



# Możliwości zastosowania wodoru w krajowym budownictwie

## Dzień Inżyniera Budownictwa BUDMA 2023

prof. Edward Szczechowiak  
Politechnika Poznańska  
Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki  
01. luty 2023



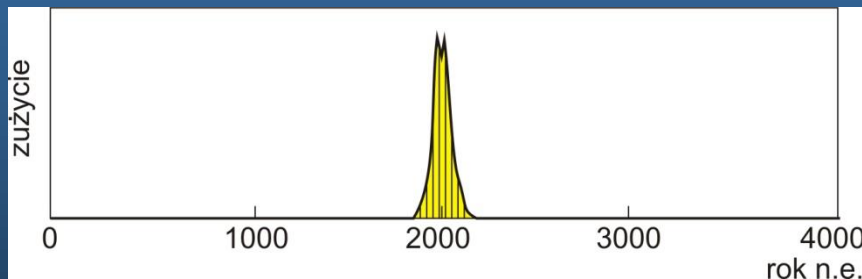


# Zakres

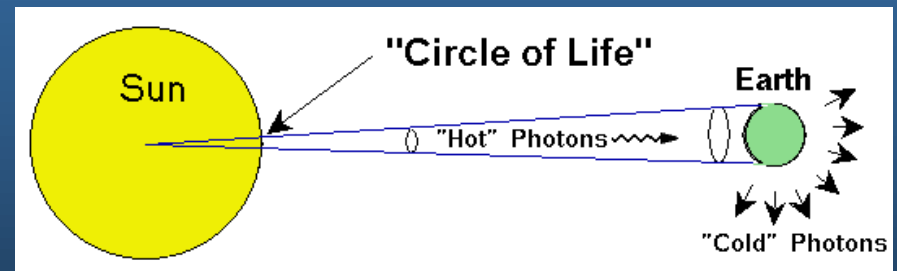
- **Wprowadzenie,**
- **Budynki i zużycie energii,**
- **Polityka energetyczna i kierunki transformacji**
- **Wodór i jego możliwości,**
- **Wodór w eksploatacji budynków,**
- **Rozwiązania techniczne dla budynków,**
- **Podsumowanie.**

# Wprowadzenie: Budynek • środowisko • energia

- Zasoby środowiska i zużycie energii
- Zasoby budowlane i zużycie energii (UE27 – 2020)
  - Budynki – 41% (ca. 700 mln Mg oleju eq.),
  - Transport – 31%,
  - Przemysł – 25%,
  - Rolnictwo – 2%,
  - Inne – 1%,
  - Łącznie 1758 mln Mg oleju eq.
- Kryzysy energetyczne – zmiana polityki energetycznej i ekologicznej (ślad węglowy).
- **Budownictwo** – największe zużycie i największy potencjał redukcyjny.

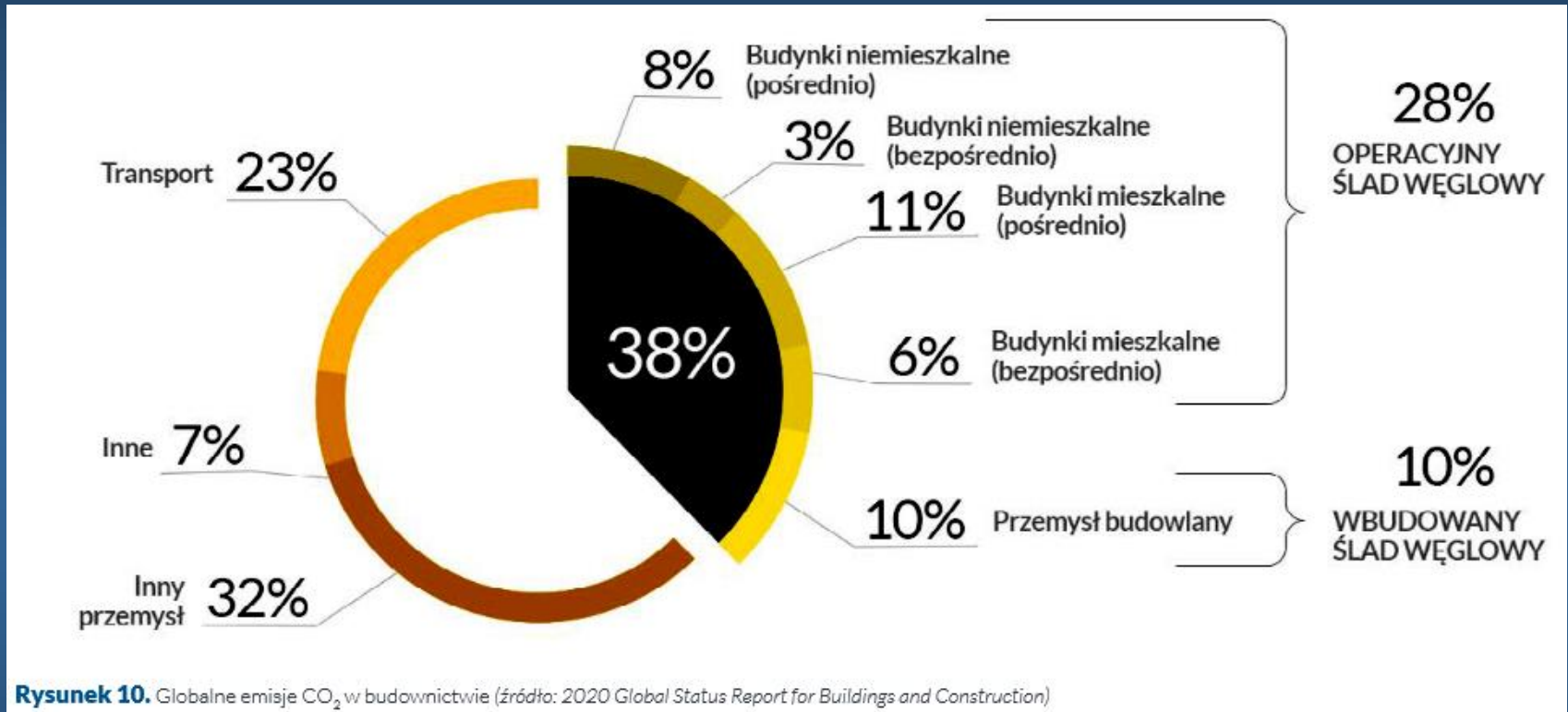


Epizod ropy naftowej w historii ludzkości  
1870 ... 2130



Energia promieniowania słonecznego  
– (kąąt życia 0,0025 deg) 1315 W/m<sup>2</sup>

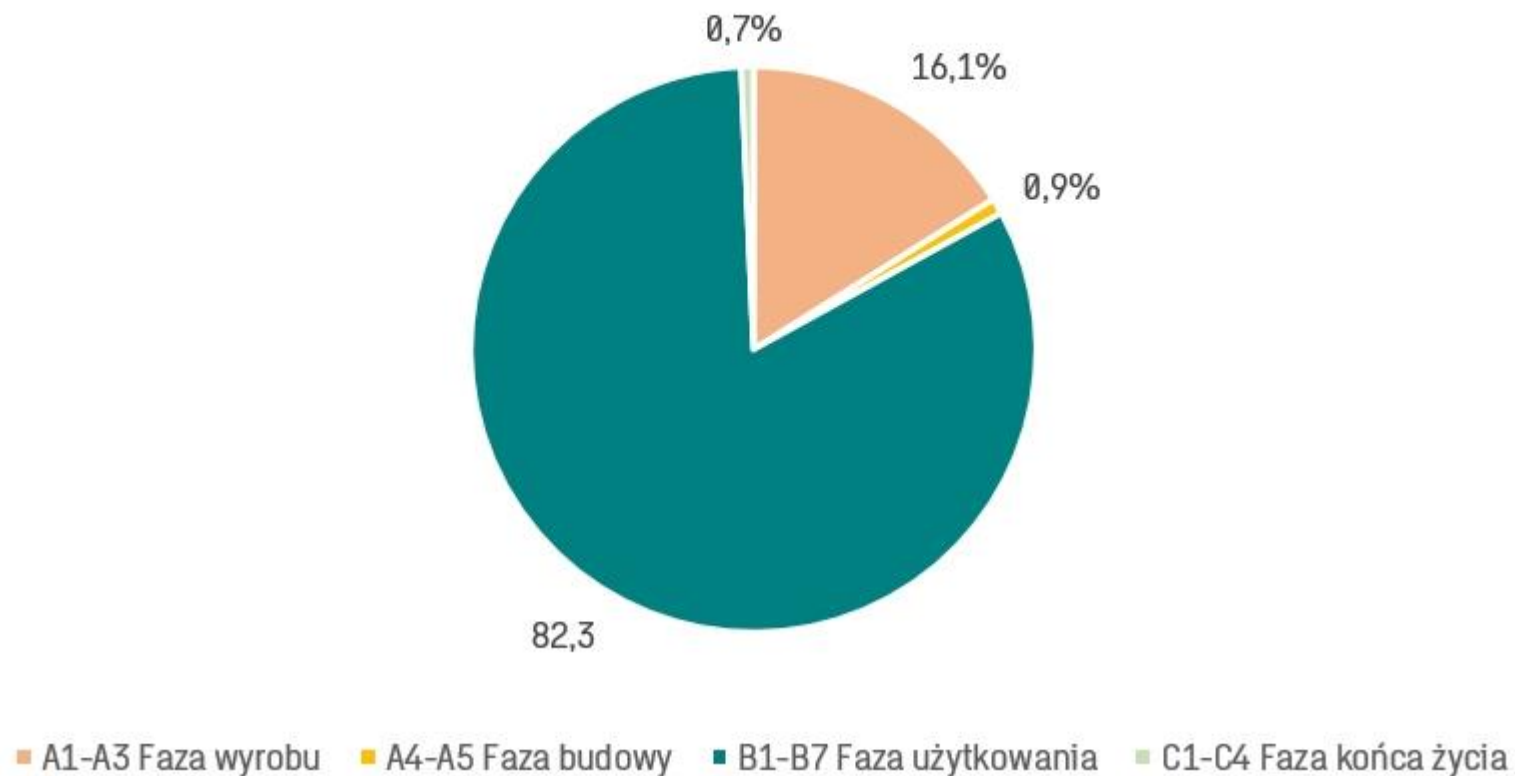
# Ślad węglowy budynków



Udział emisji CO<sub>2</sub> w sektorach gospodarki

# Ślad węglowy budynków

Udział śladu węglowego w poszczególnych fazach życia budynku [% kg CO<sub>2</sub>e]



Udział emisji CO<sub>2</sub> w fazach życia budynku

# Wprowadzenie – polityka klimatyczna

Pakiet UE "**Czysta energia dla wszystkich Europejczyków**" (grudzień 2018). Jest to nowy model energetyki zwanego unią energetyczną. Pakiet wprowadza prawne ramy dla pięciu wymiarów unii energetycznej, takich jak:

- zwiększenie efektywności energetycznej,
- budowa jednolitego wewnętrznego rynku energii,
- dekarbonizacja,
- wzrost bezpieczeństwa energetycznego,
- większa innowacyjność i konkurencyjność europejskiego sektora energii.

**Europejski Zielony Ład** (EZŁ) – KE (2019). Jest to dokument kompleksowy, w którego skład wchodzi wiele inicjatyw klimatycznych, środowiskowych, energetycznych, transportowych, przemysłowych oraz rolnych. Podstawowym celem EZŁ jest osiągnięcie do 2050 r. zerowego poziomu emisji gazów cieplarnianych netto (tzw. neutralność klimatyczna). **W ramach realizacji EZŁ wyznaczony został nowy cel redukcji emisji CO<sub>2</sub> o co najmniej 55% do 2030 r. w porównaniu z poziomami z 1990 r.**



# Wprowadzenie – Polska strategia wodorowa

**Polska strategia wodorowa** do roku 2030 z perspektywą 2040 – uchwała RM z września 2021 r.:

- Cel 1 – wdrożenie technologii wodorowych w energetyce.
- Cel 2 – wykorzystanie wodoru jako paliwo alternatywne w transporcie.
- Cel 3 – wsparcie dekarbonizacji przemysłu.
- Cel 4 – produkcja wodoru w nowych instalacjach (źródła nisko i zero-emisyjne).
- Cel 5 – sprawny i bezpieczny przesył wodoru.
- Cel 6 – stworzenie stabilnego otoczenia legislacyjnego.



# Standardy energetyczne budynków

## Świadectwa charakterystyki energetycznej:

- wymóg dyrektywy 2002/91/EC on the energy performance of buildings,
- ważne w krajach UE od 01.2006,
- w Polsce ważne od 01.2009.

## Zakres oceny energetycznej budynku:

- ogrzewanie i wentylacja,
- chłodzenie,
- podgrzewanie ciepłej wody użytkowej,
- oświetlenie (budynki użyteczności publicznej).

## Istotne wskaźniki oceny:

- nieodnawialna energia pierwotna,
- **emisja ditlenku węgla (CO<sub>2</sub>),**
- udział energii odnawialnej.

WZÓR ŚWIADECTWA CHARAKTERYSTYKI ENERGETYCZNEJ BUDYNKU

ŚWIADECTWO CHARAKTERYSTYKI ENERGETYCZNEJ BUDYNKU			
Numer świadectwa			
<b>Oceniany budynek</b>			
Rodzaj budynku <sup>1)</sup>		Zdjęcie budynku	
Przeznaczenie budynku <sup>2)</sup>			
Adres budynku			
Rok oddania do użytkowania budynku <sup>3)</sup>			
Metoda obliczania charakterystyki energetycznej <sup>4)</sup>			
Powierzchnia pomieszczeń o regulowanej temperaturze powietrza (powierzchnia ogrzewana lub chłodzona) A <sub>f</sub> [m <sup>2</sup> ] <sup>5)</sup>			
Powierzchnia użytkowa [m <sup>2</sup> ]			
<b>Ważne do (rrrr-mm-dd) <sup>6)</sup></b>			
Stacja meteorologiczna, według której danych obliczana jest charakterystyka energetyczna <sup>7)</sup>			
<b>Ocena charakterystyki energetycznej budynku <sup>8)</sup></b>			
Wskaźniki charakterystyki energetycznej	Oceniany budynek	Wymagania dla nowego budynku według przepisów techniczno-budowlanych	
Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię użytkową	EU = ... kWh/(m <sup>2</sup> ·rok)		
Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na energię końcową <sup>9)</sup>	EK = ... kWh/(m <sup>2</sup> ·rok)		
Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną <sup>9)</sup>	EP = ... kWh/(m <sup>2</sup> ·rok)	EP = ... kWh/(m <sup>2</sup> ·rok)	
Jednostkowa wielkość emisji CO <sub>2</sub>	E <sub>CO2</sub> = ... t CO <sub>2</sub> /(m <sup>2</sup> ·rok)		
Udział odnawialnych źródeł energii w rocznym zapotrzebowaniu na energię końcową	U <sub>oze</sub> = ... %		
<b>Wskaźnik rocznego zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną EP [kWh/(m<sup>2</sup>·rok)]</b> 			
<b>Obliczeniowa roczna ilość zużywanego nośnika energii lub energii przez budynek <sup>10)</sup></b>			
System techniczny	Rodzaj nośnika energii lub energii	Ilość nośnika energii lub energii	Jednostka (m <sup>2</sup> ·rok)
Ogrzewczy	1) n)		
Przygotowania ciepłej wody użytkowej	1) n)		
Chłodzenia	1) n)		
Wbudowanej instalacji oświetlenia <sup>9)</sup>	1) n)		
Sporządzający świadectwo:			
Imię i nazwisko: Nr uprawnień budowlanych albo nr wpisu do rejestru <sup>11)</sup> : Data wystawienia:		Podpis i pieczętka	





# Wodór w transformacji energetycznej i ekologicznej



# Wodór w transformacji ekologicznej

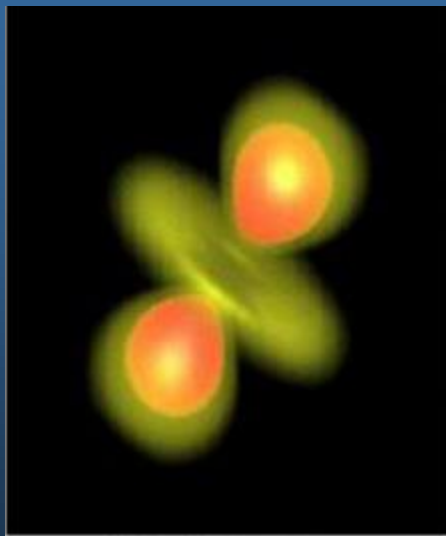
**Wodór** – ważny w transformacji ekologicznej dla ograniczenia emisji CO<sub>2</sub>. Wodór może pełnić wiele funkcji w tym procesie:

- Wzrost upowszechniania paliw odnawialnych i ich optymalnej integracji w wytwarzaniu energii elektrycznej i ciepła,
- Dystrybucja energii odnawialnej w różnych sektorach i regionach,
- Działania jako bufor i rezerwa strategiczna mocy, zwiększając odporność systemu energetycznego,
- Dekarbonizacja transportu,
- Dekarbonizacja technologii przemysłowych,
- **Obniżenie emisyjności procesów wytwarzania ciepła i energii elektrycznej w gospodarce komunalnej i mieszkalnictwie,**
- Zapewnienie czystego surowca dla przemysłu.

# Właściwości wodoru

## Właściwości wodoru:

- Wodór to najlżejszy pierwiastek świata,
- Atom wodoru składa się z 1 protonu i krążącego wokół jednego elektronu,
- W stanie wolnym występuje jako cząsteczka dwuatomowa  $H_2$ ,
- Gęstość wodoru:
  - Gazowego –  $0,09 \text{ kg/m}^3$  (273 K, 1013 hPa),
  - Ciekłego –  $70,8 \text{ kg/m}^3$ .
- Wartość opałowa wodoru: **120 MJ/kg** lub  $10,77 \text{ MJ/m}^3$ , (węgiel – 25 MJ/kg, benzyna – 47 MJ/kg, gaz ziemny –  $37 \text{ MJ/m}^3$ ).



Wizualizacja wodoru  $H_2$

# Zalety wodoru

## Zalety wodoru:

- Bardzo dobrze są znane właściwości wodoru,
- Zasoby wodoru na ziemi są niewyczerpalne,
- Można go produkować w dowolnym miejscu na Ziemi,
- Produkcja wodoru może być czysta dla środowiska,
- Jest bardzo dobrym nośnikiem energii,
- Stałość ciepła i temperatury spalania,
- Wysoka sprawność energetyczna wykorzystania wodoru,
- Spalanie wodoru nie powoduje emisji szkodliwych substancji,
- Technologie wodorowe są już dostępne,

# Otrzymywanie wodoru

## Metody otrzymywania wodoru:

- Reforming węglowodorów parą wodną,
- Gazyfikacja
  - Węgla i koksu,
  - Biomasy,
- Dysocjacja termiczna,
- Elektroliza,
- Fotosynteza,
- Procesy biologiczne:
  - Fermentacja mikroorganizmów,
  - Fotosynteza glonów algae.

# Otrzymywanie wodoru

## Parametry termiczne i sprawność produkcji wodoru

Lp	Źródło bazowe	Proces	Ilość na kg H <sub>2</sub>	Zużyta energia na 1 kg H <sub>2</sub>	Sprawność [%]
1.	Gaz ziemny	Reforming gazowy	4,73 m <sup>3</sup>	165 MJ	73,1
2.	Węgiel	Zgazowanie	9,8 kg	271 MJ	44,3
3.	Energia jądrowa	Wysokotemperaturowa elektroliza	6,72 · 10 <sup>-5</sup> kgU	260 MJ	46,0
4.	Energia jądrowa	Metoda termochemiczna	7,03 · 10 <sup>-5</sup> kgU	273 MJ	44,0
5.	Biomasa	Zgazowanie	13 kg (stan suchy)	242 MJ	48,3
6.	Energia wiatru	Elektroliza	46 kWh	166 MJ	72,6
7.	Energia słoneczna	Elektroliza	46 kWh	166 MJ	72,6
8.	Biogaz	Reforming parowy	8,8 m <sup>3</sup>	202 MJ	61,0

# Wodór – metody otrzymywania

## Czystość ekologiczna

### TAK POWSTAJE WODÓR

Źródło: MCS





# Sposoby otrzymywania wodoru - udziały

## Aktualne udziały stosowanych metod otrzymywania wodoru:

- Reforming gazu ziemnego – 48%,
- Reforming ropy naftowej – 30%,
- Gazyfikacja węgla – 18%,
- Elektroliza wody – 4%.

Metody te są bardzo energochłonne i w większości emitują duże ilości szkodliwych gazów. Najbardziej czysta jest elektroliza wody, ale energia elektryczna do tego procesu musi być odnawialna (kolektory słoneczne PV, turbiny wiatrowe).

# Produkcja wodoru

## Produkcja wodoru:

### Świat

- **115** mln Mg H<sub>2</sub> rocznie (w tym 1% wodoru zielonego),
- ca. **300** mln Mg H<sub>2</sub> (rok 2050).

### Niemcy

- 2,5 mln Mg H<sub>2</sub> rocznie.

### Niderlandy

- 1,5 mln Mg H<sub>2</sub> rocznie.

### Polska

- 1,3 mln Mg H<sub>2</sub> rocznie.

## Produkcja wodoru zielonego - elektroliza:

Do wyprodukowania **1 kg H<sub>2</sub>** potrzeba **9 dm<sup>3</sup>** wody i ca. **50 kWh** energii elektrycznej, dodatkowo powstaje **8 kg** tlenu.

Z **1 kg H<sub>2</sub>** można uzyskać **33 kWh** energii.



# Sposoby przechowywania wodoru

## Przechowywanie wodoru:

- W postaci sprężonej pod ciśnieniem 2 – 80 MPa,
- W postaci stałej w związkach chemicznych (paliwo płynne, węgiel kriogeniczny węgiel aktywny, wodorki metali np.  $\text{LaNi}_5$ ,  $\text{FeTi}$ ,  $\text{Mg}_2\text{Ni}$ ,  $\text{ZrV}_2$ ),
- W postaci ciekłej (20 K; 0,6 – 1,2 MPa).

Oznaczenia: La – lantan, Ni – nikiel, Fe – żelazo, Ti – tytan, Mg – magnez, Ni – nikiel, Zr – cyrkon, V – wanad.

# Wykorzystanie wodoru

## Wykorzystanie wodoru:

- Paliwo raketowe (w stanie ciekłym).
- Przemysł spożywczy (margaryna, sorbitol),
- Przemysł chemiczny i petrochemiczny (amoniak, reforming, hydrorafinacja, hydrokraking).
- Przemysł metalurgiczny (stal czysta, redukcja rud żelaza).
- Jubilerstwo (palniki wodorowo-tlenowe dla metali szlachetnych).
- Przemysł farmaceutyczny (produkcja czystych leków).
- Kosmetologia (terapia wodorowa).
- Wodór jako chłodziwo.
- Do napełniania balonów i sterowców.
- **Produkcja czystej energii elektrycznej i ciepła.**

Aktualne zużycie wodoru na rok w Polsce – ca. 1,3 mln Mg H<sub>2</sub>

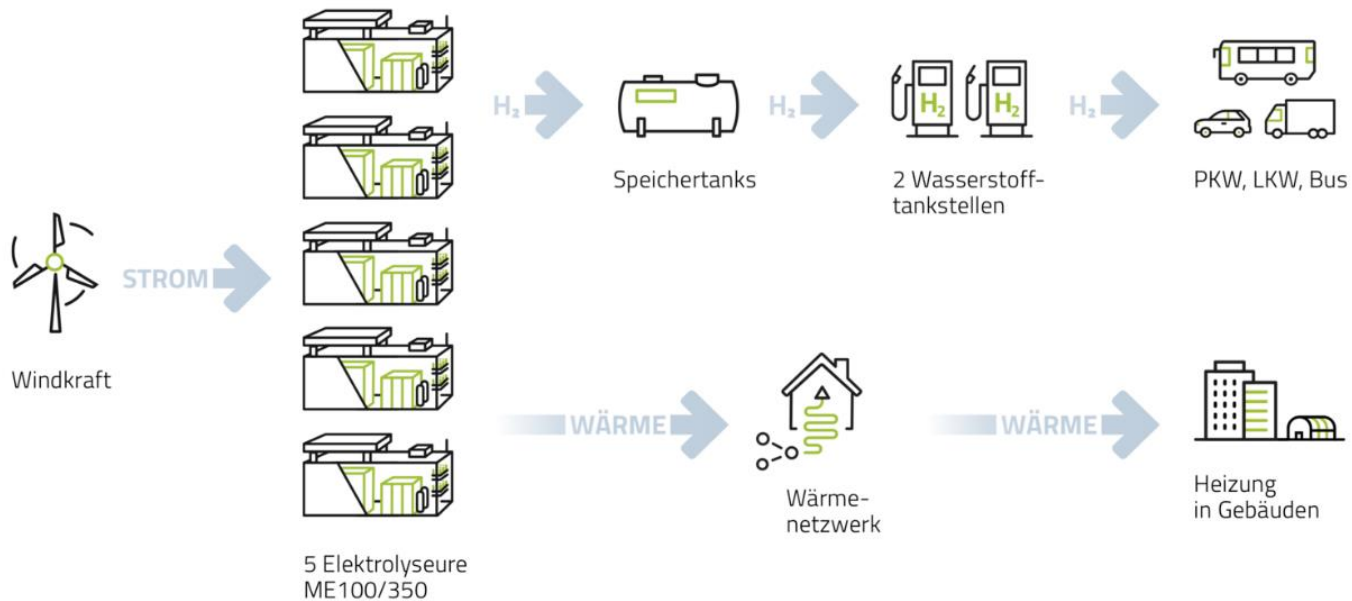
# Produkcja wodoru zielonego

ERNEUERBARE  
ENERGIE

ELEKTROLYSE

SPEICHERUNG &  
LOGISTIK

ANWENDUNGS-  
BEREICHE



Wasserstoff-Wertschöpfungskette für das „Wasserstoff-Infrastrukturprojekt eFarm“

Systemy produkcji i wykorzystania wodoru zielonego

# Produkcja wodoru zielonego



Widok Elektrolizera H-TEC Systems ME 100/350 (Niemcy) zamontowanego w firmie Solar Global (Czechy)

# Produkcja wodoru zielonego



## Elektrolizer H-TEC Systems ME 100/350 – parametry:

- Technologia PEM (Proton Exchange Membrane),
- Moc elektryczna nominalna - 225 kW,
- Zdolność produkcyjna do 100 kg wodoru na dobę (46,3 Nm<sup>3</sup>/h),
- Zakres modulacji produkcji: 15,0 – 46,3 Nm<sup>3</sup>/h,
- Nominalne zużycie energii elektrycznej: 4,9 kWh/Nm<sup>3</sup> wodoru,
- Nominalna sprawność systemu: 73%,
- Nominalne zużycie wody: 60 kg/h,
- Wymiary urządzenia: 6,1x3,0x5,0, masa ruchowa: 13 000 kg,
- Tyle wodoru wystarczy do przejechania 10 000 km samochodem na wodór (Toyota Mirai lub Hyundai Nexco),



# Produkcja wodoru zielonego

**RE100 SOLUTION**  
FIRST HYDROGEN BASED PLANT USING ONLY RENEWABLE ENERGY

**FUEL CELL FACTORY**  
Peak Power 680kW  
Annual consumption 2.7GWh

**STORAGE BATTERY**  
Annual consumption 1.1MWh

**H<sub>2</sub> TANK**  
Total capacity 78000L

**HYDROGEN FUEL CELL GENERATORS**  
500kW (5kW x 100 units)

**PHOTOVOLTAIC POWER GENERATORS**  
Total power generation 570kW

Obciążenie elektryczności w fabryce ogniw paliwowych (obszar produkcji) będzie zasilane przez fotowoltaikę + akumulator + generator oparty na ogniwach wodorowych (moc szczytowa: 680 kW) Roczne zużycie energii: 2,7 GWh  
Rozpoczęcie działania: kwiecień 2022 (fabryka Kusatsu w Shiga w pobliżu Kyoto)

Przykładowa instalacja do produkcji wodoru z wykorzystaniem PV (PANASONIC)

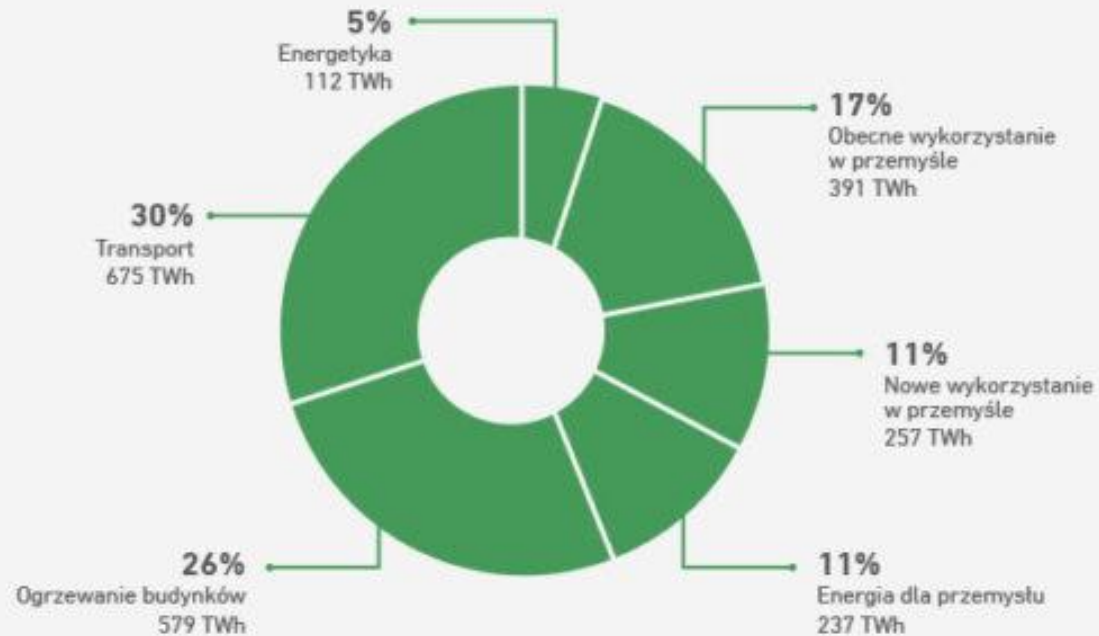


# Wodór w zaopatrzeniu budynków w energię

# Zastosowanie wodoru – progres 2050

## WYKORZYSTANIE WODORU W UE W 2050 ROKU

Źródło: Hydrogen Road Map Europe FCH, 2020





# Zastosowanie wodoru w budynkach

## Ewolucja układów kotłowych:

**Kotły gazowe kondensacyjne** – w wyniku spalania powstaje ciepło, ditlenek węgla ( $\text{CO}_2$ ) i tlenki azotu.

**Kotły gazowo-wodorowe** spala mieszaninę wodoru i gazu ziemnego (20% wodoru i 80% gazu ziemnego wysokometanowego). Pozwalają na płynne przejście w 100% na wodór.

Przykładowo: W Wielkiej Brytanii jest plan stopniowego przechodzenia na wodór (planuje się, że do 2025 r. większość kotłów domowych i podgrzewaczy ciepłej wody przejdzie na zasilanie wodorem).

# Zastosowanie wodoru w budynkach

**Kotły wodorowe** spalają wodór. W wyniku spalania powstaje ciepło, para wodna i tlenki azotu (tlen do spalania pochodzi z powietrza atmosferycznego). Brak emisji CO<sub>2</sub>.

## **Kotły wodorowe**

Produkuje REMEHA – Niderlandy.

Kotły kondensacyjne do spalania w 100% wodoru lub mieszaniny 20% wodoru i 80% gazu ziemnego

## **Ogniwo paliwowe z reformingiem gazu ziemnego.**

W wyniku reformingu gazu ziemnego wytwarzany jest wodór, który zasila ogniwo paliwowe. W wyniku działania ogniwa wytwarzana jest energia elektryczna i ciepło – powstaje para wodna i tlenki azotu, brak emisji CO<sub>2</sub>.

## **Ogniwo paliwowe zasilane bezpośrednio wodorem.**

W wyniku konwersji powstaje energia elektryczna i ciepło, para wodna i tlenki azotu, brak emisji CO<sub>2</sub>.





# Zastosowanie wodoru w budynkach

## Technologie równoległe:

**Pompy ciepła** zasilane energią elektryczną z sieci systemowej lub/i kolektorów PV/turbin wiatrowych. Wytwarzają ciepło, emitują CO<sub>2</sub> w ilościach zależnych od jakości ekologicznej energii elektrycznej. Energia elektryczna ze źródeł odnawialnych znacznie zmniejsza emisję CO<sub>2</sub>.

**Systemy ciepłownicze zdalaczynne** – wytwarzają energię elektryczną i ciepło. Emisja CO<sub>2</sub> zależy od zastosowanych technologii konwersji energii i wykorzystania energii odnawialnych, biogazu, biomasy, ciepła geotermalnego i energii odpadowej z przemysłu.



# Komponenty budynków nZEB – źródła energii

## Źródła ciepła i chłodu

### Europejski zielony ład

Obniżenie emisji CO<sub>2</sub> o 55% do roku 2030 w porównaniu z rokiem 1990.

### Źródła energii elektrycznej:

- Sieć systemowa;
- Źródła własne – energia odnawialna: PV, wiatraki, ogniwa paliwowe (wodór): emisja CO<sub>2</sub> – **praktycznie zero**.

### Sieć systemowa – emisja CO<sub>2</sub>:

- Polska – 0,724 kg<sub>CO2</sub>/kWh;
- Unia Europejska – 0,264 kg<sub>CO2</sub>/kWh;
- Francja – 0,055 kg<sub>CO2</sub>/kWh;
- Szwecja – 0,013 kg<sub>CO2</sub>/kWh;

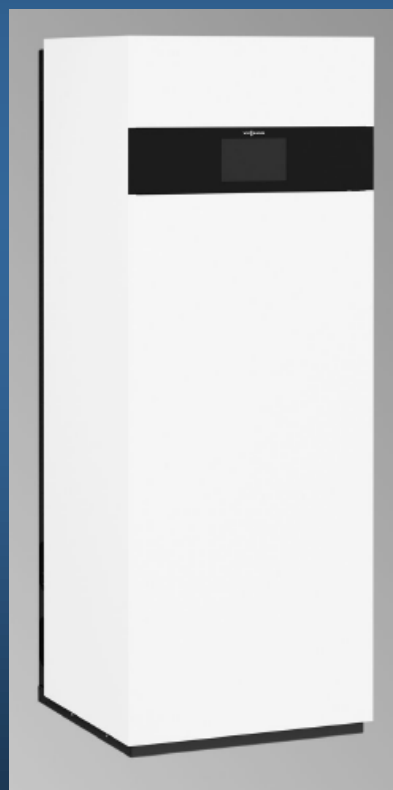


# Kocioł z ogniwem paliwowym

## Kocioł gazowy VITOCALOR PA2 z wodorowym ogniwem paliwowym (PEM Fuel Cell) firmy VIESMANN

### VITOCALOR PA2

- 1** Regelung für den witterungsgeführten Betrieb mit großem 7-Zoll-Farb-Touch-Display
- 2** Systemtrennung
- 3** Abgasanschluss
- 4** Stack
- 5** Inverter
- 6** Reformer



# Kocioł z ogniwem paliwowym

## Kocioł gazowy VITOCALOR PA2 z wodorowym ogniwem paliwowym (PEM Fuel Cell):

- Moc elektryczna –  $0,75 \text{ kW}_e$ ,
- Moc cieplna –  $1,1 \text{ kW}_{th}$ ,
- Palnik szczytowy,
- Sprawność całkowita – 92%,
- Sprawność elektryczna – 38%.



Brennstoffzellen-Stack

# Wodór w kompleksach budynków

## Możliwości lokalnych elektrociepłowni PEM

Opracowaliśmy wszechstronną i kompleksową koncepcję elektrociepłowni PEM-CHP dla środowiska zabudowanego, która umożliwia wyrównanie zestawów systemów energetycznych. Możliwości aplikacji są szeroko rozpowszechnione i obejmują:

- Obszary mieszkalne z sieciami ciepłowniczymi;
- Parki wakacyjne;
- Hotele i centra konferencyjne;
- Kampusy uniwersyteckie;
- Parki przemysłowe;
- Bloki apartamentowe;
- Szpitale;
- Centra handlowe;
- Inne budynki i dzielnice wymagające ciepła i energii elektrycznej.

# Wodór w budynkach wielorodzinnych



Przykładowy układ PEM-CHP zasilany wodorem dla zespołu budynków wielorodzinnych lub innych kompleksów budynków

# Wodór w budynkach wielorodzinnych



## Parametry kompaktowego PEM-CHP zasilanego wodorem:

- Fuel Cell Model – 120 x Nedstack FSC 13-XXL,
- Nominalna moc elektryczna: 1 000 kW<sub>e</sub>,
- Szczytowa moc elektryczna: 1 250 kW<sub>e</sub>,
- Nominalna moc cieplna: 1 800 kW<sub>th</sub>/65<sup>0</sup>C,
- Zużycie wodoru: 59 kg/MWh<sub>e</sub>,
- Zużycie godzinowe: 80 kg/h,
- Wymiary: 12,19x2,44x2,90 m,
- Waga: 29 000 kg.



# Wodór - Uwagi końcowe

- 1. Przyszłość wodoru jest obiecująca – również w budownictwie;**
- 2. Trudności: produkcja wodoru zielonego, transport, składowanie;**
- 3. Zalety – paliwo praktycznie zero-emisyjne;**
- 4. Poprawa efektywności farm wiatrowych/PV z produkcją i akumulacją wodoru;**
- 5. Wykorzystanie: technologie przemysłowe, transport, paliwo kosmiczne, energia dla budownictwa itp.**



# Wodór w budownictwie

**Dziękuję za uwagę**  
**Thank you for your attention**