

Obserwator



WYDANIE SPECJALNE

*Najlepsze
teksty,
które musisz
przeczytać.*



społeczeństwo

- 3** Zmiana klimatu i jej skutki przyspieszają
- 6** Ekstremalna pogoda katastrofalna dla ekonomii

klimat

- 10** Czy Bałtyk może być ciepłym morzem?

ekstrema

- 16** Czy miasto napędza burzę?
- 22** Blackout. Czy susza wyłączy nam prąd?
- 26** Klimatyczne sztormy

technologie

- 29** AI – (nie)sztuczna inteligencja
- 32** Chcemy lepszych prognoz? Dane, dane i jeszcze raz dane!
- 34** W poszukiwaniu życia. Mars, Wenus i ziemskie modele klimatyczne!

środowisko

- 39** Morze Bałtyckie – wrażliwy ekosystem, o który musimy dbać
- 44** Farmaceutyki w wodzie

ludzie

- 48** IMGW-PIB – myślimy globalnie, działamy lokalnie. Współpraca z samorządami to priorytet!
- 52** Zakochany w górach

Obserwator

Gazeta Obserwatora ISSN: 2658-2716

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

Magazyn Obserwator dostępny jest również w wersji online: <https://obserwator.imgw.pl/>

Zespół Redakcyjny: Zespół Komunikacji IMGW-PIB

Redaktor Naczelny: Rafał Stepnowski

Projekt graficzny i skład: Michał Seredin

Kontakt do redakcji: content@imgw.pl

Redakcja nie zwraca materiałów niezamówionych, zastrzega sobie prawo do skrótów, adiustacji 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.



Klimat i pogoda. Te dwa elementy ekosystemu ziemskiego od milionów lat kształtują krajobraz naszej planety i warunkują rozwój organizmów żywych. W miarę jak człowiek zdobywał kolejne umiejętności, pozwalające mu przetrwać w każdym niemal miejscu na Ziemi, utwierdzał się w przekonaniu, że ostatecznie uniezależnił swój los od żywiołów natury. Niestety ostatnie lata przypomniły nam brutalną prawdę.

Zmiana klimatu i wielopoziomowe następstwa tego zjawiska będą w XXI wieku determinować każdy aspekt naszego życia. A ponieważ tendencji tych nie da się całkiem odwrócić - próbujemy je jedynie łagodzić - musimy się do tej zmiany adoptować, a habitaty w których żyjemy czynić bardziej odpornymi.

Pierwszym krokiem do naprawy tego co popsuliśmy jest zrozumienie problemu poprzez analizę faktów. A jedynym źródłem rzetelnego poznania świata była od zawsze nauka. Dlatego oddajemy w Wasze ręce specjalny numer Obserwatora, w którym głośno mówimy prawdę o zagrożeniach i wyzwaniach przyszłości.

Czytajcie, poznawajcie świat, wymagajcie.
Razem możemy więcej.

Rafał Stepnowski

Zmiana klimatu i jej skutki przyspieszają

Pandemia związana z COVID-19 spowodowała tylko chwilową redukcję emisji dwutlenku węgla. Najnowsze dane, opublikowane w raporcie United in Science 2021, pokazują że stężenie gazów cieplarnianych w atmosferze utrzymuje się na rekordowym poziomie, narażając planetę na dalsze ocieplenie. Nic nie wskazuje na to, aby światowe gospodarki miały odbudowywać się w sposób bardziej zrównoważony, ponieważ emisje CO₂ znów dynamicznie rosną, co znacznie oddala nas od realizacji celów klimatycznych porozumienia paryskiego.

Wzrost średniej temperatury powietrza na Ziemi napędza ekstremalną pogodę, która coraz częściej przyczynia się do poważnych strat ekonomicznych, ale przede wszystkim zagraża egzystencji milionów ludzi. Wielolecie 2014-2020 było najcieplejszym okresem w historii obserwacji, a według autorów raportu wzrasta prawdopodobieństwo, że w ciągu najbliższych pięciu lat klimat ociepli się o ponad 1,5 st. Celsjusza w porównaniu do ery przedindustrialnej. Skala zmian w całym systemie klimatycznym jest tak bezprecedensowa, że nawet ambitne działania na rzecz ograniczenia emisji gazów cieplarnianych nie spowolnią postępującego wzrostu poziomu mórz.

„To krytyczny rok dla działań na rzecz klimatu”. - powiedział sekretarz generalny ONZ Antonio Guterres. - „Wnioski z opublikowanego właśnie raportu są alarmujące. W 2021 roku powróciliśmy do spalania paliw kopalnych na poziomie sprzed pandemii, w efekcie czego rośnie koncentracja gazów cieplarnianych w atmosferze. Jeżeli nie nastąpią natychmiastowe, szybkie i na dużą skalę redukcje emisji, to ograniczenie globalnego ocieplenia do 1,5 st. Celsjusza będzie niemożliwe, a skutki dla planety i ludzi będą katastrofalne”.

„W czasie pandemii wielokrotnie słyszeliśmy, że odbudowując gospodarki powinniśmy kierować się na ścieżkę bardziej zrównoważonego rozwoju się, aby uniknąć najgorszych konsekwencji zmiany klimatu. Ten raport pokazuje, że jak na razie, nie idziemy we właściwym kierunku”. - podsumowuje wyniki sekretarz generalny WMO prof. Petteri Taalas.

Najważniejsze wnioski zawarte w **United in Science 2021**

1. Koncentracja gazów cieplarnianych w atmosferze (WMO Global Atmosphere Watch)
 - W 2020 roku i pierwszej połowie roku 2021 koncentracje głównych gazów cieplarnianych - dwutlenku węgla (CO₂), metanu (CH₄) i podtlenku azotu (N₂O) - nadal rosły.
 - Całkowite redukcje emisji w 2020 roku prawdopodobnie zmniejszyły roczny wzrost koncentracji gazów cieplarnianych w atmosferze, ale efekt ten był zbyt słaby, aby odróżnić go od naturalnej zmienności.
 - Szybkie zmniejszenie ilości metanu (CH₄) w atmosferze mogłoby pomóc

w osiągnięciu zapisów porozumienia paryskiego. Nie oznacza to jednak, że możemy zrezygnować ze znacznej, szybkiej i trwałej redukcji CO₂ i innych gazów cieplarnianych.

2. Globalne emisje i budżety gazów cieplarnianych (Global Carbon Project)

- Emisje dwutlenku węgla ze spalania paliw kopalnych osiągnęły najwyższy poziom (36,64 GtCO₂) w 2019 roku, po czym w 2020 roku nastąpił ich spadek o 1,98 GtCO₂ (5,6%), co było spowodowane pandemią COVID-19.
- Według wstępnych szacunków emisje globalne w energetyce i przemyśle były w miesiącach styczeń-lipiec 2021 roku już na porównywalnym lub wyższym poziomie co w roku 2019 (ten sam okres odniesienia). Emisje z transportu drogowego pozostały o około 5% niższe.
- Najnowsze trendy emisji N₂O, trzeciego najważniejszego gazu cieplarnianego po CO₂ i CH₄, przewyższają najbardziej szkodliwe dla środowiska i klimatu scenariusze rozwoju społeczno-gospodarczego.

3. Luka emisyjna (UNEP)

- Pięć lat po przyjęciu porozumienia paryskiego luka emisyjna jest większa niż kiedykolwiek: globalne emisje muszą być o 15 GtCO₂e (ekwiwalentu CO₂) niższe niż obecne zobowiązania krajowe sygnatariuszy porozumienia dla osiągnięcia celu 2 st. Celsjusza, oraz o 32 GtCO₂e niższe dla celu 1,5 st. Celsjusza.
- Kryzys COVID-19 spowodował jedynie krótkoterminową redukcję globalnych emisji. Nie zmniejszy on znacząco emisji do 2030 r., chyba że kraje będą dążyły do ożywienia gospodarczego oparte go na silnej dekarbonizacji.
- Rosnąca liczba krajów, które zobowiązują się do osiągnięcia celów zerowych emisji netto, jest optymistycznym zjawiskiem (około 63 proc. globalnych emisji jest obecnie objętych tymi celami). Aby jednak zachować wykonalność i wiarygodność tych założeń, cele te należy pilnie uwzględnić w politykach krótkoterminowych, a także w znacznie bardziej ambitnych zobowiązaniach na okres do 2030 roku.

4. Klimat Ziemi w latach 2017-2021 (WMO)

- Średnia globalna temperatura powietrza w okresie 2017-2021 (na podstawie

danych do lipca) była o 1,06-1,26 st. Celsjusza wyższa niż przed epoką przemysłową (1850-1900).

- Każdego roku okresu 2017-2021 średni minimalny letni i średni maksymalny zimowy zasięg lodu morskiego w Arktyce był poniżej średniej z lat 1981-2010. We wrześniu 2020 roku zasięg lodu morskiego w Arktyce osiągnął drugie najniższe minimum w historii.
 - W 2021 roku zarejestrowano niszczycielskie ekstremalne zjawiska pogodowe i klimatyczne. Naukowo potwierdzono, że za nadzwyczajne upały w Ameryce Północnej i powodzie w Europie Zachodniej odpowiada zmiana klimatu wywołana działalnością człowieka.
5. Klimat Ziemi w latach 2021-2025 (WMO Global Annual to Decadal Climate Update - Met Office (UK), WCRP, WMO)
 - W każdym z nadchodzących pięciu lat średnia roczna globalna temperatura powietrza będzie prawdopodobnie o co najmniej 1 st. Celsjusza wyższa od poziomu sprzed epoki przemysłowej, mieszcząc się w zakresie od 0,9 do 1,8 st. Celsjusza.
 - Istnieje 40 proc. szans, że w ciągu najbliższych pięciu lat wystąpi jeden rok ze średnią temperaturą wyższą o co najmniej 1,5 st. Celsjusza niż w okresie przedprzemysłowym, ale jest bardzo mało prawdopodobne (-10 proc.), aby średnia temperatura wielolecia 2021-2025 była o 1,5 st. Celsjusza wyższa niż w czasach przedprzemysłowych.
 - W okresie 2021-2025 regiony położone w wysokich szerokościach geograficznych i Sahel będą prawdopodobnie bardziej wilgotne niż w niedawnej przeszłości.
 6. Ustalenia IPCC
 - Nie ulega wątpliwości, że działalność człowieka spowodowała ocieplenie się atmosfery, oceanów i lądów, a w następstwie wywołała rozległe i gwałtowne zmiany w atmosferze, hydrosferze, kriosferze i biosferze.
 - Skala ostatnich zmian w całym systemie klimatycznym jest bezprecedensowa w odniesieniu do wielu tysięcy lat.
 - Zmiana klimatu wywołana przez człowieka zwiększa częstotliwość i intensywność wielu ekstremalnych zjawisk pogodowych i klimatycznych w każdym regionie świata.

7. Wzrost poziomu morza i wpływ na wybrzeże (World Climate Research Programme – WMO, MKOl, ISC)

- Globalny średni poziom mórz wzrósł w latach 1900-2018 o 20 cm, a w okresie 2006-2018 tempo to wyniosło $3,7 \pm 0,5$ mm/rok.
- Nawet jeśli emisje zostaną zredukowane w celu ograniczenia ocieplenia do znacznie poniżej 2 st. Celsjusza, to średni globalny poziom morza do 2100 roku wzrośnie prawdopodobnie o 0,3-0,6 m, a do 2300 roku o 0,3-3,1 m.
- Wzrost poziomu morza wymaga wdrożenia strategii adaptacyjnych, zwłaszcza na nizinnych wybrzeżach, małych wyspach, deltach i nadmorskich miastach, gdzie narzędzia takie jeszcze nie zostały opracowane.

8. Fale upałów, pożary i zanieczyszczenie powietrza: nawarstwiające się i kaskadowe zagrożenia dla zdrowia (WHO/WMO)

- Istnieje związek między wzrostem globalnej temperatury a większą śmiertelnością i mniejszą wydajnością pracy, wynikającymi z upałów.
- COVID-19 i zagrożenia klimatyczne, takie jak fale upałów, pożary i niska jakość powietrza, zagrażają zdrowiu ludzi na całym świecie, w szczególności zaś wrażliwym populacjom.
- Wysiłki na rzecz odbudowy jakości zdrowia populacji po COVID-19 powinny być dostosowane do krajowych strategii dotyczących zmiany klimatu i jakości powietrza, aby zmniejszyć ryzyko związane z nakładaniem się zagrożeń i uzyskać dodatkowe korzyści zdrowotne.

„Raport United in Science 2021 to kolejny ważny głos w dyskusji o przyszłości Ziemi”. – komentuje prof. dr hab. Mirosław Miętus, Z-ca Dyrektora IMGW-PIB. – „Przedstawione w nim fakty potwierdzają tezę, że klimat jako zasób naturalny wyczerpuje swój cywilizacyjny walor i z elementu sprzyjającego ludzkości (oczywiście z nieustanną i konieczną adaptacją) staje się powoli, ale jednocześnie coraz szybciej, czynnikiem ograniczającym rozwój, czy wręcz niszczącym naszą cywilizację. Ten raport to także kolejny apel, głośnie wołanie do całej społeczności międzynarodowej, a zwłaszcza do decydentów, o podjęcie pilnych i natychmiastowych działań w celu uniknięcia kata-



strofy. Te decyzje będą oczywiście trudne i kosztowne, ale ich odkładanie w czasie, czy wręcz negowanie, co jest typowe dla wielu krajów, powoduje, że koszty w przyszłości będą jeszcze większe, a wysoki standard życia będzie możliwy tylko dla wybranych”.

United in Science 2021 to już trzeci z serii publikowanych od 2019 roku raportów, którego powstanie koordynuje Światowa Organizacja Meteorologiczna (WMO). W opracowaniu dokumentu wzięły udział międzynarodowe instytucje: Program Śro-

dowiskowy Organizacji Narodów Zjednoczonych (UNEP), Światowa Organizacja Zdrowia (WHO), Międzyrządowy Zespół ds. Zmiany Klimatu (IPCC), Global Carbon Project (GCP), World Climate Research Program (WCRP) i Met Office (Wielka Brytania). W raporcie przedstawiane są najnowsze dane i odkrycia naukowe związane ze zmianą klimatu, które mają służyć kształtowaniu globalnej polityki i działań. ◀

Opracowano na podstawie materiałów WMO.

Petteri Taalas, sekretarz generalny WMO:
„W czasie pandemii wielokrotnie słyszeliśmy, że odbudowując gospodarki powinniśmy kierować się na ścieżkę bardziej zrównoważonego rozwoju, aby uniknąć najgorszych konsekwencji zmiany klimatu. Ten raport pokazuje, że jak na razie, nie idziemy we właściwym kierunku”.

Ekstremalna pogoda katastrofalna dla ekonomii



for: Michael Heed on Unsplash

Zmiana klimatu napędza ekstremalną pogodę. W ciągu ostatnich 50 lat katastrofy związane z pogodą nasilają się, powodując coraz więcej szkód. Dzięki systemom wczesnego ostrzegania zmniejsza się liczba zgonów związanych z tymi zdarzeniami – to główny wniosek opublikowanego 1 września 2021 roku atlasu WMO na temat śmiertelności i strat ekonomicznych wywołanych ekstremalnymi warunkami pogodowymi, klimatycznymi i wodnymi w latach 1970-2019.

Według WMO w ostatnim półwieczu statystycznie każdego dnia dochodziło do katastrofy związanej z niebezpieczną pogodą, powodującej śmierć 115 osób i straty ekonomiczne w wysokości 202 mln USD. Z powodu zmiany klimatu, bardziej ekstremalnych zdarzeń, a także w wyniku lepszej sprawozdawczości liczba katastrof wzrosła pięciokrotnie. Równocześnie dzięki systemom wczesnego ostrzegania i sprawnemu zarządzaniu liczba zgonów zmniejszyła się prawie trzykrotnie.

Dane opublikowane w atlasie WMO wskazują, że w latach 1970-2019 na całym świecie wystąpiło ponad 11 tys. katastrofalnych zdarzeń związanych z pogodą i klimatem, w których śmierć poniosło 2 mln osób, a straty ekonomiczne wyniosły 3,64 biliona USD. Zagrożenia pogodowe, klimatyczne i wodne stanowiły 50% wszystkich katastrof, 45% wszystkich zgłoszonych zgonów i 74% wszystkich zgłoszonych strat gospodarczych w badanym okresie. Ponad 91% tych zgonów miało miejsce w krajach rozwijających się (wg klasyfikacji ONZ).

Spśród 10 największych katastrof, do najpoważniejszych strat w ludziach doprowadziły susze (650 tys. ofiar), burze (ponad 577 tys. ofiar), powódzie (ponad 58 tys. ofiar) i ekstremalne temperatury (po-

nad 55 tys. ofiar). Liczba zgonów spadła prawie trzykrotnie, z ponad 50 tys. w 1970 roku do mniej niż 20 tys. w roku 2010. W latach 70. i 80. odnotowano średnio 170 zgonów dziennie związanych z ekstremalnymi zdarzeniami pogodowymi. W latach 90. średnia ta spadła do 90 zgonów dziennie, a w 2010 roku wyniosła 40 zgonów dziennie.

Jeśli chodzi o straty gospodarcze, w pierwszej dekadzie zdarzeń znalazły się burze (521 mld USD) i powódzie (115 mld USD). W ciągu 50 lat przeciętnie każdego dnia dochodziło do szkód w wysokości 202 milionów dolarów, a straty gospodarcze w tym okresie wzrosły siedmiokrotnie - z 49 mln USD dziennie w latach 1970-1979 do 220 mln USD dziennie w latach 2010-2019. Burze były najczęstszą przyczyną zniszczeń i powodowały największe straty gospodarcze na całym świecie. Jest to jedyne zagrożenie, dla którego przypisywany udział i skala stale rosną.

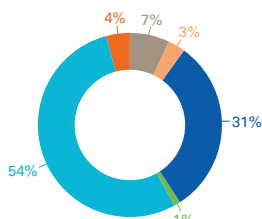
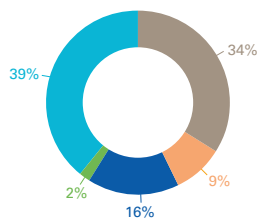
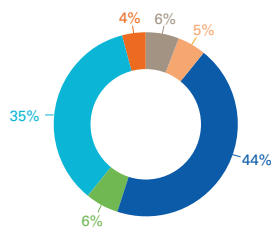
Trzy z dziesięciu najbardziej kosztownych katastrof miały miejsce w 2017 roku: huragany Harvey (96,9 mld USD), Maria (69,4 mld USD) i Irma (58,2 mld USD). Tylko te trzy zdarzenia odpowiadały za 35% łącznych strat gospodarczych w 10 największych katastrofach na całym świecie w latach 1970-2019.

Zwiększona ekspozycja na ryzyko.

„Liczba ekstremalnych zjawisk pogodowych, klimatycznych i wodnych rośnie. W wyniku zmiany klimatu zdarzenia te staną się częstsze i dotkliwsze w wielu częściach świata”. - mówi sekretarz generalny WMO prof. Petteri Taalas. - „Oznacza to więcej fal upałów, susz i pożarów lasów, takich jak te, które ostatnio obserwowaliśmy w Europie i Ameryce Północnej. W atmosferze mamy więcej pary wodnej, co wywołuje ekstremalne opady deszczu i śmiertelne powodzie. Ocieplenie oceanów wpłynęło na częstotliwość i obszar występowania najbardziej intensywnych burz tropikalnych. Straty ekonomiczne rosną wraz ze wzrostem poziomu zagrożenia społeczeństw. Ale za surowymi statystykami tli się światło nadziei. Udoskonalone systemy wczesnego ostrzegania doprowadziły do znacznego zmniejszenia śmiertelności. Po prostu jesteśmy lepsi niż kiedykolwiek wcześniej w ratowaniu życia”.

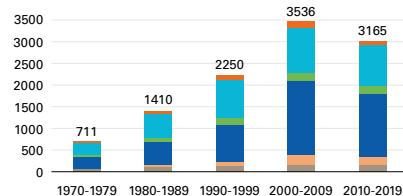
Jednak wiele jeszcze jest do zrobienia. Tylko połowa ze 193 członków WMO dysponuje systemami wczesnego ostrzegania, a w Afryce, niektórych częściach Ameryki Łacińskiej oraz na wyspach Pacyfiku i Karaibów istnieją poważne luki w sieciach obserwacji hydrologiczno-meteorologicznych. Dlatego WMO zacieśnia współpracę ze swoimi partnerami.

„Dzięki ostrzeżeniom ratuje się więcej istnień ludzkich, ale prawdą jest również, że liczba osób wystawionych na zagrożenia pogodowe i klimatyczne rośnie ze względu na stale zwiększające się zaludnienie obszarów narażonych na niebezpieczeństwo oraz wzmagającą się intensywność i częstotliwość zdarzeń pogodowych. Potrzebna jest szersza współpraca międzynarodowa, aby poradzić sobie z problemem ogromnej liczby osób w siedlanych każdego roku z powodu powodzi, burz i suszy. Potrzebujemy większych inwestycji w kompleksowe zarządzanie ryzykiem klęsk żywiołowych, aby przystosowanie się do zmiany klimatu zostało włączone do krajowych i lokalnych strategii”. - tłumaczy Mami Mizutori, Specjalna Przedstawicielka Sekretarza Generalnego ds. Redukcji Ryzyka Klęskowego i Szefa UNDRR. - „Pandemia COVID-19, której efekty nałożyły się w ciągu ostatnich 18 miesięcy na inne katastrofy pogodowe wywołane działalnością człowieka, pokazała potrzebę większych inwestycji w redukcję ryzyka klęsk żywiołowych i co-

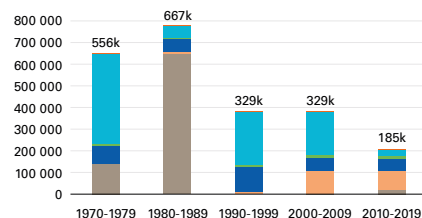


■ Drought ■ Extreme temperature ■ Flood ■ Landslide ■ Storm ■ Wildfire

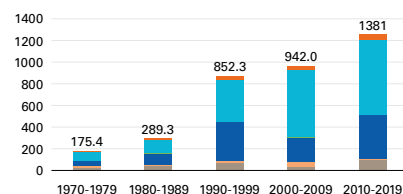
(a) Number of reported disasters
Total = 11 072 disasters



(b) Number of reported deaths
Total = 2 064 929 deaths



(c) Reported economic losses in US\$ billion
Total = US\$ 3.6 trillion



Rozkład (a) liczby katastrof, (b) liczby zgonów i (c) wielkości strat ekonomicznych według rodzaju zagrożenia w poszczególnych dekadach.

nieczność szerszego spojrzenia na te problemy. Musimy wzmocnić naszą gotowość na wiele różnorodnych scenariuszy. Jak wskazano w Planie działania w sprawie ram z Sendai dotyczących ograniczania ryzyka klęsk żywiołowych w latach 2015-2030, niepowodzenie w ograniczaniu strat spowodowanych klęskami żywiołowymi zagraża przede wszystkim krajom rozwijającym i uniemożliwia im wyeliminowanie ubóstwa, a także osiągnięcie innych ważnych celów zrównoważonego rozwoju”.

Ramy Sendai uwzględniają wczesne ostrzeżenia w jednym ze swoich siedmiu głównych celów: „Znacznie zwiększyć dostępność do systemów wczesnego ostrzegania o wielu zagrożeniach oraz informacji

i ocen ryzyka katastroficznego dla ludzi do 2030 roku”.

Zalecenia. Aby podkreślić wpływ określonych zagrożeń pogodowych, klimatycznych i wodnych, w atlasie WMO dokonano podziału katastrof i przedstawiono ich zróżnicowanie regionalne. Dane statystyczne w prezentowanej publikacji pochodzą z Emergency Events Database (EM-DAT) prowadzonej przez Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED). Za wiarygodne uznaje się również inne systemy i mechanizmy zgłaszania katastrof, w tym systemy UNDRR i WHO. Autorzy atlasu zachęcają do zwiększenia poziomu raportowania katastrof i powiązanych statystyk,



foto: NOAA on Unsplash

co zapewni dokładne i spójne opracowywanie danych dotyczących zagrożeń.

W atlasie przedstawiono kluczowe wnioski z ostatnich 50 lat i sformułowano szereg zaleceń, m.in.:

- Dokonać przeglądu zagrożeń i podatności na te zagrożenia, biorąc pod uwagę zmianę klimatu.
- Wzmocnić mechanizmy finansowe systemów oceny ryzyka klęsk żywiołowych na poziomie krajowym i międzynarodowym, zwłaszcza w przypadku krajów najslabiej rozwiniętych oraz małych rozwijających się państw i terytoriów wyspiarskich.
- Opracować zintegrowane i proaktywne polityki dotyczące klęsk żywiołowych wolno rozwijających się, takich jak np. susza.

Znaczenie zmiany klimatu dla ekstremalnych zdarzeń pogodowych.

Według badań z lat 2015-2017, opublikowanych w corocznym dodatku do Biuletynu Amerykańskiego Towarzystwa Meteorologicznego, 62 z 77 zgłoszonych zdarzeń wskazuje na znaczący wpływ człowieka. Niemal każde badanie dotyczące ekstremalnych fal upałów od 2015 roku wykazało, że prawdopodobieństwo tego zdarzenia zostało znacznie zwiększone przez antropogeniczną zmianę klimatu.

Przypisanie czynników antropogenicznych zjawisku suszy nie jest tak jednoznaczne, jak w przypadku fal upałów z powodu naturalnej zmienności spowodowanej dużymi

oscylacjami oceanicznymi i atmosferycznymi, np. El Niño. Jednak susza w Afryce Wschodniej w latach 2016-2017 była w dużym stopniu napędzana wysokimi temperaturami powierzchni morza w zachodniej części Oceanu Indyjskiego, do czego przyczynił się człowiek.

Zmiana klimatu nasiliła ekstremalne zdarzenia związane z niektórymi cyklonami tropikalnymi, które z kolei zwiększyły intensywność i skutki innych zdarzeń, takich jak powodzie, w nisko położonych miastach i deltach, na wybrzeżach i wyspach w wielu częściach świata.

Coraz więcej badań wskazuje również na wpływ człowieka na ekstremalne opady deszczu, czasami w połączeniu z innymi czynnikami klimatycznymi, takimi jak El Niño-Southern Oscillation. Przykłady obejmują ekstremalne opady we wschodnich Chinach w czerwcu i lipcu 2016 r. oraz huragan Harvey, który uderzył w Houston w USA w 2017 roku.

Rozkład przestrzenny katastrof pogodowych i klimatycznych oraz ich skutków.

Na całym świecie 44% katastrof związanych jest z powodziami, a 17% z cyklonami tropikalnymi.

Cyklony tropikalne i susze były najpowszechniejszymi zagrożeniami w odniesieniu do strat ludzkich, odpowiadając odpowiednio za 38% i 34% zgonów spowodowanych katastrofami naturalnymi w latach 1970-2019. Jeśli chodzi o straty gospodarcze, 38% było związanych z cyklonami

tropikalnymi a 31% z różnymi rodzajami powodzi (powodzie rzeczne - 20%, flash-floods - 3%, powodzie inne - 8%).

Zróżnicowanie regionalne.

- W Afryce od 1970 do 2019 roku 1695 zarejestrowanych katastrof spowodowało śmierć 731747 osób i straty gospodarcze w wysokości 38,5 mld USD. Na kontynencie afrykańskim wystąpiło 15% katastrof związanych z pogodą, klimatem i wodą, 35% związanych z nimi zgonów i 1% strat gospodarczych zgłaszanych na całym świecie. Chociaż katastrofy związane z powodziami były najbardziej rozpowszechnione (60%), to susze doprowadziły do największej liczby zgonów, odpowiadając za 95% wszystkich ofiar śmiertelnych w regionie. Większość zgonów miała miejsce podczas dotkliwych susz w Etiopii w 1973 i 1983 roku (łącznie 400 tys.), Mozambiku w 1981 roku (100 tys.) i Sudanie w 1983 roku (150 tys.).
- W Azji w latach 1970-2019 odnotowano 3454 katastrofy, w których zginęło 975622 osób, a szkody gospodarcze wyniosły 1,2 bln USD. Na kontynencie azjatyckim wystąpiła prawie jedna trzecia (31%) zgłoszonych na całym świecie katastrof związanych z pogodą, klimatem i wodą, które odpowiadały za prawie połowę zgonów (47%) i jedną trzecią (31%) strat gospodarczych. Większość ekstremalnych zdarzeń związana była z powodziami (45%) i burzami (36%). Najdotkliwsze w skutkach dla mieszkańców Azji były burze, które spowodowały 72% ofiar śmiertelnych, oraz powodzie odpowiedzialne za największe straty gospodarcze (57%). 10 najintensywniejszych zarejestrowanych katastrof w Azji odpowiada za 70% (680837 zgonów) wszystkich ofiar śmiertelnych i 22% (266,62 mld USD) strat gospodarczych w regionie.
- 10 największych zarejestrowanych katastrof w regionie Ameryki Południowej, odpowiadało za 60% wszystkich ofiar śmiertelnych (34854) i 38% strat gospodarczych (39,2 mld USD). Najtragiczniejsze były powodzie, które doprowadziły do największej liczby katastrof (59%), zgonów (77%) i największych strat gospodarczych (58%) w regionie.
- W Ameryce Północnej, Ameryce Środkowej i na Karaibach odnotowano 1977 katastrof, 74839 zgonów i straty gospodarcze w wy-



Fot. Yoda Adamian on Unsplash

sokości 1,7 biliona USD. W regionie odnotowano 18% wszystkich zarejestrowanych na świecie katastrof związanych z pogodą, klimatem i wodą, 4% związanych z nimi zgonów i 45% związanych z nimi strat gospodarczych. Najczęstszą przyczyną były burze (54%) i powodzie (31%). Burze wiązały się z największymi ofiarami śmiertelnymi (71%) i stratami gospodarczymi (78%) w regionie. Aż 38% światowych strat gospodarczych spowodowanych zagrożeniami pogodowymi, klimatycznymi i wodnymi przypada na Stany Zjednoczone.

- W regionie południowo-zachodniego Pacyfiku odnotowano 1407 katastrof, 65391 zgonów i 163,7 miliardów USD strat gospodarczych. Większość tych katastrof była związana z burzami (45%) i powodzią (39%). Najwięcej zgonów spowodowały burze (71%). Udział strat gospodarczych wyniósł: 46% dla burz, 24 % dla powodzi, 17% dla susz i 13% dla pożarów. Katastrofy spowodowane zagrożeniami pogodowymi, klimatycznymi i wodnymi w Australii stanowiły 54% (88,2 mld USD) strat gospodarczych na całym południowo-zachodnim Pacyfiku.
- W Europie 1672 zarejestrowanych katastrof spowodowało śmierć 159438 osób i 476,5 mld USD szkód gospodarczych. Chociaż powodzie (38%) i burze (32%) były najczęstszą przyczyną odnoto-

Według badań z lat 2015-2017, opublikowanych w corocznym dodatku do Biuletynu Amerykańskiego Towarzystwa Meteorologicznego, 62 z 77 zgłoszonych zdarzeń wskazuje na znaczący wpływ człowieka. Niemal każde badanie dotyczące ekstremalnych fal upałów od 2015 roku wykazało, że prawdopodobieństwo tego zdarzenia zostało znacznie zwiększone przez antropogeniczną zmianę klimatu.

wanych katastrof, to za największą liczbę zgonów (93%) odpowiadały ekstremalne temperatury (ponad 148 tys. ofiar śmiertelnych w ciągu 50 lat). Dwie ekstremalne fale upałów z 2003 i 2010 roku spowodowały śmierć 127946 osób (80% wszystkich zgonów związanych z wysokimi temperaturami). Fala upałów w 2003 roku była odpowiedzialna za połowę zgonów w Europie (45%) – łącznie 72210 zgonów w 15 dotkniętych nią krajach. ◀

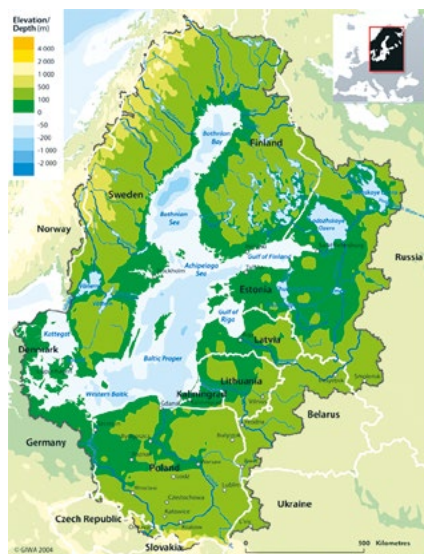
Opracowano na podstawie materiałów WMO.

Czy Bałtyk może być ciepłym morzem?

Michał Marosz | IMGW-PIB/Centrum Badań i Rozwoju/Zakład Meteorologii, Klimatologii i Ochrony Atmosfery

W opinii publicznej dominuje pogląd, że współczesna zmiana klimatu uczyni z Bałtyku drugie Morze Śródziemne. Głębsza analiza procesów zachodzących w środowisku powinna jednak znacznie ostudzić naszą wyobraźnię, ponieważ spodziewany wzrost temperatury powietrza nie zamieni polskiego wybrzeża w grecką plażę. Co gorsza, powinniśmy się raczej spodziewać wzrostu zagrożeń takich jak sztormy i powodzie, a także postępującej destabilizacji ekosystemów morskich w wyniku działalności człowieka.

Wiek Morza Bałtyckiego ocenia się na blisko 12 tys. lat - to jeden z najmłodszych akwenów Oceanu Atlantyckiego. Jego powstanie jest związane z ostatnią epoką lodowcową, kiedy to na terenie Fennoskandii¹ zmienna dynamika wycofującego się lądolodu wraz z ruchami izostatycznymi kilkakrotnie zmieniały charakter morza, powodując albo utratę, albo powstanie bezpośredniego połączenia z oceanem. Mniej więcej 10 tys. lat temu zakończył się pierwszy etap ewolucji Bałtyku, gdy przed czołem cofającego się lądolodu skandynawskiego powstało płytkie Bałtyckie Jezioro Lodowe. W kolejnych tysiącach, w wyniku topnienia lodowca, poziom wody w akwenu znacznie się podniósł. Bałtyk uzyskał połączenie z Morzem Północnym i rozpoczął się okres tzw. Morza Yoldiowego. Po całkowitym ustąpieniu zlodowacenia w wyniku podnoszenia się Fennoskandii morze po raz kolejny zostało odcięte od Atlantyku i stało się Jeziorem Ancylusowym. W czwartej fazie rozwoju (4-8 tys. lat temu) Bałtyk przybrał znany nam współcześnie charakter i wygląd. Zasilany wodami resztek lądolodu skandynawskiego, ostatecznie połączył się z Morzem Północnym. Napływ wód oceanicznych

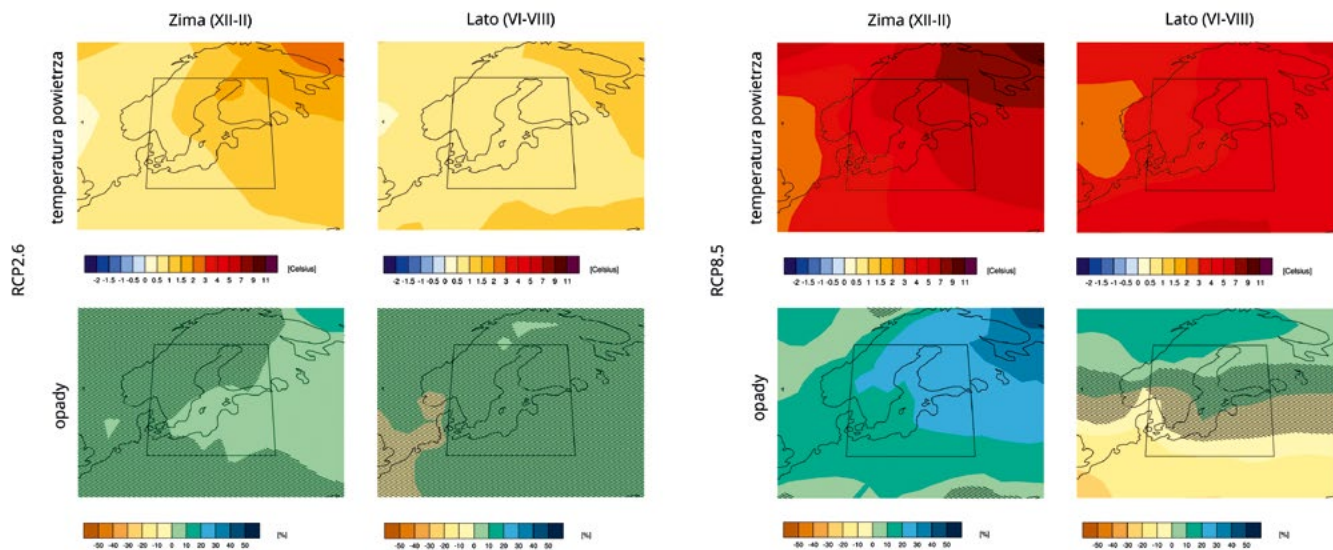


Zlewisko Morza Bałtyckiego
(źródło: Global International Waters Assessment (GIWA), published by HELCOM).

spowodował wzrost zasolenia i rozwój flory i fauny słonowodnej. Okres ten, nazywany Morzem Litorynowym, zakończył się około 4 tys. lat temu. Wówczas Cieśniny Duńskie uległy zwięźeniu, co znacznie zmniejszyło wymianę wód między akwenami. Rozpoczęło się trwające do

¹ Tarcza kontynentalna na północy kontynentu europejskiego, obejmująca tereny południowej Norwegii, Szwecji, Finlandii i Półwyspu Kolskiego (Rosja).



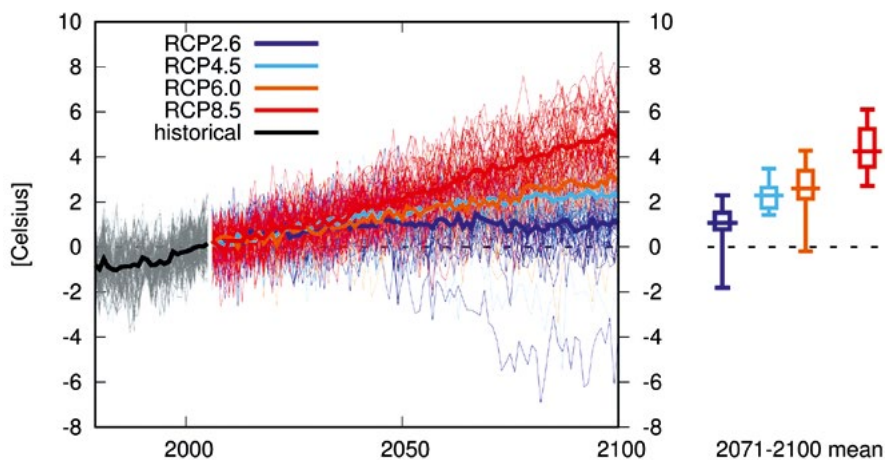


Zmiana (względem okresu 1991-2020) wartości temperatury powietrza (°C) oraz opadu (%) dla obszaru Morza Bałtyckiego (źródło: KNMI Climate Change Explorer, https://climexp.knmi.nl/plot_atlas_form.py).

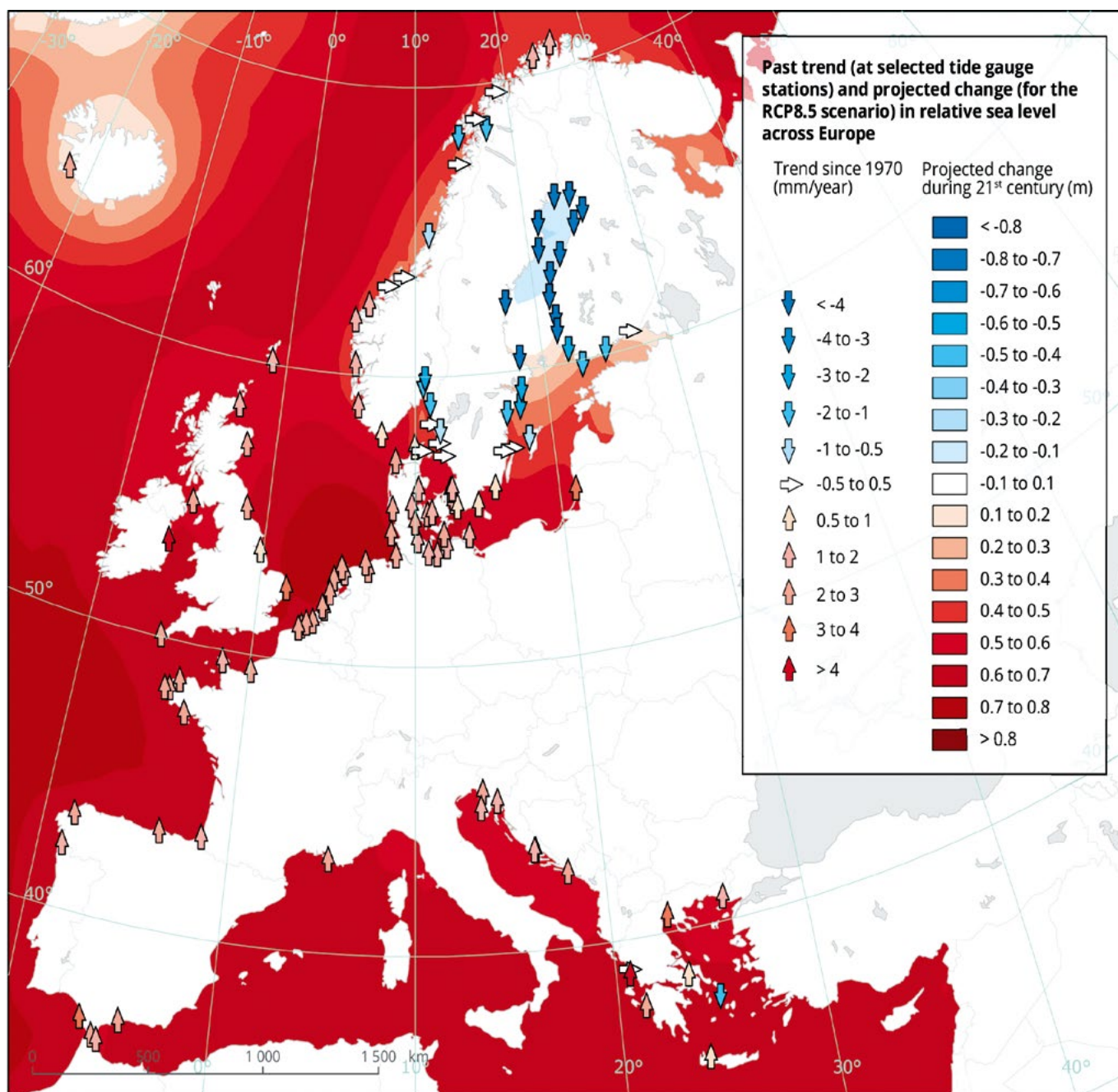
BAŁTYK I JEGO ŚRODOWISKO CZEKAJĄ ZMIANY – W PRZYPADKU TERMIKI I POZIOMU MORZA BĘDĄ TO ZMIANY NIEMAL PEWNE. WIĘKSZOŚĆ ANALIZ WSKAZUJE NA ZWIĘKSZAJĄCĄ SIĘ ROLĘ ANTROPOPRESJI W BASENIE MORZA BAŁTYCKIEGO, CO W POŁĄCZENIU ZE SPODZIEWANĄ ZMIANĄ KLIMATU OZNACZA DALSZY WZROST ZAGROŻENIA EUTROFIZACJĄ. NIEWIELKIE ZASOLENIE, SŁABA WYMIANA WÓD Z OTWARTYM OCEANEM I NASILENIE ANTROPOPRESJI PRZY BRAKU DZIAŁAŃ MITYGACYJNYCH MOŻE SIĘ SKOŃCZYĆ POWSTANIEM CIEPLEJSZEGO NIŻ OBECNIE MORZA, JEDNAK ZNACZNIE SILNIEJ ZANIECZYSZCZONEGO. WIZJĘ TRANSFORMACJI MORZA BAŁTYCKIEGO W COŚ NA KSZTAŁT ADRIATYKU MOŻEMY WŁOŻYĆ MIĘDZY BAJKI.

dziś stadium rozwoju Bałtyku o niskim zasoleniu, zwane Morzem Mya.

1000 lat - różny klimat. W ostatnim milenium można wyróżnić cztery okresy klimatyczne, które zaznaczyły się w obszarze Morza Bałtyckiego: w latach 900-1350 - ciepły okres średniowiecza (ang. Medieval Warm Period), 1350-1550 - okres przejściowy (ang. Transitional Period), 1550-1850 - małą epokę lodową (ang. Little Ice Age), od roku 1850 - współczesny okres ciepły (ang. Contemporary Warm Period). Do XIV wieku klimat Morza Bałtyckiego był względnie stabilny i dość ciepły - temperatury w sezonie ciepłym (maj-wrzesień) przekraczały te z końca XX wieku o wartość około 0,5°C. W okresie przejściowym warunki klimatyczne były bardzo zmienne. Średnia temperatura powietrza spadła o mniej więcej 1,2°C i w kolejnych latach ten trend się pogłębiał, co zapoczątkowało małą epokę lodową. W jej trakcie występowały naprzemiennie lata ciepłe i chłodne, przy czym wyraźnie dłuższe epizody chłodu przypadły w pierwszej połowie XVII i XVIII wieku. Warunki klimatyczne w omówionych okresach nie były oczywiście jednorodnie dla całego obszaru zlewiska Bałtyku. Obserwowano krótsze fluktuacje ciepło/zimo i sucho/wilgotno, na które znaczny wpływ miały zależności regionalne.



Spodziewana zmiana temperatury powietrza (°C) w XXI wieku w basenie Morza Bałtyckiego (10-30E, 53-66N) względem wielolecia 1991-2020 (źródło: KNMI Climate Change Explorer, https://climexp.knmi.nl/plot_atlas_form.py).



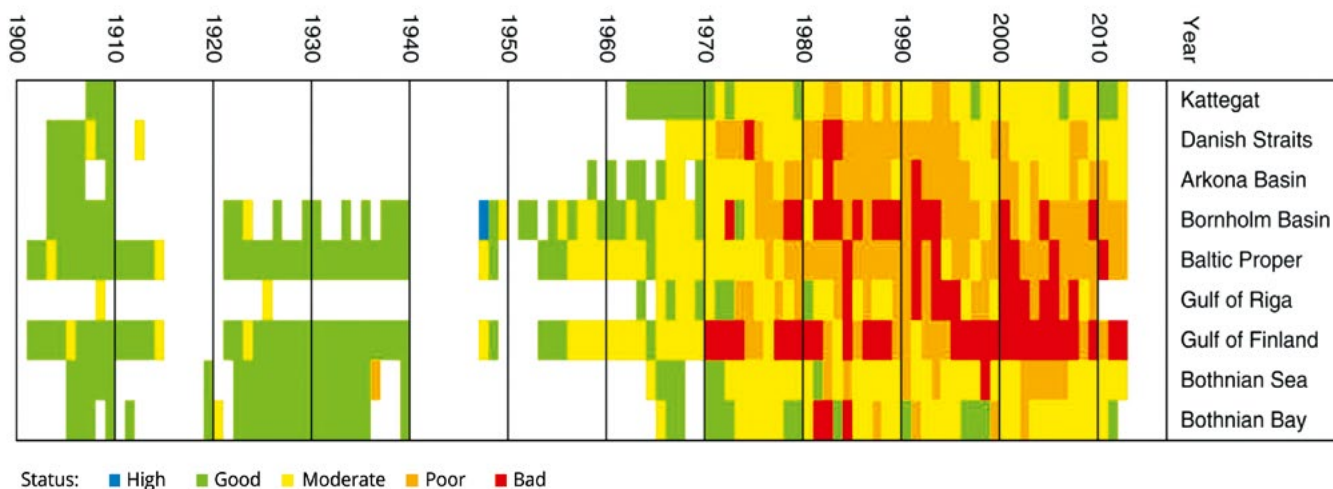
Reference data: ©ESRI

Trendy (mm/rok) i prognozowane zmiany względnego poziomu morza w Europie (źródło: EEA, <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/sea-level-rise-7/assessment>).

Ciepły wiek XIX i XX. W okresie 1861-2000 temperatura powietrza w basenie Morza Bałtyckiego wzrosła o 0,11°C/10 lat (na północ od 60°N) oraz 0,08°C/10 lat (na południe od 60°N), podczas gdy wartość globalna wyniosła 0,05°C/10 lat.

Analiza wartości współczynników trendu na polskim wybrzeżu Bałtyku wskazuje, że zmiany te znacznie przyspieszyły. Od 1951 do 2020 roku temperatura powietrza w tym rejonie wzrosła o 0,29°C/10 lat. Głównym czynnikiem kreującym klimat

Morza Bałtyckiego jest zmienność cyrkulacji atmosferycznej nad północnym Atlantykiem, przejawiająca się w różnej intensywności splywu zachodniego, odzwierciedlanej indeksem NAO. W ostatnim dwudziestolecu XX wieku, gdy



Poziom eutrofizacji akwenów Morza Bałtyckiego (źródło: <https://doi.org/10.1111/brv.12221>).

wartości tego indeksu były wysokie, zimy na południowym wybrzeżu Morza Bałtyckiego były wilgotne i ciepłe, ze zwiększoną liczbą sztormów.

Generalnie zaobserwowano przesunięcie się szlaków układów niżowych w kierunku północnym oraz zwiększoną aktywność cyklonów pozazwrotnikowych. Nie przełożyło się to na długookresowe trendy w zmienności warunków wietrznych, chociaż parametry anemologiczne ulegają dużym wahaniom dekadowym. Sumy opadów nie uległy znacznym zmianom. Zwiększa się natomiast czas ich trwania (pada rzadziej, ale dłużej), a także prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzeń o ekstremalnie wysokich sumach opadów.

Współcześnie obserwowana zmiana klimatu nie omija Bałtyku. Scenariusze zmiany klimatu w obszarze Morza Bałtyckiego jednoznacznie wskazują na wzrost średniej rocznej temperatury powietrza w XXI wieku - w przypadku najkorzystniejszego wariantu RCP2.6 o 1°C, dla skrajnie negatywnego RCP8.5 - aż o 5°C. W sezonie zimowym największego ocieplenia można się spodziewać na północy i wschodzie akwenu (tam średnia temperatura powietrza może przekroczyć średnią globalną), natomiast latem - w części południowej. Scenariusze wskazują również na niewielkie zwiększenie się sumy opadów zimowych (nie przełoży się to jednak na wzrost

średniej grubości pokrywy śnieżnej) i zmniejszanie się ilości opadów letnich na południu. Możliwe zmiany w zakresie warunków anemologicznych nie są jednoznaczne; większość projekcji pokazuje nieznaczny wzrost średniej prędkości przepływu powietrza nad Morzem Bałtyckim. Temperatury ekstremalne minimalne (zimą) i maksymalne (latem) będą wzrastać szybciej niż średnie, co sugeruje zmniejszenie zakresu zmienności w sezonie chłodnym oraz jego zwiększenie latem. Jeżeli zaś chodzi o sam Bałtyk, scenariusze klimatyczne przewidują wzrost temperatury wody, zmniejszanie się pokrywy lodowej i spadek zasolenia będący pokłosiem zwiększonego opadu i odpływu rzecznoego. Sezonowa struktura odpływu będzie modyfikowana przez zmiany w opadzie i szybsze topnienie śniegu.

Globalna zmiana poziomu morza a Morze Bałtyckie. Przewidywany przez specjalistów wzrost poziomu Morza Bałtyckiego waha się w granicach 0,6-1,1 m, ale predykcje te są obarczone dużą niepewnością. W ostatnich latach pojawiło się kilka publikacji, których autorzy sugerują, że wzrost poziomu morza w XXI wieku może być znacznie niedoszacowany. Europejska Agencja Środowiskowa (EEA) w raporcie z 2020 roku wskazuje, że przy założeniu szybszej dezintegracji czap polarnych wzrost poziomu mórz w Europie na koniec XXI

wieku może wynieść nawet 2,4 m. Ponieważ obserwowane dla Bałtyku trendy są zgodne ze zmianami globalnymi, również w tym akwenie można się spodziewać większych wzrostów. Co istotne, wraz ze wzrostem poziomu Morza Bałtyckiego zwiększa się częstość występowania na nim wezbrań sztormowych. Zjawisko to może być w najbliższych dziesięcioleciach głównym zagrożeniem naturalnym dla polskiego wybrzeża. Obecnie obserwowane tempo zmian poziomu Bałtyku wynosi od 1,82 cm/10 lat w Świnoujściu do 2,12 cm/10 lat we Władysławowie.

Największym problemem człowiek? Znaczny udział przemysłu i rolnictwa w gospodarce krajów zlewiska Bałtyku, jak również mało intensywna wymiana wód z Oceanem Atlantyckim sprawiają, że Morze Bałtyckie jest szczególnie narażone na antropopresję, zwłaszcza w postaci eutrofizacji. Szacuje się, że obecnie na powierzchni około 49 tys. km² występują niedobory tlenu w warstwie przydennej, a niektóre prognozy mówią o możliwości podwojenia się tego obszaru. Analiza poszczególnych akwenów Bałtyku jednoznacznie wskazuje na znaczne pogorszenie się warunków środowiskowych w niemalże wszystkich rejonach morza. Zważywszy na niewielkie możliwości samooczyszczania się Bałtyku, obraz ten nie napawa optymizmem, a zachodzące zmiany należy uznać za dramatycznie niebezpieczne. ◀



foto: Kristaps Ungurs on Unsplash

Czy miasto napędza burzę?

Grzegorz Duniec | IMGW-PIB/Centrum Modelowania Meteorologicznego/Zakład Prognoz Numerycznych COSMO

Monika Hajto | IMGW-PIB/Centrum Meteorologicznej Oslony Kraju/Zakład Teledetekcji Satelitarnej

Adam Jaczewski | IMGW-PIB/Centrum Modelowania Meteorologicznego/Zakład Analiz Meteorologicznych i Prognoz Długoterminowych

Gwałtowne burze to ogromne zagrożenie dla życia i komfortu mieszkańców miast, a także wielkie wyzwanie dla infrastruktury miejskiej. Powalone drzewa, porażenia piorunem i podtopienia to główne skutki intensywnych zjawisk konwekcyjnych w obszarach zurbanizowanych. Dotychczasowe badania naukowe potwierdzają, że miasta, a szczególnie tzw. „miejska wyspa ciepła”, mogą modyfikować rozwój i przebieg burz, w tym intensywność opadów i wyładowań atmosferycznych. O ile w skali całej planety większa częstość i dynamika takich zdarzeń, jak fale upałów, susze, powodzie i burze, są prawdopodobnie skutkiem globalnej zmiany klimatu, o tyle analizując klimat w skali regionalnej i lokalnej, trzeba dostrzec wpływ urbanizacji i działalności ludzkiej na pogodę w mieście.

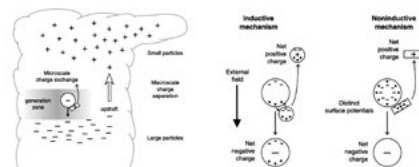
Czemu podczas burz tak często pada ulewny deszcz? Jednym ze zjawisk powodujących opad atmosferyczny jest konwekcja termiczna, czyli system prądów wstępujących i zstępujących oraz stref zbieżności i rozbieżności¹. Z konwekcją mamy do czynienia, gdy nagrzane od podłoża, wilgotne powietrze wznosi się (prąd konwekcyjny), a przy powierzchni ziemi tworzy się ośrodek niskiego ciśnienia. Wraz ze wzrostem wysokości powietrze ochładza się, a jeśli osiągnie punkt rosy, wówczas na cząstkach aerozolu zwanych jądrami kondensacji² zaczynają się formować krople wody. W wyniku kondensacji pary wodnej lub wzajemnych zderzeń krople rosną, do momentu gdy prąd wznoszący nie jest w stanie ich utrzymać. Wówczas spadają w kierunku ziemi tworząc opad deszczu. Ponieważ prądy wznoszące w układach burzowych są bardzo silne, krople mogą uzyskiwać większe średnice. Z kolei w środkowej części chmury burzowej na jądrach krystalizacji formują się kryształki lodu. One także rosną w miarę unoszenia w chłodniejsze warstwy atmosfery. Kiedy prąd wstępujący nie jest już w stanie ich utrzymać, opadają w niższe warstwy, gdzie przymarzają do nich przechłodzone krople. Taki wielokrotnie powtarzający się cykl może skutkować powstaniem gradzin o średnicy przekraczającej nawet 10 cm. Te właśnie procesy konwekcyjne powodują, że w trakcie burz bardzo często występują ulewne opady deszczu i gradu.

Mechanizmy elektryzacji chmur. Abyśmy mogli sobie odpowiedzieć na pytanie o wpływ miasta na częstotliwość i intensywność wyładowań elektrycznych, musimy zrozumieć jakie procesy fizyczne są odpowiedzialne za ich powstanie. Zainicjowanie wyładowania iskrowego, czyli błyskawicy, wymaga wygenerowania w chmurach Cumulonimbus pola elektrycznego przebicia³ o wartości natężenia 3 MV/m (przy powierzchni Ziemi i ciśnieniu normalnym, natomiast na wysokości 5 km wynosi około 1,5 MV/m). Jak jednak do tego dochodzi?

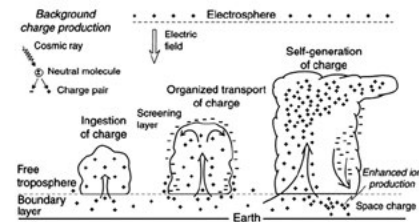
Sposobów elektryzacji jest wiele, m.in. dyfuzyjny (elektryzacja związana z wychwytywaniem jonów atmosferycznych), konwekcyjny lub zderzeniowy (przebiegający w obecności (indukcyjny) i przy braku (nieindukcyjny) zewnętrznego pola), jednak nie wszystkie mają taki sam wkład w elektryzację chmur. Jak się okazuje, najistotniejsze są mechanizmy zderzeniowe.

Obecność zewnętrznego pola elektrycznego powoduje, że cząstka krypy śnieżnej, gradu lub kropli jest spolaryzowana – w dolnej części cząstki zgromadzony jest ładunek dodatni, zaś w górnej ujemny. Kiedy większa cząstka (grad, krupa śnieżna lub kropla) opada w chmurze, na swojej drodze napotyka mniejsze kryształki lodowe lub kropelki, z którymi się zderza. Przy kontakcie powierzchni przeciwnie naładowanych następuje transfer ładunku elektrycznego – część ładunku dodatniego przepływnie na powierzchnię małego kryształka

lodowego, cząstki śniegowej lub kropli. Wielkość tego ładunku zależy od zewnętrznego pola elektrycznego, rozmiarów obu cząstek, ładunków zderzających się cząstek, ładunków polaryzacyjnych i miejsca zderzenia na powierzchni dużej cząstki względem kierunku linii pola elektrycznego zewnętrznego. Istotny jest też czas kontaktu, w trakcie którego następować będzie przemieszczanie ładunku w celu wyrównania potencjałów. W rezultacie, po dużej, ale skończonej liczbie zderzeń, kru-



Mechanizmy elektryzacji chmury
(źródło: Lamb D., 2011, *Physics and Chemistry of Clouds*, Cambridge University Press).



Konwekcyjny mechanizm elektryzacji chmury Cumulonimbus
(źródło: Lamb D., 2011, *Physics and Chemistry of Clouds*, Cambridge University Press).

¹ Mowa tu o strefach konwergencji (zbliżania się prądów powietrznych) i dywergencji (oddalania się od siebie prądów powietrznych).

² Jądra kondensacji to mikroskopijne cząstki aerozolu atmosferycznego niezbędne do powstania kropli i chmur. Mogą nimi być kryształki soli morskiej, sole siarki czy azotu, pyłki roślin, agregaty skomplikowanych cząstek organicznych, a nawet bakterie. Dzięki własnościom higroskopijny jądra kondensacji mogą przyłączyć do siebie cząsteczki wody. Gdy proces ten przebiega wystarczająco długo, tworzy się chmura.

³ Wartość natężenia pola elektrycznego, przy której następuje inicjacja wyładowania iskrowego w gązle.





Wyładowanie międzyczmurowe (źródło: <https://cloudatlas.wmo.int/en/search-image-gallery.html>)



Wyładowanie z chmury Cumulonimbus (źródło: <https://cloudatlas.wmo.int/en/search-image-gallery.html>).

ny jest rozpad kropli w mechanizmie indukcyjnym typu „bag breakup” lub wyładowania wewnętrznychmurowe.

Z obserwacji wynika, że niektóre chmury burzowe charakteryzują się odwrotną polaryzacją i to w górnym centrum dominuje ładunek ujemny. Powyższe mechanizmy są istotne i dominujące w procesie elektryzacji, dlatego w modelach numerycznych poświęca się im dużo uwagi i podejmuje próby ich parametryzacji, co pozwoli na jeszcze lepsze prognozowanie wystąpienia burzy i wyładowań atmosferycznych.

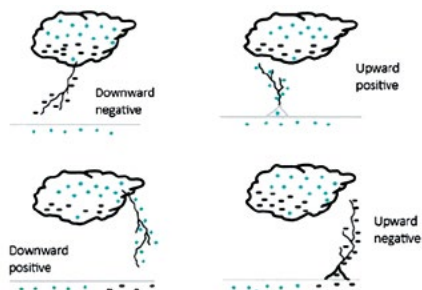
Kilka słów o wyładowaniach.

W momencie gdy natężenie pola elektrycznego osiągnie wartości przebicia, rozpoczyna się inicjacja wyładowań iskrowych. Jeżeli przepływ ładunku elektrycznego zachodzi pomiędzy dwoma centrami w jednej chmurze Cumulonimbus, powstają tzw. wyładowania wewnętrznychmurowe. Gdy centra znajdują się w dwóch różnych chmurach Cb, wówczas następuje tzw. wyładowanie międzyczmurowe (chmura-chmura). Ponieważ wewnątrz Cumulonimbusa znajdują się ładunki będące źródłem pola elektrycznego, wokół chmury gromadzą się ładunki o przeciwnym znaku. W sprzyjających warunkach może nastąpić przepływ ładunków pomiędzy tymi dwoma ośrodkami i takie wyładowanie nazywamy wyładowaniem chmura-powietrze.

śnieżna lub grad naładowane zostaną ładunkiem dodatnim. Centra ładunków w chmurze Cb tworzą się w wyniku separacji grawitacyjnej, a rozwój pola elektrycznego następuje od chwili rozpoczęcia konwekcji i szybko osiąga wartość maksymalną.

Opisane mechanizmy elektryzacji chmury Cumulonimbus tworzą strukturę elektryczną, złożoną z centrum ładunku dodatniego znajdującego się w górnej części chmury i centrum ładunku ujemnego o grubości

około 1 km znajdującego się na wysokości pomiędzy izotermami -10°C i -20°C . Z kolei w dolnej części chmury, pomiędzy izotermami 0°C i -10°C , powstaje niewielkie centrum ładunku dodatniego, którego źródło nie jest przez fizyków jednoznacznie rozpoznane. Część badaczy wskazuje, że przyczyną jego formowania się są wyładowania koronowe dostarczające ładunek dodatni, który jest następnie transportowany do dolnych obszarów chmury. Inni sugerują, że odpowiedzial-



Rodzaje wyładowań doziemnych (źródło: Cooray, An Introduction to Lightning, Springer, 2015).

I wreszcie, najgroźniejsze dla człowieka, wyładowania doziemne. Mogą być dodatnie lub ujemne i być inicjowane z chmury bądź z powierzchni ziemi. Wyładowanie doziemne to przepływ potężnego ładunku elektrycznego⁵ zjonizowanym kanałem do ziemi lub w kierunku chmury. Kanał nagrzewa się do temperatury rzędu nawet 30 tys. Kelwinów. Uderzenie w człowieka błyskawicy o takich parametrach elektrycznych może skutkować nawet śmiercią. Skutki porażenia piorunem są bardzo różne, od poparzenia termicznego, uszkodzenia układu nerwowego, urazów kończyn i kręgosłupa oraz uszkodzenia mózgu, po zaburzenia widzenia, drgawki, ogłuchnięcie, apatie, senność, pobudzenie, utratę przytomności, zaburzenia rytmu pracy serca i zatrzymanie krążenia.

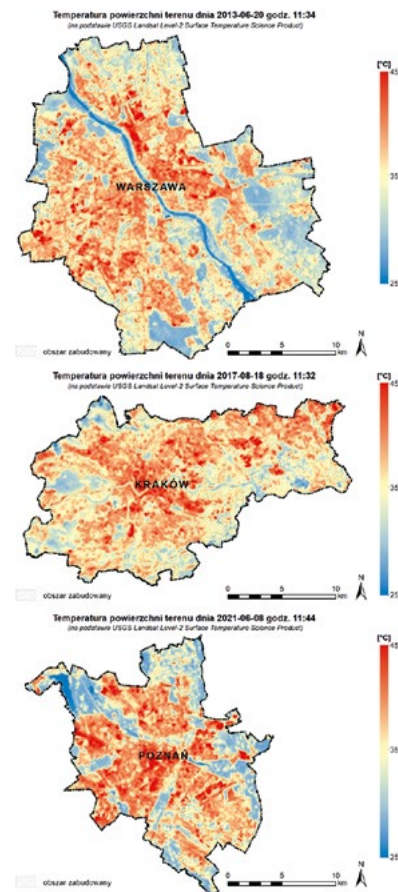
Poza wymienionymi powyżej piorunami liniowymi, występują jeszcze pioruny kuliste, Ognie św. Elma oraz pioruny perełkowe. Oprócz wyładowań chmurowych (wewnątrzchmurowych, chmura-chmura oraz chmura powietrze), doziemnych, zaobserwowano także wyładowania chmura-jonosfera. Do tego rodzaju aktywności elektrycznej zaliczyć możemy: jets, blue, gigantic jets, sprites, halos i elves.

Topoklimat miasta. Klimat każdego miasta jest wypadkową oddziaływania czynników w skali makro (np. cyrkulacji atmosferycznej) i czynników lokalnych (naturalnych i antropogenicznych). Rzeźba terenu, obecność rzek i zbiorników wodnych, a także typ gleby kształtują klimat lokalny w sposób naturalny. Do czynników antropogenicznych można zaliczyć m.in. zmianę pokrycia i użytkowania terenu (która nadaje

odmienne właściwości fizyczne powierzchni czynnej, uczestniczącej w wymianie energii między podłożem a atmosferą), rodzaj zabudowy (która zwiększa tzw. szorstkość terenu, wpływając na przewietrzanie miasta), a także gęstość zaludnienia, uprzemysłowienie czy wzmożony transport drogowy, które powodują zwiększone zużycie energii, dodatkową emisję ciepła i zanieczyszczenie powietrza. Efektem oddziaływania wymienionych czynników są gorsze warunki aerosanitarne (słaba jakość powietrza) w mieście oraz większe obciążenie cieplne. Wszystko to powoduje modyfikację lokalnych warunków klimatycznych, w zakresie takich elementów meteorologicznych, jak promieniowanie słoneczne, zachmurzenie, temperatura i wilgotność powietrza, mgła, opady atmosferyczne czy wiatr.

Miejska wyspa ciepła. MWC, czyli miejską wyspą ciepła, nazywa się termiczną modyfikację klimatu w obszarze zurbanizowanym. Jest to zjawisko polegające na termicznym uprzywilejowaniu (cieplejsze powierzchnie lub powietrze⁶) obszaru zabudowanego względem sąsiednich obszarów niezabudowanych lub zabudowanych w niewielkim stopniu. Powierzchniową MWC można wykryć na podstawie obrazów satelitarnych w podczerwieni termicznej. Patrząc na satelitarną mapę temperatury terenu dla godzin okołopołudniowych, łatwo zidentyfikujemy części miasta, które najsilniej się nagrzewają - intensywność powierzchniowej MWC w ciągu dnia może przekraczać 15°C. Do oceny atmosferycznej MWC niezbędne są pomiary temperatury powietrza, prowadzone jednocześnie w obszarze miejskim i pozamiejskim. Wskazują ją również modele meteorologiczne - tym dokładniej, im większa będzie rozdzielczość przestrzenna modelu, a procesy atmosferyczne właściwie sparametryzowane. Atmosferyczna MWC największą intensywność ma w porze nocnej lub nad ranem, osiągając średnie wartości przekraczające 5°C, a niekiedy nawet 10°C.

Zależności między temperaturą powierzchni terenu i temperaturą powietrza atmosferycznego są zmienne w ciągu doby. W warunkach tzw. pogody radiacyjnej (przy bezchmurnym niebie i ciszy wiatrowej) w porze nocnej wychładzanie się powietrza



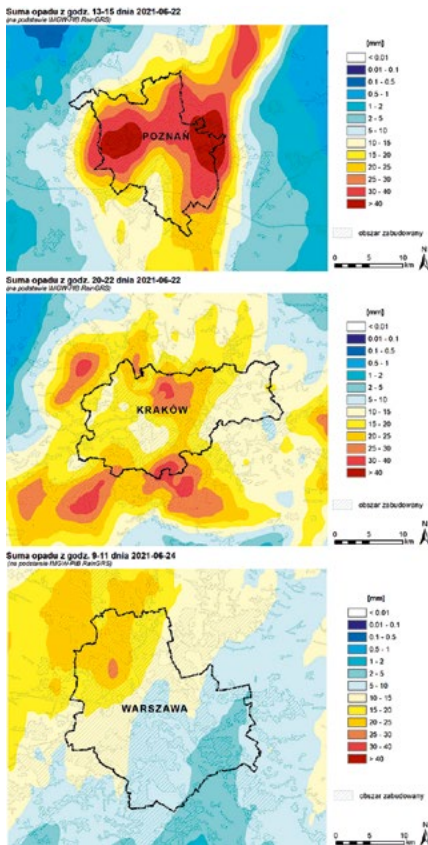
Przykłady powierzchniowej miejskiej wyspy ciepła w porze dziennej.

i podłoża postępują w zbliżonym tempie, natomiast za dnia powietrze nie nagrzewa się tak silnie jak powierzchnia terenu dzięki konwekcyjnemu mieszaniu. Dlatego nocna powierzchniowa i atmosferyczna MWC są do siebie podobne, ale dzienna powierzchniowa MWC jest znacznie silniejsza od atmosferycznej; w kanionach ulicznych w ciągu dnia może wręcz dojść do zjawiska odwrotnego, tj. miejskiego jeziora chłodu. Dodatkowo, nadwyżka ciepła w mieście modyfikuje pole ciśnienia atmosferycznego, co skutkuje utworzeniem się lokalnej cyrkulacji, tzw. bryzy miejskiej.

Cyrkulacja powietrza w mieście a opady. Ciepłe powietrze nad miastem obniża ciśnienie, co skutkuje powstaniem prądów wstępujących. Ten sam proces obserwujemy nad gorącą plażą, dzięki czemu

⁵ Podczas wyładowania ujemnego ładunku przenoszony do ziemi ma wartość rzędu -8C, w trakcie wyładowania dodatniego - około 80C.

⁶ Ponieważ w mieście nagrzewają się zarówno powierzchnie (np. ulice, chodniki, dachy, ściany), jak i powietrze (przylegająca warstwa atmosfery), to rozróżniamy MWC powierzchniową i atmosferyczną.



Przykładowe pola 3-godzinnych sum opadów dla wybranych miast podczas intensywnych zjawisk konwekcyjnych, utworzone przy użyciu danych RainGRS².

znad morza napływa przyjemna dla nas bryza. W obszarach miejskich wiatr niesie chłodniejsze powietrze spoza obszaru zurbanizowanego, ale w ulicznych kanionach słabnie i zbiega się - dochodzi do zjawiska konwergencji. Unoszenie się ciepłego, wilgotnego powietrza może zwiększyć koncentrację jąder kondensacji, których w miejskim powietrzu nie brakuje (np. zanieczyszczenia pyłowe). Im więcej takich jąder w powietrzu, tym krople są mniejsze i mogą być unoszone wyżej. Osiągnąwszy określony pułap, zamarzają na powierzchni kryształków lodu lub gradzin, zwiększając objętość i ciężar hydrometeorów. Uwzględnienie tych procesów w symulacjach numerycznych pozwala na znacznie dokładniejsze modelowanie zjawisk konwekcyjnych w miastach.

Burze, które powstały poza obszarem zurbanizowanym, ulegają pewnej modyfikacji

w wyniku cyrkulacji miejskiej wyspy ciepła; mogą podzielić się i przemieszczać na peryferia miasta. Mogliśmy to obserwować w czerwcu tego roku, kiedy w kilku polskich miejscowościach w powodu nawalnych opadów doszło do lokalnych powodzi znacznych błyskawicznymi. Burza, przemieszczając się nad miasto, trafia na obszar z wyższymi budynkami w centrum, gdzie podłoże ma większą szorstkość. Na skutek większego oporu powierzchni strefa intensywnych opadów rozwidła się i przemieszcza nad obszary peryferyjne. Z takim zjawiskiem mieliśmy do czynienia w Poznaniu i Krakowie.

Jak zmienia się burza w mieście?

Obserwacje meteorologiczne potwierdzają wpływ obszarów miejskich na tempo elektryzacji chmur i częstotliwość występowania burz. Notuje się wzrost ilości chmur konwekcyjnych generujących wyładowania elektryczne w pobliżu miasta, w szczególności w godzinach popołudniowych, ale także w nocy i wczesnym rankiem w godzinach między 2 a 10, i dotyczy to burz związanych z frontami atmosferycznymi. Obserwacje wskazują również na zwiększoną ilość izolowanych komórek konwekcyjnych pojawiających się w obszarze miejskim popołudniu i wieczorem, przy czym więcej Cumulonimbusów powstaje w obszarze za miastem zgodnie z kierunkiem wiejącego wiatru. Pomiarzy w chmurach Cb wykazały wzrost rozmiarów cząstek gradu (o 32%) i ich prędkości w obszarze miejskim. Ponieważ tempo elektryzacji i ilość ładunku gromadzonego w głównych centrach ładunkowych zależą m.in. od parametrów, których wartości wzrastają w obszarze zurbanizowanym, to można oczekiwać, że w mieście aktywność elektryczna chmury będzie rosła. Większa ilość cząstek aerozolu w obszarach miejskich powoduje przyrost ilości cząstek lodowych i przechłodzonych kropelek, co sprzyja powstawaniu wyładowań. Co ciekawe w dniach roboczych aktywność elektryczna w miastach jest większa niż w weekend i święta - to efekt mniejszej emisji zanieczyszczeń do atmosfery w dniach wolnych od pracy, gdy spada działalność przemysłowa i natężenie komunikacji. W powietrzu unosi się mniej jąder kondensacyjnych, które jak wspomniano umożliwiają powstawanie chmur.

Badania oparte na obserwacjach i modelowaniu wskazują, że miasto wpływa na ewolucję przemieszczających się nad nim burz poprzez określone fizyczne mechanizmy. Po pierwsze, większa zbieżność powietrza (konwergencję) z powodu podwyższonej szorstkości terenu (przez zabudowę), co skutkuje silniejszym wynoszeniem powietrza. Po drugie, miejska wyspa ciepła destabilizuje warstwę graniczną atmosfery; dochodzi do przemieszczenia się cyrkulacji MWC oraz chmur konwekcyjnych powstających w wyniku MWC. Po trzecie, zwiększona zawartość aerozoli w zanieczyszczonym powietrzu miejskich wspomaga tworzenie się chmur. Nie należy również zapominać o wpływie pokrycia miasta, tj. zespołu budynków, drzew i innych obiektów tworzących zabudowę miejską, na rozwidlenie lub zmianę kierunku przemieszczania się komórek burzowych.

1. Pruppacher H.R., Klett J.D., 1996, *Microphysics of Clouds and Precipitation*, Springer.
2. MacGorman D.R., Rust W.D., 1998, *The Electrical Nature of Storm*, Oxford University Press.
3. Bodzak P., 2007, *Detekcja i lokalizacja wyładowań atmosferycznych*, IMGW.
4. Oke T.R., Mills G., Christen A., Voogt J.A., 2017, *Urban Climates*, Cambridge University Press.
5. Cooray V., 2014, *The Lightning Flash*, The Institute of Engineering and Technology.
6. Cooray V., 2015, *An Introduction to Lightning*, Springer.
7. Oke T.R., 1982, *The energetic basis of the urban heat island*, <https://doi.org/10.1002/qj.49710845502>.
8. Voogt J.A., Oke T.R., 2003, *Thermal remote sensing of urban climates*, DOI: 10.1016/S0034-4257(03)00079-8.
9. Rakov V. A., Uman M. A., 2003, *Lightning Physics and Effects*, Cambridge University Press.
10. Lamb D., 2011, *Physics and Chemistry of Clouds*, Cambridge University Press.
11. Bentley M., Stallins T., Ashley W., 2010, *The Atlanta thunderstorm effect*, *Weatherwise*, 63, 24-29, DOI: 10.1080/00431671003609937.
12. Bokwa A., 2010, *Wieloletnie zmiany struktury mezo klimatu miasta na przykładzie Krakowa*, IGI GP UJ.
13. Szymanowski M., 2004, *Miejska wyspa ciepła we Wrocławiu*, Wydawnictwo Uniwersytetu Wrocławskiego.
14. Zhang Y., Miao S., Dai Y., Bornstein R., 2017, *Numerical simulation of urban land surface effects on summer convective rainfall under different UHI intensity in Beijing*, *Journal of Geophysical Research. Atmospheres*, 122 (15), 7851-7868, DOI: 10.1002/2017JD026614.

² RainGRS to produkt łączący dane pomiarowe z deszczomierzy, radarów i czujników satelitarnych. Dane RainGRS są generowane w trybie operacyjnym przez Zakład Nowcastingu w Centrum Modelowania Meteorologicznego IMGW-PIB.

ekstrema >

Blackout

Czy susza wyłączy nam prąd?

Dobrze funkcjonujące rynki i systemy, z odpowiednimi połączeniami elektroenergetycznymi, są gwarancją bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej. Jednak nawet najlepsze zabezpieczenia mogą okazać się niewystarczające w obliczu kryzysu wywołanego klęskami żywiołowymi, w tym ekstremalnymi warunkami pogodowymi.

Prognozowany wzrost częstości występowania ekstremalnych warunków pogodowych¹ niesie ze sobą zagrożenia zarówno w obszarze dostarczania energii elektrycznej do odbiorców, jak i wzrostu cen energii. Przykładem może być ekstremalnie ciepły rok 2019 - średnia roczna temperatura na obszarze Polski wyniosła 10,2°C i była wyższa o 2,4°C od normy wieloletniej 1971-2000². Tak wysokie temperatury niewątpliwie prowadzą do wzrostu poboru energii elektrycznej w wyniku m.in. powszechnego używania klimatyzatorów i wiatraków. Według analiz Forum Energii³ systematycznie rośnie dobowa różnica pomiędzy dolinowym a szczytowym zapotrzebowaniem na moc, w szczególności w okresie letnim, w którym średnia zmienność zapotrzebowania w ciągu dnia zwiększyła się z 5,3 GW w 2007 roku do 6,9 GW w 2017 roku. W prognozach pokrycia zapotrzebowania szczytowego na moc do 2030 roku przewiduje się pogłębienie tych dysproporcji.

Wpływ pogody na szeroko rozumianą energetykę dobrze obrazuje sytuacja, która miała miejsce w Norwegii w 2018 roku oraz w Polsce w 2015 roku. Szacuje się, że w Norwegii ubytki wody związane z jej parowaniem przyniosły stratę rzędu 36 TWh potencjalnej produkcji prądu w stosunku do normalnej sytuacji hydrologicznej. Jest to wartość odpowiadająca trzymiesięcznemu zużyciu energii w tym skandynawskim kraju⁴, który jest największym „akumulatorem prądu” w Europie. Innym skutkiem panującej w Norwegii suszy (i związanego z tym niskiego poziomu rezerw wody w hydroelektrowniach) jest prognozowany wzrost cen prądu. Z kolei w Polsce w sierpniu 2015 roku, utrzymujące się wysokie temperatury powietrza przyczyniły się do dużego zapotrzebowania na moc. Efektem tego było przede wszystkim zwiększone wykorzystanie urządzeń klimatyzacyjnych⁵.

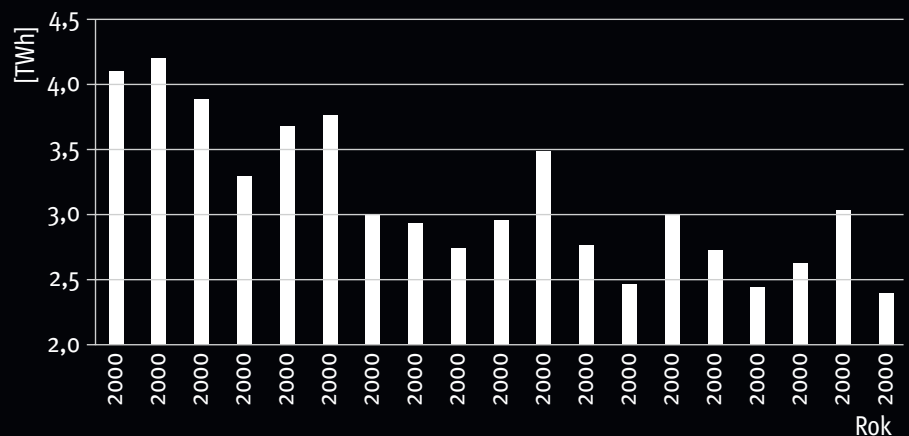
Wysokie temperatury doprowadziły do pogorszenia warunków hydrologicznych, a niski poziom wód w rzekach i zbiornikach wywołał problemy z chłodzeniem ciepłych bloków konwencjonalnych. Część elektrowni pracowała ze zmniejszoną mocą lub została całkowicie wyłączona.

Energetyka ciepła pracuje stabilnie i bezawaryjnie tylko wtedy, gdy ma zapewniony dostęp do zasobów wody w odpowiedniej ilości i jakości. W Polsce do chłodzenia instalacji elektrowni wykorzystuje się około 7 km³ wody rocznie (220 m³/s)⁵. Jest to 14-krotna równowartość ilości wody zmagazynowanej w największym naszym zbiorniku retencyjnym przy zaporze w Solinie. Energetyka pobiera 10 razy więcej wody niż pozostałe działy przemysłu, co stanowi 60% całego zużycia wody w gospodarce Polski⁶.

Polskie elektrownie ciepłe są tak wodochłonne ponieważ wykorzystuje się w nich głównie otwarty system chłodzenia z jednorazowym przepływem (ang. once-through flow cooling system). Tylko niektóre obiekty wyposażono w systemy zamknięte, oparte na chłodniach kominowych lub wieżach chłodniczych. Stanowi to poważny problem środowiskowy pod względem:

- jakościowym - w systemach otwartych woda podlega podgrzaniu, a następnie jest spuszczana do rzek i zbiorników. Tego typu zanieczyszczenie termiczne (ang. thermal pollution) ma wpływ na życie biologiczne w ekosystemach wodnych;
- ilościowym - występujące coraz częściej niskie stany (związane również ze zmianą klimatu) i przepływy naruszające normalny tryb pracy elektrowni lub elektrociepłowni są niebezpieczne dla urządzeń technologicznych i mogą prowadzić do całkowitego wyłączenia obiektu.

Produkcja energii elektrycznej w Polsce wytwarzanej przez elektrownie wodne; opracowanie własne na podstawie danych GUS



¹ <https://www.ipcc.ch/report/managing-the-risks-of-extreme-events-and-disasters-to-advance-climate-change-adaptation/>

² Biuletyn Państwowej Służby Hydrologiczno-Meteorologicznej, 2019, 13 (215)

³ https://www.cire.pl/pliki/1/2019/elastycznosc_kse.pdf

⁴ Ceny prądu w Polsce najwyższe w historii, Energetyka Wodna, 2018, 3 (27), s. 10

⁵ Majewski W., 2017, Woda w inżynierii środowiska, IMGW, Warszawa, 172 s.

⁶ GUS, 2018, Produkcja energii elektrycznej wg źródeł

Zasoby hydroenergetyczne Polski są niewielkie w stosunku do zapotrzebowania gospodarki i społeczeństwa na energię elektryczną i ciepłą. Teoretyczny potencjał energetyczny naszych rzek wynosi około 23 TWh, lecz ze względów technicznych może być wykorzystany zaledwie na poziomie około 50%⁷. Według danych GUS w latach 2000-2018 w elektrowniach wodnych w Polsce wyprodukowano zaledwie 3 TWh energii elektrycznej. Wielkość ta sukcesywnie maleje. Obecnie energetyka wodna dostarcza mniej niż 2% całej wytworzonej energii elektrycznej kraju (w Norwegii jest to 97%, a w Szwecji 38%). Choć produkcja ta ma niewielkie znaczenie w ogólnym bilansie, to liczy się pod względem jakościowym:

- wytwarzanie energii w elektrowniach wodnych to łatwość manewrowania technologicznego, dogodność w dysponowaniu mocą i duża pewność ruchowa;
- rozmieszczenie elektrowni wodnych w różnych częściach kraju stwarza warunki do wykorzystania wytworzonej energii w pobliskim rejonie bez konieczności jej przesyłania;
- elektrownie wodne mogą być uruchamiane i zatrzymywane w ciągu 1-2 minut, a zmiana mocy następuje w ciągu kilku sekund; cechuje je duża elastyczność, co przy pracy interwencyjnej ma podstawowe znaczenie w systemie;
- zużycie energii elektrycznej na potrzeby własne wynosi zaledwie 0,3-0,5% mocy wytworzonej;
- energia elektryczna uzyskiwana w elektrowniach wodnych jest wolna od zmiennych cen paliw surowców energetycznych, a zespoły i elementy ruchowe siłowni cechuje długi okres użytkowania.

Z tego powodu energetyka wodna w określonych warunkach może być alternatywą dla innych technologii produkcji. Jednak w ogólnym rozrachunku ze względu na ograniczony potencjał, nie przewiduje się znaczącego wzrostu wykorzystania energii wód płynących⁸.

Od wielu lat dyskutuje się w Polsce o możliwościach rozwoju energetyki jądrowej. Pomijając kwestie ekonomiczne, odpowiednio duże zasoby wodne dla budowy elektrowni



jądrowej występują jedynie w środkowym i dolnym biegu największych rzek Polski. Głównie w północnych i wschodnich rejonach kraju. Należy podkreślić, że dla planowanych obiektów zasoby wodne Wisły, nawet w dolnym jej biegu, nie są wystarczające do chłodzenia reaktorów w układzie otwartym. Dlatego należy założyć możliwość zastosowania zamkniętych obiegów chłodzenia⁹.

Czy grozi nam blackout? Zapewnicie warunków rozwoju gospodarczego

Polski, w tym infrastruktury wytwórczej, wskazuje na potrzebę rozbudowy mocy wytwórczej energii elektrycznej. Czas funkcjonowania nowych elektrowni wynosi około 40 lat. Dlatego już dziś sektor energetyczny na etapie planowania inwestycji musi przewidywać potrzeby, możliwe rozwiązania technologiczne oraz potencjalne regulacje prawne. W przeciwnym razie będziemy co roku narażeni na ograniczenia w dostawie prądu.

Najpoważniejsze do tej pory zdarzenie wystąpiło 10 sierpnia 2015 roku, kiedy w ca-

⁷ Tymfiński J., 1997. Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii w Polsce do 2030 – aspekt energetyczny i ekologiczny. IBMiBR, Warszawa
⁸ <https://www.gov.pl/web/aktywa-panstwowe/polityka-energetyczna-polski-do-2040-r-zapraszamy-do-konsultacji>
⁹ Kielbasa W., 2009. Lokalizacja elektrowni jądrowych w Polsce, HYDROENERGO



foto: Edwin Johansson on Unsplash

łym kraju wprowadzono po raz pierwszy od 1989 roku tzw. 20. stopień zasilania¹⁰. Nałożyło się na to kilka przyczyn: fala upałów i związane z nią rekordowe zapotrzebowanie na prąd, niski poziom wód w rzekach, remont bloków energetycznych oraz awaria elektrowni w Bełchatowie. W wyniku ograniczeń najbardziej ucierpiały sektory przemysłu (zwłaszcza ciężkiego) oraz usług, a straty gospodarcze oszacowano na 1,5-2 mld zł¹¹. Wprowadzone w sierpniu 2015 roku limity w poborze energii dotyczyły dużych przedsiębiorstw, które miały zakontraktowany odbiór mocy powyżej 300 kW.

Firmy zostały zmuszone do ograniczenia produkcji w swoich fabrykach.

Zdarzenie to nie było blackoutem. Gdyby jednak wskazani odbiorcy nie dostosowali się wówczas do ograniczeń, krajowa sieć nie byłaby w stanie pokryć zapotrzebowania. Doszłoby do wyłączeń awaryjnych obejmujących wszystkich odbiorców z danego terenu, a więc także gospodarstwa domowe, szpitale czy transport publiczny. Jednak teoretycznie i praktycznie blackout jest możliwy. Niebezpieczeństwo pogłębia fakt, że większość naszej infrastruktury do dystrybucji energii jest po prostu stara.

W Polsce sieć przesyłowa powstała w latach 60. i 70. ubiegłego wieku i jest w znacznej mierze wyeksploatowana. Ocieplanie się klimatu będzie skutkowało częstszym pojawianiem się wysokich temperatur i fal upałów, a tym samym zwiększonym zapotrzebowaniem na energię elektryczną. Dodatkowo w Polsce od kilku lat borykamy się z suszą, a latem stany wód zwykle osiągną minimalne poziomy. Mamy więc do czynienia z dwoma elementami (zwiększonym popytem i niewystarczającą podażą), które prędzej czy później doprowadzą do załamania dostaw prądu. ◀

¹⁰20. stopień zasilania oznacza, że odbiorca może pobierać moc do wysokości ustalonego minimum niepowodującego zagrożeni i zakłóceń (wyłączając infrastrukturę krytyczną), przy zachowaniu bezpieczeństwa ludzi oraz obiektów technologicznych.

¹¹Węglewski M., 2018, Moc nie będzie z nami, Newsweek, 27

Klimatyczne sztormy

Anna Kubicka, Paweł Przygodzki, Emilia Szewczak | IMGW-PIB/Centrum Hydrologicznej Osłony Kraju

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 wezbrań sztormowych. Od 2000 do 2009 roku wystąpiło 367 wezbrań sztormowych¹. Dla porównania w okresie 1960-1969 było ich 107. Trend jest szczególnie widoczny na środkowym wybrzeżu Polski, gdzie maksymalne poziomy wód Bałtyku w czasie wezbrań sztormowych systematycznie rosną - komentuje Paweł Przygrodzki, dyrektor Centrum Hydrologicznej Osłony Kraju IMGW-PIB.

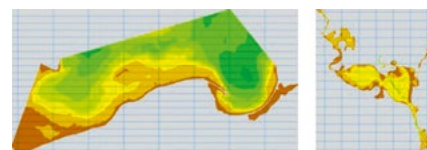
Monitoring problemu. Na polskim wybrzeżu szczególnie zagrożone powodzią są tereny zamieszkałe przez znaczną liczbę ludności. Można założyć, że wzrost częstotliwości występowania i siły wezbrań sztormowych będzie prowadzić do katastrof, takich jak zalania i zniszczenia w infrastrukturze mieszkaniowej, 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). Analizy projektu ISOK potwierdziły, że na polskim wybrzeżu występują tereny, gdzie wzrost poziomu morza i wezbrania 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.

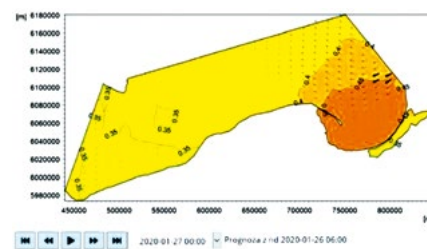
Zasięg dwuwymiarowego modelu hydrodynamicznego obejmuje obszar polskiego wybrzeża oraz osobno Zalewu Szczecińskiego. Symulację przeprowadza



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



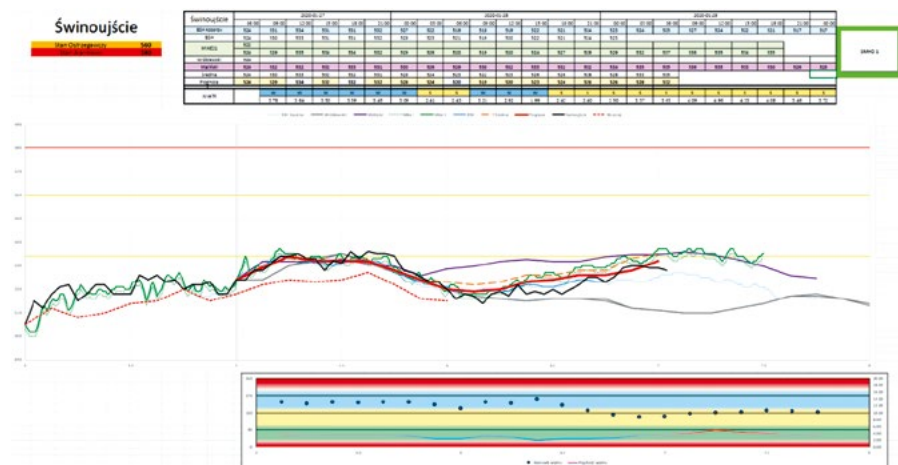
Zasięg dwuwymiarowego modelu hydrodynamicznego dla całego wybrzeża oraz Zalewu Szczecińskiego (prawa wizualizacja)



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 prognoze dla granic otwartych modelu w ramach współpracy międzynarodowej z krajami nadbałtyckimi - Niemcami, Danią i Litwą.

¹ 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

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.

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 tabele 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,

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

Dodatkowo powstaje wykres danych z modelu meteorologicznego COSMO:

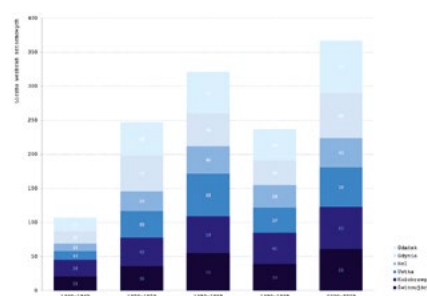
- linia - siła wiatru,
- punkty - kierunek wiatru,
- kolory tła - kierunki geograficzne: czerwony - północ, niebieski - zachód, żółty - południe, zielony - wschód.

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).



Wizualizacja prognozy synoptycznej poziomów Morza Bałtyckiego



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

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 przybrzeżnych. Efekty wezbrań sztormowych mogą tu sięgać daleko w głąb lądu i być wyjątkowo niebezpieczne. ◀

AI – (nie)sztuczna inteligencja



foto: Yuyang Laron / Unsplash

Michał Marosz | IMGW-PIB/Centrum Badań i Rozwoju/Zakład Meteorologii, Klimatologii i Ochrony Atmosfery

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 sztuczną 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”¹ 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.

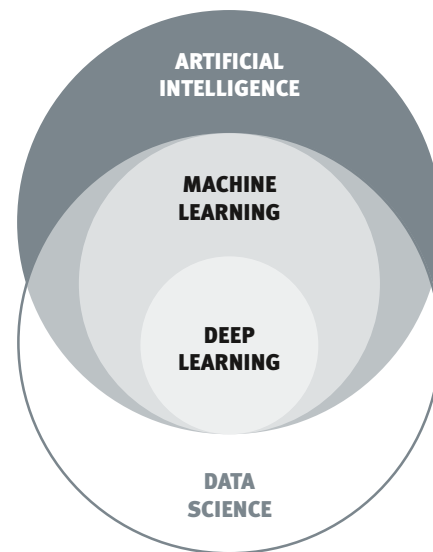
Klimatologia synoptyczna, zajmująca się kwantyfikowaniem powiązań między formami cyrkulacji atmosfery (zazwyczaj w skali makrosynoptycznej) a warunkami środowiskowymi, bazowała zazwyczaj na określonej typologii. W najogólniejszym zarysie podejścia były dwa: typologie manualne (np. Osuchowskiej-Klein,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

W każdym z tych schematów postępowania - nawet tych jeszcze kilka lat temu nazywanych obiektwymi - 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

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

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 niedostępnych 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

najczęściej jest to SLP lub wysokość określonej powierzchni izobarycznej. Wzorce te klasyfikowane 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 podyktowany 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 Japonii² i Afryce Południowej³, anomalnych charakterystyk pola temperatury w Chinach⁴, jak również w regionie atlantycko-europejskim, gdzie np. analizowano zmienność cech cyrkulacji atmosferycznej w skali całego XX wieku⁵.

Czernecki z zespołem⁶ wykorzystali możliwości 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 inni⁷ 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, Czerneckiego i Marosza⁸. 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 trójmiejskiej⁹. W aglomeracji górnośląskiej IMGW-PIB już kilkanaście lat temu wdrożył operacyjnie system prognoz stężeń zanieczyszczeń oparty na sztucznych sieciach neuronowych¹⁰.

AI będzie nas wspierać. Jak widać, spektrum potencjalnych zastosowań AI w analizie 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 paletce narzędzi wykorzystywanych w naukach o Ziemi, a szczególnie w meteorologii i klimatologii. ◀

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

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

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

⁵ https://www.researchgate.net/publication/311777819_Variability_of_atmospheric_circulation_in_Euro-Atlantic_region_1900-2012

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

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

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

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

¹⁰ https://doi.org/10.1007/978-3-662-04956-3_39

Chcemy lepszych prognoz? *Dane, dane i jeszcze raz dane!*



Dot. Possessed Photography on Unsplash

Podczas gdy Elon Musk szykuje się do kolonizacji kosmosu, jego kuzyn Peter Rive inwestuje w Sofar Ocean, kolejną firmę odważnie wchodzącą na rynek prognozowania i modelowania pogody. 18 grudnia 2020 roku Tim Janssen, CEO Sofar Ocean, poinformował o zakończeniu pierwszego etapu prac związanych z rozmieszczeniem czujników pomiarowych. Ponad 1000 tanich, zdalnie sterowanych boi dostarcza w czasie rzeczywistym informacji o falowaniu, wietrze, temperaturze i prądach oceanicznych. Z danych tych korzysta m.in. Światowa Organizacja Meteorologiczna, a amerykańska NOAA z coraz większą uwagą przygląda się pogodowym platformom z sektora prywatnego. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej szykuje się do uruchomienia społecznej sieci meteorologów i hydrologów. To współczesny wyścig po dane.

Sofar Ocean to firma produkująca instrumenty do obserwacji i pomiarów danych oceanicznych, znana jako Spotter. Powstała w 2019 roku w wyniku fuzji OpenROV - podwodnego producenta dronów - i Spoondrif, pozyskując w ten sposób dofinansowanie o łącznej wartości 7 milionów dolarów. Udziałowcem są m.in. Peter Rive, współzałożyciel Solar City i kuzyn CEO Tesli, Elona Muska, a także dwie firmy venture capital. W grudniu 2020 roku dyrekcja Sofar Ocean ogłosiła, że jej system pomiarowo-obszaryjny pozwala na pozyskiwanie danych z połowy powierzchni światowego oceanu, a do końca 2021 roku sieć obejmie wszystkie oceany.

Sieć Sofar Ocean oparta jest na ponad tysiącu tanich, zdalnie sterowanych boi, dryfujących zarówno w strefie przybrzeżnej, jak i na otwartym oceanie. Dane z czujników są przekazywane do dedykowanego morskiego modelu prognozowania pogody, skąd mogą być pobierane i wykorzystywane przez klienta. Każda boja dostarcza dane w czasie rzeczywistym i może być szybko wodowana i wciągana, np. do serwisowania, z pokładu statku. Wykorzystując własne dane, Sofar wdrożył operacyjną usługę wyznaczania tras statków, która dostarcza informacji o zmianach warunków pogodowych na morzu. Obecnie głównym klientem firmy jest Berge Bulk z Singapuru, jedno z największych na świecie przedsiębiorstw żeglugowych, posiadające flotą 70 statków o łącznym tonażu ponad 13 milionów DWT. Zdaniem Jamesa Marshalla, dyrektora generalnego Berge Bulk: „...Rzetelne i szybko dostępne dane pogodowe pozwalają nam optymalnie zaplanować trasy dostaw, dzięki czemu zmniejszyliśmy zużycie paliwa i ograniczyliśmy emisje gazów cieplarnia-

nych. Ograniczamy również ryzyko wypadków związanych ze sztormami. Dzięki współpracy z Sofar Ocean spodziewamy się, że do 2025 roku osiągniemy jako pierwszy spedytora na świecie neutralność węglową”.

Z kolei Tim Janssen, CEO Sofar Ocean, uważa że objęcie siecią pomiarowo-obszaryjną wszystkich mórz i oceanów pozwoli nie tylko na zwiększenie bezpieczeństwa żeglugi, ale również dostarczy danych dla klimatologów badających globalne ocieplenie. Obecnie firma współpracuje z platformą <https://aqualink.org/> zajmującą się monitorowaniem raf koralowych. System pozwala zidentyfikować obszary podatne na blaknięcie koralowców w wyniku stresu cieplnego spowodowanego nagrzewaniem się wód oceanicznych. To kolejny przykład, że sektor prywatny ma coraz więcej do powiedzenia w kwestii badania, monitorowania i informowania o zmianach zachodzących na Ziemi.

System Sofar Ocean nie jest doskonały i znacznie mniej zaawansowany niż np. sieć Narodowej Administracji Oceanicznej i Atmosferycznej (NOAA). Mimo to pokazuje, że sektor prywatny jest w stanie skutecznie gromadzić dane pomiarowe - zarówno meteorologiczne, jak i hydrologiczne - oraz przetwarzać i sprzedawać je klientom, w tym również agencjom rządowym. Z usług Sofar Ocean korzysta obecnie Agencja Zaawansowanych Projektów Badawczych w Obszarze Obronności DARPA, Światowa Organizacja Meteorologiczna WMO oraz blisko 70 uczelni z całego świata.

Rozwój sektora prywatnego to poważne wyzwanie dla narodowych służb pogodowych. National Weather Service i inne agencje coraz częściej i chętniej współpracują z firmami, aby uzyskać możliwie największą

ilość wiarygodnych danych po potencjalnie niższych kosztach. „Założyliśmy Sofar Ocean w przekonaniu, że wszelkie dane oceaniczne są wartościowe”. - tłumaczy Tim Janssen. - „Jeśli potwierdzimy, że jesteśmy w stanie pomóc branżom osiągać lepsze wyniki, pozwalając im oszczędzać pieniądze i gromadzić więcej danych o oceanach, to podejście do systemów pomiarowo-obszaryjnych zasadniczo się zmieni. Rozproszone sieci czujników na dużą skalę już zrewolucjonizowały badania na lądzie i w kosmosie. Teraz przenosimy go do oceanów świata”.

Prognozowanie pogody w XXI wieku jest szybkie i coraz bardziej precyzyjne. Niemniej odbiorcy oczekują, że jakość tych informacji będzie jeszcze lepsza, ponieważ dobra prognoza pozwala redukować ryzyko i podejmować świadome decyzje. Społeczeństwo, biznes i instytucje publiczne coraz częściej i chętniej opierają swoje działania na narzędziach GIS i modelowania matematycznego. Rozumiemy te zmiany i widzimy jak konkurencyjny staje się rynek prognoz.

Skuteczność przewidywania pogody zależy od kilku składowych: jakości modeli numerycznych, mocy obliczeniowej komputerów oraz ilości i jakości danych. Dlatego Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej stawia na rozwój tych obszarów i nawiązuje współpracę z innymi ośrodkami badawczymi i obliczeniowymi w Polsce i zagranicą. Klimat, pogoda, zjawiska ekstremalne - to główne czynniki, które w najbliższych dekadach będą kształtować światowe trendy w gospodarce i decydować o jakości życia na „niebieskiej” planecie. ◀

<https://www.sofaroccean.com>

W poszukiwaniu życia. Mars, Wenus i ziemskie modele klimatyczne

Mariusz Figurski | IMGW-PIB/Centrum Modelowania Meteorologicznego

Pierwsze próby wykorzystania modeli do symulowania zjawisk atmosferycznych na innych planetach Układu Słonecznego pojawiły się pod koniec lat 90.

Obiektem, który szczególnie interesował badaczy był Mars. Badania te zbiegły się w czasie z serią bezzałogowych misji, których celem było wyjaśnienie tajemnic czerwonej planety. Modele klimatyczno-prognostyczne szybko stały się cennym źródłem informacji dla zespołów planujących te skomplikowane i niebezpieczne programy kosmiczne. Zwieńczeniem tych sukcesów było rozwikłanie zagadki atmosfery Marsa. Dziś dzięki modelom klimatycznym uczeni odkrywają zagadki bliźniaczej planety Ziemi - Wenus.

Falowanie cyklonów. Podstawowym modelem wykorzystywanym do symulowaniu klimatu i warunków atmosferycznych na Marsie jest model MarsGCM. Opiera się on na prostych równaniach ruchu atmosfery, w których uwzględnia się procesy ogrzewania oraz chłodzenia powierzchni planety promieniowaniem słonecznym i podczerwonym. Założono w nim, że głównym składnikiem atmosfery Marsa jest dwutlenek węgla, który może skraplać się i uwalniać ciepło utajone. Jednymi z pierwszych eksperymentów opartych na modelu MarsGCM były symulacje wykonane dla okresów przesilenia letniego i równonocy jesiennej na półkuli południowej Marsa. W wyniku modelowania uzyskano obraz formowania się silnych zachodnich wiatrów strefowych na średnich i wysokich szerokościach geograficznych planety, wytwarzanych przez moment obrotowy siły Coriolisa. Symulacje wykazały również falowanie cyklonów na półkuli zimowej oraz cyrkulację południową przechodzącą przez równik, z silnym wiatrem wschodnim w po-

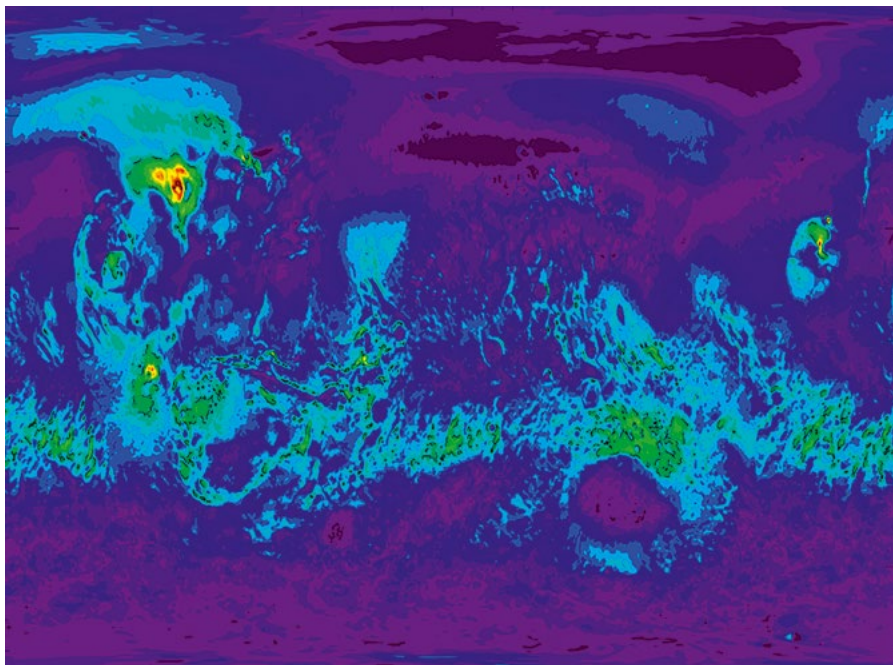
blizu równika i słabym wiatrem wschodnim na części hemisfery letniej. Co ciekawe, eksperymenty potwierdziły, że warunki panujące na Marsie w okresie równonocy są bardzo podobne do tych na Ziemi.

Zagadka znikającej atmosfery. Około 4 miliardów lat temu atmosfera Marsa była gęstsza i zawierała więcej tlenu niż ziemska. Dziś w jej składzie znajduje się głównie dwutlenek węgla oraz azot i argon. Wyjaśnienie tej zagadki stało się wielkim wyzwaniem dla świata nauki. Dzięki danym uzyskanym z sond krążących wokół Marsa oraz symulacjom klimatycznym badacze ustalili, że bezpośrednią przyczyną stopniowego odrywania się gazu od górnych warstw atmosfery planety jest obecność stałego strumienia wiatru słonecznego. W odróżnieniu od Ziemi Mars nie ma pola magnetycznego, które chroniłoby go przed niszczytelką oddziaływaniem promieniowania kosmicznego. W rezultacie strumień wiatru słonecznego tworzy wokół planety specyficzną magnetosferę. Wizualizacja symulacji komputerowych pokazuje, jak prądy elektryczne oplatają Marsa, przemieszczając się ze strony dziennej na nocną, i łączą górne warstwy atmosfery i magnetosferę z wiatrem słonecznym. Wzbudzone w ten sposób prądy przekształcają energię wiatru słonecznego w pole elektryczne i magnetyczne, które przyspieszają naładowane cząstki atmosfery Marsa do tego stopnia, że mogą pokonać przyciąganie grawitacyjne planety i odlecieć w przestrzeń międzyplanetarną. W ten właśnie sposób tlen „uwolnił się” z objęć czerwonej planety.





foto: Alexander Andrews on Unsplash



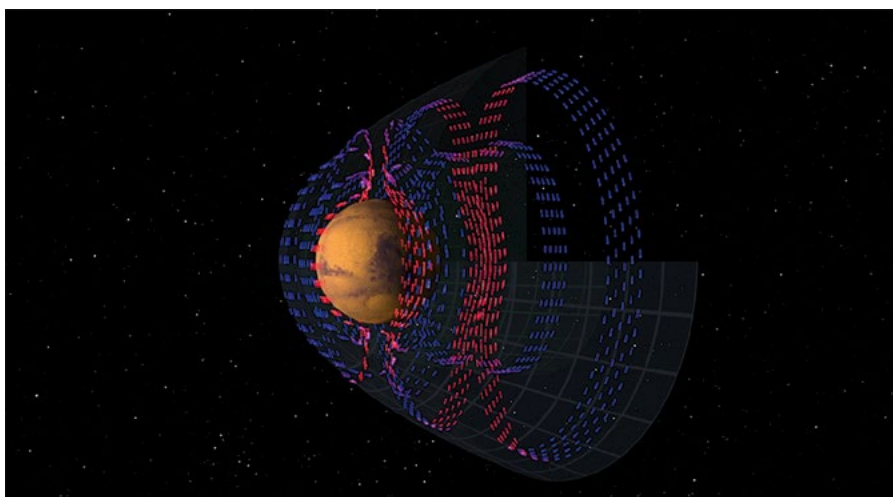
Globalna symulacja siły wiatru na powierzchni Marsa. Naukowcy wykorzystują te informacje do identyfikacji miejsc na powierzchni planety, w których prawdopodobnie unosi się pył i powstają burze piaskowe (źródło: NASA)



Model marsjańskiego łazika ESA według projektu z 2009 roku (źródło: www.mikepeel.net)

sWRF). Wyniki były porównywalne z danymi obserwacyjnymi z wcześniejszych misji marsjańskich. Symulacje wykonane modelem MarsWRF generalnie pokazały poprawne modelowanie obserwowanych profili, chociaż zauważono tendencję do niedoszacowania temperatury i przeszacowania gęstości pyłu dla wysokości powyżej 15 km nad powierzchnią Marsa. Ta ostatnia rozbieżność jest prawdopodobnie spowodowana nieprawidłowym odwzorowaniem pionowego profilu pyłu atmosferycznego, który silnie wpływa na szybkość ogrzewania, a tym samym na inne zmienne modelu. Mimo to wyniki były zadowalające i wykorzystano je w kolejnych etapach projektowania i planowania przyszłych misji na Marsa. Podobne testy wykonano dla kolejnych misji: Mars Exploration Rovers Opportunity and Spirit (2003), Phoenix (2007), Mars Science Laboratory Curiosity Rover (2011) oraz ExoMars (rozpoczęta w 2016).

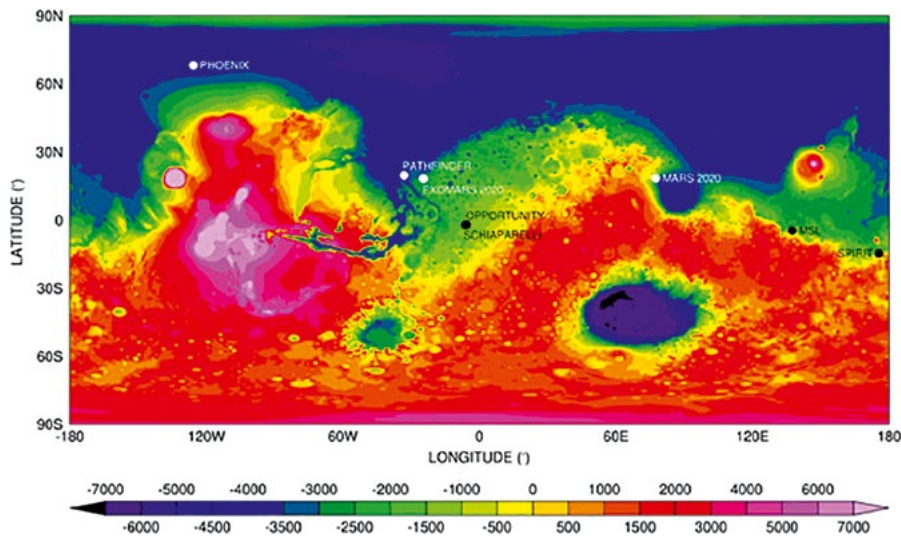
Potencjał mezoskalowego modelu MarsWRF w pełni ujawnił się podczas trzech kampanii badawczych realizowanych przez łazik Curiosity. Miejszem eksperymentu były okolice krateru Gale, gdzie wykonano pomiary z wykorzystaniem automatycznej stacji monitorowania środowiska. W trakcie misji zebrano bezcenne informacje o środowisku marsjańskim, morfologii, strukturze i składzie aktywnego pola wydmowego Marsa. Uzyskane dane pozwoliły na opracowanie wzoru cyrkulacji wiatrów wokół potężnej wydmy Aeolis Mons - w ciągu dnia wiatr wznosi się w kierunku szczytu wydmy z północnego zachodu, a w nocy opada w kierunku południowo-wschodnim. Między tymi okresami powietrze rotuje w dużej mierze zgodnie z ruchem wskazówek zegara, generując rano wiatry zachodnie, a wczesnym wieczorem - wschodnie.



Komputerowa symulacja prądu elektrycznego otaczającego Marsa (źródło: NASA/Goddard/MAVEN/CU Boulder/SVS/Cindy Starr)

Lotnisko na Marsie i prognozy pogody. Misje marsjańskie wymagają bardzo dokładnego zaplanowania każdego ich etapu, a szczególnie wejścia w atmosferę Marsa i lądowania. Jakikolwiek błąd przekreśla sukces wyprawy. Bardzo szybko okazało się, że modele klimatyczno-prognostyczne znajdują swoje zastosowanie również w tym obszarze. Podczas misji Pathfinder w 1996 roku wykonano

pierwsze symulacje przewidywanych profili zejścia do lądowania. W eksperymentach analizowane były dwa scenariusze propagacji pyłów w atmosferze Marsa. Badanie miały na celu oszacowanie dokładności prognozowanego rozkładu względem rzeczywistych pomiarów. Do modelowania użyto zunifikowanej wersji planetWRF, którą zmodyfikowano do warunków panujących na Marsie (Mar-



Topografia Marsa opracowana na podstawie danych MOLA (Mars Orbiter Laser Altimeter) z naniesionymi miejscami lądowisk sześciu minionych (Pathfinder, Spirit, Opportunity, Phoenix, MSL i Schiaparelli) i dwóch najnowszych (ExoMars 2020 i Mars 2020) misji na Marsa. Wysokości w metrach (źródło: NASA)



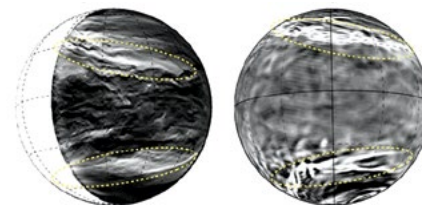
Wydma Aeolis Mons widziana przez kamerę łazika Curiosity z krateru Gale. Zdjęcie poddano balansowi bieli, kolory odpowiadają oświetleniu w warunkach ziemskich, a nie marsjańskich (źródło: NASA)

Ten rzeczywisty obraz jest zbieżny z prognozami modelu numerycznego MarsWRF, chociaż model zasymulował wiatry wznoszące z silniejszą składową wschodnią niż zachodnią. Prognozowana prędkość wiatru w ciągu dnia była mniejsza o około 2-4 m/s, model nie wykazał również momentu maksymalnej prędkości wiatru, która przypadała ok. godziny 9-tej. Dalsze analizy wykazały, że przyczyną tych różnic jest blokowanie północnych wiatrów przez wydmy. Do modelu wprowadzono stosowne poprawki, m.in. użyto pionowej siatki o niższej rozdzielczości, w wyniku czego uzyskano mniejszą względną siłę nocnych wiatrów i prognozę szczytu prędkości wiatru około godziny 9-tej.

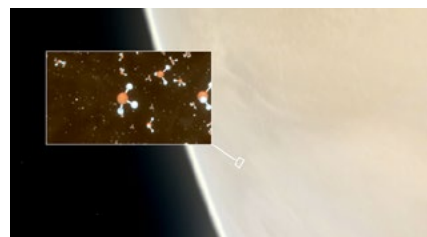
Model MarsWRF został również włączony do prognozowania warunków dla profili zejścia do lądowania w misjach marsjańskich ExoMars 2020¹ i Mars 2020². Symulacje wykonane dla dwóch lokalizacji lądowania łazików ExoMars wskazują na możliwe duże

zapylenie na wysokości 10-15 km oraz różnicę wiatrów: do +/- 30 m/s dla Oxia Planum (równina marsjańska w pobliżu równika) oraz +/- 15 m/s dla Jezero Crater (Krater Jezero znajduje się na granicy terenów wyżynnych i północnych nizin Marsa, na zachodnim obrzeżu Isidis Planitia). Model pozwolił również określić najlepszy czas do przeprowadzenia manewru zejścia z orbity i lądowania (między późnym rankiem i wczesnym popołudniem), kiedy prędkość wiatru i zmiana jego kierunku mają być najmniejsze.

Modele klimatyczno-prognostyczne odkrywają tajemnice Wenus. Po sukcesach w modelowaniu atmosfery Marsa naukowcy bardzo szybko skierowali swój wzrok na sąsiadującą z Ziemią, pokrytą nieprzezroczystą warstwą, dobrze odbijającą światło, chmur kwasu siarkowego, planetę Wenus. Pierwszym problemem, na który się natknęli było uzyskanie niezbędnych danych o jej atmosferze, by popraw-



Porównanie obrazów chmur Wenus uzyskanych w symulacji AFES-Venus (po prawej) oraz za pomocą kamery Akatsuki IR2 (po lewej). Jasne części pokazują miejsca, w których Wenus pokrywa cienką warstwę chmur – widać tu strukturę smug w skali planetarnej w obrębie żółtych, przerywanych linii. Ten charakterystyczny wzór, uzyskany w symulacjach i potwierdzony rzeczywistymi pomiarami, nazwano strukturą smugową w skali planetarnej, która nigdy nie była obserwowana na Ziemi. Badania wykazały, że zjawisko, podobnie jak na Ziemi, jest skutkiem działania polarnych prądów strumieniowych. Na średnich i wysokich szerokościach geograficznych naszej planety dynamika wiatrów tworzy pozatropikalne cyklony, systemy migracji wysokiego ciśnienia i polarne prądy strumieniowe. Symulacje potwierdziły, że ten sam mechanizm działa w warstwach chmur na Wenus. Udana symulacja struktury smugowej w skali planetarnej, utworzonej na podstawie modeli szeregu zjawisk zachodzących w atmosferze Wenus, jest dowodem na dokładność symulacji komputerowych i poprawności opisu poszczególnych zjawisk (źródło zdjęć: Nature Communications)



Wizualizacja budowy cząstek fosforowodoru (PH₃) wykrytych w atmosferze Wenus; w tle fragment zachmurzonej planety Wenus (źródło: ESO/M. Kornmesser/L. Calçada & NASA/JPL/Caltech).

nie ustalić warunki początkowe modeli. Informacje te zebrano w trakcie misji satelitarnych, których celem było osiągnięcie powierzchni planety lub orbitowanie wokół niej. Na ich podstawie naukowcy z Japonii opracowali numeryczny model prognozy pogody wenusjańskiej AFES-Venus. Udało

¹ Wspólna misja badawcza Europejskiej Agencji Kosmicznej i Rosyjskiej Agencji Kosmicznej Roskosmos, której zadaniem jest poszukiwanie śladów procesów biologicznych i geologicznych na Marsie.

² Misja badawcza na Marsa amerykańskiej agencji kosmicznej NASA rozpoczęta w lipcu 2020 roku.

Po ponad 20 latach od pierwszych prób wykorzystania modeli klimatyczno-prognostycznych do badania atmosfery Marsa i Wenus, nasza wiedza o wszechświecie jest znacznie większa. Odpowiedzieliśmy sobie na wiele trudnych pytań, lepiej rozumiemy też procesy wpływające na formowanie się planet. Dzięki symulacjom komputerowym, planowanie i realizacja misji kosmicznych stało się znacznie sprawniejsze i bardziej przewidywalne. A interdyscyplinarne podejście do eksploracji kosmosu, oparte m.in. na takich dziedzinach nauki jak astrofizyka, planetologia, nauki o Ziemi i heliofizyka, na nowo budzi marzenia o znalezieniu, gdzieś tam we wszechświecie, Świętego Grala astronomii – nadającej się do zamieszkania planety, podobnej do naszego globu.

się odtworzyć m.in. wiatry super-rotacyjne i struktury zmian temperatury w okolicach podbiegunowych atmosfery Wenus. Niestety brak wiarygodnych danych obserwacyjnych utrudnia potwierdzenie dokładności uzyskanych wyników. Z drugiej strony symulacje komputerowe pogody na Wenus są bezcenne dla planowania przyszłych misji satelitarnych na tę planetę i zrozumienia jej natury.

W badaniach atmosfery Wenus, analogicznie jak dla Marsa, wykorzystano globalno-mezoskalowy model planetWRF, który został nazwany VenusWRF. Implementowano w nim geometryczno-fizyczne cechy planety oraz dotychczasowe badania pozyskane z sond wenusjańskich. Pierwsze badania obejmowały symulację globalnej cyrkulacji atmosfery z naciskiem na zrozumienie zjawiska superrotacji. Model wykorzystywał zlinearyzowane schematy wymuszania i rozpraszania z profilami temperatury obserwowanymi w atmosferze Wenus. Uzyskano obraz planety z zachodnimi wiatrami dominującymi na wszystkich modelowanych poziomach, z silną superrotacją równikową na wysokości około 70 km. Natomiast pola anomalii temperatury i wiatru południowego pokazały istnienie dużej pojedynczej komórki Hadleya. Obserwowane one są również na Ziemi, jako element tropikalnej cyrkulacji atmosferycznej. Dalsze symulacje wykazały również, że rozpędzanie superrotacji Wenus jest znacznie szybsze niż w przypadku Tytana, do analiz którego wykorzystano analogiczny model, lecz dopasowany do warunków największego księżyca Saturna. Kolejne modelowania wygenerowały, niestabilne barotropowo, prądy w atmosferze Wenus na średnich szerokościach geograficznych, które generują

fale przenoszące pęd na zachód w kierunku równika, co pozwala utrzymać tam wiatry superrotacyjne. Występuje również odwrócenie południowego gradientu temperatury w górnej atmosferze (przy 100 Pa), co pojawia się jako cecha tzw. „ciepłego bieguna”, która została zaobserwowana przez sondę Pioneer Venus. Przedstawione przykłady użycia symulacji numerycznych z wykorzystaniem modeli globalnych i mezoskalowych nie wyczerpują spektrum ich zastosowań w przypadku Wenus.

Nauka tu i teraz. Jak istotne są badania modelowe cyrkulacji atmosfery planet pokazują ostatnie doniesienia medialne. 14 września 2020 roku świat obiegła informacja, że międzynarodowy zespół badaczy odkrył w atmosferze Wenus fosforowodór (fosfiny). W komunikacie wydanym przez Europejskie Obserwatorium Południowe (ESO) oraz w artykule „Phosphine gas in the cloud decks of Venus”, opublikowanym w Nature Astronomy, można było przeczytać o intrygującym odkryciu biosygnatur wenusjańskiego życia. Sami autorzy zachowali dużą powściągliwość, tłumacząc, że potwierdzenie obecności żywych organizmów w chmurach Wenus wymaga bezpośrednich badań w atmosferze planety i nie może być już uznane za fakt. Fosforowodór (PH₃) jest dobrze znany na Ziemi - powszechnie wykorzystuje się go w walce ze szkodnikami niszczącymi uprawy, a w czasie I wojny światowej służył za chemiczny środek bojowy. Wenus i Ziemia nie są jedynymi planetami, na których występuje ta substancja. Wcześniej ustalono jej obecność w atmosferze Jowisza i Saturna.

Odkrycia PH₃ na Wenus dokonano przy użyciu James Clerk Maxwell Telescope (JCMT) na Hawajach, a potwierdzono za

pomocą sieci radioteleskopów Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA) w Chile. Na podstawie tych obserwacji ustalono, że fosforowodór występuje w wenusjańskich chmurach kwasu siarkowego w koncentracji 20 cząstek na miliard. Zanim opublikowano wyniki tego spektakularnego odkrycia, poprzedzono je szeregiem analiz, w których ważną rolę odegrał model atmosfery Wenus VIRA (Venus international reference model) - a dokładnie zmodyfikowany model drugiej generacji³. Poziom PH₃ w chmurach Wenus, ustalony zarówno w wyniku obserwacji, jak i modelowania atmosfery planety, jest dość duży i całkowicie nieoczekiwany - gaz ten bowiem jest bardzo podatny na rozpad pod wpływem promieniowania ultrafioletowego. To może sugerować, że na Wenus zachodzą jakieś nieznanne obecnie procesy odpowiadające za stały przyrost ilości fosforowodoru. NASA już ogłosiła wysłanie dwóch nowych misji: Deep Atmosphere Venus Investigation of Noble gas, Chemistry, Imaging Plus (DAVINCI+) oraz Venus Emissivity, Radio Science, InSAR, Topography, and Spectroscopy (VERITAS), których głównym celem będzie zbadanie tego fenomenu. Czy planowane wyprawy potwierdzą hipotezę o istnieniu życia biologicznego w chmurach Wenus? Na to pytanie przyjdzie jeszcze nam trochę poczekać. Pewni możemy być natomiast jednego - że podczas obu misji wykorzystane zostaną najnowsze symulacje modeli klimatyczno-prognostycznych.

IMGW-PIB na Marsie? Z dotychczasowych badań Marsa i Wenus wynika, że modele klimatyczno-prognostyczne stasowane na Ziemi z powodzeniem można adoptować do analiz scenariuszy klimatycznych innych planet, zarówno w przeszłości, jak i obecnie. To dzięki symulacjom numerycznym ustalono, że na Wenus prawdopodobnie istniał płytki ocean z wodą w stanie ciekłym, a temperatura jej powierzchni pozwalała na rozwój organizmów. W przypadku Marsa modele klimatyczne pozwoliły rozwiłkć zagadkę jego „znikającej” atmosfery. Odkryć tych nie dokonano by, dysponując jedynie danymi z sond kosmicznych. Z drugiej strony, to właśnie rzeczywiste obserwacje obu planet dostarczyły szereg niezbędnych informacji do prawidłowej walidacji modeli. ◀

³ Prototyp VIRA opracowano w latach 70. ubiegłego wieku na podstawie obserwacji astronomicznych i wyników z sond wenusjańskich penetrujących jej atmosferę, w tym z misji Venera, Pioneer Venus Orbiter oraz Venus Express. W kolejnych latach model został uzupełniony o nowe dane pomiarowe obejmujące: skład chemiczny, wiatry i turbulencje w różnych warstwach atmosfery, strukturę wiatrów termicznych i chmur.

Morze Bałtyckie

– *wrażliwy ekosystem,
o który musimy dbać*

Tamara Zalewska | IMGW-PIB/Centrum Badań i Rozwoju/Zakład Oceanografii i Monitoringu Bałtyku

Obszary wokół Bałtyku zamieszkuje ponad 85 mln ludzi. Na jego wodach odbywa się 15 proc. światowego transportu morskiego. W ostatnich latach obserwuje się intensyfikację wykorzystania tego stosunkowo niewielkiego śródlądowego morza. Na dnie układane są rurociągi i kable, powstają farmy wiatrowe, rozwija się turystyka i rekreacja. Nierozwiązanym problemem pozostają zalegające na dnie morza wraki oraz amunicja i broń chemiczna. Tymczasem specyficzna charakterystyka geograficzna, klimatologiczna i oceanograficzna decyduje o wyjątkowej wrażliwości Morza Bałtyckiego na różnego rodzaju presje związane z działalnością człowieka.

Morze Bałtyckie jest akwenem o powierzchni 415 tys. km² i niewielkiej w porównaniu z innymi obszarami morskimi i oceanicznymi głębokości - średnio 52 m (najniższym punktem jest Głębia Landsort w Basenie Gotlandzkim - 459 m). To jedno z najmłodszych mórz Oceanu Atlantyckiego. Zasolenie w jego centralnych obszarach kształtuje się na poziomie 6-8 promili. Dla porównania wody Oceanu Atlantyckiego charakteryzują się średnim zasoleniem na poziomie 35 promili. Dlatego bardzo istotne znaczenie dla prawidłowego rozwoju życia w Morzu Bałtyckim ma dopływ silnie zasolonych i dobrze natlenionych wód oceanicznych poprzez Cieśniny Duńskie. Proces ten jednak zachodzi nieregularnie, a najbardziej znaczące duże wlewy w znacznej mierze zależą od cyrkulacji atmosferycznej.

Czy Bałtyk stanie się „pustynią”? Jednym z najważniejszych zagrożeń dla stanu środowiska Morza Bałtyckiego jest poziom stężenia dwóch pierwiastków biogennych - azotu i fosforu. Zbyt duża ich ilość powoduje intensyfikację zakwitów, a to z kolei bardzo pogarsza warunki życia innych organizmów roślinnych i zwierzęcych, głównie poprzez zredukowanie przezroczystości wody i zużycie tlenu. Azot i fosfor trafia do Morza Bałtyckiego głównie za sprawą wpływających do niego wód rzecznych oraz z opadami atmosferycznymi. Najważniejszymi źródłami zanieczyszczeń są rolnictwo, przemysł i ścieki komunalne. Największy wzrost dopływu pierwiastków biogennych do Bałtyku miał miejsce w latach 1950-1980. Dzięki działaniom podjętym przez wspólnotę krajów nadbałtyckim udało się te ilości znacznie zredukować. W 2014 roku z obszaru Polski, wraz z wodami Wisły, wprowadzono do Morza Bałtyckiego prawie 65 tys. ton azotu całkowitego i prawie 8 tys. ton fosforu całkowitego¹. W 2018 roku ładunki te zostały zredukowane odpowiednio do 54 tys. ton i 3 tys. ton². Mimo to stan środowiska południowego Bałtyku w zakresie substancji biogennych pozostaje zły i konieczne są dalsze działania ograniczające dopływ zanieczyszczeń. Jeśli nie dojdzie do poprawy sytuacji, procesy eutrofizacji będą postępować i spowodują wzrost tzw. martwych stref, które obecnie zajmują około 15 proc. powierzchni Morza Bałtyckiego.



Groźne metale i farmaceutyki. Kolejnym czynnikiem stanowiącym istotne zagrożenie dla ekosystemu morskiego Bałtyku są substancje niebezpieczne. Produkcja niektórych z nich, np. pestycydów i związków tributyllocyny stosowanych jako dodatki do farb, została zakazana wiele lat temu, ale w dalszym ciągu są one obecne w środowisku morskim. Na szczególną uwagę zasłu-

guje nowy typ zanieczyszczeń, a mianowicie powszechnie stosowane farmaceutyki, w tym środki hormonalne wprowadzane do morza głównie z wodami z oczyszczalni ścieków. Związki te są w Polsce objęte obowiązkowym monitoringiem - wciąż jednak niewiele wiemy o ich oddziaływaniu na organizmy morskie. Dobrze rozpoznane są natomiast zanieczyszczenia środowiska morskiego

¹ State of the Baltic Sea - Second HELCOM holistic assessment 2011-2016, Baltic Sea Environment Proceedings No. 155; Input of nutrients by the seven biggest rivers in the Baltic Sea region, Baltic Sea Environment Proceedings No. 161.

² Badania własne.

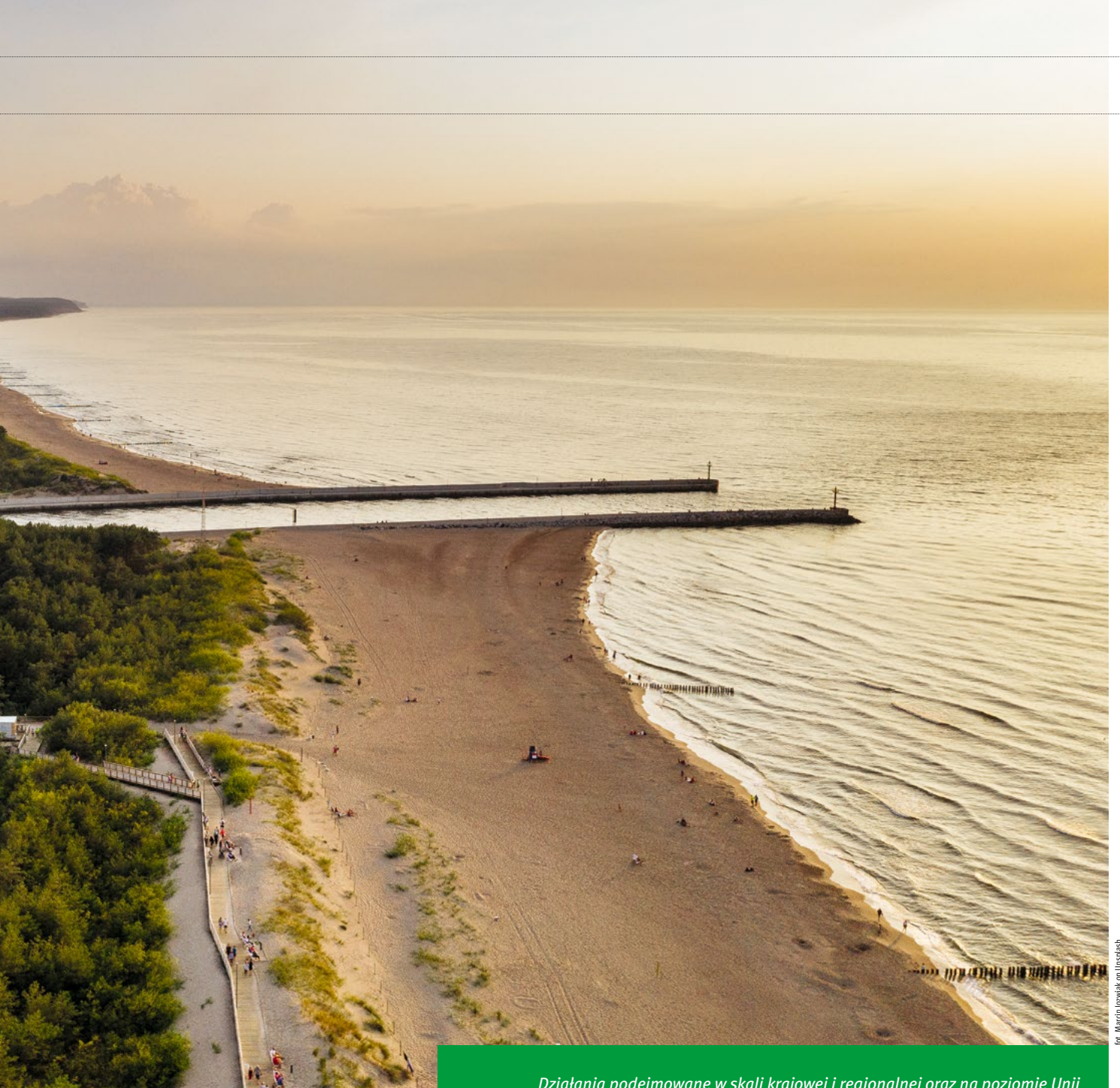


foto: Marcin Lewiński on Unsplash

metalami ciężkimi. Badania kadmu i ołowiu w wątrobach śledzi oraz rtęci w mięśniach śledzi przeprowadzone w 2018 roku wykazały przekroczenia stężeń tych elementów w stosunku do wartości uznawanych jako bezpieczne dla środowiska. Jednocześnie są to wielkości dopuszczalne dla żywności³, co oznacza, że spożywanie ryb z Morza Bałtyckiego nie wiąże się z żadnym zagrożeniem.

Działania podejmowane w skali krajowej i regionalnej oraz na poziomie Unii Europejskiej znacznie poprawiły jakość środowiska morskiego Bałtyku. Udało się również zmniejszyć ilość zanieczyszczeń zrzucanych bezpośrednio do morza. Niemniej wiele problemów pozostało nierozwiązanych, a intensyfikacja działalności człowieka na tym akwenie oznacza, że presje będą rosły. Utrzymanie w dobrej kondycji tak wrażliwego ekosystemu, jakim jest Morze Bałtyckie, wymaga ogromnego wysiłku i zdecydowanych działań podejmowanych przez organy i instytucje odpowiedzialne za zarządzanie i ochronę obszarów morskich. Pamiętajmy o tym podczas tegorocznego wypoczynku na pięknych bałtyckich plażach, bo każdy z nas może w znaczący sposób przyczynić się do ochrony naszego morza.

³ Ocena stanu środowiska polskich obszarów morskich Bałtyku na podstawie danych monitoringowych z roku 2018 na tle dziesięciolecia 2008-2017, IOŚ, Warszawa.

W ostatnich latach coraz poważniejszym problemem staje się spadek liczebności ryb w Bałtyku oraz ich pogarszająca się kondycja. Dotychczas nie udało się w sposób jednoznaczny wskazać przyczyn takiego stanu¹. Potencjalnie może mieć to związek z pogarszającymi się warunkami tlenowymi, chorobami, zmianami w strukturach troficznych lub obecnością substancji niebezpiecznych. Najgorsza sytuacja panuje w wodach Zatoki Puckiej. Dlatego w 2019 roku rozpoczęto realizację założeń ujętych w *Programie badań środowiska morskiego Zatoki Puckiej 2019-2021*², którego celem jest zidentyfikowanie przyczyn pogarszającego się stanu tego ekosystemu.

Bałtyk już bez skażenia promieniotwórczego. W wyniku awarii elektrowni w Czarnobylu w 1986 roku do Morza Bałtyckiego dostała się znaczna ilość materiału radioaktywnego. Największy udział w tym skażeniu miały izotopy cezu (¹³⁷Cs) i stronu (⁹⁰Sr). Na przestrzeni lat ich stężenie w wodzie morskiej i w rybach sukcesywnie spadało, głównie w wyniku rozpadu promieniotwórczego, wymiany wód z Morzem Północnym oraz procesów bioakumulacji i sedimentacji. Obecnie oba pierwiastki występują na poziomach zbliżonych do tych przed awarią. Oznacza to, że spożywanie ryb bałtyckich nie wiąże się z żadnym zagrożeniem dla człowieka, a promieniowanie jonizujące nie wpływa negatywnie na rozwój organizmów morskich.

Sinice - problem dla turystyki. Azot i fosfor, podobnie jak ma to miejsce w warunkach lądowych, działają w środowisku morskich jak nawóz. Ich obecność prowadzi do wzrostu liczebności (zakwitów) mikroskopijnych organizmów roślinnych. Wyróżnia się wiele gatunków specyficznych dla Bałtyku, jednak za najbardziej szkodliwe uznaje się sinice, zwłaszcza niektóre ich gatunki charakteryzujące się toksycznością. Najbardziej rozpowszechnionym gatunkiem sinic jest *Nodularia spumigena* wytwarzająca związki z grupy hepatoksyn (nodularyna), który może mieć działanie rakotwórcze. Badania prowadzone w latach 2009-2018 nie wykazały żadnych trendów w liczebności tego gatunku w Morzu Bałtyckim. Związane jest to przede wszystkim z czynnikami meteorologicznymi. Oprócz azotu i fosforu - elementów kluczowych dla rozwoju sinic - ich liczeb-

ność zależy także od warunków termicznych, usłonecznienia, prędkości i kierunku wiatru, falowania oraz mieszania mas wód morskich. Z tego względu prognozowanie pojawiania się tych organizmów jest niezwykle trudne. Wielkość i przebieg zakwitów zmieniają się w zależności od uwarunkowań termicznych. Aż 85 proc. całkowitej liczebności *N. spumigena* w ciągu roku przypada na sierpień, po 5% na czerwiec i lipiec - a więc miesiące, kiedy temperatura wody powierzchniowej w Bałtyku jest najwyższa. Wzrost temperatury globalnej i ogrzewanie się mórz i oceanów będzie więc czynnikiem sprzyjającym rozwojowi sinic w przyszłości.

Wszegobecny plastik. Odpady stałe są obecnie uznawane za główne zagrożenie dla obszarów oceanicznych i morskich. W Polsce systematyczne badania w tym zakresie zapoczątkowano w 2015 roku. Obejmują one określenie liczebności odpadów na plażach, liczebność odpadów zdeponowanych na dnie oraz liczby mikrocząstek plastikowych w wodzie morskiej i odpadach dennych. Badania z 2018 roku³, przeprowadzone na 15 odcinkach o długości 1 km wzdłuż całego Wybrzeża, wykazały że najbardziej liczną kategorią odpadów były plastiki. Średnia częstość ich występowania wyniosła 25,2 odpadów na 100 m. Odpady metalowe występowały średnio w liczbie 2,7/100 m; odpady z kategorii drewno przetworzone, szkło/ceramika, papier/karton występowały w liczbie około 1/100 m; odpady z kategorii ubrania/tekstylija i guma pojawiały się rzadziej niż 1/100 m. Oznacza to, że polskie plaże nie należą do najbardziej zanieczyszczonych w Europie. Zawdzięczamy to głównie władzom gmin nadmorskich, które chcąc zwiększyć atrakcyjność turystyczną kurortów, pilnie wypełniają swój obowiązek ustawowy i prowadzą regularne sprzątanie plaż.

Bałtyk w obliczu zmiany klimatu. Wzrost średniej globalnej temperatury powietrza oraz ocieplanie się wód oceanicznych mają ogromne znaczenie dla przebiegu procesów biologicznych i biogeochemicznych w morzach oraz tworzenia się pokrywy lodowej. W przypadku Morza Bałtyckiego największym zagrożeniem jest możliwość zakłócenia cyrkulacji wód i w następstwie zmiana częstości wlewów z Morza Północnego, które mają kluczowe

znaczenie dla odnawiania ekosystemu Bałtyku. Nie bez znaczenia jest również zagrożenie wynikające ze wzrostu poziomu morza, choć trzeba przyznać, że w rejonie południowego Bałtyku są to zmiany na razie niewielkie. Coraz większym problemem stają się zjawiska ekstremalne, w tym sztormy, które pojawiają się częściej i mają gwałtowniejszy przebieg. Powodują one znaczne straty środowiskowe oraz utrudniają prowadzenie działalności człowieka. Mogą też zwiększać ryzyko uwolnienia do Bałtyku zanieczyszczeń i niebezpiecznych substancji, np. w wyniku awarii infrastruktury nadmorskiej.

Monitorowanie Bałtyku i międzynarodowa odpowiedzialność. O ile administracyjnie Morze Bałtyckie podzielone jest na obszary pozostające pod jurysdykcją poszczególnych państw, o tyle, jeśli wziąć pod uwagę aspekty środowiska, obszarom morskim nie da się narzucić granic. Dlatego ogromnie ważną jest współpraca pomiędzy krajami mającymi dostęp do danego akwenu. W przypadku Morza Bałtyckiego koordynacją tych działań zajmuje się Komisja Ochrony Środowiska Morskiego Bałtyku - HELCOM. Komisja powstała jako organ wykonawczy Konwencji o ochronie środowiska morskiego obszaru Morza Bałtyckiego z 22 marca 1974 roku. Wśród sygnatariuszy konwencji helsińskiej jest dziewięć krajów nadbałtyckich, w tym Polska, oraz Wspólnota Europejska. W ramach HELCOM są prowadzone badania i oceny stanu środowiska naturalnego Morza Bałtyckiego oraz wydawane zalecenia mające na celu ochronę tego obszaru.

W Polsce monitoring środowiska Morza Bałtyckiego koordynuje Główny Inspektorat Środowiska w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska. Sposób i zakres prowadzonych badań reguluje Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/56/WE z dnia 17 czerwca 2008 roku ustanawiająca ramy działań Wspólnoty w dziedzinie polityki środowiska morskiego (dyrektywa ramowa w sprawie strategii morskiej). Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej - Państwowy Instytut Badawczy od wielu lat współuczestniczy w monitoringu Morza Bałtyckiego, prowadząc badania i pomiary m.in. z zakresu elementów fizykochemicznych, chemicznych oraz biologicznych, takich jak fitoplankton, zooplankton, rośliny morskie (algi i rośliny naczyniowe), organizmy fauny morskiej. ◀

¹ Regularne badania zasobów ryb i ich stanu są prowadzone przez Morski Instytut Rybacki - Państwowy Instytut Badawczy.
² <http://zatakapucka.mirgdynia.pl/>



Farmaceutyki w wodzie

Joanna Kopczyńska | Zastępca Dyrektora IMGW-PIB

Badania przeprowadzone w ostatnich latach w USA, Kanadzie, Brazylii oraz w krajach europejskich wskazują, że w środowisku wodnym pojawia się coraz więcej związków chemicznych pochodzenia medycznego. Tymczasem długotrwała ekspozycja nawet na niskie stężenia leków może wpływać toksycznie na cały ekosystem, wywołać zaburzenia endokrynologiczne u organizmów żywych i zwiększać odporność drobnoustrojów na antybiotyki. związane z działalnością człowieka.





Temat jakości wód powierzchniowych jest chętnie podejmowany zarówno przez media, jak i społeczeństwo obywatelskie. Często cytowana jest ocena stanu wód, stosowana w planach gospodarowania wodami w dorzeczach, rzadko jednak towarzyszy temu komentarz jakie są przyczyny takiego, a nie innego zanieczyszczenia. Ocena wód w Polsce, podobnie jak w innych krajach członkowskich UE, obejmuje ponad 100 wskaźników. Jest niezwykle skomplikowana, a na jej ostateczny wynik wpływ może mieć jedna lub kilka substancji, które nieznacznie przekroczą dopuszczalne normy. Przede wszystkim jednak ocenie podlega biologia wód i to właśnie jakość życia biologicznego, charakterystycznego dla danego habitatu, będzie świadczyć o jego stanie: czy będzie on dobry czy zły. Najważniejszym obecnie dokumentem określającym politykę UE w zakresie jakości wód jest Ramowa Dyrektywa Wodna, która nakłada na kraje członkowskie obowiązek dążenia do osiągnięcia jak najlepszego stanu tych ekosystemów. Tymczasem zapominamy, że dbanie o jakość zasobów wodnych, to zadanie każdego z nas, ponieważ nasz styl życia i zachowanie mają naprawdę duży wpływ na to, co później znajdzie się w wodzie.

Skąd się biorą? Od kilku lat zarówno Światowa Organizacja Zdrowia (WHO), jak i Komisja Europejska oraz OECD podnoszą temat obecności farmaceutyków w wodzie. Temat ten pojawił się stosunkowo niedawno, ale będzie nabierał coraz większego znaczenia. Niewątpliwie za obecność tych substancji w wodzie jest odpowiedzialny człowiek. W starzejących się społeczeństwach europejskich problem będzie narastał i może mieć negatywne skutki dla całego życia biologicznego w wodach. Farmaceutyki przedostają się do wód na kilka sposobów. Przede wszystkim ze ściekami komunalnymi, które zawierają strawione przez człowieka resztki tych substancji, ale także leki wyrzucone do toalety lub zlewu (pamiętajmy że przeterminowane medykamenty należy zwrócić do apteki, aby mogły być bezpiecznie zniszczone). Kolejne źródło stanowią ścieki pochodzenia rolniczego (gnojówka, gnojowica) oraz z akwakultury, czyli dużych gospodarstw rybackich, gdzie leki są dodawane do paszy dla ryb. W Europie głównym źródłem przenikania leków do wód jest ich stosowanie, ale np. w Chinach czy Indiach największym „dostarczycielem” zanieczyszczeń są firmy produkujące leki i ich składniki.

Jak długo są „aktywne”? Farmaceutyki po przejściu przez organizm człowieka lub zwierzęcia nadal zawierają substancje czynne, w których koncentracja niektórych składników może sięgać nawet 90%. To oznacza, że do środowiska przedostają się związki chemiczne, które wciąż „działają”. Co prawda środki farmaceutyczne, co do zasady, są tak projektowane, aby były skuteczne już w niskich stężeniach i mogły być tolerowane przez człowieka i zwierzęta wystarczająco długo dla osiągnięcia efektu terapeutycznego. Czyli na poziomie jednego organizmu sprawa wygląda bardzo niewinnie. Pomyślmy jednak o sytuacji, kiedy jakiś lek jest zażywany przez setki tysięcy ludzi bądź stosowany na szeroką skalę w hodowli zwierząt. Niestety oczyszczalnie ścieków w Polsce nie są w stanie usunąć tych substancji, chociaż istnieją już technologie na to pozwalające. Ze względu na koszty rozwiązania te są na razie tylko w zasięgu najbogatszych krajów. Dlatego warto, abyśmy sami zaczęli myśleć nad tym, jak ograniczyć dystrybucję farmaceutyków do wody.

Skutki. Głównym zagrożeniem dla środowiska jest wysoka koncentracja związków pochodzenia medycznego i utrzymujący się czynny charakter leku. Miejmy też na uwadze, że np. w dużych miastach substancje te uwalniają się w dużych ilościach, stale, przez cały rok. Badania prowadzone w wielu krajach wykazały bezpośredni wpływ farmaceutyków na dziką florę i faunę. Niektóre substancje, nawet w niskim stężeniu, powodują znaczne uszkodzenia w funkcjonowaniu organizmów. Jedną z nich jest estrogen zawarty w lekach hormonalnych (antykontracepcja, hormonalna terapia zastępcza), który przedostając się do wód negatywnie wpływa na osobniki płci męskiej w narybku, który pod jego wpływem feminizuje się. Istnieją również badania wskazujące, że ryby narażone na substancje pochodzące z antydepresantów zmieniają swoje zachowanie, co wpływa na ich zdolność przeżycia.

O ile leki hormonalne są wydawane na receptę i pod ścisłą kontrolą lekarską, o tyle istnieje ogromna grupa środków leczniczych dostępnych „od ręki”, które również są szkodliwe. Przykładem takiej substancji jest diklofenak, jedna z najpopularniejszych substancji przeciwbólowych, szeroko stosowana nie tylko w tabletkach i dożylnie, ale także w maściach przeciwzapalnych. Sprzedaż tego typu leków wzrasta od lat, ponieważ są one stosunkowo tanie i powszechnie dostępne. Badania potwierdziły obecność diklofenaku w tkankach ryb i wydr. Inną groźną substancją okazała się inwermektyna, lek przeciw pasożytniczy i przeciwbaczozy, a także przeciwzapalny, któremu, przynajmniej częściowo, przypisywany jest spadek populacji chrząszczy gnilnych/gnojowych.

Mimo że obecne stężenia farmaceutyków w wodzie nie są groźne, to nie wiemy jakie mogą być tego długofalowe skutki w przyszłości, zwłaszcza jeśli weźmiemy pod uwagę postępującą kumulację zanieczyszczeń oraz ich mieszanie się. Nie mamy również wiedzy o skali problemu w większych skupiskach miejskich, bo monitoring pod tym kątem jest stosunkowo rzadko prowadzony. Należy pamiętać, że obok leków, występują w wodzie także niewielkie stężenia związków zaburzających gospodarkę hormonalną, które nie będąc lekami imitują ich działanie - jest to np. bisfenol A stosowany do produkcji tworzyw sztucznych. Substancja ta działa podobnie jak hormony, może być przyczyną powstawania guzów nowotworowych, jest także niebezpieczna dla płodów. Szerokie stosowanie antybiotyków, może przez ich obecność w wodzie przyczynić się do groźnej dla ludzi antybiotykoporności, czyli narastającego zjawiska braku wrażliwości drobnoustrojów chorobotwórczych na antybiotyki, co ogranicza możliwości leczenia przez ciągle zmniejszanie się liczby skutecznych antybiotyków.

Możliwe rozwiązania. W 2019 roku Komisja Europejska opublikowała dokument, w którym przedstawiła strategię Unii Europejskiej wobec problemu obecności farmaceutyków w wodzie. W najbliższych latach działania komisji i państw członkowskich mają się skoncentrować na badaniu skali zagrożenia i uzupełnieniu luk w wiedzy (dot. przede wszystkim wpływu mieszanek różnych substancji czynnych). Jednocześnie komisja będzie wspierać rozwiązania pozwalające produkować leki mniej szkodliwe dla środowiska, poprawiające jakość oczyszczania ścieków, a także propagować działania związane z zapobieganiem marnotrawstwu leków i poprawą zarządzania odpadami.

A jak wygląda sytuacja w Polsce? W latach 2016-2017 w ramach państwowego monitoringu środowiska wykonano badania dotyczące części antybiotyków, leków hormonalnych, a także diklofenaku. Większość tych substancji była obecna w wodzie (15 punktów pomiarowo-kontrolnych), jednak w bardzo niskim stężeniu. Największą koncentrację zanotowano w przypadku diklofenaku i kларыtromycyny - popularnego antybiotyku stosowanego w leczeniu zakażeń górnych i dolnych dróg oddechowych, zapalenia ucha, zakażeń skóry i tkanek miękkich, zakażeń stomatologicznych. Badania w Polsce trwają, jest więc szansa na to, że za jakiś czas będziemy wiedzieć więcej o tych niebezpiecznych substancjach. Tymczasem warto sprawdzić czy nie mamy w domu przeterminowanych leków - odnieśmy do apteki - a jeśli używamy maści z diklofenakiem, to spróbujmy chociaż trochę zmniejszyć stosowane dawki. <

foto: Bluewater Sweden on Unsplash







for: Jon Tibby on Unsplash

IMGW-PIB – myślimy globalnie, działamy lokalnie. *Współpraca z samorządami to priorytet*

Małgorzata Gori, Rafał Stepnowski | IMGW-PIB

Do najważniejszych zadań IMGW-PIB należy monitorowanie procesów fizycznych zachodzących w atmosferze i hydrosferze oraz prognozowanie i wczesne ostrzeżenie przed zjawiskami i katastrofami naturalnymi. Działania te mają na celu przede wszystkim ochronę społeczeństwa i gospodarki przed poważnymi stratami. Ponieważ jednak IMGW-PIB nie ma kompetencji do zarządzania działaniami kryzysowymi w terenie, konieczna jest ścisła współpraca w tym zakresie z odpowiednimi organami samorządowymi oraz rządowymi. Bardzo dobre rozwiązania w tym zakresie wdrożono w województwie małopolskim.

Zarządzanie kryzysowe to rodzaj działalności organów administracji publicznej, mającej na celu kierowanie bezpieczeństwem narodowym. Głównym celem jest zapobieganie sytuacjom kryzysowym, przejmowanie nad nimi kontroli w drodze zaplanowanych działań, reagowanie w przypadku wystąpienia sytuacji kryzysowych, usuwaniu ich skutków oraz odtwarzaniu zasobów i infrastruktury krytycznej. Działania te są realizowane w różnym zakresie przez agendy administracji rządowej oraz samorząd regionalny na poziomie wojewódzkim, powiatowym i gminnym. Wsparcie ze strony IMGW-PIB kierowane jest głównie do władz wojewódzkich, chociaż zdarza się również, że Instytut wspomaga działania w powiatach i gminach.

Współpracę IMGW-PIB z wojewódzkimi centrami zarządzania kryzysowego określa Rozporządzenie Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej z dnia 28 czerwca 2019 r. w sprawie ostrzeżeń, prognoz, komunikatów, biuletynów i roczników państwowej służby hydrologiczno-meteorologicznej i państwowej służby hydrogeologicznej. W dokumencie m.in. wymienia się produkty, jakie Instytut jest zobowiązany przekazywać w określonym terminie dla organów zarządzających.

W IMGW-PIB funkcjonują odpowiednie komórki odpowiedzialne za wsparcie określonych jednostek państwowych w zakresie niebezpieczeństw związanych z aktualną sytuacją hydrologiczną. Kontakt z organami zarządzania kryzysowego na poziomie krajowym (w tym z Rządowym Centrum Bezpieczeństwa) utrzymuje Centralne Biuro Hydrologii Operacyjnej w Warszawie. Natomiast na poziomie wojewódzkim funkcjonują Wydziały Prognoz i Opracowań Hydrologicznych.

Tryb współpracy. Zakres informacji oraz sposób komunikacji jest uzależniony od bieżącej sytuacji. Jeżeli w danym regionie nie występuje zagrożenie hydrologiczne, wojewódzkie centra zarządzania kryzysowego codziennie otrzymują od IMGW-PIB standardowe informacje o warunkach hydrologicznych. Są to m.in.: komunikaty o stanach wody w rzekach oraz opadach średnich i maksymalnych za ostatnią dobę (w podziale na zlewnie), a także biuletyn hydrologiczny, w którym znajdują się bardzo szczegółowe dane hydro i meteo. Znacznie rozszerzony zestaw danych kierowany jest do sztabów kryzysowych w czasie zagrożenia hydrologicznego.

• Informacja o Niebezpiecznym Zjawisku/Ostrzeżenie hydrologiczne

Wydawane są na poszczególne zlewnie i wysyłane za pomocą poczty elektronicznej oraz poprzez System Obsługi Klienta (SOK). Określają one z jakim zagrożeniem hydrologicznym mamy do czynienia: i) informacja o niebezpiecznym zjawisku, stopień 1 - to gwałtowne wzrosty stanów wód wody; ii) informacja o niebezpiecznym zjawisku, stopień 2 - to przekroczenie stanów ostrzegawczych; iii) ostrzeżenie hydrologiczne, stopień 3 - to przekroczenie stanów alarmowych; iv) ostrzeżenie o suszy hydrologicznej.

• Komunikat powodziowy

Jeżeli w profilu kontrolowanym przez IMGW-PIB1 notuje się przekroczenie stanu ostrzegawczego, wojewódzkie centrum zarządzania kryzysowego, na terenie którego znajduje się dany profil i rzeka, otrzymuje co 6 godzin komunikaty powodziowe o aktualnym poziomie wody. Po przekroczeniu stanu alarmowego informacja wysyłana jest co 3 godziny.

• Komunikat hydrologiczny

Opracowuje się go codziennie o godzinie 18:00 UTC jeżeli zjawiska hydrologiczne przybierają na sile i dynamice. Komunikat taki zawiera: aktualny opis sytuacji hydrologicznej, listę stacji, na których przekroczone zostały stany ostrzegawcze/alarmowe, z informacją o poziomie tych przekroczeń, oraz aktualną prognozę hydrologiczną na cały osłaniany obszar objęty zagrożeniem.

• Kontakt mailowy i telefoniczny

W związku z tym, że Wydziały Prognoz i Opracowań Hydrologicznych pracują operacyjnie, tzn. w sytuacji zagrożenia pełnią całodobowe dyżury powodziowe, śledząc rozwój sytuacji hydrologicznej, z wojewódzkimi centrami zarządzania kryzysowego utrzymywana jest stała łączność mailowa i telefoniczna.

• Prognoza stanu wody

Gdy na podstawowych i dodatkowych profilach wodowskazowych dochodzi do przekroczenia stanu ostrzegawczego i dalej alarmowego, Instytut opracowuje specjalną prognozę, która mówi jaki będzie spodziewany stan wody w tych profilach o godz. 06 00 UTC w ciągu kolejnych dni (w zależności od profilu jest to prognoza na 1, 2 lub 3 dni). Prognoza ta aktualizowana jest co 6 lub 3 godziny.

• Prognoza kulminacji fali powodziowej

Gdy na rzecze dochodzi do uformowania się fali powodziowej, Instytut opracowuje specjalną prognozę, w której określa się maksymalną wysokość fali oraz czas, w którym to maksimum wystąpi (w tym rodzaj przekroczenia - stan ostrzegawczy/alarmowy). Dla tzw. profili dodatkowych² prognozę fali aktualizuje się co 6 godzin, a w przypadku istotnych zmian nawet częściej.

• Monitor IMGW-PIB

Każde wojewódzkie centrum zarządzania kryzysowego ma również stały dostęp do aktualnych danych hydrologicznych, liczbowych prognoz synoptycznych oraz prognoz z modelu hydrodynamicznego (HD) na wybrane profile, które są uaktualniane i publikowane w specjalistycznym serwisie IMGW-PIB.

Serwis Monitor IMGW - narzędzie dla samorządów. Każde z centrów zarządzania kryzysowego ma dostęp do pełnej wersji Monitora IMGW. Czym jest ta aplikacja i jakie daje możliwości? Monitor to jedyne w Polsce, tak zaawansowane i kompletne, narzędzie do monitorowania stanu atmosfery i hydrosfery w czasie rzeczywistym.

Umożliwia prezentację i wizualizację danych oraz produktów przygotowywanych w IMGW-PIB, bez konieczności ich uprzedniej obróbki. Dzięki bezpośredniemu połączeniu z bazami hydro i meteo, użytkownicy Monitora mają dostęp do najnowszych danych dotyczących opadów, stanów wód oraz zjawisk ekstremalnych występujących na terenie Polski.

Aplikację stworzono z zastosowaniem technologii webowej. Nie wymaga ona instalowania dodatkowego oprogramowania i może być uruchamiana z dowolnego urządzenia podłączonego do globalnej sieci komputerowej. Dzięki temu produkty oraz funkcjonalności Monitora są dostępne nie tylko dla pracowników IMGW-PIB, ale również użytkowników statutowych pracujących między innymi: w sztabach antykryzyso-

¹ Profil pomiarowy na rzecze.

² Dodatkowe profile pomiarowe określone w Rozporządzeniu Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej z dnia 28 czerwca 2019 r. w sprawie ostrzeżeń, prognoz, komunikatów, biuletynów i roczników państwowej służby hydrologiczno-meteorologicznej i państwowej służby hydrogeologicznej

Codzienny biuletyn hydrologiczny IMGW-PIB przekazywany do wojewódzkich centrów zarządzania kryzysowe zawiera:

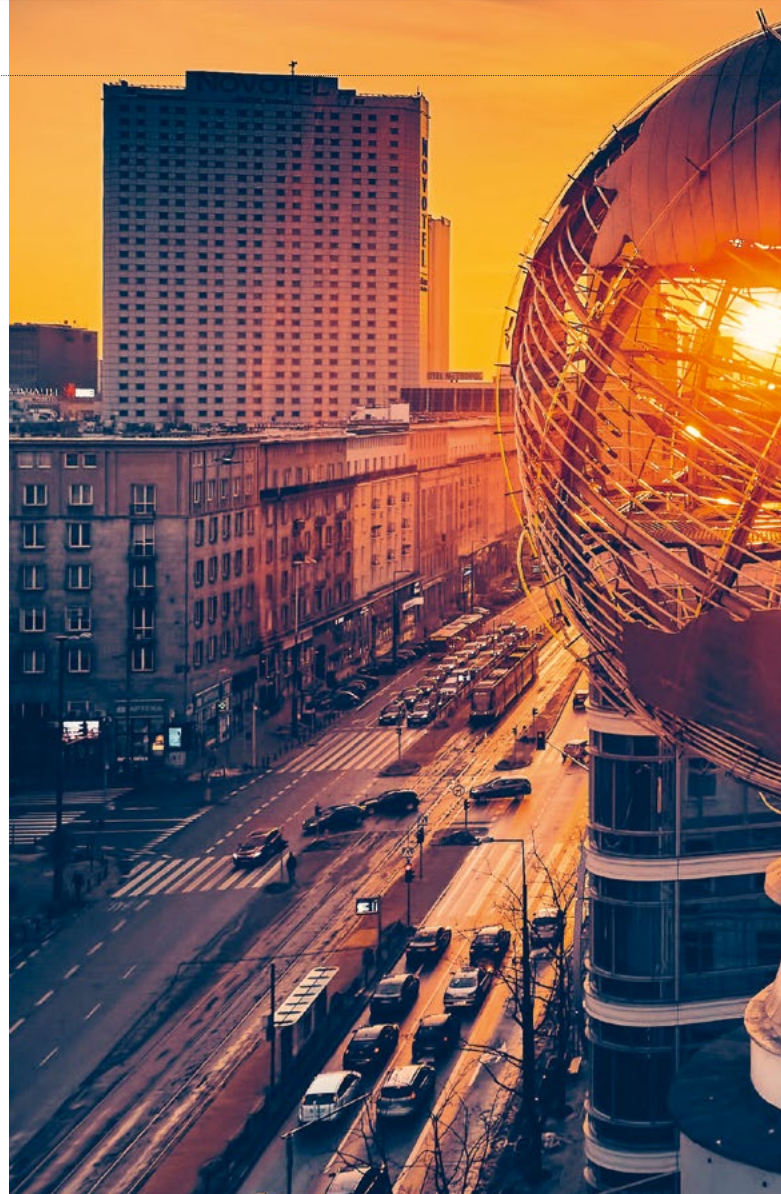
- uproszczony opis sytuacji meteorologicznej za ostatnią dobę wraz z tabelą zawierającą przedział wartości opadu na zlewnie (min-max) oraz nazwę posterunku z największym zanotowanym opadem w danej zlewni;
- wysokość pokrywy śnieżnej oraz wartość świeżo spadłego śniegu na danej stacji obserwacyjnej (w okresie zimowym);
- zjawiska lodowe zaobserwowane w wybranych profilach (w okresie zimowym);
- opis sytuacji hydrologicznej za ostatnią dobę wraz z tabelą zawierającą wzrosty stanów wody za ostatnią dobę (pomiędzy godz. 6 UTC dnia bieżącego, a godz. 6 UTC dnia ubiegłego);
- strefy stanów, w jakich układają się rzeki na godz. 6 UTC;
- tabelę ze stacjami, na których, na godz. 6 UTC zanotowano przekroczenie stanu ostrzegawczego/alarmowego i informację o ile stan ostrzegawczy/alarmowy został przekroczony;
- mapę ze strefami stanów wody na rzekach w danym dniu na godz. 6 UTC;
- tabelę zawierającą stacje, na których przepływ z godziny 6 UTC notował wartości SNQ;
- prognozę hydrologiczną na osłaniany obszar od godz. 6 UTC dnia bieżącego do godz. 12 UTC kolejnego dnia;
- informację o przewidywanych zagrożeniach (w praktyce wystawione ostrzeżenia/informacje o niebezpiecznym zjawisku).

wych, regionalnych zarządach gospodarki wodnej, czy urzędach wojewódzkich.

Serwis jest dostosowany do pracy w trybie operacyjnym. Wprowadzono możliwość wizualizacji zagrożeń w postaci wykresów i map, które odświeżają się wraz z napływem nowych danych. W sytuacji zagrożenia częstotliwość oraz zakres stacji, dla których wydawane są prognozy zostaje zwiększona, by ułatwić odpowiednim służbom pracę na rzecz ochrony ludzi i mienia. Szczegółowo o serwisie Monitor IMGW pisaliśmy w lipcowym wydaniu Obserwatora <https://obserwator.imgw.pl/monitor-aplika-cja-wspierajaca-instytucje-zarzadzania-kryzysowego/>.

Aktywność IMGW-PIB w Małopolsce. W województwach południowej Polski (woj. śląskie, małopolskie, świętokrzyskie, podkarpackie oraz lubelskie) jednostką odpowiedzialną za wsparcie centrów zarządzania kryzysowego jest Wydział Prognoz i Opracowań Hydrologicznych, funkcjonujący w biurze IMGW-PIB w Krakowie. Poza standardowymi działaniami opisanymi wcześniej, zespół krakowski realizuje szereg dodatkowych zadań. Jest to wynik wieloletniej współpracy z lokalnym samorządem oraz specyfiką województwa małopolskiego, gdzie ryzyko związane z powodzią (w związku z górskim charakterem rzek) jest znacznie większe niż w innych rejonach Polski. Dzięki zaangażowaniu obu stron udało się zbudować sprawny system komunikacji i wsparcia, w którym pracownicy IMGW-PIB pełnią rolę ekspercką i doradczą.

Podstawą tej współpracy są cykliczne, odbywające się co piątek, telekonferencje, w których udział biorą pracownicy Małopolskiego Centrum Zarządzania Kryzysowego oraz synoptycy z IMGW-PIB - hydrolog z Wydziału Prognoz i Opracowań Hydrologicznych oraz meteorolog z Biura



Prognoz Meteorologicznych. W trakcie spotkań prezentowana jest dwudniowa prognoza meteo dla województwa małopolskiego oraz prognoza hydro dla wybranych rzek. W sytuacji ryzyka pojawienia się niebezpiecznych zjawisk omawia się również plan działań dla województwa. Niestety z powodu pandemii COVID-19 telekonferencje zostały zawieszono.

Drugim elementem współpracy IMGW-PIB z samorządem małopolskim jest obustronna wymiana wiedzy i doświadczeń. Wydział Prognoz i Opracowań Hydrologicznych w Krakowie prowadzi szkolenia dla pracowników Wojewódzkiego Centrum Zarządzania Kryzysowego, podczas których omawiane są zagadnienia stricte hydrologiczne oraz udoskonalane zasady działania i procedury kontaktów między jednostkami. Natomiast przyszli synoptycy hydrologicy z IMGW-PIB odbywają w WCZK staż, podczas którego mogą zapoznać się ze specyfiką pracy sztabu oraz nawiązać dobre relacje z pracownikami centrum. Spotkania odbywają się również na szczeblu kierowniczym. W ich trakcie omawia się zasady współpracy, szuka się nowych rozwiązań i udoskonalona procedury komunikacyjne.



60. Andriy Syptlow on Unsplash

Kilka razy w roku w całej Polsce organizowane są stałe posiedzenia tzw. zespołów zarządzania kryzysowego. Spotkania zwołują wojewodowie, a w skład zespołów wchodzi wszystkie służby wojewódzkie, w tym m.in.: komenda policji, komenda państwowej straży pożarnej, inspektorat nadzoru budowlanego, inspektorat transportu drogowego czy stacje sanitarno-epidemiologiczne. Decyzją Wojewody Małopolskiego w obradach Zespołu Zarządzania Kryzysowego bierze czynny udział również przedstawiciel z IMGW-PIB. Jest on obecny także podczas sztabów kryzysowych, zwoływanych w okresie zagrożenia powodziowego. Dzięki temu członkowie sztabu mogą na bieżąco konsultować aktualne prognozy meteorologiczne i hydrologiczne oraz dane z sieci pomiarowo-obszaryjnej Instytutu.

Podsumowanie. Na przestrzeni ostatnich lat obserwuje się pogłębianie współpracy pomiędzy IMGW-PIB a jednostkami rządowymi oraz samorządowymi. Jest to kooperacja opierająca się na zaufaniu i wieloletnim doświadczeniu, która istotnie wpływa na jakość

pracy - zarówno ekspertów, jak i przedstawicieli organów samorządowych i rządowych - którzy wielokrotnie muszą podejmować trudne decyzje związane z bezpieczeństwem społeczeństwa. Współpraca na obszarze województwa małopolskiego to modelowy przykład relacji nieopierającej się jedynie na formalnym układzie nadawca-odbiorca. Gotowość ekspertów z zakresu hydrologii i meteorologii do bezpośredniego kontaktu, a także możliwość korzystania z najnowszych aplikacji IMGW-PIB, jest bardzo wysoko ceniona i wykorzystywana. Dzięki temu Instytut zaczyna być postrzegany nie tylko przez pryzmat nauki, ale również jako równorzędny partner dla innych służb kryzysowych.

Można zbudować dobrą, trwałą współpracę, ponieważ dbamy o wspólną wizję i cele. Zwracamy uwagę na wykorzystanie potencjału wszystkich członków obydwu zespołów, dbamy o zaufanie, dobre relacje, sprawną komunikację i poczucie wspólnej odpowiedzialności, jakim jest ochrona ludzi i mienia przed zagrożeniami ze strony sił przyrody. ◀

Zakochany w górach



Wielu z nas z wypiekami na policzkach słuchało opowieści o polskich Himalaistach i ich wyprawach. Pamiętamy m.in. Leszka Cichego, Wandę Rutkiewicz, Jerzego Kukuczkę, Piotra Pustelnika czy Macieja Berbekę. Świat od 2018 roku mówi głośno o kolejnym Polaku, którego umiejętności, konsekwencja i mądrość w górach jest wyznacznikiem nowych standardów – o Andrzeju Bargielu.

Podczas wyprawy w 2019 roku, kiedy Andrzej Bargiel próbował zdobyć Mount Everest i zjechać z niego na nartach, IMGW-PIB było partnerem wspierającym zespół, dostarczając komunikaty, ostrzeżenia i analizy zdjęć satelitarnych. W 2020 roku IMGW-PIB uruchomiło serwis prognoz w polskich pasmach górskich na cały rok, aby z miłości do gór wszyscy czuli się w nich jak najbezpieczniej. Z tej okazji porozmawialiśmy z utytu-

wanym polskim skialpinistą o wyzwaniach, zimie, klimacie i pogodzie w Tatrach.

Rafał Stepnowski: Gdy myślisz o zimowym pejzażu Tatr, to widzisz...?

Andrzej Bargiel: Kasprowy Wierch. To kultowa góra dla narciarzy, wokół której skupia się cała społeczność. Wszystkie święta, wydarzenia dla nas ważne, spotkania odbywają się właśnie tam. Dobrze się tam czuję, prze-

de wszystkim zimą na nartach. Poza tym to jedyne miejsce w Polsce, gdzie można uprawiać narciarstwo alpejskie z prawdziwego zdarzenia.

Czy są w polskich górach miejsca, które uważasz za szczególnie niebezpieczne zimą?

Generalnie aktywność górską jest związana ze świadomością zagrożeń i doświadcze-

niem poruszania się w górach. Głównym niebezpieczeństwem są oblodzone szlaki i lawiny. Bardzo ważna jest informacja o zagrożeniach, bo ona nam daje odpowiedź, gdzie w danym momencie możemy się wybrać. I na podstawie tych przesłanek można dopiero planować wyjście w teren. Sprawdzajmy komunikaty TOPR, prognozy pogody - to pozwoli nam wybrać miejsce i czas. Pogoda w górach bywa niezwykle trudna. Tatry są wymagające, jeśli poruszamy się ponad wysokością schronisk, zwłaszcza gdy występuje zagrożenie lawinowe.

Z jakimi najbardziej ekstremalnymi warunkami pogodowymi spotkałeś się w Tatrach zimą?

Na pewno wiatr, który w Tatrach często bywa silny, porywisty i zmienny. Zdarzały się sytuacje, w których nie pozwalał on ustać na nogach. Kolejna sprawa to intensywne opady śniegu, ograniczające orientację w terenie. Jako młody jeszcze człowiek miałem taką sytuację, że będąc w górach przy 5 stopniu zagrożenia lawinowego i śnieżycy trafiłem na ślepo na Słowację (śmiech). Oczywiście nie należy zapominać o burzach, które w górach są niezwykle groźne, zwłaszcza na wiosnę. To są zjawiska, na które nie ma prostego remedium. Gdy znajdziemy się w górach w trakcie burzy, mamy niewiele opcji pozwalających poprawić nasze położenie. Wyzwaniem są też nagłe zmiany temperatury, szczególnie latem. Często w dzień przychodzi opad gradu i temperatura powietrza spada raptownie nawet o kilkanaście stopni.

Jakie są trzy złote zasady poruszania się po Tatrach zimą?

Planowanie! Musimy sprawdzić pogodę, komunikaty lawinowe, informacje TOPR o warunkach panujących na szlakach. To pozwoli nam zweryfikować cele, jakie sobie stawiamy. Kolejna sprawa to dobór sprzętu do terenu, w którym chcemy się poruszać. Zapasowe rękawiczki, czapka, ciepłe ubrania przeciwdeszczowe, przeciwwiatrowe, apteczka - to są podstawy. W dzisiejszych czasach nieodzownym narzędziem jest nawigacja i naładowany telefon z aplikacją ratunkową, która pozwala wysłać szybki i precyzyjny komunikat służbom ratunkowym. Bardzo istotne jest obserwowanie podczas wyprawy czasu. Wychodzimy wcześniej rano, zmrok jest wrogiem w górach zimą. I naj-



foto: Marek Ogilef

ważniejsze przed wyjściem, poinformujmy innych o naszych planach: gdzie idziemy, jaki jest nasz cel, o której godzinie planujemy tam dotrzeć. To może nam uratować życie, bo nigdy nie wiemy do końca, czy nie wydarzy się coś niespodziewanego, co ograniczy nasze możliwości wezwania pomocy. Wówczas taka osoba pomoże ratownikom ustalić potencjalne miejsce naszego pobytu.

Latem jesteśmy bombardowani w mediach zdjęciami turystów zdobywających Giewont w klapkach, sandałach czy szpilkach. A jakie są największe grzechy Polaków zimą w górach?

Brakuje edukacji, od najmłodszych lat - jak przygotować się do aktywności górskich. To zrozumiałe, że ktoś kto pierwszy raz jest w górach, nie do końca jest świadomy wielu

Andrzej Bargiel (ur. 1988), skialpinista, trzykrotny mistrz Polski w skialpinizmie.

W 2010 roku ustanowił nowy rekord świata w biegu na Elbrus, który został pobity dopiero w tym roku, po wielokrotnych próbach przez weterana tego biegu – Witalija Szkiela. W 2012 roku Andrzej po raz pierwszy wyruszył w Himalaje. Był jednym z uczestników wyprawy unifikacyjnej Polskiego Związku Alpinizmu, zorganizowanej w ramach programu „Polski Himalaizm Zimowy 2010-2015”.

2 października 2013 roku Andrzej samotnie zdobył szczyt Sziszapangmy (8013 m n.p.m.) i został pierwszym Polakiem, który bez odpinania nart zjechał z tego szczytu do jego podstawy. W 2014 roku do swoich sukcesów dopisał dwa kolejne rekordy na Manaslu (8156 m n.p.m.), zdobywając szczyt w rekordowym czasie – 14 godzin 15 minut – i zjeżdżając na nartach z wierzchołka do wysokości, której wcześniej nikomu nie udało się osiągnąć, bijąc rekord czasowy w stylu baza-szczyt-baza (droga z bazy na szczyt Manaslu i powrót zajęły mu 21 godzin i 14 minut). Rok później stanął na szczycie Broad Peak (8051 m n.p.m.), a następnie jako pierwszy człowiek w historii zjechał z tego szczytu na nartach aż do bazy. Wejście Bargiela na szczyt trwało osiem godzin, a zjazd trzy godziny. Na przełomie lipca i sierpnia 2016 roku jego lista dokonań wydłużyła się o rekordowy czas zdobycia pięciu najwyższych szczytów byłego ZSRR, tzw. Śnieżnej Pantery. Wszystkie szczyty Andrzej zdobył w 30 dni, bijąc tym samym rekord ustanowiony w 1999 roku przez Denisa Urubko i Andrieja Molotowa. Ze wszystkich szczytów częściowo bądź w całości zjechał na nartach. W 2018 roku dokonał historycznego wyczynu zdobywając szczyt K2 (8611 m n.p.m.) i jako pierwszy w historii zjeżdżając z niego na nartach z wierzchołka tej niezwykle trudnej i wymagającej technicznie góry do bazy bez ich zdejmowania, czego nie udało się dokonać wcześniej żadnemu człowiekowi na świecie.

Wyróżniony Złotym Krzyżem Zasługi za promowanie Polski i rozwój polskiego alpinizmu, nagrodą Człowieka Roku 2015 magazynu National Geographic Traveler, międzynarodowym tytułem National Geographic Adventurer of the Year 2019, otrzymał Kolosa (2016, 2018) w kategorii alpinizm, a w 2018 roku znalazł się w dziesiątce najlepszych polskich sportowców (Przegląd Sportowy).

Poprzez swój pionierski projekt Hic Sunt Leones próbuje osiągać stawiane przed sobą cele w stylu, jakiego nikt na świecie jeszcze nie próbował. Szybkie ataki szczytowe i zjazd z wierzchołków aż do podstawy góry bez użycia tlenu to z pewnością dokonania, które zapiszą się w historii światowego himalaizmu i skialpinizmu.

zagrożeń. To rodzi z kolei niebezpieczne sytuacje. Ludzie stawiają sobie ambitne cele, a nie potrafią nawet dobrać odpowiednio odzieży, obuwia czy sprzętu. Trzeba pamiętać, że zimą wchodzenie na jakikolwiek szczyt powinno odbywać się za pomocą czekanów, raków i w kasku. Nieodzowną częścią ekwipunku powinien być lawinowy zestaw ratunkowy. Tu nie chodzi tylko o bezpieczeństwo nas samych, ale możemy znaleźć się w sytuacji, gdy będziemy musieli pomóc innym.

Mając tyle doświadczenia jako ratownik TOPR, himalaista, narciarz, potrafisz przewidzieć pogodę w górach? Korzystasz z prognoz?

Jeśli są to wielogodzinne wyprawy wspinaczkowe to oczywiście korzystam z prognoz. Wtedy wiele czynników jest dla mnie kluczowych. Czy śnieg jest twardy, czy temperatura powietrza nagle nie wzrośnie, obserwuję, jak zmieniają się warunki opadowe

i wiatrowe. Natomiast gdy idę na szybki trening, a pogoda jest stabilna, to wówczas nie analizuję dokładnie prognoz, chociaż oczywiście sprawdzam podstawowe informacje. To jest również kwestia doświadczenia, im częściej przebywasz w górach, tym lepiej rozumiesz warunki, jakie tam panują, szybciej reagujesz na zmiany. Przyroda daje sygnały.

Czy można w ogóle uniknąć zaskoczenia pogodowego w górach? Czy dla Ciebie Tatry, pod względem pogody, nie stanowią już wyzwania?

W dużym stopniu możemy oszacować co wydarzy się w ciągu 30-60 minut, ale to nie jest pewnik. Umiejętność przewidywania jest niezwykle pomocna, bo pozwala szybko reagować na zmianę warunków w trakcie aktywności, ale... Uważam, że znajomość profesjonalnej prognozy jest zawsze wskazana. Nie powinniśmy być zbyt pewni, bo góry są nieprzewidywalne. Pogoda może się zmienić szybciej niż zakładamy, ot tak.

Czy zauważasz zmianę klimatu w polskich górach? Czy wyobrażasz sobie góry bez śniegu?

Tak, dostrzegam zmiany. Wychowywałem się na wsi, gdzie przez trzy miesiące jeździło się regularnie na nartach. Dziś śnieg pojawia się tam przez 2-3 tygodnie w roku. Widzę te zmiany przede wszystkim podczas wypraw w Alpy. To ogromnie wpływa na to, czym się zajmuję – na stopień zagrożenia. Miałem sytuacje, gdy właściwie do wysokości 7 tysięcy metrów padał deszcz. Ostatnia wyprawa na Mount Everest jest tego dobry przykładem. W okresie monsunowym, na wysokości powyżej 5 tysięcy metrów spada tam normalnie około 20 m śniegów, a w tym





foto: Marek Ogierń

roku padał tylko deszcz. To powoduje, że lodowce himalajskie stają się niestabilne, wypłukane. W trakcie wspinaczki natrafiliśmy na ogromny fragment lodu, który oderwał się od głównego lodowca. Widzieliśmy, że on się przemieszcza i w każdej chwili może spaść. Musieliśmy więc zrezygnować i zejść. Ten brak śniegu i zmiany wysoko w górach bardzo mnie niepokoją.

Czy chciałbyś jeszcze coś zdobyć w Tatrach? Widzisz dla siebie wyzwania?

Z pewnością wiele jeszcze można w Tatrach odkryć. Wytyczać nowe drogi na ścianach. Ja bardzo cieszę się tym czasem, gdy jestem w polskich górach. One co prawda nie są wy-

sookie, ale warunki które tu panują, ukształtowanie terenu cały czas są wyzwaniem. I daje mi ogromną satysfakcję, gdy po całym dniu na szlakach mogę wrócić do domu.

Więc jest szansa, że Andrzej Bargiel jeszcze w Tatrach się pojawi?

Możliwe (śmiech). Poza tym ja mieszkam na terenie Tatrzańskiego Parku Narodowego. Czuję się częścią tego miejsca, dobrze się tu czuję i nigdzie się nie wybieram.

Ostatnie pytanie. Wiemy z jakimi problemami teraz się borykamy, pandemia COVID-19 ogranicza naszą aktywność. Ale zbliża się sezon narciarski i pewnie

wielu miłośników białego szaleństwa planuje spędzić w górach chociaż kilka dni. Czy jako TOPR jesteście gotowi na ten specyficzny czas?

Ja nie jestem TOPR-owcem zawodowym, wspieram kolegów jako ochotnik. Na pewno jednak TOPR jest przygotowany. To jest jedna z najlepszych służb ratownictwa górskiego na świecie, świetnie zorganizowana, cały czas gotowa do akcji. Pracują tam ludzie stąd, z Podhala, którzy znają góry, czują je, więc są zawsze w najlepszej kondycji.

Dziękujemy za rozmowę. To była przyjemność. Życzymy tylko dobrej pogody i do zobaczenia w górach. ◀

CHCESZ WIEDZIEĆ CO CZEKA CIĘ W POGODZIE?

ZAINSTALUJ APLIKACJĘ MOBILNĄ
POGODA DLA POLSKI OD IMGW-PIB



METEO
IMGW-PIB
meteo.imgw.pl

