

# Obserwator

**MYŚLISZ: PROGNOZA.  
POMYŚL: #METEOIMGW**  
*Najnowocześniejszy  
serwis pogody w Polsce*



Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej  
Państwowy Instytut Badawczy

**UV – NIEBEZPIECZNY DAR OD SŁOŃCA** > str. 3  
Wypoczynek z rozsądkiem

**NIEBEZPIECZNE ZJAWISKA  
ATMOSFERYCZNE W LOTNICTWIE** > str. 12  
Część I. Wiatr i turbulencja

**LUBIĘ BURZE, UCZĄ CZŁOWIEKA  
POKORY WOBEC NATURY** > str. 22  
Wszystko, co chcielibyście wiedzieć o burzach

## zdrowie

- 3** UV – niebezpieczny dar od słońca  
Wypoczynek z rozsądkiem

## środowisko

- 7** Morze Bałtyckie – wrażliwy ekosystem  
o który musimy dbać  
Jaka będzie przyszłość Bałtyku?

## meteo

- 12** Niebezpieczne zjawiska atmosferyczne  
w lotnictwie  
Część I. Wiatr i turbulencja
- 18** Niebezpieczne zjawiska atmosferyczne  
w lotnictwie  
Część II. Widzialność, ekstremalne zjawiska naturalne,  
zachmurzenie i oblodzenie
- 22** Lubię burze, uczą człowieka  
pokory wobec natury  
Wszystko, co chcielibyście wiedzieć o burzach

## bezpieczeństwo

- 28** Burzowy survival od IMGW-PIB

## technologie

- 29** Myślisz: prognoza. Pomyśl: #meteoimgw  
Najnowocześniejszy serwis pogody w Polsce

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

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

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

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

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

**Połowa roku za nami.**

To był niełatwy czas. Kolejna zima bez śniegu, głęboka susza na wiosnę, a na początku lata burze, ulewy i podtopienia. Pogoda jest kapryśna i pewnie taka będzie do jesieni.

COVID-19 jakby spowszedniał. Trudno jednak uznać, że zagrożenie minęło. Pamiętajmy o tym, gdy wybierzemy się na urlop i będziemy podróżować po kraju. Zachowujmy się odpowiedzialnie. Nasze postawy są ważne – to od nich zależy, czy jesienią będzie spokojnie.

Spędźmy najbliższe dwa miesiące z bliskimi. Opiekujmy się sobą nawzajem.

Bałtyckie plaże, szuwary szumiące przy brzegach mazurskich jezior, górskie szlaki i leśne dukty – gdziekolwiek będziecie, spędźcie wakacyjny czas bezpiecznie. Sprawdzajcie prognozy, śledźcie zdjęcia satelitarne i obrazy radarowe na meteo.imgw.pl.

I czytajcie o pogodzie.

Rafał Stepnowski

# UV – niebezpieczny dar od słońca



Julita Biszczyk-Jakubowska, IMGW-PIB/Zakład Monitorowania Jakości Powietrza

**Naturalne promieniowanie ultrafioletowe (nadfioletowe), określane akronimem UV, jest niewidzialną i niewielką częścią całkowitego promieniowania słonecznego. Przed jego bezpośrednim działaniem chroni nas ozonosfera – warstwa zwiększonej koncentracji ozonu w stratosferze. Pochłania ona całkowicie pasmo promieniowania ultrafioletowego UV-C oraz w dużej mierze pasmo UV-B. W rezultacie do powierzchni Ziemi dociera głównie pasmo UV-A, stanowiące około 97 proc. całkowitego promieniowania UV. Ta niewielka ilość promieniowania słonecznego ma jednak ogromne znaczenie dla funkcjonowania życia na naszej planecie, a od stanu warstwy ozonowej uzależnione jest ludzkie zdrowie.**



Zawartość ozonu w atmosferze to niejeden z czynników decydujących o ilości docierającego do Ziemi promieniowania UV. Istotne znaczenie ma również położenie słońca na widnokręgu - zależne od szerokości geograficznej, pory roku i dnia - określające, jaką drogę mają do pokonania promienie słoneczne, zanim dotrą do powierzchni Ziemi. Im krótsza jest ta droga i im mniej absorbentów (np. aerozoli) w powietrzu, tym promieniowanie ultrafioletowe jest intensywniejsze. Największe wartości UV występują latem i w południe - w godzinach 10-14 do powierzchni Ziemi dociera około dwóch trzecich dziennej dawki promieniowania UV.

Jego kolejnym regulatorem jest poziom i rodzaj zachmurzenia. Chmury warstwowe, typu Stratus, w dużej mierze ograniczają dopływ słonecznego promieniowania UV, a burzowe potrafią je zredukować niemal do zera. Cienkie lub rozproszone chmury, typu Cirrus, przepuszczają ponad 90 proc. UV, a w pewnych warunkach (przy odbiciach bocznych na kryształkach lodu, z których się składają) mogą nawet to promieniowanie wzmacniać.

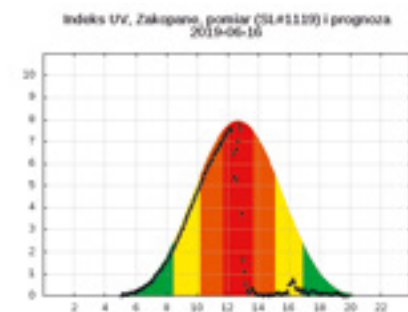
Nie należy zapominać o czynniku topograficznym. W górach ilość otrzymanego przez człowieka promieniowania UV wzra-

sta wraz z wysokością - o mniej więcej 4 proc. na każde 300 m. Ponadto znaczenie ma rodzaj terenu, na jakim przebywamy, np. nad morzem dawka promieniowania zwiększa się w wyniku jego rozproszenia i odbicia od powierzchni piasku i wody. Cień natomiast redukuje poziom UV o blisko połowę.

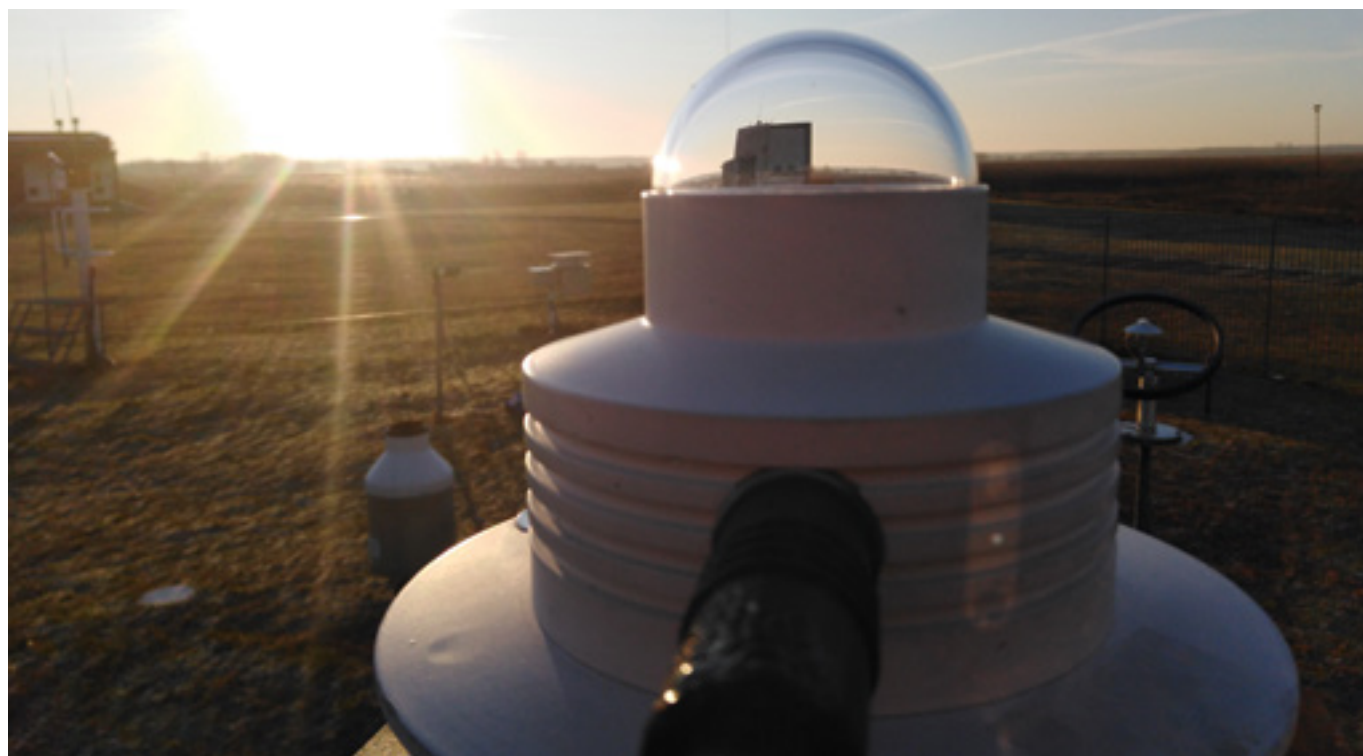
**Ultrafiolet i zdrowie.** Bezpośrednią reakcją ludzkiej skóry na działanie promieniowania UV jest powstanie rumienia, czyli tak pożądanego przez wielu opalenizny. Jednak długotrwała jednorazowa ekspozycja na słońce może prowadzić do ostrych oparzeń. Odpowiada za to pasmo promieniowania UV-B, które w perspektywie długofalowej, przy nadmiernym ekspozowaniu skóry na słońce, może powodować zmiany nowotworowe, w tym wystąpienie agresywnego, złośliwego nowotworu, jakim jest czerniak.

Pasmo UV-A nie powoduje widocznych, bólowych oparzeń, ale przyczynia się do przyspieszenia procesu starzenia się skóry, ponieważ uszkadza włókna kolagenowe. Wieloletnia ekspozycja na duże dawki promieniowania UV-A może mieć negatywny wpływ na wzrok i powodować zmętnienie soczewki (zaćmę).

Promieniowanie UV-B, poza negatywnym wpływem na zdrowie, jest dla ludzkiego organizmu bardzo ważne, gdyż odpowiada za syntezę witaminy D3 w skórze. Ta z kolei wspiera prawidłowe funkcjonowanie układu odpornościowego oraz mięśni i pomaga w utrzymywaniu zdrowych kości i zębów. Warto zapamiętać, że do wyprodukowania zalecanej dziennej dawki witaminy D3



Przykładowy pomiar indeksu UV na tle prognozy ze stacji Zakopane z 16 czerwca 2019, obrazujący redukcję promieniowania UV z wysokich wartości niemal do zera przez chmury burzowe; czarne punkty oznaczają dane pomiarowe, kolorowe pola - prognozowane na ten dzień wartości indeksu UV



Czujnik UV Biometer Model 501 mierzący erytemalne promieniowanie UV-B, zainstalowany w ogródku meteorologicznym stacji SHM Łeba (fot. J. Biszczyk-Jakubowska)



w słoneczny letni dzień wystarczy zaledwie kilkanaście minut ekspozycji na promieniowanie UV.

**Jak chronić się przed promieniowaniem UV?** W okresie wakacyjnym należy zwracać szczególną uwagę na ryzyko związane z promieniowaniem ultrafioletowym. W zależności od wartości indeksu UV powinniśmy podejmować określone działania:

- **UVI niski** - możemy bezpiecznie przebywać na zewnątrz bez konieczności ochrony.
- **UVI umiarkowany i wysoki** - w godzinach południowych starajmy się przebywać w cieniu; zakryjmy skórę, założymy

okulary przeciwsłoneczne i stosujmy krem z filtrem.

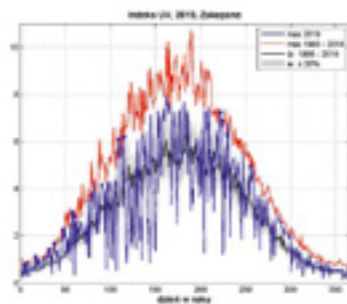
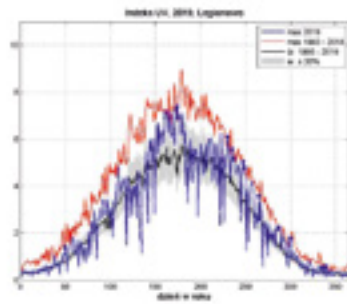
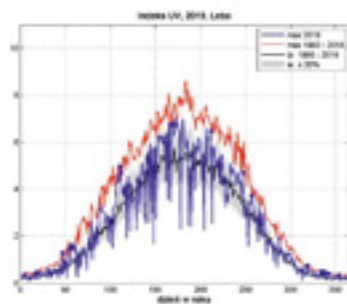
- **UVI bardzo wysoki i ekstremalny** - unikajmy przebywania na zewnątrz w godzinach południowych, a jeśli to niemożliwe, starajmy się pozostać w cieniu. Obowiązkowe są krem z wysokim filtrem, okulary przeciwsłoneczne, nakrycie głowy i osłonięcie ciała.

Stopień szkodliwości UV zależy nie tylko od ilości otrzymanego promieniowania, ale także od indywidualnej wrażliwości skóry. Osoby o jasnej karnacji są bardziej narażone na niekorzystne działanie

słońca. W Polsce większość populacji ma średnio wrażliwą skórę (II-III fototyp skóry). W naszym kraju w okresie letnim, przy wysokim i bardzo wysokim UVI, czas bezpiecznego opalania się dla osób ze średnio wrażliwą skórą zmienia się od 30 minut do 15 minut.

**Monitoring promieniowania UV.** Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej - Państwowy Instytut Badawczy prowadzi monitoring promieniowania UV od początku lat 90. Pomiary są przeprowadzane w trzech lokalizacjach - w Łebie, Legionowie, Zakopanem - na zlecenie Głównego In-





Przebieg roczny indeksu UV w Polsce na przykładzie danych ze stacji w Łebie, Legionowie i Zakopanem – z niskim poziomem UVI zimą i jesienią oraz wysokim i bardzo wysokim w okresie letnim. Niebieską linią wykreślono maksymalne wartości UVI zmierzone w 2019 roku. Linią czerwoną zaznaczono maksymalne, a czarną średnie wartości UVI w serii pomiarów z lat 1993-2018 w Łebie i Legionowie oraz z okresu 1995-2018 w Zakopanem. Kolorem szarym zaznaczono obszar +/-20 proc. od wartości średnich. Niebieskie punkty oznaczają ekstremalne wartości w serii dla danego dnia roku. Ze względu na położenie stacji najwyższe wartości UVI obserwuje się w Zakopanem. W 2019 roku szczególnie wyróżniał się czerwiec w stacji w Legionowie, gdzie obserwowano wartości UVI znacznie powyżej 20 proc. od średniej wieloletniej oraz wartości ekstremalne w serii. Wpływ na to miały słoneczna pogoda w połączeniu z niższą od średniej wieloletniej normy zawartością ozonu w atmosferze nad Polską oraz czystsze powietrze z mniejszą ilością aerozoli.



Schemat zalecanej ochrony przed promieniowaniem ultrafioletowym w zależności od wartości indeksu UV (według WHO)

#### Indeks UV

Jednostką miary promieniowania ultrafioletowego jest indeks UV (UVI), określający poziom oddziaływania UV na skórę człowieka. Skala indeksu zawiera się między 0 a 16 i dzieli się na pięć zakresów: poziom niski (2 i mniej), umiarkowany (3-5), wysoki (6-7), bardzo wysoki (8-10) i ekstremalny (11 i więcej). Im wyższa wartość UVI, tym większe prawdopodobieństwo wystąpienia rumienia i poparzeń skóry i tym szybszy czas ich pojawienia się.

W Polsce w okresie letnim (w godzinach okołopołudniowych, w bezpośrednim słońcu) promieniowanie ultrafioletowe przyjmuje wartości wysokiego i bardzo wysokiego UVI. W okresie jesienno-zimowym UVI ma niski poziom.

spektoratu Ochrony Środowiska w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska i finansowane ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej. Do mierzenia promieniowania UV-B (tzw. erytemalnego, rumieniotwórczego) wykorzystuje się szerokopasmowe czujniki UV Biometer Model 501 (SL501) firmy Solar Light. Po przejściu promieni słonecznych przez kwarcową kopułkę warstwa fosforu przetwarza promieniowanie UV na promieniowanie widzialne, a jego wielkość jest mierzona za pomocą fotodiody. Urządzenia są stabilizowane termicznie - temperatura wewnątrz czujnika Solar Light oscyluje w bardzo wąskim zakresie wokół 25°C. Ponadto czujnik jest wyposażony w wymienny osuszacz, chroniący przed jego zawilgoceniem oraz poziomice, niezbędną do prawidłowego ustawienia urządzenia.

**Natężenie promieniowania UV zależy od stanu warstwy ozonowej i warunków**

meteorologicznych danego roku. Analizy danych pokazują, że w ostatnich latach we wszystkich trzech stacjach IMGW-PIB mierzących promieniowanie UV wystąpiły okresy z wartościami indeksu UV zbliżającymi się do ekstremów wieloletnich, a nawet je przekraczającymi. Takie maksymalne poziomy UVI obserwuje się w każdym sezonie, ale te pojawiające się latem są szczególnie ważne i niepokojące. Przyczyną takiego stanu rzeczy są występujące w ostatnich latach epizody ubytków ozonu nad Polską. Badania prowadzone przez IMGW-PIB potwierdzają pojawianie się w ostatnim czasie okresów z ponad 10-proc. ubytkiem ozonu w stosunku do normy wieloletniej. Zjawisko to występuje w czerwcu, a więc w miesiącu, gdy słońce operuje najdłużej w ciągu dnia. Przy słonecznej pogodzie i mniejszej ilości aerozoli w atmosferze może to prowadzić do bardzo wysokich wartości UVI.

# Morze Bałtyckie

– wrażliwy ekosystem,  
o który musimy dbać

Tamara Zalewska, IMGW-PIB

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. km<sup>2</sup> 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 całkowitego<sup>1</sup>. W 2018 roku ładunki te zostały zredukowane odpowiednio do 54 tys. ton i 3 tys. ton<sup>2</sup>. 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 rozrost 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 tributylocyny 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

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 żywności<sup>3</sup>, 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.*

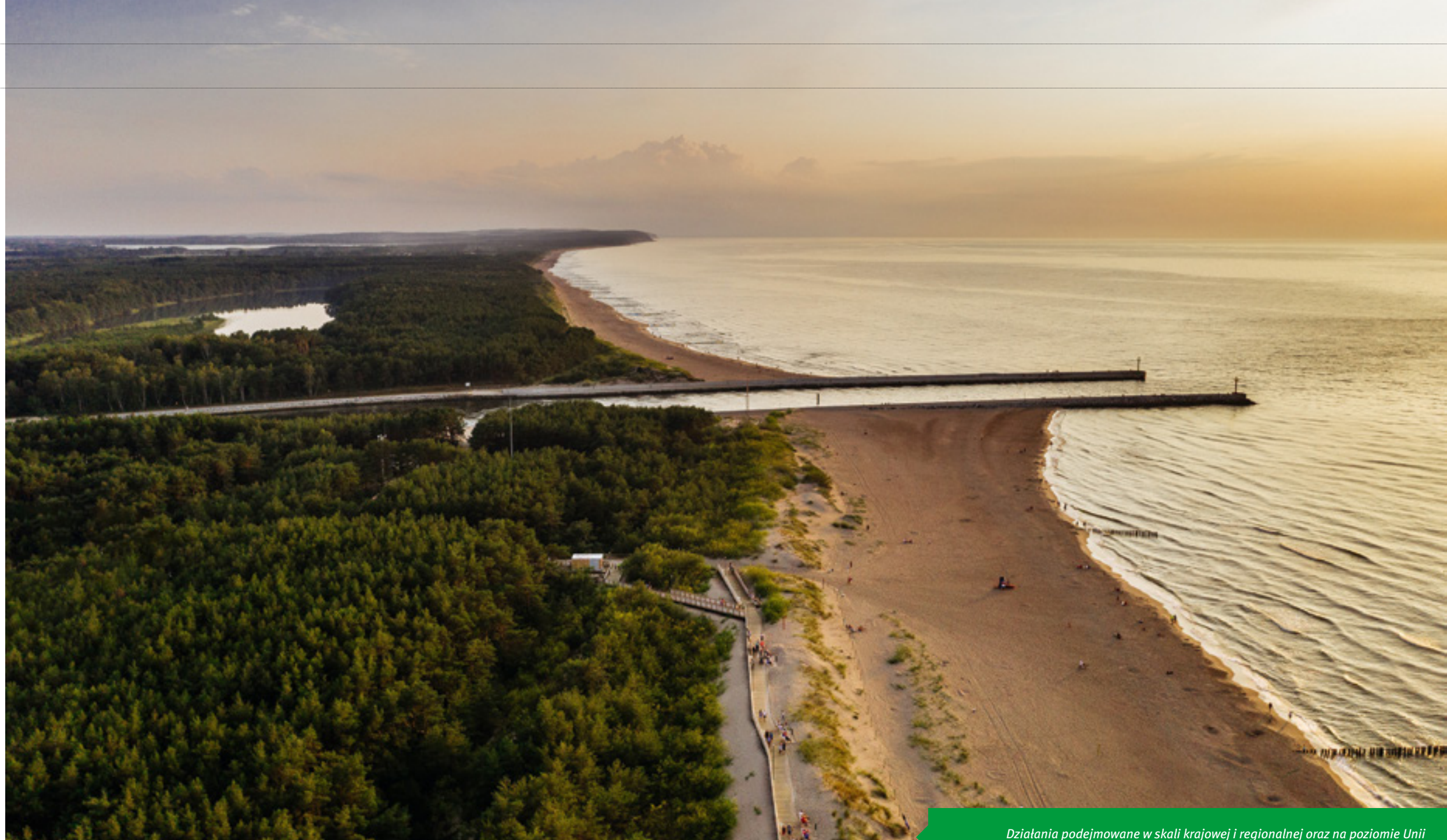


foto: Marcin Lewiński on Unsplash

<sup>1</sup> 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.  
<sup>2</sup> Badania własne.

<sup>3</sup> Ocena stanu środowiska polskich obszarów morskich Bałtyku na podstawie danych monitoringowych z roku 2018 na tle dzie-sięciolecia 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 stanu<sup>4</sup>. 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*<sup>5</sup>, 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 (<sup>137</sup>Cs) i stronu (<sup>90</sup>Sr). 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 związek 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.

**Wszechobecny 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 roku<sup>3</sup>, 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/tekstylia 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.

<sup>4</sup> Regularne badania zasobów ryb i ich stanu są prowadzone przez Morski Instytut Rybacki - Państwowy Instytut Badawczy.  
<sup>5</sup> <http://zatokapucka.migdynia.pl/>



# Niebezpieczne zjawiska atmosferyczne w lotnictwie

## Część I. Wiatr i turbulencja

Maciej Benedyk, Maciej Zaborowski  
IMGW-PIB/Centrum Meteorologicznej Ośłony Lotnictwa Cywilnego

**Złe warunki pogodowe wymienia się jako trzecią najczęstszą przyczynę wypadków i katastrof lotniczych. Postęp technologiczny w zakresie meteorologii i innych dziedzin wspomagających lotnictwo, dostępność danych i szybkie informowanie o zmianach warunków pogodowych sprawiają, że liczba zdarzeń lotniczych w stosunku do liczby wykonywanych operacji systematycznie maleje. Obecnie największym niebezpieczeństwem dla pilotów są gwałtowne zmiany pogody, na które nie są oni przygotowani.**



Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej - Państwowy Instytut Badawczy, w ramach pełnionej służby MOLC, prowadzi na polskich lotniskach bieżącą obserwację warunków pogodowych. Jednym z elementów tej usługi jest opracowywanie prognoz i ostrzeżeń lotniczych - zadania te realizują Biura Prognoz Lotniczych w Warszawie i Krakowie. Odbiorcami komunikatów są m.in.: kontrolerzy ruchu lotniczego, dyżurni portów i linie lotnicze, a także piloci samolotów, helikopterów, szybowców czy balonów. Każda z tych grup w nieco inny sposób postrzega niebezpieczeństwa związane z pogodą. Dla pilota samolotu wiatr przyziemny rzędu 15-20 KT<sup>1</sup> (27-37 km/h) nie będzie przeszkodą do lotu; w przypadku balonu takie warunki właściwie uniemożliwiają podjęcie jakichkolwiek operacji lotniczych. Stąd też prognozy i ostrzeżenia mają różne kryteria i są dostosowane do potrzeb odbiorcy.

W lotnictwie jednymi z najgroźniejszych zjawisk związanych z warunkami meteorologicznymi są wiatr i turbulencja. Oba problemy mogą pojawić się zarówno podczas startów i lądowań, jak i przelotu, m.in. w zasięgu chmur konwekcyjnych czy przez strefę frontu atmosferycznego. W meteorologii wiatr określa się jako poziomy ruch powietrza spowodowany przez siły, które na nie działają (siła gradientu ciśnienia, odśrodkowa, tarcia oraz siła Coriolisa). Synoptyk tworzący prognozę, w której uwzględnia ewolucję pola barycznego, a także warunki lokalne, jest w stanie stwierdzić, czy kierunek wiatru, jego średnia prędkość i porywy mogą niekorzystnie wpływać na

wykonywane operacje lotnicze. Kierunek wiatru mówi nam o tym, „skąd wieje wiatr”, i w większości meldunków oraz map meteorologicznych odnosi się do północy geograficznej. Wyjątek stanowi informacja o wietrze podawana przez kontrolę ruchu lotniczego pilotom w celu startu lub lądowania z konkretnego lotniska. Jest to tzw. wiatr nawigacyjny, wskazujący, „dokąd wieje wiatr”, i odnosi się do północy geograficznej, lecz magnetycznej.

**Prędkość wiatru i jego kierunek - parametry kluczowe dla bezpieczeństwa lotu.** Podczas startów i lądowań prędkość wiatru większa niż 30 KT (około 55 km/h) jest uważana za niebezpieczną. Większość lotników komunikacyjnych taką właśnie wartość wskazuje jako kryterium do wystawienia ostrzeżenia lotniskowego, rozróżniając przy tym średnią prędkość wiatru oraz porywy. Podobne kryteria (25 KT wiatru średniego i 30 KT dla porywów) stosuje się do ostrzeżeń dla baz Lotniczego Pogotowia Ratunkowego HEMS<sup>2</sup>. Dlatego też stacje meteorologiczne wysyłają depesze ostrzegawcze STORM<sup>3</sup>, a biura prognoz wystawiają ostrzeżenia o możliwości wystąpienia silnego wiatru lub jego porywów. Im większa jest prędkość wiatru, tym większe niebezpieczeństwo dla wykonywania operacji lotniczych. Kierunek wiatru także jest istotny. Częstym dylematem kontrolerów ruchu lotniczego jest odpowiedni wybór pasa operacyjnego, aby jak najbardziej ograniczyć oddziaływanie wiatru bocznego i tylnego na startujące lub lądujące samoloty. W internecie można znaleźć wiele filmów

foto: Owen Lestrup on Unsplash

<sup>1</sup> 1 KT (1 węzeł) = 1,85 km/h = 0,51 m/s; węzły są oficjalną jednostką stosowaną w lotnictwie.

<sup>2</sup> HEMS - Helicopter Emergency Medical Service (Śmigłowcowa Służba Ratownictwa Medycznego).

<sup>3</sup> STORM - depesza ostrzegawcza przeznaczona do zawiadomienia, że powstało lub nadciągające zjawisko meteorologiczne groźne dla pewnych dziedzin życia gospodarczego. Depeszą odwoławczą, informującą że groźne zjawisko osłabło lub zanikło, jest depesza AVIO (Klucze FM12 - XII EXT SYNOP).



pokazujących lądowanie z silnym bocznym wiatrem. Trzeba przyznać, że wyglądają one zarówno efektownie, jak i - momentami - przerażająco.

Do innych niebezpiecznych zjawisk meteorologicznych związanych z prędkością wiatru zaliczamy:

**Szkwał.** Jest to nagły, krótkotrwały wzrost prędkości wiatru (niekiedy powyżej 20-30 m/s), często połączony ze zmianą jego kierunku. Większość szkwałów jest związana z przechodzeniem chmur Cumulonimbus, którym zwykle towarzyszą przelotne opady, a także burze. Szkwały mogą występować w chwiejnej, wilgotnej i ciepłej masie powietrza lub być związane z chłodnymi frontami atmosferycznymi.

**Zamieć śnieżna.** Jej powstanie jest związane, co oczywiste, z zaleganiem pokrywy śnieżnej lub opadem śniegu w połączeniu z dużymi prędkościami wiatru przyziemnego. Przy wzroście prędkości wiatru zamieć niska może przejść w wysoką - wówczas śnieg jest unoszony powyżej poziomu 1,5 m. Zamiecie śnieżne w znacznym stopniu utrudniają pracę lotniska - powodują tworzenie się zasp na pasach startowych i pogarszają widzialność. Prognoza zamieci polega na określeniu siły i kierunku wiatru z uwzględnieniem stanu pokrywy śnieżnej.

**Wichura piaskowa i pyłowa.** Powstaje gdy piasek i pył zostają uniesione z suchej powierzchni gleby na znaczną wysokość (powyżej poziomu oczu obserwatora) na skutek oddziaływania silnego wiatru.

**Uskok wiatru - niespodziewany problem.** Zjawisko uskoku wiatru było główną lub pośrednią przyczyną wielu wypadków i incydentów lotniczych. W takich właśnie okolicznościach 14 września 1993 roku na lotnisku Okęcie rozbił się samolot Airbus A320-211 linii Lufthansa. Zginęły wówczas dwie osoby. Członkowie załóg lotniczych statków powietrznych oraz piloci General Aviation<sup>4</sup> muszą być świadomi istnienia tego groźnego zjawiska. Gdy napotkają je w czasie lotu, powinni gromadzić dane oraz przekazywać dalej wszystkie związane z tym informacje.

Uskok wiatru to gwałtowna zmiana kierunku i/lub prędkości wiatru. Najsilniejsze

uskoki mogą powodować nagłą poziomą zmianę prędkości większą niż 15 KT lub zmiany pionowe większe niż 150 m/min (500 FT/min). Chociaż uskoki wiatru mogą występować na wszystkich wysokościach, szczególnie groźne są te, które występują w warstwie od powierzchni ziemi do wysokości 500-600 m (1600-2000 FT<sup>5</sup>) podczas startów i lądowań samolotów. Uskok wiatru może być pozytywny (przyrost siły nośnej) lub negatywny (utrata siły nośnej). Wyobraźmy sobie lot skoczka narciarskiego. Kiedy podmuch pod narty znacznie wydłuża jego skok - mówimy o przyroście siły nośnej, gdy tylny podmuch jest duszący i zmusza zawodnika do szybkiego lądowania - mamy do czynienia z utratą siły nośnej. Podczas startu i lądowania samolot ma tylko nieznacznie większą prędkość od jej granicznej wielkości, poniżej której następuje jego przeciągnięcie. Jeśli w takim momencie statek powietrzny natrafi na nagłą zmianę prędkości i/lub kierunku wiatru, może utracić część siły nośnej. Jeśli ta strata jest wystarczająco duża, a wzrost mocy silnika niewystarczający, to skutkiem jest głębokie przepadnięcie (gwałtowna utrata wysokości) samolotu. To, czy utrata wysokości będzie zatrzymana na czas i nie zakończy się rozbiciem maszyny o ziemię, zależy od wysokości, na której zdarzył się uskok wiatru, czasu reakcji pilota i właściwości lotnych statku powietrznego.

Kolejnym niebezpieczeństwem, które niesie uskok wiatru, jest zmniejszenie osiągnięć statku powietrznego. Ma ono miejsce, kiedy samolot wlatuje w strefę, gdzie prędkość wiatru czołowego spada w krótkim czasie. Wówczas prędkość powietrza względem skrzydeł zmniejsza się, co powoduje spadek wskazywanej przez przyrządy prędkości samolotu. Ponieważ siła nośna jest zależna od prędkości powietrza opływającego skrzydła, następuje jej spadek. Wszystkie te czynniki są bardzo niebezpieczne. Gdy samolot znajduje się na małej wysokości, a taka jest podczas startu lub lądowania, jego prędkość jest niewielka. Jeśli napotka w takich warunkach uskok wiatru, jeszcze bardziej zwolni, a w konsekwencji utraci wysokość lotu, co może zakończyć się przyziemieniem lub rozbić. Podobnie niebezpiecznym zjawiskiem jest

uskok wiatru zwiększający osiągi samolotu. Ma on miejsce, gdy samolot przekracza granicę między tylnym a czołowym wiatrem w bardzo krótkim czasie lub też następuje gwałtowny spadek prędkości wiatru czołowego. W takiej sytuacji prędkość powietrza względem skrzydeł statku powietrznego wzrasta, siły inercyjne powodują wzrost siły nośnej samolotu, a co za tym idzie - jego prędkości.

Informacji o wystąpieniu uskoku wiatru oraz jego typie udzielają załogi lądujących lub startujących samolotów. Synoptycy na podstawie tych danych oraz prognoz warunków synoptycznych sprzyjających występowaniu uskoku wiatru opracowują ostrzeżenia przed uskokiem, ale tylko dla warstwy przyziemnej (do 1600 FT, około 528 m).

**Microburst - spadający wiatr.** Kolejnym groźnym zjawiskiem związanym z uskokiem wiatru jest microburst. To krótkotrwały, ale bardzo silny strumień powietrza związany z konwencją, skierowany w dół. Dane zebrane z obserwacji burz pokazują, że 5 proc. ich ogólnej liczby „produkuje” microburst. Zstępujące strumienie powietrza związane z tym zjawiskiem mają zwykle w przekroju poprzecznym szerokość od kilkudziesięciu do kilkuset metrów. Kiedy prąd pionowy dotrze do powierzchni ziemi, rozprzestrzenia się promieniście, powodując wiatr od tylnego do czołowego, a jego prędkość może przekraczać 50 KT (ponad 90 km/h). Obszar zasięgu takiego wiatru ma kształt pierścienia o średnicy 2-4 km. Microburst jest wyjątkowo niebezpieczny, ponieważ jego relatywnie mały rozmiar i gwałtownie zmieniający się układ wiatru na krótkich dystansach powoduje ekstremalnie silne uskoki wiatru. Charakterystyczną cechą tego zjawiska jest intensyfikacja wiatru po 5 minutach po dotarciu do powierzchni ziemi, następnie słabnięcie i w końcu, po 10-20 minutach, zanikanie. Jednym z typów microburstu jest typ „mokry”, który zwykle występuje w połączeniu z burzami i silnym opadem atmosferycznym. Drugi to typ „suchy”, który rozwija się w słabym opadzie przelotnym lub gdy opad się nie pojawia albo dochodzi do powierzchni ziemi (zjawisko virga).

<sup>4</sup> General Aviation - Lotnictwo Ogólne, bardzo obszerna grupa, skupiająca cały ruch lotniczy poza lotami rozkładowymi i wojskowymi. Są to zatem piloci awionetek, helikopterów, ale także balonów, paralołni czy szybowców.

<sup>5</sup> 1 FT (1 stopa angielska) = 0,33 m, 100 FT = 30 m.



foto: Włódzki Obserwator





foto: Ethan Hu on Unsplash

**Turbulencje - coś więcej niż nieprzyjemna pamiątka z lotu.** Podczas podróży samolotem często doświadczamy nieprzyjemnego uczucia trzęsienia, kołysania lub przepadania. To efekt turbulencji, czyli chaotycznych ruchów powietrza w pionie i poziomie. Turbulencyjne ruchy powietrza powodują podczas lotu powstawanie niepożądanych przeciążeń. Kiedy

wielkość wirów jest zbliżona rozmiarami do statku powietrznego, powodują one kołysanie wzdłużne samolotu oraz odchylenie od kursu. Większe wiry rzucają samolotem, a mniejsze wywołują tylko delikatne wstrząsy ni mające znaczenia dla lotu. Oczywiście należy to rozpatrywać w pewnej skali, zależnej od wielkości samolotu, jego obciążenia i prędkości.

Rozróżniamy kilka rodzajów turbulencji:

- **Turbulencja termiczna.** Występuje w chwiejnej masie powietrza i jest skutkiem występowania różnego tempa nagrzewania się powierzchni. W konsekwencji w powietrzu powstają sąsiadujące ze sobą kominy termiczne, gdzie mamy do czynienia z unoszeniem się powietrza, oraz studnie termiczne, gdzie powietrze osiada. Turbulencję ter-

miczną cechuje wyraźny przebieg dobowy, z największym natężeniem w godzinach popołudniowych. Powoduje ona rzucanie samolotu podczas wkraczania w zasięg kominów termicznych i wychodzenia z nich.

- **Turbulencja mechaniczna.** Wywołuje ją mechaniczny ruch powietrza nad powierzchnią ziemi. Wówczas powietrze w strefie mieszania ma tendencję do two-

żenia różnej wielkości wirów. Stopień intensywności turbulencji mechanicznej zależy od ukształtowania terenu, rodzaju przeszkód terenowych, prędkości wiatru oraz od stabilności/równowagi masy powietrza. Im większa prędkość wiatru lub im większe zróżnicowanie pionowe powierzchni ziemi, tym większa jest intensywność występującej turbulencji. W powietrzu o równowadze chwiejnej tworzą się zawirowania o większych rozmiarach niż w powietrzu o równowadze stałej, za to niestabilność masy powoduje o wiele szybsze ich rozpraszanie, podczas gdy zanikanie zawirowań w powietrzu o równowadze stałej zachodzi znacznie wolniej.

- **Turbulencja związana z falą górską.** Powstaje, gdy stabilna masa powietrza przemieszcza się w poprzek łańcucha górskiego. Sprzyjające warunki do tworzenia się fali górskiej to prędkość wiatru wiejącego prostopadłe do gór powyżej 25 KT (ponad 46 km/h) oraz inwersja temperatury w pobliżu szczytów (do 600 m powyżej nich). Oczywiście fala górską może wystąpić, kiedy kierunek wiatru nie jest dokładnie prostopadły do łańcucha górskiego. Jednak zjawisko to jest najintensywniejsze przy silnym wietrze, jak najbardziej prostopadłym do gór. Niebezpiecznymi cechami charakterystycznymi dla tego zjawiska są ekstremalna turbulencja oraz bardzo szybkie prądy pionowe - zarówno w dół, jak i w górę. Wszystko to występuje po zawiętrznej stronie gór. W sprzyjających okolicznościach silne prądy pionowe mogą sięgać nawet do wysokości 21000 m (70000 FT), a zasięg horyzontalny samych prądów zstępujących może wynosić do 500 km po zawiętrznej stronie gór. O obecności fali górskiej może świadczyć wystąpienie na niebie chmur Altopcumulus lenticularis, w postaci charakterystycznych soczewek.

- **Turbulencja czystego nieba (CAT).** Terminem tym opisywana jest turbulencja o dużym rozrzucie intensywności - od kilku dokuczliwych małych wstrząsów do bardzo intensywnego rzucania/szarpania, które stwarza zagrożenie dla konstrukcji samolotu oraz zdrowia załogi i pasażerów. Turbulencja ta różni się od termicznej i mechanicznej tym, że jest od nich bardziej regularna. CAT najczęściej występuje na wysokościach powyżej 4500 m (15000 FT). Jest związana z wyraźnymi zmianami prędkości wiatru lub temperatury - zarówno wysokości (pionowy uskoki wiatru), jak i ze zmianami horyzontal-

nymi tych parametrów (poziomy uskoki wiatru). Najsilniejszej turbulencji CAT możemy się spodziewać w pobliżu prądów strumieniowych w górnej troposferze.

W pracy operacyjnej synoptyka lotniczego turbulencja definiowana jest jako:

- **Umiarkowana** - termiczna lub mechaniczna występuje przy dużym zróżnicowaniu podłoża w zasięgu chmur Cumulus Congestus oraz Cumulonimbus, do 150 km od fali górskiej i słabo wyrażonych prądów strumieniowych. Powoduje częste szarpanie i kołysanie statków powietrznych, zmianę wysokości o 30-50 m oraz zmniejszenie prędkości do 50 km/h.
- **Silna** - występuje w zasięgu rozbudowanych chmur TCu - Towering Cumulus (Cumulus congestus) i Cumulonimbus oraz w zasięgu fali górskiej i prądów strumieniowych. Powoduje silne drgania i podrzuty statku powietrznego, gwałtowną zmianę wysokości oraz częste i nagłe przeciążenia utrudniające pilotaż. Zmiana wysokości podczas tego zjawiska dochodzi do ponad 50 m, a prędkość może zostać zmniejszona do 50-80 km/h.

Zadaniem synoptyka lotniczego jest prognozowanie turbulencji i wydawanie ostrzeżeń, jeśli zjawisko to będzie umiarkowane lub silne - zgodnie z przyjętymi kryteriami i procedurami. Należy zwrócić uwagę, że wiele prognoz lub ostrzeżeń nie uwzględnia turbulencji związanej z chmurami konwekcyjnymi. Przyjmuje się bowiem, że dynamika prądów wstępujących i zstępujących jest w nich na tyle silna, że towarzyszy wszystkim chmurom Cu, TCu, i Cb; oczywiście jej intensywność zależy od stadium rozwoju chmury.

**Zagadnienia dotyczące wiatru należą do jednych z najtrudniejszych w prognozowaniu. Najlepszą dokładność prognoz uzyskuje się dla kierunku i prędkości wiatru. Większym wyzwaniem jest przewidywanie porywów, uskoków wiatru i turbulencji. Są to zjawiska chwilowe, punktowe, prognozowane na podstawie warunków sprzyjających ich wystąpieniu, wynikające przede wszystkim z określonej sytuacji barycznej. Dokładny moment i miejsce wystąpienie tych zjawiska, jak również ich siła, są często niemożliwe do przewidzenia, co czyni je wyjątkowo niebezpiecznymi.**





foto: Shutterstock.com

# Niebezpieczne zjawiska atmosferyczne w lotnictwie

## Część II. Widzialność, ekstremalne zjawiska naturalne, zachmurzenie i oblodzenie

Maciej Benedyk, Ewelina Nguyen Van, Radosław Wierziński  
IMGW-PIB/Centrum Meteorologicznej Osłony Lotnictwa Cywilnego

**Jednym z ważniejszych zagadnień, łączących meteorologię z awiacją jest widzialność. Określa się ją jako ograniczenie widzenia w kierunku poziomym lub też jako stopień przezroczystości powietrza, dzięki któremu możliwe jest dostrzeżenie pewnych obiektów lub przedmiotów. Na poziom widzialności wpływa wiele zmiennych – począwszy od ogólnych aspektów, takich jak zaleganie określonych mas powietrza, poprzez temperaturę i wilgotność powietrza, a skończywszy na lokalnym mikroklimacie otoczenia lotnisk. Prognoza zjawisk ograniczających widzialność jest jednym z najistotniejszych zadań osłony ruchu lotniczego.**

We współczesnym lotnictwie wykorzystuje się najnowocześniejsze technologie, pozwalające pilotować statek powietrzny w najtrudniejszych nawet warunkach pogodowych. Mimo to wzrokowa ocena sytuacji panującej w otoczeniu, dokonywana przez pilota w trakcie startu, lądowania i samego lotu, pozostaje kluczowym elementem bezpieczeństwa w lotnictwie. Oczywiście więc, że zjawiska ograniczające widzialność zasadniczo wpływają na możliwości prowadzenia ruchu lotniczego.

Dla pilotów najistotniejszym parametrem jest widzialność z powietrza – pozioma, skośna oraz pionowa – przy czym niekoniecznie ograniczenie jednej widzialności będzie powodować zmniejszenie innej. Zadaniem synoptyka prognoz lotniczych jest m.in. prognoza widzialności poziomej, a dokładniej zjawisk, które mogą ją ograniczać. Ocena widzialności na lotnisku może być dokonana przez obserwatora lub automatycznie poprzez urządzenia RVR (ang. Runway Visual Range). Podczas tego procesu obserwator wykorzystuje repery, czyli pewne widoczne – w większym lub mniejszym stopniu – obiekty pozostające w określonej odległości od Lotniskowej Stacji Meteorologicznej (LSM). Widzialność to jeden z parametrów, na podstawie których wydaje się decyzje o lotach VFR (ang. Visual Flight Rules). Wówczas kontrola statku powietrznego przez pilota odbywa się całkowicie na podstawie jego wzrokowych obserwacji. Należy również wspomnieć o systemie nawigacji ILS (ang. Instrument Landing System). Jest on używany głównie na lotniskach komunikacyjnych i pozwala na wykonywanie precyzyjnego podejścia do lądowania według wskazań przyrządów w warunkach ograniczonej widzialności.

**Lot w chmurach.** Poziom zachmurzenie oraz rodzaj chmur mają niebagatelne znaczenie dla bezpieczeństwa ruchu lotniczego. Poważnym zagrożeniem są niskie podstawy chmur warstwowych Stratus i kłębiasto-warstwowych Stratocumulus, które w znaczny sposób pogarszają widzialność i mogą zasłaniać wierzchołki drzew czy wysokich budynków. To z kolei utrudnia przelot statku powietrznego na małych wysokościach.

Najtrudniejsze warunki w lotnictwie powoduje pojawienie się chmur burzowych Cumulonimbus i związanych z nimi zjawisk: wyładowań atmosferycznych, silnych turbulencji, oblodzenia, opadów deszczu,

śniegu czy gradu. Występujący podczas burz silny wiatr o charakterze szkwałowym charakteryzuje się nagłymi zmianami kierunku i prędkości, co przyczynia się do powstania uskoku wiatru. Pojedyncze komórki burzowe często się łączą, tworząc rozległe i bardziej zorganizowane struktury burzowe, np. linie szkwałowe. Cumulonimbusy są często słabo widoczne z powietrza, zwłaszcza gdy rozbudowują się w systemach zachmurzenia niskiego i średniego. W ich ominięciu pomagają precyzyjne komunikaty naziemne oraz radary meteorologiczne zamontowane na pokładach samolotów.

**Niebezpieczna mgła.** W meteorologii rozróżnia się dwa zjawiska – mgłę i zamglenie – które różnią się stopniem ograniczenia widzialności. W przypadku mgły widzialność spada poniżej 1000 m, a zamglenia – od 1000 m do 10000 m (przy wilgotności względnej powietrza powyżej 70 proc.). Na potrzeby awiacji przedział dla zamglenia ustala się w zakresie 1000-5000 m. Są to wartości ważne dla lotów VFR, ponieważ graniczna wartość zamglenia to minimum widzialności dla tego typu lotów. Przy określaniu stopnia widzialności należy w dalszej kolejności uwzględnić opady atmosferyczne: deszcz, mżawkę, grad, śnieg, krupę śnieżną, lodową itp. Rodzaj opadu i jego intensywność potrafią istotnie wpłynąć na ograniczenia widzialności – o ile jednostajny i ciągły deszcz nie jest aż tak niebezpieczny, o tyle gęsto padający śnieg lub intensywny, przelotny opad deszczu czy gradu mogą zmniejszyć widzialność do kilkuset, a nawet kilkudziesięciu metrów. Wśród pozostałych zjawisk ograniczających widzialność poziomą, choć występujących znacznie rzadziej, należy wymienić m.in. zamiecie śnieżne, burze pyłowe i piaskowe oraz dymy.

Wymienione zjawiska powodują także spadek przyczepności na pasie startowym, co jest istotne szczególnie podczas hamowania samolotu w trakcie lądowania. Spadek temperatury przy gruncie poniżej 0°C może powodować dodatkowo oblodzenia pasa. Informacja o takich niedogodnościach jest niezwykle istotna dla obsługi portów lotniczych, która może wówczas, z odpowiednim wyprzedzeniem, podjąć akcję oczyszczenia pasa startowego.

**Oblodzenie – groźne również latem.** Niebezpiecznym zjawiskiem w lotnictwie jest osadzanie się powłoki lodowej na po-

wierzchni samolotu, czyli oblodzenie. Przyczynia się ono do zmniejszenia zdolności aerodynamicznych maszyny, zwiększenia jej ciężaru, niewłaściwego działania przyrządów i pogorszenia pola widzenia w przypadku osadzenia się lodu na szybie kokpitu. Do powstania oblodzenia zazwyczaj potrzebne są dwa czynniki: temperatura powietrza równa lub niższa od 0°C i obecność przechłodzonych kropeł wody w chmurze; najsilniejsze oblodzenie występuje w przedziale od -5°C do -12°C. Jego intensywność zależy od temperatury powietrza na wysokości lotu, wodności chmur, wielkości statku powietrznego i prędkości, z jaką się porusza. Najlepsze warunki do powstania oblodzenia występują przed wolno przemieszczającym się frontem ciepłym w chłodnej porze roku. Wówczas mogą pojawić się opady mżawkowego deszczu lub mżawki. Lód powstający w takim opadzie szybko przyrasta i jest trudny do usunięcia. Na stopień oblodzenia ma również wpływ wielkość i grubość zachmurzenia – wraz z jego wzrostem ryzyko oblodzenia rośnie.

Warto zaznaczyć, że w lotnictwie występuje też oblodzenie w temperaturze dodatniej, które ze względu na specyfikę występowania nie jest prognozowane przez synoptyków. Zjawisko to jest jednak dobrze znane pilotom. Takie oblodzenie może się pojawić, gdy samolot o wychłodzonej powierzchni w dość krótkim czasie dostaje się w warstwy cieplejszego powietrza. Wówczas w wyniku resublimacji pary wodnej, na powierzchni samolotu osadza się szron lub cienka warstwa lodu. Innym przykładem jest oblodzenie gaźnika silników spalinywych, które występuje również w wyższej temperaturze powietrza, rzędu nawet 30°C, w warunkach podwyższonej wilgotności.

**Ekstremalne zjawiska naturalne w lotnictwie.** Uderzenie pioruna w statek powietrzny jest zjawiskiem rzadkim. W większości przypadków nie powoduje ono poważniejszych skutków, jednak może być przyczyną awarii przyrządów pokładowych, radia czy instalacji elektrycznej. Wyładowania doziemne natomiast mogą zakłócić pracę portu lotniczego – jeśli pojawią się zbyt blisko, konieczne jest zatrzymanie tankowania samolotów.

Kolejnym niecodziennym zjawiskiem, niemającym co prawda związku ze stanem atmosfery, ale niebezpiecznym dla lotnictwa,



jest obecność pyłu wulkanicznego w powietrzu. O skutkach jego oddziaływania na ruch lotniczy mogliśmy się przekonać w 2010 roku, po wybuchu wulkanu Eyjafjallajökull na Islandii. Uważa się, że pył wulkaniczny może prowadzić do zatykania przewodów powietrznych w silnikach samolotów i powodować ich wyłączenie. W Centralnym Biurze Prognoz Lotniczych - Meteorologicznym Biurze Nadzoru obowiązuje - na wypadek wystąpienia pyłu wulkanicznego nad terytorium Polski - specjalna procedura, której finalnym efektem jest wydanie ostrzeżenia SIGMET WV, opartego na informacji VAAC (ang. Volcanic Ash Advisory Centre).

**Prognozowanie.** Synoptyk opracowujący prognozę widzialności i zjawisk atmosferycznych, skupia się przede wszystkim na ustaleniu sytuacji barycznej - dzięki temu może określić rodzaj mas powietrza zalegających nad danym obszarem i kierunki ich adwekcji (napływu). Bardzo ważnym wsparciem w jego pracy są modele numeryczne o różnej rozdzielczości przestrzennej i czasowej. Należy jednak pamiętać, że analiza matematyczna nie zawsze jest w 100 proc. dokładna. Model może doskonale sprawdzić się w prognozowaniu opadów, mgieł i innych zjawisk występujących w większej skali, lecz nie doszacować (lub przeszacować) występowanie zjawisk lokalnych. Rolą synoptyka jest odpowiednia interpretacja wyników modelu i przygotowanie końcowego produktu w postaci prognoz i ostrzeżeń.

Przy prognozowaniu rodzaju i wielkości zachmurzenia, podobnie jak w przypadku widzialności i zjawisk atmosferycznych, pod uwagę bierze się rozkład oraz przemieszczanie układów barycznych i frontów atmosferycznych, a także masy powietrza napływające nad dany obszar. Pomocne są zdjęcia satelitarne, obrazy radarowe, dane ze stacji synoptycznych (aktualizowane co godzinę) oraz diagramy aerologiczne, sporządzane na podstawie sondażu wykonywanych dwa razy w ciągu doby. Wszystkie te źródła dostarczają informacji na temat chmur - ich podstawy, miąższości i rodzaju - oraz obszaru nad który się przemieszczają, co ma istotne znaczenie dla dalszego ich formowania się i przekształcania.

Szczególnej uwagi wymagają prognozy przygotowywane dla lotów nad terenami górzystymi. Zmiany pogody są tam dynamiczniejsze niż na nizinach, a szczyty

i grzbiety górskie mogą być niewidoczne dla pilota nawet przy niewielkim zachmurzeniu. W prognozach obszarowych GAMET (w pierwszej sekcji dla obszarów A2 i A5 - odpowiednio południowo-zachodnia i południowo-wschodnia Polska) oraz prognozie SWC dla Polski (ang. Significant Weather Chart) synoptyk ma do dyspozycji narzędzia przeznaczone do informowania o przesłonięciu grzbietów górskich przez chmury.

Zarówno niskie podstawy chmur, jak i oblodzenie stanowią kryterium wydania ostrzeżeń

dla lotnisk. Dla większości portów lotniczych w Polsce wartością graniczną dla komunikatu o niskich podstawach chmur jest 200 FT, czyli około 60 m. W tych warunkach operacje precyzyjnego podejścia i lądowania mogą odbywać się jedynie z zastosowaniem systemu ILS. Dla baz Lotniczego Pogotowia Ratunkowego (LPR) ostrzeżenie wydaje się przy podstawach chmur o wysokości 800 FT (około 240 m). Niskie podstawy chmur są także uwzględniane w prognozie graficznej SWC, obszarowej GAMET oraz TAF dla danego lotniska.

Ostrzeżenia przed oblodzeniem dotyczą wystąpienia warunków do tworzenia się gołoledzi, szronu lub szadzi, powodujących śliskość pasa startowego lub odkładanie lodu na sprzęcie lotniskowym. Oblodzenie w chmurach uwzględnia się w prognozach SWC i GAMET.

**Warunki pogodowe są dla lotnictwa jednym z najważniejszych czynników kształtujących funkcjonowanie całej branży. Z jednej strony generują okre-**

**ślone koszty ekonomiczne, z drugiej - stanowią realne ryzyko w kontekście bezpieczeństwa pasażerów. Dlatego tak ważne jest, aby cały proces prognozowania - od pozyskania danych meteorologicznych do otrzymania przez określonych odbiorców informacji o potencjalnym niebezpieczeństwie - przebiegał sprawnie i nie zawierał błędów. Rola wszystkich czynników tego procesu jest jednakowo ważna. Pierwszy etap to prawidłowe zmierzenie i odczy-**

**tanie wartości z przyrządów i urządzeń pomiarowych. Następnie obserwator musi właściwie rozpoznać występujące zjawiska i sporządzić na czas odpowiednią depezę. Zadaniem synoptyka jest prawidłowa interpretacja zagrożenia i przygotowanie takiej prognozy lub ostrzeżenia, aby piloci i pracownicy kontroli naziemnej mogli je poprawnie odczytać i podjąć działania mające na celu uniknięcie niepożądanych konsekwencji.**



foto: pilspertryon/Unsplash



# Lubię burze, uczę człowieka pokory wobec natury

Mateusz Barczyk/Centrum Meteorologicznej Ostony Kraju, IMGW-PIB

**Burza to jeden z najbardziej spektakularnych i najpotężniejszych przejawów siły natury. Wywołuje w nas ogromne emocje – od lęku, a czasem wręcz panicznego strachu, po zachwyt i magnetyzujące zainteresowanie. To zapewne z tego powodu we wszystkich starożytnych kulturach najważniejszych bóstwom przypisywano atrybuty burzowe – jak chociażby greckiemu Zeusowi, który dzierżył w dłoni śmiertcioną błyskawicę. Na całej kuli ziemskiej notuje się od 50 do 100 uderzeń pioruna na sekundę. Burze pozostają jednym z najgroźniejszych zjawisk atmosferycznych i nadal skrywają wiele tajemnic.**

Chmura kłębiasta Cumulonimbus – to ona jest odpowiedzialna za zjawiska burzowe. Powstaje w wyniku dynamicznych ruchów konwekcyjnych w atmosferze, które są zasilane warunkami i procesami fizycznymi – chwiejnością atmosfery oraz przemianą pary wodnej w wodę i lód. Wydzielane są wówczas ogromne zasoby ener-

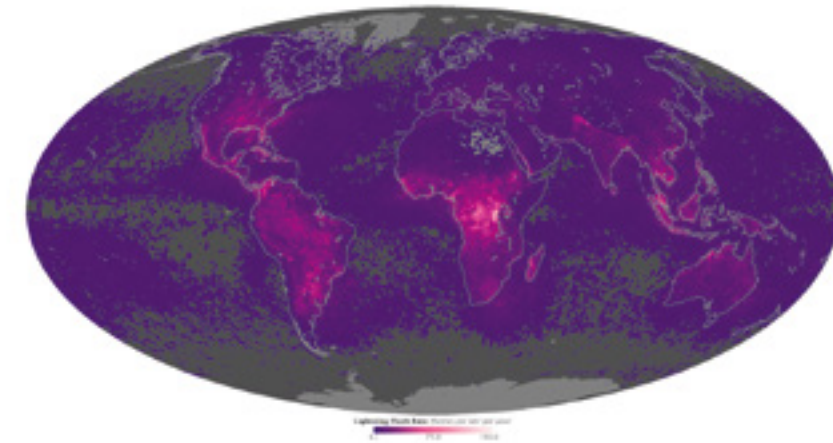
gii, która uruchamia dynamiczne prądy wstępujące i zstępujące. Wyobraźmy sobie chmurę Cumulonimbus jako maszynę parową... bez ścian. Dzięki skondensowanym, silnym ruchom powietrza nie ulega ona rozpadowi, a paliwem do jej działania jest para wodna znajdująca się w wilgotnym powietrzu. Potrzebne są jeszcze warunki

pracy i mechanizm wprawiający maszynę w ruch. W tym pierwszym wypadku jest to nierównomierne nagrzanie warstw atmosfery. Im cieplejsze powietrze zalegające w dolnych partiach i chłodniejsze w wyższych, tym szybszy staje się proces budowy chmury. Start naszej „maszyny” mogą spowodować różne czynniki – fronty

atmosferyczne i wewnątrzmasowe, orografia – coś, co pozwoli wilgotnemu i ciepłemu powietrzu się wznosić.

**Burzowa mapa świata.** Na Ziemi najlepsze warunki do powstania burz panują w tropikach. W rejonach okołorównikowych, gdzie powietrze jest bardzo wilgotne, a poziom osłonecznienia – wysoki, notuje się ponad 200 dni w roku z burzą. Rekordzistą jest Jezioro Wiktorii w Ugandzie – tam średnia roczna liczba dni z burzami przekracza 240 rocznie! Im bliżej biegunów, tym mniejsza szansa na wystąpienie burzy. Ale zjawiska te mogą występować pod każdą szerokością geograficzną i w różnych porach roku – nawet zimą.

Rocznie w Polsce mamy około 150-160 dni z burzą – najwięcej w Karpatach (30-35), a najmniej na Pomorzu (15-20). Systemy wykrywania wyładowań doziemnych notują



Mapa średniej rocznej liczby uderzeń pioruna na kilometr kwadratowy w latach 1995-2013. Kolorem szarym i fioletowym zaznaczono obszary o najmniejszej aktywności burzowej, kolor jasnoróżowy to rejon, gdzie liczba uderzeń pioruna wyniosła w ciągu roku ponad 150/km<sup>2</sup> (źródło: NASA Earth Observatory, image by Joshua Stevens)

w naszym kraju przeciętnie 0,5-3 wyładowań/km<sup>2</sup>/rok. Być może stąd powiedzenie, zresztą nieprawdziwe, że piorun nie uderza dwa razy w to samo miejsce. W rzeczywistości lokalizacja wyładowania jest zupełnie przypadkowa, a nasilone incydenty burzowe mogą znacząco zwiększyć średnie statystyczne gęstości wyładowań i nie można wykluczyć dwóch uderzeń w tym samym miejscu w trakcie tej samej burzy.

**Burzowa „menażeria”.** Chociaż burzę definiuje się jako głęboką konwekcję objawiającą się wyładowaniami elektrycznymi, to bardzo istotne są inne towarzyszące jej zjawiska. Przelotne opady – często bardzo intensywne, a czasem również długotrwałe. Porywy wiatru, czyli nagły wzrost prędkości o co najmniej 5 m/s powyżej średniej – mogące przybierać postać nawałnic. Grad i krupa śnieżna – z opadem lodu o średnicy sięgającej nawet kilkudziesięciu milimetrów. Wreszcie niszczycielskie trąby powietrzne.

Burza zaczyna się od pary wodnej. W odpowiednich warunkach masy powietrza zawierające duże ilości wilgoci unoszą się i ulegają ochłodzeniu. Dzieje się tak do momentu osiągnięcia nasycenia parą wodną – to tzw. punkt kondensacji, najczęściej poziom podstawy chmury. Proces kondensacji wyzwala energię utajoną w fazie pary, która może zostać wykorzystana do wywołania ruchu w atmosferze lub zamieniona w ciepło, co spowolni ochładzanie się wznoszącej masy powietrza. To spowolnio-

ne ochładzanie jest kluczowe, ponieważ powoduje, że wypiętrzane powietrze staje się lżejsze od otoczenia, a tym samym – wyporne. Siła wyporu przyspiesza ruch masy powietrza ku górze; następuje szybsza przemiana pary wodnej w wodę i wzrost produkcji energii utajonej.

Takie przyspieszenie potrafi doprowadzić do bardzo silnego ciągu, sięgającego 20 m/s w chmurze Cumulus congestus i 30-40 m/s w chmurze Cumulonimbus incus. Wyob-

### Dlaczego burze są tak gwałtowne i groźne?

*W czasie przeciętnej burzy (czyli w ciągu 45-60 min) przemiana pary wodnej w krople wody budujące chmurę wyzwala bilingony, a nawet biliony dżuli energii. Złożone i długotrwałe układy wielokomórkowe lub superkomórkowe wykorzystują wielokrotnie więcej energii. Dla porównania eksplozja bomby jądrowej w Hiroszynie wyzwoliła energię około 63 mln J – jest to rząd wielkości podobny do przeciętnej burzy. Zasadniczą różnicą jest szybkość uwalniania – podczas eksplozji cała energia zostaje wyemitowana w ciągu ułamka sekundy, w trakcie burzy są to dziesiątki minut.*



**Czy wiesz, że...**

Ewa Wiśniewska, polska paralotniarka, niezamierzenie została rekordzistką wysokości lotu paralotnią? Stało się to podczas zawodów w Australii, gdy zawodniczka została wessana do chmury Cumulonimbus. Było to skrajnie niebezpieczne wydarzenie – wewnątrz chmury wirowały kule gradu wielkości piłek tenisowych i występowały liczne wyładowania. Dzięki zapisom urządzenia GPS wiemy dokładnie, co się działo. Mimo wyniesienia w ciągu kilku minut na wysokość niemal 10000 m n.p.m. (znacznie wyżej niż Mount Everest), gdzie panowało ekstremalnie niskie ciśnienie, a temperatura sięgała  $-55^{\circ}\text{C}$ , paralotniarka przeżyła. Dodajmy, że przetrwała około 20 minut w przestrzeni na wysokości 8000-10000 tys. m n.p.m., w skrajnym mrozie, gdzie praktycznie nie ma czym oddychać, prawdopodobnie dzięki temu, że wcześniej straciła przytomność. Po wypadnięciu ze strefy prądów wznoszących zaczęła szybko opadać – poniżej 7000 m n.p.m. czasza skrzydła ponownie się otworzyła, a paralotniarka odzyskała przytomność. Po upływie około 3,5 godziny od startu zdołała bezpiecznie wylądować – z odmrożeniami na twarzy i kończynach, ale cała i zdrowa.



foto: Juliana Pagano on Unsplash

Przykład wyładowania atmosferycznego typu cloud to cloud

raźmy sobie dyszę generującą bardzo silny wiatr unoszący wodę i parę na wysokość zamrażania kropli wody. Tworzą się lodowe ziarna, które w strumieniu wilgotnego i zimnego nadmuchu przybierają na rozmiarze i stają się gradzinami. Mieszanka wody i lodu dalej się unosi. Krople wody zderzają się – część nadal zamarza, część wypada poza strumień powietrza i zaczyna opadać. Częstki lodu podczas zderzeń ulegają naelektryzowaniu, a ładunki tzw. separacji – w efekcie powstaje napięcie. Kiedy napięcie osiąga wartość graniczną, pozwalającą na powstanie przebiecia, dochodzi do wyłado-

wania elektrycznego. Tylko około 20 proc. wyładowań to uderzenia chmura-ziemia, pozostałe zachodzą w powietrzu. Kiedy krople lub gradziny stają się odpowiednio duże, wypadają ze strumienia wznoszącego i opadają, ciągnąc za sobą masy powietrza. Powstaje prąd zstępujący, który uderza o ziemię i rozpląwa się na wszystkie strony, tworząc porywy wiatru. Przy odpowiedniej dynamice atmosfery, przez przekaz pędu, a także przy silnych prądach znoszących porywy wiatru mogą być szczególnie gwałtowne. A trąby powietrzne? Proces ich powstania jest niesamowicie

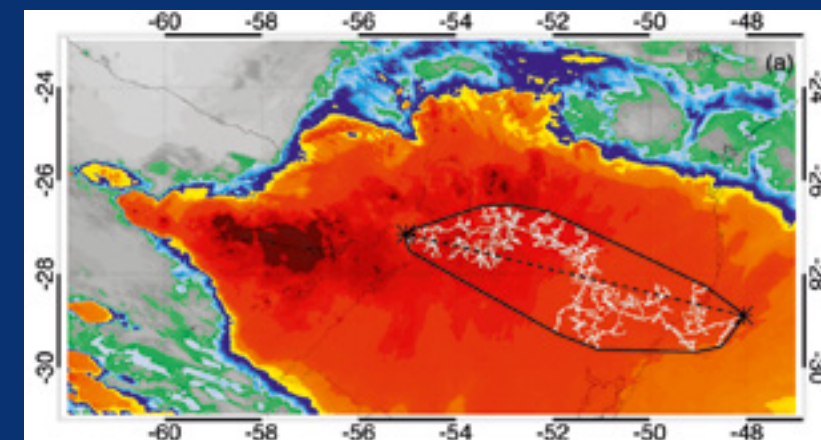
skomplikowany i jego szczegóły omówimy przy innej okazji. Ogólnie ujmując, w pewnych warunkach chwiejności i skrętności wiatru (zmiana kierunku i prędkości z wysokością) ruchy pionowe mogą ulegać rotacji. Rozciągane w pionie przez ruch powietrza, zwężają swoją średnicę – przyspieszając przy tym, jak przy piruecie. W efekcie tworzy się lej, kierujący się ku powierzchni Ziemi.

**Burzowe rekordy - świat.**

- Na świecie najbardziej niszczące burze towarzyszą cyklonom tropikalnym. Należy jednak pamiętać, że mamy tu do czynienia

- ze zjawiskami wielokrotnie bardziej złożonymi niż pojedyncza burza. Cyklony powodują powstawanie potężnych fal i podniesienie się poziomu morza. W 1970 roku w Bangladeszu pięciometrowa fala uderzyła w wybrzeże i spowodowała śmierć setek tysięcy ludzi. Ten sam kraj, ale blisko 100 lat wcześniej (1873), nawiedziło niszczycielskie tornado – szacuje się, że podczas tego zdarzenia zginęło około 1300 osób.
- Najtragiczniejsze w przebiegu uderzenie pioruna miało miejsce w Egipcie w 1994 roku. W wyniku wyładowania doszło do zapalenia się zbiorników z paliwem.

W 2018 roku w południowej Brazylii czujnik GLM na amerykańskim satelicie geostacjonarnym GOES-16/17 zanotował pojedynczy piorun rozciągający się na 709 km długości (to niemal tyle, ile wynosi odległość od Świnoujścia do Leska). Całkowity czas wyładowania trwał przeszło 11,36 sekundy. Międzynarodowa Organizacja Meteorologiczna potwierdziła to zdarzenie – jest to aktualny rekord długości pioruna. Nie tak rozciągnięty, ale dłużej trwający był piorun zaobserwowany przez ten sam czujnik w północnej Argentynie. Jego rozbłysk trwał 16,73 sekundy (szacowana długość to 473 km). Jak rejestruje się takie zjawiska? Niezbędne było uruchomienie czujnika GLM, który z orbity geostacjonarnej monitoruje rozbłyski wyładowań elektrycznych z zadziwiającą częstością 500 klatek na sekundę. Obecnie takie czujniki monitorują obszar obu Ameryk, jednak niebawem możemy spodziewać się uruchomienia podobnych instalacji (Lightning Imager) w europejskiej sieci, w związku z pojawieniem się satelitów Meteosat trzeciej generacji (planowane umieszczenie na orbicie w 2022 roku).



Zdjęcie satelitarne rekordowego pioruna, Brazylia, 31 października 2018 (źródło: WMO)

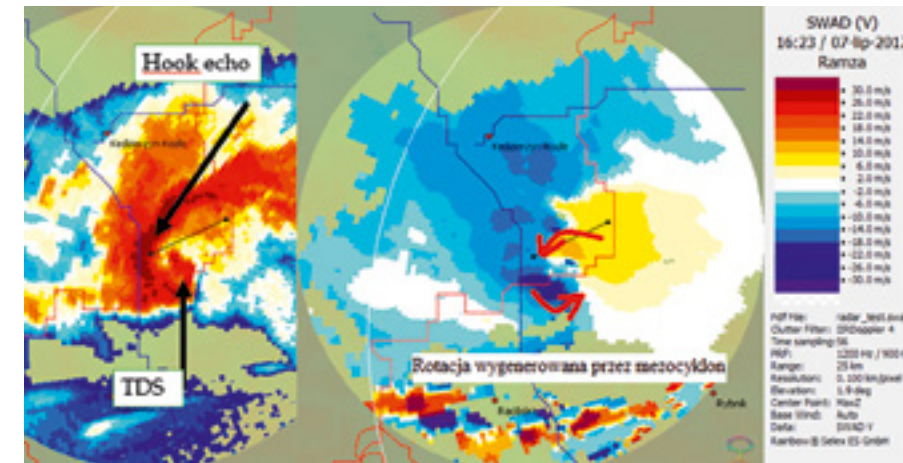
- Płonąca benzyna, niesiona przez wodę opadową, dotarła do pobliskiej wioski. W wyniku pożaru zginęło tam 469 osób. Znacznie mniejszy zasięg rażenia ma pojedynczy piorun. Jednak nieodpowiednie schronienie się przed nim może mieć tragiczne konsekwencje. Tak stało się w Zimbabwie, gdy grupa ludzi uciekła przed burzą do nieziemionej chaty. Piorun uderzył w budynek i zabił 21 osób.
- Najpotężniejszą gradzinę zanotowano w 1986 roku w Bangladeszu. Ważyła przeszło kilogram. W trakcie burzy, która stworzyła tak ekstremalne lodowe pociski, zginęło 86 osób.
- **Burzowe rekordy - Polska.**
- Najsilniejsza trąba powietrzna, o sile F4 w skali Fujity, została zanotowana w Lublinie 20 lipca 1931 roku – zginęło wówczas 6 osób. Najwięcej ofiar (13 osób) pochłonęła trąba, która dotknęła Krosno Odrzańskie 14 maja 1886 roku. Według autorów

pracy „Deadly Tornadoes in Poland from 1820 to 2015” w Polsce w latach 1829-2012 wystąpiło 37 trąb powietrznych, które spowodowały śmierć ponad 100 osób.

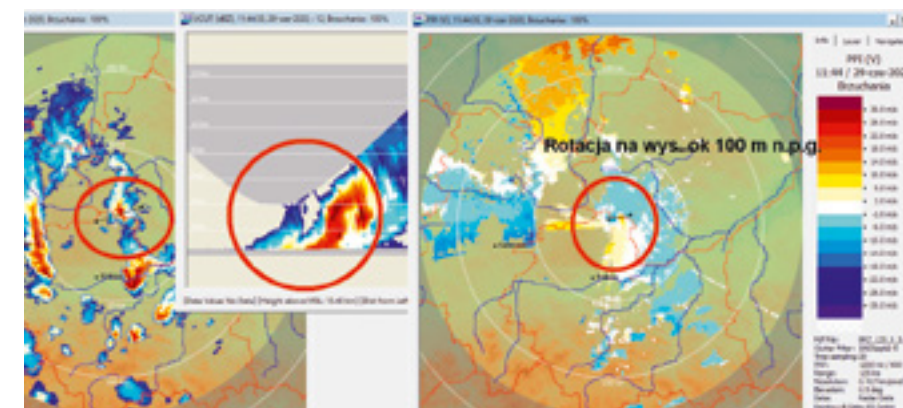
- Jeśli chodzi o burzowe porywy wiatru, najsilniejszy zanotowany przypadek to 44,5 m/s, czyli 160 km/h (z 6 na 7 sierpnia 2012 roku, wieś Sudół koło Jędrzejowa).
- Największa zanotowana wielkość gradziny wystąpiła w trakcie burzy w Gorzowie Wielkopolskim 11 czerwca 2019 roku. Zmierzone wówczas grad o średnicy 12 cm.

Ponieważ przez lata bardzo zmieniły się techniki detekcji i raportowania zjawisk burzowych, a informacje o skutkach tego typu zdarzeń są coraz dokładniejsze, bardzo trudno jest wskazać jedną, najsilniejszą burzę. Tragiczne konsekwencje miała burza z 24 sierpnia 2018 roku. W Tatrach zginęło wówczas pięć osób, a dziesiątki zostało rannych, mimo że zjawisko z punktu widzenia meteorologii nie było silne.





Obraz z radaru meteorologicznego, prezentujący intensyfikację superkomórki burzowej, która 7 lipca 2017 roku przeszła w okolicach Kędzierzyna-Koźła. Po lewej obraz odbiciowości pokazujący kształt struktury burzowej. Po prawej obraz wiatru dopplerowskiego z prędkościami przemieszczania się hydrometeorów, odbijających w kierunku radialnym do i od radaru (pozwala on na identyfikację silnego wiatru oraz procesów typu rotacja pola wiatru mezocyklonu). Objasnienia: hook echo – echo haczykowe uformowane przez silny strumień powietrza wciągane do chmury; TDS (ang. Tornado Debris Signature) – sygnatura obiektów unoszonych przez tornado



Obraz z radaru meteorologicznego z sygnaturą BWER (ang. Bounded Weak Echo Region) prezentujący obudowane pasmo słabego echa podczas burzy, która 29 czerwca 2020 roku przeszła na północ od Krakowa. Takie słabe echo jest świadectwem bardzo silnego prądu wznoszącego, który rozprasza na boki hydrometeory. Na grafice po prawej stronie zaznaczono rotację zarejestrowaną na wysokości 100 m n.p.g. – świadectwo dużego prawdopodobieństwa trąby powietrznej

To pokazuje, jak ważny jest czynnik ekspozycji na burze oraz edukacja społeczeństwa na temat zagrożeń i sposobów postępowania w sytuacji ekstremalnej. Dlatego Światowa Organizacja Meteorologiczna rekomenduje zmianę w przekazie informacji, obecnie ukierunkowanej na prezentowanie jedynie parametrów pogodowych, ku modelowi szerokiej analizy potencjalnych skutków groźnych zjawisk pogodowych.

**Czy zmiana klimatu wpływa na częstotliwość zjawisk burzowych?**  
Na podstawie wyników przedstawionych

w pracy „A climatology of thunderstorms across Europe from a synthesis of multiple data sources” można wnioskować, że zmiana klimatu nie musi przekładać się na wzrost częstości burz. W zachodniej części basenu Morza Śródziemnego burze pojawiają się coraz rzadziej, podczas gdy w środkowej i we wschodniej – częściej. Jeśli chodzi o Polskę, analiza zawarta w ww. pracy wskazuje na nieznaczny wzrost częstości występowania warunków atmosferycznych sprzyjających burzom, ale trudno wyciągnąć z tego istotne

trendy. Również pogładowa praca Zuzanny Bąkowskiej, w której autorka przedstawiła wyniki analiz danych synoptycznych z drugiej połowy XX wieku, nie wykazała istotnej zmiany w częstości burz nad Polską. Czy to oznacza, że zjawiska te nie będą nam w przyszłości zagrażać? Odpowiedź nie jest jednoznaczna. W ostatnich latach notuje się coraz częstsze występowanie burzowych ośrodków niżowych w rejonie południowo-wschodniej Europy. Taki układ cyrkulacji zwiększa szansę napływu do Polski wilgotnego powietrza

znad Morza Czarnego, co może powodować silne burze z intensywnymi opadami deszczu. Z taką sytuacją mieliśmy zresztą do czynienia w czerwcu tego roku. Dodatkowo, skutki burz intensyfikuje poziom urbanizacji i uszczelnienia powierzchni, które powodują, że nawalne opady deszczu prowadzą do podtopień i paraliżu obszarów miejskich.

**Jak IMGW-PIB monitoruje i bada burze?** Dzięki rozbudowanej sieci radarów meteorologicznych i detektorów

wyładowań Instytut na bieżąco rejestruje powstanie i rozwój burzy, a także tempo i kierunek jej przemieszczania. Dane te wykorzystuje się do oceniania stopnia organizacji burz - włącznie z postaciami złożonymi, takimi jak superkomórki i linie szkwałowe. Aby lepiej wykrywać obszary nasilonego wiatru w burzach, każdy z radarów sieci POLRAD wykonuje skan dopplerowski, na którym określa się kierunek i prędkość przemieszczania hydrometeorów względem anteny radarowej.

Analiza tych danych pozwala na lepsze rozpoznawanie zjawisk szczególnie gwałtownych, a lepsze zrozumienie warunków występowania silnych burz to skuteczniejsze ich prognozowanie. Od 2011 roku w ramach osłony meteorologicznej kraju funkcjonuje specjalny serwis burzowy, pozwalający synoptykom prezentować konwulcyjną prognozę na dzień bieżący i kolejne. Obecnie z tymi prognozami można się zapoznać na profilu facebookowym <https://www.facebook.com/burzaalertimgw/>.



# Burzowy survival od IMGW-PIB

Jakub Gawron, Centrum Meteorologicznej Osłony Kraju, IMGW-PIB

**Burza jest zjawiskiem bardzo niebezpiecznym i często gwałtownym. Zawsze niesie zagrożenie dla zdrowia i życia człowieka. Co więc robić, gdy burza zaskoczy nas poza domem? Przygotowaliśmy kilka wskazówek, jak powinniśmy się wówczas zachować.**

## Burza w górach:

- Jeśli burza jest jeszcze w pewnej odległości od Ciebie, jak najszybciej zjedź w niższe partie gór.
- Unikaj przebywania w pobliżu szczytów i grzbietów górskich.
- Jeśli nie masz możliwości zejść niżej, kucnij i trzymaj kolana i kostki złączone. Najlepiej zrób to na czymś, co odizoluje Cię od podłoża, np. plecaku, który nie ma metalowych elementów (np. stelaża).
- Nie kładź się na ziemi! W ten sposób tylko zwiększasz powierzchnię styku z ziemią, w którą może uderzyć piorun.
- Jeśli jesteś w grupie, rozejdźcie się by zachować między sobą kilkumetrową odległość. Nawet jeśli jedna osoba zostanie porażona, inni będą mogli udzielić jej pomocy.
- Usuń z ubrania wszelkie metalowe przedmioty (np. karabiničky).

- Nie trzymaj się łańcuchów i innych metalowych przedmiotów (np. kijków trekkingowych), po których może rozejść się ładunek elektryczny z wyładowania.
- Nie chowaj się pod drzewami. Ze względu na swoją wysokość pełnią funkcję masztów, które są potencjalnym celem dla piorunów.

## Burza nad wodą:

- Natychmiast wyjdź z wody.
- Jeśli znajdujesz się na łódce, kieruj się jak najszybciej do brzegu i zjedź na ląd.
- Nie spaceruj po plaży - mokry piasek przenosi ładunek elektryczny.
- Nie szukaj schronienia pod drzewami i słupami lub konstrukcjami, które nie są stabilne.
- Postaraj się znaleźć bezpieczne schronienie - schowaj się w budynku, pod mostem, wiaduktem czy przepustem.

## W otwartym terenie:

- Jak najszybciej znajdź bezpieczne schronienie.
- Unikaj przebywania pod drzewami, słupami i na otwartej przestrzeni.
- Jeśli w pobliżu nie ma żadnego schronienia, znajdź obniżenie terenu i kucnij tam ze złączonymi nogami.
- Jeśli przebywasz w grupie, nie stawajcie razem, ale zachowajcie od siebie odległość kilku metrów.
- Jeśli jesteś w podróży, pozostań w samochodzie, ale nie zatrzymuj go w pobliżu drzew, które w wyniku burzy mogą przewrócić się na pojazd.

**STARAJ SIĘ UNIKAĆ SYTUACJI, W KTÓREJ PODCZAS BURZY PRZEBYWASZ POZA BEZPIECZNYM MIEJSCEM SCHRONIENIA. W TYM CELU SPRAWDZAJ PROGNOZY POGODY, OSTRZEŻENIA I KOMUNIKATY. OBSERWUJ NIEBO, BY Z WYPRZEDZENIEM REAGOWAĆ NA ZBLIŻAJĄCE SIĘ ZAGROŻENIE.**

**Wszelkie niezbędne informacje znajdziesz w nowym serwisie pogodowym IMGW-PIB: [meteo.imgw.pl](http://meteo.imgw.pl) oraz na profilu facebookowym: [Burza-Alert-IMGW](https://www.facebook.com/Burza-Alert-IMGW).**

foto: David Worn on Unsplash



*Myślisz: prognoza.*  
**Pomyśl: #meteoimgw**

**Czy było łatwo? Co możemy znaleźć w serwisie? Czy prognozy będą dokładniejsze? Na te i inne pytania odpowiadają specjaliści IMGW-PIB: Agnieszka Wrońska, Project Manager, Grzegorz Nykiel, Development Team Leader, Daria Majchrzak, Project Designer i Bogdan Bochenek, Manager – ALADIN Model Office.**

## Nowy serwis pogodowy dla Polski [meteo.imgw.pl](http://meteo.imgw.pl) już działa. Jak wyglądały prace nad projektem?

Agnieszka Wrońska (Project Manager): To było ogromne wyzwanie, zwłaszcza że daliśmy sobie bardzo krótki czas na jego wykonanie - sześć miesięcy. W pół roku udało nam się stworzyć nowoczesny produkt wyznaczający standardy w branży. Kluczem był zespół, który w całości składał

się z pracowników IMGW-PIB - modelarzy, informatyków, naukowców i marketngowców. Kolejnym krokiem było opracowanie strategii rozwoju serwisu. Niezwykle istotne przy tworzeniu tego rodzaju platformy jest zapewnienie możliwości jej udoskonalania i rozbudowywania. Skupiliśmy się na optymalnym doborze rozwiązań technicznych oraz designerskich pod kątem użytkownika.

## Co znajduje się w serwisie?

Grzegorz Nykiel (Development Team Leader): Fundamentem serwisu są modele i dane numeryczne. Dziś prognozowanie pogody to skomplikowany proces, w którym analizuje się niewyobrażalną ilość danych. Sama procedura asymilacji danych z różnych źródeł, połączona z kontrolą jakości, a następnie zaimplementowanie ich do modeli numerycznych stanowi ogromne wyzwanie. Wszyst-





ko to dzieje się pod spodem, niewidoczne dla użytkownika, z użyciem nowoczesnego oprogramowania, najlepszego na rynku software'u i hardware'u. W ten sposób powstaje prognoza numeryczna. W serwisie prezentujemy ją w postaci map oraz tekstu dla dowolnie wybranej lokalizacji w Polsce. Prognoza numeryczna to pierwszy krok. Dalej działa już człowiek - synoptyk, który potrafi wyniki modeli czytać, analizować i wyciągać z nich wnioski. Dysponuje przy tym całym wachlarzem narzędzi, ale najważniejsze są jego doświadczenie i wiedza. Modele wielokrotnie dają sprzeczne informacje - dlatego zespoły

synoptyków z IMGW-PIB muszą odpowiednio zinterpretować te dane i opracować prognozę synoptyczną. Ta jest przygotowywana dla określonej, zamkniętej grupy lokalizacji.

**Zostaniemy na chwilę przy modelach i prognozach numerycznych. Jakże zasoby są do tego wykorzystywane?**

G.N.: Prognozy numeryczne są przygotowywane z wykorzystaniem specjalistycznych modeli do przewidywania pogody. Te modele to nic innego jak programy komputerowe, które obliczają wartości poszczególnych wskaźników dla określonego obszaru, na któ-

ry naniesiona jest siatka geometryczna. Wymiary boków siatki świadczą o rozdzielczości modelu. Im mniejsze oczka siatki, tym model jest dokładniejszy, ale także wymagający dłuższego czasu obliczeń. W IMGW-PIB wykorzystujemy głównie modele mezoskalowe i regionalne: AROME 2 km, WRF-METEOPG 2.5 km, COSMO 2.8 km, ALARO 4 km, COSMO 7 km oraz model globalny GFS0°25. Prognozy numeryczne z modeli pogodowych różnią się także krokiem czasowym prognozy. Aby model dał wiarygodne wyniki, należy włożyć do niego jak najwięcej szczegółowych i wiarygodnych danych. Dlatego IMGW-PIB od lat rozwija swoją sieć pomiarowo-obszerną oraz wchodzi w międzynarodowe konsorcja, aby wykorzystać np. dane z satelitów meteorologicznych. Ważnym elementem jest jakość danych, dlatego wdrażamy i udoskonalamy wewnętrzne procedury zarządzania, by wyeliminować błędy i odchylenia w pomiarach. W serwisie udostępniamy również dynamiczną mapę pogody. Prezentowane są na niej dane przestrzenne o różnych zjawiskach pogodowych. Mamy tu obraz z radarów meteorologicznych, obrazy satelitarne oraz prognozy: temperatury, opadów, prędkości wiatru, zachmurzenia itd. Bardzo ciekawym rozwiązaniem jest Meteogram - czyli zbiorcza prognoza numeryczna poszczególnych parametrów atmosfery dla dowolnego punktu zaznaczonego na mapie. Taka szczegółowość danych to przełom. Dostępna jest również mapa zanieczyszczenia powietrza, prezentująca przestrzenne dane o stężeniu tlenu węgla, dwutlenku siarki, pyłów zawieszonych oraz pyłków roślin.

A.W.: Wspomnijmy też o serwisach tematycznych, które funkcjonowały już co prawda na poprzedniej platformie pogodowej IMGW-PIB, jednak były nieczytelne i zbudowane z użyciem różnych narzędzi informatycznych. Dziś użytkownik otrzymuje produkty najwyższej jakości, jednolite i przyjazne odbiorcy. Na platformie mamy osiem serwisów tematycznych. Znajdują się w nich obszernie informacje o charakterze eksperckim oraz nowoczesne produkty przeznaczone dla różnych odbiorców. Wszystkie dostępne tam opracowania przygotowali specjaliści z IMGW-PIB.

**Co będzie się działo później, po uruchomieniu serwisu?**

W.A.: Pierwsze tygodnie i miesiące to oczywiście śledzenie funkcjonalności serwisu oraz wsłuchiwanie się w opinie



**Ostatnie babie lato w historii?**

**Dowiedz się w nowym serwisie pogodowym IMGW-PIB.**

**meteo.imgw.pl**

#meteoimgw



**Info:**

#meteoimgw – nowy serwis pogodowy IMGW-PIB (meteo.imgw.pl). Po 13 latach od debiutu strony prezentującej pogodę dla Polski przyszedł czas na zmiany. O to efekt – meteo.imgw.pl – nowa strona z pogodą dla Polski od IMGW-PIB.

użytkowników. Pod koniec roku będziemy wdrażać korekty i przygotowywać się do uruchomienia kolejnych nowości. Na pewno pojawią się nowe warstwy tematyczne.

Daria Majchrzak: Intensywnie pracujemy też nad darmową aplikacją mobilną. Stawiamy poprzeczkę wysoko, tak aby użytkownik otrzymał najlepszą możliwą prognozę pod kątem sprawdzalności. Domyślne aplikacje smartfonowe korzystają z modeli światowych, najczęściej amerykańskich, i nie dają zadowalających wyników dla Polski.

Bogdan Bochenek: Opracowaliśmy w IMGW-PIB nowatorskie oprogramowanie IMGW Hybrid Model, które jest kompilacją modelu nowcastingowego INCA oraz modeli mezoskalowych AROME i ALARO. Daje on dokładniejsze wyniki, nawet dla prognoz 72-godzinnych. Dostępny będzie



również model globalny z predykcją siedmiodniową.

**Kiedy aplikacja będzie dostępna dla klientów?**

D.M.: Pod koniec lipca planujemy wydanie aplikacji dla systemu Android, a wcześniej jesienią dla iOS.

**Wydaje się, że kluczem do sukcesu był zespół.**

A.W.: Tak. Bardzo zależało nam na tym, żeby produkt od początku do końca zrealizować własnymi siłami. Dzięki temu zbudowaliśmy

silny team, który zdobył mocne kompetencje na najbliższe lata. To pozwoli nam szybko reagować na sugestie użytkowników i utrzymać najwyższe standardy. Oczywiście skład nie był przypadkowy. Główni deweloperzy to ludzie z dużym doświadczeniem: Daria Majchrzak, Wojciech Bisaga, Rafał Kielar, Mariusz Śliz i Paweł Kustron. Merytoryczne i techniczne wsparcie dr. Grzegorza Nykiela pozwoliło nam utrzymać dynamikę prac i zapewnić odpowiednią architekturę całego produktu. Jeszcze zespół modelarzy, którym zarządzał prof. Mariusz Figurski. Prognozy numeryczne i modelowanie stanowią rdzeń całego serwisu.





# Czekają nas przymrozki?

**Dowiedz się w nowym  
serwisie pogodowym IMGW-PIB.**

**[meteo.imgw.pl](https://meteo.imgw.pl)**

**#meteoimgw**



Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej  
Państwowy Instytut Badawczy