

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

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 (Wypych, 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 cząstek, 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 cząstek 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-

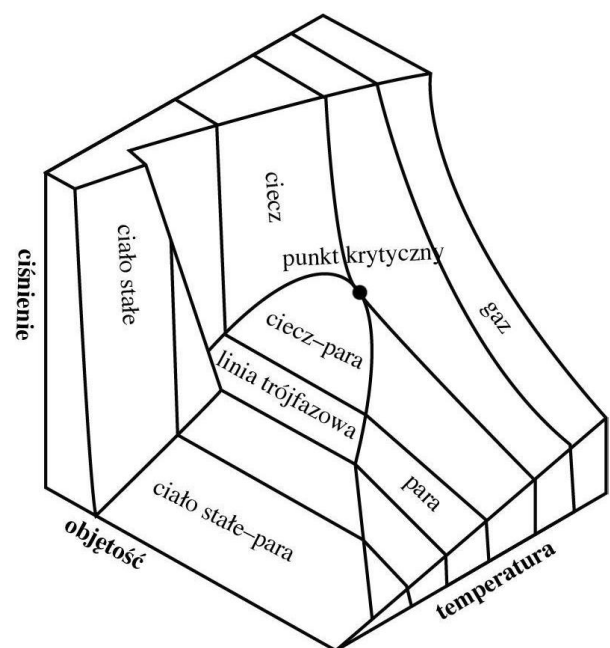
densacja, przeciwnie, ma charakter ogrzewający. Gdy cząsteczki pary wodnej zbliżają się do cieczy, zostają przez nią przyciągnięte, uwalniając energię i podnosząc temperaturę (Bohren i Albrecht, 1998). W atmosferze kondensacja często zachodzi na jądrach kondensacji, takich jak pyłki czy aerozole, wokół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



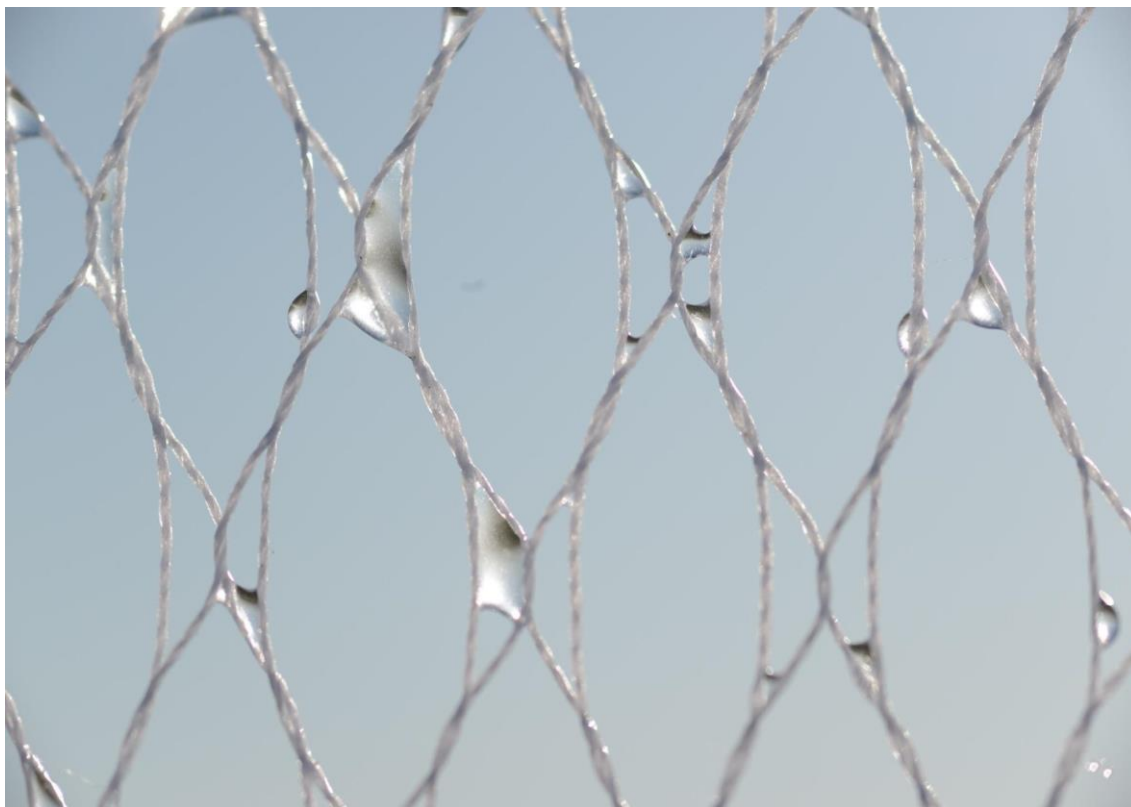
Ryc. 3. Łapacz mgieł – autorskie zdjęcie projektu



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.