



**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA  
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE**

# **Magazynowanie gazu jako element zeroemisyjnej energetyki przyszłości**

**Jerzy Stopa**

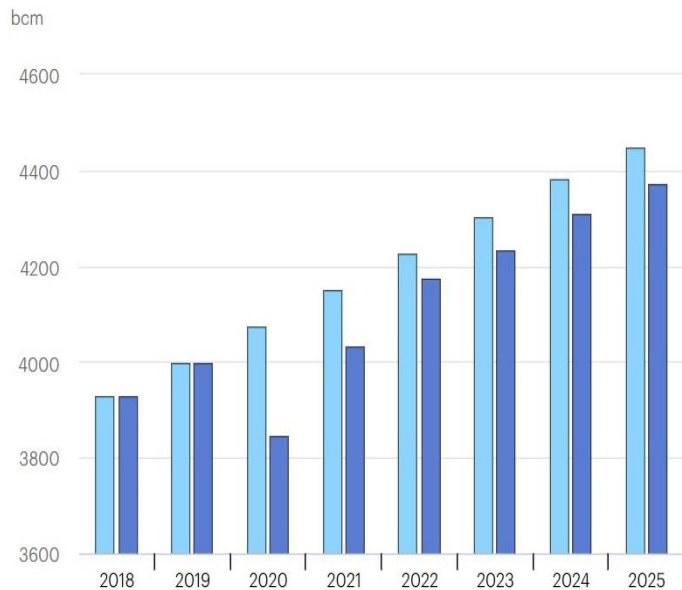
**Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu**

## Wizja energetyki przyszłości

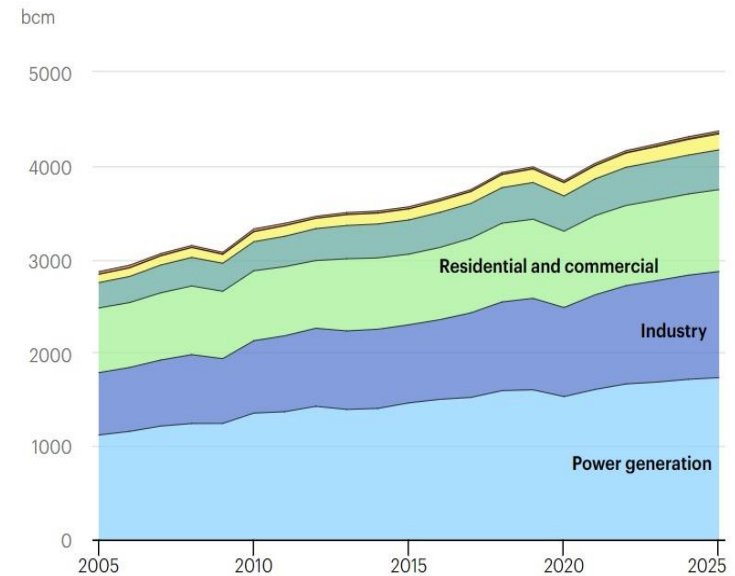
- Prognozowany dalszy wzrost zużycia energii
- Polityka klimatyczna:
  - zeroemisyjna energetyka vs. dostęp do energii „tu i teraz”
  - Niezależność energetyczna vs. ekonomika
- Akceptacja społeczna technologii energetycznych
- Mix energetyczny przyszłości:
  - Dywersyfikacja (wybór a nie dostęp do surowców)
  - Malejąca, nadal istotna rola paliw kopalnych
  - Wzrost znaczenia energii odnawialnej (najszybszy energii wiatrowej i fotowoltaiki) i elektryczności
  - Nowe technologie

# Prognozy zużycia gazu jako „paliwa pomostowego”, wpływ COVID19

Global gas demand in initial and revised forecasts, 2019-2025



Global natural gas demand per sector, 2005-2025



IEA. All Rights Reserved

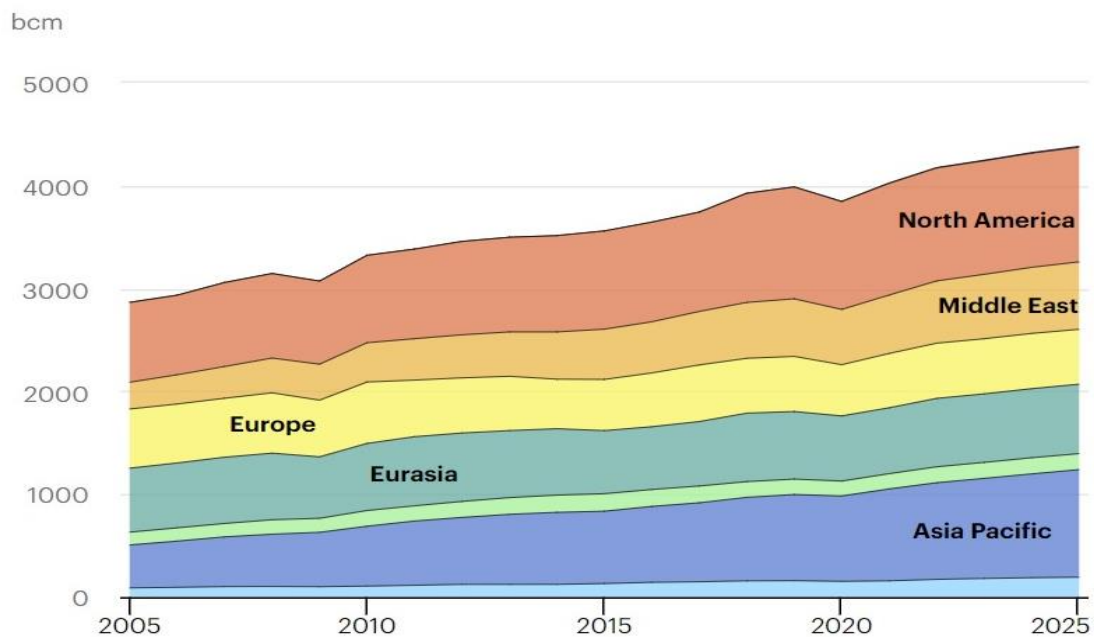
IEA. All Rights Reserved

● Initial forecast ● Revised forecast

● Power generation ● Industry ● Residential and commercial ● Energy industry own use  
 ● Transport (including pipeline) ● International marine bunkers ● Losses

# Regionalne prognozy zużycia gazu

Global natural gas demand per region, 2005-2025



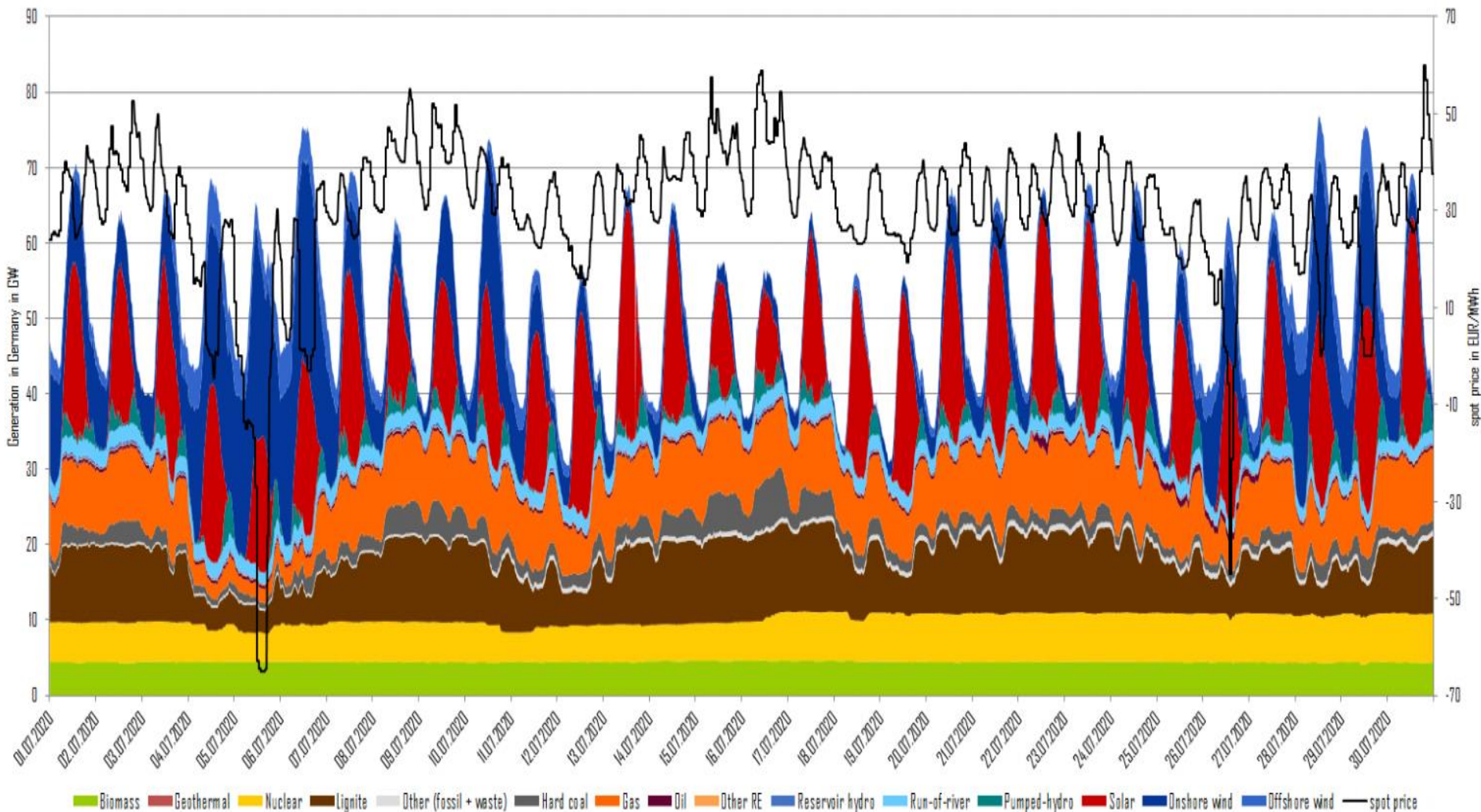
IEA. All Rights Reserved

- Africa
- Asia Pacific
- Central and South America
- Eurasia
- Europe
- Middle East
- North America
- International marine bunkers

# Energetyka przyszłości

- **Niepewność**
- **Różne możliwe scenariusze**
- **Paradygmat energetyki wodorowej**
- **Nierozwiązany problem wielkoskalowego magazynowania energii – aktualnie stabilizacja niedoboru energii ze źródeł odnawialnych przez gaz i węgiel**

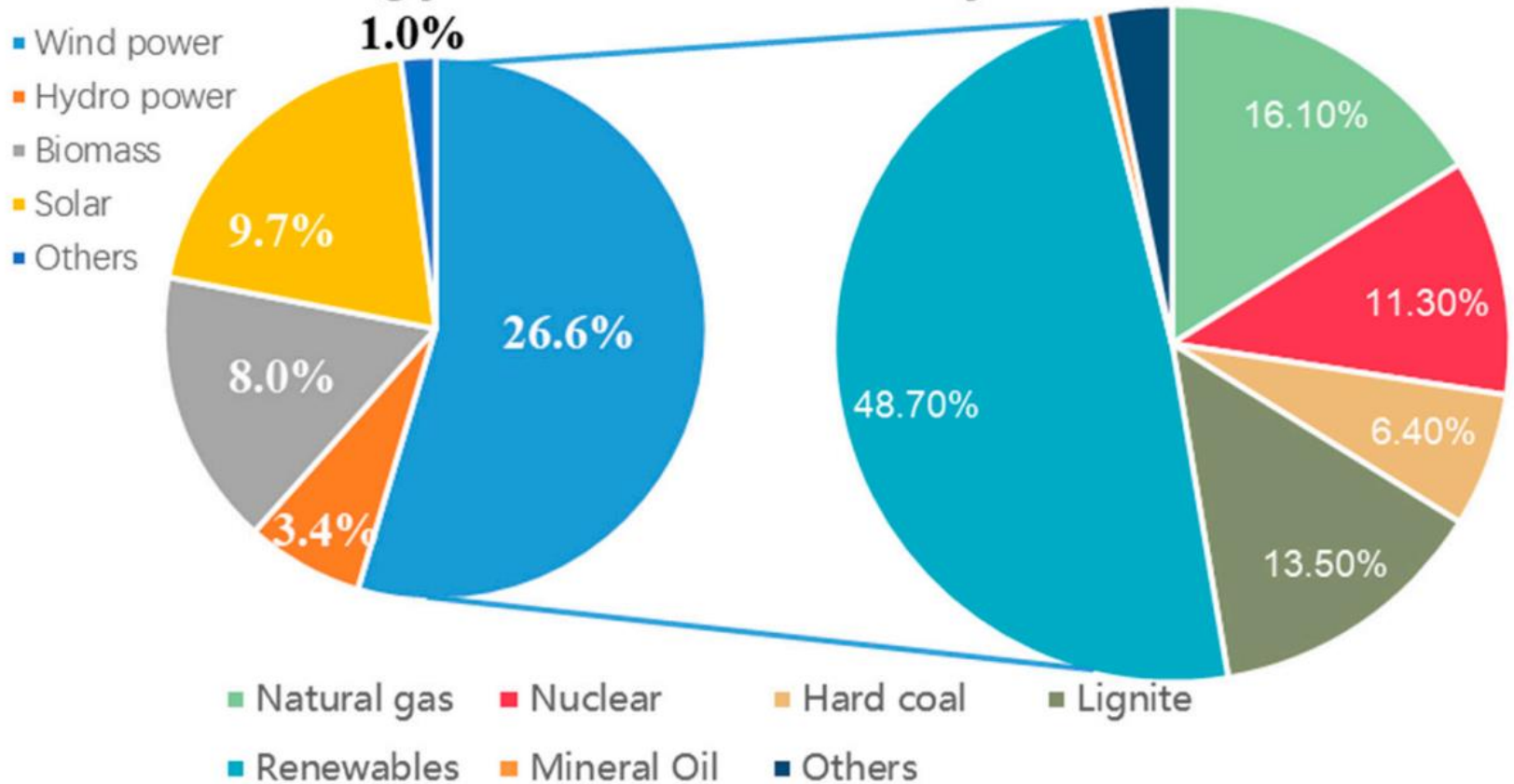
# Konieczność magazynowania. Produkcja energii elektrycznej w Niemczech, VII.2020



Źródło: Energy Brainpool



## Energy mix of Germany 2020



## Problem dostępu do źródeł energii



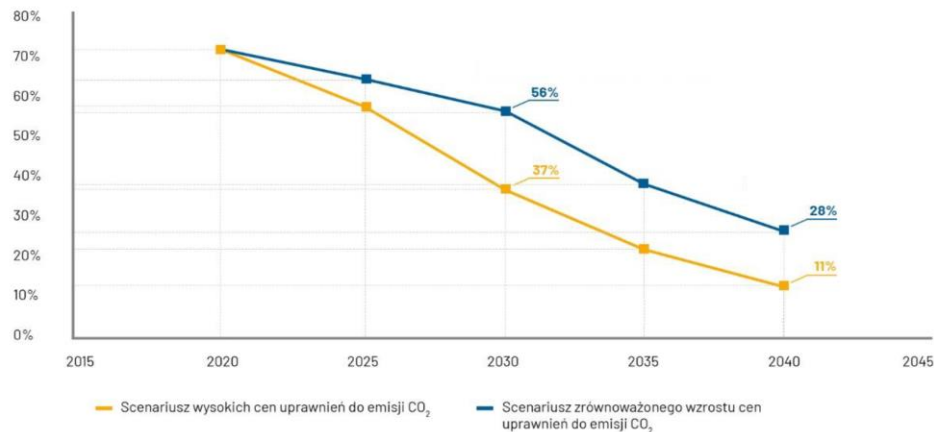
- Seszele: 91%-99% - paliwa kopalne, głównie ropa naftowa, 9% - 1% - energia odnawialna
- Malediwy, najwyższy pkt 2 m n.p.m.: 96% - paliwa kopalne, 4% - energia odnawialna



# Założenia polityki klimatycznej Polski

- Udział węgla w 2030: 37%-56%
- OZE w 2030: 23% - 30%
- Okresowe występowanie nadwyżek wytwarzanej energii elektrycznej, konieczny eksport lub wprowadzenie ograniczeń ([www.gov.pl/klimat](http://www.gov.pl/klimat))

Prognoza udziału węgla w produkcji energii elektrycznej do 2040 r.





# Rola magazynowania gazu w transformacji energetycznej Polski

- Rozbudowa konwencjonalnych magazynów gazu w związku z przewidywanym wzrostem zużycia gazu
  - Bezpieczeństwo energetyczne
  - Działalność biznesowa wymuszona aktami prawnymi
- Konieczność magazynowania dużych ilości energii
- Znane technologie wielkoskalowego magazynowania energii opierają się na wykorzystaniu gazu:
  - Gazu ziemnego
  - Wodoru (kawerny)
  - Mieszanin  $H_2/CH_4$  (kawerny, sieci, złoża gazu)
  - Mieszanin  $H_2/CO_2$  (szczerpane złoża węglowodorów w fazie badań)

## Wzrost znaczenia CCS/CCUS ?

- Emisja CO<sub>2</sub>
  - Spalanie gazu ziemnego ok. 55,41 kg/GJ wytworzonej energii.
  - spalanie węgla kamiennego 93,63 kg/GJ

(wg danych KOBIZE do raportowania w Systemie Handlu Uprawnieniami do Emisji za rok 2020)
- Sekwestracja CO<sub>2</sub> ze spalania gazu w celu osiągnięcia neutralności klimatycznej energetyki gazowej
- Sekwestracja CO<sub>2</sub> z produkcji niebieskiego wodoru (z gazu ziemnego): 5,5-9 kg\_CO<sub>2</sub>/kg\_H<sub>2</sub>
- Sekwestracja CO<sub>2</sub> z produkcji szarego wodoru (z węgla): 20kg\_CO<sub>2</sub>/kg\_H<sub>2</sub>

## Problem neutralności klimatycznej energetyki gazowej

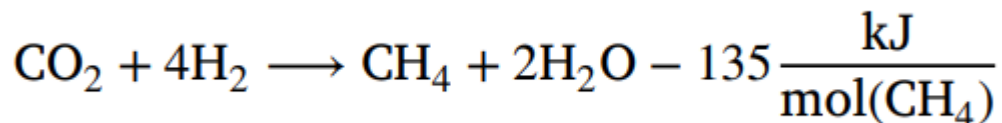
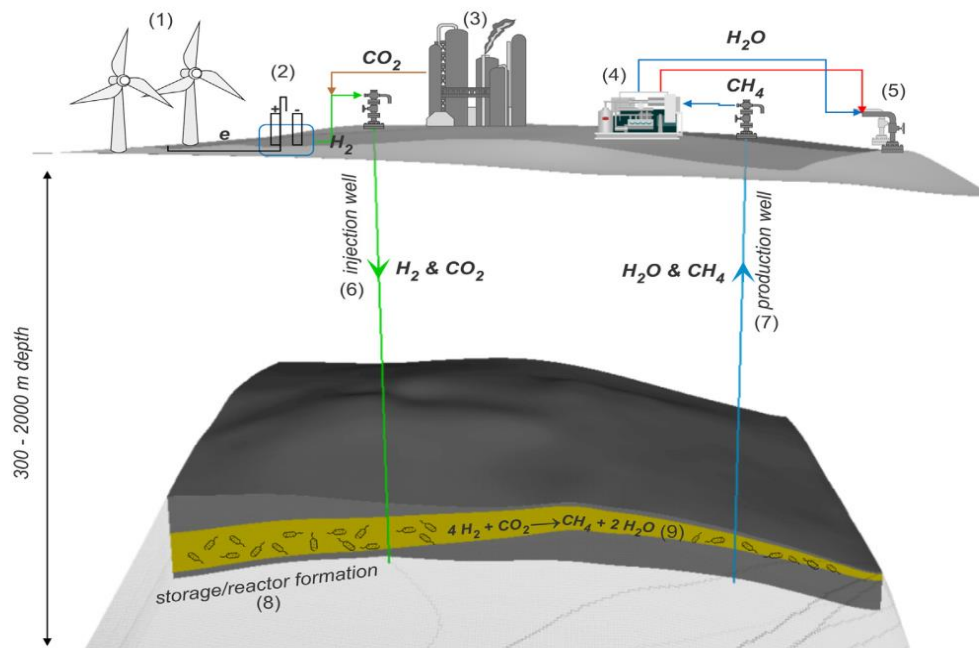
- Koncepcja zero-emisyjnego systemu wytwarzania energii z gazu ziemnego poprzez wychwyt CO<sub>2</sub> w miejscu jego wytworzenia
  - Opcja CCS - magazynowanie
  - Opcja CCUS - metanizacja
- Konieczność zbadania możliwości wykorzystania szcerpanych złóż gazu ziemnego i ropy naftowej w Polsce jako wielkoskalowych reaktorów „bio-geo-chemicznych”

# Schemat procesu bio-metanizacji w złożu gazu

Struktura o poj. czynnej 850 mln m<sup>3</sup> mogłaby dać 160 mln m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> (wg. poniższego źródła)

G. Strobel et al.

Renewable and Sustainable Energy Reviews 123 (2020) 109747



- **Magazynowanie wodoru + proces metanizacji**
  - **Gaz „miejski” (zawartość H<sub>2</sub>:25%-60%)**
    - Do 1990 – D, F, CS, PL, USA
    - Obserwowano zmiany składu gazu
  - **Złoże gazu Lehen (Austria, 2017)**
    - 10% H<sub>2</sub>+gaz naturalny, 1,2 mln. m<sup>3</sup> zatłoczono
    - Korzystne zmiany składu gazu po 1 cyklu zat./odb. W wyniku mieszania i metanizacji (3% H<sub>2</sub> )
    - Odzyskano 82% zatłoczonego H<sub>2</sub>
    - Od 2021 planowane użycie 2 otworów – proces metanizacji



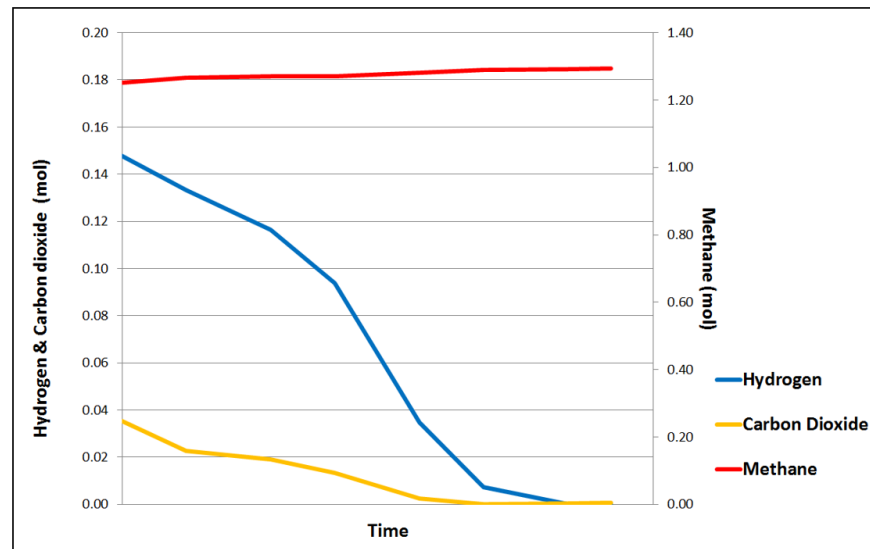
# Wyniki testu pilotującego bio- metanizacji na złożu gazu w Austrii

UNDERGROUND  
SUN.CONVERSION



University of Natural Resources and  
Life Sciences, Vienna

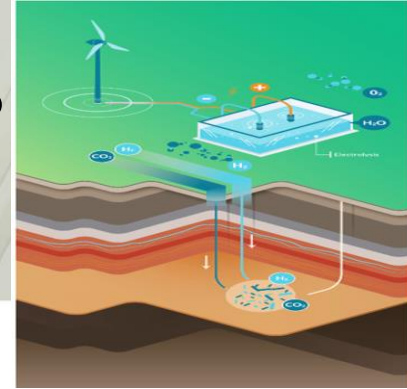
## Changes in gas composition





## Wielkoskalowy projekt Hychico – Argentyna

- Złoże gazu na głębokości. 815m
- Elektrownia wiatrowa o mocy 6,3 MW
- Od 2010 elektroliza i produkcja wodoru –  
120m<sup>3</sup> H<sub>2</sub> /hr (ok. 0,4MW) + 60 Nm<sup>3</sup>O<sub>2</sub>/hr
- Zatłaczanie H<sub>2</sub>+CH<sub>4</sub> do złoża gazu + wydobywanie gazu i spalanie w celu produkcji energii elektrycznej aktualnie 1,4 MW(docelowo: 10MW-30MW)
- Osiągnięto max. koncentrację H<sub>2</sub> ok. 42%
- Zatłaczanie H<sub>2</sub>+CO<sub>2</sub> w celu metanizacji
- Osiągnięto koncentrację H<sub>2</sub> w złożu 10%



- **Złoże węglowodorów jako reaktor geochemiczny z wykorzystaniem naturalnej energii termalnej**
- Brak doświadczeń w zakresie wykorzystania złóż ropy: CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>-EOR
- Aktualnie efektywność wydobywania ropy wynosi na świecie średnio 30% (w Polsce mniej)
- Projekt pilotujący na złożu gazu/ropy naftowej:
  - Faza 1: CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub> – EOR-EGR/Metanizacja
  - Faza 2: Magazynowanie H<sub>2</sub> lub CCS
- Konieczność wstępnych badań podstawowych

## Porównanie technologii

Comparison of underground bio-reactor and underground hydrogen storage [6,54,55].

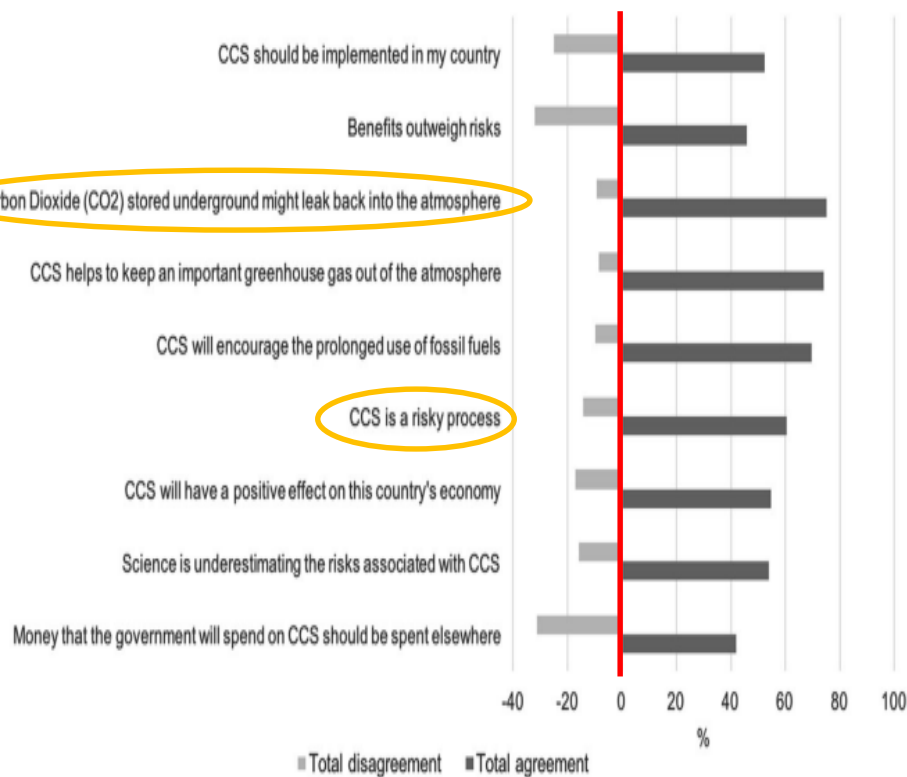
Criteria	Technology	
	Underground bio-reactor	Underground hydrogen storage
Aim	Conversion and storage	Storage
Working gas	CH <sub>4</sub> and 4:1 H <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> pure or admixed
Storage type (s)	Porous rock	Porous rock or salt cavern
Depth [m]	<2000	<3500
Favorable temperature [°C]	≤65	–
Water saturation [%]	>10	<20
Porosity [%]	>10	>10
Permeability [mD]	>50	>50
Salinity [ $\frac{g}{l}$ ]	<150	–
Surface facilities	H <sub>2</sub> /CH <sub>4</sub> gas grid, compressor, filter membrane	



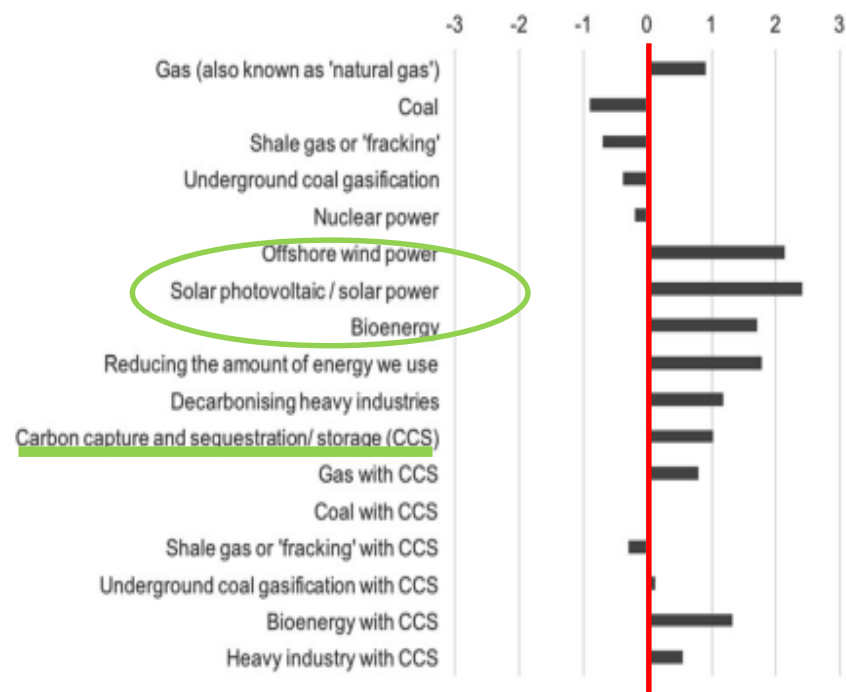
# Koncepcja zero-emisyjnego projektu z wykorzystaniem wodoru na złożu węglowodorów

- **Spalanie gazu w celu wytworzenia energii elektrycznej**
- **Wychwyt CO<sub>2</sub> i zatłaczanie CO<sub>2</sub>+H<sub>2</sub>**
- **Metanizacja w złożu**
- **Projekt pilotujący możliwy do implementacji w dużej skali**
- Problem integralności otworów, który musi być rozwiązany w fazie projektowania
- Problemy związane ze zmianą składu gazu

# Nastawienie społeczne do wytwarzania energii i CCS - świat



**Fig. 3** Public attitudes to CCS

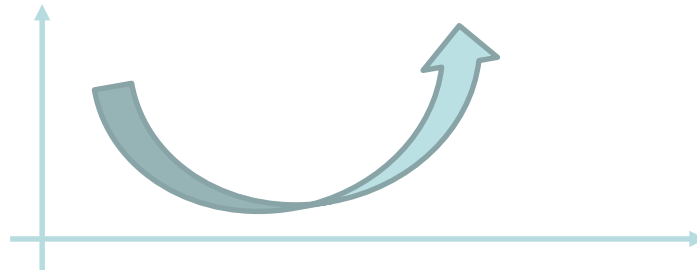


**Fig. 4** Public support for energy sources and climate change mitigation options, including CCS



## Problem akceptacji społecznej procesu składowania CO<sub>2</sub> - świat

- ✓ **Wiedza techniczna i kontakt z przemysłem np. wydobywczym, ciężkim sprzyja akceptacji, zwłaszcza jeśli wiąże się z wytwarzaniem energii lub korzyścią ekonomiczną. Na poziomie eksperckim entuzjazm jest mniejszy.**
- ✓ **Znane są przykłady zablokowania projektów CCS przez lokalne społeczności w Niemczech i Holandii**
- ✓ **Konieczna jest promocja technologii wśród lokalnych społeczności (w tym przez projekty demonstracyjne)**



# Problem akceptacji społecznej procesu składowania CO<sub>2</sub> - świat

- ✓ **Nastawienie do CCS jest zróżnicowane w zależności od kraju, regionu i poziomu świadomości ryzyka i wpływu na środowisko. CCU jest lepiej odbierane niż CCS**
  - **UK, Norwegia – zgoda na CCS (off shore)**
  - **Niemcy, Holandia – brak zgody na CCS (on shore)**
- ✓ **CCS odbierany jest jako zagrożenie dla zdrowia i środowiska**
  - **Transport (budowa rurociągów)**
  - **Magazynowanie**  
**(na poziomie eksperckim – well integrity, gas migration)**

# Badanie akceptacji społecznej CO<sub>2</sub> – EOR/CCS w Polsce (WWNiG, AGH 2016)

Projekt: *Multifield CO<sub>2</sub> Storage for Environment and Energy* (MUSE), POLITYKA ENERGETYCZNA – ENERGY POLICY JOURNAL 2016 □ Tom 19

- **Preferowane źródła energii: odnawialne (58%), ropa naftowa i gaz ziemny (19%), atom(13%) węgiel (10%)**
- **przemysł naftowy nie wpływa negatywnie na środowisko (60%), należy tworzyć nowe kopalnie (65%) i wdrażać nowe technologie na starych złożach (64%)**
- **Nastawienie do CCS – 22% za, 10% przeciw, 68% nie ma zdania**
- **Czy CCS/CO<sub>2</sub> EOR jest bezpieczne? TAK - 46%, NIE – 10%, Nie mam zdania – 44%**
- **Praca na złożach ropy naftowej z wykorzystaniem CO<sub>2</sub>: TAK - 46%, NIE – 10%, Nie mam zdania – 44%**
- **Doświadczenia polskie w zakresie sekwestracji gazów kwaśnych:**
  - Od 1996 – Borzęcin, Kamień Pomorski
  - Od 2017 – złożo Radoszyn

- **Wielkoskalowe magazynowanie energii będzie krytycznym elementem energetyki przyszłości**
- **Obecnie rozważane technologie zakładają wykorzystanie gazów, w tym H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> i CH<sub>4</sub> jako nośnika energii do zmagazynowania**
- **Struktury złożowe są rozważane jako wielkoskalowe reaktory bio-geo-chemiczne**
- **Projekt CCS w aquiferach napotka na sprzeciw lokalnych społeczności podobnie jak projekty w pobliżu dużych skupisk ludności.**
- **Szansę na akceptację społeczną mają projekty CCS na morzu i na złożach węglowodorów, zwłaszcza związane z energią odnawialną**