

Ciepło – fundament powstania i postępu

Michał Koc

Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii

e-mail: michal.koc@onet.pl

tutorka: dr hab. Anita Lewandowska, prof. UG

Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii

Słowa kluczowe: początki ciepła; ewolucja atmosfery; termometria; rewolucja przemysłowa; ocieplenie

Wstęp

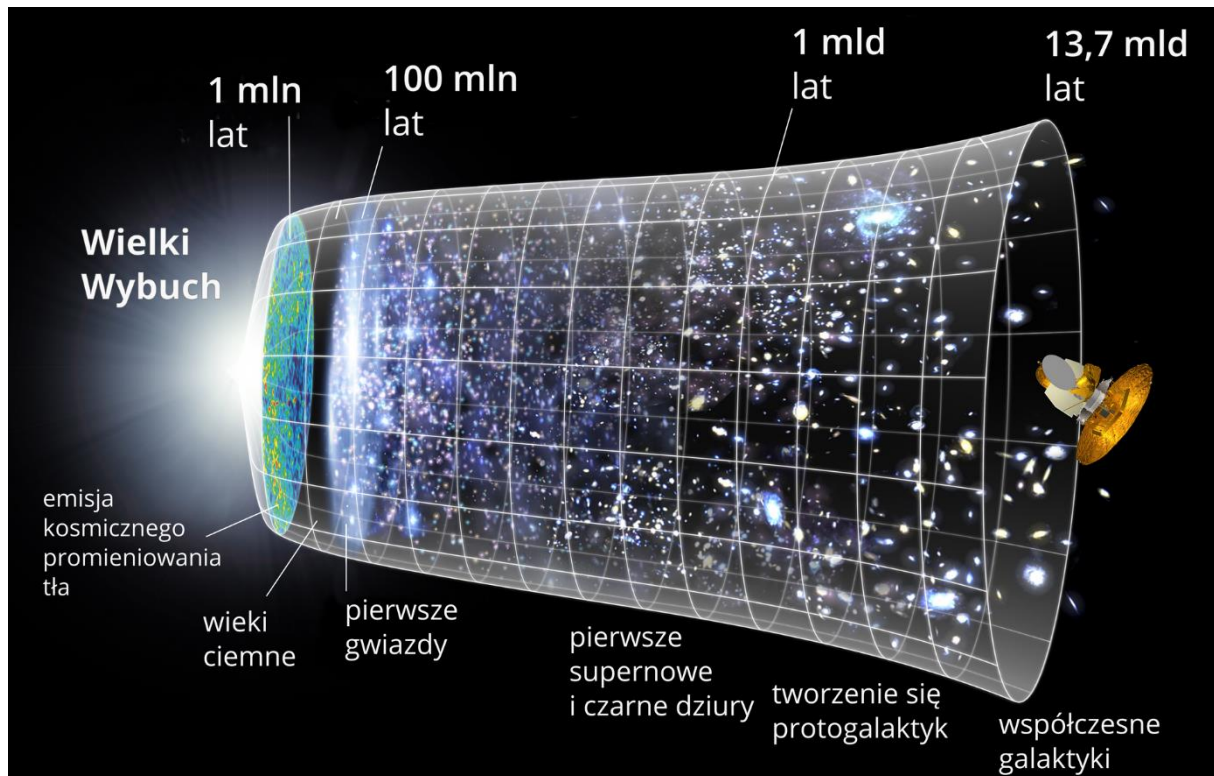
Gdy mówimy o cieple, zwykle myślimy o czymś bliskim i znajomym – o temperaturze powietrza, filiżance gorącej kawy czy cieple promieniującym z kaloryfera. Jednak prawdziwa historia ciepła zaczyna się znacznie wcześniej, jeszcze przed powstaniem Słońca, Ziemi i życia na niej. Rozpoczyna się w chwili, gdy Wszechświat był jeszcze bezkształtnym ułamkiem sekundy, gdzie dominowały promieniowanie i plazma cząstek (Brown, 2012; Mohapatra, 2021).

Tuż po Wielkim Wybuchu (ang. *Big Bang*), około 13,8 miliarda lat temu (Ryc. 1), Wszechświat znajdował się w stanie ekstremalnego żaru i stygł wraz z ekspansją (Brown, 2012). Zgodnie z modelem Gorącego Wielkiego Wybuchu, opracowanym w 1948 roku przez Alpera, Ralpa i Gamow, mówimy o temperaturach skrajnie wysokich; około jednej sekundy po wybuchu wynosiły one ~ 10 mld K¹. Były to tak wielkie wartości, że

materia istniała w postaci plazmy (Mohapatra, 2021). Nie można było zatem jeszcze mówić o cieple w takim sensie, jak rozumiemy je obecnie – pojęcia temperatury i wymiany energii dotyczyły wtedy głównie promieniowania i plazmy, a nie „codziennej” materii skondensowanej (Hawking, 2018; Uzan, 2021). Jednak właśnie wtedy rozpoczął się proces, który będzie później definiował istnienie materii: powolne ochładzanie (Hawking, 2018).

Wraz z ekspansją przestrzeni, temperatura gwałtownie spadała. Po jednej sekundzie od początku czasoprzestrzeni, Wszechświat był chłodniejszy niż w chwili wybuchu – jego temperatura wynosiła około 10 mld K. To nadal tysiące razy więcej niż temperatura wnętrza Słońca, ale wystarczająco mało, by pojawiły się pierwsze cząstki: protony i neutrony. Gdy zegar kosmiczny wskazał około 100 sekund, cząstki te zaczęły się łączyć w proste jądra atomowe – najpierw deuteru, a następnie głównie helu (ze śladową domieszką litu i berylu). Ciepło, które wcześniej rozdzielało i niszczyło wszelkie struktury, teraz zaczęło umożliwiać ich powstawanie (Mohapatra, 2021).

¹ K - kelwiny



Ryc. 1 Etapy rozwoju Wszechświata (źródło: Zintegrowana Platforma Edukacyjna)

Późniejsze ochładzanie, trwające przez kolejne setki tysięcy lat, pozwoliło na powstanie atomów. Wtedy też Wszechświat stał się przezroczysty. Wcześniej promieniowanie rozpraszało się nieustannie na swobodnych elektronach. Jednak, gdy elektrony połączyły się z jądrami, fotony mogły zacząć swobodnie się poruszać. Promieniowanie, które dotarło do Ziemi z tego momentu, znane jest dziś jako kosmiczne mikrofalowe promieniowanie tła. Jego temperatura została oszacowana na około 2,7 K. Można powiedzieć zatem, że każdy z nas jest „otulony” delikatnym echem pierwotnego ciepła, które wypełnia cały kosmos (Hawking, 2018; Uzan, 2021).

Z czasem, gdy powstawały pierwsze gwiazdy, grawitacja zaczęła ponownie ścisnąć materię i wytwarzać lokalne źródła ciepła. Wnętrza młodych gwiazd osiągały dziesiątki mln K, co pozwalało na fuzję wodoru w hel i generowanie ogromnych ilości energii. W ten sposób ciepło stało się nie tylko

skutkiem ekspansji, ale też źródłem przemian materii. Z czasem, w kolejnych pokoleniach gwiazd, zaczęły powstawać cięższe pierwiastki – tlen, węgiel, żelazo – z których zbudowana jest dziś Ziemia i całe życie, jakie znamy. W późniejszym etapie to ciepło dysków protoplanetarnych i wędrówka linii śniegu, sprzężone z migracją młodych planet, decydowały o tym, które światy pozostały skaliste, a które zatrzymały wodę. (Bitsch i in., 2019).

Gdy z obłoku gazu i pyłu formował się Układ Słoneczny, rozkład temperatur w dysku wyznaczał położenie linii śniegu, a wraz z nią los przyszłych planet: te, które rodziły się i migrowały wewnątrz linii śniegu, pozostawały zasadniczo skaliste, podczas gdy planety powstające poza nią mogły akumulować lód/wodę i przenosić ją do wnętrza układu w trakcie migracji (Bitsch i in., 2019).

W tym obrazie Ziemia zaczyna jako planeta „sucha”, uformowana ok. 4,56 mld lat temu we wnętrzu linii śniegu; dopiero później, w epizodzie intensywnych zderzeń 4,37–4,20 mld lat temu (ang. *ABEL Bombardment*), napływ zewnętrznej materii wodonośnej i ogrzewanie uderzeniowe dopełniły skład jej powierzchni i atmosfery (Maturayama i Ebisuzaki, 2017).

Dopiero z czasem Ziemia zaczęła oddawać ciepło w przestrzeń kosmiczną. W miarę upływu czasu, po epizodach intensywnego bombardowania i ogrzewania uderzeniowego, powierzchnia ulegała stopniowemu chłodzeniu i krzepnięciu. W ten sposób powstała cienka, stała skorupa, która później stała się „sceną” dla dalszych etapów ewolucji.

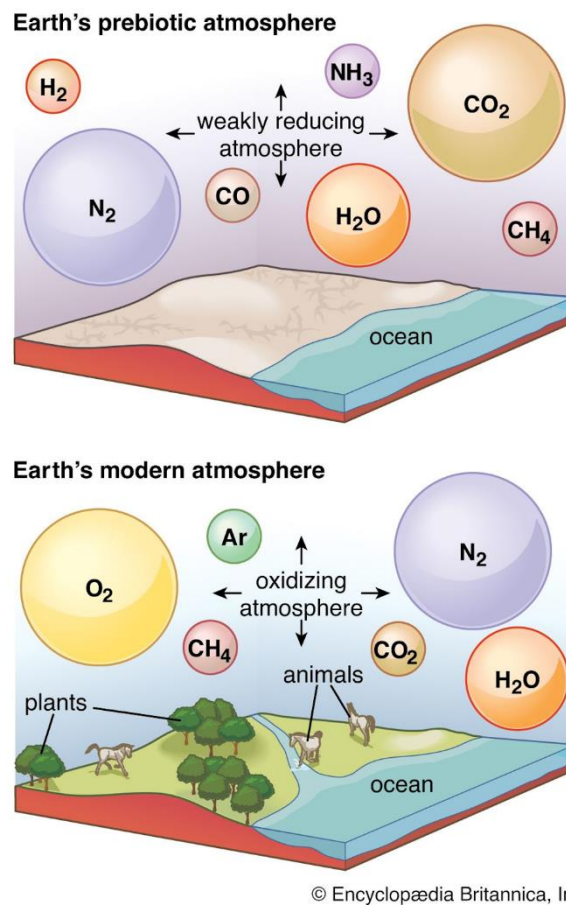
I tak oto pierwsze wielkie „rozdzanie temperatury” położyło fundament pod wszystko, co nastąpiło później – od tworzenia pierwiastków po rozwój klimatu, atmosfery i biosfery. Ciepło przestało być chaotycznym darem eksplozji, a stało się precyzyjnym narzędziem porządku.

Rola ciepła w ewolucji atmosfery

Około 3,8 mld lat temu, gdy skorupa młodej Ziemi stężała na tyle, by morza mogły przetrwać w stanie ciekłym, nad ich powierzchnią unosiła się duszna mieszanina dwutlenku węgla i azotu, z domieszkami wodoru oraz – epizodycznie po większych uderzeniach – metanu (Sinclair i in., 2020). Wolny tlen – gaz, który dziś decyduje o każdym naszym wdechu – prawie nie istniał. Jego udział wynosił 0,001% objętości atmosfery, czyli tyle co teraz np. neonu czy kryptonu (Brown, 2012). Jednak to właśnie tlen miał stać się „motorem” kolejnej rewolucji. Około 3,5 mld lat temu w płytkich, nasłonecznionych lagunach pojawiły się sinice. Te bardzo pierwotne jednokomórkowe formy biologiczne, oddzieliły

tlen z powszechnego wtedy w atmosferze i wodzie dwutlenku węgla, i uwolniły go do atmosfery. Z chemicznego punktu widzenia fotosynteza zachodząca z ich udziałem była prostym „manewrem”: wodór trafiał do budulca komórki, a tlen uwalniał się do otoczenia (Shestakov i Karbysheva, 2017).

O tym, jak głęboka to była zmiana, mówi geochemiczna rekonstrukcja tzw. Wielkiego Zdarzenia Tlenowego (ang. *Great Oxygenation Event*). Wzrost zawartości tlenu w atmosferze i powierzchniowych wodach doprowadziło do poważnych zmian ekologicznych i zaniku wielu nisz dla organizmów beztlenowych (Ligrone, 2019; Lyons i in., 2014). Gdy wody oceanów przesycały się tlenem (Ryc. 2), jego nadmiar zaczął trafiać do atmosfery, która wówczas składała się głównie z azotu i dwutlenku węgla (Ligrone, 2019). Problemem stał się w tamtym czasie metan, wytwarzany przez metanogeny: w coraz bardziej natlenionej atmosferze ulegał fotochemicznemu utlenianiu, co osłabiało efekt cieplarniany (Ligrone, 2019; Luo i in., 2016). Na skutek silnego promieniowania słonecznego dochodzącego do powierzchni Ziemi, metan brał udział w szeregu reakcji fotochemicznych z tlenem i pochodnymi, co skutkowało ochłodzeniem klimatu (Luo i in., 2016). Około 2,4 mld lat temu doprowadziło to do zmiany klimatu na naszej planecie i tzw. zlodowacenia hurońskiego, trwającego około 300 mln lat (Gumsley i in., 2017). Ze względu na zawartość metanu i zmiany w bilansie dwutlenku węgla przy jednoczesnym wzroście ilości tlenu w atmosferze zaczęły wymierać bakterie beztlenowe, jedyne wówczas organizmy. Mimo, że opisana powyżej katastrofa tlenowa, ze względu na swój globalny zasięg, uważana jest za jedno z największych wymierań gatunków na naszej planecie, dała możliwości rozwoju nowym organizmom żywym.



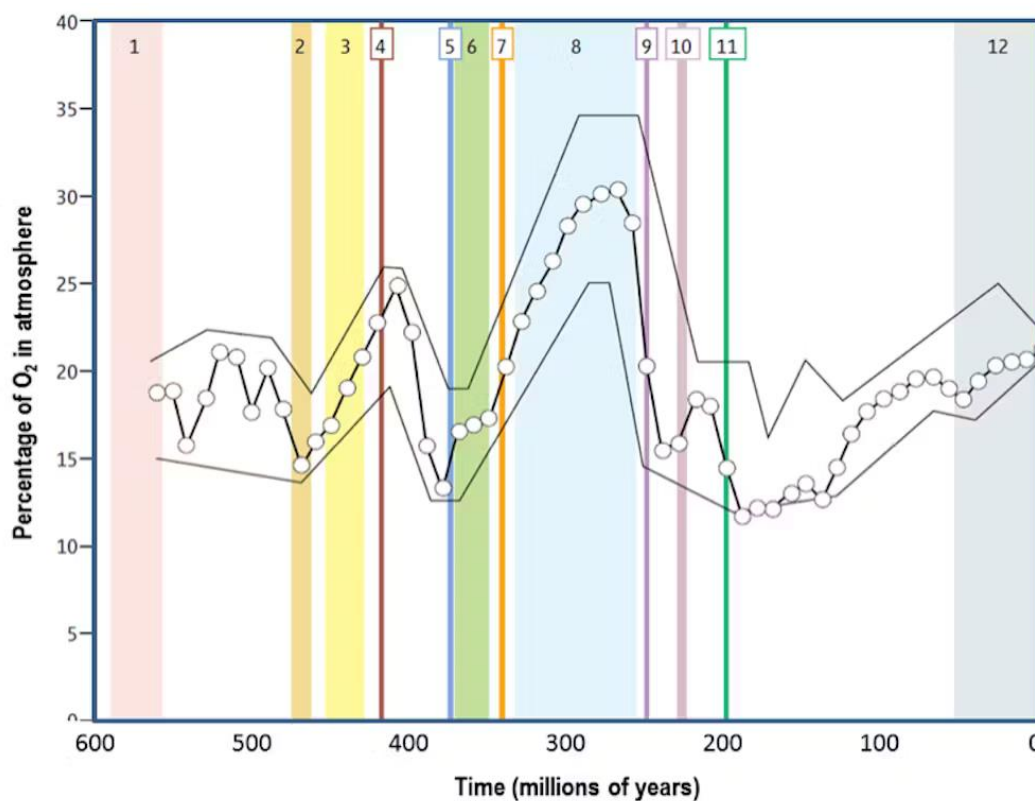
© Encyclopædia Britannica, Inc.

Ryc. 2. Porównanie składu atmosfery dawnej i współczesnej Ziemi (źródło: *Encyclopedia Britannica*)

Mowa o organizmach tlenowych, korzystających z możliwości energetycznych zawartych w materii organicznej. Na opisane powyżej zjawisko, które zaczęło się około 2,45 miliarda lat temu, wskazują krzywe wzrostu ciśnienia parcjalego tlenu cząstkowego (Ryc. 3). Wzrost ten nie był jednorazowy i wszędzie równoczesny; dane i modele wskazują na oscylacje poziomu O_2 , a nawet powtarzające się epizody utleniania i nawrotów do stanów słabo utlenionych, ale mimo to wystarczająco wyraźny, by mówić o nowej epoce atmosferycznej (Ruiz i in., 2024). Po tym, jak zelżało zlodowacenie hurońskie, co miało miejsce około 2,1 mld lat temu, pojawiło się na Ziemi więcej kontynentów, atmosfera stała się trwale bogatsza w tlen, choć wciąż na poziomie ułamków procenta – około 0,2–2% PAL (ang. *Present Atmospheric*

Level) w środkowym proterozoiku (Catling, 2014). Jednym ze skutków było powolne tworzenie się ochronnej warstwy ozonu w stratosferze. Ozon nie „grzeje” bezpośrednio powierzchni Ziemi, zmienia jednak miejsce, w którym pochłaniana jest energia promieniowania, przesuwając część obciążenia cieplnego wyżej w atmosferę. W języku bilansu energii: atmosfera zaczęła działać nie tylko jak koc, ale i jak filtr, który ustawia, ile i jakiego promieniowania dociera do powierzchni i wraca w kosmos (Lyons i in., 2014).

Gdy stężenie tlenu przekroczyło kilka procent, a w górnej atmosferze uformowała się warstwa ozonowa, która chroniła powierzchnię Ziemi przed niszczącym ultrafioletem, otworzyła się droga dla wyjścia życia z wody na ląd (Catling, 2014).



Ryc. 3. Zmiany zawartości tlenu w atmosferze Ziemi na przestrzeni ostatnich 600 milionów lat
(źródło: Berner i in. 2007)

Zapłonął ogień – człowiek zaczyna świadomie kształtować przepływ ciepła

Po upływie wielu miliardów lat od wielkiego wybuchu, gdy klimat stał się bardziej przewidywalny, ciepło przestało być jedynie warunkiem środowiskowym – człowiek nauczył się je ujarzmić. Ogień dawał stabilne źródło energii do ogrzewania i oświetlenia, a jednocześnie zwiększał bezpieczeństwo obozowisk po zmroku. Dowodzą tego liczne znaleziska archeologiczne, takie jak paleniska i ślady kontrolowanego ognia z okresu plejstocenu (Gowlett, 2016; Stancampiano i in., 2023). Kluczowy był także wpływ ognia na ewolucję ludzkiej diety. Obróbka termiczna żywności rozkładała jej twardą strukturę, zwiększała przyswajalność składników odżywczych oraz skracała czas przygotowania

i spożywania posiłków, co podnosiło bilans energetyczny diety (Wrangham i Carmody, 2010). W dłuższej perspektywie sprzyjało to rozwojowi funkcji poznawczych oraz złożonych form współpracy: podtrzymywanie ognia wymagało planowania, podziału ról i kontroli zachowań – umiejętności, które zaczęły wyróżniać nasz gatunek (Twomey, 2013).

Wokół ognia stopniowo kształtował się porządek codziennych czynności. Podtrzymywanie płomienia, gromadzenie drewna i przygotowywanie posiłków wymagały koordynacji działań, co prowadziło do wyznaczania ról i ustalania zasad: kto dokłada do ognia, kto odpowiada za opał, a także kiedy i gdzie można go rozpalić, by zapewnić bezpieczeństwo całej grupie. Analizy powstawania norm pokazują, że podtrzymywanie ognia traktowano jako wspólny obowiązek,

z jasnymi oczekiwaniami i sankcjami za ich łamanie (Rozov, 2022). Taki „porządek ognia” systematyzował codzienne życie: czynności wymagające wysokiej temperatury skupiały się przy palenisku, podczas gdy inne mogły toczyć się równolegle w chłodniejszych częściach obozowiska (Gowlett, 2016).

Drugim podstawowym środkiem kontroli wymiany ciepła stał się ubiór. Dane archeologiczne (m.in. narzędzia do obróbki skór) oraz analizy funkcjonalne odzieży wskazują, że w plejstocenie odzież pełniła co najmniej dwie role (Gilligan, 2010). Pierwsza z nich polegała na izolacji organizmu, czyli ochronie przed utratą ciepła, a także na stabilizacji mikroklimatu przy skórze. Zasada jest prosta: materiał zatrzymuje warstwę powietrza przy ciele i ogranicza straty przez konwekcję; w warunkach zimnych warstwowanie dodatkowo zwiększa izolację (Gilligan i in., 2024; Sanders i in., 2021). Druga rola była typowo użytkowa i wiązała się z aktywnością, w tym udziałem w polowaniach, czy zwykłych czynnościach wykonywanych o świcie i zmierzchu. Oprócz funkcji termicznej, odzież bywała też narzędziem maskowania i kamuflażu w praktykach łowieckich oraz innych zadaniach społecznych (Buckner, 2021). W rejonach charakteryzujących się niższymi temperaturami ludzie wykorzystywali warstwowe okrycie, co redukowało gradient temperatury między ciałem a otoczeniem. Już przed pojawieniem się kościanych igieł do szycia z oczkiem szyto i dopasowywano okrycia za pomocą szpikulców/szydeł z kości; później, w późnym plejstocenie, igły upowszechniły precyzyjne szycie (w tym bielizny – warstwy wewnętrznej), co poprawiało skuteczność izolacji (Gilligan, 2010; Gilligan i in., 2024). W gorących rejonach świata ludzie, tak jak zresztą obecnie, już u zarania dziejów wykorzystywali lżejsze i bardziej przewiewne „materiały”. Ułatwiała to odparowywanie potu i ograniczało przegrzewanie organizmu (Sanders i in., 2021).

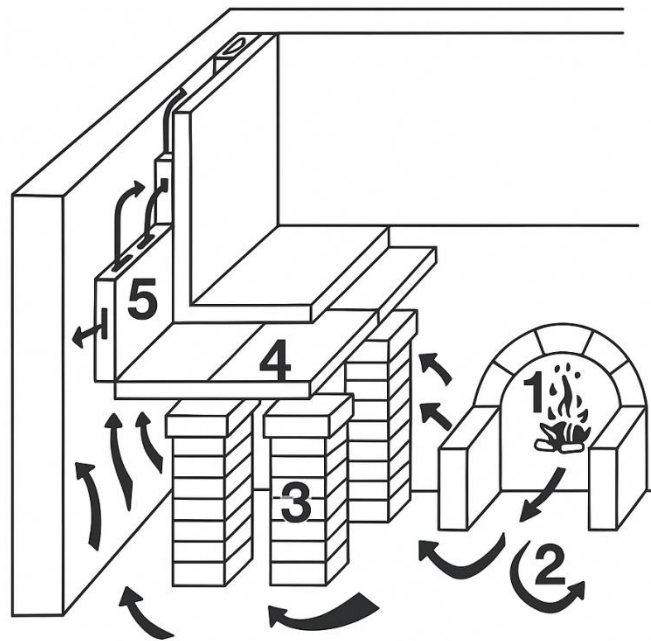
Do dziś wykorzystywana jest ta reguła. Odzież działa jak przenośny regulator przepływu ciepła między organizmem a otaczającym powietrzem. Wraz z rozwojem szycia warstwowego i ozdabiania ubrań (np. doszywane paciorki) ubiór zyskał także społeczne funkcje „stroju”, nie tracąc roli „ruchomej izolacji termicznej” (Gilligan i in., 2024).

Trzecim filarem był wybór schronień i materiału na ich przygotowanie – od naturalnych wnęk skalnych i prostych szałasów po lekkie konstrukcje z gałęzi, skór i tkanin. Wczesne ziemianki wykorzystywały izolacyjność gruntu, którego nawet niewielka grubość tłumiła dobowe wahania temperatury; często były to wnętrza częściowo zagłębione, z utwardzonymi podłogami. Palenisko często zorientowane było centralnie, co zapewniało ogrzewanie w całym pomieszczeniu, dzięki zjawisku promieniowania i konwekcji ciepła. To proste rozwiązanie stanowiło funkcjonalny odpowiednik obecnego systemu grzewczego. Oczywiście było takie, na jakie pozwoliły ówczesne zasoby ludzi. W kulturach mobilnych porównywalną funkcję pełniły kopulaste namioty i okrągłe szalasy z grubych, filcowych lub skórzanych okryć. Zimą pozwalało to na ograniczenie straty ciepła, a latem – przy uchylonych otworach u szczytu – umożliwiało skuteczną wentylację konwekcyjną wynikającą z różnic temperatur (Edwards, 2024; Kartal i in., 2025).

Wraz z rozwojem osiadłego trybu życia we wnętrzach pojawiły się bardziej złożone systemy dystrybucji ciepła. Przykładem świadomego kształtowania strumieni energii może być hypocaustum (Ryc. 4). Był to system centralnego ogrzewania podłogowego. Polegało ono na tym, że ogrzane powietrze kierowano kanałami pod posadzkami łaźni (a później także domów), a następnie przewodami dymowymi – ceramicznymi tubami (tubuli) – w ścianach, skąd uchodziły na zewnątrz; dzięki temu uzyskiwano równo-

mierny rozkład temperatur oraz łagodną cyrkulację powietrza w pomieszczeniach. W Europie Zachodniej po upadku Cesarstwa Zachodniorzymskiego systemy hypokaustyczne w zasadzie zanikły i zastępowano je paleniskiem otwartym; do porównywalnych

idei ogrzewania powierzchniowego powracano wiele stuleci później. Hypocaust umożliwił większą dbałość o higienę i poprawił warunki życia, szczególnie w infrastrukturze łaźni (Cowan, 1987). Można powiedzieć, że w pewnym sensie był prekursorem centralnego ogrzewania (Bean i in., 2010).



Ryc. 4. Schemat działania hypocaustu rzymskiego
(źródło: opracowanie własne na podstawie rysunku Valentina Caracuta)

Tego typu praktyki są dowodem na ewolucję od doraźnego użycia ognia w prymitywnych schronieniach do zaprojektowanych, przewidywalnych źródeł ciepła w miejscach zamieszkania (Bean i in., 2010).

Ciepło od zawsze kształtowało również rozkład aktywności ludzi w ciągu dnia. W rejonach, w których klimat charakteryzowały się dużą dobową amplitudą temperatury, czynności wymagające wysiłku przenoszono na poranek i wieczór. Często w okresie największego obciążenia cieplnego robiono przerwę. W wielu krajach, np. w rejonie śródziemnomorskim, gdzie temperatury w ciągu dnia są wysokie i nie sprzyjają aktywnościom, taka tendencja została zachowana do dziś.

Traktowane jest to jako konieczność ograniczenia stresu cieplnego i spadku wydajności organizmu w związku z poddaniem go zbyt wysokiej temperaturze otoczenia. Różnice klimatyczne czy sezonowe wahania temperatury zawsze wpływały także na organizację pracy. Mogły determinować na przykład dobór lokalizacji na prowadzenie aktywności rzemieślniczej. W ten sposób w długiej perspektywie czasu utrwały się pewne wzorce rozwoju gospodarczego w danej strefie klimatycznej (Clark, 1997).

Od termometru do termostatu – jak zaczęliśmy mierzyć i porządkować ciepło

Przez tysiąclecia człowiek czuł ciepło, ale go nie mierzył. Prawdziwa zmiana przyszła, gdy „gorąco” i „zimno” zamieniono w liczby. Od tej chwili można było porównywać, standaryzować i sterować. W języku fizyki to proste rozróżnienie: temperatura opisuje stan układu (to, co odczytujemy z przyrządu), a ciepło to energia w przepływie między układami wskutek różnicy temperatur. Gdy tę różnicę umiemy policzyć, możemy projektować urządzenia, które utrzymują konkretny profil temperatury w czasie i przestrzeni (Machin, 2024).

Pierwsze próby związane ze stworzeniem takich urządzeń były proste i bazowały na wykorzystaniu aktualnych warunków pogodowych (Machin, 2024). Termoskop Galileusza (koniec XVI w.) pokazywał tylko, że powietrze rozszerza się, gdy jest cieplej. Był to szklany przyrząd z bańką i kapilarą, bez skali i wrażliwy na zmiany ciśnienia atmosferycznego. Przełomem było dodanie podziałki, czego dokonał Santorio Santorio na początku XVII w. (m.in. „płomień świecy” jako punkt ciepła i „śnieg” jako punkt zimna). Dzięki temu zamienił ciekawostkę w przyrząd pomiarowy. Kolejnym krokiem w historii termometru było zamknięcie słupa cieczy w szkło i wybór medium, które zachowuje się przewidywalnie w pomiarze temperatury. Od połowy XVII w. pojawiły się „florenckie” termometry cieczowe (uszczelnione, alkoholowe), mniej podatne na pogodę i ciśnienie. W 1714 r. Daniel Gabriel Fahrenheit (1686–1736), holenderski fizyk i inżynier, wykorzystał w tym celu rtęć i przeprowadził jej standaryzację. Jego skala opierała się na trzech punktach odniesienia: 0° (mieszanina lodu, wody i soli), 32° (lód z wodą) oraz 96° (temperatura ciała); wartość 212° dla wrzenia

wody dodał w późniejszej publikacji i pierwotnie nie służyła ona jako stały punkt skali (Wright i Mackowiak, 2016). W 1742 r. Anders Celsius (1701–1744), szwedzki fizyk i astronom, uporządkował skalę. Jako warunki brzegowe przyjął topnienie śniegu i wrzenie wody; pierwotnie skala była odwrócona, a wkrótce przyjęto jej dzisiejszą postać; w 1948 r. usankcjonowano nazwę „stopień Celsjusza (°C)”. Uczyniło to pomiar intuicyjnym i porównywalnym między laboratoriami. Z kolei brytyjski naukowiec (fizyk, matematyk i przyrodnik) William Thomson, inaczej lord Kelvin (1824–1907), domknął całą logikę pomiaru temperatury, proponując w 1848 r. skalę bezwzględną. Była ona oparta na prawach gazów i idei zera absolutnego; później fizyka statystyczna powiązała temperaturę ze średnią energią kinetyczną cząstek. To tu „stopień” stał się jednostką miary, a nie tylko pozycją na skali (McCaskey, 2020). Kelvin dzięki badaniom nad termodynamiką wyznaczył skalę, w której temperatura informuje nas, jaka jest energia kinetyczna cząstek w danym materiale. Od tej chwili „stopień” przestał być lokalną umową, a stał się częścią wspólnego języka nauki i techniki. Dziś tę oś domyka definicja kelwina przez stałą Boltzmanna i praktyka skal zdefiniowanych, bardzo bliskich temperaturze termodynamicznej (Chang, 2004; Machin, 2024).

Na późniejszym etapie rozwoju pomiaru temperatury, a dokładniej w XX wieku, zaczęto wykorzystywać metale i półprzewodniki. Platynowy czujnik rezystancyjny (PRT) wykorzystuje fakt, że opór elektryczny platyny rośnie w przewidywalny sposób wraz z temperaturą. Dzięki temu można osiągać wysoką dokładność i powtarzalność odczytu wyniku na potrzeby przemysłu, laboratoriów kalibracyjnych, czy medycyny. W zastosowaniach przenośnych rozwinęły się termistory i czujniki półprzewodnikowe. Są one małe, szybkie w obsłudze i łatwo integrują się z elektroniką. Są to dzisiejsze „termometry” w inkubatorach, lodówkach laboratoryjnych,

czy w termometrach (Machin, 2024). Na tej bazie powstały termostaty i układy regulacji temperatury. Są to urządzenia, które utrzymują zadany punkt pracy (wymaganej temperatury), a nie tylko „zwiększają ciepło”. Ułatwia to programowanie temperatury w pomieszczeniach szpitalnych, w reaktorach chemicznych, czy po prostu w budynkach mieszkalnych (Machin, 2024).

Równolegle z rozwojem odczytu temperatury, zmieniało się rozumienie ciepłoty ciała, czyli potocznie mówiąc „gorączki” (Pearce, 2002). W starożytnej tradycji hipokratejskiej ciepło ciała wiązano z równowagą „humorów”. Rzymski lekarz greckiego pochodzenia, jeden z najznakomitszych starożytnych lekarzy, Galen (129–216 n.e.), opisywał gorączkę jako stan chorobowy sam w sobie. Był on diagnozowany obserwacją i dotykiem (Yeo, 2005). Dopiero w „epoce termometru” możliwe stało się liczbowe określanie stanu pacjenta i porównywanie przebiegu chorób (Pearce, 2002). Współcześnie uważa się, że „jedna liczba” nie wystarczy. Temperatura ciała może zależeć od miejsca pomiaru, pory dnia i stanu fizjologicznego człowieka. Dlatego praktyka kliniczna kładzie nacisk na protokół powtarzalności pomiaru (stałe miejsce i sposób), bo to ogranicza niepewność (Angelini i in., 2020). Dodatkowo wynik powinien być interpretowany z wzięciem pod uwagę całego kontekstu choroby. To zmniejsza ryzyko popełnienia błędu oraz pozwala lepiej rozpoznać wzorzec gorączki (Radhi & Patel, 2017). Taki sposób interpretowania temperatury poprzez jej pomiar, zastosowanie protokołu, interpretację z uwzględnieniem kontekstu, wydaje się wspólny dla medycyny i inżynierii ciepła.

Historia pomiaru temperatury /ciepła, miała też w dziejach ludzkości rozdział negatywny w skutkach. Rtęć była idealnym medium metrologicznym. Charakteryzuje się bowiem małym meniskiem, szerokim zakre-

sem pracy i dobrą powtarzalnością uzyskanego wyniku temperatury (Angelini i in., 2020). Okazała się jednak toksyczna dla ludzi i środowiska. Przykładem może być konsekwencja działalności fabryki termometrów w Kodaikanal, prowadzonej przez indyjską spółkę należącą do Unilever. W roku 2001 została zamknięta ona w związku z zanieczyszczeniem środowiska odpadami rtęci. Spółkę przyłapano na pozbywaniu się toksycznych odpadów w gęsto zaludnionej części miasta (Karunasagar i in., 2006). Badania gleby wykazały stężenia sięgające >50 mg Hg/kg w bezpośrednim sąsiedztwie zakładu [1]. Wywołało to, nie tylko problemy zdrowotne wśród pracowników, ale i długotrwałe zanieczyszczenie środowiska poprzez przedostanie się rtęci do łańcucha pokarmowego. Ten przypadek – opisywany szeroko w prasie medycznej – przyspieszył odchodzenie od termosłupków rtęciowych w medycynie i edukacji na rzecz alkoholu, galistanu i elektroniki. Dyrektywą Unii Europejskiej (76/769/EWG) termometry rtęciowe zostały wycofane z obiegu w 2009 roku. W Polsce postanowienia tej dyrektywy zostały wdrożone przez przepisy Rozporządzenia Ministra Gospodarki w 2008 r. (Dz. U. nr 190, poz. 1163 z 2008 r.). Od tego czasu nie można ich kupić w aptekach czy sklepach medycznych [2].

Od pary i pieców do skutków ubocznych spalania – ciepło w erze przemysłu

Kiedy nauczyliśmy się już nie tylko czuć, lecz także mierzyć temperaturę i utrzymywać ją w zadanych granicach, ciepło zagościło w centrum gospodarki (Chang, 2004). Rewolucja przemysłowa, zapoczątkowana w XVIII wieku w Anglii i Szkocji, objęła proces zmian technologicznych, gospodarczych, społecznych i kulturalnych. Można powiedzieć, że proces ten polegał na systematycznym zamienianiu energii cieplnej spalanych paliw

kopalnych na pracę mechaniczną i sterowanie tym procesem w czasie. Maszyna parowa była inżynierskim ujęciem II zasady termodynamiki. Wykorzystywała różnicę temperatur (gorący kocioł – chłodna skraplarka), by wymusić przepływ energii, a następnie zamienić go w ruch. To, co wcześniej realizowano „analogowo”, ręką rzemieślnika przy piecu, przeniesiono na ciągłe układy o stałym zasilaniu ciepłem. Dotyczyło to kopalni, przędzalni, kolei itp. (Brown, 2012). Równolegle udoskonalano precyzyjny pomiar temperatury, poprzez np. kontrolę temperatury kotła, warunków suszenia, warzenia i obróbki materiałów. Oczywiście wymagało to wiarygodnych przyrządów i punktów odniesienia. Dostarczyły ich wspomniane wcześniej skale Fahrenheita, Celsjusza i Kelvina. Przemysł XX wieku rozwinął się o czujniki rezystancyjne i półprzewodnikowe. Te pozwoliły na przejście od „grzania” do regulacji temperatury (Machin, 2024).

Zmieniało się również podejście do pozyskiwania ciepła w domu. Przez stulecia centralnym miejscem dla ciepła była otwarta kuchnia palenisko. Później jej rolę przejęły konstrukcje, które zatrzymują strumień energii na dłużej. Były to masywne piece, w tym piece kaflowe. Inne rozwiązania polegały na prowadzeniu ciepła kanałami wokół przestrzeni mieszkalnej. W tym sensie tradycyjny piec był nie tylko „źródłem ognia”, lecz magazynem ciepła o dużej pojemności cieplnej. Umożliwiało to wyrównanie temperatury w skali doby. Jednocześnie ograniczyło konieczność ciągłego dokładania opału celem utrzymania stałej temperatury. Wykorzystanie ciepła w łaźniach publicznych przyczyniło się do poprawy higieny, a w konsekwencji i zdrowia. Ciepło zaczęło więc łączyć z rozwojem architektury, ale też codziennymi przyzwyczajeniami, a nawet rytuałami. A stąd już tylko krok do roli ciepła w kształtowaniu funkcji społecznych (Crain, 2015).

Niestety rozwój przemysłu to także negatywne skutki uboczne dla środowiska naturalnego. Analiza rdzeni koralowych i lądowych dowodzi, że wraz z nastaniem epoki przemysłowej rozpoczęło się intensywne, globalne ocieplenie klimatu. Jest ono bezpośrednią konsekwencją antropopresji, związanej z ponadnormatywnym spalaniem paliw kopalnych. Od początku rewolucji przemysłowej w 1850 roku średnia temperatura powierzchni Ziemi wzrosła o około 1,1°C (Vicedo–Cabrera i in., 2021). Może się to wydawać niewiele, jednak bilans cieplny Ziemi uległ już trwałemu przesunięciu. Więcej energii zatrzymuje się przy jej powierzchni, rośnie częstość i intensywność epizodów wysokiej temperatury powietrza, a wraz z nimi wzrastają koszty społeczne i ekonomiczne (Rennert i in., 2022). Globalne ocieplenie klimatu skutkuje topnieniem lodowców, występowaniem ekstremalnych susz, ulewnych opadów, potrzebą wprowadzania zmian w rolnictwie, negatywnymi skutkami dla zdrowia ludzi na Ziemi. Badania potwierdzają, że fale upałów mają wyraźnie negatywny wpływ na rynek pracy. Analiza danych z Australii (2001–2019) wykazała, że dni z temperaturą powyżej 38°C powodują średnio 5% nieobecności w pracy i skrócenie tygodniowego czasu pracy o ok. 46 minut, co nie jest kompensowane w kolejnych dniach (Ireland i in., 2024). Podobne wyniki uzyskano w Stanach Zjednoczonych – w sektorach szczególnie narażonych na wysokie temperatury (rolnictwo, budownictwo, przemysł) każdy stopień powyżej 32°C skutkował redukcją czasu pracy o ok. 2,6 minuty dziennie. Prognozuje się, że do 2090 r. straty z tego tytułu mogą sięgać nawet 80 mld USD rocznie (Neidell i in., 2021). Sygnały widać także po stronie biosfery. W okresach długotrwałych fal upałów dochodzi do degradacji lub cofania się najbardziej produktywnych ekosystemów lądowych i morskich – lasów tropikalnych, raf koralowych, łąk traw morskich czy lasów wodorostów. Zjawisko to

prowadzi do spadku plonów oraz osłabienia stabilności ekosystemów, rozumianej jako zdolność do utrzymania kluczowych funkcji i procesów biologicznych mimo zakłóceń środowiskowych. Ekstremalne temperatury obniżają odporność tych systemów, ponieważ już krótkotrwałe anomalie cieplne mogą wywołać masowe wymieranie organizmów, a jednocześnie ograniczają ich sprężystość, czyli zdolność do regeneracji. W konsekwencji dochodzi do utraty gatunków fundamentalnych, uproszczenia struktury siedlisk, spadku bioróżnorodności i zaburzeń w cyklach biogeochemicznych (Ruthrof i in., 2018; Smale i in., 2019).

Historia „ciepła przemysłowego” ma dwie twarze. Pierwsza – to niebywały wzrost mocy wytwórczych, rozwój transportu i standardu życia, który był możliwy dzięki opanowaniu konwersji energii cieplnej na pracę oraz opanowaniu umiejętności regulacji temperatury. Druga, ta mniej przyjazna – ujawniła, że ciepło w skali planetarnej nie znosi „nadwyżek” bez konsekwencji. Wiąże się ona z toksycznymi śladami materiałów, jak również ze zmianą klimatu, przekłada się negatywnie na zdrowie, gospodarkę i cały ekosystem.

Podsumowanie

Każdy moment naszej historii – od kosmicznego żaru w pierwszych sekundach powstania Wszechświata, przez narodziny Ziemi, po współczesność – układa się w opowieść o nieustannym przepływie energii. Ten ruch energii znamy jako ciepło, a jego ślady odnajdujemy wszędzie: w chłodzie poranka i w wieczornym cieple domowego ogniska, w precyzji termometrów i w cieniu roślin, w naszych miastach i ciałach.

Ale ta opowieść mówi coś jeszcze – ludzie mają swój udział w „obiegu ciepła” w przyrodzie. To my decydujemy, jaką energię zatrzymujemy, a jaką uwalniamy, ile ogrzewamy, ile chłodzimy i jakim kosztem to robimy. Każdy

drobny wybór – od materiałów, których używamy do pomiaru temperatury, po sposób organizacji dnia – wpływa na ostateczny rachunek energetyczny, zdrowie, gospodarkę i otoczenie.

Ta historia nie kończy się jedną prostą receptą. Zostawia raczej świadomość, że ciepło jest czymś więcej niż tylko fizycznym zjawiskiem. Jest wyzwaniem społecznym, ekonomicznym i ekologicznym. I choć prawa fizyki pozostają niezmiennie, to właśnie nasze decyzje sprawiają, że energia ta przynosi komfort i rozwój lub powoduje straty i problemy.

Warto więc zatrzymać się na chwilę, spojrzeć na własny dzień i zapytać: czy energia, którą dziś wykorzystuję, naprawdę służy mojemu życiu, czy może tylko przez nie przepływa? W tym pytaniu nie chodzi o winę czy obowiązek, ale o świadomy wybór kierunku, w jakim pozwolimy przepływać energii. Bo ciepło pozostanie zawsze jej ruchem. Lecz to my – dzień po dniu – decydujemy, jaki ślad po sobie zostawimy w związku z wykorzystaniem ciepła.

Literatura:

- Angelini, E., Grassini, S., Parvis, M., Parvis, L., & Gori, A. (2020). *Body temperature measurement from the 17th century to the present days*. 1–6. <https://doi.org/10.1109/MeMeA49120.2020.9137339>
- Bean, R., Olesen, B., Kwang, W., & Kim, K. W. (2010). Part 1. History of Radiant Heating & Cooling Systems. *ASHRAE Journal*, 40.
- Bitsch, B., Raymond, S. N., & Izidoro, A. (2019). Rocky super-Earths or waterworlds: the interplay of planet migration, pebble accretion, and disc evolution. *Astronomy & Astrophysics*, 624. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201935007>

- Brown, C. Stokes. (2012). *Big History: From the Big Bang to the Present*. The New Press.
- Buckner, W. (2021). Disguises and the Origins of Clothing. *Human Nature*, 32(4), 706–728. <https://doi.org/10.1007/s12110-021-09415-7>
- Catling, D. C. (2014). The Great Oxidation Event Transition. W *Treatise on Geochemistry* (s. 177–195). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-095975-7.01307-3>
- Chang, Hasok. (2004). *Inventing temperature: measurement and scientific progress*. Oxford University Press.
- Clark, G. A. (1997). Aspects of Early Hominid Sociality: an Evolutionary Perspective. *Archaeological Papers of the American Anthropological Association*, 7(1), 209–231. <https://doi.org/10.1525/ap3a.1997.7.1.209>
- Cowan, H. J. (1987). A Note on The Roman Hypocaust, the Korean On-dol, and the Chinese Kang. *Architectural Science Review*, 30(4), 123–127. <https://doi.org/10.1080/00038628.1987.9696614>
- Crain, J. C. (2015). Home Fires: How Americans Kept Warm in the Nineteenth Century. *The Journal of American Culture*, 38(3), 297–298. <https://doi.org/10.1111/jacc.12381>
- Edwards, P. C. (2024). A Long History of Homebases, Huts, Houses, Villages, Towns, Cities and Megacities. *Journal of Big History*, 7(4), 1–37. <https://doi.org/10.22339/jbh.v7i4.7401>
- Gilligan, I. (2010). The Prehistoric Development of Clothing: Archaeological Implications of a Thermal Model. *Journal of Archaeological Method and Theory*, 17(1), 15–80. <https://doi.org/10.1007/s10816-009-9076-x>
- Gilligan, I., d'Errico, F., Doyon, L., Wang, W., & Kuzmin, Y. V. (2024). Paleolithic eyed needles and the evolution of dress. *Science Advances*, 10(26). <https://doi.org/10.1126/sciadv.adp2887>
- Gowlett, J. A. J. (2016). The discovery of fire by humans: a long and convoluted process. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 371(1696), 20150164. <https://doi.org/10.1098/rstb.2015.0164>
- Gumsley, A. P., Chamberlain, K. R., Bleeker, W., Söderlund, U., de Kock, M. O., Larsson, E. R., & Bekker, A. (2017). Timing and tempo of the Great Oxidation Event. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(8), 1811–1816. <https://doi.org/10.1073/pnas.1608824114>
- Hawking, S. (2018). *Teoria wszystkiego, czyli krótka historia wszechświata*. Editio.
- Ireland, A., Johnston, D., & Knott, R. (2024). *Impacts of Extreme Heat on Labor Force Dynamics*. Centre for Health Economics, Monash Business School.
- Kartal, H. B., Şalgamcioğlu, M. E., & Kartal, A. N. (2025). Possible Traces of Early Modern Human Architectural Heritage: A Comment on Similarities Between Nest-Building Activity of Homo Species and Shelter Forms of Indigenous People in Sub-Saharan Africa. *Quaternary*, 8(2), 24. <https://doi.org/10.3390/quat8020024>
- Karunasagar, D., Balarama Krishna, M. V., Anjaneyulu, Y., & Arunachalam, J. (2006). Studies of mercury pollution in a lake due to a thermometer factory situated in a tourist resort: Kodaikkanal, India. *Environmental Pollution*, 143(1), 153–158. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2005.10.032>
- Ligrone, R. (2019). The Emergence of Humanity. W *Biological Innovations that Built the World* (s. 399–470). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-16057-9_12
- Luo, G., Ono, S., Beukes, N. J., Wang, D. T., Xie, S., & Summons, R. E. (2016). Rapid oxygenation of Earth's atmosphere 2.33 billion years ago. *Science Advances*, 2(5). <https://doi.org/10.1126/sciadv.1600134>
- Lyons, T. W., Reinhard, C. T., & Planavsky, N. J. (2014). The rise of oxygen in Earth's early ocean and atmosphere. *Nature*, 506(7488),

- 307–315. <https://doi.org/10.1038/nature13068>
- Machin, G. (2024). Evolution of temperature measurement – beginnings, progress and prospects. *Journal of Physics: Conference Series*, 2877(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2877/1/012112>
- Maruyama, S., & Ebisuzaki, T. (2017). Origin of the Earth: A proposal of new model called ABEL. *Geoscience Frontiers*, 8(2), 253–274. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2016.10.005>
- McCaskey, J. P. (2020). History of ‘temperature’: maturation of a measurement concept. *Annals of Science*, 77(4), 399–444. <https://doi.org/10.1080/00033790.2020.1817980>
- Mohapatra, R. N. (2021). *The Neutrino Story: One Tiny Particle's Grand Role in the Cosmos*. Springer Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-51846-2>
- Neidell, M., Graff Zivin, J., Sheahan, M., Willwerth, J., Fant, C., Sarofim, M., & Martinich, J. (2021). Temperature and work: Time allocated to work under varying climate and labor market conditions. *PLOS ONE*, 16(8). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0254224>
- Pearce, J. M. S. (2002). A brief history of the clinical thermometer. *QJM*, 95(4), 251–252. <https://doi.org/10.1093/qjmed/95.4.251>
- Radhi, S. El, & Patel, S. (2017). Aetiology of Febrile Illnesses Presenting to a District Hospital. *Pediatric Infectious Diseases: Open Access*, 02(02). <https://doi.org/10.21767/2573-0282.100044>
- Rennert, K., Errickson, F., Prest, B. C., Rennels, L., Newell, R. G., Pizer, W., Kingdon, C., Wingenroth, J., Cooke, R., Parthum, B., Smith, D., Cromar, K., Diaz, D., Moore, F. C., Müller, U. K., Plevin, R. J., Raftery, A. E., Ševčíková, H., Sheets, H., ... Anthoff, D. (2022). Comprehensive evidence implies a higher social cost of CO2. *Nature*, 610(7933), 687–692. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-05224-9>
- Rozov, N. (2022). Nomological Explanation of the Formation of Social Norms in Anthropogenesis: a Trial. *Stratum plus. Archaeology and Cultural Anthropology*, 1, 89–100. <https://doi.org/10.55086/sp22189100>
- Ruthrof, K. X., Breshears, D. D., Fontaine, J. B., Froend, R. H., Matusick, G., Kala, J., Miller, B. P., Mitchell, P. J., Wilson, S. K., van Keulen, M., Enright, N. J., Law, D. J., Wernberg, T., & Hardy, G. E. St. J. (2018). Subcontinental heat wave triggers terrestrial and marine, multi-taxa responses. *Scientific Reports*, 8(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-31236-5>
- Sanders, D., Grunden, A., & Dunn, R. R. (2021). A review of clothing microbiology: the history of clothing and the role of microbes in textiles. *Biology Letters*, 17(1). <https://doi.org/10.1098/rsbl.2020.0700>
- Shestakov, S. V., & Karbysheva, E. A. (2017). The origin and evolution of cyanobacteria. *Biology Bulletin Reviews*, 7(4), 259–272. <https://doi.org/10.1134/S2079086417040090>
- Sinclair, C. A., Wyatt, M. C., Morbidelli, A., & Nesvorný, D. (2020). Evolution of the Earth's atmosphere during Late Veneer accretion. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 499(4), 5334–5362. <https://doi.org/10.1093/mnras/staa3210>
- Smale, D. A., Wernberg, T., Oliver, E. C. J., Thomsen, M., Harvey, B. P., Straub, S. C., Burrows, M. T., Alexander, L. V., Benthuyssen, J. A., Donat, M. G., Feng, M., Hobday, A. J., Holbrook, N. J., Perkins-Kirkpatrick, S. E., Scannell, H. A., Sen Gupta, A., Payne, B. L., & Moore, P. J. (2019). Marine heatwaves threaten global biodiversity and the provision of ecosystem services. *Nature Climate Change*, 9(4), 306–312. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0412-1>
- Stancampiano, L. M., Rubio-Jara, S., Panera, J., Uribealarea, D., Pérez-González, A., & Magill, C. R. (2023). Organic geochemical evidence of human-controlled fires at

- Acheulean site of Valdocarros II (Spain, 245 kya). *Scientific Reports*, 13(1), 7119.
<https://doi.org/10.1038/s41598-023-32673-7>
- Twomey, T. (2013). The Cognitive Implications of Controlled Fire Use by Early Humans. *Cambridge Archaeological Journal*, 23(1), 113–128.
<https://doi.org/10.1017/S0959774313000085>
- Uzan, J. P. (2021). The Big–Bang Theory: Construction, Evolution and Status. W B. Duplantier & V. Rivasseau (Red.), *The Universe. Progress in Mathematical Physics* (T. 76, s. 1–72). Birkhäuser, Cham.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-67392-5_1
- Vicedo–Cabrera, A. M., Scovronick, N., Sera, F., Royé, D., Schneider, R., Tobias, A., Astrom, C., Guo, Y., Honda, Y., Hondula, D. M., Abrutsky, R., Tong, S., Coelho, M. de S. Z. S., Saldiva, P. H. N., Lavigne, E., Correa, P. M., Ortega, N. V., Kan, H., Osorio, S., ... Gasparrini, A. (2021). The burden of heat–related mortality attributable to recent human–induced climate change. *Nature Climate Change*, 11(6), 492–500.
<https://doi.org/10.1038/s41558-021-01058-x>
- Wrangham, R., & Carmody, R. (2010). Human adaptation to the control of fire. *Evolutionary Anthropology: Issues, News, and Reviews*, 19(5), 187–199.
<https://doi.org/10.1002/evan.20275>
- Wright, W. F., & Mackowiak, P. A. (2016). Origin, Evolution and Clinical Application of the Thermometer. *The American Journal of the Medical Sciences*, 351(5), 526–534.
<https://doi.org/10.1016/j.amjms.2015.11.019>
- Yeo, I. S. (2005). Hippocrates in the context of Galen: Galen’s commentary on the classification of fevers in Epidemics VI. W *Hippocrates in Context* (s. 433–443). BRILL.
https://doi.org/10.1163/9789004377271_027

Źródła internetowe:

- [1] Final Report of the GOI Committee, Ko-daiMercury, 9 listopada 2011 <http://kodaimercury.org/final-report-of-the-goi-committee/> [dostęp 2025.07.15]
- [2] Dyrektywa 2007/51/WE zmieniająca dyrektywę Rady 76/769/EWG w odniesieniu do ograniczeń w zakresie wprowadzania do obrotu niektórych urządzeń pomiarowych zawierających rtęć,
<https://sip.lex.pl/akty-prawne/dzienniki-UE/dyrektywa-2007-51-we-zmieniajaca-dyrektywe-rady-76-769-ewg-w-odniesieniu-do-67713608> [dostęp 2025.06.25]

Notka o autorze: Absolwent studiów I stopnia na kierunku geografia na Wydziale Oceanografii i Geografii Uniwersytetu Gdańskiego. W obszarze jego zainteresowań znajdują się procesy atmosferyczne, w tym zjawiska ekstremalne oraz promieniowanie krótkofalowe słoneczne. Szczególną uwagę poświęca również zagadnieniom związanym ze zmianami klimatu i ich oddziaływaniem na środowisko naturalne. Poza zainteresowaniami naukowymi ceni sobie dobre kino, które ogląda z perspektywy wymagającego i krytycznego odbiorcy.