



instrat

Nowy wspaniały (wodorowy) świat

Cudowne paliwo czy para w gwizdek?

Krótki przewodnik po wodorowej przyszłości Polski

Wojciech Żelisko

Analitik w Programie Energia i Klimat

Fundacja Instrat, 24.05.2023

Agenda

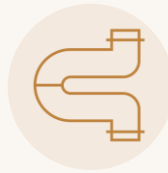


1



**Zastosowania
wodoru**

2



**Infrastruktura
wodorowa**

3



Koszty wodoru

4

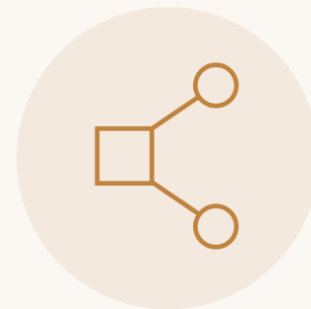


Podsumowanie

01

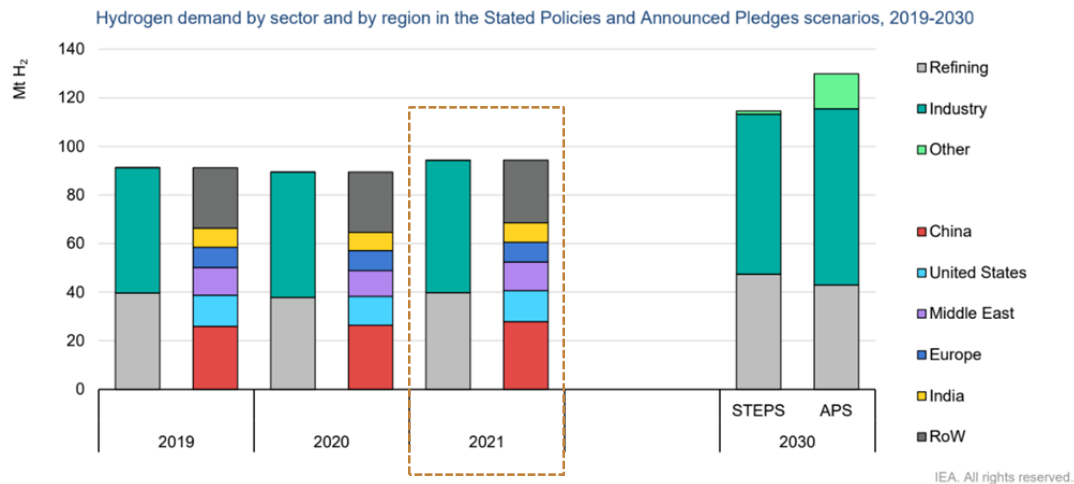


Zastosowania
wodoru



Gaz ściśle przemysłowy

Globalne wykorzystanie wodoru



Notes: Mt H₂ = million tonnes of hydrogen; STEPS = Stated Policies Scenario; APS = Announced Pledges Scenario. Other includes transport, buildings, power generation sectors and production of hydrogen-derived fuels and hydrogen blending.

Źródło: IEA (2022). Global Hydrogen Review 2022, strona 18.



Zastosowania

Wodoru używa się aktualnie w rafineriach (odsiarczanie, kraking) i przemyśle (amoniak, metanol, DRI)



94 miliony ton

Zużycie wodoru w 2021 r. stanowiło około 0,000000008% zużycia gazu ziemnego na świecie



0,043%

Udział nowych zastosowań wodoru w jego całkowitym zużyciu w 2021 r. – większość w transporcie drogowym

Recepta na „trudne” emisje?

Co wpływa na atrakcyjność użycia wodoru?



Słabość alternatyw

Nie wszystko opłaca się bezpośrednio elektryfikować, a biomasa może być raczej rozwiązaniem uzupełniającym



Możliwość czystej produkcji

Wodór może być wytwarzany z użyciem bezemisyjnej energii z OZE



Ograniczenia

Niewiele energii w jednostce objętości, straty energii przy konwersji oraz „ulotność”



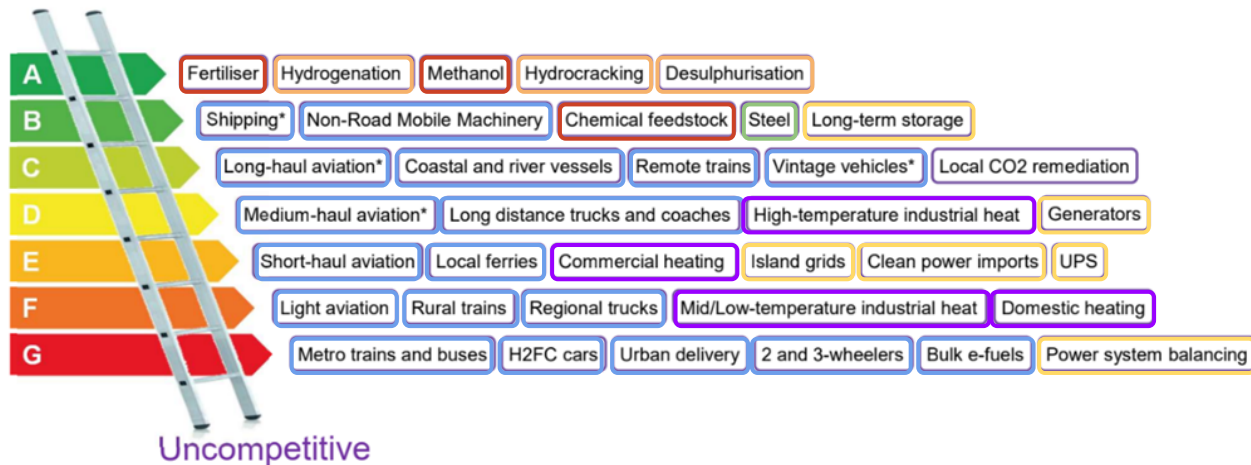
Punkt startowy

Wiele zastosowań wymaga istotnego progresu, stąd potencjalne korzyści redukcji emisji pojawią się nieprędko

Wodór jak scyzoryk

Obiecujące zastosowania

Unavoidable



* Most likely via ammonia or e-fuel rather than H2 gas or liquid

Source: Michael Liebreich/Liebreich Associates, *Clean Hydrogen Ladder, Version 4.1, 2021*. Concept credit: Adrian Hiel, Energy Cities. CC-BY 3.0

Źródło: Michael Liebreich, Clean Hydrogen Ladder (wersja



Perspektywiczne

Obecne aplikacje (rafinerie, chemia, stal), transport wodny i lotniczy długodyst., pojazdy specjalistyczne, długoterminowe magazynowanie energii

Potencjalnie przydatne

Transport lotniczy średnio- i krótkodyst. oraz drogowy długodyst., ciepło przemysłowe wysokotemp. i sieciowe, wydzielone sieci elektroenergetyczne, import energii

Niekonkurencyjne

Transport lekki, ciepło przemysłowe średnio- i niskotemp. i indywidualne, codzienne bilansowanie systemu elektroenergetycznego



Przemysł

- Przemysł chemiczny i rafineryjny priorytetem – wymiana 1:1
- Przemysł stalowy również może skorzystać – wodór jako wsad surowcowy (DRI) lub „ciepło”
- Przemysł cementowy – [problem](#)
- Koszt i emisyjność wodoru a konkurencyjność polskiego przemysłu



Elektroenergetyka

- Długoterminowe magazynowanie energii – brak atrakcyjnych alternatyw
- Krótkoterminowe magazynowanie energii – niska opłacalność (m.in. straty energii, inne rozwiązania)
- Elektrownie gazowe – zmniejszenie emisji poprzez wodór, dalsza rola stabilizatora (jak długo? – emisyjny lock-in)



Ciepłownictwo

- Ciepło sieciowe – koncepcja wodorowych elektrociepłowni i/lub zastąpienie ich wielkoskalowymi pompami ciepła (skala, zasilanie)
- Ciepło indywidualne – jedynie w skrajnych przypadkach (np. wiekowe budynki)
- Ciepło wysokotemperaturowe – uzupełnienie rozwiązań elektrycznych



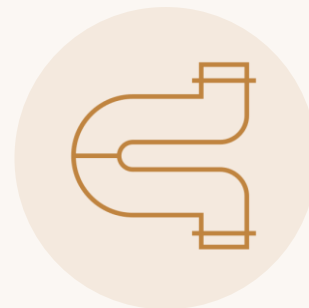
Transport

- Transport lotniczy i oceaniczny (cargo i pasażerski) – *must-have*
- Transport miejski – elektryfikacja to nie problem
- Transport „średni” – gdy kłopotem dystans (loty w UE), ładowność (pojazdy specjalistyczne) lub słaba sieć (lokalne pociągi)
- Transport lekki – pojazdy klasyczne, sportowe i wyścigowe

2



Infrastruktura
wodorowa



Puszka Pandory?

Kwestia magazynowania wodoru

Po co?

- Wodór da się długo przechowywać (np. kilka miesięcy)
- Okresy nadmiarowej produkcji
- Różne wymagania odbiorców (profil zapotrzebowania)
- Przyszłościowo – rozwój handlu wodorem (transport)

Gdzie?

- Zbiorniki ciśnieniowe
- Struktury podziemne
 - Kawerny solne*
 - „Puste” złoża gazu
 - Warstwy wodonośne
 - Kawerny skalne

*wysoki potencjał w Polsce

Obecna sytuacja

- Tylko kawerny solne i zbiorniki ciśnieniowe są w pełni dojrzałą technologią
- Zainteresowanie kawernami solnymi* (najniższe koszty magazynowania)
- Rywalizacja ze składowaniem CO₂ i gazu

Istotne kwestie

- Pojemność (dostępna nie w 100%)
- Czas reakcji
- Liczba cykli (zależna od kosztów magaz.)
- Bezpieczeństwo
- Czas „budowy”
- Zanieczyszczenia

Zamiana magazynów gazu na wodór zmniejszyłaby pojemność magazynową z ponad 2 miesięcy na **około 3 tygodnie**

Źródło: obliczenia własne

Wstrząśnięty, (nie)zmieszany?

Dlaczego transport wodoru jest problematyczny?

Niska gęstość energii

Dwa rozwiązania – ogromna przestrzeń lub konwersja

Sprężanie

- Bardziej energochłonne niż sprężanie gazu ziemnego – koszty i emisje (kompresory napędzane turbinami gazowymi), wymiana urządzeń

Skraplanie

- Niska temperatura skraplania (-253°C vs -162°C dla gazu) – utrzymanie „zimna” (izolacja, energia), co zrobić z odparowanym wodorem? (klimat, paliwo dla statku)

Paliwa syntetyczne

- Amoniak, metanol, LOHC...
- Istotne straty energii
- Bezpośrednie zastosowanie preferowane, lecz nie zawsze możliwe

To nie takie proste

Metody wielkoskalowego transportu wodoru

1

Rurociągi

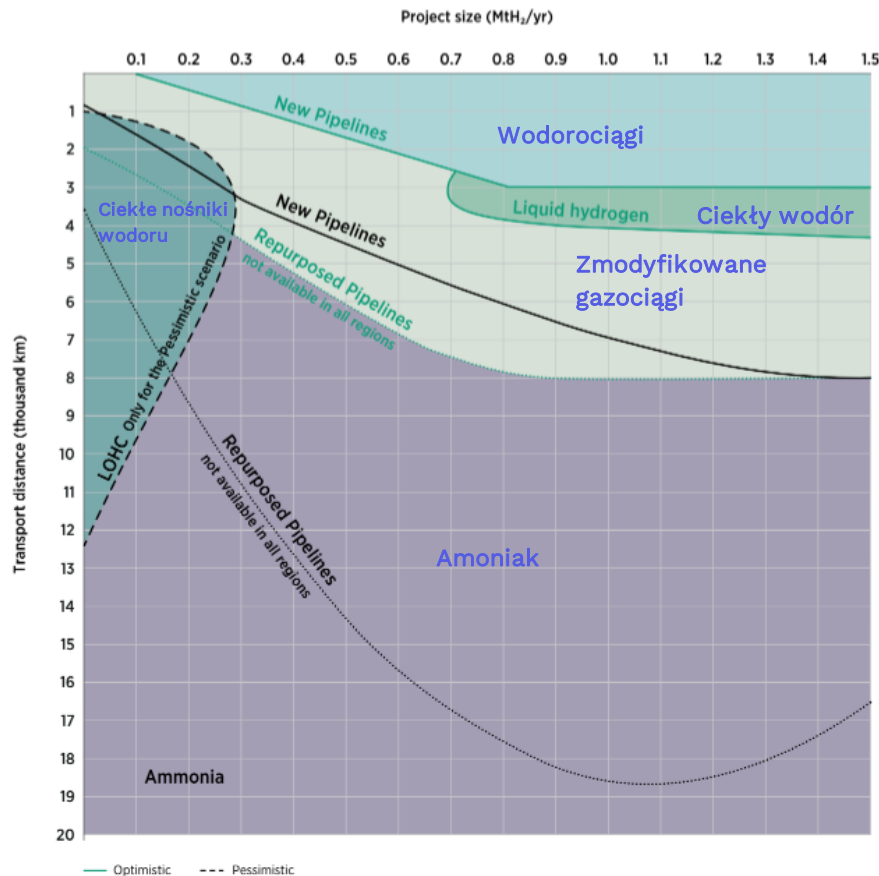
- Istnieje około 2600 km wodorociągów w USA i 2000 km w Europie (prywatne firmy przemysłowe)
- Istniejące gazociągi wymagają modyfikacji strukturalnych i w sposobie eksploatacji
- Preferowane wykorzystanie istniejących gazociągów niż budowa nowych wodorociągów
- Mniejsza zdolność zmodyfikowanych gazociągów do magazynowania wodoru (oraz więcej strat H₂)
- Blending tylko do 20% objętościowo (małe korzyści energetyczne i emisyjne) – różna tolerancja odbiorców końcowych, wzrost cen paliwa
- Ponadto – wycieki wodoru, infrastruktura towarzysząca, geopolityka

2

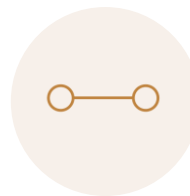
Statki

- Potencjalnie docelowy sposób w przypadku globalnego handlu wodorem (najwcześniej lata 30.); widziany raczej jako ostateczność
- Opcje – ciekły wodór, amoniak, metanol, LOHC
- Nie istnieją jeszcze statki dedykowane transportowi ciekłego wodoru (oraz brak komercyjnych dużych zbiorników, straty)
- Rozwinięty handel amoniakiem – 20 milionów ton, >120 portów (przemysł nawozów sztucznych)
- Gotowość terminali LNG – konwersja technicznym wyzwaniem (wymiana osprzętu, wysokie nakłady na zbiornik o niższej pojemności vs LNG, kompatybilność materiałów), huby dla różnych substancji?

FIGURE 6.8. Lowest-cost pathway for a variable project size and transport distance in 2050, **Optimistic scenario (solid line)** and **Pessimistic scenario (dashed line)**



Notes: Area where liquid hydrogen is attractive disappears in a Pessimistic scenario and LOHC are not attractive in an Optimistic scenario.



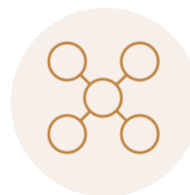
Najtańsza ścieżka? To zależy

Trudno w tej chwili prognozować koszty transportu, na które wpływ mają dystans oraz ilość przewożonego wodoru



Rurociągi i statki

Duże odległości pokrywać może amoniak, natomiast krótkie i średnie zmodyfikowane rurociągi (gdzie możliwe, alternatywą transport intermodalny)



Doliny wodorowe

W celu uniknięcia wysokich kosztów transportu i magazynowania alternatywę może stanowić tworzenie dolin wodorowych

Źródło: IRENA (2022). Global hydrogen trade to meet the 1.5°C climate goal: Part II – Technology review of hydrogen carriers, strona 127.

3



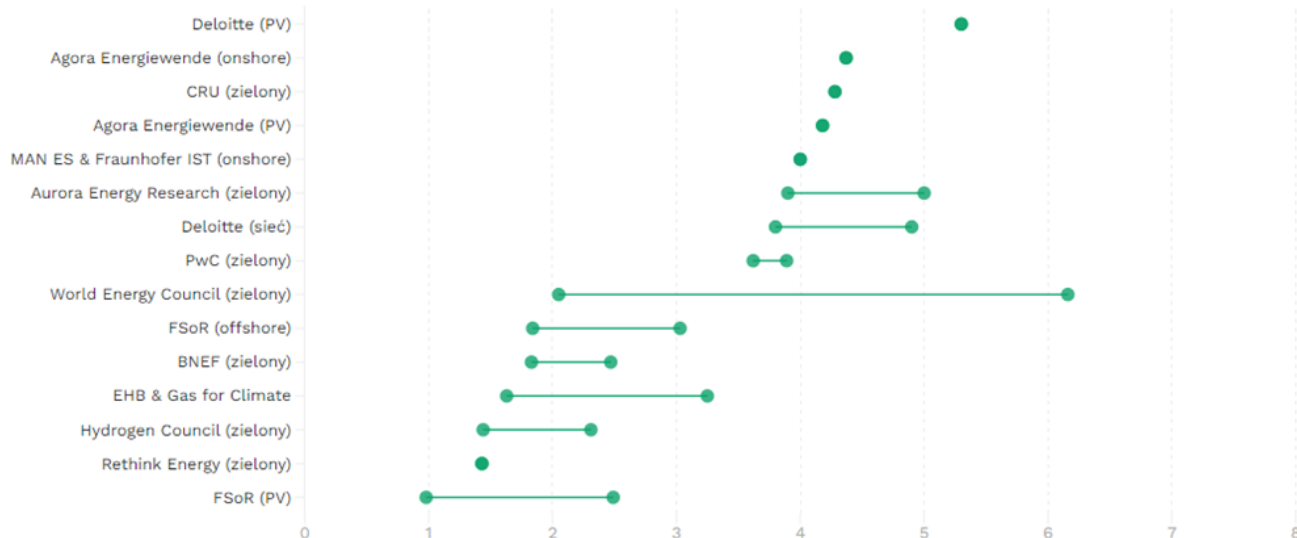
Koszty wodoru



Analizy pokazują dużą niepewność wielkości spadku kosztów zielonego wodoru

Porównanie prognoz kosztów produkcji wodoru w 2030 roku, EUR22/kgH2

Sieć - elektrolizery zasilany energią el. z sieci
PV/onshore/offshore - elektrolizery zasilany energią el. z dedykowanej instalacji PV/farmy wiatrowej na lądzie/farmy wiatrowej na morzu
Zielony - brak danych o sposobie zasilania



Źródło: opracowanie własne Fundacji Instrat



Wstępne wnioski

- Gaz ziemny pozostanie bezkonkurencyjny kosztowo w perspektywie 2030 roku
- Potencjał spadku kosztu produkcji wodoru zielonego jest bardzo istotny (koszty OZE i elektrolizerów)
- Relatywna atrakcyjność cenowa szarego wodoru zależy od cen gazu ziemnego (2020 vs 2022)
- Prognozowany wzrost cen CO2 może zwiększyć konkurencyjność kosztową niebieskiego wodoru wobec szarego (kwestia CO2)
- Wodór sieciowy nie ma szans na szersze wykorzystanie (emisyjność, cena giełdowa energii el.)

4



Podsumowanie



Zagonienie wodorowych owiec do stad

Wybrane wnioski z prezentacji



Uzupełnienie dekarbonizacji

Wodór (zielony) to nie panaceum na wszystkie energetyczne dolegliwości, lecz jedynie na trudnoleczalne z nich



Początek maratonu

Wymierne efekty gospodarki wodorowej w Polsce pojawią się nie wcześniej niż latach 30. – zależność od kosztów produkcji i infrastruktury



Rola *civil society* i dziennikarzy

Podstawowa wiedza
antidotum na wodorowy szum w uszach



Rola Polski

Jak rozwój gospodarki wodorowej wpłynie na konkurencyjność polskiej gospodarki?

Wojciech Żelisko
wojciech.zelisko@instrat.pl



Publikacje wodorowe
Instratu planowane na
przyszłe tygodnie



Dziękuję za uwagę.

Publikacja o **kosztach produkcji wodoru** pojawi się
na **stronie Instratu** w zakładce
[aktualności/publikacje](#)

Publikacja o **międzynarodowym wymiarze polskiej
strategii wodorowej** pojawi się [tutaj](#)