

# Obserwator



Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej  
Państwowy Instytut Badawczy

**AI – (NIE) SZTUCZNA INTELIGENCJA** > str. 3  
Czy roboty potrafią przewidzieć pogodę?

**CODZIENNOŚĆ W ŚWIECIE  
KATASTROFY KLIMATYCZNEJ** > str. 6  
Klimat zmieni nasze dotychczasowe życie.  
Czy tego chcemy, czy nie

**BEZPIECZNE NIEBO  
– INSTYTUT W CHMURACH** > str. 17  
Każdy samolot znajdujący się w obszarze  
granic Polski jest pod opieką Meteorologicznej  
Osłony Lotnictwa IMGW-PIB

technologie

**3** AI – (NIE) SZTUCZNA INTELIGENCJA  
Czy roboty potrafią przewidzieć pogodę?

klimat

**6** CODZIENNOŚĆ W ŚWIECIE  
KATASTROFY KLIMATYCZNEJ  
Klimat zmieni nasze dotychczasowe życie.  
Czy tego chcemy, czy nie

meteo

**12** 10° W SKALI BEAUFORTA  
Niebezpieczny Bątyk

hydro

**16** KLIMATYCZNE SZTORMY  
Czy rosnący poziom mórz zagraża polskim miastom?

meteo

**19** BEZPIECZNE NIEBO  
– INSTYTUT W CHMURACH  
Každy samolot znajdujący się  
w obszarze granic Polski jest pod opieką  
Meteorologicznej Ostony Lotnictwa IMGW-PIB

technologie

**24** CITIZEN SCIENCE IMGW-PIB  
Meteo Social Media

zdrowie

**26** BIORÓŻNORODNOŚĆ – REGULATOR ZIEMI  
Różnorodność biologiczna (ang. biodiversity)  
stanowi podstawę życia na Ziemi

**Obserwator**  
Gazeta Obserwatora ISSN: 2658-2716

**Wydawca:** Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy  
01-673 Warszawa, ul. Podleśna 61 | www.imgw.pl

**Redaktor prowadzący:** Rafał Stepnowski  
**Zespół Redakcyjny:** Zespół Komunikacji IMGW-PIB  
**Grafik prowadzący:** Michał Seredin

**Kontakt do redakcji:** content@imgw.pl

Redakcja nie zwraca materiałów niezamówionych, zastrzega sobie prawo do skrótów, adiacji i redagowania nadesłanych tekstów. Wszystkie materiały publikowane w Obserwator (Gazeta Obserwatora ISSN: 2658-2716) mogą być przedrukowywane wyłącznie za zgodą redakcji. Redakcja nie ponosi odpowiedzialności za treść zamieszczanych reklam i ogłoszeń.



**Drodzy Czytelnicy,**

Sophrosyne to stan idealny. Pojęcie, które stworzyli greccy filozofowie, oznaczało zrównoważenie cech: umiarkowania, roztropności, czystości i samokontroli. Przez stulecia idea ewoluowała. Stała się m.in. fundamentem czterech cnót kardynalnych, wśród których najważniejszą dla współczesnego człowieka powinno być umiarkowanie. Temperantia (łac. umiar) oznacza bowiem używanie rozumu dla panowania nad własnymi instynktami i potrzebami oraz stawiania im granic.

Człowiek nie lubi być ograniczany. Niestety.

Współczesna globalna gospodarka opiera się na szalenie absurdałnej zasadzie. Otóż człowiek ma mieć potrzebę posiadania, aby nabywać coraz więcej dóbr. A to z kolei ma dawać gospodarce, biznesowi stale rosnące zyski. To właśnie ta filozofia doprowadziła nas do miejsca, w którym jesteśmy.

Stajemy przed wyborem: dalszej nieumiarkowanej konsumpcji bądź samoograniczenia i ratowania planety, która jest jedynym znanym nam miejscem do życia.

Ziemia potrzebuje odpoczynku. Zasłużyła na urlop. Z dala od naszych zachcianek, pazerności, egoizmu i nieopanowanego konsumpcjonizmu. By mogła złapać oddech od zgiełku wielkich miast. Zanurzyć się w tętniącym życiu oceanie. Odpocząć na miękkim mchu. Pospacerować po złocistej plaży. W świecie bez nas... ludzi.

Umiarkowanie nas uratuje.

Rafał Stepnowski

# AI – (nie)sztuczna inteligencja



Michał Marosz

**Wielu z nas zastanawia się, skąd aplikacja wie, że dany produkt – film, program, zespół muzyczny – trafi w nasze gusta. Jest to możliwe właśnie dzięki AI, która przeanalizowała nasze dotychczasowe zachowania i wyciągnęła poprawne wnioski.**

Sztuczna inteligencja to zestaw narzędzi, które umożliwiają maszynom podejmowanie samodzielnych decyzji. W popkulturze utarła się wizja AI jako zagrożenia dla człowieka. W rzeczywistości sztuczna inteligencja nie ma na celu zastąpienia ludzi. Wręcz przeciwnie, ma nas wspomagać w szybkim rozwiązywaniu skomplikowanych zagadnień. Również tych dotyczących pogody i klimatu.

**Skąd ona wie?** Sztuczna inteligencja (ang. artificial intelligence - AI) jest zbiorem metod i algorytmów, które pozwalają komputerom w pewnym stopniu naśladować ludzką inteligencję. Istotną funkcją AI jest możliwość doskonalenia się w procesie uczenia. Każdy z nas ma do czynienia z algorytmami sztucznej inteligencji w codziennych sytuacjach. Wirtualni asystenci, np. Asystent Google czy Siri, jak również algorytmy umożliwiające rozpoznawanie twarzy i podpowiadające nam, co wybrać, to najbardziej oczywiste przykłady. Sztuczna inteligencja szybko i efektywnie przetwarza znaczne ilości danych, co pozwala jej na identyfikację i kwantyfikację wzorców, które są w danych „ukryte”, i przygotowanie trafnej odpowiedzi na poprawnie sformułowane pytania.

**Sztuczna inteligencja skuteczniejsza w prognozowaniu zjawisk atmosferycznych?** Gwałtowny rozwój AI w ciągu ostatniej dekady, w tym zwłaszcza uczenia głębokiego, potwierdził możliwość stosowania tego typu narzędzi w zadaniach opartych na rozpoznawaniu nieliniowych wzorców. W naukach atmosferycznych występuje szereg problemów, które wymagają takiego podejścia - przewidywanie pogody to w zasadzie złożona prognoza nieliniowych procesów w trzech wymiarach. Zrodziło się zatem pytanie, czy metody AI mogą zostać wykorzystane w modelach prognostycznych.

Możliwość prognozowania zjawisk meteorologicznych w czasie rzeczywistym jest jednym z podstawowych zadań stawianych współcześnie przed służbami hydrologiczno-meteorologicznymi. Zwłaszcza w kontekście zdarzeń ekstremalnych: burz, opadów gradu, powodzi błyskawicznych (flash floods) czy fal upałów. Fizyka tych zjawisk jest znana i opisywana z pewnymi uproszczeniami przez modele dynamiczne stosowane w prognozowaniu meteorologicznym. Podkreślić jednak należy, że mają one ograniczenia, wynikające z charakterystyki stosowanych schematów para-

metryzacji procesów w skali podgridowej oraz dostępności zasobów obliczeniowych.

**Sztuczna inteligencja - prawdziwa prognoza.** Procedura przygotowywania prognozy pogody jest skomplikowana. To truizm, jednak w rzeczywistości niewiele osób zdaje sobie sprawę z realnego poziomu tego skomplikowania. Ilość danych, które muszą zostać przetworzone, jest olbrzymia: dziesiątki tysięcy punktów obserwacji naziemnych administrowanych przez krajowe służby hydrologiczno-meteorologiczne, aerosondaże, zdjęcia satelitarne, boje rozmieszczone na oceanach. Sama procedura asymilacji danych z różnych źródeł, połączona z kontrolą jakości, a następnie zaimplementowanie ich do modeli numerycznych stanowi ogromne wyzwanie. Jeżeli uzmysłowimy sobie, że w przypadku prognozy gwałtownych zjawisk ekstremalnych powinno to nastąpić niemalże w czasie rzeczywistym, to narzędzia klasy AI stają się potencjalnie nieodzownym składnikiem arsenału służb hydrologiczno-meteorologicznych na świecie (np. NOAA już wykorzystuje sztuczna inteligencję). Współcześnie tzw. nowcasting (prognozy krótkoterminowe z horyzontem czasowym do 6 godzin) w dużej mierze opiera się na wykorzystaniu narzędzi modelowania wywodzących się z metod modelowania statystycznego, w tym AI.

**Maszynowe czy głębokie?** Do tej pory uczenie maszynowe (ML) było zazwyczaj wykorzystywane w postprocesingu wyników z modeli numerycznych. W ostatnich latach pojawiły się pierwsze modele hybrydowe, stosowane np. w parametryzacji zachmurzenia lub promieniowania. Podstawowym założeniem tych prób było zastępowanie komponentów modeli numerycznych (skomplikowanych obliczeniowo lub cechujących się znaczną niepewnością) algorytmami uczenia maszynowego przy pozostawieniu innych składowych modelu bez zmian. Tego typu podejście ma sporo wad - m.in. nie do końca rozpoznane są interakcje między komponentami numerycznymi a ML. Innym problemem jest implementacja ML w modelach napisanych przeważnie w języku Fortran.

Uczenie głębokie (DL), wykorzystujące sieci neuronowe z wieloma warstwami ukrytymi, bazuje na zdolności sieci neuronowych do automatyzowanego identyfikowania wzorców w przestrzeniach wielowymiarowych opisywanych przez dane. Zakres zastosowań DL jest bardzo szeroki. W przeglądowym artykule

„WeatherBench: A benchmark dataset for data-driven weather forecasting”<sup>1</sup> autorzy wskazują na możliwość wykorzystania uczenia głębokiego w problemach prognozowania pogody.

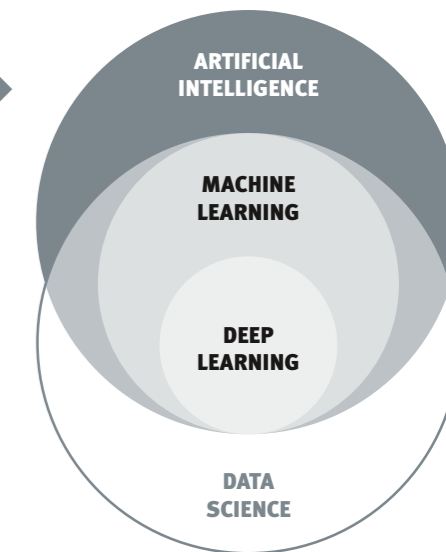
**Potencjał.** Wśród zagadnień AI wykorzystywanych w meteorologii i klimatologii można zwrócić uwagę na dwa charakterystyczne obszary: klasyfikację oraz predykcję. Większość analizowanych procesów geofizycznych to procesy nieliniowe. Siłą rzeczy możliwość ich poprawnej (w kontekście praktycznego wykorzystania) klasyfikacji umyka najprostszym stosowanym metodom, które nie pozwalają na efektywną analizę tego typu zjawisk. Za przykład może tutaj posłużyć klasyfikacja procesów cyrkulacyjnych, w znacznej mierze odpowiedzialnych za kształtowanie warunków pogodowych w umiarkowanych szerokościach geograficznych, a w dłuższym horyzoncie czasowym także klimatycznych cech analizowanego obszaru.

Klimatologia synoptyczna, zajmująca się kwantyfikowaniem powiązań między formami cyrkulacji atmosfery (zazwyczaj w skali makrosynoptycznej) a warunkami środowiskowymi, bazowała zazwyczaj na określonej typologii. W najogólniejszym zarysie podejścia były dwa typologie manualne (np. Osuchowskiej-Klein, Grosswetterlagen, makroformy cyrkulacji Wangenheima-Girsa) lub typologie obiektywne, obecnie częściej określane jako computer assisted (np. wykorzystywana w IMGW-PIB typologia Lityńskiego czy też typologia Ustmyla).

W każdym z tych schematów postępowania - nawet tych jeszcze kilka lat temu nazywanych obiektywnymi - na pewnym etapie badacz zmuszony jest do podjęcia arbitralnych decyzji np. dotyczących liczby wydzielonych typów. Wszystko to powoduje, że analizowany obraz jest w znacznym stopniu zgeneralizowany, co nie pozwala w pełni prawidłowo odzwierciedlić sytuacji synoptycznej odpowiedzialnej np. za wystąpienie zjawiska ekstremalnego. Problemy „klasycznych” algorytmów klasyfikacyjnych można uznać za w znacznym stopniu rozwiązane przy wykorzystaniu narzędzi z katalogu metod AI.

W przypadku zagadnień klasyfikacyjnych wykorzystanie sztucznych sieci neuronowych, a konkretnie algorytmu Kohonena, pozwala na zdefiniowanie wzorców pola geofizycznego - w odniesieniu do analiz cyrkulacyjnych najczęściej jest to SLP lub wysokość określonej powierzchni izobarycznej. Wzorce te klasyfiko-

Uczenie maszynowe (ang. machine learning) jest częścią sztucznej inteligencji lub inteligencji obliczeniowej. Zajmuje się algorytmami ukierunkowanymi na analizę danych i uczenie się, a następnie wykorzystywanie zdobytej wiedzy np. w celach prognostycznych. Są cztery główne rodzaje uczenia maszynowego: nadzorowane, półnadzorowane, nienadzorowane i ze wzmocnieniem. Uczenie głębokie (ang. deep learning) to podzbiór uczenia maszynowego, który zajmuje się klasyfikowaniem, rozpoznawaniem, wykrywaniem i opisywaniem danych za pomocą sztucznych sieci neuronowych z wieloma nieliniowymi warstwami ukrytymi, co umożliwia przetwarzanie olbrzymiej ilości informacji, a poprzez to identyfikację wzorców i predykcję na poziomie niedostępnym dla tradycyjnych metod uczenia maszynowego.



Struktura sztucznej inteligencji (AI) względem data science i stosowanych metod: uczenia maszynowego (ang. machine learning) oraz uczenia głębokiego (ang. deep learning)  
Źródło: Oracle

wane są w tzw. mapę topologiczną, na której bliżej siebie położone są typy cyrkulacji podobne do siebie. Problem ustalenia optymalnej liczby wzorców nadal istnieje, jednakże zastosowanie obiektywnych miar jakości sieci pozwala na świadomy, a nie poddyktowany przecuciem badacza lub znaczną liczbą testów w trybie prób i błędów, wybór optymalnej liczby typów. Tego typu analizy często stosowane były w badaniach ekstremalnych opadów w Japonii<sup>2</sup> i Afryce Południowej<sup>3</sup>, anomalnych charakterystyk pola temperatury w Chinach<sup>4</sup>, jak również w regionie atlantycko-europejskim, gdzie np. analizowano zmienność cech cyrkulacji atmosferycznej w skali całego XX wieku<sup>5</sup>.

Czerncki z zespołem<sup>6</sup> wykorzystali możliwość algorytmu lasu losowego (ang. random forest) w modelowaniu wystąpienia dużego gradu (>2 cm) w Polsce. Analiza obejmowała wykorzystanie kilkudziesięciu parametrów opisujących stan warstwy atmosfery i pozwoliła nie tylko na opracowanie zadowalających modeli, ale również na wskazanie potencjalnych zmiennych prognostycznych, mogących polepszyć jakość prognoz nowcastingowych wystąpienia dużego gradu.

Rasp i inni<sup>7</sup> wykorzystali AI do średnioterminowych prognoz i przeprowadzili próbę dla horyzontu czasowego 3-5 dni. Autorzy podkreślają, że sprawdzalność współczesnych numerycznych modeli prognostycznych (NWP - numerical weather prediction) jest dobra, ale wymaga znacznych zasobów obliczeniowych. Ma to szczególnie duże znaczenie przy sporządzaniu probabilistycznych prognoz wiązkowych, w których modele wielokrotnie

(kilkadziesiąt razy) generują przebieg przyszłych warunków meteorologicznych. Modele wykorzystujące uczenie maszynowe mogą okazać się o wiele mniej wymagające w tym zakresie. Pozwoli to na generowanie liczniejszych wiązek prognoz i lepszą estymację parametrów, co ma szczególne znaczenie w przypadku zdarzeń ekstremalnych.

Wykorzystanie narzędzi z zakresu AI możliwe jest również w modelowaniu stężeń zanieczyszczeń, gdy zestaw czynników mających realny wpływ na pole imisji jest duży, a wykorzystanie klasycznych modeli dyspersji - niemożliwe lub utrudnione. Sztuczne sieci neuronowe lub algorytmy typu drzewo losowe pozwalają na kwantyfikowanie nieliniowych powiązań między zmiennymi wyjaśniającymi a stężeniami analizowanych zanieczyszczeń. Przykładem mogą być tutaj badania prowadzone przez zespół Jędruszkiewicz, Czernckiego i Marosza<sup>8</sup>. Autorzy analizowali możliwości zastosowania różnych algorytmów uczenia maszynowego w prognozach stężeń pyłu zawieszonego w wybranych aglomeracjach Polski (Kraków, Łódź, Trójmiasto, Poznań). Nidzgórska-Lencewicz wykorzystwała sztuczne sieci neuronowe w analizie stężeń pyłu zawieszonego w aglomeracji trójmiejskiej<sup>9</sup>. W aglomeracji górnośląskiej IMGW-PIB już kilkanaście lat temu wdrożył operacyjnie system prognoz stężeń zanieczyszczeń oparty na sztucznych sieciach neuronowych<sup>10</sup>.

**AI będzie nas wspierać.** Jak widać, spektrum potencjalnych zastosowań AI w analizach i operacyjnej pracy służb hydrologiczno-

-meteorologicznych jest szerokie i można zaryzykować hipotezę, że wraz z rozwojem tych metod będzie się tylko zwiększać. Niemniej podnoszone są wątpliwości odnośnie do interpretowalności algorytmów AI. Większość z nich to tzw. czarne skrzynki. W ostatnim okresie prowadzone są zaawansowane badania mające na celu odczarować AI w tym aspekcie. Innym podstawowym pytaniem jest to, czy modele DL - lub ogólnie AI - są w stanie nauczyć się fizyki atmosfery. Pytanie to pozostaje otwarte, chociaż, jak widać, pierwsze rezultaty są obiecujące.

W moim przekonaniu prognozowanie warunków pogodowych będzie w najbliższych latach nadal opierać się na modelach dynamicznych, których jakość (sprawdzalność, rozdzielczość przestrzenna i czasowa, udoskonalone schematy parametryzacji) jest stale rozwijana. Z całą stanowczością można jednak stwierdzić, że metody AI będą mieć coraz większy udział w paście narzędzi wykorzystywanych w naukach o Ziemi, a szczególnie w meteorologii i klimatologii.

<sup>1</sup> <https://raspstephan.github.io/blog/weatherbench/>

<sup>2</sup> <https://doi.org/10.1175/JHM-D-14-0124.1>

<sup>3</sup> <https://doi.org/10.1007/s00382-015-2836-2>

<sup>4</sup> <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.01.005>

<sup>5</sup> [https://www.researchgate.net/publication/311777819\\_Variability\\_of\\_atmospheric\\_circulation\\_in\\_Euro-Atlantic\\_region\\_1900-2012](https://www.researchgate.net/publication/311777819_Variability_of_atmospheric_circulation_in_Euro-Atlantic_region_1900-2012)

<sup>6</sup> <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.05.010>

<sup>7</sup> <https://raspstephan.github.io/blog/weatherbench/>

<sup>8</sup> <https://meetingorganizer.copernicus.org/EMS2018/EMS2018-309.pdf>

<sup>9</sup> <https://doi.org/10.3390/atmos9060203>

<sup>10</sup> [https://doi.org/10.1007/978-3-662-04956-3\\_59](https://doi.org/10.1007/978-3-662-04956-3_59)



foto: Eye Cornish on Unsplash

# Codziennosc w swiecie katastrofy klimatycznej

Rafal Stepnowski

**Śledząc informacje na temat zmian klimatycznych, można odnieść wrażenie, że ich najważniejszym skutkiem będą nadzwyczajne zdarzenia pogodowe, zagrażające życiu i zdrowiu ludzi. Ale katastrofa klimatyczna ma też drugie oblicze, które odmieni bezpowrotnie sposób, w jaki żyjemy. Odmieni naszą codzienność.**

Pomimo niezwykłego postępu cywilizacyjnego i technologicznego życie każdego człowieka na Ziemi opiera się na zaspokajaniu trzech fundamentalnych, pierwotnych i niezmiennych od tysięcy lat potrzeb: dostępu do wody, pożywienia i schronienia. Tymczasem globalne zmiany klimatu spowodują, że każdy z tych zasobów stanie się niebawem dosłownie bezcenny.

**Bez wody nie ma życia.** W hierarchii wszystkich potrzeb życiowych organizmów woda zajmuje pierwsze miejsce - na równi z tlenem; istnieją organizmy zdolne funkcjonować w warunkach beztlenowych, ale nie bez wody. I choć wiemy, że bez wody nie ma życia, zapominamy o jej oszczędzaniu i o tym, że nie da się jej zastąpić. Do dzisiaj bowiem człowiek nie opanował umiejętności i technologii pozwalającej na bezpieczne jej wytwarzanie. Pozostaje nam więc korzystanie z zasobów dostępnych na Ziemi.

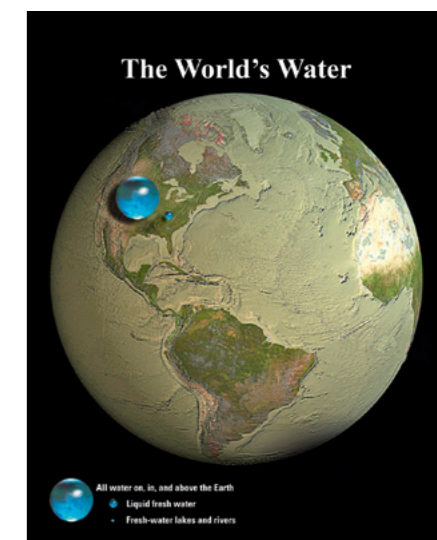
Jeśli spojrzeć na zdjęcia satelitarne naszej planety, można by stwierdzić, że wody jest bardzo dużo. To jednak złudzenie. Poniższa grafika przedstawia Ziemię pozbawioną oceanów, mórz, rzek, jezior i lodowców oraz łądodolów. Całą tę wodę zmieszczono w kuli o średnicy zaledwie 1384 km. Porównanie robi wrażenie, ale to nie wszystko. Człowiek do życia potrzebuje wody słodkiej, która stanowi zaledwie 0,77 proc. całych zasobów (mowa tu o zasobach w postaci ciekłej). To ta druga kropla na grafice. W do-

datku są to głównie wody podziemne (99 proc.), nie zawsze łatwo dostępne. Ludność w zdecydowanej większości korzysta z wód powierzchniowych zmagazynowanych w jeziorach i rzekach. A to zaledwie 0,007 proc. - to ta najmniejsza kropka o średnicy zaledwie 56 km!

Zmiany klimatyczne wpływają i będą wpływać na zasoby wodne Ziemi. Prognozy wskazują, że w wielu regionach będą pogłębiać się zjawiska suszy z powodu coraz mniejszych opadów i wzrostu globalnej temperatury powietrza. W innych obszarach zaś wystąpią powodzie i podtopienia. Postępować będzie topnienie lodowców, a coraz większe połacie naszej planety będą ulegać stepowieniu i pustyńnieniu. W wielu krajach życie stanie się niemożliwe. Po prostu zabraknie wody, a jej dostarczanie będzie zbyt kosztowne. Ludzie w końcu opuszczą te regiony.

**Jak wyżywić świat - mission impossible?** Każdego roku na świecie poddaje się ubojowi kilkadziesiąt miliardów zwierząt hodowlanych. Głównie aby zaspokoić gwałtownie rosnący popyt na mięso. Jak podaje FAO, wzrost liczby ludności do 9 mld wygeneruje konieczność zwiększenia produkcji żywności o 60 proc., w tym mięsa. Szczególnie chłonnym rynkiem są Chiny.

Masowa hodowla zwierząt wiąże się z dwoma negatywnymi następstwami: emisją gazów cieplarnianych (metanu) oraz



źródło: Howard Periman, USGS; globe illustration by Jack Cook, Woods Hole Oceanographic Institution and Adam Nieman

masową wycinką lasów, zwłaszcza tropikalnych, pod monokultury soi i kukurydzy, które wykorzystuje się na pasze. Bez zmiany globalnych trendów w sposobie żywienia, które tak chętnie promują obecnie sportowcy, aktorzy czy celebryci, produkcja mięsa będzie jednym z najpoważniejszych czynników negatywnie wpływających na klimat.

Drugim istotnym źródłem żywności dla wielu społeczności są ryby i owoce morza. Ostatnie wyniki badań IPCC są druzgocące. Morza i oceany ocieplają się szybciej, niż dotąd sądzono, a efektem tego zjawiska są zmiany zasolenia, cyrkulacji prądów



fot. Martin Srebrker on Unsplash

morskich oraz składu chemicznego wód. Wszystkie te czynniki powodują stopniowy spadek ilości fitoplanktonu oraz rozkwit toksycznych glonów. Efektem są poważne zaburzenia morskiego łańcucha pokarmowego. Prowadzi to do przeobrażenia składu gatunkowego morskiej flory i fauny. Oceany na naszych oczach powoli umierają. Zmiany te najbardziej odczuwają niewielkie kraje wyspiarskie, których mieszkańcy od setek lat byli uzależnieni od dobrodziejstwa okolicznych wód. Dziś coraz trudniej im pozyskać żywność, bo tradycyjne łowiska pustoszeją. Tu też kolejne pokolenia mogą być zmuszone zmienić swoje żywieniowe przyzwyczajenia.

**Uratują nas weganie?** Ostatnia dekada to na pewno wielki powrót ludzkości do produktów roślinnych jako podstawy żywieniowej. Musimy jednak pamiętać, że

światowa produkcja żywności oparta jest głównie na rolnictwie intensywnym. Oznacza się ono znacznym stopniem chemiczacji i mechanizacji produkcji. Przyczynia się do zanieczyszczania wód gruntowych i powierzchniowych, a tym samym przeobrażenia ekosystemów oceanicznych, erozji i wyjąłowania gleby oraz zmian w bioróżnorodności środowiska. Jednocześnie rolnictwo jest narażone na liczne niebezpieczeństwa związane z pogodą i klimatem.

Intensywne deszcze powodujące powodzie i podtopienia niszczą uprawy i opóźniają termin sadzeń, co przekłada się na skokowy wzrost cen. Z kolei niedobory wody wymagają ogromnych nakładów na nawodnienie. Susze, pożary, nieoczekiwane zjawiska typu grad, śnieg czy przymrozki niszczą zbiory i powodują straty liczone w setkach milionów dolarów.

**A może mięso z laboratorium?** Utrzymanie odpowiedniego poziomu produkcji żywności dla ciągle rosnącej populacji ludzkiej i w obliczu pogłębiających się zmian klimatycznych staje się wyzwaniem. Najprostsze rozwiązanie to dalsza intensyfikacja masowej hodowli zwierząt, rozwój upraw GMO, wycinka kolejnych lasów deszczowych pod pastwiska i pola uprawne, co prowadzić będzie do wzrostu emisji gazów cieplarnianych, zanieczyszczenia wód i destrukcji naturalnych ekosystemów.

Czy istnieje jakakolwiek szansa na wybrnięcie z tego zakłętą koła? Wielkie nadzieje pokłada się w rozwijanych od 20 lat technikach produkcji tzw. mięsa in vitro. W 2013 roku zaprezentowano pierwszy pełnowartościowy produkt wytworzony tą technologią. Pierwotnie mało kto wierzył, że mięso wyprodukowane w sterylnych laboratoriach z tkanek zwierzęcych będzie

komercyjnie opłacalne. Ale w branżę inwestuje coraz więcej miliarderów, wizjonerów, a także firm farmaceutycznych i tradycyjnych producentów żywności. Trudno jednak mieć nadzieję, że w krótkim czasie mięso in vitro stanie się faktyczną alternatywą dla mięsa pozyskiwanego metodami tradycyjnymi. Rozwój rynku i sukces produktów będzie zależał od dwóch krytycznych czynników: społecznej akceptacji oraz ceny.

Problemy żywnościowe na świecie mają różne, wzajemnie ze sobą powiązane przyczyny. Obecne rozwiązania nie są optymalne, a zmiany klimatu będą pogłębiać kryzysy. To, co możemy zrobić jako społeczeństwo, to zmienić nawyki. Ludzie z krajów wysoko rozwiniętych i rozwijających się z pewnością mogą i powinni zmieniać sposób odżywiania. Jemy za dużo i za często korzystamy z produktów importowanych z dalekich zakątków świata.

Powinniśmy zrezygnować lub zmniejszyć ilość zjadanego mięsa na rzecz warzyw i owoców, ale przede wszystkim oprzeć diety na lokalnych produktach. Zwłaszcza tych wyprodukowanych metodami zrównoważonymi, ograniczającymi szkody dla środowiska. W ten sposób wypromujemy lokalnych małych producentów i zmniejszymy ilość wyemitowanych w atmosferę gazów cieplarnianych. Ludzie coraz chętniej zakładają małe ogródki, organizują spółdzielnie, w ramach których wymieniają się wyprodukowaną przez siebie żywnością. Inicjatywy tego typu nie zmieniają światowych trendów, ale są ważne, bo pokazują, że część z nas zaczyna inaczej postrzegać problem. Wszyscy natomiast możemy zrobić jedno: przestać marnować żywność, bo każdy kilogram wyrzuconego jedzenia to tysiące litrów zamawianej wody i tony zanieczyszczeń wprowadzonych do środowiska.

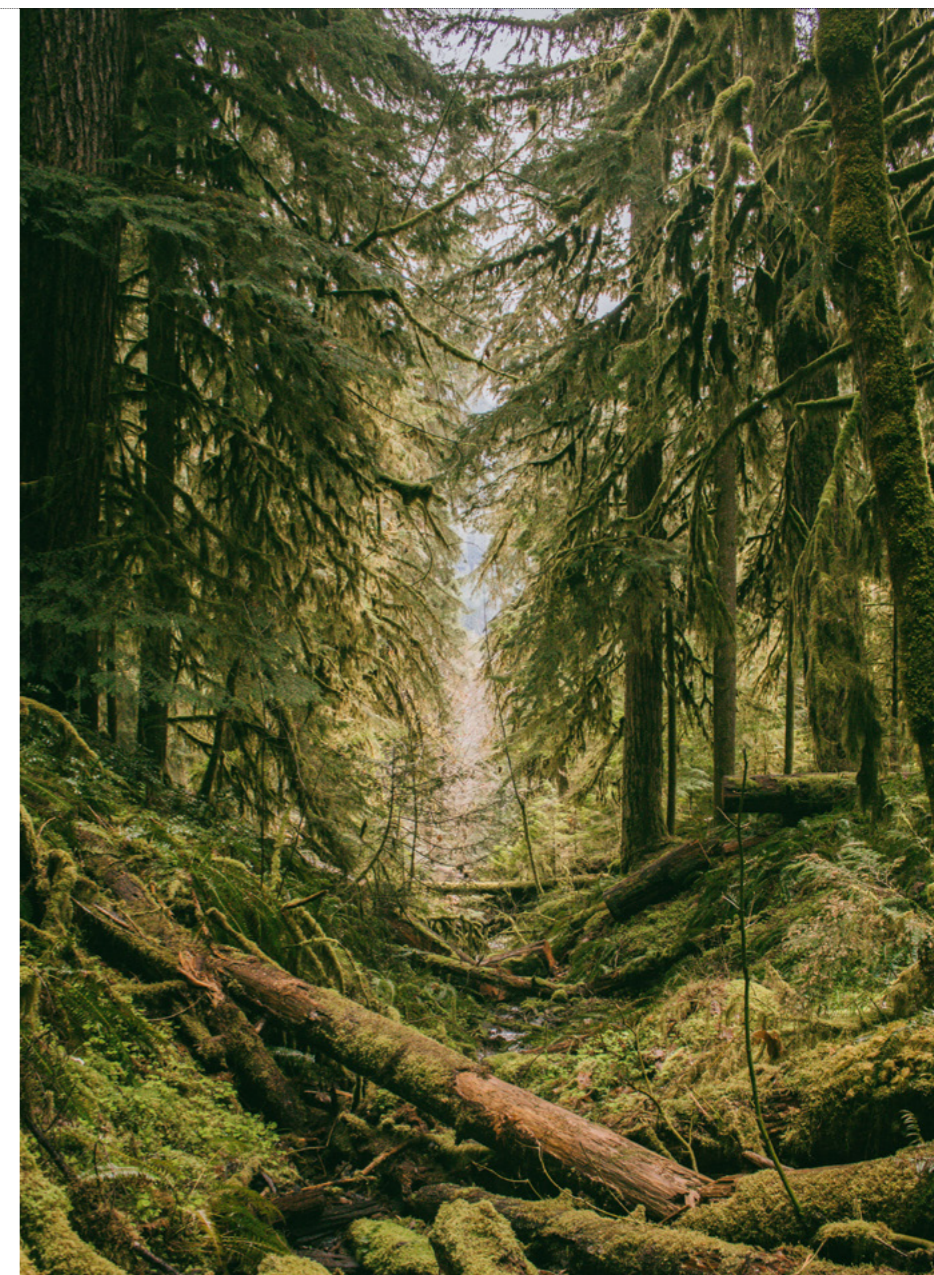
**Migracje klimatyczne - w poszukiwaniu życia.** Wyludniającymi się obszarami będą Afryka, południowa Azja, Australia, Bliski Wschód i Ameryka Środkowa. Głównymi kierunkami migracji będą początkowo najbliższe bezpieczne regiony. Jednak w obliczu pogłębiającego się kryzysu klimatycznego ostatecznie ludzie skierują swoje oczy na kraje bogatej Północy, w szczególności na wielkie miasta. Większość komentatorów wskazuje na szereg następstw społecznych i ekonomicznych tego zjawiska. Zbyt mało jednak mówi się o tym, czy miasta i regiony, do których napływać będą fale migrantów,

dysponują odpowiednimi zasobami, w tym wody i żywności. Idąc dalej - czy dysponują odpowiednią infrastrukturą, na tyle elastyczną, by mogła być szybko przebudowana i rozbudowana? Czy gwałtowny wzrost mieszkańców nie rozsadzi systemu opieki zdrowotnej, systemu edukacji, nie zachwieje równowagą przyrodniczą? To są pytania, na które nie ma dzisiaj odpowiedzi.

Dzisiejsze fale migrantów, związane głównie z konfliktami zbrojnymi na Bliskim Wschodzie i w Afryce, to zaledwie namiast-

ka tego, co może wydarzyć się niebawem. Jeśli już teraz zjawiska te wywołują ogromne napięcia społeczne, to jaki będzie ich efekt, kiedy mieszkańcy krajów docelowych staną przed realną groźbą niedoborów tak oczywistych dla nich zasobów, jak woda czy pożywienie?

Migracje klimatyczne mogą generować rozmaite konflikty. Wpłyną na system globalnej gospodarki. Rynki zbytu, szlaki dystrybucji będą musiały szybko adaptować się do nowej rzeczywistości.



fot. Tuce on Unsplash



Pogłębiające się zmiany klimatu doprowadzą do masowego przemieszczania się setek milionów ludzi. Szacuje się, że do 2050 r. uchodźców klimatycznych będzie ok. 200 mln, ale niektórzy badacze wskazują na niewyobrażalną liczbę miliarda osób.

jest absurdalna. Kryzysy - wodny, żywnościowy i migracyjny - uderzą w społeczeństwa z ogromną siłą i będą miały tragiczne skutki. Wywołają napięcia kulturowe, zdrowotne, środowiskowe i gospodarcze. Przekształcą znany nam świat i jego obecne reguły w coś całkiem nowego i nieznanego.

Oczywiście zmiany klimatu nie mogą być usprawiedliwieniem wszelkich negatywnych zjawisk związanych z funkcjonowaniem naszej planety. W wielu przypadkach katastrofalne zdarzenia wynikają z nieudolnej, błędnej lub ignoranckiej działalności człowieka. Tak jak chociażby w minionych miesiącach w Australii. Tamtejsze tragiczne w skutkach pożary to konsekwencja ekstremalnych temperatur oraz nadmiernego przesuszenia łądu, wywołanych zmianami klimatycznymi, ale także nieprawidłowej gospodarki środowiskowej, która pozwoliła na niepojęty rozwój roślinności buszu. Ogień, poza iskrą, potrzebuje paliwa.

Niemniej negowanie zmian klimatu nie poprowadzi nas ku świetlanej przyszłości. Pomyślmy, jak wyglądałby współczesny świat, gdyby w latach 70. w krajach rozwiniętych nie zrodziły się masowe ruchy ekologiczne, a politykom zabrakło odwagi do wdrażania idei ochrony środowiska. Gdyby z kominów fabryk nadal wydobywały się niefiltrowane toksyczne dymy, a kanałami spływały nieoczyszczone ścieki. Żylibyśmy zapewne na planecie pozbawionej lasów, z martwymi rzekami i jeziorami oraz powietrzem nienadającym się do oddychania.

Dlatego obecne pokolenia nie mogą ignorować zmian klimatu. Bo za 40 lat okaże się, że przeoczyliśmy ostatni zjazd z autostrady. Nasze dzieci nie powinny brać pełnej odpowiedzialności za naszą opieszałość. Globalny, masowy ruch społeczny ponownie może wpłynąć na liderów światowych, aby porozumieli się w tej trudnej materii i przygotowali gospodarkę na potencjalną katastrofę. Już dzisiaj, bo każdy dzień ma znaczenie.

**Biznes musi reagować.** Wyobraźmy sobie producenta odzieży i obuwia zimowego, który inwestuje na rynkach Europy Środkowej. Jeśli wziąć pod uwagę obecne tendencje wzrostu średniej temperatury powietrza i zanikanie tradycyjnych pór roku, za kilkanaście lat firma ta prawdopodobnie nie znajdzie klientów. Będzie zmuszona do poszukiwania nowych rynków zbytu albo modyfikowania profilu produkcji. W przeciwnym razie zbankrutuje. Z drugiej strony biznes odzieżowy

(włókienniczy) jest jednym z najbardziej wodochłonnych. Tymczasem zasoby wodne się kurczą; co będzie, gdy wody zabraknie? Wielu producentów już eksperymentuje z odzieżą wytwarzaną z recyklingu, plastiku i innych materiałów. To wymagające, trudne i drogie procesy, które w konsekwencji powodują, że wyprodukowana w ten sposób odzież jest droga. Trudno więc mówić o masowym zainteresowaniu klientów tego typu produktami. Wielkie korporacje będą w stanie dywersyfi-

kować ryzyko, ale wiele małych i średnich firm nie udźwignie tych wyzwań. Ich masowy upadek będzie oznaczał wzrost bezrobocia i biedę.

**Efekt motyla.** Te trzy elementy: dostęp do wody, żywności i wielkie migracje, będą kolejnymi czynnikami wpływającymi na klimat. Innymi słowy, obecne i najbliższe zmiany klimatyczne przyczynią się do kryzysu migracyjnego, żywnościowego i wodnego, a te z kolei za kilkanaście lub kilkadziesiąt lat

generować będą kolejne impulsy do jeszcze głębszego załamania klimatycznego. Zbiór tego czynników nie da się określić liczbowo i umieścić w projekcjach klimatycznych. Ich wpływ będzie więc ogromnie niepewny i ryzykowny. Planowanie możliwych działań staje się w tej sytuacji prawie niemożliwe.

**Ewolucja czy rewolucja?** Po obserwacji dotychczasowych działań międzynarodowych społeczności i fiaska kolejnych szczy-

tów klimatycznych skłaniam się ku opcji, że czeka nas rewolucja. Zmiany klimatu dotykają nas już bezpośrednio i z każdym rokiem przyspieszają. Światowa gospodarka emituje coraz większe ilości gazów cieplarnianych i zanieczyszczeń. Innowacyjne zielone technologie rozwijają się za wolno, by rzeczywiście spowodować zmianę trendów i zachowań. Teza, że w tej sytuacji kraje podejmą dodatkowo próby opracowania planów rozwojowych i zapobiegawczych,

# 10° w skali Beauforta

Katarzyna Pikula, Tomasz Heese

**Sztormy na Bałtyku stanowią duże zagrożenie meteorologiczne i hydrologiczne dla polskiego wybrzeża.**

**Czym jest sztorm?** Zgodnie ze skalą opracowaną przez brytyjskiego admirała Francisa Beauforta mianem sztormu określa się wiatr wiejący z prędkością co najmniej 63 km/h (8 stopni w skali). Sztorm, zwany inaczej burzą morską, to efekt pojawienia się nad morzem głębokiego niżu barycznego w sytuacji, gdy na niewielkim obszarze notuje się bardzo dużą różnicę ciśnień.

Pogodzie sztormowej zwykle towarzyszy falowanie powierzchni wody, często występują również opady deszczu znacznie ograniczające widzialność. Wystąpienie lub prognozowanie tego zjawiska oznacza zwykle zamknięcie ruchu w porcie. Jednostki będące na morzu kierują się na osłonięte kotwiczowisko lub próbują powrócić do portu. Zdarzają się jednak sytuacje, gdy podczas bardzo silnego sztormu przebywanie w porcie bez wystarczającej osłony czy na niedostatecznie osłoniętym kotwiczowisku może być bardziej niebezpieczne niż sztormowanie na otwartych wodach.

**Wezbrania sztormowe.** W Polsce za wezbranie sztormowe uznaje się gwałtowne podniesienie się poziomu wody powyżej stanu ostrzegawczego lub alarmowego. Wartości tych progów nie są jednakowe na całej długości polskiego wybrzeża. Wynika to przede wszystkim z charakteru lokalnej infrastruktury hydrotechnicznej - głównie wysokości wałów przeciwpowodziowych. To według tego parametru określa się poziom wody, który może stanowić zagrożenie dla danego obszaru. Dla usprawnienia pracy jednostek ratowniczych przyjęto umowne poziomy stanów ekstremalnych występujących w obrębie polskiego wybrzeża Bałtyku. Za teoretyczny stan ostrzegawczy uznaje się wzrost poziomu morza o 70 cm w stosunku do występującego w danym miejscu poziomu zera wodowskazu. Z kolei stanem alarmowym określa się wzrost poziomu wody o 100 cm.

O możliwości wystąpienia wezbrania sztormowego na Morzu Bałtyckim decyduje kilka elementów. Za najważniejsze uznaje się: poziom napelnienia morza (uzależniony od opadów, dopływu wód rzecznych oraz warunków dopływu/odpływu wód z Morza Północnego), oddziaływanie wiatru (prędkość, kierunek i czas trwania) oraz zniekształcenie powierzchni wody, do którego dochodzi na skutek przechodzenia tzw. fali barycznej.

Czynniki te mogą się czasami wzajemnie znosić, ale gdy ich oddziaływanie nałoży się na siebie, dochodzi do powstania wezbrania sztormowego. Towarzyszy mu silny wiatr i układ niskiego ciśnienia wraz z frontem atmosferycznym przemieszczającym się z kierunków północno-zachodnich i północno-wschodnich. Zjawisko to może trwać od kilku do kilkudziesięciu godzin. W latach 1950-1975 wezbrania na Bałtyku pojawiały się głównie od listopada do lutego. Pod koniec XX w. częstość wezbrań sztormowych na polskim wybrzeżu wzrosła, wydłużył się też okres ich występowania (sierpień-kwiecień). Nie zawsze sztormy i wezbrania mają ekstremalny przebieg. Niemniej zwykle gene-

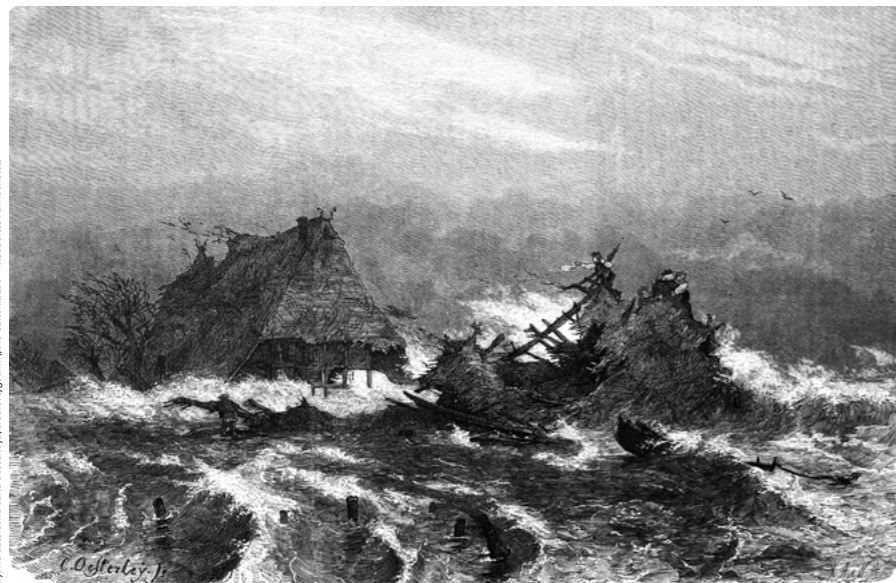
rują wysokie koszty związane z utrzymaniem brzegu i plaż, gospodarką morską, pracą portów, rybołówstwem i transportem morskim.

**Kapryśny Bałtyk.** Morze Bałtyckie jest zbiornikiem relatywnie płytkim i niewielkim. Pomimo swojego śródlądowego charakteru uznawane jest jednak za morze bardzo zmienne. Życie nad brzegiem Bałtyku stanowiło nie lada wyzwanie dla pierwszych Pomorzan. Trudne do przewidzenia warunki atmosferyczne oraz związane z nimi bałtyckie sztormy ograniczały rozwój osadnictwa. Słaba jakość gleb oraz obecność rozległych bagien nie sprzyjały rozwojowi rolnictwa. Głównym źródłem pożywienia było rybołówstwo. Pierwsze osady lokowane były głównie w okolicach ujść rzek przymorskich oraz na mierzejach rozległych przybrzeżnych jezior. Stanowiły one bezpieczniejszą alternatywę dla trudnych połowów morskich. Obecność rzek i kanałów sprzyjała ponadto rozwojowi handlu.

**Niebezpieczny żywioł - tsunami?** Ze względu na brak wykalibrowanych metod pomiarowych trudno jest dziś domniemywać, jaki mógł być zasięg dawnych sztormów. Problemem okazuje się także określenie konkretnej przyczyny powstania danego wezbrania. Zespół dra Andrzeja Piotrowskiego badał geologiczne ślady tsunami, do którego mogło teoretycznie dojść 17 września 1497 r. w okolicach Mrzeżyna, Rogowa, Kołobrzegu, Darłowa i miejscowości Kopań. Wyniki badań nie okazały się jednoznaczne. Odkryto wprawdzie ślady silnego wezbrania sztormowego, jednak trudno jest jednoznacznie stwierdzić jego genezę. Mogło się do tego przyczynić wiele zjawisk. Inne teorie wskazują na możliwość wystąpienia tzw. meteotsunami lub podwodnego wybuchu metanu. Druga opcja zdaje się uwzględniać hałasy, które słyszeli świadkowie tamtych wydarzeń. Mowa tu o tzw. morskim niedźwiedziu, którego ryk doprowadził do potężnej powodzi. Być może pełną odpowiedź na pytanie o bałtyckie tsunami przyniosą przyszłe badania samego Bałtyku.

**Bałtyk opomiarowany.** Naukowe podejście do badań zjawisk występujących na morzu jest zajęciem relatywnie młodym. Ocenę poziomu wody w Morzu Bałtyckim z wykorzystaniem mareografów zaczęto przeprowadzać dopiero w XIX wieku. Warto wiedzieć, że najstarsza stacja na świecie wykorzystująca ten przyrząd znajduje się w Polsce, w Świnoujściu - pomiary rozpoczęto tutaj w 1811 roku. Obecny właściciel tej stacji jest Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej PIB.

Za najbardziej szkodliwe wezbranie sztormowe na Morzu Bałtyckim uznaje się wielką powódź, którą odnotowano w nocy z 12 na 13 listopada 1872 roku. W dniach poprzedzających katastrofę notowano wiatr wiejący z południowego zachodu. Spowodował on przemieszczenie się dużych mas wody w kierunku Finlandii i krajów bałtyckich. Znaczące obniżenie poziomu wody w okolicach wybrzeży Danii i Niemiec umożliwiło dopływ wód z Morza



Dom zniszczony przez sztorm, miejscowość Niendorf, 1872 r.



Skutki sztormu, miejscowość Eckernförde, 1872 r.



Skutki sztormu na Westerplatte, 1914 r.

towano rekordowy poziom wody wynoszący 722 cm (2,2 m wyższy od zera wodowskazu).

O ile w 1872 r. skutki sztormu odczuli głównie mieszkańcy duńskiego i niemieckiego wybrzeża Bałtyku, o tyle zdarzenie z 10 lutego 1874 r. objęło całe zachodnie wybrzeże. W portach w Świnoujściu i Dziwnowie wystąpiły najwyższe spośród dotychczas odnotowanych poziomów wody (odpowiednio 696 cm i 615 cm). Wyższy poziom wody odnotowano także w Kołobrzegu (711 cm).

**Łeba - miasto sztormów.** Miejscowością, którą niezwykle często dotykały sztormy i wezbrania, była Łeba. Pierwotnie osada ta leżała między jeziorem Łebsko i zachodnim brzegiem rzeki Łeby. Jej mieszkańcy praktycznie od samego początku skazani byli na nieustającą i nierówną walkę z siłami natury. Z jednej strony zagrożenie niósł Bałtyk, z drugiej - rzeka Łeba, która często wylewała. Zapiski kronikarskie odnotowują kolejne ekstremalne wezbrania w latach: 1396, 1467, 1491, 1497 i 1500. Przełomowy okazał się sztorm, do którego doszło 11 stycznia 1558 roku. Niezwykle silny wiatr wyrwał drzewa i niszczył okoliczne zabudowania. Osadę zasypał piasek pochodzący ze zniszczonych wydmy, okoliczne tereny zostały zalane przez słoną wodę. Część mieszkańców schroniła się w murowanym kościele znajdującym się na wzniesieniu. Niebezpiecznie było przez sześć kolejnych dni.

Następstwa sztormu i wezbrania wód Bałtyku były katastrofalne. Przekształceniu uległ ujściowy odcinek rzeki Łeby, który przesunął się o blisko 1,5 km na wschód względem pierwotnego położenia. Dla większości mieszkańców był to sygnał do opuszczenia Starej Łeby. Nowa osada powstała na oddalonym od morza wzniesieniu po wschodniej stronie rzeki. Nieliczni pozostali w Starej Łebie w nadziei na odbudowę swojego dobytku. Niestety, kres ich starań nastąpił 12 lat później - 3 marca 1570 r. kolejny sztorm definitywnie wymazał ślady pierwotnej osady. Jedyne jej pozostałością są ruiny kościoła, który posłużył mieszkańcom za schronienie. Miejsce to cieszy się dziś dużym zainteresowaniem archeologów, którzy mają nadzieję, że uda im się odnaleźć ślady po dawnych mieszkańcach wybrzeża, a samą Starą Łebę określa się mianem „polskich Pompejów”.

Zmiana lokalizacji okazała się słusznym posunięciem. Kolejne wymienione w kronikach sztormy nie miały już tak katastrofalnych skutków dla tej miejscowości (m.in. zatarasowanie ujścia rzeki Łeby w 1656 r., zalanie łąk i pól okalających nową Łebę w 1662 r.).

**Noworoczny kataklizm.** Najniebezpieczniejszy sztorm XX w. rozpoczął się w noc sylwestrową 1913/1914 i trwał siedem dni. Uderzył w zachodnią część wybrzeża Bałtyku. Odnotowano wówczas rekordowy poziom wód w Trzebieży (637 cm). W pobliskim Dziwnowie doszło do zniszczenia największego ówczesnie kompleksu wypoczynkowego na polskim wybrzeżu. Śmierć poniosło wielu ludzi, którzy celebrowali tam Nowy Rok. Pozostałości budynków zostały rozebrane kilka lat później, a pamięć o dawnej tragedii i brak funduszy jednoznacznie przekreśliły możliwość odbudowy tego miejsca. Do dużych zniszczeń doszło także w Kołobrzegu. Do morza stoczyły się Promenada Wydmowa oraz kąpielisko rodzinne (tzw. Morskie Oko). Miasto pokryły zwały powalonych drzew i uszkodzonych dachów.

W kolejnych dniach sztorm przetaczał się na wschód, 9 i 10 stycznia 1914 r. wystąpiły lokalne powodzie i podtopienia. Sytuację utrudniał siarczasty mróz, który powodował silne oblodzenie. Doszło wówczas do powtórnego zalania Kołobrzegu. Wysoki poziom Bałtyku spowodował cofkę na jeziorach Jamno i Bukowo. Mielno oraz Unieście zostały zalane nie tylko od strony morza, ale i od strony jeziora Jamno. Wody tego zbiornika wystąpiły także z brzegów po drugiej stronie i spowodowały podtopienia w Podamirowie, Łabuszu i Jamnie.

Wyjątkowo trudna sytuacja panowała na przyczółku między kanałami Jamneńskim i Szczuczym. Znajdujące się na nim miejscowości Łazy i Dąbkowice znalazły się pod wodą. Ludzie, którym udało się schronić na dachach najwyższych zabudowań i wzniesień, czekali na pomoc w strugach marznącego deszczu i śniegu. Żywiół dotarł także na wschodnie wybrzeże Polski. Zniszczone zostały elementy infrastruktury kąpielowej na Westerplatte. Woda zalała Sopot, a Półwysep Helski był w kilku miejscach poprzecinany wodami Bałtyku. Wydarzenia te bardzo szeroko komentowały i nagłaśniały prasa oraz radio.

**Chrońmy wydmy - jak żyć ze sztormami?** Doświadczenia z przeszłości spowodowały zmianę w podejściu do ochrony brzegów morskich. Dziś wiemy, że niepożądana eksploatacja nadmorskich puszcz spowodowała wzmożone przemieszczanie się wydmy oraz osłabienie naturalnych właściwości obronnych wybrzeża. Przykładem takich nieprzemyślanych działań może być



Fragment mierzei podmytej przez wody sztormowe



Dawne zabudowania odsłonięte przez sztorm, Słowiński Park Narodowy

przytoczona wcześniej historia Starej Łeby. Już w XIX w. podejmowano pierwsze próby odbudowy wydmy. Znane są także zapiski o celowym nasadzeniu roślin na wydmach. Rozwój bardziej wyrafinowanych technik ochrony wybrzeża nastąpił w XX w. wraz rozwojem miejscowości wypoczynkowych. Towarzyszy temu jednak zjawisko błędnego koła - każda nowa inwestycja turystyczna w strefie przybrzeżnej wymaga coraz to większych nakładów na ochronę tego wybrzeża.

Dziś pomimo rozwoju techniki i coraz lepszego prognozowania zjawisk ekstremalnych w dalszym ciągu mierzymy się z potęgą zjawisk

przyrody. Niezwykle ważne okazują się nasze postawy wobec ostrzeżeń meteorologicznych i prawidłowe zachowania, pozwalające na ograniczenie potencjalnych strat do minimum. Olbrzymie katastrofy powodowane wiatrem o sile huraganu uczą nas pokory wobec sił natury. Obserwowane aktualnie zmiany klimatu sprzyjają częstszemu występowaniu ekstremalnych zjawisk na polskim wybrzeżu Bałtyku. Wymaga to od nas lepszego przygotowania, dlatego w pierwszej kolejności nauczymy się nie lekceważyć komunikatów i ostrzeżeń meteorologicznych, aby lepiej zadbać o własne życie, zdrowie i mienie.



# Klimatyczne sztormy

Anna Kubicka, Paweł Przygodzki, Emilia Szewczak

Od połowy XX w. średni poziom morza przy polskim wybrzeżu wzrastał o mniej więcej 2 cm na 10 lat. W ostatnich latach jest to nawet 5 cm na dekadę. Scenariusze klimatyczne wskazują, że procesy te będą się pogłębiać.

Problemem często poruszonym w dyskusjach o następstwach zmian klimatu jest poziom mórz i oceanów. Naukowcy wykazali, że dalsze ocieplenie się Ziemi będzie powodować wzrost średniego poziomu wód oceanicznych, m.in. w wyniku topnienia lodowców i lądolodu. Dotyczy to również Morza Bałtyckiego i polskiej strefy brzegowej. Następstwem tych zjawisk jest m.in. wzrost zagrożenia ze strony wzebrań sztormowych. Od 2000 do 2009 roku wystąpiło 367 wzebrań sztormowych<sup>1</sup>. Dla porównania w okresie 1960-1969 było ich 107. Trend jest szczególnie widoczny na środkowym wybrzeżu Polski, gdzie maksymalne poziomy wód Bałtyku w czasie wzebrań sztormowych systematycznie rosną - komentuje Paweł Przygodzki, dyrektor Centrum Hydrologicznej Osłony Kraju IMGW-PIB.

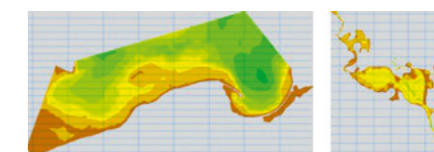
**Monitoring problemu.** Na polskim wybrzeżu szczególnie zagrożone powodzią są tereny zamieszkałe przez znaczną liczbę ludności. Można założyć, że wzrost częstotliwości występowania i siły wzebrań sztormowych będzie prowadzić do katastrof, takich jak zalania i zniszczenia w infrastrukturze mieszkaniowej, gospodarczej, turystycznej i komunikacyjnej. Oceną tych zagrożeń zajmuje się m.in. IMGW-PIB. Opracowane zostały mapy zagrożenia i ryzyka powodziowego ([www.mapy.isok.gov.pl](http://www.mapy.isok.gov.pl)). Analizy projektu ISOK potwierdziły, że na polskim wybrzeżu występują tereny, gdzie wzrost poziomu morza i wzebrania sztormowe mogą powodować poważne straty środowiskowe i gospodarcze.

**Modelowanie morza.** Prognozy hydrologiczne poziomów morza dla polskiej strefy brzegowej wykonywane są przez Biuro Prognoz Hydrologicznych, Wydział Prognoz i Opracowań Hydrologicznych w Gdyni. Wykorzystywane są trzy modele: dwuwymiarowy hydrodynamiczny, Wróblewskiego oraz Malińskiego. Uwzględniają one dane meteorologiczne: ciśnienie, prędkość i kierunek wiatru, układ frontów oraz inne składowe.

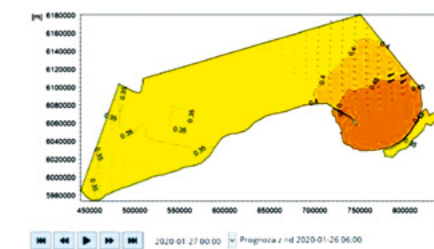
Zasięg dwuwymiarowego modelu hydrodynamicznego obejmuje obszar polskiego wybrzeża oraz osobno Zalewu Szczecińskiego. Symulację przeprowadza



Gdańsk-Port Północny – mapa zagrożenia powodziowego od strony morza, w tym morskich wód wewnętrznych. Kolor jasnoniebieski oznacza obszary, na których prawdopodobieństwo wystąpienia powodzi jest średnie i wynosi 1 na 100 lat



Zasięg dwuwymiarowego modelu hydrodynamicznego dla całego wybrzeża oraz Zalewu Szczecińskiego (prawa wizualizacja)



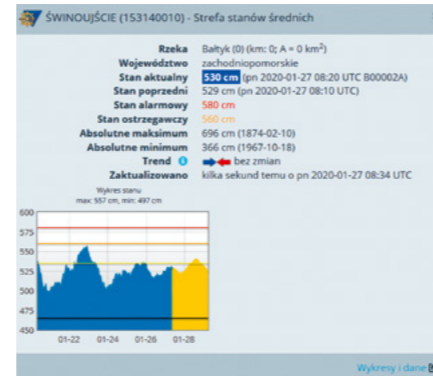
Graficzna wizualizacja prognozy poziomów morza wzdłuż polskiego wybrzeża, uzyskana z dwuwymiarowego modelu hydrodynamicznego

się z wyprzedzeniem 72 godzin, wydając prognozę na 60 lub 48 godzin. Oprócz standardowych danych meteorologicznych wykorzystuje się w nim informacje hydrologiczne: rzeczywiste stany wody oraz prognozę dla granic otwartych modelu w ramach współpracy międzynarodowej z krajami nadbałtyckimi - Niemcami, Danią i Litwą.

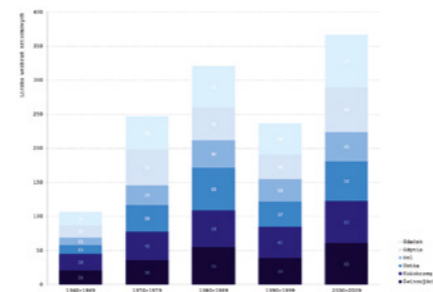
<sup>1</sup> Dotyczy gwałtownego wzrostu poziomu morza, najczęściej powyżej wartości 570 cm, przy średnim poziomie morza na polskich stacjach około 500 cm dla wielolecia 1951-2010.



Narzędzie do opracowywania prognozy synoptycznej poziomów Morza Bałtyckiego



Wizualizacja prognozy synoptycznej poziomów Morza Bałtyckiego



Liczba wezbrań sztormowych na stacjach mareograficznych w poszczególnych dekadach w wieloleciu 1960-2010

Model Wróblewskiego to statystyczno-empiryczny model krótkoterminowej prognozy zmian poziomu morza dla polskiego wybrzeża Bałtyku. Oparty jest na metodzie modelowania statystycznego i stochastycznego, którą stosuje się do analizy numerycznej losowych procesów dynamicznych zachodzących w strefie brzegowej Bałtyku. Model prognozuje stany wody dla trzech stacji (Świnoujście, Hel, Gdynia) z wyprzedzeniem wynoszącym 72 godziny.

- szara linia - model Wróblewskiego,
- czerwona linia przerywana - prognoza synoptyczna z dnia poprzedniego,
- czarna linia - dane rzeczywiste.

Dodatkowo powstaje wykres danych z modelu meteorologicznego COSMO:

- linia - siła wiatru,
- punkty - kierunek wiatru,
- kolory tła - kierunki geograficzne: czerwony - północ, niebieski - zachód, żółty - południe, zielony - wschód.

Model Malińskiego to model empiryczny liczący tzw. napełnienie Bałtyku. Na jego podstawie prognozuje się stan wody dla wybrzeża wschodniego (Gdynia i Hel) i zachodniego (Świnoujście) dla trzech terminów najbliższej doby (godziny 12 i 18 dnia bieżącego oraz godzina 6 dnia następnego). Napełnienie Bałtyku to jednowymiarowy parametr reprezentujący hipotetyczny poziom morza w warunkach brzegowym, tzn. poziom wzdłuż wybrzeża w przypadku braku wiatru.

**Czas na prognozę.** Wyniki uzyskane z modeli są analizowane przez synoptyków, którzy następnie opracowują prognozę. Komplet danych zawiera tabelę z wartościami modelowymi i prognozą wiatru z modelu COSMO oraz wykresy z wizualizacją modeli:

- zielona linia - dane z modelu dwuwymiarowego,
- niebieska linia - dane z DWD (Niemiecka Służba Meteorologiczna),
- fioletowa linia - model Malińskiego,

**Jak czytać ostrzeżenia?** W przypadku gdy prognoza potwierdza możliwość wystąpienia niebezpiecznych zjawisk, wydawane jest ostrzeżenie lub komunikat o niebezpiecznym zjawisku:

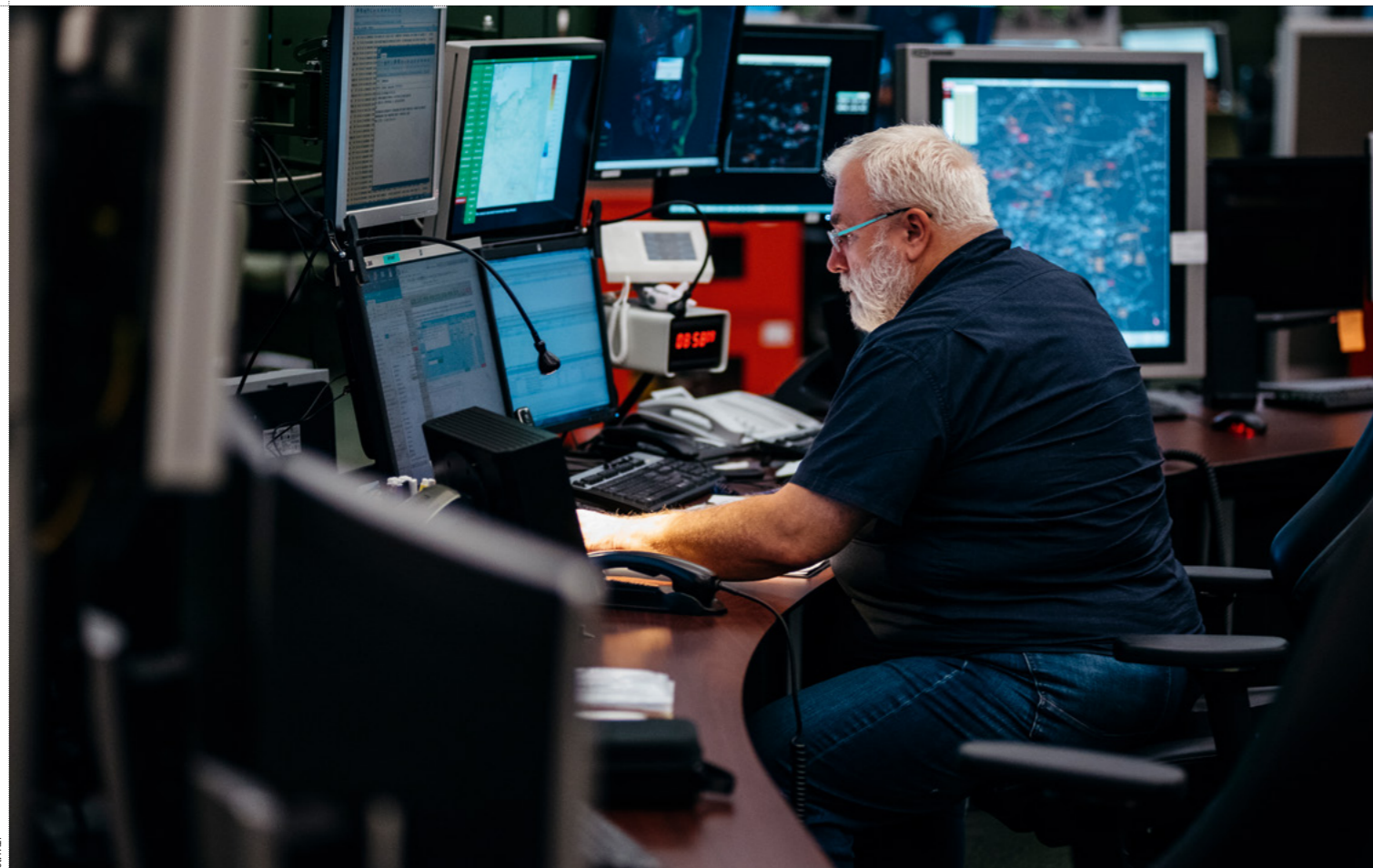
1. stopień zagrożenia hydrologicznego - gwałtowne wzrosty poziomów morza bez przekroczenia poziomów ostrzegawczych i alarmowych (należy zachować ostrożność i monitorować rozwój sytuacji),
2. stopień zagrożenia hydrologicznego - wezbranie z przekroczeniem poziomów ostrzegawczych, ale bez przekroczenia poziomów alarmowych (należy zachować ostrożność i monitorować rozwój sytuacji),
3. stopień zagrożenia hydrologicznego - wezbranie z przekroczeniem poziomów alarmowych (mogą pojawić się poważne zagrożenia dla życia, zdrowia i mienia ludzi; należy zachować najwyższą ostrożność i przestrzegać zaleceń służb ratowniczych, wojewódzkich centrów zarządzania kryzysowego oraz Rządowego Centrum Bezpieczeństwa).

**Co nas czeka?** Wzrost poziomu mórz i siła ekstremalnych zjawisk pogodowych, w tym sztormów i wezbrań sztormowych, niosą zagrożenie dla miast zlokalizowanych na wybrzeżu. Duże ośrodki miejskie - Gdańsk, Gdynia, Elbląg, Ustka, Kołobrzeg, Świnoujście czy Szczecin - muszą rozbudowywać i modernizować infrastrukturę przeciwpowodziową. Powinny też aktualizować plany rozwojowe oraz udoskonalać systemy ostrzegawcze, aby być stale gotowe na pojawienie się ekstremalnych zdarzeń. W okresie letnim odpowiednie działania powinny również podejmować służby i lokalne władze małych miejscowości turystycznych. Kilkukrotny wzrost ludności w sezonie wakacyjnym zwiększa ryzyko i wymaga odpowiedniego nim zarządzania. Szczególnie narażone są miejscowości położone w ujściowych odcinkach rzek przybrzmorskich. Efekty wezbrań sztormowych mogą tu sięgać daleko w głąb lądu i być wyjątkowo niebezpieczne.

# Bezpieczne niebo – Instytut w chmurach

Izabela Zabłocka, Jadwiga Michalska

Lotnictwo cywilne to w ostatnich kilkudziesięciu latach jedna z najszybciej rozwijających się branż transportu. Latamy coraz szybciej, wygodniej i częściej. Według Flightradar24 w 2019 r. padł rekord – w ciągu jednego dnia, 24 lipca, na świecie zarejestrowano 225 tys. lotów. Nad bezpieczeństwem podróży czuwa szereg instytucji, które pracują 24 godziny na dobę przez cały rok. Jednym z najważniejszych czynników wpływających na jakość usług lotniczych są warunki pogodowe. Dlatego niezmiernie ważne są dobra prognoza i bieżący monitoring. W Polsce zadanie to powierzono IMGW-PIB w ramach Meteorologicznej Osłony Lotnictwa Cywilnego (MOLC).



Ed. PAZP

**Na czym polega osłona meteorologiczna w lotnictwie?**

To przede wszystkim nieprzerwane obserwacje i pomiary parametrów meteorologicznych nad obszarem lotniska i w jego bezpośrednim sąsiedztwie. Zadania te realizuje personel Lotniskowej Stacji Meteorologicznej (LSM oraz LSMs). Na terenie Polski IMGW-PIB dysponuje sześcioma stacjami LSM (Kraków-Balice, Łódź-Lublinek, Poznań-Ławica, Rzeszów-Jasionka, Warszawa, Wrocław-Strachowice) oraz sześcioma stacjami LSMs - to tzw. stacje samodzielne, w których nie wykonuje się zadań stacji synoptycznych (Gdańsk, Katowice-Pyrzowice, Lublin, Szczecin-Goleniów, Warszawa-Modlin, Zielona Góra-Babimost).

Do monitorowania wykorzystywane są automatyczne systemy pomiarowe parametrów meteorologicznych (AWOS). Jest to zestaw urządzeń i czujników - wraz z komputerem centralnym i terminalami użytkowników - które mierzą, przetwarzają, prezentują i archiwizują określone wielkości fizyczne.

Są to: kierunek i prędkość wiatru, widzialność przeważająca i minimalna oraz widzialność wzdłuż drogi startowej, wysokość podstawy chmur, wielkość zachmurzenia, temperatura powietrza i punktu rosy oraz ciśnienie atmosferyczne. Ważną funkcję w stacjach LSM i LSMs pełni personel dokonujący obserwacji parametrów, które nie są mierzone przez AWOS lub gdy system ten nie pracuje poprawnie. Odpowiednio przeszkoleni pracownicy określają: widzialność, zjawiska pogodowe i ich natężenie, pokrycie nieba przez chmury, wysokość podstawy chmur i widzialności pionowej oraz widzialność wzdłuż drogi startowej na życzenie kontrolera.

Na podstawie wykonanych obserwacji i pomiarów opracowywane i rozpowszechniane są trzy rodzaje komunikatów (MET REPORT, SPECIAL, METAR). Wydawane są one w różnych odstępach czasowych i przeznaczone dla lotniska macierzystego; komunikaty METAR udostępniane są również na zewnątrz. Dane te przekazują się określo-

nym służbom ruchu lotniczego (tzw. TWR i APP) poprzez system automatycznego rozgłaszania informacji lotniskowej ATIS.

Niezwykle istotna dla bezpieczeństwa ruchu lotniczego jest współpraca załogi Lotniskowej Stacji Meteorologicznej z kontrolerami oraz personelem operacyjnym lotniska. Pracownicy LSM otrzymują od nich m.in. dane na temat uskoku wiatru i turbulencji, które zgłasza załoga dolatujących i odlatujących samolotów. Kontrolerzy przekazują również specjalne meldunki z powietrza (ang. special aircraft observations) dotyczące groźnych zjawisk zaobserwowanych przez załogę statku powietrznego.

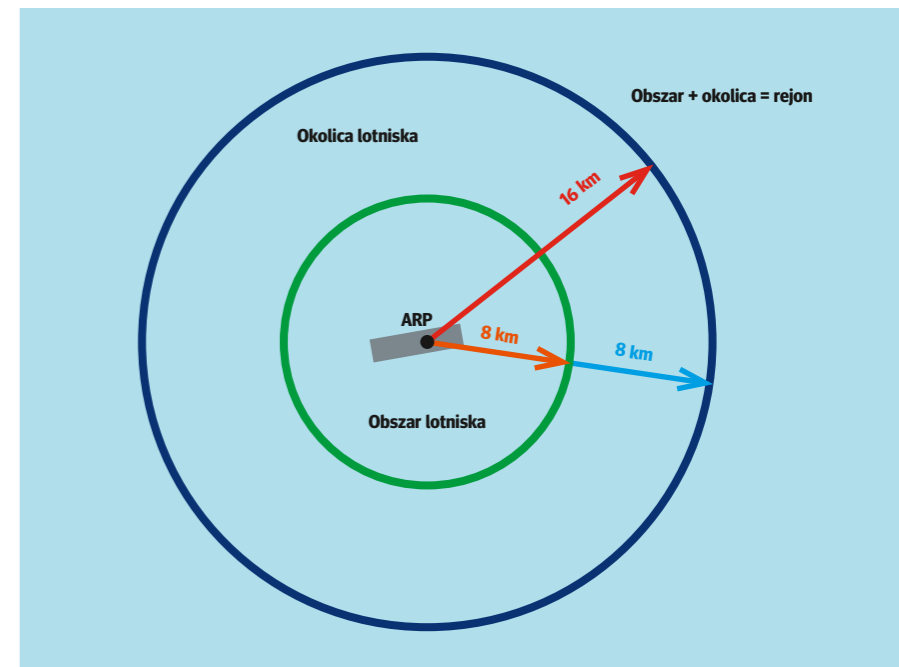
**Poza obserwacją bieżących warunków pogodowych na lotnisku zadaniem IMGW-PIB w ramach pełnionej służby MOLC jest przygotowywanie prognoz lotniczych.** Aby móc prognozować pogodę, konieczna jest najpierw jej diagnoza i analiza. Potrzebne są szczegó-

lowe dane dostarczane zarówno z lotnisk, jak i z systemów pomiarowych IMGW-PIB (depesze SYNOP, STORM, AVIO, dane z posterunków telemetrycznych, sondaże aerologiczne, zdjęcia radarowe czy też system lokalizacji wylądowań atmosferycznych). Niezbędne jest również wykorzystywanie danych obserwacyjnych z Europy, a szczególnie z kierunku napływu masy powietrza kształtującej pogodę w Polsce. Nie należy też zapominać o zdjęciach satelitarnych, które dostarczają ciągłej informacji o chmurach oraz stanie atmosfery.

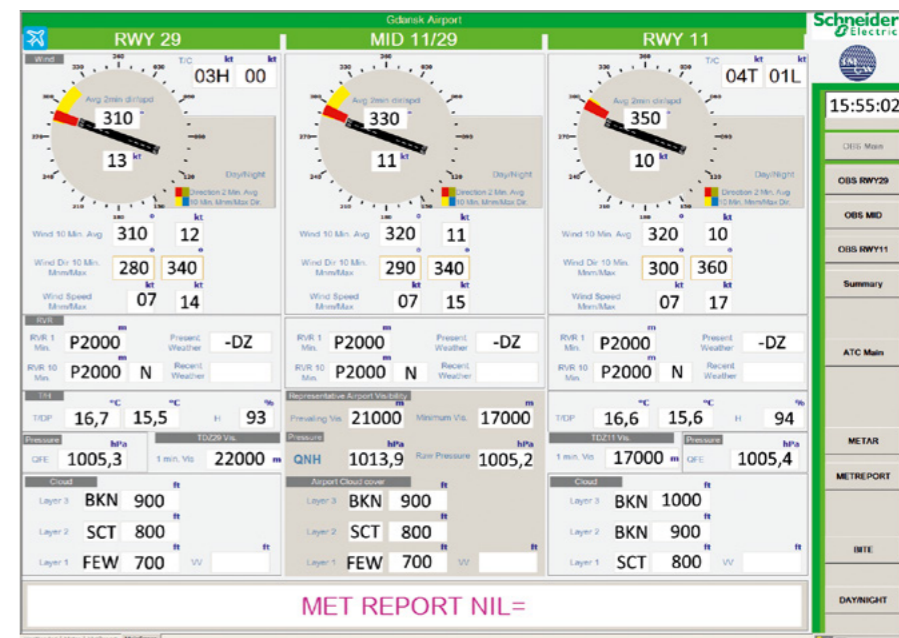
W procesie prognozowania ważną rolę odgrywają modele numeryczne, które w dzisiejszych czasach znacznie ułatwiają pracę synoptykom. Modele te są cały czas ulepszone - poprawiane są ich kody, zwiększa się ilość danych asymilowanych oraz rozdzielczość przestrzenna i trafność generowanych prognoz. Jednak mimo zastosowania coraz szybszych i mocniejszych superkomputerów oraz udoskonalania algorytmów modele nie zawsze są jednoznaczne. Czasem dają wyniki zbieżne, a czasem wręcz odwrotne. Dlatego niezmiernie istotne są rola i doświadczenie synoptyka, który w procesie prognozowania opiera się na modelu, ale równocześnie koryguje i podejmuje ostateczną decyzję o treści komunikatu.

**Prognozy i ostrzeżenia.** Do podstawowych prognoz w lotnictwie należy zaliczyć prognozę TAF (ang. terminal aerodrome forecast) zgodną z unijnymi dyrektywami i certyfikatami. Jest ona wykorzystywana m.in. przez centra operacyjne linii lotniczych w celu planowania lotów, jak również wybierania lotnisk zapasowych. Obowiązkowo zapoznają się z nią również piloci przed wykonaniem lotu. IMGW-PIB wystawia ponadto ostrzeżenia na osłaniane lotniska na potrzeby jego kontroli i zbliżania. Dzięki temu kontrolerzy mogą odpowiednio planować operacje w przestrzeni powietrznej.

Prognoza TAF zawiera szereg informacji o różnych elementach prognozy. Szczególnie istotne są dane na temat widzialności i podstawy chmur, wiatru, zjawisk oraz możliwości pojawienia się chmur konwekcyjnych. Lotniska są wyposażone w odpowiednie systemy nawigacyjne wspomagające lądowanie statków powietrznych w warunkach ograniczonej widzialności. Ten system



Zasięg prowadzonych w LSM obserwacji i pomiarów meteo. ARP (ang. aerodrome reference point) to punkt określający lokalizację lotniska



Zobrazowanie monitorowanych parametrów meteorologicznych na terminalu AWOS

to ILS (ang. instrument landing system). Określa on kategorie warunków do lądowania na podstawie prognozy synoptycznej.

Z kolei zmiany kierunku i prędkości wiatru, jak również jego porywy mają znaczący wpływ na to, który pas startowy jest

w użyciu. Na lotniskach, gdzie odbywa się duży ruch, np. na Lotnisku Chopina w Warszawie, jedną z kluczowych jest informacja o tym, kiedy nastąpi zmiana kierunku wiatru. Na tej podstawie kontrolerzy ruchu lotniczego mogą odpowiednio zaplanować

start i lądowanie, aby jak najmniej wpływało to na płynność ruchu lotniczego i terminowe wykonywanie operacji lotniczych. Dla lotnictwa groźne są też rozbudowane chmury konwekcyjne typu towering cumulus oraz cumulonimbus, w które pilotom nie wolno wlatywać. Informacja o możliwości pojawienia się tych chmur jest kluczowa nie tylko dla pilotów, ale również dla kontrolerów ruchu lotniczego. Jeśli burza rozwinię się nad lotniskiem, zarządzający portem lotniczym muszą w odpowiedni sposób zabezpieczyć zarówno infrastrukturę, jak i pasażerów oraz pracowników przed ewentualnymi skutkami. W lotnictwie przyjmuje się zasadę, że bezpieczeństwo zawsze jest na pierwszym miejscu.

Inne ważne dla funkcjonowania lotnisk i wykonywania lotów informacje to ostrzeżenia o opadach śniegu, śniegu z deszczem i intensywnych opadach deszczu, które oprócz ograniczenia widzialności mają wpływ na stan pasa startowego i na hamowanie. W przypadku występowania opadów marznących oprócz odpowiedniego przygotowania pasów startowych i dróg kołowania konieczne jest odladanie samolotów specjalnymi mieszankami płynów. Uskok wiatru, mrozy, upały, silny wiatr, porywy wiatru, grad czy też zamiecie i zawieje śnieżne również wpływają na pracę lotnisk i wykonywane operacje powietrzne. O wszystkich tych zjawiskach odpowiednie służby są informowane za pomocą prognoz lub ostrzeżeń lotnisk – dokumentów przygotowywanych przez synoptyków lotniczych.

Kolejnym produktem są komunikaty SIGMET o prognozowanych lub obserwowanych groźnych zjawiskach. W Polsce informacja SIGMET najczęściej wydawana jest na silną turbulencję, oblodzenie i burze. Bardzo rzadko dotyczy prognozy fali górskiej i chmury pyłu wulkanicznego (komunikat CIGMET wydaje się również dla chmury pyłu radioaktywnego). Z informacji tych korzystają nie tylko kontrolerzy ruchu lotniczego, ale również piloci. Jednym z głównych powodów zmiany trasy, poziomu lotu czy też konieczności zapięcia pasów jest właśnie wydana informacja SIGMET. Piloci mają także do dyspozycji tzw. meldunki z powietrza (AIREP), które informują o obserwowanych przez inne statki powietrzne umiarkowanych i silnych lub też groźnych zjawiskach w powietrzu.

**Wsparcie dla General Aviation.** Instytut wydaje prognozy również dla małego lotnictwa. Podstawowa jest prognoza graficzna SIGNIFICANT dla Polski. Zaznaczone są na niej strefy pogodowe z opisem chmur i widzialności wraz z ograniczającymi ją zjawiskami, wysokość izotermy 0°C w określonych miejscach oraz kierunek i prędkość wiatru na wysokości około 1500 m. Na mapie mogą być również naniesione fronty atmosferyczne, ośrodki baryczne, turbulencja, oblodzenie, fala górską, porywy wiatru czy też informacja o przykryciu wierzchołków gór przez chmury. Szczegółowy opis zarówno tej prognozy, jak i pozostałych znajduje się na stronie [awiacja.imgw.pl](http://awiacja.imgw.pl).

Drugą prognozą dla General Aviation jest GAMET. To prognoza tekstowa napisana przy użyciu znormalizowanych skrótów. W związku z tym, że zarówno ta, jak i wszystkie wyżej wymienione prognozy są opracowywane zgodnie z odpowiednimi dokumentami, każdy pilot, i z zagranicy, jest w stanie ją poprawnie odczytać. Dodatkowo, w odpowiedzi na potrzeby pilotów, IMGW-PIB wprowadził graficzną prognozę GAFOR, opracowywaną na 6 godzin, z krokiem 2-godzinnym. Produkt jest obecnie w fazie testowej.

Bardzo ważnym elementem działalności MOLC jest zapewnienie bezpieczeństwa śmigłowcom i samolotom Lotniczego Pogotowia Ratunkowego (LPR). W tym celu synoptycy monitorują warunki atmosferyczne w obrębie rejonów baz HEMS (ang. Helicopter Emergency Medical Service) i wystawiają odpowiednie ostrzeżenia. Przy planowaniu transportu medycznego pracownicy IMGW, na prośbę dyspozytora LPR, opracowują najszybciej jak się da prognozę na trasę.

**Certyfikaty, umowy i procedury.** Pełnienie służby w żegludze powietrznej nie jest możliwe bez spełnienia szeregu wymagań formalnych. Aby im sprostać, IMGW-PIB wdrożył wewnętrzne procedury zapisane m.in. w dokumentacji systemu zarządzania jakością i bezpieczeństwem. Dzięki nim nasze produkty są zgodne z wymaganiami norm ISO, a Instytut otrzymał stosowne certyfikaty. Jednym z najważniejszych jest certyfikat instytucji zapewniającej służbę żegludgi powietrznej wydany przez Urząd Lotnictwa Cywilnego. Dokument ten potwierdza zdolność IMGW-PIB do prowadzenia meteo-



rologicznej osłony lotnictwa cywilnego zgodnie ze stawianymi wymaganiami. Ponadto Instytut otrzymał certyfikat służby żegludgi powietrznej wydany przez prezesa Urzędu Lotnictwa Cywilnego oraz został wyznaczony przez ministra infrastruktury jako instytucja zapewniająca służbę meteorologiczną do dostarczania danych i informacji meteo. Ponadto praca MOLC regulowana jest podpi-

sanymi umowami i porozumieniami, zarówno krajowymi, jak i międzynarodowymi, do których należy zaliczyć m.in. rozporządzenie Unii Europejskiej nr 373 czy załącznik 3 ICAO do konwencji o międzynarodowym lotnictwie cywilnym.

Podstawową umową, na której bazuje działalność obszaru MOLC, jest porozumienie zawarte pomiędzy IMGW-PIB a Polską

Agencją Żegludgi Powietrznej. To w nim wymienione są produkty, zakresy usług, wymagane terminy, operacyjnie pożądane wskaźniki dotyczące dostarczanych produktów i usług. Umowa opisuje też zasady współpracy pomiędzy obiema instytucjami, obejmuje kwestie dotyczące zarówno sposobu dostarczania danych, jak i postępowania np. w sytuacjach awaryjnych. Porozu-

mienie to jest kluczowe dla bezpieczeństwa ruchu lotniczego - krajowego i międzynarodowego.

Gdy w najbliższych dniach wsiądziemy na pokład samolotu, pamiętajmy, że może on oderwać się od ziemi, wykonać przelot i bezpiecznie wylądować dzięki pracy wielu ludzi. W tym synoptyków i ekspertów z IMGW-PIB.

# Citizen Science IMGW-PIB

Rafał Stepnowski

**Współczesne domowe stacje pogodowe to innowacyjne produkty pozwalające monitorować bieżący stan pogody w każdym miejscu. Najeżone czujnikami, śledzą opady, wiatr, ciśnienie powietrza, poziom UV w czasie rzeczywistym i stężenie zanieczyszczeń. Szacuje się, że do 2022 r. światowy rynek prywatnych stacji pogodowych i rynku mierników deszczu wzrośnie o blisko 8 proc.**

Dobrej jakości urządzenia wyposażone są w oprogramowanie generujące niestandardową prognozę krótkoterminową. Wiele z nich można podłączyć do systemów typu mądry czy inteligentny dom, dzięki czemu stacja może regulować ogrzewanie, sterować żaluzjami okiennymi czy włączać zraszacze w ogrodzie w zależności od warunków atmosferycznych.

Prywatne stacje pogodowe mają szereg innych zastosowań. Lokalne władze, wyposażone w niewielki system obserwacyjny, mogą na bieżąco informować mieszkańców o warunkach pogodowych i ostrzegać ich np. przed silnym wiatrem czy intensywnymi opadami. Dzięki szybkiemu przetwarzaniu danych inteligentna stacja może stanowić istotne wspar-

cie w rolnictwie: sterowanie wentylacją i ogrzewanie szklarni, prawidłowe dozowanie wody, napowietrzanie silosów to tylko kilka przykładów. Kompleksowy przegląd danych zapewnia rolnikom, sadownikom i drobnym hodowcom optymalne zarządzanie produkcją. Kolejne segmenty to służba zdrowia (centra seniorów i rehabilitacji, sanatoria, badania wysiłkowe itp.), turystyka (bieżące zarządzanie usługami i planowanie), rynek nieruchomości lub ubezpieczeń. Szczególnie interesujące są możliwości wykorzystania inteligentnych stacji pogodowych przez dostawców usług internetowych w zakresie monitorowania takich parametrów jak praca wentylatorów, zasilaczy czy temperatury.

**W jaki sposób IMGW-PIB wspomaga rozwój citizen science?** W ramach badań naukowych prowadzonych równolegle w IMGW-PIB oraz na Wydziale Nauk Przyrodniczych Uniwersytetu Śląskiego analizuje się przydatność prywatnych stacji meteorologicznych w zagęszczaniu sieci monitoringu. Projekt ma na celu określenie stopnia wiarygodności uzyskanych od wolontariuszy wyników pomiarów.

Pierwsze prywatne stacje meteorologiczne pojawiły się na terenie Polski przeszło 10 lat temu. Już wtedy Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej zaczął bacznie śledzić ten nowy trend. Dziś sieć stacji jest prawie pięć razy większa od gęstości sieci należącej do Państwowej Służby Hydrologiczno-Meteorologicznej - komentuje Radosław Drożdź, kierownik projektu Citizen Science IMGW-PIB.

Zalety rozwiązania dostrzegły instytucje zajmujące się monitorowaniem stanu atmosfery oraz zagrożeń środowiskowych. Na rynku pojawiają się też gracze prywatni, w tym duże korporacje, którzy na bazie własnych stacji pogodowych budują ofertę monitoringu zagrożeń chociażby dla detalistów i energetyki.

IMGW-PIB podąża za nowymi trendami. Z myślą o wolontariuszach tworzy projekt pod nazwą Citizen Science, co w wolnym tłumaczeniu znaczy: nauka obywatelska. W jego ramach będą oni czynnie współpracować z badaczami. Uczestnicy projektu, zbierając obserwacje oraz pomiary, za pomocą internetu i przy udziale opiekującej się nimi insty-

tucji naukowej, jak IMGW-PIB, mają stworzyć powszechnie dostępną bazę danych. Będzie ona wykorzystywana do poprawy jakości operacyjnych danych używanych głównie do wykonania ekspertyz, opracowań i opinii meteorologicznych oraz w hydrologii - tłumaczy Radosław Drożdź. - Projekt ma również istotny czynnik edukacyjny i społeczny. Wolontariusze będą mogli się przekonać, że nauka to nie tylko nowoczesne technologie, lecz także żmudny proces wymagający zaangażowania, cierpliwości i dokładności. Każdy z nich przez chwilę będzie mógł poczuć się naukowcem i doświadczyć, jak wygląda nauka w działaniu - dodaje.

**Mobilne rekordy.** Prywatne stacje pogodowe zawdzięczają swój sukces mobilności. Ten czynnik wykorzystywany jest również w poważnych projektach międzynarodowych, jak chociażby bicie rekordu prędkości na łądzie. Testy naddźwiękowego pojazdu Bloodhound LSR rozpoczęły się w październiku 2019 r. w Afryce Południowej, na pustyni Kalahari. Skonstruowany przez Brytyjczyków samochód osiągnął jak na razie prędkość maksymalną 1011 km/h, co czyni go ósmym pojazdem na świecie, który przekroczył barierę 1000 km/h.

Istotnym elementem projektu było oprzyrządowanie toru 17 stacjami meteorologicznymi. Połączone za pośrednictwem sieci LPWAN, przesyłały na bieżąco dane o prędkości wiatru, kierunku i sile podmuchów, temperaturze powietrza, wilgotności oraz ciśnieniu. Informacje te były niezbędne dla zespołu i kierowcy, aby w kontrolowany i bezpieczny sposób pokonać trasę w optymalnych warunkach.

Tego rodzaju projekty pokazują, w jak różnych branżach i dziedzinach ważny jest sektor meteorologiczny. Na kongresie WMO w czerwcu 2019 r. przyjęto przełomową deklarację w sprawie wzmocnienia powiązań między sektorem publicznym, prywatnym i uczelnianym. Ma ona pomóc krajom w radzeniu sobie z zagrożeniami związanymi z ekstremalnymi warunkami pogodowymi, klimatycznymi, wodnymi i innymi wydarzeniami środowiskowymi.

Sieci prywatnych stacji pogodowych oraz udział wolontariuszy wydają się być dobrym i potrzebnym krokiem do lepszego poznania otaczającego nas świata.



# Bioróżnorodność – regulator Ziemi

Rafał Stepnowski

Różnorodność biologiczna (ang. biodiversity) stanowi podstawę życia na Ziemi i odnosi się do różnorodności występującej w faunie i florze: od genetycznego składu roślin i zwierząt po różnorodność kulturową. Często jest przez nas niedoceniana i bagatelizowana. Tymczasem nasze zdrowie i jakość życia zależą właśnie od niej.

Człowiek zmienia środowisko. Układa je pod swoje potrzeby i dla własnej wygody m.in.: poprzez regulowanie i ujednolicanie. W ostatnich latach rosną obawy o konsekwencje tych działań. Utrata bądź zmiany różnorodności biologicznej mogą zakłócić funkcjonowanie ekosystemów, niszcząc mechanizmy podtrzymujące życie na Ziemi.

Środowisko dostarcza nam niezbędnych produktów i usług ekosystemowych – świeżej wody, żywności i paliw. Utrata różnorodności biologicznej może mieć wpływ na zdrowie ludzkie, jeżeli usługi ekosystemowe nie będą w wystarczającym stopniu zaspokajając potrzeb społecznych. Ponadto jakość tych usług wpływa na dochody i lokalną migrację, a czasami może powodować konflikty polityczne. Spadek różnorodności biologicznej zmniejsza również szansę na poznanie nowych metod leczenia chorób. Ogranicza dostęp przyszłym pokoleniom do wielu chemicznych substancji i genów zapewniających ludzkości ogromne korzyści zdrowotne.

**Zdrowe jedzenie to lepsze życie i ochrona przez chorobami.** Różnorodność biologiczna wpływa kompleksowo na światową produkcję żywności, ponieważ zapewnia zrównoważoną produktywność gleb oraz zasoby genetyczne dla wszystkich upraw i hodowli zwierząt. Dostęp do wystarczającej ilości bogatej w odmiany żywności jest podstawowym wyznacznikiem zdrowia. Prawidłowa dieta, oparta na lokalnych produktach, jest możliwa pod warunkiem utrzymania wysokiego poziomu różnorodności biologicznej. W przeciwieństwie do diety opartej na monokulturze rolniczej.

Zintensyfikowana produkcja żywności wymaga ciągłego wsparcia ze strony człowieka. Od nawadniania, przez stosowanie nawozów sztucznych po wykorzystanie środków ochrony roślin (pestycydów). Wprowadza się zmodyfikowane odmiany roślin i schematy upraw. Wszystko to wpływa na różnorodność biologiczną, a tym samym na sposób odżywiania i zdrowie ludzi. Uproszczenie siedlisk, utrata gatunków i ich sukcesja zwiększają wrażliwość społeczeństwa na choroby i zachorowania. W podobny sposób, jak dzieje się to z pozbawionym bioróżnorodności środowiskiem.

**Leczenie w harmonii z naturą.** Negowana przez dziesięciolecia tzw. medycyna tradycyjna wróciła do łask. Szacuje się, że naturalne leki stosowane są przez 60% ludzkości, a w niektórych krajach są włączone do publicznego systemu opieki zdrowotnej.

Podstawą medycyny tradycyjnej są rośliny lecznicze. Uzyskuje się je bezpośrednio ze środowiska naturalnego bądź specjalnych zrównoważonych

upraw. Człowiek niszczy siedliska tych roślin poprzez np. wycinanie lasów czy intensywną orkę, a pośrednio wpływa na ich rozwój i zasięg występowania poprzez zmianę stosunków wodnych czy deregulację klimatu. Medycyna naturalna nie może i nie powinna zastąpić całkowicie leków syntetycznych. Niemniej globalne zapotrzebowanie na produkty naturalne stale rośnie. Lecznictwo i badania biomedyczne wykorzystują bioróżnorodność do poznawania fizjologii człowieka, by zrozumieć i leczyć choroby.

**Choroby zakaźne - winny człowiek?** Działalność ludzi zaburza strukturę i funkcje ekosystemów oraz zmienia rodzimą różnorodność biologiczną. Takie zakłócenia zmniejszają liczebność jednych organizmów i powodują wzrost u innych. Modyfikują interakcje między samymi organizmami, a także między organizmami a ich środowiskiem fizycznym i chemicznym. Choroby zakaźne są bardzo wrażliwe na te zaburzenia. Istnieje wiele czynników, które wpływają na rozwój, modyfikacje oraz sposób i szybkość przenoszenia wirusów, bakterii i innych pasożytów chorobotwórczych. Są to głównie: wylesianie, zmiana użytkowania gruntów, gospodarka wodna (budowa zapór i nawadnianie), niekontrolowana urbanizacja i rozrost miast, odporność na pestycydy stosowane do zwalczania niektórych chorób, zmienność i zmiany klimatu, migracje i międzynarodowe podróże oraz handel, przypadkowe lub celowe wprowadzenie patogenów przez ludzi.

**Zmiany klimatu, różnorodność biologiczna i ludzkie zdrowie.** Klimat jest integralną częścią funkcjonowania ekosystemów. Jego zmiany w oczywisty sposób wpływają na świat roślin i zwierząt, m.in. ograniczając zasięg występowania gatunków czy ich liczebność. Ekstremalne zjawiska pogodowe, jak susza czy powódź, bezpośrednio oddziałują na zdrowie ekosystemu oraz jego produktywność. Długoterminowe zmiany klimatu wpływają natomiast na rozmieszczenie roślin, patogenów, zwierząt, a nawet osiedli ludzkich.

**Lepiej kolorowo.** Walczmy o zróżnicowanie biologiczne każdego ekosystemu. Również tego lokalnego. Bogactwa naturalne to nie tylko węgiel i ropa, od których jesteśmy ciągle uzależnieni. Znacznie większy wpływ na nasze życie ma czyste, zdrowe i różnorodne środowisko. Nie możemy i nie powinniśmy regulować naszej planety za bardzo, bo lepiej się żyje w świecie kolorowej różnorodności.

Źródła: WHO, mat. własne.

„Film, który musicie zobaczyć”

„Klimat się zmienia, dynamika pogody jest coraz większa.  
Eksperti IMGW pomogą wam zrozumieć, dlaczego tak się dzieje”

„Wartość edukacyjna i informacyjna dla każdego”

# IMGW-PIB. Klimat, woda i pogoda.

Wszystko co musicie wiedzieć o pogodzie.



Czyta Krystyna Czubówna

Scenariusz:  
Anna Goławska

Koncepcja:  
Zespół Komunikacji IMGW-PIB

Produkcja:  
Camcraft

Oglądaj na  **IMGW METEO**