

## Cyrkulacja powietrza w różnych strefach Ziemi. Czynniki wpływające na globalną cyrkulację atmosfery

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Symulacja interaktywna](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)



## Cyrkulacja powietrza w różnych strefach Ziemi. Czynniki wpływające na globalną cyrkulację atmosfery

Źródło: dostępny w internecie: [commons.wikimedia.org](https://commons.wikimedia.org), domena publiczna.

O tym, że Słońce nierównomiernie ogrzewa Ziemię, nie trzeba nikogo przekonywać. Wystarczy przyjrzeć się głównym kierunkom zagranicznych wyjazdów turystycznych Polaków – Włochy, Grecja, Hiszpania, Chorwacja, Turcja. Wypoczynek na niższych niż Polska szerokościach geograficznych nie jest przypadkowy. Najczęściej wybór dotyczy miejsc, gdzie temperatury powietrza i wody są znacznie wyższe od temperatur panujących w Polsce. Zjawisko to związane jest z nierównomiernym oświetleniem naszej planety. To z kolei bezpośrednio wpływa na cyrkulację atmosfery w skali globalnej i stanowi najbardziej pierwotną przyczynę ogólnej cyrkulacji atmosfery. Gdyby nie występował transport ciepła w postaci ruchu powietrza i prądów morskich, temperatura w strefie gorącej stale by rosła (na skutek nadwyżki energii), podczas gdy w wyższych szerokościach geograficznych – malała. Szacuje się, że różnica temperatur między równikiem i biegunem przy braku międzystrefowej (szerokościowej) wymiany ciepła wynosiłaby aż 83°C, podczas gdy rzeczywista wartość wynosi ok. 44°C.

### Twoje cele

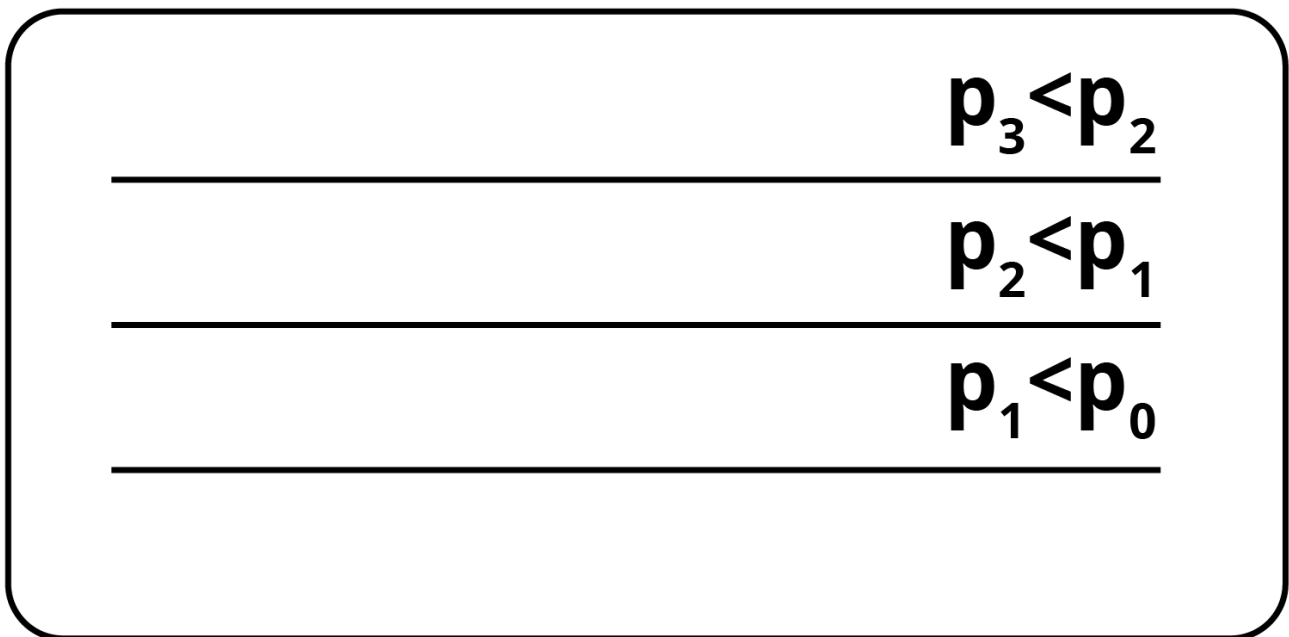
- Opisziesz trójkomórkowy schemat globalnej cyrkulacji atmosfery.
- Wyjaśnisz mechanizm cyrkulacji termicznej.
- Scharakteryzujesz wybrane czynniki wpływające na globalną cyrkulację atmosfery.

# Przeczytaj

---

## Tu wszystko się zaczyna, czyli dopływ promieniowania słonecznego i nagrzanie powierzchni Ziemi

Gdyby powierzchnia Ziemi była jednakowo nagrzana, powietrze, które nad nią zalega, charakteryzowałoby się poziomym **gradientem temperatury** równym zeru, a odległości między kolejnymi powierzchniami izobarycznymi (powierzchniami jednakowego ciśnienia) byłyby jednakowe, zatem ich gradient także byłby równy zeru.

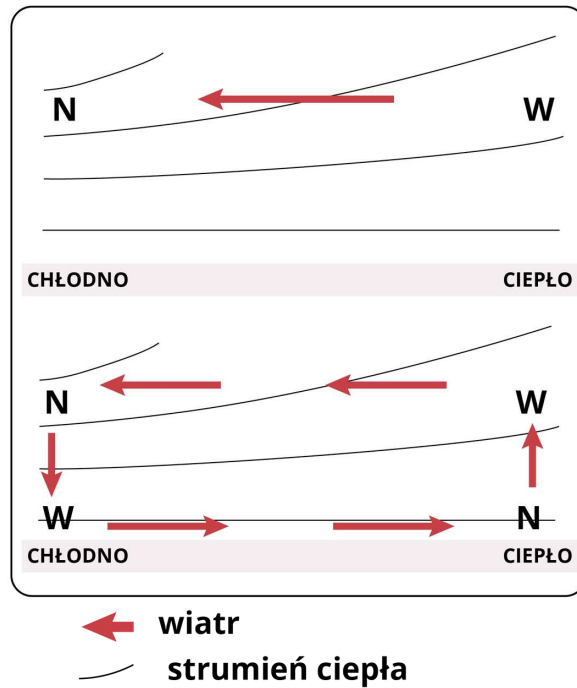


Układ powierzchni izobarycznych przy jednakowo nagrzanej powierzchni

p – ciśnienie atmosferyczne

Źródło: Englishsquare sp. z o.o., CC BY-SA 3.0, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>.

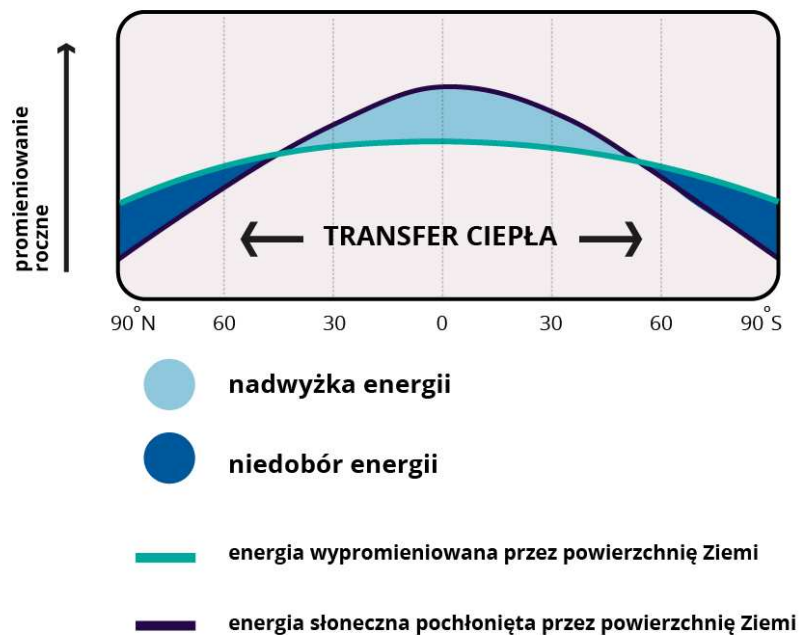
Nierównomierny dopływ promieniowania słonecznego powoduje nagrzanie podłoża w jednym miejscu, podczas gdy w innym pozostaje ono chłodniejsze. Ciepłe powietrze o mniejszej gęstości unosi się ku górze, co powoduje, że odległości między powierzchniami izobarycznymi są w nim większe. Powstaje poziomy gradient ciśnienia atmosferycznego, nad nagrzanym podłożem przy powierzchni ziemi tworzy się niż, nad chłodniejszym, gdzie powietrze opada – wyż atmosferyczny. Ten układ wymusza poziomy ruch powietrza, czyli wiatr.



Układ powierzchni izobarycznych przy nierównomiernie nagrzanej powierzchni

Źródło: Englishsquare.pl sp. z o.o., CC BY-SA 3.0, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0>. Oprac. na podstawie: *Meteorologia i klimatologia*, red. K. Kozuchowski, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2005.

Powstaje **cyrkulacja termiczna**, a mechanizm ten stanowi podstawę ogólnej cyrkulacji atmosferycznej. Ciepłe powietrze wznosi się w miejscu powstania przypowierzchniowego niżu (tworzy się nad nim górny ośrodek wysokiego ciśnienia). Powietrze zaczyna przemieszczać się z górnego wyżu do niżu, w którym opadając ku powierzchni ziemi, tworzy przypowierzchniowy wyż. W ten sposób uzupełniany jest niedobór masy powietrza, które napływa w kierunku przeciwnym niż przepływ górny. Model ten w rzeczywistości zaburzony jest przez lokalne warunki – orografię terenu, jego pokrycie, działanie siły Coriolisa, a przede wszystkim warunkuje go bilans promieniowania na różnych szerokościach geograficznych.

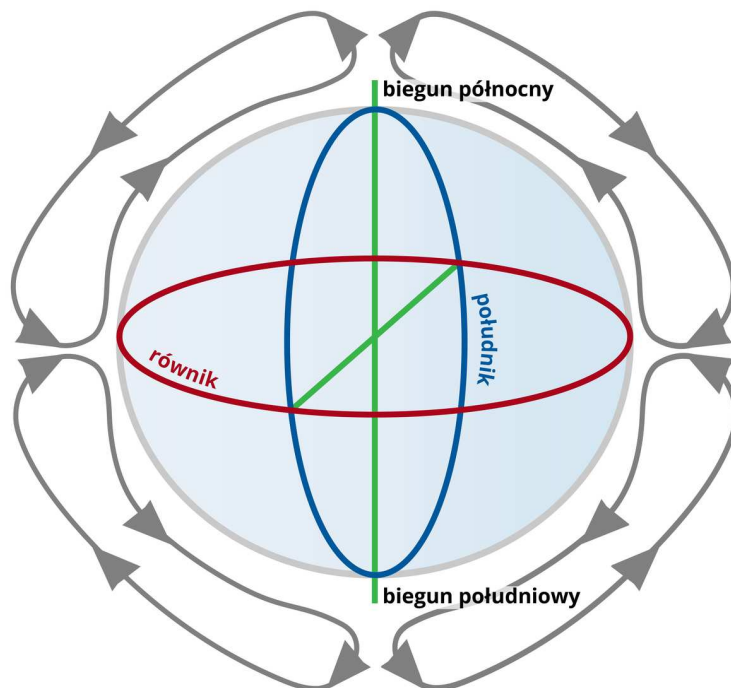


Bilans promieniowania na różnych szerokościach geograficznych

Źródło: Englishsquare.pl sp. z o.o., CC BY-SA 3.0, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0>. Oprac. na podstawie: *Południkowy rozkład dopływu promieniowania oraz wypromieniowania w ciągu roku* (J. Tamulewicz, *Pogoda i klimat Ziemi*, Wydawnictwo Kurpisz, Poznań 1997).

## Zanim doszliśmy do współczesnego, trójkomórkowego modelu ogólnej cyrkulacji atmosfery...

Historia opisu ogólnej cyrkulacji atmosfery rozpoczyna się w 1735 r., kiedy to angielski meteorolog George Hadley zaproponował model jednokomórkowej cyrkulacji atmosfery. Model ten był dosyć prosty – składał się z jednej komórki na półkuli północnej i jednej na półkuli południowej, w których mechanizm przemieszczania się powietrza odpowiadał **mechanizmowi cyrkulacji termicznej**. W myśl zaproponowanego modelu nagrzane w strefie równikowej powietrze wznosi się ku górze, oziębia, powstają chmury konwekcyjne. Kondensacja pary wodnej powoduje ujawnianie tzw. **ciepła utajonego**, które towarzyszy zmianie stanu skupienia z gazowego na ciekły (podobnie jest podczas gotowania wody w czajniku – włożenie ręki do wydobywającej się z czajnika skroplonej pary wodnej może spowodować poparzenie). Powietrze nie może osiągnąć stabilnej tropopauzy, dlatego zaczyna rozplýwać się „na boki”, kierując się ku biegunom. Tam opada, tworząc układ wysokiego ciśnienia i wraca przy powierzchni ziemi od biegunów do równika.

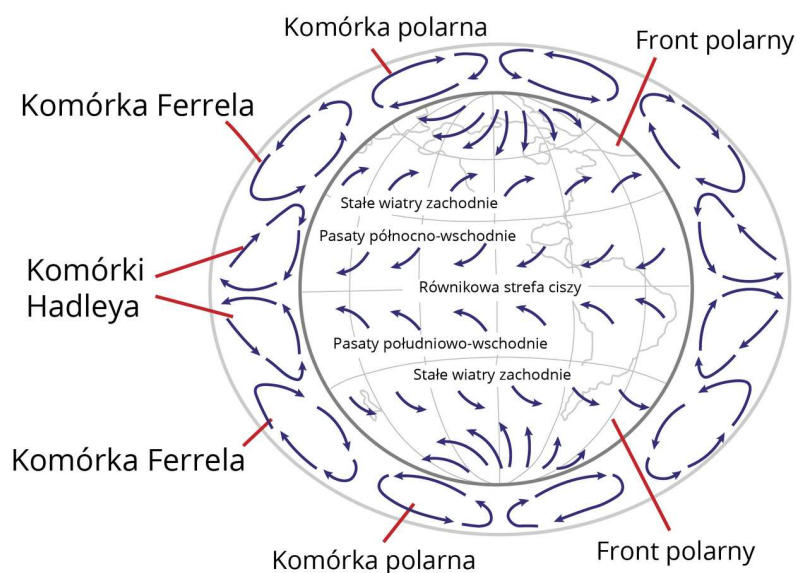


Jednokomórkowy model ogólnej cyrkulacji atmosfery

Źródło: Englishsquare.pl sp. z o.o., CC BY-SA 3.0, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0>. Oprac. na podstawie: *Meteorologia i klimatologia*, red. K. Kozuchowski, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2005.

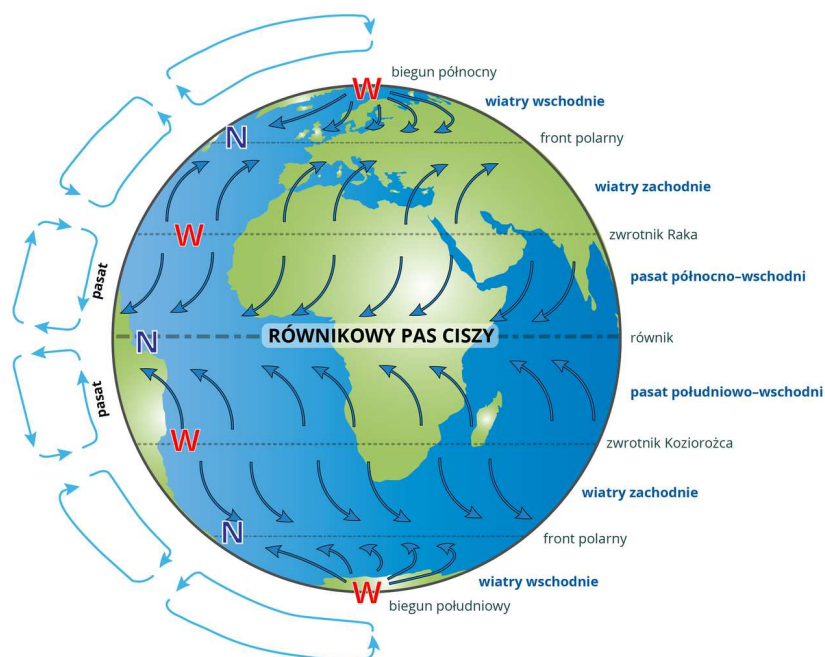
Współcześnie opis ten jest przyjmowany jako charakterystyka jednej z trzech komórek cyrkulacyjnych, która swoją nazwę zawdzięcza nikomu innemu, jak właśnie G. Hadleyowi. Ponad 100 lat później amerykański klimatolog William Ferrel przedstawił koncepcję trójkomórkowego modelu ogólnej cyrkulacji (a jego nazwisko stało się znane jako nazwa drugiej z kolei komórki cyrkulacyjnej na obydwu półkulach). W komórce Ferrela powietrze wznosi się w pobliżu 60° szerokości geograficznej północnej i południowej i opada w okolicach zwrotników.

## Procesy i cykle obiegu materii na Ziemi



## Trójkomórkowy model ogólnej cyrkulacji atmosfery

Źródło: Englishsquare.pl sp. z o.o., oprac. na podstawie P.A. Allen, *Procesy kształtujące powierzchnię Ziemi*, tłum. J. Dowgiatto-Kühn, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2000.



## Ogólna cyrkulacja atmosfery

Źródło: Englishsquare.pl sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Trzecią komórką cyrkulacyjną jest komórka polarna. Powietrze wznosi się w cieplejszym obszarze, w okolicach 60° szerokości geograficznej północnej i południowej, opada w okolicach biegunów. Wszystkie trzy komórki wykazują w ciągu roku zmienność położenia i nasilenia w zależności od pory roku.

Tab. 1. Wybrane czynniki wpływające na globalną cyrkulację atmosfery

Czynnik	Wpływ na ogólną cyrkulację atmosfery
<b>Siła grawitacji</b>	Inicjuje większość ruchów powietrza oraz powoduje przyspieszenie wiatru w ruchu pionowym z góry na dół.
<b>Siła Coriolisa</b>	Działa na obiekty będące w ruchu względem pewnego układu odniesienia (np. na wiatr, który jest ruchem powietrza z wyżu do niżu względem powierzchni Ziemi). Kierunek ruchu obiektów poruszających się na półkuli północnej odchylony zostaje w prawo, na półkuli południowej – w lewo. Dla obiektów, które poruszają się z taką samą prędkością, siła Coriolisa największe wartości osiąga na biegunach, najniższe w okolicach równika (na samym równiku przyjmuje wartość równą 0).

Czynnik	Wpływ na ogólną cyrkulację atmosfery
<b>Siła tarcia</b>	Działa zawsze przeciwnie do kierunku poruszającego się powietrza i nieruchomej powierzchni Ziemi. Jej wartość maleje wraz z wysokością (na ok. 1 km jej oddziaływanie jest prawie niezauważalne). Im większa szorstkość powierzchni, tym siła tarcia większa. Znacznie większą szorstkością będą odznaczały się zatem obszary porośnięte lasami, tereny miejskie. Niższą – powierzchnia wody, obszary porośnięte trawą czy inną niską roślinnością.
<b>Rozkład lądów i oceanów</b>	Wielkie powierzchnie lądowe i morskie oddziałują na układ stałych wyżów i niżów atmosferycznych. Obszary kontynentalne sprzyjają formowaniu się termicznych wyżów w porze zimowej (silniejsze wychładzanie lądów) oraz niżów w porze letniej (na skutek intensywniejszego nagrzewania). Odmienne wygląda sytuacja nad obszarami morskimi, które nie wykazują takich tendencji (woda ogrzewa i ochładza się znacznie wolniej), stąd układ wyżów i niżów nad oceanami jest bardziej stabilny. Efektem jest stałe utrzymywanie się niżów w strefie okołorównikowej, których zasięg zmienia się w zależności od pory roku (latem w przybliżeniu strefa ta rozpościera się między 30°N a 5°S, zimą między 10°N a 20°S). Obserwuje się także różnice w zasięgu strefy niżów między półkulami zachodnią i wschodnią. Pierwsza, na której przeważają oceany, wykazuje większą stabilność położenia międzyzwrotnikowej strefy obniżonego ciśnienia.

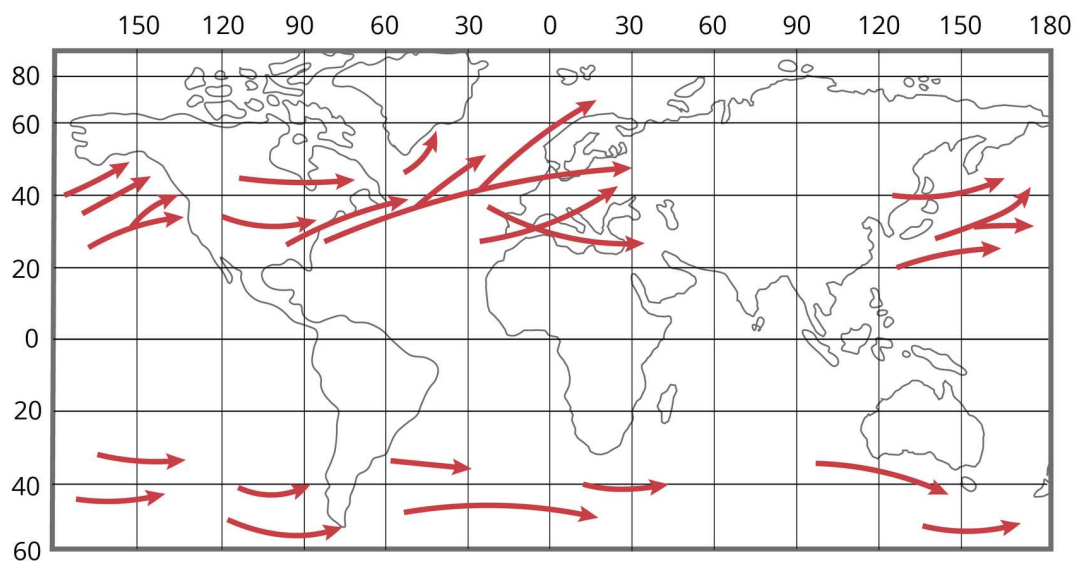
“ Rzeczywisty układ linii prądów powietrza na mapach klimatologicznych jest wypadkową oddziaływania wszystkich tych czynników oraz siły Coriolisa związanej z ruchem obrotowym Ziemi. Ten szczególny kompromis, nieprzerwanie zachodzący w atmosferze, powoduje, że mechanizmy sterujące ruchem mas powietrznych są na tyle skomplikowane i złożone, że nie wszystkie osobliwości układów cyrkulacyjnych zostały w pełni wyjaśnione.

Źródło: J. Tamulewicz, *Pogoda i klimat Ziemi*, Wydawnictwo Kurpisz, Poznań 1997.

## Cyrkulacja atmosferyczna w szerokościach pozazwrotnikowych

W umiarkowanych szerokościach geograficznych (w których położona jest także Polska) przeważają wiatry zachodnie, na co wpływają układ niżów i wyżów, omówione wcześniej siły (m.in. siła Coriolisa i siła tarcia) czy ruch obrotowy Ziemi. Częste przemieszczanie się niestabilnych wyżów i niżów barycznych w tych szerokościach geograficznych powoduje, że stałość kierunków i prędkości wiatru jest stosunkowo niewielka. Na uwagę zasługuje

różnica w cyrkulacji na półkuli północnej i południowej. Brak obszarów lądowych na półkuli południowej sprawia, że notuje się tu znacznie większe gradienty ciśnienia, a zatem i prędkości wiatrów, które określa się mianem „ryczących czterdziestek” (pas wód oceanicznych biegnący wokół południowej półkuli, w przybliżeniu pomiędzy 40° i 50° S, wzdłuż którego wieją stałe wiatry zachodnie, o bardzo dużej prędkości, będące powodem częstych sztormów). Na półkuli północnej obszary lądowe modyfikują kierunek przemieszczania się układów barycznych, zwłaszcza niżów. Szerokości umiarkowane półkuli północnej cechują się dużą zmiennością pogody.



Główne szlaki przemieszczania się niżów pozazwrotnikowych

Źródło: Englishsquare.pl sp. z o.o., CC BY-SA 3.0, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>.

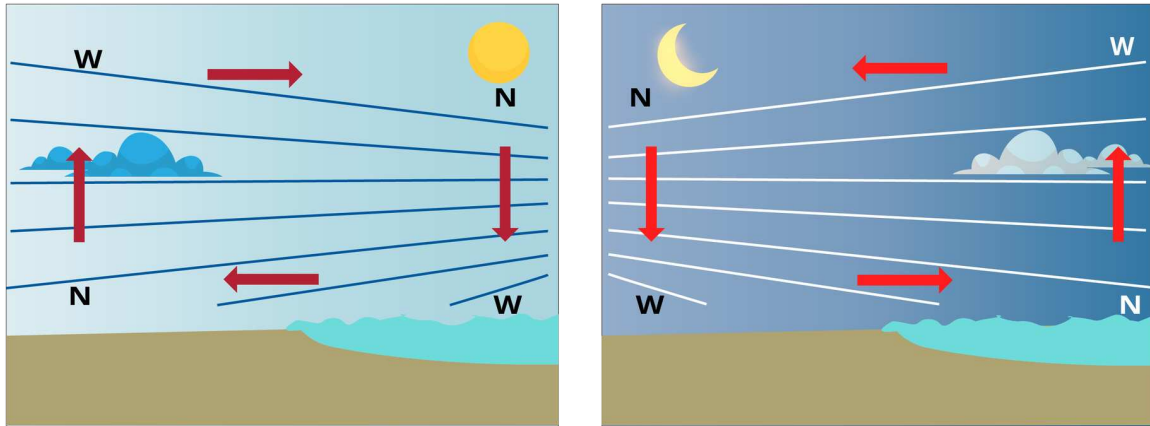
## Wybrane lokalne czynniki wpływające na cyrkulację powietrza

Do czynników o zasięgu lokalnym, które modyfikują kierunek przemieszczania się wiatru, należy zaliczyć:

- ukształtowanie i ekspozycję terenu,
- wysokość n.p.m.,
- pokrycie terenu,
- rozkład zbiorników wodnych,
- działalność człowieka (m.in. miejska wyspa ciepła).

Przykładami wiatrów lokalnych o genezie termicznej są: bryza morska (dzienna i nocna – zobacz temat [Powstawanie bryzy morskiej](#)) oraz wiatr dolinny i górski. Różnice w nagrzaniu

lądu i morza w ciągu dnia i tempa ich wychładzania nocą powodują kontrasty termiczne, które wymuszają ruch powietrza.



Powstawanie bryzy dziennej i nocnej

Źródło: Englishsquare.pl sp. z o.o., CC BY-SA 3.0, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0>. Oprac. na podstawie: *Meteorologia i klimatologia*, red. K. Kozuchowski, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2005.

Do wiatrów, które zmieniają swój kierunek w cyklu dobowym, należy zaliczyć także niektóre lokalne wiatry górskie. W ciągu dnia zbocza górskie ogrzewają się szybciej i bardziej niż powietrze zalegające w środkowej części doliny, dlatego powietrze przemieszcza się w górę wzniesienia. Powoduje to powstawanie chmur i opadów. W nocy zbocza wychładzają się intensywnie, a powietrze przemieszcza się od szczytów w kierunku dolin. Przykładem tego typu wiatru jest bora, występująca m.in. u wybrzeży Chorwacji na Wybrzeżu Dalmatyńskim (zobacz temat [Obszary występowania i cechy wiatrów lokalnych](#)).

## Słownik

### ciepło utajone

strumień ciepła pochłaniany lub uwalniany podczas przemian fazowych wody

### gradient temperatury

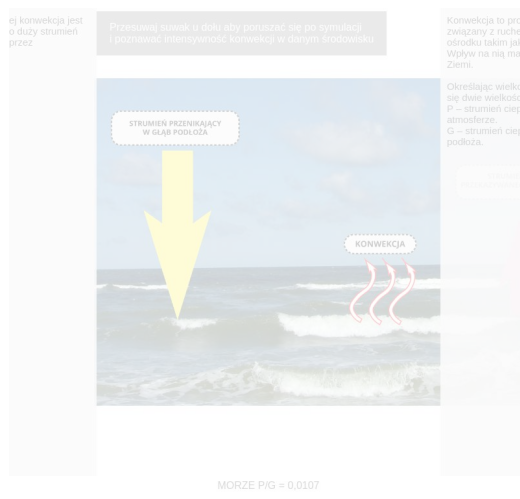
zmiana temperatury wraz z wysokością n.p.m. (gradient pionowy) lub wraz z odległością między dwoma punktami (gradient poziomy)

# Symulacja interaktywna

## Polecenie 1

Na podstawie poniższej symulacji określ, w których miejscach na świecie występuje największa konwekcja.

## Symulacja 1





Zasób interaktywny dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/DIm6rbwCY>

Źródło: Kożuchowski K. (red.), *Meteorologia i klimatologia*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2005.

# Sprawdź się

---

Pokaż ćwiczenia:   

## Ćwiczenie 1



Zaznacz prawidłowe dokończenie zdania.

Czynnikiem, który w głównej mierze warunkuje ogólną cyrkulację atmosferyczną jest...

rozkład lądów i oceanów.

nierównomierne oświetlenie Ziemi.

pokrycie terenu.

siła Coriolisa.

ukształtowanie powierzchni.

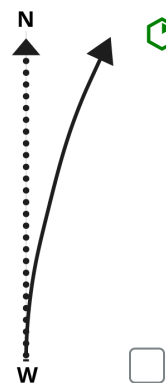
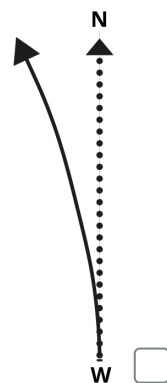
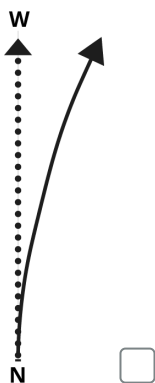
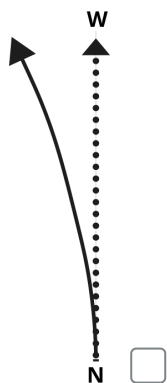
## Ćwiczenie 2



### Ćwiczenie 3



Wybierz rysunek, na którym poprawnie przedstawiono działania siły Coriolisa na ruch powietrza przemieszczającego się na półkuli północnej.



### Ćwiczenie 4



Zaznacz prawidłowe dokończenie zdania. Pasaty to stałe wiatry wiejące w strefie międzyzwrotnikowej. Na półkuli północnej pasaty określisz jako wiatry:

północno-wschodnie.

północno-zachodnie.

południowo-zachodnie.

południowo-wschodnie.

## Ćwiczenie 5



Ustaw w poprawnej kolejności etapy cyrkulacji termicznej.

Ruch powietrza przy powierzchni z wyżu do niżu. 

Nagrzanie powierzchni terenu i zalegającego nad nią powietrza. 

Ruch powietrza z górnego wyżu do górnego niżu. 

Wznoszenie się lżejszej masy powietrza ku górze. 

Osiadanie powietrza o większej gęstości i powstanie przypowierzchniowego wyżu. 

Powstanie przypowierzchniowego niżu i górnego wyżu. 

## Ćwiczenie 6



Opisz, jaki wpływ ma ogólna cyrkulacja atmosfery na powstawanie pustyń zwrotnikowych.

## Ćwiczenie 7



Oceń, czy stwierdzenia są prawdziwe czy fałszywe.

Stwierdzenie	Prawda	Falsz
W niskich szerokościach geograficznych ilość promieniowania słonecznego absorbowanego przez Ziemię i atmosferę przewyższa straty związane z jego wypromieniowywaniem.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Gdyby nie występowało obrotowe Ziemi gorące powietrze nad równikiem wznosiłoby się ku górze i docierałoby góra aż do biegunów.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Układ ciśnienia i ruch obrotowy Ziemi powodują, że w strefach polarnych dominują w dolnej troposferze wiatry zachodnie, w szerokościach umiarkowanych – wschodnie.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Intensywna konwekcja w strefie równikowej spowodowana jest silnym nagrzaniem podłoża, uwalnianiem energii podczas skraplania wody, a także największą grubością troposfery.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

## Ćwiczenie 8



Na podstawie dostępnych źródeł wiedzy opisz, jaki wpływ na warunki pogodowe ma osłabienie oscylacji północnoatlantyckiej.

# Dla nauczyciela

---

## SCENARIUSZ LEKCJI

**Imię i nazwisko autora:** Anna Ruszczyk

**Przedmiot:** geografia

**Temat zajęć:** Cyrkulacja powietrza w różnych strefach Ziemi. Czynniki wpływające na globalną cyrkulację atmosfery

**Grupa docelowa:** III etap edukacyjny, liceum/technikum, zakres podstawowy, klasa I

**Podstawa programowa:**

Zakres podstawowy: III. Atmosfera: czynniki klimatotwórcze, rozkład temperatury powietrza, ciśnienia atmosferycznego i opadów, ogólna cyrkulacja atmosferyczna, mapa synoptyczna, strefy klimatyczne i typy klimatów.

Uczeń:

3. wyjaśnia mechanizm cyrkulacji atmosferycznej i rozkład opadów atmosferycznych na Ziemi.

**Kształtowane kompetencje kluczowe:**

- kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji,
- kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii,
- kompetencje cyfrowe,
- kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.

**Cele operacyjne**

Uczeń:

- opisuje trójkomórkowy schemat globalnej cyrkulacji atmosfery,
- wyjaśnia mechanizm cyrkulacji termicznej,
- charakteryzuje wybrane czynniki wpływające na globalną cyrkulację atmosfery.

**Strategie nauczania** konektywizm, konstruktywizm

**Metody nauczania:** rozmowa kierowana, dyskusja, poster, metody operatywne (praca z symulacją interaktywną, z tekstem e-materiału, wykonywanie ćwiczeń)

**Formy zajęć:** praca indywidualna, praca w grupach, praca na forum klasy

**Środki dydaktyczne:** tablica interaktywna/monitor dotykowy/tablety, e-materiał, podręcznik, arkusze papieru, pisaki

**Materiały pomocnicze:**

L.J. Battan, *Pogoda*, tłum. S. Moszkowicz, PWN, Warszawa 1979.

*Meteorologia i klimatologia*, red. K. Kozuchowski, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2005.

G.D. Roth, *Pogoda i klimat*, tłum. Z. Woliński, Świat Książki, Warszawa 2000.

A. Woś, *Meteorologia dla geografów*, Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań 2006.

## **PRZEBIEG LEKCJI**

### **Faza wprowadzająca**

- Nauczyciel wprowadza uczniów w tematykę zajęć – rozmowa kierowana na temat zróżnicowania nagrzania powierzchni Ziemi i stwierdzenie, że niejednakowe nagrzewanie się powierzchni Ziemi, a w konsekwencji powietrza, powoduje różnice w rozkładzie ciśnienia atmosferycznego.
- Nauczyciel podaje temat i cele lekcji.

### **Faza realizacyjna**

- Pogadanka z wykorzystaniem tekstu e-materiału: na czym polega cyrkulacja termiczna? (kolejne etapy tej cyrkulacji).
- Ruch mas powietrza w ośrodkach wysokiego i niskiego ciśnienia oraz między nimi (rysunki na tablicy układu izobar w wyżu i niżu barycznym oraz towarzyszące im kierunki wiatrów na półkuli północnej i południowej – uczniowie przerysowują izobary do zeszytu, zaznaczają W, N, oraz strzałkami ruch powietrza).
- Analiza schematu *Bilans promieniowania na różnych szerokościach geograficznych* (e-materiał).
- Krążenie powietrza na Ziemi – jak powinno przemieszczać się powietrze na Ziemi; wyróżnienie komórek cyrkulacyjnych (modele jedno- i trójkomórkowy – e-materiał).
- Nauczyciel dzieli uczniów na 6 grup – ich zadaniem jest przygotowanie posteru, który przedstawi (scharakteryzuje) komórki cyrkulacyjne na Ziemi (po dwie grupy do komórek Hadleya, Ferrela, polarnych).
- Grupy otrzymują arkusze papieru, tworzą poster: np. rysują ruch powietrza w wybranej komórce, zaznaczają masy powietrza, fronty atmosferyczne i układy baryczne (uczniowie korzystają z e-materiału i podręcznika).

- Po upływie określonego czasu dwie grupy, które pracowały nad tymi samymi komórkami cyrkulacyjnymi, łączą się i ustalają wspólną prezentację.
- Prezentacja pracy grup (wykorzystanie podczas prezentacji schematu zawartego w e-materiale: *Trójkomórkowy model ogólnej cyrkulacji atmosfery*).
- Nauczyciel prosi uczniów o zapoznanie się z symulacją interaktywną (e-materiał) – pracują w parach, obserwują intensywność konwekcji w zależności od wybranych parametrów.
- Dyskusja na forum klasy: czy są czynniki, które lokalnie mogą modyfikować omówiony ruch powietrza? Wykorzystanie schematów i treści zawartych w e-materiale – które czynniki modyfikują ruch powietrza np. przy wiatrach lokalnych? (bryza i wiatry zboczowe).

### **Faza podsumowująca**

- Nauczyciel wprowadza uczniów do fazy ćwiczeń – uczniowie indywidualnie wykonują ćwiczenia z e-materiału wskazane przez nauczyciela.
- Nauczyciel podsumowuje etapy lekcji, zestawiając je z założonymi celami; ocenia pracę uczniów, ich zaangażowanie.
- Uczniowie dzielą się swoimi doświadczeniami, uwagami dotyczącymi lekcji – co było dla nich ciekawe, nowe, trudne, gdzie mogą wykorzystać zdobyte informacje.

### **Praca domowa**

- Wymień czynniki o zasięgu lokalnym, które modyfikują kierunek przemieszczania się wiatru w twoim miejscu zamieszkania. Podaj kilka przykładów obrazujących wpływ tych czynników.

### **Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedium:**

- Symulację interaktywną można wykorzystać we wstępie do lekcji dotyczącej analizy mapy synoptycznej (zakres podstawowy III. 4).
- Zawarta w e-materiale symulacja może zostać wykorzystana we wstępie do lekcji o genezie wiatrów stałych i lokalnych (zakres rozszerzony, dział III. 3).