and storage were analyzed. Particular attention was paid to the possibilities of hydrogen distribution and problems related to this issue. The study also includes information on the impact of individual methods of hydrogen production on environmental aspects, with particular emphasis on carbon dioxide emissions. Projects related to the transport and production of hydrogen implemented by Polish companies are also described.

1. Strategie wodorowe

Cele strategiczne Unii Europejskiej:

- do 2024 r. – instalacja co najmniej 6 GW mocy elektrolizerów i roczna produkcja co najmniej 1 mln ton wodoru z OZE,
- do 2030 r. – instalacja co najmniej 40 GW mocy elektrolizerów i roczna produkcja co najmniej 10 mln ton wodoru z OZE.

Strategia wodorowa UE przewiduje zastosowanie wodoru w przemyśle i mobilności jako dwa główne rynki wiodące.

Rok 2023 dla Unii Europejskiej może okazać się kluczowym okresem w kwestii wdrażania technologii wodorowych, a Polska może odegrać ważną rolę i stać się jednym z europejskich liderów wodorowej rewolucji. Polska wprowadziła pierwsze w Unii Europejskiej porozumienie sektorowe na rzecz rozwoju gospodarki wodorowej, które dotyczy krajowej strategii wodorowej.

Rola wodoru jako najprostszego, najłżejszego i najpowszechniej występującego pierwiastka we wszechświecie została dostrzeżona w polskich dokumentach strategicznych, takich jak: Strategia na rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju do roku 2020 (z perspektywą do 2030 r.), Polityka Energetyczna Polski do 2040 r. oraz Krajowy plan na rzecz energii i klimatu na lata 2021-2030. Wodór ma wiele potencjalnych zastosowań i może odegrać kluczową rolę w transformacji energetycznej w Unii Europejskiej, wyrażonej w Europejskim Zielonym Ładzie.

W projekcie „Polskiej Strategii Wodorowej” wskazano następujące cele [11]:

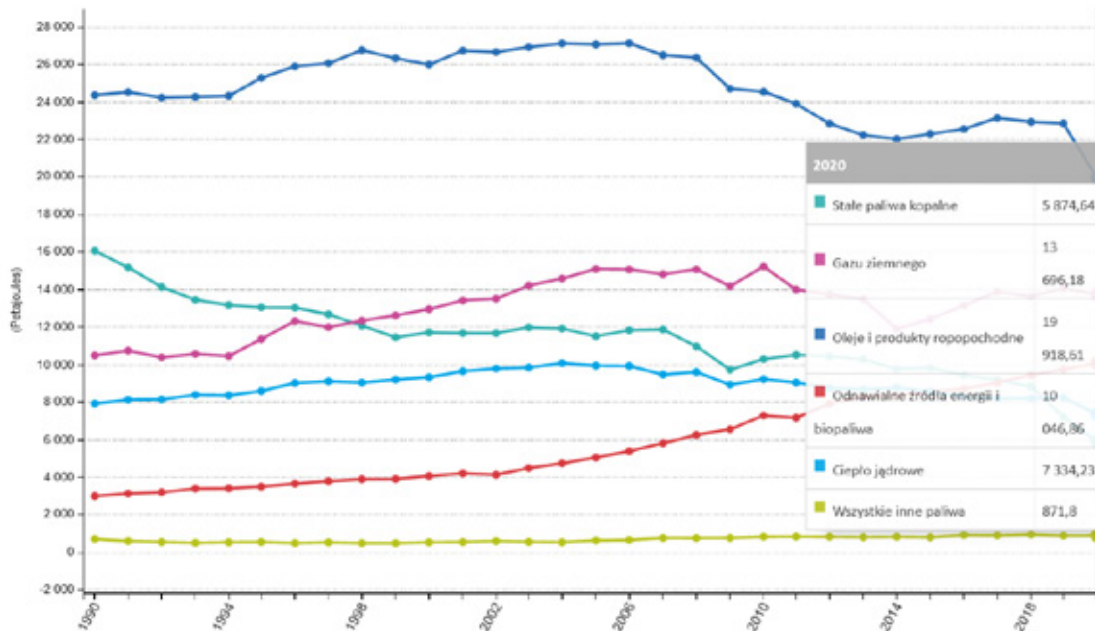
- do 2030 r. – zainstalowana moc instalacji do produkcji niskoemisyjnego wodoru: 50 MW do 2025 roku i 2 GW ,

- do 2025 r. – liczba stacji wodoru: min. 32,
- Stworzenie Ekosystemu Innowacji Dolin Wodorowych,
- w latach 2022 i 2023 – opracowanie legislacyjnego pakietu wodorowego – przepisów określających szczegóły funkcjonowania rynku, implementujących prawo UE w tym zakresie oraz wdrażających system zachęt do produkcji niskoemisyjnego wodoru,
- w okresie 2021–2030 – łączne niezbędne nakłady inwestycyjne, związane z wdrażaniem technologii wodorowych w transporcie publicznym wraz z niezbędną infrastrukturą oraz osiągnięcie zakładanej mocy instalacji ze źródeł niskoemisyjnych na poziomie 2GW, wyniosą ok. 11 mld zł.

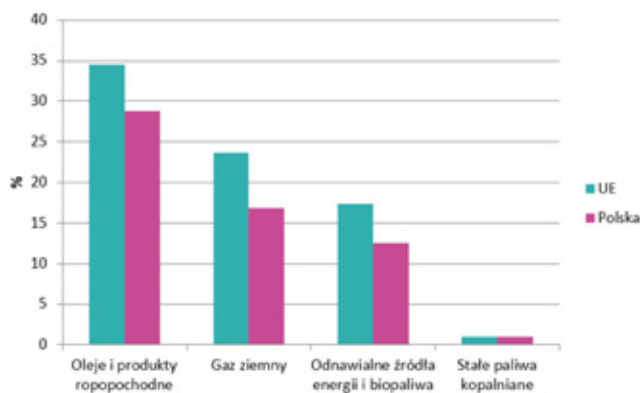
2. Wytwarzanie wodoru

Aby przybliżyć zagadnienie wodoru jako nośnika energii i oznaczenia nomenklatury związanej z wodorem, musimy rozważyć dwie podstawowe kwestie: czym wodór jest i jak powstaje. Wodór może być produkowany w różny sposób, a to, do jakiej kategorii będzie przynależał (zielony, niebieski, szary itp.), zależy od wykorzystywanego źródła energii i procesu produkcyjnego. Obecnie najczęściej strategię, dotyczące pozyskiwania wodoru, skupiają się wokół możliwości wykorzystania w tym celu gazu ziemnego oraz odnawialnych źródeł energii. Jak wynika z analizy danych zamieszczonych na poniższym wykresie, gaz ziemny pozostał drugim co do wielkości źródłem energii. Zauważalny jest również znaczący udział odnawialnych źródeł energii, które już w latach 2018 – 2020 przewyższyły popularnością paliwa kopalne.

^{*)} Marta Gburzyńska, mgr – Zakład Inżynierii Środowiska, Państwowa Uczelnia Zawodowa im. Ignacego Mościckiego w Ciechanowie, Michał Kwaśniewski, mgr inż., Polska Spółka Gazownictwa sp. z o.o. Oddział Zakład Gazowniczy w Warszawie, Zakład Inżynierii Środowiska, Państwowa Uczelnia Zawodowa im. Ignacego Mościckiego w Ciechanowie.



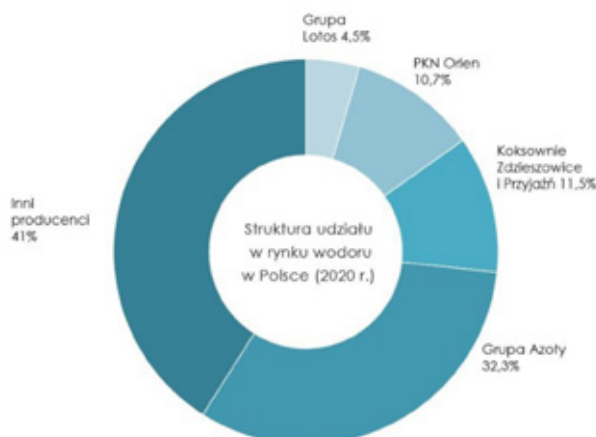
Rys. 1 Dostępna energia brutto, UE, 1990-2020. [4]
Fig. 1 Gross available energy, EU, 1990-2020. [4]



Rys. 2 Dostępna energia brutto według paliw, Polska na tle UE, 2020. [3]
Fig. 2 Available gross energy by fuel, Poland compared to the EU, 2020. [3]

Na podstawie przedstawionych wykresów można potwierdzić, że dostępna w Polsce energia brutto przedstawia się korzystnie na tle całej Unii Europejskiej.

Polska produkuje rocznie ponad jedną megatonę szarego wodoru, pozyskiwanego z gazu ziemnego.



Rys. 3 Struktura udziału w rynku wodoru w Polsce, 2020 r. [11]
Fig. 3 Hydrogen market share structure in Poland, 2020 [11]

Gaz ziemny jest obecnie głównym surowcem do produkcji wodoru [2]. Co plasuje Polskę jako piątego co do wielkości producenta wodoru na świecie i trzeciego w Unii Europejskiej. Podążając za trendem PKN Orlen i PGNiG, należący do grupy kapitałowej ORLEN, wprowadzają innowacyjne projekty dotyczące produkcji i wykorzystania wodoru, z zastosowaniem gazu ziemnego oraz odnawialnych źródeł energii.

W Polsce PKN Orlen i PGNiG są liderami w pracach nad technologiami produkcji wodoru. Badania prowadzone przez PGNiG dotyczą możliwości dystrybucji wodoru siecią gazową, magazynowania i wykorzystania w systemach energetycznych, co uzupełnia przedsięwzięcia PKN ORLEN, obejmujące tworzenie HUBów wodorowych i stosowanie wodoru w transporcie.

Wytwarzanie wodoru jest procesem wymagającym dużych ilości energii. Obecnie istnieją trzy główne metody produkcji wodoru:

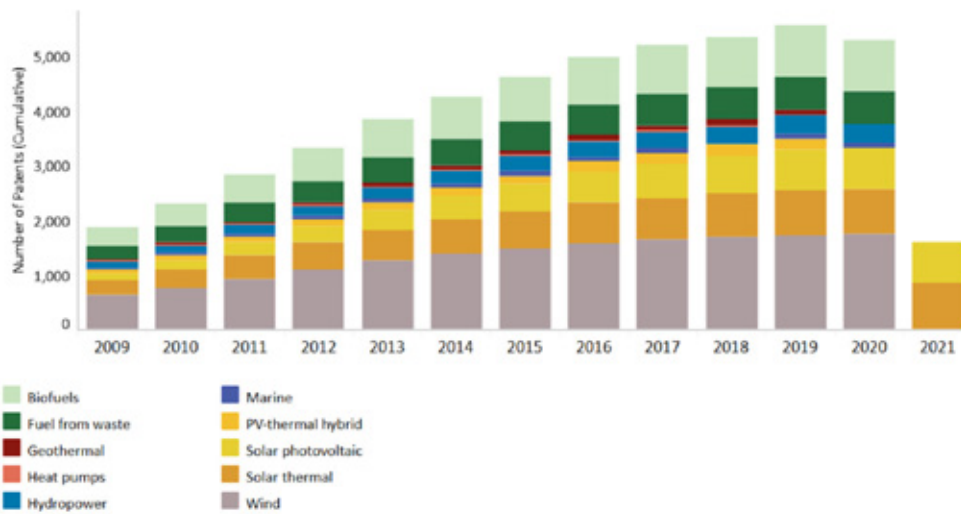
1. elektroliza wody,
2. gazowanie węgla
3. reforming parowy

Elektroliza wody wykorzystuje energię elektryczną do rozdzielenia wody na wodór i tlen. Proces ten może być zasilany energią pochodzącą z źródeł odnawialnych, takich jak energia słoneczna i wiatrowa, co pozwala na wytwarzanie wodoru z niskimi emisjami gazów cieplarnianych. Proces elektrolizy wody jest wykorzystywany do produkcji wodoru od wielu lat jednak do tej pory, nie zyskał szerokiego rynku producentów, ze względu na ekonomiczną przewagę technologii produkcji wodoru z gazu ziemnego.

Tab. 1 Dojrzałość i sprawność technologii produkcji wodoru z procesu elektrolizy. [8]
Tab. 2 Maturity and efficiency of hydrogen production technology from the electrolysis process. [8]

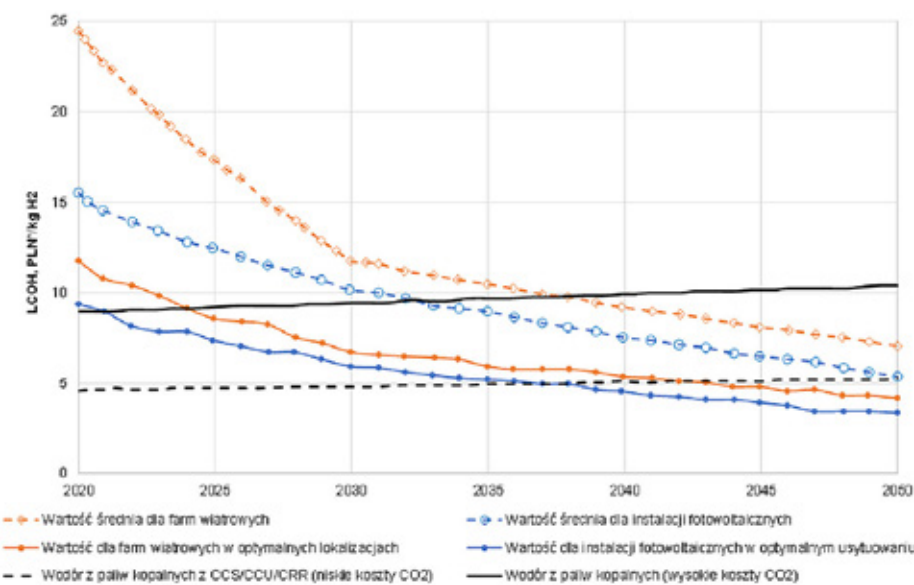
Proces	Sprawność [kW/kgH ₂]	Dojrzałość technologiczna
ALK	49-60	Dostępna komercyjnie (TRL 9)
PEM	48,5-64	Dostępna komercyjnie w skali do 10 MW (TRL 8-9)
SOE	37-40	Wstępny etap komercjalizacji. B+R (TRL 6-7)

Elektroliza, ze względu na stale malejące koszty wytwarzanej energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii (w szczególności energii słonecznej i wiatru), uznawana jest za jeden z najważniejszych elementów rozwoju gospodarki wodorowej na świecie.



Rys. 4 Ewolucja patentów na energię odnawialną w Polsce.[6]

Fig. 4 Evolution of renewable energy patents in Poland. [6]



Rys. 5 Perspektywa kosztów produkcji wodoru z OZE (PV i wiatru) na tle paliw kopalnych. [10]

Fig. 5 Prospect of hydrogen production costs from RES (PV and wind) compared to fossil fuels. [10]

Proces gazownia węgla polega na przetwarzaniu węgla w celu uzyskania wodoru. Ten proces generuje emisję gazów cieplarnianych, a zatem nie jest zrównoważony i przyjazny środowisku.

Reforming parowy polega na podgrzaniu gazu ziemnego lub innych paliw kopalnych w celu uzyskania wodoru [12]. Proces ten generuje emisję dwutlenku węgla, który musi zostać przechwycony i zmagazynowany, w celu uniknięcia emisji gazów cieplarnianych.

Można wyróżnić trzy podstawowe procesy produkcji wodoru z gazu ziemnego [9]:

1. reforming parowy (ang. Steam Methane Reforming, SMR),
2. częściowe utlenianie (ang. Partial methane oxidation, POX),
3. reforming autotermiczny (ang. Autothermal reforming, ATR).

SMR (Steam Methane Reforming) to metoda produkcji wodoru, która polega na przeprowadzeniu procesu reformingu parowego węglowodorów. Niestety, ta metoda charakteryzuje się wysoką emisyjnością dwutlenku węgla (szacuje się, że na każdy kilogram wodoru wyprodukowany przez SMR przypada 9-12 kg CO₂). Reforming parowy jest kluczowym procesem technologicznym, który umożliwia pozyskiwanie gazów syntezowych, wykorzystywanych do produkcji metanolu, amoniaku oraz wodoru.

POX (Partial Methane Oxidation) to proces chemiczny, w którym metan jest poddawany częściowej utlenianiu, w obecności

tłenu lub pary wodnej. W wyniku tego procesu powstaje mieszanina gazu syntezowego, zawierająca wodór, tlenek węgla i parę wodną. POX jest jedną z metod produkcji gazu syntezowego, wykorzystywanego w procesach przemysłowych, takich jak produkcja amoniaku czy metanolu. Dokładna ilość dwutlenku węgla, wyemitowanego podczas produkcji jednego kilograma wodoru przez proces POX, zależy od wielu czynników, takich jak parametry procesu i użyte katalizatory. Jednakże, ogólnie przyjmuje się, że emisja CO₂, związana z produkcją jednego kilograma wodoru przy użyciu procesu POX, jest mniejsza niż w przypadku procesu reformingu parowego, ale nadal wynosi kilka kilogramów CO₂ na każdy kilogram wodoru wyprodukowanego.

ATR (Autothermal Reforming) to proces chemiczny, który łączy w sobie elementy procesu reformingu parowego i procesu spalania, co pozwala na jednoczesne wytwarzanie wodoru i energii. Podczas procesu ATR metan jest utleniany w obecności tlenu lub pary wodnej oraz poddawany procesowi reformingu. W wyniku tego procesu powstaje gaz syntezowy, zawierający wodór, dwutlenek węgla i parę wodną, a jednocześnie uwalniana jest energia. Proces ATR jest jednym z najczęściej stosowanych procesów produkcji wodoru na skalę przemysłową. Przyjmuje się, że emisja CO₂, związana z produkcją jednego kilograma wodoru

przy użyciu procesu ATR, jest mniejsza niż w przypadku procesu SMR i POX, ale nadal wynosi kilka kilogramów CO₂ na każdy kilogram wodoru wyprodukowanego.

Tab. 2 Dojrzałość i sprawność technologii produkcji wodoru z gazu ziemnego [1]
Tab. 2 Maturity and efficiency of hydrogen production technology from natural gas [1]

Proces	Sprawność [%]	Dojrzałość technologiczna
SMR	70-85	Dostępna komercyjnie (TRL 9)
POX	60-75	Dostępna komercyjnie (TRL 9)
ATR	60-75	Wkrótce dostępna komercyjnie (TRL 8-9)

W zależności od sposobu wytwarzania, wodór możemy podzielić na: zielony, szary, niebieski, różowy, żółty.

Niebieski wodór jest produkowany przez reforming metanu z parą wodną (SMR) lub automatycznym reformingiem termicznym (ATR), w których gaz ziemny jest poddawany procesom chemicznym, aby uzyskać wodór i dwutlenek węgla. W przypadku niebieskiego wodoru, dwutlenek węgla jest wychwytywany i składowany zamiast emitowany do atmosfery. Proces ten nazywa się "Carbon Capture Utilization and Storage" (CCUS). Dzięki temu procesowi, który ma na celu ograniczenie emisji gazów cieplarnianych, niebieski wodór może być bardziej przyjazny dla środowiska niż, np. szary wodór.

Szary wodór jest produkowany od wielu lat i jest to proces podobny do procesu wytwarzania niebieskiego wodoru, w którym gaz ziemny jest rozdzielany na wodór i dwutlenek węgla, przy użyciu metody SMR lub ATR. W przypadku szarego wodoru, dwutlenek węgla jest jednak emitowany do atmosfery bez jego oczyszczenia lub przechwytywania, co ma negatywny wpływ na środowisko. W związku z tym szary wodór nie jest ekologicznym rozwiązaniem i wciąż stanowi znaczący problem w kontekście zmian klimatu.

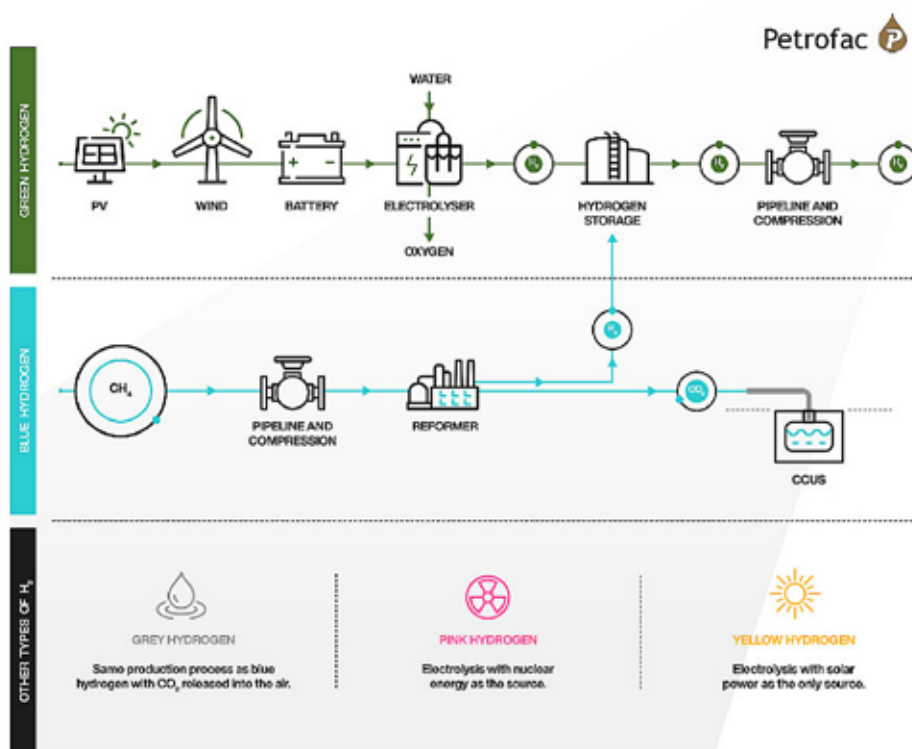
Wodór niebieski, zwany też wodorem niskoemisyjnym, może odgrywać ważną rolę przejściową, zastępując wodór szary. Jednak najczystsza forma jest wodór odnawialny, nazywany zielonym wo-

dorem. Zielony wodór jest produkowany przez elektrolizę wody, co prowadzi do wytworzenia tylko wodoru i tlenu. Jest to proces, w którym energia elektryczna jest wykorzystywana do rozdzielania cząsteczek wody na składniki. Aby produkować zielony wodór, wykorzystywane są odnawialne źródła energii, takie jak energia słoneczna lub wiatrowa, co oznacza, że proces ten jest zgodny z zasadą zrównoważonego rozwoju i nie powoduje emisji dwutlenku węgla. Dlatego też zielony wodór jest najczystszy i najbardziej ekologiczny z dostępnych rodzajów wodoru.

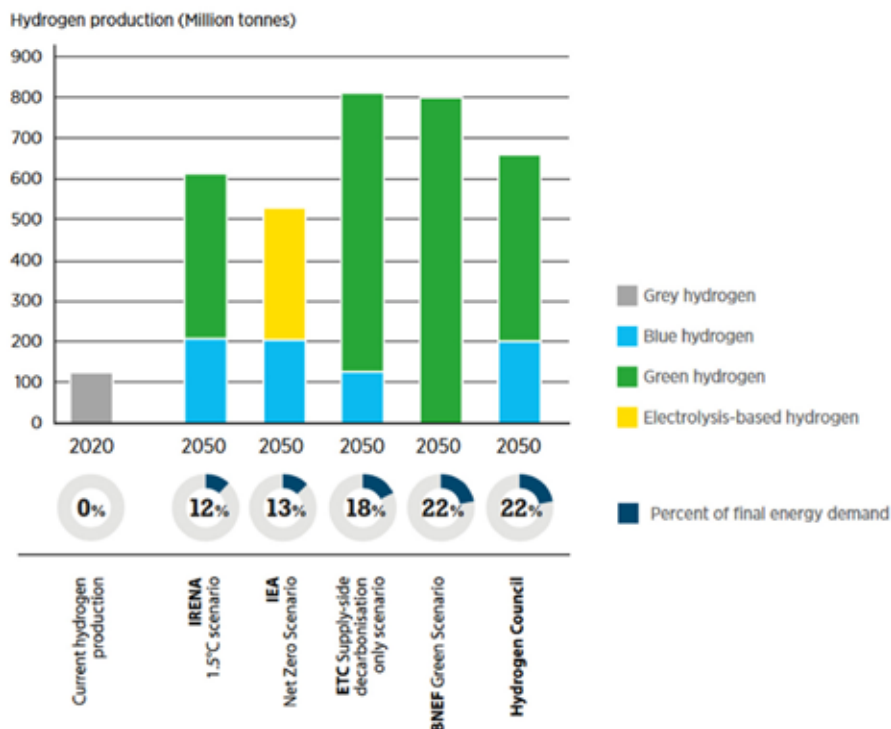
Różowy wodór to wodór, który jest produkowany poprzez elektrolizę wody, ale z wykorzystaniem energii pochodzącej z reaktorów jądrowych. Proces ten nazywany jest elektrolizą jądrową i umożliwia produkcję wodoru bez emisji gazów cieplarnianych. W ten sposób uzyskany wodór jest uważany za czysty i ekologiczny. Jednakże, ze względu na wysokie koszty budowy i utrzymania reaktorów jądrowych, różowy wodór obecnie jest rzadko spotykany w praktyce.

Żółty wodór to kolejny rodzaj wodoru produkowany przez elektrolizę wody. Proces ten jest jednak różny od elektrolizy jądrowej i od elektrolizy, która generuje zielony wodór. W przypadku żółtego wodoru, energia pochodząca z promieniowania słonecznego jest wykorzystywana do zasilania elektrolizy. Technologia ta nazywana jest fotolizą wody i jest uważana za bardzo czyste i ekologiczne rozwiązanie, ponieważ do jej działania wykorzystuje się energię ze źródła odnawialnego, jakim jest słońce. Ze względu na ograniczoną efektywność i wysokie koszty tej technologii, żółty wodór obecnie nie znajduje szerokiego zastosowania w przemyśle.

Zarówno niebieski, jak i zielony wodór mają swoje zalety i będą odgrywać kluczową rolę w przyszłym, bardziej zrównoważonym systemie energetycznym. Zielony wodór może być wytwarzany przy użyciu energii odnawialnej i nie ma emisji gazów cieplarnianych. Niebieski wodór z kolei może być produkowany w większych ilościach, ponieważ wykorzystuje gaz ziemny jako źródło, a także jest łatwiejszy do przechowywania i transportowania. Jednak w obu przypadkach ważne jest wychwytywanie i składowanie dwutlenku węgla podczas produkcji, aby ograniczyć jego negatywny wpływ na środowisko.



Rys. 6 Metody produkcji wodoru. [7]
Fig. 6 Methods of hydrogen production. [7]



Rys. 7 Szacunkowe światowe zapotrzebowanie na wodór w 2050. [6]

Fig. 7 Estimated global demand for hydrogen in 2050. [6]

4. Magazynowanie wodoru

Magazynowanie wodoru jest jednym z największych wyzwań, związanych z jego wykorzystaniem jako nośnika energii. Wodór ma niską gęstość energetyczną, co oznacza, że wymaga zastosowania do magazynowania dużych zbiorników. Istnieją trzy główne metody magazynowania wodoru: w postaci gazowej, ciekłej i stałej.

Magazynowanie wodoru w postaci gazowej jest najprostszą metodą, jednak wymaga dużych zbiorników, co sprawia, że jest to rozwiązanie kosztowne i zajmuje dużo miejsca. Magazynowanie wodoru w postaci ciekłej wymaga znacznie mniejszych zbiorników, ale wymaga chłodzenia, w celu utrzymania wodoru w stanie ciekłym, co zwiększa koszty i skomplikowanie procesu. Magazynowanie wodoru w postaci stałej jest nową technologią i wymaga dalszych badań i rozwoju

5. Dystrybucja wodoru

Dystrybucja wodoru to kolejne wyzwanie, które trzeba pokonać, aby wodór mógł być wykorzystany w skali przemysłowej. Wodór może być dystrybuowany za pomocą rurociągów, cystern, transportu kolejowego i samochodowego. Obecnie najczęściej stosowaną metodą dystrybucji jest transport samochodowy. Jego wadą są wysokie koszty i emisję gazów cieplarnianych. W związku z tym konieczne jest dalsze badanie i rozwój alternatywnych metod dystrybucji.

6. Zastosowanie wodoru

Wodór może być wykorzystywany jako nośnik energii w wielu sektorach, takich jak transport, przemysł i energetyka. W transporcie, wodór może być stosowany jako paliwo do ogniw paliwowych,

Tabela 3 Magazynowanie wodoru – kierunki rozwoju. [13]

Table 3 Hydrogen storage – directions of development. [13]

Technologia	Rys historyczny, analiza dostępnych produktów i technologii	Kluczowi gracze rynkowi	Analiza trendów rozwojowych
Ciśnieniowe i kriogeniczne	<ul style="list-style-type: none"> Zbiorniki ciśnieniowe Typ 1 – 4 dostępne na rynku, pojawiają się nowe rozwiązania 4+ Zbiorniki kriogeniczne – etap wczesnej komercjalizacji, rozwój składu materiałowego zbiorników dla mniejszego boil-off oraz utrzymania niskiej temperatury 	NASA, Toyota, NREL, Air Liquide, Air Products, Linde,	Rozwój zbiorników kompozytowych, redukcja udziału metali na rzecz tworzyw sztucznych, maksymalizacja odporności ciśnieniowej, zwiększanie odporności na zmienność temperaturową, biodegradowalność
Wielkoskalowe	<ul style="list-style-type: none"> Wykorzystanie podziemnych struktur geologicznych wykorzystywanych wcześniej w sektorze paliwowym i gazowym, ze szczególnym uwzględnieniem kawern solnych 	Operatorzy sieci gazowniczych, magazynów gazu, operatorzy magazynów paliw	Procesy badawcze mające na celu rozpoznanie podziemnych struktur geologicznych, składu skał, przepuszczalność, okolicznych zbiorników wodnych, wytrzymałości ciśnieniowej, wytypowanie najbardziej preferowanych do magazynowania wodoru
Paliwa syntetyczne i wodorki metali	<ul style="list-style-type: none"> Amoniak i metanol jak dobre magazyny wodoru – opanowane łańcuchy dostaw LOHC – jako metoda rozwijająca się Wodorki metali – metody na etapie badawczym o dużym potencjale magazynowania wodoru (duża gęstość energetyczna) 	Przemysł chemiczny, gazowy, naftowy – Saudi Aramco, Mitsubishi, DOW Chemical, Air Liquide, Air Products, Linde	Produkcja zielonego amoniaku i metanolu za pomocą zielonego wodoru (szczególnie w sektorze chemicznym). LOHC jako alternatywna metoda magazynowania wodoru. Zaawansowane badania rozwojowe w zakresie wodorków metali.

Tabela 4 Przesył i dystrybucja wodoru. [13]

Table 4 Hydrogen transmission and distribution. [13]

Technologia	Rys historyczny, analiza dostępnych produktów i technologii	Kluczowi gracze rynkowi	Analiza trendów rozwojowych
Lądowy	<ul style="list-style-type: none"> Zbiorniki ciśnieniowe, kriogeniczne lub zwykłe stalowe – technologie zbliżone lub te same co na etapie magazynowania, do transportu na krótki dystans najczęściej wykorzystywane cysterny 	Air Liquide, Air Products, Linde,	Doskonalenie i usprawnianie technologii materiałowej dla zbiorników ciśnieniowych i kriogenicznych – podobnie jak na etapie magazynowania, wykorzystanie pojazdów zeroemisyjnych do transportu butli z wodorem
Morski	<ul style="list-style-type: none"> Amoniak, metanol, LOHC, kriogenika – pierwsze projekty na świecie w Japonii, technologie we wczesnym etapie komercjalizacji, dużo podobieństw do łańcucha dostaw LNG 	Qatar Energy, Suadi Aramco, Kawasaki, Mitsubishi, Shell, Sempra, Hydrogenious, Umicore	Redukcja boil-off, na długie dystanse morskie duży potencjał wykazuje amoniak, metanol i LOHC z racji na ich dużą kompatybilność techniczną z obecną infrastrukturą i statkami do obsługi LNG
Rurociąg	<ul style="list-style-type: none"> Rurociągi dedykowane – 100% wódor Rurociągi gazowe dostosowane (retrofitting) – kilka/kilkadziesiąt % wodoru w zależności od państwa, transport biometanu w rurociągach gazowych Infrastruktura hydrogen ready 	Gasunie, Fluxys, Snam, Shell	Budowa dedykowanych rurociągów wodorowych łączących najważniejsze ośrodki przemysłowe w państwie – retrofitting nie jest docelowym rozwiązaniem (w większości państw UE), powstają także projekty rurociągów do transportu CO ₂ , zatłaczanie biometanu

co pozwoli na zerową emisję gazów cieplarnianych i zanieczyszczeń powietrza. W przemyśle, wódor może być stosowany jako nośnik energii w procesach produkcyjnych, takich jak produkcja stali, co pozwoli na zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych. W energetyce, wódor może być wykorzystywany jako źródło energii w elektrowniach ogniowych, co pozwoli na zwiększenie udziału energii odnawialnej w sektorze energetycznym.

Polskie firmy realizują szereg projektów związanych z wytwarzaniem i transportem wodoru. Jednym z nich jest InGrid – Power-To-Gas, zakładający możliwość wtłaczania wodoru do istniejących sieci gazowej. Instalacja będzie dotyczyła produkcji zielonego wodoru w procesie elektrolizy.

Drugim realizowanym projektem jest Blue H2. Projekt zakłada opracowanie technologii wytwarzania niebieskiego wodoru i objęcie budowę pilotażowej instalacji produkcyjnej, która będzie zlokalizowana na Śląsku w Zabrze. Docelowo, w przypadku powodzenia projektu badawczego i decyzji o budowie instalacji demonstracyjnej, niebieski wódor pozyskiwany metodą reformingu będzie wykorzystywany przez partnerów w procesach produkcyjnych. [5]

PGNiG realizuje również nad projektem HyChess, czyli “Systemem wytwarzania wodoru oraz syntetycznego gazu ziemnego z funkcjonalnością w zakresie wytwarzania oraz magazynowania energii elektrycznej”. Projekt pozwala na równoczesne wytwarzanie ciepła, odnawialnego gazu syntetycznego i zielonego wodoru oraz magazynowanie energii w postaci sprężonego dwutlenku węgla. Ta innowacyjna technologia może pomóc w bilansowaniu systemu elektroenergetycznego na poziomie lokalnym, wspierając lokalne źródła energii odnawialnej i rozwijające się klastry energetyczne.

7. Podsumowanie

Energia wytwarzana z wodoru staje się kluczowym aspektem, w celu osiągnięcia niezależności energetycznej i neutralności pod względem emisji dwutlenku węgla. Z szacunków opartych na projektach dotyczących wytwarzania i przetwarzania wodoru wynika, że dzięki połączeniu energii wytwarzanej z odnawialnych źródeł energii, nowoczesnych technologii magazynowania, efektywności pod względem energetycznym i elastycznych sieci dystrybucyjnych można będzie dostarczać zrównoważoną energię.

Wódor jest obiecującym nośnikiem energii dla przyszłości, ale wymaga dalszego badania i rozwoju strategii produkcji, magazynowania i dystrybucji. Elektroliza wody jest zrównoważoną metodą

produkcji wodoru, podczas gdy reformowanie parowe i gazowanie węgla wymagają przechwytywania i magazynowania emisji gazów cieplarnianych. Magazynowanie wodoru jest trudne ze względu na jego niską gęstość energetyczną, a dystrybucja wodoru wymaga dalszych badań i rozwoju. Wódor może być stosowany w wielu sektorach, takich jak transport, przemysł i energetyka, co pozwoli na zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych i zanieczyszczeń powietrza. ■

LITERATURA

- [1] Abdalla M. Abdalla, Shahzad Hossain, Ozan B. Nisfindy, Atia T. Azad, Mohamed Dawood, Abul K. Azad, Hydrogen production, storage, transportation and key challenges with applications: A review, Energy Conversion and Management, Volume 165, 2018, Pages 602-627, ISSN 0196-8904.
- [2] Analiza potencjału technologii wodorowych w Polsce do roku 2030 z perspektywą do 2040 roku, w ramach programu priorytetowego nr 5.1.1 „Wsparcie Ministra Klimatu w zakresie realizacji polityki klimatycznej Część 1) Ekspertyzy, opracowania, realizacja zobowiązań międzynarodowych”.
- [3] Eurostat (kod danych online: nrg_bal_e), 2022.
- [4] Eurostat (kod danych online: nrg_bal_s), 2022.
- [5] <https://pgnig.pl>.
- [6] <https://www.irena.org>.
- [7] <https://www.petrofac.com>.
- [8] Hydrogen supply chain evidence base, Element Energy, November 2018.
- [9] Instytut Energetyki, Analiza potencjału technologii wodorowych w Polsce do roku 2030 z perspektywą do 2040 roku,
- [10] IRENA 2019, Hydrogen: A renewable Energy perspective. Report prepared for the 2nd Hydrogen Energy Ministerial Meeting Japan..
- [11] Polska strategia wodorowa do roku 2030 z perspektywą do 2040 r. – projekt, Aktualizacja czerwiec 2021.
- [12] Ronsch S, Schneider J, Matthischke S, Schluter M, Gotz M, Lefebvre J, et al. Review on methanation – from fundamentals to current projects. Fuel 2016;166:276–96. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.10.111>.
- [13] Tchorek G. 2022, Rewolucja wodorowa – jak skorzystać?, Parp,