

## **III. Atmosfera**

### **3. Ciśnienie atmosferyczne. Cyrkulacja atmosferyczna**

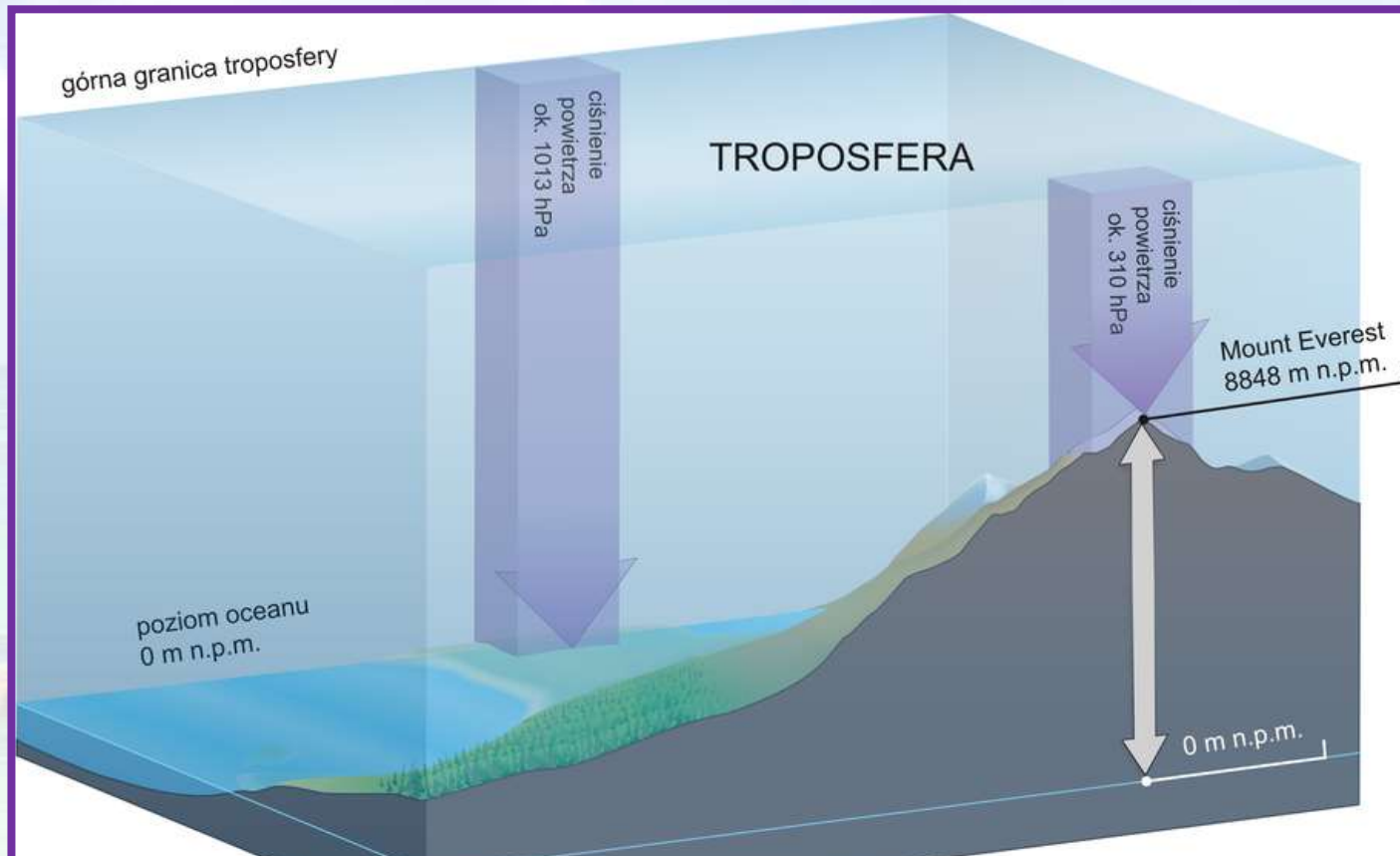


**Ciśnienie atmosferyczne**



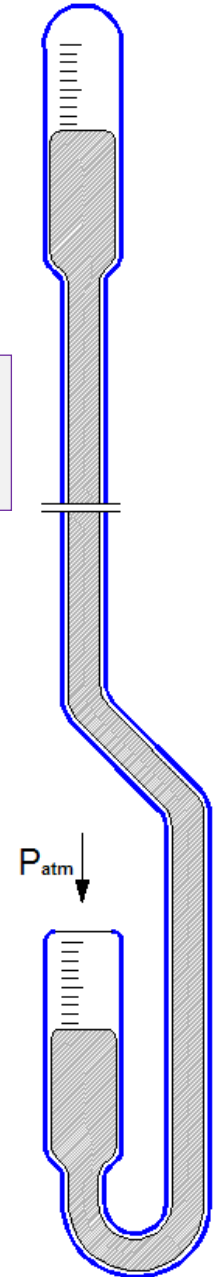
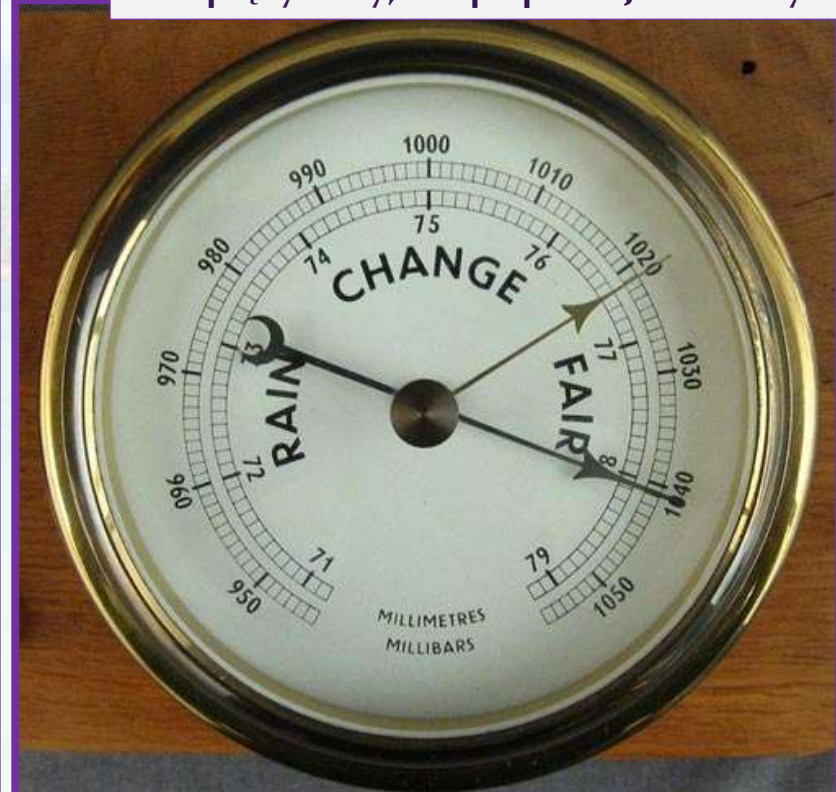
# Definicja ciśnienia atmosferycznego

- **Ciśnienie atmosferyczne** jest to nacisk, jaki wywiera atmosfera na znajdujące się w niej obiekty, w tym także na powierzchnię Ziemi.
- Odpowiada ono ciężarowi nadległego słupa powietrza, rozciągającego się pomiędzy tą powierzchnią i górną granicą atmosfery.
- Jest zatem najwyższe na poziomie morza i spada wraz ze wzrostem wysokości, szybciej w powietrzu chłodnym niż w ciepłym.



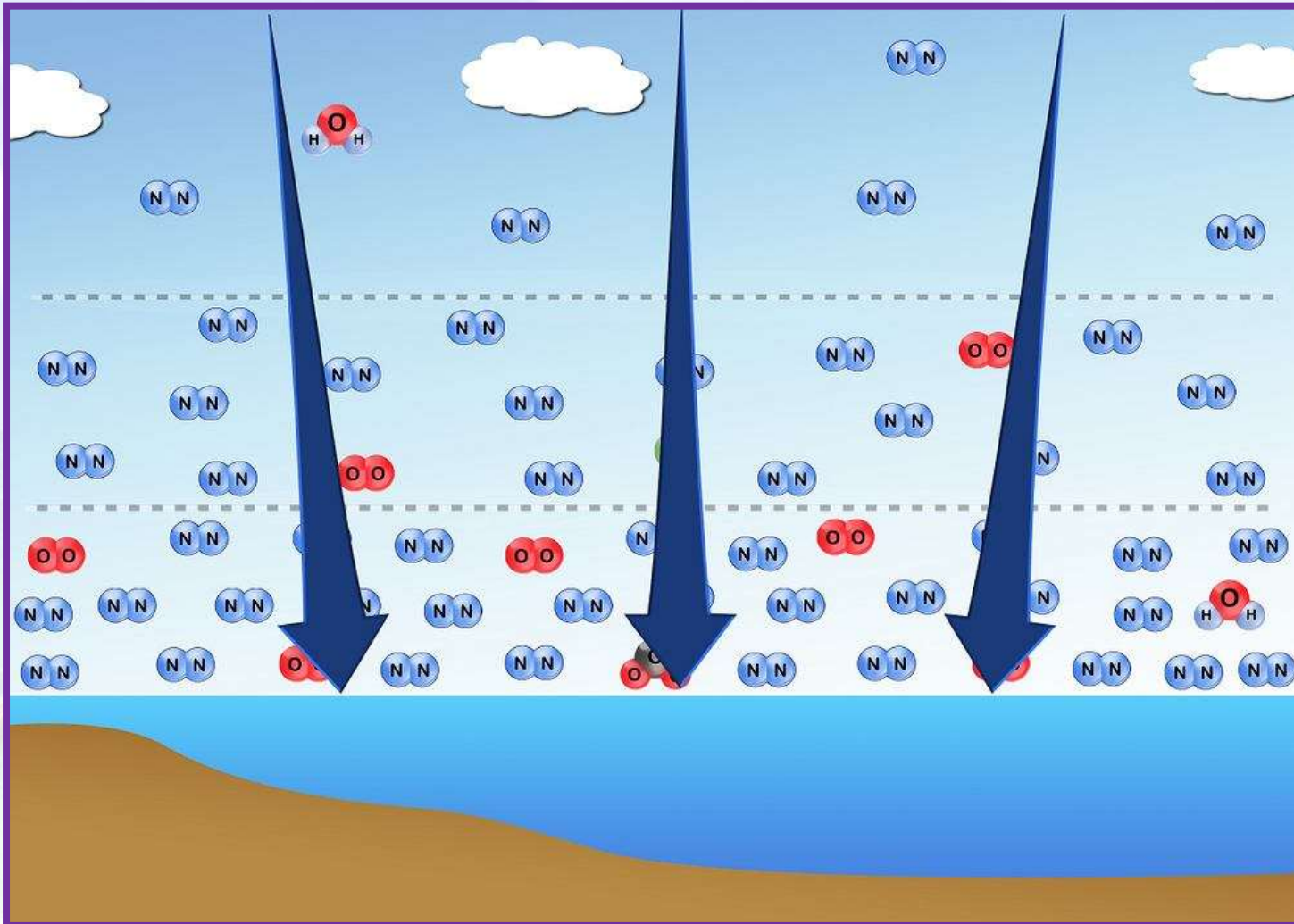
Zmiany ciśnienia atmosferycznego postępujące wraz ze zmianami wysokości

Ciśnienie atmosferyczne mierzymy **barometrem** – po lewej barometr sprężynowy, zaś po prawej lewarowy



# Ciśnienie normalne

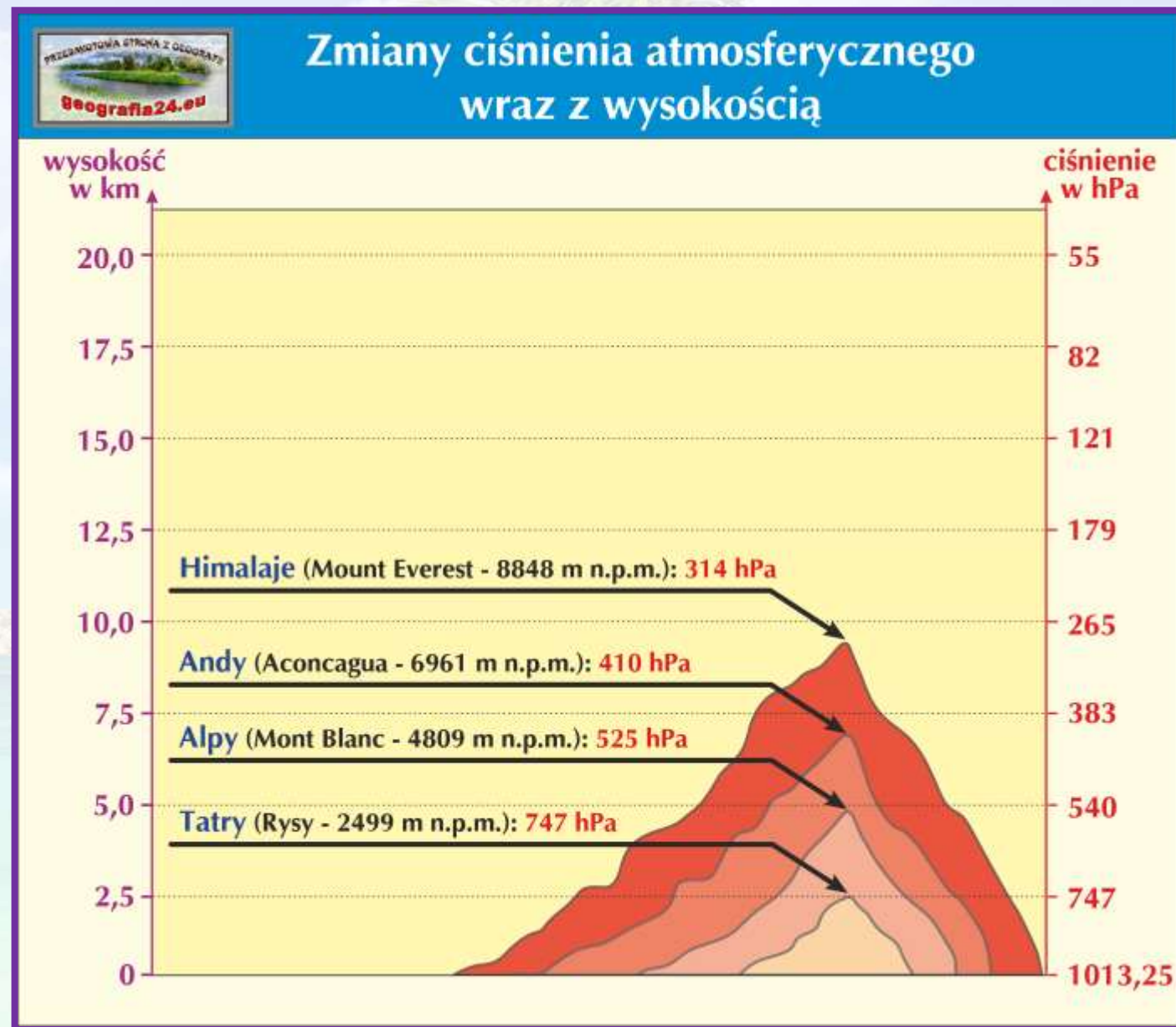
- Za **normalne** uznaje się **ciśnienie atmosferyczne** odpowiadające ciężarowi słupa rtęci o wysokości 760 mm i podstawie 1 cm<sup>2</sup>, w temperaturze 0°C na poziomie morza, na równoleżnikach 45° (N i S).
- Wynosi ono około **1013,25 hPa (hektopaskali)**,
- czyli jest równe sile, z jaką Ziemia przyciąga masę 1,033 kg na powierzchni 1 cm<sup>2</sup>.





# Stopień baryczny

- Zmiany ciśnienia wraz z wysokością określa się przy pomocy **stopnia barycznego** – czyli zmiany wysokości, którą należy pokonać (wznieść się lub obniżyć) aby ciśnienie zmieniło się o 1 hPa.
- Średni spadek ciśnienia atmosferycznego wraz z wysokością wynosi **średnio o 11,5 hPa/100 m** (czyli stopień baryczny wynosi około 8,7 m/hPa):
  - w dolnej części troposfery spadek jest nieco większy i stopień baryczny wynosi ok. 8 m/hPa,
  - w górnej części troposfery jest niższy (ciśnienie wolniej spada) i wynosi na wysokości około 5 km około 16 m/hPa (czyli musimy pokonać dwa razy większą odległość aby ciśnienie zmieniło się o 1 hPa).
- I tak ciśnienie atmosferyczne maleje wraz z wysokością wynosząc np.:
  - na poziomie morza około 1013,25 hPa,
  - na wysokości 5 km – 540 hPa,
  - na wysokości 10 km – 265 hPa,
  - na wysokości 20 km – 55 hPa,
  - na wysokości 50 km – 1 hPa.





# Pomiar ciśnienia atmosferycznego i jego redukcja

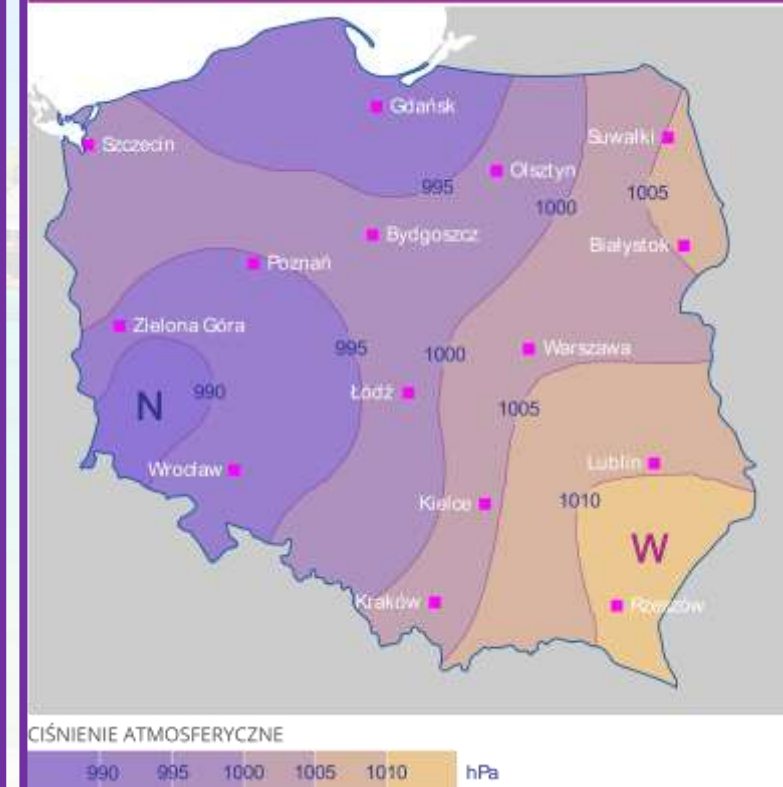
- Ciśnienie atmosferyczne mierzone za pomocą barometrów na różnych wysokościach **redukuje się zwykle do poziomu morza** w celu wyeliminowania wpływu wysokości na wielkość rejestrowanego ciśnienia.
- Pozwala to wyznaczyć izobary i powierzchnie izobaryczne typowe dla poszczególnych szerokości geograficznych w danym czasie i sporządzić mapy klimatyczne odzwierciedlające rozmieszczenie układów barycznych na Ziemi.

Przeciętne ciśnienie atmosferyczne na poszczególnych szerokościach geograficznych

Szerokość geograficzna	Przeciętne roczne ciśnienie powietrza na poziomie morza (w hPa)
90°	1002,8
80°	1002,1
70°	1000,8
65°	999,3
60°	999,9
50°	1009,0
40°	1014,7
30°	1016,5
20°	1013,6
10°	1011,0
0°	1010,3



MAPA CIŚNIENIA ATMOSFERYCZNEGO





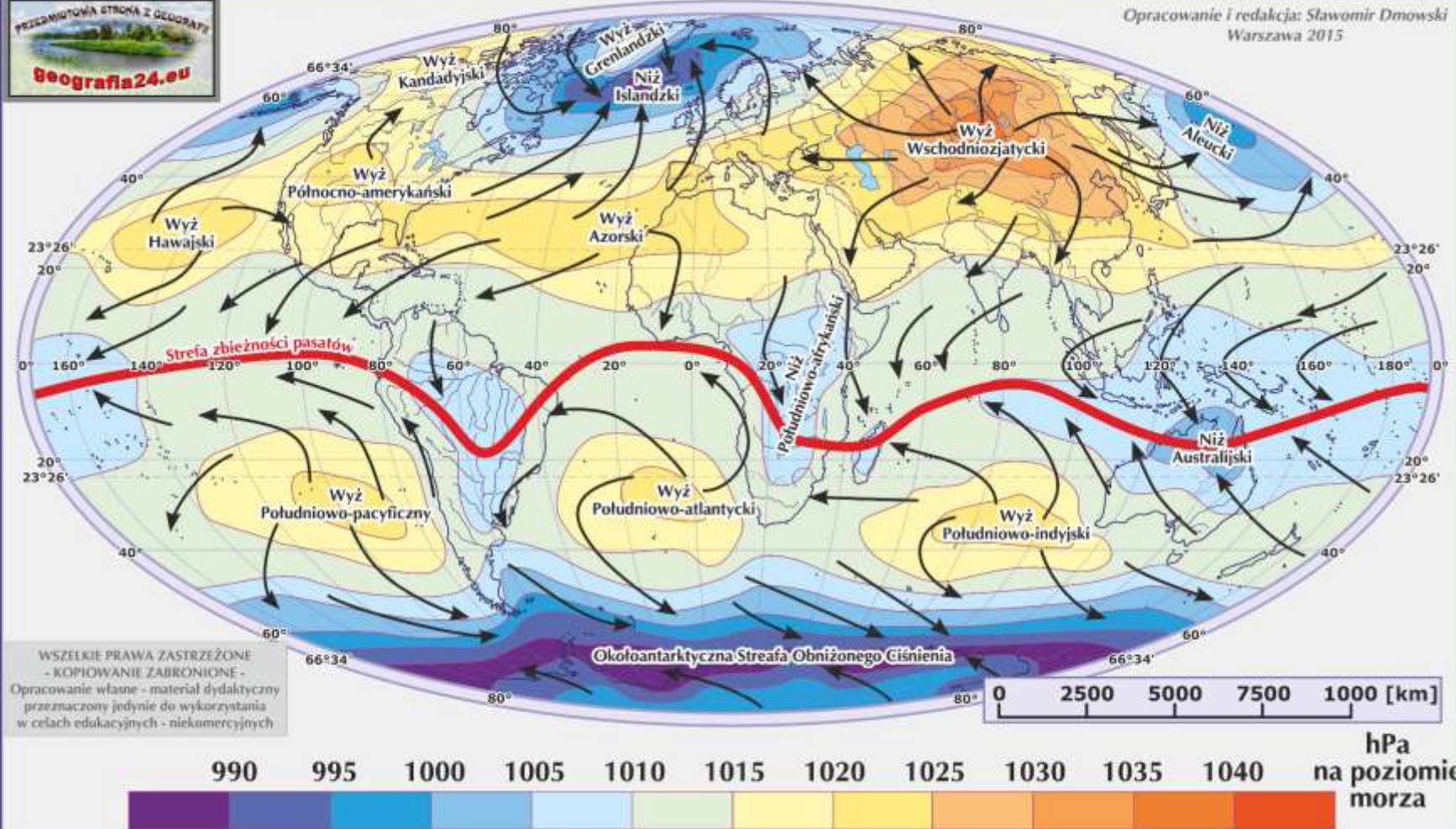
# Ciśnienie atmosferyczne

- W celu opracowania map ukazujących ciśnienie atmosferyczne wykorzystujemy izolinie, nazywane **izobarami** będące izoliniami łączącymi punkty o jednakowych wartościach ciśnienia atmosferycznego.
- Na takich mapach możemy wskazać tereny o podwyższonych lub obniżonych wartościach ciśnienia atmosferycznego.

## Rozkład ciśnienia atmosferycznego wraz z przeważającymi wiatrami w styczniu



Opracowanie i redakcja: Sławomir Dmowski  
Warszawa 2015



## Izobary na mapie



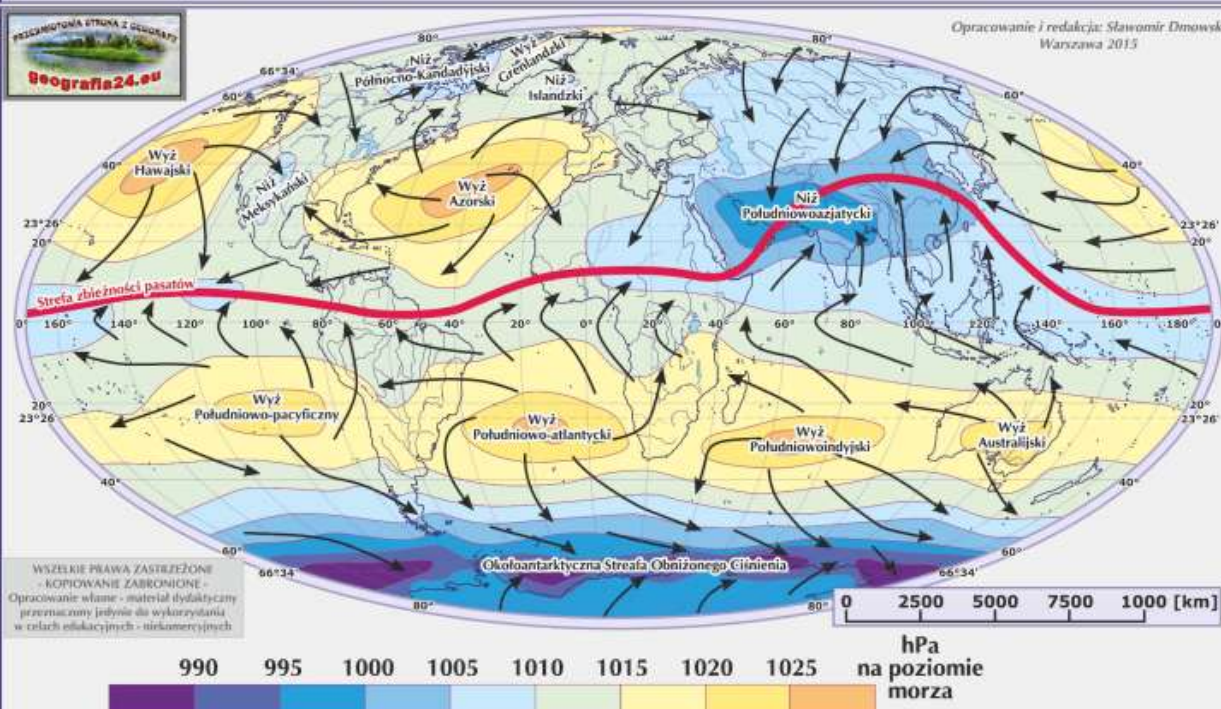


# Zmiany ciśnienia atmosferycznego w ciągu roku

- W rozkładzie ciśnienia atmosferycznego na kuli ziemskiej możemy zauważyć pewne **prawidłowości**:
  - **najwyższe wartości** ciśnienia atmosferycznego w ciągu roku występują w **strefie zwrotnikowej**,
  - **niskie wartości** ciśnienia atmosferycznego notowane są w **strefie równikowej** (utrzymują się przez cały rok);
  - **ośrodki ciśnienia nad obszarami morskimi są stosunkowo trwałe** (ulegają zwykle tylko nieznacznym zmianom),
  - **ośrodki ciśnienia nad kontynentami ulegają często zmianom sezonowym**, np.:
    - w Azji letni Niż Południowoazjatycki staje się w okresie zimowym Wyżem Azjatyckim (Wyżem Wschodnioazjatyckim),
    - w Ameryce Północnej letni Niż Północno-Kanadyjski staje się zimą Wyżem Kanadyjskim.

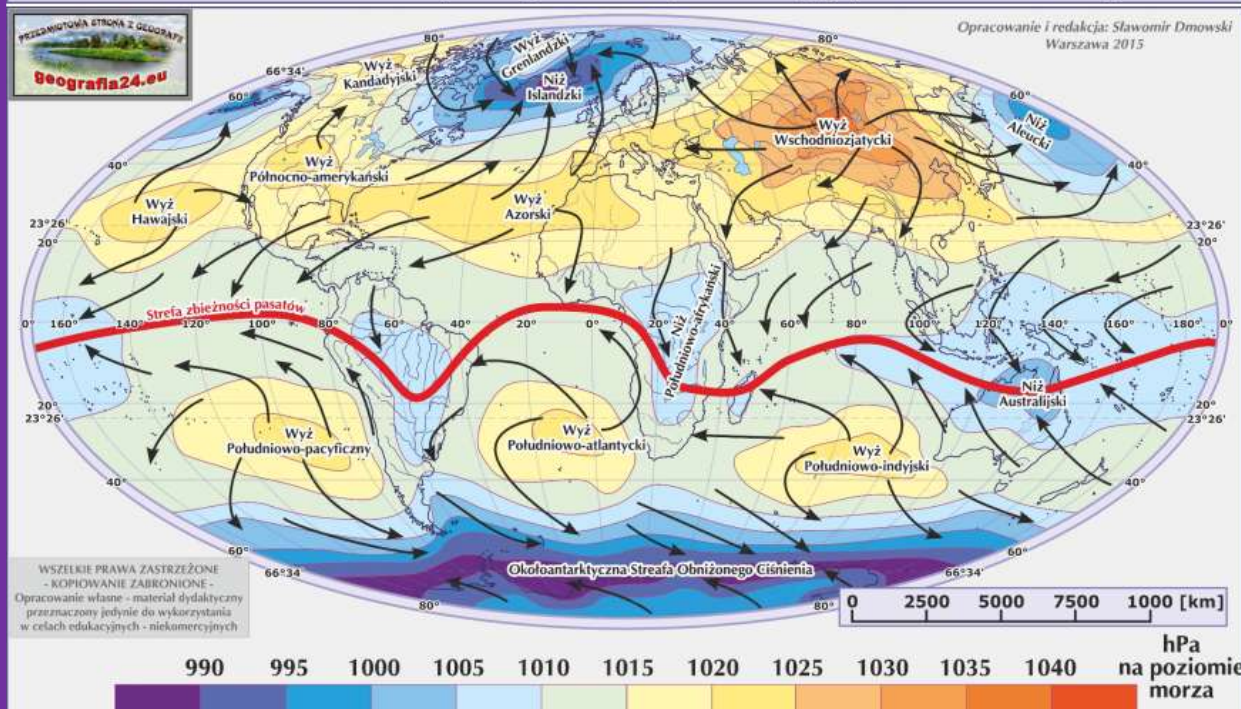
Rozkład ciśnienia atmosferycznego wraz z przeważającymi wiatrami w lipcu

Opracowanie i redakcja: Sławomir Dmowski  
Warszawa 2015



Rozkład ciśnienia atmosferycznego wraz z przeważającymi wiatrami w styczniu

Opracowanie i redakcja: Sławomir Dmowski  
Warszawa 2015





# Wykreślanie izobar – podstawowe układy baryczne

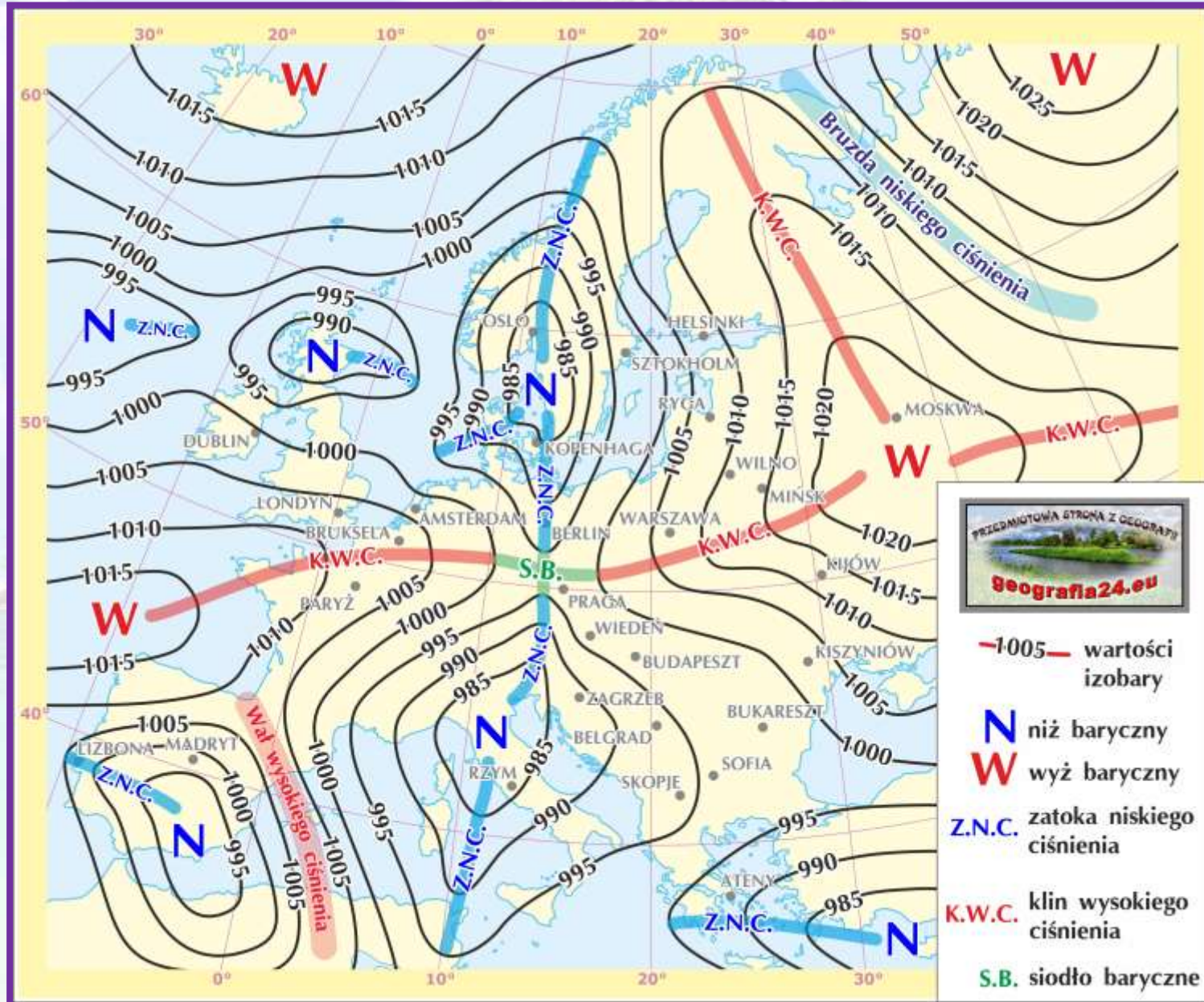
→ Przy wykreślaniu izobar **zawsze zachowuje się stałą różnicę** wielkości ciśnienia.

→ Pozwala to porównywać rozmiary i kształty powierzchni izobarycznych w polach ciśnienia, a **zatem właściwie oceniać charakter układów barycznych**.

→ Najczęściej występującymi **układami barycznymi** są:

- **niż baryczny (cyklon),**
- **wyż baryczny (antycyklon),**
- **zatoka niskiego ciśnienia,**
- **klin wysokiego ciśnienia,**
- **siodło baryczne,**
- **wał wysokiego ciśnienia,**
- **bruzda niskiego ciśnienia.**

→ Układy te zmieniają swoje położenie oraz charakter (tworzą się, rozbudowują się, słabną, zanikają) w wyniku ruchów Ziemi i związanych z nimi zmian natężenia promieniowania słonecznego dochodzącego do jej powierzchni.

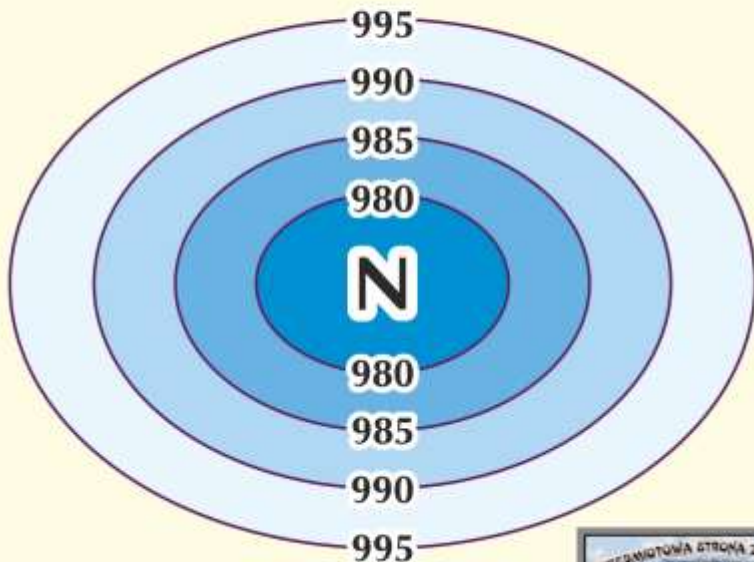




# Niż baryczny

- **Niż baryczny** – jest takim obszarem w atmosferze, w którym **ciśnienie atmosferyczne na danym poziomie jest niższe niż w otoczeniu** (na mapach oznaczmy go literą “N”).
- Charakteryzuje go układ zamkniętych izobar, w którym ciśnienie maleje ku jego środkowi.
- **Jeżeli spadek ciśnienia na jednostkę odległości jest znaczny**, a więc **poziomy gradient ciśnienia jest wysoki**, **izobary są zagęszczone** a powierzchnie izobaryczne małe,
- jeżeli jest nieznaczny – izobary są od siebie bardziej oddalone, a powierzchnie izobaryczne duże.

## Niż baryczny (cyklon)

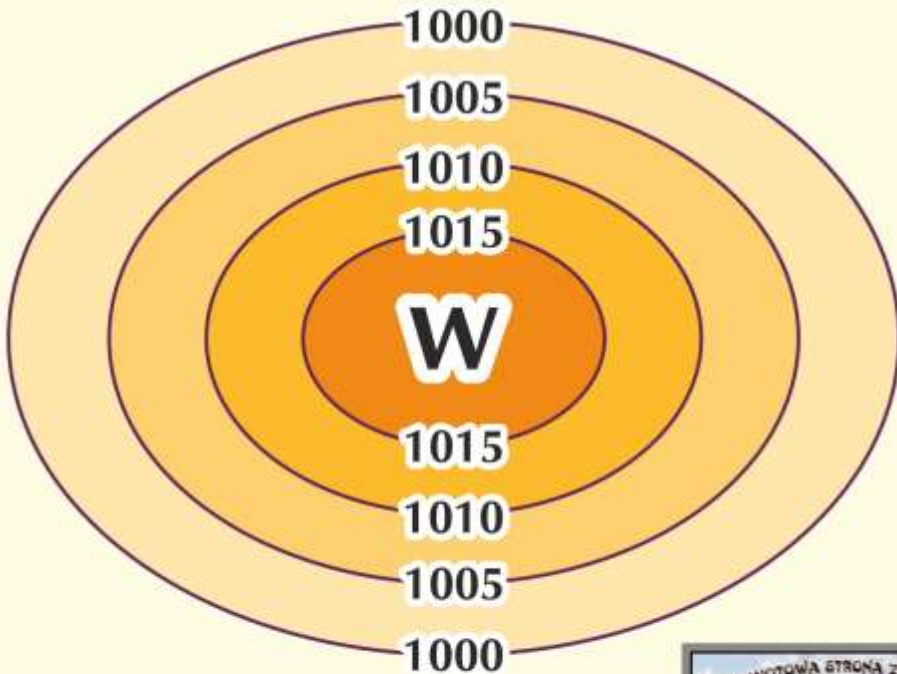




# Wyż baryczny

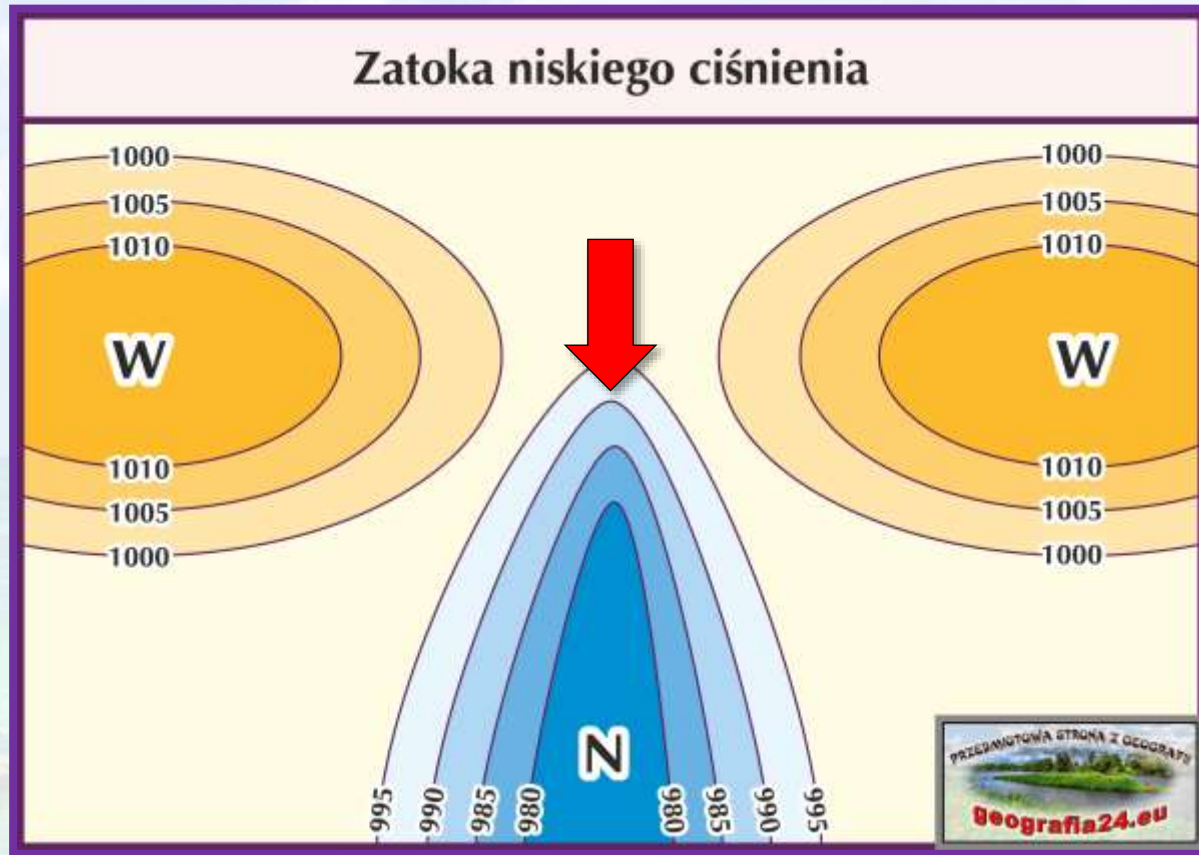
- **Wyż baryczny** – jest takim obszarem w atmosferze, w którym **ciśnienie atmosferyczne na danym poziomie jest wyższe niż w otoczeniu** (na mapach oznaczmy go literą **“W”**).
- Opisuje go układ zamkniętych izobar, w którym ciśnienie rośnie w miarę zbliżania się do jego środka.

## Wyż baryczny (antycyklon)

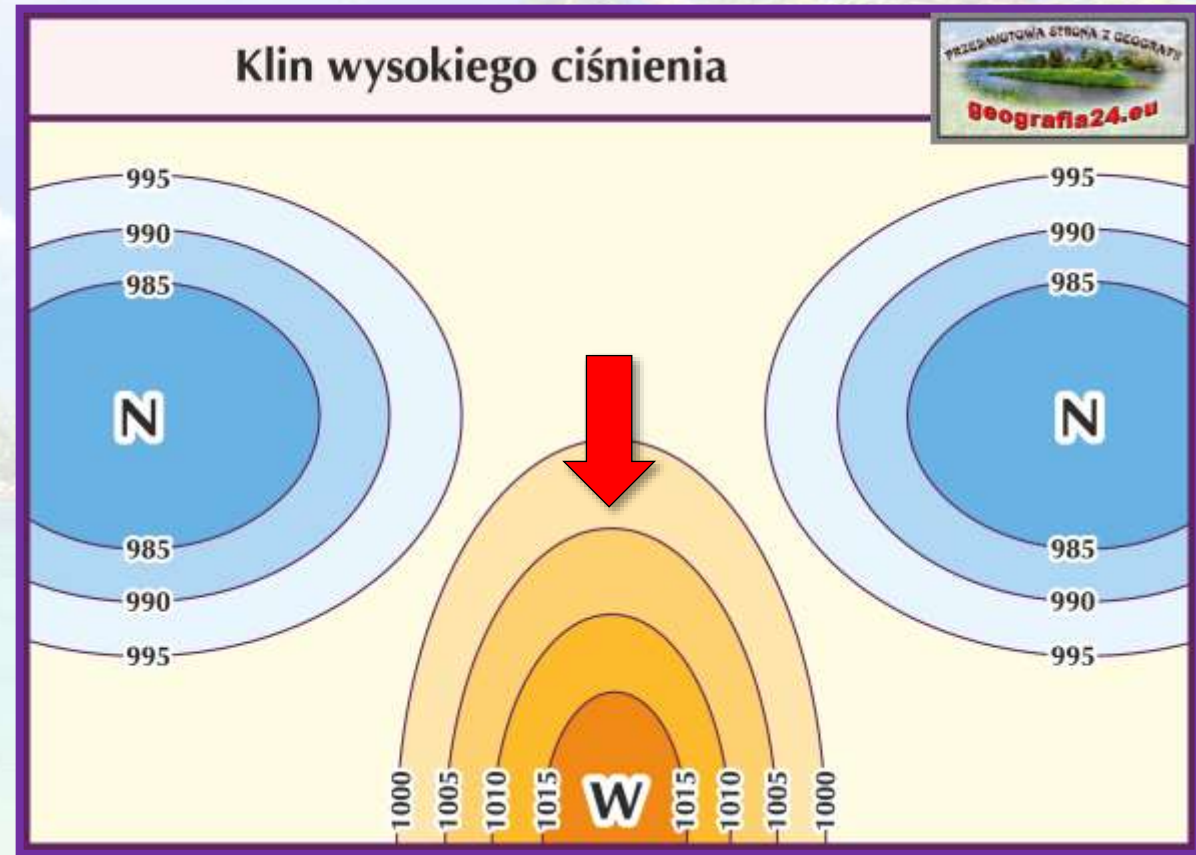


# Zatoka niskiego ciśnienia i klin wysokiego ciśnienia

- **Zatoka niskiego ciśnienia** – peryferyjna część niżu pomiędzy dwoma wyżami na danym poziomie.
- Opisuje ją układ izobar w kształcie litery V, wygiętych w stronę wysokiego ciśnienia.



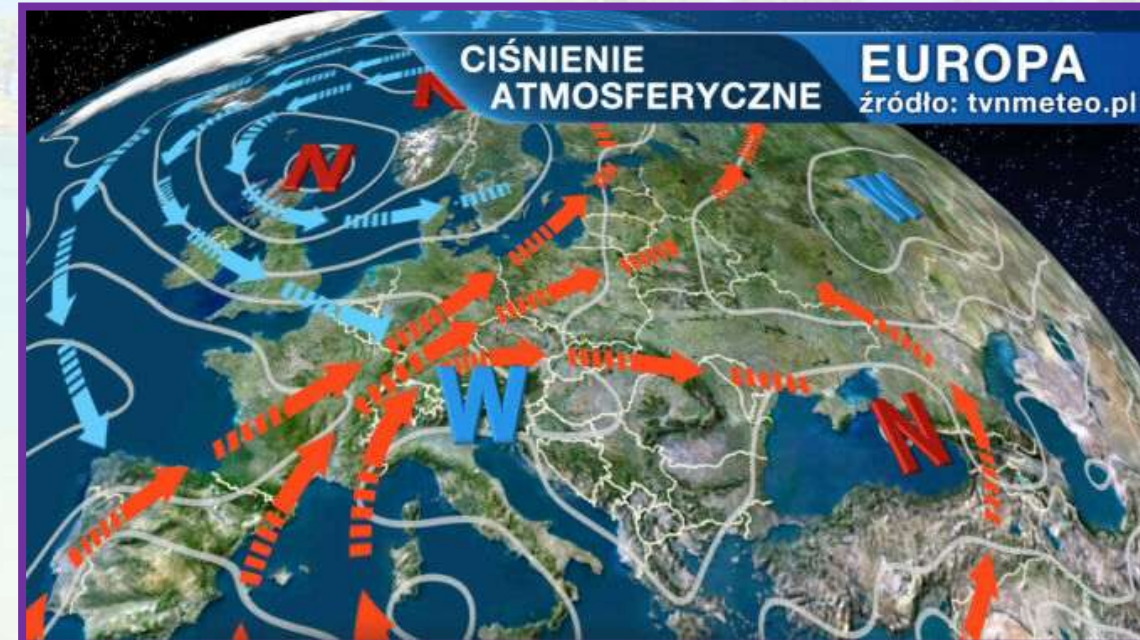
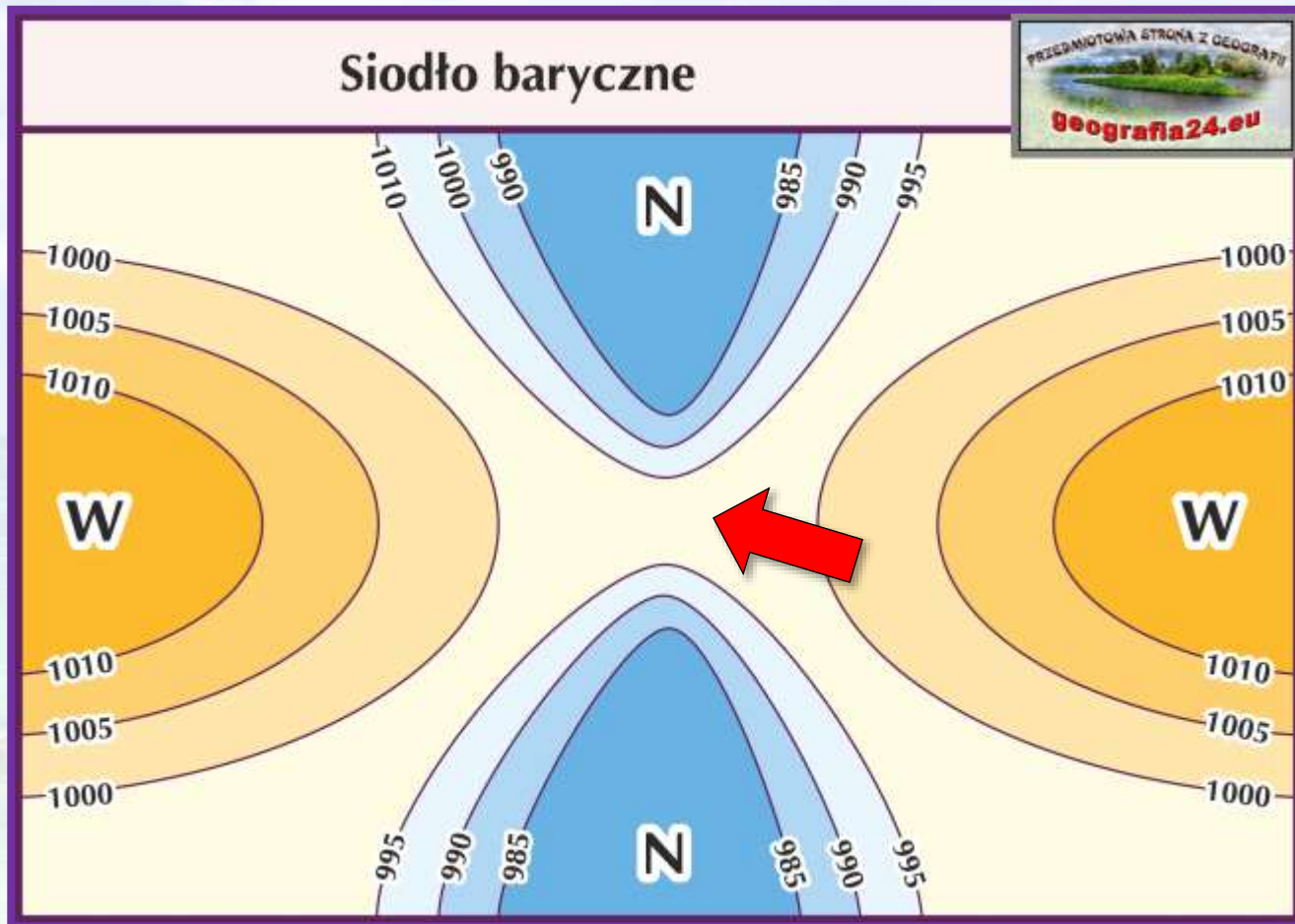
- **Klin wysokiego ciśnienia** – peryferyjna część wyżu pomiędzy dwoma niżami na danym poziomie.
- Opisuje go układ izobar w kształcie litery U, wygiętych w stronę niskiego ciśnienia.





# Siodło baryczne

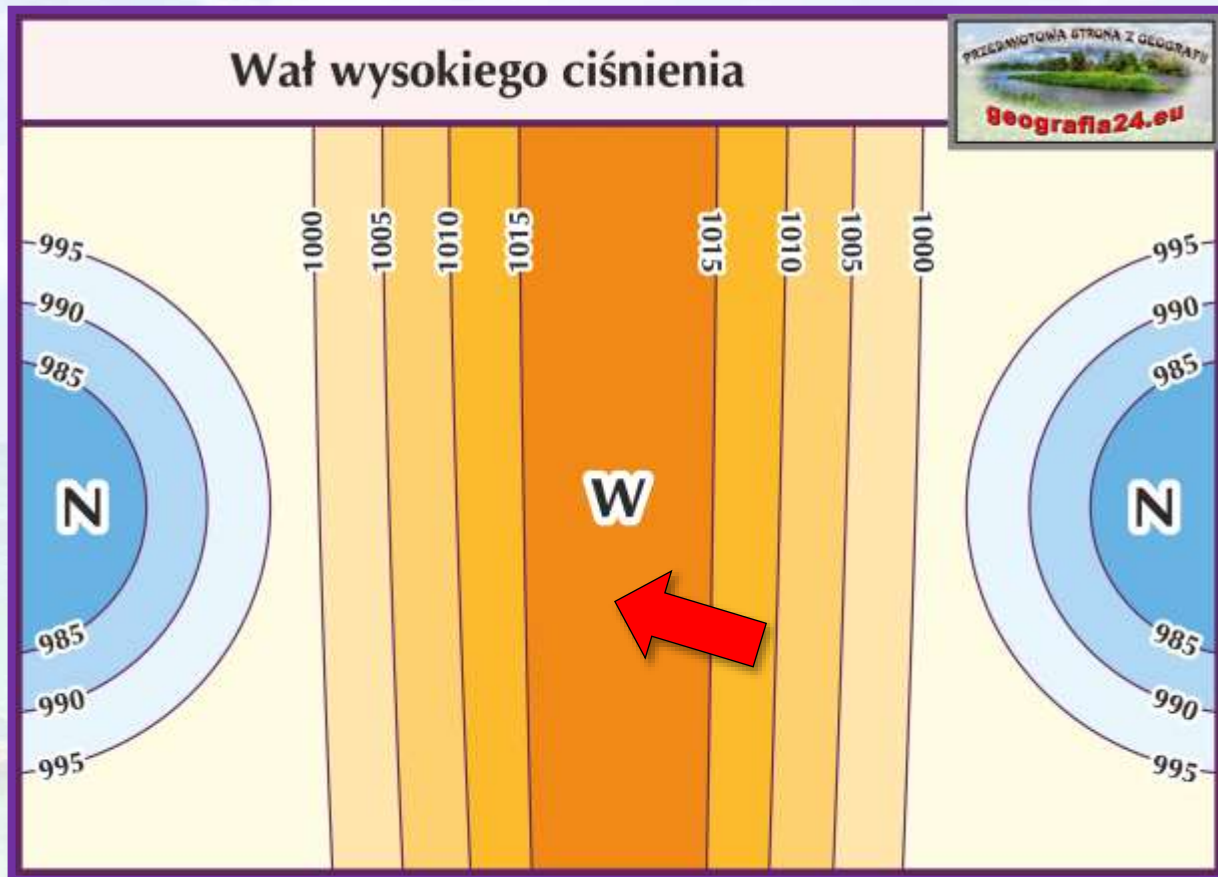
- **Siodło baryczne** – obszar w atmosferze na danym poziomie pomiędzy dwoma zatokami niskiego ciśnienia (niżami) i dwoma klinami wysokiego ciśnienia (wyżami).
- Opisuje je układ izobar w kształcie litery X.



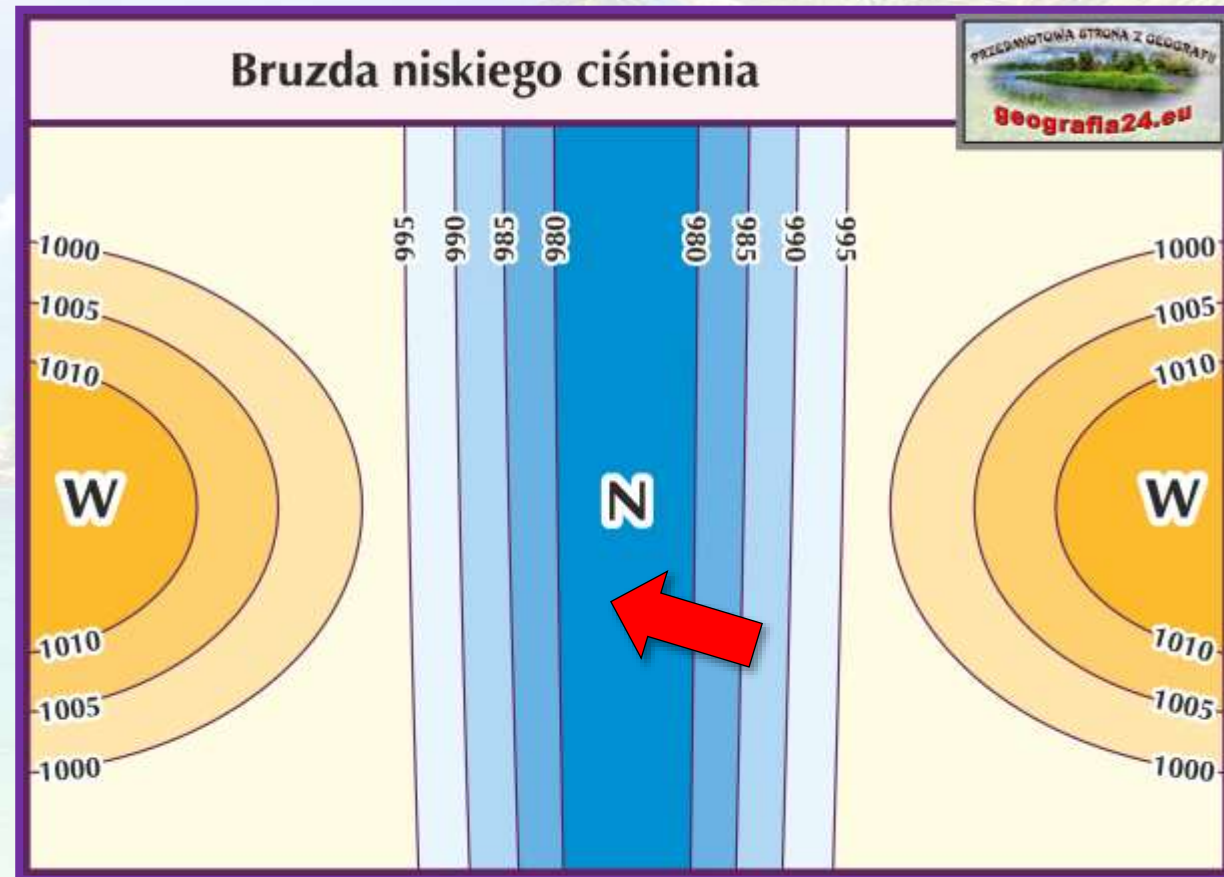


# Wał wysokiego ciśnienia i bruzda niskiego ciśnienia

- **Wał wysokiego ciśnienia** – stosunkowo rozległy pas wysokiego ciśnienia, przebiegający pomiędzy dwoma układami niskiego ciśnienia.
- Opisuje je układ izobar w kształcie (szerokiej) litery I.



- **Bruzda niskiego ciśnienia** – stosunkowo wąski pas niskiego ciśnienia, przebiegający pomiędzy dwoma układami wysokiego ciśnienia.
- Opisuje je układ izobar w kształcie (wąskiej) litery I.





# Wiatr – jako rezultat różnic ciśnień

- Zróżnicowanie ciśnienia atmosferycznego na danej wysokości warunkuje poziome względem powierzchni Ziemi ruchy powietrza, czyli **wiatry**.
- Teoretycznie biorąc, cząsteczki powietrza powinny przesuwać się **najkrótszą drogą** ku środkowi niżu barycznego, czyli zgodnie ze zwrotem wektora siły **poziomego gradientu ciśnienia** – prostopadle do izobar.
- W rzeczywistości ich ruch jest nie tylko funkcją różnic ciśnienia na danym poziomie.
  - W różnym stopniu na poszczególnych szerokościach geograficznych jest też determinowany przez:
    - **siłę Coriolisa** – która rośnie w miarę zwiększania się szerokości geograficznej;
    - **siłę odśrodkową** – malejącą w miarę zwiększania się szerokości geograficznej.
  - Poziomy ruch powietrza przy powierzchni Ziemi jest poważnie zakłócany przez **siłę tarcia**, proporcjonalną do siły nacisku, a więc największą w przyziemnej troposferze.
  - Siła tarcia jest większa nad lądami (mającymi zróżnicowaną rzeźbę i różnorodne pokrycie), niż nad zbiornikami wodnymi, stąd też związane z nią zakłócenia wiatrów są tam bardziej odczuwalne.





# Kierunek i prędkość wiatrów

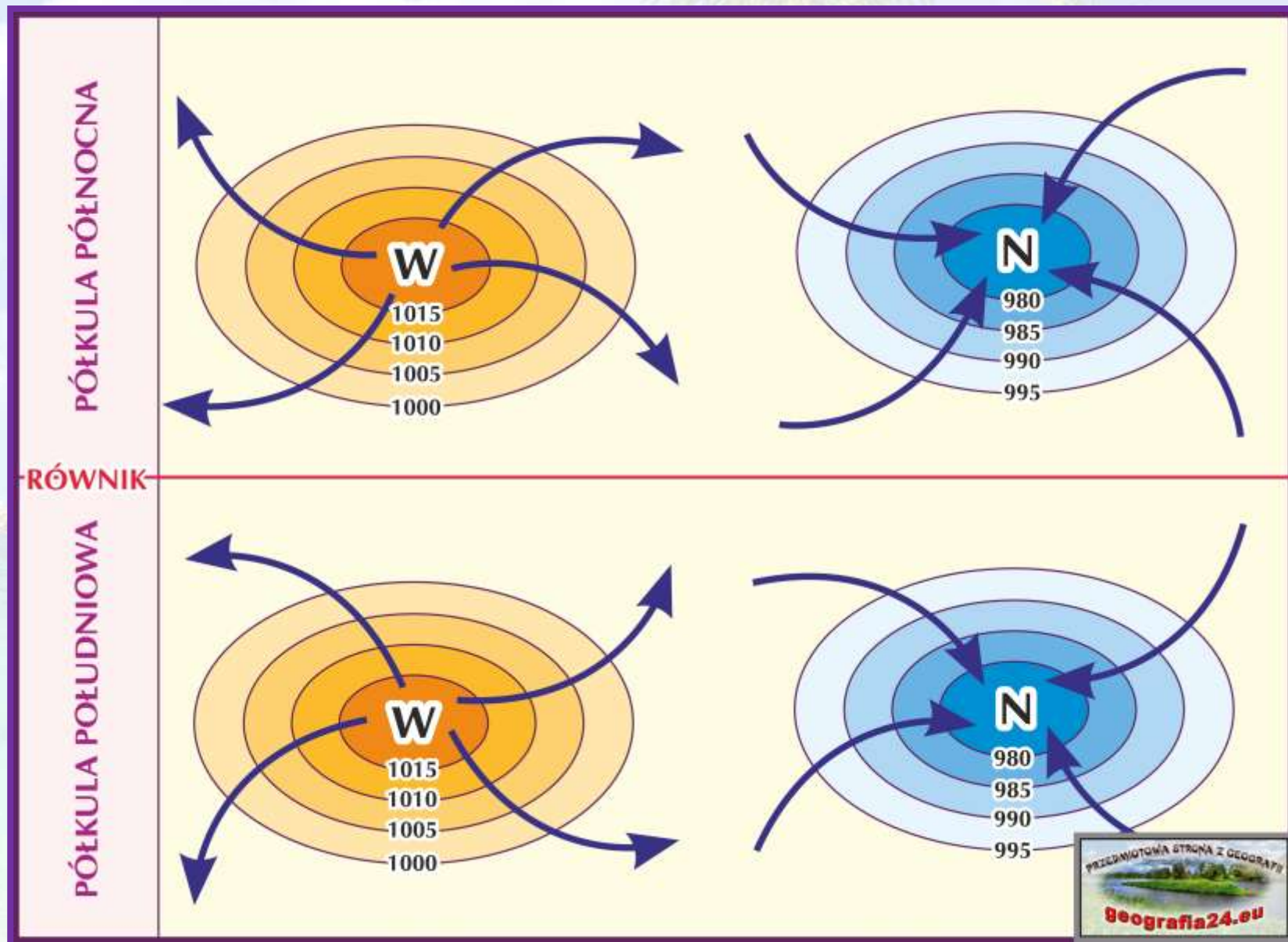
Wiatry w wyżach i niżach barycznych na obu półkulach

→ W wyniku ruchu obrotowego Ziemi wiatry odchylają się zatem od kierunku początkowego, wyznaczonego przez różnice ciśnienia na danym poziomie.

→ Nazwa wiatru pochodzi od kierunku z którego wieje, czyli **wiatr wiejący z kierunku zachodniego** – nazywamy **wiatrem zachodnim**.

→ Prędkość wiatru zależy od różnicy ciśnienia atmosferycznego na danym obszarze – im większe zagęszczenie izobar tym większa jest prędkość wiatru.

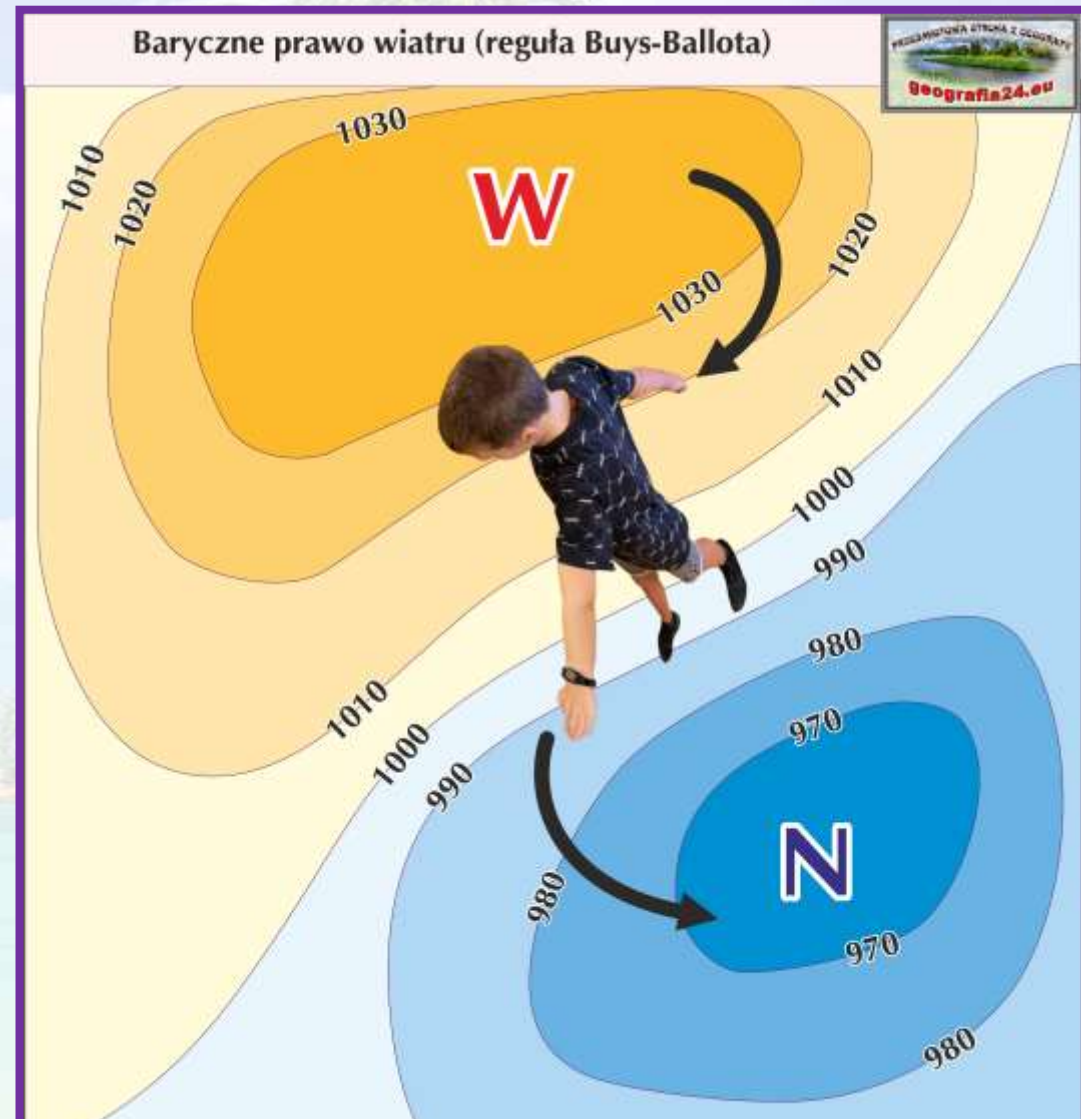
→ Prędkość wiatru jest najczęściej wyrażana w m/s lub km/h.





# Baryczne prawo wiatru

- **Kierunek i prędkość wiatru** wiejącego przy powierzchni Ziemi jest więc wypadkową siły poziomego gradientu ciśnienia oraz siły Coriolisa, siły odśrodkowej i siły tarcia.
  - W rezultacie oddziaływania trzech ostatnich sił wiatr odchyła się od kierunku wyznaczonego przez ten gradient (czyli od normalnej względem izobar) o kąt mniejszy od  $90^\circ$ :
    - w prawo na półkuli północnej,
    - w lewo na półkuli południowej.
- Na podstawie tej prawidłowości sformułowano **baryczne prawo wiatru**.



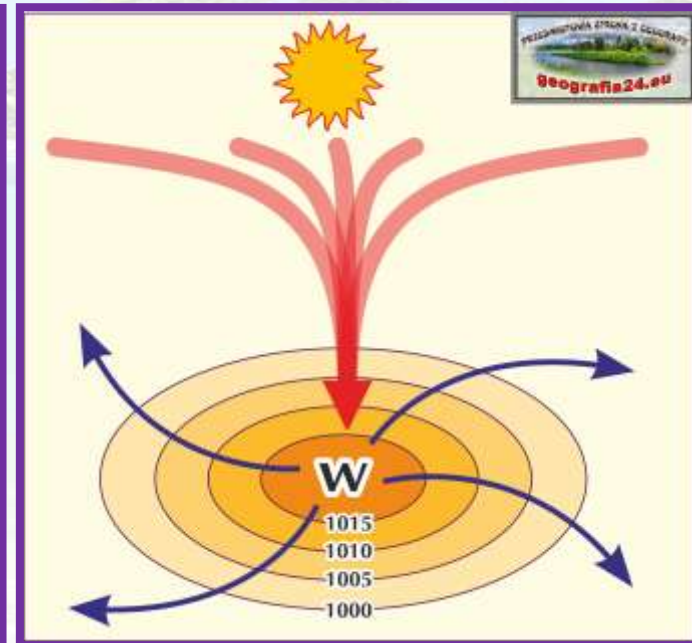
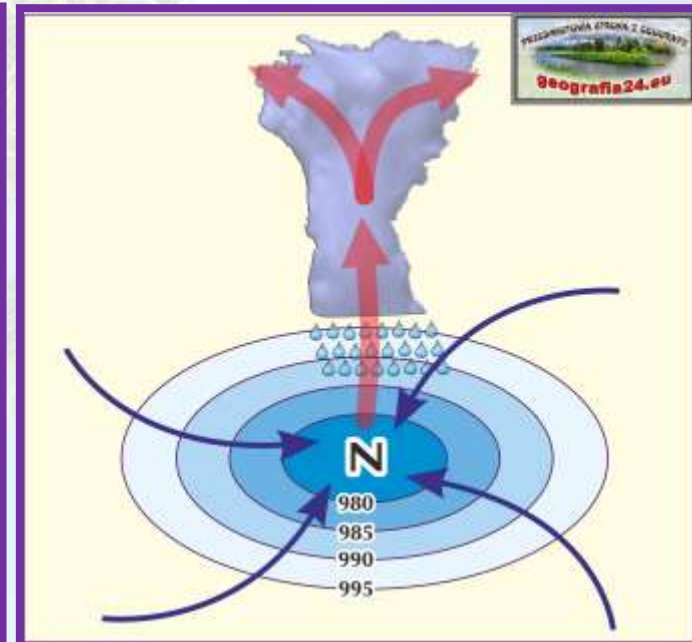
**Baryczne prawo wiatru** – reguła sformułowana przez Buys-Ballota, mówiąca, że gdy na półkuli północnej staniemy plecami do wiatru, to: po prawej stronie, nieco w tyle będziemy mieli najwyższe ciśnienie atmosferyczne, po lewej i nieco w przódzie – najniższe.





# Konwekcja

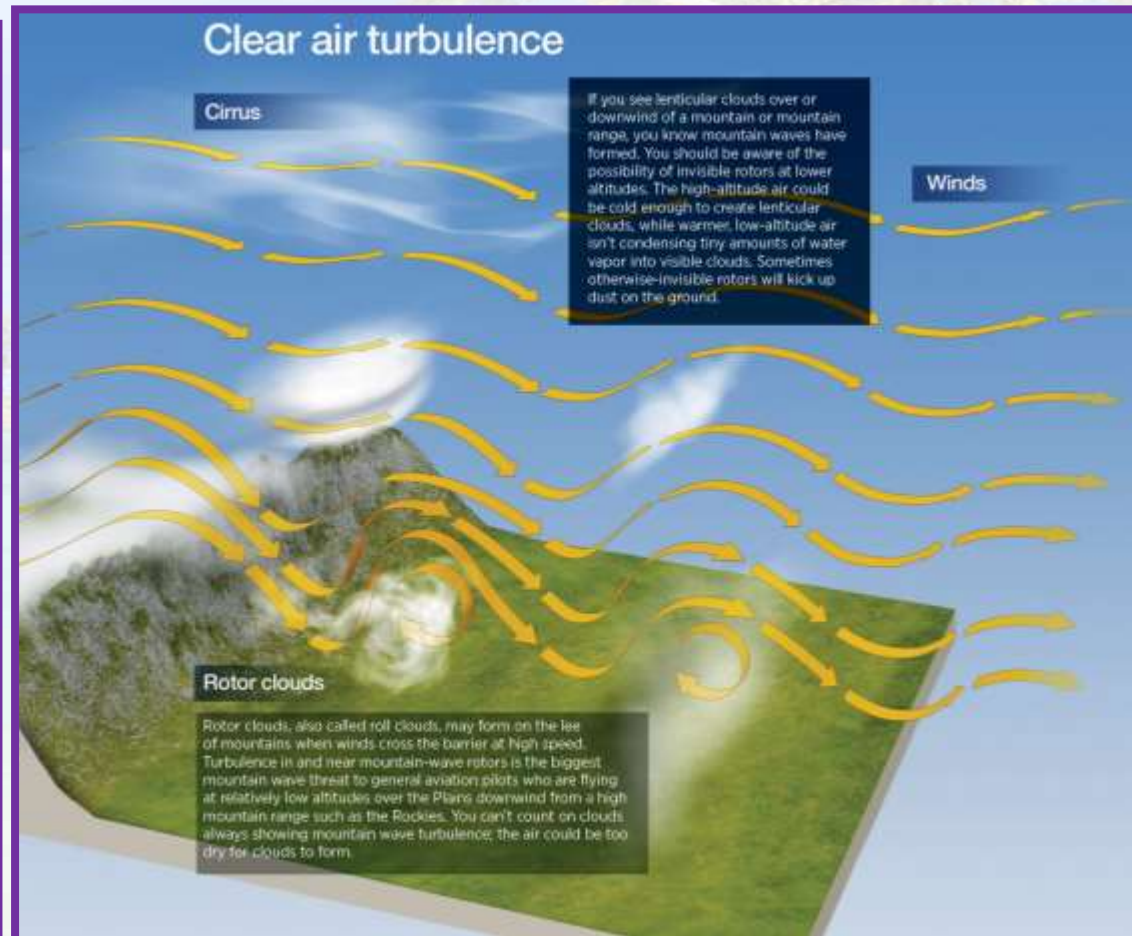
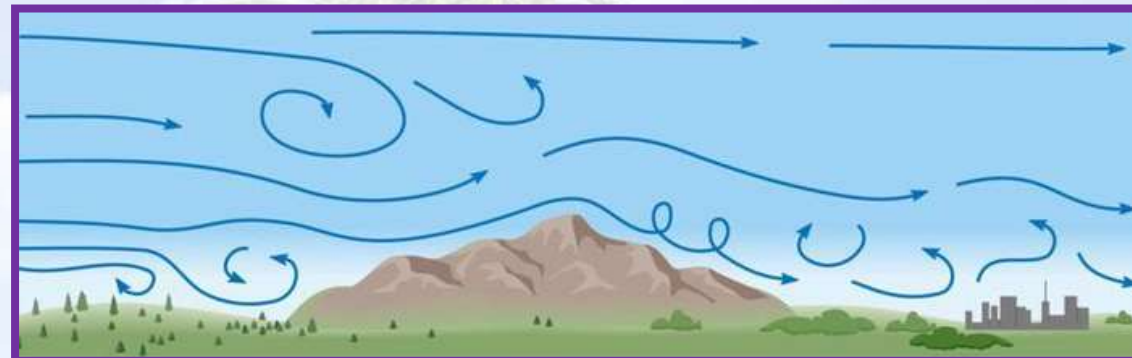
- **Konwekcja** to pionowy ruch powietrza, tworzący się w wyniku nierównomiernego nagrzewania się powietrza zalegającego przy podłożu i wyżej w atmosferze, co w efekcie prowadzi do powstania różnicy gęstości powietrza:
  - **prądy konwekcyjne wstępujące** – powstają nad ciepłym podłożem, w wyniku silnego nagrzewania się powietrza zalegającego przy podłożu,
    - powietrze to zaczyna się rozprężać (wzrasta jego objętość i maleje gęstość) i następnie wznosić do góry,
    - skutkiem jest powstanie przy powierzchni Ziemi układu niskiego ciśnienia;
  - **prądy konwekcyjne zstępujące** – powstaje, gdy napływające górą zimne masy powietrza, opadając na podłoże ociepla się i wywołuje wzrost ciśnienia atmosferycznego,
    - skutkiem jest powstanie przy powierzchni Ziemi układu wysokiego ciśnienia.





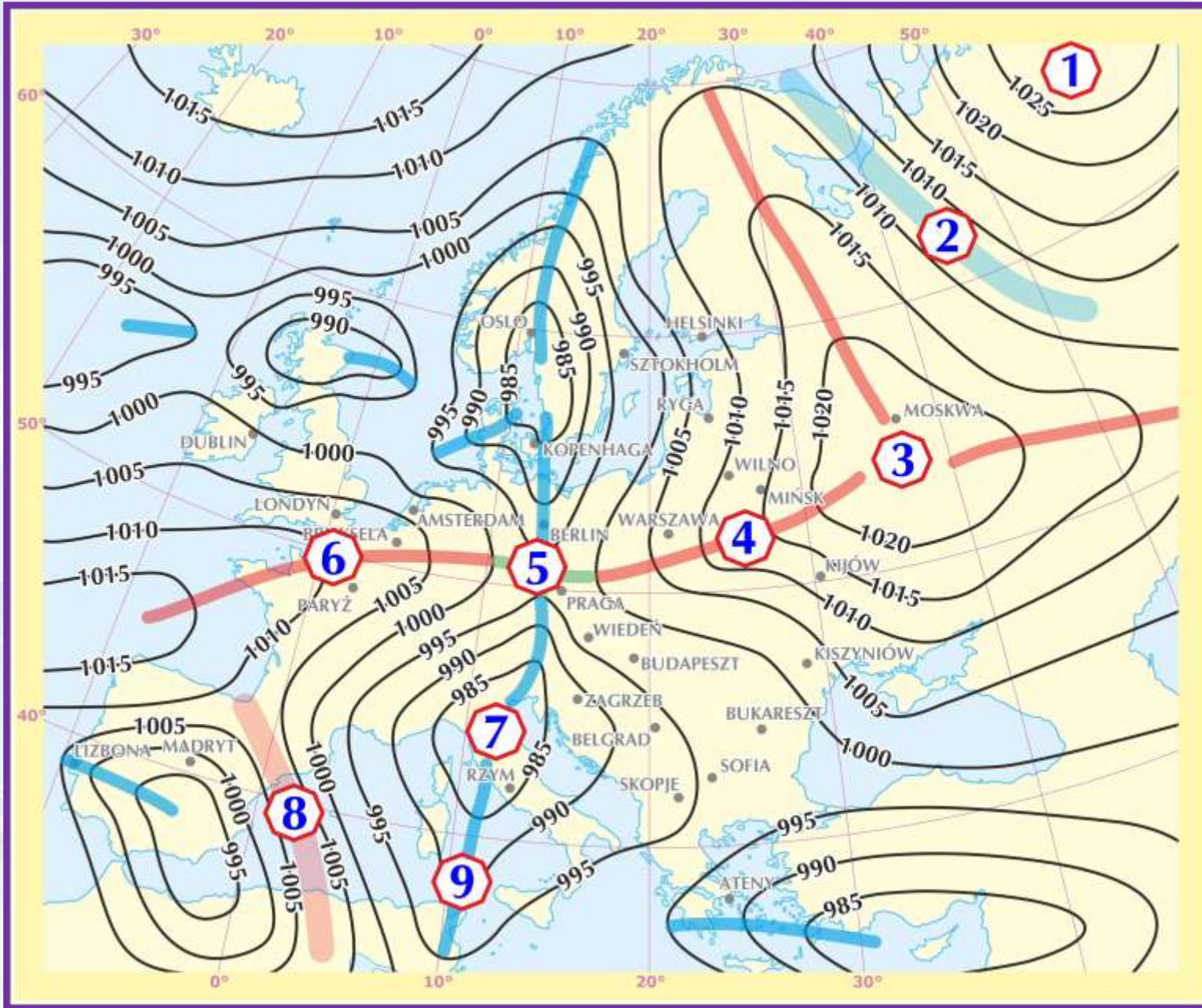
# Turbulencja

- **Turbulencja** – bardzo chaotyczny ruch cząsteczek powietrza (tory ruchu cząsteczek powietrza często się krzyżują).
- Najczęściej obejmuje on swoim zasięgiem niewielki, lokalny fragment danego obszaru, na którym występują przeszkody terenowe modyfikujące przebieg wiatru.
- Przeszkodami mogą być wzniesienia, drzewa, budynki.





# Ćwiczenie 1.



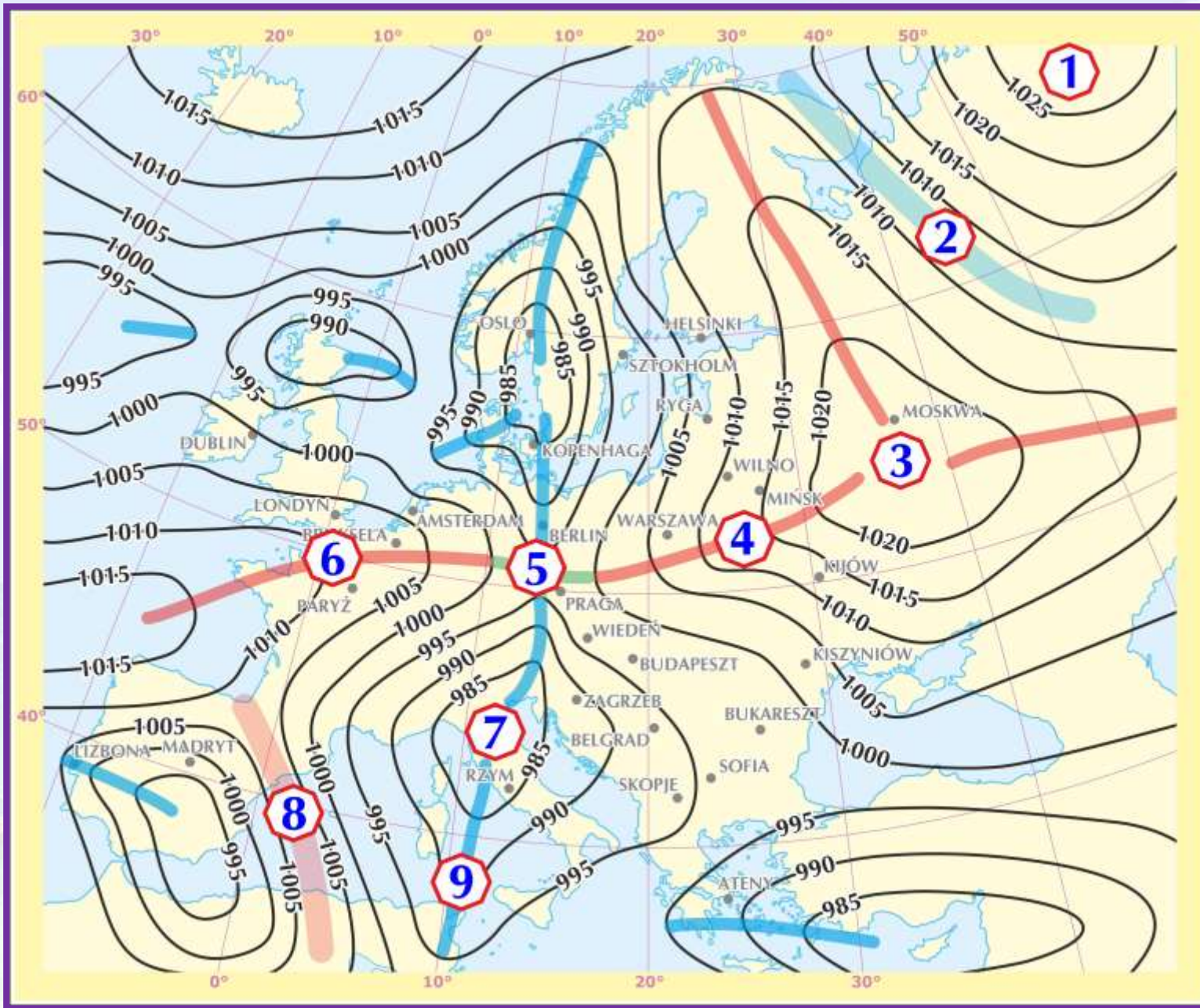
→ Dopasuj poniżej wymienione układy baryczne do miejsc wskazanych liczbami na mapie.

→ **Układy baryczne** występujące na mapie:

- niż baryczny,
- wyż baryczny,
- zatokę niskiego ciśnienia,
- klin wysokiego ciśnienia,
- bruzda niskiego ciśnienia,
- wał wysokiego ciśnienia,
- siodło baryczne.



# Ćwiczenie 1. (odpowiedź)



→ Dopasuj poniżej wymienione układy baryczne do miejsc wskazanych liczbami na mapie.

→ **Układy baryczne** występujące na mapie:

- **niż baryczny:** 7,
- **wyż baryczny:** 1, 3,
- **zatoka niskiego ciśnienia:** 9,
- **klin wysokiego ciśnienia:** 4, 6,
- **bruzda niskiego ciśnienia:** 2,
- **wał wysokiego ciśnienia:** 8,
- **siodło baryczne:** 5.

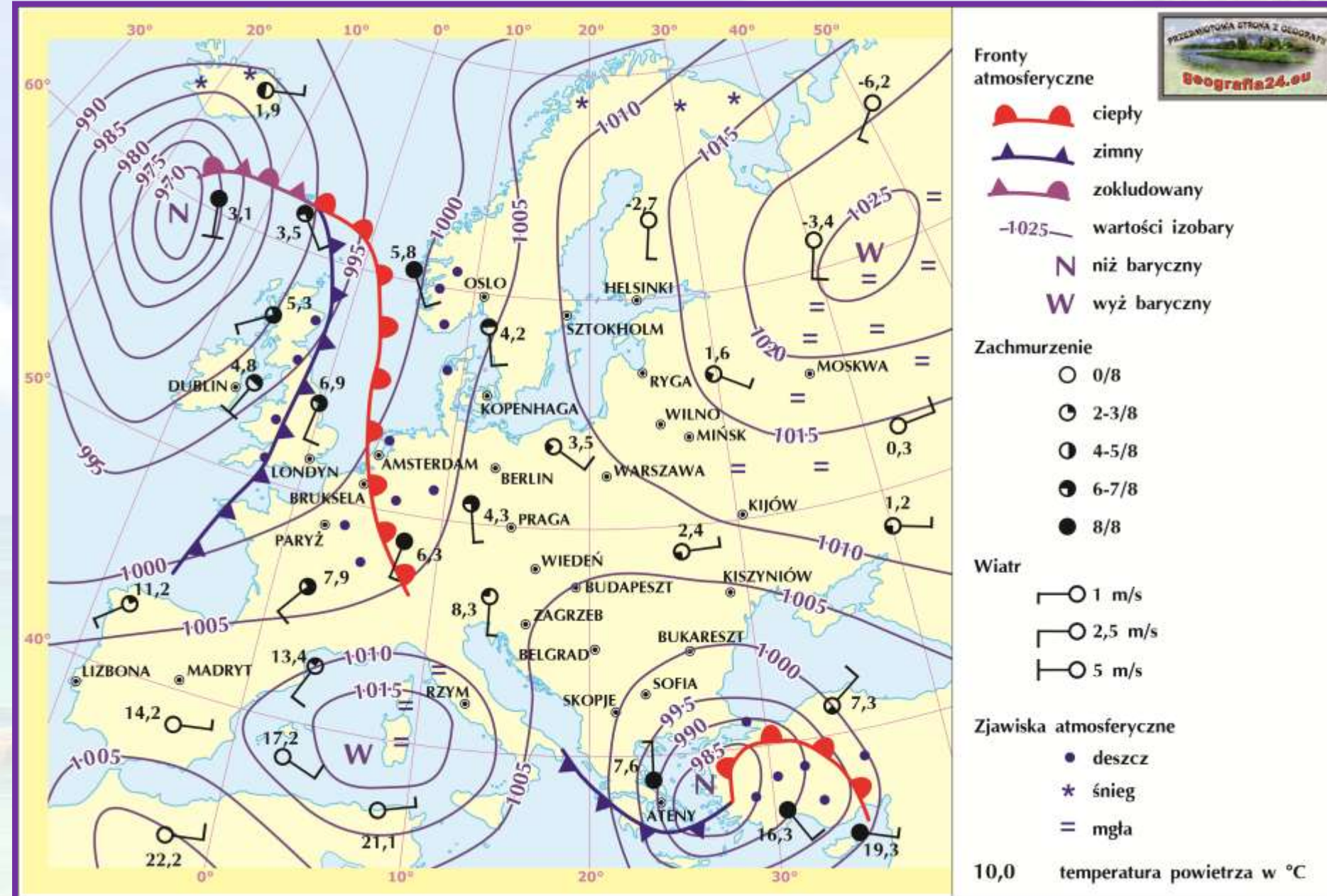


## Ćwiczenie 2.

→ Wskaż występujące na mapie rodzaje układów barycznych.

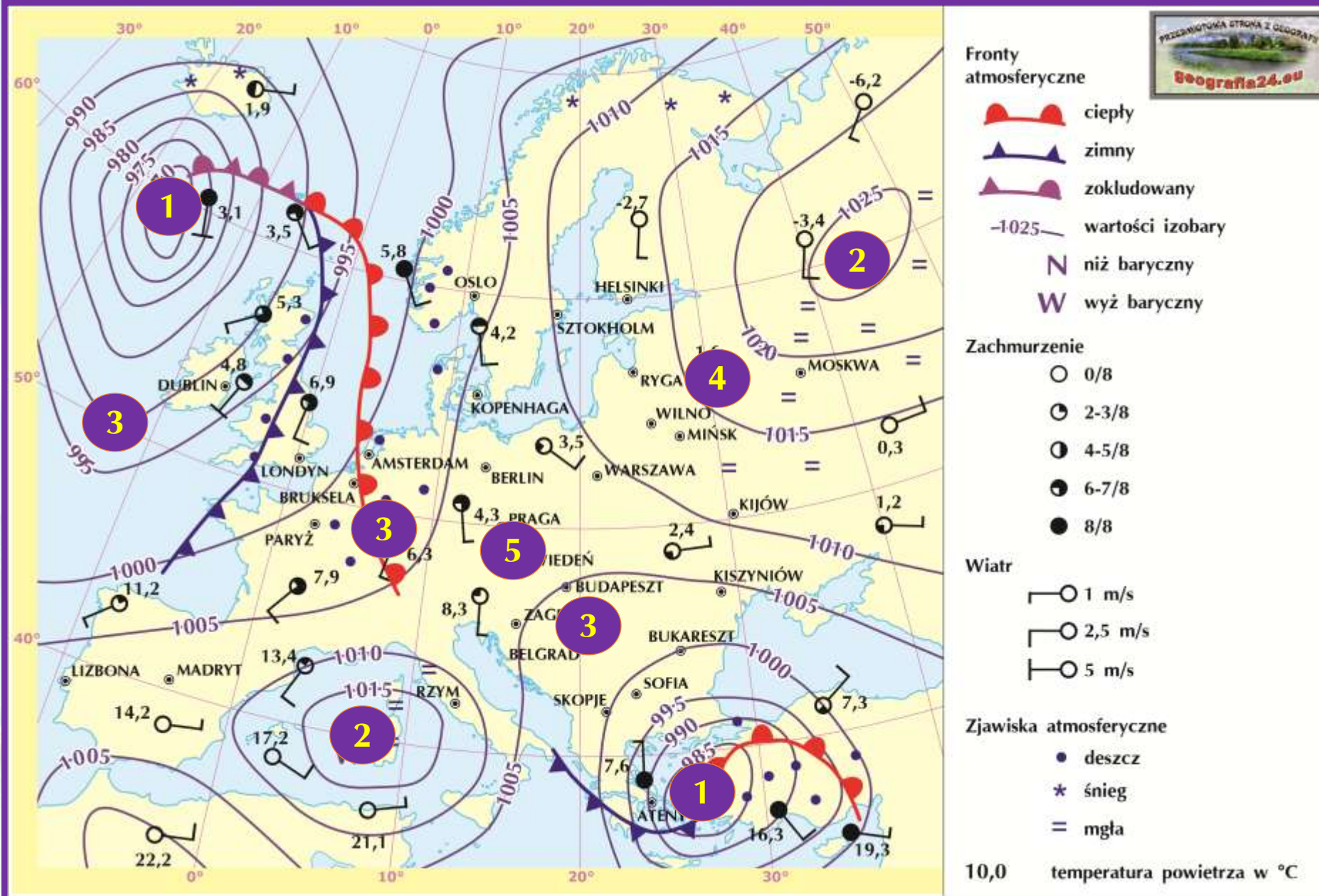
→ **Układy baryczne** występujące na mapie:

- niż baryczny,
- wyż baryczny,
- zatokę niskiego ciśnienia,
- klin wysokiego ciśnienia,
- bruzda niskiego ciśnienia,
- wał wysokiego ciśnienia,
- siodło baryczne.





## Ćwiczenie 2. (rozwiązanie)



→ Wskaż występujące na mapie rodzaje układów barycznych.

→ **Układy baryczne** występujące na mapie:

- **1 – niż baryczny,**
- **2 – wyż baryczny,**
- **3 – zatoka niskiego ciśnienia,**
- **4 – klin wysokiego ciśnienia,**
- ~~bruzda niskiego ciśnienia,~~
- ~~wał wysokiego ciśnienia,~~
- **5 – siodło baryczne.**

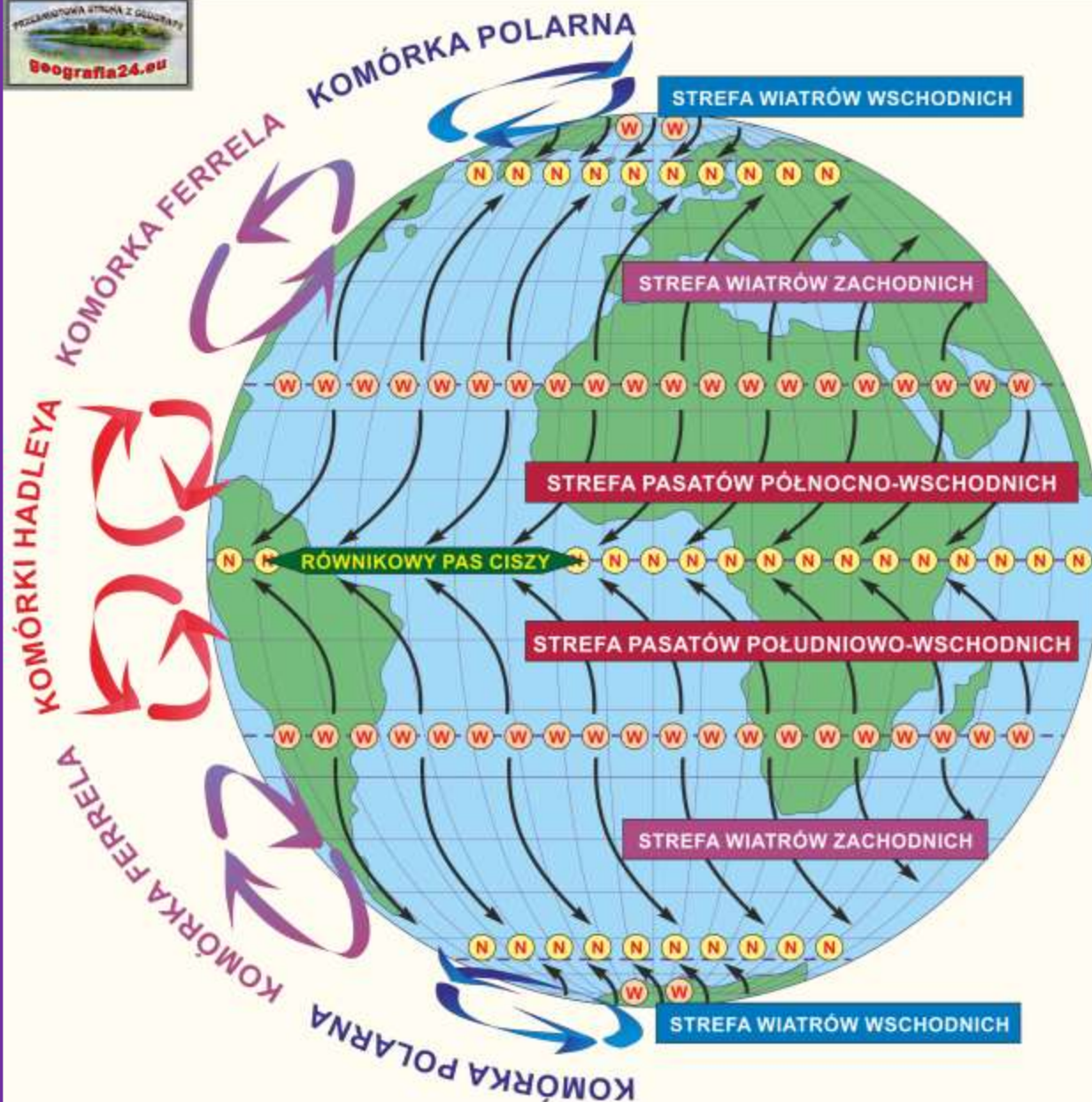




**Cyrkulacja atmosferyczna**



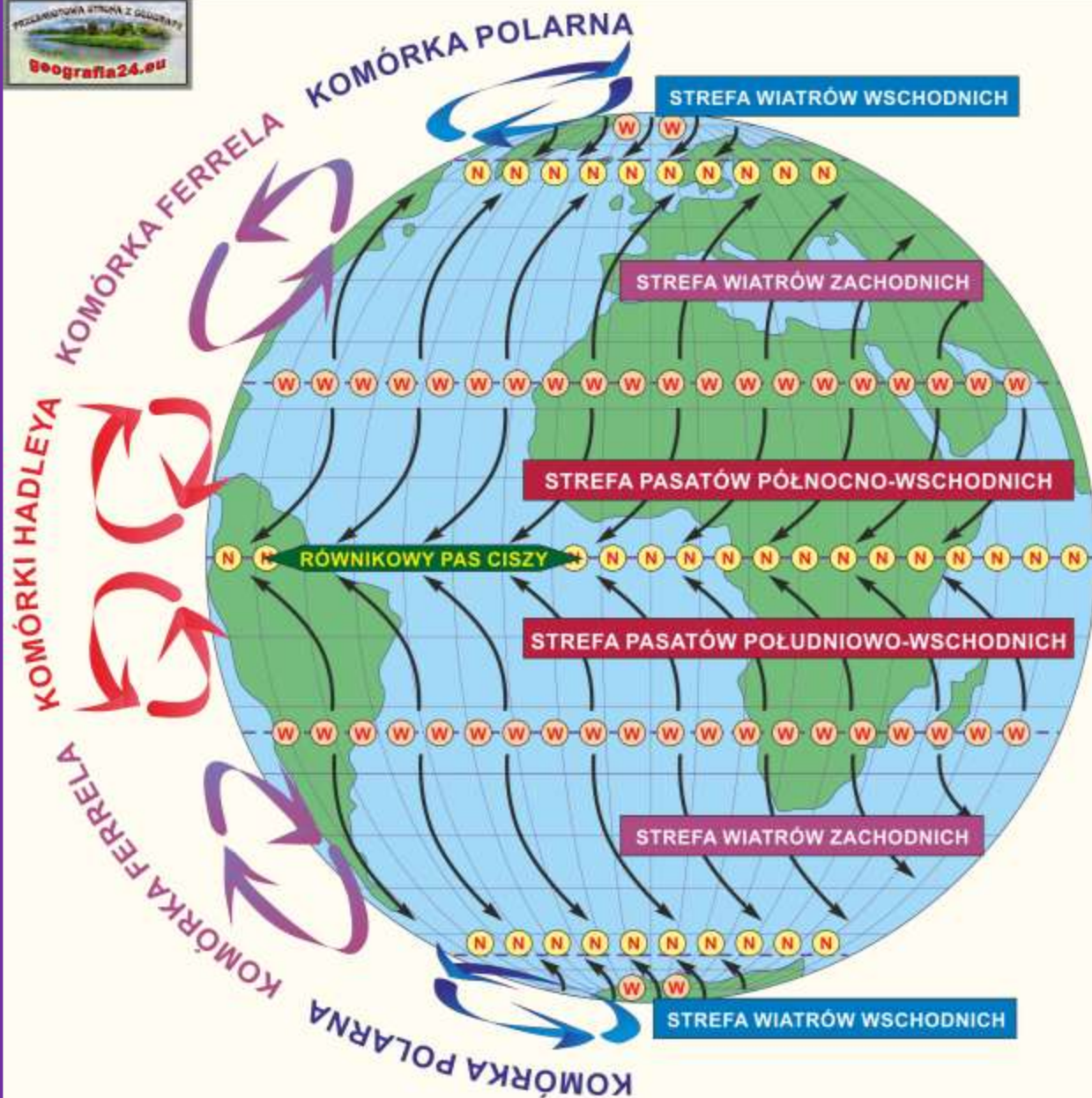
# Ruch powietrza na Ziemi – globalna cyrkulacja atmosfery



- Głównym źródłem procesów zachodzących w troposferze jest **energia słoneczna**.
- Powierzchnia Ziemi jest nierównomiernie ogrzewana przez Słońce.
- Różnice temperatur wywołują z kolei zmiany w ciśnieniu atmosferycznym – tworzą się wyży i niży.
- Zróżnicowanie ciśnienia jest przyczyną powstawania wiatrów.
- **Globalny ruch powietrza**, odbywający się nad powierzchnią całej kuli ziemskiej, nazywamy **cyrkulacją atmosferyczną**, która zachodzi zarówno w pionie, jak i w poziomie.
- Przemieszczanie się mas powietrza przy powierzchni Ziemi jest zaburzone różnymi czynnikami:
  - ruchem obrotowym Ziemi,
  - rozmieszczeniem oceanów i kontynentów,
  - pionowym ukształtowaniem lądów.



# Struktura komórkowa cyrkulacji atmosferycznej

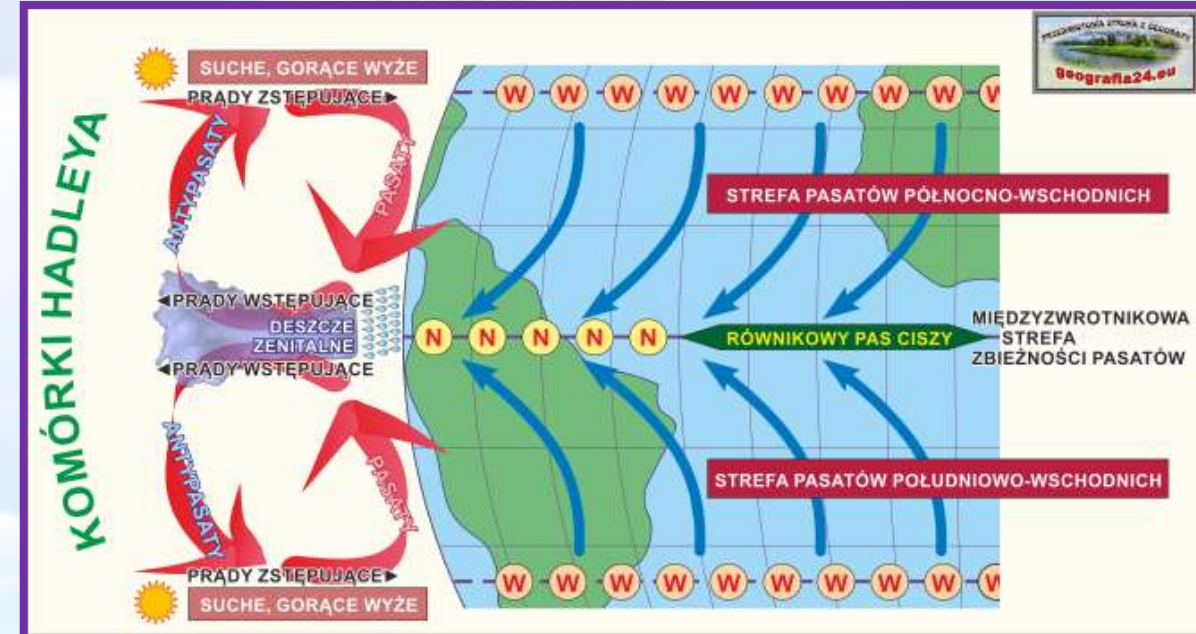


- **Globalna cyrkulacja atmosfery** ma **strukturę komórkową**.
- Na półkulach północnej i południowej występują **po trzy komórki**, w obrębie których odbywa się ruch powietrza.
- W niskich szerokościach geograficznych obu półkul występują dwie komórki cyrkulacji atmosferycznej, zwane **komórkami Hadleya**.
- Krążenie powietrza odbywa się tu między równikiem a zwrotnikami i nosi nazwę **cyrkulacji pasatowej**.
- W umiarkowanych i częściowo podzwrotnikowych szerokościach geograficznych występują dwa systemy cyrkulacji – zwane **komórkami Ferrela**.
- Powietrze krąży tu między 30° a 60° szerokości geograficznej północnej i południowej.
- Występują tu **wiatry zachodnie**.
- W wyższych szerokościach geograficznych cyrkulacja powietrza zachodzi w tzw. **komórkach okołobiegunowych (polarnych)**.
- Przeważają tu **wiatry wschodnie**, a krążenie powietrza jest bardziej skomplikowane niż w innych szerokościach geograficznych.



# 1. Cyrkulacja powietrza w strefie międzyzwrotnikowej – komórka Hadleya

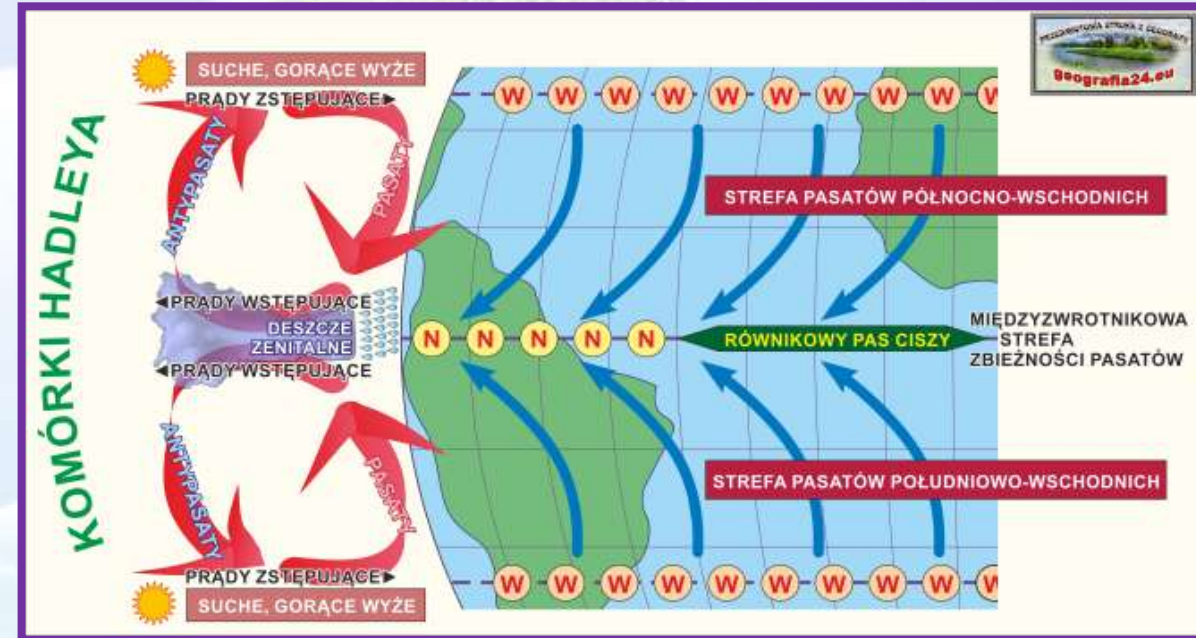
- W **strefie międzyzwrotnikowej** już od rana znaczna ilość energii dostarczanej przez promieniowanie słoneczne wpływa na silne nagrzewanie Ziemi.
- Wskutek tego nad jej powierzchnią następuje silna **konwekcja termiczna**, czyli wznoszenie się powietrza ku górze (nawet prawie do granicy troposfery).
- Powietrze przy powierzchni Ziemi **rozpręża się**.
  - Tworzy się **strefa niskiego ciśnienia**.
- Silne prądy wstępujące, sięgające wiele kilometrów wwyż, przyczyniają się do powstawania potężnych chmur deszczowych, dających codziennie obfite opady – które nazywamy **deszczem zenitalnym**.





# Komórka Hadleya

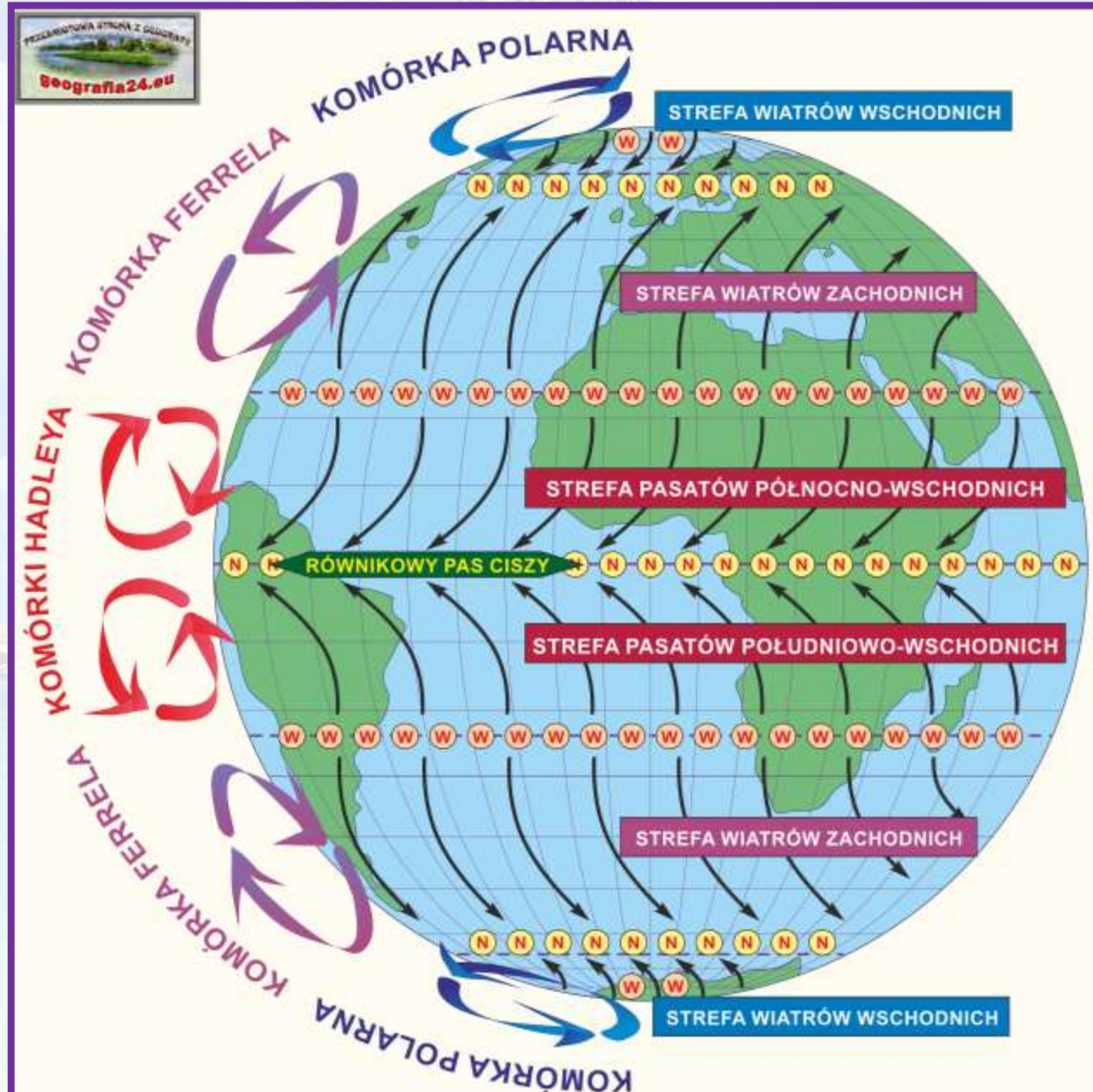
- Wznoszące się nad równikiem powietrze **rozdziela się w wyższych warstwach troposfery na dwa strumienie**, które kierują się ku wyższym szerokościom geograficznym.
- **Siła Coriolisa** powoduje, że nie przemieszczają się prosto na północ i południe, ale **ulegają odchyleniu** ku wschodowi.
- Ponadto “zawężenie przestrzeni”, po której przemieszcza się powietrze, powoduje ściskanie (stłoczenie) powietrza.
- W rezultacie w postaci **antypasatów** dociera ono najdalej do około 35° szerokości geograficznej północnej i południowej.
  - Takie prądy powietrzne w górnej troposferze są skierowane od równika ku zwrotnikom.
  - Są one chłodne i suche.
- Opadanie ku powierzchni Ziemi stłoczonego powietrza pod wpływem grawitacji w rejonach zwrotników powoduje wzrost ciśnienia.
- Nad zwrotnikami tworzy się obszar wysokiego ciśnienia atmosferycznego (są to tzw. **wyże dynamiczne**).
  - Jest ono rozładowywane przez odpływ powietrza ku równikowi i wyższym szerokościom geograficznym.





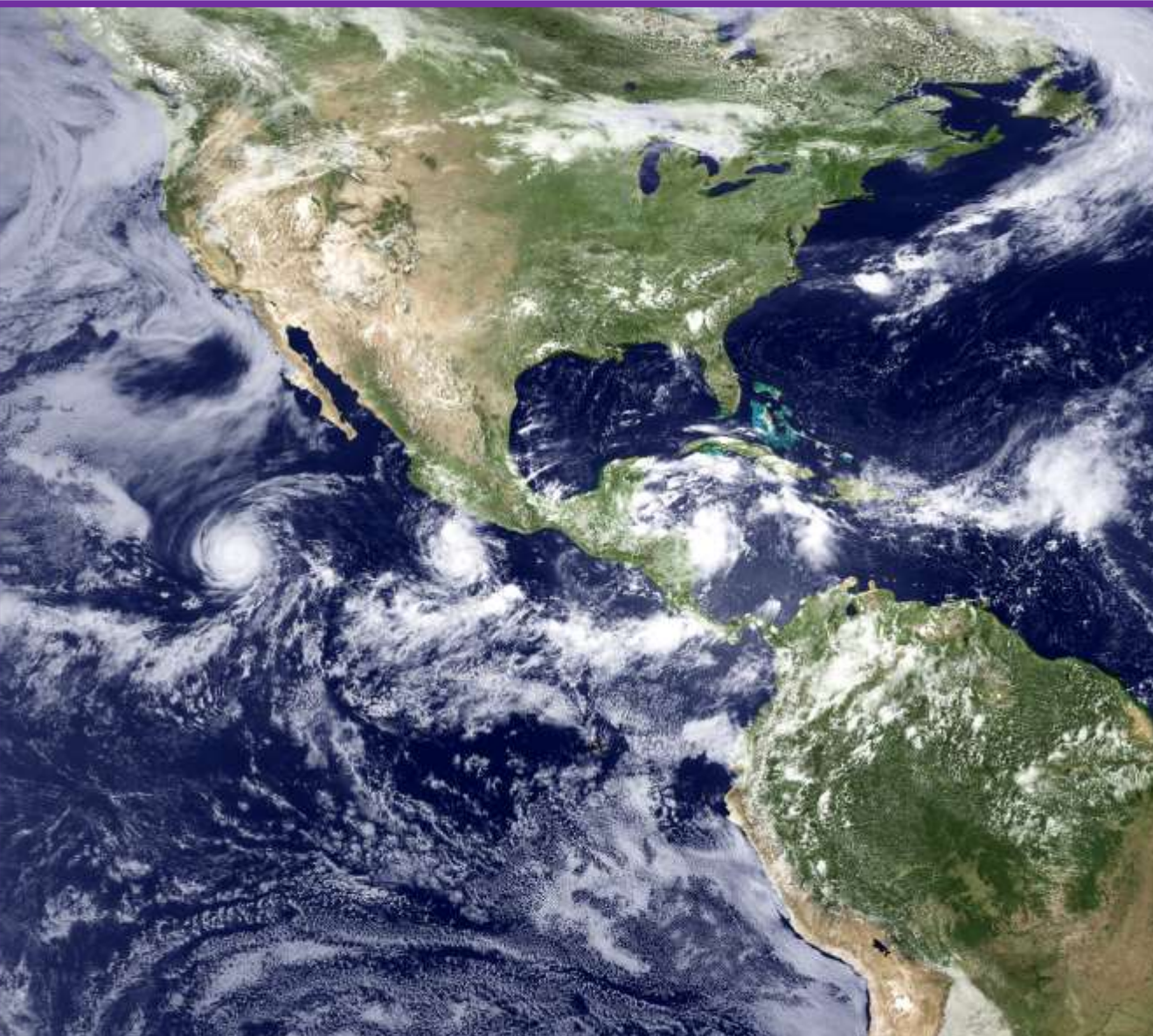
# Komórka Hadleya

- Stałe wiatry, wiejące od wyźów zwrotnikowych w kierunku równika, gdzie panuje niskie ciśnienie atmosferyczne, nazywamy **pasatami**.
- Wskutek działania siły Coriolisa wiatry te są odchylane:
  - na półkuli północnej w prawo:
  - wiatry północno-wschodnie,
  - na półkuli południowej w lewo:
  - wiatry południowo-wschodnie.
- Pasaty są głównym elementem cyrkulacji powietrza w obrębie komórek Hadleya.
- Zamknięty obieg powietrza między zwrotnikami a strefą równikową nazywamy **cyrkulacją pasatową**.





# Równikowa bruzda niskiego ciśnienia



Dobrze widoczna strefa konwergencji równikowej.

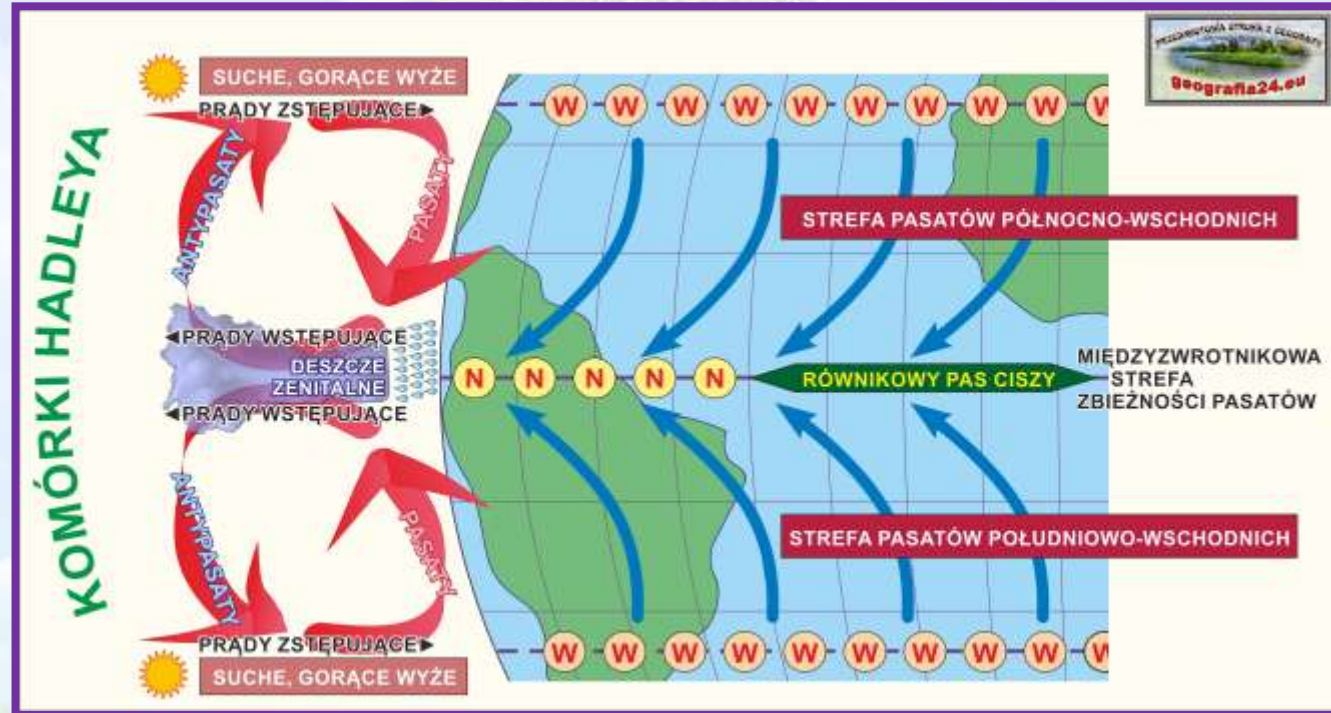
Widoczna na zdjęciu jako układ najbielszych (najwyższe wierzchołki) chmur.

- W pobliżu równika przez obszar całej Ziemi ciągnie się pas obniżonego ciśnienia atmosferycznego, zwany **równikową bruzdą niskiego ciśnienia**.
- Rozdziela on strefy pasatów na półkuli północnej i południowej.
- Wieją tu słabe wiatry, natomiast występuje intensywna **konwekcja** oraz duże **opady atmosferyczne** i towarzyszące im **burze**.
- Położenie równikowej bruzdy niskiego ciśnienia zmienia się w ciągu roku i zależy od położenia Słońca na nieboskłonie.
- Na niektórych obszarach strefy międzyzwrotnikowej nad oceanami powstają **cyklony tropikalne**.
  - Są to układy niskiego ciśnienia tworzące wiry atmosferyczne.
  - Cyklony wkraczające na obszary lądowe powodują często katastrofalne skutki:
    - ogromne zniszczenia w zabudowie,
    - straty na polach uprawnych,
    - częste powodzie.



# Międzyzwrotnikowa strefa zbieżności (strefa zbieżności pasatów)

- Pasaty obu półkul są rozdzielone strefą przejściową, zwaną **międzyzwrotnikowa strefa zbieżności**,
  - w skrócie **MSZ** (inaczej także **strefa zbieżności pasatów** lub **równikowa strefa konwencji**).
- Pokrywa się ona z **międzyzwrotnikową strefą niskiego ciśnienia**.
  - Niegdyś całą tę strefę uznawano za **równikowy pas ciszy**, czyli strefę charakteryzującą się brakiem wiatrów lub słabymi wiatrami zachodnimi.
  - Dzisiaj wiadomo, że pasy ciszy utrzymują się tylko na tych obszarach MSZ, gdzie pasaty obu półkul stosunkowo wcześnie słabną i zanikają.
    - W rezultacie nie spotykają się.
    - Dzieje się tak głównie nad oceanami, gdzie MSZ jest najszersza.
  - Na pozostałych obszarach tej strefy pasaty obu półkul stykają się i mogą przechodzić jedno w drugie.





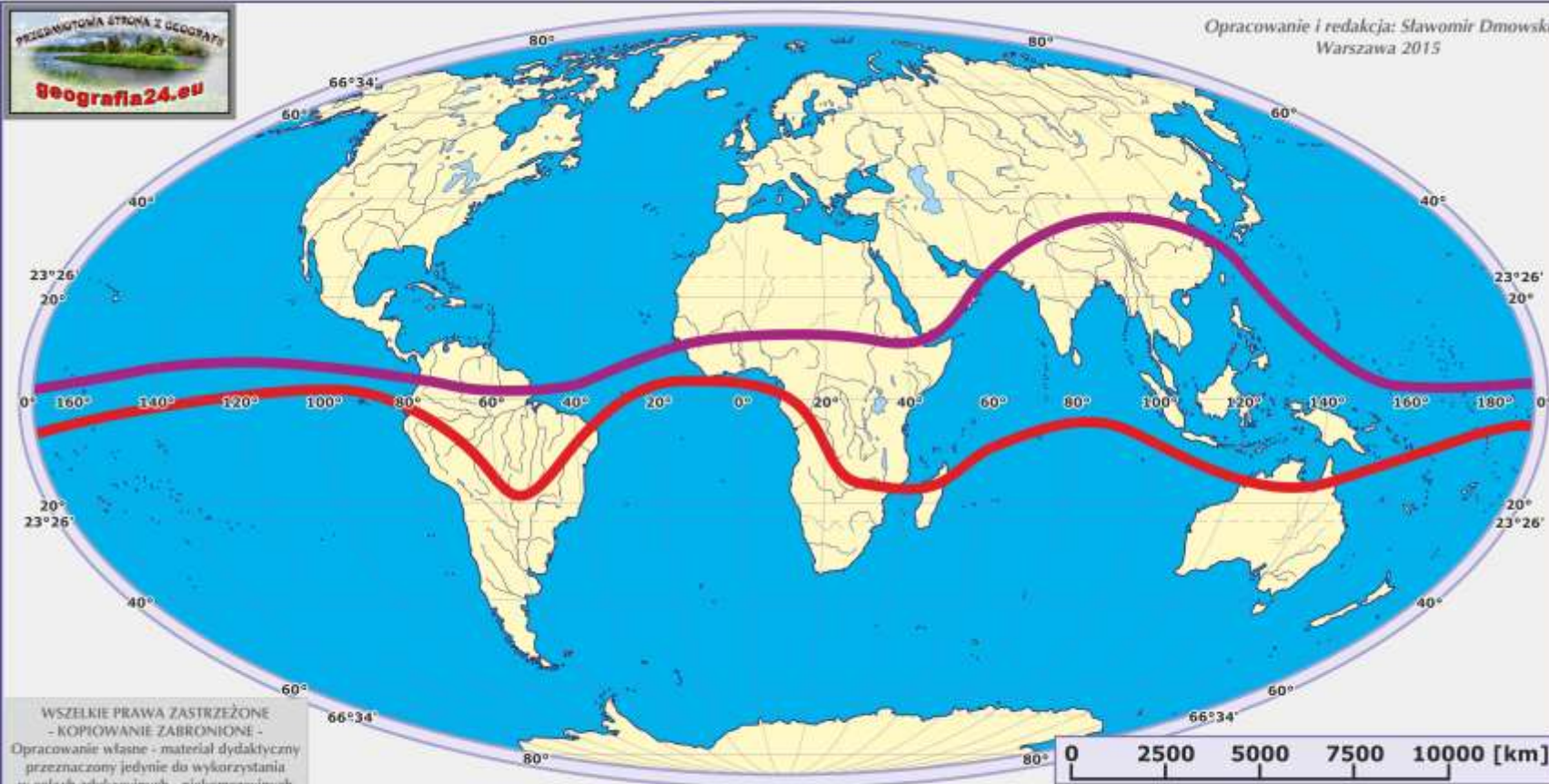
# Międzyzwrotnikowa strefa zbieżności (strefa zbieżności pasatów)

- W ciągu roku MSZ przemieszcza się zgodnie ze zmianami zenitalnego położenia Słońca,
  - bardziej na półkuli wschodniej, gdzie udział lądów jest stosunkowo duży.
  - Skutkiem przemieszczania się MSZ jest występowanie w strefie okołorównikowej **pory deszczowej i suchej**.

## Położenie międzyzwrotnikowej strefy zbieżności (MSZ) (strefa zbieżności pasatów)



Opracowanie i redakcja: Sławomir Dmowski  
Warszawa 2015



WSZELKIE PRAWA ZASTRZEŻONE  
- KOPIOWANIE ZABRONIONE -  
Opracowanie własne - materiał dydaktyczny  
przeznaczony jedynie do wykorzystania  
w celach edukacyjnych - niekomercyjnych

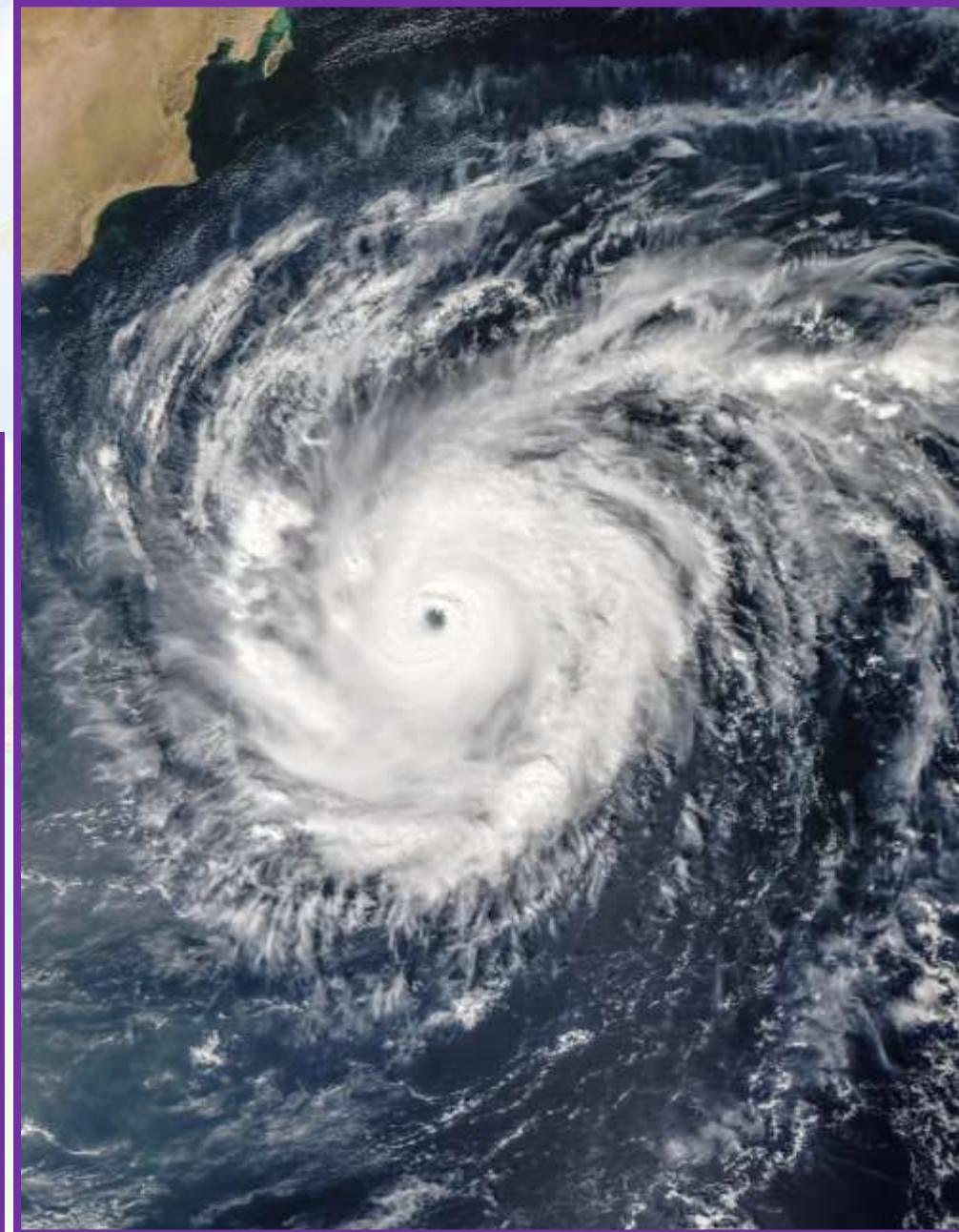
— lipiec  
— styczeń





# Międzyzwrotnikowa strefa zbieżności (strefa zbieżności pasatów)

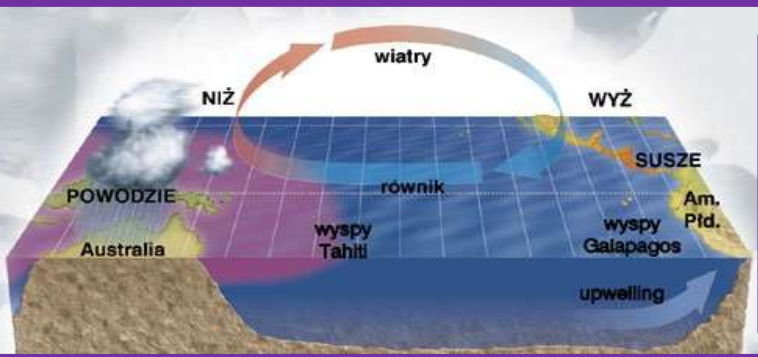
- Wraz z tym przesuwają się intensywne opady i burze, związane z typową dla niej silną konwekcją termiczną i towarzyszącym jej adiabatycznym ochładzaniem mas powietrza.
- Obszary oceaniczne w tej strefie są też miejscem powstawania potężnych zaburzeń atmosferycznych – **cyklonów tropikalnych**.
- Tworzą się one najczęściej wiosną i latem nieopodal **wybrzeży południowo-wschodniej i południowej Azji oraz Ameryki Środkowej**.





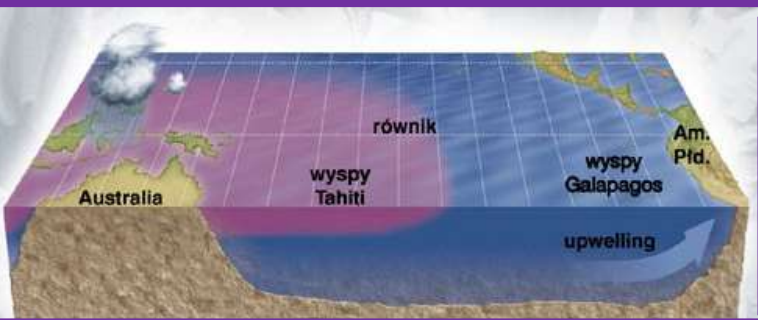
# Wpływ pasatów na cyrkulację w strefie międzyzwrotnikowej – El Niño

- **Pasaty** wywierają znaczny wpływ na temperaturę i ruchy wód oceanicznych **w strefie międzyzwrotnikowej**.
- Dowodzą tego obserwacje prowadzone od prawie 80 lat na Pacyfiku.



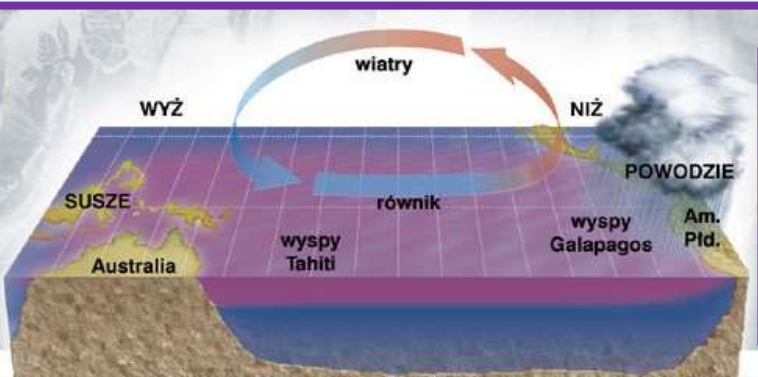
## Faza zimna – La Niña

Podczas fazy La Niña (hiszp. dziewczynka) pasaty wieją silniej niż zwykle. Większa ilość wilgoci dociera nad zachodni Pacyfik, powodując powódzie. Jednocześnie na wschodzie brakuje opadów deszczu.



## Faza normalna

Faza normalna to stan oceanu pośredni między La Niña i El Niño. Nie występują ekstremalne opady i susze. Zjawisko upwellingu zasila wody powierzchniowe u wybrzeży Ameryk w życiodajne substancje odżywcze.



## Faza ciepła – El Niño

Podczas El Niño (hiszp. dzieciątko Jezus, chłopiec) wiatry spychają wilgotne powietrze na wschód, odbierając życiodajne opady południowo-wschodniej Azji i Australii. Ustaje także zjawisko upwellingu.



Susza w Filipinach (osłabienie monsunu letniego)

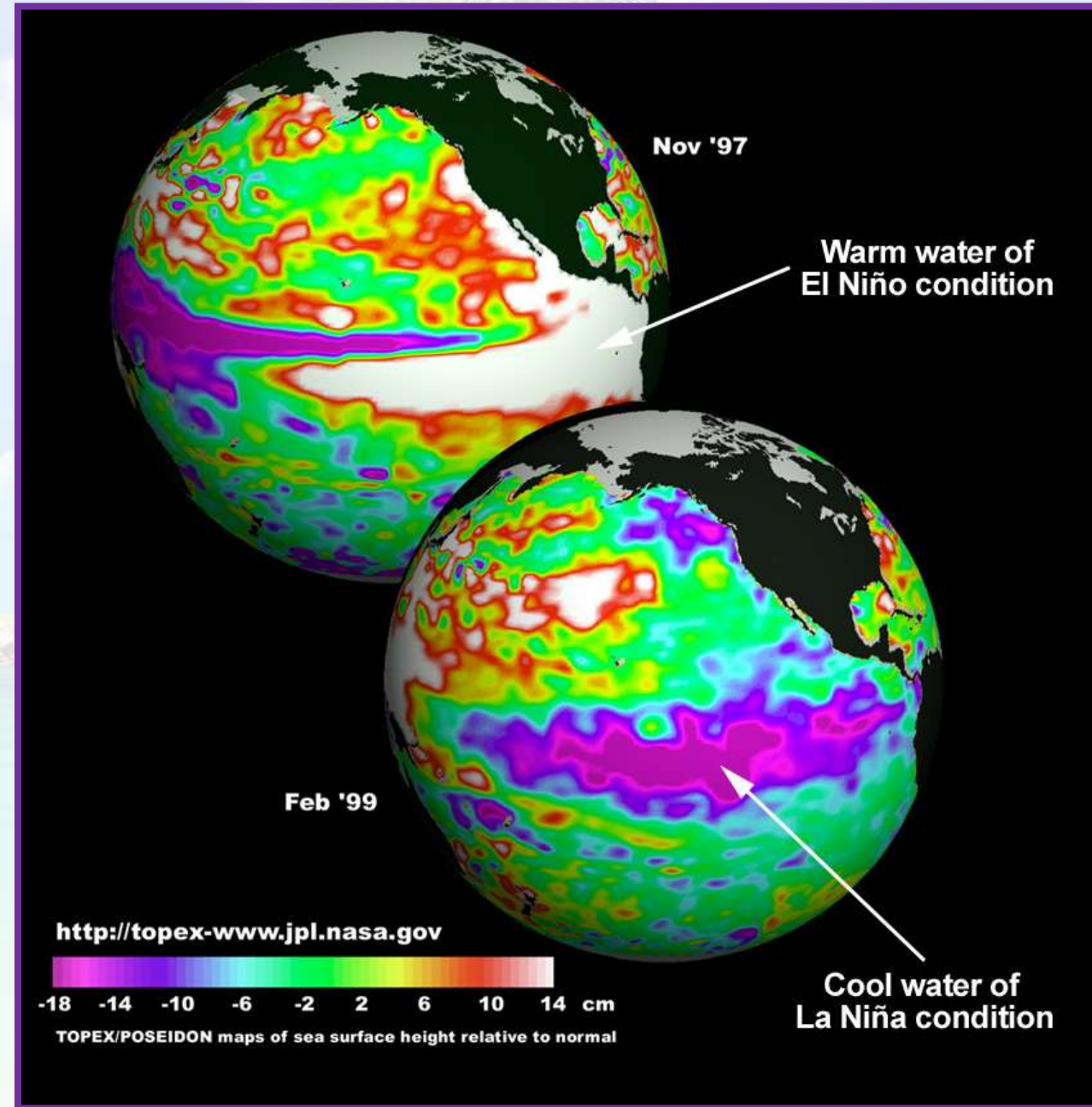
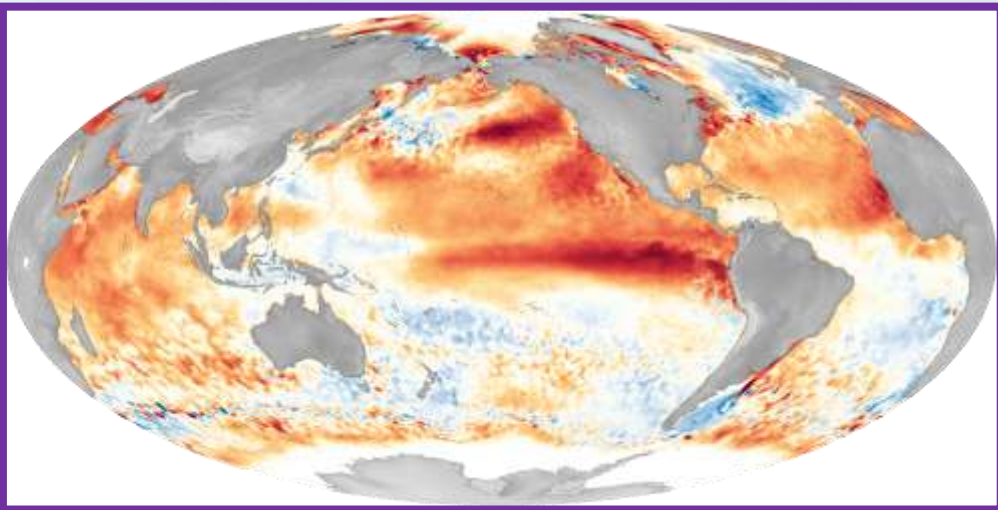


Rozkwit życia na Pustyni Atakama



# Przyczyny El Niño

- Do niedawna nie znano przyczyny nieregularnego ocieplania się wód powierzchniowych we wschodniej części Oceanu Spokojnego, wpływającego nie tylko na perturbacje klimatyczne, ale również na zmniejszenie produktywności biologicznej jego akwenów u wybrzeży Peru i Chile.
- Dzisiaj już wiadomo, że **El Niño** jest odpowiedzią oceanu na zmiany cyrkulacji atmosfery nad Pacyfikiem w szerokościach okołorównikowych, czyli na zaburzenia **oscylacji południowej**.
- Jego przyczynę klimatolodzy zatem znają.
  - Nadal jednak nie wiedzą co wpływa na okresowe osłabienie pasatów.





# Skutki El Niño

- **Skutkiem zjawiska El-Niño** jest **występowanie anomalii klimatycznych** na całym świecie:
  - na zachodnich, zwykle suchych wybrzeżach Ameryki Południowej, występują znaczne opady atmosferyczne i w konsekwencji tego powodzie i ruchy masowe (spływy błotne),
  - w Australii i Azji Południowo-Wschodniej zamiast znacznych letnich opadów związanych z monsunem letnim, występują niewielkie opady i w konsekwencji dotkliwe susze.



Susza w Indiach



Powódź w Boliwii



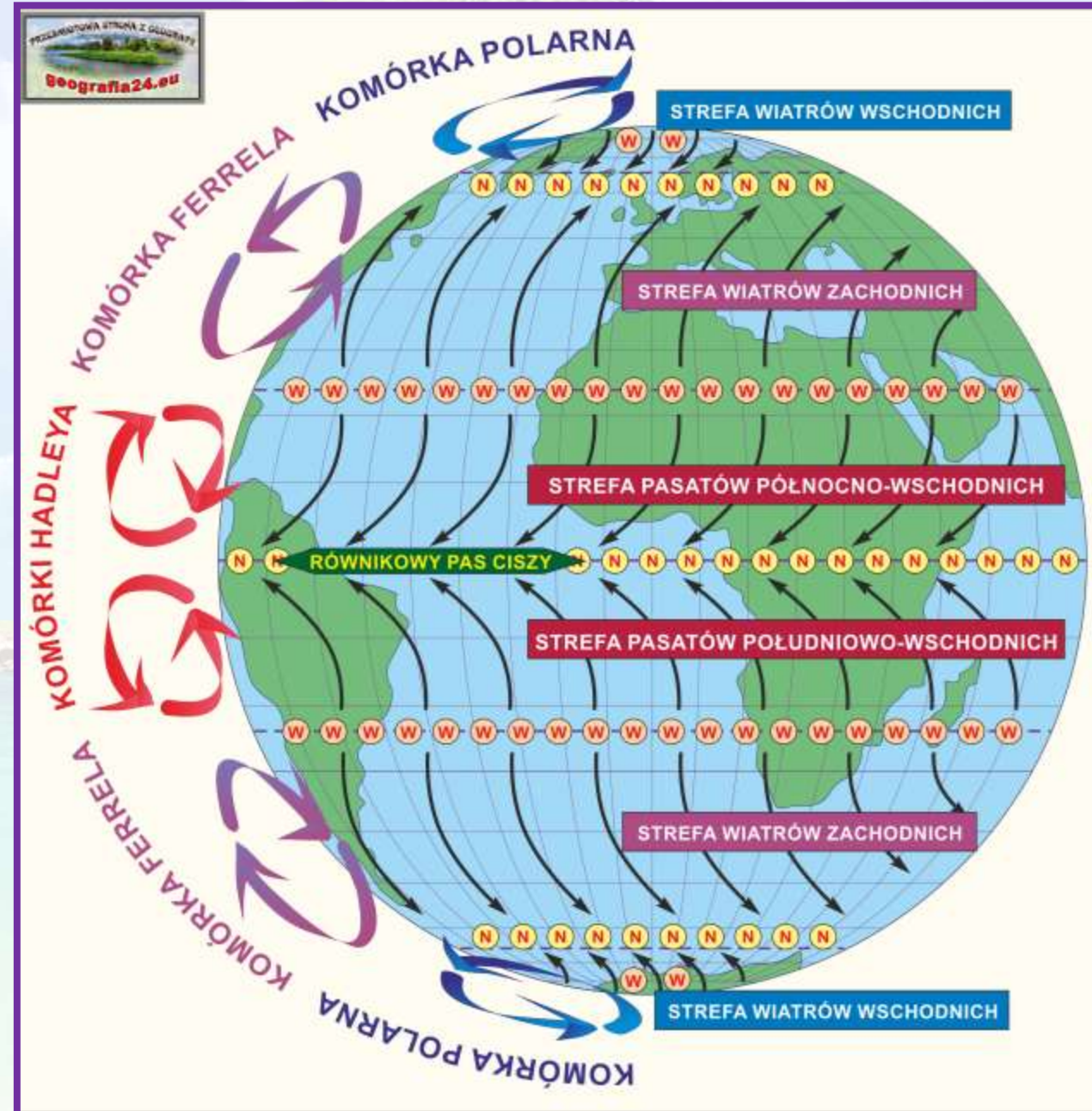
Burza piaskowa w Australii





# Cyrkulacja powietrza w umiarkowanych szerokościach – komórka Ferrela

- Krążenie powietrza w umiarkowanych szerokościach geograficznych (**komórka Ferrela**) jest bardziej skomplikowane niż w strefie międzyzwrotnikowej.
- Dominują tu **ośrodki niskiego ciśnienia**.
  - W tworzącej się tu tzw. **strefie wędrownych niżów** następuje przemieszczanie się ośrodków niżowych na półkuli północnej **z zachodu na wschód**.
- W rejon strefy umiarkowanej napływa powietrze zarówno ze strefy wyżów podzwrotnikowych, jak i wyżów okołobiegunowych.





# Cyrkulacja powietrza w umiarkowanych szerokościach – komórka Ferrela

→ Z okolic podzwrotnikowych do umiarkowanych docierają ciepłe masy powietrza niosące wiatry:

→ **południowo-zachodnie** na półkuli północnej,

→ **północno-zachodnie** na półkuli południowej.

→ Kierunki i prędkość tych wiatrów często zmieniają się ze względu na zaburzenia ciśnienia atmosferycznego, wywołane mieszaniem się ciepłych i zimnych mas powietrza.

→ Szczególnie jest to zauważalne na półkuli północnej, gdzie sąsiadują ze sobą duże obszary lądowe i morskie.

→ Tworzą się tam sąsiadujące ze sobą wyży i niży, przemieszczające się zwykle na wschód.

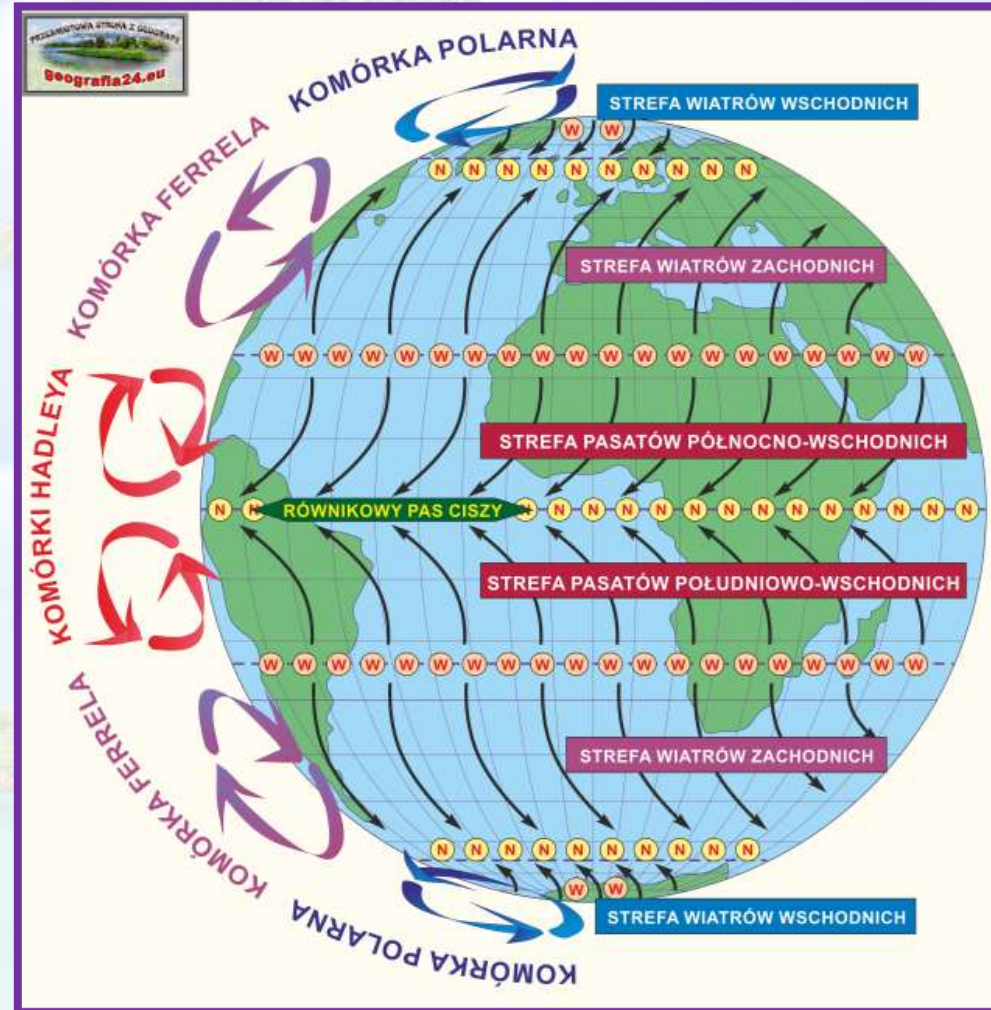
→ Na półkuli południowej. wyraźnie przeważa powietrze oceaniczne.

→ Wobec tego ośrodki niskiego ciśnienia są tam bardziej trwałe i silniejsze niż na półkuli północnej.

→ Między 40° a 60° szerokości geograficznej południowej występują silne wiatry które wywołują potężne sztormy (zimą).

→ W obszarach leżących w pobliżu 60° szerokości geograficznej spotykają się masy ciepłego powietrza, niesione **wiatrami zachodnimi** (więcej od zwrotników) i powietrza zimnego, niesionego **wiatrami wschodnimi** (więcej od biegunów).

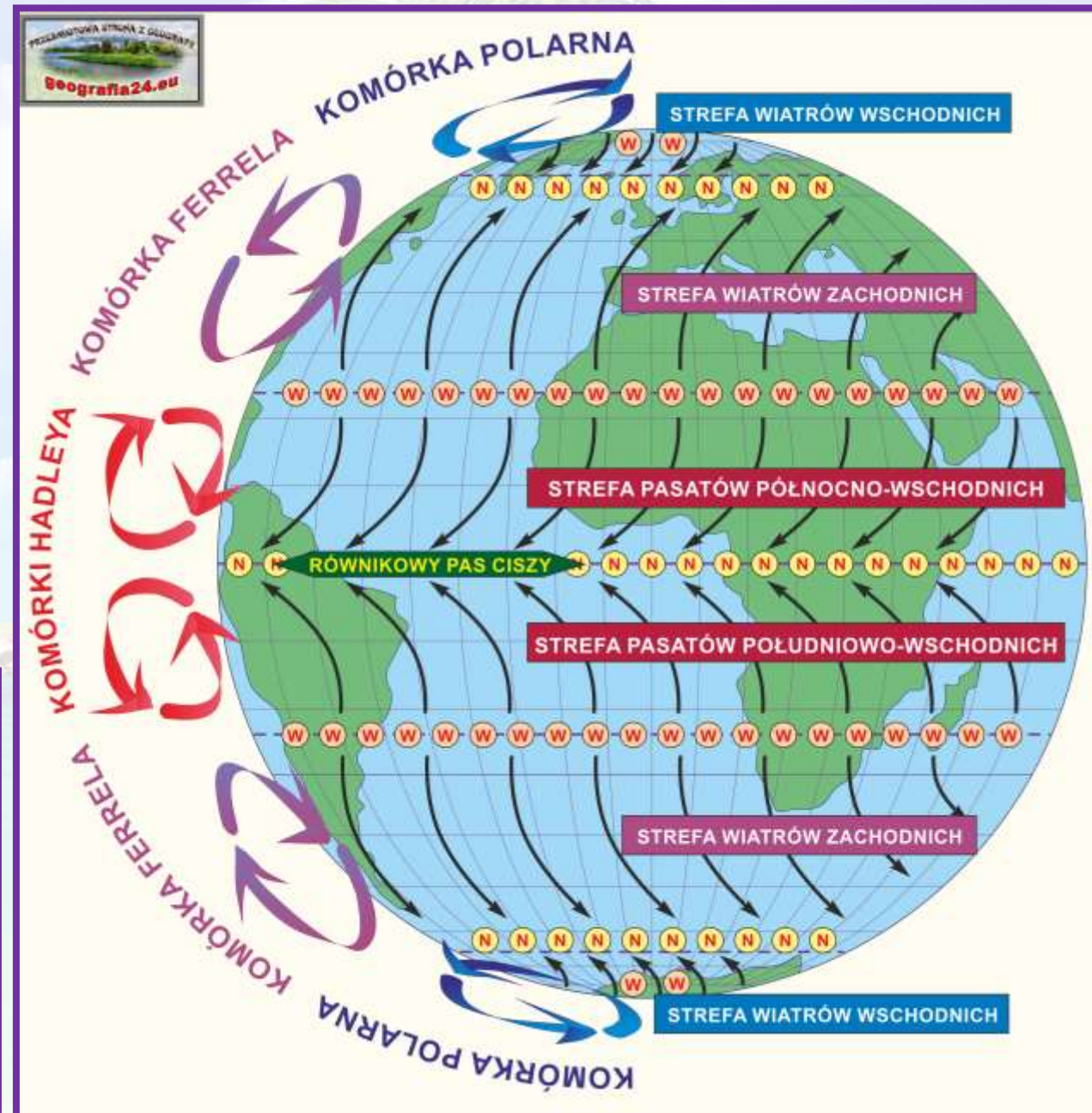
→ Strefę rozdzielającą dwie masy powietrza o różnych cechach nazywamy **frontem atmosferycznym**.





# Cyrkulacja powietrza w strefach okołobiegunowych (komórka polarna, okołobiegunowa)

- Na terenach leżących w pobliżu biegunów (**komórka okołobiegunowa** lub **polarna**) wskutek osiadania mroźnego powietrza powstają **stałe wyży baryczne**.
- Powstają wiatry które przenoszą zimne powietrze ku średnim szerokościom geograficznym.
- Pod wpływem siły Coriolisa, która działa najsilniej w rejonie biegunów, wieją **wiatry wschodnie**.
- Ich zasięg powierzchniowy jest ograniczony, a masy zimnego powietrza znad obszarów okołobiegunowych rzadko docierają do strefy umiarkowanych szerokości geograficznych.
- Krążenie powietrza nad Antarktydą jest bardziej stabilne niż nad Arktyką.





# Cyrkulacja monsunowa

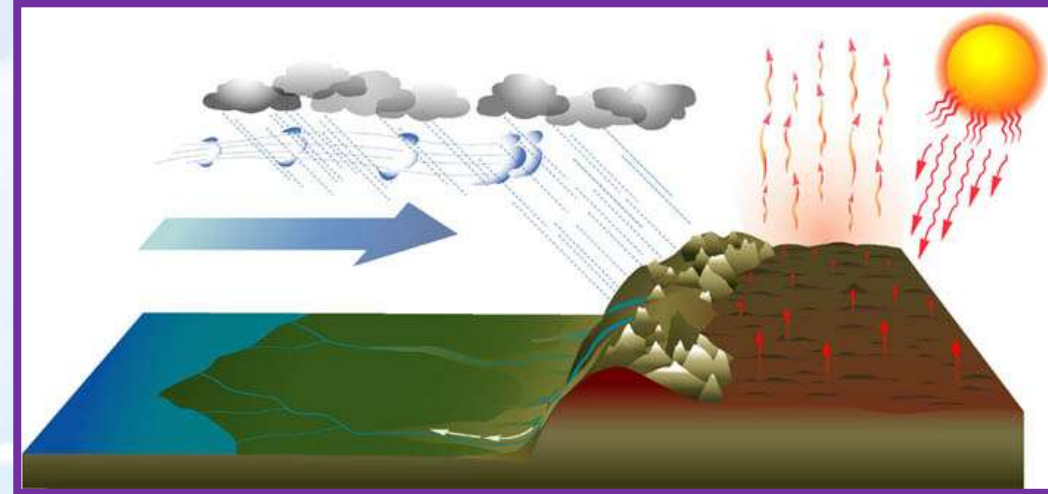
- **Cyrkulacja monsunowa** zaznacza się najwyraźniej w strefie międzyzwrotnikowej.
- Typowym obszarem monsunowym jest **Azja Południowa i Azja Południowo-Wschodnia**.
- Monsuny występują także:
  - w **północnej Australii**,
  - **wschodniej Afryce**,
  - w **Ameryce Środkowej**.
- Cyrkulacja monsunowa jest efektem kontrastów termicznych, występujących między dużymi obszarami oceanicznymi i lądowymi.
- Wskutek tego nad kontynentem i oceanem tworzą się w określonych porach roku stałe układy baryczne.





# Monsun letni (morski)

- W lecie kontynent azjatycki silnie się nagrzewa.
  - Od niego zaś nagrzewa się powietrze, które unosi się do góry nad lądem tworzy się niż (nad lądem przebiega **międzyzwrotnikowa strefa zbieżności pasatów**).
  - Nad oceanem powietrze jest chłodniejsze i wilgotniejsze niż nad lądem – tworzy się tam wyż – ruch mas powietrza odbywa się więc z oceanu nad ląd.
  - Mówimy wtedy, że wieje **monsun letni (morski)**.

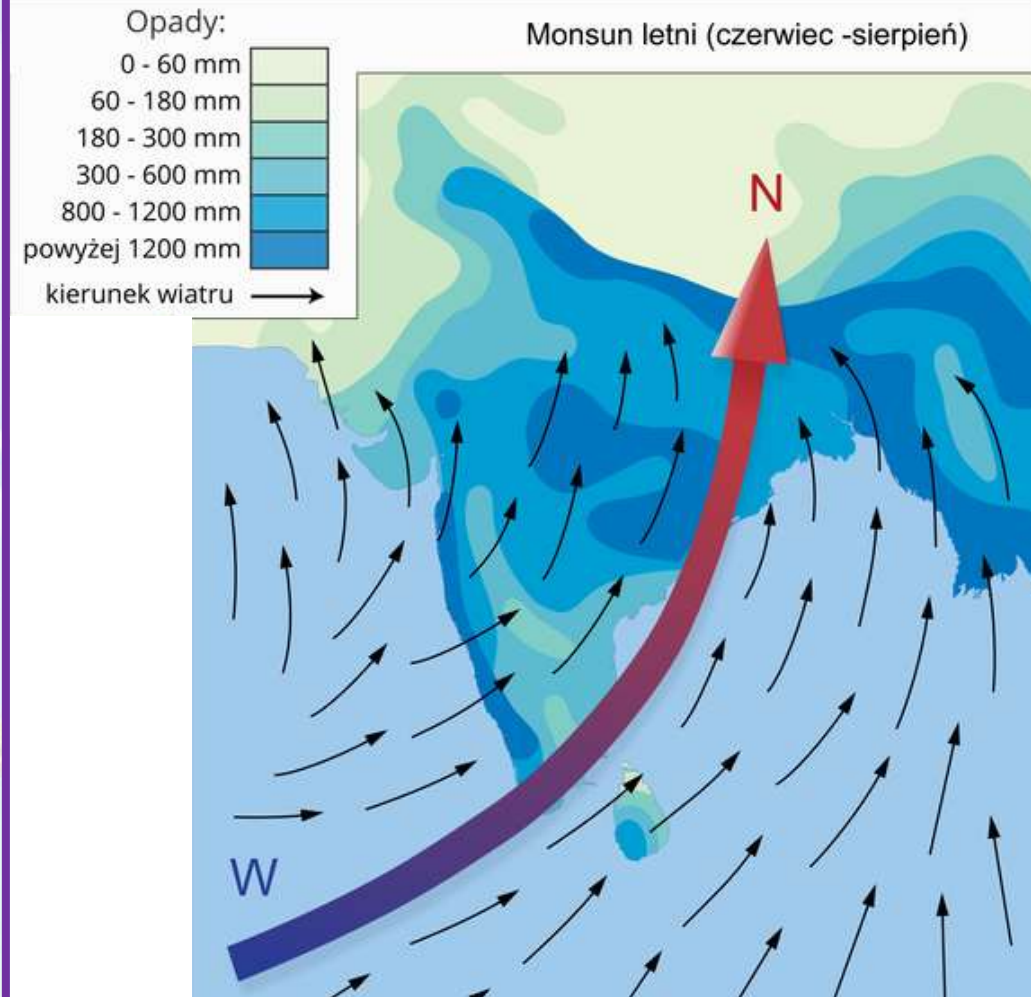
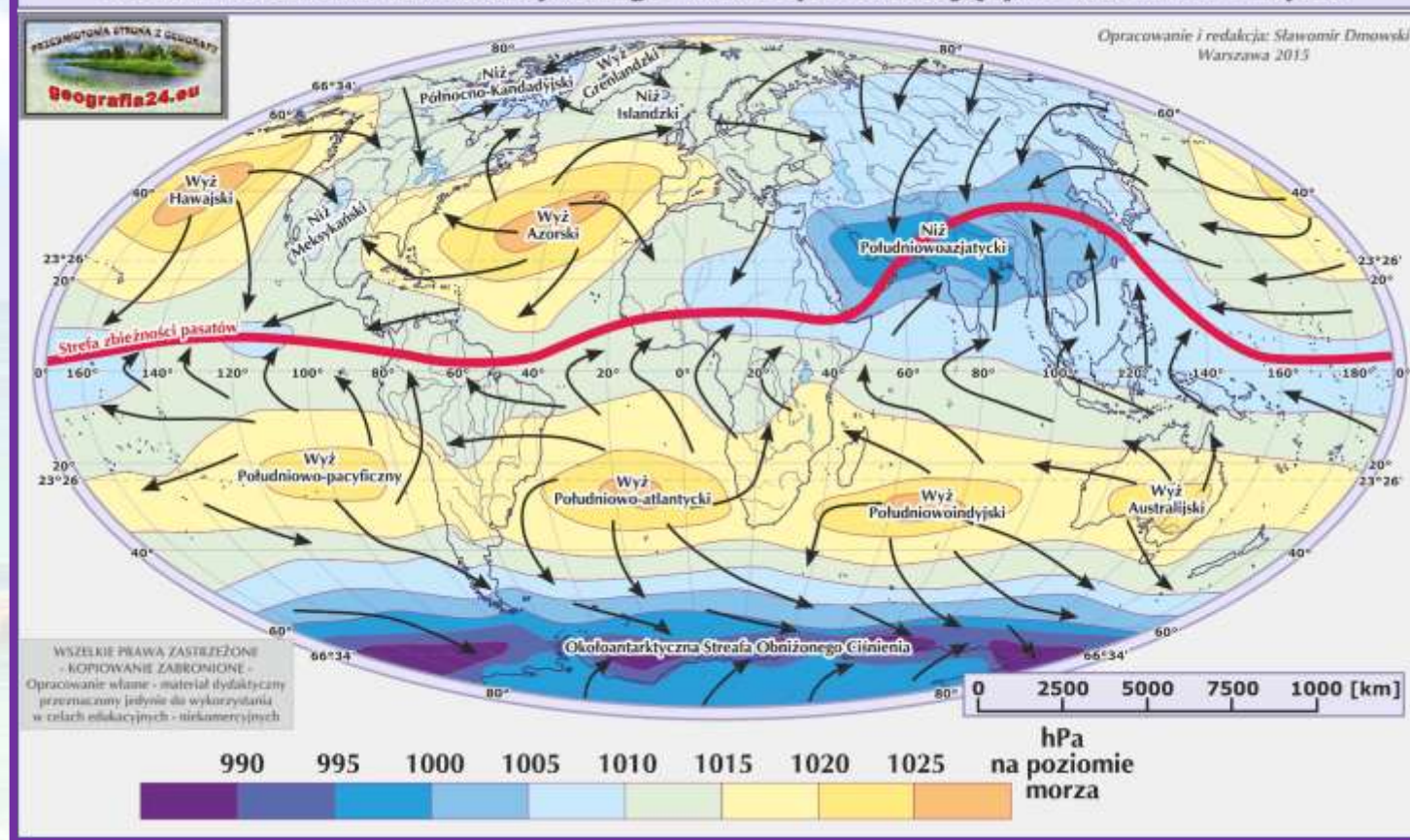




# Monsun letni (morski)

- Monsun letni przynosi nad ląd ciepłe i wilgotne powietrze oraz powoduje duże zachmurzenie i opady atmosferyczne.
  - Szczególnie obfite opady notuje się na południowych stokach Himalajów – przeciętnie około 11 000 mm/rok.
  - W górnej troposferze w lecie układ ciśnienia jest odwrotny:
    - występuje przepływ powietrza skierowany ku oceanowi.

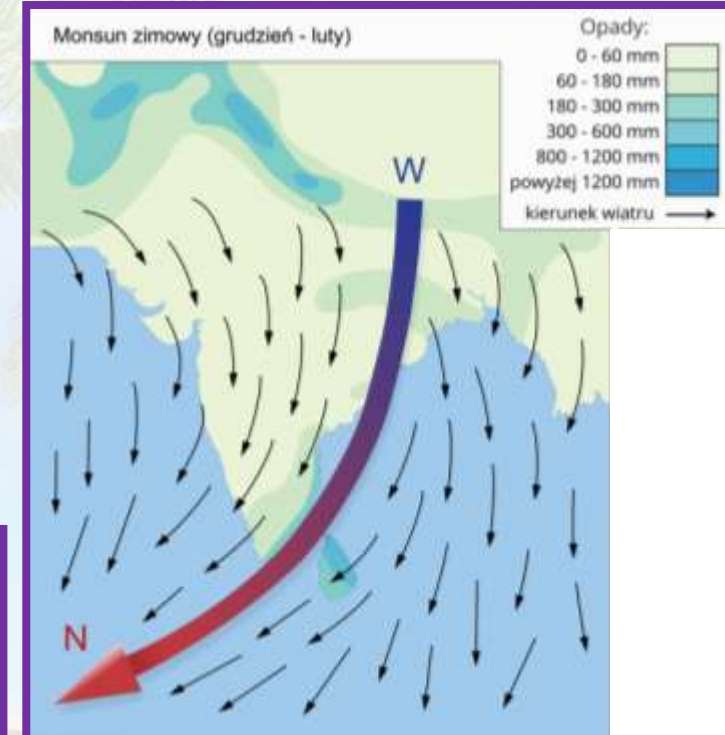
Rozkład ciśnienia atmosferycznego wraz z przeważającymi wiatrami w lipcu



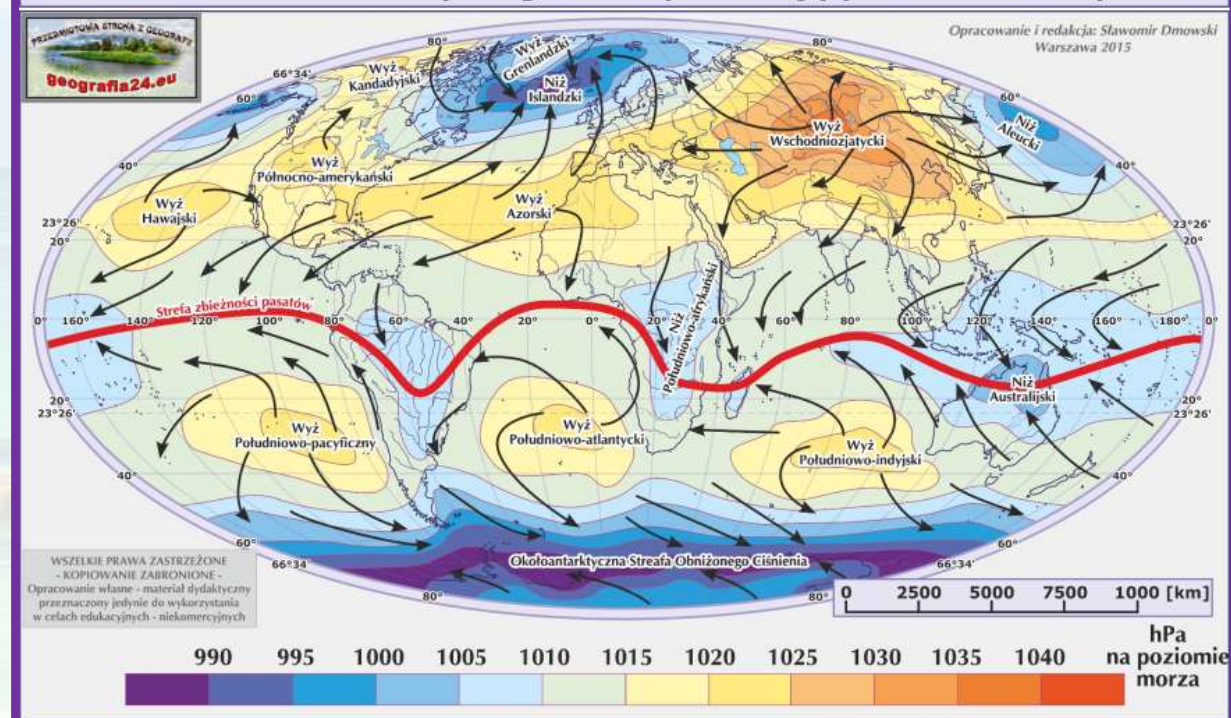


# Monsun zimowy (lądowy)

- W zimie ląd ochładza się bardzo szybko i tworzy się tam ośrodek wyżowy.
- Wody Oceanu Indyjskiego działają ocieplająco na zalegające tam powietrze.
  - Unosi się ono do góry, zaś w tym miejscu tworzy się niż baryczny.
- W konsekwencji monsuny w zimie wieją znad Azji ku Oceanowi Indyjskiemu.
- Są to wiatry chłodne i suche – nazywamy je **monsunem zimowym (lądowym)**.
- Kształtuje on pogodę słoneczną, suchą i chłodną.
- W górnej troposferze układ ciśnienia jest odwrotny – powietrze przemieszcza się w kierunku lądu.



Rozkład ciśnienia atmosferycznego wraz z przeważającymi wiatrami w styczniu

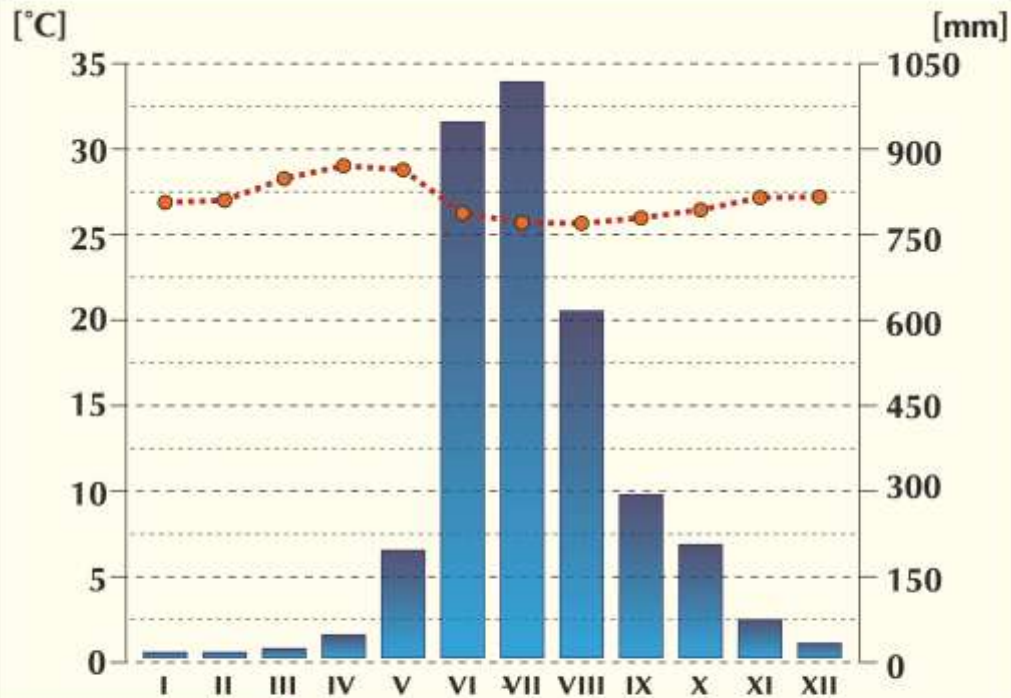




# Monsuny – wpływ na klimat Azji Południowo-wschodniej (opady atmosferyczne)

→ Monsuny największy wpływ wykazują na zróżnicowanie rocznych sum opadów atmosferycznych – w półroczu letnim występują bardzo duże opady, zaś w półroczu zimowym są one stosunkowo niewielkie.

Mangalore – Indie ( $12^{\circ}52'N$ ;  $74^{\circ}53'E$ )



temperatura  
opady

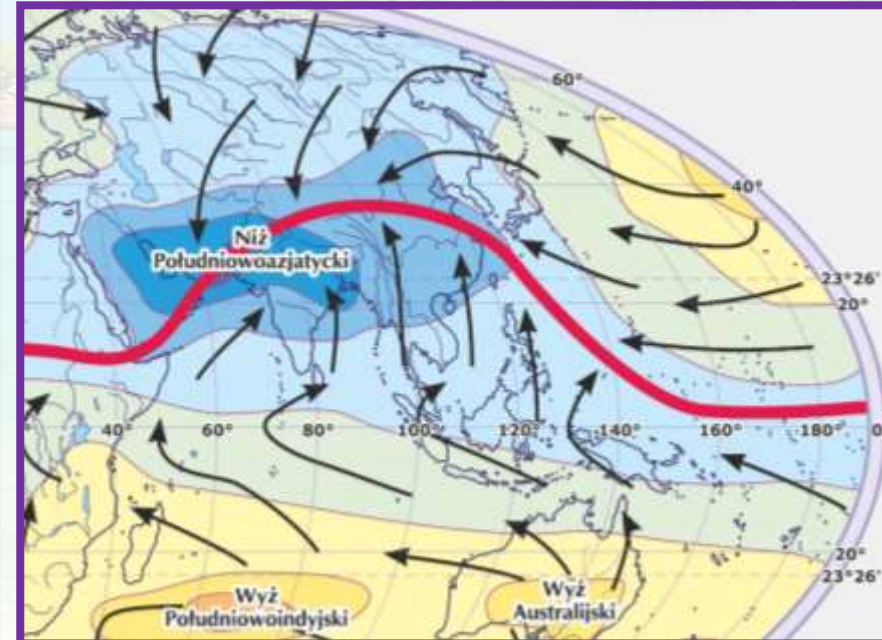
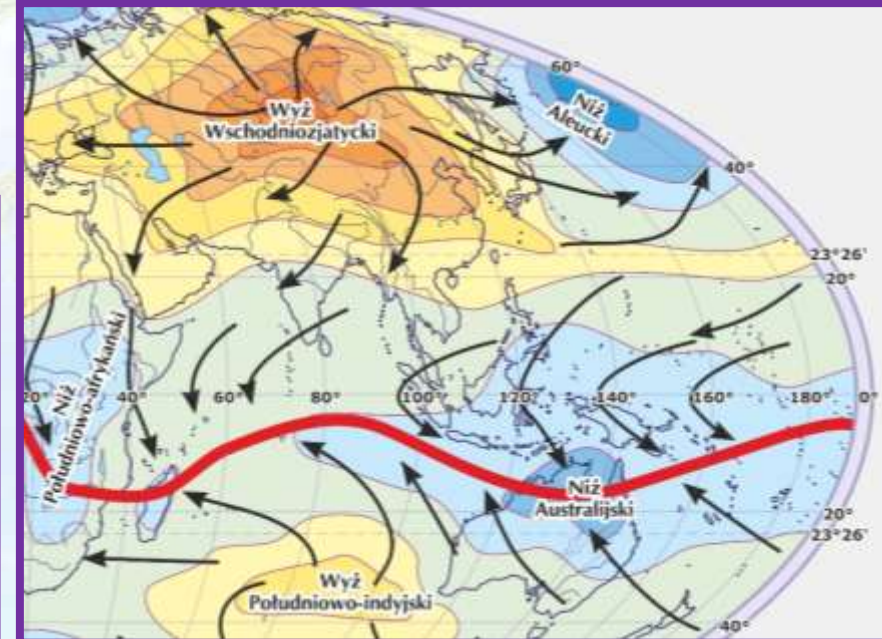
Średnia roczna temperatura powietrza:  $27,1^{\circ}C$

Średnia roczna amplituda temperatur:  $3,6^{\circ}C$

Suma roczna opadów: 3409,2 mm

Suma opadów w półroczu letnim: 3115,9 mm

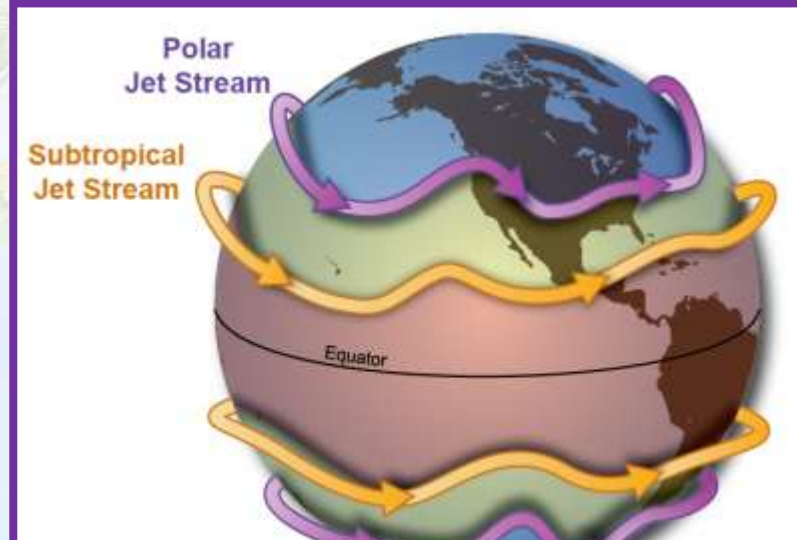
Suma opadów w półroczu zimowym: 293,3 mm



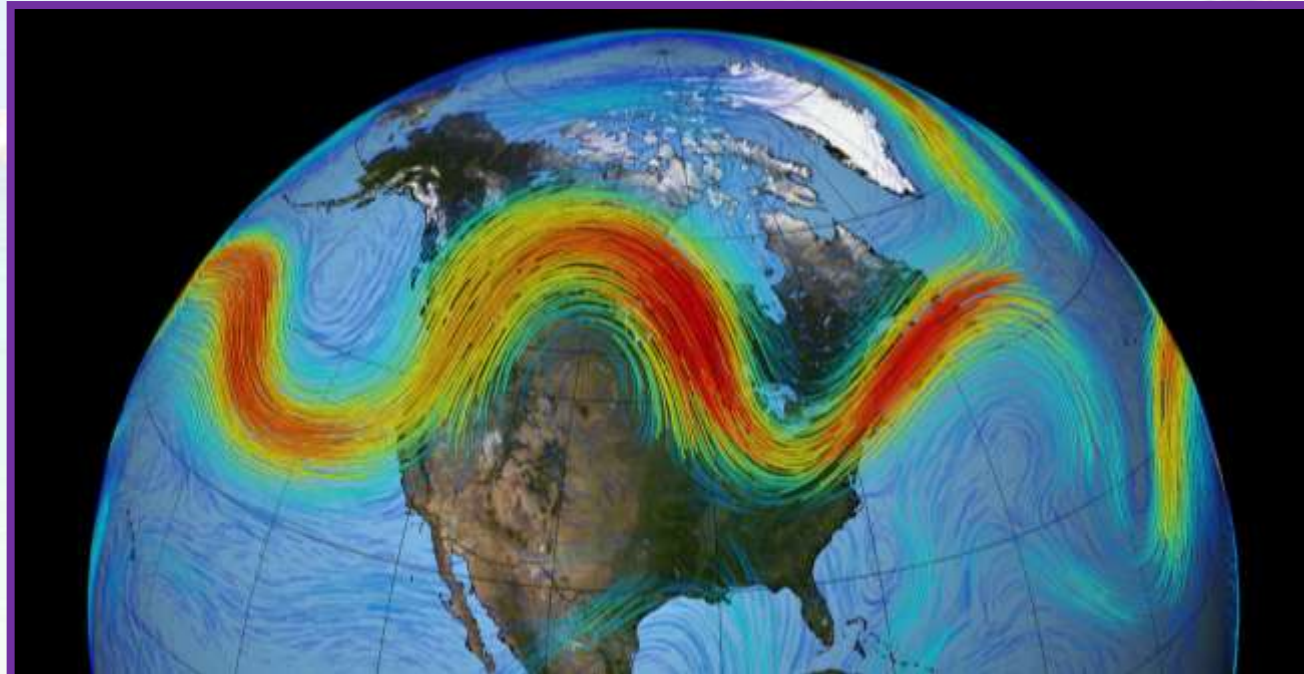


# Prądy strumieniowe

- Specyficznymi zjawiskami atmosferycznymi, występującymi głównie **w górnej troposferze i dolnej stratosferze** prawie nad całym obszarem kuli ziemskiej, są **prądy strumieniowe**.
- Powstają one najczęściej między **35° a 70° szerokości geograficznej północnej i południowej**.
- Są to intensywne prawie poziome strumienie powietrza, występujące w strefach o szerokości kilkuset kilometrów, grubości około 2 kilometrów i długości nawet do kilku tysięcy kilometrów.
- Przyczyną powstawania tego zjawiska są ogromne różnice temperatury i ciśnienia.
- Prądy te przemieszczają się **z zachodu na wschód**.
- Średnia prędkość: **110 km/h** (lato) – **180 km/h** (zima).
- Lokalnie prędkość może wzrastać do **370 km/h**.
- Prądy strumieniowe przypominają “wielkie rzeki” poruszające się w przestrzeni, w której występują wiatry o znacznie mniejszych prędkościach.



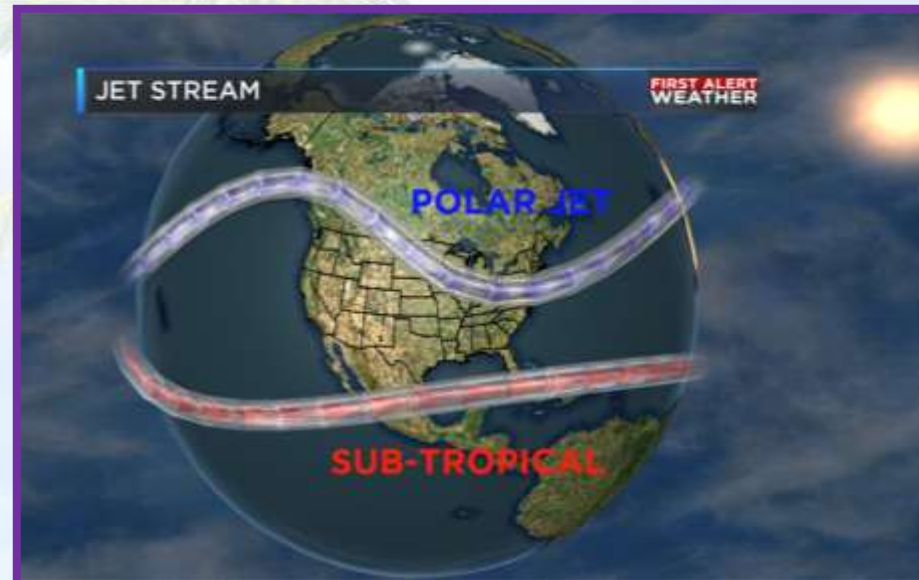
Prądy strumieniowe (Jet Stream) nad Ziemią





# Prądy strumieniowe i ich znaczenie

- Lokalizacja prądów strumieniowych ma zasadnicze znaczenie dla linii lotniczych.
- Wykorzystanie takiego prądu przy locie na wschód skraca jego czas.
  - Natrafienie na niego przy locie na zachód wydłuża czas i powoduje zwiększone zużycie paliwa.
- Dla przykładu czas przelotu z zachodniego na wschodnie wybrzeże Stanów Zjednoczonych może być skrócony o 30 minut, jeżeli samolot wykorzysta prąd strumieniowy.





# Wiatry lokalne

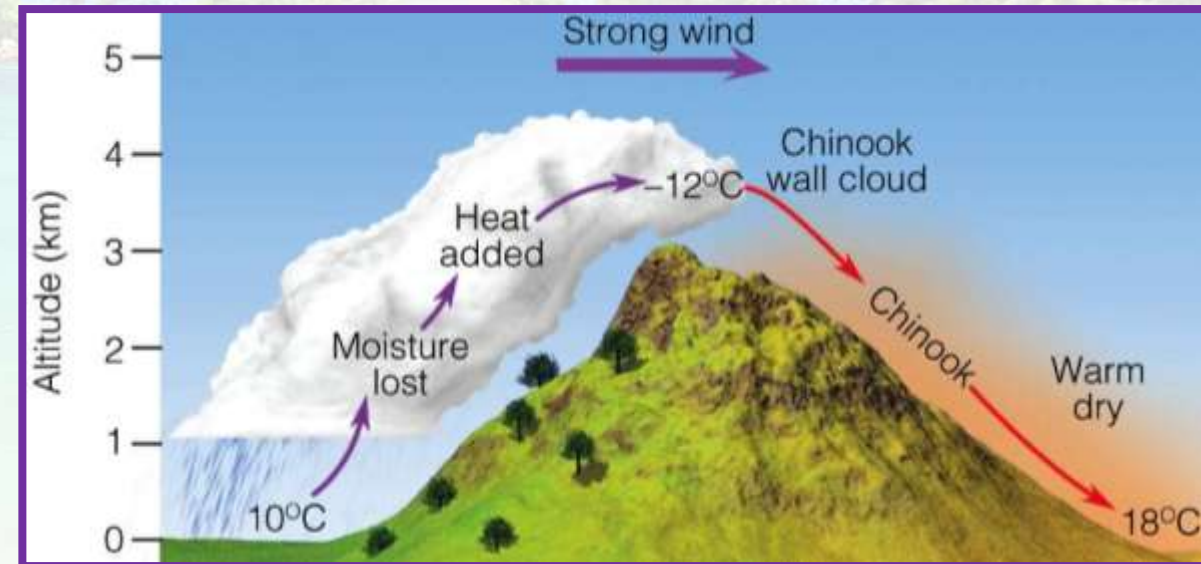
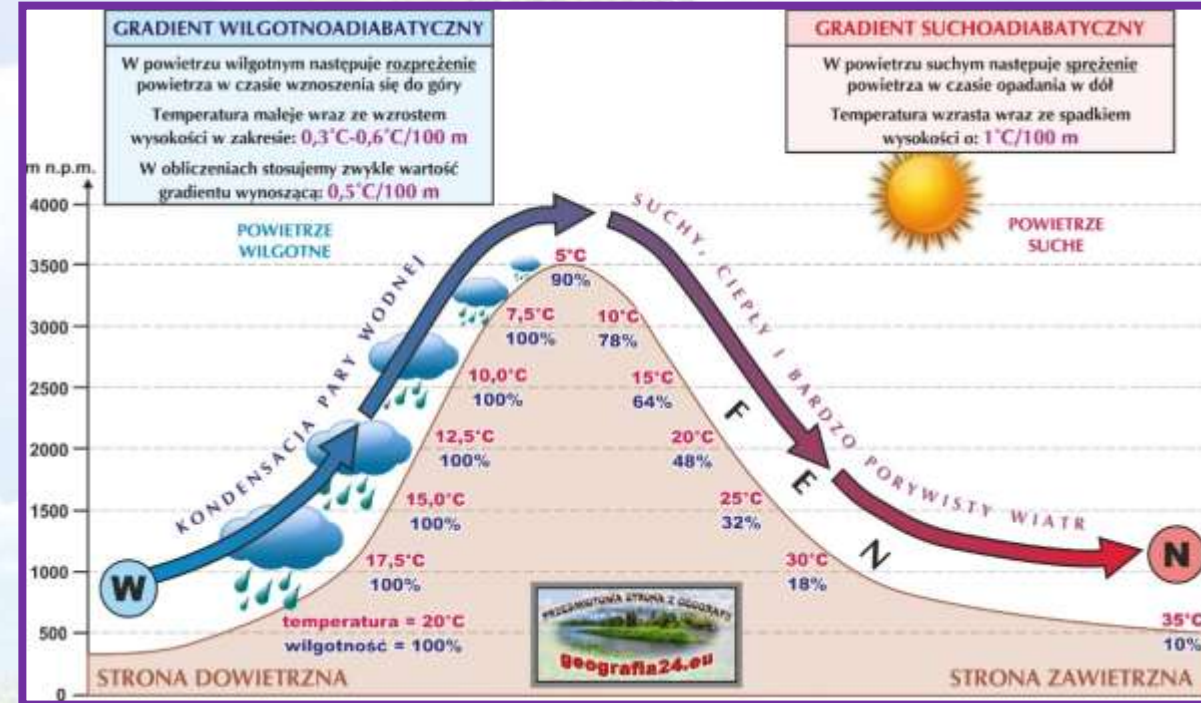
- **Wiatry lokalne** dzieli się na dwa rodzaje:
  - wiatry, które są prądami ogólnej cyrkulacji atmosfery **zmodyfikowanymi przez czynniki lokalne**, np. charakter podłoża lub orografię terenu:
    - np. wiatry związane z cyklonami tropikalnymi, fen, bora, mistral, sirocco, samum i etezje;
    - niekiedy są one nazywane wiatrami regionalnymi;
  - wiatry niezależne od ogólnej cyrkulacji atmosfery, nakładające się na nią (niekiedy są tak silne, że mogą ją nawet stłumić),
    - związane z lokalnymi układami barycznymi ukształtowanymi nad różnymi typami podłoża oraz w górach:
      - np. **bryzy, wiatry górskie i dolinne.**





# Fen

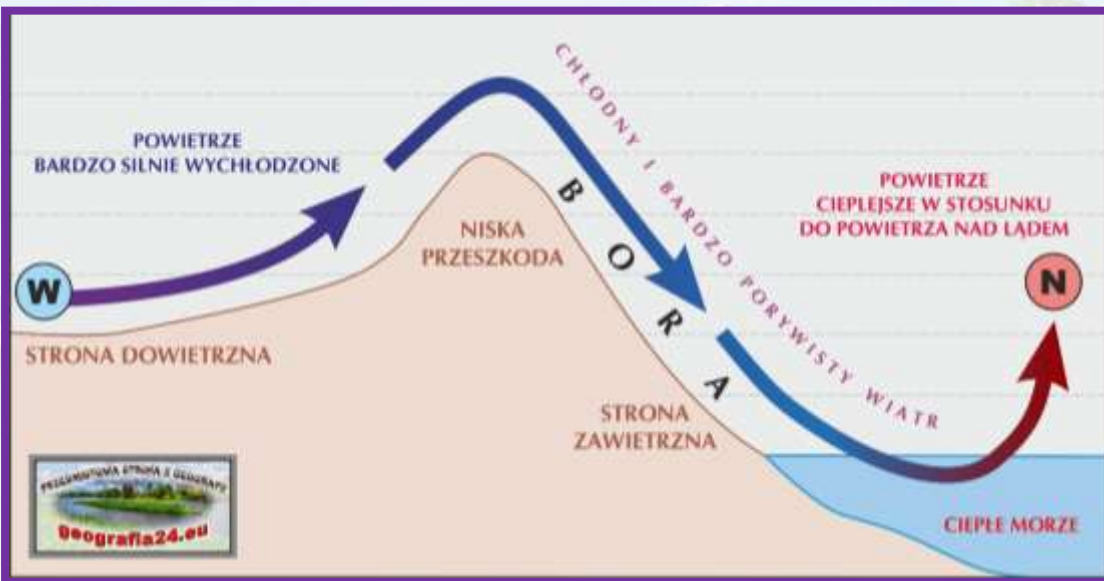
- **Fen** – jest suchym, ciepłym i porywistym wiatrem, wiejącym ze szczytów górskich w kierunku dolin.
- Występuje najczęściej na przełomie zimy i wiosny, powodując gwałtowne ocieplenia i przyspieszone topnienie śniegu i lodu oraz gwałtowne wezbrania wody w górskich potokach i rzekach.
- Powstaje, kiedy na drodze powietrza przemieszczającego się od obszaru wysokiego do obszaru niskiego ciśnienia stoi bariera górską.
- Przekraczając barierę górską wilgotne masy powietrza zmieniają swoje pierwotne cechy (w wyniku intensywnej kondensacji i opadów), stając się powietrzem suchym i ciepłym, opadającym w dół stoku.
- Występują one w wielu pasmach górskich, gdzie nadano im lokalne nazwy:
  - **fen** w Alpach,
  - **halny** w Tatrach,
  - **chinook** w Górach Skalistych,
  - **zonda** w Andach.





# Bora

- **Bora** – chłodny, silny i porywisty wiatr wiejący w zimie z gór ku ciepłemu morzu, na wybrzeżach Adriatyku (Dalmacja) i Morza Czarnego.
- **Bora cyklonalna** powstaje wtedy, gdy:
  - nad nadmorskim płaskowyżem lub pasmem niskich gór ukształtuje się silny wyż baryczny związany z bardzo zimnymi masami powietrza,
  - nad pobliskim morzem – niż baryczny związany z zaleganiem ciepłego powietrza,
  - układ niżowy musi być na tyle silny aby był w stanie zassać chłodne powietrze zgromadzone nad lądem za przeszkodą w postaci wzniesień.





# Mistral

- **Mistral** jest wiatrem podobnym do bory – jest to zimny i suchy wiatr spływowy, wiejący w Prowansji doliną Rodanu (we Francji) w kierunku Morza Śródziemnego.
- Przemieszczające się doliną zimne powietrze ulega stłoczeniu, w wyniku czego zwiększa się prędkość wiatru (efekt tunelowy).



Dzieło mistrała



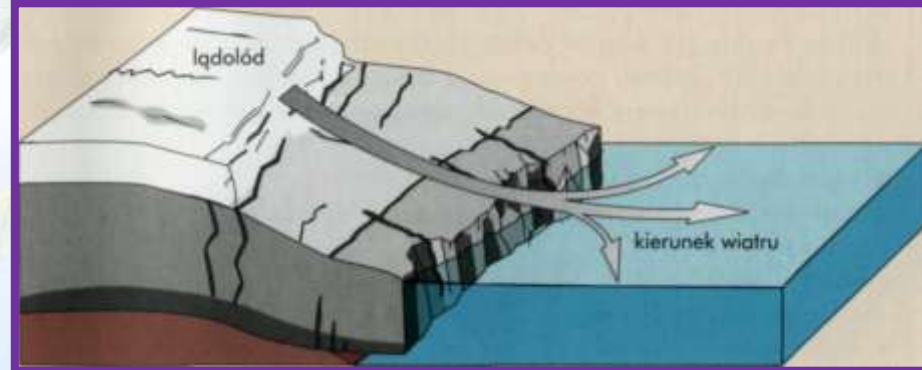
Mistral, jeden z najsłynniejszych wiatrów w Europie, tworzy się zazwyczaj przy przejściu niżu (islandzkiego) w północnej Europie oraz związany jest z występującym w tym samym czasie wyżem (azorskim) u wybrzeży Hiszpanii. Mistral zależy też od rozwoju niżu w Zatoce Lionńskiej lub w okolicach Genui.





# Wiatry lodowcowe

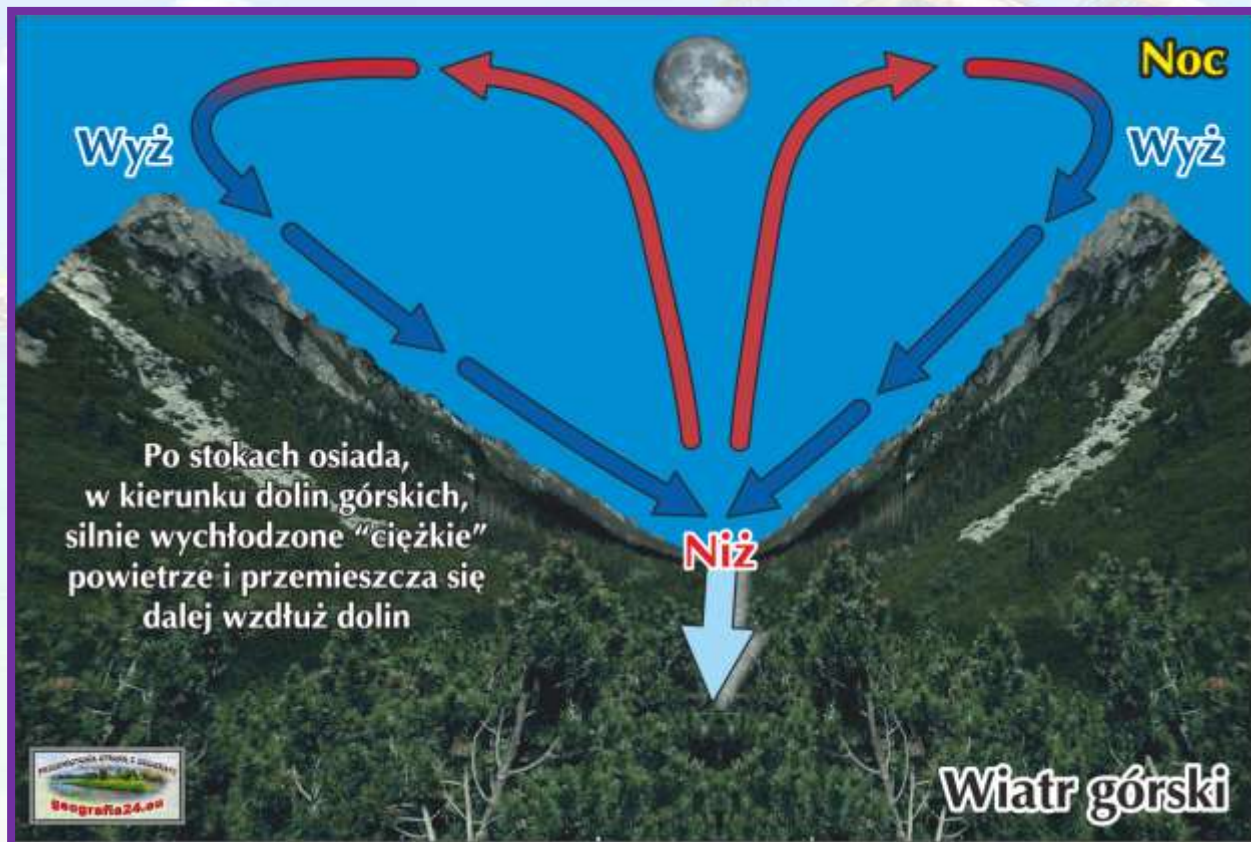
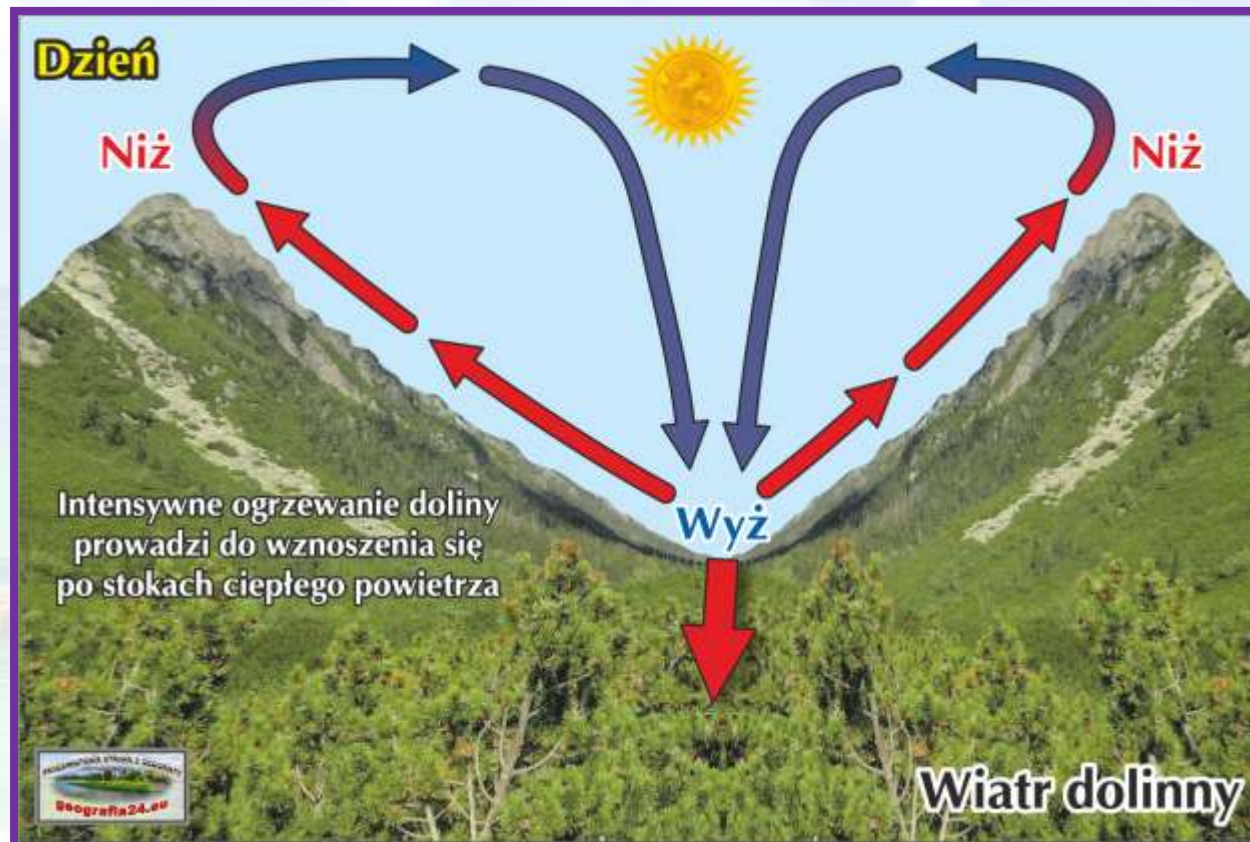
- **Wiatry lodowcowe** to wiatry antycyklonalne, wiejące znad zimnych powierzchni lądolodów lub pól firnowych i jeziorów lodowcowych w górach ku cieplejszym pobliskim morzom bądź dolinom.
- Powszechnie występują one na Antarktydzie.
  - Szczególnie silne, szybko spływające i bardzo długo występujące tworzą się w czasie nocy polarnej.





# Wiatry dolinne i górskie

- **Wiatry dolinne i górskie** są uwarunkowane głównie kontrastami termicznymi i barycznymi – występują w prawie bezchmurne dni i noc.
- W pogodne dni wieją **ciepłe wiatry dolinne** z dolin, wzdłuż ich osi i po przyległych stokach, ku wyższym partiom gór.
  - Powstają w wyniku silnego ogrzewania promieniami słonecznymi zboczy.
  - Wznoszące się powietrze rozpręża się i nieco ochładza się oraz przyczynia się do tworzenia chmur konwekcyjnych.
- W pogodne nocie wieją **zimne wiatry górskie** ze szczytów górskich w kierunku wylotów dolin.
  - Powstają w wyniku intensywnego wypromieniowania zboczy górskich.





# Bryza

- **Bryza** jest wiatrem lokalnym, związanym z kontrastami termicznymi i barycznymi pomiędzy dwoma zasadniczo odmiennymi typami podłoża – wodą i lądem (cehuje je zwykle skrajnie różna temperatura podłoża).
- Występuje na wybrzeżach mórz i oceanów oraz dużych jezior i wielkich rzek, szczególnie wyraźnie w dłużej trwających okresach bezchmurnych.
- Zwykle oddziałują one w pasie wybrzeża szerokości od kilku do kilkudziesięciu kilometrów.
- W tym pasie modyfikują one dość znacznie temperatury powietrza.





# Bryza dzienna (morska)

- **Bryza dzienna (morska)** powstaje w wyniku intensywnego ogrzewania lądu w dzień, w wyniku którego szybciej się on nagrzewa w stosunku do akwenu wodnego.
- W dzień nad lądem powstają silne prądy wstępujące – powstaje układ niskiego ciśnienia (wznoszące powietrze ulega schłodzeniu).
- Dalej następuje przemieszczanie się górą powietrza nad wodę, nad którą zimne i ciężkie masy powietrza opadają, w wyniku czego nad akwenem wodnym tworzy się układ wysokiego ciśnienia.
- Następnie masy powietrza przemieszczają się dołem w kierunku lądu.



Bryza dzienna (morska)

Bryza nad Kubą



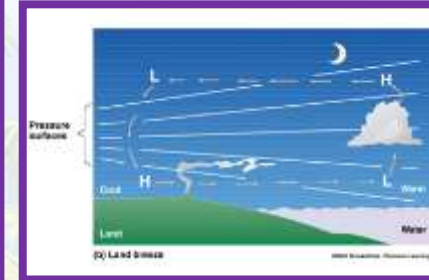
Możliwość wykorzystania bryz w rekreacji lub sporcie





# Bryza nocna (lądowa)

- **Bryza nocna (lądowa)** powstaje w wyniku intensywnego wypromieniowania ciepła nad lądem w nocy, w wyniku którego znacznie szybciej traci on ciepło w stosunku do akwenu wodnego.
- W nocy obserwujemy unoszenie się powietrza nad cieplejszym podłożem – w tym przypadku akwenem wodnym, nad którym powstaje układ niżowy.
- Ochładzające się powietrze kieruje się górą nad ląd, na który w końcu opada przyczyniając się do powstania układu wysokiego ciśnienia.
- Następnie masy powietrza przemieszczają się dołem z lądu nad wodę.



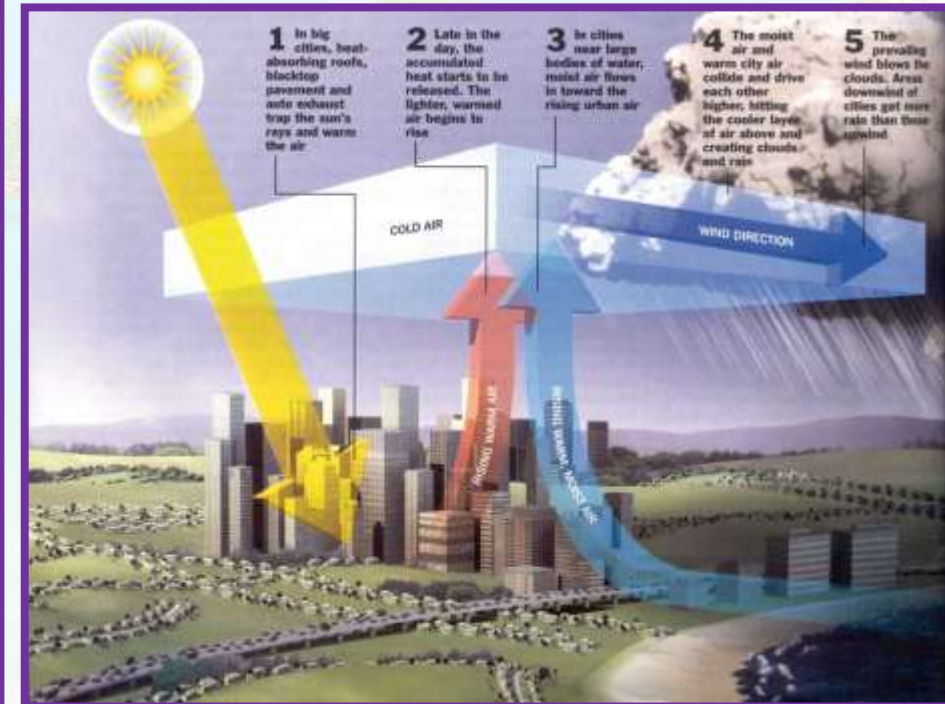
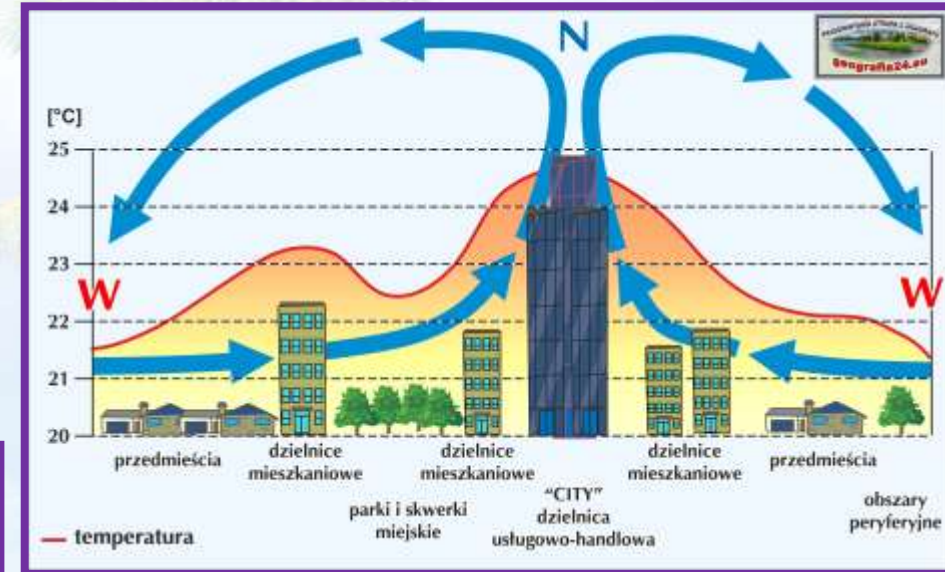
Bryza nocna (lądowa) i w tle obłoki srebrzyste





# Bryza miejska

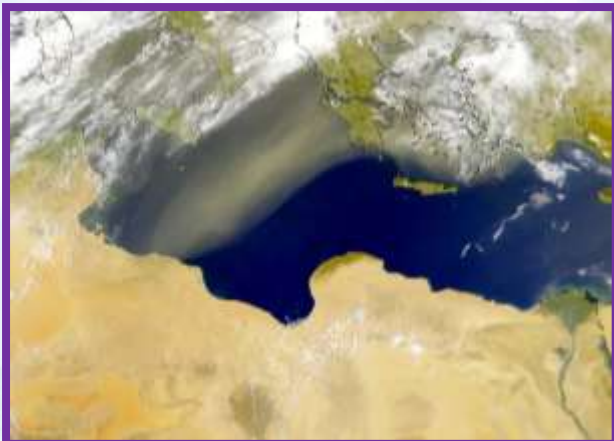
- **Bryza miejska** – to słaby wiatr lokalny, posiadający podobny charakter do bryz występujących nad wybrzeżami.
- Występuje ona w otoczeniu miejskich wysp ciepła nad obszarami wielkich aglomeracji miejsko-przemysłowych.
- Obszary te, silnie nagrzewające się w dzień, stają się ośrodkami niskiego ciśnienia, do których napływają masy powietrza z otaczających terenów o wyższym ciśnieniu.





# Sirocco

- **Sirocco** (wł.) – ciepły, suchy wiatr południowy, wiejący z Sahary i Półwyspu Arabskiego, najczęściej wiosną i przemieszczający wiele pyłu.
- Przeptywając nad Morzem Śródziemnym, wchłania parę wodną i dociera do południowej Europy jako ciepły i wilgotny, przynosząc czasami mgły i opady atmosferyczne.
- W zimie przynosi opady czerwonego śniegu.





# Samum (chamsin, hamsin)

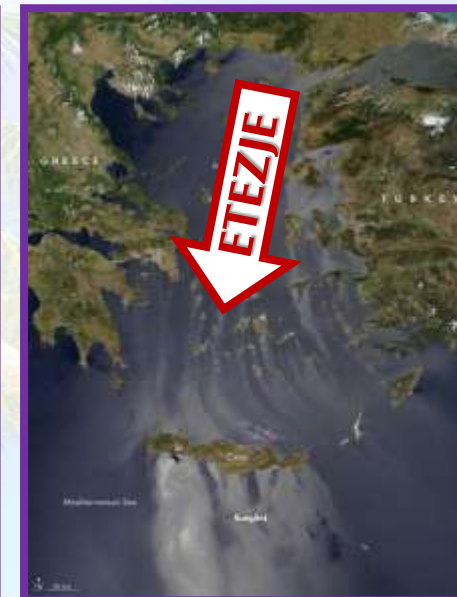
- **Samum** (arab. *samum* – trucizna; **chamsin** lub **hamsin**) – gorący i bardzo porywisty wiatr pustylny, wiejący wiosną (najczęściej w maju) na Saharze i Półwyspie Arabskim.
- Wiatry takie są zazwyczaj dosyć krótkotrwałe (trwają do około 20 minut) – pojawiają się zwykle tuż przed nadejściem frontu chłodnego.
- Niosą bardzo suche powietrze (towarzyszy mu bardzo wysoka temperatura sięgająca 50°C i wywołują burze piaskowe lub pyłowe.





# Etezeje (wiatry etezjańskie)

- **Etezeje** – gorące, suche i czasami porywiste wiatry północne, wiejące latem we wschodniej części Morza Śródziemnego, głównie nad Morzem Egejskim.
- Są związane z klinami Wyżu Azorskiego sięgającymi późnym latem aż po Morze Czarne, a niekiedy nawet obejmującymi środkową Azję.
- Etezeje są bardzo regularne (stąd ich nazwa) i trwałe, szczególnie w lipcu i w sierpniu, oraz na tyle silne, że tłumią cyrkulację bryzową.





# KONIEC



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

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

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