



Parlamentarna Konferencja Naukowa - Sejm Rzeczypospolitej Polskiej – Luty 2025

Transformacja energetyczna a Wielki Reset

Społeczne i środowiskowe koszty realizacji
programów Zielonego ładu.

dr inż. Mirosław Janowski

Europejski Zielony Ład

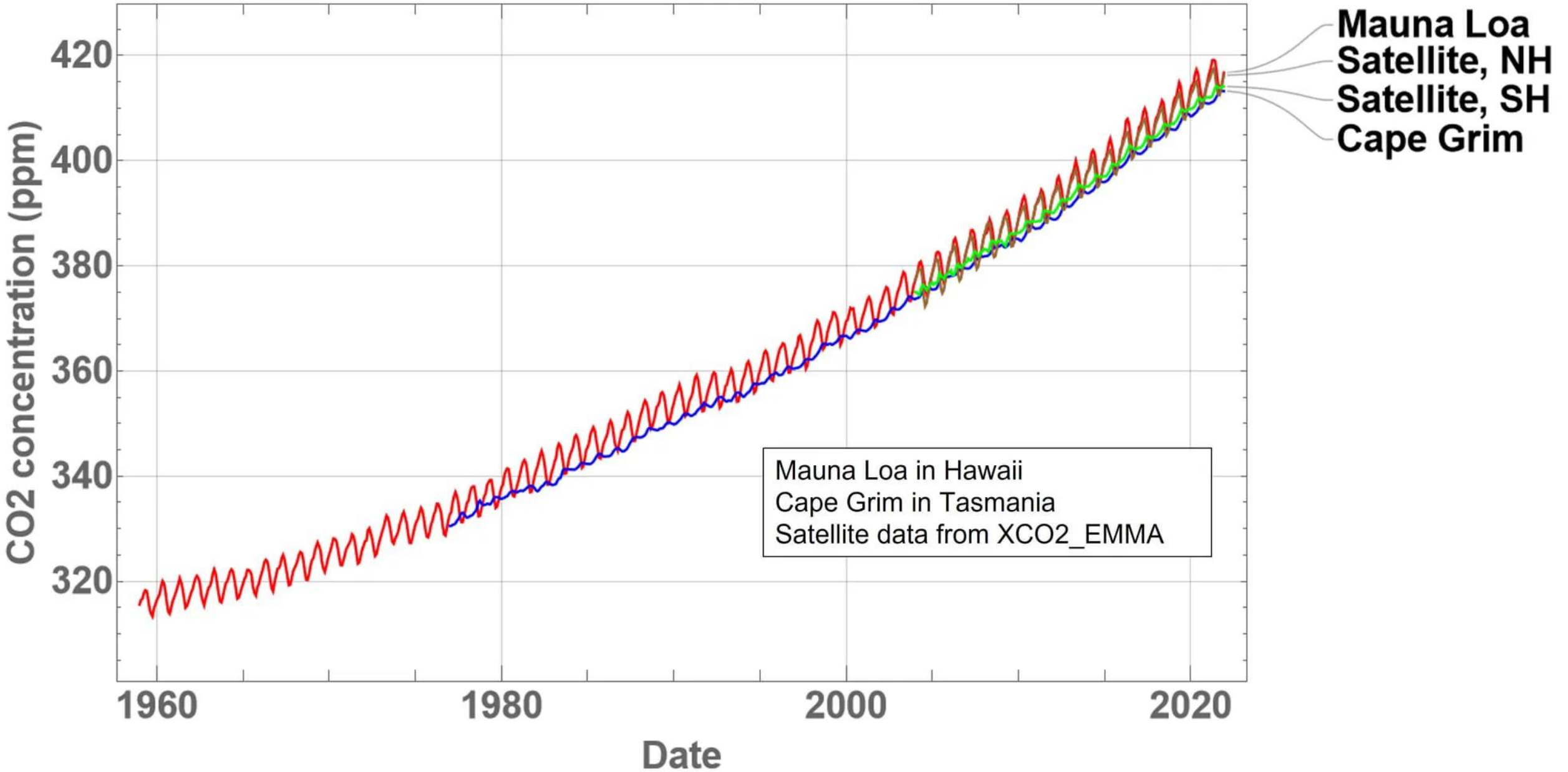
Aspirowanie do miana pierwszego kontynentu neutralnego dla klimatu



Zmiana klimatu i degradacja środowiska stanowią zagrożenie dla Europy i reszty Świata. Aby sprostać tym wyzwaniom powstał plan działania Europejski Zielony Ład. Ma on pomóc przekształcić UE w nowoczesną, zasobooszczędną i konkurencyjną gospodarkę:

- która w 2050 r. osiągnie zerowy poziom emisji gazów cieplarnianych netto
- w której nastąpi oddzielenie wzrostu gospodarczego od zużycia zasobów
- w której żadna osoba ani żaden region nie pozostaną w tyle.

Atmospheric CO2 concentration measured from ground stations and satellites

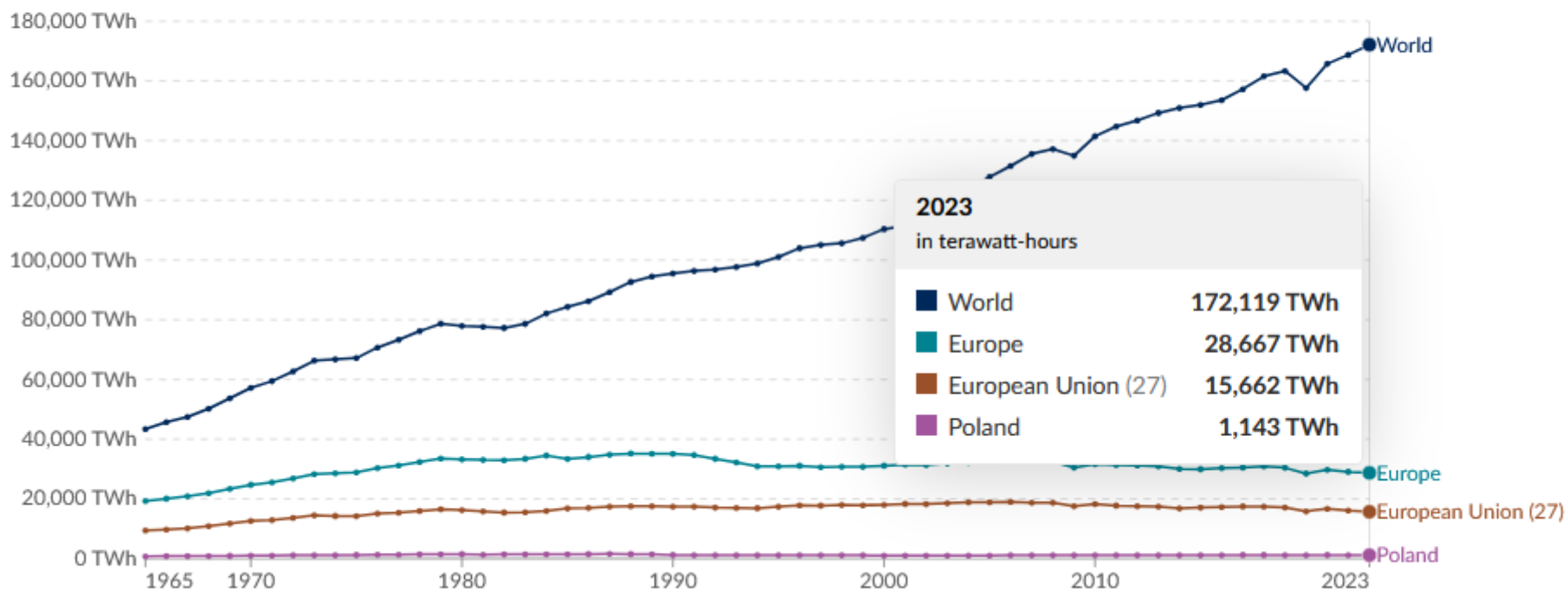


Primary energy consumption

Primary energy consumption is measured in terawatt-hours, using the substitution method.

Table Map Chart

Settings



Play time-lapse

1965

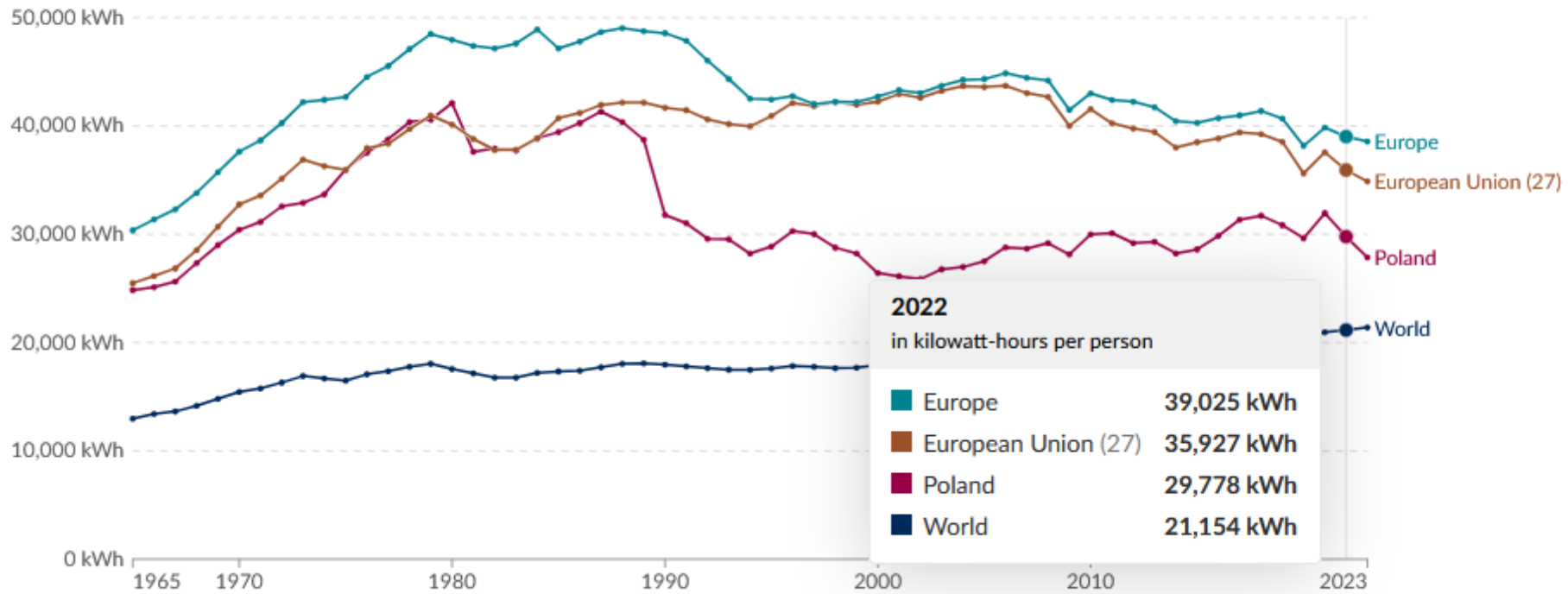
2023

Energy use per person

Measured in kilowatt-hours per person. Here, energy refers to primary energy using the substitution method.

Table | Map | Chart

Settings



Play time-lapse

1965

2023

Annual CO₂ emissions

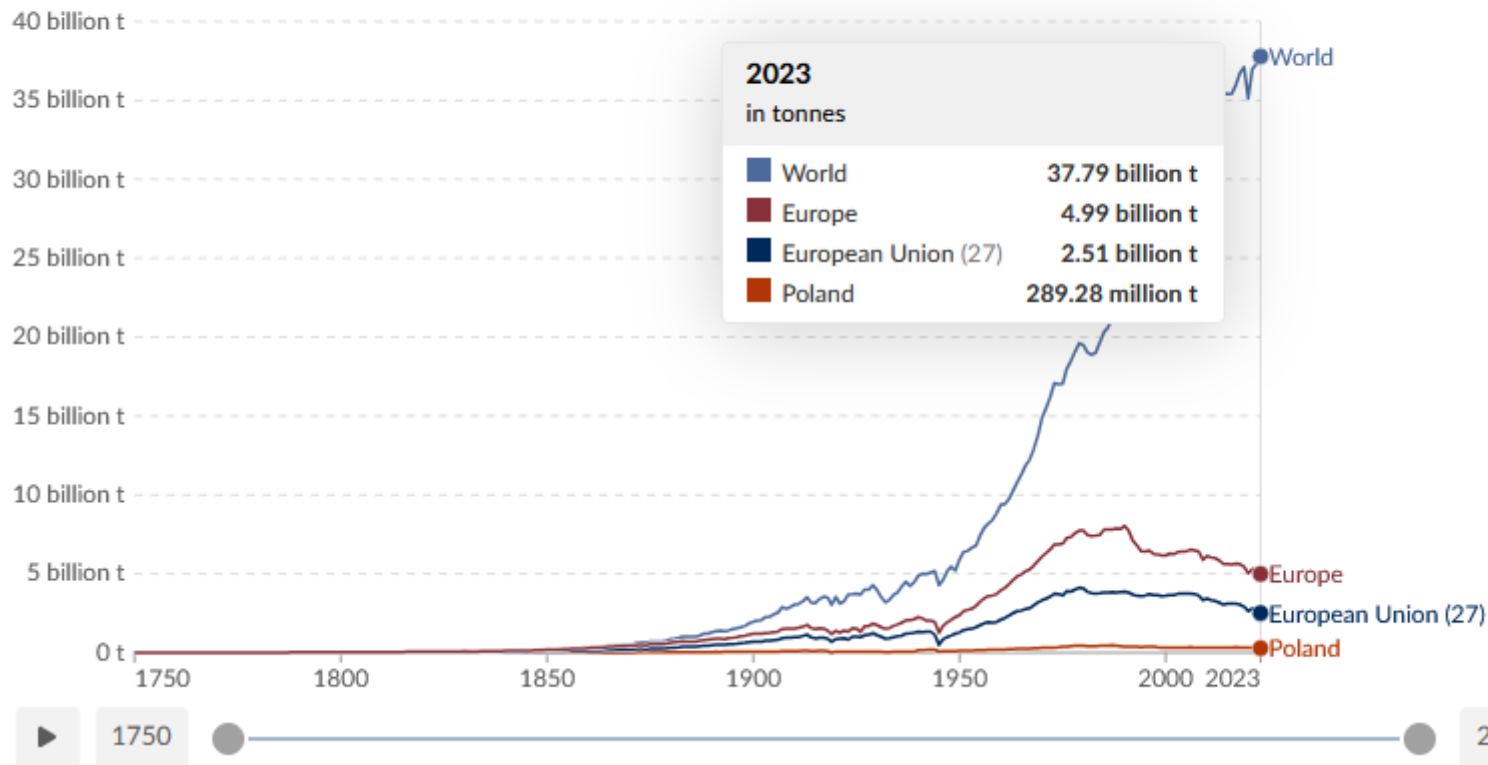
Carbon dioxide (CO₂) emissions from fossil fuels and industry. Land-use change is not included.

Our World
in Data

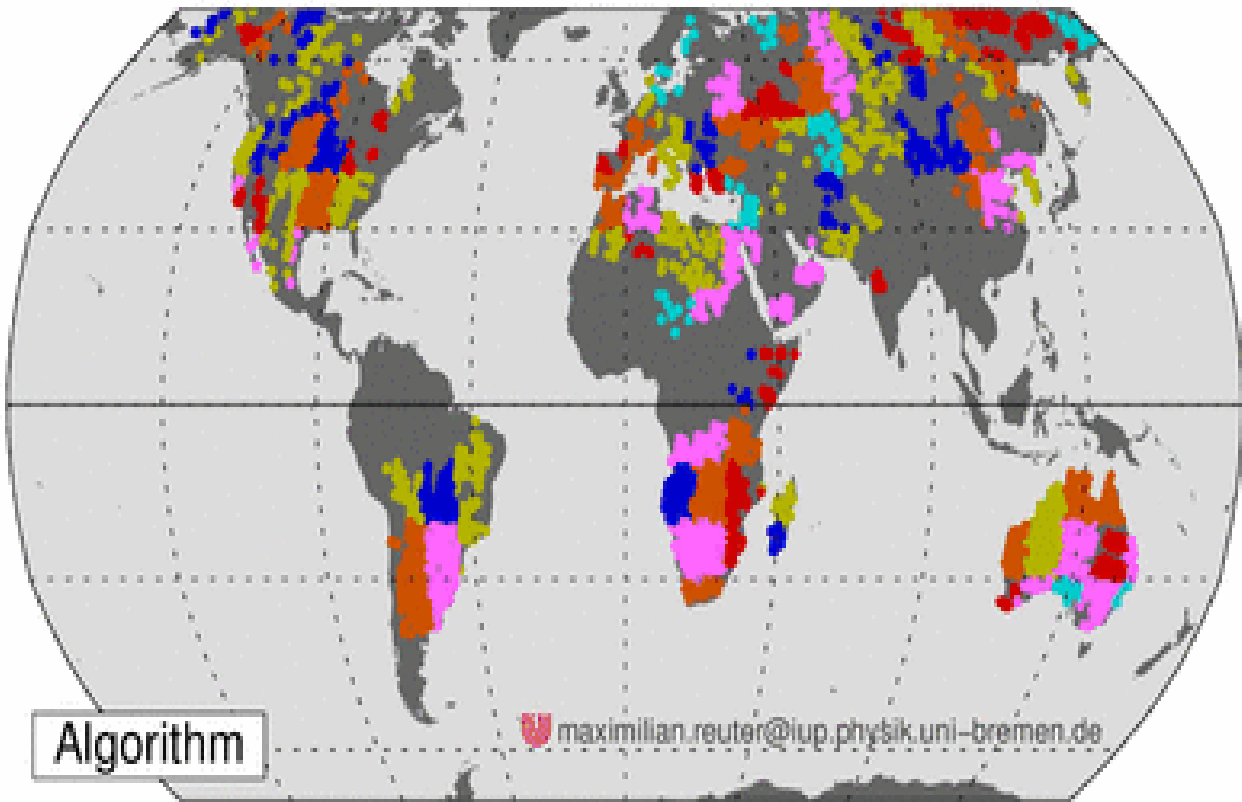
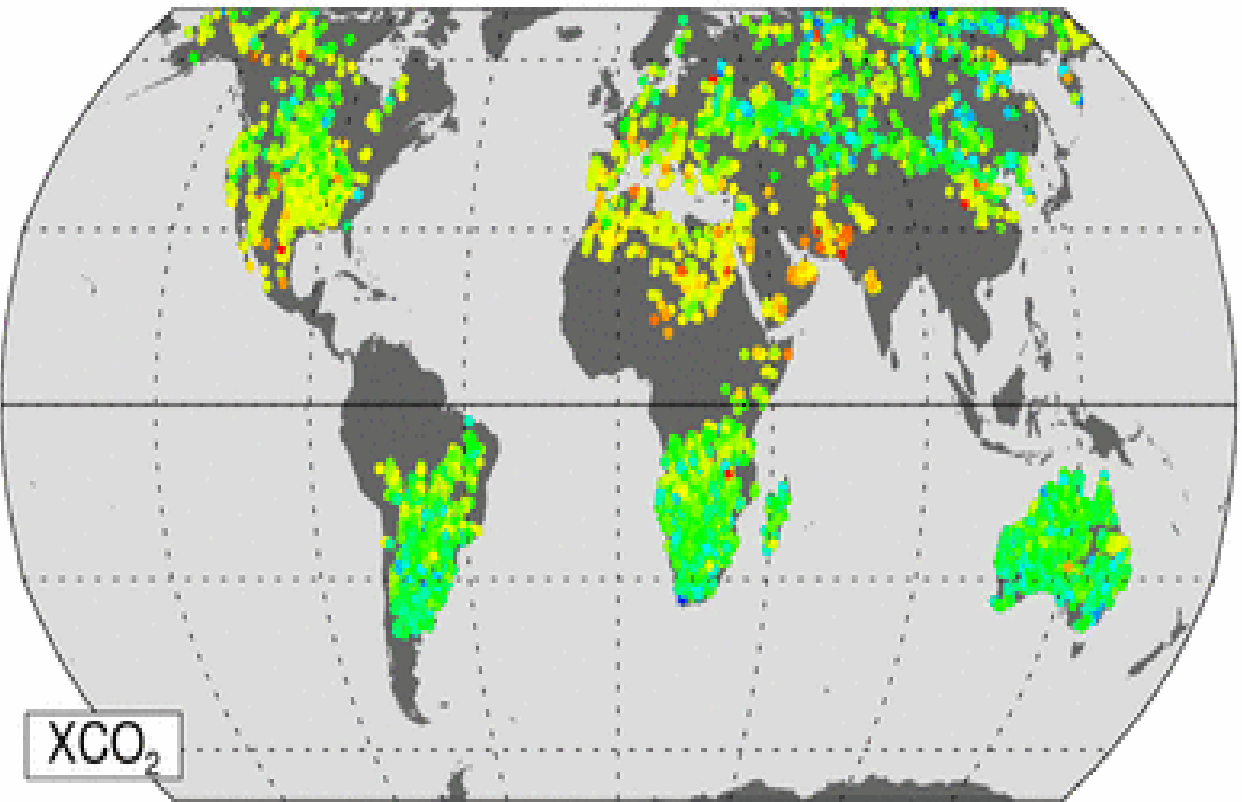
Table | Map | Chart

Edit countries and regions

Settings



EMMA v2.1b 06/2009



- BESD v02.01.02
- ACOS v3.5r01
- RemoTeC v2.3.7
- UoL-FP v6.0
- PPDF-S v02.11
- NIES v02.21

Zrównoważony transport dla wszystkich



Dzięki nowym normom emisji CO₂ **do 2035 r. wszystkie nowe samochody osobowe i dostawcze rejestrowane w Europie będą bezemisyjne**. Pośrednim krokiem w kierunku zerowych emisji będzie zmniejszenie średniego poziomu emisji z nowych samochodów osobowych o 55% do 2030 r., a z nowych samochodów dostawczych o 50% do 2030 r. Zwiększy to szanse osiągnięcia bezemisyjności w transporcie drogowym w 2050 r.



Czy lokalna bezemisyjność samochodu elektrycznego jest równoważna bezemisyjności globalnej jego wykorzystania?

UE podaje na 2019r. **122,3 g CO₂/km** (w UE od roku 2020 E<95 g CO₂/km)

Średnia zużycie energii elektrycznej:

- małe pojazdy: 0,15 - 0,20 kWh/km

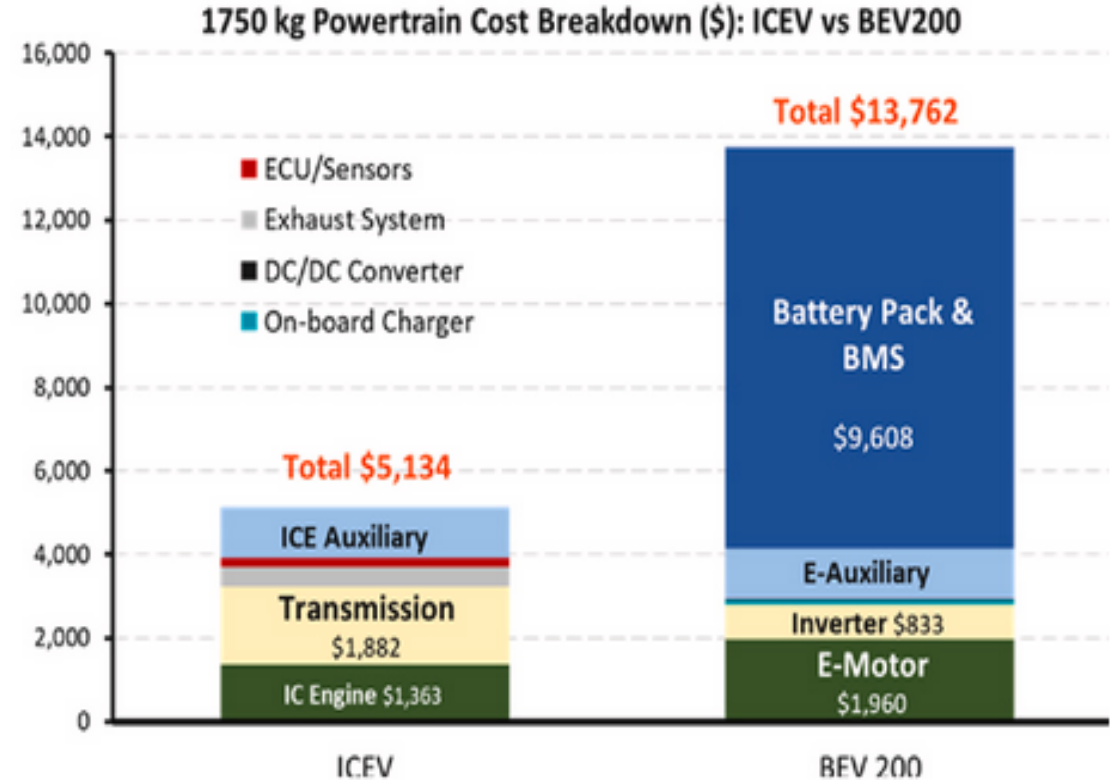
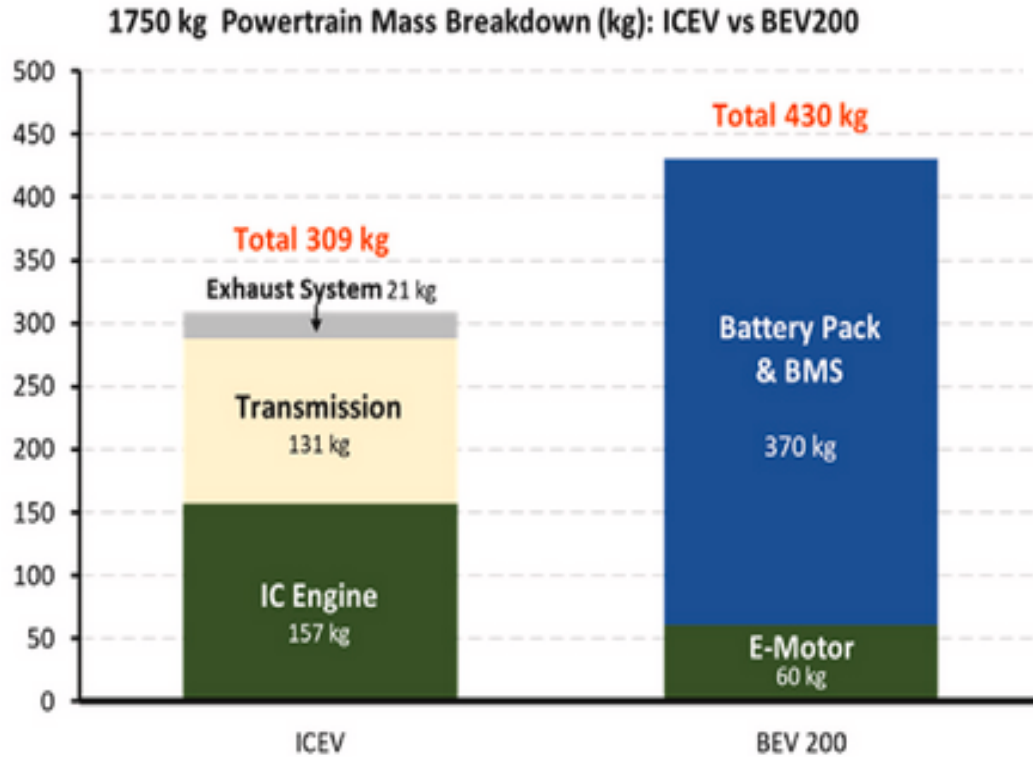
- większe pojazdy: 0,25 - 0,30 kWh/km

co daje średnio 0,225kWh/km

Polska $657,1 \text{ g CO}_2/\text{kWh} / \{(1 - [\text{PID}=10\%]) \times [\eta = 90\%] \times [W = 0,225 \text{ kWh/km}]\} = \mathbf{182,5 \text{ g CO}_2/\text{km}}$



Czy LCC (live cycle cost) samochodu elektrycznego jest mniejsze od LCC samochodu spalinowego?



Czy LCA (z ang. Life Cycle Assessment) samochodu elektrycznego jest mniejsze od LCA samochodu spalinowego?

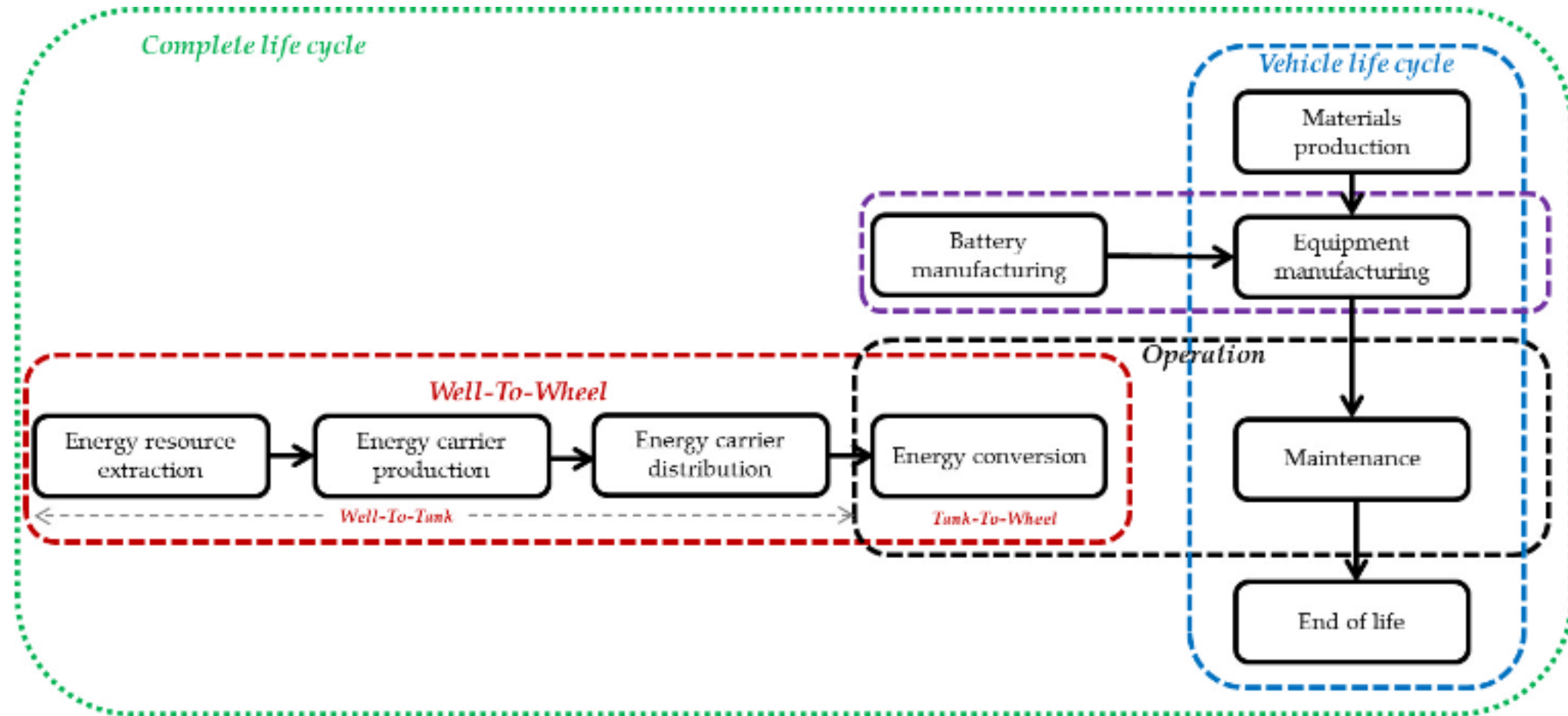


Figure 1 System boundary and life cycle environmental impact assessment of vehicles (adapted from [7])

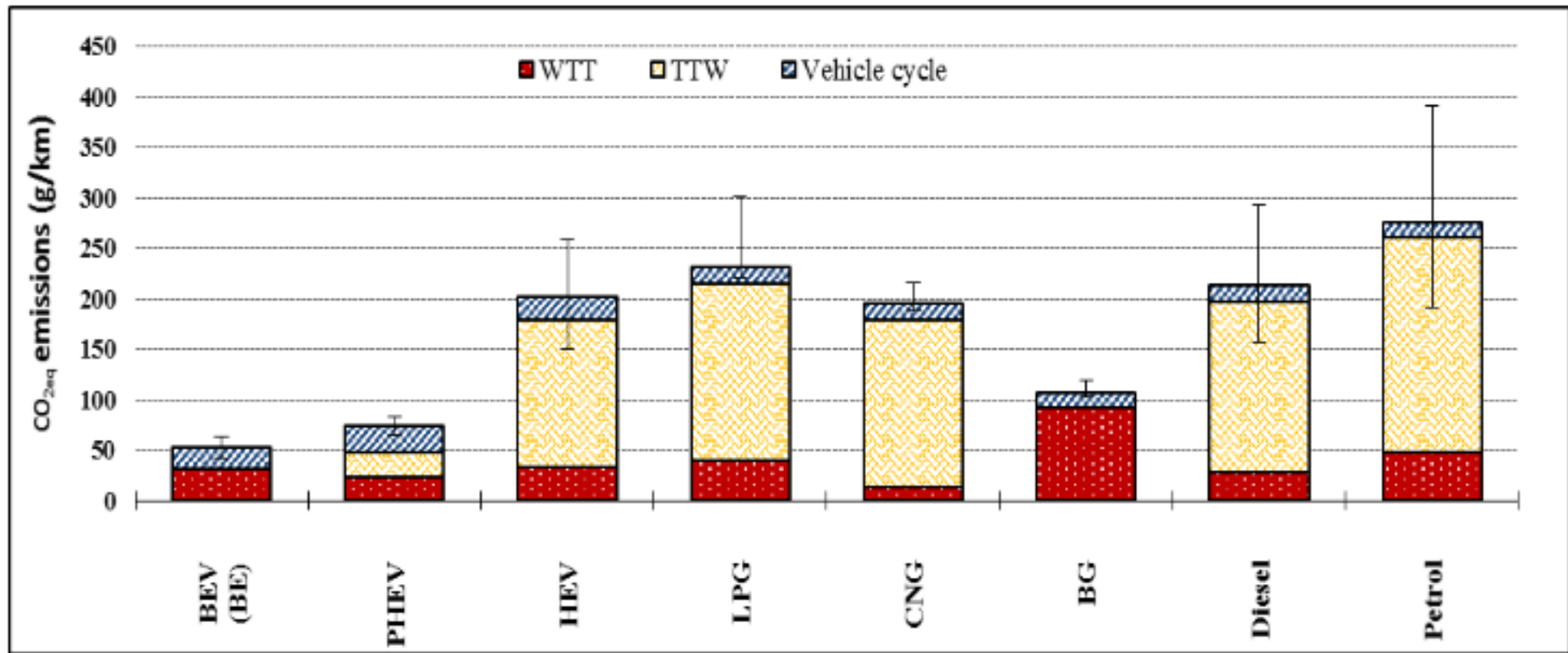


Figure 2 Climate change (or) Global warming potential of different vehicle technologies (data from [9] and [13])

WTT - "well-to-tank" (do odwiertu do zbiornika)

TTW - "tank-to-wheel" (od zbiornika do koła)

CNG compressed natural gas

BEV battery electric vehicles

LPG Liquid Petrol Gas

BG Biogas

PHEV plug-in hybrid electric vehicles ,

HEV hybrid electric vehicles

DIESEL petrol vehicles and

PETROL diesel vehicles.

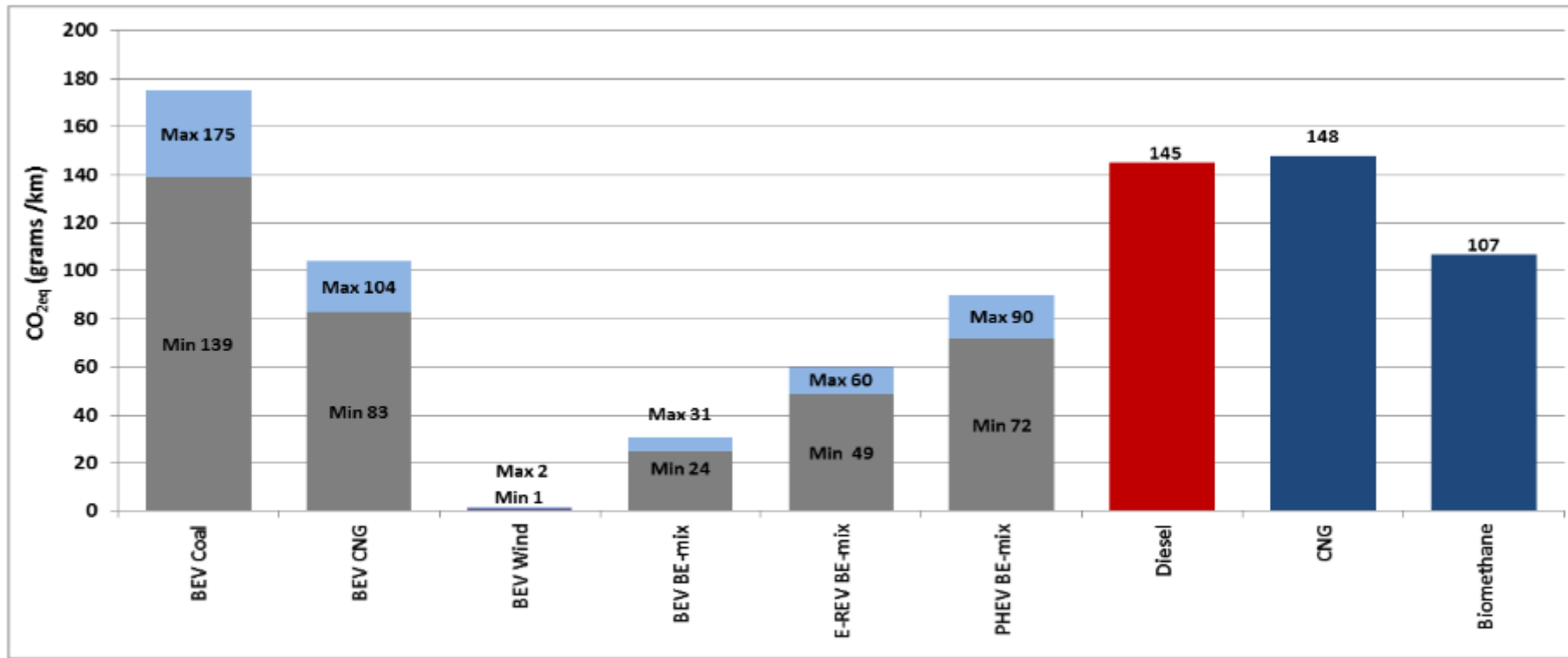


Figure 3 WTW GHG emissions for different electricity production and degrees of electrification (based on [7] and [14])

WTT - “well-to-tank” (od odwiertu do zbiornika)

TTW - “tank-to-wheel” (od zbiornika do koła)

WTW - “well-to-wheel” (od odwiertu do koła)

CNG compressed natural gas

BEV battery electric vehicles

LPG Liquid Petrol Gas

Biomethane Biogas

PHEV plug-in hybrid electric vehicles ,

HEV hybrid electric vehicles

DIESEL petrol vehicles and

PETROL diesel vehicles.

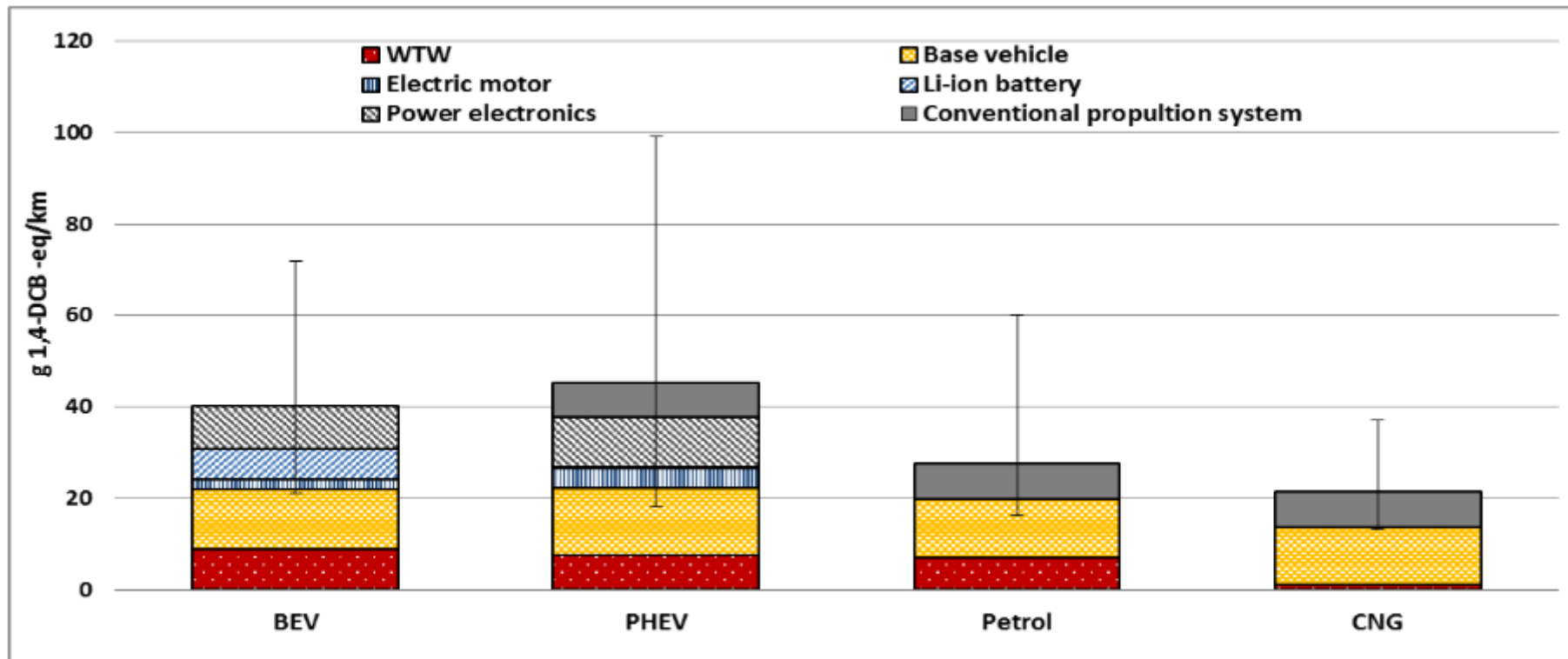


Figure 6 Human toxicity potential - Comparison between BEV and ICE vehicles (based on [7] and [10])

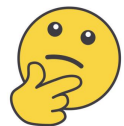
Rysunek przedstawia wyniki potencjalnej toksyczności dla człowieka czterech technologii nośników energii dla pojazdów BEV, PHEV, Petrol, CNG

Wyraża się go w jednostkach równoważników 1,4-dichlorobenzenu (DCB), dobrze znanego pestycydu.

Dla wszystkich pojazdów, największa część toksycznych emisji pochodzi z wydobywania materiałów wykorzystywanych w bazie produkcyjnej pojazdów (nadwozie i inne części wspólne).

Dla pojazdów elektrycznych znaczny udział stanowi elektronika siłowa – sterowanie pracą silnika

Toksyczność baterii dla BEV i napędu spalinowego dla Petrol, PHEV i CNG są na podobnym poziomie



CZY JEST ALTERNATYWA?

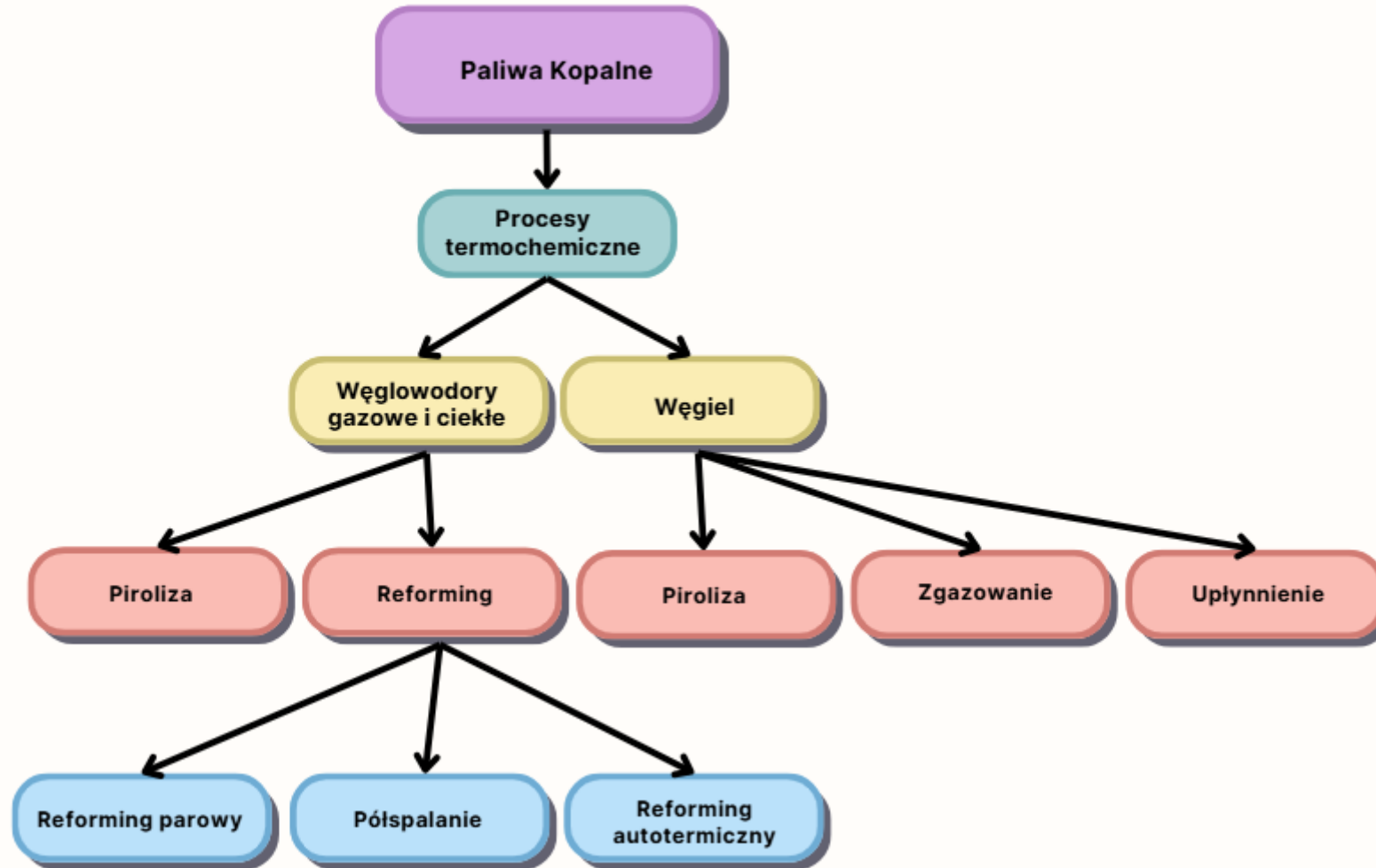
WODÓR ?

Wodór jest pierwiastkiem chemicznym o symbolu H, który występuje obficie we Wszechświecie, natomiast na Ziemi znajduje się na dziewiątym miejscu pod względem rozpowszechnienia, stanowiąc około 0,14% masy skorupy ziemskiej (woda, oceany, atmosfera)

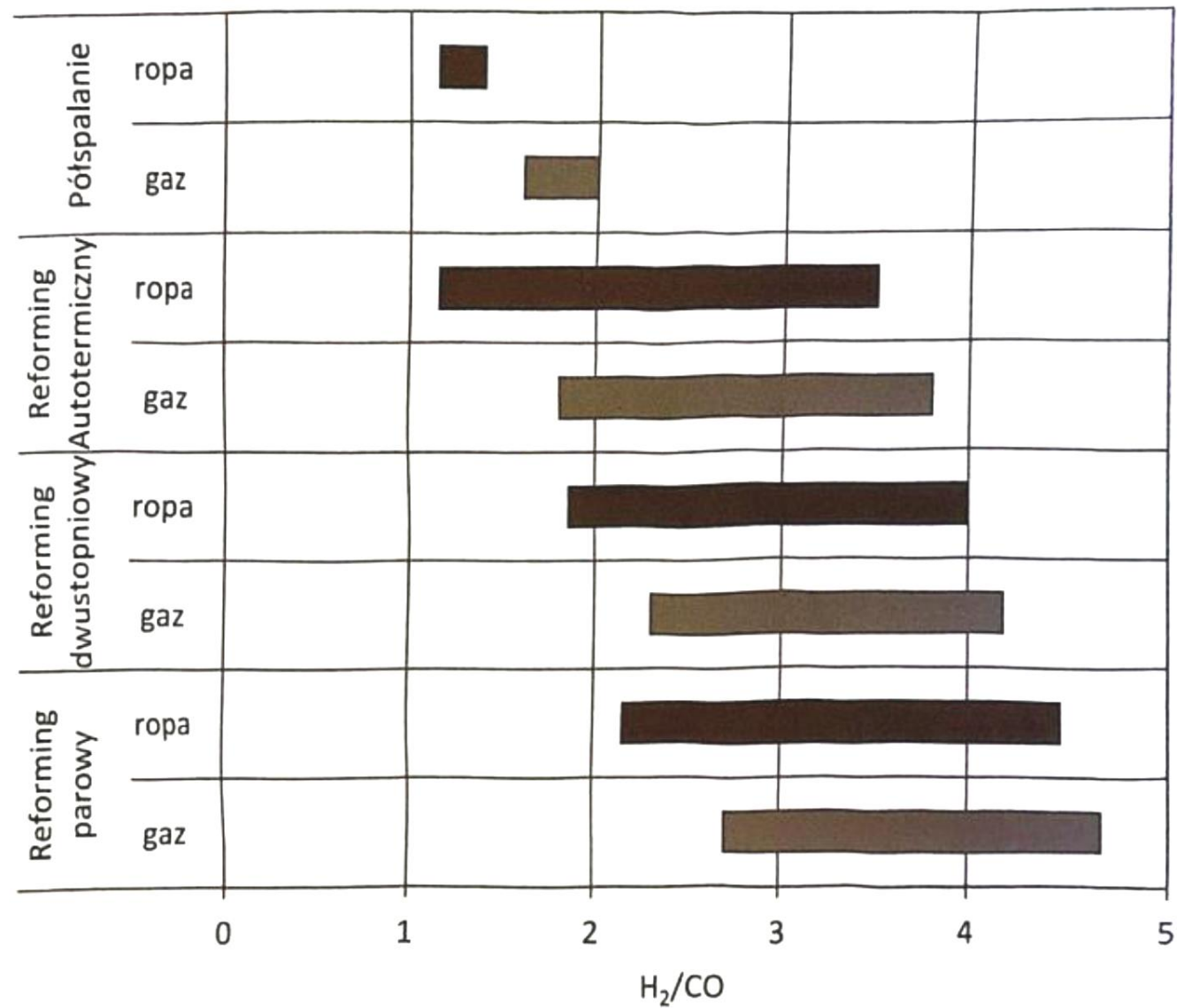
Ponadto, wodór może występować w stanie wolnym

- w niektórych gazach wulkanicznych**
- w niewielkich ilościach jako składnik gazu ziemnego**
- w śladowych ilościach w niektórych skałach i minerałach.**

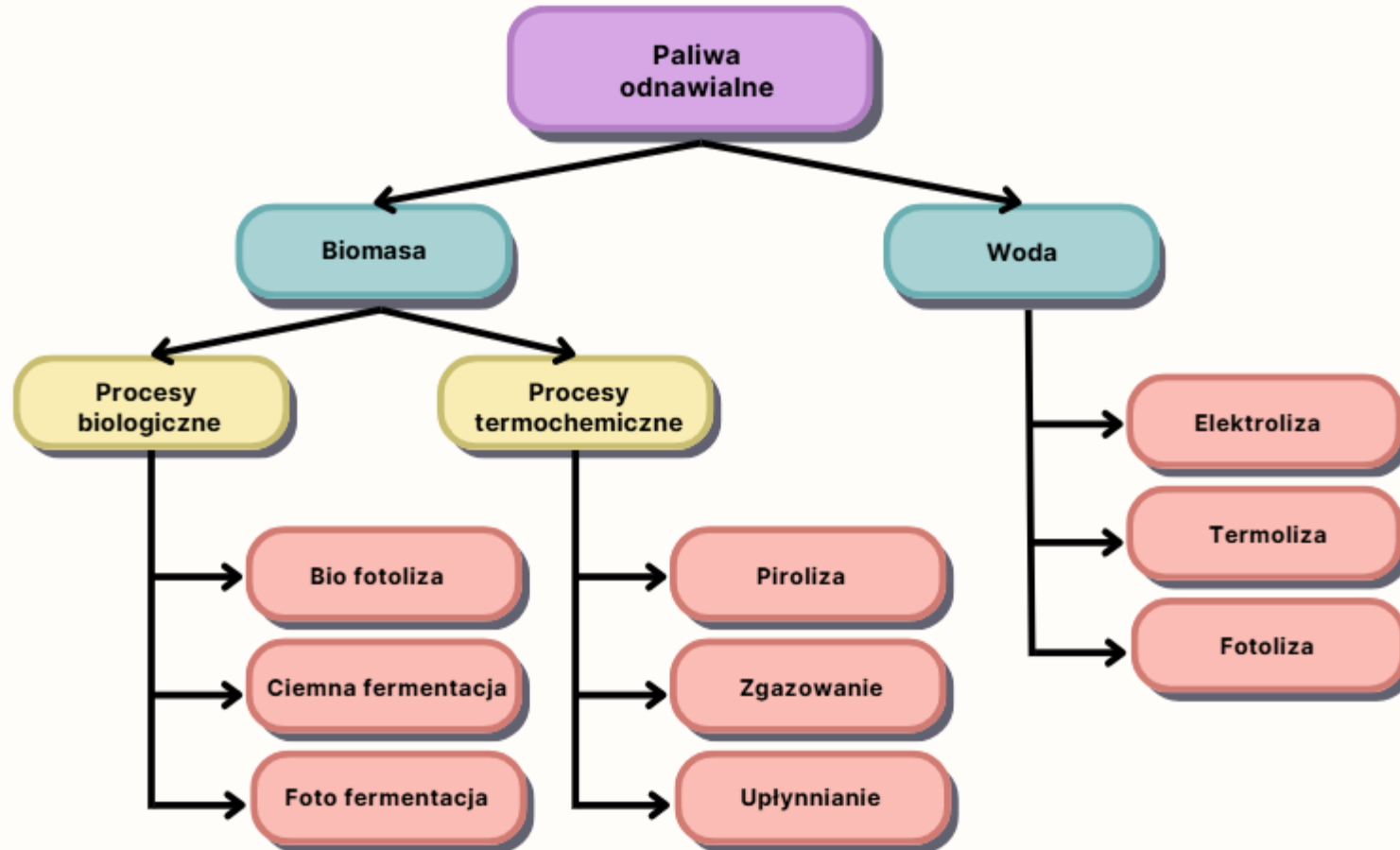
Metody produkcji wodoru z paliw kopalnych



Stosunek H_2/CO w różnych procesach konwersji termochemicznej



Metody produkcji wodoru z paliw odnawialnych



- Przyjęto klasyfikację wodoru ze względu na pochodzenie i założono, że wodór występuje w różnych kolorach

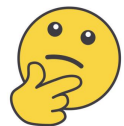
- **czarnym,** Powstaje w procesie konwersji węgla w gaz w obecności wody (para).
Węgiel jest podgrzewany do 700°C (bez spalania) i dodawany jest tlen i para wodna.
Mieszanka tlenku węgla (CO) i pary wodnej jest przekształcana w dwutlenek węgla (CO₂) i wodór (H₂). Proces nazywa się gazyfikacją
- **szarym,** Produkcja poprzez reforming parowy.
Gaz ziemny, głównie **metan (CH₄), reaguje z parą wodną w mieszaninie wysokociśnieniowej**, wytwarzając dwutlenek węgla i wodór.
- **zielonym,** Wodór można również uzyskać **poprzez elektrolizę wody**. Dzieje się tak, gdy elektryczność jest wykorzystywana do rozkładu cząsteczki wody na tlen i wodór. Zielony lub „czysty” wodór oznacza, że elektryczność wykorzystywana do elektrolizy wody pochodzi ze źródeł odnawialnych (słonecznych, wiatrowych, geotermalnych itp.).
- **niebieskim,** Wodór nazywany jest niebieskim, gdy powstaje w procesie reformingu parowego, jednak **emisja CO₂ jest wychwycona i zmagazynowana**, aby zapobiec jego przedostaniu się do atmosfery.
- **turkusowym,** Metan można również rozłożyć w **bardzo wysokich temperaturach w procesie zwanym pirolizą metanu**.
W tej technice wodór uwalnia się jako gaz, natomiast węgiel pozostaje jako ciało stałe (sadza). Stały węgiel można łatwo sekwestrować lub ponownie wykorzystać w różnych formach. Proces ten jest „niskoemisyjny”, ponieważ CO₂ nie jest uwalniany do atmosfery.
- **różowym,** Występuje wtedy, kiedy prąd do elektrolizy pochodzi z **elektrowni jądrowych**.
- **żółtym,** Występuje wtedy, kiedy energia elektryczna do elektrolizy **pochodzi z mieszanki energii odnawialnej (słonecznej) i nieodnawialnej**.
- **białym.** Serpentyinizacja to **naturalny proces przemiany skał, zawierających wysokie stężenie żelaza i magnezu, przez wodę**. Ta przemiana, w połączeniu z utlenianiem metali obecnych w skałach, **wytwarza gaz bogaty w wodór i bardzo zasadową wodę (pH do 12,5)**.

Obecnie 95% wodoru wytwarzanego przez człowieka pochodzi z **reformingu parowego**, techniki o dużej wydajności, ale katastrofalnym śladzie węglowym.

Z drugiej strony **elektroliza wytwarza wodór z odnawialnych źródeł energii**, traci około dwóch trzecich energii wejściowej w procesie produkcji.

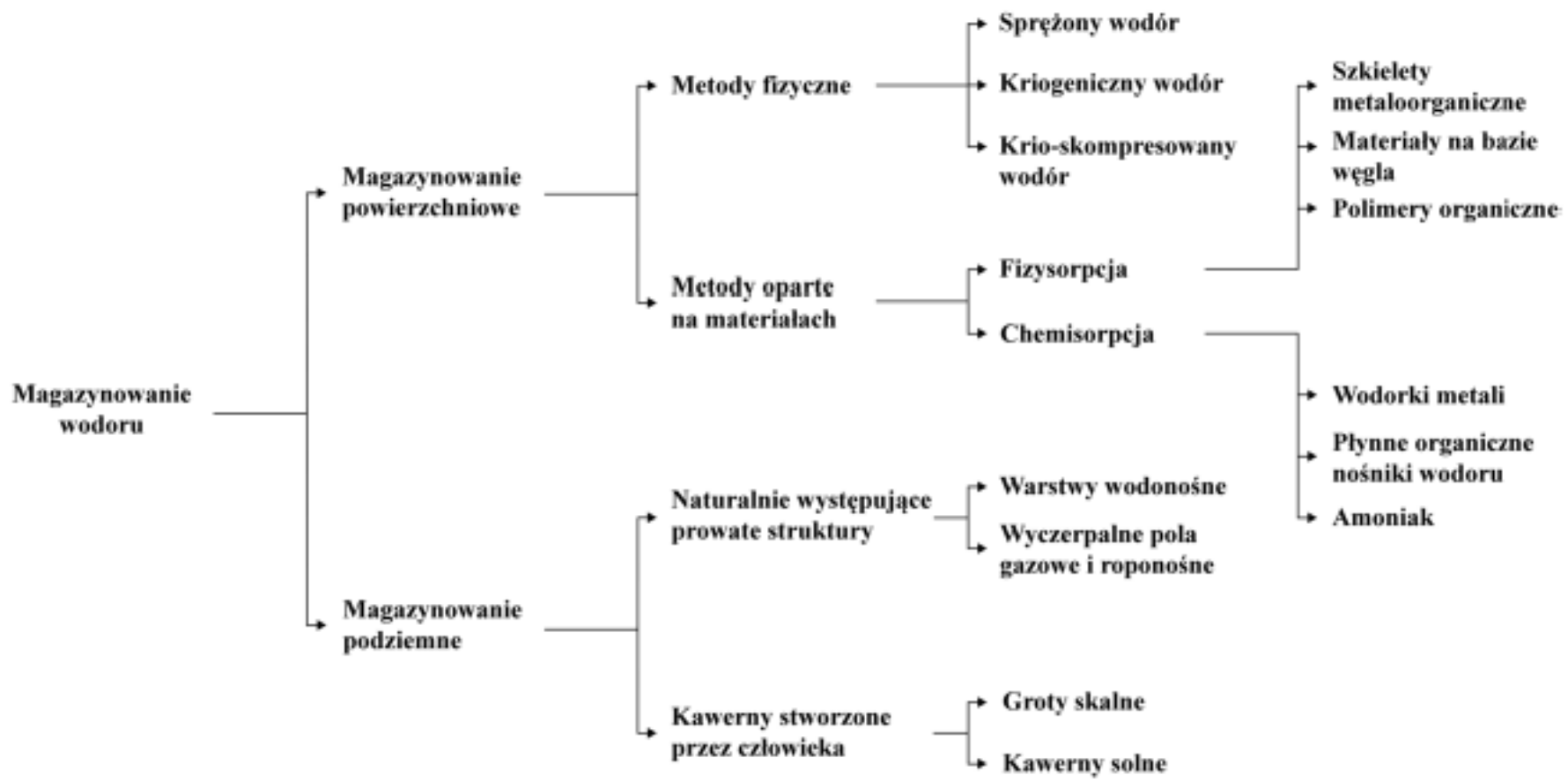
Naturalny wodór jest obecnie postrzegany jako obiecujące, wolne od węgla i obfite źródło energii, które wymaga minimalnej infrastruktury do jego eksploatacji (daleko mniejsze od wymagań odwiertów naftowych).

Ze względu na brak dedykowanych badań do tej pory trudno jest ocenić zasoby białego wodoru na świecie.



CO DALEJ?

MAGAZYNOWANIE



- We wszechświecie wodór jest jednym z najbardziej rozpowszechnionych pierwiastków – **70%**
- Jest gazem bezbarwnym, bez zapachu i smaku o temperaturze **wrzenia 20 K i temperaturze krzepnięcia 14 K**
- Gęstość wodoru gazowego (273 K, 1013 hPa) wynosi 90 g/m^3 , **ciekłego $70,8 \text{ kg/m}^3$** , a krystalicznego 88 kg/m^3
- Wartość opałowa wodoru jest bardzo wysoka i wynosi **120 MJ/kg** (dla przykładu - węgiel 25 MJ/kg, benzyna 47 MJ/kg)
- **Wodór dyfunduje** przez gumę, materiały porowate, a w podwyższonej temperaturze przez stal.
- Reakcja wodoru z tlenem przebiega **wybuchowo już od 6% H_2 w O_2 , aż do 5% O_2 w H_2** i jest reakcją silnie egzotermiczną
- Przy temperaturze 293K mieszanina może **ulec samozapaleniu**, jeżeli objętościowe stężenie wodoru wynosi od 4 do 75%
- Stosowanie ciekłego wodoru stwarza **dodatkowe zagrożenia** związane z możliwością tworzenia się wybuchowych mieszanin ciekłego wodoru z zestalonym tlenem lub ciekłego wodoru z zestalonym powietrzem wzbogaconym w tlen

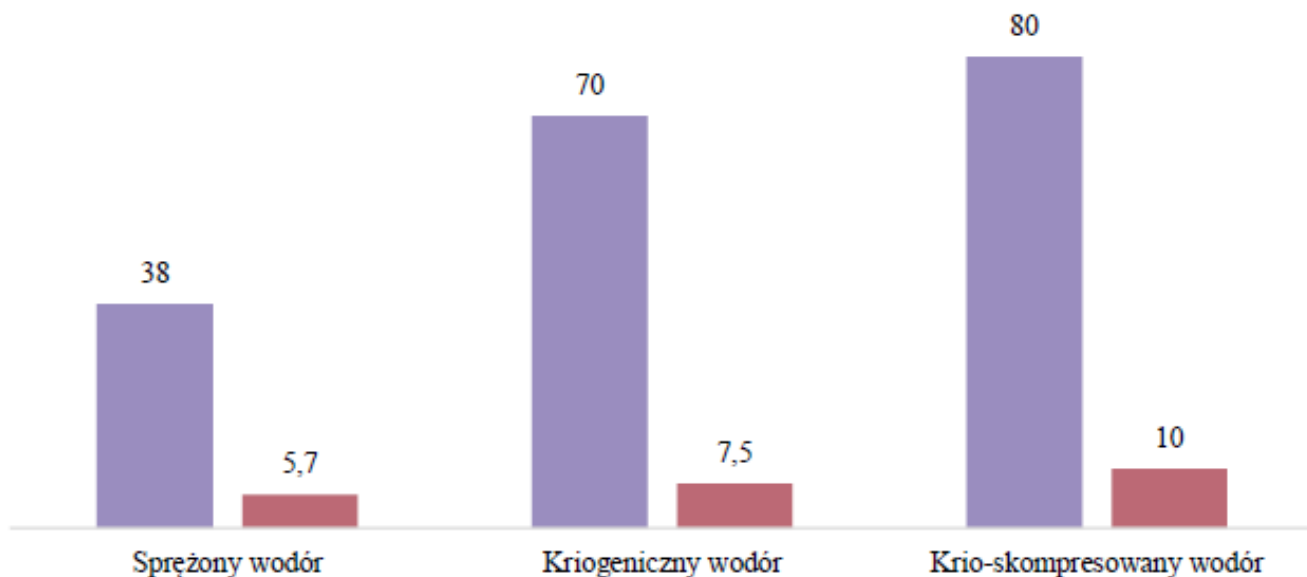
Gęstość energii [kWh/kg]

- **wodór** **39,7**
- metan 15,4
- benzyna 12,9
- koło zamachowe 0,1
- biodiesel 11,7
- Ogniwo paliwowe 0,4
- rozszczepienie uranu 24512517
- fuzja deuter-tryt 93605874

Zbiornik na	Masa paliwa [kg]	Masa paliwa i zbiornika [kg]	Zajmowana objętość [dm ³]
benzynę	22	27	30
metanol	49	57	62
wodorek FeTi-H ₂	8,2	772	340
sprężony wodór 250 bar	8,2	285	479
sprężony wodór 300 bar	8,2	205	368
ciekły wodór	8,2	73	115

Gęstości objętościowe i grawimetryczne wodoru w zależności od zastosowanej metody

■ Gęstość objętościowa [kg/m³] ■ Gęstość grawimetryczna [% wag.]



Gęstość energii H₂ = 143 MJ/kg

Gęstość energii CH₄ = 55,6 MJ/kg

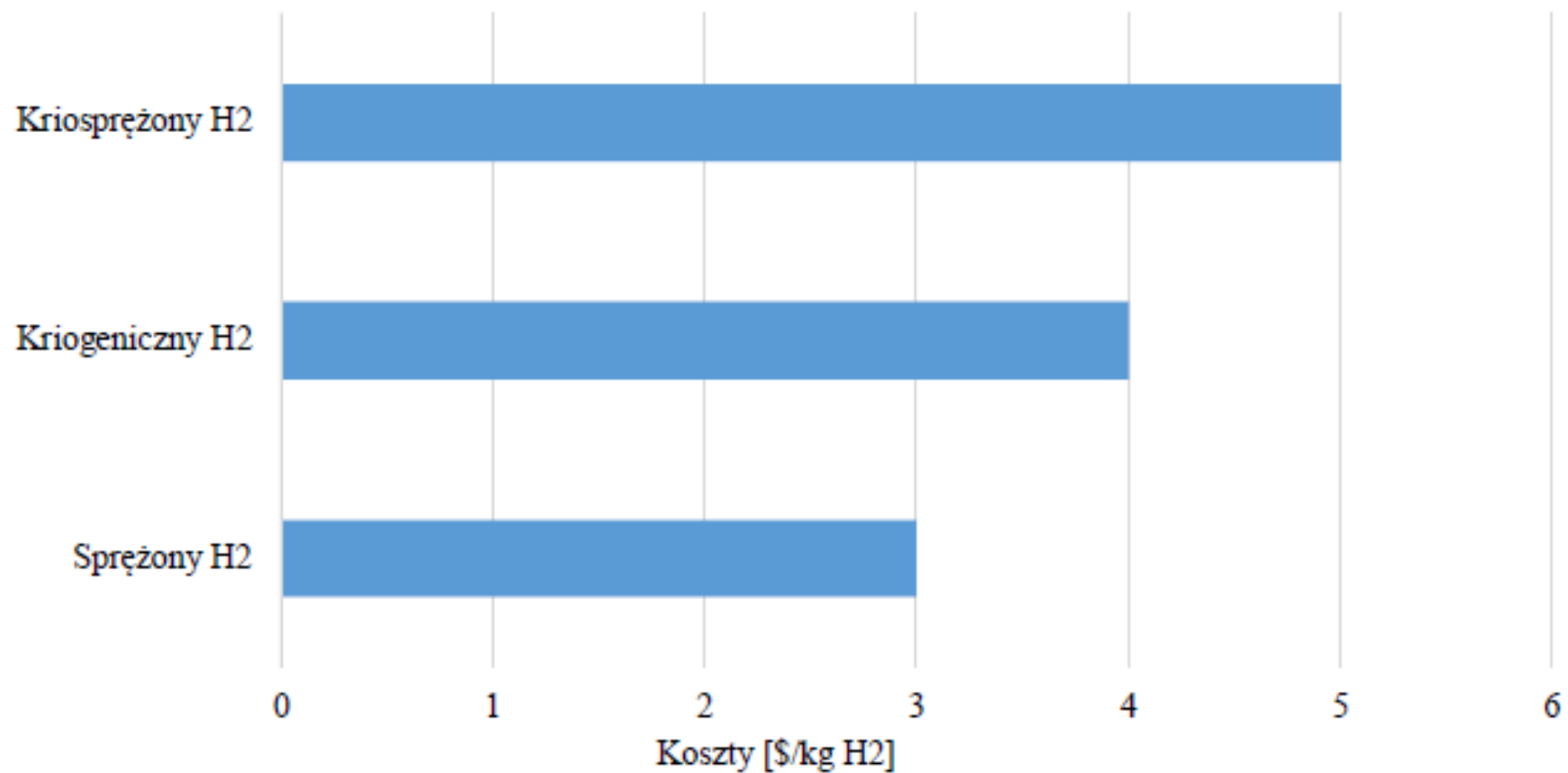
Gęstość energii LPG = 49,4 MJ/kg

Gęstość energii BENZYNA = 46,4 MJ/kg

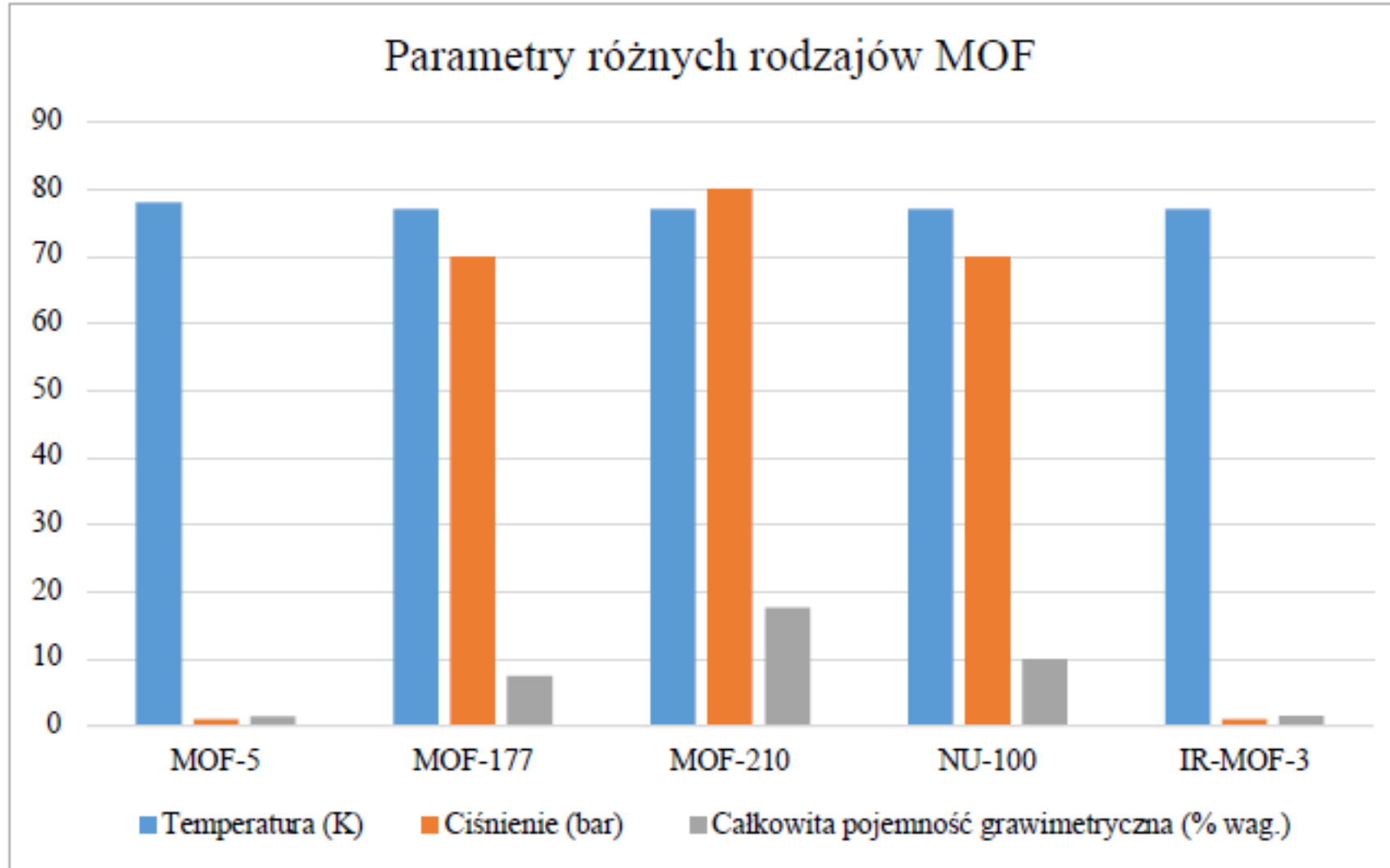
Gęstość energii ON = 46,2 MJ/kg

Gęstość grawimetryczna zdefiniowana jest jako masa wodoru w stosunku do całkowitej masy systemu magazynowego !!!

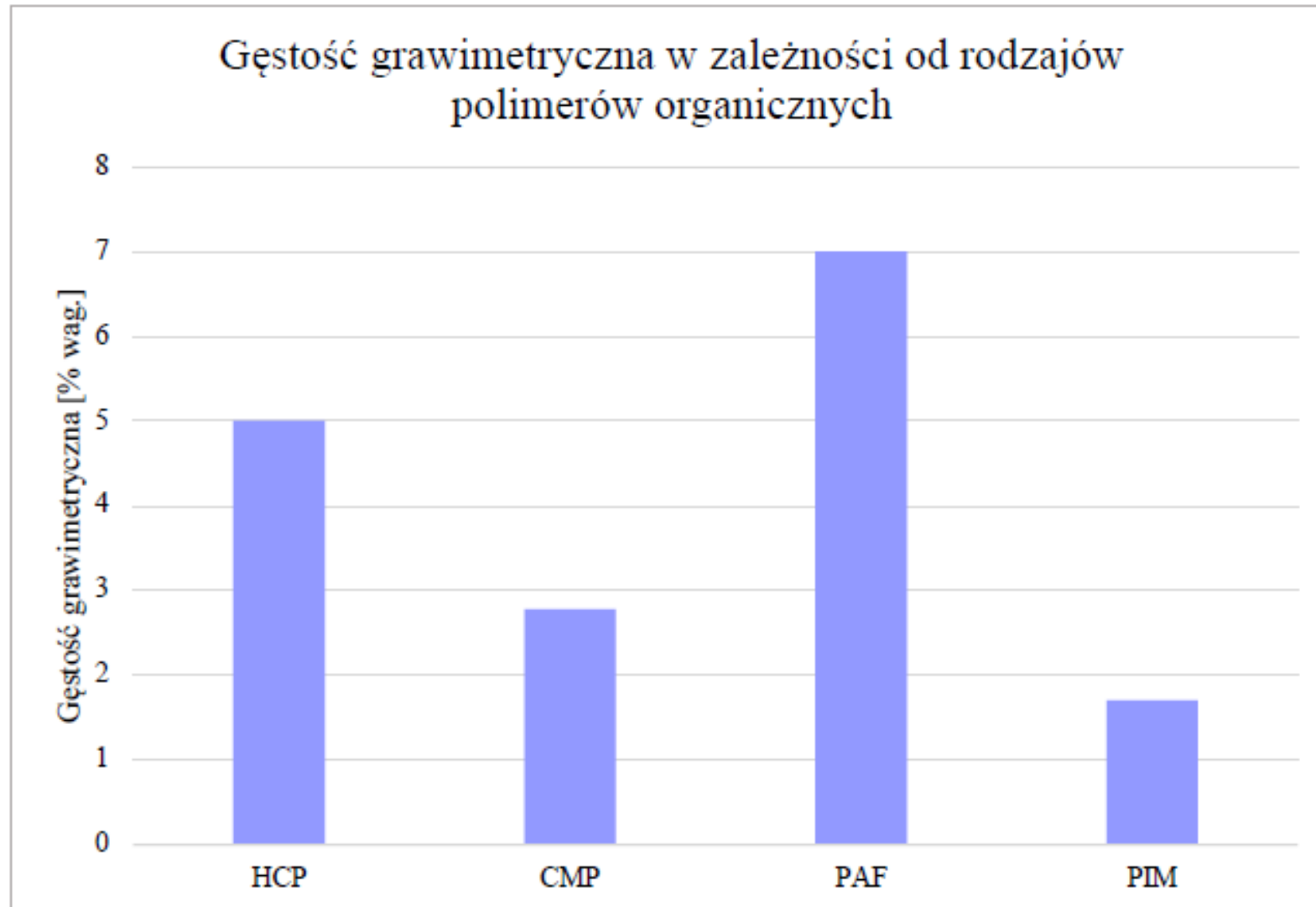
Koszty sprężenia, upłynnienia oraz kriokompresji wodoru



Szkielety metaloorganiczne (ang. *Metal-Organic Framework*)

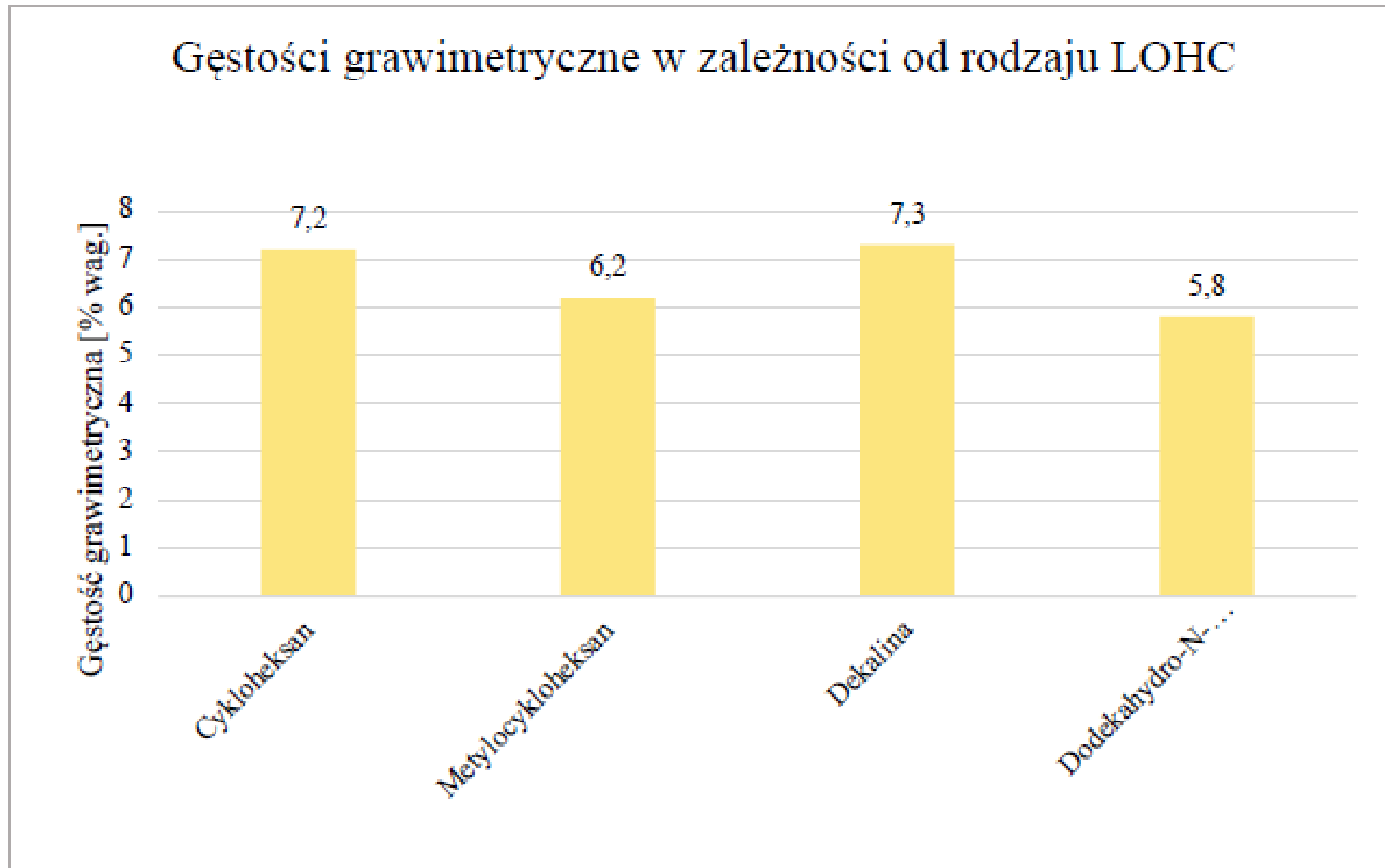


Polimery organiczne

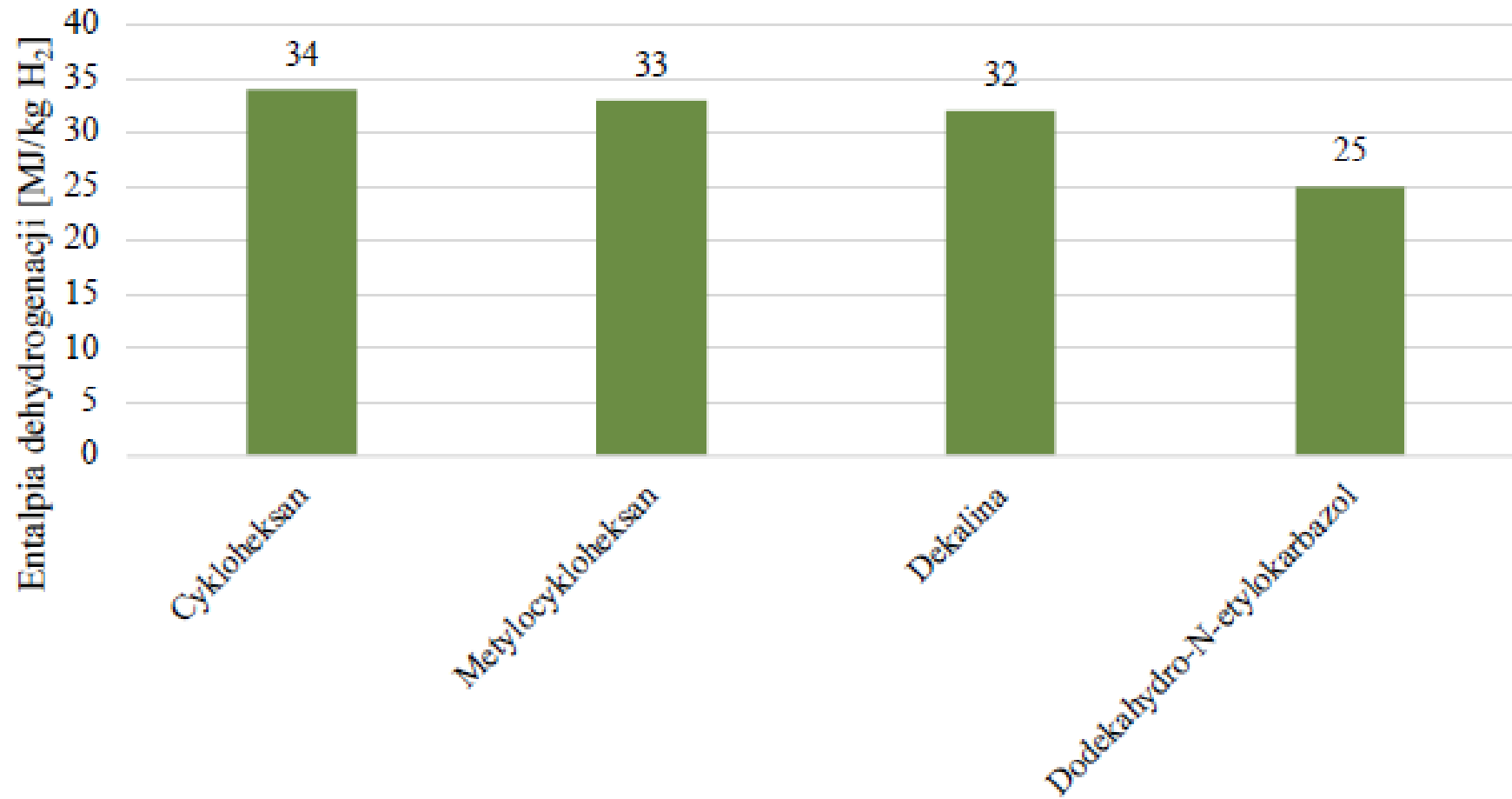


Płynne organiczne nośniki wodoru LOHC

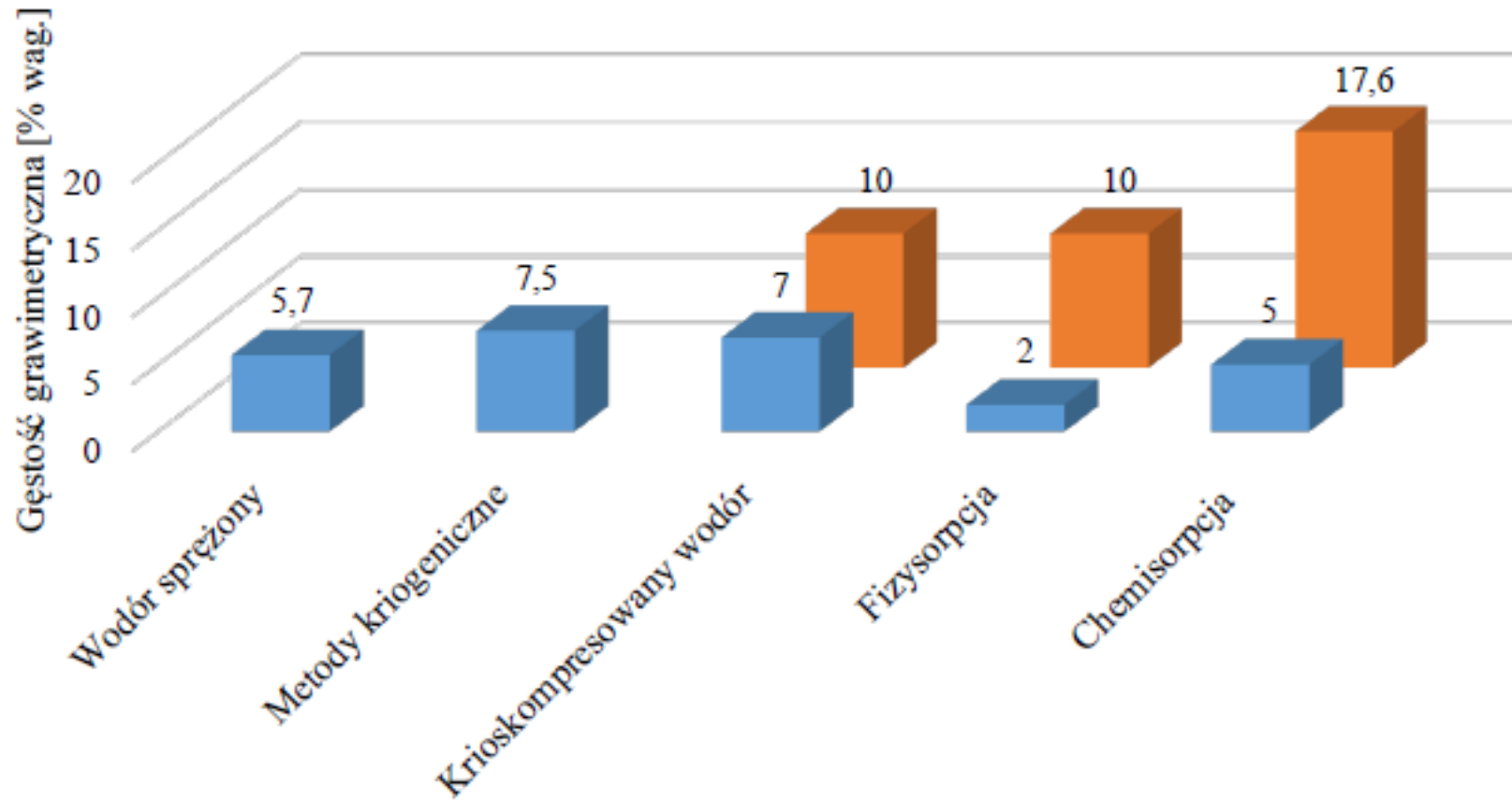
(ang. *Liquid organic hydrogen carrier*)



Entalpia dehydrogenacji w zależności od rodzaju LOHC

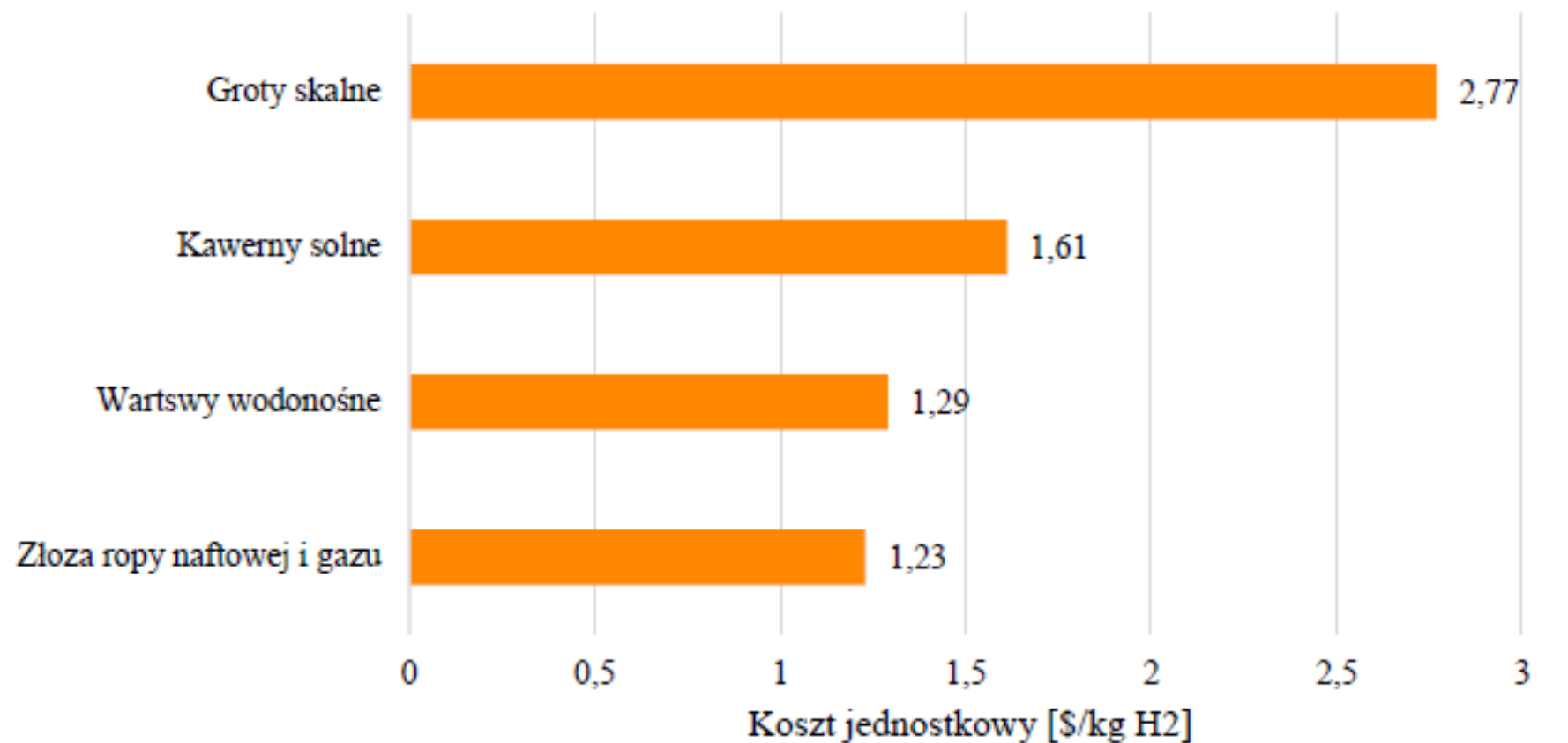


Gęstości grawimetryczne oferowane przez metody fizyczne oraz metody oparte na materiałach

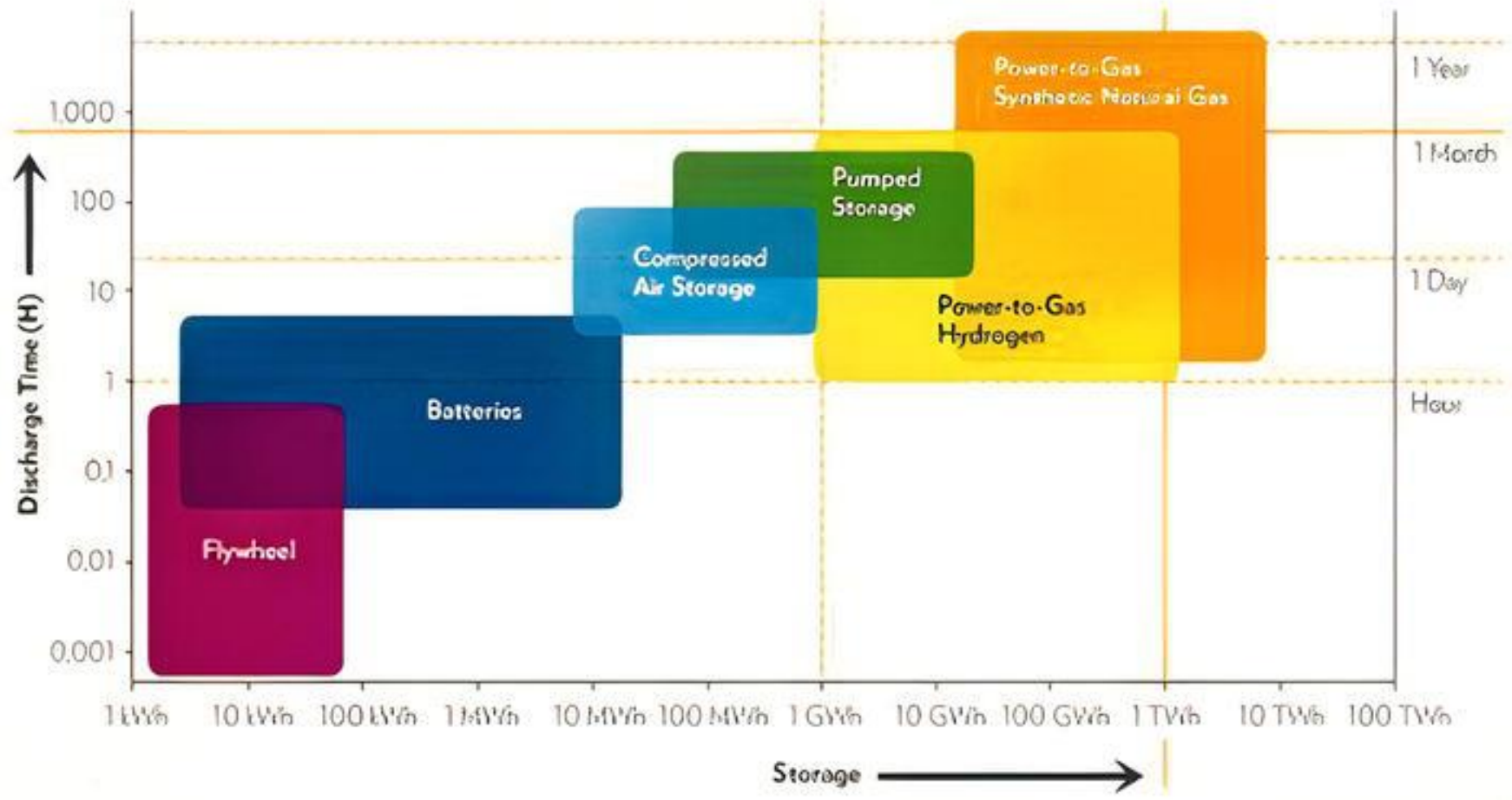


Gęstość grawimetryczna zdefiniowana jest jako masa wodoru w stosunku do całkowitej masy systemu magazynowego

Koszt jednostkowy różnych typów podziemnych magazynów wodoru



ENERGY STORAGE TECHNOLOGIES



DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ