

Od nóg kaczek po rozszczepienie atomu – czy ciepło jest sprzymierzeńcem czy wrogiem rozwoju?

Adam Krzysztofik

Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii

E-mail: a.krzysztofik.153@studms.ug.edu.pl

tutorka: dr hab. Anita Lewandowska, prof. UG

Uniwersytetu Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii

Słowa kluczowe: ciepło, ewolucja, technologia, energetyka, rozwój ludzkości

Wstęp

Ciepło – jak często o nim myślimy? Praktycznie każdego dnia, prawda? Jest ono naszym towarzyszem od zarania dziejów. Wychoząc z domu, sprawdzamy prognozę pogody, żeby odpowiednio się ubrać. Gdy jest nam zimno, pijemy ciepłą herbatę. Gdy nadchodzi okres świąteczny, na jarmarku bożonarodzeniowym delektujemy się grzany winem lub gorącą czekoladą. Słowo ciepło ma też inny kontekst. Gdy od kogoś „bije” obojętność mówimy, że jest on „zimny”, a gdy ktoś sprawia wrażenie nieporadnego, że jest „ciepłą kluchą” [1]. Nieczęsto zastanawiamy się jednak, jak dużą rolę ciepło odegrało w kształtowaniu cywilizacji w jej obecnej formie, w ewolucji i funkcjonowaniu organizmów żywych, w tym ludzi. Zwierzęta i rośliny musiały się zmierzyć z problemami związanymi, np. z za wysoką lub zbyt niską temperaturą. Część z nich nie przetrwała. Inne jednak świetnie sobie z tym poradziły

poprzez wykształcenie mechanizmów obronnych. Ciepło, w szerokim tego słowa znaczeniu, odegrało także swoistą rolę w rozwoju technologicznym ludzkości. Przyczyniło się do produkcji nowatorskich narzędzi i technologii. To z kolei zapewniło ludziom wzrost poziomu dobrobytu. Dzięki temu cywilizacja zaczęła się rozwijać na zupełnie innych niż wcześniej. płaszczyznach. Niestety właśnie ten ostatni aspekt, a mianowicie konsumpcjonizm, może w przyszłości okazać się powodem katastrofy ekologicznej i zguby dla ludzkości. Z ciepłem należy łączyć bowiem emisję zanieczyszczeń, w tym gazów cieplarnianych, do atmosfery. Wiele z nich wpływa negatywnie na bilans cieplny naszej planety. Emisja dwutlenku węgla czy metanu ze źródeł antropogenicznych, wielokrotnie przewyższa tę naturalną prowadząc do wzrostu średniej globalnej temperatury i zjawisk ekstremalnych, mających miejsce w różnych częściach globu ziemskiego.

A czym jest ciepło z naukowego punktu widzenia? Według Beratta i Gyftopolous (2015) to interakcja cząstek, podczas której zachodzi wymiana energii między dwoma

układami. Dla mnie osobiście ciepło było inspiracją do napisania niniejszego eseju, który mam nadzieję okaże się ciekawy dla Ciebie, drogi Czytelniku.

Ciepło w świecie zwierząt

W przypadku zwierząt istnieje wiele sposobów ich kategoryzowania, przypisywania i rozdzielania na grupy czy gatunki. Jednym z wyznaczników jest to, czy zachowują one stałą temperaturę ciała względem otoczenia. Jeśli tak, zaliczają się do organizmów stałocieplnych. Jeśli jednak temperatura ich ciała zmienia się zależnie od temperatury otoczenia – taką grupę zwierząt zalicza się do zmiennocieplnych. W pierwszej kategorii znajdują się ptaki oraz ssaki, w drugiej pozostałe organizmy żywe. Jakkolwiek istnieją wyjątki. W specyficznych warunkach niektóre zwierzęta, na przykład rekiny, mogą same produkować część ciepła (Lovergove, 2017; Zigler i Yancey, 2019). Początki stałocieplności na Ziemi nie są do końca rozpoznane. Teorii na temat czasu, w którym wyewoluowała endotermia jest wiele. Niektóre z nich mówią, że należy jej upatrywać już we wcześniejszej jurze, czyli 201,3–174,1 mln lat temu. Zgodnie z tą teorią takie gatunki jak teropody, czy dinozaury ptasiomiednicze zdewersyfikowały środowisko swojego życia poprzez wykształcenie specyficznych adaptacji. Nauka łączy je ze stałocieplnością. Dzięki temu zwierzęta te nie musiały ograniczać swoich siedlisk do ciepłych rejonów globu ziemskiego, a wręcz mogły zamieszkiwać tereny około-polarne.

Inne teorie propagują ideę początku stałocieplności na późny perm (ok. 260 Ma) i jej ewolucję przez kolejne 40–50 milionów lat, aż do późnego triasu, kiedy pojawiły się pierwsze ssaki (ok. 215 Ma). Przesłanką do tego miało być wykształcenie u terocefali i cynodontów małżowin nosowych. Są to specjalne struktury wewnętrznej bocznej

ściany nosa, których zadaniem jest kondycjonowanie wdychanego powietrza i ograniczanie utraty wody przy każdym wydechu. Wspomniane powyżej „gady ssakokształtne” miały zwiększone zapotrzebowanie metaboliczne, żeby utrzymać stałą temperaturę ciała. Dlatego, żeby dostarczyć wystarczającą ilość tlenu do tkanek, charakteryzowały się zwiększoną częstotliwością oddechów. Ponieważ mogło to prowadzić do utraty ciepła na skutek wydychania pary wodnej, w drodze ewolucji wykształciły się u nich małżowiny nosowe, które pomagały to ograniczać (Hillenius, 1992; Lovegrove, 2017; Rezende i in., 2020; Clarenza i in., 2023).

Utrzymanie stałej temperatury ciała wymaga pozyskiwania energii z procesów metabolicznych (Klaassen i Nolet, 2008). Może to stanowić pewne utrudnienie. Oznacza bowiem potrzebę spożywania przez stałocieplny organizm większej ilości pokarmu w porównaniu do jego zmiennocieplnego kuzynostwa. Nie jest to jednak czynnik, który wystarczy, ażeby zapewnić ciało odpowiednią regulację temperatury. Z tej przyczyny w toku dalszej ewolucji u zwierząt wykształciły się kolejne mechanizmy termoregulacji. Szczególnie dobrze funkcjonuje to u ptaków, na przykład kaczek. W części pierszelowej ich nóg występuje specjalna struktura, tzw. sieć dziwna (ang. *rete mirabile*). Żyły i tętnice rozgałęziają się w naczynia włosowate i przeplatają między sobą, by następnie ponownie połączyć się w naczynie krwionośne tego samego typu, z którego powstały. Krew, która ogrzała się w ciele ptaka, jest transportowana tętnicami do nóg. Z nich wraca żyłami, w których charakteryzuje się niższą temperaturą. Wynika to z tego, że nogi nie mają tak dobrej termoizolacji, jak opierzona część ciała ptaka. Dodatkowo, zazwyczaj znajdują się w bezpośrednim kontakcie z zimniejszą wodą. W konsekwencji, z nóg ptaka ciepło jest oddawane do otoczenia. Aby zminimalizować utratę ciepła na rzecz otaczającego środowiska, naczynia krwionośne przybierają

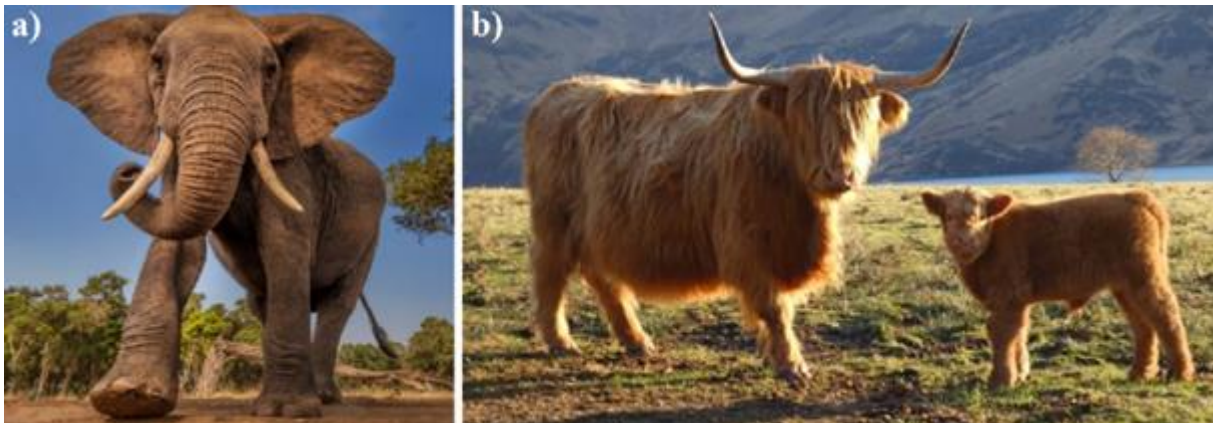
formę *rete mirabile*. Dzięki temu dochodzi do wymiany cieplejszej krwi tętniczej z zimniejszą krwią żylną. Krew o niższej temperaturze, zanim dotrze do reszty organizmu, ulega po drodze ogrzaniu. Tym sposobem ptak traci mniej wyprodukowanego ciepła na rzecz otoczenia. Mniejszy też jest wydatek energetyczny, potrzebny na ogrzanie ciała ptaka (Hossler i Olson, 1984).

Mechanizmem przeciwnym do *rete mirabile* jest urohydroza, mająca na celu ochłodzenie organizmu zwierzęcia. Jest ona także charakterystyczna dla ptaków i polega na wydalaniu przez nie kałomoczu na nogi. Pozwala to na oddanie nadmiaru ciepła wraz z odparowywaniem ekskrementów. Oszacowano, że u bocianów może to prowadzić do obniżenia temperatury powierzchni nóg o blisko 7°C (Graves, 2019; Cabello-Vergel i in., 2023). Taki sposób regulacji temperatury bazuje na tych samych procesach fizycznych, co proces pocenia się.

Za dyssypację ciepła odpowiedzialne są również inne części ciała. Jako dziecko, często słyszałem, żeby zimą ubierać czapkę, bo przez głowę ucieka ciepło. W głowie faktycznie znajduje się ośrodek odpowiedzialny za termoregulację, do którego trafiają i są przetwarzane informacje z całego organizmu. Pośród nich są te o potrzebie generowania ciepła lub schładzania ciała. Przepływający przez mózg strumień krwi może się ogrzać lub ochłodzić, jednocześnie wysyłając do termoreceptorów informacje o zachodzących zmianach. Wydawałoby się w związku z tym,

że faktycznie narażenie głowy na wychłodzenie jest nierozważne. Mimo to stwierdzenie, że przez głowę tracimy nawet do 70% ciepłoty ciała nie jest prawdziwe. Zdaniem naukowców jest to zaledwie 10%. Nawet, jeśli nie założymy czapki, ale reszta naszego ciała będzie dobrze osłonięta od zimna, będziemy w stanie zachować jego stałą temperaturę [2]. Nie nosząc czapki, na złość mamie, odmrozimy sobie co najwyżej uszy.

U niektórych zwierząt, na przykład słońi, uszy to organ, który faktycznie odgrywa istotną rolę w termoregulacji. Ich duża powierzchnia i dobre ukrwienie sprawiają, że ciepło może zostać szybko i efektywnie oddane do otoczenia (Stott i in., 2010; Pares-Casanova i Caballero, 2014) (Ryc. 1a). U bydła, na przykład u krów czy owiec, taką rolę mogą pełnić olbrzymie rogi (Ryc. 1b). Z kolei bezrożne bydło charakteryzuje się większymi uszami względem osobników posiadających rogi, co kompensuje im brak rogów w aspekcie regulowania temperatury ciała. Niestety w Unii Europejskiej powszechne jest usuwanie rogów u bydła domowego. Szacuje się, że u 80% zwierząt zostały one amputowane, głównie ze względu na korzyści finansowe farmerów. Inną pobudką jest oszczędność miejsca oraz ochrona przed zrobieniem rogami krzywdy sobie i innym osobnikom w pomieszczeniu. Proces usuwania rogów jest bolesny dla zwierzęcia. Może też skutkować u niego niekorzystnymi zmianami fizjologicznymi i behawioralnymi. Odnotowuje się przypadki pogorszonego stanu emocjonalnego zwierzęcia po amputacji rogów (Algra i in., 2023).



Ryc. 1. a) Słoń afrykański (źródło: Getty Images) oraz
b) Szkocka rasa wyżynna (źródło: Benjamin Frankum w Getty Images)

Człowiek także wytworzył mechanizm pozwalający na pozbycie się z organizmu nadmiaru ciepła. Może się wydawać, że jest on powszechnie znany, gdyż mowa o poceniu się. Nic bardziej mylnego. Na jego wydajność ma wpływ wiele czynników. Pocenie się spełnia swoją rolę, ponieważ pot zbierający się na skórze odbiera część energii cieplnej emitowanej z naszego ciała. W procesie parowania jest ona uwalniana do otoczenia (Shrestha i in., 2021). Szacuje się, że z każdym wypocynym litrem ciało traci 580 kcal ciepła. Intensywność pocenia się zależy od takich czynników, jak temperatura czy wilgotność powietrza. W przypadku ekstremalnie wysokich temperatur, ale także wysokiego wysiłku fizycznego człowiek może wypocić nawet 3,7 litra wody w godzinę (Shrestha i in., 2021). Dlatego ważne jest, aby odpowiednio się nawadniać podczas intensywnych fal upału. Odwodnienie powoduje spadek ciśnienia, a w konsekwencji może prowadzić do zawrotów głowy, senności czy apatii. Pot jest mieszaniną, w której 98% stanowi woda. Pozostałość to substancje organiczne, tj. aminokwasy czy sól. Po odparowaniu potu na naszej skórze mogą pozostać mikroniedoskonałości w postaci np. wykryształizowanej soli. Może to zaburzać efektywność oddawania ciepła do otoczenia (Beigtan i in., 2024).

Z drugiej strony intensywne pocenie się prowadzi do usuwania elektrolitów z organizmu. W skrajnych przypadkach może to skutkować wystąpieniem drgawek, a nawet udaru. Jego typowymi objawami są zawroty głowy, dezorientacja, gorączka, nudności czy utrata przytomności. Osobę z udarem należy przenieść w zacienione i chłodne miejsce i wezwać pogotowie. Do momentu wezwania pomocy można stosować zimne okłady w miejscu przepływu krwi, np. w pachwinach, czy pod pachami [3]. Są to informacje szczególnie ważne do zapamiętania, ponieważ w dobie ocieplającego się klimatu temperatura będzie coraz wyższa, a dni z ekstremalnymi temperaturami coraz częstsze.

Niektóre zwierzęta nauczyły się produkować ciepło. Ich przedstawicielem jest chrzyszcz z rodziny biegaczkowatych (*Stenopitnus insignis*). Charakteryzuje się on niewielkimi rozmiarami (1-1,5 cm długości). W jego odwłoku znajdują się gruczoły, które wydzielają do „komory spalinowej”, położonej na końcu odwłoku charakterystyczny wodny roztwór. W jego składzie znajdują się hydrochinon, metylohydrochinon, woda utleniona, katalaza oraz peroksydaza. Pierwsze dwa związki to aromatyczne związki organiczne. Ostatnie dwa to enzymy. Katalaza rozkłada wodę utlenioną do wodoru i tlenu.

Peroksydaza wykorzystuje ją do utlenienia hydrochinonów do chinonów. W wyniku zajścia reakcji egzotermicznych dochodzi do wystrzelenia z odwłoku chrząszcza mieszaniny związków chemicznych, której temperatura może osiągać nawet 100°C. Chrząszcz wykorzystuje to przeciwko swojej ofierze. Odwracając się do niej odwłokiem, wystrzeliwuje jego zawartość na odległość sięgającą nawet 20-30 cm. Cała „batalia” zajmuje od kilku do kilkunastu milisekund (Aneshansley i in., 1969; McIntosh i Lawrence, 2018).

Innym, nieco bardziej brutalnym, aczkolwiek fascynującym sposobem wykorzystania ciepła jako broni mogą pochwalić się pszczoły miodne *Apis mellifera*. Ich naturalnym drapieżnikiem są Szerszenie azjatyckie (*Vespa mandarinia*) (Baracci i in., 2010). Już kilka osobników jest w stanie w zaledwie kilka godzin doprowadzić do eksterminacji nawet 30 tys. pszczół. Pszczoły wykształciły w związku z powyższym charakterystyczny dla nich odruch obronny. Widząc szerszenia grupa pszczół otacza go ciasno swoimi ciałami. Temperatura wokół drapieżnika wzrasta wówczas nawet do 47°C, co okazuje się dla niego śmiertelne. Drugim skutkiem może być uduszenie drapieżnika wewnątrz „pszczeliego muru” (Matsuura i Sakagami, 1973).

Od kulinarnych rewolucji po rozwój technologiczny

Ludziom udało się znaleźć dodatkowe, bardzo dla nich przydatne, wykorzystanie ciepła. Chodzi o obróbkę termiczną jedzenia. Po raz pierwszy zmierzaliśmy się z nią około 1,8-1,9 mln lat temu, we wczesnych latach istnienia *Homo erectus* – człowieka wyprostowanego. Wskazują na to dowody zapisane w skamieniałościach, takie jak zredukowana wielkość zębów, czy zwiększona masa ciała osobników płci żeńskiej (Wrangham i in., 1999; Nelson, 2010). Ludzie pierwotni zrozumieli,

że dzięki gotowaniu, wędzeniu i suszeniu jedzenia, może być ono przechowywane przez dłuższy czas. Dzięki temu polowania nie były już tak oportunistyczne. Samo pożywienie było również bardziej pożywne, a przede wszystkim łatwiej się je przeżuwało, ponieważ po ugotowaniu stawało się ono bardziej miękkie. Oszacujmy zatem, ile byśmy spędzili czasu na przeżuwaniu jedzenia, gdybyśmy mieli podobne przyzwyczajenia żywieniowe do innych dużych naczelnych. Szympansy na przykład czynności tej poświęcają nawet do 6 godzin dziennie. Oczywiście, zależy to od rodzaju spożywanego pokarmu. Gdyby szympansy miały dostęp wyłącznie do miękkich owoców albo umiały jedzenie obrabiać termicznie, proces przeżuwania byłby krótszy. Jednak w dżungli pozyskanie wystarczającej ilości jadalnych owoców jest utrudnione. Szympansy nie umieją także gotować. Z tego względu żywią się często liśćmi, które są oczywiście twardsze od owoców i wymagają dłuższego żucia, aby można je było w pełni strawić. Ponieważ wszystkie naczelne mają podobny czas żucia do szympansów oszacowano, że człowiek przy takiej diecie musiałby spędzić na przeżuwaniu średnio ponad 5 godzin dziennie. U naszych przodków, ten proces uległby proporcjonalnemu wydłużeniu, ponieważ surowe mięso je się trudniej niż liście. Dzięki ewolucji i nauczaniu się termicznej obróbki pokarmu, spędzamy na przeżuwaniu i przełykaniu pożywienia piątą, a może nawet dziesiątą część czasu, którą poświęcają na to szympansy. Do takich wniosków doszli być może także nasi przodkowie, *Homo*, którzy zamiast spędzać czas na długim jedzeniu zaczęli go poświęcać polowaniom czy socjalizacji. Obserwując szympansy można zauważyć, że polują one wyłącznie oportunistycznie, a czas na to poświęcony wynosi od 20 minut do godziny. W przypadku wczesnych ludzi czas ten oszacowano na średnio od 2 do 8 godzin na dobę. Obróbka ter-

miczna oczywiście skróciła ten czas. Prawdopodobnie zapoczątkowała także podział ról w społeczności ze względu na płeć. Za polowania odpowiadały osobniki płci męskiej. Poszukiwały one również bardziej imponujących zdobyczy, aby podzielić się nimi z rodziną. Ponieważ polowania nie zawsze były skuteczne, za uzupełnienie zasobów kalorycznych odpowiadały kobiety, które wynajdowały jedzenie w otoczeniu siedlisk. Podczas polowań, na które udawały się samce, to samice prawdopodobnie przygotowywały także ciepłą strawę. Taki podział ról mógł występować nawet w ponad 99% ówczesnych społeczności (Wrangham, 2009; Nelson, 2010).

Na późniejszym etapie ludzie zaczęli wykorzystywać ciepło w procesach metalurgicznych. O ile obróbka termiczna pokarmów pozwoliła im rozwinąć się biologicznie i społecznie, o tyle wytwarzanie przedmiotów z metali dało szansę na rozwój technologiczny. Z metali początkowo wykorzystywano miedź, srebro i złoto, które były

w miarę łatwe do znalezienia w ich metalicznej, nieobrobionej formie. Pierwsze dowody na gorącą, pirometalurgiczną obróbkę metali pochodzą sprzed mniej więcej 6 000 lat, z terenów obecnego Izraela. Znalezione tam szczątki rudy miedzi i piece, w której ją wytapiano (Stubina, 2016). Jakkolwiek przejście z obróbki „monopierwiastkowych” metali do wytwarzania stopów zajęło ludzkości kilka tysięcy lat. Dopiero ok. 3000-2500 lat p.n.e. zaczęto łączyć miedź z innymi metalami i związkami, np. z cyną czy arsenikiem. Okres ten nazwano epoką brązu (do ok. 800-700 lat p.n.e.) właśnie ze względu na szerokie wykorzystanie tego stopu (Harding, 2000; 2011). Umiejętność wytwarzania nowego tworzywa pozwoliła ludziom na produkcję lepszej jakości narzędzi i broni. To z kolei przyczyniło się do rozwoju agrokultury i zwiększyło możliwości militarne (Coles i Harding, 1979; Harding, 2011). Brąz wykorzystywano w tym okresie również do wytwarzania ozdób, waz i przedmiotów wykorzystywanych podczas rytuałów sakralnych (Bogucki, 2008; Changping i Chen, 2024) (Ryc. 2).



Ryc. 2. Artefakty z epoki brązu znalezione w Holandii (źródło: [3])

Epoka brązu dała podwaliny dla dalszego rozwoju naszej cywilizacji. Ludzkość mogła „przejsć” do epoki żelaza. Ta, podobnie jak

epoka brązu, nie ma wyznaczonych sztywnych ram czasowych. Są one zależne raczej od rejonu świata. W północnej Europie, na przykład w Skandynawii, przypadała ona na

okres około 500 lat p.n.e. (Reiersen i Albris, 2024). W pozostałej części Europy było to około 800 lat p.n.e. (Wells, 1990; Bochnak i Rieckhoff, 2024). Rudy żelaza powszechnie występowały w Europie. Dzięki temu rzemieślnicy nie musieli polegać na szlakach handlowych w celu zaopatrzenia się w miedź i cynę. Samo żelazo przetwarzano w piecach o prostej konstrukcji. Były to dziury w ziemi oraz wysokie na około metr kominy wykonane z gliny. Do takiego pieca warstwami układano rudę żelaza, a na nią węgiel drzewny. Po rozgrzaniu otrzymywano wielką kulę gorącego żelaza, z której następnie formowano pożądany kształt. W niektórych miejscach dochodziło nawet do tworzenia stali, czyli stopu żelaza z węglem, co dawało bardziej wytrzymały produkt od wykonanego z samego żelaza (Wells, 2011).

Umiejętność przetwarzania nowego, bardziej trwałego materiału, pozwoliła ludzkości na dalszy rozwój technologiczny, ale również społeczny. W północnej Kambodży zaczęto wykorzystywać bardziej trwałe pługi żelazne w miejsce drewnianych czy brązowych. Umożliwiło to szybsze i efektywniejsze korzystanie z ziemi pod agrokulturę. Wykorzystywanie żelaznych sierpów i motyk, charakteryzujących się większą ostrością i wytrzymałością usprawniło z kolei pracę w polu (Higgham, 2016). W epoce żelaza powstały liczne szlaki handlowe. Niektóre rejony świata zaczęły specjalizować się w konkretnych usługach. Wynika to z faktu, że dzięki nowym narzędziom, które pozwalały na wydajniejszą pracę, generowane były nadwyżki, np. żywności. Zwiększyła się również ilość atrakcyjnych dóbr. Nastąpił ponadto rozwój piśmiennictwa, co pozwoliło na przejście na wyższy poziom administracyjny (Wells, 2011; Andrea, 2024; Trixl i Francken, 2024). Oczywiście zachodzący u zarania ludzkości wielopłaszczyznowy rozwój technologiczno-socjo-ekonomiczny nie może być wprost łączony z ciepłem. Niepodważalnym jest jednak fakt, że gdyby nie ewolucja związana

z termiczną obróbką pokarmu, czy umiejętność wytwarzania narzędzi usprawniających pracę ludzi, nasza cywilizacja mogłaby wyglądać zgoła inaczej.

Fundament energetyki czy początek końca?

Rola ciepła w rozwoju technologicznym ludzkości nie ogranicza się tylko do metalurgii czy przygotowywania ciepłych posiłków. Aczkolwiek w obydwu procesach niezbędna jest obecnie produkcja energii elektrycznej. Jej obecność w naszym życiu jest czymś oczywistym. Pomijając odnawialne źródła energii, prąd generowany jest w podobny sposób w elektrowniach różnego typu. Dla przykładu, w elektrowniach węglowych paliwem jest węgiel. Początkowo rozdrabnia się go, aby miał większą powierzchnię i mniejszą objętość, co ma ułatwić jego spalanie (Frei, 2022). Wygenerowane w ten sposób ciepło wykorzystuje się następnie do gotowania wody w bojlerze, w wyniku czego powstaje para wodna. Ta pod ciśnieniem trafia do turbin parowych, gdzie zwiększa swoją objętość i ulega schłodzeniu. Na tym etapie zachodzi przemiana energii termicznej w energię mechaniczną, która napędza generator prądu (Rakamur i in., 2021). W elektrowniach atomowych końcowy etap jest podobny do opisanego powyżej i polega na napędzaniu turbin i generatorów prądu energią pozyskaną z pary wodnej (Davidian i Paufigue, 2016). Inne jest jednak źródło ciepła. Paliwem napędowym są pierwiastki promieniotwórcze, np. uran^{235} czy pluton^{239} . W wyniku rozszczepiania ich jąder produkowane są ogromne ilości energii cieplnej (Davidian i Paufigue, 2014), wykorzystywanej analogicznie do tej z elektrowni węglowych.

Na tej samej zasadzie działają również elektrownie geotermalne. Gorąca woda z wnętrza Ziemi wykorzystywana jest do wytwarzania pary wodnej i zasilania turbin kon-

wertujących energię mechaniczną na elektryczną. Jednak zaletą tego rodzaju elektrowni w porównaniu do wcześniej omówionych jest to, że wykorzystują ciepło Ziemi. A zatem są najbardziej proekologiczne. Wykorzystanie takiego źródła ciepła czyni je również odnawialnymi, ponieważ ochłodzona na powierzchni Ziemi woda może zostać z powrotem wprowadzona do jej wnętrza. Niestety rejony, w których można wykorzystać ten sposób produkcji energii są ograniczone na przykład uwarunkowaniami tektonicznymi (Tudorache i Antonescu, 2002).

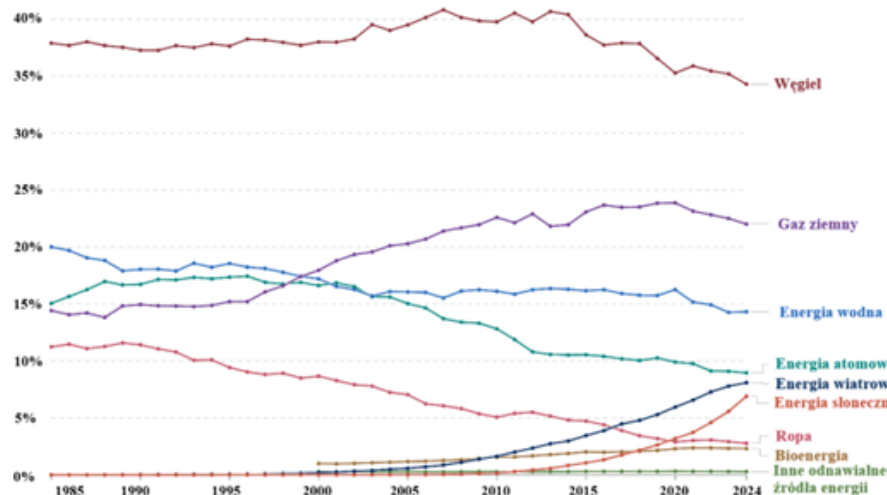
Oprócz energii geotermalnej wykorzystuje się również szereg innych odnawialnych źródeł energii, np. wiatrowe, wodne czy słoneczne. Te ostatnie mogą dawać mylne wrażenie, że bazują na cieple pochodzącym ze słońca. Może to wynikać z faktu, że panele słoneczne największe ilości energii elektrycznej generują w dni, które odczuwamy jako najgorętsze. Jakkolwiek panele fotowoltaiczne wykorzystują energię padających na nią fotonów do wywoływania ruchu elektronów na monokrystalicznej warstwie krzemu. Warstwa krzemu od góry jest pokryta warstwą atomów fosforu, a od dołu grubszą warstwą boru. Taki układ pełni funkcję diody i pozwala na wytworzenie większej ilości energii, niż przy zastosowaniu samego krzemu. Co ciekawe, wzrost temperatury panelu fotowoltaicznego prowadzi do spadku jego wydajności nawet o 10% (Krisciunas, 2023).

Produkcja ciepła to niezaprzeczalnie konieczność, zwłaszcza w umiarkowanych szerokościach geograficznych, charakteryzujących się niższymi temperaturami powietrza. Wiąże się to jednak często z negatywnymi konsekwencjami dla środowiska. Zależnie od metody produkcji ciepła mogą być one większe bądź mniejsze. W przypadku elektrowni atomowych do atmosfery emitowana jest głównie para wodna (Jiang i in., 2023).

W tego typu elektrowniach kontrowersję budzi składowanie zużytego paliwa radioaktywnego, z czym jednak ludzkość już sobie radzi (Chua i Tsipis, 1991; Perlot i in., 2005; Ojovan i Steinmetz, 2022). Atutem jest natomiast to, że para wodna, emitowana podczas produkcji ciepła czy energii nie zanieczyszcza atmosfery. Sama w sobie jest gazem cieplarnianym, ale jej cykl obiegu w środowisku jest szybki. Woda może zostać usunięta z atmosfery z opadem atmosferycznym oraz w procesie bezpośredniego skraplania. Ogranicza to jej długoterminowy wpływ na klimat. W przypadku elektrowni węglowych i spalających inne paliwa, np. gaz czy biomasę, do atmosfery emitowane są liczne zanieczyszczenia, w tym gazy cieplarniane i pyły zawieszone (Tong i in., 2018). W ostatniej dekadzie coraz częściej także elektrownie węglowe mają zainstalowane odpowiednie filtry, dzięki którym dominującym produktem spalania emitowanym do atmosfery jest para wodna. Pozostałe zanieczyszczenia są wyłapywane i utylizowane lub przekształcane w produkty użyteczne tj. gips wykorzystywany w budownictwie. Nie zmienia to faktu, że na świecie około 34% energii jest w dalszym ciągu produkowane w elektrowniach węglowych, podczas gdy w atomowych jest to zaledwie około 9%. Drugim największym źródłem energii jest gaz (22%), a kolejnym hydroenergia (14%) (Ryc. 3). Ale to te pierwsze elektrownie, generujące ciepło ze spalania węgla i torfu, są odpowiedzialne za 85% globalnej emisji CO₂ do atmosfery, który w największym stopniu wpływa na efekt cieplarniany (Kruitwagen i in., 2017; Siqueira i in., 2019; Ritchie i Rosado, 2020). Od czasów rewolucji przemysłowej, w wyniku działalności ludzkiej, średnie globalne stężenie dwutlenku węgla w atmosferze wzrosło z 280 ppm do ponad 420 ppm (Engelbeen i in., 2024). Gaz ten, biorąc udział w procesie fotosyntezy, jest ważny dla życia na naszej planecie (Sabine i Feely, 2015). Jednak CO₂ pochłania promieniowanie długofalowe

i tłumi jego „ucieczkę” z atmosfery. Nadmierna emisja tego gazu ze źródeł antropogenicznych prowadzi do systematycznego

wzrostu temperatury przy powierzchni Ziemi. Obecnie wzrost ten wynosi około 0,25°C na dekadę (Samset i in., 2025).



Ryc. 3. Udział poszczególne źródeł w globalnej produkcji energii elektrycznej na świecie w latach 1985-2024, do innych odnawialnych źródeł energii zaliczono: elektrownie geotermalne, falowe i pływowe (źródło: Ritchie i Rosado, 2020, dostęp 15.07.2025 r.; zmodyfikowane)

Wzrastające w atmosferze stężenie dwutlenku węgla prowadzi również do zakwaszania oceanów. Gaz ten po rozpuszczeniu się w wodzie, łączy się z nią co prowadzi do powstania słabego kwasu węglowego. W konsekwencji dochodzi do blaknięcia raf koralowych i spadku bioróżnorodności w wielu ekosystemach morskich i oceanicznych (Albright, 2018). Inne katastrofalne skutki ocieplenia klimatu to zjawisko topnienia lodowców i związany z tym wzrost poziomu wód. W przyszłości grozi to utratą miejsc do życia milionów ludzi, a także innych organizmów żywych (Dilaver i Dilaver, 2024). Ocieplenie klimatu wiąże się również ze zmniejszeniem ilości plonów, koniecznością wprowadzania zmian w rodzaju zasiewanych roślin, a nawet z konkurencją o zasoby rolne (Fang, 2023). Prowadzi ponadto do większej częstotliwości i intensywności występowania ekstremalnych zjawisk pogodowych, takich jak huragany, susze czy powodzie (Herera, 2023; Hassan,

2024). Dodatkowo, ze wzrostem temperatury może dojść do uwolnienia do atmosfery metanu zamkniętego w wiecznej zmarzlinie na biegunach i w hydratách na dnie mórz i oceanów. Tylko w arktycznym podwodnym permafroście uwięzione jest aż 60 miliardów ton metanu, który w krótkiej skali czasu jest silniejszym gazem cieplarnianym od dwutlenku węgla (Ruppel i Kessler, 2017; Balcombe i in., 2018). Dodatkowo, metan utlenia się do CO₂, co może przyspieszać globalne ocieplenie. W celu ochrony Ziemi koniecznym jest zatem zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych do atmosfery. Jest to możliwe, ale wymaga wspólnego działania ludzi na całym świecie oraz skutecznej edukacji i podnoszenia świadomości społecznej.

Istnieje szereg regulacji mających na celu ograniczenie emisji gazów cieplarnianych do atmosfery. Jednym z ważniejszych było porozumienie paryskie, podpisane w 2015 roku podczas Ramowej XXI Konwencji Narodów

Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu (United Nations Conference on Climate Change - UNFCCC) przez 195 państw. Zobowiązały się one do podjęcia działań na rzecz ograniczenia średniego globalnego wzrostu temperatury do poziomu poniżej 2°C w porównaniu z epoką przedprzemysłową, z celem ograniczenia tego wzrostu do 1,5°C. Oznacza to konieczność redukcji emisji gazów cieplarnianych o co najmniej 50% do roku 2050, w porównaniu z poziomami z roku 1990 oraz osiągnięcia zerowych lub ujemnych emisji do roku 2100 (Young, 2015). Wspólny wysiłek sygnatariuszy ma na celu przeciwdziałanie skutkom globalnego ocieplenia, w tym problemom związanym z malejącymi zasobami wody, czy falami upałów (Arnell i in., 2017). W roku 2021, podczas COP26, czyli kolejnej edycji Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu ponad 100 rządów i duże przedsiębiorstwa podpisały deklarację o przyspieszeniu przejścia na w 100% bezemisyjne samochody osobowe i dostawcze. Dodatkowo do 2040 roku, a na kluczowych światowych rynkach do 2035 roku, cała sprzedaż nowych samochodów osobowych i dostawczych na świecie ma być zeroemisyjna. Samochody te mają stać się tańsze i bardziej dostępne niż obecnie. Państwa zobowiązały się również obniżyć emisję metanu o 30% [5]. Choć brzmi to bardzo optymistycznie, niesie za sobą kolejne negatywne konsekwencje.

W bateriach samochodów elektrycznych – ale również innych bateriach litowo-jonowych, litowo-niklowo-manganowo-kobaltowych czy litowo-niklowo-kobaltowo-glino- wych (te są wykorzystywane np. w pojazdach Tesli) kluczowym składnikiem jest kobalt. Zagęszcza on energię w takiej baterii, przez co wzrasta jej wydajność oraz stabilność termiczna. Dzięki temu taka bateria staje się bezpieczniejsza w eksploatacji (Kara, 2024). Obecnie większość globalnego wydobycia

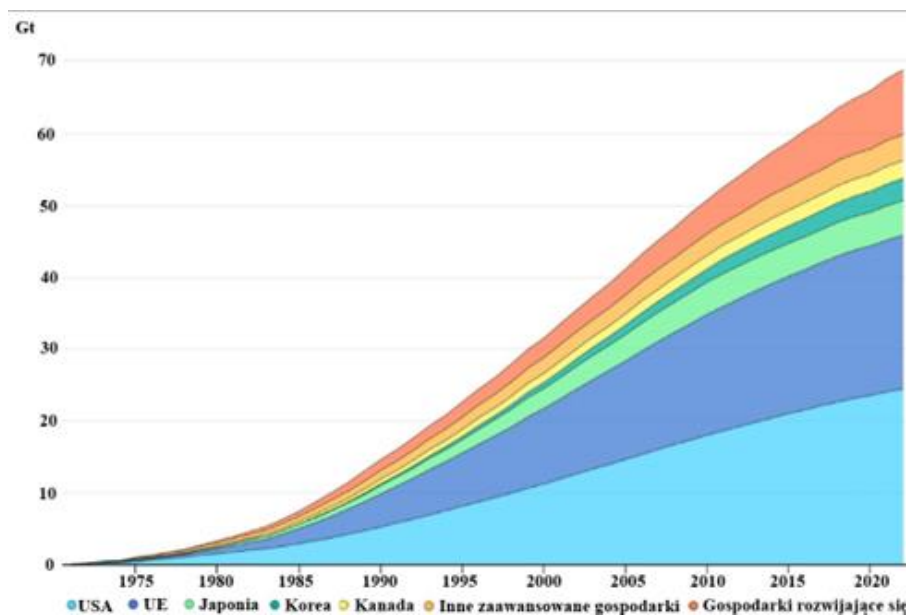
tego materiału ma miejsce w Demokratycznej Republice Kongo (DRK). Spośród pozyskanych w 2020 roku na świecie 140 kiloton kobaltu aż 95 kt pochodziło z DRK. Stanowiło to 68% jego światowego wydobycia. Rok później było to już 72%. Przewiduje się, że produkcja ta może sięgnąć nawet 390 kiloton rocznie (Yang i Chen, 2023). Być może nie stanowiłoby to żadnej kontrowersji, gdyby nie fakt, że praca przy wydobyciu kobaltu w DRK wiąże się z wyzyskiem ludzi i ich nietycznym, a nawet niewolniczym traktowaniem. W wielu, często nielegalnych kopalniach, pracują niestety także dzieci (Kara, 2024). Z mojej perspektywy „taka” produkcja samochodów elektrycznych ma więc ciemne strony.

Dzięki wzrastającej świadomości ludzi dotyczącej efektu cieplarnianego i związanych z tym konsekwencji na świecie mają miejsce działania, które realnie przekładają się na rzecz ograniczenia emisji gazów cieplarnianych. Włączają się w nie także prywatne firmy komercyjne. Ciekawym przykładem jest amerykańska piwowarnia New Belgium Brewery dysponująca w swoim asortymencie piwem Fat Tire Ale, które posiada certyfikat „produktu węglowo neutralnego”. Plany firmy zakładają, że do roku 2030 roku wszystkie piwa będą posiadały taki certyfikat. Jest to możliwe dzięki wykorzystaniu przez New Belgium Brewery odnawialnych źródeł energii w produkcji ich piw. Co ciekawe, podczas ważenia piwa prowadzony jest proces wyłapywania biogazów, które są następnie wykorzystywane przez firmę do produkcji prądu. Inna aktywność polegała na zmianie opakowań, celem obniżenia emisji zanieczyszczeń do powietrza [6].

Należy zauważyć ponadto pozytywny trend, jaki ma miejsce w odniesieniu do produkcji energii ze źródeł odnawialnych. Od 2010 roku wzrosła ona ponad dwukrotnie (z 4,2 TWh do 9,9 TWh) (Ritchie i Rosado, 2020). Szacuje się, że dzięki temu emisja

dwutlenku węgla została ograniczona o 565 000 ton rocznie (Pawar, 2024). Z kolei dzięki pozyskaniu energii z elektrowni atomowych tylko w 2022 roku w Unii Europejskiej udało się ograniczyć emisję dwutlenku

węgla o 21,1 Gt (IEA, 2023) (Ryc. 4). Aby osiągnąć poziomu redukcji ustalony w Paryżu w roku 2015, wymagane byłoby, ażeby ~80% globalnej energii pochodziło ze źródeł odnawialnych i elektrowni niskoemisyjnych, czyli właśnie atomowych (IAEA, 2017).



Ryc. 4. Łączna ilość emisji CO₂, których udało się uniknąć dzięki wykorzystaniu energetyki jądrowej w latach 1971–2022, z podziałem na regiony świata (źródło: na podstawie IEA, 2023; zmodyfikowane)

Podsumowanie

Ciepło odgrywa istotną rolę od zarania życia na Ziemi. Jego wpływ, w kontekście biologicznym, można odnotować na podstawie niesamowitej różnorodności mechanizmów istniejących w królestwie zwierząt. Przystosowały się one zarówno do walki z ciepłem, jak i do jego wykorzystania w formie broni i ochrony przed drapieżnikami. Dla nas, ludzi, ciepło zawsze stanowiło wyzwanie. Od początku było kluczem, który otwierał drzwi do rozwoju technologicznego. To fundamentalny element życia, który kształtuje naszą rzeczywistość, a być może będzie także odpowiedzialny za kreowanie przyszłych ścieżek. Pytanie tylko, czy będą to ścieżki

rozwoju, czy zguby. Wraz z rozwojem nowych technologii trzeba mieć świadomość ich negatywnych skutków. Zachodzące globalne ocieplenie klimatu stanowi jedno z najpoważniejszych zagrożeń, z jakim się borykamy. Jeśli ludzkość sobie z nim nie poradzi, będziemy świadkami coraz częstszych i intensywniejszych epizodów ekstremalnych kataklizmów pogodowych, topnienia lodowców, podnoszenia się poziomu wód itp., a w konsekwencji migracji ludzi w rejony bardziej optymalne do życia. O ile takowe się zachowają. Dlatego tak ważna jest edukacja i podnoszenie świadomości społecznej na temat wpływu antropopresji na środowisko, zwłaszcza w aspekcie globalnego ocieplenia. Trzeba tłumaczyć ludziom, dlaczego powinno się korzystać ze zrównoważonych, od-

nawialnych i niskowęglowych metod generowania energii i ciepła oraz dlatego tę energię warto oszczędzać. Jeżeli nam się nie uda zapobiec katastrofie, ciepło z niewidzialnego bohatera, który towarzyszył nam przez tysiące lat pomagając w rozwoju, stanie się niewidzialnym, ale odczuwalnym czarnym charakterem.

Literatura:

- Albright, R. (2018). *Ocean Acidification and Coral Bleaching* (pp. 295–323). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-75393-5_12
- Algra, M., de Keijzer, L., Arndt, S. S., van Eerdenburg, F. J. C. M., & Goerlich, V. C. (2023). Evaluation of the Thermal Response of the Horns in Dairy Cattle. *Animals*, 13(3), 500. <https://doi.org/10.3390/ani13030500>
- Aneshansley, D.J., T. Eisner, M. Widom, and B. Widom. (1969). Biochemistry at 100°C: explosive secretory discharge of bombardier beetles (brachinus). *Science* 165, no. 3888:61–63.
- Arnell N.W., Lowe J.A., Lloyd-Hughes B., Osborn T.J., (2017). The impacts avoided with a 1.5 °C climate target: a global and regional assessment. *Climate Change*, 147:61–76
- Balcombe, P., Speirs, J., Brandon, N. P., & Hawkes, A. (2018). Methane emissions: choosing the right climate metric and time horizon. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 20(10), 1323–1339
- Baracchi, D., Cusseau, G., Pradella, D., Turillazzi, S. (2010). Defence reactions of *Apis mellifera ligustica* against attacks from the European hornet *Vespa crabro*. *Ethology Ecology & Evolution*, 22, 3, pp. 281–294
- Beigtan, M., Gonçalves, M. S. M., & Weon, B. M. (2024). Heat Transfer by Sweat Droplet Evaporation. *Environmental Science & Technology*. <https://doi.org/10.1021/acs.est.4c00850>
- Beretta, G.P., Gyftopoulos, E.P. (2015). What is Heat. *Journal of Energy Resources Technology-transactions of The Asme*, 137, 2, pp. 021006
- Bochnak, T., Rieckhoff, S. (2024). *The Iron Age of Temperate Europe*. Elsevier BV
- Bogucki, P. (2008). *The Bronze Age of Temperate Europe*. Elsevier BV
- Cabello-Vergel, J., Soriano-Redondo, A., Soriano-Redondo, A., Villegas, A., Masero, J.A., Sánchez Guzmán, J.M., Gutiérrez, J.S. (2021). Urohidrosis as an overlooked cooling mechanism in long-legged birds. *Scientific Reports*, 11, 1, pp. 20018
- Cabello-Vergel, J., Villegas, A., Gutiérrez, J.S. (2023). *Keeping cool with poop: Urohidrosis lowers leg surface temperature by up to 6°C in breeding White storks*. Ecosphere
- Chiarenza, A.A., Cantalapiedra, J.L., Jones, L.A., Gamboa, S., Galván, S., Farnsworth, A., Valdes, P.J., Sotelo, G., Varela, S. (2023). *Early Jurassic origin of avian endothermy and thermophysiological diversity in Dinosauria*.
- Chua, C. & Tsipis, K. (1991). Nuclear reactor high-level waste: Origin and safe disposal. *Contemporary Physics*, 32, 1, pp. 1–9
- Dilaver, H., Dilaver, K.F. (2024). *The Earth is Heating Up: Causes, Effects, and Solutions of Global Warming*. Kafkas Üniversitesi fen bilimleri enstitüsü dergisi of the Causes and Crisis of Global Warmi
- Engelbeen, F., Hannon, R., Burton, D. J., (2024). *The Human Contribution to Atmospheric Carbon Dioxide*. <https://doi.org/10.31219/osf.io/het6n>
- Fang, H. (2023). *Analysis ng. MATEC web of conferences*, 386, pp. 03018
- Frederick, J. L., Conley, E. W., Nole, M., Marchitto, T. M., & Wagman, B. M. (2022). *Quantifying the Known Unknown: Including Marine Sources of Greenhouse Gases in Climate Modeling*. <https://www.osti.gov/biblio/1889332>

- Frei, E. (2022). *Electricity*. Oxford University Press eBooks
- Graves, G.R. (2019). *Urohidrosis and tarsal color in Cathartes vultures (Aves: Cathartidae)*. 132, 1, pp. 56–64
- Harding, A. (2000). *European Societies in the Bronze Age*
- Harding, A. (2011). *The Bronze Age*. Springer, New York, NY
- Hassan, N. E. (2024). Global warming: Causes, impacts and urgent strategies for a sustainable future: A review. *GSC Advanced Research and Reviews*, 20(3), 073–087
- Herera, M.L.Z. (2023). *Consequences of global warming*. 1, pp. 74.
- Higham, C.F.W. (2016). At the dawn of history: From Iron Age aggrandisers to Zhenla kings. *Journal of Southeast Asian Studies*, 47, 3, pp. 418–437
- Hillenius, W.J. (1992). *Nasal turbinates and the evolution of mammalian endothermy*.
- Hossler, F.E., Olson, K.R. (1984). Microvasculature of the avian eye: Studies on the eye of the duckling with microcorrosion casting, scanning electron microscopy, and stereology. *American Journal of Anatomy*, 170, 2, pp. 205–221, <https://www.universiteitleiden.nl/en/news/2015/10/bronze-age-bling>. [dostęp 10.05.2025]
- IAEA, (2017). *Energy, electricity and nuclear power estimates for the period up to 2050*. Reference data series, vol 1. International Atomic Energy Agency (IAEA), Vienna
- IEA, (2023). *CO₂ emissions avoided by nuclear by country or region, 1971-2022*. IEA, Paris
- Jiang, Z., Wu, Y., Zhang, H., Liu, L., Guo, J. & Li, F. 2023. A Modified JFNK for Solving the HTR Steady State Secondary Circuit Problem. *Energies*, 16, 5, pp. 2252
- Kara S., (2023). *Cobalt Red: How the Blood of the Kongo Powers Our Lives*. St. Martin's Publishing Group
- Klaassen, M., Nolet, B.A. (2008). Stoichiometry of endothermy: shifting the quest from nitrogen to carbon. *Ecology Letters*, 11, 8, pp. 785–792
- Kruitwagen, L., Collins, S. & Caldecott, B. (2017). *Coal-fired Power Stations*
- Lovegrove, B.G. (2017). A phenology of the evolution of endothermy in birds and mammals. *Biological Reviews of The Cambridge Philosophical Society*, 92, 2, pp. 1213–1240.
- Matsuura M., Sakagami S. F., (1973). A bionomic sketch of the giant hornet, *Vespa mandarina*, a serious pest for Japanese apiculture. *Journal of the Faculty of Science*. Hokkaido University 19: 125-162
- McIntosh, A.C., Lawrence, J. (2018). *The Extraordinary Design of the Bombardier Beetle: A Classic Example of Biomimetics*. 8, 1, pp. 268–276
- Nelson, S.V. (2010). Book Review: The Cooking Hypothesis Revisited: Fresh Food for Thought. *Evolutionary Psychology*, 8, 3
- Ojovan, M.I. & Steinmetz, H.J. (2022). Approaches to Disposal of Nuclear Waste. *Energies*, 15, 20, pp. 7804.
- Pares-Casanova, P.M., Caballero, M. (2014). *Possible Tendency of Polled Cattle Towards Larger Ears*.
- Pawar, S. (2024). Harnessing the Power of Renewable Energy: A Study of Sustainable Sources and Technologies. *Journal for Research in Applied Sciences and Biotechnology*, 3(4), 163–169
- Ramakumar, R., Brockschink, S., Gurney, J., Seely, D., Nippes, P., Sebra, K., Kennedy, J. (2021). *Electric Power Generation*.
- Reiersen, H. & Albris, S.L. (2024). *Scandinavia: Early Iron Age*. Elsevier BV.
- Rezende, E.L., Bacigalupe, L.D., Nespolo, R.F., Nespolo, R.F., Nespolo, R.F., Bozinovic, F. (2020). Shrinking dinosaurs and the evolution of endothermy in birds. *Science Advances*, 6, 1.

- Ritchie H., Rosado P., (2020). *Electricity Mix*. Our-WorldinData.org [dostęp 15.07.2025 r.]
- Ruppel, C.D. & Kessler, J.D. (2017). The interaction of climate change and methane hydrates. *Reviews of Geophysics*, 55, 1, pp. 126–168
- Sabine C.L., Feely R.A., (2015). CLIMATE AND CLIMATE CHANGE | CARBON DIOXIDE. *Encyclopedia of Atmospheric Sciences* (2nd), Academic Press, pp. 10-17
- Shestra D.C., Acharya S., Gurung D.B., (2021). A Finite Element Approach to Evaluate Thermoregulation in the Human Body due to the Effects of Sweat Evaporation during Cooking, Cleaning, and Walking. *Mathematical Problems in Engineering*, 1
- Siqueira, D., Meystre, J. de A., Hilário, M.Q., Rocha, D.H.D., Menon, G.J. & Silva, R.J. (2019). Current perspectives on nuclear energy as a global climate change mitigation option. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 24, 5, pp. 749–777
- Squitieri, A. (2024). *Asia, Southwest: Iron Age (c. 1200–539 BC) Levant and Mesopotamia*. Elsevier BV
- Stott, P., Jennings, N., Harris, S. (2010). Is the large size of the pinna of the ear of the European hare (*Lepus europaeus*) due to its role in thermoregulation or in anterior capital shock absorption. *Journal of Morphology*, 271, 6, pp. 674–681
- Stubina, N.M. (2016). *Thermal Processing: Pyrometallurgy - Non-ferrous*. Springer, Cham
- Tong, D., Zhang, Q., Liu, F., Geng, G., Zheng, Y., Xue, T., Hong, C., Wu, R., Qin, Y., Zhao, H., Yan, L. & He, K. (2018). Current Emissions and Future Mitigation Pathways of Coal-Fired Power Plants in China from 2010 to 2030. *Environmental Science & Technology*, 52, 21, pp. 12905–12914
- Trixl, S. & Francken, M. (2024). Osteoarchaeological Perspectives on Socioeconomic Changes in European Iron Age Societies: Some Introductory Remarks. *International Journal of Osteoarchaeology*
- Tudorache, V., & Antonescu, N. N. (2022). *Romania and geothermal energy: an unconventional, clean and renewable energy source*. 14(1), 5–15. <https://doi.org/10.56082/annalsarscieng.2022.1.5>
- Wells, P.S. (1990). Iron Age temperate Europe: Some current research issues. *Journal of World Prehistory*, 4, 4, pp. 437–476.
- Wells, P.S. (2001). *The Iron Age w S. Milisauskas, European Prehistory, Interdisciplinary Contributions to Archeology*
- Wrangham, R.W. (2009). *Catching Fire: How Cooking Made Us Human*
- Wrangham, R.W., Jones, J.H., Laden, G., Pilbeam, D. & Conklin-Brittain, N. (1999). The Raw and the Stolen. Cooking and the Ecology of Human Origins. *Current Anthropology*, 40, 5, pp. 567–594
- Yang, J., & Chen, W. (2023). Unravelling the landscape of global cobalt trade: Patterns, robustness, and supply chain security. *Resources Policy*. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.104277>
- Young, A., (2015). COP21 climate change summit reaches deal to keep temperature rise below 2C by 2050. *International Business Times, World Paris Climate Talks*. <https://www.ibtimes.com/cop21-climate-changesummit-reaches-deal-keep-temperature-rise-below-2c-2050-2223112> [dostęp 10.05.2025]
- Zen, E. (1980). Dedicated-site, interim storage of high-level nuclear waste as part of the management system. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 77, 11, pp. 6269–6271.
- Zigler, K.S., Yancey, M.E. (2019). *Mammals and birds—vertebrate visitors*. Academic Press

Źródła internetowe:

- [1] <https://sjp.pwn.pl/>, [dostęp 08.05.2025]
- [2] <https://www.bbc.com/future/article/20130708-is-most-heat-lost-from-your-head> [dostęp 27.06.2025]
- [3] <https://portal.abczdrowie.pl/organizm-niedaje-rady-gdy-zar-leje-sie-z-nieba-czlowiek-jakby-plonal-od-srodka/7173956961643424a> [dostęp 24.07.2025]
- [4] www.universiteitleiden.nl [dostęp 10.05.2025]
- [5] <https://unfccc.int/news/zero-emission-vehicle-pledges-made-at-cop26> [dostęp 17.07.2025]
- [6] <https://online.hbs.edu/blog/post/climate-change-course-real-world-applications> [dostęp 14.07.2025]

Notka o autorze: *Jestem studentem II roku oceanografii studiów II stopnia na Wydziale Oceanografii i Geografii Uniwersytetu Gdańskiego. W kręgu moich zainteresowań są procesy fizyczne i chemiczne zachodzące w mikrowarstwie powierzchniowej morza i w atmosferze. W przyszłości chciałbym zostać polarnikiem, odwiedzić obydwa bieguny i zobaczyć lodowce, zanim znikną z powierzchni Ziemi.*