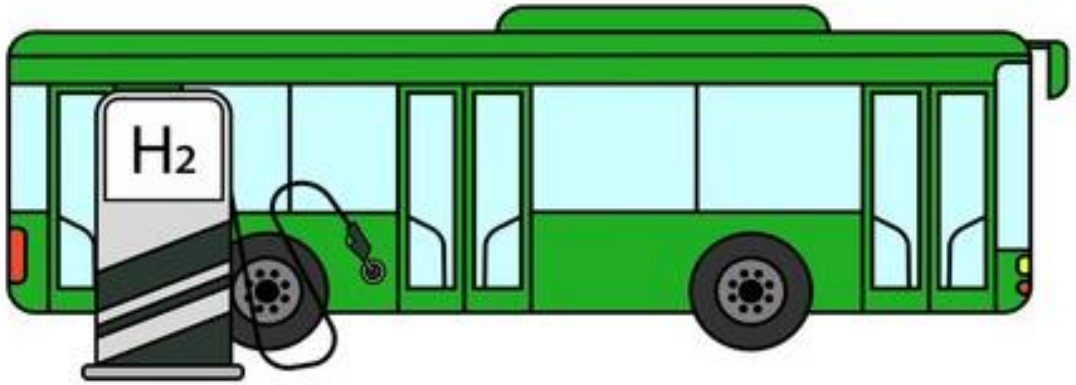
Polskie Forum Transportu, Logistyki i Spedycji – FORUM 2024
27-28.06.2024 Dąbrowa Górnicza

Stanisław Szwaja

Temat: C13.1. Wodór w transporcie publicznym



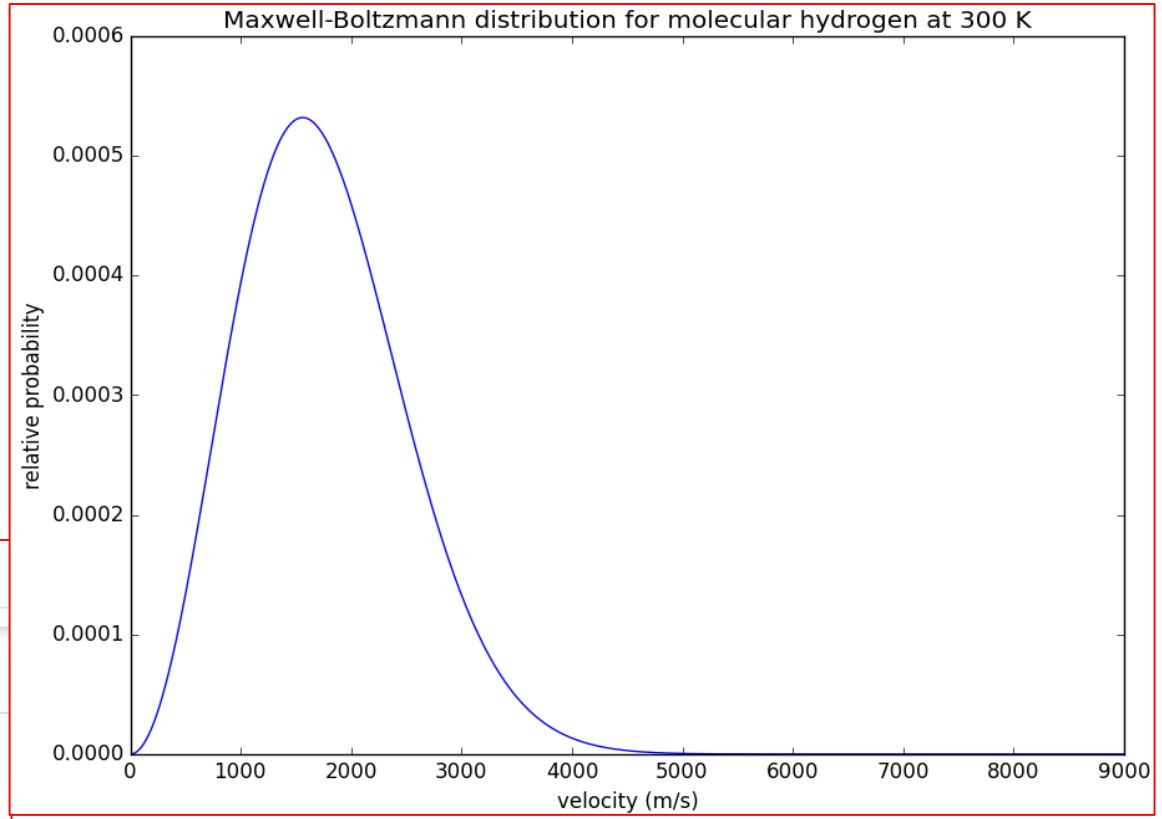
https://www.shutterstock.com/pl/image-vector/hydrogen-fuel-city-bus-h2-station-1501833959

Strategie rozwoju napędu samochodowego

Właściwości fizyko-chemiczne wodoru

(przypomnienie wiedzy ze szkoły)

	H2	B. 95	ON	CH3OH
Temperatura samozapłonu (°C)	582	380-470	230-270	464
Temperatura wrzenia (°C)	-253	nd	nd	65
Wartość opałowa (MJ/kg)	120	42	43	22
Gęstość energ. (MJ/dm^3)	**8** 750 bar	31	35	17



Google porównanie średnic cząsteczki wodoru i tlenu

People also ask

Ile wynosi średnica atomu wodoru?

Masa i rozmiary atomów

Nazwa pierwiastka	Masa atomu	Średnica atomu
wodór	0,167 * 10^{-23} g	0,000 000 008 cm
tlen	2,66 * 10^{-23} g	0,000 000 0013 cm

Koszt eksploatacji samoch

- Przyjmując 1.2 €/l ben wodoru mamy koszty:
- 3. Koszt 1 kWh ene
- z benzyn €,
- – 0.04 €,

Stanisław Szwaja

Temat: C13.1. Wodór w transporcie publicznym

1. Celowość wprowadzania wodoru do napędu środków transportu publicznego
Transport miejski vs. transport dalekobieżny - w którym stosować wodór?

Przykładowe porównanie zużycia paliwa: autobus H2 i autobus ON

Zużycie paliwa: autobus miejski - 35 dm^3/100 km ON

W przeliczeniu na czysty wodór = 15,6 kg/100 km / 750 bar, objętość zbiornika **234 dm^3**
Średni przebieg dzienny autobusu = 230 km (70000 km/rok/365 dni)

(soboty i niedziele mniejszy przebieg)

Wniosek: 3 tankowania dziennie lub większy zbiornik **630 dm^3**

Stosowanie wodoru jako paliwa. Wady i zalety.

Stosowanie wodoru lub stosowanie paliw wodorowych do środków transportu publicznego: (wady i zalety)

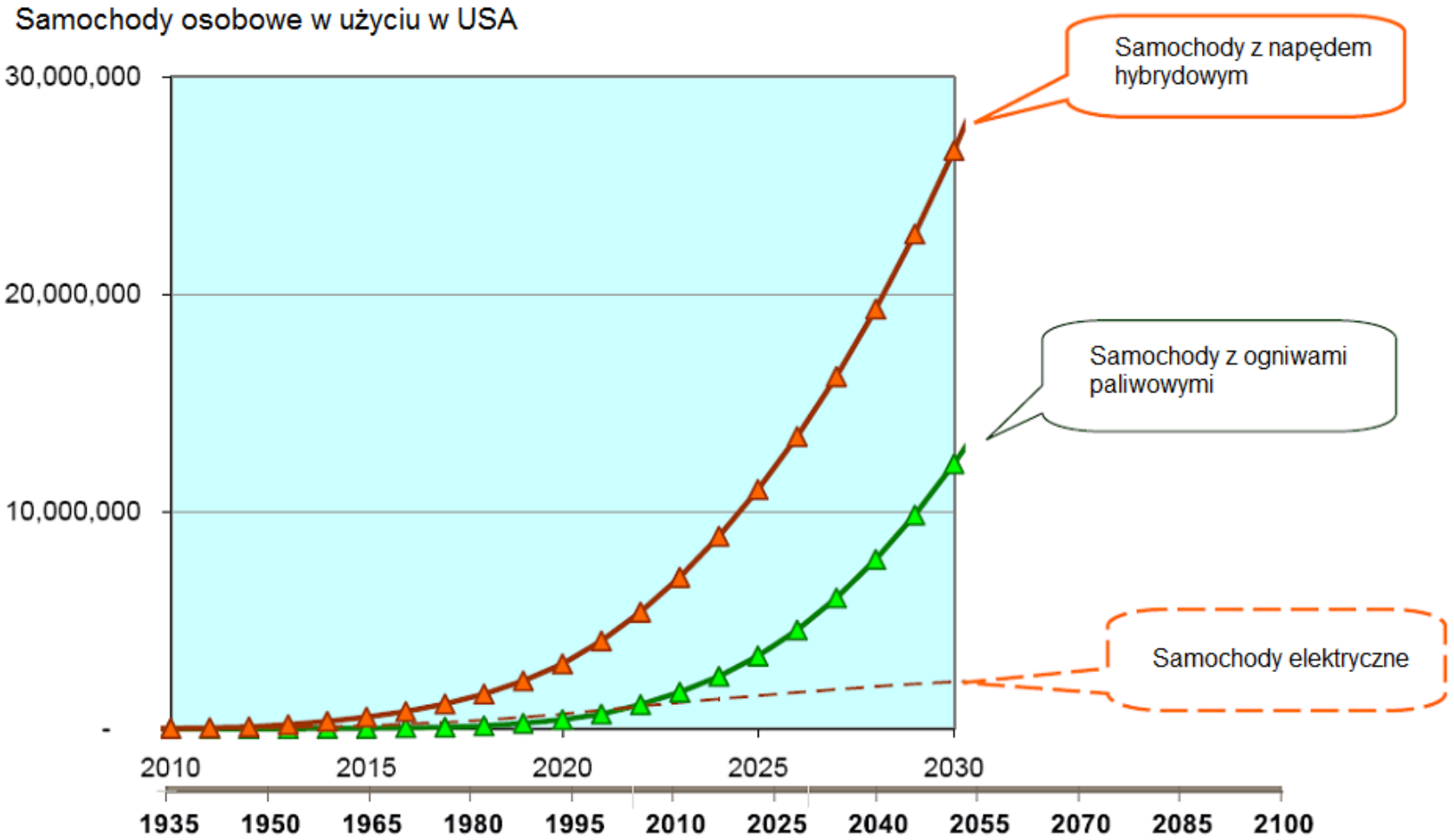
- ✓ Wodór – koszt produkcji, magazynowanie, (100% recyklingu: H_2O -> H_2)
- ✓ Paliwa wodorowe:
  - paliwa odnawialne z biomasy: alkohole i oleje roślinne ($C_xH_yO_z$)
  - synteza wodoru do amoniaku (NH_3).

Urządzenia energetyczne: (wady i zalety)

- ✓ Ogniwo paliwowe - głównie H2 – konieczność dużej czystości H2, wysoki koszt, sztywność obciążenia, hybryda
- ✓ Maszyny cieplne:
  - tłokowy silnik spalinowy - duży potencjał sił wytwórczych, niski koszt, elastyczność obciążenia, hybryda, przyjazny ciekłym paliwom wodorowym !

Stosowanie wodoru jako paliwa. Wady i zalety.

Alternatywa dla transportu publicznego:
– samochody osobowe ?



wg DOE dla USA

Magazynowanie wodoru

Wodór sprężony	750 bar	67 g / dm^3
Wodór ciekły	-250 °C	71 g / dm^3

Wodór w metanolu	98 g / dm^3
Wodór w ciekłym amoniaku	120 g / dm^3

Wodór związany chemicznie

- odwracalne reakcje chemiczne (La, Ti, Cr, Zr, Ni, $LaNi_5H_6$ czy też $TiFeH_2$)
- nieodwracalne reakcje chemiczne (borowodorki: Li, Na, Mg, Al, Ca +BH_4)
  -> 4% masy magazynu, około 30 g / dm^3
- $Mg(BH_4)_2$ -> **144** g / dm^3 www.nature.com/articles/s41557-024-01443-x

Wodór związany fizycznie

MOF (metaloorganic frameworks), ZIF (zeolitic imidazolate framework)
sorpcja (100 bar, -200 C) - desorpcja -> 14%
Nanorurki węglowe (j.w.) -> 12% masy magazynu, około **60** g / dm^3

Cele do osiągnięcia: instalacja magazynowania H2 w pojeździe dostawczym

STORAGE PARAMETER	UNITS	2020	2025	ULTIMATE
Wskaźnik masowy				
Usable, specific-energy from H_2 (net useful energy/max system mass) [b]	kWh/kg (kg H_2/kg system)	1.5 (0.045)	1.8 (0.055)	2.2 (0.065)
Wskaźnik objętościowy				
Usable energy density from H_2 (net useful energy/max system volume) [b]	kWh/L (kg H_2/L system)	1.0 (0.030)	1.3 (0.040)	1.7 (0.050)

DOE Technical Targets for Onboard Hydrogen Storage for Light-Duty Vehicles | Department of Energy

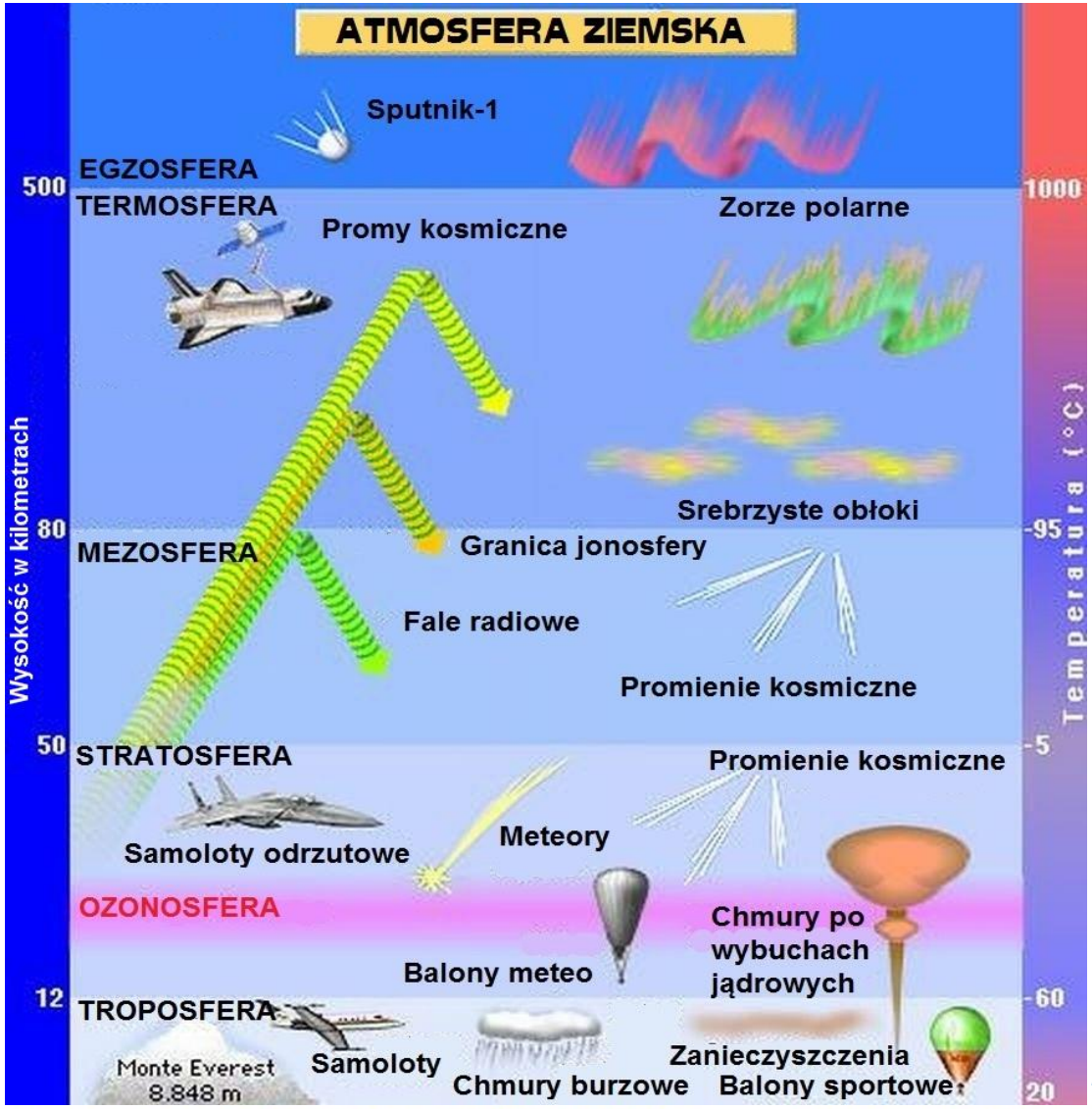
Zbiornik na paliwo ciekłe

5.5 … 6.5 kWh/kg

5.5 … 6.5 kWh/dm^3

Technologie wodorowe a globalne ocieplenie

$$2\mathrm{H}_2 + (O_2 + 3{,}76\ N_2) \rightarrow 2H_2O + 3{,}76\ N_2 \quad + \cancel{\boldsymbol{CO_2}}$$



$$2\mathrm{H}_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$$

Gaz cieplarniany

Ilość **dwutlenku węgla** wydzielanego do atmosfery ziemskiej ze źródeł naturalnych jest **20 razy większa** od emisji pochodzenia antropogenicznego.

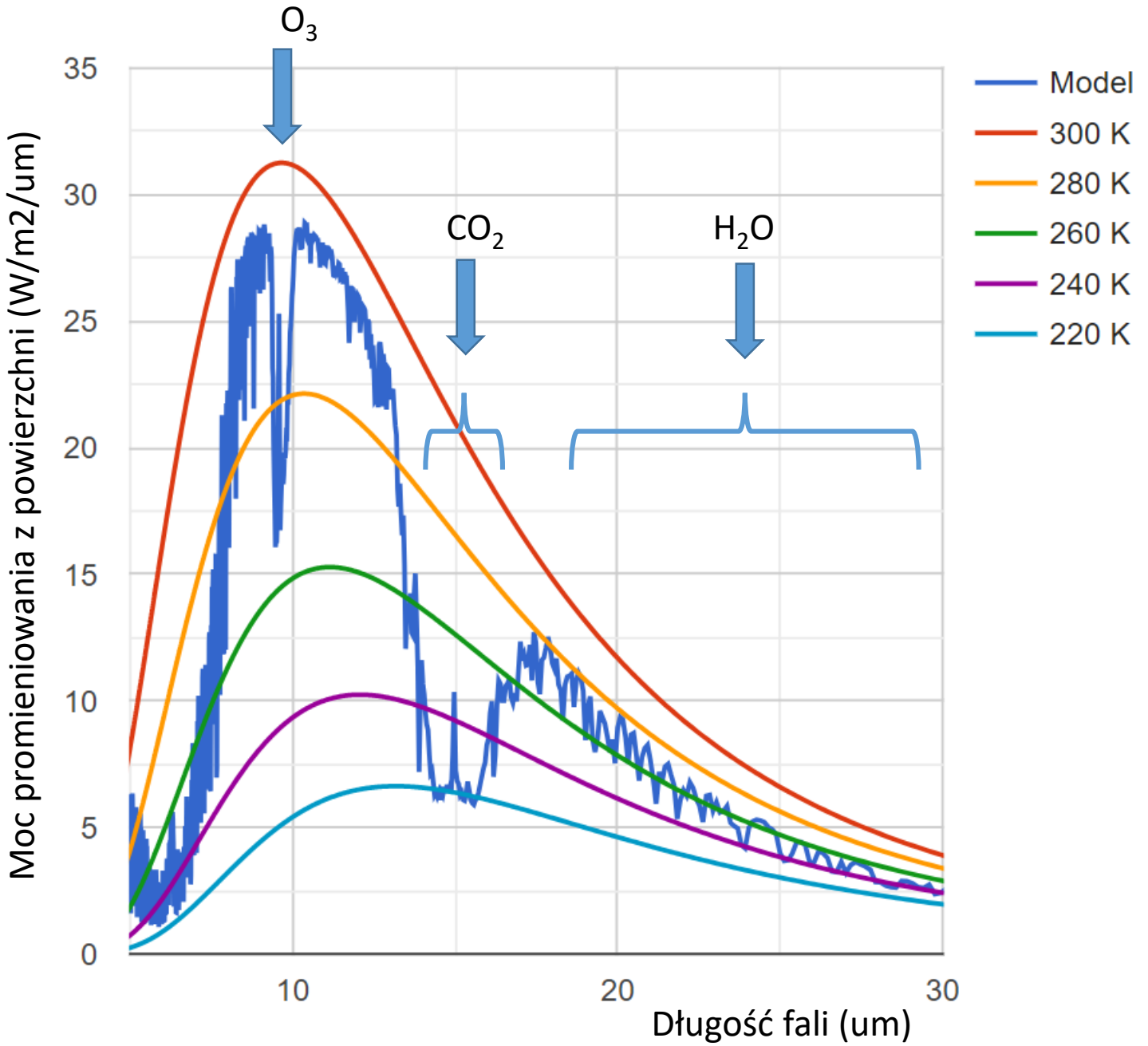
Vital Climate Graphics UNEP/GRID-Arendal

https://creative.ostrowski.czest.pl/sklad-i-budowa-atmosfery/

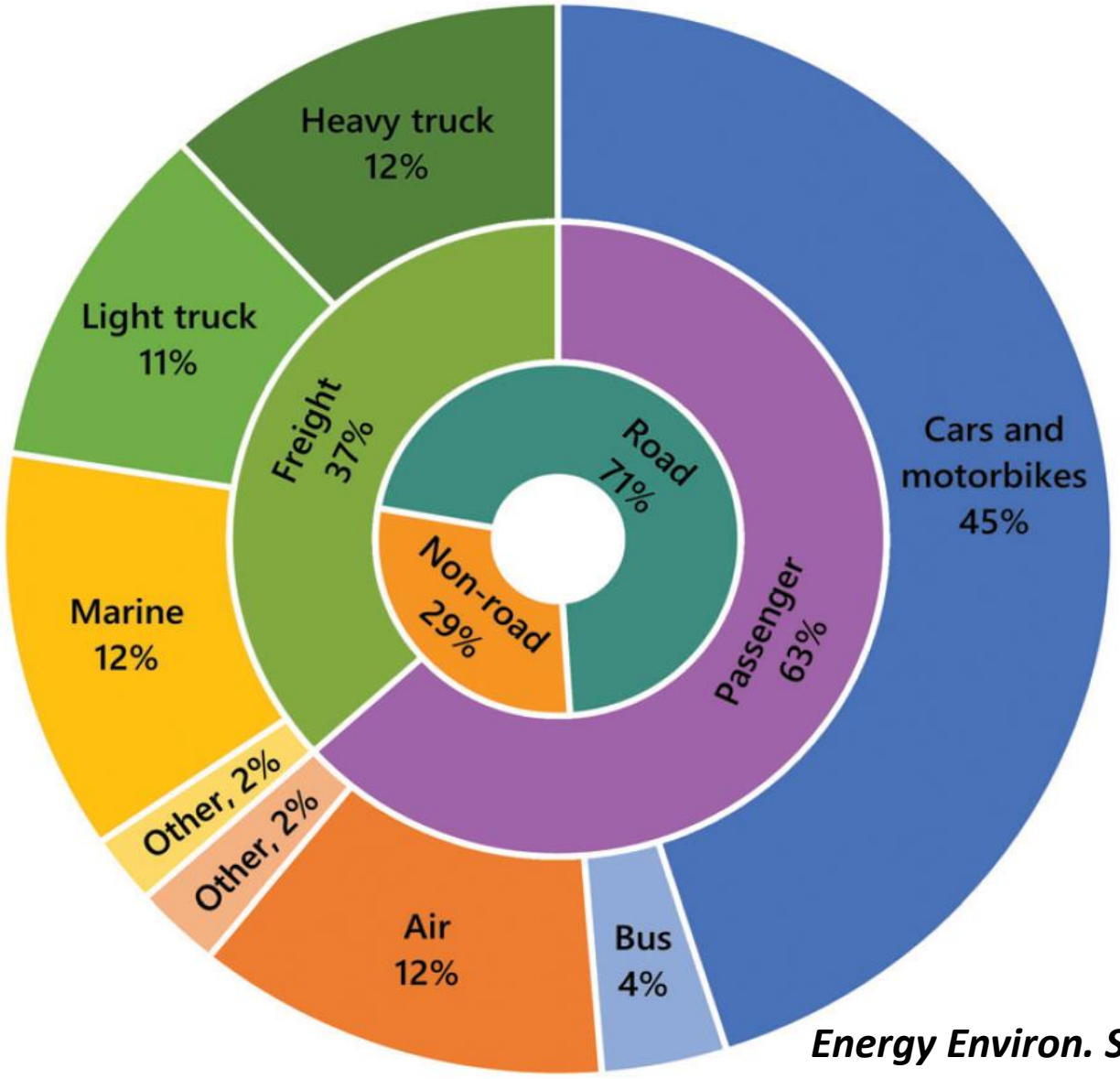
Technologie wodorowe a globalne ocieplenie

Emisja promieniowania cieplnego z powierzchni Ziemi

https://climatemodels.uchicago.edu/modtran/

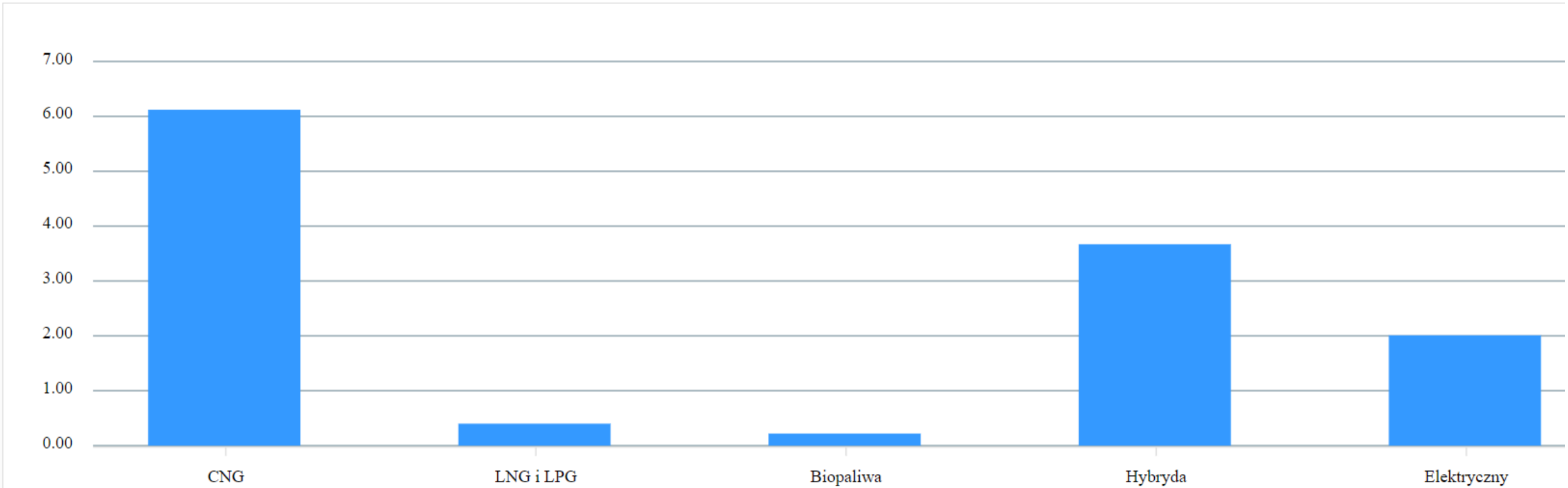


Zapotrzebowanie na energię dla środków transportu (Świat 2015)

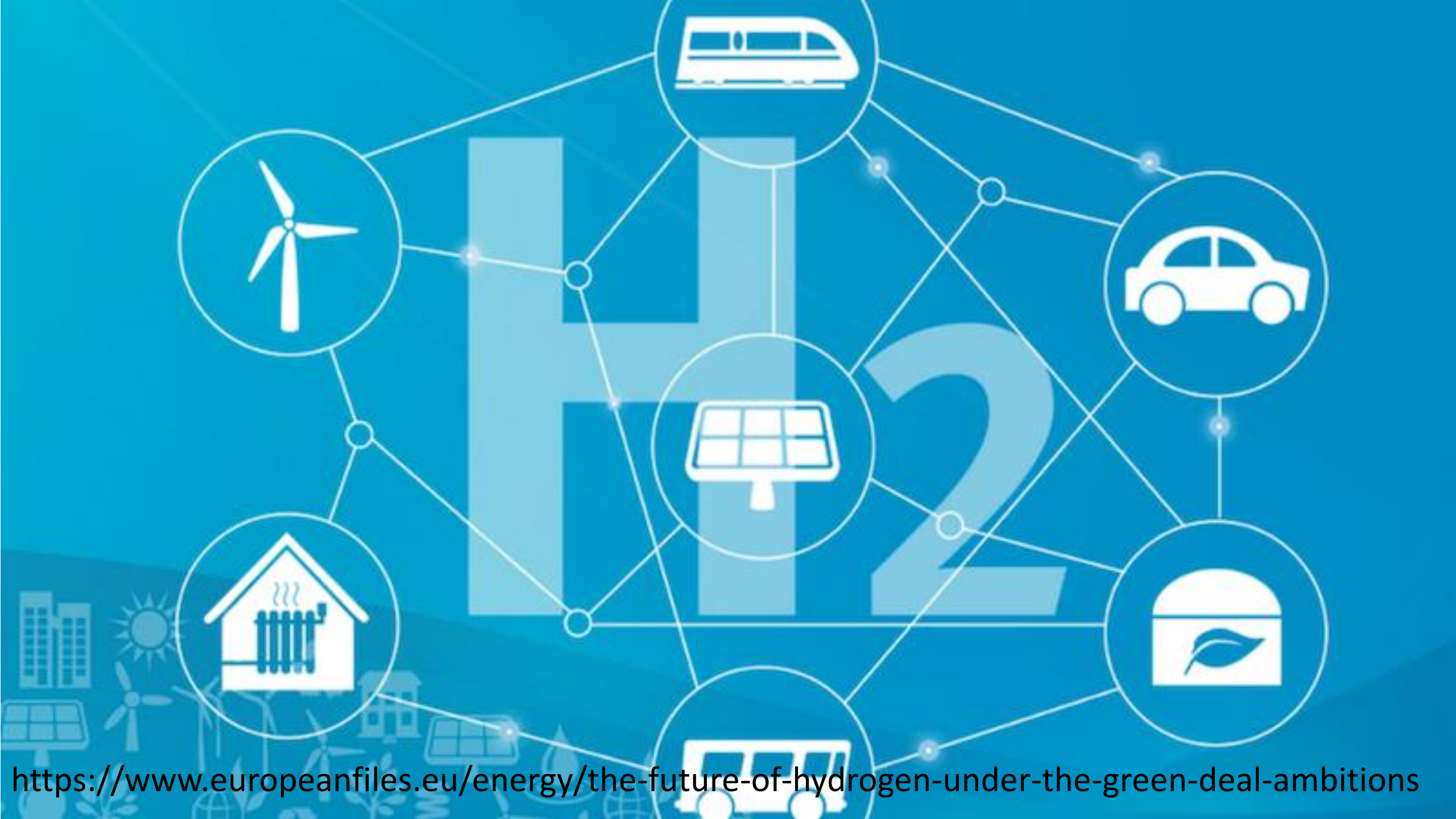


Energy Environ. Sci., 2019, 12, 463, DOI: 10.1039/c8ee01157e

UDZIAŁ POJAZDÓW ZEROEMISYJNYCH I NISKOEMISYJNYCH W STRUKTURZE TABORU AUTOBUSOWEGO W 2019 ROKU (W%)



https://igkm.pl/statystyka/ izba gospd. komunikacji miejskiej



https://www.europeanfiles.eu/energy/the-future-of-hydrogen-under-the-green-deal-ambitions