

vol.10(3)/2025

# TUTORING GEDANENSIS

Czasopismo Tutees i Tutorów

ISSN 2451-1862

# Tutoring Gedanensis

## Czasopismo Tutees i Tutorów

Zespół redakcyjny

Redaktor naczelny

*dr Ewa Szymczak, prof. UG (UG, Wydział Oceanografii i Geografii)*

*dr Agnieszka Knopik-Skrodzka, prof. UAM (UAM, Wydział Biologii)*

*dr Dorota Godlewska-Werner (UG, Wydział Nauk Społecznych)*

*dr hab. Lucyna Przybylska (UG, Wydział Nauk Społecznych)*

Redaktorzy numeru specjalnego

*dr hab. Anita Lewandowska, prof. UG (UG, Wydział Oceanografii i Geografii)*

*mgr Agnieszka Kulazińska (CSW Łąźnia)*

Projekt okładki

*Aleksandra Wierzbńska*

Projekt znaku graficznego

*Agata Janas*

Recenzenci

*prof. dr hab. Ewa Bińczyk*

*dr Agata Błaszczuk*

*dr hab. Iwona Demko*

*dr hab. Łukasz Guzek*

*dr hab. Anita Lewandowska, prof. UG*

*dr Agnieszka Marcinowska*

*mgr Agnieszka Kulazińska*

*dr hab. Marcin Paszkuta*

*mgr Michał Piasecki*

*dr Karolina Sobecka*

*dr Ewa Szymczak, prof. UG*

Kontakt

Centrum Doskonalenia Dydaktycznego i Tutoringu

Uniwersytetu Gdańskiego

e-mail: [tutee@ug.edu.pl](mailto:tutee@ug.edu.pl)

<https://cddit.ug.edu.pl/zeszyt/>



## Spis treści

|                                                                                                    |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Anita Lewandowska, Agnieszka Kulazińska                                                            |     |
| Wstęp .....                                                                                        | 4   |
| Karolina Sobecka, Agnieszka Szostok, Michał Piasecki                                               |     |
| Słowo wstępne o projekcie .....                                                                    | 8   |
| Michał Koc                                                                                         |     |
| Ciepło – fundament powstania i postępu .....                                                       | 18  |
| Adam Krzysztofik                                                                                   |     |
| Od nóg kaczek po rozszczepienie atomu – czy ciepło jest sprzymierzeńcem czy wrogiem rozwoju? ..... | 32  |
| Ada Szabelewska                                                                                    |     |
| Thermophiles: Masters of heat and their impact on humanity .....                                   | 47  |
| Zuzanna Kuglasz                                                                                    |     |
| Ciepło, woda i atmosfera – dynamika energii w kształtowaniu ekosystemów .....                      | 63  |
| Agnieszka Szostok                                                                                  |     |
| Krótka historia węgla.....                                                                         | 74  |
| Barbara Kasperczyk-Gorlak                                                                          |     |
| Paradise Lost.....                                                                                 | 81  |
| Urszula Morga                                                                                      |     |
| Ciepło/zimno – rozważania poetyckie .....                                                          | 93  |
| Elpida Chatzinikolaou, Efthymis Gronthos, Nafsika Tzanoulidou                                      |     |
| Art in the Age of the Anthropocene .....                                                           | 98  |
| Gabriela Palicka                                                                                   |     |
| Termopolis.....                                                                                    | 103 |
| Łukasz Wójcicki                                                                                    |     |
| Ciepło: asocjacje i choreografie.....                                                              | 105 |
| Anna Saramowicz, Monika Rościszewska                                                               |     |
| Symbiocen i myślenie ciepłem.....                                                                  | 114 |
| Marta Krześlak-Kolczyńska                                                                          |     |
| Cloudy sky. Instrukcje dla podróżującej myśli.....                                                 | 118 |
| Kitija Mirončuka                                                                                   |     |
| Domesticating the Thermal: Sense of Warmth as the Object of Biopolitics.....                       | 123 |

## THERMAL THINKING IN THE SYMBIOCENE STUDIOTOPIA<sup>2.0</sup>

Publikacja została zrealizowana w ramach projektu *Thermal Thinking: Beyond the Representation in Research*, sformułowanego przez artystkę i naukowczynię dr Karolinę Sobecką. Projekt ten realizowany jest w ramach programu „Studiopia 2: Sztuka i Nauka wkracza w erę symbiocenu”, współorganizowanego przez Centrum Sztuki Współczesnej ŁAŻNIA i współfinansowanego przez Unię Europejską w ramach programu Kreatywna Europa. Wyrażone poglądy i opinie są jedynie opiniami autora lub autorów i niekoniecznie odzwierciedlają poglądy i opinie Unii Europejskiej.

This publication was produced as part of the project *Thermal Thinking: Beyond the Representation in Research*, developed by artist and researcher Dr Karolina Sobecka. The project is carried out within the “Studiopia 2: Enter the Symbiocene with Arts and Science” programme, co-organized by the LAZNIA Centre for Contemporary Art and co-funded by the Creative Europe programme of the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union.



**Co-funded by  
the European Union**



**CENTRUM  
SZTUKI  
WSPÓŁCZESNEJ  
ŁAŻNIA**

## Wstęp

Niniejsze wydanie specjalne *Tutoring Gedanensis* jest efektem współpracy Uniwersytetu Gdańskiego i Centrum Sztuki Współczesnej ŁAŹNIA w Gdańsku, realizowanej w ramach międzynarodowego projektu „Studiopia 2: Sztuka i Nauka wkracza w erę Symbiocenu”, dofinansowanego przez Unię Europejską. Jest on częścią programu „Kreatywna Europa” i ma na celu budowanie współpracy artystów i naukowców z różnych dziedzin sztuki, nauk ścisłych oraz humanistycznych. Przedsięwzięcie jest refleksją na temat zrównoważonego rozwoju, próbą definicji Symbiocenu oraz stworzenia transdyscyplinarnego podejścia zarówno w badaniach, jak i w opisie otaczającej nas rzeczywistości. Ważnym elementem projektu Studiopia 2 są artystyczno - naukowe rezydencje, w ramach których artyści zaprosili do swoich pracowni naukowców. Pracowni, rozumianych nie jako fizyczne miejsce tworzenia artystycznego przedmiotu, ale jako proces inkubowania idei oraz jako transdyscyplinarne laboratorium dialogu.

Niniejsze wydanie specjalne *Tutoring Gedanensis* stanowi ważny element artystyczno-naukowych dyskusji prowadzonych w ramach projektu Studiopia 2. Autorzy w swoich pracach dzielą się z nami zróżnicowaną perspektywą odbioru ciepła. Niektórzy z nich omawiają jego naukowe aspekty, czy wręcz efekty swoich badań i doświadczeń. Inni przybliżają historię wpływu ciepła na zachodzące na świecie na przestrzeni wieków zmiany kulturowe i relacyjne. Artystyczny przekaz odbioru ciepła często odnosi się do jego odczuwania zmysłowego i emocjonalnego. Autorzy prac opisują zrealizowane już dzieła, wprowadzając nas w proces twórczy oraz podejmują próbę przeniesienia choreografii ciepła na papier. Wszystkie prace łączy

jedno - dają do myślenia. Zjawisko ciepła bowiem intryguje, niepokoi, a często także zachwyca. Odbieramy je fizycznie, jak również za pośrednictwem zmysłów i emocji.

Współczesność konfrontuje nas z wieloma wyzwaniami, a jednym z głównych wydaje się być kryzys klimatyczny. Pojawiają się pytania, jak go zastopować, ale także jak zmaterializować strategię ekonomii wartości? Autorzy prac wchodzących w skład niniejszego numeru czasopisma uwarunkowują nas na ciepło i jego rolę w obecnym świecie, w dobie antropopresji i ocieplającego się klimatu. Zwracają uwagę, że ciepło jest siłą, która determinuje zarówno procesy zachodzące w ciele człowieka, jak i w środowisku, w którym on funkcjonuje. Ciepło łączy nas w mikro i makro skali. Generują i odczuwają je wszystkie organizmy. Jest narzędziem, które pozwala na analizę różnych aspektów naszego „bycia w świecie”. Może być uznane za fundament rozwoju i postępu. Było obecne od pierwszych sekund istnienia Wszechświata, a jego ślady odnajdujemy dookoła nas każdego dnia. Jest niezbędne do funkcjonowania organizmów żywych, a także przyczyniło się do ich ewolucji oraz wykształcenia szeregu przystosowań adaptacyjnych. Odegrało istotną rolę w kształtowaniu cywilizacji w jej obecnej formie, a nawet zapewniło ludziom wzrost poziomu dobrobytu. Musi być zatem czymś więcej niż tylko zjawiskiem fizycznym. Z drugiej strony zawsze stanowiło wyzwanie społeczne, ekonomiczne, a ostatnio także ekologiczne.

W dobie kryzysu klimatycznego, doświadczenie ciepła wymaga większej uwagi ludzkości niż kiedykolwiek wcześniej. To już nie jest tylko indywidualne doświadczenie, ale również temat globalnej dyskusji. Oddając

do Państwa dyspozycji nasz numer specjalny chcemy Was namówić do takiej dyskusji. Chcemy wzbudzić refleksję na temat śladu, jaki po sobie zostawimy następnym pokoleniom w związku z wykorzystywaniem ciepła. Mamy nadzieję, że artystyczno-naukowe podejście do tego problemu pozwoli na lepsze zrozumienie złożoności zjawiska ciepła oraz

otworzy czytelników na bardziej symbiotyczne odczucie otaczającej nas rzeczywistości. Pokładamy także nadzieję we wspólnej pracy artystów i naukowców w przyszłości. Kto wie, może dzięki niej uda się wytworzyć praktyczne rozwiązania, czy chociażby zmienić sposób myślenia o otaczającym nas świecie.

*dr hab. Anita Lewandowska, prof. UG*

*mgr Agnieszka Kulazińska, CSW Łaźnia*

## Introduction

This special issue of *Tutoring Gedanensis* is the result of a collaboration between the University of Gdańsk and the ŁAŻNIA Centre for Contemporary Art in Gdańsk, carried out as part of the international project "Studiopia 2: Art and Science Enters the Era of the Symbiocene", co-financed by the European Union. It is part of the "Creative Europe" program and aims to foster collaboration between artists and scientists from various fields of art, science, and the humanities. The project is a reflection on sustainable development, an attempt to define the Symbiocene, and to create a transdisciplinary approach to both research and the description of the reality around us. An important element of the Studiopia 2 project are artistic and scientific residencies, in which artists invited scientists to their studios. Studios understood not as a physical space for creating artistic objects, but as a process of incubating ideas and as a transdisciplinary laboratory for dialogue. This special issue of *Tutoring Gedanensis* is an important element of the artistic and scientific discussions conducted as part of the Studiopia 2 project. In their works, the authors share diverse perspectives on heat perception. Some discuss its scientific aspects, or even the results of their research and experiments. Others explore the history of heat's impact on the cultural and relational changes occurring throughout the world over the centuries. The artistic representation of heat perception often refers to its sensory and emotional experience. The authors describe completed works, introduce us to the creative process, and attempt to translate the choreography of heat onto paper. All works have one thing in common: they provoke thought. The phenomenon of heat intrigues, disturbs, and often delights. We perceive it

physically, as well as through our senses and emotions.

Contemporary times confront us with many challenges, and one of the main ones seems to be the climate crisis. Questions arise: how to stop it, but also how to materialize a strategy of value economy or degrowth. The authors of the papers included in this issue of the journal sensitize us to heat and its role in today's world, in the era of anthropopressure and a warming climate. They point out that heat is a force that determines both the processes occurring in the human body and the environment in which it functions. Heat connects us on both the micro and macro scales. It is generated and felt by all organisms. It is a tool that allows us to analyze various aspects of our "being in the world." It can be considered the foundation of development and progress. It has been present from the very first seconds of the universe's existence, and traces of it are found all around us every day. It is essential for the functioning of living organisms and has contributed to their evolution and the development of a number of adaptive mechanisms. It has played a significant role in shaping civilization in its present form and has even provided humans with increased levels of well-being. Therefore, it must be more than just a physical phenomenon. On the other hand, it has always posed a social, economic, and, more recently, ecological challenge.

In the era of climate crisis, the experience of heat demands greater attention than ever before. This is no longer just an individual experience, but also a topic of global discussion. By presenting our special issue, we want to encourage you to join such a discussion. We want to spark reflection on the legacy we will leave on future generations through our

use of heat. We hope that an artistic-scientific approach to this problem will allow for a better understanding of the complexity of the heat phenomenon and open readers to a more symbiotic experience of the reality

around us. We also place our hopes in the collaborative work of artists and scientists in the future. Who knows, perhaps this will lead to practical solutions or even change the way we think about the world around us.

*dr hab. Anita Lewandowska, prof. UG*  
*mgr Agnieszka Kulazińska, CSW Łaźnia*

## Słowo wstępne o projekcie

Inspiracją do stworzenia niniejszego wydania *Tutoring Gedanensis* było wyzwanie naszego projektu tworzonego w ramach programu Studiopia 2.0 pt. *Thermal Thinking: Beyond the Representation in Research*. Temat nawiązuje do współczesnych wyzwań związanych z ociepleniem klimatu. W wyzwaniu zadajemy pytania o ciepło, które tworzy i przekształca nasz świat. Poznajemy tradycje i doświadczenia praktyk, które mogą dać ponowne połączenie z ciepłem jako sposobem, dzięki któremu wymieniamy się energetycznie z ludźmi, innymi gatunkami i środowiskiem.

Jako trójka współdziałających nad tym wyzwaniem pragniemy zaprezentować, jakie tematy i inspiracje towarzyszą nam w pracy – zarówno w przestrzeni artystycznej, naukowej, jak i społecznej. Chcemy podzielić się refleksjami nad różnorodnymi sposobami poznania i doświadczania ciepła. Wskazać na różne, czasem wydałaby się bardzo przeciwstawne perspektywy.

Wspólnie reprezentujemy różnorodne podejścia do ciepła: od artystycznych eksploracji i performatywnego eksperymentowania z doświadczeniem, przez perspektywę techniczną i inżynierijsko-ekologiczną, krytyczno-wizualną analizę kryzysu klimatycznego i rolę mediów w kształtowaniu percepcji zmian środowiskowych. Nasze perspektywy łączą różnorodne refleksje, których próbkę staraliśmy się zawrzeć poniżej.

### Wielogłos wiedzy: między sztuką, nauką a doświadczeniem

W latach 60. XX wieku inicjatywa Eksperymenty w Sztuce i Technologii (ang. *Experiments in Art and Technology* – E.A.T.), zainicjowana przez inżyniera Billy'ego Klüvera

i artystę Roberta Rauschenberga w Nowym Jorku, połączyła artystów i inżynierów, aby wspólnie badać nowe technologie jako materiał do artystycznych eksperymentów. W tej samej dekadzie maoistowskie Chiny utworzyły grupy „trzy w jednym”, złożone z naukowca, chłopca, i działacza partyjnego – jako nową strukturę mającą przyspieszyć rzekomo sprawiedliwy społecznie rozwój naukowy. Kilka lat później brazylijski pedagog Paulo Freire zaproponował dialogiczne metody edukacji ludowej, które wprowadzały w obieg wzajemnej wymiany wiedzę intelektualną i doświadczenie.

Choć te przykłady wywodzą się z bardzo różnych kontekstów ideologicznych, łączy je przekonanie, że praktyki wiedzy są wielorakie – i że warto tworzyć struktury, w których mogą się spotkać. W dzisiejszym kontekście motywacja ta nabiera nowej pilności: rosnąca świadomość wpływu człowieka na planetę oraz roli jaką nauka zachodnia odegrała w logikach kolonialnych i kapitalistycznych, które przyczyniły się do powstania tzw. antropocenu, doprowadziła do pilnych wezwań do poszukiwania innych sposobów poznawania. Nasza współpraca artystyczno-naukowa wpisuje się w ten nurt, dążąc do zakwestionowania takiego sposobu wytwarzania wiedzy, który wzmacnia dynamiki antropocenu.

### Ciepło jako proces, relacja i żywioł przemiany

W ramach projektu ciepło postrzegane jest na wiele sposobów. Po pierwsze jako zjawisko fizyczne będące sposobem przekazywania energii. W tym aspekcie postrzegane jest jako transfer energii między ciałami lub systemami na skutek różnicy temperatur. Nie

jest czymś stałym – to proces, ruch, przepływ. Proces ten zachodzi przez przewodzenie, konwekcję i promieniowanie, łącząc elementy środowiska w dynamiczne sieci wymiany. Jednocześnie ciepło nie jest abstrakcyjnym pojęciem fizycznym – doświadczamy go na co dzień, wpływa na nasze organizmy, jakość życia i otoczenie.

W tym kontekście ciepło jest postrzegane jako transformacyjna siła – zmienia stany skupienia substancji, przyspiesza reakcje chemiczne i determinuje funkcjonowanie organizmów. Może niszczyć – przegrzewać, topić, parzyć, odwadniać. W dobie kryzysu klimatycznego ciepło przestaje być neutralną siłą natury. Staje się symptomem zakłóconych systemów. Prowadzi do zapaści ekosystemów, prowadzi do zmian środowiska, masowych migracji. Fale upałów, susze, pożary – to przejawy termicznego nadmiaru, który przekracza granice odporności naszej i środowiska.

Jednocześnie ciepło może uzdrawiać i dawać wytchnienie. Od zarania wieków było wykorzystywane w rytuałach oczyszczania i uzdrawiania – w łaźniach, saunach, gorących źródłach. Ciepło kojarzy się nam z bliskością, opieką, regeneracją, a w relacjach społecznych „ciepło” to metafora gościnności, empatii, intymności. Ciepło może być także siłą transformującą – umożliwiającą przejście z jednego stanu w inny. Topi i formuje w materii, ale też w nas samych. Może prowadzić do przeobrażeń nie tylko fizycznych, lecz także psychicznych, emocjonalnych czy duchowych. W tym sensie jest żywiołem przejścia – zarówno niebezpiecznym, jak i niosącym potencjał głębokiej zmiany.

## Ciepło jako narzędzie analityczne w dobie kryzysu klimatycznego

Globalny wzrost średnich temperatur nie pozwala już traktować kryzysu klimatycznego

jako zjawiska odległego, czysto teoretycznego ani wyłącznie statystycznego. Zachodnie społeczeństwa, ukształtowane przez logikę wzrostu, o wysokim poziomie urbanizacji, z infrastrukturą technologiczną zależną od konsumpcji energii, coraz wyraźniej odczuwają jego skutki. To właśnie ciepło sprawia, że możemy zaobserwować jak procesy klimatyczne materializują się w ciałach jednostek. Cykliczne fale upałów prowadzą do szeregu negatywnych konsekwencji zdrowotnych: powodują udary cieplne, nasilają choroby krążenia, wywołują stres cieplny, zaburzą rytmy snu i pogorszenia zdrowia psychicznego. W tym sensie ciała stają się instrumentami wrażliwości, które ukazują nasze powiązania z tym, co biologiczne.

Ciepło może być zatem użytecznym narzędziem analitycznym, ponieważ odnosi się do poziomu odczucia, który poprzedza poznanie, więc jest ono przeżywane cieleśnie, zanim zostanie ujęte w pojęciach. Tak, więc myślenie ciepłem nie tworzy całościowego języka opisu kryzysu klimatycznego, ale za to pozwala zrozumieć, jak materialne podstawy życia kształtują społeczne hierarchie i wyznaczają odmienne warunki egzystencji.

To, jak odczuwamy wysokie temperatury, zależy od pozycji społecznej, miejsca zamieszkania czy rodzaju wykonywanej pracy. Perspektywa termiczna pozwala więc spojrzeć na społeczeństwo przez pryzmat komfortu, odsłaniając fakt, że dostęp do chłodnych przestrzeni, cienia czy klimatyzacji staje się formą przywileju, który organizuje codzienne funkcjonowanie, wpływa na zdrowie, mobilność, samopoczucie i relacje społeczne.

Komfort termiczny można uznać więc za wskaźnik nierówności, ponieważ zdolność przystosowania się do fal upałów zależy od indywidualnych strategii adaptacyjnych i zasobów finansowych. Nierówności te są również widoczne w przestrzeni publicznej, gdzie ograniczony dostęp do infrastruktury

łagodzącej upały, klimatyzowanych publicznych miejsc czy zacienionych przestrzeni rekreacyjnych ogranicza codzienne funkcjonowanie i mobilność grup szczególnie wrażliwych (osób starszych, przewlekle chorych) w przestrzeni miejskiej, co w konsekwencji prowadzi do ich izolacji społecznej.

## Myślenie ciepłem w epoce antropocenu

Nasza trójka, działająca wspólnie jako zespół artystyczno-naukowy w ramach programu Studiotopia 2, łączy różne sposoby poznawania świata, które w przybliżeniu odpowiadają znanym kategoriom: intelektualne rozumienie naukowe zdobyte poprzez edukację i modele pojęciowe (rola naukowca), wiedzę ukrytą, zdobytą poprzez doświadczenie i praktykę (w tym przypadku artysty), oraz wiedzę „drugiego rzędu” – czyli wiedzę o wiedzy lub praktyce (rola socjologa lub badacza kultury).

Nasze podejście ma na celu zbadanie ciepła jako ucieleśnionej, transformującej siły – takiej, która „udziwnia” zarówno materialność, jak i poznanie; która może być nie tylko zagrażająca, lecz także umożliwiająca rekonfigurację sposobów, w jakie ludzie są wpisani w relacje materialne i energetyczne. Wychodzimy z prowokacyjnego założenia, że ciepło najlepiej badać przy użyciu sposobów poznania odpowiadających jego sposobowi działania: immersyjnych i afektywnych, przedpoznawczych i nieograniczonych – sięgając więc do artystycznego warsztatu, by w praktyce sprawdzić, co może oznaczać badanie ciepła poprzez podejścia estetyczne, somatyczne czy performatywne.

## Laboratorium i Praktyki Ciepła: doświadczenia i eksperymenty

Kluczowym elementem naszego projektu jest Laboratorium Ciepła – lub Thermolab – performatywne urządzenie zbudowane jako

przekształcona sauna. Może ono generować mikroklimaty i służyć do modulowania ekspozycji termicznej. Może pomieścić kilka osób, umożliwiając ucieleśnione, zmysłowe doświadczenie ciepła. Może również funkcjonować jako przestrzeń hodowli lub inkubacji. Celem jest badanie różnorodnych scenariuszy termicznych, które mogą różnić się skalą i czasowością, stanowiąc propozycje ekologicznych, sensorycznych i konceptualnych reorganizacji.

W wąskim znaczeniu praktyki ciepła to sposoby termoregulacji. Tak jak ciało fizjologicznie chłodzi się w przypadku przegrzania – poprzez rozszerzanie naczyń krwionośnych, pocenie się, odpoczynek, spowolnienie – tak praktyki kulturowe rozwijają te procesy poprzez tradycje i rozwiązania projektowe.

Traktowanie ciepła poważnie w kontekście naszych systemów społecznych i ekologicznych oznacza podążanie za ciałem. Oznacza to nie tylko uczenie się radzenia sobie z rosnącymi temperaturami „na powierzchni” – poprzez zewnętrzne rozwiązania, takie jak klimatyzacja – lecz także uruchamianie głębszych zdolności regulacyjnych ciała planetarnego: ograniczanie nadmiaru ciepła odpadowego, redukcję nadprodukcji czy poszukiwanie form zbiorowego spowolnienia, które byłyby zgodne z rytmem natury.

Niektóre z takich praktyk istnieją od dawna. Siesta, na przykład, opiera się na fizjologicznej reakcji na wysoką temperaturę, przekształconej w tradycję. Może jednak stać się także formą społeczną – a nawet performatywnym gestem odmowy nieustannej pracy i wstrzymania energii wobec kapitalistycznego przegrzania. Przekształcona w praktykę ciepła, siesta staje się jednocześnie adaptacją cielesną i gestem politycznym. Inne praktyki są nowo projektowane i mają charakter bardziej spekulatywny.

## Poszerzanie perspektyw na ciepło

Układy łączące różne praktyki poznawcze nieuchronnie ujawniają napięcia – między wiedzą ukrytą a jawną, między ucieleśnioną intuicją a formalną abstrakcją, czy między tym, co lokalne, a tym, co uniwersalne. Jednak to właśnie dzięki tym napięciom może wydarzyć się coś nowego – a punktem wyjścia może być uczynienie widoczną różnorodności sposobów, w jakie ludzie doświadczają ciepła.

Każdy doświadcza różnych stopni ciepła, a to doświadczenie – coraz bardziej odczuwalne i niekomfortowe w kontekście kryzysu klimatycznego – staje się coraz bardziej nierównomiernie uwarunkowane przez praktyki władzy i troski. Istnieje ogromna różnorodność perspektyw poznawczych, znacznie bardziej zróżnicowanych niż nasze trzy szeroko pojęte „klasyczne” pozycje, które mogą zacząć artykułować ciepło jako zjawisko pluralne i wielowymiarowe – przedmiot termopolityki. Ciepło ma dla różnych ludzi różne

znaczenie, w zależności od ich doświadczeń, odmiennych kulturowych narracji, w które te doświadczenia są wpisane, oraz różnych narzędzi analizy i ekspresji. W konsekwencji każdy z nich wie o cieple coś innego, mają różne termiczne troski i priorytety, i co innego o cieple komunikują. Ciepło, więc, zarówno fizyczne, jak i metaforyczne, staje się w naszym projekcie jak i w tym numerze punktem wyjścia do refleksji nad światem, w którym żyjemy. Pokazuje, jak nasze ciała, relacje i społeczności są powiązane z materią, energią i rytmem planety, a także jak doświadczenie ciepła kształtuje wiedzę, troskę i wyobraźnię. Nasza praca była inspiracją do powstania niniejszego zbioru prac, które zapraszają do zanurzenia się w różnorodnych perspektywach termicznych – od naukowych obserwacji po artystyczne eksperymenty – i do odkrywania, jak wrażliwość na ciepło może inspirować nowe sposoby poznawania, współistnienia i działania w świecie dotkniętym kryzysem klimatycznym.

*dr Karolina Sobecka, dr Agnieszka Szostok i mgr Michał Piasecki*

*Karolina Sobecka jest artystką i badaczką, której praktyka sytuowana jest w obszarze sztuki, nauki i humanistyki środowiskowej. Jej prace eksplorują postnaturalne wyobrażenia, wiedzę ekologiczną oraz materialne spuścizny nowoczesnego zarządzania ekosystemami we współczesnych formach zarządzania klimatem. Często współpracuje z naukowcami i praktykami z dziedzin ekologii, ekonomii i mediów. Jej prace były prezentowane na wystawach międzynarodowych, m.in. w Queens Museum (Nowy Jork), Narodowym Muzeum Sztuki Chin, ZKM Karlsruhe oraz na festiwalu transmediale, a jej działalność była wspierana m.in. przez Creative Capital, New York Foundation for the Arts oraz Princess Grace Foundation.*

*Agnieszka Szostok specjalizuje się w zarządzaniu środowiskiem, energią i zrównoważonym rozwojem. Jest absolwentką inżynierii środowiska na Politechnice Śląskiej. Jej badania koncentrują się na termoeologicznej ocenie systemów energetycznych opartych na odnawialnych źródłach energii. Świadczy usługi doradcze dla sektora publicznego i prywatnego w zakresie ochrony środowiska i klimatu oraz wspiera samorządy na wszystkich etapach tworzenia strategii – od identyfikacji interesariuszy i analizy danych po wdrażanie działań. Agnieszka należy do grona Młodych Ambasadorów Energii Europejskiego Tygodnia Zrównoważonej Energii 2024. Jest zaangażowana w projekty społeczne i obywatelskie, działania edukacyjne oraz promowanie partycypacji społecznej.*

*Michał Piasecki jest doktorantem w Szkole Doktorskiej Nauk Humanistycznych Uniwersytetu Warszawskiego. Przygotowuje rozprawę doktorską poświęconą wizualności kryzysu klimatycznego, w której analizuje wizualne reprezentacje procesów środowiskowych oraz sposoby, w jakie obrazy, filmy i inne media wizualne kształtują społeczne postrzeganie zmian klimatu. Jego zainteresowania badawcze obejmują kulturę wizualną, humanistykę energetyczną, estetykę sądową oraz estetykę środowiska. Często pracuje na styku sztuki i nauki – ostatnio współtworzył wystawę Z popiołów w Zachęcie – Narodowej Galerii Sztuki (2024) – oraz pozostaje w stałej współpracy z Filmoteką Muzeum Sztuki Nowoczesnej w Warszawie. Jest współzałożycielem wydawnictwa Pamoja Press, publikującego eseje z zakresu teorii krytycznej i sztuki współczesnej.*

## Foreword to the project

The inspiration for this issue of *Tutoring Gedanensis* was the topic of our project *Thermal Thinking: Beyond Representation in Research*, conducted within the Studiotope 2.0 program. The theme speaks to contemporary challenges of global warming. In this project, we ask questions about heat - the force that makes and remakes our world. We explore traditions and engage with practices that can reconnect us with heat as a medium through which we exchange energy with other people, other species, and environments.

As three collaborators working on this challenge, we would like to outline the themes and inspirations that guide our work in artistic, scientific, and social registers. We want to share reflections on the plural ways of knowing and experiencing heat, and to foreground the differences between perspectives.

Together we represent diverse approaches to heat: from artistic exploration and performative experimentation, through technical and eco-engineering perspectives, to critical-visual analyses of the climate crisis and the role of media in shaping perceptions of environmental change. Our viewpoints weave together a range of reflections, a selection of which we offer below.

### Diversity of knowledge: between art, science, and experience

In the 1960s, Experiments in Art and Technology (E.A.T.), initiated by engineer Billy Klüver and artist Robert Rauschenberg in New York, brought together artists and engineers to explore emerging technologies as materials for artistic experimentation. In the same decade, Maoist China formed "three-in-one" groups, each composed of a scientist, a peasant, and

a political cadre, as a new structure for accelerating purportedly socially-just scientific development. A few years later, Brazilian educator Paulo Freire proposed dialogical methods of popular education that brought intellectual and experiential knowledge into reciprocal exchange.

While these examples emerged from very different ideological contexts, what they share is an understanding that knowledge practices are plural, and that there is something to be gained from creating structures in which they can meet. In today's context, this motivation takes on new urgency: a growing awareness of humanity's impact on the planet, and of the role that Western science has played in the colonial and capitalist logics implicated in bringing about the so-called Anthropocene, has led to urgent calls for "ways of knowing otherwise." Our art-science collaboration is in this vein also aiming to challenge the kind of knowledge production that reinforces Anthropocene dynamics.

### Heat as process, relation, and element of transformation

Within the project, heat is approached in many ways. First, as a physical phenomenon - a mode of energy transfer. In this sense, it is the movement of energy between bodies or systems due to temperature differences. It is not fixed - it is a process, motion, flow. This process unfolds through conduction, convection, and radiation, linking environmental elements into dynamic networks of exchange. At the same time, heat is not an abstract physical notion - we experience it daily; it shapes our bodies, quality of life, and surroundings.

In this light, heat is a transformative force: it changes states of matter, accelerates

chemical reactions, and conditions the functioning of organisms. It can also destroy - overheating, melting, burning, dehydrating. In the climate crisis, heat ceases to be a neutral force of nature; it becomes a symptom of disrupted systems. It drives ecological collapse, environmental change, and mass migrations. Heatwaves, droughts, and wildfires are manifestations of thermal excess that exceed the resilience thresholds of both humans and environments.

At the same time, heat can heal and offer relief. Since antiquity it has been used in rituals of purification and healing—baths, saunas, hot springs. Warmth connotes closeness, care, regeneration; in social relations, “warmth” is a metaphor for hospitality, empathy, intimacy. Heat can also be therefore a transforming force - enabling passage from one state to another. It melts and reshapes matter, and us. It can catalyse not only physical but also psychological, emotional, and spiritual transformations. In this sense, heat is an element of transition - both dangerous and generative of deep change.

## Heat as an analytical lens in the climate crisis

The global rise in average temperatures no longer allows the climate crisis to be treated as something distant, purely theoretical, or merely statistical. Western societies - shaped by logics of economic growth, high urbanization, and energy - intensive infrastructures - feel its effects ever more clearly. It is heat that makes climatic processes materialize in individual bodies. Cyclical heatwaves lead to numerous adverse health outcomes: heat stroke, exacerbated cardiovascular disease, thermal stress, sleep disruption, and deterioration in mental health. In this sense, bodies become instruments of sensitivity that reveal our entanglements with the biological. Heat can thus serve as a useful analytical lens, because it speaks to a register of

sensation that precedes cognition - it is lived somatically before it is rendered into concepts. Thinking with heat does not produce a single, total language of the climate crisis; rather, it helps us understand how the material bases of life shape social hierarchies and delineate differentiated conditions of existence.

How we experience high temperatures depends on social position, place of residence, and forms of labour. A thermal perspective lets us view society through the prism of comfort, revealing that access to cool spaces, shade, or air conditioning has become a form of privilege that organizes daily life, affects health, mobility, well-being, and social relations. Thermal comfort can therefore be taken as an indicator of inequality, since the ability to adapt to heatwaves depends on individual adaptive strategies and financial resources. These inequalities are also visible in public space, where limited access to heat - mitigating infrastructure, climate - controlled public venues, or shaded recreational areas restricts everyday functioning and mobility for especially vulnerable groups (older adults, people with chronic illness) in cities, leading in consequence to social isolation.

## Thinking with heat in the Anthropocene

Our group of three, working together as an art-science collaboration team in the Studiotopia 2 programme, we bring together different ways of knowing the world, roughly aligned with familiar categories: the scientific intellectual understanding gained through education and conceptual models (of the scientist), the tacit knowledge gained through experience and practice (in this case of an artist), and the ‘second order’ knowledge - or knowledge about knowledge or practices (of a social scientist or researcher of culture).

Our approach is to examine heat as an embodied, transformative force—one that weirds both materiality and cognition; that can be not only threatening but also enabling of reconfigurations in how humans are embedded in material and energetic relations. We begin from the provocative premise that heat is best studied through modes of knowing aligned with its operations: immersive and affective, pre-cognitive and unbounded—turning to artistic methods to test, in practice, what it could mean to study heat through aesthetic, somatic, and performative approaches.

## The Thermolab and Thermal Practices: experiences and experiments

A key component of our project is the Laboratorium Ciepła - or Thermolab - a performative device built as a reconfigured sauna. It can generate microclimates and modulate thermal exposure. It can host several people, enabling embodied, sensorial experiences of heat. It can also function as a space for cultivation or incubation. The aim is to probe diverse thermal scenarios that vary in scale and temporality, proposing ecological, sensory, and conceptual reorganizations.

In a narrow sense, thermal practices are modes of thermoregulation. Just as the body physiologically cools itself when overheated—through vasodilation, sweating, rest, slowing-cultural practices extend these processes through tradition and design. To take heat seriously within our social and ecological systems is to follow the body. It means not only learning to cope with rising temperatures “on the surface” - via externalized solutions such as air conditioning - but also activating deeper regulatory capacities of the planetary body: limiting waste heat, reducing overproduction, and seeking collective forms of

slowing down that accord with natural rhythms.

Some such practices are longstanding. The siesta, for example, arises from a physiological response to high temperature that became tradition. It may also become a social form - and even a performative gesture of refusal of continuous work and energy expenditure in the face of capitalist overheating. Reimagined as a practice of warmth, the siesta becomes at once a bodily adaptation and a political gesture. Other practices are newly designed and more speculative.

## Expanding perspectives on heat

Arrangements that connect different epistemic practices inevitably reveal tensions—between tacit and explicit knowledge, embodied intuition and formal abstraction, the local and the universal. Yet it is in these frictions that something new can occur, and one place to begin is to make visible the breadth of ways in which warmth is known. Everyone experiences various degrees of warmth, and this exposure, increasingly more prominent and uncomfortable in the climate crisis, is becoming unevenly structured and mediated by practices of power and care. There exists a broad diversity of epistemic standpoints far more differentiated than our three broadly “classical” positions, which can start to articulate heat as a plural and multifaceted object of thermopolitics. Heat matters to different people in different ways based on their different experiences with it, different cultural stories that their experiences get inscribed in, and their different tools of analysis and expression. Thus, they know different things about heat, have different thermal concerns and priorities, and communicate differently about heat.

Thus heat - both literal and metaphorical - becomes, in our project and in this issue, a point of departure for reflecting on the world we inhabit. It shows how our bodies, relations, and communities are entangled with matter, energy, and planetary rhythms, and how the experience of heat shapes

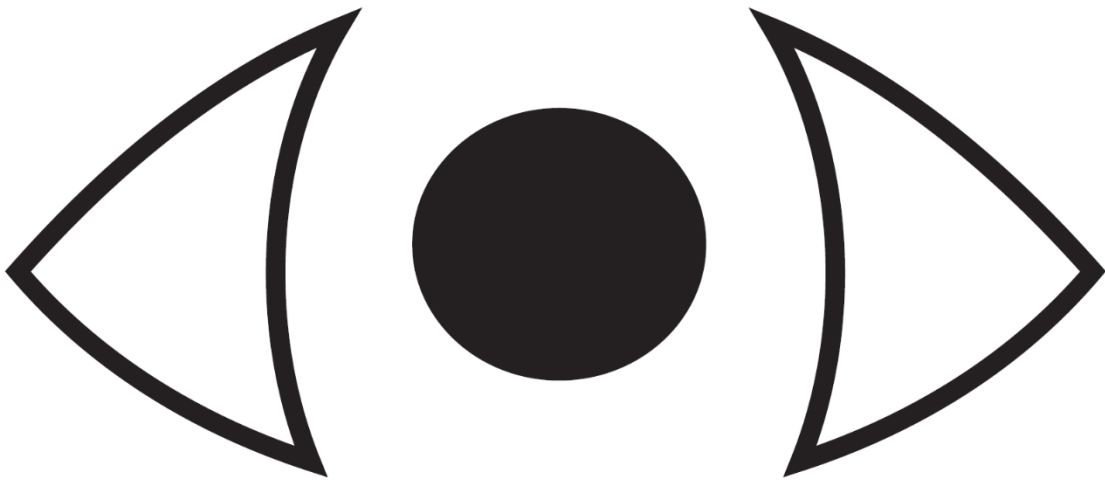
knowledge, care, and imagination. This collection invites readers to immerse themselves in diverse thermal perspectives-from scientific observations to artistic experiments - and to explore how sensitivity to heat can inspire new ways of knowing, coexisting, and acting in a world transformed by the climate crisis.

*dr Karolina Sobecka, dr Agnieszka Szostok i mgr Michał Piasecki*

*Karolina Sobecka is an artist and researcher whose practice is situated in art, science, and environmental humanities. Her work explores post-natural imaginaries, ecological knowledge, and the material legacies of modern ecosystem management in contemporary climate governance. She frequently collaborates with scientists and practitioners across ecology, economy, and media. Her work has been exhibited internationally, including at the Queens Museum (New York), the National Art Museum of China, ZKM Karlsruhe, and transmediale, and has received support from Creative Capital, the New York Foundation for the Arts, and the Princess Grace Foundation, amongst others.*

*Agnieszka Szostok specializes in environmental, energy, and sustainability management. She graduated with a degree in Environmental Engineering from the Silesian University of Technology. Her research focuses on the thermo-ecological assessment of energy systems based on renewable energy sources. She provides consulting services for both the public and private sectors in environmental and climate protection and supports local authorities throughout the entire strategy process, from stakeholder identification and data analysis to implementation. Agnieszka is part of the 2024 cohort of Young Energy Ambassadors for the European Sustainable Energy Week. She is passionate about community and civic projects, raising awareness, and promoting community engagement.*

*Michał Piasecki is a PhD candidate at the Doctoral School of Humanities, University of Warsaw. He is preparing a doctoral thesis on the visibility of the climate crisis. His dissertation examines the visual representation of environmental processes and the ways in which images, films, and other visual media shape public perception of climate change. His research interests include visual culture, energy humanities, forensic aesthetics, and the aesthetics of the environment. He often works at the intersection of art and science, most recently contributing to the "From the Ashes" exhibition at the Zachęta National Gallery of Art (2024) also maintains an ongoing collaboration with the Filмотeka of the Museum of Modern Art in Warsaw. He co-runs the Pamoja Press publishing house, which publishes essays on critical theory and contemporary art.*



## Ciepło – fundament powstania i postępu

Michał Koc

*Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii*

*e-mail: [michal.koc@onet.pl](mailto: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).

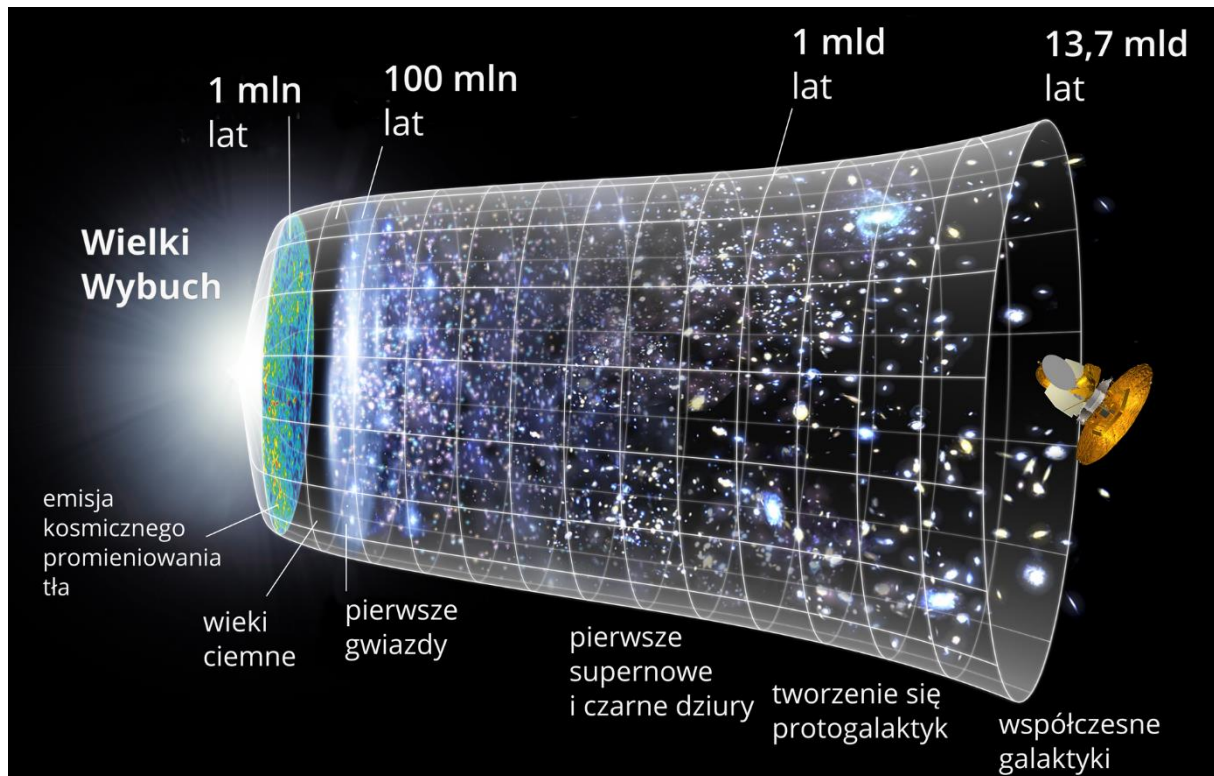
Tuż po Wielkim Wybuchu (ang. *Big Bang*), około 13,8 miliarda lat temu (Ryc. 1), Wszechświat znajdował się w stanie ekstremalnego żaru i stygł wraz z ekspansją (Brown, 2012). Zgodnie z modelem Gorącego Wielkiego Wybuchu, opracowanym w 1948 roku przez Alpera, Ralpa i Gamow, mówimy o temperaturach skrajnie wysokich; około jednej sekundy po wybuchu wynosiły one  $\sim 10$  mld K<sup>1</sup>. 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).

---

<sup>1</sup> 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 (Marryama 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.

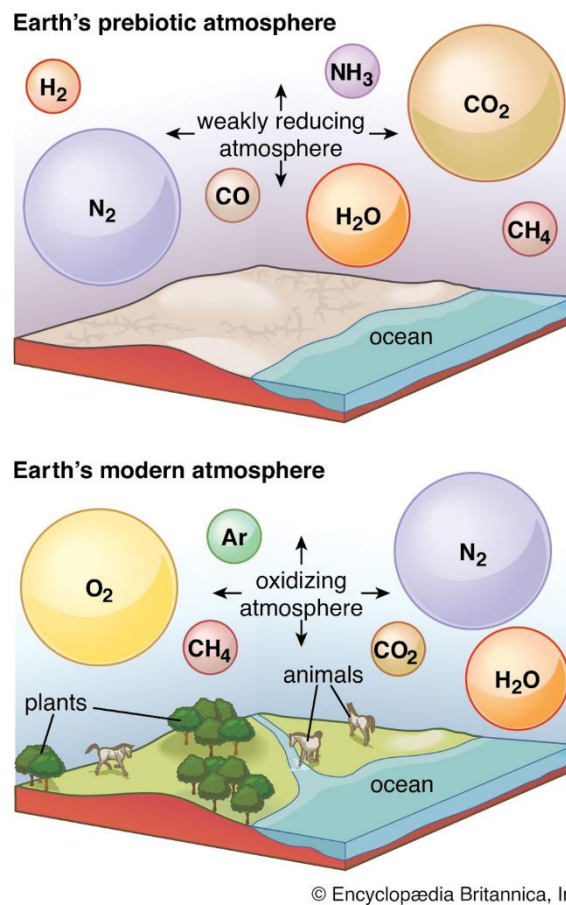
I tak oto pierwsze wielkie „rozdzanie temperatury” położyło fundament pod wszystko, co nastąpiło później – od tworzenia pierwiastków po rozwój klimatu, atmosfery i biosfery. Ciepło przestało być chaotycznym darem eksplozji, a stało się precyzyjnym narzędziem porządku.

## 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.

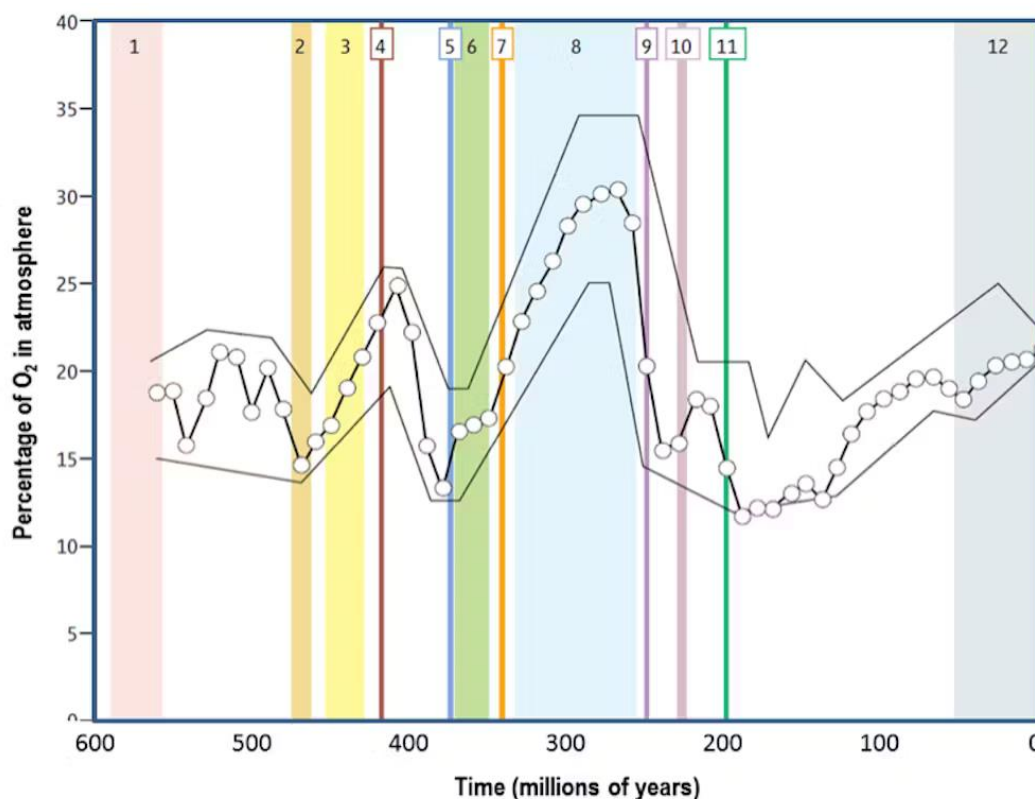


Ryc. 2. Porównanie składu atmosfery dawnej i współczesnej Ziemi (źródło: *Encyclopedia Britannica*)

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).

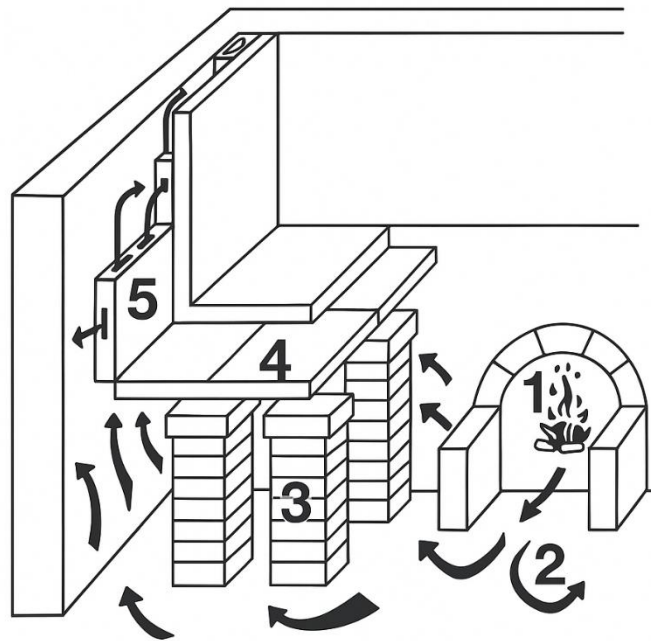
Do dziś wykorzystywana jest ta reguła. Odzież działa jak przenośny regulator przepływu ciepła między organizmem a otaczającym powietrzem. Wraz z rozwojem szycia warstwowego i ozdabiania ubrań (np. doszywane paciorki) ubiór zyskał także społeczne funkcje „stroju”, nie tracąc roli „ruchomej izolacji termicznej” (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 one 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 17<sup>th</sup> century to the present days*. 1–6. <https://doi.org/10.1109/Me-MeA49120.2020.9137339>
- 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](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 CO<sub>2</sub>. *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](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](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.

## 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](mailto: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 ciału 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

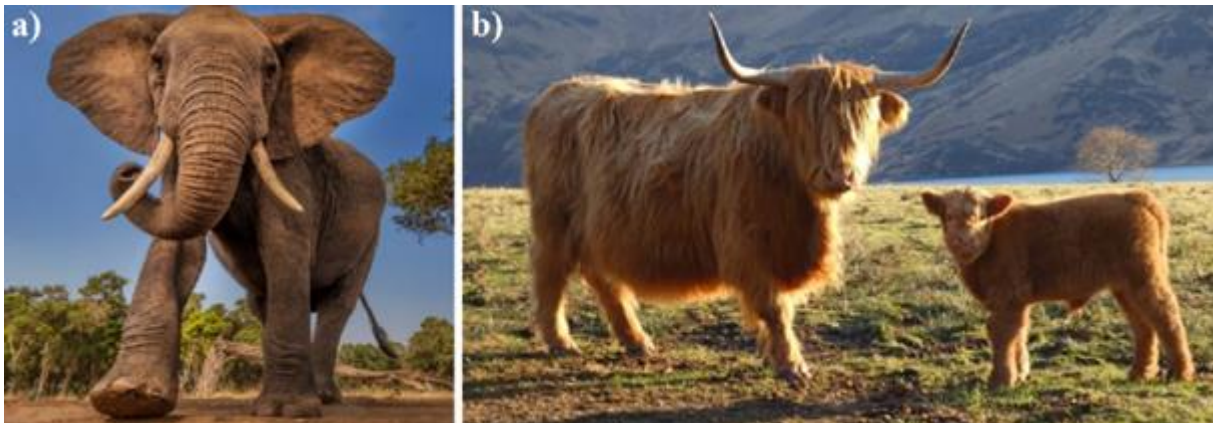
formę *rete mirabile*. Dzięki temu dochodzi do wymiany cieplejszej krwi tętniczej z zimniejszą krwią żylną. Krew o niższej temperaturze, zanim dotrze do reszty organizmu, ulega po drodze ogrzaniu. Tym sposobem ptak traci mniej wyprodukowanego ciepła na rzecz otoczenia. Mniejszy też jest wydatek energetyczny, 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 wypocnym 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. Szympanse na przykład czynności tej poświęcają nawet do 6 godzin dziennie. Oczywiście, zależy to od rodzaju spożywanego pokarmu. Gdyby szympanse 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. Szympanse 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 szympanse. Do takich wniosków doszli być może także nasi przodkowie, *Homo*, którzy zamiast spędzać czas na długim jedzeniu zaczęli go poświęcać polowaniom czy socjalizacji. Obserwując szympanse 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.  $\text{uran}^{235}$  czy  $\text{pluton}^{239}$ . 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).

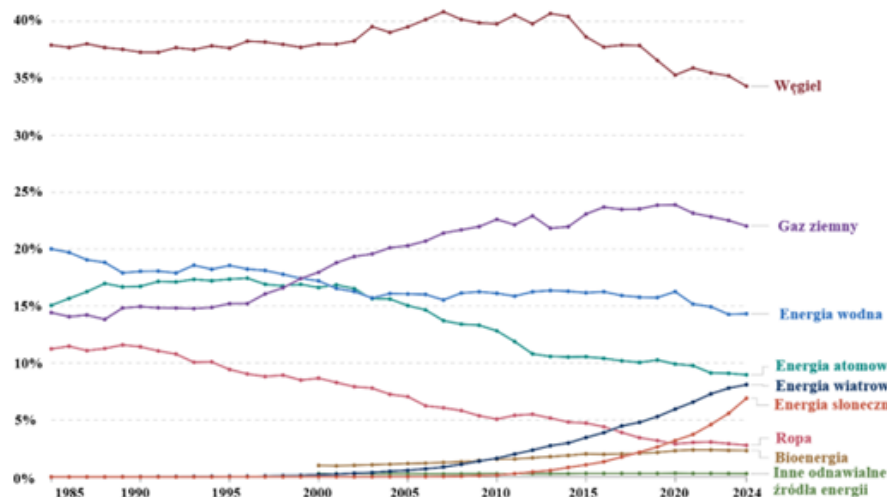
Oprócz energii geotermalnej wykorzystuje się również szereg innych odnawialnych źródeł energii, np. wiatrowe, wodne czy słoneczne. Te ostatnie mogą dawać mylne wrażenie, że bazują na cieple pochodzącym ze słońca. Może to wynikać z faktu, że panele słoneczne największe ilości energii elektrycznej generują 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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  $0,25^{\circ}\text{C}$  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  $\text{CO}_2$ , 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

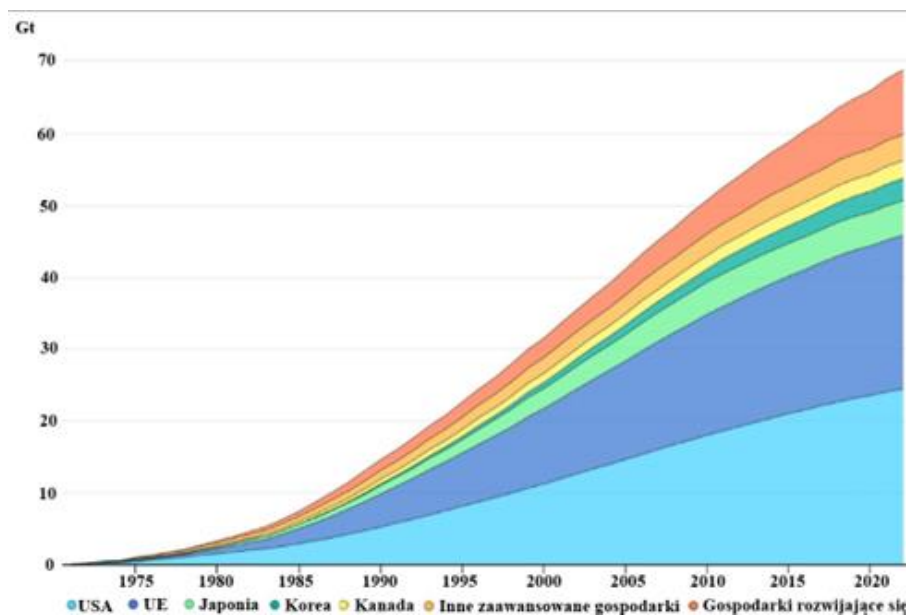
tego materiału ma miejsce w Demokratycznej Republice Kongo (DRK). Spośród pozyskanych w 2020 roku na świecie 140 kiloton kobaltu aż 95 kt pochodziło z DRK. Stanowiło to 68% jego światowego wydobycia. Rok później było to już 72%. Przewiduje się, że produkcja ta może sięgnąć nawet 390 kiloton rocznie (Yang 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 CO<sub>2</sub>, 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](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). *CO<sub>2</sub> 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* (2<sup>nd</sup>), 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](http://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.*

## Thermophiles: Masters of heat and their impact on humanity

Ada Szabelewska

Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii

Katedra Biologii Morskiej i Biotechnologii

E-mail: [a.szabelewska@gmail.com](mailto:a.szabelewska@gmail.com)

tutorka: dr Anna Toruńska-Sitarz

Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii

Katedra Biologii Morskiej i Biotechnologii

*Słowa kluczowe – termofile, ekstremofile, początki życia, astrobiologia, biotechnologia*

### Streszczenie

Środowiska ekstremalne charakteryzują się warunkami, które przekraczają granice tolerancji większości organizmów żywych. Określa się je mianem ekstremalnych, w odróżnieniu od ekosystemów wykazujących warunki sprzyjające wysokiej różnorodności form życia, jakimi są neutralne bądź bliskie neutralnemu pH, wysoka dostępność wody, oraz temperatura nie przekraczająca 40°C. Występowanie wyższej temperatury, klasyfikuje dane środowisko jako ekstremalne, a zamieszkujące je organizmy określane są mianem termofili. Wśród termofili zdecydowanie dominują mikroskopijne organizmy z domen Bakterii oraz Archeonów. Znani są również termofilni przedstawiciele bardziej zaawansowanych ewolucyjnie taksonów. Istnienie termofili zostało odkryte pod koniec

XIX wieku, kiedy po raz pierwszy opisano mikroorganizmy wykazujące wzrost w temperaturze przekraczającej 70°C. Dalsze badania nad termofilami przyniosły wiele przełomowych odkryć, takich jak odkrycie polimerazy Taq – termostabilnego enzymu wyizolowanego z bakterii *Thermus aquaticus*, które to zrewolucjonizowało technologię PCR (ang. *polymerase chain reaction* – łańcuchowa reakcja polimerazy). Procesy biokatalizy z użyciem enzymów pozyskanych od termofili są badane jako skuteczna, bardziej przyjazna środowisku alternatywa dla katalizy chemicznej, która używana jest w wielu gałęziach przemysłu. Ze względu na swoje ekstremalne przystosowania, termofile znajdują również zastosowanie w astrobiologii – dziedzinie zajmującej się spekulacjami i badaniami nad możliwością istnienia życia pozaziemskiego. Termofile mogą również przyczynić się do lepszego zrozumienia jednej z największych zagadek nauki – pochodzenia życia na Ziemi. Termofile stanowią niezwykłą grupę organizmów, która uświadamia nam i pomaga zrozumieć potęgę zdolności adaptacyjnych życia na naszej planecie, jak i – potencjalnie –

poza nią. Zestawiając analizę źródeł z osobistą refleksją, esej przedstawia termofile jako organizmy, których niezwykle przystosowania mogą inspirować nie tylko biologów.

## Abstract

Extreme environments refer to habitats with such harsh conditions that they exceed the tolerance limits of most organisms. They are classified as extreme in comparison to conditions found in most ecosystems, which support rich biodiversity, such as near-neutral pH, high water availability, and temperatures not exceeding 40°C. High temperature is one of the defining characteristics of some extreme environments. Organisms that thrive under high temperatures are known as thermophiles. This group mostly constitutes of microscopic Bacteria and Archaea, however there are also some examples of thermophiles from more evolutionarily developed taxa. The existence of thermophilic microbes has been known since late 19th century, when bacteria growing above 70°C were described for the first time. With further research into these organisms came many scientific breakthroughs, such as the discovery of Taq polymerase – a thermostable enzyme isolated from bacterial species *Thermus aquaticus*, that revolutionized the PCR (polymerase chain reaction) technology – now a staple laboratory technique. Currently, biocatalysis processes with the use of thermostable enzymes are being investigated as a substitute for chemical catalysis used in industrial processing, which presents a more environmentally friendly solution in the era of climate change. Because of their extreme adaptability, thermophilic microbes are also among organisms studied to determine the possibility of existence of extra-terrestrial lifeforms. Thermophiles may also shed light on one of the biggest mysteries in science – the origins of life on Earth. These organisms represent a fascinating natural phenomenon,

continually challenging and redefining the boundaries between habitable and uninhabitable environments. By combining source analysis with personal reflection, the essay presents thermophiles as organisms whose remarkable adaptations can inspire not only biologists.

## Introduction

Before we start the discussion on thermophiles, we first need to place them within the broader, arbitrary category they belong to, namely – extremophiles. The name “extremophile” is given to any organism, that lives outside the boundaries of environmental conditions that are optimal for the majority of lifeforms, but most significantly humans. These *non-extreme* conditions are, among others, near-neutral pH, high water availability, and temperatures not exceeding 40°C. The term “Goldilocks zone”, which references the classical tale *Goldilocks and the Three Bears*, was adapted to describe environmental conditions necessary to support human life, that just like in the tale are not too cold or hot, but just right for us. Extremophiles are therefore defined through the lenses of what is considered normal by human standards and by what they are in relation to us. While it is a very functional term, that presents an easy-to-understand definition, it also inherently links their existence with something that is extreme, or even unnatural. It fails to include a most crucial aspect of extremophilic lifeforms, which is that in these “extreme” environments, they actually thrive. For an abyssal fish, that lives at the depth of 8 000 m and pressure of ~12000 psi, that is a perfect environment. When brought up to the surface – where hydrostatic pressure is optimal for humans – its tissues deform to an unrecognizable extent. From the point of view of organism that occupy the habitats outside of our Goldilocks zone, it is we humans that are extremophiles.

Among extremophiles, organisms that thrive at high temperatures are known as thermophiles (literally – heat lovers). Across different definitions, one constant is the inclusion of a minimal temperature of an organism's habitat that makes it a thermophile. However, these temperature values, as well as the description of thermophiles activity under them differ between definitions. Urbietta *et al.* (2015), describes thermophiles as organisms whose optimum growth temperature is over 55°C. According to Ferrera and Reysenbach (2007), they are organisms that grow best at above 45°C. Brock (2001) defines them as ones that reproduce at high temperatures, the minimum of which depends on the group of organisms taken under the consideration. Some researchers also differentiate organisms that can survive at temperatures above 45°C as moderately thermophilic (Arbab *et al.*, 2022). Overall, we can conclude that to be a true thermophile, an organism needs to survive, grow and reproduce at temperatures exceeding at least 45°C. Very commonly, a term hyperthermophile is used to distinguish the species that truly mastered the craft of living at high temperatures. At first, they were defined as organism that grow in boiling water, so a temperature around 100°C (Brock, 2001). Today however, the line between thermophiles and hyperthermophiles is typically set at 80°C (Ferrera & Reysenbach, 2007; Stetter, 2006; Berenguer, 2023).

The discovery of thermophiles came at the dawn of bacteriology, in the 19th century. During his study of Seine River bacterial communities in 1888, Pierre Miquel isolated a bacterium which grew at temperatures up to 75°C. For several years afterward, however, thermophile studies were mainly focused on aspects regarding food bacteriology, and environmental research was mainly suspended. At that time, temperature of 60°C was considered a high maximum for

thermophilic organisms (Brock, 2001). Important milestones in the research of thermophiles came in the second half of 20th century, when the thermal habitats of USA's Yellowstone National Park drew the attention of bacteriologists, and the diversity of thermophiles was beginning to be unearthed. For the first time, the boundary of temperature at which life can persist was pushed further in 1965, when Thomas D. Brock reported a bacterium living in temperatures up to 88°C in the Octopus Spring of Yellowstone National Park (Brock, 2001). The first instances of microbes sustaining life at temperatures near-boiling point and over, were reported in the 1980s, when Karl O. Stetter and Wolfram Zillig discovered them in Icelandic hot springs and mud pools (Stetter, 2006). As for the microbial studies in general, the development of environmental omics broadened the horizons of the thermophilic biodiversity research. This technology eliminates the need for culturing, which can often be challenging in case of extremophiles.

As organisms adapted to high-temperature conditions, thermophiles are naturally found in a wide range of hot habitats. They are mainly associated with geothermal environments, such as hot springs, mud pots and deep-sea hydrothermal vents (Ferrera & Reysenbach, 2007; Fig. 1, Fig. 2). The place most known for its vast diversity of thermophiles is probably the Yellowstone National Park, which is extremely abundant in various geothermal structures. Recent findings, however, indicate that thermophiles are distributed more widely across diverse environments than previously believed, making their biogeographical characterization increasingly complex. These organisms have been found in places such as deep gold mines, sediments and oil reservoirs. They even occupy niches in places we wouldn't expect to find heat-loving organisms, such as in Iceland (Cockell *et al.*, 2015). Certain conditions

# Tutoring *Gedanensis*

can create the so-called microenvironments, that sustain thermophilic lifeforms. These are sun-warmed rocks and melt ponds, that are heat up by sunlight to high temperatures during polar days (Cockell *et al.*, 2015). Thermophiles have also been found in the variety of man-made places and constructions, often ones we wouldn't expect to sustain life. They inhabit hot water supply systems and reservoirs, compost piles, bioreactors, coal piles and even nuclear and geothermal power plants (Ferrera & Reysenbach, 2007; Urbietta *et al.*, 2015; Fig. 3). It is fascinating

that even though we think of these organisms as extreme and how alienating the environments in which they live seem to us, it is very possible that in our day-to-day lives, we are constantly in close proximity to thermophilic communities, that live in the water pipes of our homes. A study led by Wilpiseski *et al.* (2019), which employed citizen science to collect samples from domestic water heater across USA, showcased the vast diversity of thermophilic microbes residing within household systems.



Fig. 1. Grand Prismatic Spring of the Yellowstone National Park  
(James St. John, 2013) CC BY 2.0

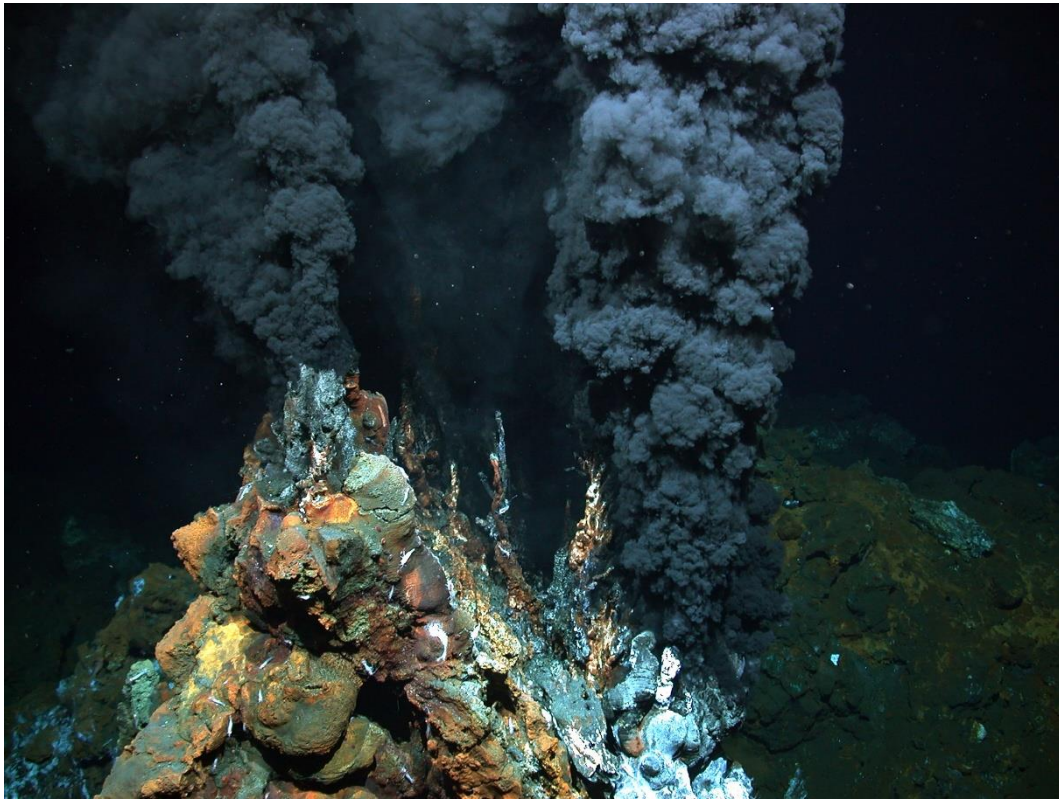


Fig. 2. Deep-sea hydrothermal vents of the Mid-Atlantic Ridge  
(Marum, 2015), CC BY 4.0



Fig. 3. A Nuclear Power Plant  
(Dean Calma, 2004), CC BY 2.0

# Tutoring Gedanensis

Importantly, in many of these habitats, high temperature is only one of the hostile conditions that these microbes endure. Hot springs where thermophiles reside, for example, often exhibit extreme pH values, being strongly alkaline or acidic. Organisms inhabiting such places can also be referred to as alkaliphiles and acidophiles, respectively. Overall, thermophiles seem to emerge wherever high temperature persists. It is hard to determine whether they occupy these niches, some of which are completely artificial, due to population spreading or rather by rapidly evolving and adapting to new conditions.

Among thermophilic organisms, we can find representatives from all three domains of life – Eukarya, Bacteria and Archaea (Ferrera & Reysenbach, 2007). Eukaryotes constitute the smallest group among thermophilic organisms and consist of fungi and microalgal species as well as amoebas and ciliates (Davila *et al.*, 2025). The upper limit of optimum growth temperature for them is 62°C,

in case of some fungal species, and no hyperthermophilic Eukaryotes have been described (Ferrera & Reysenbach, 2007). Eukaryotic thermophiles utilize same life strategies as their mesophilic counterparts. Thermophilic algae are photoautotrophs, whereas thermophilic fungi are heterotrophs, that decompose organic matter, often performing fermentation and organic carbon oxidation. There are also a few cases of invertebrates that live in high temperature environments; however, little is known about the nature of their adaptations to such conditions. Among them, the most well-described is the Pompeii worm (*Alvinella pompejana*) – a deep-sea polychaete found at hydrothermal vents in the Pacific Ocean (Grzyski *et al.*, 2008; Fig. 4). These polychaetes can sustain extreme heat due to their symbiosis with thermophilic microbes; therefore, it could be debatable if they should be classified as “true” thermophiles. Most literature concerning thermophilic eukaryotes doesn’t include these animals.



Fig. 4. Pompeii worm  
(Olivier Dugornay, 2002), CC BY 4.0

# Tutoring Gedanensis

The diversity of bacterial and archaeal thermophiles is far greater than that of eukaryotes. Thermophilic organisms can be found across all major groups of bacteria. There are also whole taxonomic units, for which thermophily is one of the defining qualities, such as the phylum Thermotogota or family Thermales (phylum Deinococcota) (Farrell, 2024; LPSN accessed on 1st July 2025). Many bacterial thermophiles adopt life strategies that cannot be found among eukaryotes. Purple and green sulphur bacteria, which often inhabit thermophilic environments, are anoxygenic photo-autotrophs that rely on reduced sulfur compounds as electron donors in their photosynthetic processes. Some of other metabolic pathways, such as denitrification (performed by e.g. *Aquifex* genus), are meaningful for potential industry applications of these organisms. Within bacterial thermophiles, we can also find cyanobacterial species, which same as algae, are oxygenic photoautotrophs, however they are able to withstand much higher temperatures (Fig. 5, Fig. 6).

Archaea include the most extreme thermophiles known to science, capable of thriving at the highest recorded temperatures. The record holder, that can reproduce at the temperature of 122°C is an archaeal species *Methanopyrus kandleri* (Takai *et al.*, 2008; Fig. 7). Historically, archaea were mainly associated with all sorts of extreme environments, and terms “archaea” and “extremophiles” were almost synonymous. Further research proved however that not all archaea are extremophiles, and that not all extremophiles are archaea. To this day, however, extremophilic archaea remain disproportionately represented relative to other domains of life. It could be argued though, that it is the extreme environments that have been more intensively studied for archaeal diversity than 1) other domains of life 2) non-extreme environmental niches.



Fig. 5. Green and pink microbial mats formed by thermophilic bacteria, in the hot spring of Yellowstone National Park  
(adapted from: Ferrera & Reysenbach, 2007; modified: cropped)



Fig. 6. Microbial community, dominated by thermophilic bacteria in the creek of Yellowstone National Park  
(adapted from: Ferrera & Reysenbach, 2007; modified: cropped)

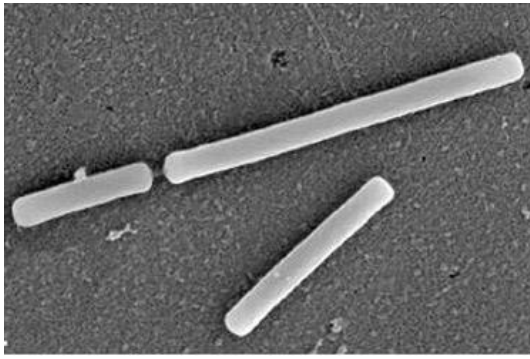


Fig. 7. *Methanopyrus kandleri*, viewed with the laser scanning microscope (adapted from: Schopf *et al.*, 2008 modified: cropped)

Showcasing the vast diversity of prokaryotes can be challenging, however one way to do it is with the number of their registered genomes. According to the GOLD database, 241 990 bacterial genomes have been registered (GOLD Database, 2025). In comparison, in the case of archaea it is only 2 857 (GOLD Database, 2025). The vast overrepresentation of bacterial genomes may be because archaeal genome sequencing is far more demanding. Verma *et al.* examined these data in relation to thermophily in 2022. At that time, out of 190 868 registered bacterial genomes, 468 were of thermophiles (0,25%). In case of Archaea, thermophily was far more frequent – out of 1930, 159 were genomes of thermophiles, making them around 8% of all registered genomes. Aside from the differences in the contribution of thermophiles within bacteria and archaea, these numbers showcase just how dynamically the field of genomics develops, with how the numbers of registered genomes grew rapidly over the span of only 3 years.

## Mastering heat – thermophilic adaptations to extreme temperatures

One of the most interesting aspects of studies on thermophiles relates to their adaptations that enable survival at extreme temperatures. There is no single defining trait by which an organism can be classified as a thermophile. It is rather a set of adaptations at different molecular levels, that all together constitute the thermophilic nature of these organisms. I want to discuss these adaptations starting from the genomic level, through gene expression, proteins, metabolism and finally morphologic features, focusing on bacterial and archaeal thermophiles.

Genetic information is of course what dictates and allows for thermophiles to thrive at high temperatures, encoding specific genes and therefore functions. Because of that, a very important aspect of thermophilic adaptations is the protection of that information. Elevated temperatures increase the susceptibility of DNA to degradation through mechanisms such as double strand breaks, denaturation, and deamination. Therefore, thermophiles have evolved specific adaptation to counteract DNA thermal damage. While specific trends in genome architecture and sequence composition are common among these organisms, such features are not exclusive to thermophiles and do not, by themselves, confer thermophily. In many thermophiles we can observe genome reduction, as well as higher ploidy – they tend to possess shorter genomes, that are in more copies, in comparison to their mesophilic counterparts (Wani *et al.*, 2022; Verma *et al.*, 2022). Shorter genomes are less susceptible to degradation and mutation, while possessing multiple genome copies reduces the risk of completely losing genetic information. Additionally, within thermophilic genomes, higher GC-content is often observed

(Hus & Bocian, 2017). The guanine-cytosine base pairs form three hydrogen bonds between each other, in comparison to the two between adenine and thymine, allowing for a more stable secondary DNA structure. Another important aspect is the various DNA-protecting enzymes such as topoisomerases, that are present in all kinds of lifeforms, however in thermophiles we can observe their increased expression and activity (Hus & Bocian, 2017).

Genetic information is translated from the DNA into proteins, however along the way is temporarily stored in the form of mRNA, which, without adding the impact of high temperature, is already more unstable than the DNA molecules. Therefore, to ensure proper functioning of the cell, protection of RNA is just as vital as the protection of DNA. The discovered protection mechanisms regarding RNA involve post-transcriptional modifications of these molecules. Some nucleosides are changed into their alternative forms via processes like methylation of ribose or the nucleobase, which ensures higher stability of the mRNA during transportation and translation. Another mechanism observed in some bacterial thermophiles is the stabilization of both DNA and RNA by low-molecular weight polyamines, such as spermine and spermidine (Hus & Bocian, 2017).

Similarly to DNA, proteins of thermophiles, often referred to as thermostable proteins, are unique at both structural and conformational levels. Overall, one of the most important aspects of these proteins is that they are more tightly bound than their non-thermostable counterparts. At the structural level, this is achieved by higher share of charged amino acids which form ion bonds between each other (Hus & Bocian, 2017). Additionally, less thermolabile amino acids, such as histidine and glutamine are present in thermostable proteins, which lowers the

chances for their degradation (Hus & Bocian, 2017). At the tertiary structure level of thermostable proteins, we can observe higher numbers of salt bridges formed between cysteine amino acid residues, which also results in more tightly bound molecules (Hus & Bocian, 2017). Thermostable proteins are often hydrophobic, which further contributes to their ability to sustain their native structures at high temperatures. As in all organisms, in thermophiles, molecular chaperones such as heat shock proteins, assist in the correct folding of proteins (Hus & Bocian, 2017). It is a vital function, as the right conformation is the most essential part of the proper functioning of proteins. Among thermophiles however, we can observe greater numbers of these compounds, to counter the influence that high temperature poses on proteins, which in the presence of heat are more prone to misfolding and formation of aggregations.

The metabolic pathways of thermophiles are often the same as those of mesophiles, with the exception being the thermostable enzymes that catalyse the metabolic reactions. Their co-factors however are often unchanged, despite their low stability at high temperatures (Hus & Bocian, 2017). Even though heat is generally associated with faster metabolism, it has been demonstrated that in case of some thermostable enzymes, the temperature optimal for their host is not necessarily their own optimum, and they are more efficient at lower temperatures (Hus & Bocian, 2017). Additionally, in the case of some reactions such as sugar degradation, it has been reported that thermophilic species utilize alternative metabolic pathways, that do not require thermolabile substrates. This showcases the great extent of thermophilic adaptability, as these are very conserved processes across different lifeforms.

Finally, thermophiles also exhibit morphological adaptations to heat. The lipid membrane, alongside the cell wall, constitutes the barrier between the organism and the environment. Ensuring its integrity, which is susceptible to high temperatures, is crucial for the functioning of the cell. In the membranes of thermophiles, we can observe fatty acids that are longer, more saturated, and more branched, which all contribute to a more rigid structure, allowing it to more efficiently counter the high temperature of the environment (Hus & Bocian, 2017). Maintaining the integrity of lipid membranes seems to be one of the trickier parts of withstanding heat, as it is hypothesized, that eukaryotes cannot live at temperatures higher than 62°C due to their inability to form thermostable organelle membranes under these temperatures (Rappaport & Oliverio, 2024).

Overall, the thermophilic adaptations to high temperatures are largely strategies that mesophiles also exhibit, however either only under certain circumstances or to a lesser extent. Before conducting the research on these adaptations, I personally expected to learn about processes that are completely new or alien to other forms of life. The fact that these are similar mechanisms, is somehow even more impressive, as it shows the power of adaptation and evolution that allow for life to exist in environments that seem so hostile to it.

## Thermophiles and the origin of life

The life on Earth is thought to first appear between 4.4-4.2 billion years ago, and its origins remain one of the biggest questions in all of science. One of its aspects is the issue of *the Last Universal Common Ancestor* (LUCA) – the single organism from which all current life evolved. It is hypothesized by many, that the answer to that question is: a thermophile. Particularly, a chemolithoautotrophic hyperthermophilic prokaryote, that

utilized the oxidation of inorganic molecules, such as hydrogen or sulphur, to synthesize organic compounds (Farmer, 1998). The studies on origins of life can be approached by researching geological records, that provide insight into Earth's history, as well as via phylogenetic approach, by constructing a tree of life, based on the genetic differences and similarities among present-day organisms (Farmer, 1998). One of the arguments for the hyperthermophilic origin of life is the position, that many thermophiles hold on the phylogenetic tree of life. Today's hyperthermophilic bacteria are very early-branching organisms, clustered at the base of the phylogenetic tree, which suggests that they are closely related to the LUCA (Fig. 8). Based on that, it is suggested that our universal ancestor might have been a hyperthermophile as well (Farmer, 1998). In line with this theory, it is also speculated, that life on early Earth might have emerged in hydrothermal environments, much like today's deep-sea hydrothermal vents that provide a continuous source of inorganic compounds necessary for the formation of biomolecules and an energy source (Farmer, 1998). An even more compelling argument supporting the theory of a thermophilic LUCA, was presented by Akanuma *et al.* (2013). Via modelling methods, these researchers recreated the probable amino acid sequence of ancestral nucleoside-diphosphate kinase (NDK) enzyme. They were then able to synthesize it and have discovered for it to be thermostable, presenting compelling evidence for the thermophilic nature of the common ancestor. The counterargument to these theories, however, is that organic molecules, such as ribose, amino acids and nucleobases, which are thought to have had to emerge for life to first originate, are highly unstable and quickly degrade under high temperatures, which makes it unlikely for them to accumulate in sufficient quantities,

# Tutoring Gedanensis

in a hot habitat (Islas *et al.*, 2003). Other theories suggest that the common ancestor was a mesophile, and hyperthermophily is an example of a very early adaptation (Islas *et al.*, 2003). It is also known that Earth experienced numerous impacts during its early days, that could be lethal to its life, if at the time it was

already formed. Because of that, it is possible that thermophiles may have been the sort of lifeforms that thanks to their adaptations were able to survive such impacts, that wiped their, and therefore also our, ancestors (Farmer, 1998).

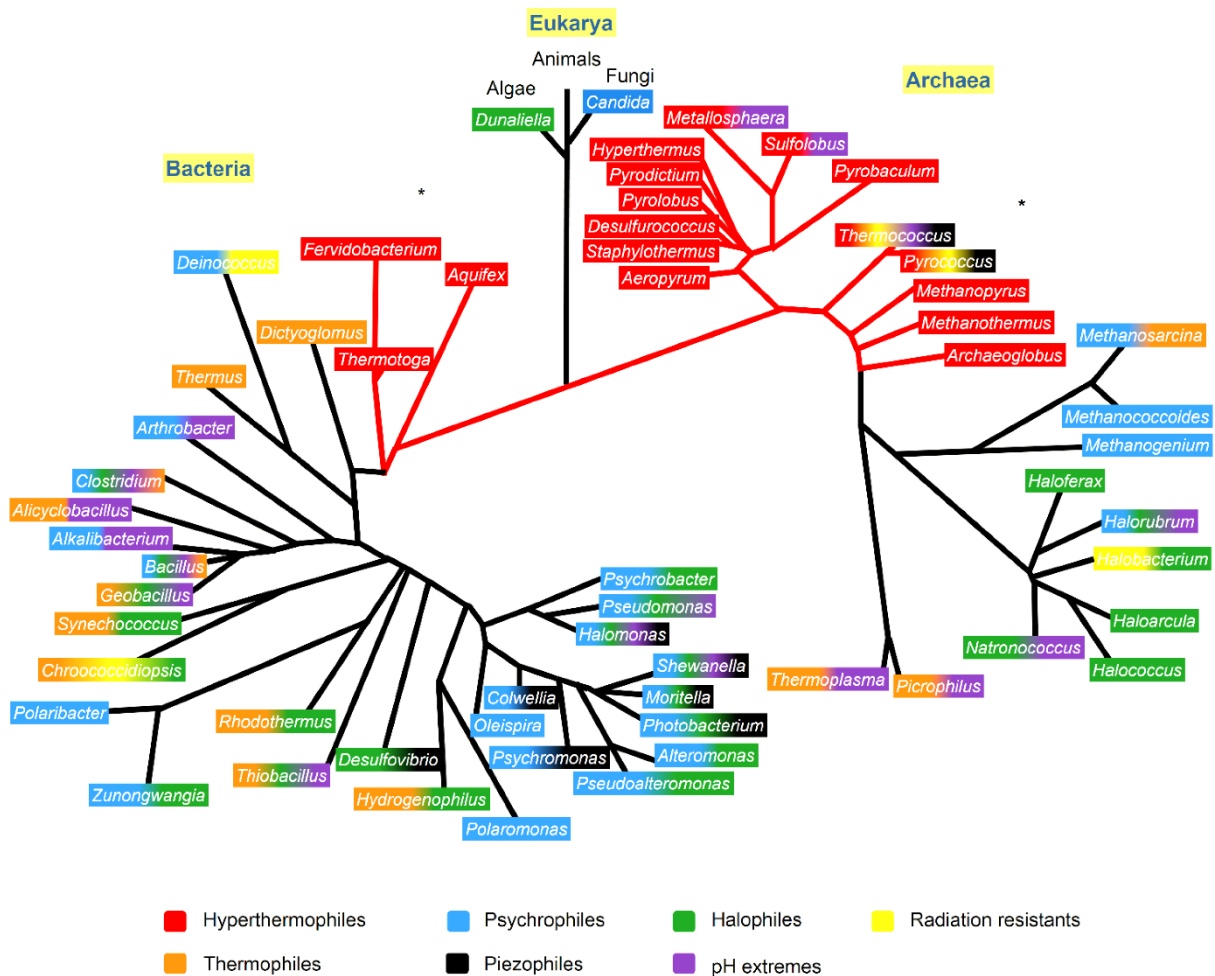


Fig. 8. Tree of life, showcasing the hyperthermophilic nature of many early-branching organisms (adapted from: Dalmaso *et al.*, 2015)

Whether or not the last common ancestor was a thermophile, these organisms provide a very important foundation for researching this topic, as the basal groups on the tree of life. This also raises a compelling question regarding the thermophilic adaptations – if the LUCA truly was a hyperthermophile, it was the rest of lifeforms that needed to adapt to

environments that weren't hot. It is fascinating to think, that while thermophiles seem so extreme and specialized, it is possible that they are the closest thing to our ancestors, and life actually began in warmth.

## Thermophiles for humanity

Throughout the course of my studies, I have mainly learned about thermophiles in the context of their biotechnological applications. While it is interesting, during my preparation for this essay, I have found it to be the least captivating thing about them. It is not surprising that this is what the emphasis is put on in the topic of thermophiles – both in education and in research. These applications contribute to the progress in various industries and often offer sustainable solutions or alternatives, which overall improve our quality of life and generate profits. These days, it is often the case that organisms are very intensively researched in regard to their possible applications, while other aspects of their being are largely ignored. It is understandable, but ultimately saddening, as there is so much more to thermophiles than their applicability, which I hope this essay has demonstrated thus far.

Thermophiles have been of interest of researchers regarding their possible applications ever since their heat-loving nature has been more closely discovered and described. There are scientific articles exploring their potential that have been published in the 1970s, showcasing that thermophiles have inspired scientists for over 50 years now. Probably the most known and groundbreaking discovery regarding thermophiles came in 1988, when the first thermostable polymerase – Taq polymerase from *Thermus aquaticus*, revolutionized the PCR technology. Use of Taq polymerase for PCR, instead of mesophile-originating enzyme, makes the process much more efficient and less laborious. Since then, many other types of thermostable polymerases were introduced, all originating from thermophiles (Terpe, 2013). PCR is however only one of many processes that can be streamlined by using thermostable enzymes.

In the era of climate change, finding new ways to produce and obtain goods is a crucial part of the fight against it. One promising approach is biocatalysis, the use of enzymes to catalyze chemical reactions, which offers a greener and more environmentally friendly alternative to the traditional use of chemical catalysis in countless industries. One of the problems arising from using enzymes is their instability in harsh conditions, such as high pressure or temperatures, that often accompany the processes that are catalyzed. Thermozymes, in contrast, have the numbers of adaptations to heat, and are overall far more stable than mesophilic enzymes. They are already utilized in number of industrial processes, such as production of detergents, textiles, food and feed, biofuels and pharmaceuticals (Atalah *et al.*, 2019).

Thermophiles, besides possibly carrying answers to the origins of life on Earth, are also used in the studies of astrobiology – extraterrestrial life. It is important to note, that extremophiles as a whole, are widely used in that field. Astrobiology explores the possibilities of extraterrestrial life – whether it could exist at all, where it might emerge and how could it look like. Another important aspect of astrobiology is the study of terraforming: the potential to transform planets that are currently hostile to human life into habitable environments (Akanuma *et al.*, 2013). Celestial bodies that are investigated in terms of astrobiology are Mars, Venus, as well as some moons of gas giants within the Solar System, such as Europa or Titan (Thombre *et al.*, 2020). Extremophiles can help predict if, life as we know it, could emerge on these planets and moons. Firstly, the natural environments within which extremophiles reside often exhibit similar conditions to the ones found on other planets, one of which often is high temperature. These environments are referred to as field analogue sites, and studying the microbes inhabiting them provides insight into possibilities of extraterrestrial life

# Tutoring Gedanensis

(Thombre *et al.*, 2020; Fig. 9). Another approach is the recreation of these conditions in the laboratory, or even in space. While Bacteria and Archaea are more conventionally used as model organisms in astrobiology, some eukaryotic thermophiles are also researched in that area. Alongside many prokaryotes, fungi from the phylum Ascomycota are models for researching life under Martian conditions. Similarly, extremophilic red algae are utilized regarding environments found on Venus (Akanuma *et al.*, 2013). In line with the themes of astrobiology and biotechnology is the recent Polish space mission to the International Space Station (ISS), during which several innovations were tested. Among them was the Space Volcanic Algae project, led by Extremo Technologies, co-

founded by Ewa Borkowska, an Oceanography graduate from our university (Axiom Space Research | Space Volcanic Algae). The project explores the potential of extremophilic – probably thermophilic, since they were isolated from volcanic environments – microalgae, as possible renewable oxygen and nutrient source aboard space missions. The experiments carried out on the ISS was designed to determine how the algae adapt to and grow in the microgravity conditions and under the exposure to cosmic radiation (Axiom Space Research | Space Volcanic Algae). It is great to think that thermophiles may not only help us understand the life in space, but in the future could also possibly sustain our own lives there.



Fig. 9. An aerial view of Death Valley National Park (California, USA), a popular field analogue site (National Park Service)

Overall, thermophiles carry an outstanding biotechnological potential, however I believe that as climate change unravels and the temperatures around the globe are rising, thermophiles might have something to offer not only to humans, but all kinds of lifeforms.

The holobiont concept describes an organism and its associated microbial community. These microbes are necessary for the proper functioning of their host, forming very close and dependent symbiotic relationships (Sánchez-Cañizares *et al.*, 2017). The afore-

mentioned Pompeii worms can live in the environment of hydrothermal vents only due to their symbiosis with thermophilic bacteria, which is of course an extreme case. It is possible that thermophilic or mildly thermophilic microbes acting as symbionts of temperature-sensitive organisms could similarly expand their environmental niches, enhancing their resistance to heat and, therefore, to climate change. It is the ultimate way in which thermophiles could impact humanity – by integrating more within the biosphere, maybe even humans, and by that helping tackle our mistakes. It is of course a very hopeful perspective, not backed by any data, however as thermophiles show us best, life adapts and persists even under the harshest of circumstances.

## Final thoughts

Thermophiles are a fascinating group of organisms, that not only provide a unique insight into ecology, evolution and the boundaries of life, but also present important solutions and possibilities for some of humanities biggest problems and questions. I hope that this essay offers an insight into thermophilic life and an invitation to further investigate these masters of heat.

## References:

- Akanuma, S., Nakajima, Y., Yokobori, S. I., Kimura, M., Nemoto, N., Mase, T., ... & Yamagishi, A. (2013). Experimental evidence for the thermophilicity of ancestral life. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(27), 11067–11072.
- Arbab, S., Ullah, H., Khan, M. I., Khattak, M. N., Zhang, J., Li, K., & Hassan, I. U. (2022). Diversity and distribution of thermophilic microorganisms and their applications in biotechnology. *Journal of Basic Microbiology*, 62(2), 95–108.
- Atalah, J., Cáceres-Moreno, P., Espina, G., & Blamey, J. M. (2019). Thermophiles and the applications of their enzymes as new biocatalysts. *Bioresource Technology*, 280, 478–488.
- Axiom Space. (2025). *Space volcanic algae*. Retrieved June 18, 2025, from <https://www.axiomspace.com/research/space-volcanic-algae>
- Berenguer, J. (2023). Thermophile. In *Encyclopedia of Astrobiology* (pp. 3031–3032). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Brock, T. D. (2001). *The origins of research on thermophiles*. In *Thermophiles: Biodiversity, ecology, and evolution* (pp. 1–9). Boston, MA: Springer US.
- Calma, D. (2004, November 23). Eurodif Nuclear Power Plant, Tricastin, France [Photograph]. Flickr. [https://www.flickr.com/photos/iaea\\_imagebank/8168889853/](https://www.flickr.com/photos/iaea_imagebank/8168889853/) [accessed 6.10.2025]
- Cockell, C. S., Cousins, C., Wilkinson, P. T., Olsson-Francis, K., & Rozitis, B. (2015). Are thermophilic microorganisms active in cold environments? *International Journal of Astrobiology*, 14(3), 457–463.
- Dalmaso, G. Z. L., Ferreira, D., & Vermelho, A. B. (2015). Marine extremophiles: A source of hydrolases for biotechnological applications. *Marine Drugs*, 13(4), 1925–1965.
- Davila, A., DiGiacomo, J., & McKay, C. (2025). *ThermoBase: Astrobiology Habitable Environment Database*. <https://doi.org/10.48667/adf2-8m67>
- Dugornay, O. (2002, January 1). *Alvinella pompejana*, or Pompeii worm, photographed on the Ifremer ship 'Atalante', during the PHARE oceanographic campaign on the Eastern Pacific Ridge [Photograph]. Ifremer. <https://image.ifremer.fr/data/00569/68060/> [accessed 6.10.2025]

- Farmer, J. (1998). Thermophiles, early biosphere evolution, and the origin of life on Earth: Implications for the exobiological exploration of Mars. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 103(E12), 28457–28461.
- Farrell, A. A. (2024). *Evolution and adaptation to temperature in Thermotogota* (Doctoral dissertation, Dartmouth College).
- Ferrera, I., & Reysenbach, A. L. (2007). *Thermophiles*. eLS.
- GOLD Database. (2025). *Genome Online Database (GOLD)*: Distribution. Retrieved July 26, 2025, from <https://gold.jgi.doe.gov/distribution>
- Grzymski, J. J., Murray, A. E., Campbell, B. J., Kaplarevic, M., Gao, G. R., Lee, C., Daniel, R., Ghadiri, A., Feldman, R. A., & Cary, S. C. (2008). Metagenome analysis of an extreme microbial symbiosis reveals eurythermal adaptation and metabolic flexibility. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105(45), 17516–17521. <https://doi.org/10.1073/pnas.0802782105>
- Hus, K., & Bocian, A. (2017). Mechanizmy adaptacyjne umożliwiające życie bakterii w wysokich temperaturach. *Kosmos*, 66(2), 175–184.
- Islas, S., Velasco, A. M., Becerra, A., Delaye, L., & Lazcano, A. (2003). Hyperthermophily and the origin and earliest evolution of life. *International Microbiology*, 6(2), 87–94.
- LPSN (2025). Order Thermales. Retrieved July 1, 2025, from <https://lpsn.dsmz.de/order/thermales>
- MARUM. (2015, March 11). Black smoker in 2,980 meters of water on the Mid-Atlantic Ridge [Photograph]. MARUM. <https://www.marum.de/Entdecken/Tiefsee.html> [accessed 6.10.2025]
- National Park Service. *An aerial shot of the Ubehebe Crator looks like a view of another planet entirely* [Photograph]. Nara and DVIVs Public Domain Archive. <https://nara.getarchive.net/media/death-valley-scenic-byway-the-ubehebe-crator-5f5128> [accessed 6.10.2025]
- Rappaport, H. B., & Oliverio, A. M. (2024). Lessons from extremophiles: Functional adaptations and genomic innovations across the eukaryotic tree of life. *Genome Biology and Evolution*, 16(8), evae160.
- Sánchez-Cañizares, C., Jorrín, B., Poole, P. S., & Tkacz, A. (2017). Understanding the holobiont: The interdependence of plants and their microbiome. *Current Opinion in Microbiology*, 38, 188–196.
- Schopf, S., Wanner, G., Rachel, R., & Wirth, R. (2008). An archaeal bi-species biofilm formed by *Pyrococcus furiosus* and *Methanopyrus kandleri*. *Archives of Microbiology*, 190(3), 371–377.
- St. John, J. (2013, June 13). Grand Prismatic Spring [Photograph]. Flickr. <https://www.flickr.com/photos/jsjgeology/14484826274/> [accessed 6.10.2025]
- Stetter, K. O. (2006). History of discovery of the first hyperthermophiles. *Extremophiles*, 10(5), 357–362.
- Takai, K., Nakamura, K., Toki, T., Tsunogai, U., Miyazaki, M., Miyazaki, J., ... & Horikoshi, K. (2008). Cell proliferation at 122°C and isotopically heavy CH<sub>4</sub> production by a hyperthermophilic methanogen under high-pressure cultivation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(31), 10949–10954.
- Terpe, K. (2013). Overview of thermostable DNA polymerases for classical PCR applications: From molecular and biochemical fundamentals to commercial systems. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 97(24), 10243–10254.
- Thombre, R. S., Vaishampayan, P. A., & Gomez, F. (2020). *Applications of extremophiles in astrobiology*. In Physiological and biotechnological aspects of extremophiles (pp. 89–104). Academic Press.

- Urbieto, M. S., Donati, E. R., Chan, K. G., Shahar, S., Sin, L. L., & Goh, K. M. (2015). Thermophiles in the genomic era: Biodiversity, science, and applications. *Biotechnology Advances*, 33(6), 633–647.
- Verma, D., Kumar, V., & Satyanarayana, T. (2022). Genomic attributes of thermophilic and hyperthermophilic bacteria and archaea. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 38(8), 135.
- Wani, A. K., Akhtar, N., Sher, F., Navarrete, A. A., & Américo-Pinheiro, J. H. P. (2022). Microbial adaptation to different environmental conditions: Molecular perspective of evolved genetic and cellular systems. *Archives of Microbiology*, 204(2), 144.
- Wilpiseski, R. L., Zhang, Z., & House, C. H. (2019). Biogeography of thermophiles and predominance of *Thermus scotoductus* in domestic water heaters. *Extremophiles*, 23(1), 119–132.

**Notka o autorce:** Jestem absolwentką oceanografii na Uniwersytecie Gdańskim, a obecnie studentką Marine Biotechnology. Badania naukowe w ramach mojej pracy licencjackiej, jak i przyszłej magisterskiej prowadzę w temacie biotechnologicznego wykorzystania metabolitów sinic Bałtyckich, a dokładnie ich antybakteryjnej aktywności. Temat tego wydania, „Myślenie ciepłem w dobie symbiocenu” od razu skierował moje myśli do jednej z najbardziej ciekawych grup mikroorganizmów – termofili, którymi zawsze byłam zafascynowana. Jestem bardzo wdzięczna za możliwość podzielenia się moją pasją. Chciałabym bardzo serdecznie podziękować Pani dr Annie Toruńskiej-Sitarz, za całą pomoc włożoną w ten esej oraz za bycie wspianką i inspirującą Tutorką.

## Ciepło, woda i atmosfera – dynamika energii w kształtowaniu ekosystemów

Zuzanna Kuglasz

*Akademia Sztuk Pięknych w Warszawie, Wydział Grafiki*

*E-mail: [zuzannakuglasz@cybis.asp.waw.pl](mailto:zuzannakuglasz@cybis.asp.waw.pl)*

tutor: dr Jakub Dąbrowski

*Akademia Sztuk Pięknych w Warszawie*

*Wydział Badań Artystycznych i Studiów Kuratorskich*

*Słowa kluczowe: energia cieplna, mgła, rosa, cykle wodne*

### Wstęp

Pierwsza zasada termodynamiki składa się z dwóch empirycznych faktów:

1. Ciepło jest formą energii.
2. Energia jest zachowana (nie zanika, lecz może zmieniać swoje formy) (Yau i Rogers, 1989).

Jeśli jednak pojęcie ciepła rozpatrujemy w kontekście atmosferycznym, jego definicja nie tylko wiąże się z energią, ale nierozdzielnie spleta się z obecnością wody. To właśnie para wodna jest tym składnikiem atmosfery, w którym wyraźnie przejawia się związek między temperaturą a masą wody. Stanowi ona jednocześnie zarówno przyczynę, jak i skutek działania energii cieplnej w atmosferze.

Przyglądając się zjawisku przepływu energii cieplnej w atmosferze, zauważymy, że ma ona fundamentalne znaczenie dla kształtowania naszych ekosystemów. Jednak to nie

tylko sama energia, ale także sposób jej przemieszczania się oraz medium, które ją przenosi, warunkują procesy zachodzące w atmosferze. Powietrze możemy postrzegać jako mieszaninę suchego powietrza i pary wodnej, które razem tworzą powietrze wilgotne (Yau i Rogers, 1989). Możemy również traktować je jako układ dynamicznych mas o zróżnicowanej temperaturze, które pochłaniają i oddają energię, powodując ruch oraz zmiany stanu skupienia wody. Para wodna jest składnikiem powietrza i nośnikiem energii. Porusza się razem z masami powietrza, a jej rozmieszczenie nigdy nie jest jednorodne. Zmienia się w zależności od temperatury i lokalnych warunków atmosferycznych. Szczególnym zjawiskiem wynikającym z koncentracji pary wodnej są tzw. rzeki atmosferyczne, czyli wąskie (300–500 km) i długie (nawet do 2 000 km) pasma powietrza, które przemieszczają się w dolnej troposferze. To właśnie nimi transportowana jest większość (ponad 90%) pary wodnej przenoszonej południkowo z szerokości międzyzwrotnikowych ku biegunom (Wytych, 2018). Te powietrzne strumienie, niosące ze sobą zarówno wodę, jak i energię cieplną, odgrywają kluczową rolę w regulacji

globalnego klimatu. W ich obrębie toczy się ulotny ruch – dynamiczna migracja cząsteczek, które współkształtują pogodę i obieg wody na całej planecie.

Cząsteczki pary wodnej tworzą gigantyczne struktury atmosferyczne, ale zarazem, pozostają wyjątkowo ulotne. Ich podróż w atmosferze trwa zaledwie około dziesięciu dni, podczas których nieustannie unoszą się, kondensują, opadają i ponownie odparowują, tworząc niekończący się cykl wymiany (Wypych, 2018). Ta podróż nie ma ani początku, ani końca, a rozmieszczenie cząsteczek stanowi swoisty diagram zależności ciepła, wilgoci i czasu. Masy ciepłego i chłodnego powietrza można zatem traktować jako siły, tworzące dynamiczną, pulsującą mapę obecności wody. W kontekście ekologii cieplnej analiza tej mapy jest kluczowa dla zrozumienia zarówno bieżącego stanu, jak i przyszłych zmian w ekosystemach Ziemi. Przez wieki społeczeństwa wykorzystywały obserwacje cykli wodnych do pozyskiwania wody, dzięki czemu były w stanie przetrwać w trudnych warunkach klimatycznych, charakteryzujących się licznymi okresami suszy.

Także w dzisiejszych czasach umiejętność dostrzegania tych subtelnych sygnałów pozwala nam lepiej reagować na zmieniające się warunki. Jeśli będziemy potrafili przewidywać, jak zmiany temperatury wpływają na cykle wodne i ekosystemy, będziemy w stanie lepiej dostosować nasze działania w obliczu globalnego ocieplenia. Wiąże się to głównie z możliwością wdrażania strategii ochrony zasobów wodnych, które zależą od hydrologicznych cykli, a także z poszukiwaniem nowych sposobów pozyskiwania wody w dobie szybko zmieniających się warunków klimatycznych. Inspirując się zarówno historycznymi metodami pozyskiwania wody, jak i obserwacją krajobrazu ciepło-wodnego, możemy rozwijać nowe, niskobudżetowe

i zgodne z rytmem natury technologie, pozwalające nam na efektywne pozyskiwanie wody.

Celem niniejszego eseju jest omówienie procesu kondensacji pary wodnej w powietrzu oraz zjawisk, które z niego wynikają, w tym mgły i rosy. Rozpocznę od wyjaśnienia, jak te zjawiska atmosferyczne zachodzą, by następnie przejść do historii i współczesnych metod ich wykorzystania w praktyce. Na końcu skupię się na adaptacji wspomnianych technologii w kontekście globalnego deficytu wody. Podkreślę znaczenie obserwacji atmosfery oraz innowacyjnych rozwiązań, które mogą pomóc w pozyskiwaniu wody w regionach dotkniętych suszą.

## Parowanie i kondensacja – wymiana energii cieplnej w atmosferze

Aby lepiej zrozumieć, co wpływa na zawartość pary wodnej w atmosferze oraz jak rozkłada się ona w przestrzeni, warto przyjrzeć się dwóm podstawowym procesom wpływającym na jej obecność: parowaniu i kondensacji. To właśnie one regulują ilość pary wodnej krążącej w atmosferze, szczególnie intensywnie w obszarach międzyzwrotnikowych, gdzie parowanie z powierzchni oceanów dostarcza jej ogromne ilości. Zarówno parowanie, jak i kondensacja pary wodnej są silnie zależne od temperatury powietrza. Spowolnione lub przyspieszone ogrzewanie powierzchni nad oceanem wpływa na to, w jakim stopniu powietrze może pochłaniać parę wodną (Wypych, 2018).

Parowanie to proces, w którym cząsteczki wody zmieniają stan skupienia z ciekłego na gazowy i trafiają do powietrza. W kontekście atmosferycznym, zachodzi ono głównie nad oceanami, ale także z gleby czy liści roślin. Cząsteczki o wyższej energii oddzielają się od cieczy, obniżając jej temperaturę, dlatego parowanie jest procesem chłodzącym. Kon-

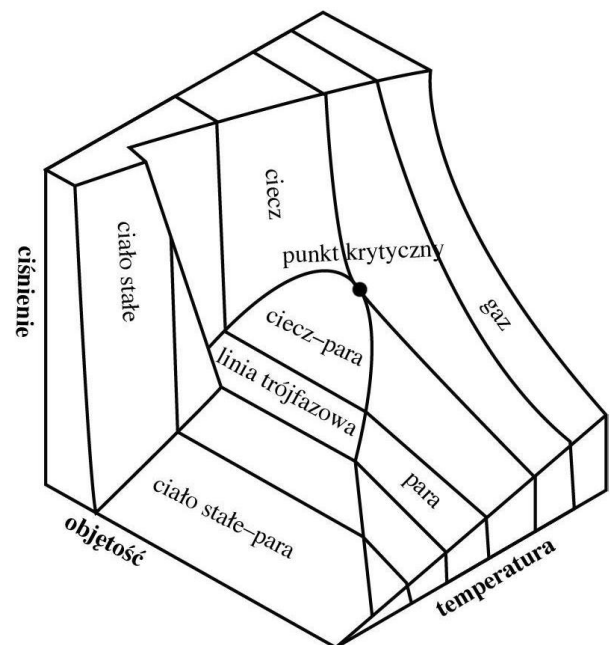
densacja, przeciwnie, ma charakter ogrzewający. Gdy cząsteczki pary wodnej zbliżają się do cieczy, zostają przez nią przyciągnięte, uwalniając energię i podnosząc temperaturę (Bohren i Albrecht, 1998). W atmosferze kondensacja często zachodzi na jądrach kondensacji, takich jak pyłki czy aerozole, wokół których formują się mikroskopijne krople wody, prowadząc do powstawania chmur czy mgieł.

Choć parowanie i kondensacja to procesy przeciwne, w przyrodzie często zachodzą jednocześnie, wzajemnie na siebie wpływając. Intensywność jednego z nich może w danym momencie dominować, jednak oba nieustannie regulują cykl wodny i ilość pary wodnej unoszącej się nad naszymi głowami. Warto podkreślić, że zdecydowana większość wilgoci odczuwanej na lądzie pochodzi z parowania oceanicznego i trafia na lądy dzięki poziomemu transportowi w atmosferze, uzupełnianemu przez lokalną ewapotranspirację. Możemy wyobrazić sobie dwa przeplatające się ruchy pary wodnej. Pionowe ruchy powstają w wyniku parowania i ewapotranspiracji, unoszą wilgoć ku górnym warstwom atmosfery. Poziome zaś przenoszą tę wilgoć znad oceanów nad lądy (Wypych, 2018).

## Wielkość – ilość – skład

Aby lepiej zrozumieć oraz zilustrować zależności między ciepłem a wodą, które determinują nasze życie na Ziemi, warto spojrzeć na tę relację w mikroskali. W zależności od temperatury, wilgotności powietrza, ciśnienia oraz objętości powietrza, a także obecności jąder kondensacji, woda zatrzymuje się w atmosferze w postaci cząsteczek i kropeł o różnych rozmiarach. Dodajmy, że granica między cieczą a parą wodną nie jest tak przejrzysta, jak mogłoby się wydawać. W atmosferze, na pozornej granicy między parą wodną

a cieczą, zachodzi gwałtowna, lecz stopniowa zmiana fazy. W wąskiej strefie przejściowej nie występuje ani typowa ciecz, ani para, lecz faza pośrednia. Choć ten stan jest często pomijany, odgrywa istotną rolę w procesach kondensacji i parowania w atmosferze (Bohren i Albrecht, 1998). Zależności między ciśnieniem, objętością właściwą i temperaturą wody ilustruje (Ryc. 1). W obszarach, w których substancja występuje w jednej fazie (ciało stałe, ciecz lub para), stan jest określony przez dowolne dwie właściwości.



Ryc. 1. Wykres P–v–T substancji, która rozszerza się podczas zamarzania  
(opracowanie własne na podstawie: Cengel i Boles, 1998)

Natomiast w obszarach, gdzie współistnieją dwie fazy, ciśnienie i temperatura są ze sobą powiązane. Zmiana jednej właściwości wymusza zmianę drugiej. Diagram pozwala więc wyraźnie zobaczyć, jak przejście między fazami jest stopniowe, co bezpośrednio odnosi się do obserwowanego w atmosferze stanu pośredniego. Na rycinie 1 wyróżnia się również punkt krytyczny, powyżej którego

nie da się odróżnić cieczy od pary, tworząc jednorodną fazę nadkrytyczną, mającą właściwości zarówno cieczy, jak i gazu. Istnieje także linia trójfazowa, wzdłuż której współistnieją jednocześnie trzy fazy: ciało stałe, ciecz i para.

Ciepłe powietrze jest lżejsze i zwykle wilgotne, dzięki czemu łatwiej unosi drobne cząstki i kropelki wody. Chłodne powietrze jest cięższe i często mniej wilgotne. W atmosferze spotykamy też masy suche, zawierające niewiele pary wodnej, oraz wilgotne, bogate w wodę. Różne kombinacje tych mas powietrza wpływają na transport wilgoci i powstawanie mgieł. Upraszczając nieco: w masie ciepłego powietrza lub gdy spotykają się dwie ciepłe masy o niewielkiej różnicy temperatur, proces kondensacji przebiega wolniej, przez co powstają zazwyczaj mniejsze krople. Natomiast gdy ciepła, wilgotna masa powietrza napotyka chłodniejsze powietrze, unosi się ku górze, ochładza i kondensacja zachodzi szybciej, prowadząc do powstania większych kropli. Zależności te wynikają ze wzajemnego oddziaływania temperatury, gęstości powietrza i jego wilgotności. Na podstawie dominującego rozmiaru kropelek możemy określić, z jakim rodzajem opadu atmosferycznego lub procesem kondensacji mamy do czynienia. Krople mgły mają średnicę od 1 do 40 mikronów, krople mżawki mieszczą się w zakresie 40 mikronów do 0,5 mm, krople deszczu mają od 0,5 do 5 mm, a krople większe niż 5 mm to już grad (Rewakowicz, 2021). Jeśli chodzi o kształt kropli, mniejsze krople pozostają kuliste dzięki napięciu powierzchniowemu (właściwości powierzchni cieczy, która sprawia, że zachowuje się ona tak, jakby była napiętą, elastyczną błoną (Britannica, 2025) oraz przepływowi powietrza wokół nich. Ich prędkość opadania jest stosunkowo niewielka w porównaniu z większymi kroplami. Większe krople, nabierając prędkości podczas opadania, ulegają spłaszczeniu od dołu,

zaokrąglając się u góry. Podczas opadania kropla deszczu często powiększa się, zderzając się z innymi, lecz gdy osiągnie zbyt dużą wielkość, rozpada się ponownie na mniejsze krople (NASA GPM, 2025). Inaczej wygląda proces wzrostu kropelek mgły. Ich rozmiar zwiększa się głównie przez ciągłą kondensację pary wodnej na ich powierzchni oraz przez czynniki wpływające na intensywność tego procesu. Istotną rolę odgrywają tu również zmiany ciśnienia i objętości powietrza. Spadek ciśnienia i rozszerzanie się objętości sprzyjają ochładzaniu powietrza, a tym samym kondensacji pary wodnej. Ze względu na niewielki rozmiar i niską prędkość opadania zderzenia między kroplami mgły są rzadkie.

Patrząc na ten rozkład globalnie, możemy zauważyć, że w dowolnym miejscu i czasie na Ziemi unoszą się cząsteczki wody w postaci pary oraz mikroskopijne krople, zawierające zarówno wodę słoną, jak i słodką. Co ciekawe, słodka woda, która jest niezbędna do naszego przetrwania, stanowi zaledwie 3,5% całkowitych zasobów wodnych Ziemi, a tylko 0,1% tej ilości występuje w postaci pary wodnej w atmosferze (Rewakowicz, 2021). Można więc stwierdzić, że różnorodność kropli i cząsteczek wody w atmosferze jest niezwykła. Różnią się nie tylko rozmiarem, ale także składem i potencjalnym zastosowaniem dla nas ludzi.

## Rosa a mgła

Procesy powstawania rosy i mgieł są fascynującymi zjawiskami, będącymi efektem kondensacji wilgoci w atmosferze. Mówiąc o kondensacji, ponownie skupiamy się nie tylko na zmianach temperatury, lecz także na zmianach ciśnienia i objętości powietrza. Powietrze musi zostać ochłodzone do temperatury, w której osiąga stan nasycenia. Stąd kluczowym pojęciem w kontekście powstawania rosy jest punkt rosy, czyli temperatura, przy której para wodna zawarta w powietrzu

zaczyna się skraplać, osadzając się na powierzchniach. Temperatury tych powierzchni muszą spaść do takich wartości, by proces kondensacji przeważał nad procesem parowania (Bohren i Albrecht, 1998). Gdy powietrze się wznosi, ciśnienie maleje, a objętość powietrza rośnie, prowadząc do jego rozprężenia i ochłodzenia. Jeśli temperatura spadnie poniżej punktu rosy dla danej wilgotności, może dojść do kondensacji pary wodnej w postaci rosy, mgły lub chmur.

Zarówno temperatura powietrza, jak i wynikający z niej punkt rosy, zmieniają się wraz z wysokością nad powierzchnią Ziemi. Rosa powstaje, gdy temperatura powierzchni spada poniżej punktu rosy powietrza znajdującego się bezpośrednio nad nią. Oznacza to, że strumień pary wodnej kierujący się ku powierzchni musi być większy niż strumień pary oddalający się od niej. Powstawanie rosy zachodzi więc najczęściej po ochłodzeniu radiacyjnym tych powierzchni. Podczas nocy ziemia oddaje ciepło nagromadzone w ciągu dnia przez promieniowanie słoneczne i atmosferyczne. Dlatego zjawisko rosy pojawia się najczęściej w godzinach wczesnoporannych lub po zachodzie słońca. Sprzyjają temu także bezchmurne noce i brak wiatru. W takich warunkach powietrze przy powierzchni ziemi ulega stopniowemu ochłodzeniu, a wraz ze spadkiem temperatury zmniejsza się jego objętość, co prowadzi do lokalnego wzrostu ciśnienia i sprzyja kondensacji pary wodnej. Gdy wschodzące lub zachodzące słońce oświetla pokrytą rosą powierzchnię, kropelki wody odbijają światło, tworząc delikatne, migotliwe refleksy. W podobnych warunkach powstaje mgła radiacyjna, która różni się tym, że kondensacja zachodzi bezpośrednio w powietrzu tuż nad powierzchnią ziemi, tworząc drobne krople wody zawieszone w powietrzu - na tyle duże, by nie wyparowały, a jednocześnie na tyle lekkie, by utrzymać się w zawieszeniu. Skumulowane, blisko siebie unoszące się krople tworzą rozległe, mgliste formy, czyli chmury

rozpościerające się tuż nad powierzchnią terenu lub taflą wody. Powstawanie mgły radiacyjnej zależy nie tylko od ochłodzenia powierzchni i spadku temperatury powietrza poniżej punktu rosy, ale także od szeregu innych czynników: wilgotności względnej powietrza, słabej prędkości wiatru, obecności odpowiednich powierzchni parujących oraz lokalnych źródeł wilgoci. Często mgły radiacyjne powstają na obszarach naturalnych, takich jak łąki, tereny podmokłe (w tym bagna) oraz obszary nad zbiornikami wodnymi, takimi jak rzeki i jeziora, gdzie intensywne parowanie terenowe oraz ewapotranspiracja roślinności dostarczają wilgoci do atmosfery. Nad wodami słodkimi, które szybciej się ochładzają, mgły radiacyjne mogą powstawać szybciej, natomiast nad wodami słonymi częściej obserwuje się mgły adwekcyjne, powstające wskutek kontaktu ciepłego, wilgotnego powietrza z chłodniejszą powierzchnią wody.

Procesy parowania i ewapotranspiracji są napędzane głównie energią dostarczaną przez promieniowanie słoneczne oraz dostępnością wody w glebie i zbiornikach wodnych. Roślinność, poprzez swój system korzeniowy, pobiera wodę z gleby i oddaje ją do atmosfery, co wpływa na lokalną wilgotność i mikroklimat. W ten sposób powstawanie mgły radiacyjnej jest efektem złożonej interakcji między wymianą ciepła i wilgoci na styku ziemi i atmosfery, przy czym naturalne ekosystemy, takie jak łąki czy bagna, stanowią idealne środowisko sprzyjające powstawaniu tego ulotnego zjawiska.

## Historia zbierania wody

Historia retencji wody, zarówno tej pojawiającej się w postaci deszczu, jak i tej zawieszonej w powietrzu, sięga naprawdę odległych czasów. W wielu cywilizacjach, np. Majów, Azteków, starożytnym Egipcie, Grecji czy Rzymie woda była traktowana z ogromnym

szacunkiem, a jej pozyskiwanie i magazynowanie stanowiło kluczowy element życia społecznego. Wiele tego typu rozwiązań opierało się na budowie zaawansowanych systemów irygacyjnych oraz infrastruktury umożliwiającej gromadzenie wody na dużej skale. Chciałabym jednak skupić się na metodach stosowanych przez społeczności żyjące z dala od naturalnych źródeł wody pitnej lub w miejscach o ograniczonych opadach, gdzie zbieranie wody odbywało się przy użyciu prostych narzędzi i technik dostępnych w gospodarstwach domowych. Pomijam tu także metody zbierania deszczówki, koncentrując się na pozyskiwaniu wody w postaci rosy i mgły.

Istnieją dowody na to, że ludzie wykorzystywali naturalne zjawisko kondensacji pary wodnej w regionach, gdzie była ona jedynym dostępnym źródłem wody. Działo się to często na terenach górskich i wyżynnych, gdzie dostęp do tradycyjnych źródeł wody był ograniczony, a naturalne procesy atmosferyczne odgrywały kluczową rolę. Wilgotne masy powietrza, często napływające znad oceanów, wznosząc się w górę, ochładzają się wraz ze wzrostem wysokości. Mgły oceaniczne powstają zwykle nad chłodniejszymi wodami, gdy ciepłe, wilgotne powietrze styka się z ich powierzchnią i ulega ochłodzeniu. Natomiast mgły lądowe, zwłaszcza w górach, tworzą się wskutek wznoszenia się tych wilgotnych mas nad teren o niższej temperaturze. W rezultacie para wodna kondensuje się w postaci drobnych kropelek unoszących się w powietrzu, tworząc mgłę lub rosę. To dlatego zwłaszcza społeczności wysokogórskie nauczyły się wykorzystywać skroploną wodę zgromadzoną na roślinach oraz w powietrzu. Wykorzystywano ją między innymi do zalesiania, w ogrodnictwie i rolnictwie. W górskich społecznościach Omanu podkładano pod drzewa oliwne cysterny, aby zbierać wodę spływającą z liści do celów domowych. Natomiast prehistoryczni

rdzenni mieszkańcy archipelagu Wysp Kanaryjskich wykorzystywali jałowce, wawrzyny oraz sosny, również umieszczając pod nimi naczynia do zbierania wody mgielnej (Rewakowicz, 2021, s. 21). Te przykłady świadczą o umiejętności obserwacji naturalnych zjawisk i wykorzystywania ich dla praktycznych celów w codziennym życiu.

## Inspiracja biomimikrą

Niektóre organizmy, zarówno zwierzęta, jak i rośliny, wykształciły specjalistyczne mechanizmy pozwalające im efektywnie pozyskiwać wodę nawet w ekstremalnie suchych środowiskach. Przykładem jest *chrząszcz puścynny Namib*, który dzięki hydrofilowym guzom i mikrorowkom na powierzchni swojego grzbietu kondensuje wodę, która następnie spływa prosto do jego otworu gębowego. Podobny sposób zbierania wilgoci wykorzystuje jaszczurka *Moloch horridus*, gromadząc drobne krople na swojej hydrofilowej skórze (Jarimii in., 2020). Świat nauki coraz intensywniej bada i naśladuje te zjawiska, aby rozwijać nowoczesne technologie umożliwiające efektywne pozyskiwanie wody zawartej w powietrzu.

Oprócz budowy ciała niektóre organizmy wykorzystują specjalne struktury do pozyskiwania wody. Przykładem jest pająk *Uloborus walckenaerius*, który zbiera wodę za pomocą swojej sieci. Kondensacja zachodzi dzięki unikalnej strukturze pajęczyny, złożonej z wrzecionowatych węzłów o szorstkiej powierzchni, połączonych z mniej chropowatymi odcinkami nici (Jarimi i in., 2020).

Rośliny również wykształciły mechanizmy umożliwiające pozyskiwanie wody w trudnych warunkach. Endemiczna trawa pustyni Namib, *Stipagrostis sabulicola*, przystosowała się do surowego klimatu dzięki liściom o hydrofilowej powierzchni oraz nieregularnej budowie, wzbogaconej o kolczaste włoski

i warstwę wosku. Podobnie włoski powierzchniowe japońskiej rośliny *Lychnis sieboldii* zmieniają swój kształt w kontakcie z wodą, przyjmując formę stożkowatą, gdy są mokre, i skręcając się w suchych warunkach, co sprzyja specyficznemu mechanizmowi zbierania wody. Mech pustynny *Syntrichia caninervis*, w podobny sposób, potrafi przetrwać w ekstremalnych warunkach Wielkiej Kotliny w USA oraz na pustyni Gobi w Chinach, wykorzystując zdolność kondensowania wody na swoich włoskach (Jarimi i in., 2020).

Wymienione wyżej organizmy wykształciły niezwykle precyzyjne mechanizmy pozyskiwania wody, oparte na mikroskopijnych strukturach, takich jak włoski, szczeliny, nierówności czy chropowatości powierzchni, które umożliwiają skuteczne zatrzymywanie i kondensację wilgoci. Adaptacje te stały się przedmiotem badań naukowych, a płynące z nich wnioski zainspirowały opracowanie narzędzi i technologii umożliwiających zbieranie wody z mgieł i rosy. To zjawisko jest nie tylko fascynujące i piękne, a zarazem wyjątkowo subtelne i trudne do dostrzeżenia.

## Współczesne rozwiązania

Choć próby pozyskiwania wody z powietrza sięgają odległej przeszłości, to właśnie na początku XX wieku temat ten zaczął być podejmowany w sposób bardziej systematyczny i naukowy. Przełom nastąpił jednak dopiero w latach 60., gdy Carlos Espinosa Arancibia, student fizyki z Katolickiego Uniwersytetu w Antofagastie w Chile, zaczął testować różne konstrukcje siatek zbierających wodę z mgły na dotkniętych suszą wzgórzach otaczających miasto. W 1963 roku uzyskał patent na opracowaną przez siebie metodę budowy siatek, który następnie przekazał UNESCO, przyczyniając się do upowszechnienia tej techniki (Rewakowicz, 2021). Wiedząc jak ważna jest mgła dla lokalnego

ekosystemu, jeszcze przed uzyskaniem patentu, zasadził na wzgórzu w pobliżu El Tofo cyprys. Drzewo to przetrwało jedynie dzięki wodzie pochodzącej z kondensacji mgły, a z czasem stworzyło wokół siebie mikroświat sprzyjający rozwojowi innych roślin. Ten akt miał niemal intuicyjny charakter – był powrotem do pierwotnej, instynktownej relacji człowieka z wodą i krajobrazem, podobnej do tej, jaką kultywowały wcześniejsze społeczności.

Działania Arancibi zwiększyły zainteresowanie technologiami zbierania wody z mgły, zwłaszcza metodą impakcji. Mikrokropelki unoszące się w powietrzu uderzają w siatkę, kondensują się na niej, łączą w większe krople i spływają do rynny, a następnie do zbiornika. Tego rodzaju system składa się zazwyczaj z trzech wcześniej wymienionych podstawowych elementów: siatki, ramy oraz pojemnika na zebraną wodę. Technologia ta najlepiej sprawdza się w miejscach, gdzie masy pary wodnej (w postaci mgły) są regularnie przenoszone przez wiatr, często z kierunku oceanu, i napotykają na przeszkody terenowe, takie jak wzgórza czy klify. To właśnie w takich miejscach napływająca mgła ulega zagęszczeniu, co zwiększa jej wilgotność i umożliwia skuteczniejsze wyłapywanie wody. W kolejnych dekadach rozwój tej technologii koncentrował się na zwiększaniu efektywności materiałów i konstrukcji. Zespoły badawcze z Massachusetts Institute of Technology, Harvardu, Uniwersytetu w Cambridge oraz niemieckiej organizacji Wasserstiftung wprowadzały kolejne innowacje: od powłok hydrofobowych i nanostruktur, po bioinspirowane układy mikrowłókien (Rewakowicz, 2021). Każde z tych udoskonaleń miało na celu poprawę kondensacji oraz bardziej efektywne przechwytywanie wody.

Interesującą alternatywę, szczególnie w kontekście pozyskiwania wody nie tylko z mgły, lecz także z rosy i deszczówki, stanowi projekt *Warka Water*, opracowany

przez włoskich projektantów Arturo Vittorio i Andreasa Voglera. Zainspirowani symbolicznym drzewem Warka, miejscem spotkań społeczności Dorze w Etiopii, zaprojektowali wysoką, ażurową strukturę z lokalnego bambusa i specjalnej siatki, zdolną do codziennego zbierania nawet 100 litrów wody z atmosfery (Rewakowicz, 2021). Projekt ten łączy lokalne zasoby z bioinspirowanym designem, tworząc samowystarczalne i estetycznie wpisujące się w krajobraz rozwiązanie technologiczne, osadzone w tradycji i potrzebach lokalnej społeczności.

## Zakończenie. Co dalej?

To niezwykle, jak daleko potrafi nas zaprowadzić potrzeba, ciekawość i twórcza wyobraźnia. Dzięki nim powstają coraz bardziej wydajne techniki odzyskiwania wody z samego powietrza - z mgły, rosy, deszczówki. Rozwiązania te wyrastają nie tylko z wiedzy naukowej, ale i z głębokiego wsłuchania się w rytmy środowiska i być może właśnie dlatego mają szansę stać się częścią zrównoważonej przyszłości. Problemy związane z deficytem wody, zwłaszcza słodkiej, skłaniają nas do poszukiwania alternatywnych źródeł, które nie wymagają dużych nakładów energetycznych. Oprócz badań, powinniśmy skupić się na dokładniejszej obserwacji otaczających nas terenów, ponieważ również w mniej oczywistych rejonach, nie tylko w pobliżu oceanów, może kryć się potencjał do pozyskiwania wody. Choć analiza cyklu hydrologicznego i lokalnych przepływów powietrza pozwala trafniej określać, gdzie i jak pozyskiwać wodę z atmosfery, to jednak tylko jedna z wielu perspektyw w poszukiwaniu skutecznych rozwiązań. Równie ważne jest uświadomienie sobie, jak zjawiska związane z parą wodną i energią cieplną wpływają na nasze codzienne funkcjonowanie,

nie tylko poprzez kształtowanie klimatu i warunków atmosferycznych, ale również przez regulowanie warunków termicznych, które odbieramy cieleśnie: przez skórę, oddech i rytm naszego ciała. Ilość wilgoci w powietrzu, niewielkie różnice temperatur, zmiany ciśnienia i objętości czy ruchy powietrza. Wszystko to oddziałuje na nasze poczucie komfortu. Te mikroprocesy są na tyle powszechne i codzienne, że łatwo przechodzą niezauważone, choć bezpośrednio nas dotyczą. Ich zrozumienie, zarówno poprzez naukę, jak i uważne doświadczanie przyrody, może pomóc nam na nowo połączyć się z naturą. Obserwując zjawiska kondensacji na liściach czy na strukturze pajęczej nici, możemy dostrzec analogie w większej skali, takie jak systemy atmosferyczne czy cykle wody. I choć wiele z tych zjawisk nadal pozostaje poza naszym pełnym rozpoznaniem, sama chęć ich śledzenia i opisywania jest niezwykle cenną wartością.

## O projekcie

Przemyślenia zawarte w tym eseju stały się punktem wyjścia dla mojego projektu dyplomowego *Łapacz Mgieł* oraz towarzyszącej mu graficznej interpretacji zjawiska mgły za tytułowanej *Widma Mgieł*. W ramach pracy nad projektem podjęłam próbę pozyskiwania wody z mgieł radiacyjnych pojawiających się na terenach bagiennych w okolicach Biebrzańskiego Parku Narodowego. Samodzielnie stworzyłam siatki, wykorzystując różne sploty techniki sprang - jednej z najstarszych znanych metod tkania, stosowanej już w epoce brązu. Poniżej załączam dokumentację fotograficzną procesu (Ryc. 2, Ryc. 3, Ryc. 4, Ryc. 5, Ryc. 6.), który mam nadzieję stanie się zaproszeniem do osobistego odkrywania zjawisk i procesów opisanych w tym eseju.



Ryc. 2. Łapacz mgieł – autorskie zdjęcie projektu



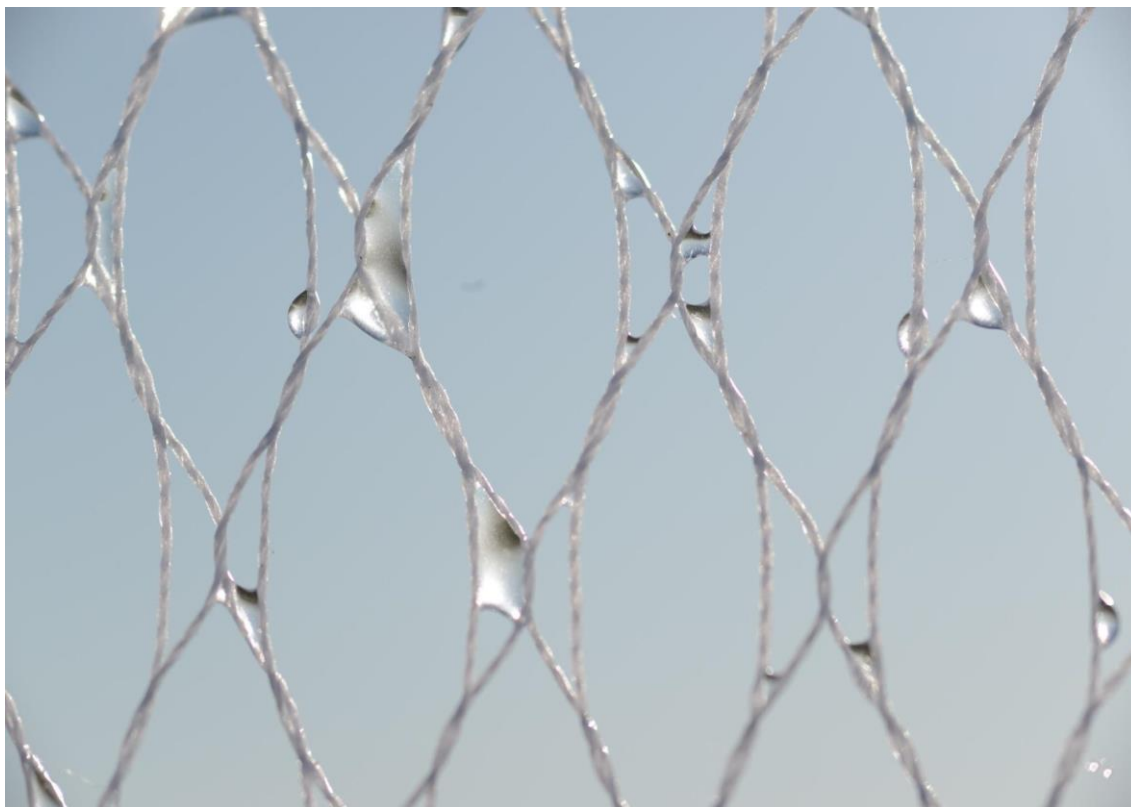
Ryc. 3. Łapacz mgieł – autorskie zdjęcie projektu



Ryc.4. Łapacz mgieł – autorskie zdjęcie projektu



Ryc. 5. Łapacz mgieł – autorskie zdjęcie projektu



Ryc. 6. Łapacz mgieł – autorskie zdjęcie projektu

## Literatura:

- Bohren, C.F., Albrecht, B.A., (1998). *Atmospheric Thermodynamics*. Oxford: Oxford University Press, pp. 35
- Jarimi, H., Powell, R., Riffat, S., (2020). Review of Sustainable Methods for Atmospheric Water Harvesting. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 134, s. 9–11.
- Rewakowicz, A.E., (2021). *Foggy Pursuit of Ethical Response-Ability: Art and Science of Collecting Water from Fog*. Praca doktorska, Institut Polytechnique de Paris, École doctorale n°626 – Sciences des arts, École Polytechnique, pp. 342.
- Wypych, A., (2018). *Para wodna w troposferze nad Europą*. Kraków: Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Jagielloński, ISBN 978-83-64089-42-8, pp. 197.
- Yau, M.K., Rogers, R.R., (1989). *A Short Course in Cloud Physics*. Oxford: Pergamon Press, pp.304

## Źródła internetowe:

- Britannica, (2025). *Capillarity*.  
<https://www.britannica.com/science/capillarity> [dostęp: 5.05.2025]
- NASA Global Precipitation Measurement (GPM), (2025). *The Shape of a Raindrop*.  
<https://gpm.nasa.gov/education/articles/shape-of-a-raindrop> [dostęp: 5.05. 2025]

**Notka o autorce:** Zuzanna Kuglasz ukończyła Akademię Sztuk Pięknych w Warszawie na Wydziale Grafiki, specjalizując się w Multi-mediach. Łączy procesy analogowe i cyfrowe, eksperymentując z obrazem i technologią. Inspiruje ją natura, zwłaszcza woda, a w swoich pracach bada relacje człowieka z przyrodą, łącząc sztukę i naukę.

## Krótką historia węgla

Agnieszka Szostok

Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki

E-mail: [a.a.szostok@gmail.com](mailto:a.a.szostok@gmail.com)

tutorzy: dr Karolina Sobecka<sup>a</sup>, mgr Michał Piasecki<sup>b</sup>

<sup>a</sup>University of Applied Sciences and Arts Northwestern Switzerland, Academy of Art and Design

<sup>b</sup>Uniwersytet Warszawski, Instytut Kultury Polskiej

*Słowa kluczowe: węgiel, cykl, obieg, zmiana klimatu, symbiocen*

*Węgiel jako pierwiastek odgrywa kluczową rolę w funkcjonowaniu naszej planety. Prześledzimy drogę jak jego atomy powstawały miliardy lat temu, brały udział w powstaniu Ziemi oraz stanowiły podstawę życia na naszej planecie. Naturalny obieg węgla w przyrodzie kształtował się przez miliony lat, regulując klimat i ekosystemy. Wszystko zmieniło się wraz z nadejściem epoki industrialnej. Spalanie paliw kopalnych i inne przeobrażenia będące udziałem cywilizacji całkowicie zmieniły cykl węgla w przyrodzie i wywarły wpływ na każdy element funkcjonowania planety. Kilka kart z historii węgla pozwala prześledzić przeszłość Ziemi i zerknąć w scenariusze zmian.*

### Ciepło – pojęcie pełne znaczeń

Myśląc o cieple, w głowie pojawiają się różnorodne obrazy – ciepło rodzinnego domu, promienie słońca w letni dzień, żar ogniska.

Współcześnie „ciepło” to już nie tylko indywidualne doświadczenie – to również temat globalnej rozmowy. Wiele się słyszy o zmianach klimatu, roli gazów cieplarnianych oraz paliwach kopalnych. Za wymienionymi tematami kryje się niepozorna cząsteczka węgla. Pierwiastek chemiczny o symbolu C i liczbie atomowej 6 ma niebywałe znaczenie dla losów naszej planety i nas samych. Może być jednocześnie najtwardszym znanym materiałem – diamentem, jak i miękkim wypełnieniem ołówków – grafitem. Oprócz tych najbardziej znanych występuje w wielu innych odmianach alotropowych, takich jak grafen, fulereny, nanorurki czy karbin, przybierając przy każdej z nich inne fascynujące właściwości. A co najistotniejsze z naszej perspektywy stanowi podstawowy budulec życia na Ziemi (Lide, 2007).

### Narodziny węgla

W pierwszych minutach istnienia Wszechświata powstały przede wszystkim lekkie pierwiastki tj. H, He, Li, Be. Natomiast węgiel powstał w masywnych gwiazdach drugiej generacji w procesie zwanym „Potrójnym procesem  $\alpha$ ”, gdzie z trzech jąder helu  $4\text{He}$  powstaje jedno jądro węgla  $12\text{C}$ . Gdy takie gwiazdy umierały gwałtowną, spektakularną

eksplozją wyprodukowany w nich węgiel był wyrzucany w przestrzeń kosmiczną. Częsteczki pochodzące z takich eksplozji stworzyły obłoki gazów i pyłu będące zaczątkiem mgławic pyłowych, z których zrodziły się nowe gwiazdy. Około 4,6 miliarda lat temu z takiej mgławicy powstał Układ Słoneczny (Lodders, 2003). W trakcie formowania planet materia z mgławicy zaczęła się skupiać w zarodki planet. Węgiel uległ uwięzieniu w jądrze i płaszczu Ziemi w postaci rozpuszczonych związków C, a także w skałach płaszczu i skorupy ziemskiej. Część węgla została wydobyta na powierzchnię przez wulkanizm, głównie jako dwutlenek węgla, który trafił do pierwotnej atmosfery Ziemi (Dasgupta, 2013). Niektóre związki węgla, szczególnie złożone cząsteczki organiczne (np. aminokwasy), mogły zostać dostarczone na młodą Ziemię przez meteoryty i komety (Martins, 2008).

## Fundament życia: węgiel

Historia węgla na Ziemi otworzyła nowy rozdział wraz z rozwojem życia. Najstarsza znana ziemska materia pochodzenia biogenicznego to grafit w przeobrażonych skałach osadowych z zachodniej Grenlandii, która datowana jest na 3,7 miliarda lat (Ohtomo i in., 2014). Węgiel tworzy cztery silne wiązania kowalencyjne, co pozwala mu łączyć się z innymi atomami (H, O, N, S, P) w złożone, stabilne struktury. Dzięki temu może tworzyć łańcuchy, pierścienie, rozgałęzienia, będące podstawami aminokwasów, cukrów, lipidów oraz kwasów nukleinowych (DNA, RNA) (Alberts, 2014). Węgiel jest dosłownie wdrukowany w nasze DNA. Żaden inny pierwiastek nie dorównuje węglowi różnorodnością i elastycznością wiązań przy zachowaniu stabilności cząsteczek (Smith, Morowitz, 2016). W eksperymentach (np. Miller-Urey, 1953)

pokazano, że z mieszaniny prostych gazów zawierających węgiel ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ) mogą powstawać aminokwasy i inne związki życia (Miller, 1953). Węgiel umożliwił powstanie tzw. pierwszych układów samopowielających się (hipoteza RNA) (Orgel, 2004).

Węgiel stanowił zatem zaczyn życia na naszej planecie i stanowi po dziś dzień jej szkielet, co najwyraźniej widać analizując jego cykl w przyrodzie. Cykl biogechemiczny węgla opisuje obieg atomów węgla pomiędzy atmosferą, hydrosferą, biosferą i litosferą. Zaczniemy od fotosyntezy. Rośliny, glony i cyjanobakterie pobierają dwutlenek węgla z atmosfery i wykorzystując energię słoneczną przekształcają go w związki organiczne np. glukozę (wzór sumaryczny glukozy to  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ). Węgiel trafia więc do biomasy. Następnie kolejne organizmy np. zwierzęta rozkładają materię organiczną w procesie oddychania komórkowego, którego produktami są m.in. energia i dwutlenek węgla. Część węgla wraca więc do atmosfery, natomiast część jest wbudowywana w ciała kolejnych organizmów łańcucha pokarmowego. Węgiel może zostać przekształcony w ciało danego organizmu (np. konsumenta), lub zostać martwą materią organiczną i w końcu trafić do wody, gleby lub atmosfery. Następnie martwa materia organiczna może być wykorzystana przez detrytosożerców<sup>1</sup> lub w inny sposób ulec rozkładowi do substancji nieorganicznych. Ilość rozłożonej martwej materii organicznej zależy od ekosystemu (Alberts, 2014). W większości gleb uwalnianie węgla do atmosfery równoważy jego coroczne odkładanie. Wyjątkiem są torfowiska, na których ze względu na wysoki poziom wód gruntowych nie ma dostępu powietrza do głębszych warstw gleby. W takich warunkach część obumarłej

---

<sup>1</sup> detrytosożercy to organizmy odżywiające się nierozłożoną, martwą materią organiczną tzw. detrytusem

materii się nie rozkłada, tylko akumuluje powodując odkładanie pokładów torfu (Dunne, 2021).

## Martwa materia i geologiczna historia węgla

Proces detrytus obumarłych roślin, zwierząt, mikroorganizmów zmieniał się znacznie w różnych epokach geologicznych Ziemi. Zależał różnorodnie w zależności od składu atmosfery, obecności lub braku organizmów rozkładających czy warunków klimatycznych. Archaik i wczesny proterozoik (4,0–2,0 mld lat temu) to okres atmosfery beztlenowej i dominacja fermentacji beztlenowej, co sprawiło, że materia organiczna rozkładała się powoli i częściowo ulegała sedymentacji w osadach, tworząc prekursorzy ropy i łupków bitumicznych (Canfield, 2005).

Kolejnym ciekawym pod tym względem okresem w dziejach Ziemi był karbon trwający ok. 359–299 mln lat temu. Planetę pokrywała bujna roślinność. Dominowały widłaki, skrzypy i paprocie, często o pokrojach drzewiastych. Kluczowym budulcem tych roślin była lignina, która umożliwiła roślinom „podbicie” ładu i osiągnięcie dużych rozmiarów. Lignina wbudowana w ściany komórkowe nadaje twardość oraz odporność na zginanie. Umożliwiło to ewolucję drzew i złożonych lasów oraz odegrało kluczową rolę w ewolucji ekosystemów lądowych. Rośliny „wynały” ligninę... tymczasem „dział” odpowiedzialny za „rozkładanie materii organicznej” niejako „zaspał”. W okresie karbonu bakterie i grzyby nie potrafiły jeszcze efektywnie rozkładać ligniny. Brakowało enzymów takich jak ligninazy i peroksydazy manganowe, które pojawiły się znacznie później. Tak, więc, martwa biomasa bogata w ligninę nie ulegała rozkładowi, gromadziła się w bagniskach i tworzyła pokłady węgla kamiennego (Floudas, 2012). Dopiero w późnym karbonie do permu (około 290 mln lat temu)

pojawiły się grzyby białozgnilne, które położyły kres tak masowej ilości powstających torfowisk i pokładów węgla (Eastwood, 2011) (Gadd, 2007).

## Węgiel w ruchu: oceany, wulkany i skały

Cykl węgla to nie tylko organizmy żywe. To także wulkanizm, wietrzenie skał, subdukcja i metamorfiz (węgiel z osadów może być ponownie uwalniany do atmosfery podczas przemian skał). Ważnym elementem są także oceany. Pochłaniają dwutlenek węgla z atmosfery. Prądy morskie natomiast transportują węgiel między warstwami wody, np. Z powierzchni do głębin. W atmosferze zachodzą reakcje fotochemiczne z udziałem promieniowania słonecznego, a gleba stanowi ogromny magazyn węgla (Schlesinger i Bernhardt, 2013).

Niedawno (biorąc za skalę długość życia naszej planety) na scenę cyklu dwutlenku węgla wdarł się jeszcze jeden aktor – człowiek, zakłócając cykl węgla w przyrodzie. Ludzkość stworzyła własny „podcykl” węgla opierający się na spalaniu paliw kopalnych. Nastąpiło „uaktywnianie” tej części węgla, która pozostawała poza cyklem (zgromadzona pod powierzchnią Ziemi). Drugą składową naszego „podcyklu” to blokowanie przyrody w wychwytywaniu dwutlenku węgla, polegające na przykład na wylesianiu i degradacji lasów, zmianie użytkowania ziemi, urbanizacji oraz trwałe pokrywanie gruntu materiałami nieprzepuszczalnymi, jak beton czy asfalt [1]. To nowy trybik dodany do węglowego zegara. Nowy element zmienia jednak tryb całego mechanizmu, a przez to wpływa na każdy element planety. Warto więc przyjrzeć się temu, co zaburzenie cyklu węgla oznacza dla niektórych z nich...

## ... dla Ziemi jako planety

Nowy „trybik” w cyklu węgla istotnie wpływa na funkcjonowanie całej planety jako systemu powiązanych ze sobą zjawisk. Najszerzej omawianym zjawiskiem są zmiany klimatu. Więcej węgla w atmosferze (w formie CO<sub>2</sub>) oznacza ocieplenie, topnienie lodowców, mniej białych powierzchni odbijających światło słoneczne, a więcej skał lub innych powierzchni nagrzewających się pod jego wpływem, a co za tym idzie jeszcze większe ocieplenie planety. To przykład dodatniego sprzężenia zwrotnego. Jak w efekcie domino – nowy trybik w cyklu węgla pchnął jedną kostkę, a ona kolejne. Istnieją także ujemne sprzężenia zwrotne, powodujące obniżenie temperatury. Pozostając przy metaforze domino, warto podkreślić, że nie wiemy, w jaki wzór układają się kostki, co więcej, nie wiemy, jak będą na siebie wpływać. Wiemy jednak, że sprzężenia są nieliniowe – mała zmiana może prowadzić do dużej reakcji systemu. Wiele ze sprzężeń zwrotnych jest słabo poznanych lub trudnych do modelowania, a w najgorszym scenariuszu mogą prowadzić do tzw. punktów krytycznych. Są to granice, po przekroczeniu których analizowany element np. system klimatyczny zaczyna się gwałtownie i często nieodwracalnie zmieniać [1] (Steffen i in., 2018). To jak przewrócenie domina: wystarczy lekki impuls, a cały łańcuch rusza sam i nie da się go już zatrzymać. Dla planety jako systemu nowy trybik w mechanizmie oznacza więc popchniecie w stronę, której nie jesteśmy w stanie przewidzieć.

## ... dla życia na Ziemi

Zaburzenie równowagi systemu planety oznacza konsekwencje dla biosfery. Życie na naszej planecie mogło powstać i się rozwijać właśnie dzięki przyjaznemu i stabilnemu klimatowi. Obecne tempo jego zmian, zakwa-

szczenia oceanów, utraty siedlisk i wzrost stężenia zanieczyszczeń prowadzi do masowego wymierania. Warto podkreślić, że jest to szósta taka okoliczność w historii Ziemi. Pięć poprzednich razy biosfera zdołała wyjść z bezpośredniego zagrożenia zagładą, więc prawdopodobnie i tym razem przetrwa. Za każdym poprzednim razem większość gatunków wymierała i życie odradzało się w innej odsłonie. Wielkie wymierania szczególnie dotkliwie dotyczą organizmy z wyższego rzędu troficznego. Dzieje się tak dlatego, że drapieżniki wyższego rzędu są silnie zależne od stabilności całego ekosystemu i potrzebują dużych ilości energii oraz rozbudowanej sieci pokarmowej, która łatwo się załamuje przy zaburzeniach u podstaw (Barnosky, 2011). Przy obecnym wielkim wymieraniu na samym szczycie łańcucha pokarmowego jest człowiek, więc scenariusz może nie być dla nas zbyt łaskawy a dla życia jako fenomenu...

Gdy życie masowo ginie, zaczyna się proces reorganizacji biosfery. Pojawiają się nowe formy życia – często bardziej odporne, inaczej wyspecjalizowane, lepiej przystosowane do nowych warunków, a także... nowe czuby łańcuchów pokarmowych. Po każdym wielkim wymieraniu biosfera „odzyskuje równowagę”, ale na nowo – z nowymi gatunkami, ekosystemami, klimatem (Ceballos i in., 2015). Tak więc życie na Ziemi już przeżywało masowe katastrofy, i pewnie przetrwa także obecny kryzys, ale może już bez nas na pokładzie. Tak, więc nowy trybik w cyklu węgla dla życia na Ziemi oznacza zmiany, być może katastrofalne, gdzie człowiek i ważne dla niego gatunki już niekoniecznie odegrają główne role.

## ... dla cywilizacji i gatunku człowieka

Teraz oderwijmy się na chwilę od biologii i ekosystemu. Wyobraźmy sobie, że nie podlegamy takim samym prawom jak inne istoty. Bo to właśnie umożliwił nam ów „podcykl” węgla. Znaleźliśmy się w śnie poza prawami

natury. Spalanie materii życia z dawnych epok – węgla, ropy, gazu – pozwoliło człowiekowi wymknąć się poza krepujące ramy ekosystemu. Wszystko zaczęło się od epoki przemysłowej – spalanie węgla i innych paliw kopalnych pozwoliło uwolnić energię zakumulowaną przez miliony lat. Poprzednie cywilizacje żyły tylko dzięki energii słońca, która docierała w trakcie ich życia, my dokopaliliśmy się, dosłownie, do energii, która trafiła na Ziemię przed milionami lat i została wbudowana przez dawne organizmy w swoje ciała. Nauka i technologia zaczęły rosnać wykładniczo. Wkroczyliśmy w epokę poznawania DNA, eksploracji kosmosu i tworzenia Internetu, sztucznej inteligencji. Nastąpiła eksplozja populacji i globalizacja. Dzięki taniej energii powstały globalne miasta, transport, medycyna, podwoiła się długość życia (Smil, 2017). Dla cywilizacji nastąpił niewyobrażalny skok w wielu aspektach, ale nowy trybik w cyklu węglowym przyniósł także załamanie w kwestiach społecznych i środowiskowych. Wydaje się, że nasza cywilizacja jest jak olbrzym naszpikowany technologią (zgodnie z prawami postępu), stojący jednak na glinianych nogach. Jedna to społeczność, które wydaje się nieprzygotowane do ciężaru, które przynoszą nowe technologie. Druga to środowisko. Nadal jesteśmy zależni od Ziemi, jedyne miejsce w znanym nam obecnie wszechświecie, gdzie możemy żyć (Steffen i in., 2015). A mimo to beztrąsko traktujemy granice jej wytrzymałości.

Namysł nad tym, co przemiany w cyklu węgla oznaczają dla cywilizacji i gatunku *Homo sapiens* moglibyśmy jeszcze długo kontynuować. Eksplozja cywilizacji wprowadziła wiele przełomów i otworzyła mnóstwo furtek. Świat przyspieszył. Epoki, które kiedyś trwały setki lat, zaczęły następować po sobie dekada po dekadzie. Paliwa kopalne pozwoliły zintensyfikować rozwój ludzkości. Warto jednak wrócić do głównego wątku: procesy, które uruchomiliśmy w kontekście przemian

węgla podlegają prawom głównego cyklu węgla. Chodzi o to, że paliwa kopalne się skończą, a być może nasze funkcjonowanie na Ziemi zostanie „zweryfikowane” w momencie uruchomienia punktów krytycznych. Nie jesteśmy samowystarczalni, w krytyczny sposób zależąc od wielu innych istot – nie tylko naszego gatunku, ale także wielu stworzeń pozaludzkich. Zrozumienie tego prowadzi do idei symbiocenu – epoki wzajemnych powiązań i współistnienia, w której człowiek nie stawia się ponad naturą, lecz uznaje się za jej część. W symbiocenie każda forma życia, niezależnie od gatunku, uznawana jest za współtwórcę wspólnego świata – sieci powiązań, w której dobrostan jednych zależy od dobrostanu wszystkich.

Zaburzenie cyklu węgla oznacza, więc, dla cywilizacji i gatunku ludzkiego tyle, że pomimo tymczasowych sukcesów cywilizacyjnych koniec końców podlegamy prawom, które rządzą planetą od milionów lat.

## ...na jednostki

To wszystko wydaje się tak dalekie i niewyobrażalne – system klimatyczny, dzieje życia na Ziemi, nawet cywilizacja. Warto wrócić na chwilę do czegoś namacalnego i bliskiego. Spójrzeć z Własnej perspektywy. Rozjrzyjmy się i wyobraźmy sobie, że każdy przedmiot na który patrzymy znika, jeśli jest w jakimś stopniu powiązany z paliwami kopalnymi. Pierwsze pewnie znikają rzeczy z tworzyw sztucznych, pochodne ropy naftowej. Dalej metal i szkło, przecież żeby je przetopić trzeba wykorzystać odpowiednie paliwo. A rzeczy z drewna? Gdzieś musiano ściąć drzewo i je przetransportować. Nagle świat staje się nagi... tak jak my – w końcu ubrania to suma przebytych kilometrów, często z drugiego końca świata, a tkaniny zresztą nierzadko zawierają domieszki sztucznych materiałów. Nawet wzięcie kęsa do ust (żywność to nawozy sztuczne, transport, chłodnie i opakowania) czy łyka wody

(z plastikowej butelki czy wody z kranu, która przepłynęła kilometrami polietylenowych rur) nie może obejść się bez wykorzystania paliw kopanych. (Yergin, 2011).

Podejdźmy jeszcze bliżej. Spójrzmy na nasze ciało. Węgiel stanowi około 18% masy ciała człowieka (Davey, 2023). Przy wadze 70 kg daje to około 12,6 kg tego pierwiastka. Obecnie może troszkę więcej bo każdy z nas doprawiony jest szczyptą mikroplastiku (Myridakis, 2025). Węgiel to nie tylko kilogramy budulca stanowiącego nasz organizm, to też przepis na to jacy jesteśmy. Nasz kolor oczu, grupa krwi, cechy twarzy – to wszystko koduje węgiel wraz z innymi pierwiastkami w DNA. To instrukcja budowy i działania organizmu. Ważąc ok. 70 kg zawieramy ponad 600 kwadrylionów miliardów atomów węgla. A każdy z tych atomów powstał miliardy lat temu, w procesach opisanych powyżej.

## Literatura:

- Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Morgan, D., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2014). *Molecular Biology of the Cell* (6th ed.). Garland Science.
- Barnosky, A. D., et al. (2011). Has the Earth's sixth mass extinction already arrived? *Nature*, 471, 51–57. DOI: 10.1038/nature09678.
- Canfield, D. E. (2005). The early history of atmospheric oxygen: homage to Robert M. Garrels. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 33, 1–36.
- Dasgupta, R. (2013). Ingassing, storage, and outgassing of terrestrial carbon through geologic time. *Geochemical Perspectives*, 2(3), 379–407, DOI:10.2138/rmg.2013.75.7
- Davey, R. (n.d.). What chemical elements are found in the human body? News-Medical.net. <https://www.news-medical.net/life-sciences/What-Chemical-Elements-are-Found-in-the-Human-Body.aspx> [dostęp: 2021.05.19].
- Eastwood, D. C. et al. (2011). The plant cell wall-decomposing machinery underlies the functional diversity of forest fungi. *Science*, 333(6043), 762–765. DOI: 10.1126/science.1205411
- Floudas, D. et al. (2012). The Paleozoic origin of enzymatic lignin decomposition reconstructed from 31 fungal genomes. *Science*, 336(6089), 1715–1719. DOI: 10.1126/science.1221748
- Gadd, G. M. (2007). Geomycology: biogeochemical transformations of rocks, minerals, metals and radionuclides by fungi, bioweathering and bioremediation. *Mycological Research*, 111(1), 3–49. DOI: 10.1016/j.mycres.2006.12.001
- Lide D. R. (2007), *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, wyd. 88, Boca Raton: CRC Press, s. 4–56, ISBN 978-0-8493-0488-0
- Lodders, K. (2003). Solar System Abundances and Condensation Temperatures of the Elements. *The Astrophysical Journal*, 591, 1220–1247. DOI 10.1086/375492
- Martins, Z. et al. (2008). Organic chemistry of carbonaceous meteorites. *Space Science Reviews*, 138(1), 331–348. DOI:10.2113/gselements.7.1.35
- Miller, S. L. (1953). Production of Amino Acids Under Possible Primitive Earth Conditions. *Science*, 117(3046), 528–529. DOI: 10.1126/science.117.3046.528
- Myridakis, A. (2025). Microplastics have made it into our brains. Should we be worried? The Times. <https://www.thetimes.co.uk/article/microplastics-in-brain-should-we-worry-fv7pbk6qx> [dostęp: 2021.05.19]
- Ohtomo, Y., Takegawa, T., Ishida, A., Nagase, T. (2014). Evidence for biogenic graphite in early Archaean Isua metasedimentary rocks. „*Nature Geosci*”. 7 (1), s. 25–28, DOI: 10.1038/ngeo2025

- Orgel, L. E. (2004). Prebiotic chemistry and the origin of the RNA world. *Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology*, 39(2), 99–123. DOI: 10.1080/10409230490460765.
- Schlesinger, W. H., & Bernhardt, E. S. (2013). *Biogeochemistry: An analysis of global change* (3rd ed.). Academic Press.
- Smil, V. (2017). *Energy and Civilization: A History*. MIT Press. ISBN: 9780262536165
- Smith, E., & Morowitz, H. J. (2016). The Origin and Nature of Life on Earth: *The Emergence of the Fourth Geosphere*. Cambridge University Press.
- Steffen, W., Broadgate, W., Deutsch, L., Gaffney, O., & Ludwig, C. (2015). "The trajectory of the Anthropocene: The Great Acceleration." *The Anthropocene Review*, 2(1), 81–98. DOI:10.1177/2053019614564785
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., ... & Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223), 1259855. DOI: 10.1126/science.1259855.
- Steffen, W., Rockström, J., Richardson, K., *et al.* (2018). Trajectories of the Earth System in the Anthropocene. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(33), 8252–8259. DOI: 10.1073/pnas.1810141115.
- Yergin, D. (2011). *The Quest: Energy, Security, and the Remaking of the Modern World*. Penguin Press.
- [1] Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). Sixth assessment report (AR6) – The IPCC sixth assessment report cycle. Retrieved from <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/> [dostęp: 2021.05.19]

**Notka o autorce:** Zajmuję się zagadnieniami związanymi z ochroną środowiska, energią i zrównoważonym rozwojem. Posiadam wieloletnie doświadczenie w doradztwie dla sektora publicznego i prywatnego w zakresie ochrony środowiska i klimatu. Z pasją angażuję się w projekty społeczne i obywatelskie, podnoszenie świadomości oraz promowanie aktywności społecznej. Obecnie biorę udział w drugiej edycji programu rezydencyjnego STUDIOTOPIA, który ma na celu przełamywanie barier między różnymi dyscyplinami nauki przez promowanie innowacyjnych, interdyscyplinarnych podejść. W ramach tego programu pracuję nad wyzwaniem zatytułowanym „Thermal Thinking: Beyond the Representation in Research”.

## Paradise Lost

dr Barbara Kasperczyk-Gorlak

Uniwersytet WSB MERITO, Gdańsk

E-mail: [barbara-kasperczyk-gorlak@wp.pl](mailto:barbara-kasperczyk-gorlak@wp.pl)

*Słowa kluczowe: ekologia, środowisko naturalne, szklarnia, wszechświat, żywioły, filozofia natur*

### „Arché terra nostra – równowaga wszechświata”

Samo istnienie, niezależnie od jego natury i formy, każdemu, kto tak by je postrzegał, wydawałoby się cudem i nappełniało umysł zdumieniem [...]. We wszystkim, co rzeczywiste, samo istnienie jest jedyną rzeczą bezpodstawną, nieskończoną i zrozumiałą; Któż jednak bez głębokiego poruszenia świata jako całości mógłby patrzeć na ten wiecznie żywy, brzemienisty życiem strumień, który zalewa każdy brzeg, przełamuje każdy chwilowy spokój, z pewnością po to, by odzyskać kontrolę nad sobą, ale nie po to, by się ociągać lub być związany z którymkolwiek z nich, aby zostać! [...] Bo wszelkie istnienie jest jedynie *samoobjawieniem* się istoty (Schelling, 2019).

Podczas plenerów w Arboretum w Bolestraszczykach koło Przemyśla w 2018 i 2019 roku po raz pierwszy zainspirowały mnie rośliny. Oczywiście natura w moim życiu zawsze odgrywała ważną rolę, a pejzaż pojawiał się w mojej twórczości jako dodatkowa treść realizacji plenerowych, jednak nie był nigdy na pierwszym planie.

Dostrzegłam wreszcie, jak doskonała jest roślina, która rodzi się z niepozornego ziarenka, a do życia potrzebuje jedynie wody, ziemi i światła. Umiejętność wytwarzania wspaniałego zjawiska fotosyntezy, nawet mimo dobrze opracowanych naukowo teorii,

wydaje się być cudem, jednocześnie gwarantuje nam ludziom życie na Ziemi. Poruszyło mnie szczególnie piękno nenufarów odbijających się w lustrzanej tafli rozległych stawów arboretum, tak iż wreszcie zrozumiałam, dlaczego stanowiły temat numer jeden słynnych na cały świat obrazów Claude’a Moneta. „Te krajobrazy wody i odbicia stały się obsesją”, napisał 11 sierpnia 1908 roku. „To przekracza siły starego człowieka, a mimo to chcę wyrazić to, co czuję” [1].

Oprócz piękna i doskonałości lilia wodna posiada także głęboką symbolikę: nenufary noszą w języku francuskim nazwę *Nympheas* pochodzącą z łaciny, a wywodzącą się z greckiego *numphe* oznacza nimfy, które niegdyś przedstawiano jako piękne młode kobiety. W greckiej i rzymskiej mitologii uosabiały one siły żywotne przyrody, płodność i wdzięk [2]. Tymczasem staroegipska kosmologia mówi o lotosie, który był na początku, a wyłonił się ze światła. „W roślinie tej

zawiera się jednoznacznie podstawowa zasada świata (*principio mundi*)” (Lurker, 2023). I tak dzięki inspiracji naturą ewoluowało moje pojęcie o *obrazie*: wcześniej interesowała mnie przede wszystkim jego dekonstrukcja, interesował mnie prosty przekaz – zawarty w *obrazie* komunikat pozostający jako świadectwo czasu. Poza drugorzędnymi odniesieniami nie przywiązywałam wyjątkowej wagi do rozważania nad symboliką, co teraz miało się zmienić.



Ryc. 1. Z cyklu "Arché terra nostra – Nenufary I " | technika własna mieszana, miękki werniks, akwafora, druk pigmentowy | 2024 r. (grafika autorska, opracowanie własne)

W 2021 roku, w zaciszu domu i ogrodu chroniącego od szaleństwa pandemii, moje myśli powędrowały w kierunku tego, co warunkuje istnienie człowieka, jego powiązania ze światem, w którym istnieje, początku i końca – a może nieskończoności czy wieczności? Po-

nieważ opierająca się na obliczeniach współczesna nauka nie daje jednoznacznej, całościowej odpowiedzi, pochyliłam się nad dawnymi myślami starożytnej filozofii przyrody bazującej na podstawowej zasadzie *arché* leżącej u źródła całej rzeczywistości.

## Zasada *arché* w starożytnej filozofii przyrody

Pod wpływem nienawiści (*Kotos*) wszystkie rzeczy przyjmują różne formy i są rozdzielone, a znowu pod wpływem miłości łączą się razem i wzajemnie się pożądamy. Z nich [tzn. z korzeni rzeczy] powstało wszystko, co było, co jest i co będzie: drzewa, mężczyźni i kobiety, dzikie zwierzęta i ryby, które zamieszkują wody, a nawet i długowieczni bogowie, najwyższą czcią otaczani. Bo tylko [elementy] naprawdę istnieją, a przenikając się nawzajem, przyjmują różne kształty; tyle zmian powoduje mieszanie się (Reale, 2005).

Zwróciłam się do filozofii właśnie, ponieważ jedynie ona jako przedmiot (w odróżnieniu do nauk szczegółowych) chce wyjaśnić całą rzeczywistość bez wyłączenia choćby jednej jej części bądź momentu. Jako metodę przyjmuje *logos*, czyli logiczne uzasadnienie niewymagające dowodów empirycznych; a jej jedynym celem jest dążenie do prawdy. Owa całość rzeczywistości *physis* była ujęta jako kosmos, co stawiało problem filozoficzny w kategorii zagadnienia kosmologicznego, kierując ku konkretnym pytaniom: jak powstał kosmos, co jest jego zasadą oraz jakie są fazy i momenty jego powstania? I tak Tales (VII/VI w. p.n.e.), znany jako inicjator filozofii, poszukując jedynej zasady, która jest przyczyną wszystkiego, czyli wszystkich istniejących rzeczy, wskazał na wodę. Woda jest „tym, z czego wywodzą się na początku, i w co rozpadają na końcu wszelkie byty, jest rzeczywistością, która pozostaje taka sama, choć zmieniają się jej właściwości, to znaczy rzeczywistością, która trwa niezmienną,” (Arystoteles, 1983) nawet jeżeli zachodzi proces powstawania wszystkiego. „Jest zatem źródłem, czyli początkiem rzeczy, ujściem, czyli ostatecznym kresem rzeczy, trwałą podporą rzeczy (używając późniejszego terminu,

można by powiedzieć: substancją). Krótko mówiąc, «zasadą» (*principium*, *arché*) jest to, z czego się rzeczy wywodzą, dzięki czemu istnieją, w co się rozpadną. Taką zasadę ci pierwsi filozofowie [...] nazywali dosłownie *physis*, czyli określali słowem, które oznacza nie «naturę» we współczesnym znaczeniu tego słowa, ale właśnie rzeczywistość pierwszą, pierwotną i podstawową. Oznacza więc - jak to zostało dobrze powiedziane - «to, co jest pierwotne, podstawowe i trwałe, w przeciwstawieniu do czegoś, co jest wtórne, pochodne i przemijające»” (Reale, 2005).

Podobną zasadę, lecz wskazując ogień jako podstawowy element wszystkich rzeczy, przyjął Heraklit (ok. 540–480 p.n.e.) (Reale, 2005). „Ogień w sposób paradygmatyczny wyraża cechy wiecznej zmienności, konfliktu, harmonii, będąc w wiecznym ruchu, jest życiem, które żyje śmiercią tego, co spala, stając się nieustanną przemianą w dym i popiół. Jest jednocześnie głodem i sytością, to znaczy jednością przeciwieństw: głodem rzeczy, który sprawia, że rzeczy istnieją, i sytością rzeczy, która niszczy rzeczy i sprawia, że rzeczy umierają” (Reale, 2005). Rzeczywistość więc wyraża zasada przeciwieństw.

Starożytna filozofia grecka nie uznawała powstania ani ginięcia, czyli początku ani końca, czego najlepiej dowodzi cytat z Anaksagorasa: „Nieprawidłowo nazywają Grecy powstawanie i ginięcie, żadna bowiem rzecz nie powstaje ani ginie, ale z istniejących rzeczy łączy się i rozdziela. I dlatego mogliby nazwać powstawanie łączeniem się, a ginięcie rozdzieleniem.” Z kolei interesujący się raczej bytami ziemskimi Ksenofanes (ok. 570–470 p.n.e.) przyjmuje właśnie ziemię za podstawową wartość, argumentując, że to właśnie z niej wszystko powstaje, a na końcu w ziemię się obraca.

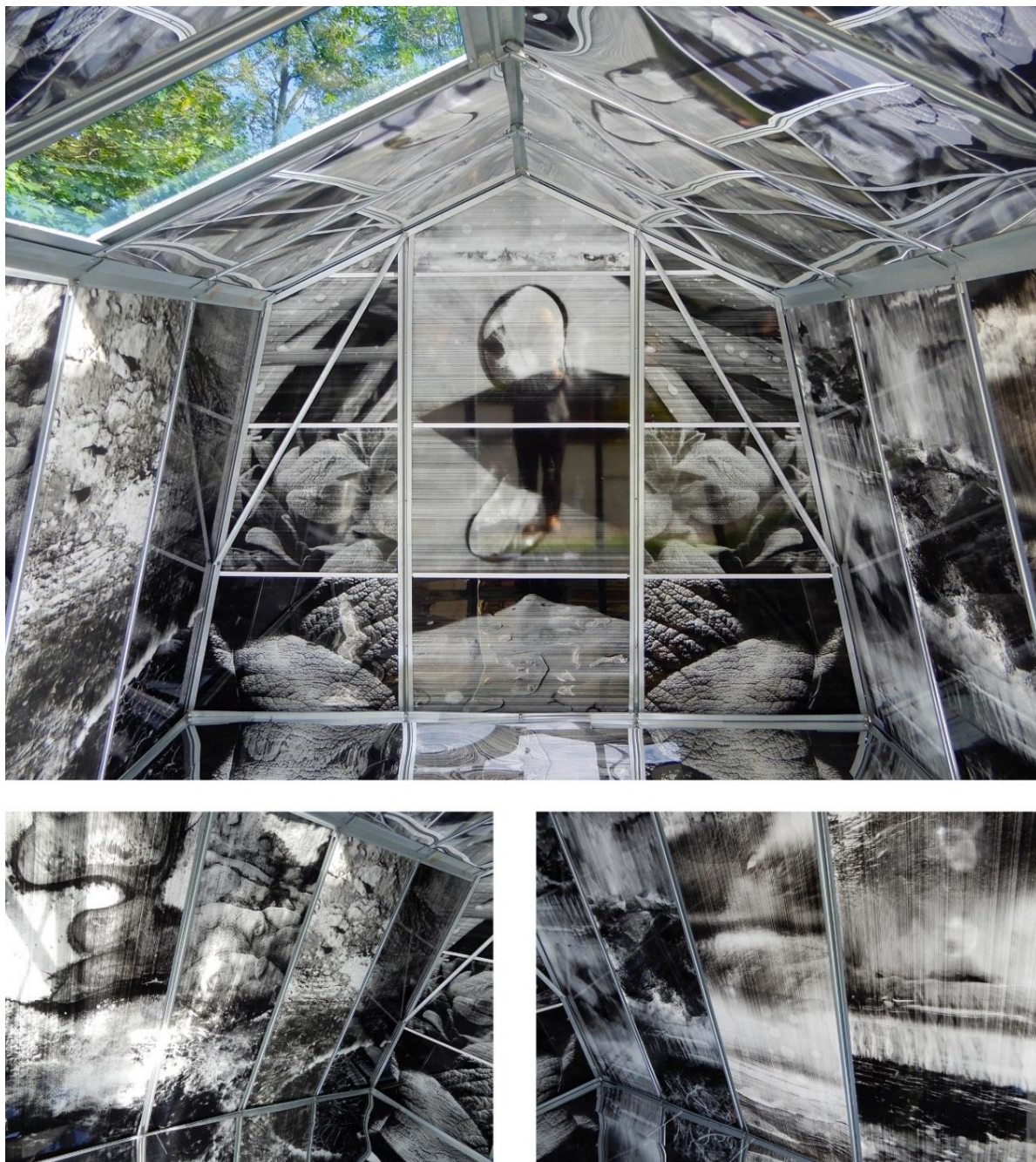
Pochodzący prawdopodobnie z Miletu Anaksymenes (ok. 585–525 p.n.e.) napisał dzieło *O naturze*, uznając ostatecznie powietrze za zasadę *arché*. Ilość i wielkość powietrza jest nieokreślona, jest ono zatem nieskończone, dlatego wszystkie istniejące rzeczy powstają z powietrza a dokładnie różnych jego postaci. „Różnice zaś zachodzą wskutek zagęszczania się i rozrzedzania w poszczególnych rzeczach i z rozrzedzania powstaje ogień, ze zgęszczania zaś wiatr, potem chmury, a z jeszcze większego zgęszczenia woda, potem ziemia, potem kamienie, a z nich wszystko inne” (Dąbbska, 1993). Ta koncepcja była poniekąd oparta na przekonaniach jego mistrza Anaksymandra (ok. 610–546 p.n.e.), który wychodząc poza żywioły, widział w nieskończonym i nieograniczonym bezkresie (*apeiron*) źródło wszelkiego bytu. A *peiron*, czyli coś co pozbawione jest *peras*, tzn. granic i determinacji – nie tylko zewnętrznych ale i wewnętrznych, tak postrzegał filozof: „W pierwszym wypadku *apeiron* oznacza coś nieskończonego przestrzennie i nieskończonego co do wielkości, tzn. nieskończoność ilościową; w drugim natomiast – coś nieokreślonego pod względem jakości, a więc nieokreśloność jakościową. Bezkręś Anaksymandra musiał posiadać, przynajmniej *implicite*, obydwie te cechy: jeśli bowiem powoduje powstanie

i obejmuje nieskończenie wiele światów, musi być przestrzennie nieskończony, natomiast jeżeli nie da się go określić jako wodę, powietrze itd., jest nieokreślony jakościowo” (Reale, 2005). W tej wyjątkowej myśli można znaleźć zarówno oryginalność, jak i głębię: *arché* może to być tylko coś nieskończonego, ponieważ nie posiadając granic, zasada nie ma ani początku, ani końca, nie powstała i nie zginie, i właśnie z tej racji może być zasadą wszystkich innych rzeczy.

Z kolei Empedokles (ok. 494–434 p.n.e.), podtrzymując przekonanie, że nic nie powstaje ani nie ginie, uznał za *arché* wszystkie 4 żywioły, zmieniając jednak zasadę filozofów jońskich, według których ta przekształcała się jakościowo, pozostając ostatecznie wszystkim. „[...] natomiast u Empedoklesa woda, powietrze, ziemia i ogień *pozostają jakościowo niezmiennie i nie ulegają przekształceniom*. W ten sposób powstaje pojęcie «elementu» właśnie jako czegoś *pierwotnego i jakościowo niezmiennego*, co może jedynie przestrzennie i mechanicznie łączyć się z czymś innym i rozłączać.” Wizja monistyczna zmienia się w pluralistyczną: korzeń lub zasada wszechrzeczy nie jest już czymś jedynym, lecz strukturalnie mnogim. Co jednak powoduje to ciągłe łączenie się i rozpadanie? Empedokles tłumaczy to w bardzo oryginalny sposób, opisując dwie wiecznie walczące ze sobą siły: *miłość* – rozumiana jako siła powstania, i *nienawiść* jako siła niszczycielska. Kiedy przewagę ma miłość, elementy zbierają się w jedność, gdy przewagę ma nienawiść, elementy się rozdzielają, kiedy zaś przeplatają się wpływy miłości i nienawiści, wtedy powstają rzeczy. Jednak kiedy bezwzględnie przeważa miłość, żaden z elementów nie oddziela się od pozostałych, wszystkie skupiają się razem, tworząc spójną całość i nic nie powstaje. Gdy absolutną przewagę ma nienawiść, wszystkie elementy są rozdzielone, a zatem nie może istnieć kosmos

ani żadna rzecz. Kosmos i rzeczy w kosmosie powstają w dwóch okresach przejściowych, które prowadzą od przewagi miłości do dominacji nienawiści, a następnie odwrotnie. „I w każdym z tych dwóch okresów ma

miejsce stopniowe powstawanie i stopniowy rozpad kosmosu; jego istnienie zakłada zatem konieczne równoczesne działanie obydwu sił” (Reale, 2005).



Ryc. 2. Instalacja graficzna | z cyklu Paradise Lost „Arché terra nostra – równowaga wszechświata” | technika własna, mieszana, druk UV, EA | aluminium, szkło | 185 x 240 x 214 cm | ekspozycja zewnętrzna w 2024 r. (grafika autorska, opracowanie własne)

W kolejnych fazach rozwoju filozofia przyrody odeszła od teorii czterech żywiołów, a słynni jej przedstawiciele (np.: Platon, Arystoteles, Newton czy Kant) tworzyli coraz bardziej zaawansowane systemy rzeczywistości. Pod koniec XVIII wieku niemiecki filozof epoki romantycznej, Friedrich Wilhelm Joseph Schelling (1755–1854), przywrócił dawne jej idee, twierdząc, że tylko na drodze spekulatywnych dociekań można uzyskiwać wartościowe informacje o przyrodzie w sposób zupełnie niezależny od nauk empirycznych. Co więcej dane te są bardziej wartościowe, zapewniając wgląd do *wnętrza przyrody*, unaoczniają sam żywy proces stawania się. Typowa dla filozofii Schellinga i jego następców jest myśl, że materia i duch stanowią jedność i to dzięki temu powstają organizmy: „Natura osiąga najwyższy cel, jakim jest całkowite podporządkowanie się samej sobie, jedynie poprzez najwyższą i ostateczną refleksję, która jest niczym innym jak [...] tym, co nazywamy rozumem, dzięki któremu natura najpierw całkowicie powraca do samej siebie i dzięki któremu staje się oczywiste, że natura jest pierwotnie identyczna z tym, co jest rozpoznawane w nas jako inteligentne i świadome” (Schelling, 1979).

## Instalacja graficzna z cyklu *Paradise Lost* „Arché terra nostra – równowaga wszechświata”

Kontekst przedstawionych powyżej źródłowych przemyśleń nad istotą naszej rzeczywistości znalazł swoje symboliczne odbicie w instalacji graficznej, która stała się naczelną pracą powstającego w czasie dwóch lat pandemicznych cyklu „Paradise Lost”. Sam pełnowymiarowy obiekt (o wymiarach 180 x 240 x 214 cm) otrzymał ostatecznie tytuł „Arché terra nostra – równowaga wszechświata”.

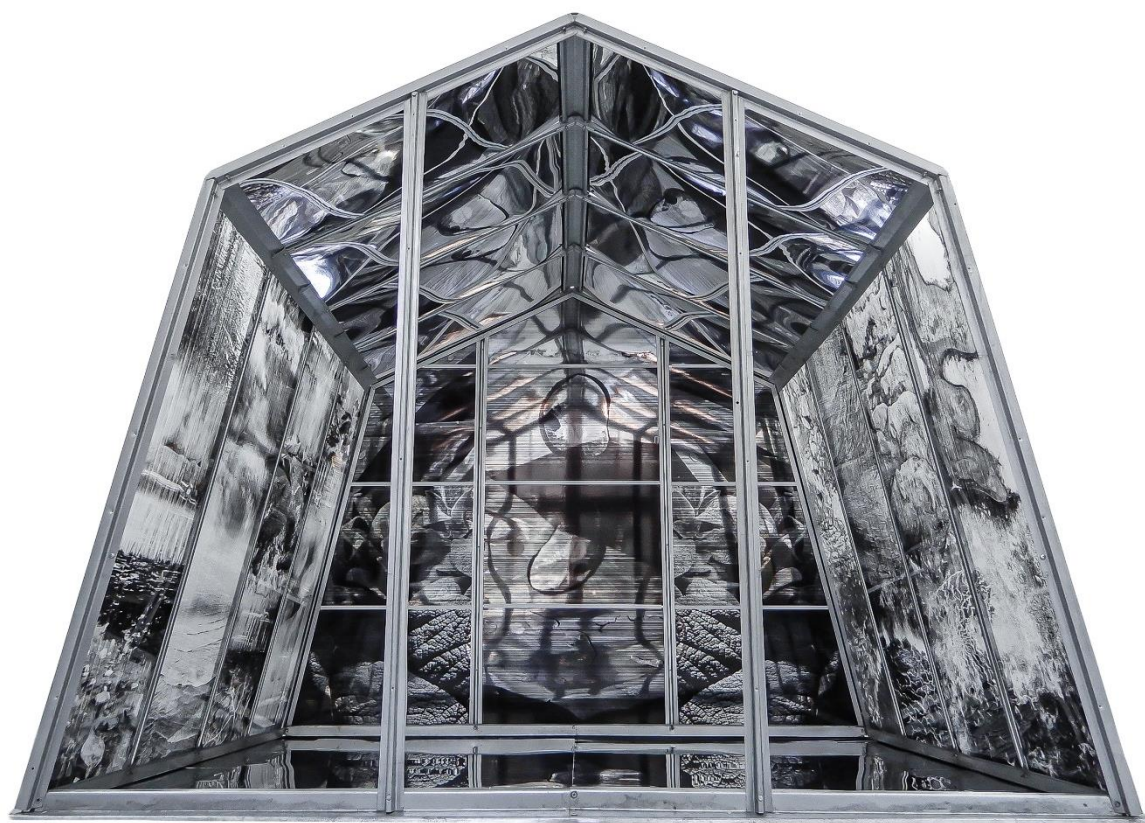
Szkieletem instalacji jest autentyczna szklarnia składająca się z lekkiej konstrukcji aluminiowej oraz szkła. Na szyby naniesiona została transparentna monochromatyczna siatka graficzna w formie druków zrealizowanych za pomocą autorskiej techniki cyfrowej przenikania się obrazów oraz druku UV. Grafiki zostały opracowane na podstawie własnych fotografii natury wykonanych podczas podróży do Skandynawii. Prawa ściana szklarni obrazuje żywioł ognia, lewa wody, a czołowa ściana mieści grafiki związane z pierwiastkiem ziemi i karmioną przez nią florą. Element powietrza symbolizuje pokryty lustrem dach szklarni odbijający niebo lub to, co w danej chwili znajduje się powyżej obiektu. Lustrzana jest także podłoga i sufit instalacji, a dzięki temu jej wnętrze przypomina niekończącą się przestrzeń – bezkres – *apeiron* Anaksymandra. Ponieważ obiekt od frontu pozostaje otwarty, to właśnie jego wnętrze tworzy punkt kulminacyjny.

Praca ta pod wieloma względami pozostaje w całym moim dorobku wyjątkowa, będąc kwintesencją oraz scaleniem czynnika formalnego i ideowego. *Arché terra nostra* jest obiektem graficznym łączącym w sobie pojedyncze obrazy, które wydobyte przez światło i przestrzeń tworzą nie tylko jedną całość, lecz także zupełnie nowe kompozycje graficzne. Obiekt spełnia funkcję zarówno matrycy, jak i odbitki, zmienia się wraz z punktem widzenia obserwatora, wchłania każdy szczegół otaczającej go rzeczywistości, generując nieustannie nowe *obrazy*. Z założenia formalna zasada wielowarstwowości właśnie tutaj modyfikuje swój charakter, przechodząc w ideową formę palimpsestu. Grafika przedstawiająca w indywidualny, lecz ostatecznie realistyczny sposób takie elementy przyrody, jak ziemię, wodę czy ogień tworzy poprzez symboliczne zakodowanie tych pojęć zupełnie nowy kontekst. Jak wspomina Anna Marta Raczek Karcz: „[...] czerpiąc z olbrzymiego rezerwuaru obrazów,

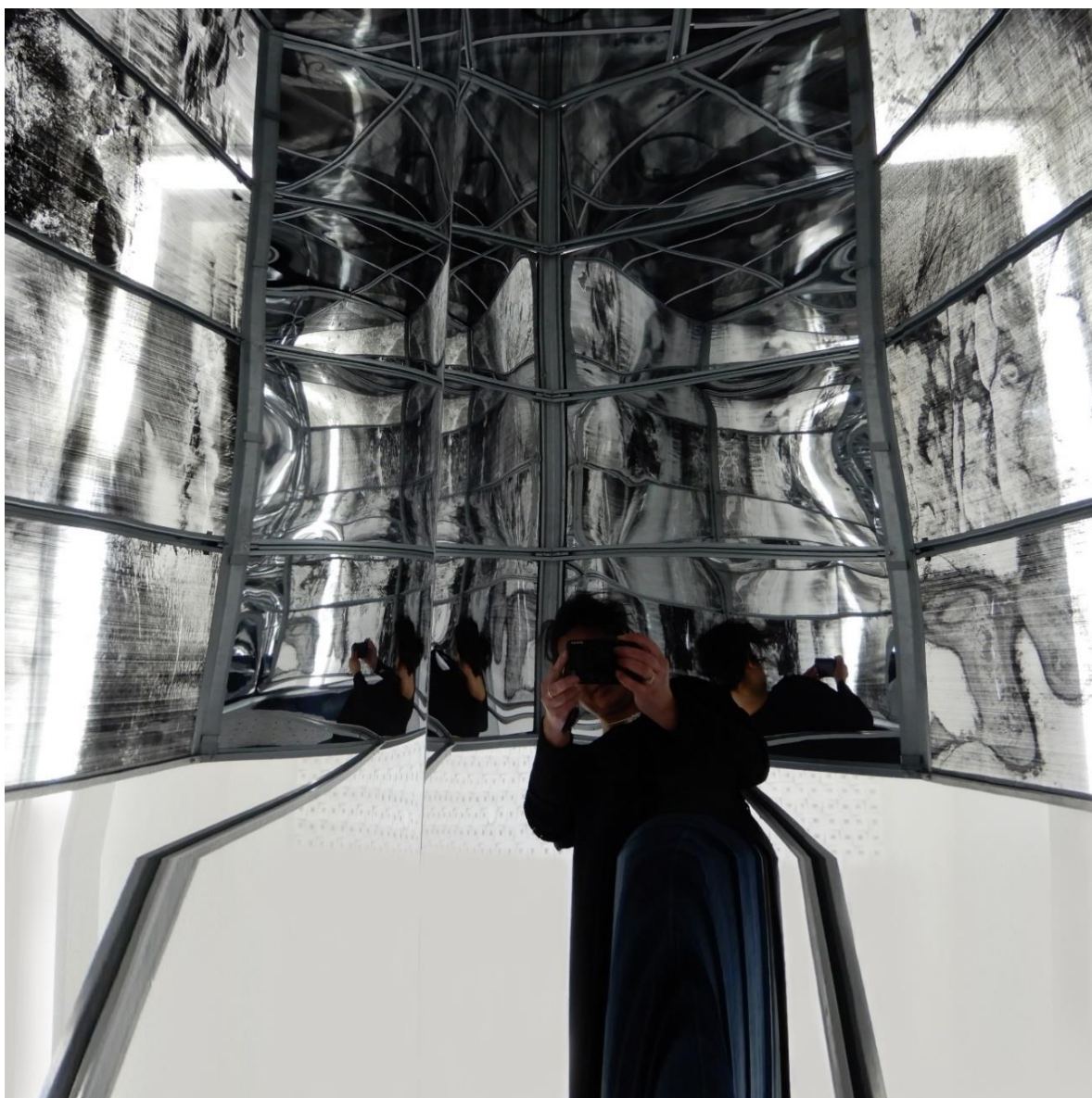
nakładając je na siebie i zestawiając [...]”, można „[...] wydobyć ich ukryte znaczenia, czy dokonać analizy ich kulturowej roli.”

Drugą zasadą procesu twórczego opisywaną przez dr Raczek Karcz, którą także można odnaleźć w instalacji, jest *mapowanie danych*. Jest to z kolei proces polegający na przyporządkowaniu jednych zasobów danego systemu innym, przy czym te ostatnie mają najczęściej charakter wirtualny. Podstawiając w miejsce danych matematycznych

cyfrowych dane kulturowe, osiąga się prosty algorytm: dane pochodzące z szeroko rozumianego zasobu kultury wizualnej (obrazy, ich fragmenty etc.) zostają przyporządkowane do danych wirtualnych (wartości, symboli), które mają efemeryczny charakter i ulegają przekształceniom w czasie. Połączenie tych dwóch zbiorów to twórcza operacja, która charakteryzuje się własnymi regułami i pozwala odbiorcy na szeroką interpretację finalnego przekazu.



Ryc. 3. Instalacja graficzna | z cyklu Paradise Lost „Arché terra nostra – równowaga wszechświata” | technika własna, mieszana, druk UV, EA | aluminium, szkło | 185 x 240 x 214 cm | ekspozycja wewnętrzna w Muzeum Grafiki Fundacji Schreiner Bad Steben w 2022 r.  
(grafika autorska, opracowanie własne)



Ryc. 4. Instalacja graficzna | z cyklu Paradise Lost „Arché terra nostra – równowaga wszechświata” | technika własna, mieszana, druk UV, EA | aluminium, szkło | 185 x 240 x 214 cm | ekspozycja wewnętrzna w Muzeum Grafiki Fundacji Schreiner Bad Steben w 2022 r.  
(grafika autorska, opracowanie własne)

„EKOSYSTEM” – najnowsza seria grafik z cyklu *Arché terra nostra* zebranych w tece wydanej z okazji 20-lecia pracy twórczej

4 elementy i ukryty porządek świata – tak można streścić dalszy rozwój zapoczątkowanej w starożytności koncepcji filozoficznej

bazującej na zasadzie żywiołów. Opisane przeze mnie powyżej wczesne koncepcje zostały następnie zsyntetyzowane w dwóch bardzo wpływowych teoriach Platona i Arystotelesa. Rozwój alchemii w średniowieczu i wczesnej nowożytności doprowadził stopniowo do przekształcenia starożytnych żywiołów i powstania naukowej koncepcji pierwiastka chemicznego.

Z drugiej strony to samo europejskie pojęcie żywiołu w znaczeniu symbolicznym znalazło zastosowanie w średniowiecznych i renesansowych ilustracjach medycznych oraz diagramach alchemicznych i astrologicznych. Cztery żywioły określane do dziś jako ziemia, woda, powietrze i ogień odgrywają fundamentalną rolę w wielu kulturach i tradycjach, symbolizując różne aspekty życia, przyrody i ludzkiej natury. W średniowieczu każdemu z nich przypisywano określone cechy: gorący, suchy, zimny i wilgotny oraz kojarzono z trzema znakami zodiaku (tzw. trygonami). O ile każdemu znakowi zodiaku miały podlegać określone części ludzkiego ciała, o tyle żywioły wywierały dodatkowy wpływ na zdrowie człowieka poprzez odpowiadające im cztery „humory”: flegmatyk, choleryk, sangwinik, melancholik.

Chociaż ich pierwotne znaczenie ewoluowało, do dziś współczesna symbolika czterech żywiołów (ogień, woda, powietrze, ziemia) odgrywa ważną rolę w kulturze, sztuce, astrologii i innych dziedzinach. Tak na przykład ziemia symbolizuje stabilność, woda emocje i płynność, powietrze intelekt i komunikację, a ogień energię i transformację.

W trakcie trwania wystawy *Paradise Lost* niemiecki artysta Erik Seidel zaprosił mnie do uczestniczenia w projekcie graficznego kalendarza (Vogtländischer Kunstkalender) wydawanego corocznie od 2005 roku. Okładka oraz każdy miesiąc danego roku ilustrowała własnoręczna odbitka wybranego artysty grafika. Przyjęłam propozycję i zrealizowałam kolejną, zupełnie nową kompozycję żywiołu ziemi w nakładzie 65 odbitek, co było dla mnie dużym wyzwaniem, gdyż wcześniej raczej pozostawałam w nakładzie co najwyżej pięciu, a najczęściej pojedynczych autorских odbitek opatrywanych sygnaturą E.A.

Ponieważ głównym wymogiem był element klasycznego druku odręcznego, musiałam przekonwertować zasadę siatki graficznej szklarni, zastępując cyfrową strukturę linii

materią, która powstała w wyniku odbitki z tradycyjnej matrycy metalowej w technice miękkiego werniksu i akwaforty. Także fragmenty wodnej lili – głównego bohatera grafiki z opisywanych wcześniej przeze mnie stawów Arboretum w Bolestraszcach, były efektem druku z własnoręcznie wykonanej matrycy. Jedynie kolorystyczne plamy całej kompozycji osiągnęłam za pomocą poddruku pigmentowego. I tak zrodził się pomysł, by na podstawie opracowania graficznego instalacji powstała klasyczna seria dwuwymiarowych grafik, a zamiast katalogu teka grafik z opisem całej idei instalacji. Z pomocą *Muzeum Grafiki Fundacji Schreiner* oraz stypendium ZAiKS udało się zrealizować serię grafik z cyklu *Arche terra nostra* 1:1, które następnie zostały umieszczone w tece pod tytułem *EKOSYSTEM* jako reprinty.

Seria zawiera 4 kolorowe grafiki o tematyce wody oraz 4 grafiki o tematyce ognia utrzymane w skali 1:1 względem siatki graficznej instalacji, oraz 6 barwnych miniatur o tematyce ziemi. Kompozycje są identyczne z tymi umieszczonymi na ścianach szklarni z tą różnicą, że według zasady pierwszego druku z motywem lili struktura linearna pochodzi z ręcznie odbitej matrycy w technikach metalowych: miękki werniks, akwaforta lub sucha igła, natomiast poddruk kolorowy wykonany został w technice druku pigmentowego.

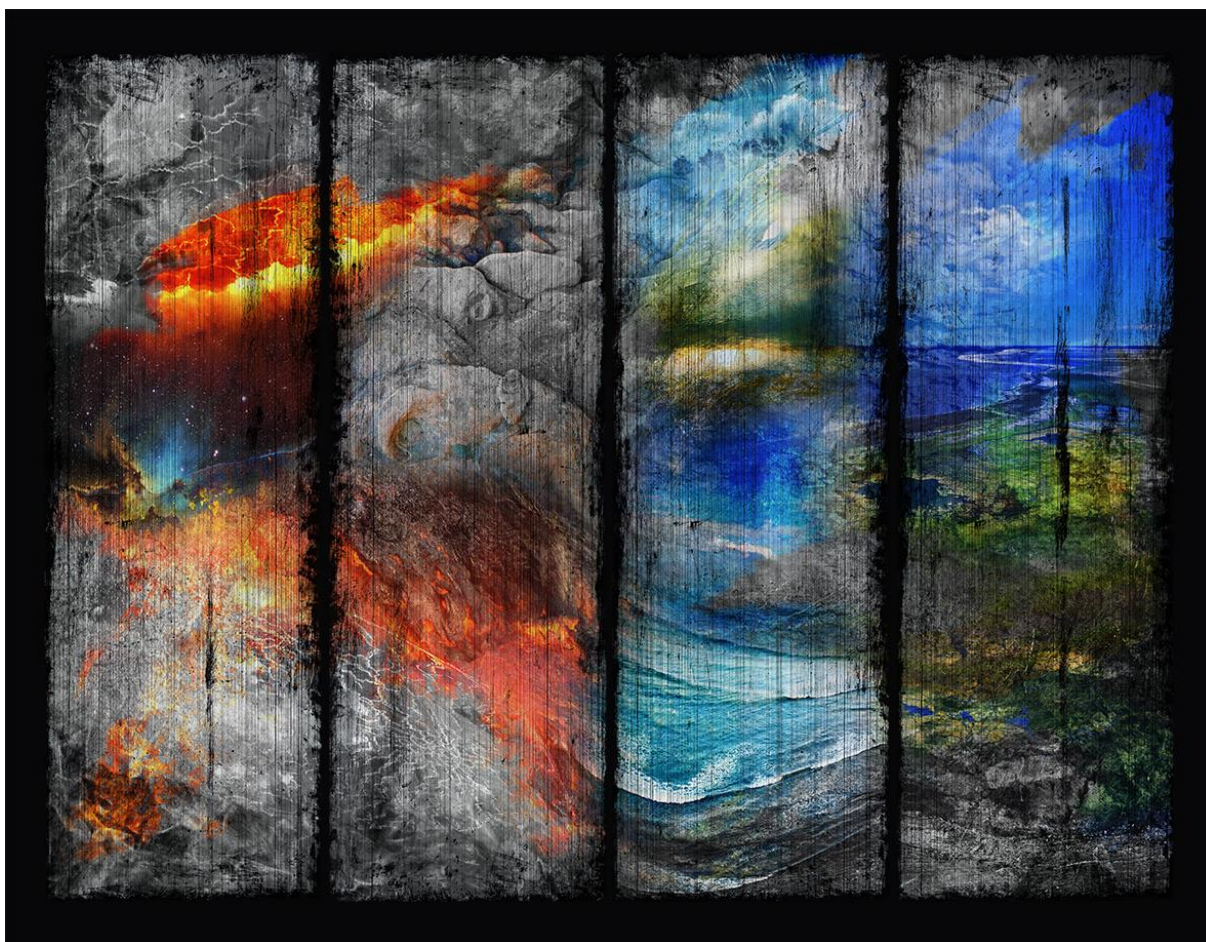
Seria i teka zawierają także 4 nowe kompozycje zatytułowane: z cyklu *Arche terra nostra – Momentum*. *Momentum* występuje w znaczeniu „siły poruszającej”, co wskazuje na jej potencjał sprawczy, jak i wagę, przyczynę, wpływ, czy znaczenie – to z kolei ukazuje ją jako istotny czynnik rzeczywistości.

Kwadryptyk ujmuje cztery żywioły w kontekście geologicznego, ale i symbolicznego początku naszego świata: ziemia rodzi się z ognia, a ogień jako źródło światła od zawsze symbolizuje początek.

Kolejno pojawia się woda jako źródło powstania życia, które po wielu fazach rozwoju w końcu wychodzi na ląd i dalej ewoluuje na obszarach pokrytych ziemią. Czwarta praca ukazuje pełny ziemski pejzaż nieskażonej natury odsłaniający niebo kojarzące się z żywiołem niezbędnego nam do życia powietrza. Zasada techniczna grafik pozostaje spójna z całą serią. Kwadryptyk o wymiarach 145x200cm (4x 145x50cm) został pierwszy raz odsłonięty podczas Międzynarodowej wystawy jubileuszowej z okazji 30 lat Muzeum Grafiki Fundacji Schreiner w Muzeum

Grafiki Fundacji Schreiner w Bad Steben (Niemcy), a kolejnie podczas wystawy *Grafika Warsztatowa* w Galerii Aula Akademii Sztuk Pięknych w Gdańsku, wrzesień /październik 2024 roku.

Wszystkie prace z serii EKOSYSTEM wraz z inauguracją teki zostały wystawione w lutym 2025 roku podczas wystawy z okazji mojej jubileuszowej wystawy 20-lecia pracy twórczej w Galerii Mariackiej ZPAP w Gdańsku.



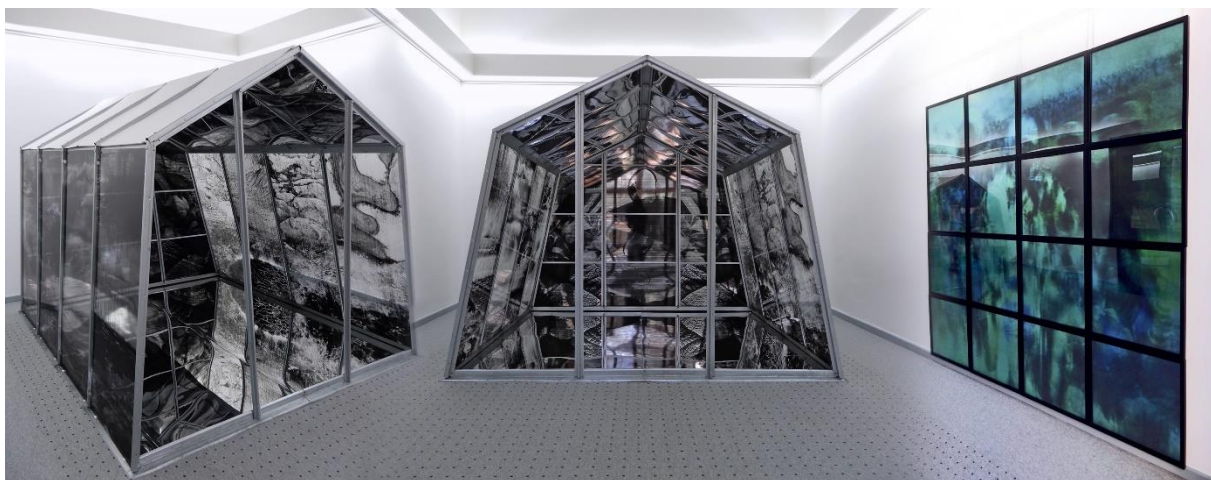
Ryc. 5. Z cyklu "Arché terra nostra – Momentum I - IV" | technika własna mieszana, miękki werniks, druk pigmentowy | 2025 r. (grafika autorska, opracowanie własne)

## Utracony raj Manfreda Lurkera

Tytuł „Paradise Lost” nie jest przypadkowy. W pierwszej chwili niezaprzeczalnie kojarzy się z exodusem na tle utraconego raju (w wyniku wojny, prześladowań lub zagrożeń klimatycznych), czyli prosto mówiąc utraty „dobrostanu” egzystencjalnego. Lecz można też popatrzeć szerzej, z symbolicznej perspektywy nawiązującej do Biblii. Otóż, bardzo wymownie tłumaczy ona początek historii człowieka, rozpoczynając od raju, czyli pewnej formy idealnej symbiozy niewinnego człowieka z naturą i Bogiem. Popołniając grzech pierworodny, człowiek doprowadza do rozpadu tej wspólnoty, wywołując jednocześnie skrajne pogorszenie swojego bytu, ale to

wówczas wkracza w nowy etap rozwoju. Dopiero wtedy zaczyna rozróżniać dobro i zło, dopiero wtedy Adam i Ewa uświadamiają sobie płeć jako mężczyzna i kobieta i dopiero wtedy człowiek wypędzony z raju zostaje umieszczony w czasie i przestrzeni, *wkraczając na scenę świata* (Lurker, 2023).

Gubiący jedni z kosmosem człowiek z czasem buduje sobie obraz świata oparty na matematycznych wyliczeniach. Zachłysznięty technologią przekształca przyrodę w „[...] arsenał, który dbając wyłącznie o swoją korzyść człowiek może dowolnie wykorzystać. Ekumena, zamieszкана ziemia cywilizacyjna przestrzeń człowieka została zdegradowana do roli ekonomicznej szklarni” (Lurker, 2023).



Ryc. 6. Instalacja graficzna | z cyklu Paradise Lost „Arché terra nostra – równowaga wszechświata” | technika własna, mieszana, druk UV, EA | aluminium, szkło | 185 x 240 x 214 cm | ekspozycja wewnętrzna w Muzeum Grafiki Fundacji Schreiner Bad Steben w 2022 r. po prawej: składająca się z 16 części (50 x 50 cm) praca | z cyklu Paradise Lost | technika własna, mieszana, druk UV, EA | lustrzana płyta HIPPS, pleksiglas | 200 x 200 cm | 2022 r.  
(grafika autorska, opracowanie własne)

## Literatura:

- Arystoteles, (1983). *Metafizyka*. Warszawa, PWN
- Dąbmska I., (1993). *Zarys historii filozofii greckiej*. Kęty, Daimonion
- Lurker, M., (2023). *Przesłanie symboli w mitach, kulturach i religiach*. Warszawa, Wydawnictwo Aletheia
- Reale G., (2005). *Historia filozofii starożytnej*. Lublin, Wydawnictwo KUL
- Schelling, (1979). *System idealizmu transcendentalnego*. Warszawa, PWN
- Schelling, F., (2019). *Aphorismen über die Naturphilosophie* (Aforyzmy o filozofii przyrody), Hamburg, Felix Meiner Verlag

## Źródła internetowe:

- [1] <https://www-claude-monet-com> [dostęp: maj 2025]
- [2] <https://dzieje.pl/kultura-i-sztuka/nenufaryktore-zainspirowaly-claudea-moneta> [dostęp: maj 2025]

Notka o autorce: \*4 grudnia 1976 r. w Mikołowie. 1986 – 1996 mieszkała w Niemczech, gdzie ukończyła liceum plastyczne w Monachium. 2005 r. ukończyła ASP w Katowicach. Jest autorem wielu wystaw indywidualnych oraz brała udział w licznych projektach i wystawach zbiorowych w kraju i za granicą. Członek Związku Polskich Artystów Plastyków oraz ZaiKS`u. Studia doktoranckie na wydziale Grafiki ASP w Krakowie. 18 grudnia 2015 r. otrzymała stopień Doktora w dziedzinie Sztuk Plastycznych, dyscyplinie artystycznej Sztuki Piękne. Pracowała na wydziale grafiki ASP w Gdańsku. Mieszka i tworzy w Trójmieście a głównym zagadnieniem jej twórczości jest współczesne społeczeństwo. W poszukiwaniu nowej możliwości przedstawienia przestrzeni posługuje się zarówno klasycznym warsztatem graficznym, jak i najnowszymi możliwościami technologicznymi obrazu i druku cyfrowego na różnych materiałach.

## Ciepło/zimno – rozważania poetyckie

Urszula Morga

E-mail: [morga@esy-floresy.com](mailto:morga@esy-floresy.com)

tutorka: Marta Pilarska

*Słowa kluczowe: poezja, ciepło/zimno, doświadczenie sensoryczne, zmiana klimatu, relacje międzyludzkie, termiczna wrażliwość*

Cykl ciepło/zimno to poetycki zapis rozważań o doświadczaniu ciepła i zimna w kontekście zachodzącej obecnie zmiany klimatu, ale także postępujących przeobrażeń w stosunkach międzyludzkich. To opowieść o życiu na granicy temperatur – między bliskością a wyobcowaniem, zachwytem a niepokojem, w domu, na planecie, gdzie ciepło staje się czymś więcej niż tylko wynikiem metabolizmu człowieka jako jednostki.

Niniejszy cykl składa się z wierszy, które wychodzą od cielesnych i emocjonalnych mikrodoświadczeń: codziennych gestów, dotyku, ciszy w mieszkaniu, zamarzającego krajobrazu za oknem. Każde z nich rezonuje z większym układem: klimatem, katastrofą, osamotnieniem, pustką i pragnieniem bliskości.

Ciepło i zimno są tu nie tyle metaforami, co stanami współlistnienia – kruchymi, zmiennymi, zależnymi od wzajemnej wymiany między ciałami, emocjami a otoczeniem. Pojawiają się jako ślady intymności, ale i symptomy społecznego chłodu, nierówności energetycznej oraz potencjalnego chaosu w wybranych relacjach z innymi i w kontakcie

z planetą. Termiczne napięcia przekształcają język, inaczej każą nam mówić o tym, jak wszystko, co żywe i martwe, splecione jest w jeden pulsujący obieg – zależny od temperatury albo o tej temperaturze decydujący.

„Ciepło/zimno” to poetyckie rozważania o niepewności – o tym, co znika, zanim zdążymy to nazwać. O „gęstej” atmosferze naszych czasów, w których drożdżowa chałka, gęsia skórka i migracje ptaków są częścią tej samej choreografii, co topnienie lodowców, zmiany w prawie i poczucie wyobcowania.

To próba uchwycenia termicznej wrażliwości jako jednego z ostatnich narzędzi oporu wobec rzeczywistości, która – wskutek nieprzewidywalnych wahań i przez nasilającą się zmienność – przestaje być dla nas oswojona i bezpieczna.

Inspiracją do powstania cyklu wierszy była niewinna, dziecięca zabawa w „ciepło/zimno”, w której uczestnicy szukają ukrytego przedmiotu, otrzymując wskazówki o odległości od celu. „Ciepło” oznacza w niej, że szukający jest blisko, a „zimno”, że daleko od celu. W zabawie temperatura staje się miarą dystansu. Wiersze, które powstały we współpracy z redaktorką i poetką Martą Pilarską, są formą takiej zabawy z naszym doświadczaniem bliskości i wyobcowania, lęku i poczucia bezpieczeństwa.

## świadczenie honorowe

dorastam do ciebie w warunkach cieplarnianych  
gdzie rozkosz i rozpacz są na wyciągnięcie ręki  
między nami przepływa samorzutna energia  
której rozproszenie staje się naszym przewodnikiem  
bez udziału czynników zewnętrznych przechodzimy  
z jednego stanu nierównowagi do drugiego  
ogrzewanie i schładzanie naszych stosunków  
następuje cyklicznie, a wewnętrzna entropia  
narasta w nieskończoność nie zaburzając wymiany  
energia ruchu cieplnego naszych cząsteczek  
wypełnia wszechświat niemal jednorodnie  
a nasze pragnienia hibernuje mróz za oknem

byliśmy tu, jesteśmy i zawsze będziemy  
tymczasem dobra wiadomość dla stulatków  
od stycznia wzrosło świadczenie honorowe  
nie zabraknie na opał, pampersy i ciepły żurek

## ciepło/zimno

ukryta za firanką wstrzymuję oddech  
mając nadzieję, że namierzy mnie  
twój wewnętrzny termowizor  
mój chłód stał się łatwo wykrywalny  
odkąd globalne ocieplenie przekroczyło  
półtora stopnia Celsjusza  
zabawa w ciepło-zimno dawno  
wymknęła nam się spod kontroli  
terroryzując cały ekosystem  
ocieplenie naszych stosunków  
może mieć zgubny wpływ na poziom  
stężenia pary w atmosferze, a ponieważ  
nie jesteśmy w stanie kontrolować spalania  
w swojej obecności ocaleniem  
może okazać się wyłącznie oziębłość

ciepło ciepłej gorąco parzy  
wciąż ukryta za firanką  
drzę z zimna przy rozgrzanym  
do czerwoności kaloryferze

## sekunda

*topnienie lodowców na biegunach  
zmienia tempo obrotów Ziemi -  
podał chłodno Reuters  
z tej przyczyny zabraknie mi wkrótce  
jednej sekundy szczęścia lub rozpacz  
być może nie zdążę potknąć się i upaść  
wziąć głębokiego oddechu stojąc  
po kostki w lodowatej morskiej wodzie  
wytoczyć z oka tłustej łzy wzruszenia  
młasnąc po zjedzeniu ciepłej drożdżowej chałki  
kichnąć i spłoszyć ptaka z gałęzi  
pocałować psa w pachnące sianem futro  
mrugnąć z niedowierzaniem na widok lochy  
która przyprowadziła swoje młode na mój trawnik  
dostać gęsiej skórki kiedy twoje palce  
dotkną w przelocie mojej szyi  
zdmuchnąć świeczek na torcie  
i pomarzyć o lepszym świecie bez chaosu  
w którym rzeczywistość wokół nas  
nie ulega tak łatwo dezorientacji  
a temperatura wrzenia między nami  
nie waha się destabilizując klimat*

## namiastka

lata w tym roku jak na lekarstwo  
przyjmuję słońce w kroplach  
znośę do domu w kieszeniach  
morski piasek, a piegi na nosie  
rysuję flamastrem, zlana potem  
na bieżni elektrycznej tonę  
w morzu wątpliwości czy kiedyś  
odróżnię jeszcze łzy od deszczu,  
przekroczyłam stan alarmowy  
choć wiem, że nie obejmie mnie  
ustawa o usuwaniu skutków powodzi

na kolację serwuję kolbę kukurydzy  
z solą morską - namiastkę lata  
zanim wszyscy pójdziemy na dno

## sezon grzewczy

na szybie skroplił się lęk  
że to co dobre szybko się kończy  
a ja wystarczająco długo  
jestem tu szczęśliwa

układam harmonogram strat  
szacuję co pójdzie nie tak  
a co na pierwszy ogień

wiem, że przyjdzie taki dzień  
gdy nie obudzi mnie krzyk mew  
a woda nie popłynie z kranu  
śnieg stanie się wspomnieniem  
marzeniem - filiżanka kawy  
dotyk twoich dłoni jedyną nadzieją

tymczasem trwa sezon grzewczy  
czajki powróciły z zimowisk  
wcześniej niż rok temu

## rodzynki

oko słońca podgląda nas  
przez dziurę w chmurze  
puszystej jak twoje futro  
wygrzewamy się na trawie  
jak dorodne winogrona  
których słodycz jest zamknięta  
w pomarszczonych rodzynekach  
krople deszczu na moim czole  
które wypłuka znudzona chmura  
jak lusterka odbijają rzeczywistość  
jesteśmy w niej sami -  
twój zimny nos dotyka  
mojego rozgrzanego policzka  
moje zawsze zimne palce  
gładzą twój zawsze ciepły brzuch  
i nie mam wątpliwości -

pasujemy do tego świata  
jak rodzynki do sernika

pi

dyskretnie badam nieciągłe struktury istnienia  
jednak sprawdzone algorytmy wciąż zawodzą  
w mój mechanizm myślenia wkradł się  
niedopuszczalny chaos, a logika odmawia mi  
posłuszeństwa - w tym czasie świat wysyła  
tajne sygnały, których znaczenie  
przyjdzie mi dopiero zrozumieć  
już teraz nie opuszcza mnie przecucie,  
że w tym grafie jesteśmy wyłącznie  
wierzchołkami, które łączą się na krawędzi rozpaczy  
moja wewnętrzna maszyna turinga może pomieścić  
jedynie nieograniczone zasoby wspomnień  
i pomimo dopasowania z dokładnością do dwustu  
miejsc po przecinku nie obejmuje  
naszych planów na przyszłość  
snuję się więc bez końca z punktu do punktu  
dyskretnie poszukując sensu  
  
znajduję jedynie dziurę w płocie przez którą  
dostrzegam pierwsze oznaki wiosny

## Notka o autorkach:

*Urszula Morga – poetka, reżyserka, lektorka. Laureatka XV Konkursu Poetyckiego im. J. Różewicza. Debiutowała tomem „Fundamenty” (2024) za który otrzymała Galion Gdyński oraz nominację do Pomorskiej Nagrody Literackiej „Wiatr od morza”. Jej poetycki cykl „Skrawki natury” prezentowany jest na festiwalach videopoezji w Słowenii i Portugalii. Stypendystka Marszałka województwa pomorskiego. Autorka dwóch książek dla dzieci. Absolwentka reżyserii i produkcji filmowej, prowadzi studio animacji Esy-floresy.*

*Marta Pilarska – redaktorka, wydawczyni, aktywistka literacka. Prowadzi projekty literackie w Domu Literatury w Gdańsku. Redagowała tomy m.in. Filipa Czecha, Zu Witkowskiej i Łukasza Kamińskiego. Prowadzi warsztaty literackie i spotkania autorskie. Współorganizatorka kolektywu Trzy Wigry i projektu Stolik Literacki dla debiutujących autorów. Stypendystka Marszałka województwa pomorskiego. W 2025 roku ukaze się jej debiutancki tom wierszy.*

## Art in the Age of the Anthropocene

Elpida Chatzinikolaou, Efthymis Gronthos, Nafsika Tzanoulinou

*E-mail: [elpida.chatzin@gmail.com](mailto:elpida.chatzin@gmail.com)*

tutorka: Katerina Athanasiou

*Athens School of Fine Arts, Sculpture Department Member*

This project, “Art in the Age of the Anthropocene”, envisions a transition from humanity’s destructive impact on nature to the Symbiocenic Epoch - an era of coexistence between humans and ecosystems. Initiated

in response to Cyclone “Ianos” at Lake Plastira, the project united artists, forestry students, and the local community to create site-specific artworks using materials from the devastated landscape.



Fig. 1. Efthymis Gronthos, *The End of the World*, sculpture, 2022, photo authos archive



Fig. 2. Efthymis Gronthos, *The End of the World*, sculpture, 2022, photo authos archive

A striking example is "*The End of the World*" by Efthymis Gronthos, a fusion of Land art and digital media. Made from local clay and

bricks, it features a QR code linking to a video reflecting on humanity's evolving relationship with nature.



Fig. 3. Nafsika Tzanoulinou, Wolf, sculpture, 2022, photo author archive

Additionally, Nafsika Tzanoulinou's archetypal animal sculptures and Elpida Chatzinikolaou's small, temporary nests emerge

from the soil, forming a spontaneous, nomadic settlement.



Fig. 4. Nafsika Tzanoulinou, Owl, sculpture, 2022, photo author archive



Fig. 5. Sculpture of Elpida Chatzinikolaou, 2022



Fig. 6. Sculpture of Elpida Chatzinikolaou, 2022

A fascinating phenomenon reinforced the project's themes: during peak summer, the lake receded, revealing our Noah's Ark-inspired land art installation, a playful commentary on climate change. Months later, the water returned, submerging the work, poetically highlighting nature's power and the transience of human creations.

This initiative proposes that art can cultivate ecological awareness, transforming landscapes into platforms for dialogue and action. It invites us to imagine a future where humanity actively regenerates ecosystems, marking the dawn of the Symbiocenic Epoch.

## Termopolis

mgr Gabriela Palicka

*Uniwersytet Komisji Edukacji Narodowej w Krakowie, Szkoła Doktorska*

E-mail: [d751424@doktorant.uken.krakow.pl](mailto:d751424@doktorant.uken.krakow.pl)

tutorka: dr Daria Malicka

*Uniwersytet Komisji Edukacji Narodowej w Krakowie, Instytut Sztuki i Designu*

*Słowa kluczowe: komfort termiczny, dystopia, miasto, rysunek narracyjny*

*Termopolis* jest wizualną opowieścią zainspirowaną swobodną rozmową o kwestii komfortu termicznego w miastach przyszłości. Żartobliwym punktem wyjścia stała się dystopijna wizja świata rodem z serii filmów *Mad Max, osadzona w realiach kultury konsumpcyjnej*. Tytułowe *Termopolis* to centrum handlowe, będące nadzorowaną przez roboty, klimatyzowaną oazą chłodu pośrodku rozległej, tak powszechnej w polskich miastach, przestrzeni nagrzonej betonozy. Komfort termiczny zostaje całkowicie skomercjalizowany przez wielkie korporacje oraz samowładne, uzbrojone grupy walczące o peryferyjne przyczółki cienia.

Podobnie jak inne postapokaliptyczne narracje, *Termopolis* opowiada o deficycie jednego z podstawowych zasobów niezbędnych dla funkcjonowania ludzkiego organizmu (obok wody pitnej i czystego powietrza), jakim jest optymalna temperatura otoczenia.

Forma komiksu, w swobodny sposób – na podobieństwo przeprowadzonej rozmowy – staje się przyczynkiem do refleksji nad ergonomią termiczną środowiska człowieka oraz nad merkantylizacją komfortu cieplnego.

Przedstawiona historia ma charakter szkicowy i fragmentaryczny, i może stać się załącznikiem dłuższej narracji – pozostawia widzowi przestrzeń do własnej refleksji, rozszerzenia jej w ramach obserwacji swojego otoczenia.

### Literatura:

Barber, D.A. 2022. *Po komforcie* [w:] Autoportret. Architektura mikroklimatów. 1, 76.

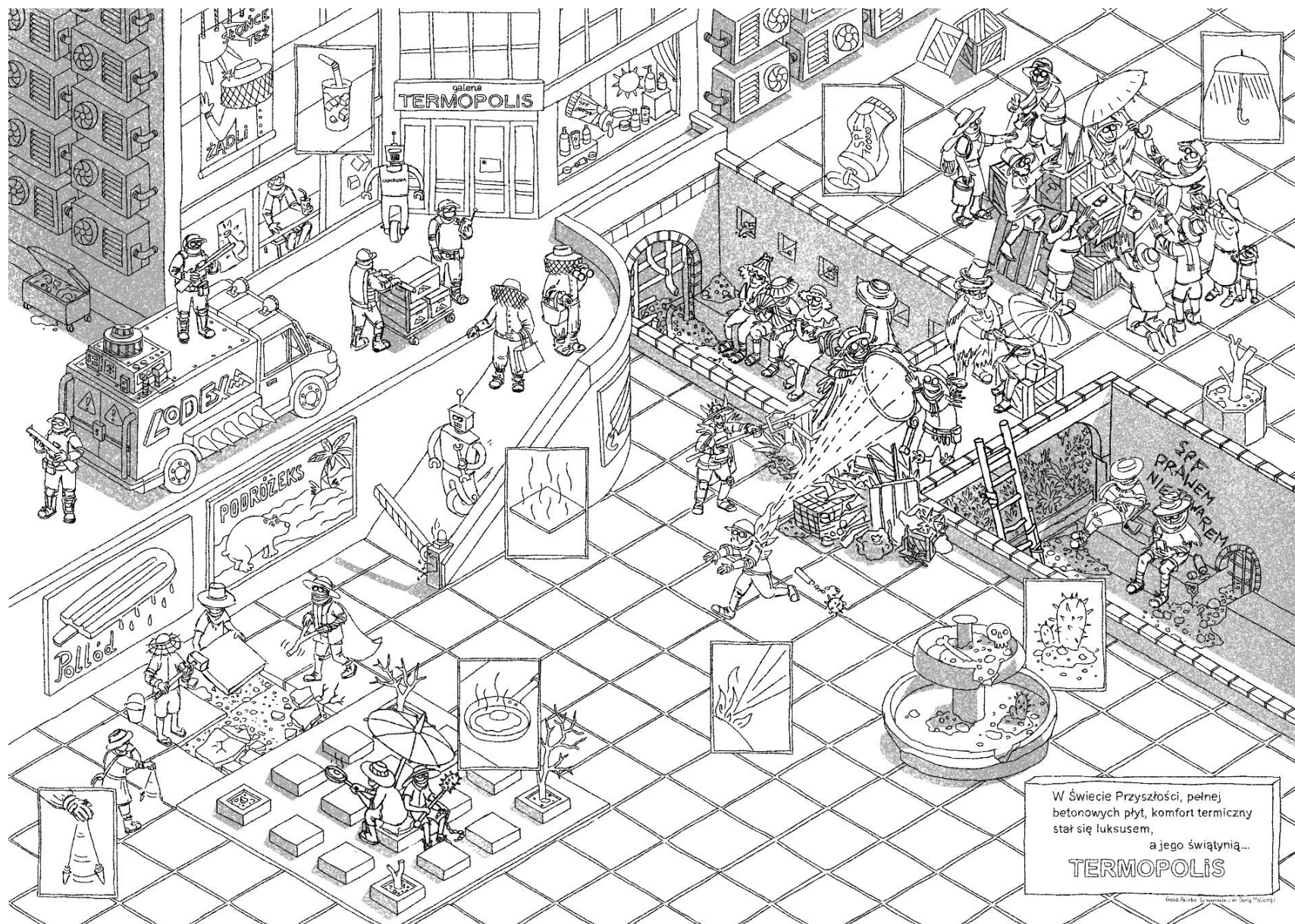
Maxwell, I. 2017. *Thermal Comfort in Urban Spaces*. New York.

Szumilas, A. 2019. *Miasto jako klimat: urbanistyka wobec zmian środowiska*. Kraków.

### Notka o autorkach:

*mgr Gabriela Palicka: doktorantka Uniwersytetu Komisji Edukacji Narodowej, interdyscyplinarna artystka wizualna i projektantka graficzna.*

*dr Daria Malicka: wykładowczyni Uniwersytetu Komisji Edukacji Narodowej, w praktyce artystyczno-badawczej stosuje strategię artistic research, łącząc podejście z dziedziny sztuki i filozofii.*



## Ciepło: asocjacje i choreografie

Łukasz Wójcicki

*Fundacja Strefa WolnoSłowa,*

*E-mail: [lukaszwojcicki2015@gmail.com](mailto:lukaszwojcicki2015@gmail.com)*

tutorka: dr Zuzanna Berendt

*Instytut Sztuki Polskiej Akademii Nauk*

Ciepło to dobrze. Ciepło to pozytywnie. Ciepłe kolory to te, które dobrze nas nastrajają, uspokajają, sprzyjają choreografii odprężenia i odpuszczenia. Arbitralnie uznano, które kolory są bardziej ciepłe, a które mniej. A dokładnie ich odcienie. Ciepłe białe światło uspokaja i koi (dom, matka, pies, ognisko).

Też białe, ale coraz mniej ciepłe, wzmaga stres i aktywuje układ nerwowy (nóż, gruz, ojczym, ściana). Ciepłe jest zaproszeniem. Ciepłe światło w kościele, w salonie masażu czy w studiu jogi zachęca do choreografii zwolnienia, zatrzymania się.

### **CIEPŁO - CIEPŁA - CIEPŁU - CIEPŁO - CIEPŁEM - CIEPLE - CIEPŁO!**

Ryc. 1. Ciepło odmienione przez przypadki

O kimś, kto wykonuje choreografię upadku po spożyciu alkoholu powiemy, że „ledwo ciepły”. Ledwo, ale jeszcze dycha. Znaczy, żyje. O żywym stworzeniu, bliskim śmierci, powiemy „jeszcze ciepłe” czyli do uratowania. Znaczy, żyje. Zatem, ciepło to życie. Wszystko, co ciepłe, żyje. Ciepło to ruch. Ciepło przywraca do życia i pozwala życiu trwać: termofor, ciepła herbata, ciepły posiłek, ciepła kąpiel, koc termiczny. Ciepło

to bezpieczeństwo i spokój. Ciepło jest gwarantem przetrwania. Akuszerem życia.

Ciepło oznacza dobrze. Ciepło o kimś myśleć, to myśleć życzliwie, z czułością. Ciepłe wspomnienia to dobre wspomnienia, do których chętnie się wraca. Ciepło o kimś mówić, to mówić dobrze, ze wzruszeniem i sympatią. Ciepło to rezerwuar pozytywnych wspomnień. Archiwum dobra. Heatmap przyjemności. Ciepły gest to choreografia przyjaźni, wsparcia i współodczuwania. Ciepło robi się w sercu.

## CIEPŁO

**przywilej** <.....> **przekleństwo**

Ryc. 2. Sprzężenie zwrotne ciepła

Ciepło to troska. „Ciepło ci jest?” Zapyta matka w zimny dzień dziecko opatulone

w puchową kurtkę, zapytają się wzajemnie kochankowie na hamaku w chłodny wieczór.

„A tobie?”.

\*\*\*

Niewiele mamy negatywnych skojarzeń z ciepłem. Popularne to ciepła wódka lub coca cola. Ostatnio dominuje

Ale tylko garstka rozumie tak na prawdę, co się za tym zamieszkującej Europę krótsza zima - kilka tygodni ogródki piwne i kilka tygodni ilość tygodni rośnie klimatu.

jeszcze ocieplenie klimatu.

ciepłem kryje. Dla większości Środkową to dłuższe lato i wcześniej otwierają się dłużej pozostają otwarte. proporcjonalnie do ocieplenia



**później zamknięte**

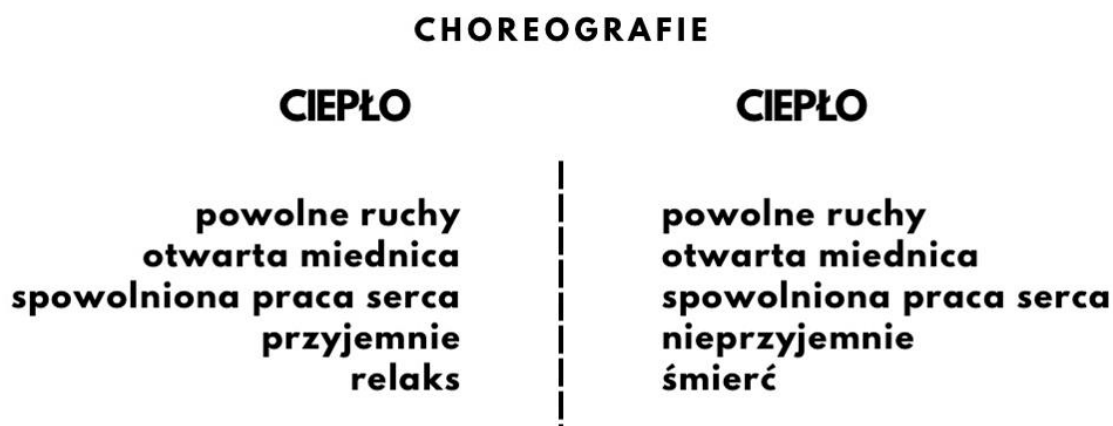
**wcześniej otwarte**

Ryc.3. Wyobrażenie na temat konsekwencji ocieplenia klimatu wśród jego sceptyków

Więcej ciepła oznacza spokój, relaks, odpuszczenie, bezpieczeństwo, pozycję horyzontalną, otwartość, bliskość, radość, powolne zmienianie pozycji ciała, niespieszne oddawanie ciepła na zewnątrz. Mniej ciepła, to niepokój, lęk, poddenerwowanie, kurczenie się, zaciskanie pięści, zapadanie się w siebie, nerwowe przerzucanie ciężaru ciała

z jednej nogi na drugą, oklepywanie się, chuchanie na dłonie, usiłowania utrzymania ciepła wewnątrz, blisko serca. A może tylko tak mi się wydaje? Rozumienie ciepła zależy od miejsca na ziemi. Inaczej będzie opowiadane tam, gdzie sieje śmierć a inaczej tam, gdzie przynosi ukojenie. A zatem może jedna choreografia ciepła różni się znacznie od innej? Może trzeba - jakby zapewne życzył sobie

tego Timothy Morton (2023), członek ruchu filozofii obiektowej - zanurzyć się w głąb ciepła, do jego jądra aby ujrzeć jego splątana choreografię, mroczny węzeł cieplny.



Ryc. 4. (Nie)binarne choreografie ciepła

My Słowianie, Celtowie, Germanie, Bałtowie niechętnie patrzymy na ciepło jak na siewce śmierci. Pożoga po spalonych osadach to raczej świadectwo zwycięstwa, siły i dominacji. Ale znowu, każdy kij ma dwa końce, „ale co, gdy znajdziesz kończący trzecim końcem”?<sup>1</sup>. Dymiąca, emanująca ciepłem pożoga po wypalanej wiosce jest dla jej mieszkańców zapisem klęski, porażki i podporządkowania.

Ciepło to archiwum, które można przeglądać od lewej do prawej i od prawej do lewej. Ciepło jest jako słowiański bóg życia i śmierci Weles (Wołos). Płonący dom, ognisko, kominek mogą ogrzać, ciepło ich płomieni porusza i wskrzesza życie, dopinguje je do trwania, odgania śmierć, tak jak odgania dzikie zwierzęta. Ale ogień i jego ciepło są

również sojusznikami śmierci: pochłaniają, duszą, niszczą, zabijają.

Na północnej półkuli kulturowo pozytywne skojarzenia z ciepłem są na tyle silne, że niejednokrotnie utrudniają rozumienie ciepła jako katastrofy, powodu do ucieczki i migracji w chłodniejsze miejsca. Ekstremalne ciepło osusza rzeki i jeziora, wypala ziemie i plony, zmienia krajobraz. A ten, gdy staje się niemożliwy do zamieszkania, zmusza do migracji ludzi, zwierzęta i rośliny. Dziennikarka, filozofka i neurobiolożka Sonia Shah mówi: „jeśli jesteś narażony na zmiany, istnieje większe prawdopodobieństwo, że się przemieścisz”<sup>2</sup>. Ciepło nie ma litości dla życia, potrafi być okrutne. Ciepło to terror. Ciepło samo w sobie może być pluszowym misiem,

<sup>1</sup> „Każdy kij ma dwa końce, ale co, gdy znajdziesz kończący trzecim końcem” Przy słowie, autor: Kazimierz Staszewski, Kazik Na Żywo, Porozumienie ponad podziałami (LP/CD, 1995)

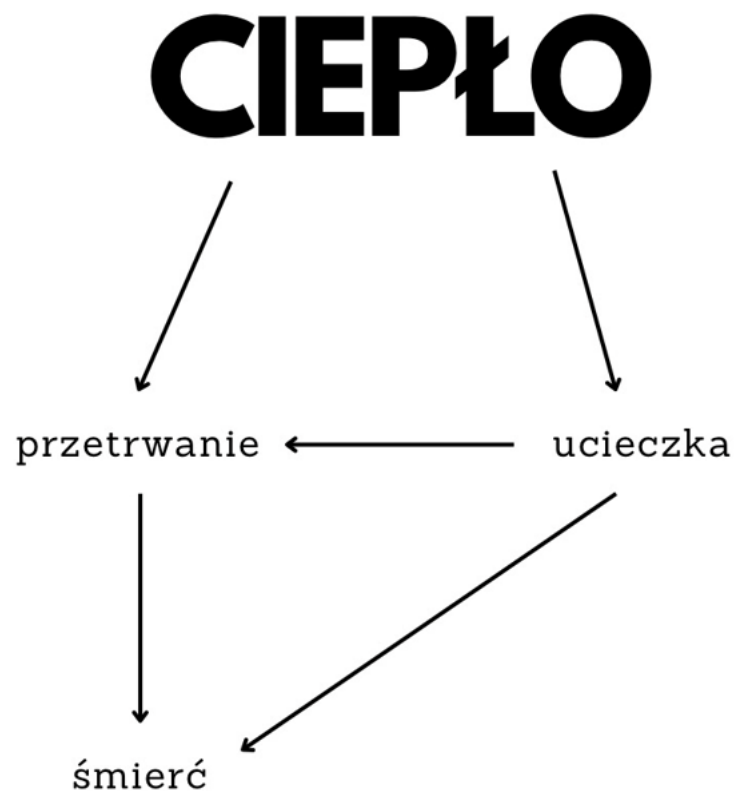
<sup>2</sup> Rozmowa Alicji Borkowskiej z Sonią Shah w publikacji Będzie coraz cieplej. Rozmowy o migracjach w erze katastrofy klimatycznej (nieopublikowana, dzięki uprzejmości autorki)

ale ma do dyspozycji liczne narzędzia i strategie wyniszczania, wysuszania i wypalania zmuszające ludzi do migracji i uchodźstwa.

Ci, którzy mieszkają między 15 a 30 stopniem szerokości geograficznej, prawdopodobnie nie będą czytać tego tekstu. Ciepło (pod)zwrotnikowe to ciepło, jakiego w Europie Środkowo-Północnej nie znamy. Te, które znają ciepło pustyni wiedzą, że potrafi zabić, zasuszyć życie, wypalić je i zamienić

w proch, z którego powstało. Ciepło rozgrzewające się do 130 stopni Fahrenheita wymusza choreografię ukrycia, spoczynku, hibernacji a w końcu przetrwania lub ucieczki. Na końcu tych wyborów (i każdych innych) zawsze czeka śmierć. Śmierć nie ma nic wspólnego z ciepłem. Jest zimna jak gołe kości. Jak stal kosy. Ostrze miecza Wikingów, nawet rozgrzane do czerwoności jest zimne. Ciepło ma więc w sobie coś z zamrożenia.

\*\*\*



Ryc. 5. Zwrotnikowa triada ciepła

\*\*\*

## C I E P Ł O

*Ciepło przyciąga. Ciepłe ciała lepią się i kleją od potu.*

*rozkosz*

*udręka*

*czas wolny na słońcu*

*praca w palącym słońcu*

*gorączka z podniecenie*

*gorączka  
z przemęczenia*

*regeneracja*

*inercja*

*powolne odzyskiwanie sił*

*powolna śmierć*

*ciało*

*ciało*

*Ciepło przyciąga. Na ciepłym cieple siadają gzy i muchy.*

\*\*\*

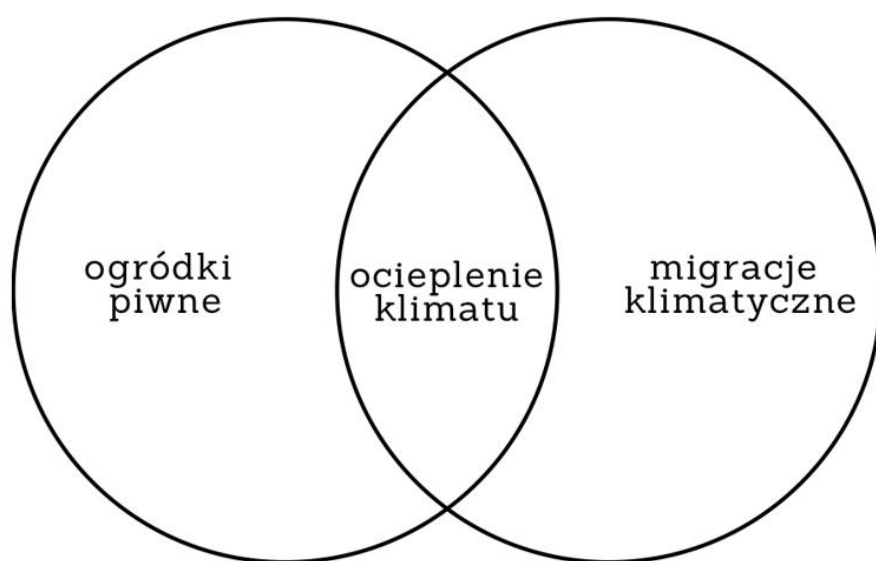
Powszechnie wiadomo, że ruch wytwarza ciepło. Mniej powszechnie wiadomo, że ciepło powoduje ruch. I nie chodzi mi tu o rozszerzanie się materiału pod wpływem ciepła, to wiadomo, ale o ruch przemieszczania się istot poza/ludzkich. Od zarania ludzkości człowiek migrował z terenów, na których ekstremalne ciepło (współ z radykalnym zimnem) nie pozwalało koczować, zakładać

osad i prowadzić osadniczego trybu życia. Tylko nieliczni zdołali się mniej lub bardziej przystosować do radykalnego ciepła (lub zimna). Wydaje się, że to było tak dawno - gdzieś w „światlanej przeszłości” [1] - że trudno sobie wyobrazić, żeby było na prawdę. A jednak. Ciężko jest nam pomyśleć o ucieczce od ciepła człowieka antycznego, co dopiero prehistorycznego. Okazuje się, że z trudem wyobrażamy sobie człowieka

współczesnego swobodnie migrującego z powodu ekstremalnego ciepła na tereny bardziej przyjazne osadnictwu. Wciąż łatwiej nam myśleć o nim jako o obcym, najeźdźcy zagrażającym bezpieczeństwu narodowemu i stabilizacji ekonomiczno-społecznej. Nie wiele ma to wspólnego z ciepłym przyjęciem. Nadal łatwiejsza do wyobrażenia jest migracja (klimatyczna) jako chęć okupacji, dominacji lokalnej kultury czy rabunek zasobów niż jako efekt mglistej katastrofy ekologicznej

w postaci ocieplającego się klimatu. Niezmiennie dla wielu z nas, ocieplenie klimatu to zaledwie figura retoryczna do zbijania kapitału politycznego. Nawet pomimo istnienia obok nas ludzi, dla których ucieczka przed rosnącym ciepłem jest choreokartografią, która na trwałe zmienia ich losy i ciała. W archiwum ich ciał pozostaje nie tylko trauma koniecznego ruchu ale również zapis zmian ciepła, architekta tego ruchu...

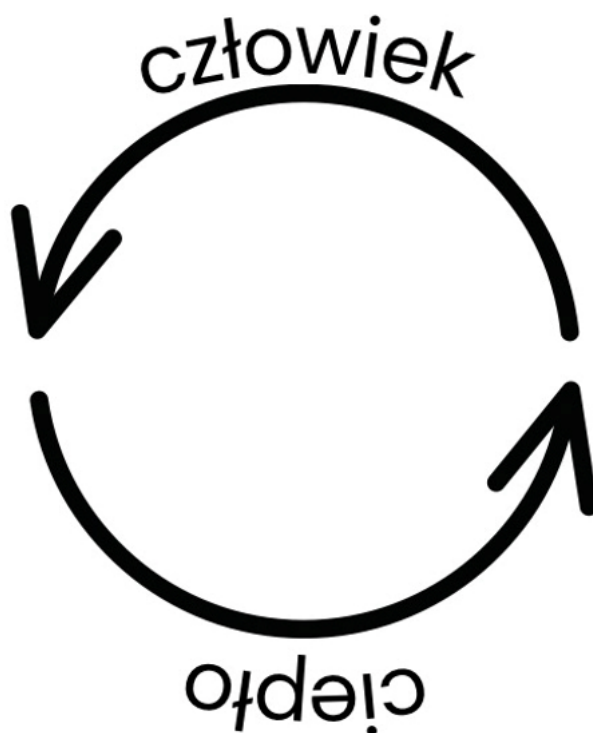
## hiperobiekt



Ryc. 6. Schemat ocieplenia klimatu jako hiperobiektu

Jeśli do próby opisanie ocieplenia klimatu skorzystamy z koncepcji hiperobiektu Timotheo Morton (2023), być może łatwiej będzie nam sobie wyobrazić pozornie absurdalne połączenia między wydłużającym się sezonem ogródków piwnych w Europie a postępującym pustoszczeniem stref (około pod-

zwrotnikowych. „Łatwa do pomyślenia kategoria” hiperobiektu - jakby mógł powiedzieć Morton - w iluminacyjny sposób może nam pokazać ocieplenie klimatu jako wspólny zbiór, w którym jest miejsce na polskie ogródki piwne i na subsaharyjskie migracje klimatyczne...



Ryc. 7. Wzajemna zależność „człowiek – ciepło”

Nierzadko zrozumienie procesów ocieplenia klimatu jest trudne i wymagające. Kategoria hiperobiektu może okazać się pomocna w zauważeniu i zrozumieniu zależności między często skrajnymi zjawiskami ciepła. Wspiera naszą percepcję w rozgraniczeniu ciepła na pogodę i klimat. Pomaga ogarnąć umysłem skalę procesów, w wyniku których ciepło powstaje i transformuje i wreszcie umożliwia zobaczyć, że zmieniające się ciepło wpływa zarówno na błahe sytuacje (typu ogródki piwne), jak i na śmiertelnie ważne (np.: wysychanie rzek). Odwołując się do kategorii hiperobiektu, mamy możliwość przybliżyć się do zrozumienia wpływu działalności człowieka na zmieniające się ciepło, które zwrótnie zmusza klany, plemiona, społeczności i narody wraz z otaczającą ich fauną i florą do ruchu. Ta skomplikowana choreografia przemieszczania się wynika

z logiki organicznego przetrwania a nie z logiki kapitalizmu, jakby chcieli to widzieć apologetci nacjonalizmów.

\*\*\*

Język potrafi być przewrotny. W sensie społecznym i architektonicznym ocieplić klimat, to sprawić, że dane miejsce, pomieszczenie, budynek, teren, staną się bardziej przyjazne, domowe, intymne. Innymi słowy, przyjemniejsze, bardziej znośne, zapraszające. Tym czasem, w sensie meteorologicznym i geograficznym, ocieplenie klimatu ma radykalnie inne konotacje. To ciepło niepożądane. To ciepło nieprzyjazne, globalne, obce. To ciepło nieprzyjemne, nieznośne, wypędzające. To ciepło, które jest tylko w nazwie ciepłe. Faktycznie, jest odpychające, budzące lęk i powodujące rozpacz. Jak miecz Wikingów.

**CIE - PŁO  
TIK - TAK  
CIE - PŁO  
TIK - TAK**

Ryc. 8. Ciepłoczas

Gra w ciepło-zimno, to gra w odnajdywanie. Ciepłej znaczy bliżej. Gorąco to sukces.

To wygrana. Ale wygrana dla kogo?

**CIEPŁO CIEPŁO CIEPŁO CORAZ CIEPLEJ JESZCZE CIEPLEJ BARDZO CIEPŁO  
OCIEPLENIE KLIMATU**

Czy kiedykolwiek bardziej ciepło kojarzyło nam się z porażką niż w dobie ocieplenia klimatu? Ciepło to „za późno”. Ciepło to katastrofa. Ciepło to kryzys. Ciepło to niesprawiedliwość.

A może ciepło - jakby chciał Kohei Saito, zajmujący się ekologią i ekonomią polityczną z perspektywy marksistowskiej - to jednak „jeszcze nie za późno”? Może ciepło to postwzrost? [2] Może ciepło to slow food? Może ciepło to self care? A może ciepło już nie istnieje?

## Literatura:

Borkowska A., publikacja *Będzie coraz cieplej. Rozmowy o migracjach w erze katastrofy klimatycznej* (nieopublikowana)

Morton T. (2023). *Mroczna ekologia. Ku logice przyszłego współistnienia* Oficyna Związek Otwarty, Warszawa

Staszewski K., cyt. „Każdy kij ma dwa końce, ale co, gdy znajdziesz kończący trzecim końcem” z piosenki Przy słowie, Kazik Na Żywo, Porozumienie ponad podziałami (LP/CD, 1995)

[1] <https://popmoderna.pl/przed-nami-swietlana-przeszlosc-czyli-o-kryzysie-wyobrazni/#> [dostęp: 01.08.2025]

[2] <https://www.theatlantic.com/ideas/archive/2024/05/kohei-saito-degrowth-communism/678481/> [dostęp: 15.07.2025]

## Notka o autorze:

Łukasz Wójcicki - performer, tancerz, choreograf, animator kontrkultury, badacz, dramaturg. Absolwent III Akademii Praktyk Teatralnych „Gardzienice”, dwuletniego kursu „Choreografii Eksperymentalnej” Centrum w Ruchu i IC School For A New Dance Development Akademii Teatru i Tańca na Amsterdam University of the Arts. W jego polu zainteresowań jest polityczność ciała, choreografia społeczna, dekonstrukcja przywileju, patriarchy i normatywności. Bada nowe formy obecności w kontekście katastrofy ekologicznej, kryzysu kapitalizmu i dekolonizacji.

Zuzanna Berendt - badaczka sztuk performatywnych, niezależna kuratorka, krytyczka teatralna. Współtworzy projekty oparte na formule badan artystycznych, badawczo zajmuje się między innymi ekologią i posthumanizmem. Obroniła doktorat dotyczący myśli ekologicznej we współczesnym teatrze i choreografii. Jest redaktorką miesięcznika „Dialog”, współpracuje między innymi z „Dwutygodnikiem” i „Didaskalią”.

## Symbiocen i myślenie ciepłem

mgr Anna Saramowicz

*psycholog, certyfikowana psychoterapeutka i superwizorka  
aplikantka Polskiego Towarzystwa Psychiatrycznego*

dra Monika Rościszewska

*Wydział Rzeźby, Akademia Sztuk Pięknych w Krakowie  
e-mail: [rosciszewskam@gmail.com](mailto:rosciszewskam@gmail.com)*

*Słowa kluczowe: Symbiocen, relacyjność, czułość,  
odczuwanie, twórczość, ciało*

### Perspektywa Teoretyczna: Ciało, relacja i Symbiocen<sup>1</sup>

Symbiocen to pojęcie wprowadzone przez Glenna Albrechta (2014) – australijskiego filozofa środowiskowego – do opisu nowej epoki, w której zamiast dominacji człowieka nad światem przyrody, zaczynamy uznawać współistnienie, relacyjność i wzajemność wszystkich istot żywych. W symbiocenie ciała i środowiska nieustannie się przenikają, wymieniając energię i substancje, a człowiek staje się odpowiedzialnym elementem całości, a nie jej władcą. To zmiana wobec perspektywy antropocenu – epoki, w której człowiek pozostawał w centrum, a jego eksploatacyjne i niewrażliwe działania prowadziły do naruszenia równowagi w przyrodzie i cierpień innych organizmów (Albrecht, 2019).

Na tym tle pojawia się idea myślenia ciepłem. To zaproszenie do wymiany energii między istotami nie tylko w wymiarze fizycz-

nym, ale też emocjonalnym i relacyjnym. Doświadczenia uwzględniające dotyk, czułość czy opiekę, odzyskują dziś fundamentalne znaczenie w budowaniu „ciepłych” relacji z ludźmi i poza ludzką naturą.

Już w okresie prenatalnym nasza zdolność do bycia w relacji z innymi ukierunkowuje się poprzez zmysły. Głos matki, który przenika przez powłoki cielesne, staje się dla dziecka pierwszym doświadczeniem bezpieczeństwa oraz więzi. Intonacja mowy matczynej to swoista „kąpiel”, która zapewnia niezbędne warunki do rozwoju; to przykład pierwotnego przenikania się, współistnienia i ciepła. Dzięki temu łatwiej budujemy w sobie gotowość do akceptowania współzależności jako niezbędnego elementu życia w harmonii ze światem.

Czucie i zmysły – zwłaszcza dotyk – stają się indywidualnym narzędziem nawiązywania relacji z otoczeniem. Jak pisał Didier Anzieu (1995) w teorii „Skóry jako self”, nasza skóra rejestruje i zapamiętuje kontakt ze światem: doświadczenia mogą być czułe i wspierające lub – przeciwnie – zimne i wrogie.

---

<sup>1</sup> mgr Anna Saramowicz

Warto pamiętać, że ciało bywa też zakładnikiem nieprzepracowanych bodźców i trudnych uczuć. Przypomina to zjawiska środowiskowe: tak jak natura, w którą zamiast substancji odżywczych przenikają toksyny, zaczyna chorować, tak i człowiek odczuwa skutki niezintegrowanych doznań. Tu pojawia się rola twórczości – w szczególności artystycznej – jako praktyki uzdrawiającej. Akt tworzenia ze skupieniem na ciele, jego strukturze, a także przepracowaniu niedoskonałości pozwala na zrozumienie oraz uzdrawianie własnego doświadczenia. Bycie widzianym i odzwierciedlonym – ważne pojęcie w psychologii rozwojowej u Donalda Winnicotta (2011) – to kluczowe warunki budowy zaufania i umysłowego rozwoju. Reintegracja zmysłowa w procesie artystycznym może więc uruchomić procesy transformacji zarówno u twórcy, jak i modela – zrodzić nową przestrzeń czułości i wzajemnego wsparcia.

Podsumowując: myślenie ciepłem w symbiocenie obejmuje nie tylko otwartość na innych ludzi i poza ludzką naturę, ale również uznanie leczniczego potencjału twórczości. To ona zasila nasze możliwości reintegracji – pozwala uzdrawiać relacje, odbudowywać wrażliwość i poczucie przynależności do większej całości, jaką jest świat.

## Perspektywa praktyczna:

### Ciało i Czułość Symbiotyczne odczuwanie, w stronę nowej ekologii relacyjnego myślenia<sup>2</sup>

Współzależność w funkcjonowaniu w świecie stanowi nieodłączną część istnienia. Odpowiedzialność za własne decyzje, przy jednoczesnej świadomości wpływu, jaki wywieramy na otoczenie – zarówno społeczne, jak i przyrodnicze – staje się fundamentem etycznego działania. Taka świadomość jest już krokiem ku pogłębionemu rozumieniu

kryzysu, wobec którego stajemy jako mieszkańcy tej planety. Jako artystka funkcjonuję w przestrzeni zarówno odczuwalnej, jak i wyobraźniowej. Moje ciało – a w szczególności skóra – staje się organem percepcji, przez który chłonę bodźce z otoczenia. Ich nadmiar i intensywność wymagają wewnętrznego przetworzenia. Obrazy, wrażenia i impulsy ulegają w mojej praktyce artystycznej transformacji – redefinicji – i stają się językiem wyrazu, narzędziem komunikacji oraz środkiem autorefleksji. Cały ten proces traktuję jako drogę rozwoju i samopoznania. Myślenie ciepłem to dla mnie akt zbliżenia, uruchamiania czułości i uwagi.

Ciepło jest tu rozumiane nie tylko fizycznie, lecz także symbolicznie – jako energia przepływająca między obiektami, istotami, relacjami. To energia, która ogrzewa i łączy; która współtworzy przestrzeń komfortu, rezonansu i wzajemnego zrozumienia. W tym kontekście ciepło staje się pojęciem relacyjnym, dynamicznym – wynikiem oddziaływania jednego elementu na drugi w sposób, który generuje wzajemną jakość istnienia. Energia wytwarzana w wyniku rezonowania dwóch bytów staje się przestrzenią dobra: sprzyjającą rozwojowi, wzajemności i współodczuwaniu. Odpowiedzialność, która rodzi się w tej relacji, to nie tylko troska o siebie, ale także o drugiego – o materię, środowisko, ekosystem, który współtworzymy.

W tym sensie myślenie ciepłem doskonale wpisuje się w ideę symbiocenu pojęcia zaproponowanego przez Glena Albrechta (2014) jako alternatywa dla epoki antropocenu. Symbiocen zakłada przejście od dominacji do współpracy, od eksploatacji do współodczuwania, od egocentryzmu do relacyjności. To czas, w którym ludzka aktywność nie niszczy, lecz wzmacnia sieć życia.

---

<sup>2</sup> dra Monika Rościszewska

Działanie w zgodzie z naturą staje się w tym ujęciu nie tylko etycznym wyborem, ale koniecznością egzystencjalną. To akt świadomego uczestnictwa w systemie zależności, w którym człowiek nie jest nadrzędnym podmiotem, lecz jednym z wielu współuczestników. Natura – jako enklawa dobrej, nieinwazyjnej energii – dostarcza tlenu, warunków do życia i inspiracji do tworzenia. To ona umożliwia funkcjonowanie, nie narzucając swojego obrazu, ale oferując przestrzeń współdziałania.

W dobie symbiocenu kluczowe stają się: empatia międzygatunkowa, uważność na procesy naturalne, oraz odpowiedzialność za wybory podejmowane w ramach relacji ze środowiskiem. Myślenie ciepłem jest więc nie tylko metodą twórczą, ale także postawą głęboko zaangażowaną wobec świata. W skórze zapisuje się pamięć relacji, co dla artysty rzeźbiarza czyni dotyk zarówno narzędziem poznania, jak i soczewką oglądu świata.

## Wnioski

Oba przedstawione teksty ukazują myślenie ciepłem jako istotną strategię kształtowania relacji między jednostką a światem w dobie symbiocenu. Mimo różnych akcentów, jeden bardziej osobisty i artystyczny, drugi bardziej filozoficzno-teoretyczny, oba podejścia wskazują na głęboką przenikalność między świadomością cielesno-odczuwalną, a etyczną odpowiedzialnością za globalne ocieplenie i stan środowiska naturalnego.

Współzależność i relacyjność zarówno w pierwszym, jak i w drugim tekście, wyraźnie zaznacza się postulat przejścia od indywidualizmu i antropocentryzmu ku relacyjnemu modelowi istnienia, charakterystycznemu dla epoki symbiocenu. Współzależność nie jest tu jedynie koncepcją teoretyczną, lecz doświadczalną rzeczywistością: przejawia się poprzez ciało, dotyk, skórę, dźwięk, energię emocjonalną.

W obu tekstach ciało zostaje uznane za główny organ poznania i komunikacji, który umożliwia głębokie, empatyczne odczuwanie otoczenia. Myślenie ciepłem zyskuje tu wymiar ontologiczny i etyczny, jest nie tylko strategią poznania, lecz także postawą wobec świata.

Myślenie ciepłem jako kategoria epistemiczna i moralna. Ciepło nie funkcjonuje jedynie jako metafora, staje się realnym narzędziem kształtowania więzi między istotami. To myślenie emocjonalno-zmysłowe odróżnia symbiocen od chłodnej racjonalności antropocenu. W pierwszym tekście ciepło to podstawowa matryca rozwoju emocjonalnego, psychicznego i ekologicznego, w drugim energia rezonansu i komunikacji artystycznej. Wnioskiem płynącym z porównania obu tekstów jest uznanie, że myślenie ciepłem stanowi alternatywną epistemologię – wiedzę zakorzenioną w cielesności, relacyjności i emocji, która nie tylko pozwala zrozumieć świat, ale także buduje gotowość do ponoszenia odpowiedzialności za niego.

Twórczość jako proces wglądu relacji ze światem. Szczególnie silnie wybrzmiewa w obu tekstach znaczenie twórczości jako procesu transformacyjnego i ekologicznego. Zarówno na poziomie jednostkowym (samo-poznanie artystki), jak i kolektywnym (odbudowywanie więzi z naturą), sztuka i myślenie ciepłem pełnią funkcję regenerującą. W pierwszym tekście szczególny nacisk położony jest na koncepcję reintegracji sensorycznej jako formy uzdrawiania relacji z otoczeniem - zarówno ludzkim, jak i poza ludzkim. W drugim natomiast twórczość służy jako kanał autorefleksji i odpowiedzi na nadmiar bodźców, z którymi zmagamy się w zglobalizowanym, przebodźcowanym świecie.

Symbiocen jako warunek przetrwania i wspólnoty. Oba teksty zgodnie podkreślają, że przyszłość oparta na modelu symbiocenu

wymaga radykalnej zmiany w sposobie postrzegania i działania człowieka. Przejście od eksploatacji do współodczuwania, od dominacji do rezonansu, staje się warunkiem dalszego istnienia nie tylko gatunku ludzkiego, ale i całej biosfery. Myślenie ciepłem – jako praktyka artystyczna i etyczna – staje się metodą budowania zrównoważonego, współodczuwającego świata, w którym odpowiedzialność za zmiany klimatyczne wynika nie z abstrakcyjnych nakazów moralnych, ale z ucieleśnionej świadomości współistnienia.

Myślenie ciepłem ujawnia się jako kategoria epistemologiczna, etyczna i estetyczna, łącząca świadomość zmysłową z odpowiedzialnością środowiskową. Symbiocen jako nowy paradygmat egzystencji promuje relacyjność, wzajemność i cielesno-emocjonalne połączenie człowieka ze światem. Twórczość artystyczna, oparta na cielesnym doświadczaniu, stanowi zarówno akt poznania, jak i proces wglądu, istotny w kontekście kryzysu klimatycznego i egzystencjalnego. W obu tekstach zaznacza się potrzeba odejścia od antropocentryzmu na rzecz współodczuwania i międzygatunkowej empatii, które wspierają procesy naprawcze i tworzą warunki dla regeneracji planety. Współczesna etyka ekologiczna, wspierana przez afektywne i artystyczne praktyki, zmierza ku nowemu modelowi istnienia, w którym współodczuwanie otoczenia i świadomość odpowiedzialności stają się nierozdzielne.

## Literatura:

- Albrecht, G. A. (2014). Ecopsychology in the Symbiocene. *Ecopsychology*, 6(1), 58–59.
- Albrecht, G. A. (2019). *Earth Emotions: New Words for a New World*. Ithaca: Cornell University Press.
- Anzieu, D. (1995). *Le Moi-peau*. Paris: Dunod.
- Winnicott, D. W. (2011). Lustrzana rola matki i rodziny w rozwoju dziecka. [w:] *Zabawa a rzeczywistość*, Warszawa: Imago, s.153-161

## Notka o autorkach:

*Monika Rościszewska – rzeźbiarka, projektantka i pedagogka Akademii Sztuk Pięknych w Krakowie – traktuje szkło jako medium o wyjątkowej sile ekspresji. Jej twórczość koncentruje się na procesach wewnętrznego samopoznania, a sam materiał ujmując jako niemal żywy organizm, którego potencjał ujawnia poprzez formę. Jej prace prezentowano w Polsce i za granicą. Jest doktorką sztuki na Wydziale Rzeźby ASP w Krakowie*

*Anna Saramowicz – psycholożka, certyfikowana psychoterapeutka i superwizorka SN Psychoterapii PTP, absolwentka UJ. W trakcie szkolenia z psychoanalitycznej terapii rodzic-niemowlę u Tessy Barandon. Pracuje psychodynamicznie, systemowo i MBT. Prowadzi praktykę własną, współpracuje z Gabinetem Wczesnego Rodzicielstwa w Szpitalu św. Ludwika i szkoli psychoterapeutów. Jej zainteresowania to więź, terapia rodzic-niemowlę, dziecko, przekazy transgeneracyjne, mentalizacja i związki sztuki z terapią.*

## Cloudy sky. Instrukcje dla podróżującej myśli

dr Marta Krześlak-Kolczyńska  
Wydział Intermediów, Akademia Sztuk Pięknych w Krakowie  
e-mail: [krzeslakmarta@gmail.com](mailto:krzeslakmarta@gmail.com)

*Słowa kluczowe: instalacja przestrzenna, woda, ciepło, podróż, myśl*

Na redefinicję zjawisk pozwala kontakt z obiektem, który jest w połowie abstrakcyjny, w połowie rozpoznawalny. Zbudowany za pomocą znanych motywów, może prowokować nostalgiczne myśli. Magazynem nostalgicznych obrazów jest pamięć, która miesza przeszłość, teraźniejszość i przyszłość. Wspomnienie definiuje więc nasze doświadczenie. Wystawa to zbiór obrazów, które pojawiają się w wyobraźni odbiorczyń i odbiorców. Możliwe, że wyobrażone rzeczy okażą się powtarzającym się pragnieniem albo traumą, którą poprzez rozczarowanie lub wzruszenie można przepracować. Uważna obserwacja świata może prowadzić do zmiany myślenia i buntu wobec zastanych systemów. Odejście od antropocentrycznego założenia stwarza szansę na świeże spojrzenie na kryzysy. Sytuacja wymyka się z rąk, bo przekracza skalę wyobrażeń.

Proponuję procesualne odnajdywanie siebie wobec innych ciał, które wydarza się poprzez dopuszczenie abstrakcyjnego myślenia i heretyczne podejście do przestrzeni. W otwarciu na interpretację pomaga efemeryczność, prototypowość, łatwość przekształcenia – konstrukcja, w której ważny jest

proces i moment ustanowienia fermentu myśli jako dzieła.

W instalacji *Cloudy sky* porównuję niebo z chmurami do przesuwających się w głowie myśli. Instalacja zbudowana jest z różnych papierowych elementów: masy papierowo-drzewnej, zdjęć, kartek w kratkę, papieru bawełnianego i bibuły. W atmosferze jeśli pojawi się jądro kondensacji, wtedy powstanie deszcz, dzięki niemu bezpośrednio doświadczamy obiegu wody w przyrodzie.

### Cloudy sky. Instrukcje dla podróżującej myśli

Do zrobienia masy papierowo-drzewnej wykorzystałam papierowe elementy z pracowni. Wrzuciłam je do wody, by zmiękły. Chciałam, żeby masa wyschła na kształt wzgórza (skojarzenie, kiedy znajdujemy się nad nią) lub jaskini (skojarzenie, kiedy znajdujemy się pod nią). Aby powstało takie wzgórze, potrzebowałam formy, na której mogę wysuszyć masę. Chciałam uniknąć budowania formy ze styropianu lub gliny, użyłam więc obiektów z pracowni ułożonych w stos: krzesła, kawałków materacy, elementów konstrukcyjnych. Ten stos przykryłam różnymi rodzajami folii: folią szczotkowaną do okrywania drewna, folią zbrojoną do okrywania szklarni i gładką folią malarską. Dzięki suszeniu na folii o różnej fakturze masa zyskała rysunkowe wzory:

szczotkowy, kratkę i nieregularne marszczenia. Masę obkleiłam gęsto gwiazdami wyciętymi z fluorescencyjnej bibuły. Na koniec łamałam ją na kawałki – czasami na potrzeby transportu, a innym razem masa po wyschnięciu łamała się pod własnym ciężarem. Wtedy ponownie ją namaczałam, łączyłam i suszyłam. W ten sposób powstała forma kolażowej wyplujki – eklektyczny wzór. Ciężko stwierdzić, czy jest to gwiazdna konstelacja czy niebo w zachodzącym słońcu, czy zmielone wzory flag różnych państw i sojuszy. Powstałe kawałki powiesiłam na różnych wysokościach. Wtedy mogą przypominać chmury. Gdyby włożyć je do wody, zupełnie by się rozpuściły, przybierając konsystencję gęstej śmietany.

Pomiędzy kawałkami masy papierowo-drzewnej zwisają gwiazdy. Część z nich wiruje zaczepiona na nieregularnym plastikowym okręgu poruszonym przez silniczek modelarski. Ten okrąg to konstrukcja wypruta z dziecięcego latawca. Inny zbiór gwiazd zwisa ławicą z plastikowej zgrzewanej siatki powieszanej na płasko pod sufitem. Siatka jest przeźroczysta, czasem łapie światło i wtedy przypomina cirrusową chmurę. Jeszcze inny zbiór gwiazd wisi na siatce zwieszanej w kształt stożka. Przy tym obiekcie gwiazdom można się przyjrzeć dokładnie, bo wiszą na wysokości wzroku. Są wycięte ze znalezionych zdjęć, a dokładnie – z obecnego na nich nieba. Jawi się ono we wszystkich odśrodkach: bywa czyste, o zmierzchu, przed burzą, pochmurne, gęste. Gwiazdy są sześcioramiennie, podobne do tych, jakimi zdobi się sklepienia katedr. Mają środek wielkości opuszka palca i jak najdłuższe ramiona, w zależności od wielkości nieba na zdjęciu. Wewnątrz przeźroczystego stożka prześwitują pięcioramiennie gwiazdy fluo wycięte z papieru bawełnianego. Każda przyklejona do transparentnej, kolorowej żyłki kawałkiem lustrzanej taśmy wielkości połowy paznokcia – najmniejszym, jaki da się obracać w palcach. Żyłka mieni się w świetle, wydaje się, jakby

była trajektorią pozostałą po przesunięciu się gwiazdy. Podobnie jak na długo naświetlanym zdjęciu rozgwieżdżonego nieba świecące punkty stają się linią.

Wśród gwiazd zawieszono są litery wycięte z papieru bawełnianego. Czasem da się odczytać z nich słowa. Całość to angielski tekst popowej piosenki spisany przeze mnie ze słuchu. W tekście pojawiają się błędy wynikające z trudności z odgadnięciem słów lub z pomylenia klawiszy na klawiaturze podczas zapisywania. Ten błędny, pośpieszny zapis utrwalałam, zawieszając słowa w zgrzewanej siatce i w pajęczynie drutów, na których wisi papierowa masa, dzięki czemu można odnieść wrażenie, że unoszą się w powietrzu.

Kartki A4 w kratkę o gramaturze 40 sklejam ze sobą taśmą malarską. Powstały w ten sposób duży obszar papieru zarysowuję małymi kreskami, używając brokatowego długopisu w trzech odcieniach niebieskiego. W ten sposób powstaje obraz błękitnego nieba z białymi chmurami. Po skończeniu tnę wielkoformatowy rysunek wzdłuż co cztery kratki (czyli co dwa centymetry). Zaczyna wtedy przypominać żaluzję. Zawieszam ją na dwóch okręgach wykonujących ruch kołowy. Podczas ruchu w zależności od tego, jak paski się ułożą, niebo raz jest widoczne, raz znika. Kratka na kartkach będzie blaknąć w trakcie ekspozycji papieru na światło. Prawdopodobnie niektóre kartki już są białe – struktura zniknęła, został tylko rysunek, który i tak nigdy nie był od niej zależny, może jedynie bliski formalnie, ponieważ powstał z kresek.

Obiektem zawieszonym najniżej w instalacji jest jaskinia, powstała z już wspomianej masy papierowo-drzewnej. Tym razem obkleiłam ją zbiorem zdjęć. Nie ma znaczenia, co przedstawiają, bardziej interesują mnie peryferie kadru. Paznokciami odrywam papier od plastikowej światłoczułej emulsji. Później ze zdjęcia wydzieram postacie.

Ważne, by najpierw odedrzeć tylny papier, podważając rozwarstwiony róg starego zdjęcia. Ponieważ moje nowe darcie zdjęcia jest świeże, od takiej krawędzi trudniej go oddzielić. Oderwany plastikowy świstek zwija się w rulon, wtedy już ciężko coś na nim obejrzeć. Dlatego muszę wybrać fragment, zanim zdjęcie się skuli. Wybieram te, na których rozpoznaję chodnik, krawężnik, krzesło ogrodowe albo drogę w górach, które kiedyś mi się przyśniły albo je widziałam. Te fragmenty krajobrazu i architektury naklejam na papierowej masie. Dość przypadkowo, obok siebie. Dobieram w zależności od kształtu powierzchni masy. Jeśli miejsce, do którego chcę przykleić wydarkę zdjęcia, jest bardziej skomplikowane, wybieram tę bardziej wiotką, rozpadającą się w palcach, jeśli mniej, wybieram tę sztywniejszą. Przyklejam je klejem introligatorskim i dociskam miękką gąbką. Niektórym za chwilę odkleją się rogi, będę musiała do nich wrócić i jeszcze trochę docisnąć. Masa papierowa, kiedy obklejam ją zdjęciami, lekko się rozpuszcza, czasem jakiś kawałek się odłamie. Będę musiała je później skleić albo, jeśli to się nie uda, powiesić na różnych wysokościach, jakby zawisły wpadnięte w pajęczynę.

Pajęczynę tkam z karbowanych drutów wyprutych z siatki filtracyjnej. Proces, jaki przeszedł ten drut, przypomina to, co dzieje się z pokarbowanymi włosami po nocy przespanej w warkoczu. Druty są krótkie, ponieważ żeby rozpruć siatkę filtracyjną, musiałam ją pociąć na małe fragmenty. Po wypruciu muszę je więc splatać ze sobą na długość. Powstaje z tego coś w rodzaju drutu kolczastego.

Pod jaskinią można się położyć. Leżąc, widzimy w oddali mobil z gwiazdami, wokół niego przemieloną masę papierową wyglądającą jak rozjechany tort urodzinowy kogoś, kto jest star girl (lubi gwiazdki). To – jeśli ustawimy ostrość na dal. Jeśli natomiast na bliż, leżymy pod masą papieru, która schła na

szczotkowanej folii do okrywania drewna na opał. Teraz widzimy to dokładnie: tak zwana „satynowa” powierzchnia nie jest ani matowa, ani błyszcząca. Na środku tej wyjątkowo minimalistycznej – w porównaniu z dotychczasowymi składowymi instalacji – powierzchni przyczepiłam zdjęcie (10 × 15 cm) ogniska płonącego na polu o zmierzchu. Intensywny płomień jest dużo jaśniejszy od ściemniającego się nieba, widać rozgrzane polana drewna w głębi ognia. Ogień jest na pewno większy od człowieka, nawet od kilku ludzi. Zapewne osoba robiąca zdjęcie czuła żar ogniska.

Gdyby taki płomień postawić w środku instalacji, zdematerializowałaby się w kilka chwil. Rysunek na kartkach w kratkę spłonąłby jak chusteczka. Plastikowe obręcze skuliłyby się niczym włos i zostałyby mały ogryzek. Plastikowa siatka spłonęłaby jak wafel, może zaczęłaby skapywać. Masa papierowa gorzałaby jak drewno, prawdopodobnie najdłużej, najpierw by się przypalała, potem tliła jak kadzidło. Znam jej zapach, kiedy się pali. Susząc ją, musiałam ogrzewać ją farrelką, bo w pracowni w czasie przedwiośnia było zaledwie kilka stopni. W trakcie podgrzewania zdarzało się, że jej części zaczynały się tlić. Taki ogień spaliłby też zdjęcia. Prawdopodobnie ładny byłby taki pożar, tylko bardzo szybki. Zupełnie odwrotnie niż trwające tygodnie rysowanie błękitnego nieba, suszenie masy i ręczne wycinanie liter i gwiazd albo niż lata, które przetrwały zdjęcia.

Po skończeniu tej pracy taki właśnie pożar chciałabym zobaczyć. Wtedy wszystko bym wypruła i musiała na nowo zbierać. Gdyby tej skrzętnie utkanej instalacji nie było, wszystkie jej składowe wciąż by istniały. Bo jeśli zapomnimy część rzeczy, które widzimy w krajobrazie, to te składowe akurat zawsze w nim będą. Niebo niebieskie i gwiazdy zawsze są nade mną, słowa piosenki ktoś nuci, rozpoznawalny chodnik, płot albo krawężnik łatwo

byłoby mi znaleźć. Zostałyby metalowe elementy. Można oczyścić je z sadzy i użyć do czegoś innego.

Ruch, który cały czas zmienia punkt odniesienia, i barokowość detali rozpraszają środek ciężkości instalacji. To działanie przestrzenne nie ma gęstości – jest jedynie linią i płaszczyzną.

Elementy zmieniają położenie wobec siebie poruszane przez silniczki (mobil z gwiazdami i mobil z rysunkiem) lub przez zawirowanie powietrza spowodowane przemieszczaniem się osoby w pobliżu (stożek z gwiazdami, masa papierowa powieszona w pajęczynie drutów). Z różnych punktów widzenia drugi plan staje się co chwila innym obrazem. Odbiorcy i odbiorczynie mogą przemieszczać się pomiędzy obiektami, dzięki czemu również stają się punktami odniesienia. Może oni są olbrzymami, a może krajobraz jest miniaturą.

Na środku instalacji postawiłam podest montażowy. Można na niego wejść i oglądać instalację, stojąc 80 centymetrów nad ziemią. Zmienia to perspektywę. Głowę mamy wtedy w gwiazdach, możemy spojrzeć też na drugą stronę wiszących chmur z masy papierowej, mobil z gwiazdami omiata je dookoła. Wydaje mi się, że łatwo wówczas stracić równowagę. Łącząc delikatne składowe instalacji z obiektami konstrukcyjnymi, podkreślam eksperymentalność pracy z materiałem. Może takie połączenie zdjęcie z obiektów ciężar nietykalności i zachęci do wielowarstwowości widzenia.

## Notka o autorce:

*Marta Krześlak artystka wizualna, absolwentka Pracowni Multimediów ASP w Łodzi. W 2023 roku obroniła doktorat na ASP w Krakowie. Tworzy instalacje kinetyczne, sytuacje site-specific oraz kolażowe prace wideo. Naśladując cykle przyrody, używa zamkniętej pętli materiałów, przekształcając jedną instalację w kolejną. Produkcując dzieło często wykonuje skrupulatnie powtarzane gesty, od wycinania tysięcy papierowych gwiazdek po tworzenie chmury z drobnych kresek na papierze, jest to medytacja nad skalami czasu naturalnych procesów.*



Ryc. 1. Instalacja „Cloudy sky”



Ryc. 2. Instalacja „Cloudy sky”

## Domesticating the Thermal: Sense of Warmth as the Object of Biopolitics

Kitija Mirončuka

*Faculty of Humanities, University of Latvia*

*e-mail: [kitija.mironcuka@gmail.com](mailto:kitija.mironcuka@gmail.com)*

tutorka: Dr. phil. Associate Professor Anne Sauka

*Faculty of Humanities, University of Latvia*

*Słowa kluczowe: thermal conditions, more-than-human world, environmental philosophy, biopolitics*

Foucauldian biopolitics overall remain “bound to the notion of an integral body” (Lemke 2011, 94); however, in the modern context, the body politics do not have just one singular subject of control. The body has become fragmented and peripheral, extended to the point of objectification and domestication of nature (Macauley 2010), allowing us to believe that humans can own not just the material, physical nature but even the natural processes like fire (encaging it within furnaces, ovens and lava lamps). Nature has become another “field of difference” (Haraway 1991, 162), which somehow is “both a resource and a sacral ground” (Sauka 2023, 39). Nature, on the one hand, is owned and reproduced, and, on the other, neglected and treated like a landfill, leading to a loss of connection with the nonhuman – the more-than-human agencies that sustain life (Hird 2012). The nonhuman – more than non-human – becomes an essential aspect of sustaining humanity. However, because we try owning “nature” and exercising power over it, humans have disconnected from both nature and the selfhood.

### Where the thermal begins?

Warmth – whether naturally emitted by sun, geysers, wildfires and sirocco winds or the industrialized material sources such as furnaces, heaters, radiators, and stoves – represents more than comfort. Ancient fire symbolizes gathering, togetherness and warmth of a community (Medlin & Zajchowski 2023, 1150), whilst the modern fire represents production, function and processualism of life (Pisters, 2023; Starosielski, 2021). Warmth, fire and heat manifests through all stages of life, accompanied by various thermal conditions and objects (henceforth referred to as the thermal) that ensure and generate vitality and life (Walker, 2020, 53). The thermal is also not exclusive to surrounding environments, human bodies perform thermoregulation all the time, heating and cooling oneself, however this thermal “is neither the property of objects nor subjects; [it] is not contained in matter” (McHugh & Kitson, 2018, 158). The thermal is everywhere, yet also not entirely fixed, in a sense, the thermal is more likely an action, relations between bodies and things, nature and human (Beregow, 2019), a movement between

different subjects, both human and the more-than-human agencies.

However, the thermal does not exist as an interdependent subject; instead, it is governed by humans who place themselves at the center of all that is natural, and non-human. Consequently, a new epoch can be defined by the Anthropocene, where humanity perceives it as their responsibility to hold the control over the inhuman aspects of the world, resulting into “interventions into matter and life precipitate deadly systemic breakdowns” (Clark, 2011, 30), affecting the thermal, within the realm of biopolitics. In biopolitical terms, power operates through the management of life; it “is the right to take life or let live” (Foucault, 2003, 241). Biopower seeks to manage life through death, which is always on the horizon. This desire to control death reflects humanity’s quest to preserve life. However, attempting to manage death inherently involves striving to guarantee survival, which in order means that manipulating nature and all that exists as inhuman is just another tool. In this context, warmth emerges as the most vital source of life that should be owned and controlled, to an extent that “we seek to surround ourselves with supplementary fires (the engines that transport us, the central heating systems that keep us warm, the electrical grid that connects us to information technologies) from which we expect to receive a compensation for the weakness of our vitality” (Marder, 2020, 97). The control of the thermal becomes an extension of the human’s own body, domesticated and entangled in arms wide open. In the process of biopower also is born the thermopower – “ways that temperature management defines subjects, produces objects, and locates both in grids of social and political organization” (Starosiel-ski, 2021, 7).

Through the lens of Foucauldian biopolitics and discourse analysis, the paper aims to illustrate how modern governance intervenes in the vital processes of life, simultaneously ingraining the Anthropocene even deeper in biopower structures. The main argument is – when humans attempt to control and domesticate elements and processes, such as the thermal, it leads to the exclusion of both nature and humanity. By owning the natural and controlling the thermal, the Anthropocene subject not only alienates self from nature but loses its own sense of self, forgetting that the lived body is always part of the thermal too.

## The pursuit of thermal control and loss of harmony

The pursuit to understand and control the thermal has been a part of humanity’s objective since antiquity. Fire and heat were regarded as central elements world order system and the core of the life itself. For example, the Greek philosopher Heraclitus, in fragment 28, describes fire as the exchange of all things and all things – of fire (Heraclitus, 2016, 18). Not only Heraclitus sought to identify the fundamental element of all things, but also located thermal as the source of life, i.e. cycle of birth and death. For Heraclitus fire resembled harmony and movement. Overall fire and light were the manifestations of life or cosmic fire “that illuminated and emitted life-giving warmth” (Marder, 2020, 32) and represented balance between nature and humans. However, another prominent idea is represented in the Greek myth of fire god Prometheus, who stole the fire from gods and gifted it to humanity, representing technological development (Segovia, 2021, 507). Consequently, the transfer of fire to humans not only speaks about advancement, but also about the instrumentalization of nature. Fire that once belonged to gods, was unreachable by humans, now became a tool, instrumental and controllable.

While instrumentalizing nature or its attributes does not negate the existence of material world, it does construct “nature” through a human-centric worldview. While ancient cultures viewed the relationship between nature and humans as harmonious, the Anthropocene worldview disrupts this interdependence and balance, creating a system hierarchy over material. This new era is evident through the “overuse and high visitation in natural environments” (Medlin & Zajchowski 2023, 1153), where humans claim the different environmental and material spaces as their own. Furthermore, this shift in perception of the world order turns nature into an object of politics, always under the influence of narratives, knowledge fields and power. In other words, nature becomes something constructed, not discovered (Harway, 1991, 106). And humanity becomes seemingly more independent and begins to view climate, nature and the environment as something that can be held and controlled (Matthews, 2021). Nature stops existing as something that can affect the surrounding environment and coexist with living beings, rather there no longer is independent nature.

However, claiming something, does not mean that it is owned, the biopower, even more the thermopower “is not granted to the individual; it is dispersed across the network” (Starosielski, 2021, 71) of society, climate and the thermal. Through this new worldview, “human connections to and continuity with the past” (Hourdequin, 2021, 64–65) risk becoming endangered and overly entangled in power dynamics, dispersing in the system themselves. In Foucauldian terms, what was once regarded as the external realm of nature, that which could have been controlled not imbued with human nature, is reconfigured as bios – another life to be managed. This reconfiguration becomes the essence of biopower or “a set of mechanisms through which the basic biological features of the human species became the object of a political

strategy, of a general strategy of power” (Foucault 2009, 1). Consequently, nature becomes intertwined with the biological characteristics of the Anthropocene that are scrutinized through a political lens, controlled and excluded or restricted to specific forms of existence.

## The thermal and biopower

Viewing and engaging with the thermal dynamics within biopower structures that control life seemingly brings together the human and the nonhuman. However, the human attempt to strive for control and individuality also means denying one’s interconnectedness with nature and thermal processes (Whatmore, 2002, 157). As a result, humans do not see thermal energy as something that brings us into harmony with our surroundings and ourselves; rather, this connection is overlooked as just practical exercise of power over others.

The objectification and control of thermal and natural elements have “allowed humans to keep warm in the depths of winter. For Indo-European consciousness, the very thought of dwelling has been inseparable from the hearth burning at the center of a house” (Marder, 2020, 125). Consequently, what is overlooked is the fact that elements that produce heat and warmth are not only necessary for the sustainability of daily life, but also found the mentalities, social practices and collective identities. However, when those elements become governed by humans or further biopower to normalize, fixate and exclude that which is deemed unnecessary, unimportant (Foucault, 2003; Reeves & Peters, 2021), the thermal becomes another element of biopower, and controlled in terms of live or die. Material world, in this case, has no active role, and the natural has been taken over. Many different thermal practices – whether for keeping something

warm or cold – are now subject to the influence of instrumentation, leading to “building typologies that were isolated from the outside environment” (Bhowmik, 2019, 2).

The thermal becomes enclosed and limited to control life itself. Politics seize the fire, warmth, heating, making the thermal centralized result in affecting the extent to which humans can connect with thermal energies. No longer open fires, but enclosed, hidden heating systems, heating regulations and limited heating options that separate the link between nature and human even more (Von Platten, 2025). In Foucauldian terms, these enclosed, limited, controlled typologies and lived spaces illustrate how controlling the climate regulates bodies and behaviors and renders the instrumental aspect invisible.

Biopower normalizes and redirects not only the bodies and their energies, but also inhuman forces and processes, that strive for strict regulations and control (Clark, 2019, 10), making sure that nothing seems out of place, even if it means that something needs to be excluded from the sight. Within this biopolitical system, where vitality of life is prioritized, nature is now viewed solely as a dynamic social-ecological system (Zajchowski *et al.*, 2021), and human as part of it. Further on, humans are not independent in the Anthropocene worldview, but rather they are intrinsically subjected to the thermopower too. In fact, “[a]ll social practices (as conventionally understood) involve human bodies that, as already outlined, have a thermal ‘operating range’ within which they are able to readily function” (Oppermann & Walker, 2019, 135). It means controlling the thermal also influences human interactions with nature and actions to support their own advancement.

## Exclusion and restrictions

Controlling heat and leveraging it for agricultural benefit or other aspects of life for a long time was an essential part of our daily cycles. For example, burning fallow lands used for crops or collecting hay for livestock was once considered a crucial part of life, as it helped clear and maintain fields, ensuring soil nutrition and renewal. However, due to new regimes and policies, advancements in technologies, the use of fire, which was once seen as a means of promoting soil health, along with other traditional practices, has mostly disappeared (Clark, 2011, 167). This disappearance is not only the result of environmental policies but also a strategy to impose order and control over the thermal and all that has become the bios – lived bodies. In many instances, burning fallow lands led to unexpected fires that spread beyond intended areas, causing damage to the surrounding regions and also causing pollution.

This made fire increasingly difficult to manage, turning it into a force that exceeded the limits of warmth and its beneficial role (Walker, 2020, 184–186). Fire became viewed as the “abject”, something that should be kept at a distance and categorized as dangerous or undesirable, yet still at the periphery of our lives (Olivier, 2007, 451; Kristeva, 1982). As technology offers the ability to control heat sources and fire, natural thermal conditions are often regarded as phenomena that were perceived as those to avoid. Thus, fire, in this context, is excluded as something harmful and without a beneficial value. And the practices surrounding thermal control started to disperse or were applied in areas where they did not directly impact critical infrastructure and the environment in the periphery of the biopower and human-lived-world. But exclusion of these practices also limits the human nature. Practices that previously ensured more social, care-oriented and unrestrained lived experiences (Von Platten

*et al.*, 2019), now has become part of carelessness and dissolved naturalness. All that is left is the illusion that thermal can be controlled, forgetting that human is also part of this thermal literally and figuratively.

Therefore, by focusing solely on the “practical” aspects of the thermal, other factors are excluded from consideration. The thermal (either produced by nature or humans) becomes restricted. Everything becomes controlled and constrained to the extent that fire is replaced by alternative heat sources, and body temperatures should be kept in line, not too hot, not too cold, just enough to live and not die. However, even though, the thermal has become the subject of the thermopower and biopower, humans within this system are unable to address the risks of their carelessness, when dismissing the thermal which has always been the “engine for modern life as well as an immaterial affective reverie of destruction, transgression, sexuality, and a desire for life” (Pisters, 2023, 290).

As of result, green spaces are replaced and urban areas are deforested, summers in cities become increasingly unbearable, with the only sources of shade being buildings and billboards instead of trees. It seems that, because heat cannot be fully harnessed or controlled, the occurrence of heatwaves during the summer months is often avoided rather than acknowledged or accommodated with the natural means that impacted the heat at first hand. This also could be said about the spread of wastelands, and the pursuit of finding solutions to control pollution often overlooking the unnatural heat produced by these areas and means of discarding the waste. Responsibility for these actions is often neglected because the thermal cannot be fully owned or managed; instead, it is seen as something to be diminished. As the Anthropocene attempts to manage both human and nonhuman, nature itself becomes

merely material and instrumental, resulting in an environment that feels less natural and more socially constructed, illusory. And the humanity that tries to control nature either becomes toxic or a blessing to the surrounding environment (Sauka 2023, 40).

## Conclusion

The human positions itself at the center of things and vitality, forgetting it also is subjected to the power it seems to think it hold. The biopower is not controlled, it is a system that already has taken charge of everything and everyone. Hence biopower not only excludes the abject and the thermal as independent occurrence but also limits and constrains humanity itself, preventing it from existing to its fullest potential, being connected with the nonhuman – processes and more-than-human world. This power has constructed new narratives, forms, ideas, and even new ways of living that are just ways of controlling the dying. Heat and thermal energy can therefore be even used to control the lives that are worthy and violate those that are deemed insignificant (Tschakert & Karthikeyan, 2025). Interestingly, when thermal energy is subjected to biopower, humans forget their own thermal nature. Producing heat and needing heat, humans are dependent on their surrounding environment. Hence in the attempts to instrumentalize and normalize nature, The Anthropocene creates a system that seeks to imprison that which is naturally evolving and changing – including the humans too. This approach presents a static image of life, suggesting that certain aspects can be taken or discarded, but not adapted or changed. However, just like the “heat is never still and never fully contained” (Oppermann & Walker 2019, 134), human nature and thermal energies are not static too. The changes in thermal do affect the fluctuations and thermal control of humans too. In other words, “there is no being-together with others that is not always

already an accommodation with a volatile materiality" (Clark 2011, 191). The desire for humans to see themselves as overseers of life creates a conflict, as true control over our experiences and the environment cannot be achieved without also exercising control over oneself. Ultimately, humans are always connected to the more-than-human world, however, being embedded in material and the thermal. The more humans try to control their surroundings, the more these become excluded, owned, dominated, or abjected, stripping humans of their vitality and humanity.

## Literatura:

- Beregow, E., (2018). Thermal Objects: Theorizing Temperatures and the Social. *Culture Machine*, 1–18. [online], <https://culturemachine.net/vol-17-thermal-objects/thermal-objects-theorizing/> [accessed: 20.10.2025]
- Bhowmik, S., (2018). Thermocultures of Memory. *Culture Machine*, 1–20. [online], <https://culturemachine.net/vol-17-thermal-objects/thermocultures-of-memory/> [accessed: 20.10.2025]
- Clark, N., (2018). Infernal Machinery: Thermopolitics of the Explosion. *Culture Machine*, 1–19. [online], <https://culturemachine.net/vol-17-thermal-objects/infernal-machinery/> [accessed: 20.10.2025]
- Clark, N., (2011). *Inhuman Nature. Sociable Life on A Dynamic Planet*. London: Sage.
- Foucault, M., (2009). One: 11 January 1978. [In:] M. Foucault, *Security, territory, population. Lectures at the College de France. 1977-78*. (Ed.) Senellart M. New York: Palgrave Macmillan.
- Foucault, M., (2003). 17 March 1976. [In:] M. Foucault, *"Society Must Be Defended". Lectures at the College de France. 1975-76*. Transl. David Macey. New York: Picador.
- Hawaway, D. J., (1991). *Simians, Cyborgs, and Women. The Reinvention of Nature*. New York: Routledge.
- Heraclitus, (2016). *Early Greek Philosophy. Volume III: Early Ionian Thinkers, Part 2*. Ed. and transl. by A. Laks, G. W. Most. Cambridge: Harvard University Press.
- Hird, M. J., (2012). Knowing Waste: Towards an Inhuman Epistemology. *Social Epistemology*, 26 (3–4), 453–469. DOI: 10.1080/02691728.2012.727195
- Hourdequin, M., (2021). Ethics, Adaptation, and the Anthropocene. *Ethics, Policy & Environment*, 24 (1), 60–74. DOI: 10.1080/21550085.2021.1904530
- Kristeva, J., (1982). *Powers of Horror: An Essay on Abjection*. New York: Columbia University Press.
- Lemke, T. (2011). *Biopolitics. An Advanced Introduction*. Transl. Eric Frederick Trump. New York/London: New York University Press.
- Macauley, D., (2010). *Elemental Philosophy: Earth, Air, Fire, and Water as Elemental Ideas*. Albany: SUNY Press.
- Marder, M., (2020). *Pyropolitics in the World Ablaze*. New York: Rowman & Littlefield.
- Matthews, D., (2021). Reframing sovereignty for the anthropocene. *Transnational Legal Theory*, 12 (1), 44–77. DOI: 10.1080/20414005.2021.1929022
- McHugh, K., Kitson, J., (2018). Thermal Sensations – Burning the Flesh of the World. *GeoHumanities*, 4 (1), 157–177. DOI: 10.1080/2373566X.2017.1415158
- Medlin, A., Zajchowski, C. A. B., (2023). Campfire Smoke and the Anthropocene. *Leisure Sciences*, 46 (8), 1149–1169. DOI: 10.1080/01490400.2023.2267549

- Olivier, B., (2007). Nature as 'Abject', Critical Psychology, and 'Revolt': The Pertinence of Kristeva. *South African Journal of Psychology*, 37 (3), 443–469. DOI: 10.1177/008124630703700306
- Oppermann, E., Walker, G., (2019). Immersed in Thermal Flows: Heat as Productive of and Produced by Social Practices. [In:] C. Maller, Y. Strengers (eds.), *Social Practices and Dynamic Non-Humans*, Cham: Palgrave Macmillan, pp. 129–148. DOI: 10.1007/978-3-319-92189-1\_7
- Pisters, P., (2023). Thinking with Fire: Elemental Philosophy and Media Technology. *The Journal of Speculative Philosophy*, 37 (3), 271–294. [online], <https://muse.jhu.edu/article/904114> [accessed: 20.10.2025]
- Reeves, J. A., Peters, T. D., (2021). Responding to Anthropocentrism with Anthropocentrism: The Biopolitics of Environmental Personhood. *Griffith Law Review*, 30 (3), 474–504, DOI: 10.1080/10383441.2022.2037882
- Sauka, A., (2023). Breaching the Dialectic with Situated Knowledges: The Case of Postsocialist Naturecultures. *The Polish Journal of Aesthetics*, 68(1/2023), 35–56 . DOI: 10.19205/68.23.2
- Segovia, C., (2021). Fire in Three Images, from Heraclitus to the Anthropocene. *Cosmos and History: The Journal of Natural and Social Philosophy*, 17 (3), 501–521. [online], <https://cosmosandhistory.org/index.php/journal/article/view/957> [accessed: 20.10.2025]
- Starosielski, N., (2021). *Media Hot and Cold*. London: Duke University Press.
- Tschakert, P. & Karthikeyan, K., (2025). Embodied Thermal Insecurity and Counter-Hegemonic Heat Mapping. *Antipode*, 57 (1), 433–454. DOI: 10.1111/anti.13113
- Von Platten, J., et al., (2025). From Warming Bodies to Heating Spaces: Using Feminist Energy Justice and Oral Histories To Unpack Home Heating Transitions in Europe, 1945–Present. *Energy Research & Social Science*, 121, 103974. DOI: 10.1016/j.erss.2025.103974
- Zajchowski, C. A. B., Dustin, D. L., Hill, E. L., (2021). "The Freedom to Make Mistakes": Youth, Nature, and the Anthropocene. *Journal of Outdoor and Environmental Education*, 24, 87–103. DOI: 10.1007/s42322-021-00076-9
- Walker, J., (2020). *More Heat than Life: The Tangled Roots of Ecology, Energy, and Economics*. Singapore: Palgrave Macmillan.
- Whatmore, S., (2002). *Hybrid Geographies: Natures Cultures Spaces*. London: Sage Publications.

**About the author:** *Kitija Mirončuka is a PhD candidate at the Faculty of Humanites, University of Latvia. Her main interests cover a wide range of philosophical research areas, from the ethics of war and violence to feminism, postcolonialism, and critical environmental theories. Drawing on Foucauldian genealogies and Fanonian postcolonial racism analysis, her latest article was dedicated to the exploration of the philosophical dimensions of racism „Fanonian analysis of racism and post-colonial structures of othering” (2023).*

