

# Rewolucja wodorowa - jak skorzystać?

---

Dr hab. Grzegorz Tchorek  
Wydział Zarządzania, Uniwersytet Warszawski  
18 października 2022 r.



## Plan prezentacji:

1. Rola wodoru w procesie neutralności klimatycznej.
2. Pojęcie i znaczenie tzw. łańcucha wartości gospodarki wodorowej i poszczególnych jego elementów.
3. Możliwości rozwoju różnych metod produkcji wodoru, z uwzględnieniem sektora MŚP.
4. Możliwości rozwoju magazynowania wodoru, z uwzględnieniem sektora MŚP.
5. Możliwości metod przesyłu i dystrybucji wodoru, z uwzględnieniem sektora MŚP.
6. Możliwości zastosowanie wodoru, z uwzględnieniem sektora MŚP.



# 1. Rola wodoru w procesie neutralności klimatycznej

[Wróć do pierwszego slajdu](#)



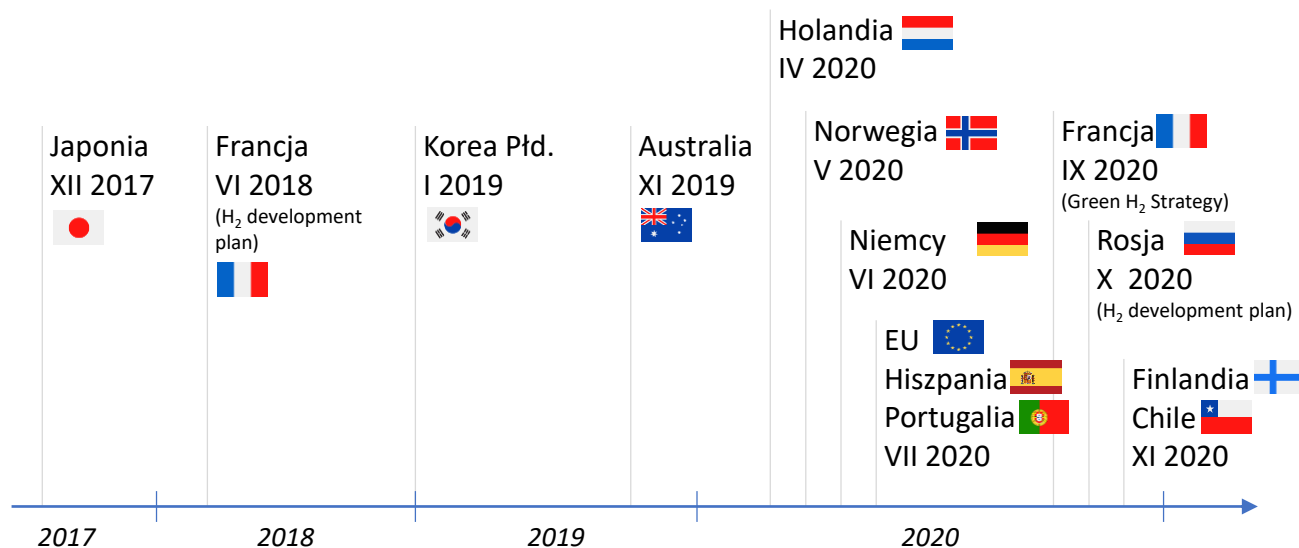
## Wodór w polityce klimatycznej UE

- Wodór jest pozycjonowany jako **kluczowy nośnik energii** w polityce Europejskiego Zielonego Ładu, stanowiąc potencjalnie przyszły **substytutu paliw kopalnych (najważniejsza silna strona wodoru to zeroemisyjność)**.
- Komisja Europejska w ramach Unijnej Strategii Wodorowej (2020 r.) oraz planu REPower EU (2022 r.) ustanowiła sumaryczny cel **budowy 2 x 40 GW elektrolizerów oraz produkcji 2 x 10 milionów ton wodoru odnawialnego do 2030 r.**
- Powyższe cele mają być zrealizowane dzięki współpracy z państwami i regionami stowarzyszonymi m.in. **Północna Afryka, Bliski Wschód, Ukraina** (EU External Energy Engagement Strategy).
- Wodór ma być szczególnie ważnym paliwem dla dekarbonizacji sektorów trudnych do elektryfikacji m.in. **przemysł rafineryjny, chemiczny, hutnictwo i wybrane rodzaje transportu.**
- Finansowanie transformacji wodorowej ma być możliwe **dzięki funduszom UE oraz dedykowanym mechanizmom pomocy publicznej** m.in. węglowe kontrakty różnicowe (CCfD).
- Do 2030 r. Komisja Europejska planuje mobilizację inwestycji wodorowych w kwocie **320-470 mld EUR**, w całej Wspólnocie.
- Rozwój europejskiego łańcucha wartości wodoru z jak największym zaangażowaniem podmiotów lokalnych (**tzw. local content**).



# Spektakularny awans wodoru w polityce klimatycznej i energetycznej

Przykładowe kraje które przyjęły strategię wodorową



Źródło – opracowanie własne

- Otwiera to przestrzeń do gruntownych działań regulacyjnych – stworzenia ram prawnych, standardów, etc.
- Kraje odpowiadające za ponad 90% globalnego PKB posiadają polityki lub inicjatywy mające na celu wsparcie publiczne technologii wodorowych.
- Kraje będą rozwijały rynki wodorowe w następującej sekwencji: Faza I: Aktywacja rynku – do 2030 r., Faza II: Trwały wzrost rynku od 2030 do 2040 r., Faza III: Rozwój dojrzałego rynku powyżej 2040-2050 r.



## Najważniejsze wyzwania dla Polski w zakresie wodoru

- **Kompletna, terminowa oraz przejrzysta transpozycja** przepisów unijnych do prawa krajowego.
- **Nowelizacja ustawy 10H** dla lądowych turbin wiatrowych – najtańsze źródło produkcji wodoru odnawialnego w Polsce.
- Przyjęcie przepisów w zakresie **linii bezpośredniej** – kluczowy aspekt dla produkcji wodoru spełniającej definicję odnawialnego.
- Budowa **2 GW elektrolizerów do 2030 r.** zgodnie z treścią Polskiej Strategii Wodorowej – wydzielenie budżetu oraz budowa dedykowanych źródeł **OZE około 4-8 GW w zależności od rodzaju OZE.**
- Budowa nowej infrastruktury **przesyłowej i dystrybucyjnej** lub dostosowanie obecnej (repurposing) zgodnie z Nowym Pakietem Gazowym.
- Handel międzynarodowy wodorem – budowa **terminalu FSRU Gdańsk** dostosowanego do dostaw gazów odnawialnych i niskoemisyjnych m.in. **amoniaku, bio-LNG, wodoru.**
- Utylizacja min. kilku **podziemnych struktur geologicznych** do magazynowania wodoru w dużych wolumenach m.in. **Kawerna Kosakowo, Mogilno.**
- Rozwój projektów wodorowych w **przemysle** (głównie: rafinerie, chemia, hutnictwo) oraz w **transporcie** m.in. autobusy wodorowe zgodnie z Polską Strategią Wodorową.
- Budowa rozproszonej gospodarki wodorowej, w formule **dolin wodorowych.**



## 2. Pojęcie i znaczenie tzw. łańcucha wartości gospodarki wodorowej i poszczególnych jego elementów

[Wróć do pierwszego slajdu](#)



## Łańcuch wartości gospodarki wodorowej

*Gospodarka wodorowa to łańcuch wartości związany z wytwarzaniem, przesyłem, magazynowaniem i zastosowaniem wodoru we wszystkich obszarach aktywności człowieka, w szczególności w głównych działach gospodarki – transporcie, energetyce, ciepłownictwie, a przede wszystkim w przemyśle.*

Strona www MKiŚ - <https://www.gov.pl/web/klimat/gospodarka-wodorowa>

Rosnące zainteresowanie z uwagi na pojawiającą się świadomość niszczącej dla środowiska aktywności człowieka i szoki naftowe – lata 70 XX w.

J.O.'M. Bockris, *A hydrogen economy*, Science, 179 (1972), p. 1323

Veziroglu TN, editor. *Hydrogen energy*, Parts A and B. Proceedings Hydrogen Economy Miami Energy Conference (THEME). New York: Plenum Press, 1975.

Veziroglu TN, Seifritz W, editors. Hydrogen energy progress (4 vols.). Proceedings of the Second WHEC. Oxford: Pergamon Press, 1979.

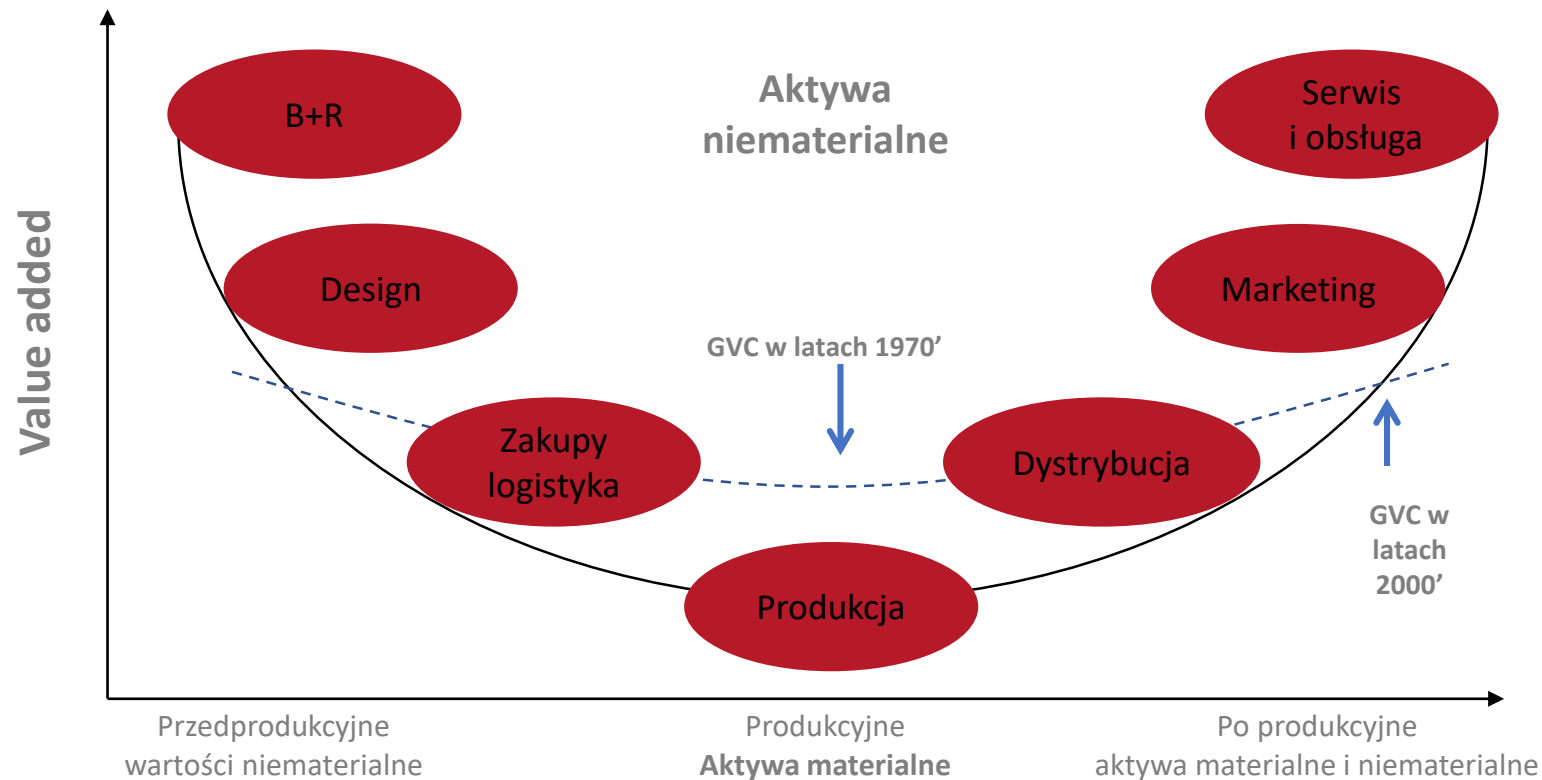
Apollo 11 napędzany skroplonym wodorem w 1969 r.





## Łańcuch wartości a aktywa niematerialne

- Tzw. krzywa uśmiechu ilustruje specjalizację nie w przekroju sektora, ale funkcji w łańcuchu wartości dostarczanej dla klienta,
- Opisuje podział funkcji produkcyjnych (wyodrębnienie najbardziej kosztownych) i ich rozlokowanie u poszczególnych dostawców
- Wskazuje na obszary wysokomarżowe

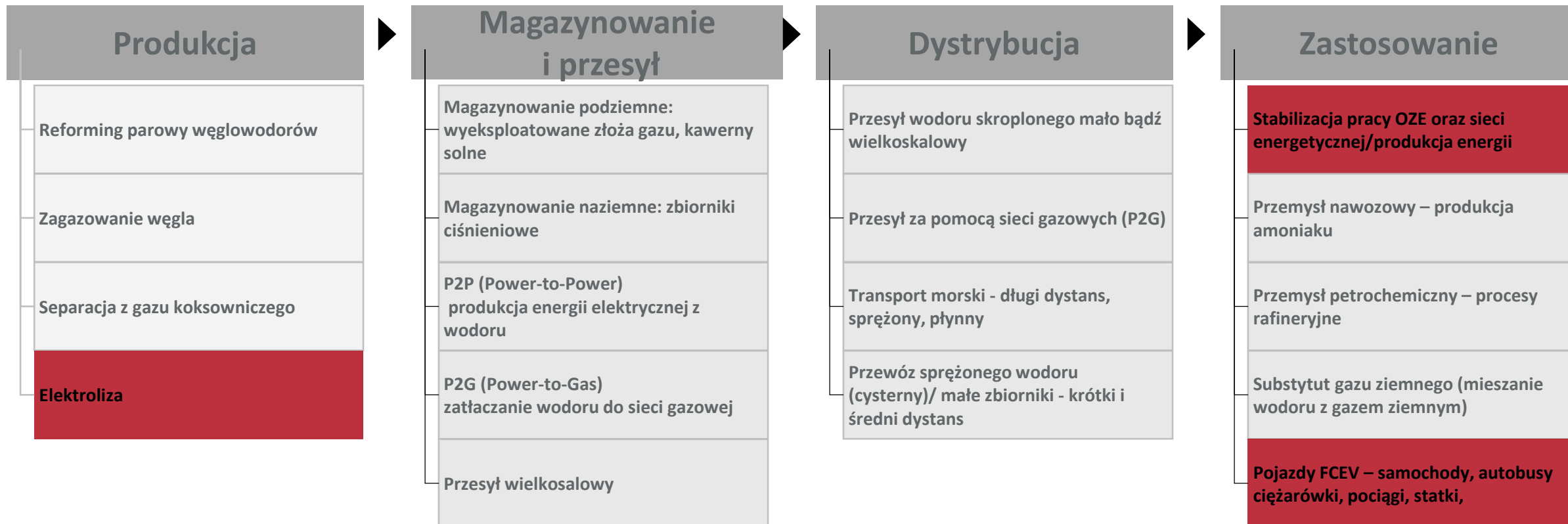


### Sekwencja procesów/działań produkcyjnych/rynkowych

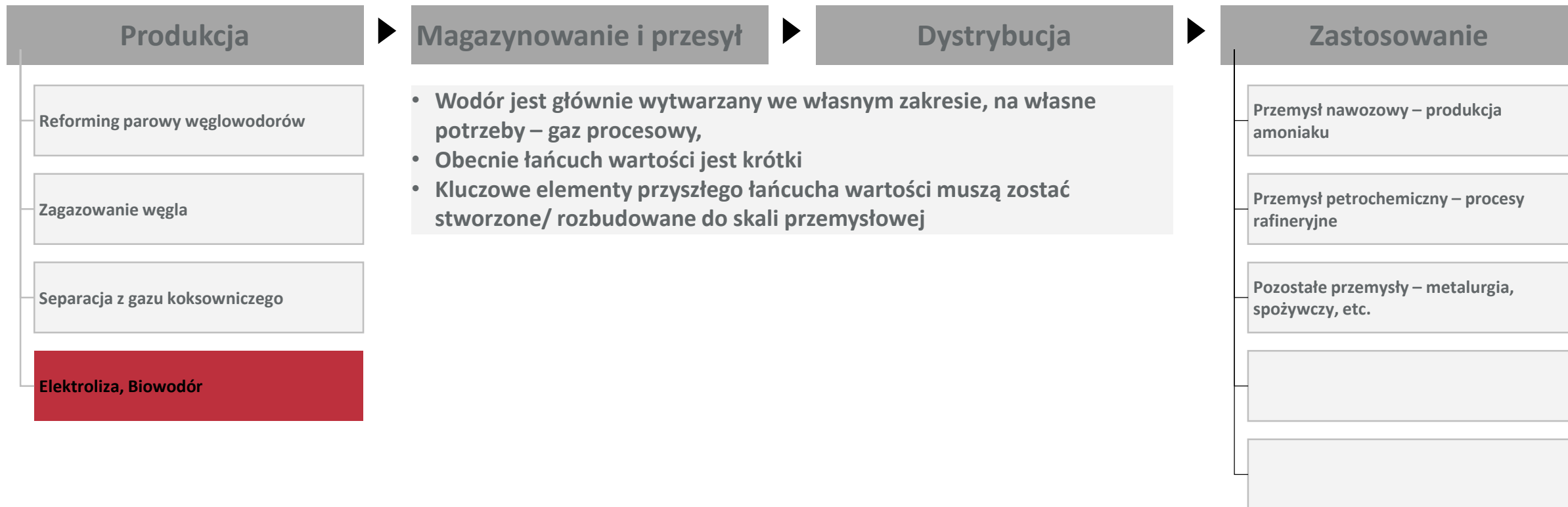
Źródło: OECD (2013), "Interconnected Economies: Benefiting from Global Value Chains", Paris



# Łańcuch wartości gospodarki wodorowej – docelowy



# Łańcuch wartości gospodarki wodorowej - obecny



# 3. Możliwości rozwoju różnych metod produkcji wodoru, z uwzględnieniem sektora MŚP

[Wróć do pierwszego slajdu](#)

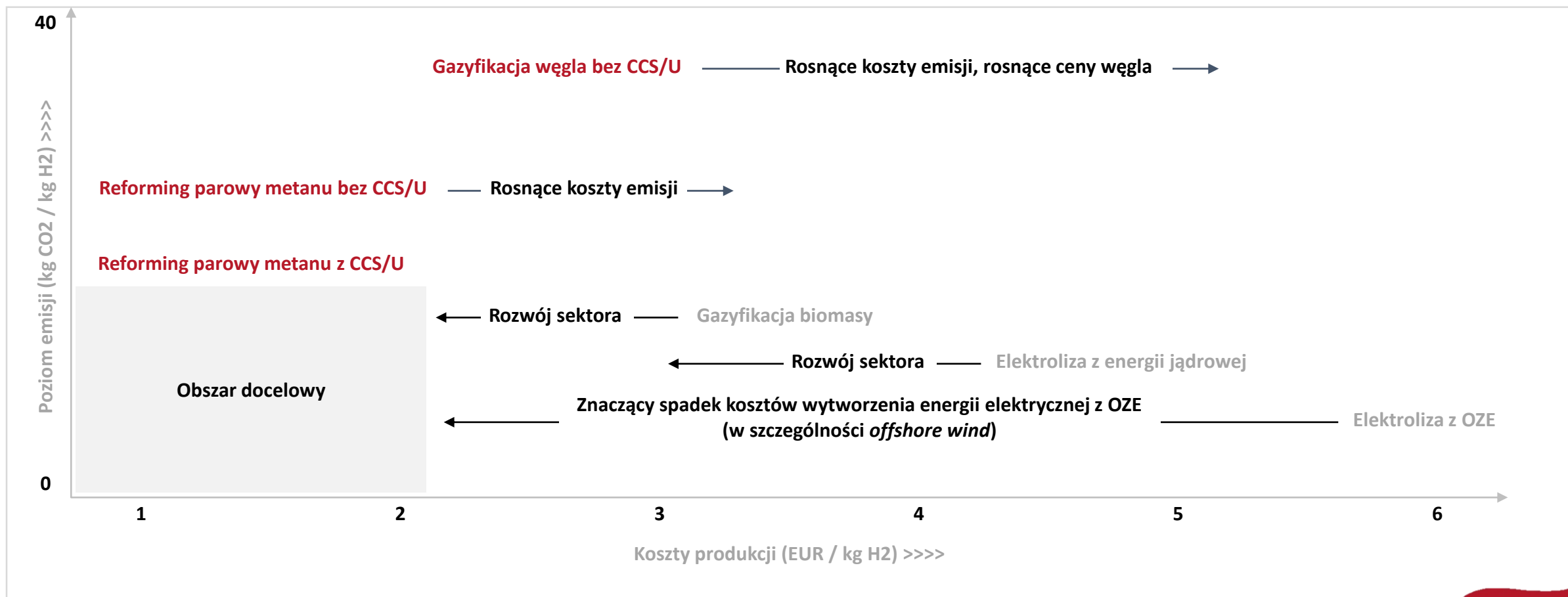


## Produkcja wodoru

- Produkcja z paliw kopalnych – czyste technologie węglowe, CCS, CCSU.
- Produkcja z elektrolizy - elektrolizery, modele produkcji on-site, doliny wodorowe.
- Produkcja wodoru z biomasy.
- Produkcja wodoru z odpadów.
- Pozostałe metody o niskim poziomie TRL.



# Metody i koszty produkcji wodoru





Źródło: Kupecki i inni, 2021






# Strategie narodowe H2 a źródła pozyskania wodoru

## Wodór szary

**Główne sposoby produkcji**





-  Steam Methane Reforming (SMR)
-  Gazyfikacja węgla

**Characteristics**

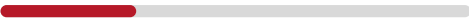


- Emisja CO2 
- Koszt 
- Akceptacja społeczna 

## Wodór niebieski

**Główne sposoby produkcji**



-  +  SMR + CCS
-  +  Gazyfikacja węgla+ CCS

**Characteristics**




- Emisja CO2 
- Koszt 
- Akceptacja społeczna 

## Wodór zielony

**Główne sposoby produkcji**

-  +  Elektroliza z wykorzystaniem OZE

**Characteristics**

- Emisja CO2 
- Koszt 
- Akceptacja społeczna 

**Do 2030 r. tylko nieliczne kraje deklarują odejście od wodoru szarego (ES, UA, CH)**

Pozostałe kraje zamierzają wykorzystywać paliwa kopalne do produkcji wodoru szarego do 2030

Zielony wodór jest postrzegany jako metoda pozyskania H2 w 2030 r. oprócz – NO, JP, KR

W roku 2050 we FR, UK, NO, RU, JP, KR, CN, AU wciąż będzie wykorzystywany niebieski wodór

**Wodór zielony a wodór 5X9; 5,0 = 99,999%**

Źródło: World Energy Council, New hydrogen economy – hope or hype?, Innovation Insights Brief 2019



# Produkcja wodoru

Technologia	Rys historyczny, analiza dostępnych produktów i technologii	Kluczowi gracze rynkowi	Analiza trendów rozwojowych
Elektroliza	<ul style="list-style-type: none"> <li>Technologie: alkaliczne (ALK), stałotlenkowe (SOE), wysokotemperaturowe (PEM)</li> <li>Tendencja spadkowa dla kosztów CAPEX i OPEX elektrolizerów</li> <li>Kluczowy rozwój sprawności energetycznej oraz ciśnień wyjściowych</li> <li><b>Trwałość ogniw</b></li> <li><b>Krytyczne surowce i zasoby</b></li> <li><b>Integracja z innymi elementami systemu</b></li> </ul>	McPhy, ITM, NEL, Siemens, GE, Toyota, Ballard, Instytut Energetyki	<p>Usprawnienia technologiczne – redukcja zużycia energii pierwotnej, wyższe ciśnienia wyjściowe</p> <p>Niższe koszty CAPEX i OPEX – głównie efekt skali</p>
Reforming (CCSU)	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Reforming parowy metanu jest globalnie wiodącą metodą produkcji wodoru szarego (przemysłowego)</b></li> <li><b>Technologia CCSU jest na etapie wczesnej komercjalizacji, konieczna dla rozwoju produkcji niebieskiego wodoru</b></li> <li><b>Kluczowa jest jak najwyższa sprawność procesu wychwytu CO2 oraz ekologiczne metody składowania</b></li> <li><b>Możliwość wykorzystania podziemnych struktur geologicznych, produkcja syngas</b></li> </ul>	Potencjalnie odbiorcy to w praktyce wszystkie firmy wykorzystujące reforming w procesach przemysłowych – reforming jest powszechnie wykorzystywany w przemyśle chemicznym, rafineryjnym, spożywczym. W zakresie CCSU trudno wskazać globalnych graczy, gdyż można wskazać kilka tego typu instalacji na świecie – brak rynku.	<p>Rozwój technologii CCSU, Usprawnienie technologiczne – maksymalizacja wychwytu CO2 z procesów przemysłowych</p> <p>Redukcja kosztów CAPEX i OPEX dla CCSU – głównie efekt skali</p> <p>Przejście z produkcji wodoru szarego na niebieski</p>
Biogaz	<ul style="list-style-type: none"> <li>Procesy produkcji biogazu z biomasy oraz dalsza produkcja wodoru z wykorzystaniem reformingu to metody opanowane technologicznie</li> <li>Rozwiązania komercyjne w praktyce nie istnieją ze względu na brak otoczenia regulacyjnego i finansowego dla biogazowni, a także wodoru</li> </ul>	Brak istotnego rynku – brak projektów – brak skali – brak kluczowych graczy. Potencjalni kluczowi gracze mogą być związani z sektorem rolniczym, leśnym, spożywczym.	Biogaz i biometan są ważnymi elementami polityki Green Deal ze stale pojawiającymi się nowymi regulacjami oraz systemami wsparcia, co stwarza szansę także na produkcję wodoru z wykorzystaniem tych gazów





## Wnioski dla MŚP

Możliwości zaistnienia sektora MSP w obszarze produkcji wodoru można rozważać w dwóch wymiarach:

1. W zakresie dostaw usług i komponentów do urządzeń produkujących wodór (metody tradycyjne wykorzystujące węglowodory – wysoce konkurencyjne i schyłkowe; metody nowe – rozwój wymaga know-how, aktywności i szerokiej współpracy B+R.
2. W zakresie produkcji wodoru.
  - 2a. W małej ilości na potrzeby własne – 1 MW elektrolizer to ok 300-400 kg wodoru przy pełnym obciążeniu urządzenia – żeby go zasilić energią z PV potrzebna jest instalacja PV o mocy ok 7-10 MW.
  - 2b. W małej ilości na rynek – np. na potrzeby lokalnej stacji paliw.
    - Preferowana jest metoda - elektroliza zasilana z OZE.
    - Rozwój biogazu i biowodoru uzależniony od lokalnej dostępności surowca/substratu.
    - Obie powyższe metody są powiązane z lokalnym wytwarzaniem energii - mają potencjał do promocji tzw. local content.



## 4. Możliwości rozwoju magazynowania wodoru, z uwzględnieniem sektora MŚP

[Wróć do pierwszego slajdu](#)



## Magazynowanie wodoru

- Wodór to najpowszechniej występujący pierwiastek, charakteryzujący się wysoką **gęstością grawimetryczną i jednocześnie niską gęstością objętościową**.
- Przekłada się na eksploatację bardzo dużych powierzchni dla magazynowania wodoru w warunkach pokojowych (w pokojowym ciśnieniu oraz temperaturze).
- **Gęstość objętościowa wodoru gazowego przy ciśnieniu atmosferycznym otoczenia wynosi ok. 0,09 kg/m<sup>3</sup>.**
- Sprężenie do poziomu **350 bar powoduje wzrost gęstości objętościowej do wartości 23 kg/m<sup>3</sup>.**
- **Sprężanie do poziomu 700 bar generuje dalszy wzrost gęstości objętościowej do wartości 41 kg/m<sup>3</sup>,** co pozwala na zgromadzenie 5 kg wodoru w 125 litrowym zbiorniku paliwowym.
- Zbiornik ok 300 litrów pozwala na osiągnięcie wyniku ok 13-15 kg wodoru przy ciśnieniu 700 bar.
- Proces sprężania wodoru z poziomu 20 bar (ciśnienie wyjściowe z elektrolizera lub reformera) do ciśnienia 700 bar wymaga do kilku kWh energii elektrycznej na każdy 1 kg wodoru. Konsumpcja energii w przypadku metody sprężania powoduje utratę energii pierwotnej wodoru na poziomie około do ok. 10-15 %.
- **Wodór skroplony - wysoka objętościowa gęstość energii na poziomie 71 kg/m<sup>3</sup> przy ciśnieniu otoczenia 1 bar.** Wartość ta jest prawie dwukrotnie większa niż w przypadku wodoru sprężonego do ciśnienia 700 bar.

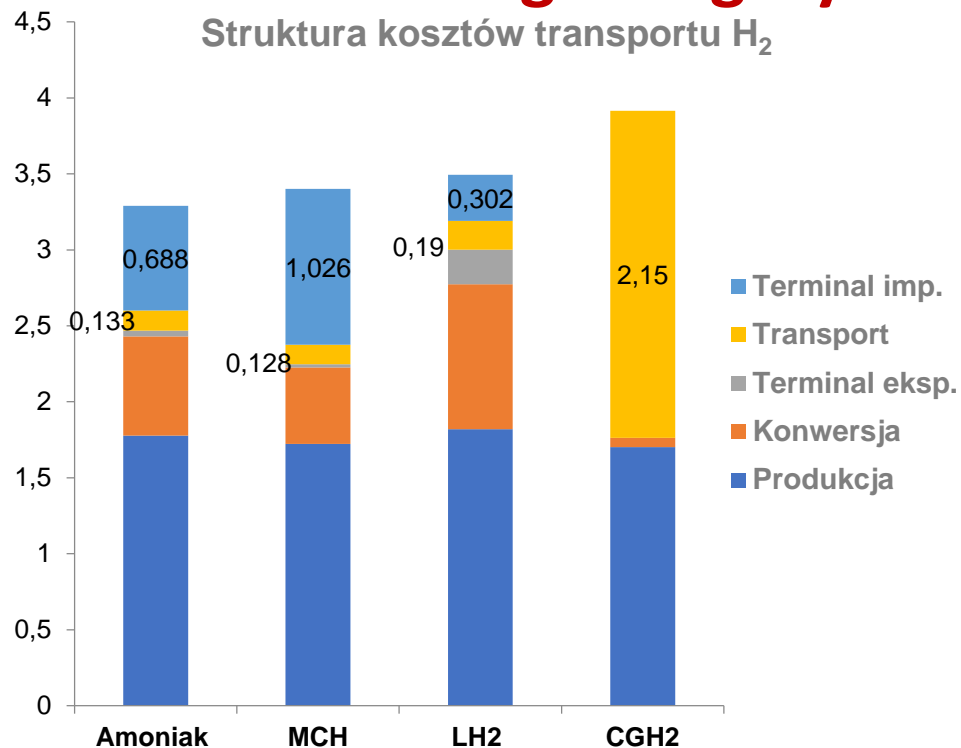


# Magazynowanie wodoru

- Wodór sprężony (CH<sub>2</sub>) – metoda małoskalowa - zbiorniki wysokociśnieniowe, kompozytowe, biodegradowalne.
- Zbiorniki wielkoskalowe – kawerny solne.
- Wodór skroplony (LH<sub>2</sub>) - metoda mała i wielkoskalowa - wyzwaniem energochłonność procesu, egzergia, *boil – off*.
- Amoniak - metoda wielkoskalowa.
- Wodór wiązany organicznie – LOHC - metoda wielkoskalowa.
- Produkcja paliw syntetycznych.
- Wodór jako magazyn energii - modele biznesowe.



## Modele wielkoskalowego magazynowania/przesyłu wodoru



Oszacowanie kosztów transportu 700 000 ton H<sub>2</sub> na dystansie Brazylia-Holandia

**Transport gazociągami** – relatywnie najtańszy na odległościach do kilku tys. km. Atrakcyjny również dla krótkiego dystansu, ale dużego wolumenu.

**LH<sub>2</sub>**: wymagane duże nakłady na skroplenie, przygotowanie i ekspedycję, ale relatywnie niski koszt transportu i ubezpieczenia. Minimalny koszt odbioru po stronie importu na dystansach > 1 000 km

**MCH**: niewielki koszt przygotowania ładunku, ale wysoki dla transportu i przyjęcia ładunku na dystansach > 1 000 km

**Amoniak**: duże koszty przygotowania po stronie eksportera i odbioru po stronie importera, niedrogi transport na dystansach > 1 000 km



# Modele wielkoskalowego magazynowania/przesyłu wodoru

## Wodór ciekły (LH<sub>2</sub>)

## Metylocykloheksan (MCH)

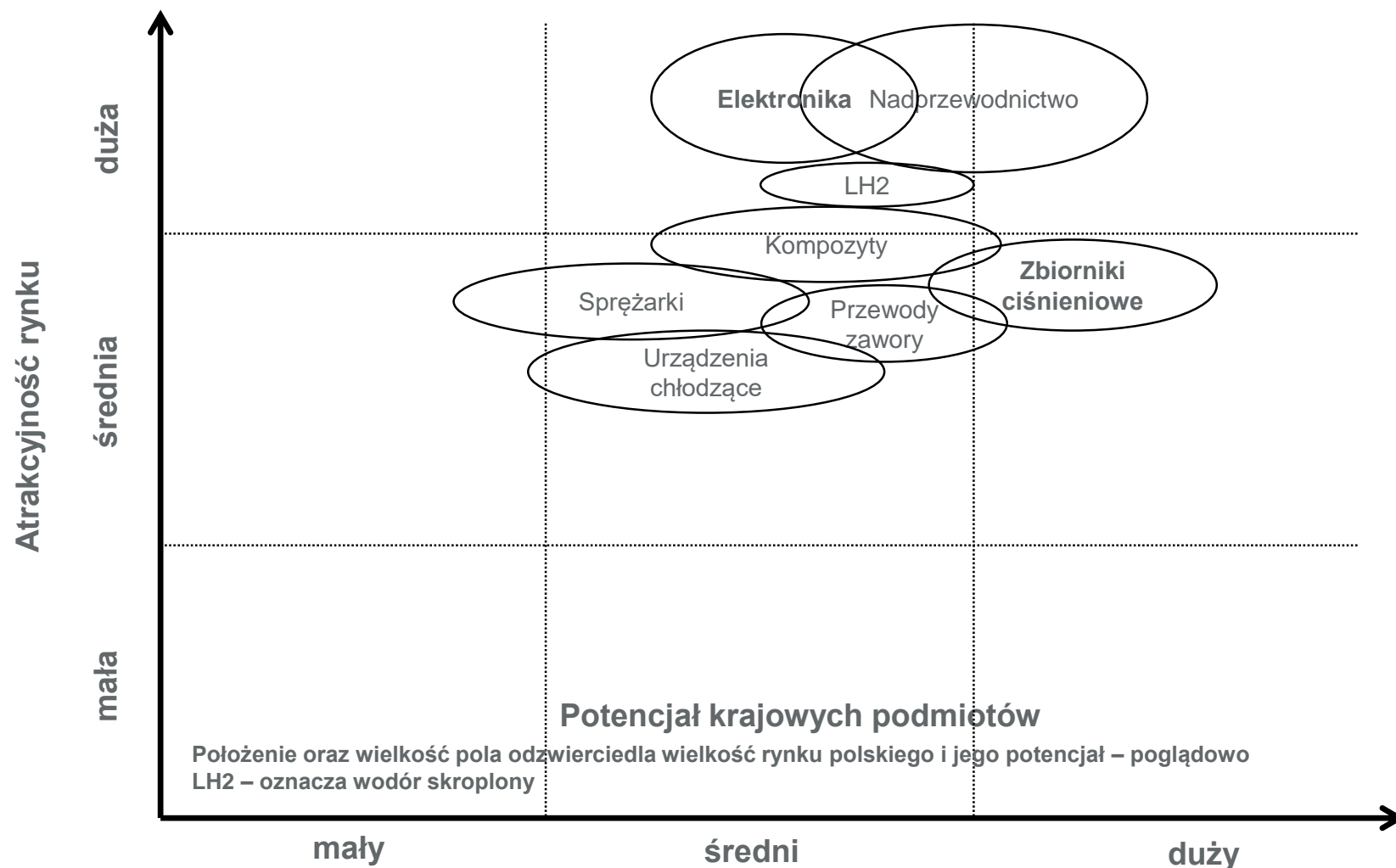
## Amoniak (NH<sub>3</sub>)

	Wodór ciekły (LH <sub>2</sub> )	Metylocykloheksan (MCH)	Amoniak (NH <sub>3</sub> )
Wyzwania	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wymaga bardzo niskich temperatur (ok. -253 °C)</li> <li>Proces skraplania wodoru wymaga dużych nakładów energii elektrycznej - 10-13kWh - ok. 30% energii wytworzonego H<sub>2</sub></li> <li>Wymaga technologii kontroli ulatniania się oparów gazu (do 1 % na dobę przy transporcie drogowym) – <i>boil off</i></li> <li>Ryzyko wycieku/rozszerzenia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Uwodornienie toulenu do Metylocykloheksanu</li> <li>Wymaga wysokich temperatur oraz silnego źródła ciepła do dehydrogenacji/ odwodornienia (powyżej 300°C)</li> <li>Energia potrzebna do procesu dehydrogenacji odpowiada ok. 30% całkowitej energii H<sub>2</sub> zgromadzonej w MCH</li> <li>Ograniczona liczba cykli/ trwałość – ok 3% utrata właściwości wiążących toulenu po 1 cyklu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Niższa reaktywność w stosunku do węglowodorów</li> <li>Wymaga przetworzenia z powodu toksyczności i ostrego zapachu</li> <li>Konsumuje dużą ilość energii w przypadku wykorzystania dehydrogenacji (ok. 13% energii zgromadzonej w H<sub>2</sub>) oraz oczyszczania</li> </ul>
Zalety	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wysoka czystość</li> <li>Nie wymaga „odwodorniania” i oczyszczania</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Może być transportowany w postaci płynnej bez potrzeby chłodzenia (minimalna utrata w transporcie)</li> <li>Istniejąca technologia magazynowania</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Możliwe bezpośrednie wykorzystanie</li> <li>Istniejąca infrastruktura i regulacje</li> </ul>
Dojrzałość technologiczna	<ul style="list-style-type: none"> <li>Trwają prace nad rozwojem infrastruktury rozwiązań na dużą skalę</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Etap demonstracyjny technologii</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Etap badań i rozwoju</li> <li>Częściowo dostępny rozwiązania demonstracyjne</li> </ul>
Wymagane czynniki do rozwoju	<ul style="list-style-type: none"> <li>Regulacja systemów ładowania i rozładowania</li> <li>Rozwój ogni w wykorzystujących H<sub>2</sub></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Katalizatory do hydrogenacji (uwodorniania) oraz dehydrogenacji (odwodornienia)</li> <li>Efektywny energetycznie proces dehydrogenacji</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wysoka efektywność energetyczna w syntezie</li> <li>Ogniwa paliwowe zasilane bezpośrednio amoniakiem</li> </ul>

# Magazynowanie – kierunki rozwoju dla MŚP

Technologia	Rys historyczny, analiza dostępnych produktów i technologii	Kluczowi gracze rynkowi	Analiza trendów rozwojowych
Ciśnieniowe i kriogeniczne	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zbiorniki ciśnieniowe Typ 1 – 4 dostępne na rynku, pojawiają się nowe rozwiązania 4+</li> <li>Zbiorniki kriogeniczne – etap wczesnej komercjalizacji, rozwój składu materiałowego zbiorników dla mniejszego boil-off oraz utrzymania niskiej temperatury</li> </ul>	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"> <li><b>Wykorzystanie podziemnych struktur geologicznych wykorzystywanych wcześniej w sektorze paliwowym i gazowym, ze szczególnym uwzględnieniem kawern solnych</b></li> </ul>	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"> <li>Amoniak i metanol jak dobre magazyny wodoru – opanowane łańcuchy dostaw</li> <li>LOHC – jako metoda rozwijająca się</li> <li>Wodorki metali – metody na etapie badawczym o dużym potencjale magazynowania wodoru (duża gęstość energetyczna)</li> </ul>	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.

## Magazynowanie: analiza portfelowa - tzw. macierz GE/Mckinseya





## 5. Możliwości metod przesyłu i dystrybucji wodoru, z uwzględnieniem sektora MŚP

[Wróć do pierwszego slajdu](#)



## Przesył i dystrybucja - główne trendy

- Dostosowanie sieci gazowniczej (przesył, dystrybucja) do wodoru – gazociągi dedykowane vs retrofitting.
- Infrastruktura zasilania wodorem dla pojazdów.
- Paliwa syntetyczne - moniak, metanol, LOHC.



## Przesył i dystrybucja – koszty

- **Metoda i koszty transportu wodoru** są związane ze skalą rynku wodorowego (roczny wolumen produkcji, zagęszczenie rynków zbytu), im większa skala tym niższe jednostkowe koszty transportu wodoru.
- **Szczegółowa kalkulacja kosztów transportu dla rynku polskiego wymaga wsadu konkretnych danych dla wybranego business case study** (koszty transportu wodoru przy wczesnym stadium rozwoju rynku są mocno zróżnicowane w zależności od wielkości inwestycji i jej otoczenia infrastrukturalnego).
- We wczesnych fazach rozwoju rynku wodorowego najbardziej opłacalny będzie transport **wodoru gazowego za pomocą cystern** (małe wolumeny produkcji, krótkie dystanse poniżej 200-300 km).
- W kolejnych bardziej dojrzałych fazach rozwoju rynku pozytywną ekonomikę zyskiwać będą: **transport wodoru skroplonego za pomocą cystern** (średnie wolumeny produkcji, dystans 300 – 500 km, w ramach kilku województw) oraz **transport rurociągowy wodory sprężonego** (duże wolumeny, średni i duży dystans od 300 km, w ramach kilku województw lub transgranicznie).
- **Transport morski wodoru jest obecnie około 6 razy droższy od transportu LNG**, dla optymalizacji kosztowej niezbędne jest wygenerowanie efektów skali. Dla obsługi wymiany handlowej wodoru Polska potrzebować będzie terminala wodorowego (na wzór terminala LNG), istnieją możliwości technologiczne obsługi dostaw LNG i wodoru w ramach jednego gazportu.



# Przesył i dystrybucja – poszukiwanie możliwości dla MŚP

Technologia	Rys historyczny, analiza dostępnych produktów i technologii	Kluczowi gracze rynkowi	Analiza trendów rozwojowych
Lądowy	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zbiorniki ciśnieniowe, kriogeniczne lub zwykłe stalowe – technologie zbliżone lub te same co na etapie magazynowania, do transportu na krótki dystans najczęściej wykorzystywane cysterny</li> </ul>	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"> <li><b>Amoniak, metanol, LOHC, kriogenika – pierwsze projekty na świecie w Japonii, technologie we wczesnym etapie komercjalizacji, dużo podobieństw do łańcucha dostaw LNG</b></li> </ul>	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"> <li>Rurociągi dedykowane – 100% wodoru</li> <li>Rurociągi gazowe dostosowane (retrofitting) – kilka/kilkadziesiąt % wodoru w zależności od państwa,</li> <li>transport biometanu w rurociągach gazowych</li> <li>Infrastruktura <i>hydrogen ready</i></li> </ul>	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 <sub>2</sub> , zatłaczanie biometanu



## 6. Możliwości zastosowanie wodoru, z uwzględnieniem sektora MŚP

[Wróć do pierwszego slajdu](#)



## Zastosowanie wodoru

- Technologie przejściowe – gazownictwo jako element pośredni do „wodornictwa” - turbiny, zespoły mogące wykorzystywać gaz i wodór.
- Wodór w ciepłownictwie i energetyce – małe, średnie i duże urządzenia kogeneracyjne.
- Wodór jako uniwersalny nośnik energii w procesach przemysłowych, substytut gazu ziemnego i innych paliw kopalnych.
- Wodór w mobilności – różna gama zastosowań.



# Zastosowanie wodoru

Technologia	Rys historyczny, analiza dostępnych produktów i technologii	Kluczowi gracze rynkowi	Analiza trendów rozwojowych
Energetyka i ciepłownictwo	<ul style="list-style-type: none"><li>Wodór służył dotychczas jedynie jako czynnik chłodzący, istnieją dostępne turbiny gazowe zdolne do spalania dużych domieszek wodoru z gazem ziemnym, docelowo zamiast turbin CHP/CCGT mogą być wykorzystywane ogniwa paliwowe</li></ul>	Siemens, GE, Mitsubishi Hitachi, po stronie odbiorców technologii trudno wskazać głównych graczy, gdyż brakuje komercyjnych instalacji, docelowo głównymi graczami będą duże spółki energetyczne typu: RWE, PGE, CEZ, Shell, lokalne ciepłownie	<b>Zwiększanie zdolności turbin gazowych do współspalania domieszek wodoru w dużych ilościach, usprawnienie procesów spalania mieszanki gazowo – wodorowej,</b>
Mobilność	<ul style="list-style-type: none"><li>Pojazdy koncepcyjne już na przełomie XX i XXI w., pojazdy wodorowe są oferowane w transporcie osobowym, jak i zbiorowym oraz ciężkim. Stosowane technologie to ogniwo paliwowe, akumulatory, silnik elektryczny</li></ul>	Firmy motoryzacyjne – Toyota, Hyundai, BMW, Solaris, Van Hool odbiorcy technologii np. przewoźnicy miejscy, floty firmowe,	<b>Stosowanie bardziej zaawansowanych zbiorników na wodór, zwiększenie ciśnienia zbiorników na wodór, zwiększanie zasięgu, redukcja kosztu zakupu pojazdu – efekt skali,</b>
Przemysł ciężki	<ul style="list-style-type: none"><li>Wodór dotychczas stosowany jako substrat reakcji przemysłowych lub odpad, wodór szary powszechnie występuje z docelowym przejściem na wodór niebieski i dalej zielony</li></ul>	Duże spółki przemysłowe – stalowe, chemiczne, hutnicze, rafinerie m.in. Thyssenkrup, Shell, Tata Steel, Azoty, DOW Chemical,	<b>Wodór jako uniwersalny nośnik energii w procesach przemysłowych, substytut gazu ziemnego i innych paliw kopalnych, wykorzystanie wodoru zielonego i niebieskiego w procesach przemysłowych trudnych do elektryfikacji</b>

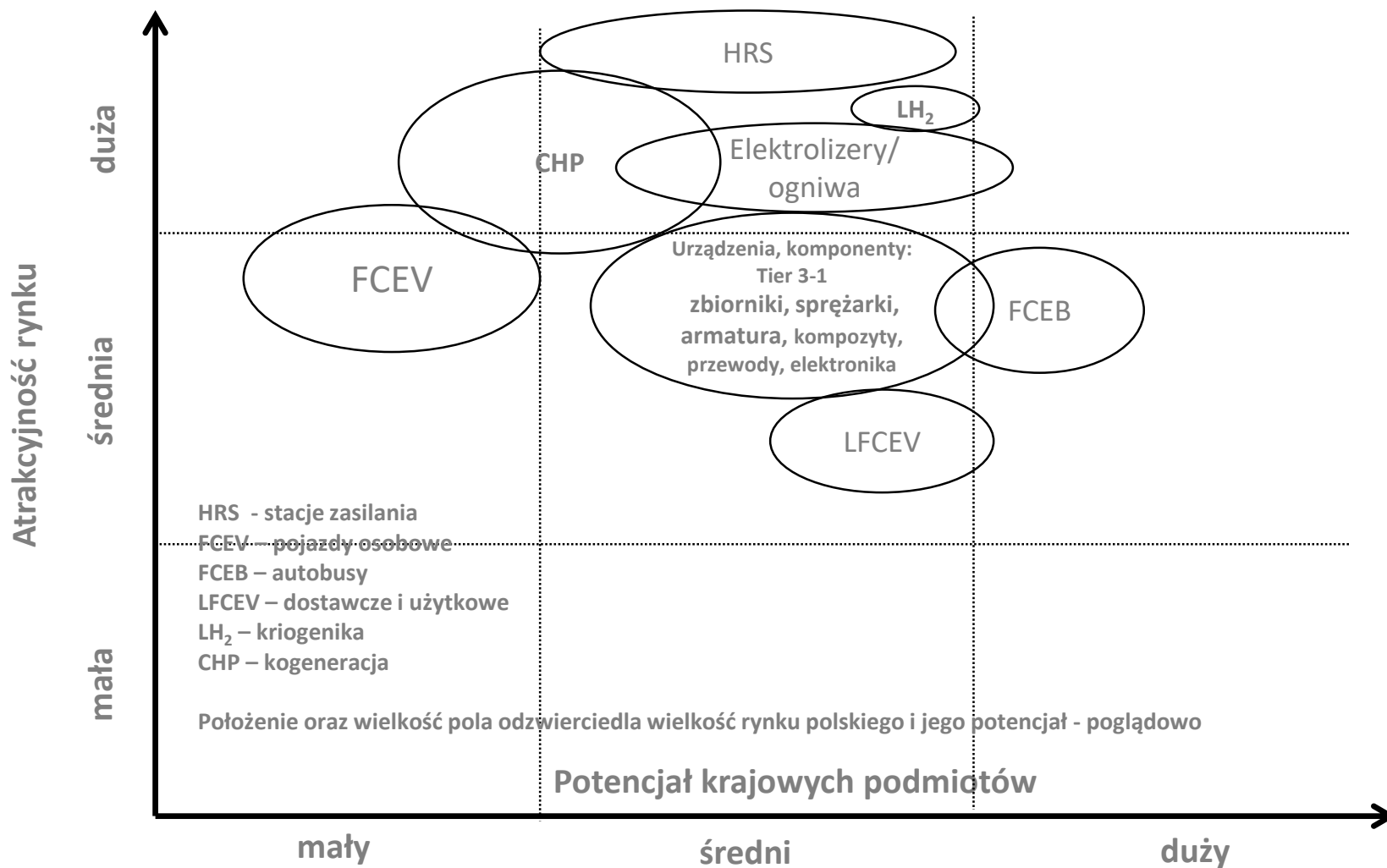
## Zastosowanie wodoru – wnioski dla MŚP

- Gromadzenie wiedzy i know how nt. różnorodnych technologii i rozwiązań, które będą wykorzystywane w procesie osiągnięcia neutralności klimatycznej.
- Budowa zdolności w zakresie rozwoju OZE.
- Budowa kompetencji w zakresie projektowania urządzeń, komponentów i systemów wodorowych.
- Budowa kompetencji B+R.
- Współpraca z dużymi podmiotami krajowymi i zagranicznymi.
- Współpraca w ramach inicjatyw lokalnych – w tym w ramach dolin wodorowych.
- Produkcja komponentów i urządzeń na poziomie tzw. Tier 2, Tier 1.
- Projektowanie rozwiązań w zakresie gospodarki wodorowej.
- Projektowanie rozwiązań w zakresie rozwiązań IT, monitorowania i bezpieczeństwa.
- Wdrażanie rozwiązań wodorowych w celu redukcji emisji.





## Analiza portfelowa - tzw. macierz GE/Mckinseya – wybrane produkty



## Szacowanie elementów łańcucha wartości – oczekiwany poziom ok. 2025-2030 roku

lp	Element łańcucha/koszt w EUR/USD	Przesył gazociągami	LH <sub>2</sub>	LOHC	NH <sub>3</sub>	Produkcja <i>on-site</i> H <sub>2</sub> z OZE	
1.	Koszt pozyskania H <sub>2</sub> 5.0 na rynku globalnym/lokalnym (on-site)	2	2	2	2	4-6	2
2.	Lokalne magazynowanie*	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5- 1,0	
3.	Konwersja/Skroplenie	-	1	0,5	0,65	-	1- 2
4.	Przygotowanie, ekspedycja, transport	-	0,6	0,2	0,2	-	
5.	Odbiór po stronie importera	-	0,3	1	0,7	-	
6.	Koszt przesyłu CGH <sub>2</sub>	0,5-1,0	-	-	-	-	
7.	Cena „na granicy”	2,5-3,0	3,9-5,0	3,7-4,5	3,55 - 4,0	-	
8.	Magazynowanie*	Średnio 1,0; H <sub>2</sub> sprężonego - 0,2-1,0, H <sub>2</sub> skroplonego -1,0-2,0					
9.	Transport ciężarówkami*	Średnio 1,5; H <sub>2</sub> sprężonego – 1,0, H <sub>2</sub> skroplonego -2,0					
10	Dystrybucja gazociągami *	0,5-1,0					
11	Dystrybucja na stacji H <sub>2</sub>	2	2	2	2	2	2
12	Koszt H <sub>2</sub> na stacji zasilania (suma kosztów z pominięciem kategorii oznaczonych*)	4,5-5,0	5,9-7,0	5,7-6,5	5,55-6,0	6,0-8,0	6
13	Koszt na stacji w uwzględnieniu pozycji 12 +2+8+9v10 (średnio ok 1,5 euro)	6,0-6,5	7,4-8,5	7,2-8,0	7,05-7,5	8,5-10,5	8



**Dziękuję za uwagę**



dr hab. Grzegorz Tchorek

**Kontakt**

tel.: +48 695 731 465

e-mail: [Tchorek@wz.uw.edu.pl](mailto:Tchorek@wz.uw.edu.pl)

