



IV. Hydrosfera

3. Lodowce górskie i lądolody



Lodowce

Glacjologia. Znaczenie lodowców i lądolodów

- ♦ Nauką badającą lodowce i lądolody jest **glacjologia**.
- ♦ Lodowce zawierają 2,2% wody występującej na powierzchni Ziemi – stanowi to aż 98% wód śródlądowych.
- ♦ Lodowce i stała pokrywa śnieżna zajmują powierzchnię 16,3 mln km² – około 11% powierzchni lądów.
- ♦ Znaczenie badań glacialnych polega jednak nie na wielkości obszaru badań.
 - ♦ Lodowce na obszarach polarnych, pełnią ważną rolę w cyrkulacji atmosferycznej oraz w krążeniu wody w przyrodzie.
 - ♦ Lodowce miały i nadal mają wpływ na kształtowanie rzeźby Ziemi.
 - ♦ Wystarczy tylko przypomnieć, że prawie całe terytorium Polski nosi piętno plejstocénskich zlodowaceń, a gdyby stopniały lodowce i lądolody, to spowodowałyby podwyższenie poziomu Wszechocanu o 66 metrów.



Definicja lodowca

- ♦ **Lodowiec** – znaczne i trwałe nagromadzenie lodu powstałego w wyniku przeobrażenia śniegu.
- ♦ Trudno podać precyzyjne kryteria wielkości i trwałości lodowca.
- ♦ Przykładem może być Lodowczyk pod Bańdziochem, leżący u stóp Mięguszwieckiego Szczytu nad Morskim Okiem, będący płatem śniegu i lodu.
- ♦ Czasami nie znika on w porze letniej nawet przez kilka lat, czasami – gdy lata są cieplejsze – topi się.
 - ♦ Nie spełnia zatem warunku trwałości i stąd jego nazwa “lodowczyk”, a nie “lodowiec”.
- ♦ W Polsce lodowców obecnie nie ma, ale mogłyby być.
- ♦ Lodowce powstają z opadów śnieżnych na obszarach znajdujących się powyżej granicy wieloletniego śniegu.
- ♦ Granica ta po polskiej stronie Tatr występuje na wysokości około 2300 m n.p.m.
- ♦ Ponieważ najwyższy szczyt Polski, Rysy, ma 2499 m n.p.m., właśnie na Rysach mógłby powstać współczesny lodowiec.
 - ♦ Nie powstał, gdyż nachylenie stoku uniemożliwia gromadzenie się śniegu i lodu.
- ♦ Ukształtowanie terenu jest drugim warunkiem powstania lodowców.





Geneza lodowców

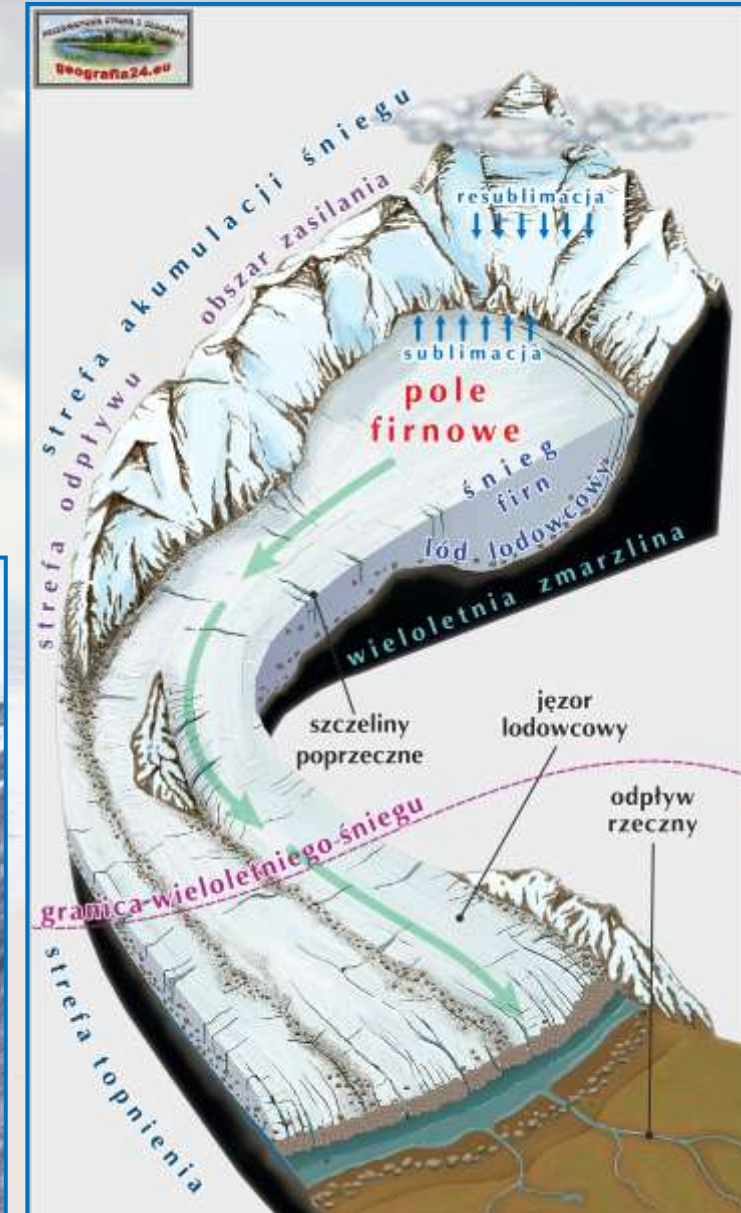
Warunki konieczne do powstania lodowców

- ◆ Powstawanie lodowców wymaga spełnienia określonych warunków:
 - ◆ przewaga opadów nad topnieniem,
 - ◆ lokalne spłaszczenia lub wklęsłości terenu, sprzyjające gromadzeniu się śniegu,
 - ◆ temperatura ujemna (średnia roczna temperatura poniżej 0°C).



1. Przewaga opadów nad topnieniem

- ◆ Muszą występować na tyle duże opady śniegu, że w cieplejszej porze roku nie zdoła on zupełnie stopnieć.
- ◆ Opady śniegu występują na około 40% powierzchni lądowych, ale dodatni bilans śniegu występuje w wysokich szerokościach geograficznych i na obszarach wysokogórskich.
- ◆ Granicę obszaru o dodatnim bilansie śniegu określa się jako **granicę (linię) wieloletniego śniegu** (w literaturze powszechnie stosowana jest także nazwa – “granica wiecznego śniegu” - jest ona nie do końca dobra, ponieważ nic nie jest wieczne, tym bardziej śnieg i lód w okresie globalnego ocieplenia).



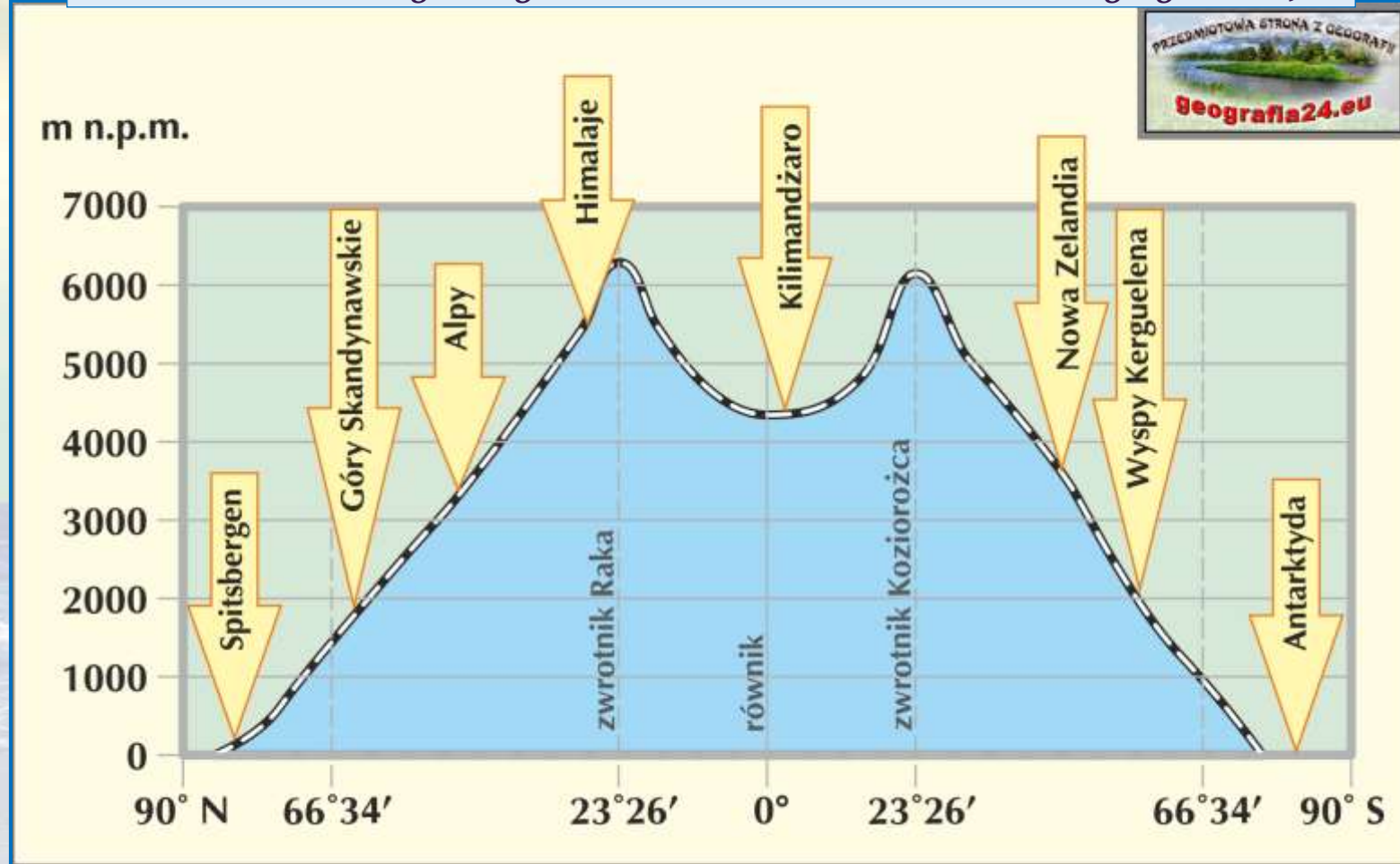
Krążenie wody w obszarach zlodowaczonych;
granica wieloletniego śniegu



Granica wieloletniego śniegu

- ♦ **Położenie granicy wieloletniego śniegu** zależy od szerokości geograficznej:
 - ♦ w strefie równikowej znajduje się ona na wysokości ok. 4500 – 5000 m n.p.m.;
 - ♦ nad zwrotnikami, podnosi się do około 6400 m n.p.m.,
 - ♦ powód: bardzo małe opady;
 - ♦ w wyższych szerokościach geograficznych granica ta leży stopniowo coraz niżej;
 - ♦ w szerokościach umiarkowanych waha się w przedziale: 1500 – 3500 m n.p.m.,
 - ♦ w środkowej Europie przebiega około 2300 m n.p.m.;
 - ♦ w pobliżu biegunów schodzi do poziomu morza.
- ♦ Jednak nawet w strefach polarnych powstawanie lądolodów możliwe jest tylko w warunkach klimatu morskiego.
- ♦ Dodatkowych mas śniegu mogą dostarczać wiatry, a w górach także lawiny.

Granica wieloletniego śniegu na Ziemi w zależności od szerokości geograficznej



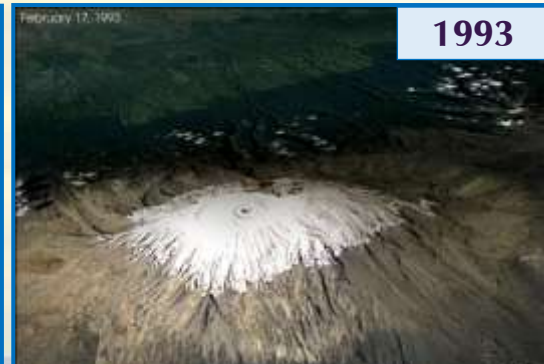
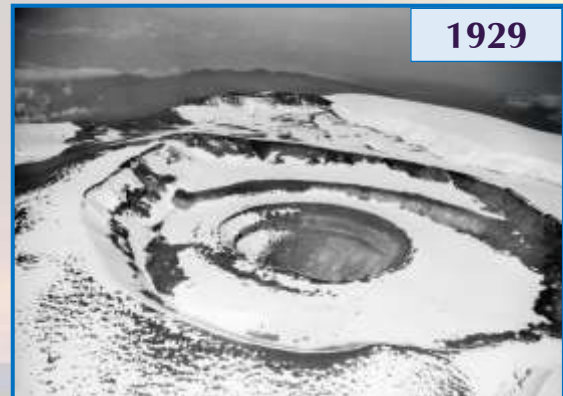
2. Lokalne spłaszczenia lub wklęsłości terenu

- ♦ Bardzo ważnym warunkiem powstawania lodowców jest także **występowanie stosunkowo rozległych, płaskich lub jeszcze lepiej wklęsłych powierzchni**, na których może **gromadzić się śnieg i stopniowo przekształcać w lód**.
- ♦ Brak takich powierzchni uniemożliwia obecnie rozwój lodowców w najwyższych partiach Tatr, mimo że ich wierzchołki położone są powyżej linii wieloletniego śniegu.

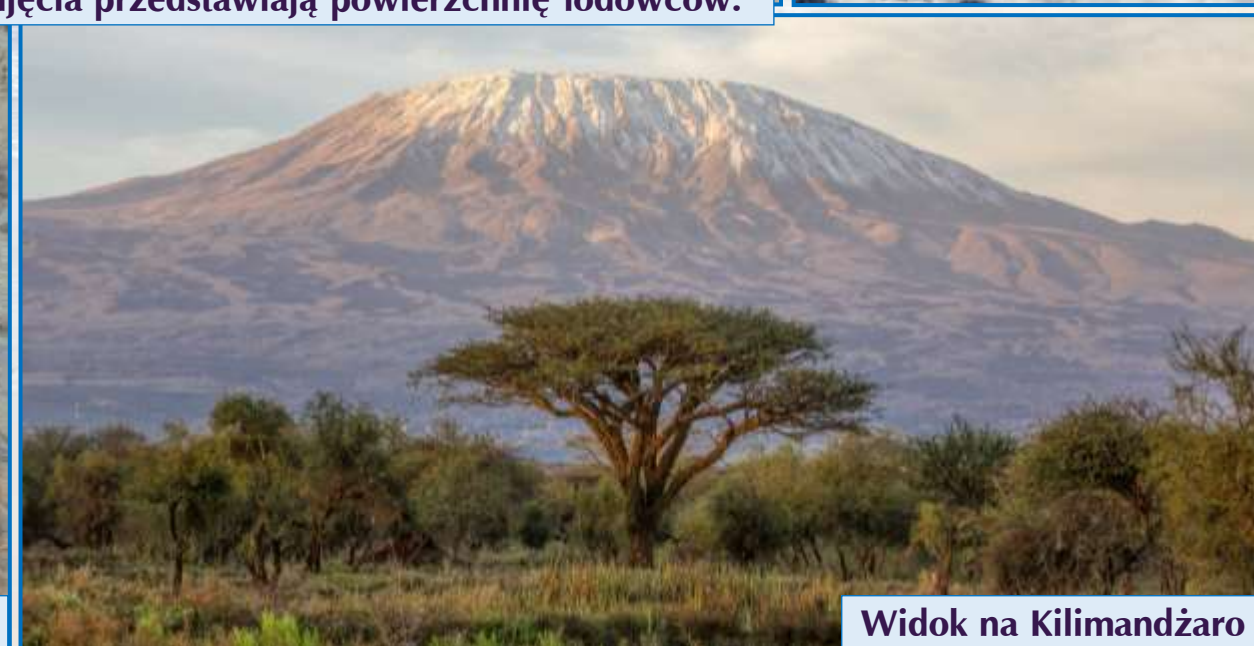


3. Temperatura ujemna

- ♦ Odpowiednio niska temperatura – **ujemna temperatura** jest niezbędnym warunkiem w tworzeniu się lodowców.
- ♦ I tak **średnia roczna temperatura musi być poniżej 0°C**.
- ♦ Niestety obecnie ze względu na globalne ocieplenie obszarów takich jest coraz mniej.
- ♦ Powierzchnia lodowców na wszystkich kontynentach nieustannie zmniejsza się.



Kilimandżaro – najwyższa góra Afryki. Zdjęcia przedstawiają powierzchnię lodowców.



Przemiana śniegu w lód lodowcowy

Przemiany śniegu w niebieski lód lodowcowy

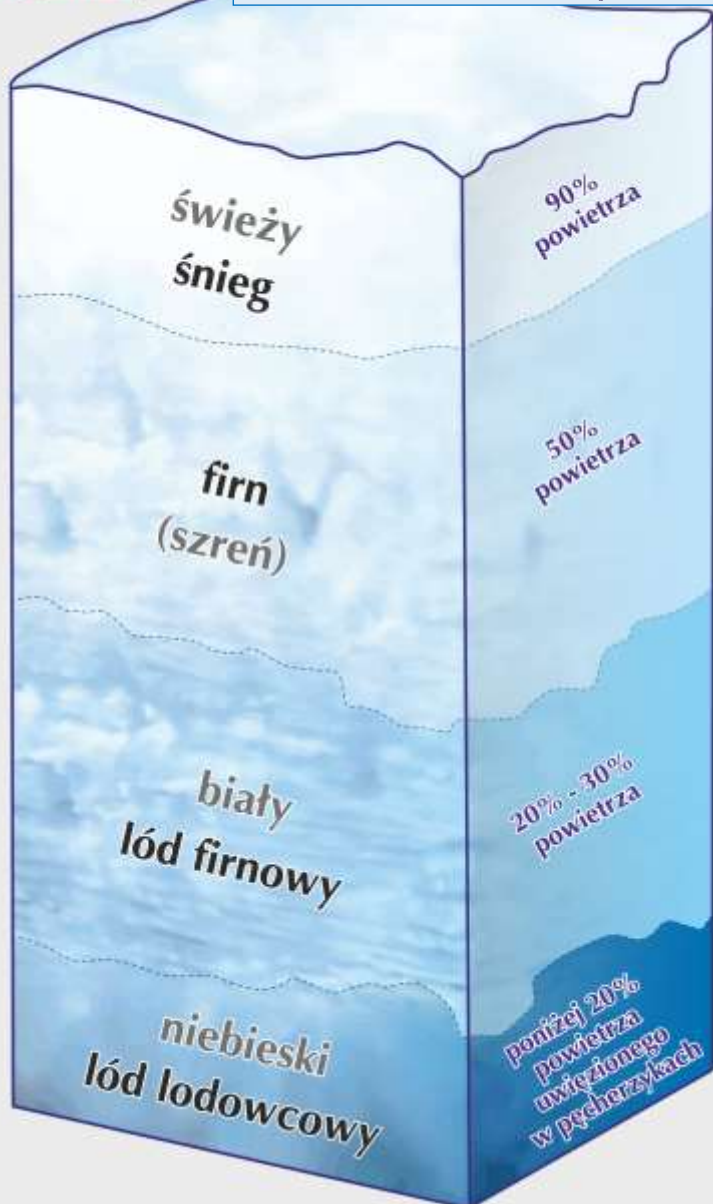


- ♦ Obszar akumulacji śniegu i przekształcania ich w lód lodowcowy to pole firnowe.
- ♦ Proces powstawania lodu lodowcowego w polu firnowym przebiega etapowo.
 - ♦ **Świeży śnieg** cechuje się małą gęstością (poniżej $0,1 \text{ g/cm}^3$), wynikającą z dużej zawartości powietrza oraz wyraźną strukturą krystaliczną płatków.
 - ♦ Wielokrotne częściowe rozmarzanie i zamarzanie śniegu prowadzi do zaniku pierwotnej struktury krystalicznej i utworzenia agregatu drobnych ziaren lodu o wymiarach do 1 mm, określanego jako **firn** lub **szreń**.
 - ♦ Kolejne cykle topnienia i zestalania, odbywające się pod naciskiem nadległych warstw, powodują dalszą rekrytalizację i usunięcie większości powietrza, prowadząc do powstania **białego lodu firnowego**.
 - ♦ Z tego lodu, w warunkach wysokiego ciśnienia wytwarzanego przez ciągle narastającą warstwę, powstaje **niebieski lód lodowcowy**.
 - ♦ Jest on zbudowany z dużych krystalicznych ziaren o wymiarach kilkucentymetrowych i osiąga gęstość około $0,9 \text{ g/cm}^3$.
 - ♦ Cechuje się on właściwościami masy plastycznej – pod wpływem nacisku nadległych warstw może się on przemieszczać w dół.



Przemiany śniegu w lód lodowcowy

Przemiany śniegu w niebieski lód lodowcowy



- ♦ Ocenia się, że z warstwy świeżego śniegu o miąższości 15 metrów powstaje warstwa lodu lodowcowego o grubości zaledwie 1 mm.
- ♦ Czas tego przeobrażenia jest bardzo zróżnicowany:
 - ♦ od zaledwie 3-5 lat w niektórych lodowcach Alaski aż po ponad 100 lat na północy Grenlandii.





Ruch lodowców

Ruch lodowców i lądolodów

- ♦ W zależności od usytuowania pola firnowego i topografii otaczającego terenu **lód lodowcowy**:
 - ♦ rozptywa się **frontalnie** we wszystkich kierunkach (**lodowce kontynentalne, czapy lodowe**),
 - ♦ spływa **jęzorami** w doliny śródgórskie (**lodowce górskie**).



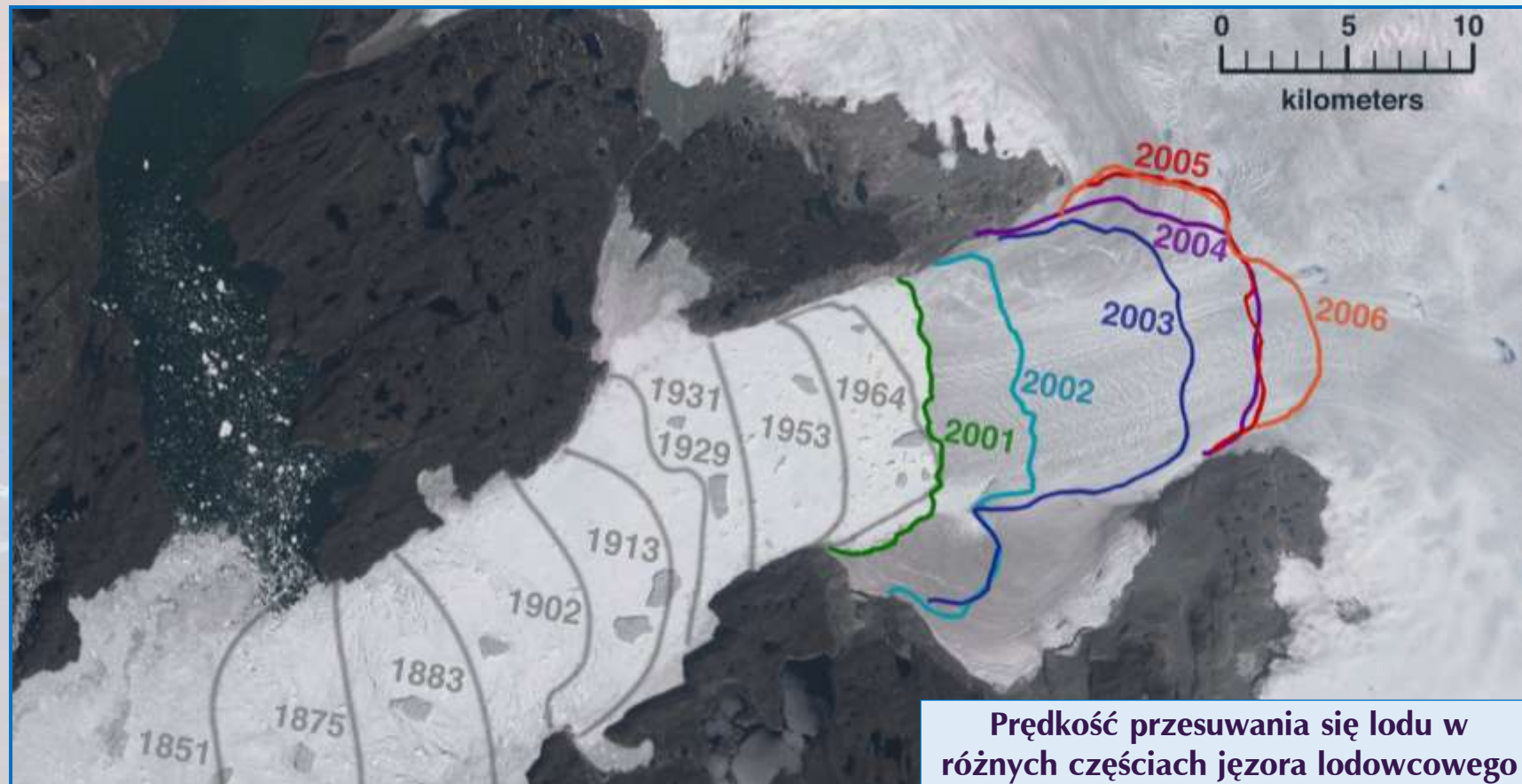
Lodowiec kontynentalny na Grenlandii



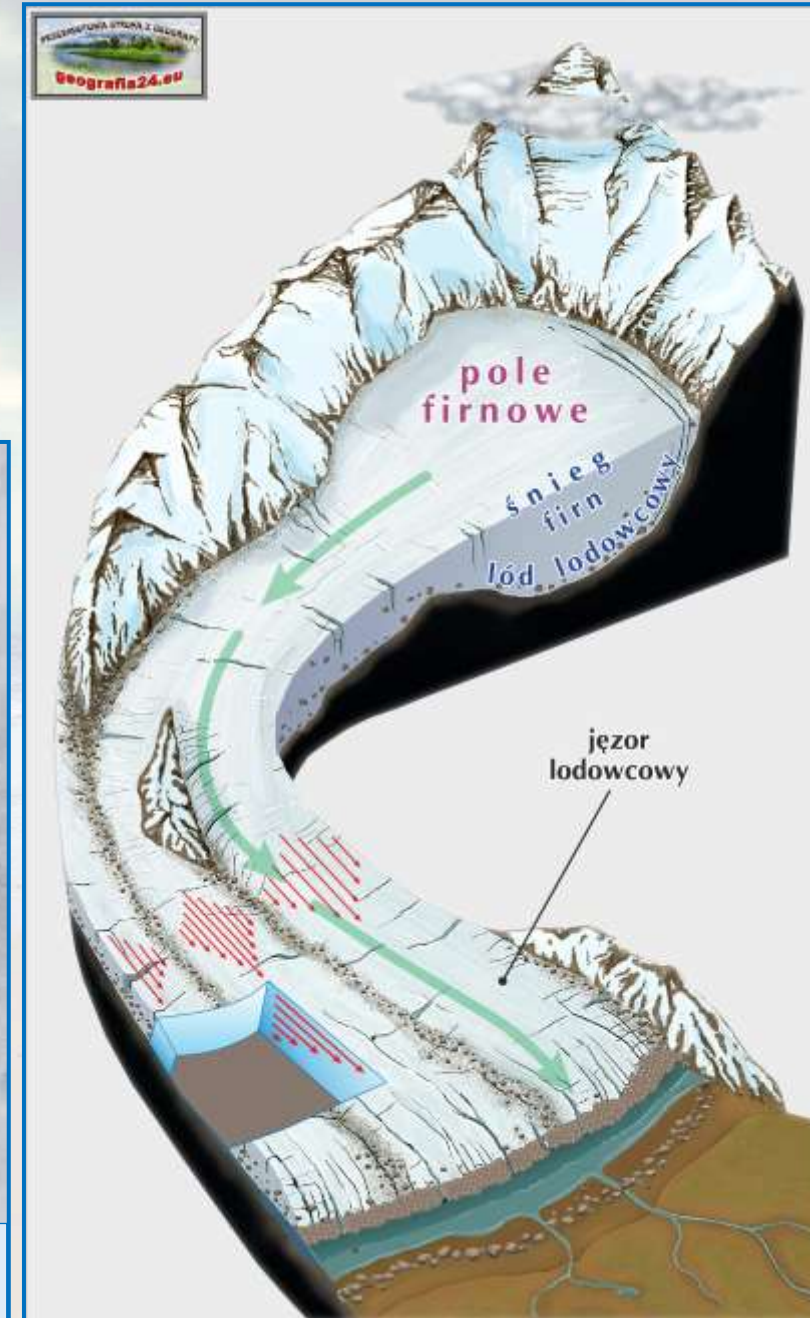
Lodowiec górski w Alpach

Tempo ruchu lodowca

- Tempo przemieszczania się lodowca jest związane z nachyleniem zboczy i ma charakter grawitacyjny.
- W znacznym stopniu wynika też z ciśnienia nadległych warstw lodu, firnu i śniegu, pod którego wpływem lód lodowcowy – o kryształach złożonych z cienkich, równoległe ułożonych blaszek – staje się plastyczny.
- Stwierdzono, że jest ona największa na jego powierzchni na środku i zmniejsza się w miarę wzrostu głębokości oraz zbliżania się do ścian doliny lodowcowej.

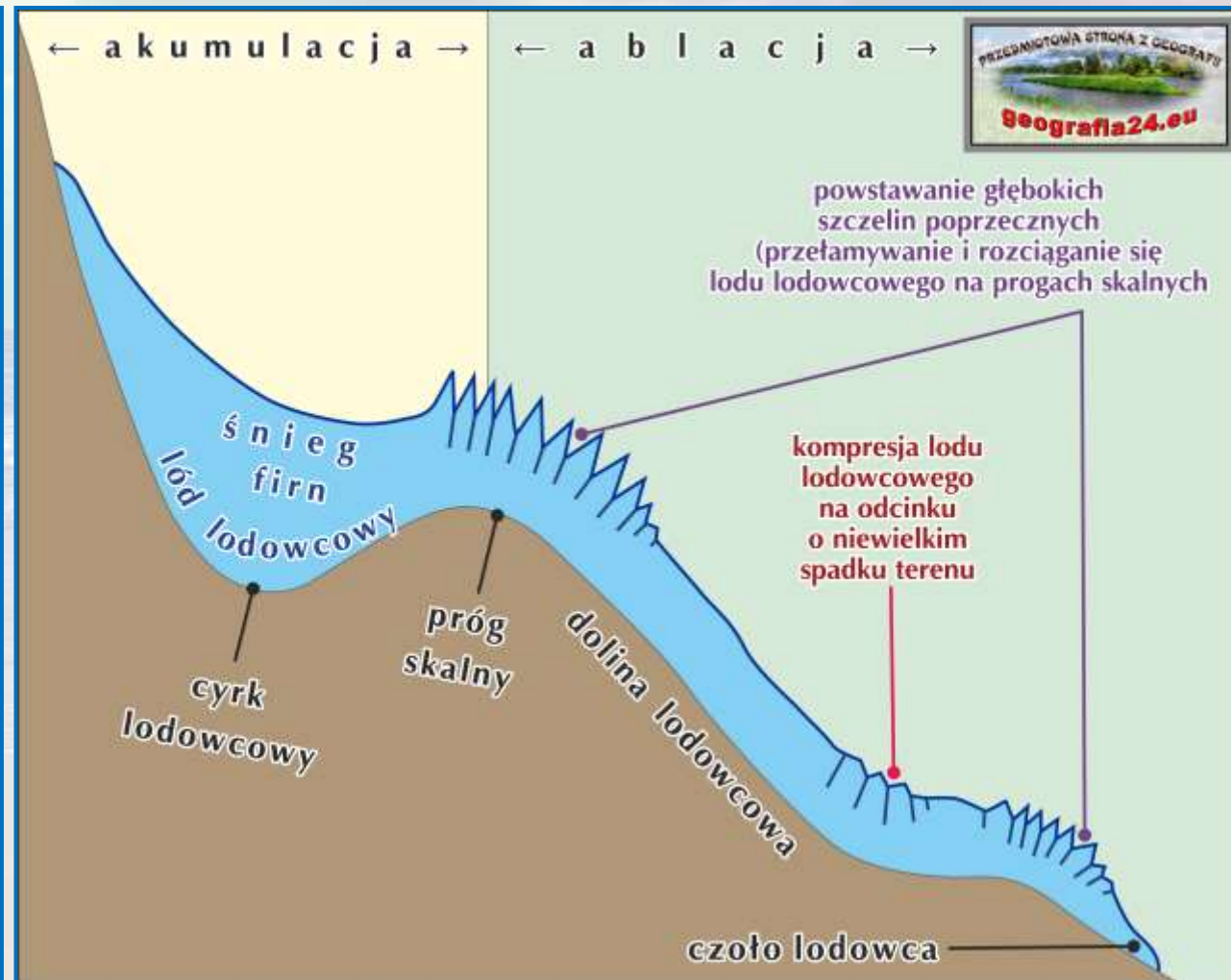
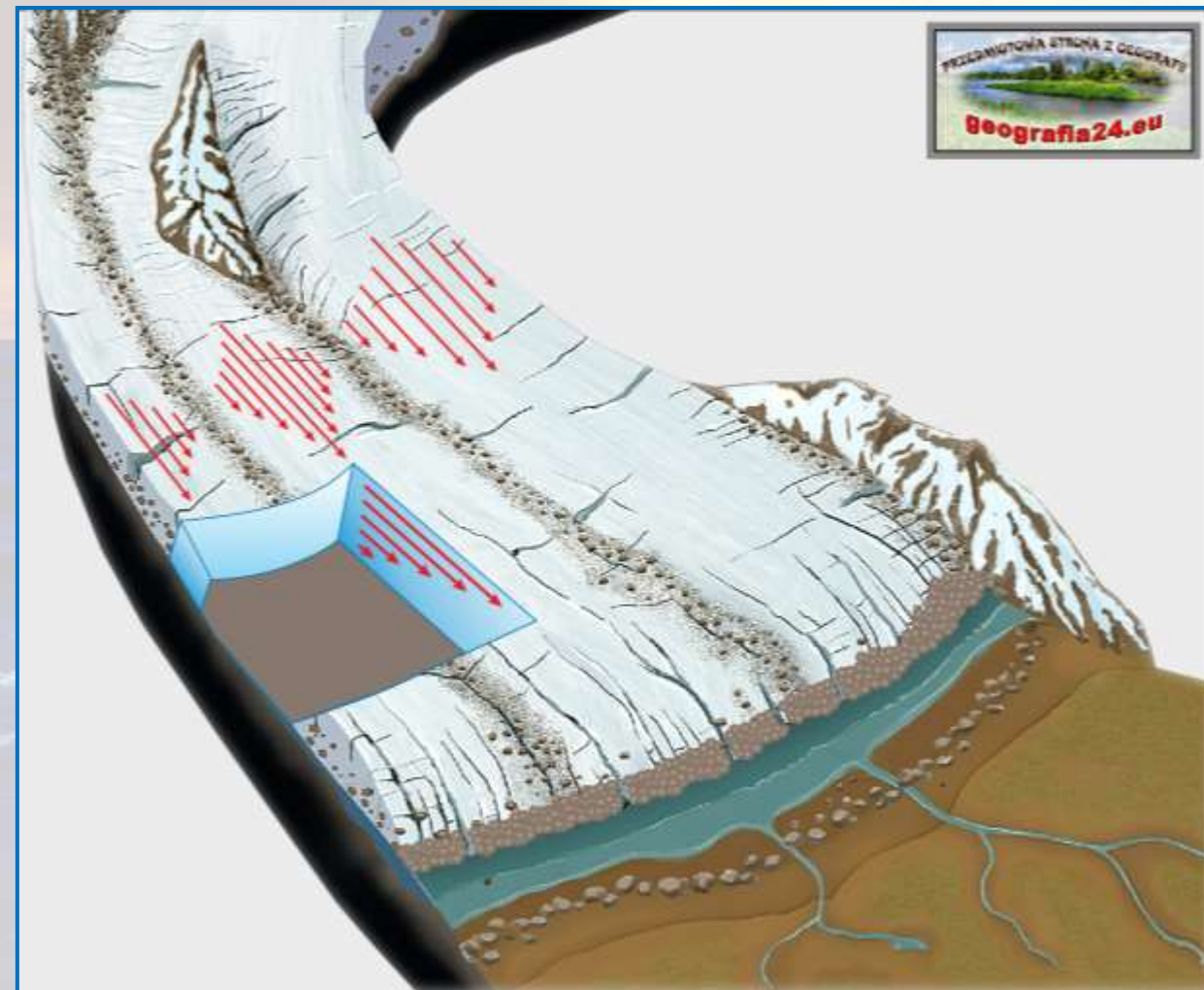


Prędkość przesuwania się lodu w różnych częściach jezora lodowcowego



Prędkość ruchu lodowca

- ♦ Prędkość ruchu lodowca jest uzależniona od nachylenia i masy pełznącego lodu:
 - ♦ największa na odcinkach o znacznym nachyleniu podłoża, gdzie ulega rozciąganiu,
 - ♦ najmniejsza na zboczach o małym spadku, gdzie podlega kompresji.



Prędkość ruchu lodowca

- ♦ Prędkość ruchu lodowca na świecie jest bardzo zróżnicowana.
- ♦ Najszybciej poruszają się lodowce:
 - ♦ na obrzeżach Grenlandii – do 35 m na dobę (do prawie 10 km/rok),
 - ♦ na Alasce – do 12 m na dobę (do 4 km/rok).
- ♦ Znacznie wolniej lodowce:
 - ♦ w Himalajach – do 3,5 m na dobę (do 1 km/rok),
 - ♦ w Alpach – najwyżej 0,4 m na dobę (do 100 m/rok),
 - ♦ na Antarktydzie – zaledwie 1 m na rok.



Lodowce himalajskie przemieszczają się w tempie dochodzącym do 1 km na rok



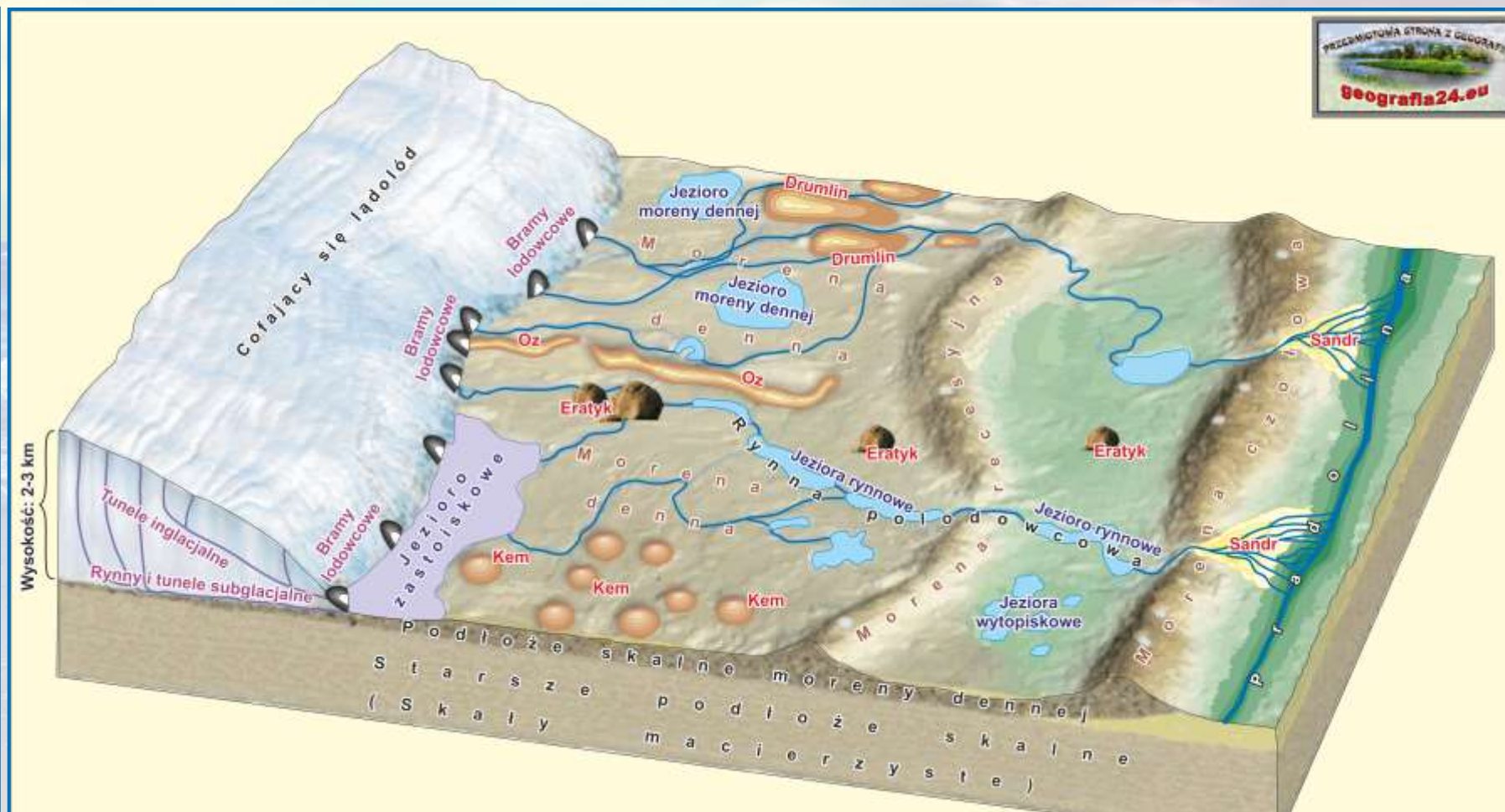
Najszybsze fragmenty lądolodu grenlandzkiego przemieszczają się w tempie dochodzącym do 10 km na rok

Rodzaje ruchów lodowca

- ♦ **Ruch lodu w lodowcu** nie jest równoznaczny z przesuwaniem się do przodu czoła lodowca:
 - ♦ **transgresja lodowca** – jeżeli czoło przesuwa się do przodu tylko wtedy, kiedy tempo ablacji jest mniejsze od tempa dostawy lodu.
 - ♦ **stagnacja lodowca** – jeżeli dostawa lodu i topnienie (ablacja) równoważą się, czoło pozostaje w spoczynku.
 - ♦ **regresja lodowca** – jeżeli ablacja jest szybsza od dostawy lodu, czoło wycofuje się.



Zlodowacenia w Polsce





Klasyfikacje lodowców

Klasyfikacje lodowców

- ♦ Lodowce dzielimy **ze względu na morfologię (kształt, wielkość) i ukierunkowanie**.
- ♦ Podstawowy podział lodowców obejmuje tylko dwie kategorie:
 - ♦ **lodowce kontynentalne,**
 - ♦ **lodowce górskie.**



Lodowiec kontynentalny (lądolód) na Antarktydzie



Lodowiec górski w Alpach

Klasyfikacje lodowców

- ♦ **Lodowce kontynentalne** – tworzą olbrzymie, lekko wypukłe czasze lodowe prawie niezależne od rzeźby podłoża.
- ♦ Śnieg gromadzi się i przekształca w lód lodowcowy w środkowej części czaszy lodowej, która stanowi w tym przypadku pole firnowe, zaś podlega ablacji na peryferiach.
- ♦ Ładolód Antarktydy zajmujący prawie całą jej powierzchnię:
 - ♦ pokrywa lodowa, o grubości przekraczającej miejscami 4500 m (największa wartość to 4776 m), koncentruje ponad 90% ogólnej masy lodu lodowcowego na Ziemi;
- ♦ Ładolód Grenlandii pokrywający 80% jej powierzchni:
 - ♦ grubość do ok. 3400 m, skupia prawie 9% ogólnej masy lodu lodowcowego na Ziemi.

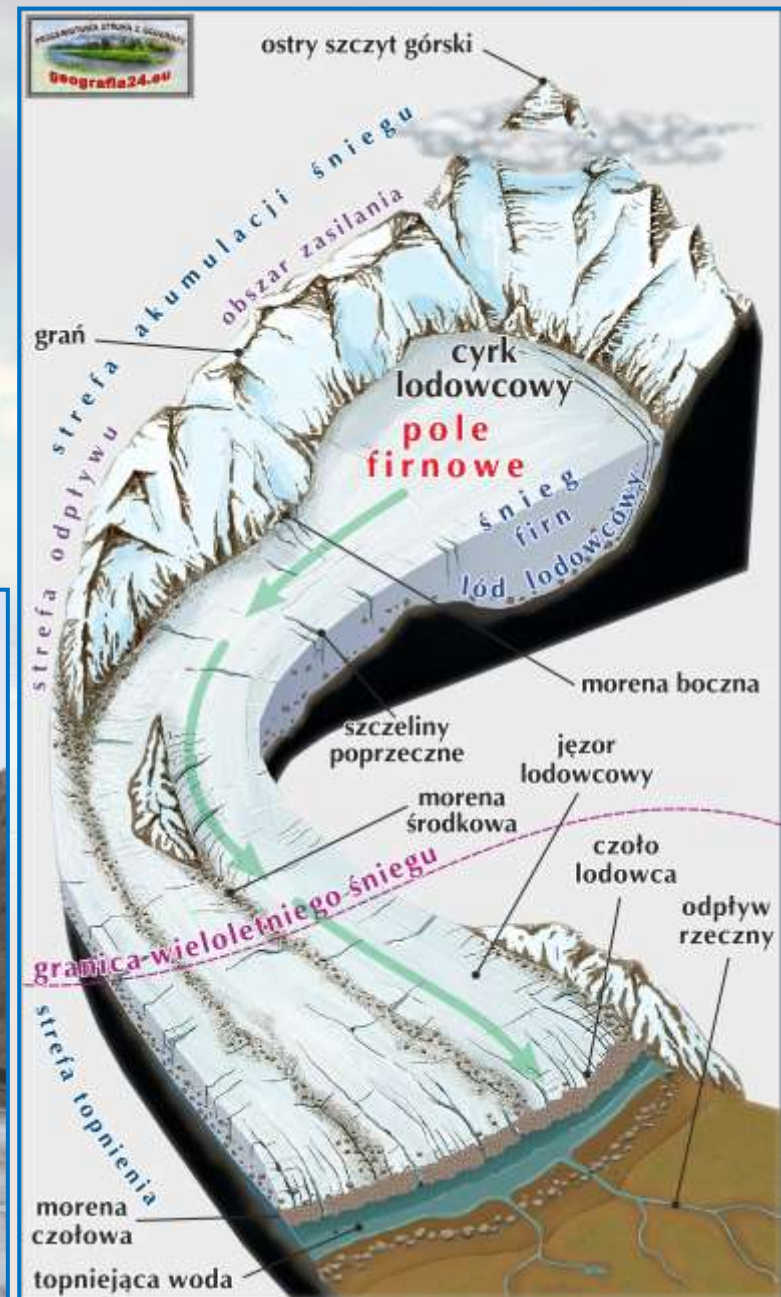


Ładolód kontynentalny –
grenlandzki



Klasyfikacje lodowców

- ♦ **Lodowce górskie** – charakteryzują się stosunkowo małymi rozmiarami.
 - ♦ Składają się z dwóch podstawowych elementów, tzn. z pola firnowego (jest to obszar źródłowy) i jezora lodowcowego (jest to strumień lodu spływający pod wpływem grawitacji w kierunku obniżeń).
 - ♦ Jego długość zależy od nasilenia ablacji (topnienie i sublimacja lodu), tempa ruchu i intensywności “produkcji” lodu w polu firnowym.
 - ♦ Czoło jezora lodowca sięga poniżej linii wieloletniego śniegu.
 - ♦ W plejstocenie w Polsce lodowce górskie powstały w Tatrach i w Karkonoszach.
 - ♦ Do dziś pozostały po nich tylko charakterystyczne elementy rzeźby.



Lodowiec górski



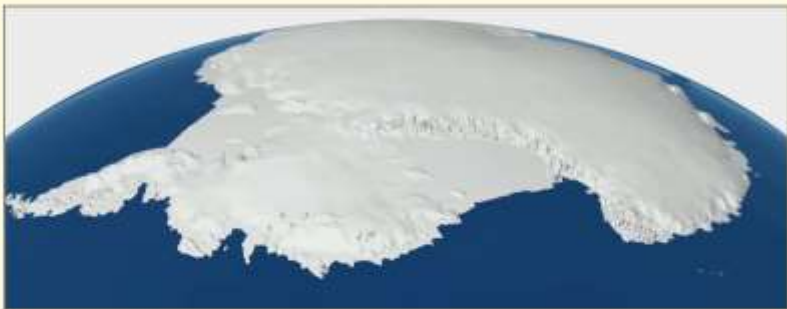
A. Lodowce kontynentalne

1. Łądolody

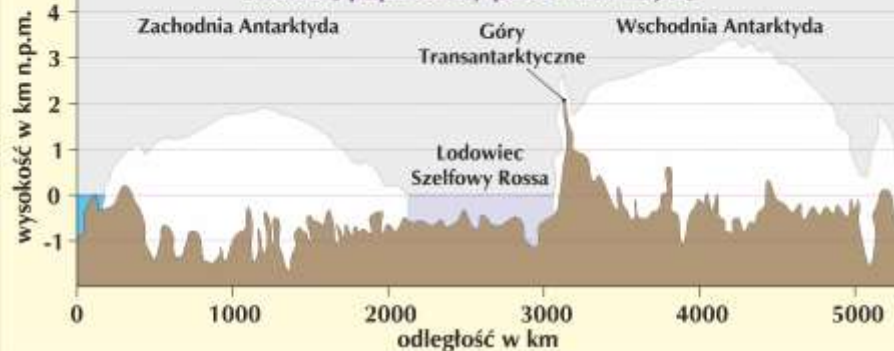
♦ Łądolody to:

- ♦ wielkie czasy lodowe zakrywające całkowicie powierzchnię jakiegoś obszaru (w tym także wszystkie formy jego rzeźby);
- ♦ grubości nawet kilku kilometrów (miejscami ponad 4500 m);
- ♦ z lodem poruszającym się w różnych kierunkach.
- ♦ Występowanie: Antarktyda (14 mln km²) i Grenlandia (1,7 mln km²).
 - ♦ W Polsce występował ostatnio podczas zlodowaceń plejstocénskich.

Łądolód na Antarktydzie



Przekrój poprzeczny przez Antarktydę



Grenlandia

2. Kopuły i czapy lodowe

♦ Kopuły i czapy lodowe:

- ♦ mają one wygląd wypukłej czaszy;
- ♦ pokrywają mniejsze obszary niż lądolody:
 - ♦ powierzchnie rzędu tysięcy i setek km^2 ,
 - ♦ obejmują całe wyspy i duże fragmenty mało urozmaiconych wyżyn czy gór;
- ♦ ich grubość dochodzi do kilkuset metrów.

♦ Występowanie:

- ♦ wyspy Arktyki,
- ♦ południowo-wschodnia część Islandii,
- ♦ wyspy położone w sąsiedztwie Antarktydy.



Islandia z widocznymi czapami lodowymi

3. Pola lodowe (lodowiec norweski, fieldowy, wyżynny)

♦ Pola lodowe (lodowiec norweski, fieldowy, wyżynny):

- ♦ stosunkowo małe czapy lodowe pokrywające częściowo mniejsze obszary;
- ♦ często tworzą się na płaskich szczytach wyżyn lub gór, dlatego są nazywane **lodowcami wyżynnymi** (od charakterystycznych **fieldów** w Norwegii);
- ♦ rozległe pole firnowe ze spływającymi od niego szerokimi, ale stosunkowo krótkimi jeziorami.

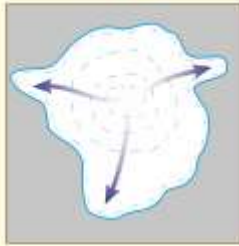
♦ Występowanie:

- ♦ Norwegia,
- ♦ Islandia,
- ♦ Nowa Ziemia,
- ♦ Patagonia,
- ♦ Wyspy Arktyki,
- ♦ Svalbard (Spitsbergen),
- ♦ Ziemia Baffina.



Jostedalsbreen – największy lodowiec w kontynentalnej Europie (w Norwegii). Najwyższym szczytem na lodowcu jest Lodalsklpa – nunatak mający wysokość 2083 m.

Lodowiec fieldowy (norweski, wyżynny)



4. Lodowce szelfowe

- ♦ **Lodowce szelfowe** – grube na 200-700 metrów tafle lodowe powstające w wyniku wchodzenia lądolodu do **morza szelfowego**,
 - ♦ od strony morza widoczne są wysokie klify, których wysokość dochodzi do 50 m;
 - ♦ od czoła lodowca szelfowego unoszonego przez wody morskie odrywają się często wielkie bloki lodu (lodowiec “cieli się”), które jako **góry lodowe** dryfują z prądami morskimi, zaś ich mniejsze bryły tworzą **pak lodowy** (pływającego lodu na morzu).



Lądowiec szelfowy





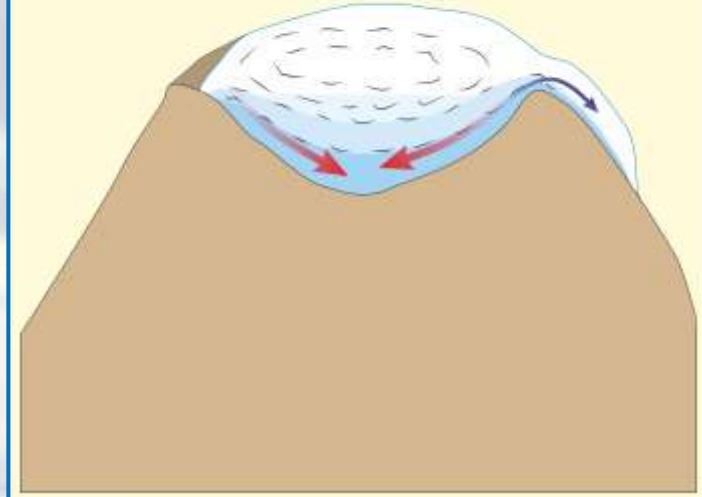
B. Lodowce górskie

1. Lodowce górskich szczytów

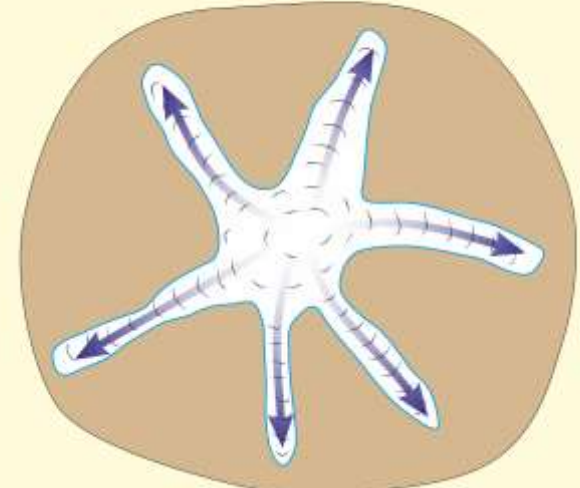
♦ **Lodowce górskich szczytów** dzielą się na:

- ♦ **kraterowe** (tzw. **kaldery**) – ukształtowane w kraterach wygasłych lub drzemiących wulkanów,
 - ♦ przykład: lodowiec Orizaba w Meksyku;
- ♦ **gwiaździste** (tzw. **gwiazdopodobne**) – powstające na szczytach gór, gdzie przemieszczają się z jednego pola firnowego w postaci krótkich języków,
 - ♦ występują m.in. na Uralu.

Lodowiec kraterowy (tzw. kaldery)



Lodowiec gwiaździsty (tzw. gwiazdopodobny)



Orizaba (5636 m n.p.m.) to czynny wulkan będący najwyższym szczytem Meksyku i całej Ameryki Środkowej. Jest położony w południowej części kraju.

2. Lodowce górskich zboczy

♦ **Lodowce górskich zboczy** dzielą się na:

♦ **cyrkowe (karowe), (typ pirenejski):**

- ♦ złożone w zasadzie tylko z pola firnowego,
- ♦ niewielkie, o zaokrąglonym obrysie, **bez wypływających jeziorów lodowcowych**,
- ♦ tworzą się w lokalnych zagłębieniach terenu;

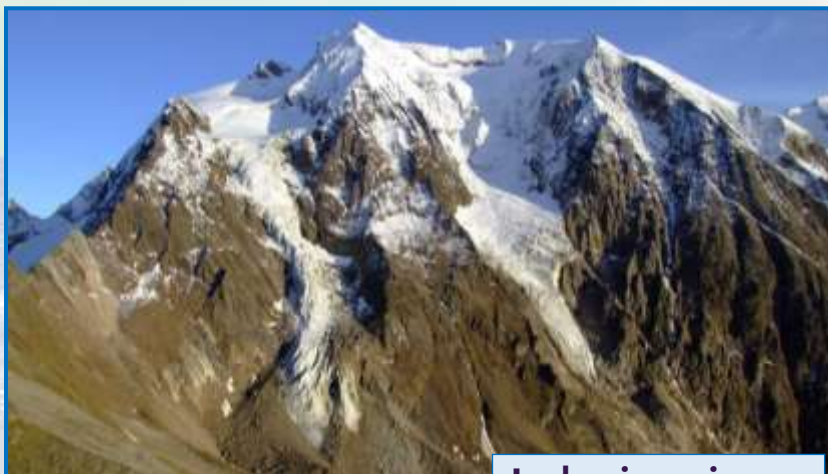
♦ występowanie:

- ♦ Pireneje (Glaciar de Aneto, Glaciar de Coronas),
- ♦ Góry Stanowe,
- ♦ Góry Wierchojańskie;

♦ **wiszące:**

- ♦ powstające w niewielkich, płytkich zapadliskach na stromych zboczach;
- ♦ występowanie:
 - ♦ Himalaje – Góry Lhotse.

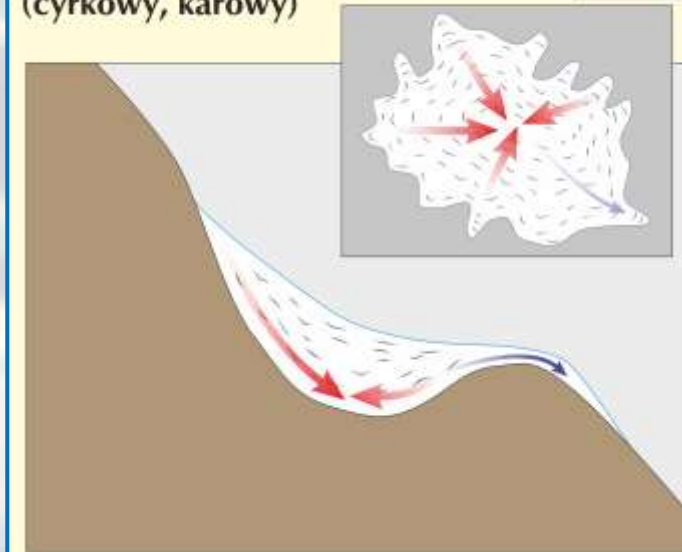
Lodowiec cirkowy Styggebrean w Norwegii



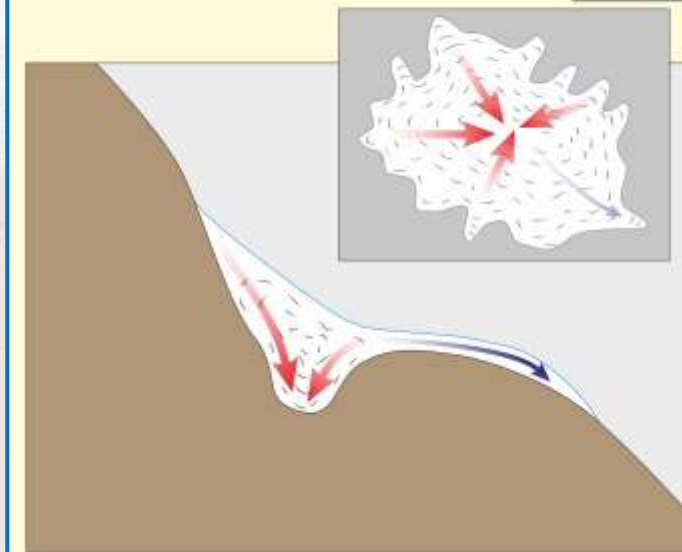
Lodowiec wiszący



Lodowiec pirenejski
(cyrkowy, karowy)



Lodowiec wiszący



3. Lodowce dolinne

♦ **Lodowce dolinne** dzielą się na:

♦ **proste** (*typ alpejski*):

♦ składające się z **jednego pola firnowego i jednego jezora lodowcowego**;

♦ występowanie:

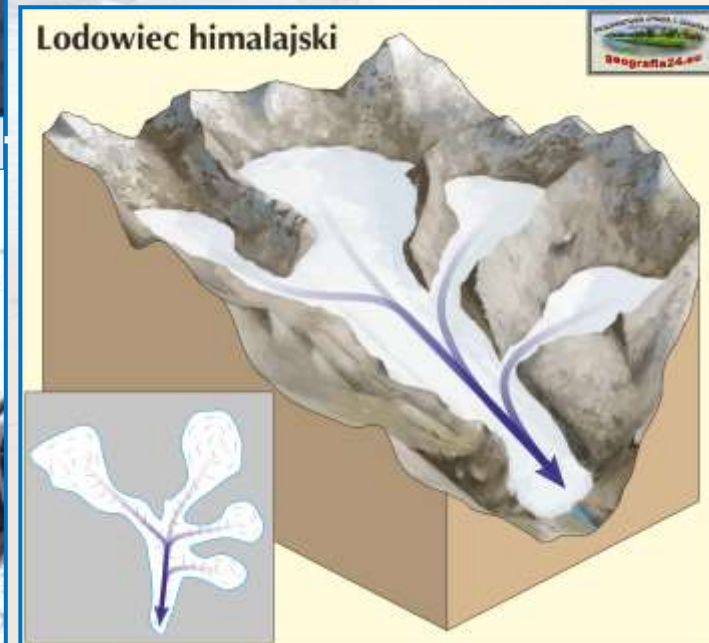
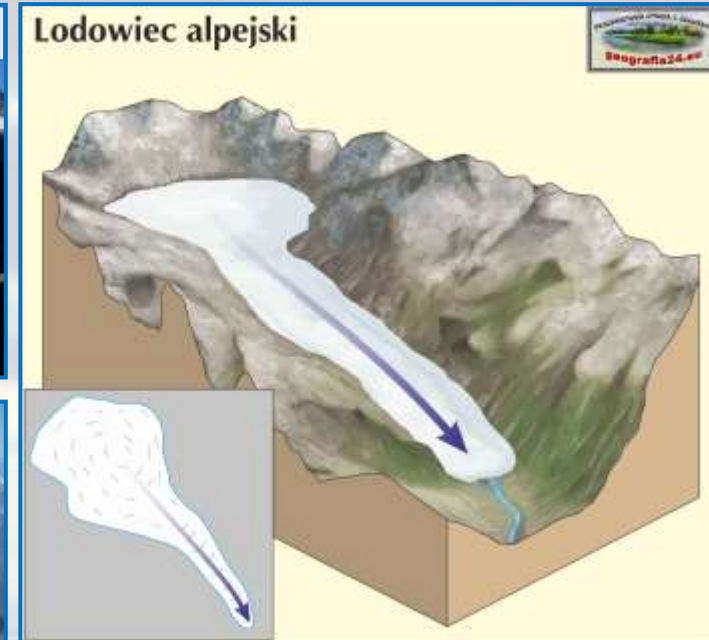
- ♦ Alpy (Grosser Aletsch Gletscher, Mer de Glace),
- ♦ Nowa Zelandia,
- ♦ Kaukaz,
- ♦ Andy,
- ♦ Alaska;

♦ **złożone (dendrytyczne)** (*typ himalajski*):

♦ powstające z połączenia wielu jezorów wypływających z jednego lub kilku pól firnowych;

♦ występowanie:

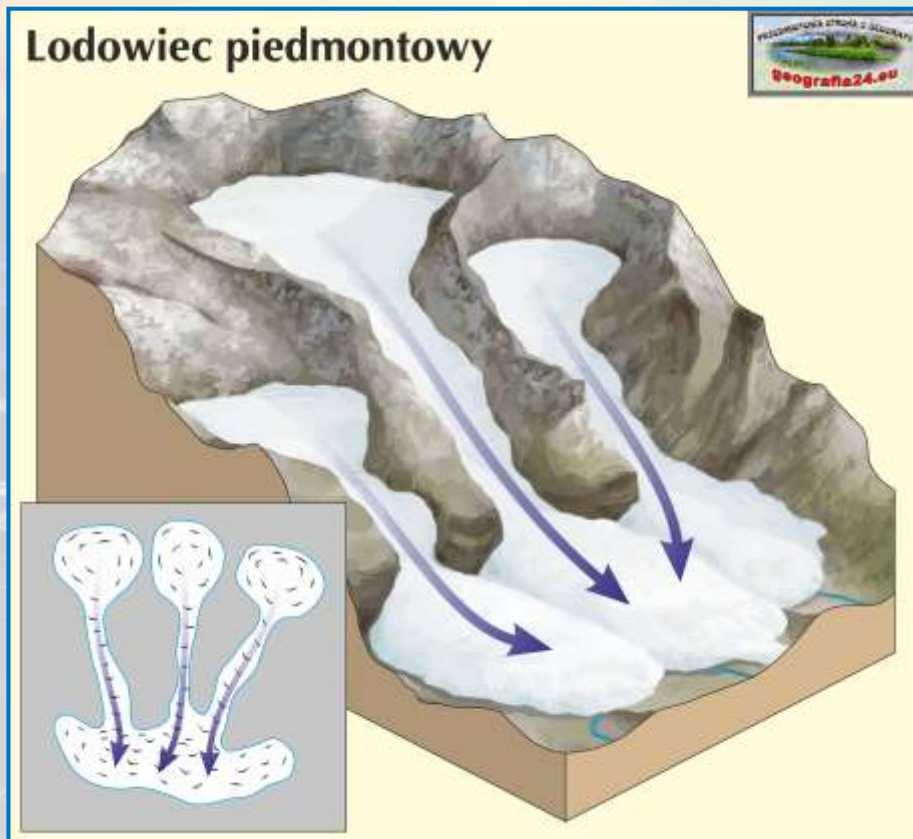
- ♦ Himalaje (Kangshung, Lhotse),
- ♦ Pamir (Lodowiec Fedczenki),
- ♦ Karakorum (Siachen),
- ♦ Góry św. Eliasza,
- ♦ Alaska/Kanada (Lodowiec Hubbarda),
- ♦ Alaska (Lodowiec Beringa).



4. Lodowce podgórskie (przedgórskie)

♦ **Lodowce podgórskie (przedgórskie)** (*typ piedmontowy*):

- ♦ z kilku pól firnowych spływają jezory, tworząc na równinnym przedpolu gór jedną wielką pokrywę lodową,
- ♦ występowanie:
 - ♦ Góry Św. Eliasza na Alasce,
 - ♦ Góry Nadbrzeżne w Kanadzie,
 - ♦ Ziemia Ognista.



Lodowiec piedmontowy



KONIEC



Materiały pomocnicze do nauki
Opracowane w celach edukacyjnych (niekomercyjnych)

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

WSZELKIE PRAWA ZASTRZEŻONE
- KOPIOWANIE ZABRONIONE -