



UNIwersytet
MIKOŁAJA KOPERNIKA
W TORUNIU

Wydział Nauk o Ziemi

Złodowacenie Ziemi jako efekt zmian klimatu

Wojciech Wysota

08.12.2017



Motto

„Cywilizacja istnieje dzięki przyzwoleniu geologii i może ulec zmianie bez żadnego ostrzeżenia”

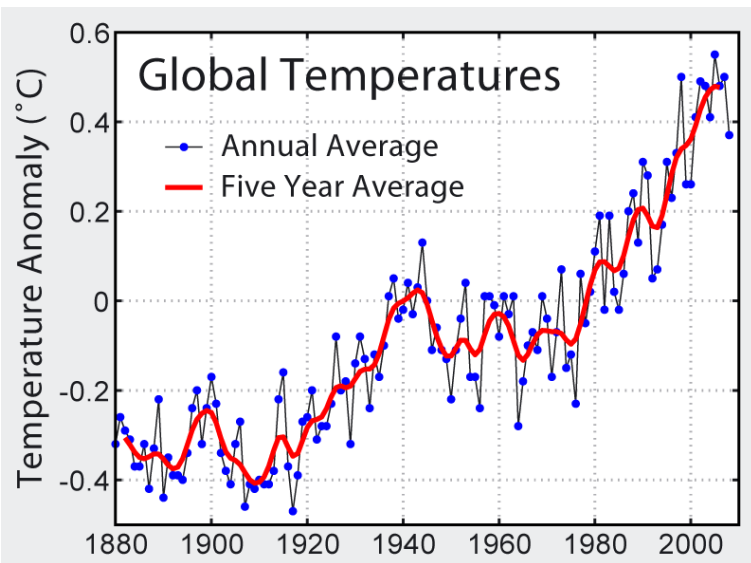
(Will Durant)



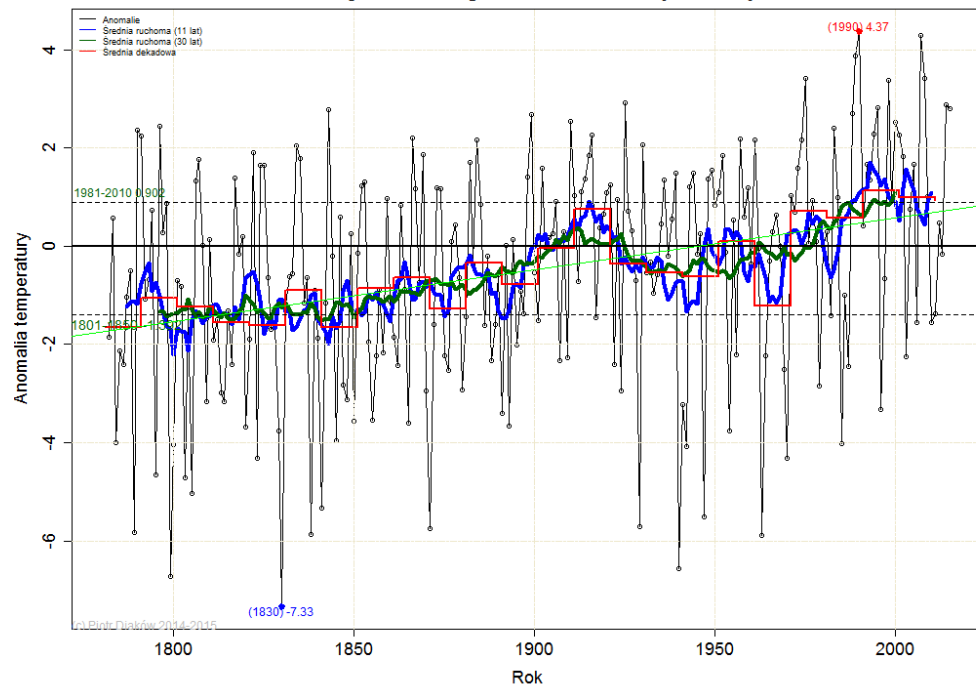
Kadry z filmu „*The day after tomorrow*”
Rolanda Emmericha , 2004

Klimat

Klimat to ogół zjawisk pogodowych na danym obszarze, ustalany na podstawie wieloletnich obserwacji instrumentalnych (temperatura, opady, wiatr, etc.).



Anomalie temperatury w Polsce (zima) 1781-2015



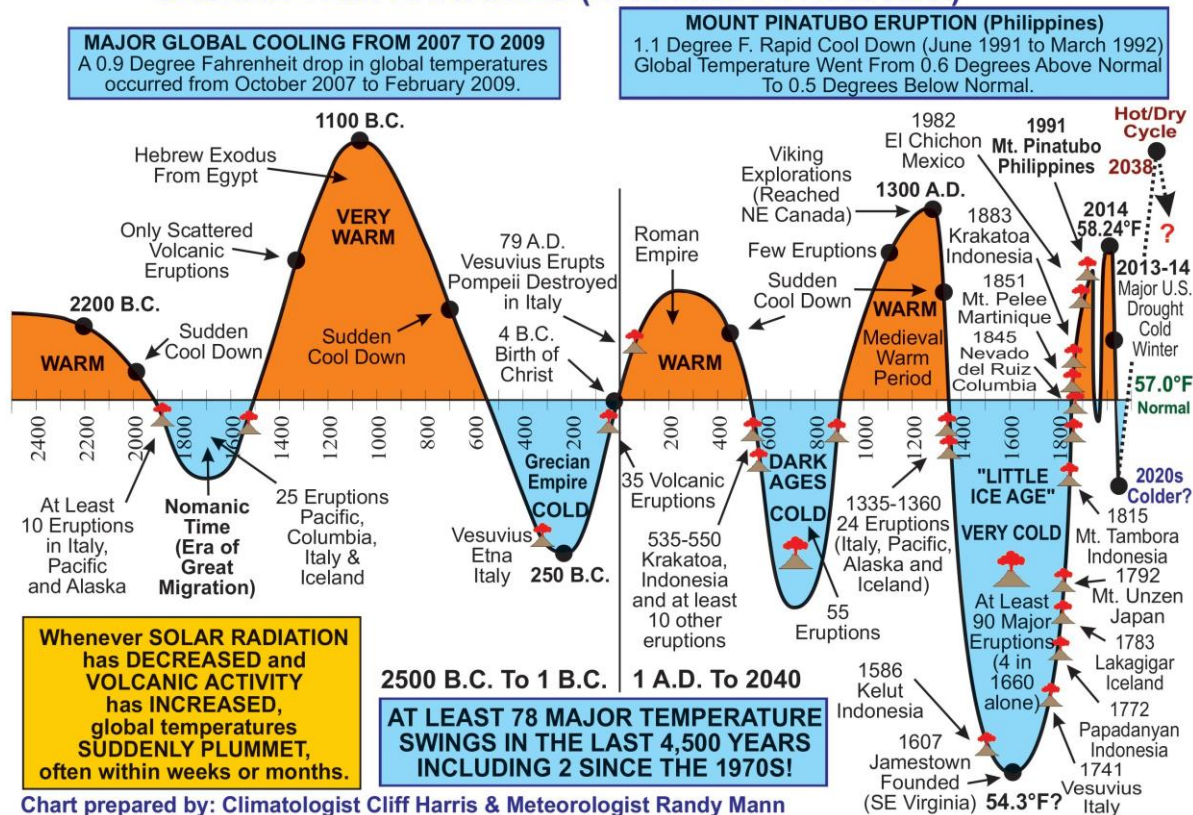
Źródło:
<https://meteomodel.pl>



Paleoklimat

Dawne warunki klimatyczne (paleoklimat) odtwarzane na podstawie danych pośrednich (np. zapiski historyczne, dane archeologiczne, palaeobotaniczne, zapis geologiczny).

GLOBAL TEMPERATURES (2500 B.C. TO 2040 A.D.)



Źródło:
<https://www.youtube.com/watch?v=yegK12nKBQI>

Chart prepared by: Climatologist Cliff Harris & Meteorologist Randy Mann



Zlodowacenie

Zlodowacenia (ang. *glaciation*) to regularne okresy zimne w plejstocenie (2,59 mln do 11,7 tys. lat), kiedy znaczne obszary Ziemi były pokryte lodowcami kontynentalnymi (lądolodami), w tym umiarkowanych szerokości geograficznych. Rozdzielały je okresy ciepłe, **interglacjałami**, w których lądolody kurczyły się lub całkowicie zanikały.





Wierzenia i legendy

W wieku XVIII w niektórych krajach, jak Norwegia czy Szwajcaria ludzie wierzyli, że liczne wielkie głazy spotykane w dolinach i na grzbietach górskich zostały rozrzucone przez tajemnicze trole czy innych legendarnych „wielkich”. Występujące w obszarach **Niżu Europejskiego** wielkie „obce” głazy często nazywano „diabelskimi kamieniami” – głazami rozrzuconymi przez diabła. Często przypisywano im czarodziejską moc; były one często wykorzystywane jako miejsce do pogańskich obrządków.



Jotunheimen,
Norwegia (fot. Ruud
van den Berg, 2005)



**Diabelski Kamień – Kamień Św.
Wojciecha w Drzycimiu oraz
Diabelski Kamień we wsi Owśnice
koło Kościerzyny.**

<http://www.panoramio.com/photo/36075964>

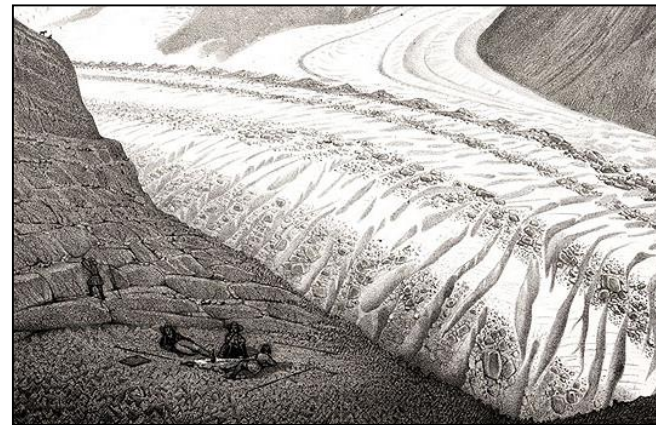
<http://taisha.blox.pl/2007/03/diabelski-kamien.html>

Powstanie teorii epoki lodowcowej

Louis Agassiz zszokował społeczność naukową najpierw w 1837 r. podczas wykładu na posiedzeniu Szwajcarskiego Towarzystwa Nauk Przyrodniczych i potem w 1840 r. w słynnej pracy pt. „*Études sur les glaciers*”, głosząc teorię, że podczas epoki lodowcowej lód pokrywał większość obszaru Europy, a może nawet większość powierzchni Ziemi. Był bardzo aktywnym propagatorem teorii lodowcowej w Europie i Ameryce Północnej. Nazywany jest często ewangelistą lub ojcem teorii lodowcowej.



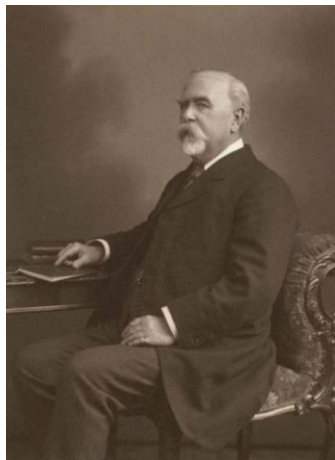
Louis Agassiz
(1807-1873)



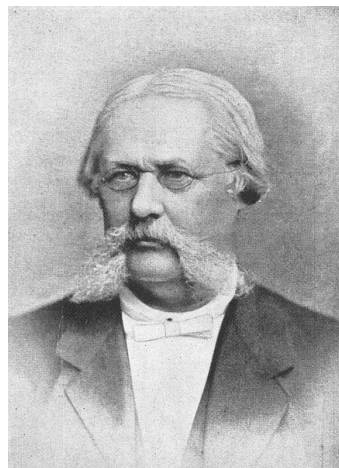
Ryciny lodowców alpejskich
zamieszczone w pracy
L.Agassiza (1840).

Wielcy następcy Agassiza

Teoria epoki lodowcowej zyskała potwierdzenie i uznanie dopiero w drugiej połowie XIX w. Zawdzięczmy to pracom szkockiego geologa Jamesa Geikie - „*The Great ice age*” (1874), szwedzkiego geologa Otto M. Torella, który dzięki obserwacjom poczynionym w 1875 r. w kamieniołomie Rüdersdorf koło Berlina dowiódł obecności lądolodu skandynawskiego na obszarze Nizy Niemieckiego, a także badaniom rosyjskiego geografa Piotr Aleksiejewicza Kropotkina w NW Rosji - „*Isledowanija o lednikowom pieriodie*” (1876).



James Geikie
(1839-1915)



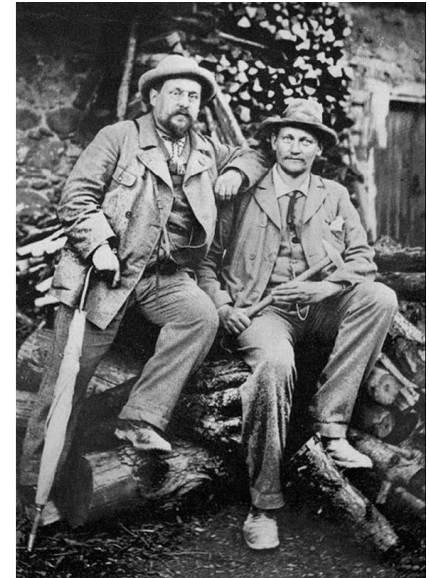
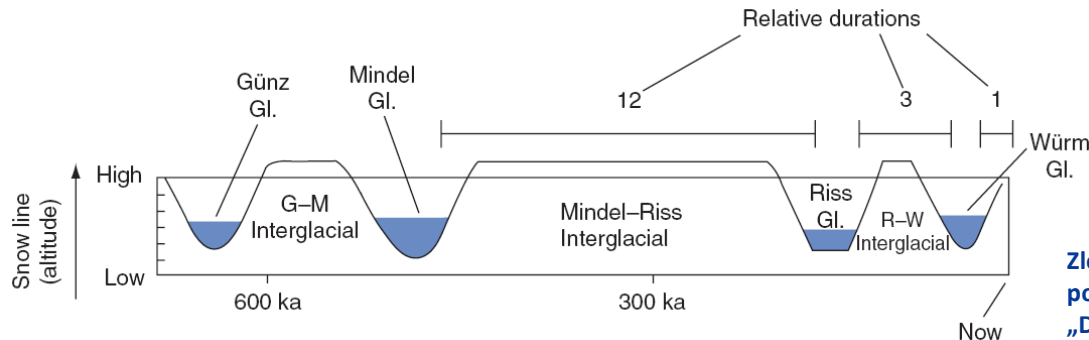
Otto M. Torell
(1828-1900)



Piotr Aleksiejewicz Kropotkin
(1842-1921)

Koncepcja zlodowaceń w Alpach

- Pionierskie prace dotyczące zlodowaceń w Europie przyniosły badania Albrechta Pencka i Eduarda Brücknera, którzy zidentyfikowali 4 zlodowacenia w północnych Alpach: Günz, Mindel, Riss i Würm.
- Ich schemat zlodowaceń alpejskich był w XX w. szeroko stosowanym systemem klasyfikacyjnym w korelacji osadów plejstoceny w Europie i Ameryce Północnej



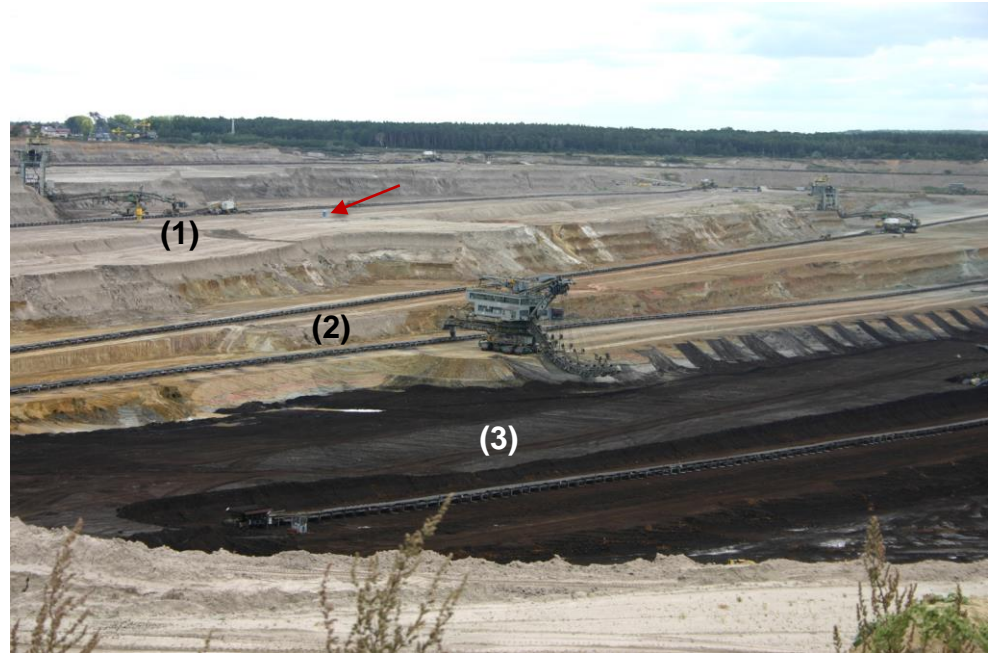
Eduard Brückner (1862–1927) i
Albrecht Penck (1858–1945)

Zlodowacenia i interglacjały w Alpach na podstawie pracy Penck A., Brückner E. (1909), „Die Alpen im Eiszeitalter”, Leipzig: Tachnitz.

Dowody na epoki lodowcowe i zlodowacenia

Są trzy główne typy dowodów na epoki lodowcowe: geologiczne, chemiczne i biologiczne

- **Dowody geologiczne** obejmujące różne ślady pochodzące z sukcesji warstw skalnych, jak na przykład gliny morenowe (*tills*), zlityfikowane gliny morenowe (*tillits*), głazy rzeźbione przez lód (*striated and faceted boulders*), eratyki, jak również formy lodowcowe, jak moreny czołowe, drumliny, ect.
- **Zapis geologiczny** jest często fragmentaryczny i niekompletny.



Dawne wyrobisko kopalni odkrywkowej w Kazimierzu koło Konina. Warstwy osadów lodowcowych (1) przykrywają „ciepłe” osady neogeńskie – ily poznańskie (2) i węgle brunatne (3); czerwona strzałka – toaleta.



Gлина lodowcowa ostatniego zlodowacenia, Wyspa Ore, Niemcy NE, ok. 15 tys. lat



Głaz ze zlicowaną powierzchnią i rysami lodowcowymi, SE Mauretania, ok. 440 mln lat (J-E. Ghienne, 2003).



Zlityfikowana glina lodowcowa (tillit), N Norwegia, ok. 650 mln lat; <http://pl.wikipedia.org/wiki/Tillit>



Dowody geologiczne



Dobrze zachowane rysy lodowcowe permsko-karbońskiej epoki lodowcowej w Kotlinie Karoo, Afryka Płd. ok. 290 mln lat, Fot. M.J. Hambrey

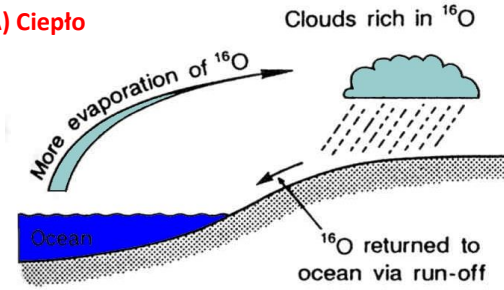
Zlityfikowane ły warowe (warwity) z Formacji Gowganda z paleoproterozoicznej epoki lodowcowej, ok. 2,4-2,6 mld. lat. Strzałka pokazuje dropstone.

<http://www.sciencedirect.com.libaccess.lib.mcmaster.ca/science>

Dowody chemiczne w osadach oceanicznych

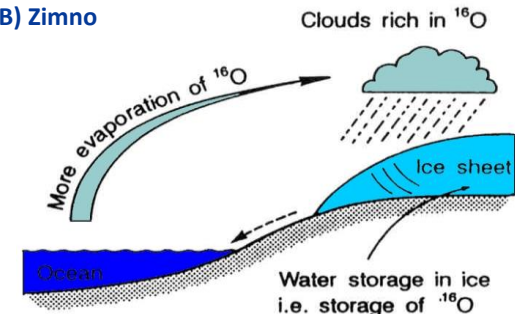
Zmiany składu izotopowego tlenu w wodzie morskiej, zapisane w wapiennych szkieletach i muszlach mikroorganizmów, są funkcją globalnych zmian klimatu. Stosunek izotopów tlenu (obecnie ok. 1:500, 2‰ atomów tlenu to ^{18}O) zmienia się wraz z rozwojem i zanikiem lądolodów. Warstwy osadów oceanicznych wzbogacone w ^{18}O względem ^{16}O odpowiadają okresom glacialnym – **zlodowaceniom**, a warstwy uboższe w ^{18}O względem ^{16}O okresom ciepłym – **interglacjalom** z mniejszą objętością lodu na Ziemi.

(A) Ciepło

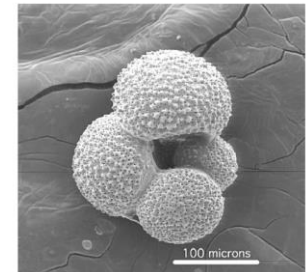
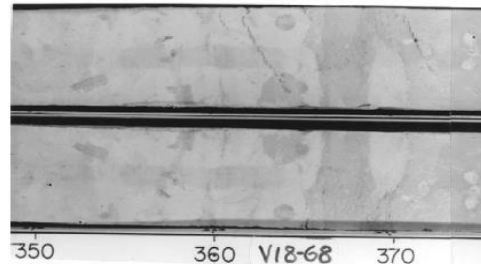


Oceans are not enriched in ^{18}O as ^{16}O returns relatively quickly to the oceans to maintain the balance of $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$

(B) Zimno

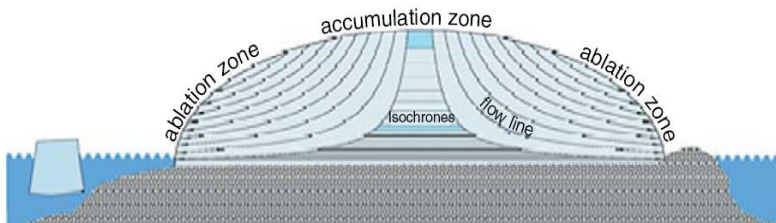


Oceans become enriched in ^{18}O due to storage of ^{16}O in ice sheets

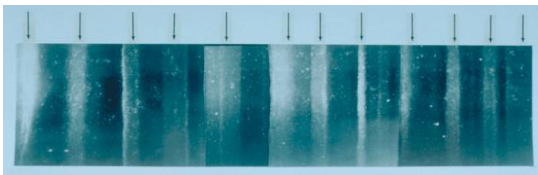
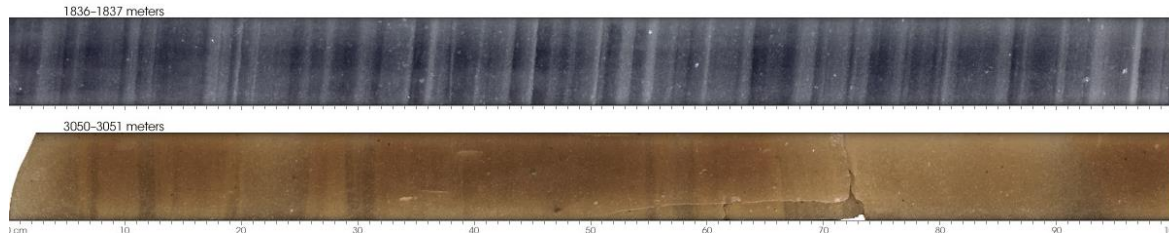
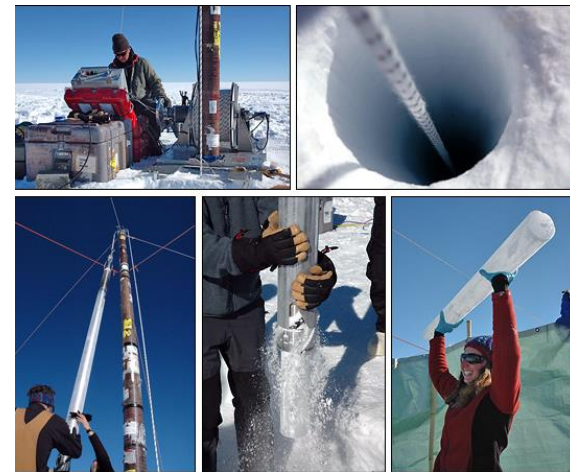
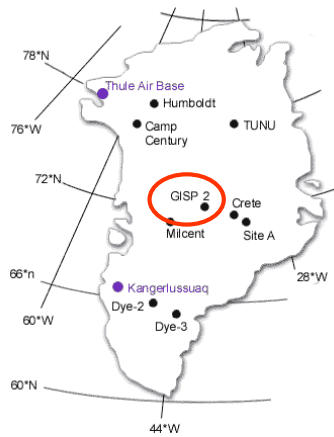


Fragment rdzenia osadów oceanicznych z SE Pacyfiku; po prawej przykład okrzemki *Globigerina bulloides* (Elias, 2007).

Badania rdzeni lodowych



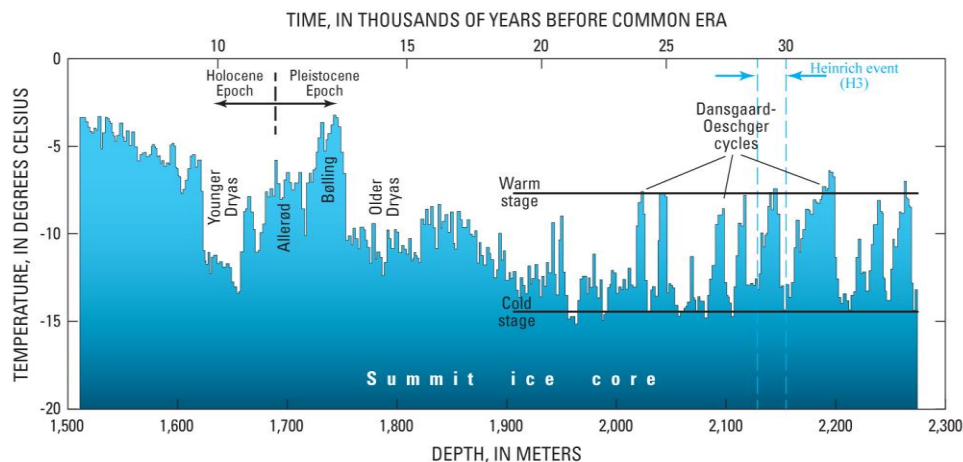
Schematyczny przekrój lądolodu. Miejsce na idealne wiercenie w lodzie znajduje się w centralnej części kopuły, gdzie rdzeń ujawnia lód odłożony w przybliżeniu w tym samym miejscu na powierzchni. Elias, EQS (2007).



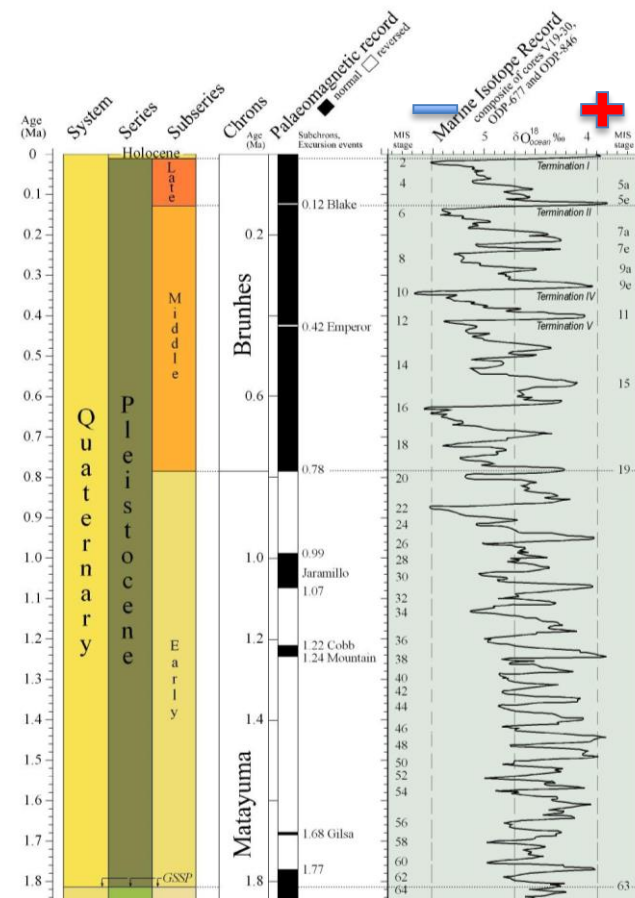
Wiercenia w lądolodzie Grenlandii i fragmenty rdzenia lodowego GISP2; po lewej 19 cm rdzenia z głębokości 1855 m z rocznymi warstwami przyrostowymi lodu; strzałki wskazują warstewki letnie.
http://earthobservatory.nasa.gov/Features/Paleoclimatology_IceCores; www.biocrawler.com

Morskie Stadia Izotopowe

Stadia izotopowe dla ostatnich 1,8 mln lat; w środkowym i górnym plejstocenie występuje 5-6 pięter zimnych, wskazujących wyraźnie na rozległe zlodowacenie w ostatnich 800 tys. lat. Zwraca uwagę dłuższy czas trwania zlodowaceń w stosunku do interglacjacji.

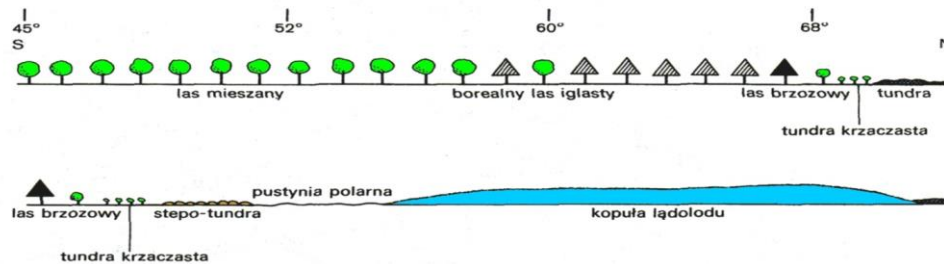


Wahania temperatury w centralnej części lądolodu grenlandzkiego podczas ostatnich 35 tys. lat późnego plejstocenu i holocenu (Ahn and Brook, 2008, fig. na str. 84; <https://pubs.usgs.gov/pp/p1386a/gallery2-fig34.html>).



Przesunięcie stref klimatycznych i roślinnych

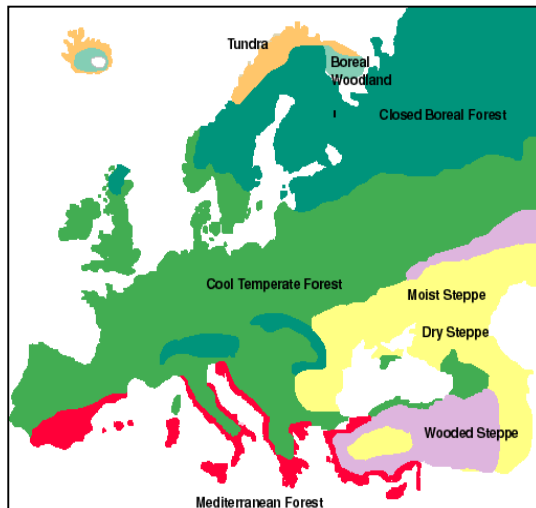
Roślinność pięter
ciepłych i zimnych w
Europie (wg
Bowena, 1978)



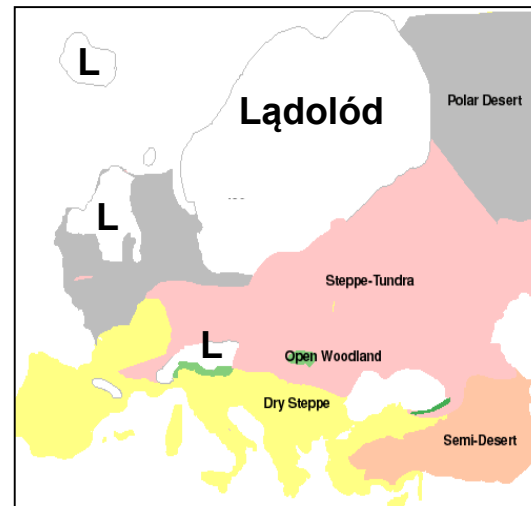
Interglacja

Zlodowacenie

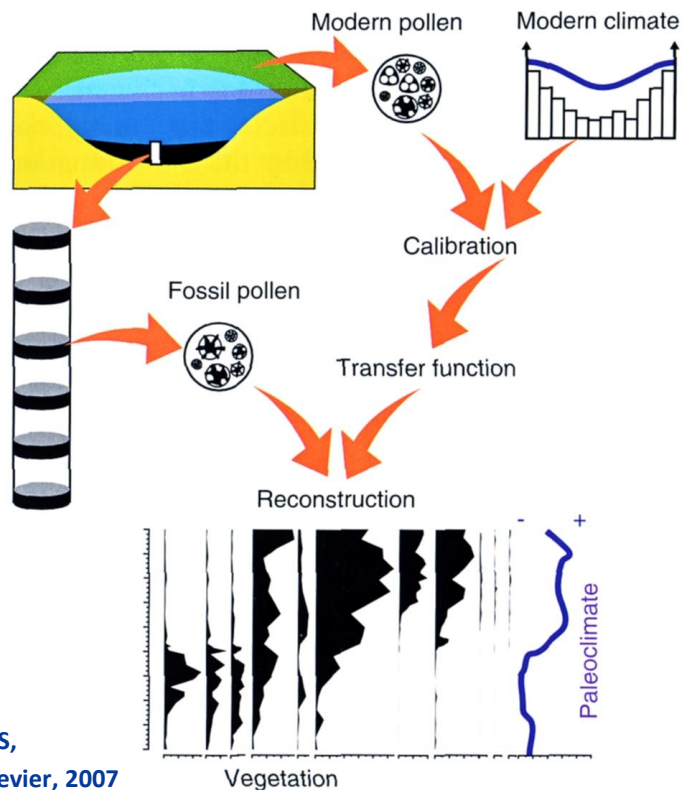
Interglacja



Zlodowacenie



Dowody biologiczne



EQS,
Elsevier, 2007

Klimat zimny



fol. P. Rapiejko

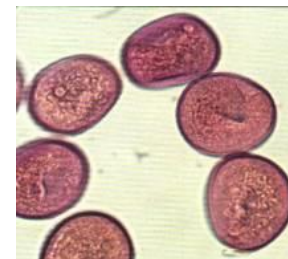
Pyłek sosny (*Pinus*)



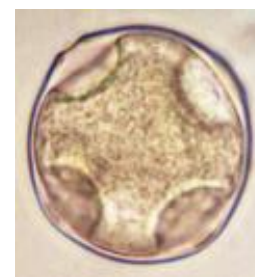
Pyłek brzozy (*Betula*)

<http://www.krakow.pios.gov.pl/alergia/alergia.htm>
http://kpib.wnoz.us.edu.pl/pylki_r.html

Klimat ciepły



Olsza (*Alnus*)



Grab (*Fagus*)



Leszczyna (*Corylus*)

Epoki lodowcowe w historii Ziemi

Epoki lodowcowe

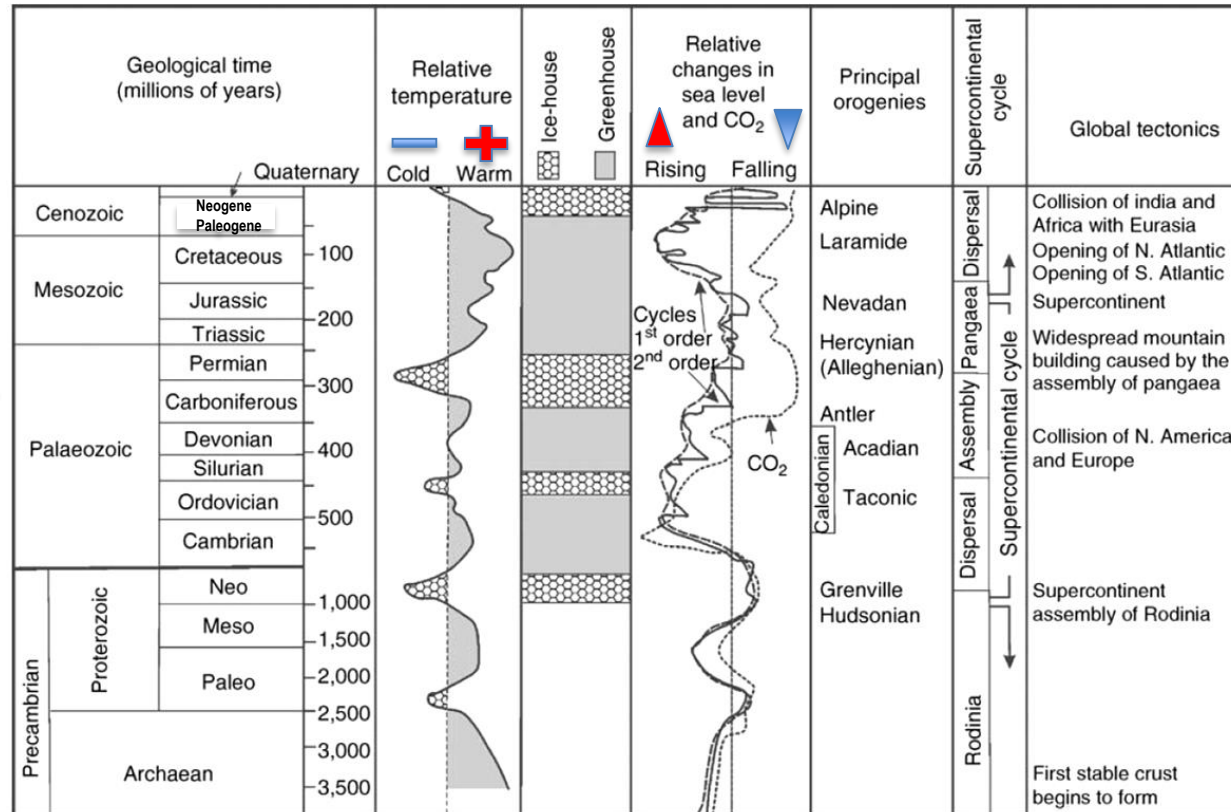
Kenozoiczna,
od ~50 mln lat

Permsko-karbońska,
~350-250 mln lat

Ordowicka,
~440 mln lat,

Neoproterozoiczna,
~750-580 mln lat

Paleoproterozoiczna,
~2,5 mld lat



Wg Arnuad,
Martinii (2009)



Przyczyny epok lodowcowych: Hipotezy „pozaziemskie” – astronomiczne

Zmiany w ilości i rozmieszczeniu energii promieniowania słonecznego docierającej do Ziemi:

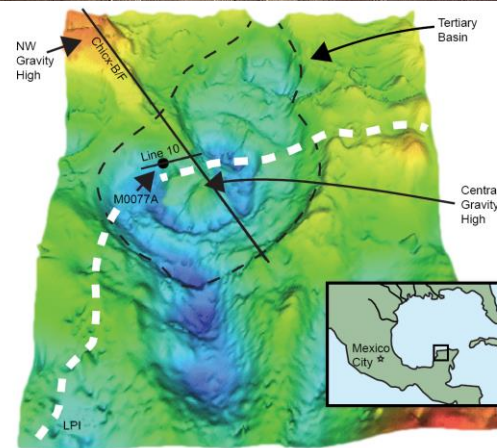
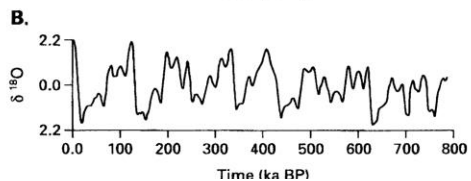
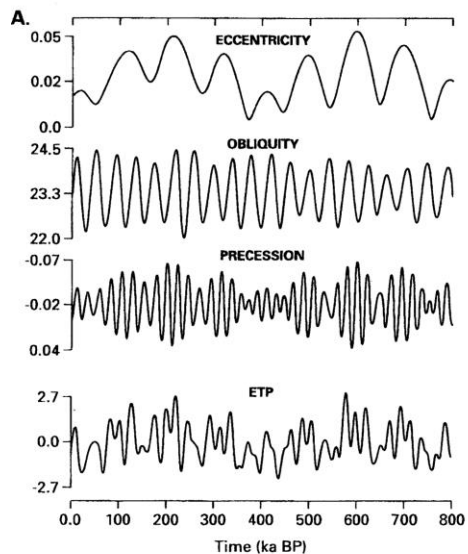
- zmiany związane z cyklem galaktycznym (okres 250-300 mln lat),
- obecność pyłów materii międzygwiazdnej („*dark clouds*”) pomiędzy Ziemią a Słońcem,
- przysłonięcie strefy równikowej Ziemi przez pierścień podobny do tego jaki jest na Saturnie,
- zmiany parametrów orbitalnych Ziemi (cykle Milankoviča), determinujące rytm zmian klimatycznych podczas epok lodowcowych,
- Zmiany aktywności Słońca;

Ilość promieniowania produkowanego przez Słońce:

- cykle długoterminowe: astrofizycy zakładają zmiany aktywności Słońca rzędu 10% w cyklu ok. 1 mld. lat,
- cykle krótkoterminowe związane z plamami na Słońcu.

Wpływ meteorytów lub innych „ciał” kosmicznych.

Przyczyny epok lodowcowych: Hipotezy „pozaziemskie” – astronomiczne



Krater uderzeniowy Winslow, Arizona, jest jednym z 200 na Ziemi; powstał około 50 tys. lat temu, 1,1 km średnicy i 150 m głębokości.

Anomalie siły ciężkości (Clarey, 2017) interpretowane jako krater Chicxulub (śr. ok. 240 km), powstały w wyniku uderzenia meteorytu w północnym Jukatanie ok. 65 mln lat temu (Browler et al., 1998).

Cykle orbitalne Ziemi (cykle Milankovica) w okresie ostatnich 800 tys. lat (wg Imbrie i in. 1984). Krzywa ETP jest złożeniem trzech krzywych powyżej.



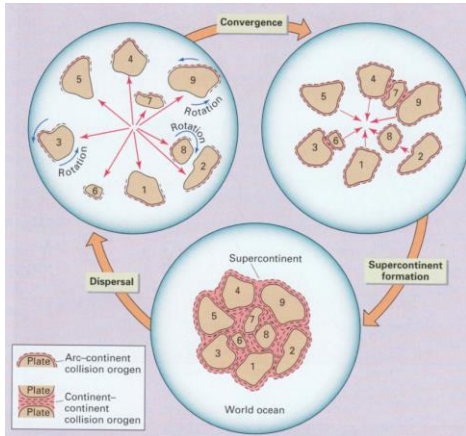
Przyczyny epok lodowcowych: Hipotezy „ziemskie”

Tektoniczne podniesienie i konfiguracje kontynentów:

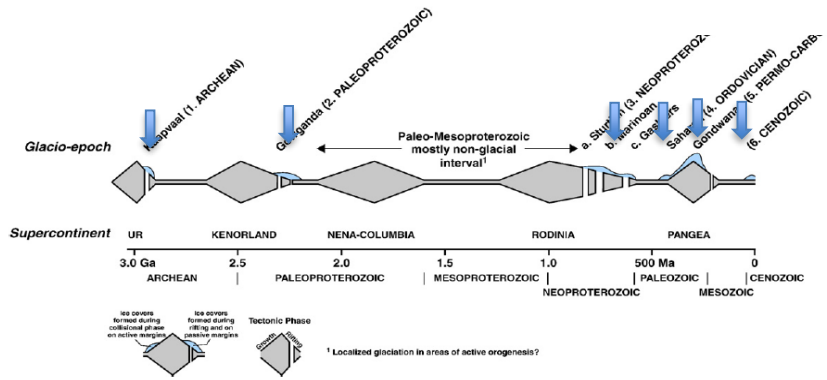
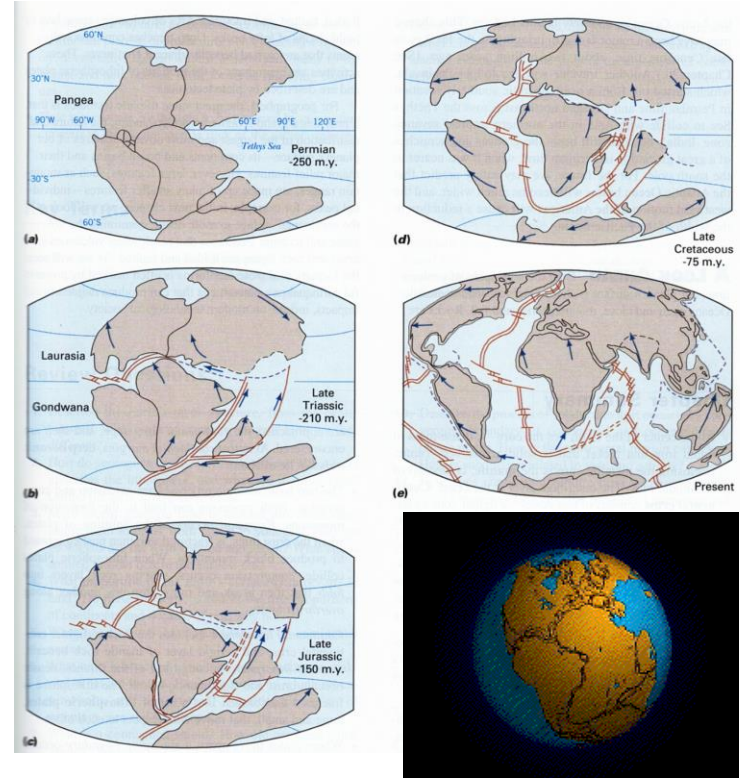
- Zmiany w rozmieszczeniu obszarów lądowych - położenie lądów w wysokich szerokościach geograficznych (*positive feedback, negative feedback*),
- Otwieranie i zamykanie przesmyków/cieśnin - zmiany w cyrkulacji prądów morskich (zmiana cyrkulacji równikowej na okołobiegunową i izolacja obszarów okołobiegunowych),
- Podniesienie tektoniczne rozległych łańcuchów górskich i rozległych wyżyn (np. dźwignięcie Himalajów i Wyżyny Tybetu): zmiana trajektorii górnych prądów atmosferycznych,
- Wulkanizm (np. Tambora, Krakatau, Pinatubo, Mt. St. Helens) - zmiany klimatu związane ze wzrostem ilości pyłów i gazów;

Zmiany zawartości CO₂ w atmosferze: zmiany obszarów lądowych powodują wzrost/spadek wietrzenia chemicznego, co powoduje obniżenie/wzrost zawartości atmosferycznego CO₂.

Przyczyny epok lodowcowych: Hipotezy „ziemskie”

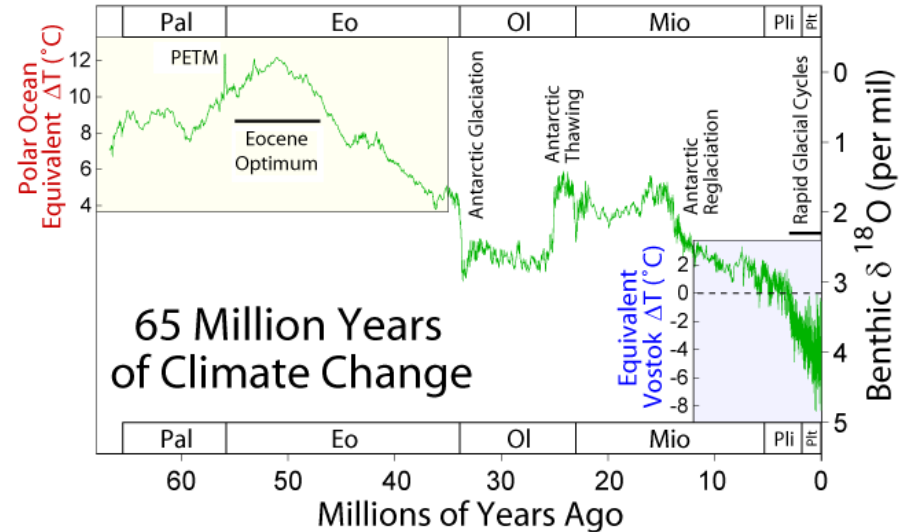
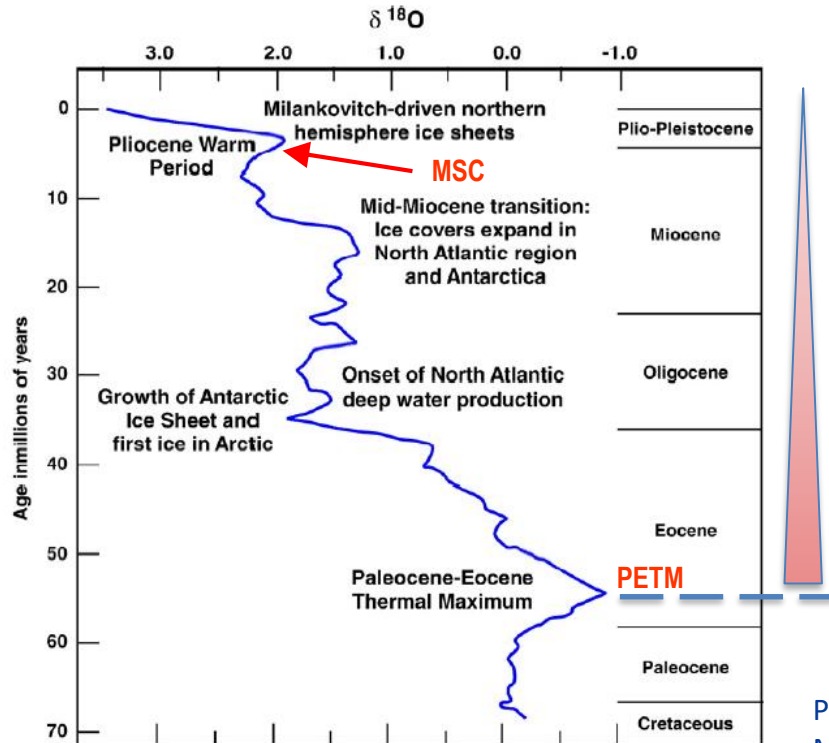


Cykl tektoniki płyt (cykl Wilsona) i cykl superkontynentu. Epoki lodowcowe w stosunku do tworzenia i rozpadu superkontynentów (Eyles, 2008).



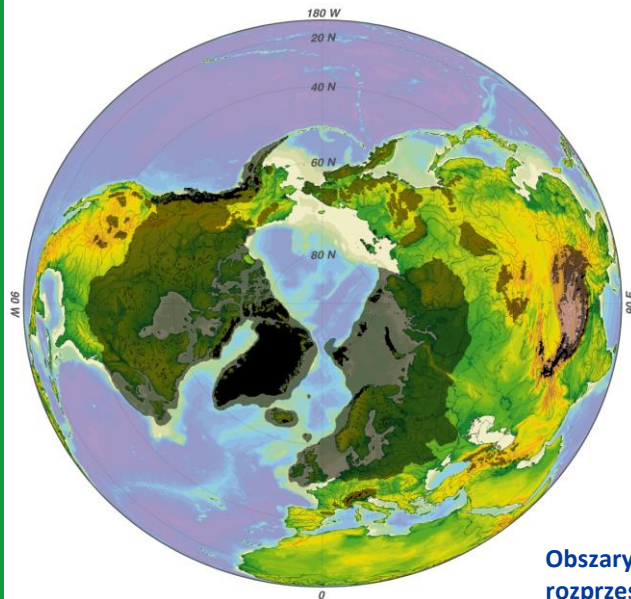
Rozpad superkontynentu Pangea (Strahler, 1998) oraz zmiana konfiguracji lądów i oceanów (prądów oceanicznych), które w konsekwencji doprowadziły do rozwoju kenozoicznej epoki lodowcowej.

Kenozoiczna epoka lodowcowa



Pierwsze lody pojawiły się około 40 mln lat. Sterowane cyklami Milankovica zlodowacenia na Półkuli Północnej pojawiły się dopiero ok. 3 mln lat temu (Ehlers, Gibbard, 2006; Eyles, 2008;)

Ostatnia epoka lodowcowa



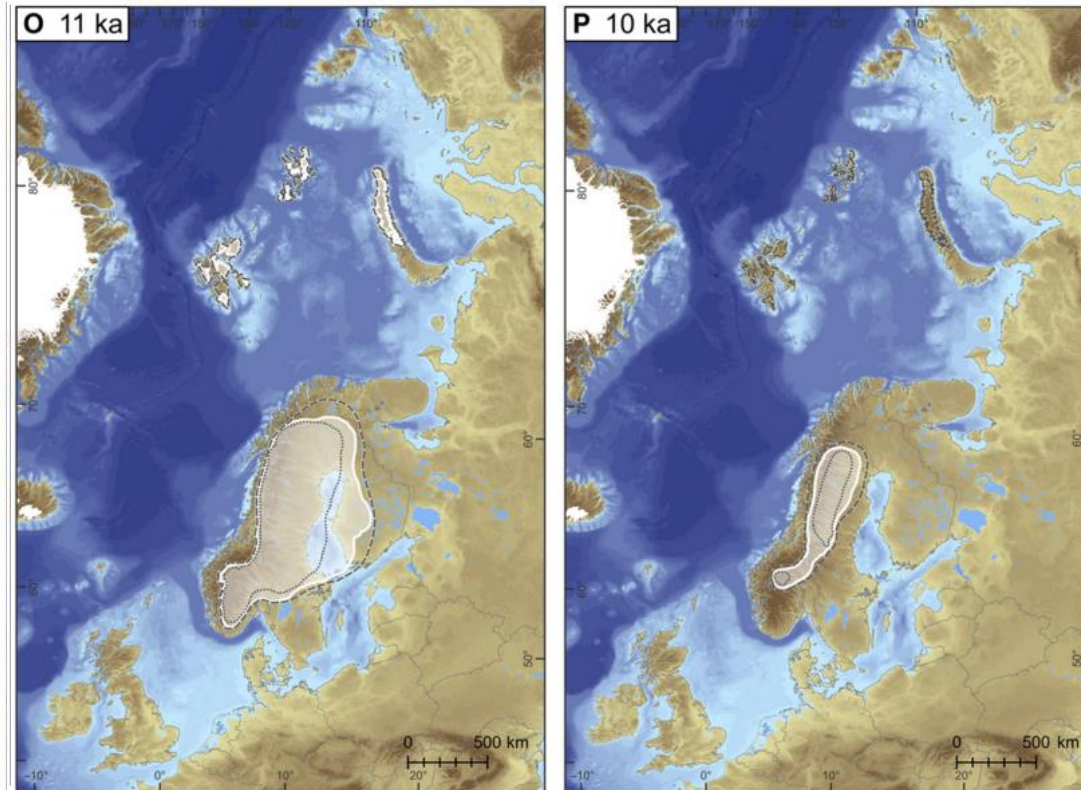
| | | |
|--------------------------|-------|-------|
| Ameryka Północna | 18,55 | 2,00 |
| Antarktyka | 14,51 | 13,59 |
| Azja (z Uralem włącznie) | 7,24 | 0,185 |
| Europa (bez Uralu) | 7,13 | 0,054 |
| Ameryka Południowa | 0,94 | 0,026 |
| Australia i Afryka | 0,07 | 0,001 |
| razem | 48,44 | 15,86 |

Powierzchnia w mln km² wg W.L. Donna i in. (1962) oraz World Glacier Monitoring Service (1989)

Obszary Półkuli Północnej w czasie największego rozprzestrzenienia lodowców w plejstocenie oraz zlodowacone współcześnie (wg Ehlersa i Gibbarda, Quaternary International, 2007). Obok w tabeli powierzchnia zlodowaconych obszarów (odpowiednio) oraz zasięg lądolodów podczas ostatniego zlodowacenia w Eurazji (wg Huges i in., 2015).

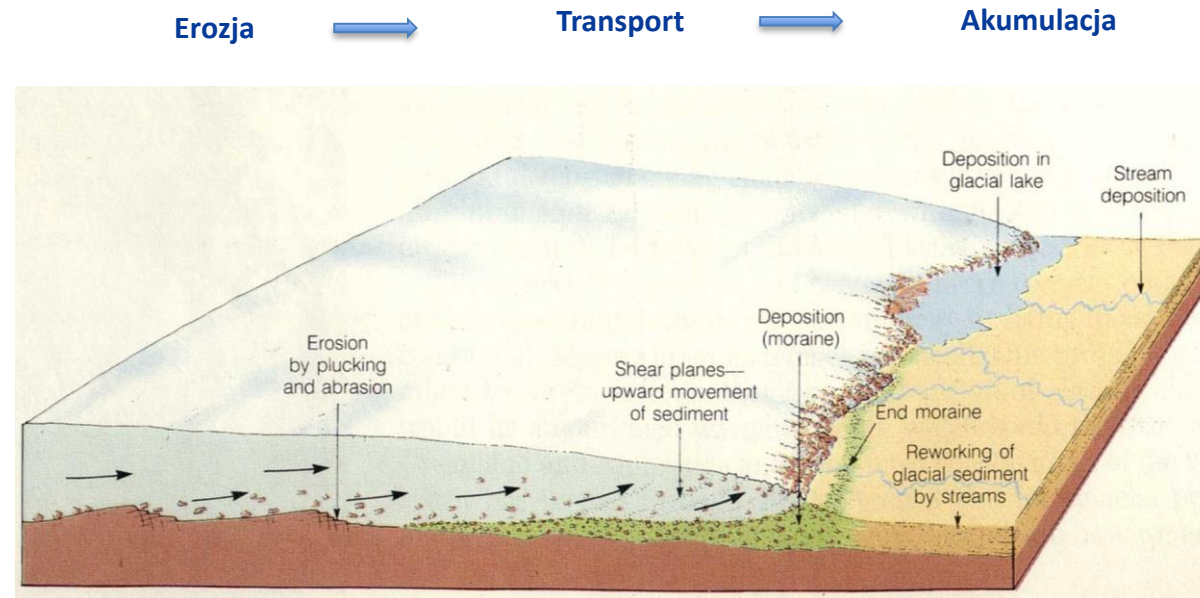
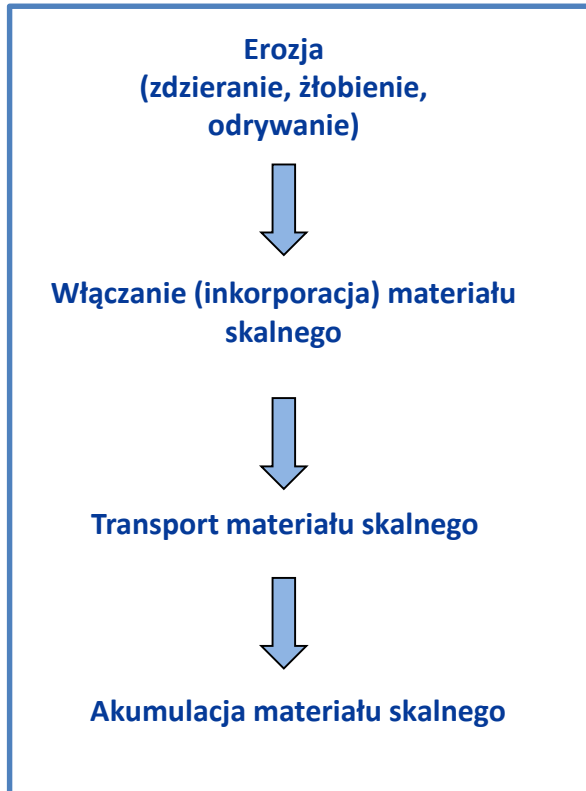


Rekonstrukcja zasięgu i zaniku lądolodów w Eurazji, 25-10 tys. lat



Rekonstrukcja ostatniej
deglacji Eurazji na
podstawie danych
chronologicznych
(wg Hughes i in., 2015).

Świadectwa geologiczne dawnych lodowców w krajobrazie

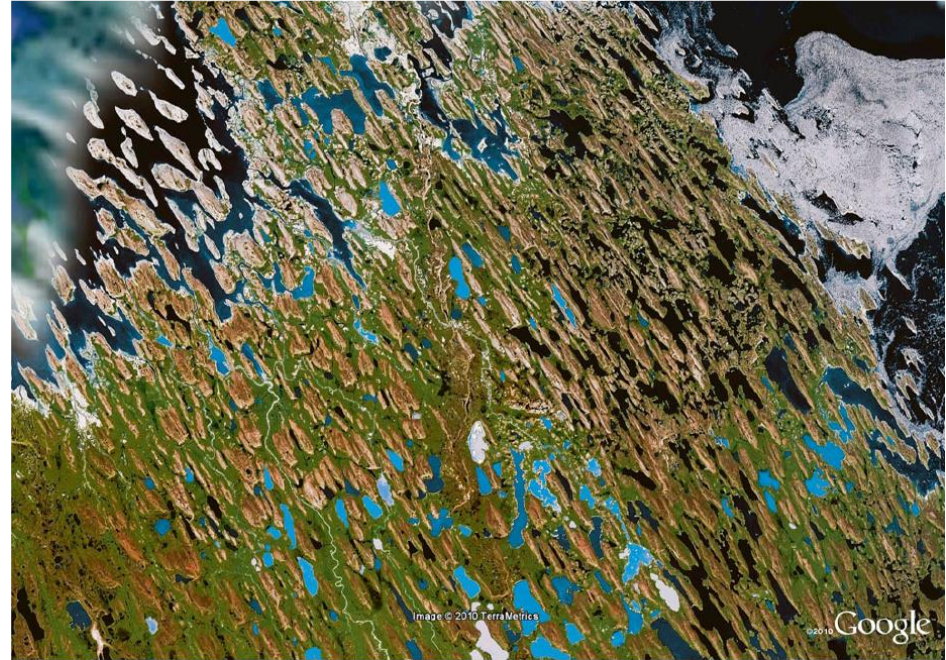


Formy erozji lodowcowej

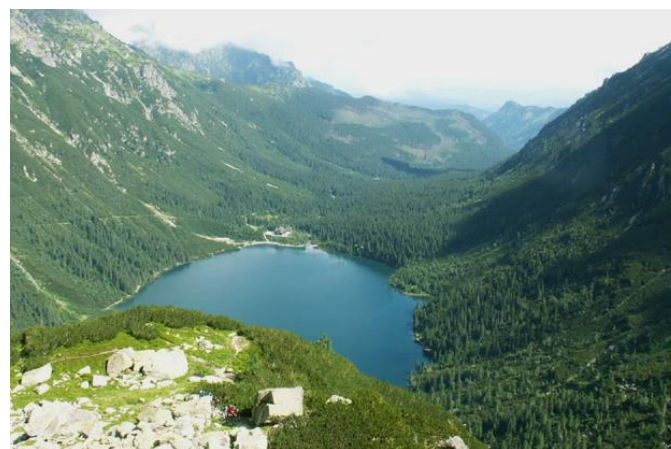
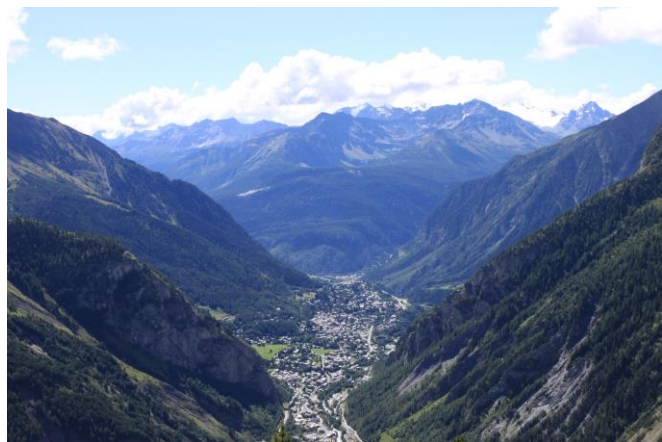


Wygładzona powierzchnia wapieni górn juryjskich w kamieniołomie Wapienno (Sokołowski, 2007). Po prawej rysy i zadziory lodowcowe w zachodniej Grenlandii (Tylmann, 2010).

Formy erozji lodowcowej



Mutony (barańce) w dolinie Steingletcher, Alpy Berneńskie, Szwajcaria; strzałka pokazuje kierunek ruchu lodu. Po prawej pole mutonów w północnej Kanadzie; obszar około 50 km szerokości (Scheffers i in., 2015).

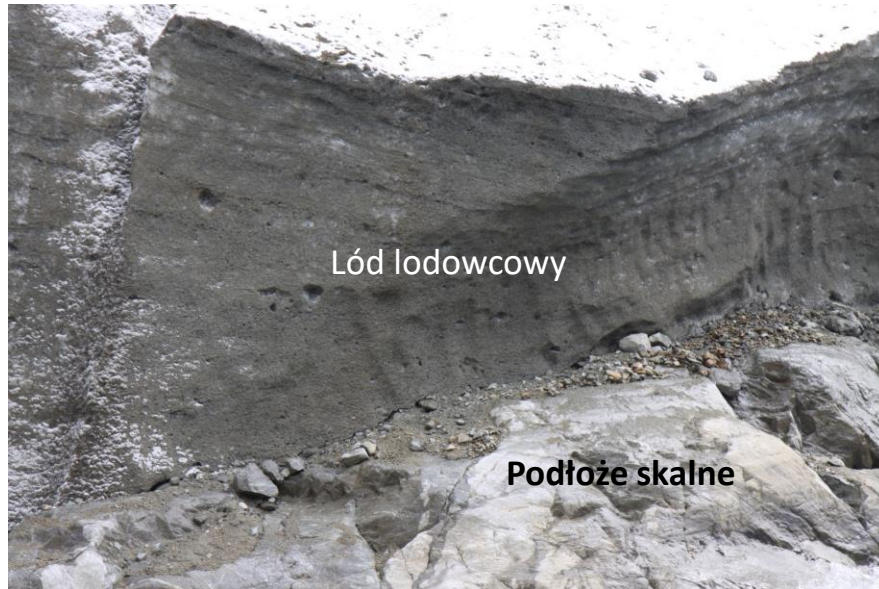


**Doliny (żłoby)
lodowcowe w Alpach
(po lewej) i w Tatrach
(po prawej).**



Fiordy. Scoresby Sund, największy fiord wschodniej Grenlandii (NASA image Terra, MODIS, 13.40 UTC, 21 Aug. 2001). Van Keulenfjord, Spitsbergen; www.swisseduc.ch. Geirangerfjorden w zachodniej Norwegii; www.canuckabroad.com.

Osady bezpośrednio akumulacji lodowcowej



Materiał skalny jest uwalniany z lodu lodowcowego w stopie lodowca i odkładany na twardym podłożu, Steigletcher, Alpy Berneńskie, Szwajcaria. Warstwa odłożonej gliny lodowcowej ma grubość do 40 cm.

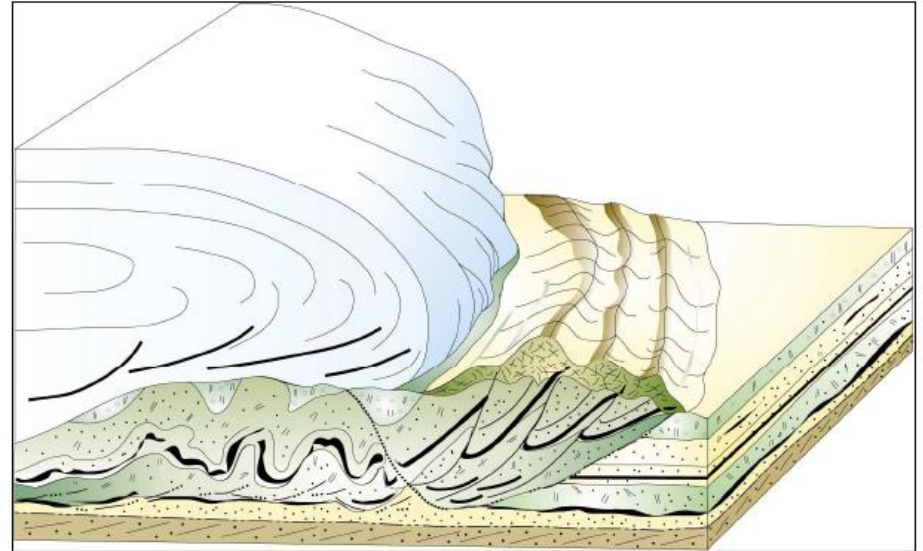
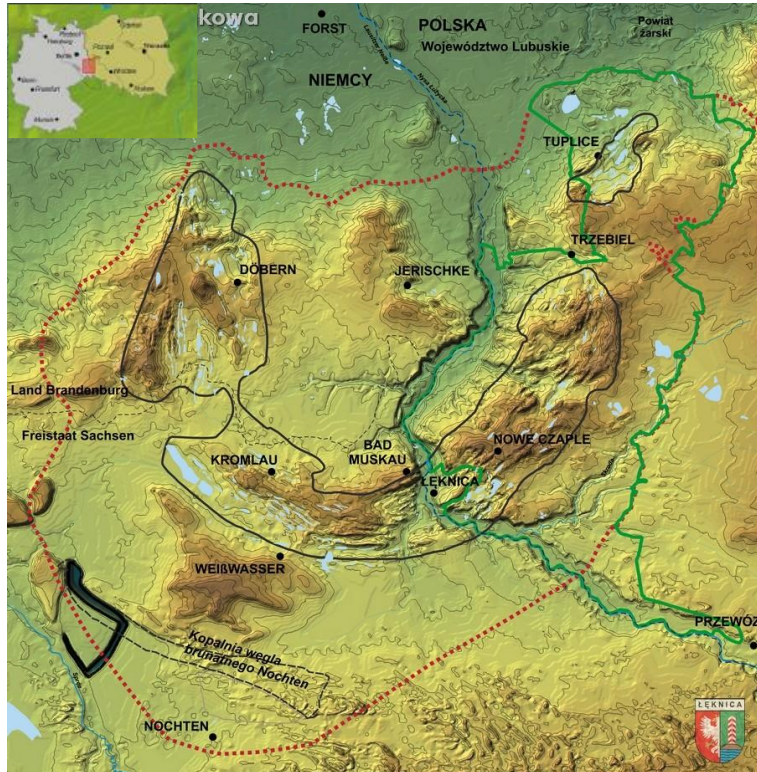


Osady bezpośrednio akumulacji lodowcowej



Wyrobisko kopalni odkrywkowej w Kazimierzu koło Konina. Po prawej – warstwy glin lodowcowych rozdzielone warstwą osadów piaszczystych. Górna warstw glin powstała podczas ostatniego zlodowacenia.

Formy lodowcowe: moreny czołowe



Ryc. 8. Powstanie deformacji glacitektonicznych Łuku Mużakowa (Rascher, Meier, Kupetz, 2000)

Wzgórza moren czołowych „Łuk Mużakowa” powstałych w wyniku spiętrzenia osadów neogeńskich podczas nasunięcia lądolodu skandynawskiego; wg Koźma (2009)

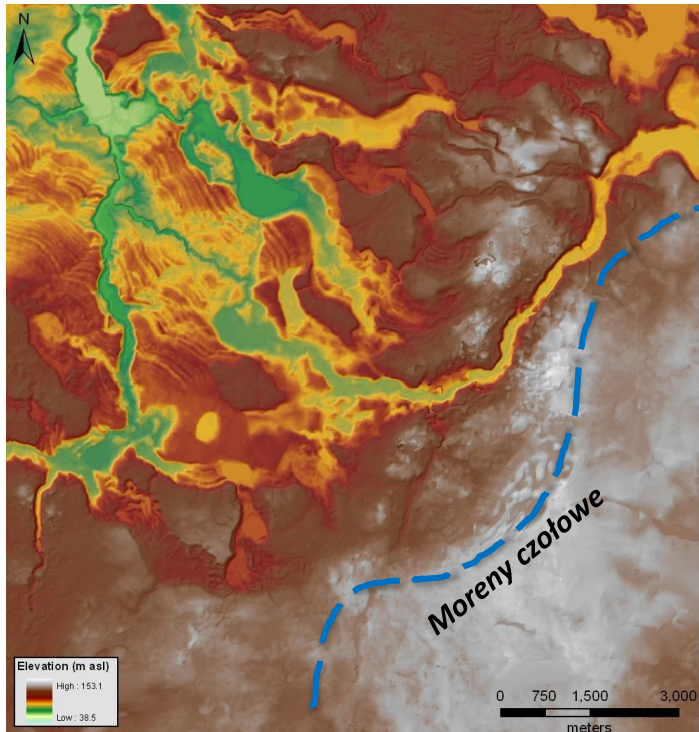
Formy lodowcowe: moreny czołowe



Po lewej spiętrzone margle kredy górnej (białe) i osady plejstocenijskie (szare) w morenie czołowej w miejscowości Jasmund na Rugii. Po prawej wały moren czołowych akumulacyjnych na Półw. Kolskim.



Formy akumulacji lodowcowej: moreny czołowe

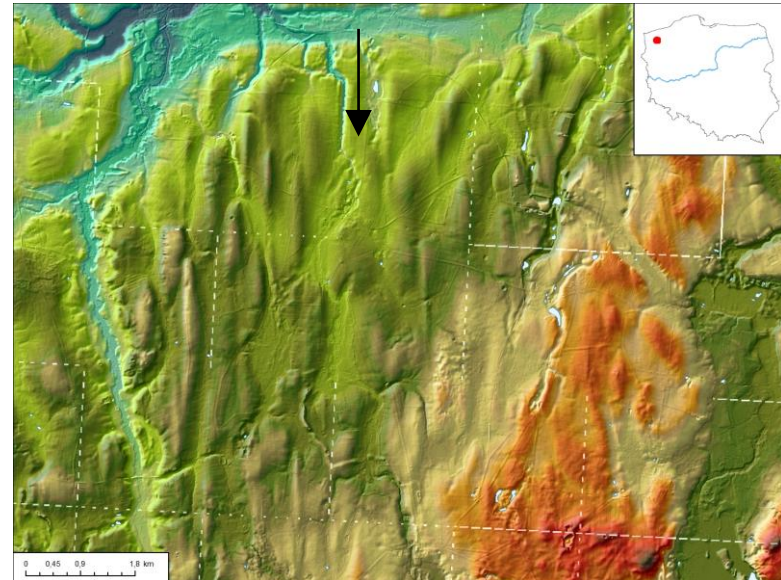


Wzgórze chrostkowskich moren czołowych na Pojezierzu Dobrzyńskim. Przerwana niebieska linia oznacza przebieg dawnej krawędzi lądolodu ok. 17,5 tys. lat temu. Wnętrze moren ujawnia warstwy gruboziarnistego materiału i glin sływowych.

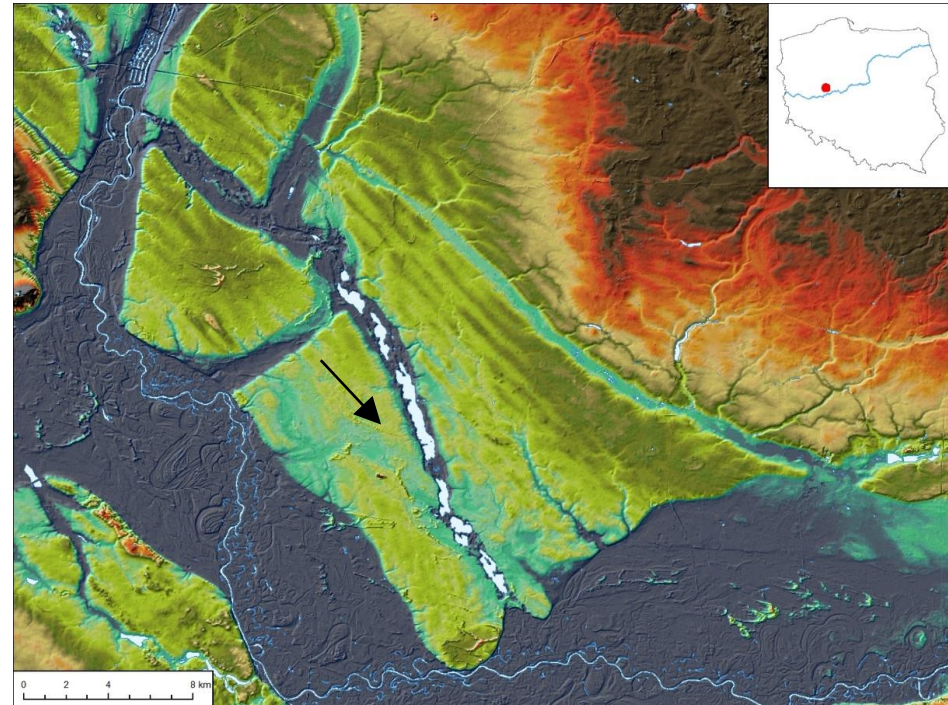
Formy lodowcowe: drumliny



Drumliny w polu Livingstone Lake, Saskatchewan, Kanada (Shaw, 1983). Drumliny w rejonie Stargardu na Nizinie Szczecińskiej.

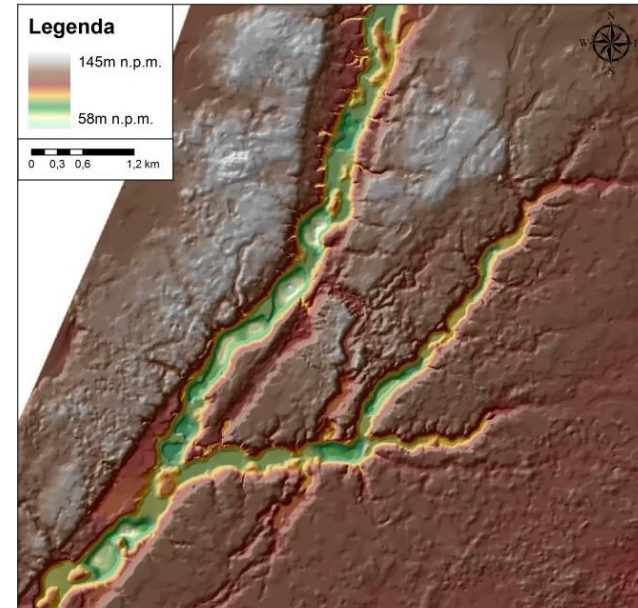
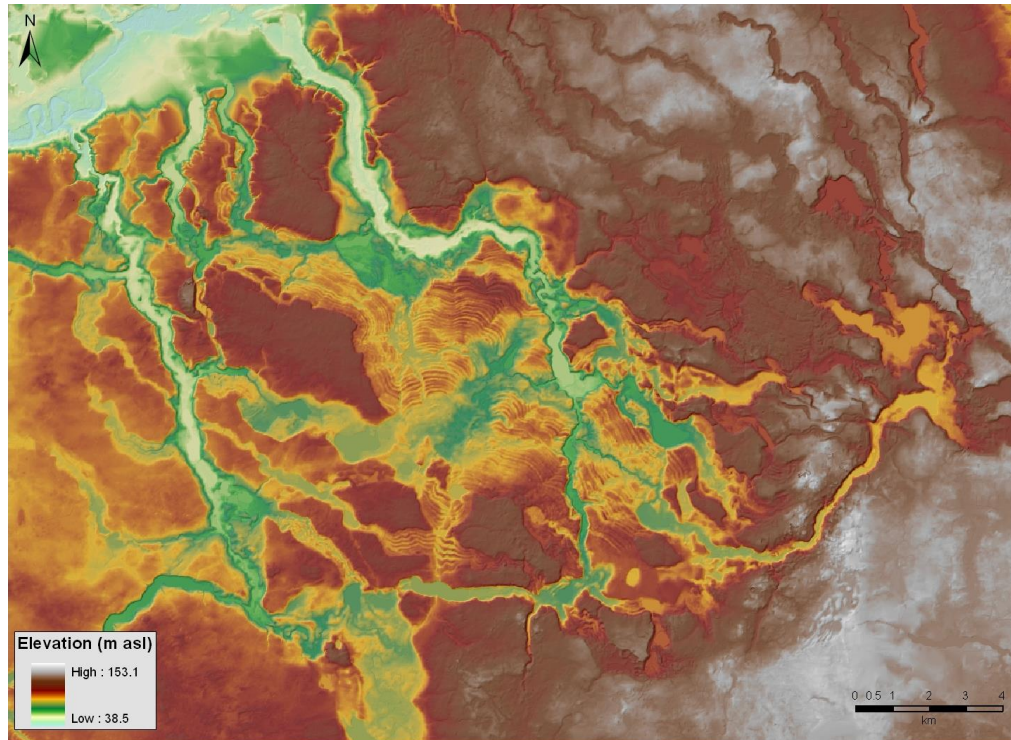


Formy lodowcowe: MSGLs



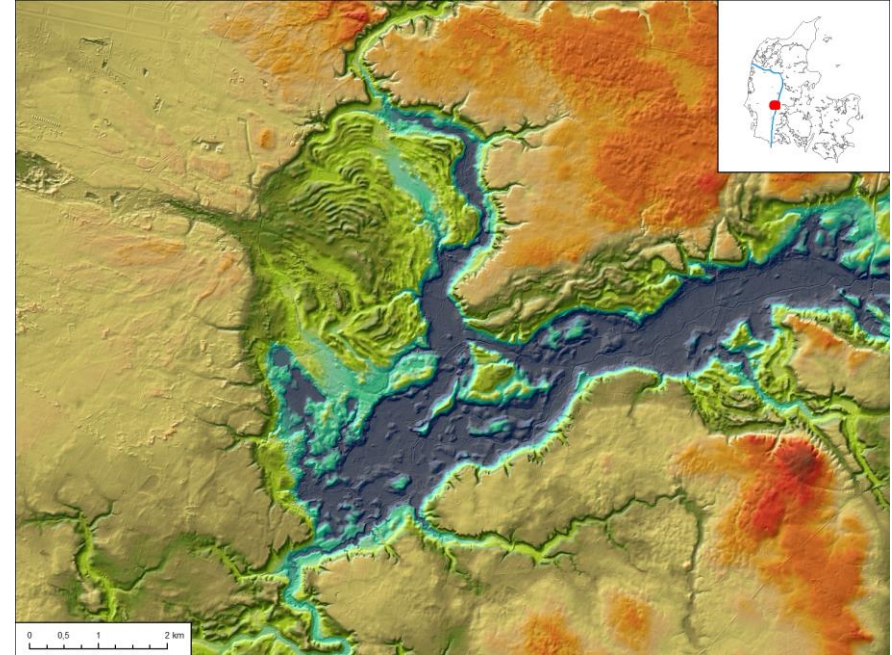
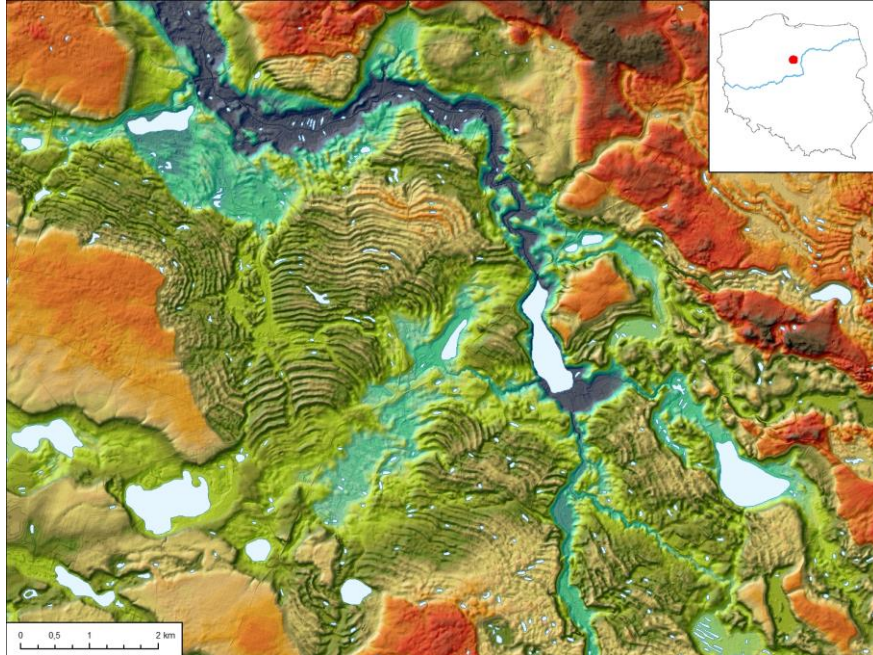
Wielkoskalowe wały moreny dennej (MSGLs) w rejonie Dubawnt Lake, północna Kanada. Po prawej MSGLs w rejonie Środy Wlk. i Kórnika na Wielkopolsce.

Formy subglacialnej erozji wód roztopowych: rynny subglacialne



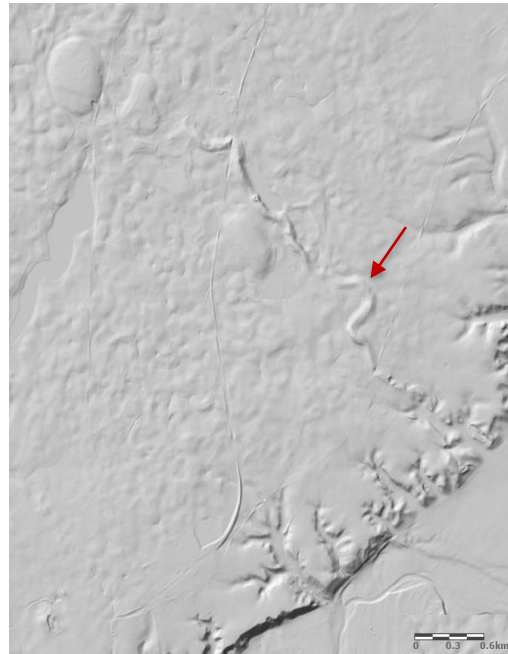
Rynny subglacialne (*tunnel valleys; tunnel channels*) to wydłużone, głębokie obniżenia dolinne wycięte w podłożu nieskonsolidowanym przez subglacialne wody roztopowe. Po lewej: rynny na Poj. Dobrzyńskim (Lesemann i in., 2010); po prawej: rynna Bydzewska, Poj. Krajeńskie (Adamczyk, 2014).

Formy subglacjalnej erozji wód roztopowych: zespoły krętych wałów (GCLs)



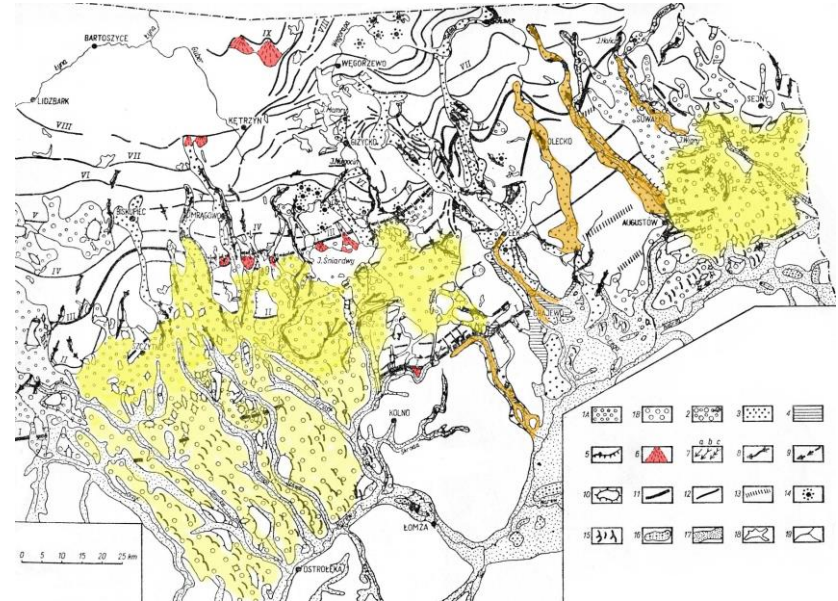
W niektórych rynnach subglacjalnych występują unikatowe zespoły form wałowych – kręte formy glacialne (ang. *glacial curvilinearities*, GCLs). Najlepiej rozpoznane zostały w północnej Polsce (Lesemann i in., 2010, 2014) oraz w obszarach Danii i NE Niemiec.

Formy subglacjalnej akumulacji wód roztopowych: ozy



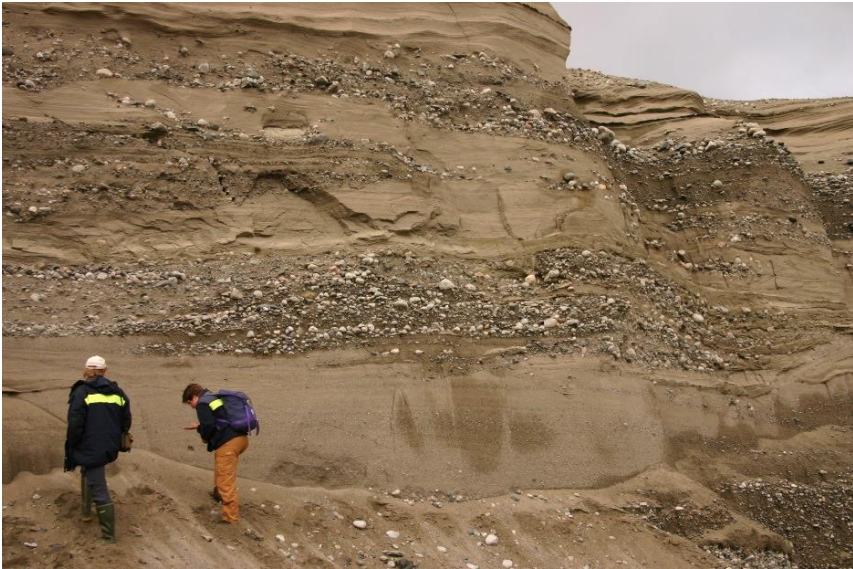
Ozy (eskers) to wąskie i kręte wały lub ciągi wzgórz, zbudowane z piasków i żwirów, o długości do 100 km, szerokości 400-700 m i wysokości 40-50 m. Powyżej **oz turtulski** (strzałka) na południe od Jez. Hańcza (Poj. Suwalskie). Po prawej **oz lisewski** oraz budowa ozów w Kamiennej (NE Polska) i koło Mławy.

Formy akumulacji wód roztopowych: sandry



Po lewej przykłady współczesnego wypływu wód roztopowych z tunelu w zachodniej Grenlandii (fot. K.Tylmann, 2010) i formowania sandru na przedpolu lodowca Vatnajökull (fot. J. Alean, 1978). Po prawej stożki, szlaki i równiny sandrowe ostatniego zlodowacenia w północno-wschodniej Polsce (wg Zieliński, 1993).

Formy akumulacji wód roztopowych: sandry

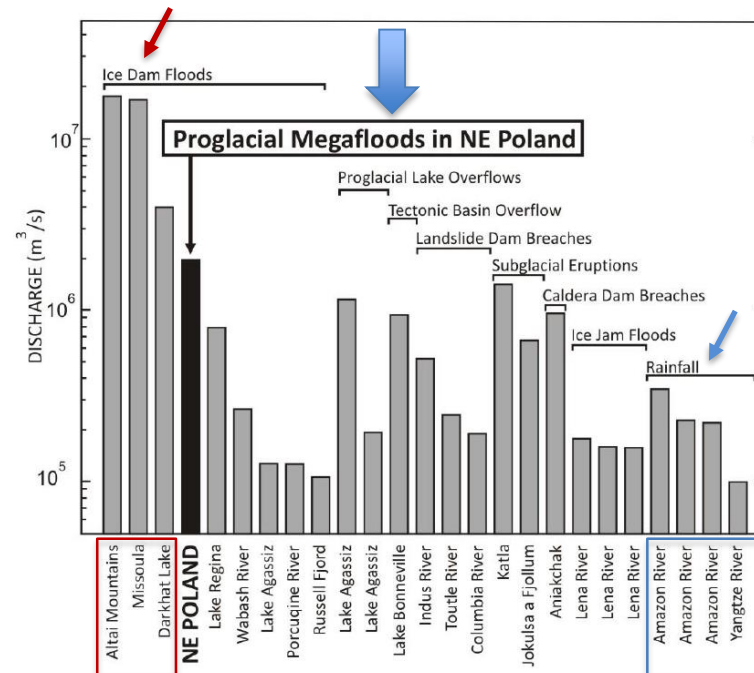


Budowa wewnętrzna sandru. Po lewej budowa sandru na Płw. Kolskim: osady gruboziarniste z gładzami. Po prawej budowa sandru augustowskiego na południe od Suwałk.

Megapowódzie lodowcowe

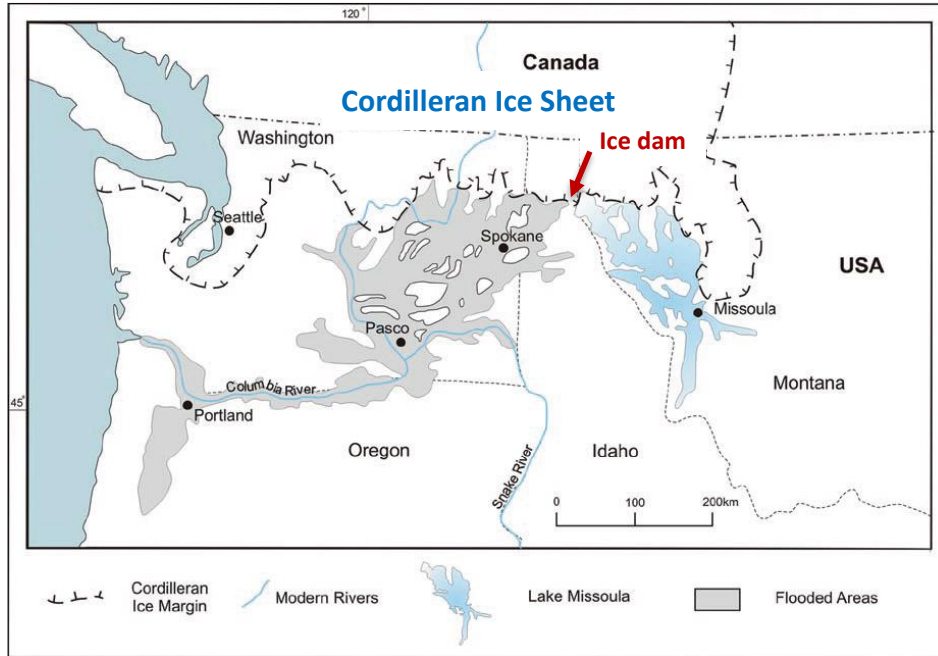


Jezioro zaporowe Brazo Rico powstałe przez blokowanie odpływu wód lodowcowych przez lodowiec Perito Moreno (płd. Patagonia); klif lodowy ma szer. ok. 4 km.



Powódzie czwartorzędowe o przepływie powyżej 100 tys. m³/s. wg O'Connor i in. (2002) i sugerowana mega powódź lodowcowa w północno-wschodniej Polsce.

Megapowódzie lodowcowe: Missoula



Megapowódź Jez. Missoula szacowana jest na prawie 10 mln m³/s; (Baker, 2010). W obszarze powodziowym - występują formy erozyjne (ostańce i katarakty) - „Scabland” oraz akumulacyjne - megariplemarki (Bretz, 1923).

Megapowodzie lodowcowe: Góry Ałtaj

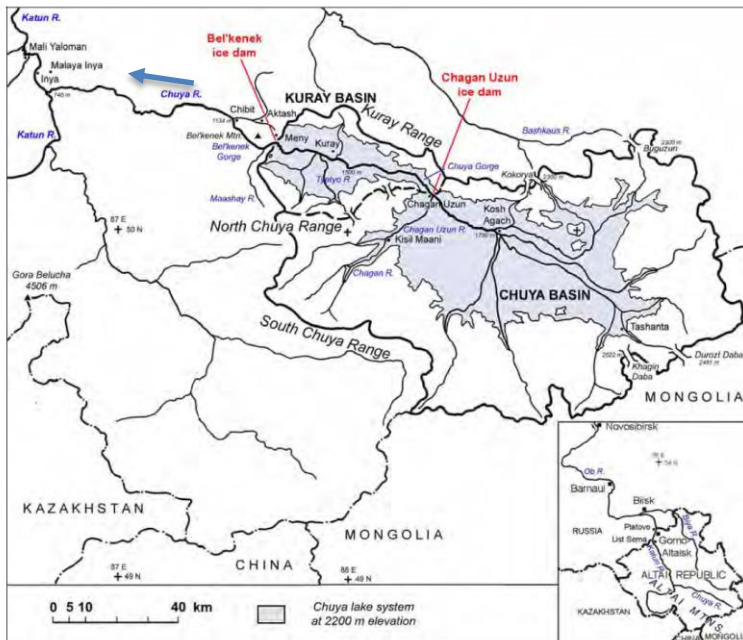


Figure 3. Index map of Chuya River drainage basin and the nearby Katun River



Jeziora zaporowe w kotlinach śródgórskich Kurai i Chuja w Górach Ałtaj (wg Rudoy, 2001). Po prawej Kotlina Kurai z zachowanymi śladami linii brzegowych jeziora zaporowego.

Megapowódzie lodowcowe: Góry Ałtaj



Wielkie riplemarki w Kotlinie Kurai, będące zapisem katastrofalnej powodzi lodowcowej (Rudoy, 2005).

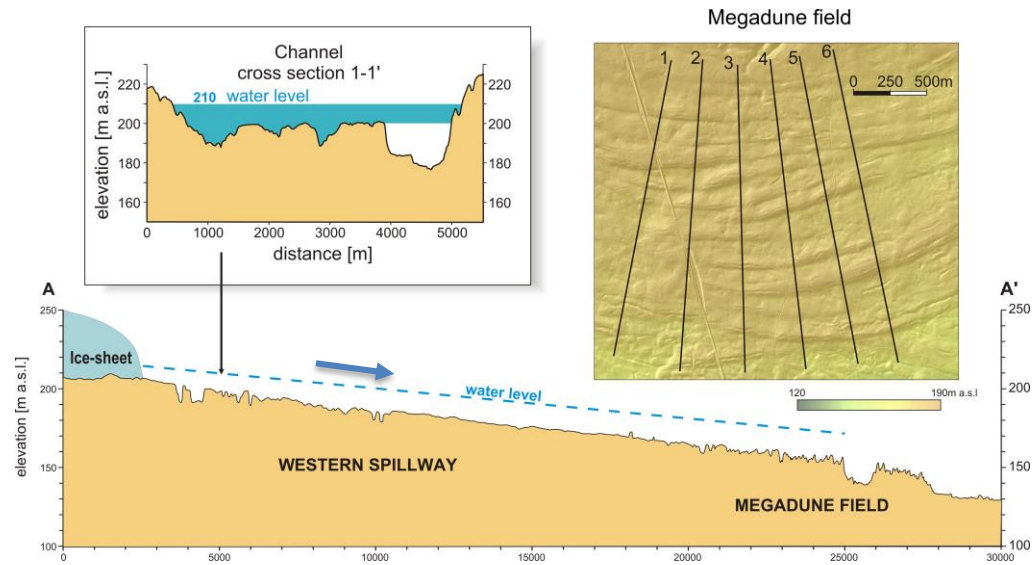
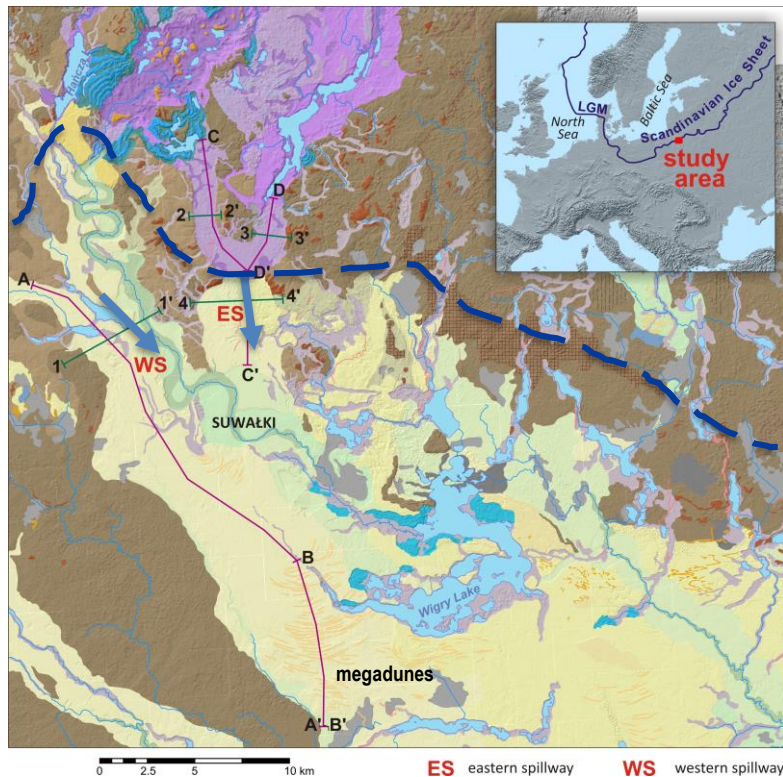
Megapowódzie lodowcowe: Góry Ałtaj



Wielki odsyp (strzałka) w miejscowości Mały Jaloman w dolinie rzeki Katuń, będący zapisem megapowodzi. Po prawej miąższa sukcesja gruboziarnistych warstwowanych osadów powodziowych.



Megapowódzie lodowcowe: „Polska Missoula”

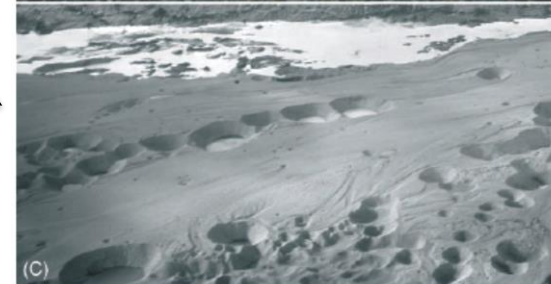


W obszarze NE Polski w rejonie Suwałk i Jez. Wigry ujawniono ślady geomorfologiczne katastrofalnej powodzi lodowcowej późnej części ostatniego zlodowacenia (Wysota i in., 2017; Weckwerth i in., 2017). Pierwsze rekonstrukcje sugerują przepływ o głębokości co najmniej 20 m, prędkości $15-17 \text{ ms}^{-1}$ i między $1,5$ and $2 \text{ mln m}^3\text{s}^{-1}$.

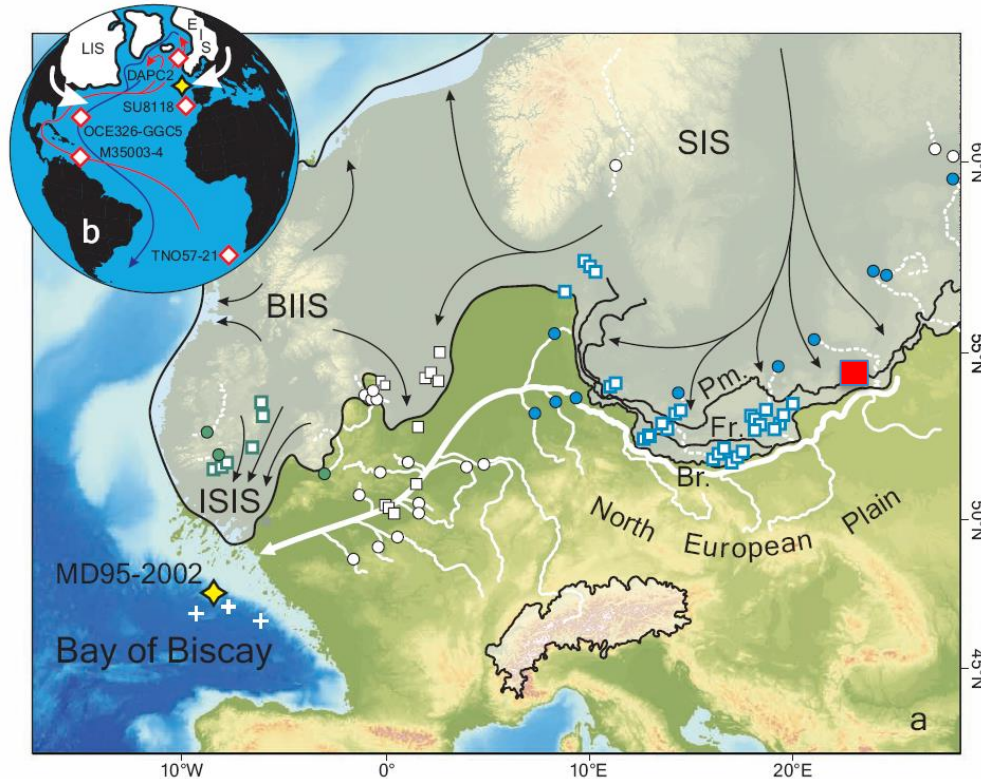
Megapowodzie lodowcowe: „Polska Missoula”



Ciągi zagłębień wytopiskowych o średnicy ok. 30 m i średnio 2 m głębokości, które powstały po wytopieniu się brył lodowych, transportowanych podczas megapowodzi. Obok przykłady wielkich gór lodowych transportowanych ponad 1 km przez jökulhlaup w listopadzie 1996 i powstałych po ich wytopieniu zagłębień na Skeidararsandur na Islandii (Rusell, 2007).



Megapowódzie lodowcowe: „Polska Missoula”



Prawdopodobny szlak odpływu wód lodowcowych do Oceanu Atlantyckiego podczas katastrofalnej powodzi w północno-wschodniej Polsce (czerwony kwadrat) u schyłku ostatniego zlodowacenia. Wody uwolnione z lądolodu do Atlantyku wpłynęły na cyrkulację prądów oceanicznych (czerwony – ciepły prąd wód zasolonych, niebieski – prądy głębinowe) i wpłynęły na zmiany klimatu (wg Toucanne et al., 2015).



Dziękuję za uwagę...

