



### III. Atmosfera

#### 5. Prognozowanie pogody i ekstremalne zjawiska pogodowe

# Pojęcie “pogoda”

- Pogoda warunkuje życie i działalność człowieka na Ziemi.
- Słowa “**pogoda**” używamy bardzo często i jego znaczenie wydaje się nam oczywiste.
- Mówiąc o pogodzie mamy zwykle na myśli słoneczny, bezdeszczowy dzień.
  - A tak naprawdę nie jest to zbyt poprawne określenie, ponieważ pogoda jest zawsze, niezależnie od naszych odczuć – pogoda jest tym samym zarówno w czasie słonecznych, jak i deszczowych dni.





# Pojęcie “pogoda”

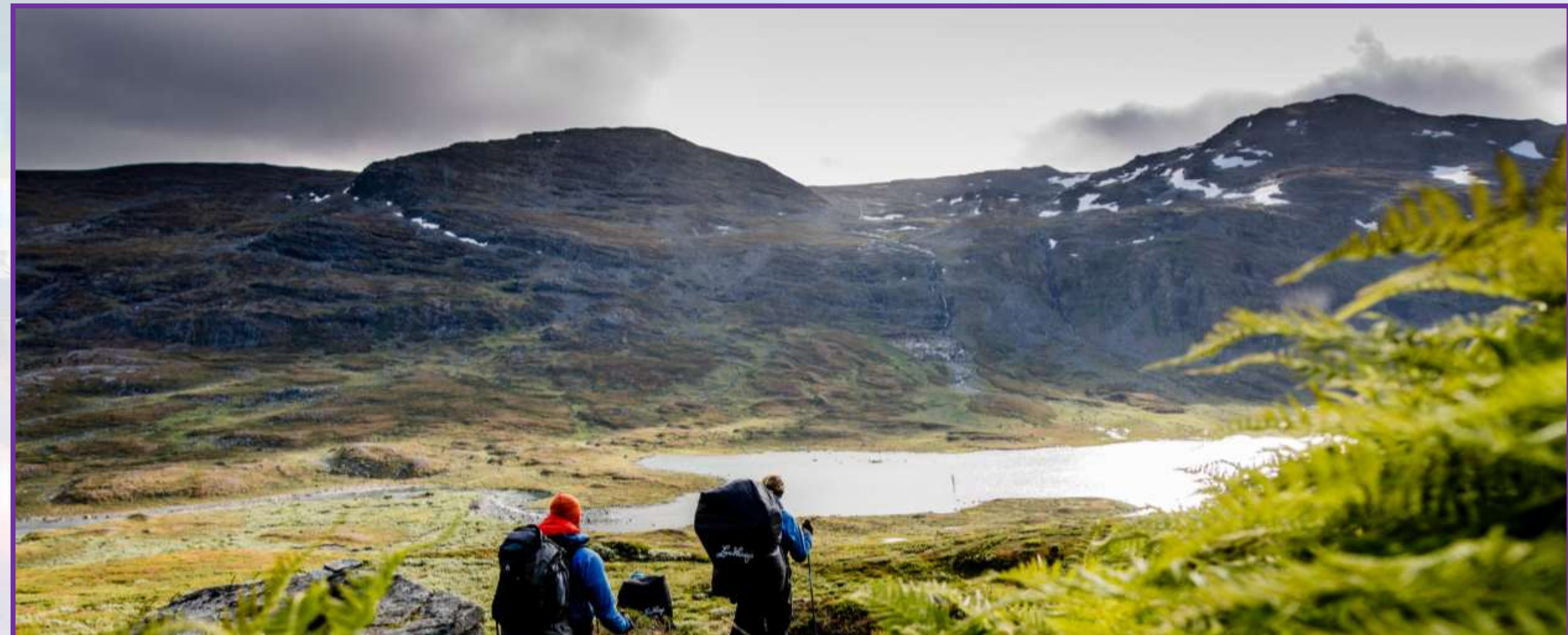
- Jednoznaczne zdefiniowanie pojęcia “**pogoda**” nie jest wcale łatwe i pojawiło się wiele definicji tego terminu.
  - Najczęściej określa się ją jako: **zespół zjawisk fizycznych występujących w przy powierzchniowej warstwie atmosfery zwanej troposferą, w określonym miejscu i w danej chwili;**
  - lub prościej: **chwilowy stan atmosfery w danym miejscu i w danym czasie.**
- Mówiąc o pogodzie, określamy ją najczęściej dla niewielkiego obszaru, ponieważ jest to zjawisko ulegające ciągłym zmianom zarówno w przestrzeni, jak i w czasie.





# Pogoda

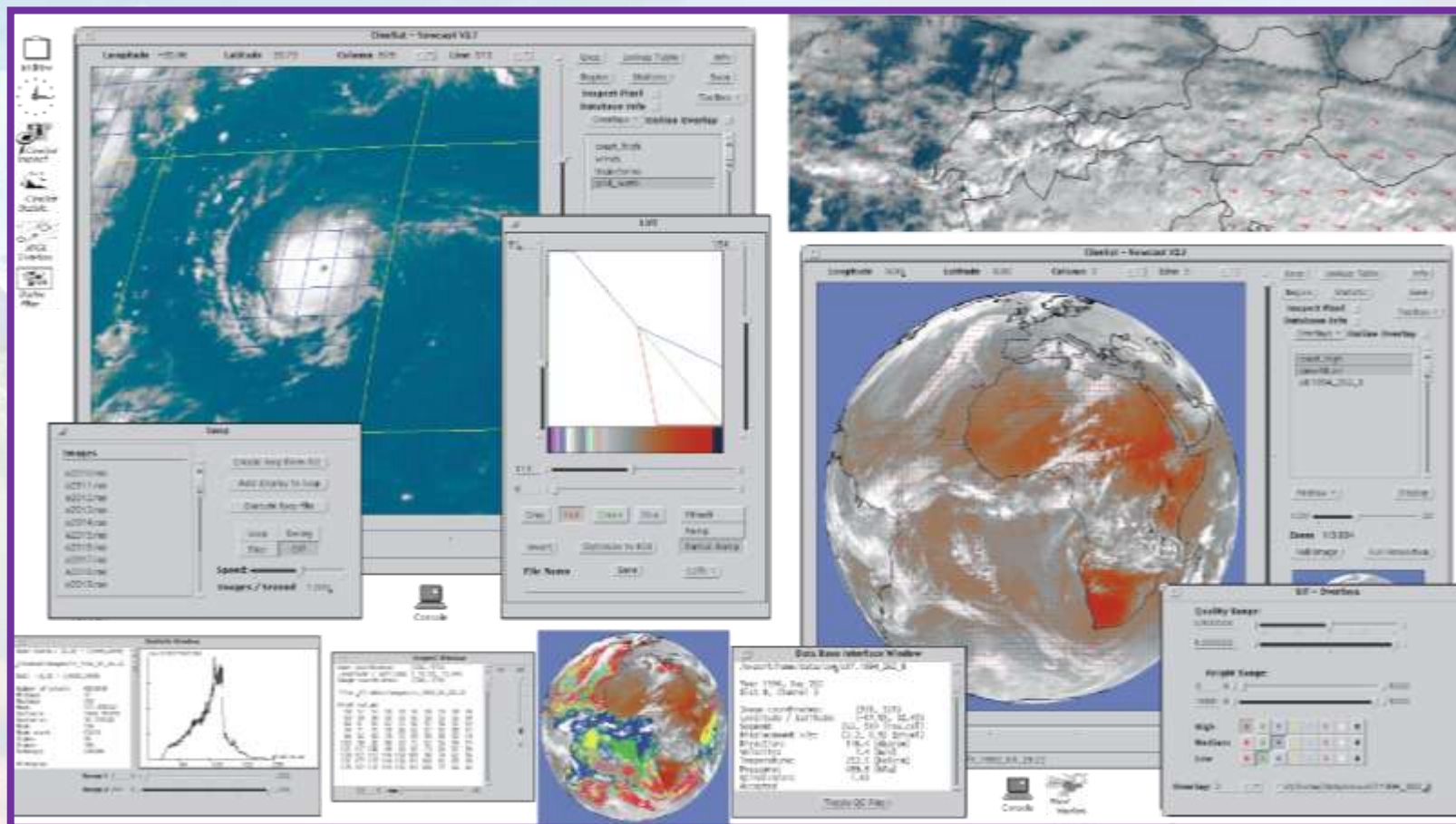
- Pogodę określamy dla stosunkowo krótkich w czasie okresów, np.:
  - **danej godziny** (aktualnej lub innej),
  - **danego dnia** (lub jego fragmentu, np. godzin porannych, wieczornych),
  - **pory roku** (wiosny, przedwiośnia, lata itd.).





# Pogoda

- Pogodę, badaną przez naukę – **meteorologię**, możemy określić za pomocą różnorodnych elementów meteorologicznych (elementów pogody), tj.:
- temperatura powietrza,
  - zachmurzenie (wielkość i rodzaj),
  - opad lub osad atmosferyczny (wielkość i rodzaj),
  - temperatura punktu rosy,
  - pokrywa śnieżna (grubość),
  - wiatr (kierunek i prędkość),
  - wilgotność powietrza,
  - ciśnienie atmosferyczne,
  - nasłonecznienie,
  - widzialność,
  - zjawiska atmosferyczne (np. wyładowania atmosferyczne, tęcza, burza, zamiecie i zawieje śnieżne).
- Prognozowaniem pogody zajmuje się dział meteorologii, zwany **synoptyką**.





# Pogoda i jej zmiany

- **Energia słoneczna** dopływająca do powierzchni Ziemi oraz **ruchy jakie wykonuje nasza planeta** wpływają na ciągłe zmiany **stanów atmosfery**.
  - **Powietrze ogrzewa się lub ochładza**, powodując zmiany ciśnienia atmosferycznego.
  - Ich następstwem są poziome i pionowe ruchy mas powietrza, a także częste zawirowania w troposferze.
  - **Parowanie wody z powierzchni Ziemi** powoduje stały dopływ pary wodnej do atmosfery.
  - Jej kondensacja w powietrzu prowadzi do tworzenia się **chmur**, z których w określonych warunkach powstają różnego rodzaju **opady atmosferyczne**.
- Skutki tych procesów odczuwamy jako zmieniającą się **pogodę**.
  - Zmiany te występują:
    - **w czasie**: w danym miejscu pogoda ciągle się zmienia;
    - **w przestrzeni**: w tym samym czasie panuje inna pogoda w różnych miejscach na Ziemi.
  - Dlatego mówimy, że pogoda jest **zjawiskiem dynamicznym**.





# Znaczenie pogody i klimatu. Cele prognozowania

## → **Pogoda i klimat** wpływają na:

- **wzrost roślin i życie zwierząt** (szczególnie roślin uprawnych i zwierząt hodowlanych);
- **samopoczucie człowieka** związane z aktualnym stanem pogody lub zmianą klimatu;
- **przystosowanie organizmów** do danej strefy klimatycznej, np. kolor skóry, kształt nosa;
- **powstanie specyficznej zabudowy neutralizującej niekorzystny wpływ warunków pogodowych**, np. domy na palach na obszarach często zalewanych;
- **transport**, np. okres zlodzenia rzek, mgły, śnieżyce;
- **działalność przemysłową**, np. większe koszty pozyskiwania kopalin na obszarach trwałej zmarzliny.
- **Cele prognozowania** – potrzeba prognozowania pogody, czyli określenia stanu pogody i przewidywania dalszego jej przebiegu.





# Typ pogody

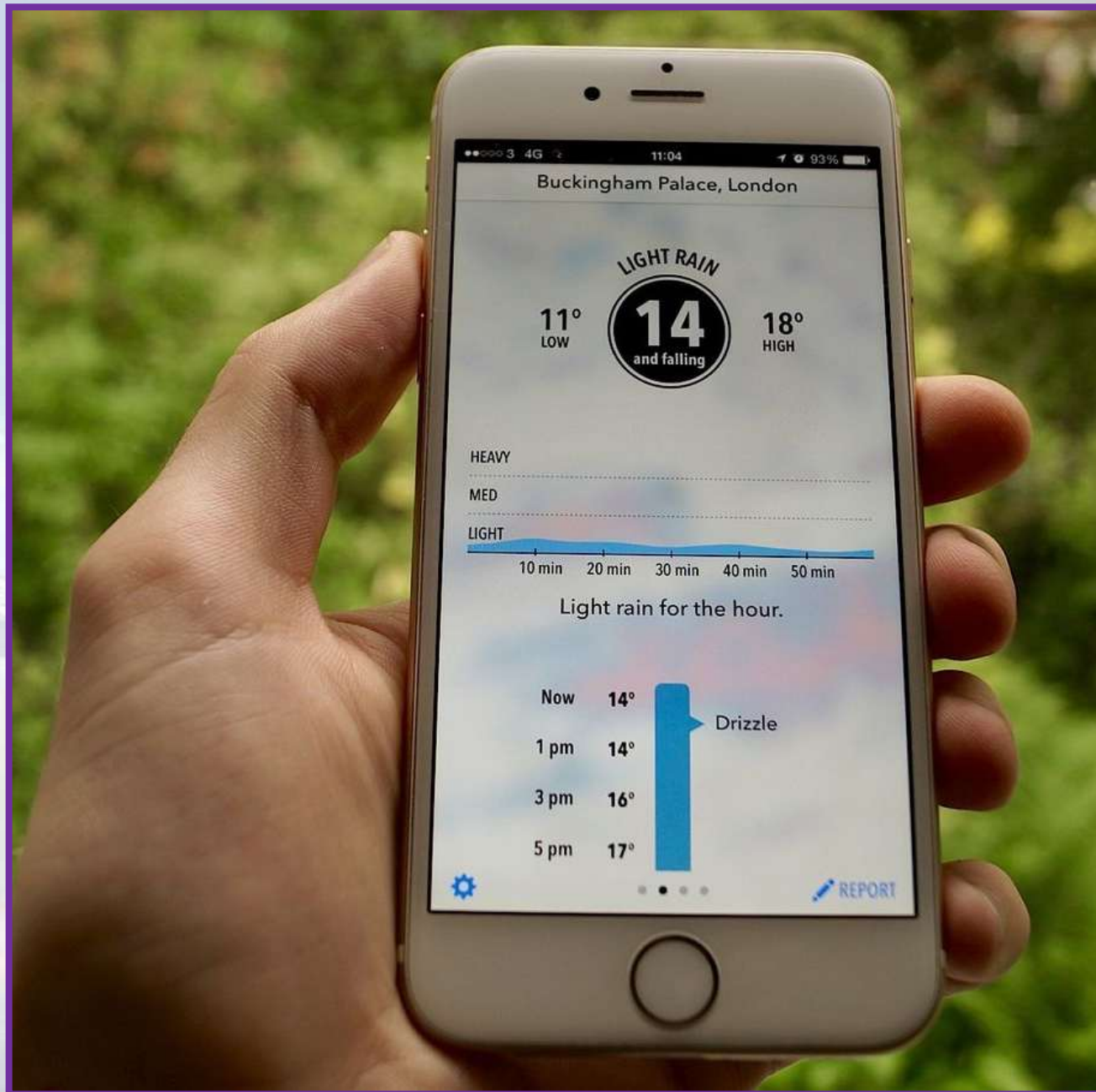
- **Typ pogody** definiowany jest na podstawie wieloletnich badań (trwających najlepiej **około 30 lat**, dla których dane ulegają uśrednieniu) prowadzonych zwykle w odniesieniu do określonego obszaru (np. całego regionu, nad którym występuje określony układ baryczny).
- Typ pogody jest stwierdzany **na podstawie analizy określonych stanów pogody**, które często mają tendencję do cyklicznego powtarzania się w czasie, tzn. w poszczególnych momentach kolejnych lat (np. na początku wiosny – pod koniec marca).
- I tak w Polsce, w czerwcu w górach oraz w lipcu na pozostałym obszarze występują największe opady, związane z letnimi burzami.





# Obserwacja pogody (klimatu)

→ **Przewidywanie zmian pogody i klimatu** ma ogromne znaczenie dla życia i działalności gospodarczej człowieka, dlatego informacje o aktualnym stanie pogody podaje się w środkach masowego przekazu jako **prognozę pogody**.





# Obserwacja pogody (klimatu)

→ Podstawowymi obiektami, w których dokonuje się pomiarów pogody są **stacje meteorologiczne**.

→ **Światowa Organizacja Meteorologiczna (World Meteorological Organization – WMO)** powstała w 1873 r. (od 1951 r. jest wyspecjalizowaną agendą ONZ).

→ W Polsce sieć stacji meteorologicznych działa w ramach **Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMGW)**.

Maksymalna temperatura w Polsce na stacjach synoptycznych IMGW.



Dane do 2007 roku według Z. Ustrupa, D. Czekiela, Atlas ekstremalnych zjawisk meteorologicznych oraz sytuacji synoptycznych w Polsce, IMGW, 2009

Oddziały IMGW-PIB

Gdynia (OGa)

Kraków (OKk)

Wrocław (OWr)

CBPL-MBN

Centralne Biuro Prognoz Lotniczych -  
Meteorologiczne Biuro Nadzoru

BPM

Biuro Prognoz Meteorologicznych

BPMiK

Biuro Prognoz Meteorologicznych i Komercyjnych

BMPM

Biuro Meteorologicznych Prognoz Morskich

BPH

Biuro Prognoz Hydrologicznych

Lotniskowa

Stacja Meteorologiczna

Stacja

Hydrologiczno-Meteorologiczna

Wysokogórskie

Obserwatorium Meteorologiczne

Automatyczna

Stacja Synoptyczna

Stacja

Hydrologiczna

Stacja

Aerologiczna





# Określanie pogody

- Chcąc określić pogodę, bada się stan troposfery poprzez **pomiary** i **obserwację** zachodzących w niej zjawisk.
- Są to **zachmurzenie**, **temperatura powietrza**, **ciśnienie atmosferyczne**, **wilgotność powietrza**, **opady**, **uśłonecznienie** oraz **kierunek i prędkość wiatru**.
- Składniki te mierzy się za pomocą różnych **przyrządów meteorologicznych**, na przykład **termometru**, **barometru**, **deszczomierza** i **anemometru** (wiatromierza).





# Pomiary i obserwacje meteorologiczne

- **Pomiarów i obserwacji meteorologicznych** dokonuje się poprzez:
  - naziemne sieci **stacji meteorologicznych**,
  - naziemne sieci **posterunków meteorologicznych**,
  - **statki meteorologiczne i urządzenia pływające**,
  - **satelity meteorologiczne**,
  - pozostałe obiekty badawcze.





# Naziemne sieci stacji meteorologicznych

- **Naziemne sieci stacji meteorologicznych** prowadzą dość dokładne i częste pomiary i obserwacje.
- Odbywają się one zwykle **co 3 godziny: 0.00, 3.00, 6.00, 9.00, 12.00, 15.00, 18.00 i 21.00** czasu uniwersalnego (UTC),
  - pomiar wybranych elementów meteorologicznych odbywać się może jednak częściej (wiele stacji pomiaru dokonuje co 1 godzinę) lub rzadziej;
  - na stacjach zautomatyzowanych, pomiar może być dokonywany znacznie częściej, np. co godzinę lub cały czas (dzięki zapisowi cyfrowemu).





# Naziemne sieci stacji meteorologiczne

- Modelowe **stacje meteorologiczne** prowadzą:
  - **ocenę wizualną elementów atmosferycznych** (np. zachmurzenia, wystąpienia wyładowań atmosferycznych itd.),
  - **pomiary wykonywane przez różnorodne przyrządy pomiarowe** (większość umieszczona jest w specjalnej klatce meteorologicznej, która położona jest na wysokości dwóch metrów nad powierzchnią gruntu), tj.:
    - **termometr** – pomiar temperatury aktualnej, minimalnej i maksymalnej powietrza (nad lądem i akwenami wodnymi),
    - **barometr** – pomiar ciśnienia atmosferycznego,
    - **higrometr (psychrometr)** – pomiar wilgotności powietrza,
    - **deszczomierz (pluwiometr)** – pomiar wielkości opadu atmosferycznego,
    - **gradometr** – pomiar wielkości opadu w postaci gradu,
    - **anemometr (wiatromierz)** – pomiar prędkości i kierunku wiatru,
    - **heliograf** – pomiar czasu uśłonecznienia (bezpośredniego promieniowania słonecznego).
- Wyspecjalizowane, specjalne stacje meteorologiczne (np. leżące na lotniskach), dodatkowo mogą posiadać instrumenty umożliwiające określić widoczność, pułap chmur, wielkość kropli, wilgotność i temperaturę gleby lub akwenu wodnego itp.



W stacjach meteorologicznych pomiary i obserwacje elementów pogody prowadzi się np. w ogródkach meteorologicznych.



# Naziemne sieci posterunków meteorologicznych

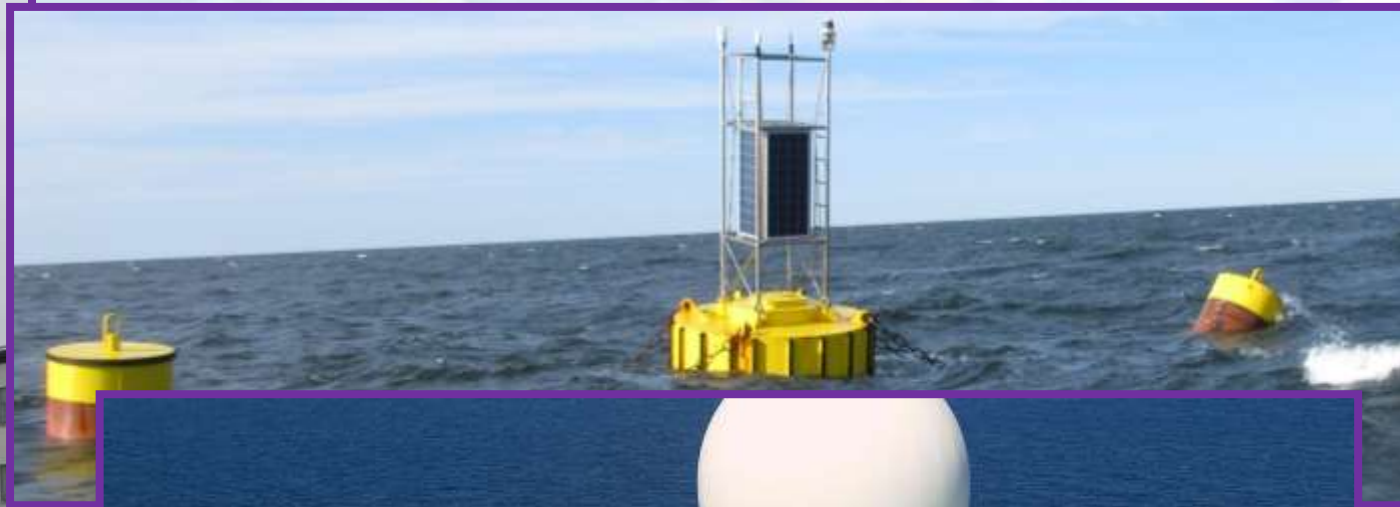
- **Naziemne sieci posterunków meteorologicznych** prowadzą wybrane, najbardziej klasyczne pomiary i obserwacje, wykonywane z reguły znacznie rzadziej niż w przypadku typowych stacji meteorologicznych.
- Pomiary i obserwacje wykonywane są zwykle:
  - **trzy razy na dobę**, tj. o:
    - 6.00, 12.00 i 18.00 czasu uniwersalnego (UTC),  
**lub**
  - **cztery razy na dobę**, tj. o:
    - 6.00, 12.00, 18.00 oraz dodatkowo o godzinie 0.00 UTC.





# Statki meteorologiczne i urządzenia pływające

- **Wyspecjalizowane statki meteorologiczne** i różne **urządzenia pływające** (w postaci dedykowanych **bojek pogodowych**, dryfujących na oceanie, morzach lub jeziorach) wykorzystywane są do prowadzenia badań i obserwacji w obrębie akwenów wodnych (gdzie nie można wybudować klasycznej stacji lub posterunku meteorologicznego).
- Prowadzone na nich, często specjalistyczne pomiary mają na celu zagęszczenie punktów pomiarowych na Ziemi, co z kolei ma się przełożyć na poprawę skuteczności prognozowania.
- Umieszczane są one w ważnych miejscach, gdzie kształtują się układy baryczne i masy powietrza.





# Satelity meteorologiczne

- **Satelity meteorologiczne** prowadzą monitoring stanów wybranych elementów meteorologicznych na Ziemi.
- Dzięki wykonywanym przez nie **zdjęciom satelitarnym** pozyskiwane są m.in. dane dotyczące zachmurzenia oraz przemieszczania się mas powietrza.
- To z kolei umożliwia nam wczesne reagowanie oraz ochronę przed skutkami groźnych zjawisk atmosferycznych, takich jak cyklony tropikalne lub sztormy.





## Pozostałe obiekty badawcze

- **Pozostałe obiekty badawcze** wykorzystywane są do ściśle określonych celów, i tak np.:
  - **radary meteorologiczne** – poprzez wykorzystanie fal radiowych, umożliwiają wykrywanie opadów oraz groźnych zjawisk, tj. cyklony, burze i sztormy,
  - **balony meteorologiczne (sondy meteorologiczne)** – niewielkie balony, zaopatrzone w wybrane przyrządy meteorologiczne, prowadzące pomiary powietrza na określonych wysokościach.



Radary dopplerowski służący m.in. do lokalizacji i intensywności opadów



Balon meteorologiczny




# Zachmurzenie

- **Zachmurzenie** – określa się wzrokowo, oceniając procent pokrycia nieba chmurami.
- Najczęściej określa się je w oktanach (widoczny nieboskłon ulega podziałowi na części) – wyrażając je w skali od 0 do 8, przy czym:
  - **0/8** – oznacza **bezczmurne niebo**,
  - od **1/8** do **3/8** – mamy do czynienia z **niewielkim zachmurzeniem**,
  - od **4/8** do **5/8** – **umiarkowane zachmurzenie**,
  - od **6/8** do **7/8** – **duże zachmurzenie**,
  - **8/8** – **całkowite zachmurzenie** (niebo bez prześwitów w chmurach).
- Dawniej, do 1967 roku powszechnie stosowało się skalę od 0 do 10.

## POKRYWA CHMUR

 bezchmurnie

 1/8 pokrycia nieba

 2/8 – „ –

 3/8 – „ –

 4/8 – „ –

 5/8 – „ –

 6/8 – „ –

 7/8 – „ –

 zachmurzenie całkowite

 niebo niewidoczne





# Zachmurzenie – ocena

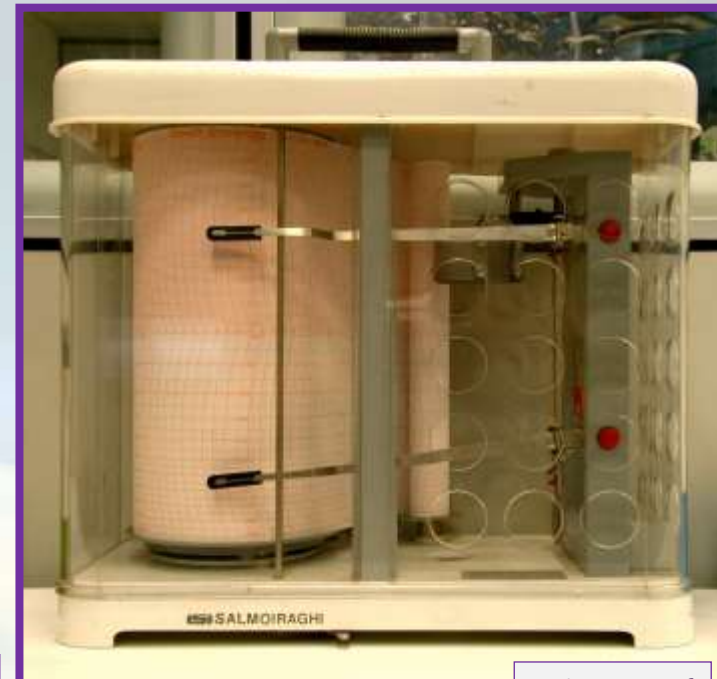
→ **Ocena zachmurzenia** jest wykonywana bez przyrządów lub z użyciem przyrządu **nefometru** – który umożliwia znacznie dokładniejszy pomiar niż gołym okiem.



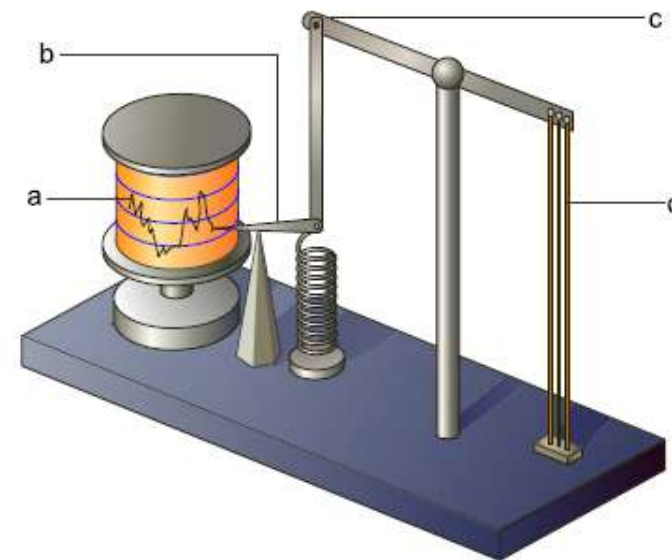


# Wilgotność powietrza

- **Wilgotność powietrza** – to inaczej zawartość pary wodnej w powietrzu.
- Zależy ona głównie od temperatury – generalnie **maleje od równika ku biegunom**.
- Największą wilgotnością cechuje się powietrze równikowe, średnią powietrze polarne, a najmniejszą arktyczne (antarktyczne) i zwrotnikowe.
- Wyróżniamy:
  - **wilgotność względna** – stosunek ciśnienia cząstkowego pary wodnej zawartej w powietrzu do ciśnienia nasycenia, określającego maksymalne ciśnienie cząstkowe pary wodnej w danej temperaturze (wyrażana jest ona w %);
  - **wilgotność bezwzględna** – zawartość pary wodnej w powietrzu, w jednostce objętości równej  $1 \text{ m}^3$ , wyrażona w gramach  $[\text{g}/\text{m}^3]$ .



Higrograf



Obserwatorium Paranal na pustyni Atakama jest jednym z najbardziej suchych miejsc na Ziemi



# Ciśnienie atmosferyczne

- **Ciśnienie atmosferyczne** – zależy od panujących nad danym terytorium układów barycznych.
- Przyjmuje się, że ciśnienie atmosferyczne **na poziomie morza na szerokości geograficznej  $45^\circ$ , w temperaturze  $0^\circ$  wynosi  $1013,25 \text{ hPa}$**  (jest to tzw. **ciśnienie normalne**).
- Wraz ze wzrostem wysokości nad poziomem morza wartość ciśnienia spada, średnio około  **$11,5 \text{ hPa}/100 \text{ m}$** .



## Tendencja ciśnienia

Symbol	Opis
/	Wzrastające
^	Wzrastające, potem opadające
↗	Wzrastające, potem stałe
↘	Wzrastające, potem opadające
✓	Opadające, potem wzrastające
—	Stale
↘	Opadające
↘	Opadające, potem wzrastające
↘	Opadające, potem stałe

Plastikowa butelka została zamknięta na obserwatorium Mauna Kea na Hawajach na wysokości około 4300 m i została zmiażdżona przez wzrost ciśnienia atmosferycznego, zarejestrowanego na wysokości 2700 m i 300 m, ponieważ została sprowadzona w dół (bliżej poziomu morza).



# Temperatura

- **Temperatura powietrza** przy powierzchni Ziemi wykazuje duże zróżnicowanie przestrzenne.
- W danym miejscu na kuli ziemskiej temperatura powietrza zmienia się zarówno w cyklu dobowym, jak i rocznym.
- Zmiany temperatury występują także wraz ze wzrostem wysokości nad poziomem morza.
  - Przeciętnie temperatura powietrza spada o **0,65°C/100 m**.





# Temperatura

→ **Temperaturę** – określamy z wykorzystaniem trzech rodzajów skal: **Celsjusza**, **Fahrenheita** i **Kelvina**.

## Skale temperatur

### Celsjusza

Przyjętymi umownie punktami skali są:

- ▶ **0°C** (temperatura topnienia lodu / zamarzania wody),
- ▶ **100°C** (temperatura wrzenia czystej wody).

$$T_{[°C]} = \frac{5}{9} \cdot (T_{[°F]} - 32)$$
$$T_{[°C]} = T_{[K]} - 273,15$$

### Fahrenheita

Powszechnie stosowana w krajach anglosaskich.

Skala temperatury z:

- ▶ punktem topnienia/zamarzania **32°F**,
- ▶ punktem wrzenia czystej wody **212°F**.

$$0°F = -17,78°C$$

$$T_{[°F]} = \frac{9}{5} \cdot T_{[°C]} + 32$$

### Kelvina

Skala temperatury z:

- ▶ punktem topnienia/zamarzania **273,15 K** (kelwinów),
- ▶ punktem wrzenia **373,15 K** (kelwinów).

W skali tej 0 K (zwane zerem bezwzględnym) oznacza temperaturę, w której zanikają wszelkie ruchy cieplne cząsteczek.

$$0 K = -273,15°C$$

$$T_{[K]} = T_{[°C]} + 273,15$$



# Wiatr

- **Wiatr** – ruch powietrza który jest zazwyczaj poziomy względem powierzchni Ziemi oraz jest wynikiem **zróznicowania ciśnienia atmosferycznego** w dolnej troposferze.
  - Im większa różnica ciśnienia, tym większa prędkość wiatru.
- Cząsteczki powietrza poruszają się zawsze z wyżów do niżów barycznych.
- Do pomiaru prędkości wiatru służy **wiatromierz (anemometr)**.
  - Prędkość wiatru określa się w:
    - **metrach na sekundę (m/s)**,
    - **kilometrach na godzinę (km/h)**.

$$1 \frac{m}{s} = 3,6 \frac{km}{h}$$

*Przeliczając wartości z m/s na k/h należy pomnożyć wartość m/s przez 3,6*

$$1 \frac{km}{h} = \frac{10}{36} \frac{m}{s}$$

*Przeliczając wartości z km/h na m/s należy podzielić wartość km/h przez 3,6*



## PRĘDKOŚĆ WIATRU

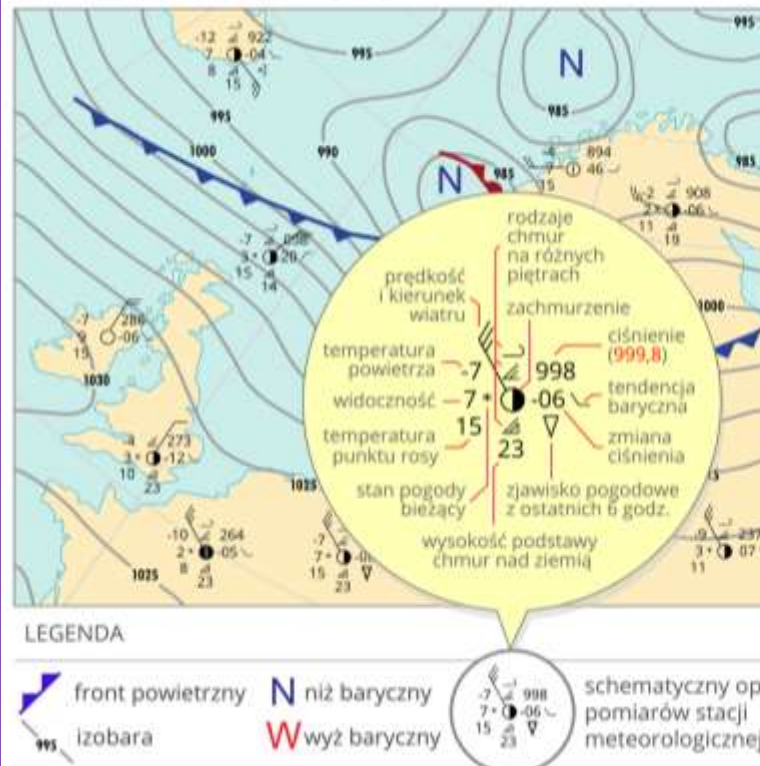
○	cisza
~	wiatr zmienny
○ —	2,5 m/s
○ — —	5 m/s
○ — — —	7,5 m/s
○ — — — —	10 m/s
...	
○ — — — — —	22,5 m/s
○ — — — — — —	25 m/s
○ — — — — — — —	27,5 m/s



# Mapy synoptyczne - analiza

- Wyniki pomiarów i obserwacji meteorologicznych nanoszone są na **mapę synoptyczną (mapę pogody)**.
- Obrazuje ona **aktualny stan pogody** i służy **przewidywaniu pogody**.
- Z mapy synoptycznej możemy **odczytać rodzaj i rozkład frontów atmosferycznych, ciśnienie, zjawiska meteorologiczne i obszar ich występowania, wielkość zachmurzenia, kierunek i prędkość wiatru, temperaturę powietrza**.
- Na tej podstawie możemy:
  - **przewidywać tendencję zmian w pogodzie,**
  - **prognozować pogodę – ale tylko na niedługi czas – w miarę precyzyjna prognoza będzie obejmować okres tylko do kilku dni (najdokładniejsze są prognozy krótkoterminowe, sporządzane dla przedziału czasowego obejmującego najbliższe 72 godziny od chwili opracowania prognozy).**

PRZYKŁADOWA MAPA SYNOPTYCZNA



WYBRANE ZNAKI SYNOPTYCZNE

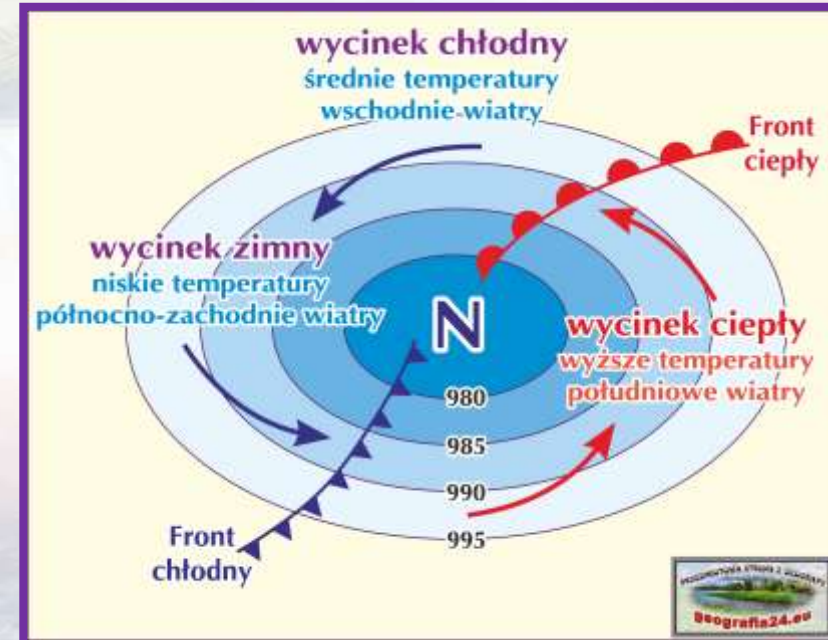
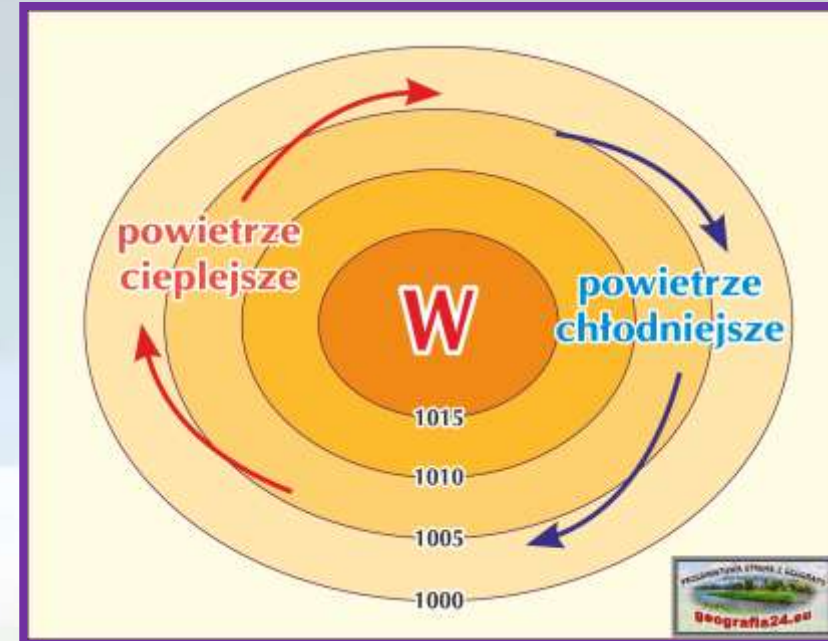
FRONTY ATMOSFERYCZNE		ZJAWISKA METEOROLOGICZNE
ciepły front górny	front zokludowany	mgła, niebo widoczne
chłodny front dolny	front stacjonarny	mgła, niebo niewidoczne
POKRYWA CHMUR	PRĘDKOŚĆ WIATRU	po zamgleniu
bezchmurnie	cisza	mżawka słaba okresowa
1/8 pokrycia nieba	wiatr zmienny	mżawka słaba ciągła
2/8 - - -	2,5 m/s	umiarkowany deszcz okresowy
3/8 - - -	5 m/s	umiarkowany deszcz ciągły
4/8 - - -	7,5 m/s	słaby deszcz ze śniegiem
5/8 - - -	10 m/s	silny, ciągły śnieg
6/8 - - -	22,5 m/s	przelotny śnieg
7/8 - - -	25 m/s	przelotny grad
zachmurzenie całkowite	27,5 m/s	burza z deszczem
niebo niewidoczne		po silnej burzy z gradem





# Wskazówki przy prognozowaniu: układy baryczne

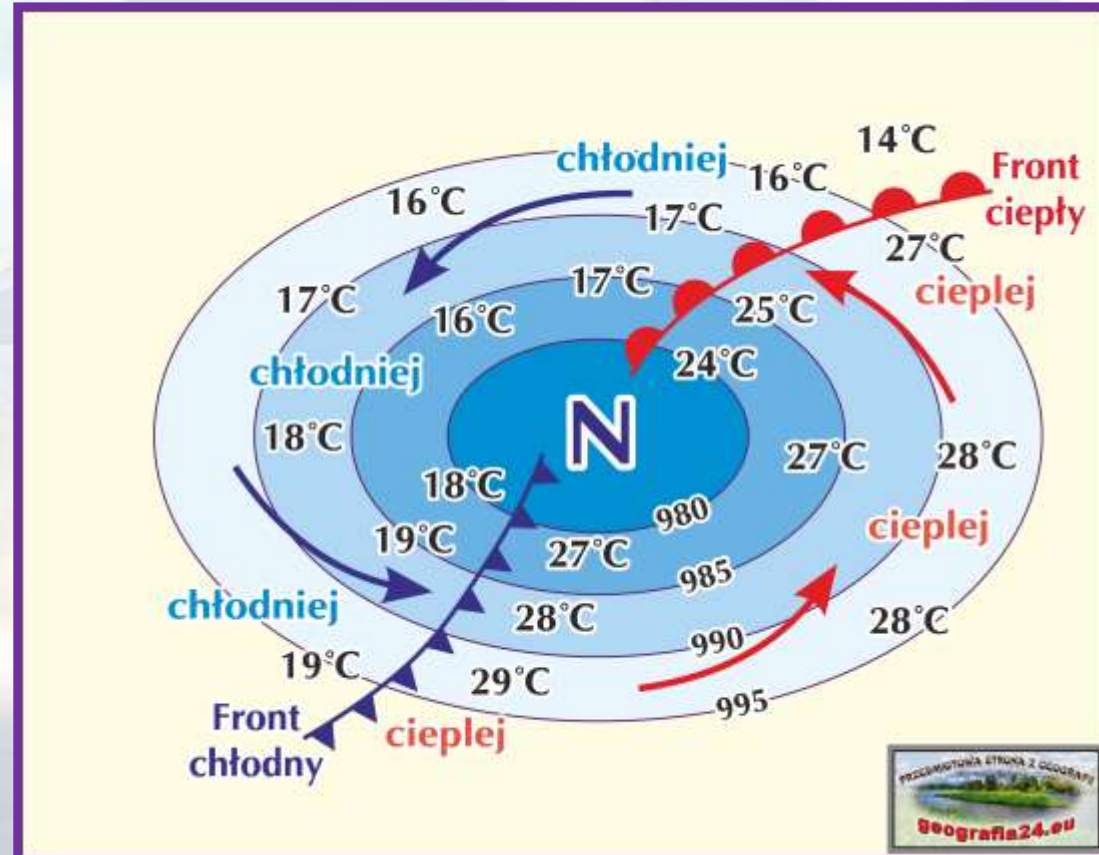
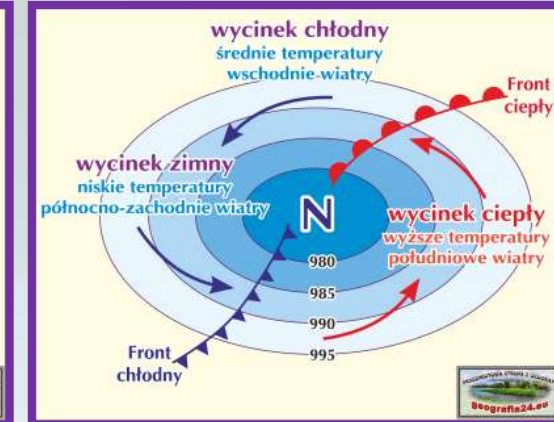
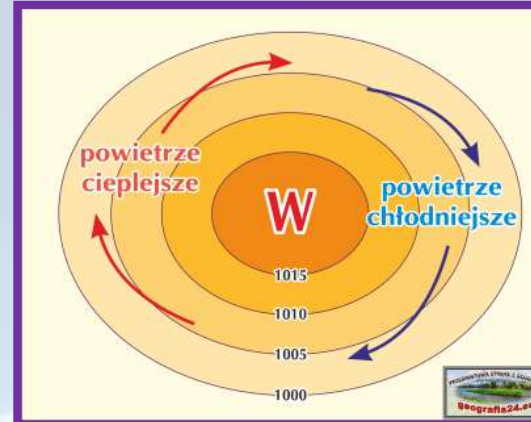
- Lokalizujemy położenie centrum układu barycznego na mapie i ewentualnie ustalamy (o ile to możliwe) w którym kierunku ten układ będzie się przesuwał.
- **W układzie wyżowym** obserwujemy ruch powietrza w dół – co przeciwdziała tworzeniu się chmur – dlatego wyż zwykle nie przynosi opadów;
  - **wiatr wieje** na półkuli północnej wokół jego centrum **zgodnie z ruchem wskazówek zegara**:
    - północne wiatry na czole wyżu przynoszą zazwyczaj chłodniejsze powietrze,
    - południowe wiatry na tyle przynoszą powietrze cieplejsze;
- **W układzie niżowym** obserwujemy ruchy wstępujące powietrza, w wyniku których tworzenie chmur i występowanie opadów przynosi w lecie ochłodzenie, zaś w zimie ocieplenie:
  - deszcz: wiosna – jesień; śnieg: zima; burze: lato;
  - **wiatr wieje przeciwnie do ruchu wskazówek zegara**:
    - południowe wiatry na czole niżu przynoszą zazwyczaj cieplejsze powietrze,
    - północne wiatry na tyle przynoszą powietrze chłodniejsze.





# Wskazówki przy prognozowaniu: fronty atmosferyczne

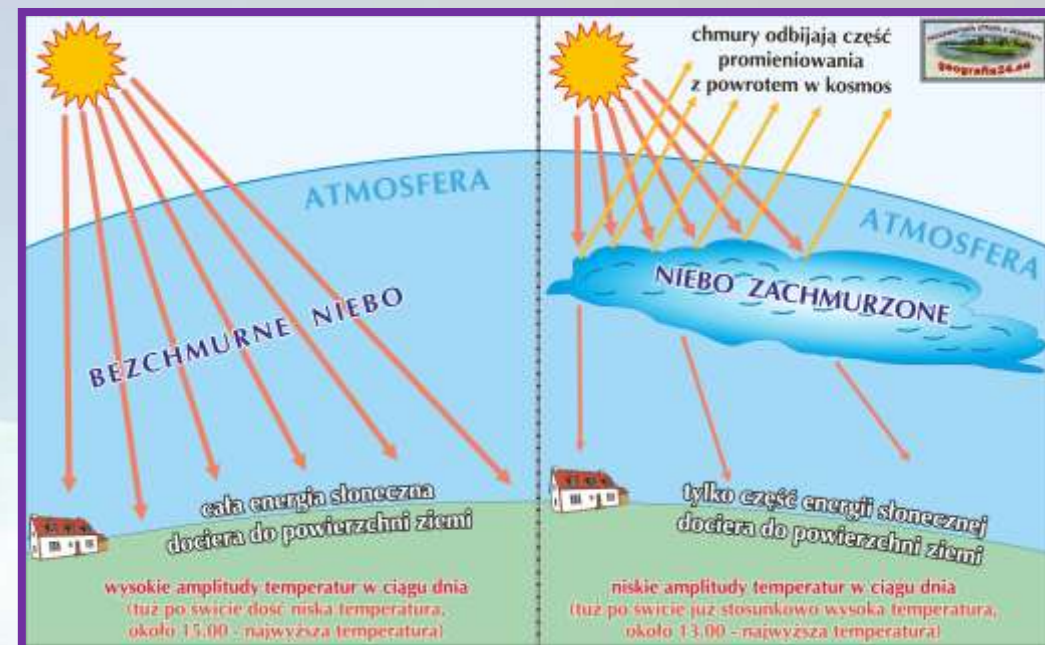
- Lokalizujemy położenie frontu na mapie i koniecznie ustalamy kierunek jego ruchu (pamiętamy: w niżu na półkuli północnej powietrze przemiesza się w lewo, w wyżu – w prawo).
- **W przypadku frontu chłodnego** obserwujemy napływ powietrza chłodniejszego (jest niższa temperatura),
  - opady występują zaraz na czole frontu i w czasie jego szybkiego przechodzenia nad obszarem (strefa z opadami jest dość wąska – opady trwają stosunkowo krótko),
  - za frontem powietrze staje się suche (maleje wilgotność), zachmurzenie jest niewielkie (lub nawet brak),
  - na powierzchni frontowej prądy wznoszące powietrze są zazwyczaj bardzo silne, a to skutkuje powstawaniem wysoko wypiętrzonych chmur, często **burzowych (Cb)** z ulewnym deszczem i wyładowaniami atmosferycznymi.
- **W przypadku frontu ciepłego** napływa ciepłe powietrze,
  - słabe opady występują w czasie wolno przemieszczającej się, bardzo rozległej powierzchni frontowej na danym miejscu,
    - opady z **chmur warstwowych** często trwają ponad 24 godziny,
  - tuż po przejściu frontu powietrze jest bardzo wilgotne (wilgotność powietrza powoli maleje po przejściu) oraz znacznie cieplejsze niż przed czołem.





# Wskazówki przy prognozowaniu: zachmurzenie

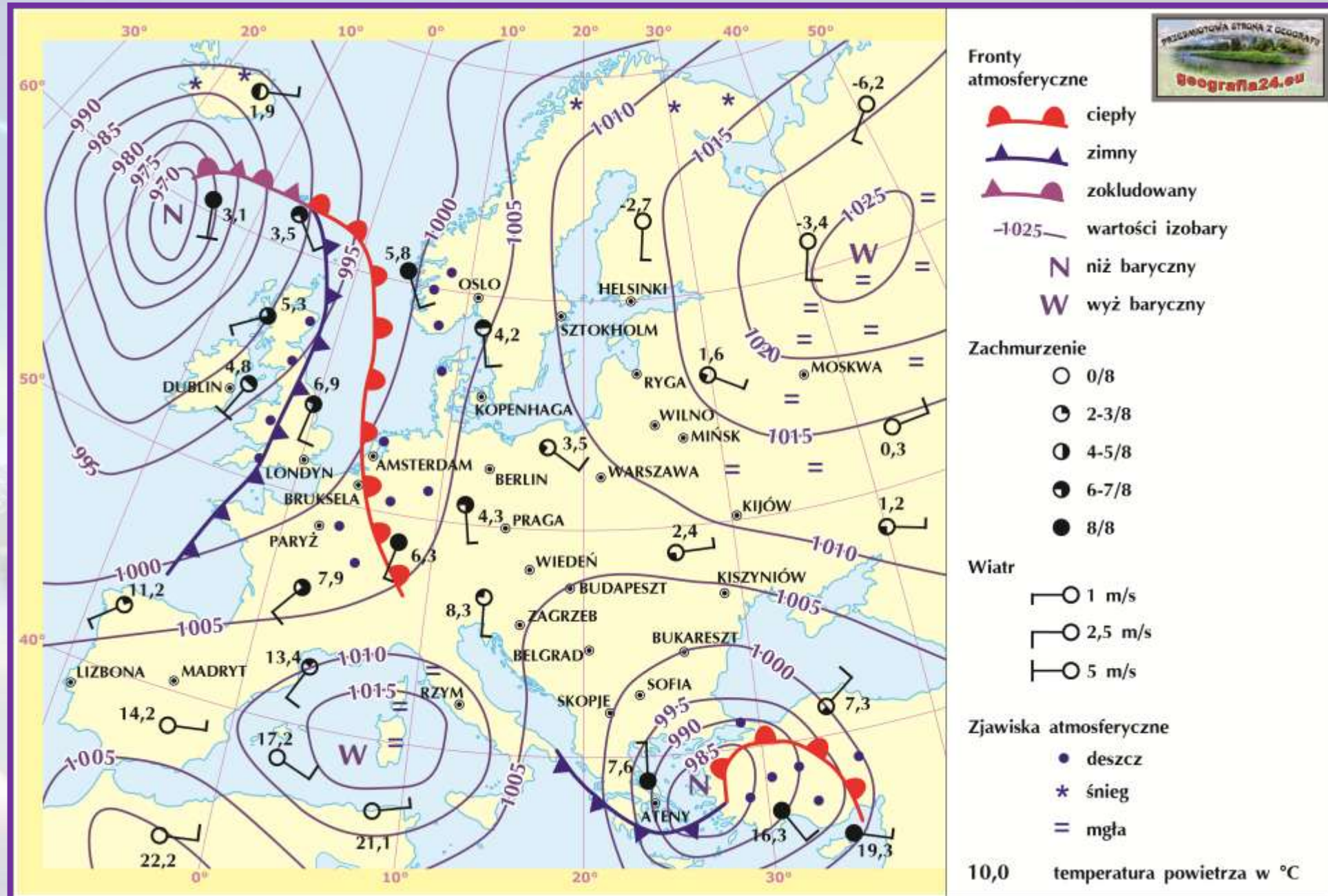
- Ustalamy **stopień zachmurzenia** i w zależności od pory:
  - **w przypadku dnia**,
    - **w przypadku braku zachmurzenia** dopływ promieni słonecznych powoduje szybkie nagrzewanie się powierzchni Ziemi, skutkujące szybkim wzrostem temperatur,
    - najwyższe wartości temperatur występują **około godziny 15.00**,
    - **w przypadku zachmurzenia dużego i tym bardziej całkowitego** obserwujemy odbicie lub pochłonięcie części promieni słonecznych przez chmury – skutkuje to wolniejszym i mniejszym stopniem nagrzewania powierzchni Ziemi,
      - najwyższe wartości temperatur występują **około godziny 13.00**,
  - **w przypadku nocy**,
    - **zachmurzenie** przyczynia się do **mniejszej utraty ciepła** – temperatury stosunkowo wolno się obniżają
      - najwolniej w czasie występowania długotrwałych opadów deszczu, związanych z frontem ciepłym,
    - **przy małym zachmurzeniu lub tym bardziej bezchmurnym niebie** obserwujemy **bardzo szybkie wypromieniowywanie ciepła i szybki spadek temperatur**,
      - **najniższa wartość temperatur** jest tuż po wschodzie Słońca.





# Przykładowa mapa synoptyczna do samodzielnej analizy

- Dokonaj analizy mapy synoptycznej.
- Uwzględnij możliwie jak najwięcej zmian jakie zajądą w różnych regionach Europy, w szczególności dotyczące temperatury, zachmurzenia, wiatru i zjawisk meteorologicznych.



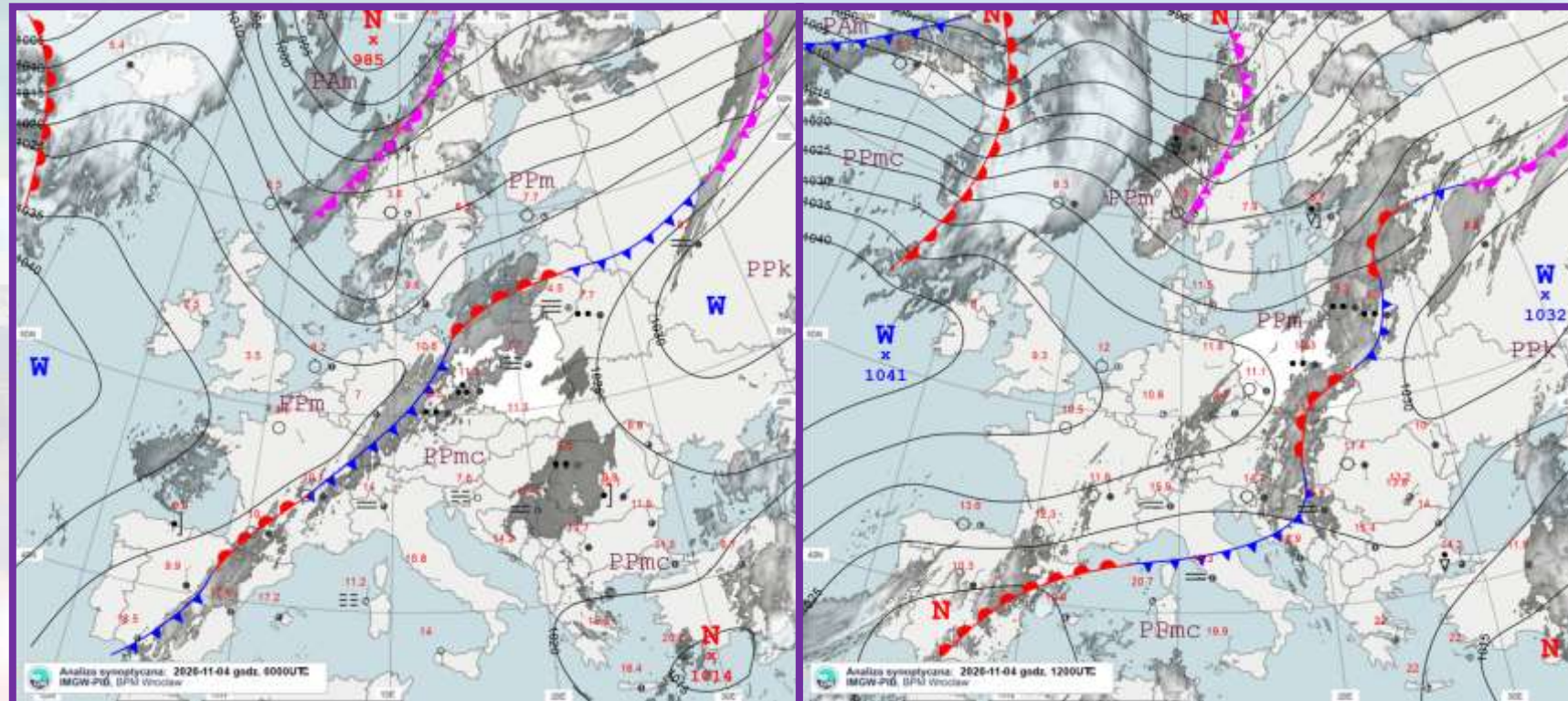


# Przykładowa mapa synoptyczna do samodzielnej analizy

→ Dokonaj analizy mapy synoptycznej.

→ Uwzględnij możliwie jak najwięcej zmian jakie zajądą w różnych regionach Europy, w szczególności dotyczące temperatury, zachmurzenia, wiatru i zjawisk meteorologicznych.

→ Źródło: meteo.imgw.pl



Zjawiska meteorologiczne	
	mgła, mgła mroząca
	marzący deszcz, mżawka
	grad
	burza, błyskawica
	zawieje lub zamięć
	deszcz ciągły
	mżawka
	śnieg
	opady przelotne deszczu lub śniegu
	satelitarny obraz stref zachmurzenia
Zachmurzenie i prędkość wiatru	
	niebo bezchmurne
	1/8
	2/8
	3/8
	4/8
	5/8
	6/8
	7/8
	zachmurzenie całkowite
	niebo niewidoczne
	stacja automatyczna
	deszcz
	wiatr zmienny
	1 m/s
	2,5 m/s
	5 m/s
	7,5 m/s
	10 m/s
	22,5 m/s
	25 m/s
	27 m/s
	wielkość zachmurzenia prędkość wiatru kierunek wiatru
Masy powietrza	
PP	powietrze polarne
PA	powietrze arktyczne
PZ	powietrze zwrotnikowe
m	morskie
k	kontynentalne
C	cieple
S	stare
	front zimny front ciepły front zaskładowany wtórny front zimny linia zbieżności
Układy ciśnienia	
W	Wyz
N	Niz
	izobara co 5 hPa



# Obserwacje przyrody sposobem na prognozowanie

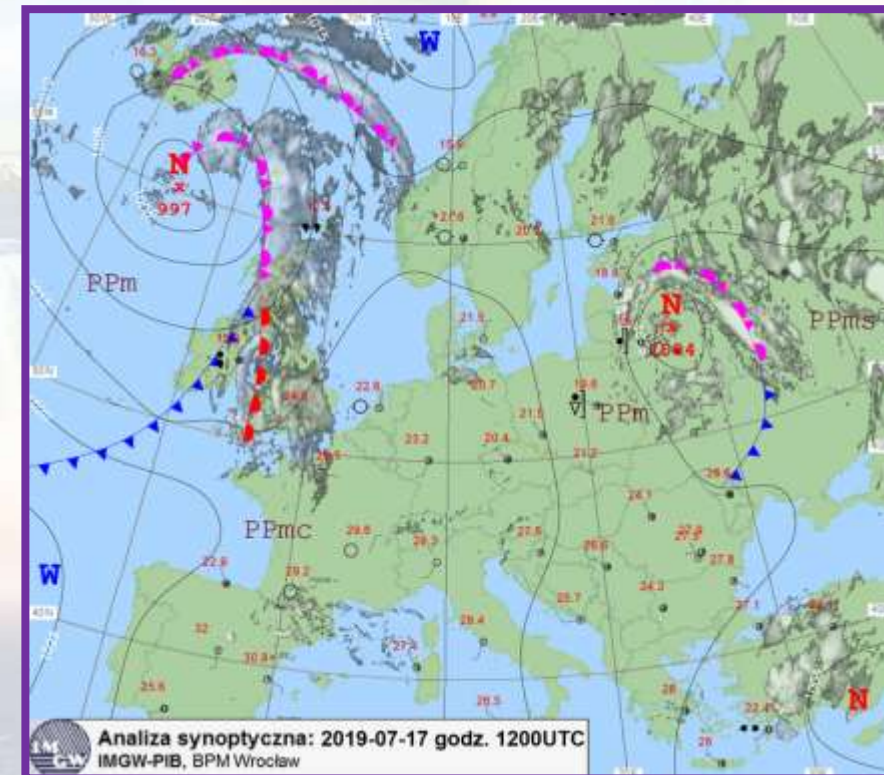
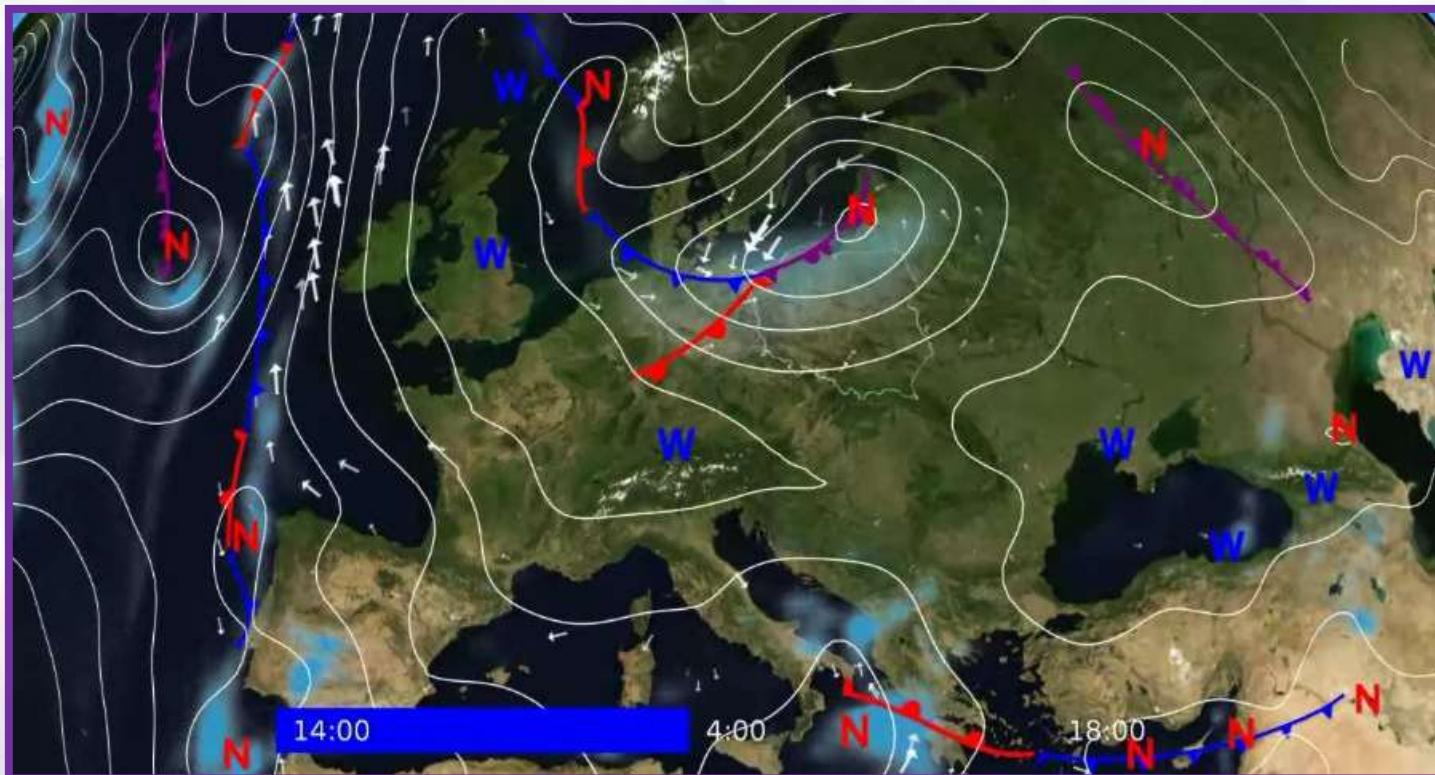
- Do przewidywania pogody możemy także wykorzystać swój umysł.
- I tak wystarczy wyjść z domu lub nawet otworzyć okno i popatrzeć przed siebie (szczególnie w stronę nieba) w celu obserwacji przyrody.
- Dzięki temu sami będziemy w stanie przewidzieć pogodę na najbliższe godziny, a nawet czasem i na dłużej.
- Choć będzie to w zależności od naszej wnikliwości obarczone pewnym błędem, to jeśli to będziemy robili systematycznie (dokonując później krótkiej analizy sprawdzalności) to z czasem ilość błędnych prognoz zacznie maleć, a przecież w "telewizji pani lub pan też w prognozie pogody potrafi się pomylić".





# Obserwacje przyrody sposobem na prognozowanie

Element meteorologiczny	Zwiastun poprawy pogody	Zwiastun pogorszenia pogody
<b>ciśnienie atmosferyczne</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ wzrost ciśnienia (nadejście układu wysokiego ciśnienia) – niewielkie zachmurzenia, mała wilgotność i małe prawdopodobieństwo wystąpienia opadów atmosferycznych</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ spadek ciśnienia (nadejście układu niskiego ciśnienia) – wzrost zachmurzenia i zwiększona możliwość wystąpienia opadów atmosferycznych (w półroczu letnim także burz, silnego wiatru i wyładowań atmosferycznych)</li> </ul>
<b>temperatura powietrza</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ systematyczne zwiększanie wartości temperatur w ciągu dnia w półroczu ciepłym</li> <li>➤ szybki i znaczny spadek temperatury wieczorem i nocą (szczególnie latem)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ wzrost wartości temperatur (bardzo upalne letnie dni) i tuż przed frontem chłodnym szybkie obniżanie się wartości temperatur w półroczu ciepłym (nadejście burz)</li> <li>➤ wzrost wartości temperatur zimą – zwiastun nadejścia opadów w postaci śniegu, przechodzącego w opady deszczu ze śniegiem i deszczu</li> </ul>





# Obserwacje przyrody sposobem na prognozowanie

Element meteorologiczny	Zwiastun poprawy pogody	Zwiastun pogorszenia pogody
<b>zachmurzenie (w tym ocena wizualna koloru)</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ brak, niewielkie lub także mające tendencję do zaniku zachmurzenie (powolne zanikanie chmur kłębiastych)</li><li>➤ złotawa barwa nieba tuż po zachodzie Słońca</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ całkowite zachmurzenie lub tendencja do wzrostu stopnia pokrycia nieba chmurami (łączenie się chmur kłębiastych)</li><li>➤ wzrost grubości szarych lub ciemnoszarych, mających tendencję do ciemnienia chmur warstwowych (Cs, As, Ns) w czasie dnia (znaczne zmniejszenie dopływu promieniowania bezpośredniego i rozproszonego), zwiększa możliwość wystąpienia opadów atmosferycznych</li><li>➤ czerwone, pomarańczowe odcienie nieba przy wschodzie lub zachodzie Słońca (możliwość opadów)</li><li>➤ tzw. efekt "halo", widoczny w obrębie odmian chmur warstwowych</li><li>➤ wieniec, czyli tzw. "lisia czapa" – pierścień wokół Księżyca w nocy</li></ul>





# Obserwacje przyrody sposobem na prognozowanie

Element meteorologiczny	Zwiastun poprawy pogody	Zwiastun pogorszenia pogody
wilgotność powietrza	➤ spadek wilgotności powietrza – zmniejsza prawdopodobieństwo wystąpienia opadów	➤ wzrost wilgotności powietrza, szczególnie przy odczuwanym przez człowieka wzroście wrażenia duszności przy oddychaniu
rozchodzenie się dźwięku	➤ dość słaba słyszalność dźwięku	➤ dość dobra słyszalność dźwięku
samopoczucie	➤ dobre lub poprawiające się samopoczucie	➤ złe lub pogarszające się samopoczucie (uczucie senności, zmęczenia, zmniejszona koncentracja)

Podczas opadów dźwięk dobrze się rozchodzi i wszystko dobrze słychać, np. osoby idące za nami



Wpływ niskiego ciśnienia na nasze złe lub pogarszające się samopoczucie



# Obserwacje przyrody sposobem na prognozowanie

Element meteorologiczny	Zwiastun poprawy pogody	Zwiastun pogorszenia pogody
<b>wiatr</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ wzrost siły wiatru w godzinach południowych</li><li>➤ brak, lub stosunkowo słaby wiatr w godzinach porannych i nocnych</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ słabnięcie siły wiatru w godzinach południowych (tzw. "cisza przed burzą")</li><li>➤ wzmacnianie się siły wiatru w godzinach porannych i nocnych</li></ul>
<b>widzialność</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ stosunkowo dobra widzialność odległych przedmiotów</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ dość słaba widzialność odległych przedmiotów</li></ul>



Widoczność: dobra (zwiastun poprawy – po lewej), słaba (zwiastun pogorszenia – po prawej)



# Obserwacje przyrody sposobem na prognozowanie

Element meteorologiczny	Zwiastun poprawy pogody	Zwiastun pogorszenia pogody
osady atmosferyczne	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ bardzo obfita rosa, utrzymująca się dość długo w półroczu letnim</li><li>➤ występowanie szronu lub szadzi w półroczu zimowym</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ brak osadów atmosferycznych (np. rosy) w godzinach porannych, lub ich dość szybkie w półroczu letnim, tuż po wschodzie Słońca</li></ul>
mgła	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ występowanie bardzo cienkich mgieł przyziemnych</li><li>➤ stosunkowo szybkie zanikanie mgieł przyziemnych</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ występowanie gęstych i wznoszących się w górę mgieł</li><li>➤ stosunkowo powolne zanikanie mgieł</li></ul>



Mgły: cienkie, przyziemne (zwiastun poprawy – po lewej) oraz grube (zwiastun pogorszenia – po prawej)



# Klimat się zmienia

- **Zmiany klimatyczne** są naturalnie przebiegającym w przyrodzie procesem.
- Niestety na ten proces coraz większy wpływ (za to jest odpowiedzialny) człowiek.
- W szczególności obserwujemy ten proces od początku XX wieku.
- W bliskiej przyszłości oznaczało to będzie występowanie częstszych ekstremalnych zjawisk atmosferycznych – za które przyjdzie nam coraz więcej płacić!!!





# Co to są ekstremalne zjawiska pogodowe

→ **Ekstremalne zjawiska pogodowe** – najwyższe i najniższe wielkości elementów meteorologicznych, zanotowane w danej stacji pomiarowej w określonym czasie.





# Rekordy klimatyczne na świecie

→ Klimat na świecie się wyraźnie ociepla – w przyszłości najprawdopodobniej zostanie pobitych wiele rekordów.

Temperatura powietrza (°C)		
Element meteorologiczny	Wartość	Miejsce i data wystąpienia
Absolutne maksimum	57,8 56,7 70,7	Al-Azizijja (Libia): 13.09.1922 r. (rekord obecnie nieuznawany) Furnace Creek (Dolina Śmierci w USA): 10.07.1913 r. Pustynia Lut (Iran): 2005 r. (rekord uzyskany na podstawie pomiarów satelitarnych liczony przy poziomie ziemi)
Absolutne minimum	-89,2	Stacja badawcza "Wostok" (Antarktyda) 21.07.1983 r.
Absolutne minimum na półkuli północnej	-77,8	Ojmiakon (Jakucja, Rosja) zima 1938/1939 r.
Maksimum na biegunie południowym	-13,6	Stacja badawcza Amundsen – Scott (Biegun Południowy, Antarktyda) 27.12.1978 r.
Maksymalna wieloletnia amplituda	104 (od -71 do 33)	Ojmiakon (Jakucja, Rosja)
Maksymalna dobową amplituda	55 (od -48 do 6,7)	Browning (Montana, USA) 24.01.1916 r.



# Ekstremalne zjawiska pogodowe

- Ekstremalne zjawiska atmosferyczne występują zwykle dość krótko, ale odznaczają się dużą siłą niszczycielską.
- Szacuje się, że straty wywołane takimi zjawiskami w ciągu ostatniego półwiecza spowodowały straty w wysokości około 1 biliona dolarów amerykańskich.
- Należy podkreślić, iż straty mają tendencję do szybkiego wzrostu z dekady na dekadę.





# Przyczyny ekstremalnych zjawisk atmosferycznych

- Główną **przyczyną wzrostu ekstremalnych zjawisk atmosferycznych** (prócz naturalnie przebiegających procesów przyrodniczych, które zawsze na Ziemi występowały) jest **rozwój przemysłu i transportu**, wynikający z rozwoju naszej cywilizacji oraz ciągłego wzrostu liczby ludzi na naszej planecie.
- W wyniku tego wzrostowi ulega temperatura naszej atmosfery, lądów i oceanów – **nasilony jest efekt cieplarniany**.
  - Dodatkowo topią się lodowce górskie i lądolody.
  - To z kolei zwiększa parowanie i samą ilość wody krążącej w przyrodzie.
  - Zwiększona ilość wody wpływa na dynamikę zjawisk przebiegających w atmosferze.
    - Wyższa temperatura – oznacza zwiększoną ilość energii w atmosferze – a ta musi się jakoś rozładować – a to oznacza zwiększenie zjawisk ekstremalnych.





# Najważniejsze rodzaje ekstremalnych zjawisk atmosferycznych

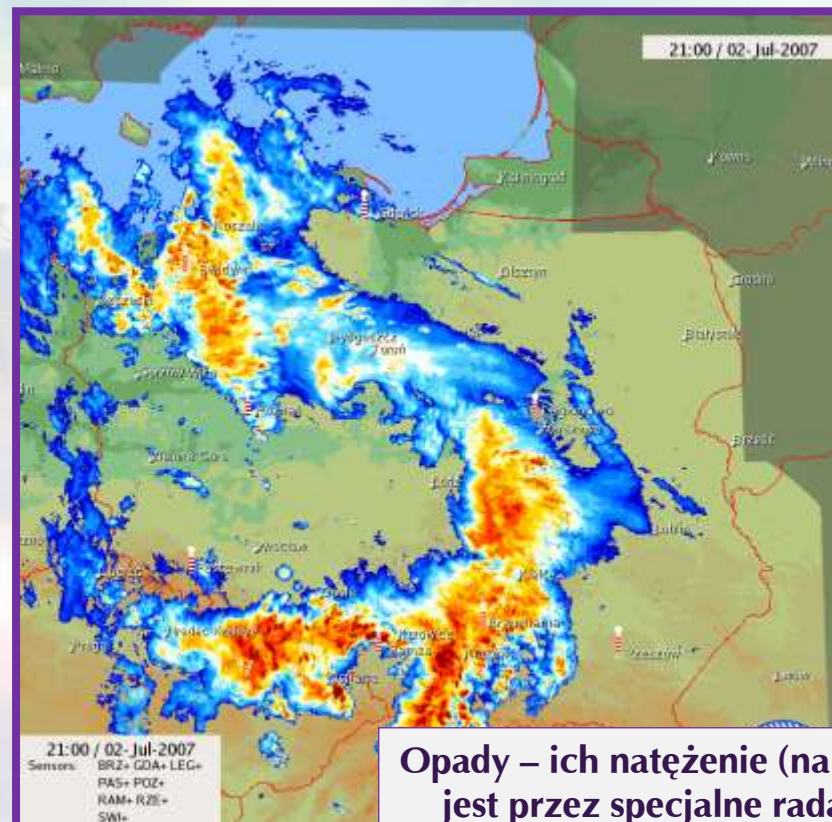
- **Ekstremalne zjawiska atmosferyczne** to m.in.:
  - stanowiące zagrożenie w Polsce i na świecie m.in.:
    - **burze**,
    - **powodzie**,
    - **silne wiatry**,
    - **sztormy**,
    - długotrwałe **susze** i **fale upałów**,
    - długotrwałe **mrozy** i **fale mrozów**;
  - stanowiące zagrożenie poza Polską w różnych rejonach świata, m.in.:
    - **cyklony tropikalne**:
      - **huragany**,
      - **tajfuny**,
      - **cyklony**,
    - **trąby powietrzne**:
      - **tornado**.



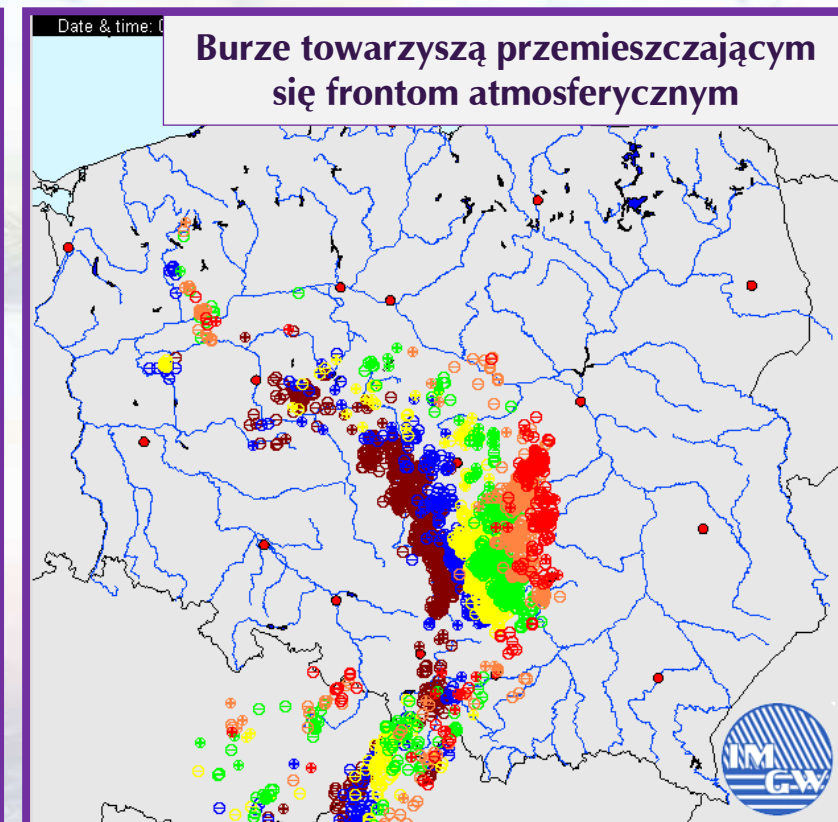


# Burze

- **Burze** – są bardzo pospolitym zjawiskiem towarzyszącym na Ziemi frontom chłodnym, oddzielającym od siebie dwie różne masy powietrza (ciepłe i chłodne).
- W czasie burzy:
  - występują intensywne opady (trwające krótko – zwykle do 1 godz.) deszczu lub/i gradu,
  - dodatkowo występować mogą wyładowania atmosferyczne (błyskawice i pioruny).
- Tylko nieliczne osiągają parametry pozwalające na określenie ekstremalnych.
- Niszczyielskie dla nas są zarówno skutki nawalnych deszczy, jak wiatru, czy piorunów.



Opady – ich natężenie (na mapie po lewej) wykrywane jest przez specjalne radary (na zdjęciu po prawej)

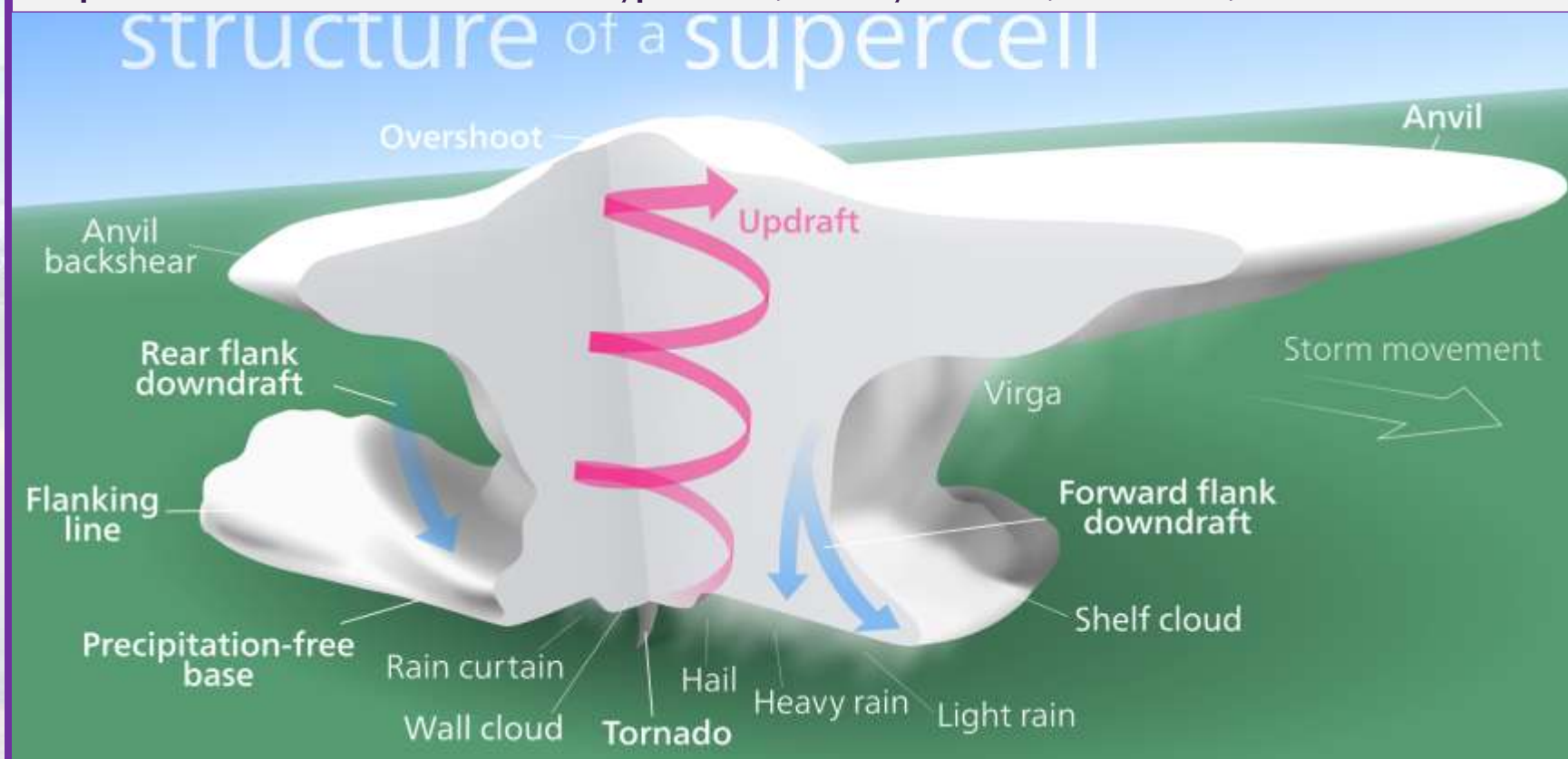




# Kiedy powstają burze?

- Burze w naszych, umiarkowanych szerokościach geograficznych tworzą się w ciepłej porze roku.
  - Corocznie w szerokościach umiarkowanych notuje się ich od kilkunastu do kilkudziesięciu w zależności od roku – występują one najczęściej w godzinach popołudniowych.
- W szerokościach międzyzwrotnikowych mogą one tworzyć się przez cały rok.
  - Na równiku jest ich wyjątkowo dużo w niektórych latach ich ilość przekracza 200.
- Na całym świecie w ciągu doby notuje się aż około 200 tys. burz.

Superkomórka burzowa – w obrębie wypiętrzanej chmury kłębiastej deszczowej Cumulonimbus (Cb)

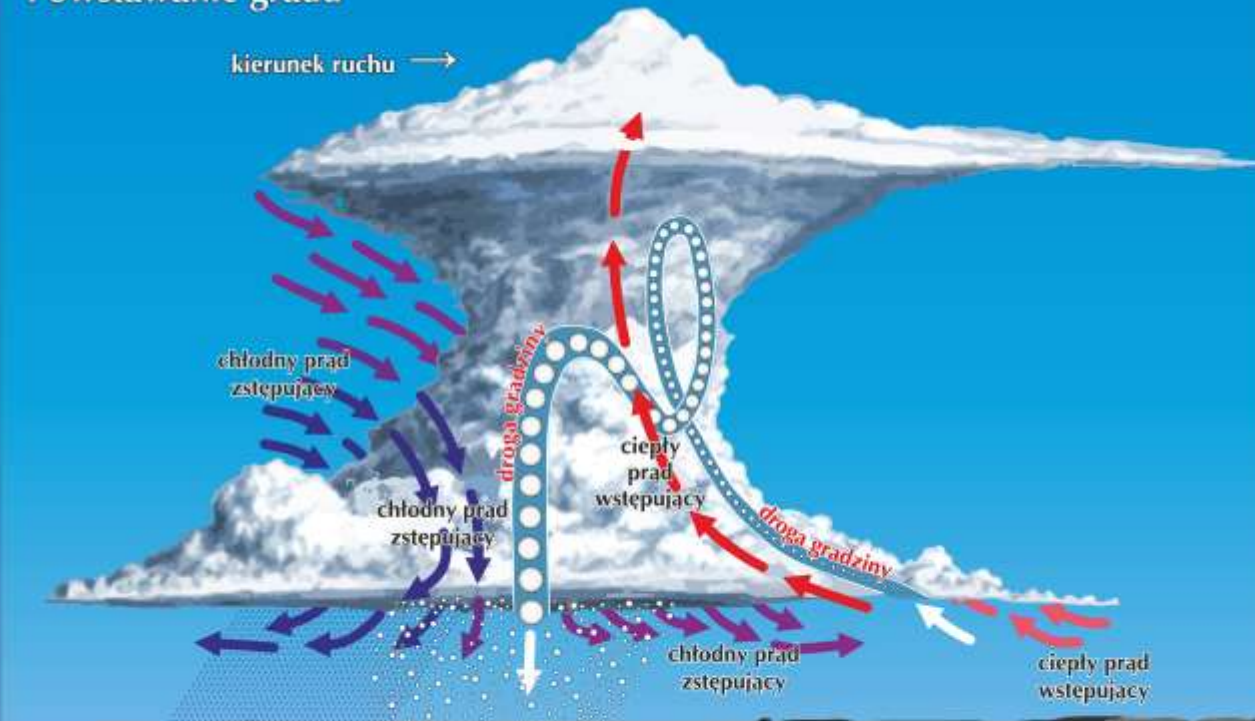




# Jak powstają burze?

- Burze powstają w wyniku następującego procesu w którym obserwujemy **silne wznoszenie do góry powietrza**, które zostało uprzednio **nasycone parą wodną**,
  - proces ten jest szczególnie intensywny w czasie intensywnego ogrzewania Ziemi,
  - musi być odpowiednio gorąco – dlatego burz raczej nie obserwujemy w chłodnej porze roku.
- W kolejnym etapie obserwujemy **ochładzanie się wznoszonego ku górze powietrza** – powstanie **chmury kłębiastej deszczowej Cumulonimbus (Cb)**.

## Powstawanie gradu



## Rozwój gradziny w przekroju

Zalążek o wymiarach kilku milimetrów

Przyrost wyłącznie po jednej stronie (gradzina stale zwrócona w dół)

Losowe obracanie (przyrost ze wszystkich stron)

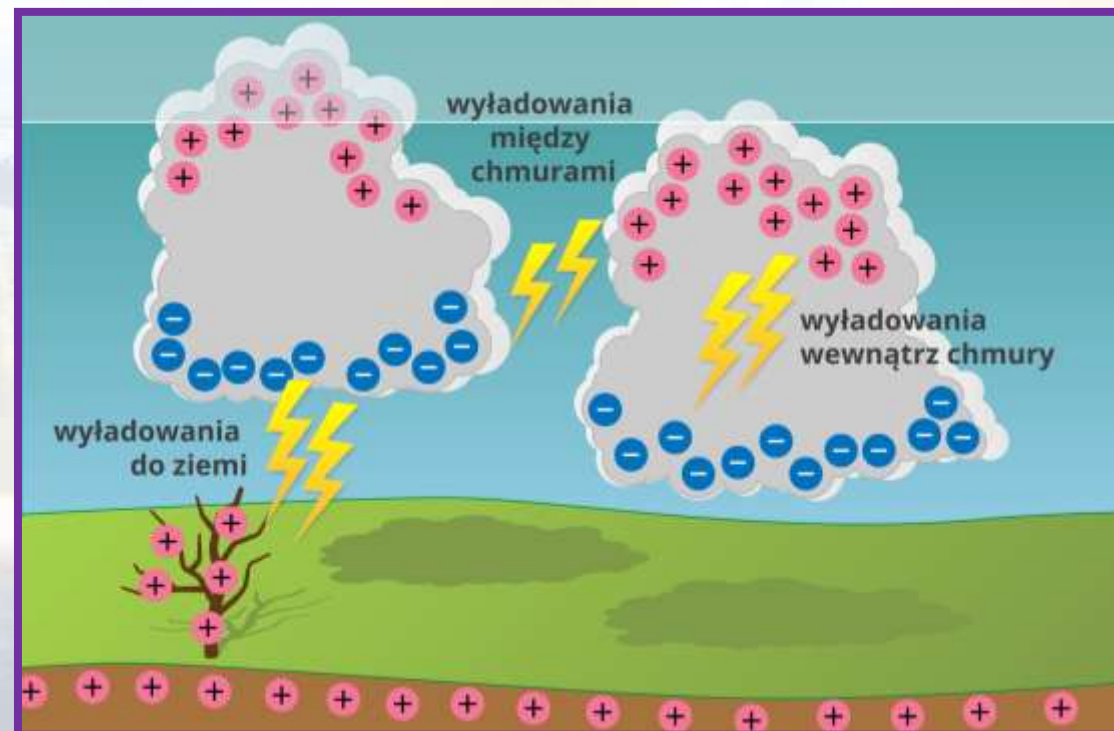
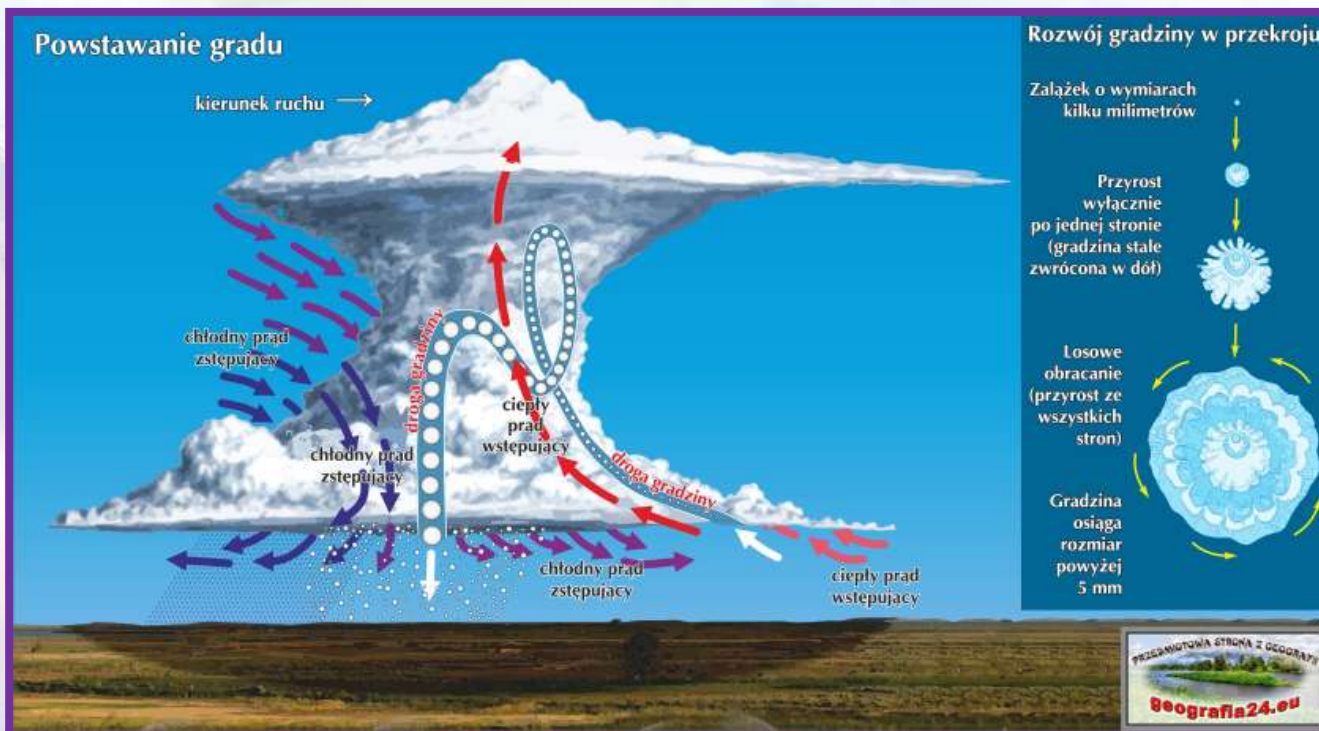
Gradzina osiąga rozmiar powyżej 5 mm





# Jak powstają burze?

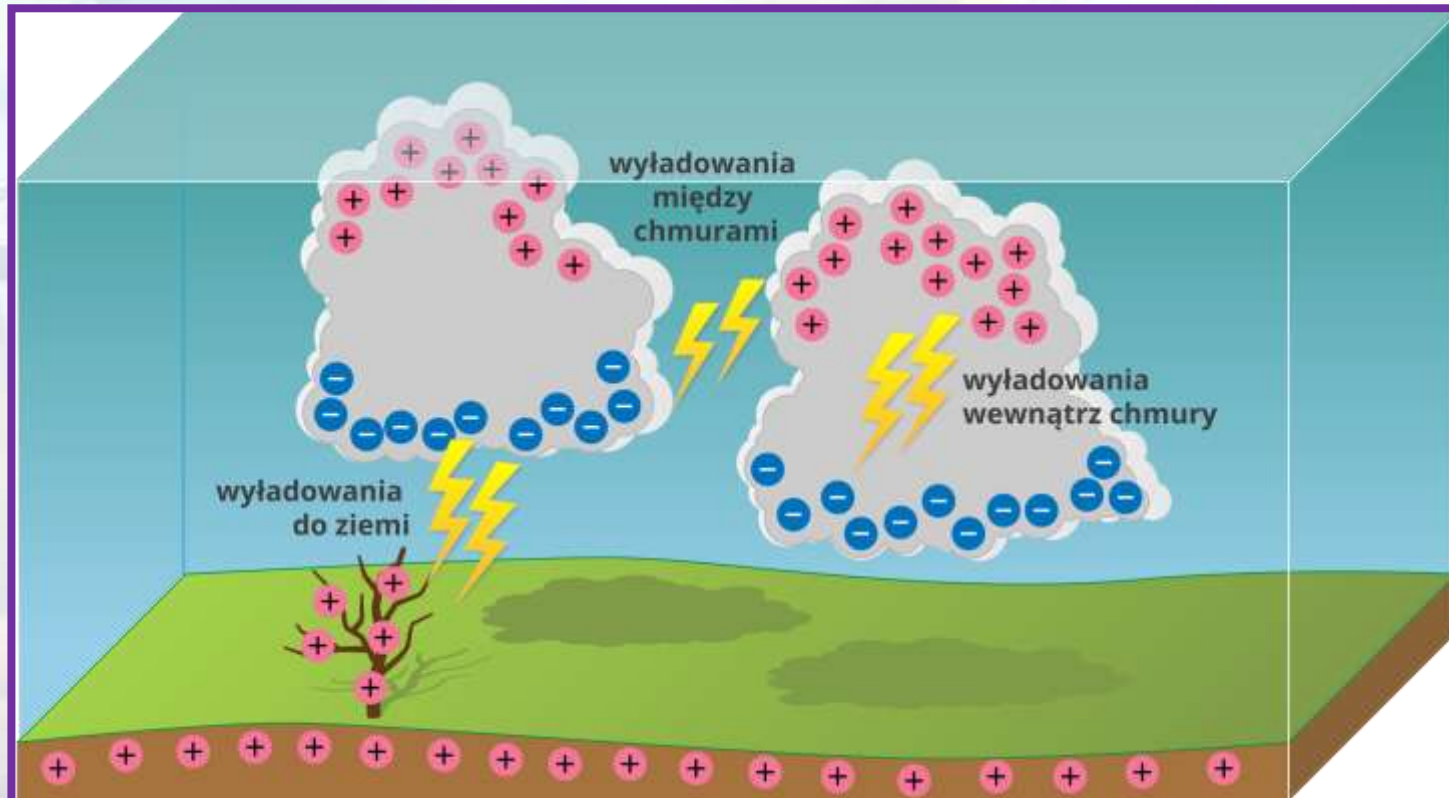
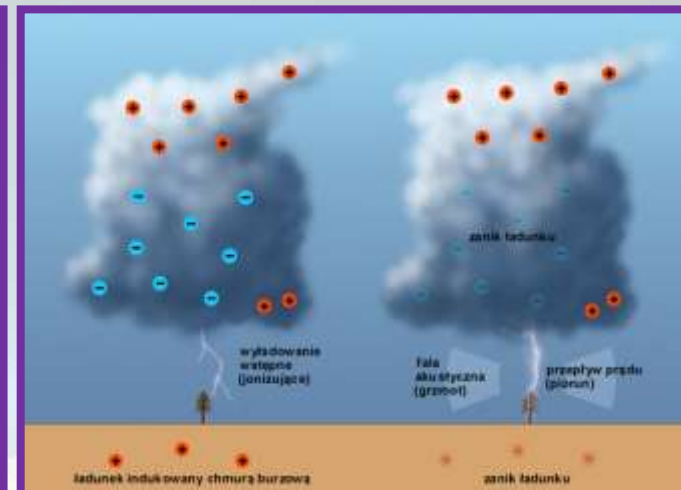
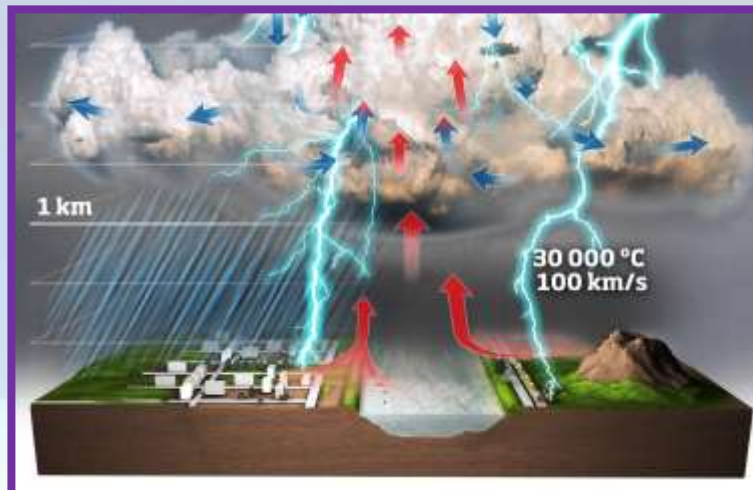
- Po osiągnięciu (schłodzeniu) temperatury punktu rosy zawarta w powietrzu para wodna zaczyna **kondensować – skraplać się**, a temu towarzyszy **wydzielanie ciepła**,
  - ogrzewane w wyniku kondensacji powietrze wilgotne (w chmurach) ochładza się wolno,
  - ciągły dopływ pary wodnej i jej kondensacja powoduje ciągłe ogrzewanie, skutkujące ciągłym wznoszeniem się powietrza do góry (zgodnie z zasadą, że ciepło wznosi się do góry),
  - w efekcie **chmura burzowa mocno rozbudowuje się na wysokość**, sięgając coraz wyżej:
    - w strefie umiarkowanej nawet powyżej 10 km, zaś w strefie międzyzwrotnikowej jeszcze wyżej – nawet powyżej 15 km;
    - proces wznoszenia ustaje dopiero po **spadku ulewnego deszczu** (towarzyszą temu często wyładowania atmosferyczne i gradobicia) oraz wyczerpaniu się nagromadzonego wcześniej potencjału w chmurze burzowej.





# Zjawiska towarzyszące burzom - pioruny

- **Piorun (grzmot)** – naturalnie powstałe w atmosferze, bardzo silne wyładowanie elektrostatyczne, towarzyszące burzy i wywołujące huk (grom dźwiękowy).
- Powstaje on wskutek nagłego nagrzania się powietrza w kanale błyskawicy, którą następuje przepływ prądu pomiędzy chmurą – mającą na dole ładunek ujemny a powierzchnią Ziemi naładowaną dodatnio.





# Powódzie

- **Powódź** – wezbranie wody w rzekach, zbiornikach wodnych, kanałach lub na morzu, podczas którego woda po przekroczeniu stanu brzegowego zalewa tereny i powoduje zagrożenia dla ludności lub mienia.
- Jest jedną z najbardziej groźnych i niszczycielskich w skutkach klęsk żywiołowych, nawiedzających corocznie bardzo wiele miejsc na świecie.
- Bardzo istotny wpływ na występowanie powodzi ma istniejący układ rzek oraz występująca w poszczególnych okresach roku sytuacja hydrologiczno-meteorologiczna.





# Powodzie w Polsce

- **Powodzie w Polsce** obserwujemy najczęściej wskutek:
  - obecnych lokalnie, krótkotrwałych, ulewnych **letnich burz** (**powodzie opadowo-nawalne**) lub dłużej utrzymujących się opadów (**powodzie opadowo-rozlewowe**):
    - koryta rzek (najczęściej na terenie górskim), nie są w stanie pomieścić wszystkich spływających wód i dochodzi do lokalnych podtopień;
  - szybko wytapiającej się **pokrywa śnieżnej** (**powodzie roztopowe**):
    - w czasie gwałtownego ocieplenia ziemia jest jeszcze mocno przemarznięta, co uniemożliwia wsiąkanie topiącej się wody;
  - powstawania **zatorów na rzekach** obejmujących:
    - część odcinków rzek, szczególnie tych położonych w północnej Polsce, w zimie pokryta jest lodem, w wyniku czego, w czasie ociepleń, tworzą się zatory lodowe, powodujące sztuczne spiętrzanie się wód i powodzie (**powodzie zatorowo-lodowe**),
    - miejsca, w których formuje się pokrywa lodowa – powodzie te są skutkiem blokowania przez śryż odpływ wód rzecznych (**powodzie zatorowo-śryżowe**);
  - **wezbrań sztormowych** (**powodzie sztormowe**), występujących dość rzadko,
    - powstają w czasie występowania specyficznych układów barycznych, w wyniku których dochodzi do powstania silnie wiejących północnych wiatrów,
      - wiatry te wciągają wodę z Bałtyku w ujściowe odcinki rzek na Pomorzu,
    - występują zwykle na jesieni lub zimą, a zjawisko to określamy jako tzw. **cofka**.



Powódź tysiąclecia na wrocławskim osiedlu Kazanów z 1997 roku.



## Powodzie w Polsce – czas występowania

- **Powodzie** w Polsce wykazują tendencję do występowania w ściśle określonej porze roku, kiedy występują najbardziej sprzyjające do ich tworzenia warunki:
  - **powodzie opadowo-rozlewowe** – w lecie (lipiec – sierpień),
  - **powodzie opadowo-nawalne** – w lecie (lipiec i sierpień; w górach także w czerwcu),
  - **powodzie roztopowe** – późną zimą i wczesną wiosną (luty – marzec),
  - **powodzie zatorowo-lodowe** – późną zimą i wczesną wiosną (luty – marzec),
  - **powodzie zatorowo-śrężowe** – zimą (grudzień – styczeń),
  - **powodzie sztormowe** – jesienią i w większym stopniu zimą (grudzień – luty).

[illegible]

## Efekt cofki na Bałtyku



# Wpływ człowieka na powodzie

- Większość hydrologów obecnie jest zdania, iż:
  - **największym winowajcą negatywnych skutków powodzi jest człowiek:**
    - chcąc “przechrzyć” naturę, bardzo często buduje swoje zabudowania na terenach zalewowych, bądź też wykorzystuje je gospodarczo;
  - dużym problemem jest także **słaby stan techniczny istniejących urządzeń hydrotechnicznych**, które stanowią zabezpieczenia przeciwpowodziowe:
    - stan wielu wałów jest niezadowalający, a wręcz niedopuszczalny,
      - niestety na poprawę tego stanu rzeczy zwykle brakuje funduszy;
  - na wielu obszarach **konieczne jest także budowanie dodatkowych zbiorników retencyjnych**, które są w stanie okresowo zatrzymać nadmiar wody i zmniejszać w ten sposób wysokość tzw. fali powodziowej;
  - problem stanowi tzw. **zamulanie koryt rzecznych**,
    - usuwanie nadmiaru osadu rzecznoego jest stosunkowo drogie i wykonywane bywa tylko sporadycznie, zwykle wtedy, gdy istnieje wyraźne niebezpieczeństwo;
  - ważnym działaniem przeciwpowodziowym jest tzw. **wczesne wykrywanie zagrożeń**, z czym radzimy sobie coraz to lepiej,
    - wiele pozytywnych zmian zostało wymuszonych po wystąpieniu największych powodzi, mających miejsce m.in. w 1997 r. oraz w latach: 2009 i 2010.





# Powódź tysiąclecia w Europie Środkowej (lipiec 1997 roku)

→ **Powódź tysiąclecia** nawiedziła w lipcu **1997 roku**:

- południową i zachodnią Polskę,
  - wylały wówczas wody rzek tj.: Bóbr, Bystrzyca, Kaczawa, Kwisa, Mała Panew, Nysa Kłodzka, Nysa Łużycka, Odra, Olza, Oława, Skora, Szprotawa, Ślęza i Widawa, a także górnej Wisły.
- Czechy,
- wschodnie Niemcy (Łużyce),
- północno-zachodnią Słowację,
- wschodnią Austrię.
- Spowodowała ona:
  - na terenie Czech, Niemiec i Polski śmierć 114 osób,
    - na terenie Polski – 56 osób;
  - szkody oszacowane na blisko 4,5 miliarda dolarów,
    - na terenie Polski oszacowano je na około 3,5 miliarda dolarów.



Wrocław – lipiec 1997



# Szkwał

- **Szkwał** – jest to zjawisko lokalnego zaburzenia atmosfery, w którym następuje nagły wzrost prędkości wiatru o co najmniej 8 m/s, powstające w czasie występowania silnej konwekcji termicznej lub przechodzenia frontu chłodnego – w czasie silnych burz.
- Towarzyszy on zwykle silnie rozbudowanym w pionie chmurom kłębiastym deszczowym Cumulonimbus (Cb) – występuje on w tzw. “przedniej części chmury” – tam gdzie następuje zetknięcie się dwóch mas o znacznych różnicach temperatur (stąd “energia” do powstania tego wiatru).
- Szkwał trwa stosunkowo krótko – zwykle do kilku minut.
- Po jego przejściu zwykle następują nawalne opady deszczu (najpierw wieje, potem pada).

Silnie wiejący, porywisty wiatr w czasie szkwału, stanowiący duże zagrożenie nad akwenami wodnymi



Chmury burzowe tworzące linię szkwału – znak na niebie o możliwości wystąpienia szkwału





# Biały szkwiał

- **Biały szkwiał** – termin używany najczęściej przez żeglarzy i marynarzy – ponieważ zjawisko to występuje bardzo często nad akwenami wodnymi.
- Różni się ono od zwykłego szkwiału tym, że przychodzi on bardzo szybko i w zasadzie bez bardziej widocznych oznak dla obserwatora na niebie (takich jak np. przy zwykłym szkwale – chmur Cumulonimbus).
- W przypadku białego szkwiału po prostu nagle zaczyna bardzo mocno wiać i stosunkowo szybko przestaje.
- Nazwa “szkwiał” pochodzi od załamujących się fal, pokrytych białą pianą.
- Gdy szkwiał spada bezpośrednio na łódź czy jacht teoretycznie czasem może doprowadzić do zatopienia jednostki (może po prostu wcisnąć pod wodę).



Plakat filmu pt. “Sztorm” (White Squall) – opowiadający historię o białym szkwale który prawdopodobnie zatopił żaglowiec “Albatross” w 1961 roku.





# Szkwał na Mazurach (21 sierpnia 2007)

- Szkwał na Mazurach miał miejsce 21 sierpnia 2007.
- Związany był z przejściem specyficznej silnej, wielokomórkowej burzy nad Mazurami, związanej z frontem szkwałowym.
- W trakcie jej przechodzenia padł rekord prędkości wiatru na stacji w Mikołajkach (w historii pomiarów).
- Związany był on z wybitnie dużym kontrastem termicznym – w trakcie przechodzenia frontu temperatura spadła o ponad  $10^{\circ}\text{C}$  (z  $28^{\circ}\text{C}$  do  $16^{\circ}\text{C}$ ).
- Skutkiem przejścia szkwału (wg mediów określanego błędnie białym szkwałem) była:
  - śmierć 12 żeglarzy,
  - spustoszenie w obrębie jezior mazurskich (poprzewracane w ciągu kilku sekund jachty).





# Trąby powietrzne

- **Trąba powietrzna** – zjawisko ruchu wirowego powietrza o znacznej sile (prędkość wiatru w wirze może przekraczać nawet 300 km/h), niewielkiej średnicy (do kilkudziesięciu metrów), któremu towarzyszy burza z deszczem, czasem gradem.
  - Posiada charakterystyczną postać leja, porywającego kurz i przedmioty, wychodzącego z podstawy przedniej części chmury kłębiastej deszczowej – Cumulonimbus (Cb).
- Trąby powietrzne są typowym zjawiskiem tworzącym się m.in. w umiarkowanych szerokościach geograficznych, w tym i w Polsce – tylko ich część jest ekstremalna.
  - Skutkują one niszczeniem mienia które napotkają po drodze.
    - Pocieszeniem może być fakt, że pas zniszczeń jest stosunkowo wąski (zwykle do 200 m).
- Powstają one tuż przed frontem chłodnym w ciepłej porze roku, tworzącego się na pograniczu dwóch mocno zróżnicowanych termicznie i wilgotnościowo mas powietrza;
  - w Polsce powietrza polarnomorskiego (zimnego) i zwrotnikowego (wilgotnego i ciepłego).





# Trąba powietrzna w Borach Tucholskich (14 lipca 2012 r.)

- W Polsce statystycznie praktycznie każdego roku zdarza się kilka lub nawet kilkanaście trąb powietrznych.
- Trąba powietrzna w Borach Tucholskich była jedną z większych w ciągu ostatnich lat.
- Prócz śmierci 1 osoby, zniszczeniu uległy budynki oraz bardzo liczny drzewostan.





# Trąby wodne

- **Trąba wodna (trąba morska)** zjawisko meteorologiczne podobne wyglądem i sposobem powstawania do trąby powietrznej.
- Najistotniejsza różnica polega na tym, iż formowanie się pionowego wiru w kształcie leja, następuje nad powierzchnią wody (morza, oceanu).
- Część z nich zresztą to trąby powietrzne, które wędrując dotarły nad akwen wodny.
- Są one z reguły także słabsze od swego lądowego odpowiednika,
- w dużym stopniu przezroczyste i w początkowej fazie można je zauważyć tylko dzięki śladowi jaki pozostawiają na powierzchni wody.





# Tornado

- **Tornado** – rodzaj trąby powietrznej, występujący w Ameryce Północnej (podobny do trąb pod względem wyglądu).
- Niektóre z tornad ze względu na specyfikę kontynentu amerykańskiego mogą osiągać znacznie większe parametry niż chociażby trąby powietrzne powstające w Polsce, co wynika głównie z możliwej do osiągnięcia:
  - większej różnicy w ciśnieniu atmosferycznym pomiędzy środkiem a skrajem wiru (do 150 hPa),
  - większej średnicy leja (choć nie zawsze tak jest i nie zawsze wielkość leja świadczy o sile),
  - większej prędkości wiatru (prędkość wiatru w wirze może przekraczać nawet 500 km/h).

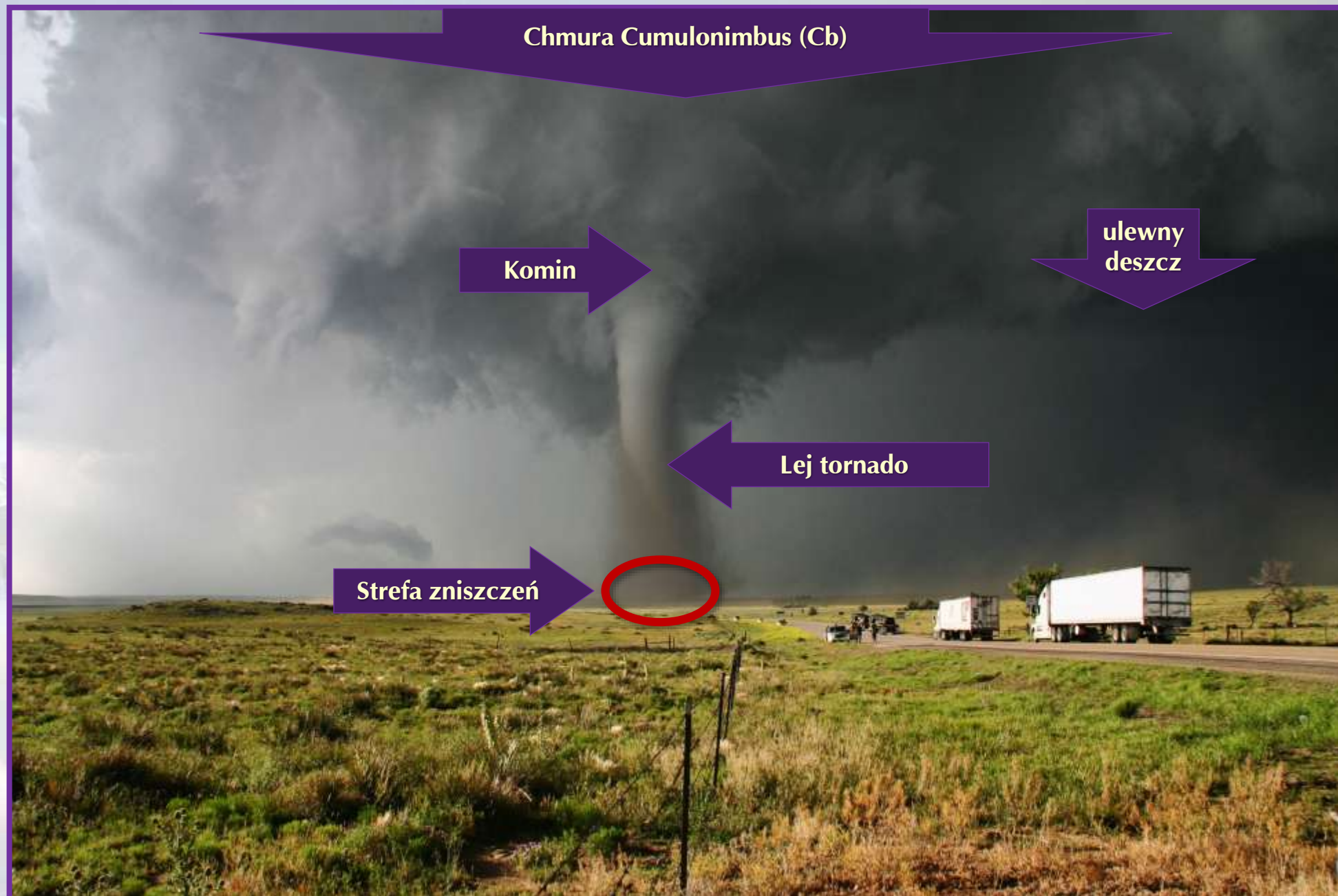
Ciągnąca się od macierzystej chmury do ziemi centralna kolumna niskiego ciśnienia, zwana wirem, wciąga ciepłe i mocno wilgotne powietrze zalegające przy powierzchni Ziemi. Powietrze zbiegające się ze wszystkich stron, mocno wiruje kierując ku górze, widoczną część tornada-pełną kurzu, ciasno skręconą w kształcie lejka w kierunku chmury kłębiastej deszczowej Cumulonimbus (Cb). Lej przemierza zazwyczaj kilkadziesiąt kilometrów po powierzchni Ziemi ze średnią prędkością powyżej 50 km/h. Podczas tej wędrówki gubi wcześniej zassany ładunek.





# Budowa tornada (także i trąby powietrznej)

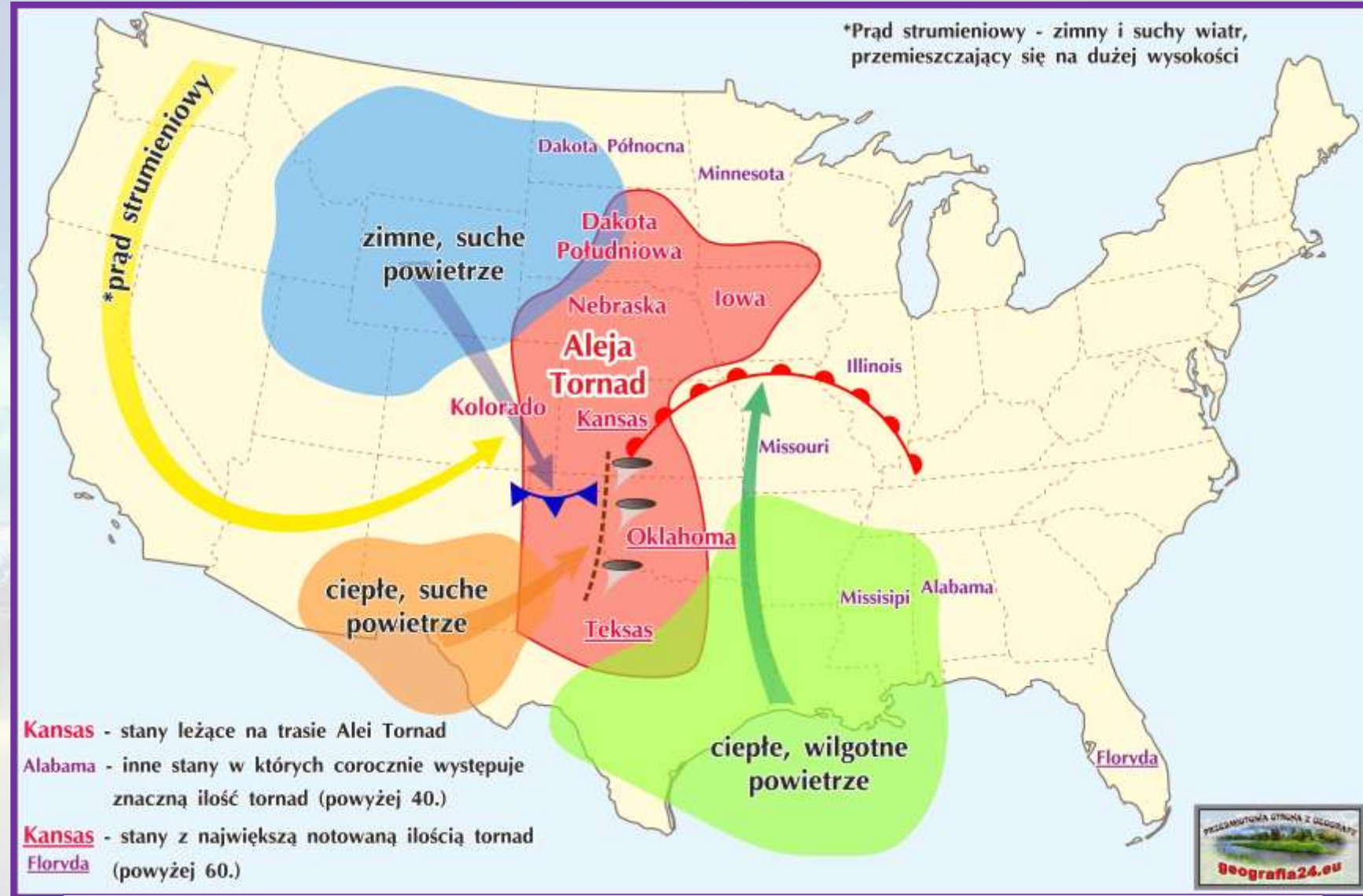
- **Budowa tornada** jest taka sama jak i typowej trąby powietrznej.
- Posiada wygląd leja lub kolumny sięgającej od podstawy chmur, do powierzchni ziemi.
- Średnica trąby powietrznej wynosi zwykle poniżej 100 metrów, ale zdarzają się czasem i większe o szerokości nawet ponad 2 kilometrów.





# Aleja Tornad w Stanach Zjednoczonych

- Tornada rozwijają się w ciepłej porze roku – najczęściej powstaje od kwietnia do lipca w USA (średnio 1,2 tys./rok).
- Większość z nich powstaje wzdłuż szlaku, zwanego **Aleją Tornad**, ciągnącego się przez Wielkie Równiny pasem o szerokości około 650 km od stanu Teksas na południu, w kierunku stanów Dakota Północna i Minnesota.
- Spotykają się tu – a właściwie zderzają:
  - ciepłe i wilgotne powietrze znad Zatoki Meksykańskiej przemieszczające się na północ,
  - zimne i suche powietrze przesuwane z Kanady na południe nad Górami Skalistymi.



Największą ilość ze wszystkich tornad notuje się na granicy Teksasu i Oklahoma, ale w skład Alei Tornad wchodzi również takie stany jak Kansas, Nebraska, Południowa Dakota i Iowa. Najmniejsza ich ilość pojawia się na północnym-wschodzie i północnym-zachodzie USA.



# Siła tornada wg skali Fujity

- Dla określenia zniszczeń w USA stosuje się tzw. **skale Fujity** – opartą na stopniu dokonywanych szkód.
- Od 2007 roku na terenie USA, zaś w 2013 na terenie Kanady zaczęto stosować **zmodyfikowaną skalę Fujity**.
- Nowa skala uwzględnia różnice w jakości różnych budynków i tym samym ich podatność na zniszczenia.
- Zmodyfikowano także symbole (dodano literkę E – z przodu) oraz wartości graniczne wiatru.



Zniszczenia po tornadzie, które w maju 2007 r. zrównało z ziemią miejscowość Greensburg w stanie Kansas w USA. Był to pierwszy przypadek tornada o sile EF5, od czasu wprowadzenia ulepszonej skali Fujity



# Siła tornada wg zmodyfikowanej skali Fujity

Kategoria tornada	Prędkość wiatru (km/h)	Charakterystyka typowych zniszczeń
EF0	105 – 137	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ brak lub małe szkody</li> <li>➤ uszkodzenia dachów domów,</li> <li>➤ połamane gałęzie drzew</li> </ul>
EF1	138 – 178	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ umiarkowane szkody</li> <li>➤ zerwane dachy,</li> <li>➤ przewrócone przyczepy campingowe</li> </ul>
EF2	179 – 218	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ zerwane dachy z solidnych konstrukcji,</li> <li>➤ duże drzewa wyrwane z korzeniami,</li> <li>➤ lekkie samochody podnoszone z ziemi</li> </ul>
EF3	219 – 266	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ niszczone całe serie solidnych domów,</li> <li>➤ uszkodzenia dużych budynków,</li> <li>➤ wykolejone pociągi,</li> <li>➤ podnoszone z ziemi cięższe samochody</li> </ul>
EF4	267 – 322	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ zniszczenia bardzo duże</li> <li>➤ solidne domy zrównane z ziemią</li> <li>➤ samochody wyrzucane w powietrze</li> </ul>
EF5	powyżej 322	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ całkowite niszczenia wszystkich budynków</li> <li>➤ domy o silnym szkielecie zrównane z ziemią do fundamentów,</li> <li>➤ samochody stają się pociskami przelatującymi do 100 metrów</li> </ul>





# Cyklony tropikalne

- **Cyklony tropikalne** – ośrodki bardzo niskiego ciśnienia, powstające wyłącznie nad międzyzwrotnikowymi obszarami oceanów (od  $5^{\circ}$  do około  $15^{\circ}$  na obu półkulach).
  - Odznaczają się one silnymi wiatrami, spiralnym wyglądem oraz intensywnym deszczem.
  - Tworzą się w jednolitych masach powietrza (nie występują i nie tworzą się w ich obrębie powierzchnie frontowe), tylko gdy temperatura wody przekroczy  $26,5^{\circ}\text{C}$  oraz jest wyższa od temperatury powietrza zalegającego nad nią.
  - Warunki takie panują latem i wczesną jesienią – wody oceaniczne są wtedy najcieplejsze.
  - Maksimum ich występowania przypada:
    - na półkuli północnej – na sierpień,
    - na półkuli południowej – na styczeń i luty.



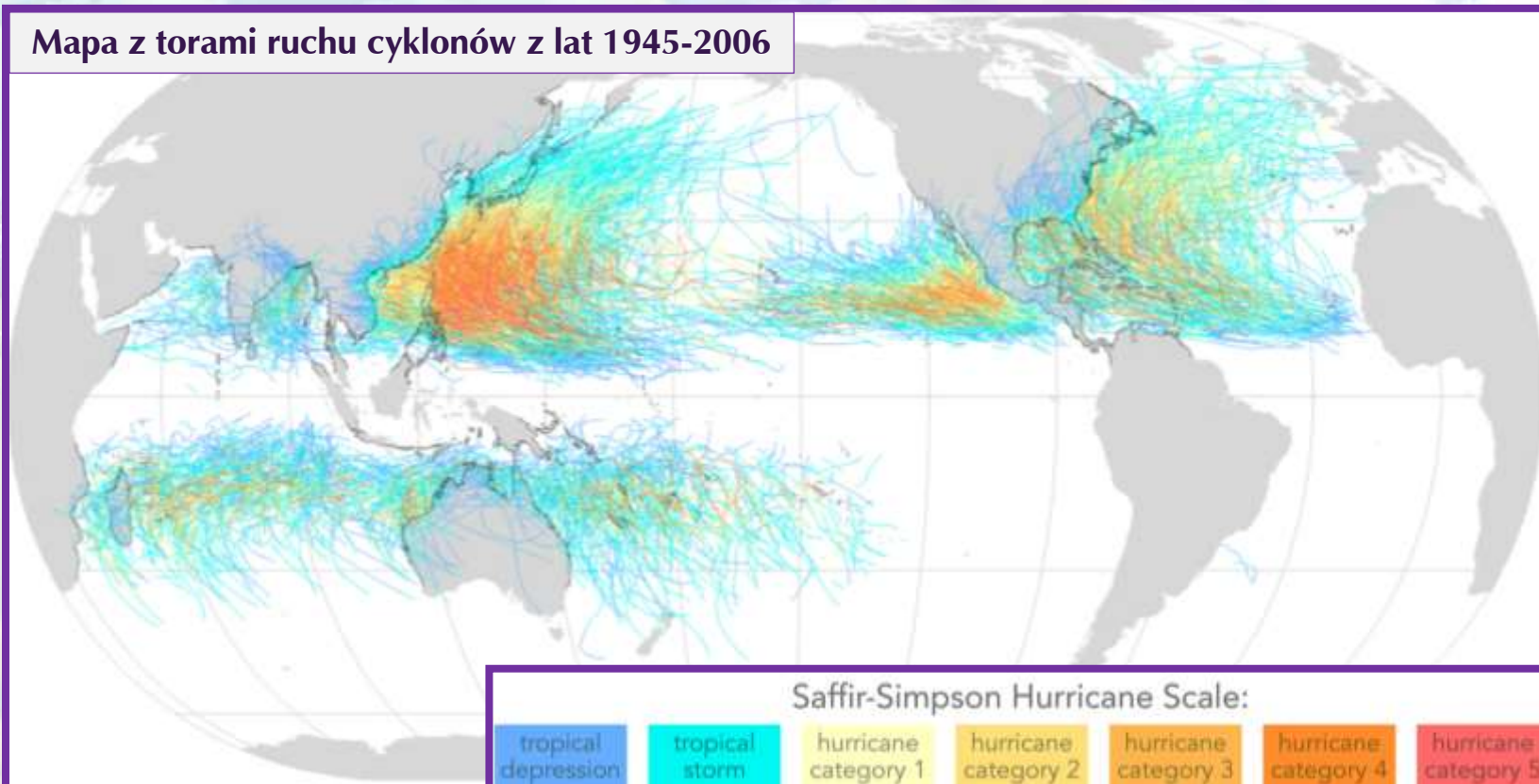


# Cyklony tropikalne

- Cyklony tropikalne przemieszczając się ku wyższym szerokościom geograficznym ulegają działaniu siły Coriolisa:
  - na półkuli północnej – przemieszczając się na północ, skręcają na północno-zachód,
  - na półkuli południowej – przemieszczając się na południe, skręcają na południowy zachód.
- Prędkość przemieszczania się cyklonów tropikalnych jest nieduża – zwykle oscyluje ona w granicach 10-20 km/h.
- Trasy wędrówek cyklonów są bardzo różne – trudno doszukać się w nich jakiejś wyraźnej logiki, choć można wskazać miejsca w które “lubią się bardziej przemieszczać”.
- Największe z nich przemieszczają się tak długo aż dotrą nad ląd – na którym szybko tracą na sile i przestają istnieć.



Mapa z torami ruchu cyklonów z lat 1945-2006

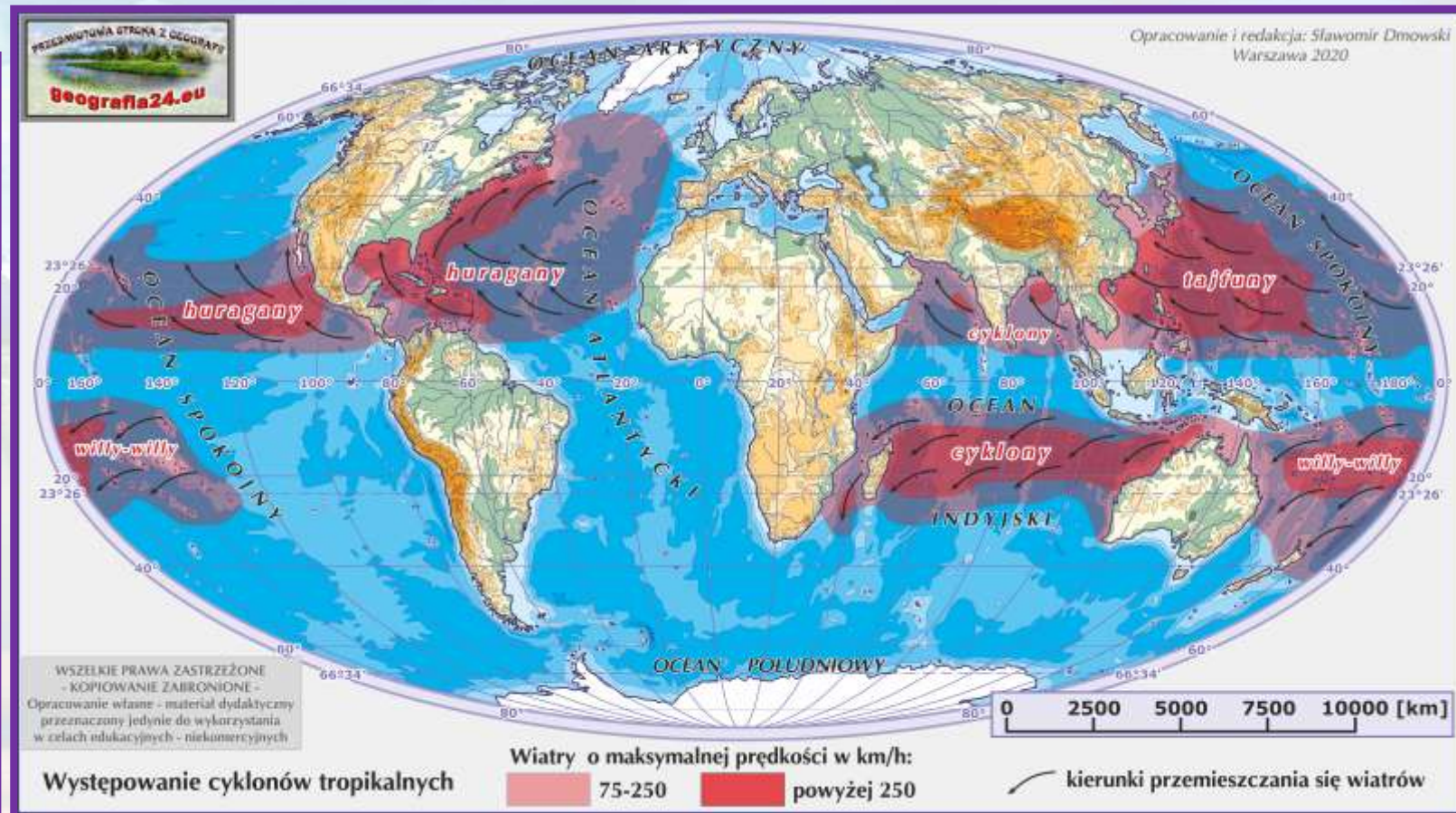
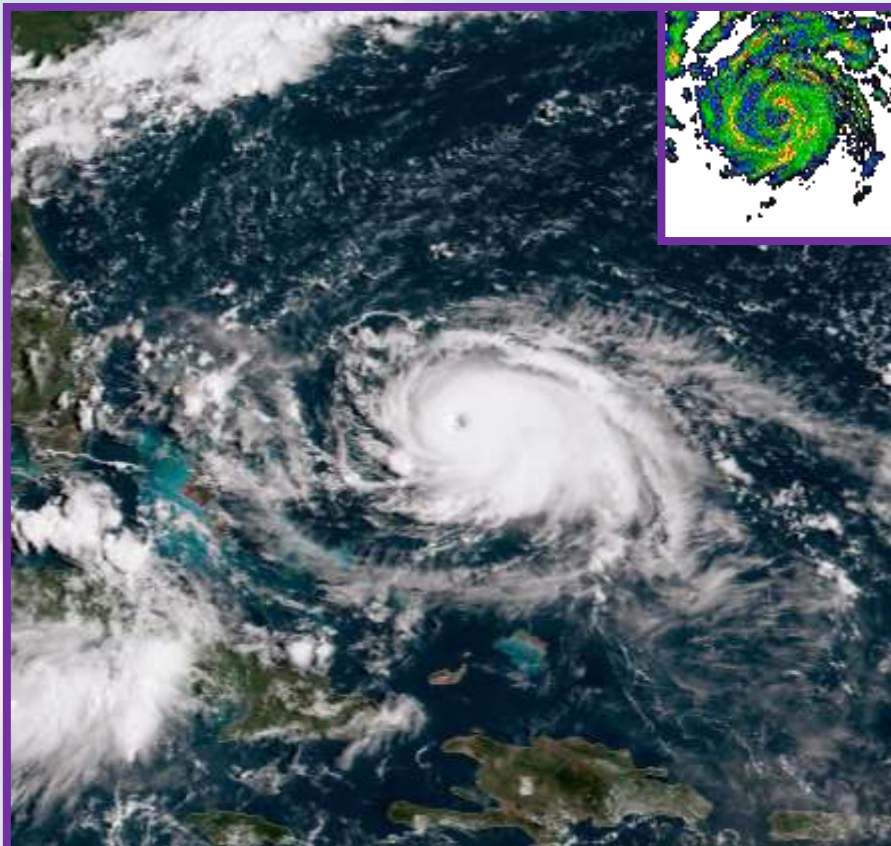




# Lokalne odmiany cyklonów tropikalnych

→ Cyklony tropikalne mają wiele lokalnych nazw:

- **huragan** (*hurricanes*) – w **Ameryce Środkowej i Północnej** (Atlantyk i wschodni Pacyfik): Morze Karaibskie, południowo-wschodnia część USA – Zatoka Meksykańska, Hawaje;
- **tajfun** (*typhoon*) – **południowowschodnia i wschodnia Azja**: zachodni Pacyfik nad równikiem – Filipiny, Japonia i Chiny;
- **cyklon** – nad **Oceanem Indyjskim**: Zatoka Bengalska, Morze Arabskie, południowe Indie;
- **willy-willy** – w **północno-wschodniej i północnej Australii**: zachodni Pacyfik poniżej równika i morza oblewające Australię od północy.





# Cyklony tropikalne

→ Cyklony tworzą wirową cyrkulację powietrza, w której występują znaczne różnice ciśnień – znacznie przekraczające 50 hPa.

→ Wysokość cyklonu dochodzi do 13 km.

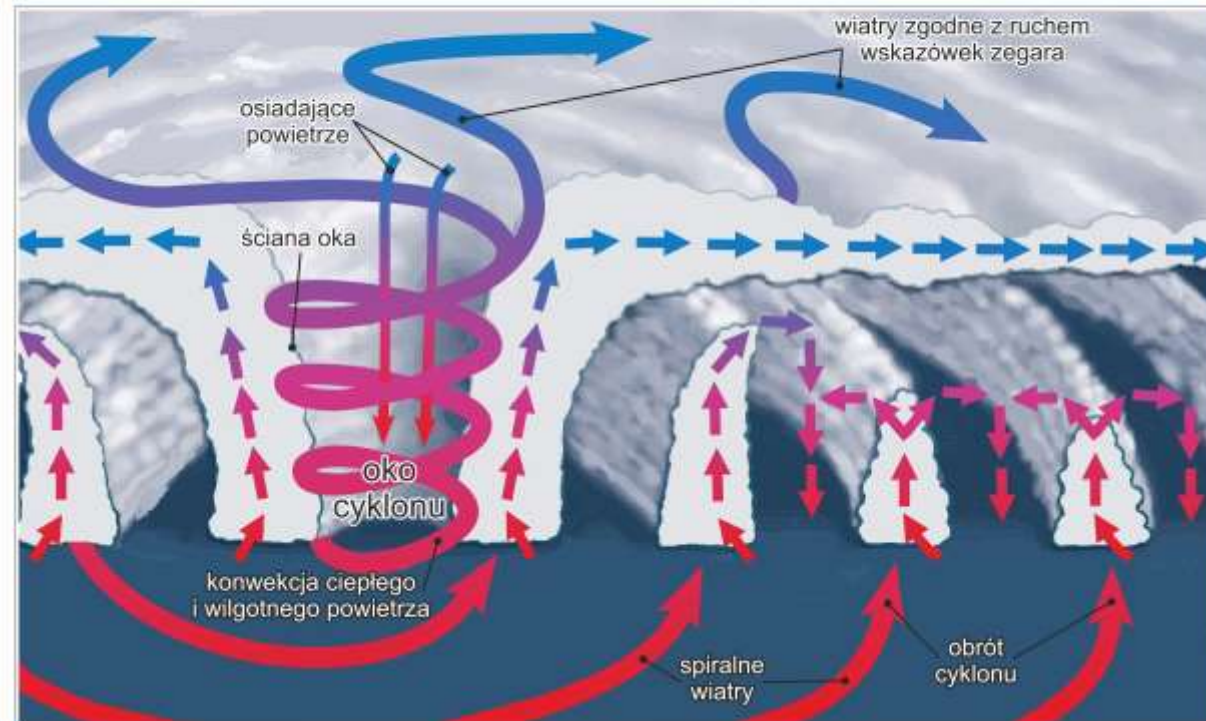
→ W centrum znajduje się tzw. **oko cyklonu** o niewielkiej średnicy 20-40 km, w którym:

- wieje bardzo słaby wiatr,
- zachmurzenie jest niewielkie (lub nawet jest bezchmurnie),
- na ogół nie pada deszcz,
- panuje najniższe ciśnienie – wynosi ono poniżej 960 hPa.

Anatomia tropikalnego cyklonu (przekrój poprzeczny z przesuniętym wymiarem pionowym)



widok z góry



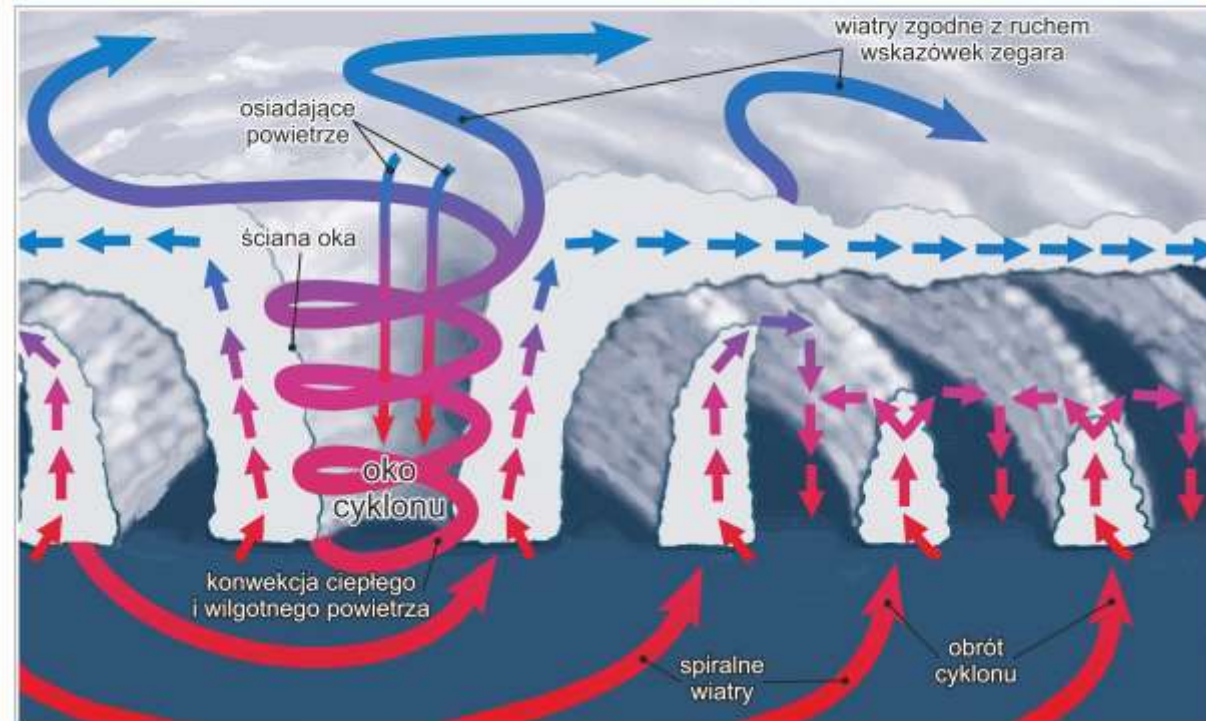


# Cyklony tropikalne

## → Wokół oka cyklonu:

- występuje bardzo silny wir powietrza – w obrębie którego występują silnie rozbudowane w pionie chmury kłębiaste deszczowe Cumulonimbus (występują silne burze),
- padają nawalne deszcze,
- wieją bardzo silne wiatr, osiągający w porywach prędkości 250 km/h i więcej.


Anatomia tropikalnego cyklonu (przekrój poprzeczny z przesuniętym wymiarem pionowym)





# Skala Saffira-Simpsona

- **5 stopniowa skala Saffira-Simpsona** – opracowana pod koniec lat 60. XX w., służąca klasyfikacji huraganów występujących w Stanach Zjednoczonych.
- Obecnie powszechnie jest stosowana do klasyfikacji cyklonów na Ocenianie Atlantyckim i wschodniej części Pacyfiku.
- Czasem wykorzystywana jest dla innych obszarów (oficjalnie funkcjonują tam inne skale).

Kategoria	1	2	3	4	5
Prędkość wiatru	119–153 km/h	154–177 km/h	178–209 km/h	210–249 km/h	≥250 km/h
Ciśnienie w centrum	≥980 hPa	965–979 hPa	945–964 hPa	920–944 hPa	<920 hPa
Wysokość fali powodziowej	1,2–1,5 m	1,8–2,4 m	2,7–3,7 m	4,0–5,5 m	≥5,5 m
Potencjalne zniszczenia	Minimalne spowodowane głównie przez niezabezpieczone przedmioty, drzewa, przyczepy kempingowe. Przybrzeżne podtopienia.	Zniszczenie pokrycia dachów, drzwi, okien. Poważne zniszczenia roślinności, przyczep kempingowych, itp.	Niewielkie zniszczenia mniejszych budynków, z możliwością uszkodzeń ścian osłonowych. Możliwość podtopienia terenów położonych w głąb lądu.	Duże zniszczenia ścian osłonowych, możliwość całkowitego zerwania dachów z mniejszych budynków. Duża erozja nadbrzeża. Możliwość podtopienia znacznych obszarów w głąb lądu.	Całkowite zniszczenie niektórych budynków z możliwością całkowitego rozwiania mniejszych konstrukcji. Powódzie na dużym terenie. Niekiedy wymagana całkowita ewakuacja ludności.
					



# Huragan Katrina (sierpień 2005 roku)

- **Huragan Katrina** – najgorszy w skutkach huragan, który w sierpniu 2005 roku nawiedził Stany Zjednoczone, a szczególnie obszar Zatoki Meksykańskiej – rejon Nowego Orleanu w stanie Luizjana, powodując:
  - śmierć 1836 osób (dodatkowo 705 osób uznano za zaginione),
  - olbrzymie straty materialne:
    - w wyniku przerwania wału przeciwpowodziowego 80% Nowego Orleanu zostało zalane,
    - straty materialne zostały oszacowane na 87 mld dolarów (wg innych źródeł nawet 160 mld dolarów),
    - największe były w Nowym Orleanie, gdzie zostały oszacowane na 81 mld dolarów,
    - miasto to się praktycznie wyludniło (z około 0,5 mln mieszkańców, w 2014 roku było 384 tys.).



Stadion Superdome i zalane centrum Nowego Orleanu



# Tajfun Haiyan (listopad 2013)

- **Tajfun Haiyan** – tajfun 5. kategorii w skali Saffira-Simpsona.
- Powstał on jesienią na Oceanie Spokojnym.
  - Następnie na początku listopada 2013 r. przeszedł przez zachodnie wybrzeże Pacyfiku: Mikronezję, Palau, Filipiny, Wietnam i Chiny.
- Tajfun Haiyan był:
  - najsilniejszym cyklonem tropikalnym pod względem średniej prędkości wiatru,
    - średnia prędkość wiatru: 312 km/h,
    - maksymalna wartość: 376 km/h,
  - jednym z najgłębszych niżów w historii pomiarów meteorologicznych,
    - minimalne ciśnienie atmosferyczne w jego centrum wynosiło zaledwie 895 hPa,
  - bardzo tragicznym w skutkach tajfunem:
    - spowodował śmierć ponad 6300 osób (liczba osób potwierdzonych), głównie na Filipinach,
    - katastrofalne zniszczenia miejscowości, które znalazły się na jego drodze.





# Susze

→ **Susza** – okres, w którym przeciętna ilość opadów na danym obszarze spada znacznie poniżej średniej wartości tego obszaru oraz kiedy stan ten utrzymuje się przez dłuższy czas.





# Skutki suszy

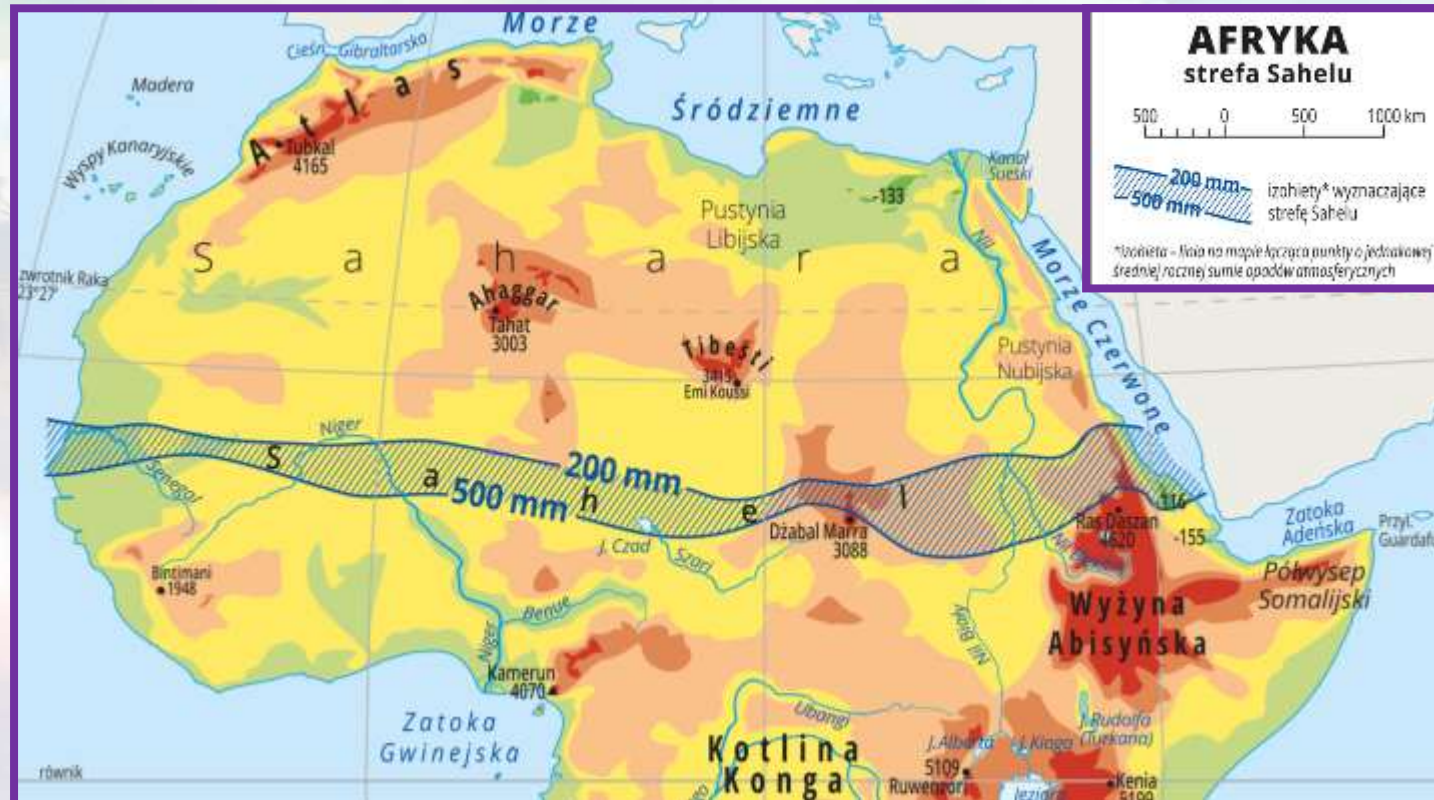
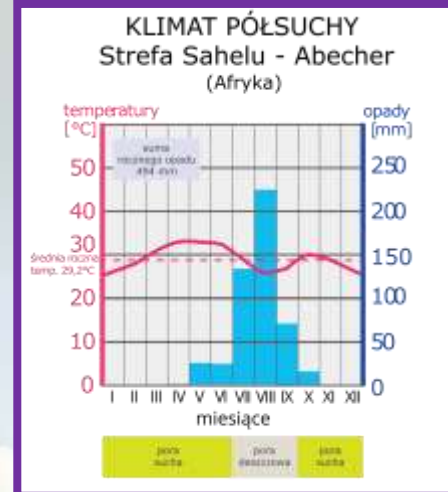
- Susza, szczególnie długotrwała przyczynia się do przesuszenia gleb, co w efekcie skutkuje:
  - stratami finansowymi w rolnictwie – występują mniejsze plony lub nawet następuje całkowite zniszczenie upraw lub łąk i pastwisk – często w biedniejszych krajach prowadzą do “klęsk głodu” i śmierci wielu osób,
  - w celu przeciwdziałania tym skutkom zmuszeni jesteśmy ponosić dodatkowe wydatki związane np. ze sztucznym nawadnianiem w okresach występowania susz,
  - zmniejszeniem zasobów wody pitnej,
  - zwiększeniem prawdopodobieństwa wystąpienia pożarów,
  - to z kolei może prowadzić do zagrożenia bezpieczeństwa ludności i strat finansowych.





## Obszary najbardziej zagrożone suszą – Sahel w Afryce

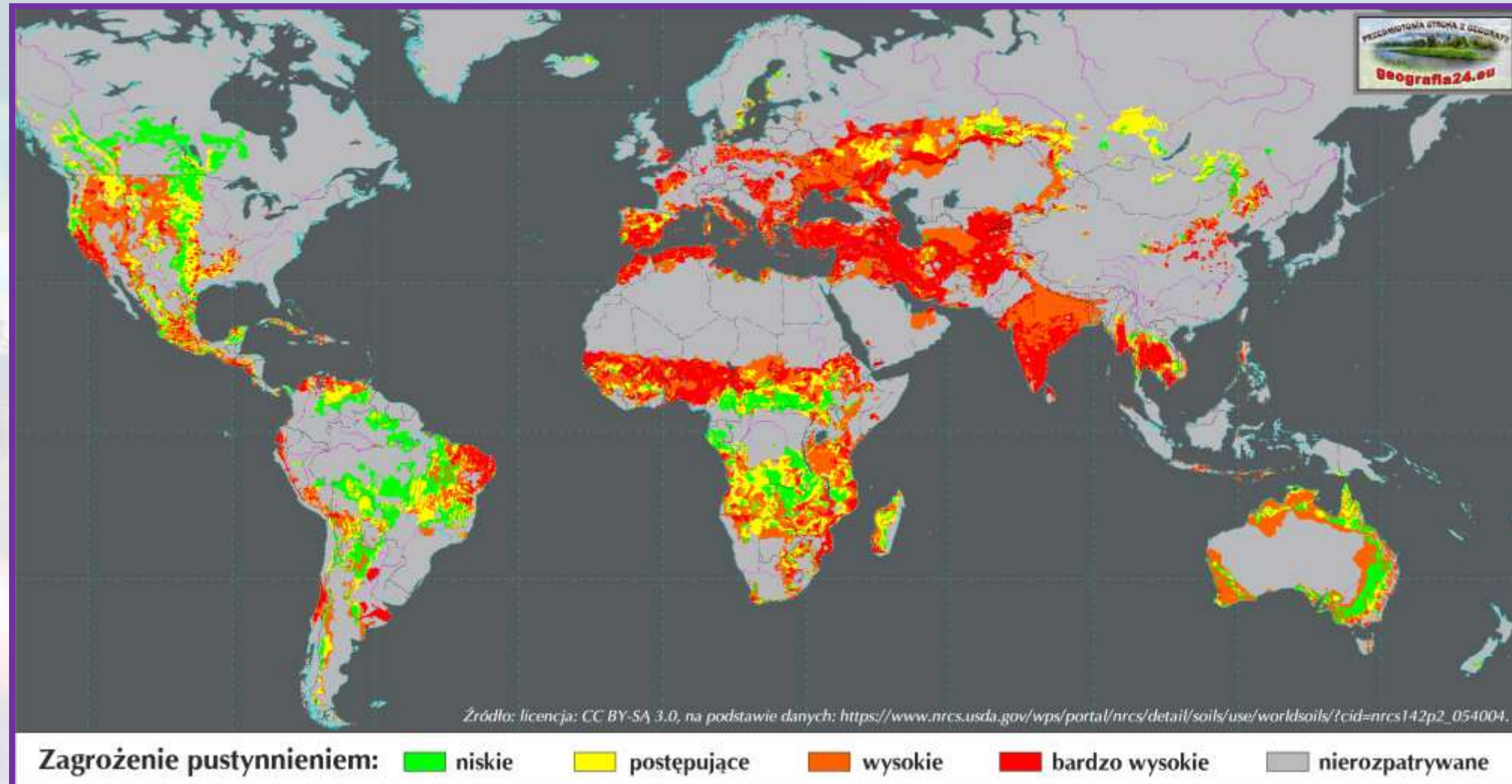
- Susza w zasadzie może wystąpić praktycznie wszędzie na świecie (za wyjątkiem tylko niektórych miejsc położonych w klimatach wilgotnych lub morskich).
  - Występują one także i w Polsce – ale na świecie jest wiele miejsc gdzie są one większe.
- Największe susze występują na obszarach o niskich opadach oraz wysokim parowaniu.
- Takie warunki panują przede wszystkim na obszarze półpustyń i sawanny w Afryce:
  - szczególnie w strefie Sahelu rozpościerającej się od południowych obrzeży Sahary przechodząc równoleżnikowo przez następujące państwa: Senegal i Mauretania (na zachodzie Afryki), Burkina Faso, Mali, Niger, Czad, Sudan, Erytrea, Etiopia i Somalia (na wschodzie Afryki).





# Pustynnienie na świecie

- Niestety strefa Sahelu nieustannie wykazuje tendencję do powiększania się (w kierunku południowym ku lasom równikowym) – tzw. **zjawiska pustynnienia**.
- Zjawisko to ma miejsce prócz Sahelu także w: Północnej Afryce, Azji Mniejszej i Środkowej, Australii oraz zachodniej części Ameryki Północnej i Ameryki Południowej.





# Przyczyny pustynnienia

- Zjawisko pustynnienia, prócz przyczyn naturalnych (długotrwałych susz – które mogą także naturalnie występować) następuje przede wszystkim w wyniku **niewłaściwej gospodarki człowieka**:
  - **wycinania lasów** (czasem wypalania ich; np. w Afryce) – przeznaczania ich pod uprawy,
    - niestety gleby pod takimi uprawami szybko jałowieją – przeistaczając się w bezproduktywny obszar – dlatego wymusza to ciągłe poszukiwanie kolejnych terenów pod uprawy,
  - **przeznaczania terenów trawiastych pod uprawy**, np. stepów w Azji,
  - **nadmiernego wypasu zwierząt** – co wynika z dużego przyrostu naturalnego w Afryce i ciągłym zmniejszaniem się terenów trawiastych (sawann),
    - dodatkowo problemem jest czynnik kulturowy – posiadanie dużego stada oznacza bogactwo,
  - **nadmiernego wykorzystanie wody w rolnictwie i przemyśle**,
    - ludność i rządy w biednych państwach często kosztem przyrody decydują się na nieustanne zwiększanie plantacji – dających zyski ale negatywnie oddziałujących na klimat,
  - **intensywnego stosowanie pestycydów, nawozów i intensywnej melioracji prowadzonej** w krajach rozwiniętych gospodarczo – skutkującej wypłukiwaniem składników mineralnych z gleby.





## Susza w Kalifornii w USA (kwiecień 2015 roku)

- Kalifornia, zamieszкана przez 39 mln ludzi, ósma gospodarka na świecie, cierpiała z powodu rekordowej suszy w 2015 roku – największej od 1,2 tys. lat (od tego okresu powtarzają się one cyklicznie – podobna była w 2021 r.).
- Jej mieszkańcy będą musieli w przyszłości racjonować wodę i skończyć w pewnych przyzwyczajeniach.
  - Głównych przyczyn poszukuje się z jednej strony w globalnym ociepleniu, zaś z drugiej w niewłaściwej gospodarce – nadmiernym marnotrawstwu wody, zarówno w przemyśle i rolnictwie, jak i w życiu niemal każdego mieszkańca.
  - Trawnik przecież musi być piękny – więc trzeba go nieustannie podlewać.
  - Stać pod prysznicem – relaksując się, w czasie kiedy woda “ucieka i nie jest wykorzystywana”.



Miasteczko Palm Springs, sztuczna oaza na pustyni Sonora na południu Kalifornii





# Jak przeciwdziałać zjawisku pustynnienia

- Przeciwdziałać zjawisku pustynnienia można na wiele sposobów i wbrew pozorom nie musi to oznaczać gigantycznych nakładów:
  - najważniejsza jest odpowiednia edukacja np. na temat właściwego wykorzystania gleb,
  - właściwego doboru najodpowiedniejszych upraw do gleby,
  - odpowiedniego nawadniania,
  - tworzenie pomiędzy polami pasów drzew i krzewów
- ważne jest stosowanie w prawie odpowiednich regulacji:
  - ograniczających rozwój plantacji nastawionych jedynie na zysk,
  - zakaz wycinania lub wypalania drzew oraz przeznaczania sawann, stepów i innych naturalnych formacji trawiastych na grunty rolne,
- dodatkowo powinno prowadzić się działania w zakresie:
  - zalesianie terenów zdegradowanych niewłaściwą gospodarką,
  - ograniczenia wypasu bydła,
  - zmniejszania zużycie wody.





# Burze pyłowo-piaskowe (burze piaskowe)

- **Burza pyłowo-piaskowa (burza piaskowa)** – zjawisko atmosferyczne polegające na unoszeniu się drobnych cząstek pyłu lub piasku z pustyń.
- Wywołana jest ona przez:
  - chłodne i silne wiatry dostające się w rejon mocno nagrzaných obszarów pustyń i półpustyń, które mają siłę wznieść w górę materiał pylasto-piaskowy,
  - wiatry fenowe, które spływając z gór napotykają na swojej drodze drobny materiał skalny, (pył lub piasek), który zostaje wzniesiony w górę w postaci chmury pyłowo-piaskowej.
- Motorem napędowym dalszego rozwoju jest silna konwekcja powietrza – wznoszenie się w górę powietrza, co związane jest z intensywnym działaniem promieni słonecznych, które rozgrzewają unoszący się w chmurze pylasto-piaszczystej materiał.
- Następnie następuje przemieszczanie się dalej tej chmury z wiatrem, dzięki różnicy ciśnień atmosferycznych między obszarami – dając efekt burzy piaskowej.





# Burze pyłowo-piaskowe (burze piaskowe)

- Burze pyłowo-piaskowe występują głównie na terenie pustyni w obrębie:
  - Sahary w Afryce,
  - Półwyspu Arabskiego w Azji,
  - Pustyni Gobi w Mongolii,
  - Wielkich Równin w Ameryce Północnej,
  - Australii.



Burza piaskowa w Al Asad w Iraku (2005)



# KONIEC



**Materiały pomocnicze do nauki**  
**Opracowane w celach edukacyjnych (niekomercyjnych)**

Opracowanie i redakcja: *Sławomir Dmowski*  
Kontakt: *kontakt@geografia24.eu*

**WSZELKIE PRAWA ZASTRZEŻONE**  
**- KOPIOWANIE ZABRONIONE -**