

Gdzie się podziała zima?

Prof. dr hab. inż. Grzegorz Karwasz, Katedra Dydaktyki Fizyki, UMK, Toruń

“Czy to już wiosna?” pyta moja lekarka w Sopocie¹, i dodaje “Zmiany klimatyczne w historii Ziemi zachodziły zawsze”. Prawda, Pani Doktor! “Efekt cieplarniany występuje też na Marsie” – mówi ekspert w programie TVP, a drugi ekspert, też profesor, nie potrafi tej tezy ocenić. “Para wodna jest głównym gazem cieplarnianym” – stwierdza na głównym kanale włoskiej TV RAI znakomity skądinąd popularyzator nauki. „A w czasach dinozaurów temperatura była wyższa o 12 stopni.” – dodaje. Tak! ale zapewne Fahrenheita. Czyli wszystko prawda, ale zebrane w całość składa się na jeden, duży paradoks: percepcja społeczna efektu cieplarnianego nie przekracza poziomu szesnastolatki. Zgadza się wszyscy z powagą problemu, ale nie udaje się uzyskać minimum consensusu na temat wielkości efektu cieplarnianego, jego głównych czynników ani projekcji rozwoju sytuacji.

Zmiany klimatyczne są cechą immanentną wszystkich planet. Na Ziemi miały miejsca zlodowacenia całego globu, kilkakrotnie, co jakieś kilkaset milionów lat. Jak pisze Nick Lane w znakomitej książce o „wynałazkach życia” [1], tego rodzaju zamrożenie oceanów przyspieszyło ewolucję, która mogła eksperymentować różne rozwiązania dookoła oceanicznych kominów wulkanicznych.

Co było przyczyną tego rodzaju *globalnych* zlodowaceń – chyba nie do końca wiemy: stałe sprzężeń zwrotnych w mechanizmach klimatycznych pozostają przedmiotem dyskusji naukowych. Bez wątpienia, zmiany temperatury są skorelowane z zawartością CO₂ w atmosferze, jak to pokazują np. badania lodu z Antarktydy [2], ryc. 1. Ale to nie CO₂ jest głównym gazem cieplarnianym na Ziemi tylko para wodna. Dzięki zawartości CO₂ (na poziomie 200-300 ppmv) i pary wodnej (do 4%) *naturalny* efekt cieplarniany na Ziemi wynosi +33 K. Innymi słowy, gdyby nie atmosfera, średnia (po porach roku i na całym globie) temperatura wynosiłaby (minus) –18°C: żadnego życia a jedynie lodowa pustynia. Na Marsie też jest dwutlenek węgla, ale ciśnienie atmosferyczne jest rzędu 1/100 ziemskiego, więc efekt cieplarniany wynosi zaledwie +3K, a średnia temperatura –63°C.

Sprzężenie między niewielką, skądinąd, zawartością CO₂ a temperaturą (rys. 1) jest zaskakująco silne. Staje się to jasne, jeśli przyjrzymy się widmu absorpcji powietrza w podczerwieni, rys. 2. Szerokie grzebienie w tym widmie to absorpcja IR przez parę wodną a wąskie maksimum – CO₂. Obrazowo mówiąc CO₂ zamyka wolne okno ucieczki IR: Ziemia pod „podwójną pierzynką” [3]. W bilansie ciepła Ziemi uwzględnić trzeba więc nie 100% ciepła przychodzącego ze Słońca ale 116% tej wielkości. Dodatkowo, zawartość pary wodnej w atmosferze bardzo silnie zależy od temperatury, co daje dodatnie (czyli destabilizujące) sprzężenie zwrotne: wyższa temperatura → większa zawartość pary wodnej → większa absorpcja IR → wyższa temperatura. Modelowanie zmian klimatycznych jest więc bardzo złożone [4].

Kolejny wniosek z rys. 1 dotyczy przedziału zmienności zawartości CO₂: przez ostatnie 720 tys. lat nie przekroczyła ona nigdy 390 ppm (w pracy [2] badano wycinki rdzenia z lodu, z rozdzielczością 10 lat). Innymi metodami bada się historię nowszą - różne pomiary są zgodne: między rokiem 1000 a 1850 r. (początek przemysłowego spalania węgla) zawartość CO₂

¹ W Sopocie, zimą 2019/ 2020 nie było ani jednej nocy z ujemną temperaturą i ani jednego dnia z pokrywą śnieżną.

wynosiła 280 ppm. Obecne (luty 2020) stężenie według amerykańskiej NOAA wynosi 414 ppm. Szkockie badania [5] pokazują, że przy przekroczeniu 1000 ppm dzieci szkolne tracą koncentrację². Niby do tego poziomu jeszcze daleko...

Na jak długo starczy węgla, gazu i ropy jest pytaniem najtrudniejszym. Z raportów publikowanych przez Departament Energii USA wynika, że co najmniej do 2050 roku: konsumpcja będzie stale rosła ale podaż za nią nadąży bez trudu. „Nature” w 2002 roku podało inną ocenę: 200 lat, 55 lat i 37 lat, odpowiednio. Ale w międzyczasie zaczęto wydobywać gaz łupkowy. Polska, w zgodnej opinii geologów ma jedno z największych złóż na świecie. Niestety, wiąże się to z dewastacją krajobrazu - to był powód zakazu Unijnego.

Węgla w Anglii, według szacunków z XIX wieku miało starczyć na 900 lat, a według najnowszych [6] - jest go na lat 12. Można kopać z coraz większych głębokości ale przy coraz większych kosztach i, niestety, ryzykując życiem ludzkim. Z kolei Reuters [7] ocenił w styczniu br. zasoby ropy w dyspozycji „Shella” na 8 lat (ale według linii regresji jest to 16 lat). Bez wątpienia, paliwa kopalne kiedyś się wyczerpią, a CO₂ w atmosferze przybywa.

Trzeba też przypomnieć, że w czterech krajach świata energetyka jest oparta na węglu kamiennym. Są to Chiny, Indie, Kazachstan i Polska. A dopłaty do węgla w Polsce to mniej więcej 2 tys. zł na jednego obywatela rocznie (dane Radio3). Ale spalanie węgla to nie tylko największe, na jednostkę pozyskanej energii, źródło atmosferycznego CO₂; to także emisja groźnych zanieczyszczeń. Według badań brytyjskich [8] zwiększona (250 ng/m³) zawartość benzopirenu w powietrzu w cyklu życia 40 lat podwaja szanse na raka płuc. Stąd przyjętą w UK normą jest 2,5 ng/m³. W Polsce w 2017 roku średni poziom benzopirenu wyniósł 20 ng/m³, rys. 3. Przynajmniej naukowcy powinni więc mieć zdanie jednolite: chcemy kopać (i importować) węgiel? czy inwestujemy w postęp techniczny?

Jednym z dyskutowanych wśród fizyków rozwiązań jest energetyka uranowa (zob. cykl artykułów w „Postęпах Fizyki” i „PA” w 2019 r.); innym możliwym jest cykl torowy (zob. mój tekst w „PA” z czerwca ub. r.), innym jeszcze „energetyka wodorowa”, jak to umawiano w listopadzie w Gdańsku [10]. Ale tu też są potrzebne badania naukowe i niezbędna „trzecia misja uczelni”, dla uzyskania społecznej akceptacji/ determinacji.

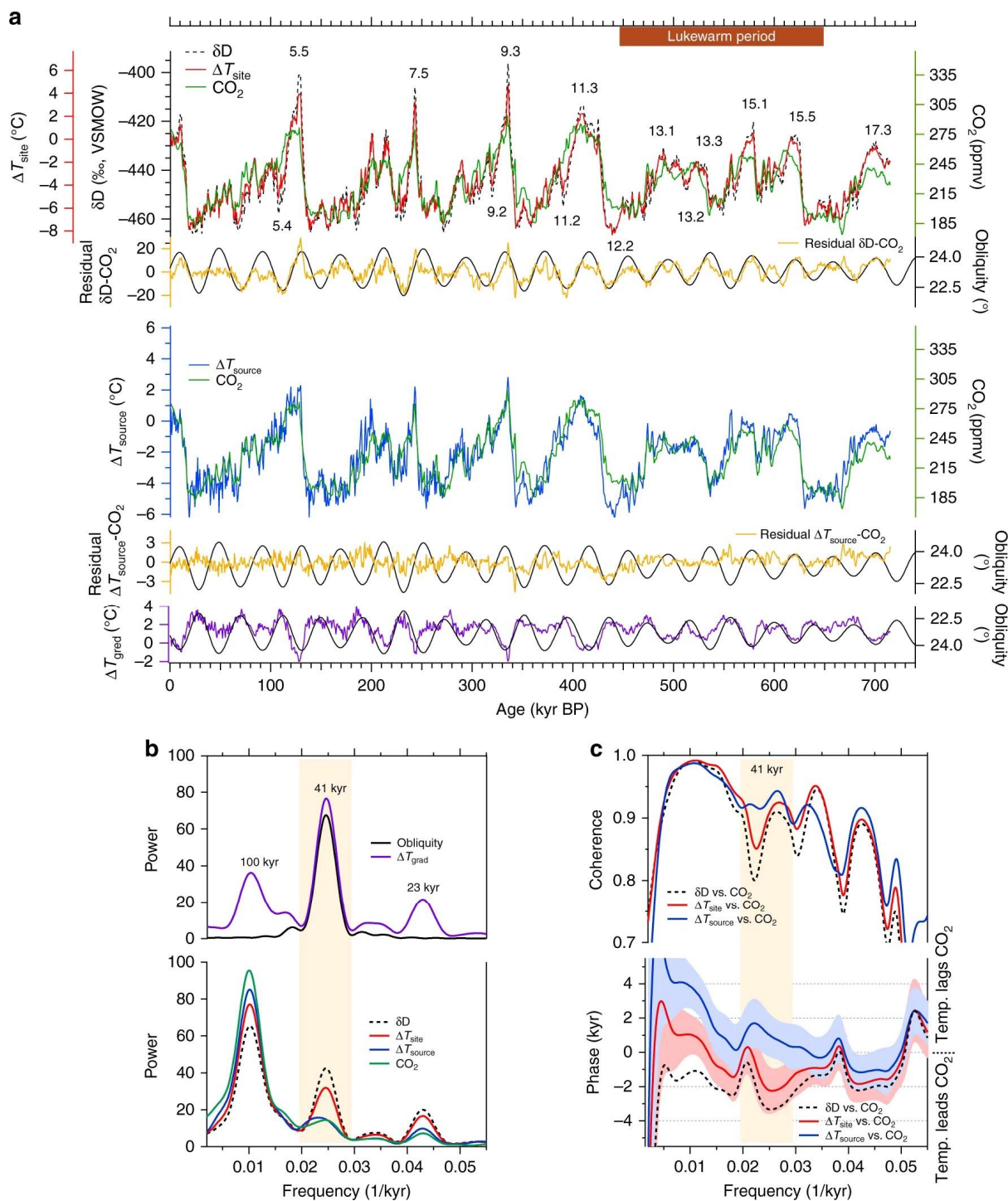
Grzegorz Karwasz

Prof. G. Karwasz jest koordynatorem krajowym Projektu EU Horizon 2020 „Fuel Cell Hydrogen Educational Model Goes to Schools”, w ramach Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking (JU).

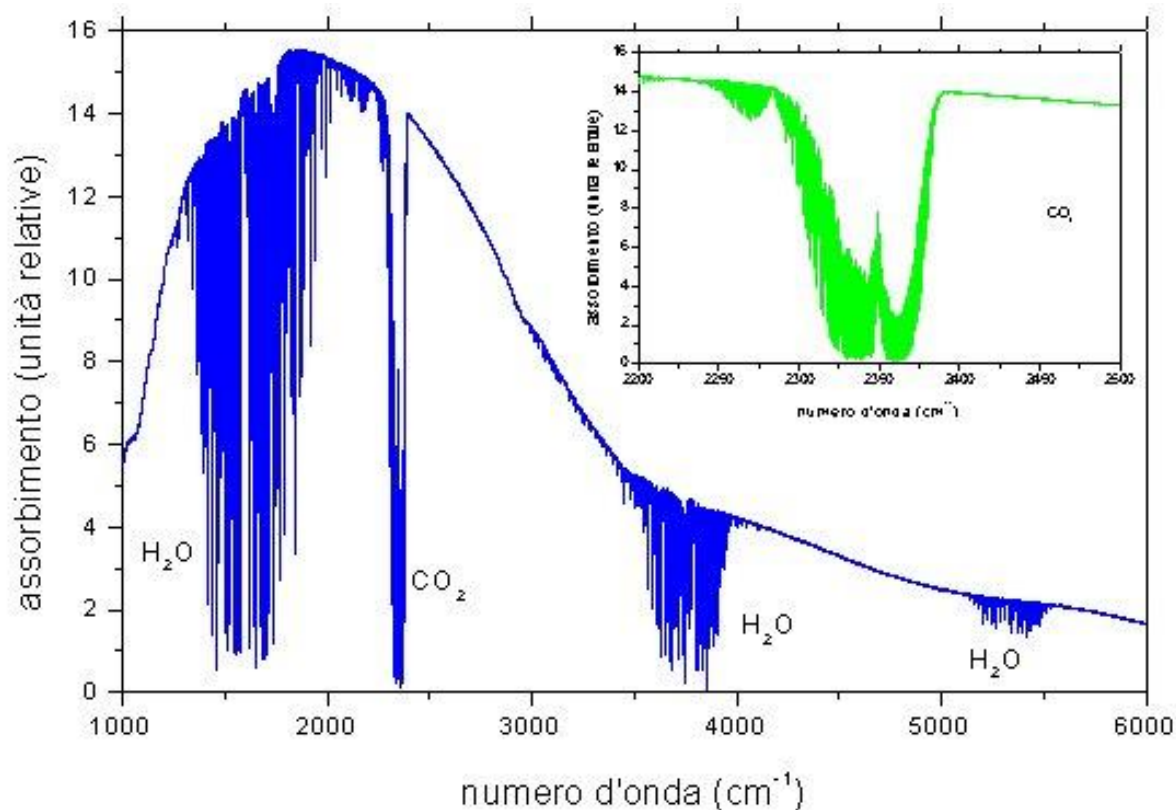
² «Inadequate classroom ventilation, as evidenced by CO₂ concentration exceeding 1000 ppm, is not uncommon and may be associated with reduced school attendance. A relationship between inadequate classroom ventilation and adverse health outcomes in children may be present and this needs to be explored.» [5]

Bibliografia

- [1] Nick Lane, *Life Ascending. The Ten Great Inventions of Evolution*, Profile Books, 2009.
- [2] Uemura, R., Motoyama, H., Masson-Delmotte, V. *et al.* Asynchrony between Antarctic temperature and CO₂ associated with obliquity over the past 720,000 years. *Nature Commun* **9**, 961 (2018). doi:10.1038/s41467-018-03328-3
- [3] Karwasz, G., Służewski, K., Ziemia pod pierzynką, czyli o naturalnym efekcie cieplarnianym, *Foton*, 121 (Lato 2013) 37-42.
http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Publikacje_2013/Cieplo1_2013.pdf,
- [4] Heinze, Ch., Eyring, V., Friedlingstein, P. *et al.* Climate feedbacks in the Earth system and prospects for their evaluation, *Earth Syst. Dynam. Discuss.*, doi:10.5194/esd-2018-84
- [5] Gaihre, S, Semple, S., Miller, J. *et al.*, Classroom carbon dioxide concentration, school attendance, and educational attainment. *J. Sch. Health* **84** (9): 569 (2014).
doi: 10.1111/josh.12183.
- [6] Heinberg, R., Fridley, D. The end of cheap coal. *Nature* **468**, 367–369 (2010).
doi.org/10.1038/468367a
- [7] Reuters.com/article/us-shell-results-reserves-graphic/shells-oil-and-gas-reserve-life-drops-for-sixth-year-in-a-row-idUSKBN1ZT1WQ
- [8] Delgado-Saborit, J.-M., Stark, Ch., Harrison, R.M., Carcinogenic potential, levels and sources of polycyclic aromatic hydrocarbon mixtures in indoor and outdoor environments and their implications for air quality standards, *Environment International*, **37**, 383 (2011).
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2010.10.011>
- [9] Air Quality in Europe 2019, European Environment Agency, str. 43
<https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2019>
- [10] <http://rigp.pl/posumowanie-miedzynarodowej-konferencji-na-temat-technologii-wodorowych/>

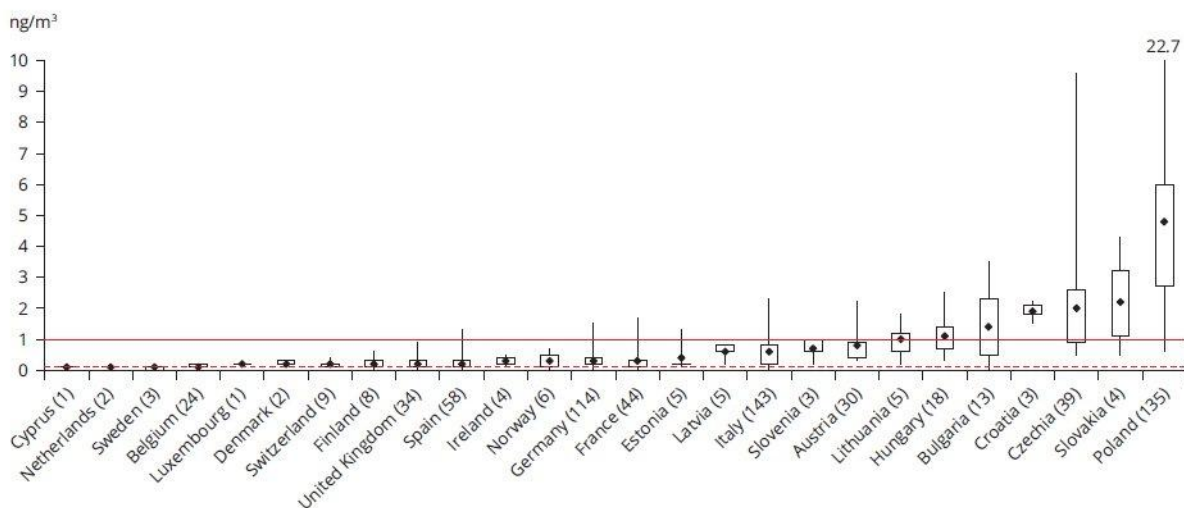


Ryc.1. (a) Korelacja między zawartością CO_2 a temperaturą jest nadzwyczaj ścisła. (b) Pewną asynchroniczność należy przypisać (astronomicznym) cyklom Milankovica (różnicom w oświetleniu półkuli północnej i południowej w różnych porach roku). Szczegóły, zob. [4].



Rys. 2. Widmo transmisji w podczerwieni powietrza w laboratorium (pomiar wykonany jako kalibracja spektrometru do badań wytrąceń tlenu w krzemie). Widmo absorpcji CO₂ wypada między pasmami absorpcji H₂O. Uniwersytet w Trento, 1999, G. Mariotto & G. Karwasz

Figure 6.1 BaP concentrations in 2017 and number of stations considered for each country



Note: The graph is based on the annual mean concentration values. For each country, the number of stations considered (in brackets), and the lowest, highest and average values (in ng/m³) recorded at its stations are given. The rectangles mark the 25th and 75th percentiles. At 25 % of the stations, levels are below the lower percentile; at 25 % of the stations, concentrations are above the upper percentile. The upper horizontal line marks the concentration of 1.0 ng/m³. The lower horizontal line marks the estimated air quality RL. The graph should be read in relation to Map 6.1, as a country's situation depends on the number of stations considered. The highest value for Poland, 22.7 ng/m³, is out of the graph for representation purposes.

Source: EEA, 2019c.

Rys. 3. Średnie roczne koncentracje benzopirenu w Europie w 2017 roku. Dane dla Polski wychodzą poza skalę: jeśli średnie podane stężenie wynosi 22 ng/m³, lokalnie mogą być przekroczone limity uznane za zdecydowanie rakotwórcze, por. [8].