

Klimatický vývoj ve viselském glaciálu a v holocénu

Stabilní izotopy kyslíku a vodíku

Izotop:	V přírodě:
^{16}O (8 p + 8 n)	99.76 %
^{17}O (8 p + 9 n)	0.04 %
^{18}O (8 p + 10 n)	0.20 %
^1H (1 p)	99.984%
^2H (1 p + 1 n; deuterium, D)	0.016%
(^3H = tritium, is radioactive)	



Existuje 9 možných kombinací H_2O , pouze 2 kombinace jsou důležité z paleoklimatického hlediska:

- $^1\text{H}^2\text{H}^{16}\text{O}$ (HDO)
- $^1\text{H}_2^{18}\text{O}$

Paleoklimatické studie na základě izotopů O₂ z ledovcových vrtů

Tlak vodních par H₂¹⁶O je o:

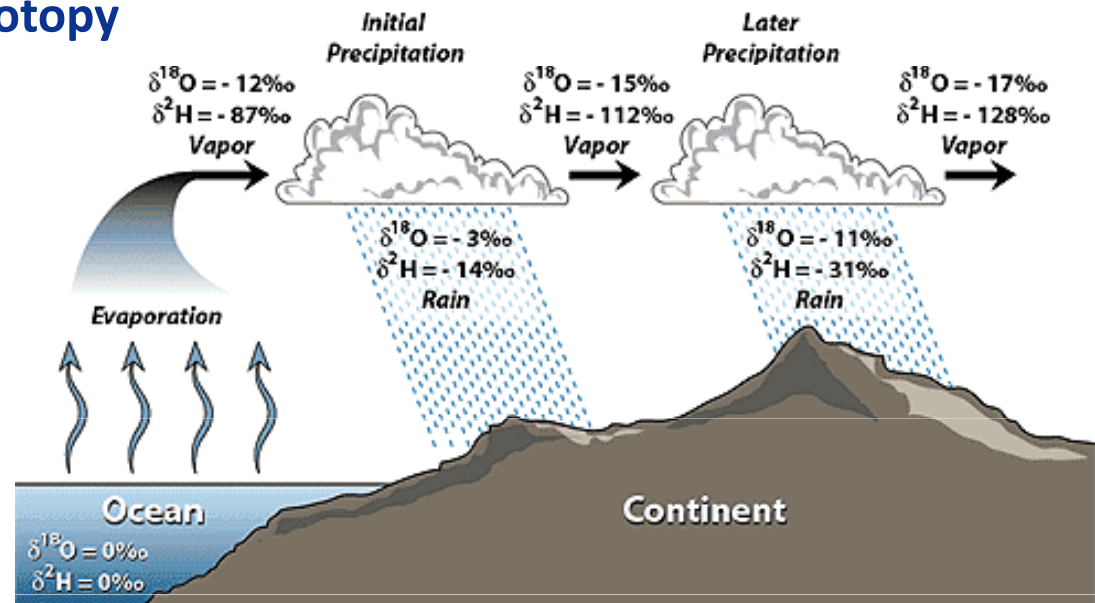
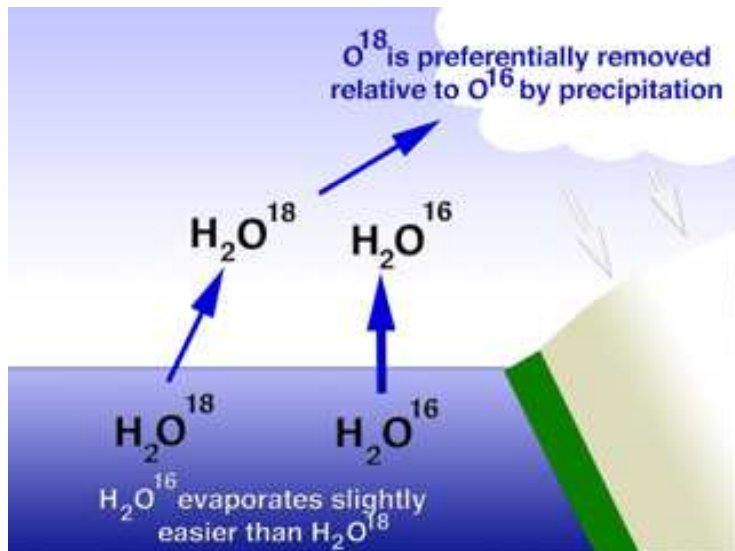
10 % vyšší než tlak vodních par HDO

1 % vyšší než tlak vodních par H₂¹⁸O

Páry uvolněné z vodní masy se vyznačují tím, že jsou *ochuzené* o těžší izotopy deuteria a ¹⁸O, zatímco neodpařená voda se *obohacuje* o D a ¹⁸O

Rovnovážný stav – atmosférické srážky obsahují o 10 ‰ méně ¹⁸O a o 100 ‰ méně D než průměrná oceánská voda

Kondenzace par – HDO a H₂¹⁸O se z vodních par kondenzují mnohem snáze do kapalného stavu a srážky jsou obohacené o těžké izotopy



Vodní páry se v čase čím dál víc ochuzují o těžší izotopy!

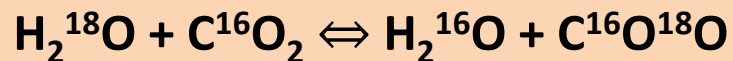
Izotopické složení vzorku vody je vyjádřeno jako odchylka od průměrného složení standardu mořské vody - *Standard Mean Ocean Water (SMOW)*:

$$\delta^{18}\text{O} = \frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{Sample}} - (^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{SMOW}}}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{SMOW}}} \times 1000 \text{ ‰}$$

Totéž platí pro δD

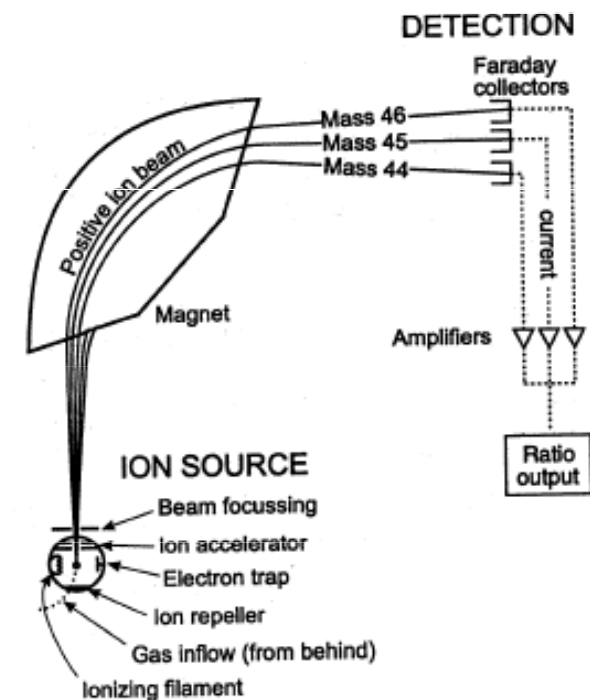
Měření v hmotnostním spektrometru:

5 cm³ vzorku vody dáno do izotopické rovnováhy s CO₂

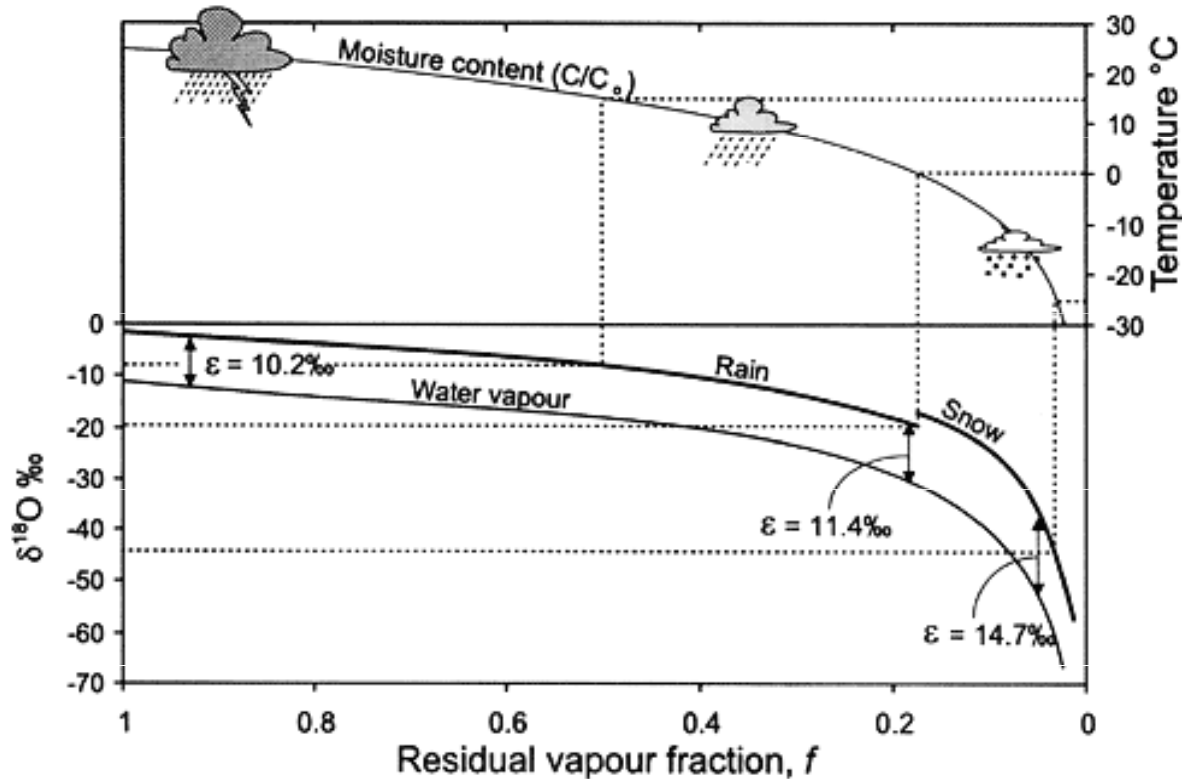


Vzorek s ionizovaným CO₂ je urychlen v magnetickém poli

Poměr mezi intenzitou iontových paprsků s hmotnostním číslem 46 (C¹⁶O¹⁸O) a 44 (C¹⁶O₂) je mírou koncentrace ¹⁸O ve vzorku!



Snižování hodnot $\delta^{18}\text{O}$ ve vodní páře a kondenzátu v průběhu posunu vzdušné masy z oceánu k horskému ledovci:



Počáteční stav $\delta^{18}\text{O}_{\text{páry}} = -11\text{‰}$, teplota = 25 °C, finální teplota - 30 °C. Při 0 °C je frakcionace s systému vodní páry-děšť nahrazena frakcionací v systému vodní páry-sněhové srážky. $\delta^{18}\text{O}$ se počítá od počátečního stavu při teplotě 25 °C. Tečkované linie spojují $\delta^{18}\text{O}$ srážek s teplotou kondenzace (Clark & Fritz 1997, upraveno).

Kondenzát je z vodních par odstraněn okamžitě v podobě vodních srážek!

Hodnoty $\delta^{18}\text{O}$ ve vodních srážkách odrážejí změny teplot:

$\delta^{18}\text{O}$ se snižuje během posunu vzdušné masy do vyšších zeměpisných šířek a vyšších nadmořských výšek

$\delta^{18}\text{O}$ odráží sezónní výkyvy teplot

$\delta^{18}\text{O}$ klesá se vzdáleností od zdroje vlhkosti

$\delta^{18}\text{O}$ odráží dlouhodobé klimatické oscilace

Ledovcové vrty – detailní záznam klimatického vývoje ve svrchním pleistocénu a holocénu



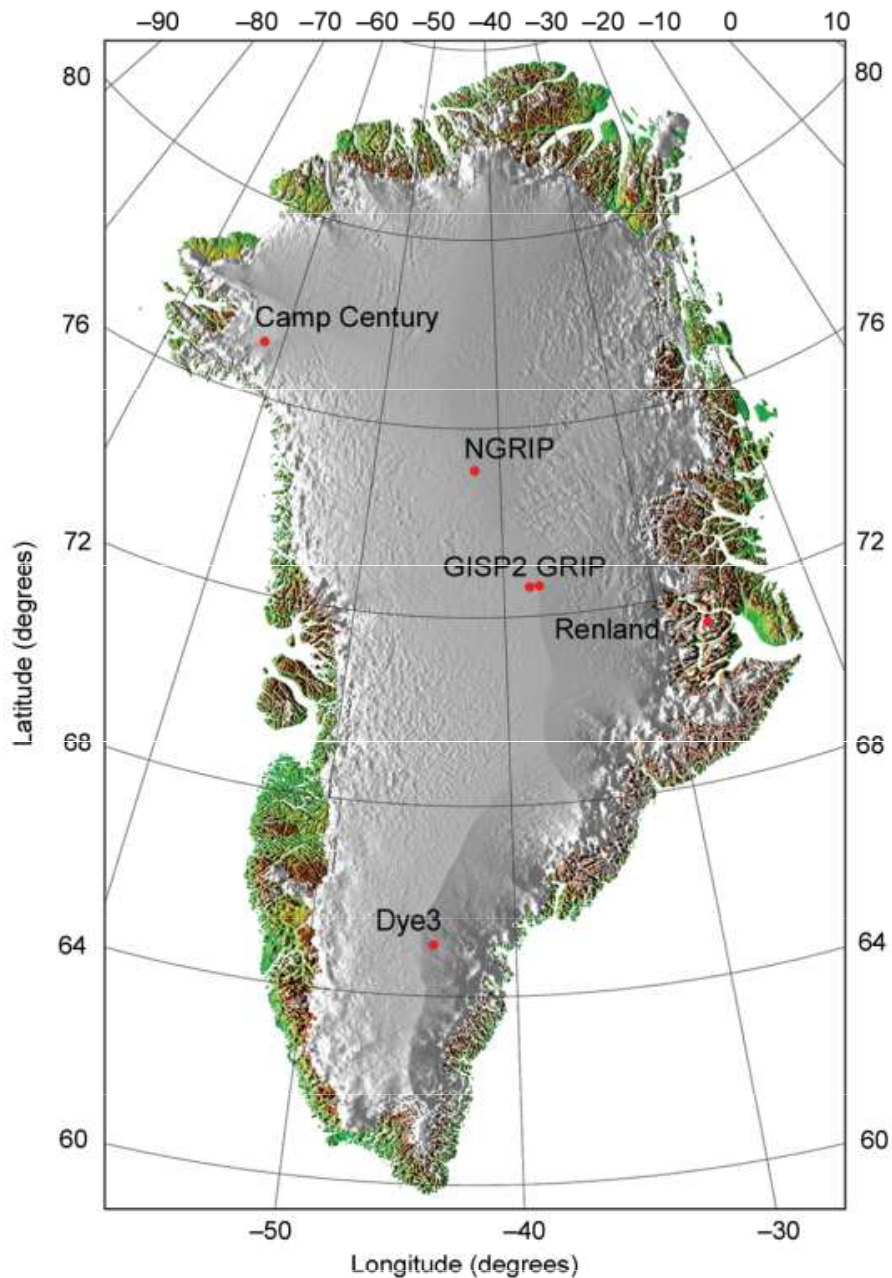
Detailní záznam klimatického vývoje ve svrchním pleistocénu a holocénu

Grónsko – ledovcové vrty ukazují na výraznou klimatickou variabilitu za posledních 250 tisíc let

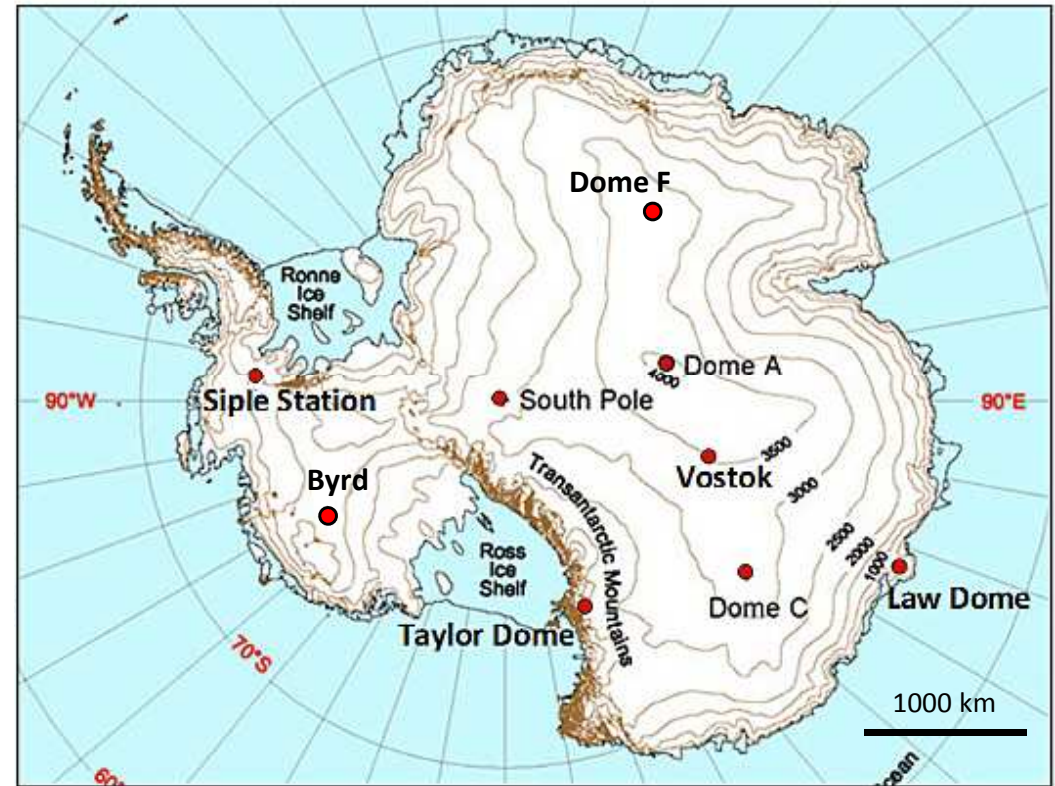
Nejstarší led – 740 000 let BP, Dome C (Antarktida)



Ledovcové vrty v Grónsku a na Antarktidě



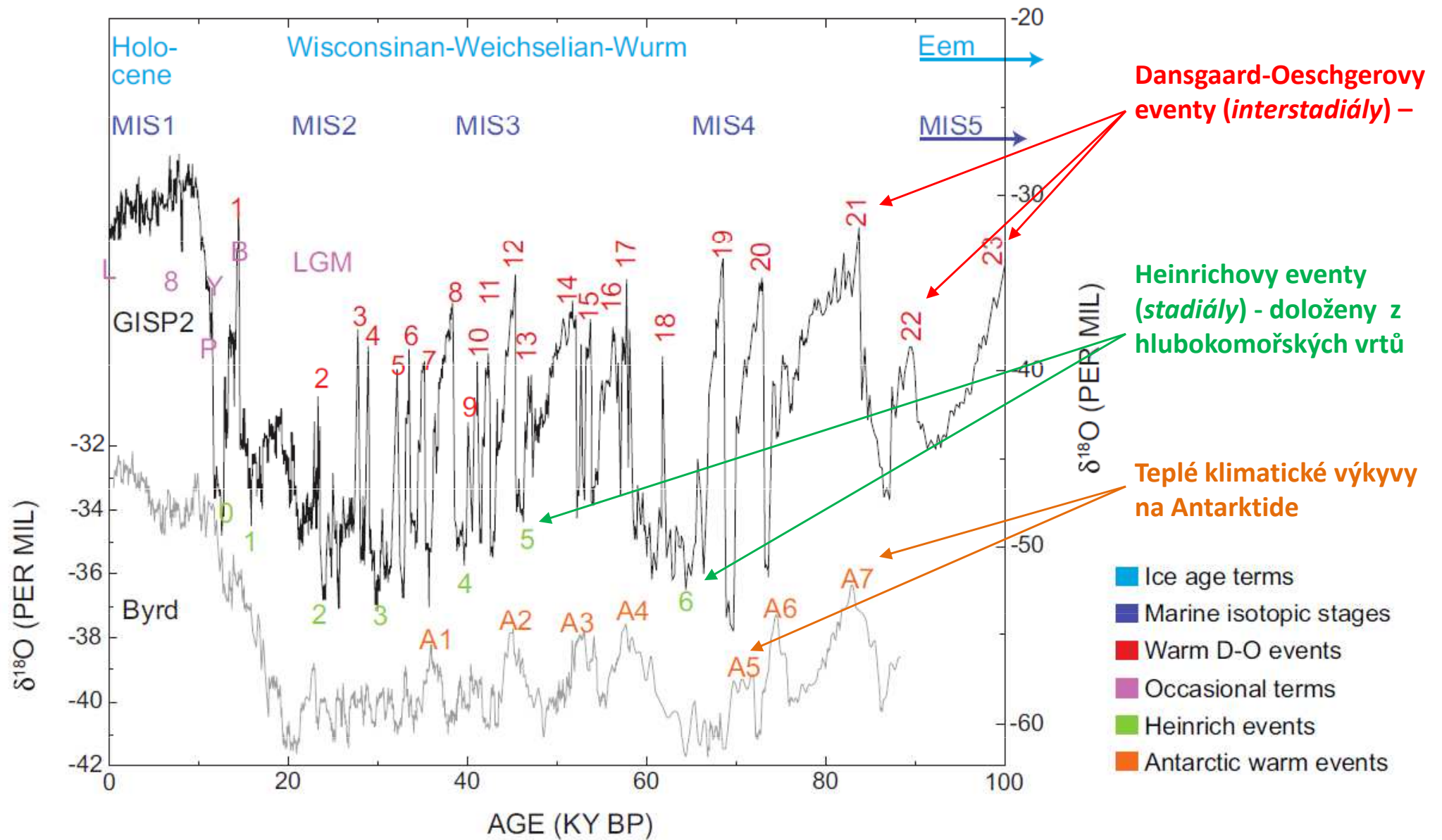
Umístění ledovcových vrtů v Grónsku (Andersen et al. 2004).



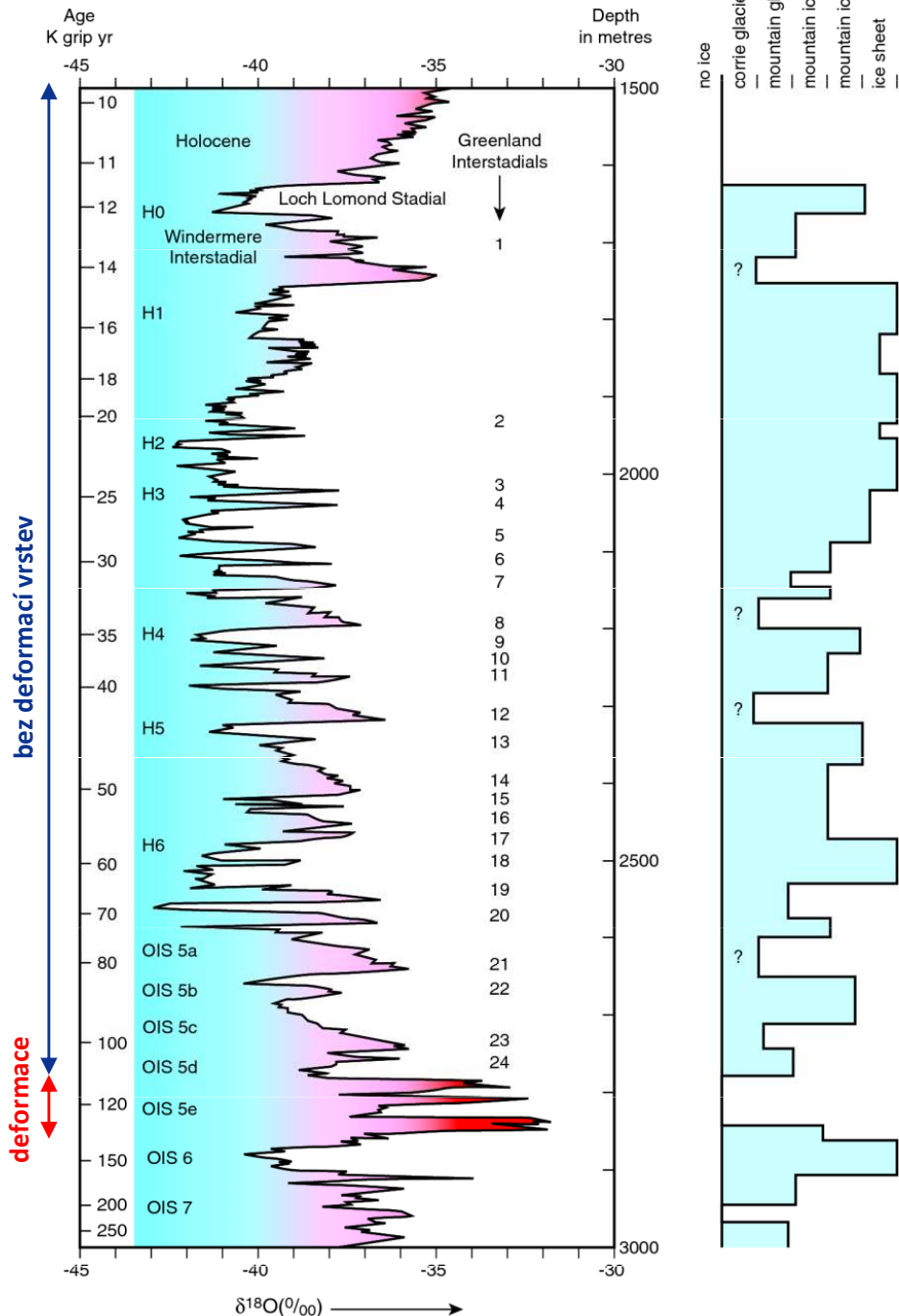
Významné elevace na Antarktidě včetně umístění významných ledovcových vrtů (<http://cdiac.ornl.gov>).

Vrty hluboké až 3600 m!

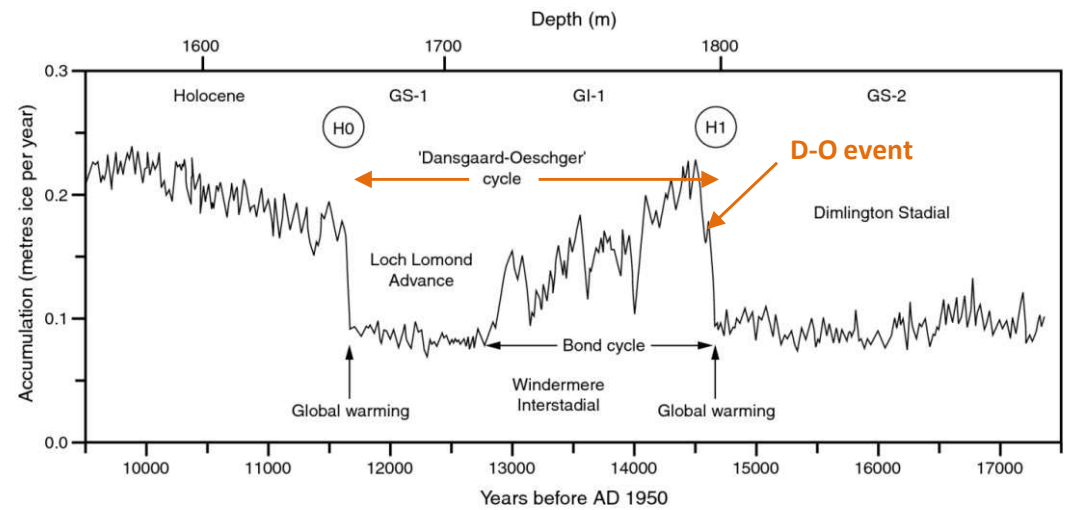
O čem vypovídají záznamy z ledovcových vrtů?



Klimatický záznam viselského glaciálu z ledovcových vrtů v Grónsku (GISP2) a na Antarktidě (Byrd).



Klimatický záznam svrchního pleistocénu z ledovcových vrtů v Grónsku (GISP2) a intenzita růstu ledovcových mas.



D-O cykly, bondovy cykly a heinrichovy stadiály.

Grónsko – GISP2

Zjištěno až 24 *interstadiálních* výkyvů

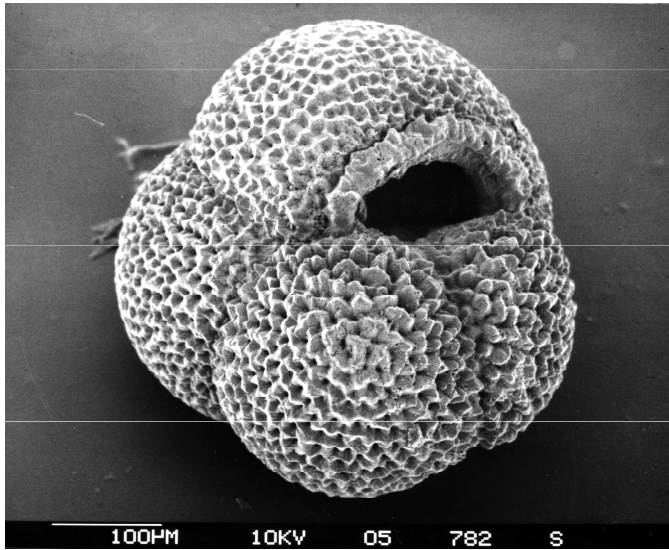
D-O eventy - *rychlé oteplení* (10–15 °C) v průběhu 20–50 let, trvá (~500–2000 let)

D-O cyklus – *přetrvání teplejšího klimatu, v druhé fázi ochlazení* (GS)

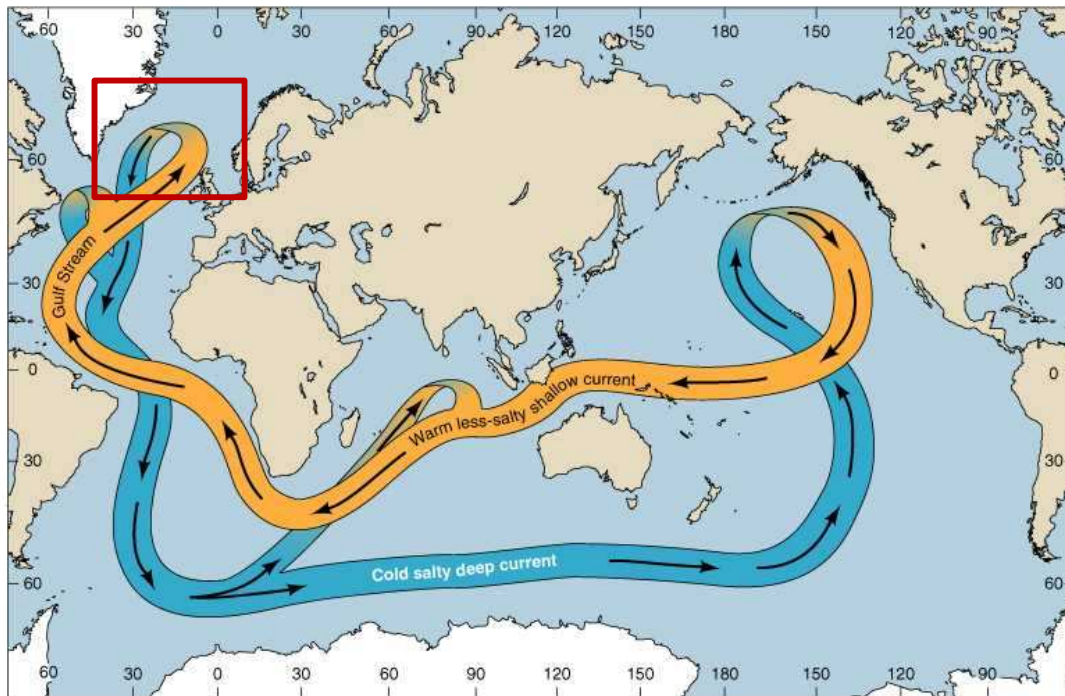
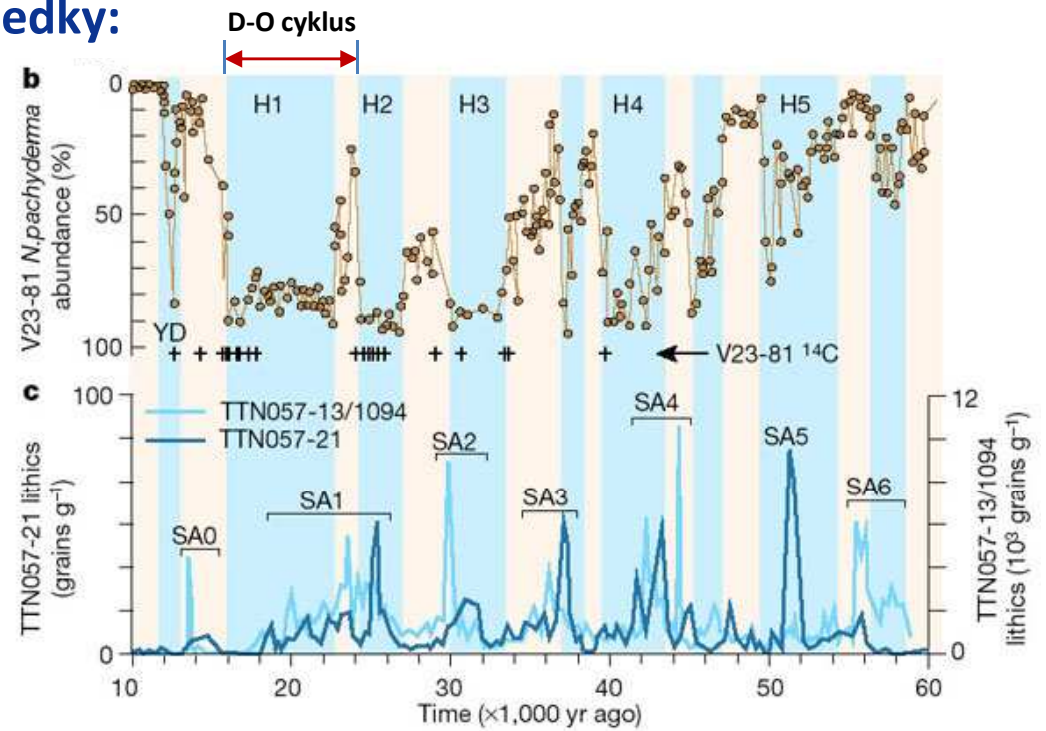
Bondův cyklus – *více D-O cyklů, progresivní pokles teplot mezi dvěma grónskými stadiály*

Grónské interstadiály – *průměrné teploty 5–6 °C nižší než na ledovci dnes*

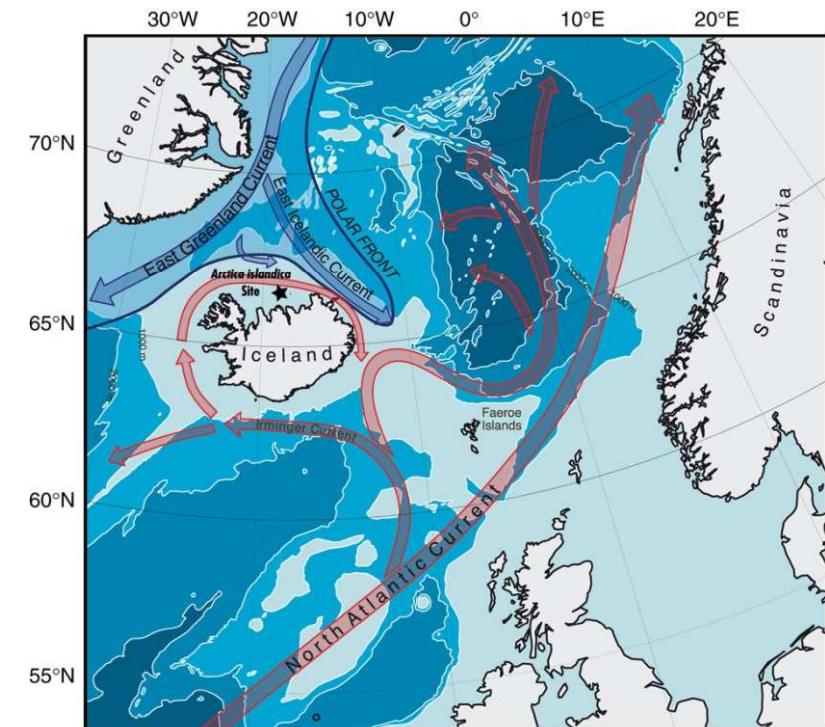
Dansgaard-Oeschgerovy cykly – příčiny a důsledky:



Neoglobobulimina pachyderma



Copyright 1999 John Wiley and Sons, Inc. All rights reserved.



Současný stav (**teplý interglaciál**):
Hlubokomořské proudy se tvoří severně
a jižně od Islandu

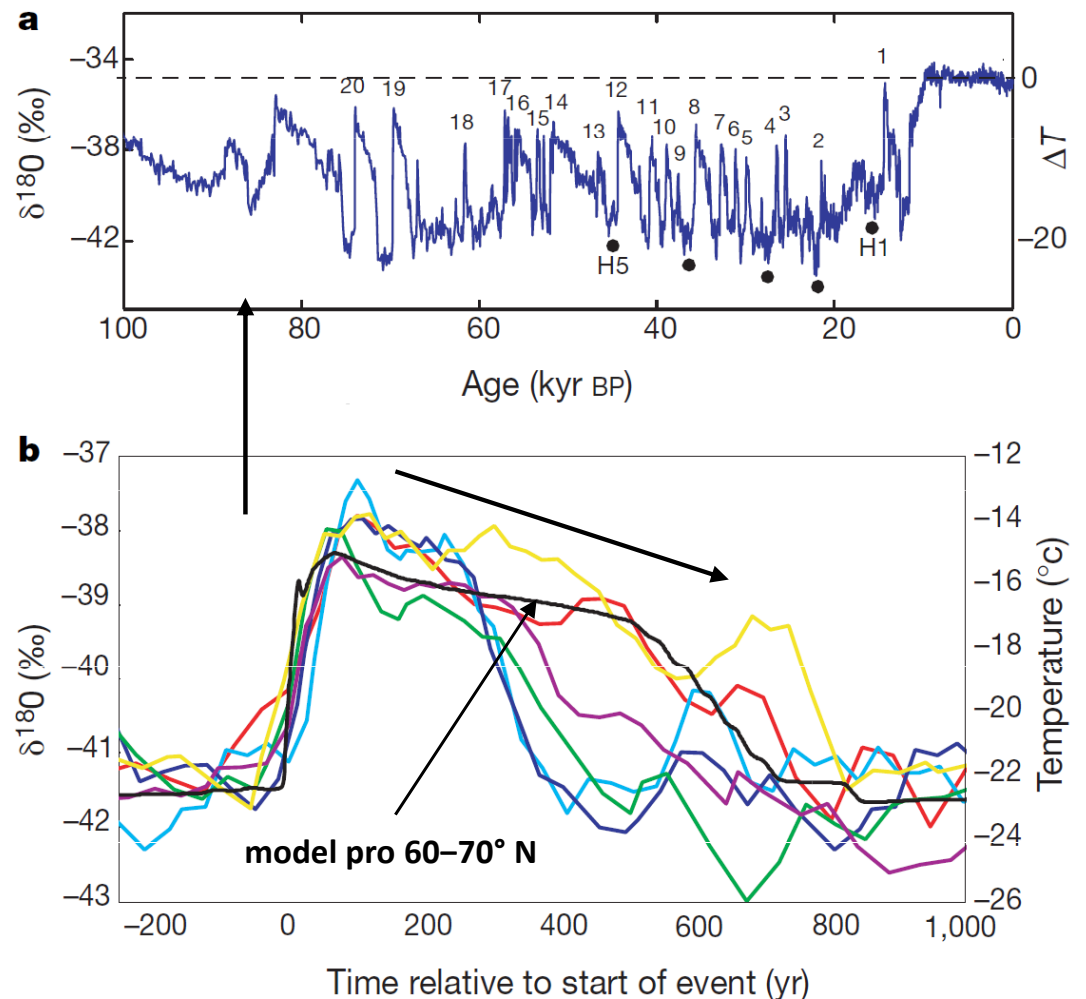
D-O eventy – iniciální výrazné oteplení,
poté fáze ochlazování, trvání některých
do 1000 let, jiné (8, 12, 19, 20) mnohem
déle

1. fáze D-O cyklu – výrazné *snížení*
počtu chladnomilných planktonních
foraminifer rodu *Neogloboquadrina*

Dansgaard-Oeschgerovy interstadiály:
Golfský proud neproudí k Islandu,
hlubokomořské proudy vznikají pouze
jižně od Grónska a Islandu

2. fáze D-O cyklu – **přísun sladké vody**
do oceánu (kry ledovců)

Stadiály - dočasné snížení vlivu
termohalinní cirkulace (THC)

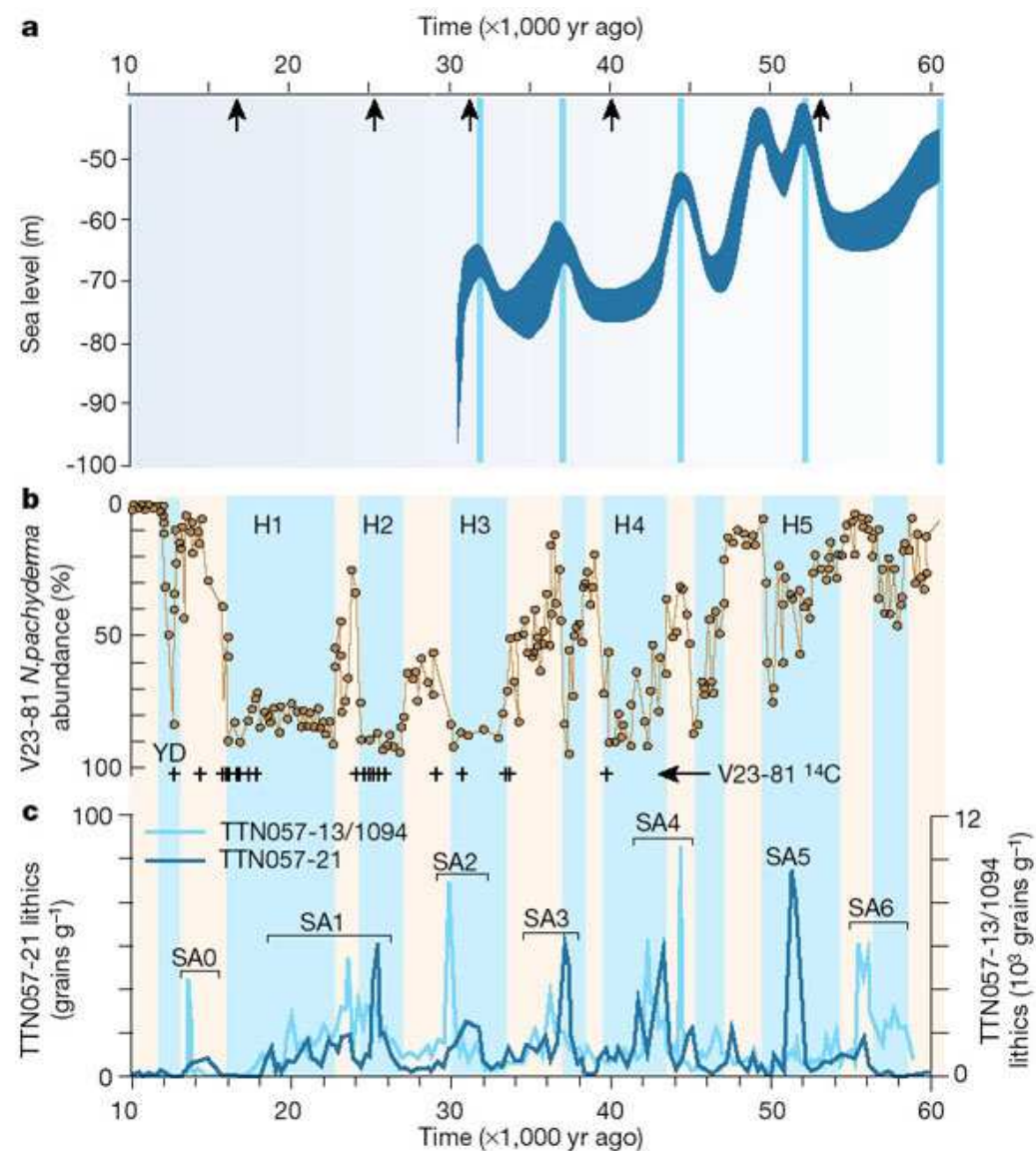


Náhlé klimatické změny zjištěné z ledovcových vrtů v Grónsku;
a – záznam δ¹⁸O z GRIP-46, proxy-data atmosférických teplot v
Grónsku je vpravo. Číslovaně - D/O teplé eventy. Heinrichovy
eventy H1–H5 označeny černou tečkou. B – časový průběh
nedávných D/O eventů 3 (světle modrá), 4 (tmavě modrá), 5
(fialová), 6 (zelená), 7 (oranžová), 10 (červená) (Ganopolski,
Rahmstorf 2001).

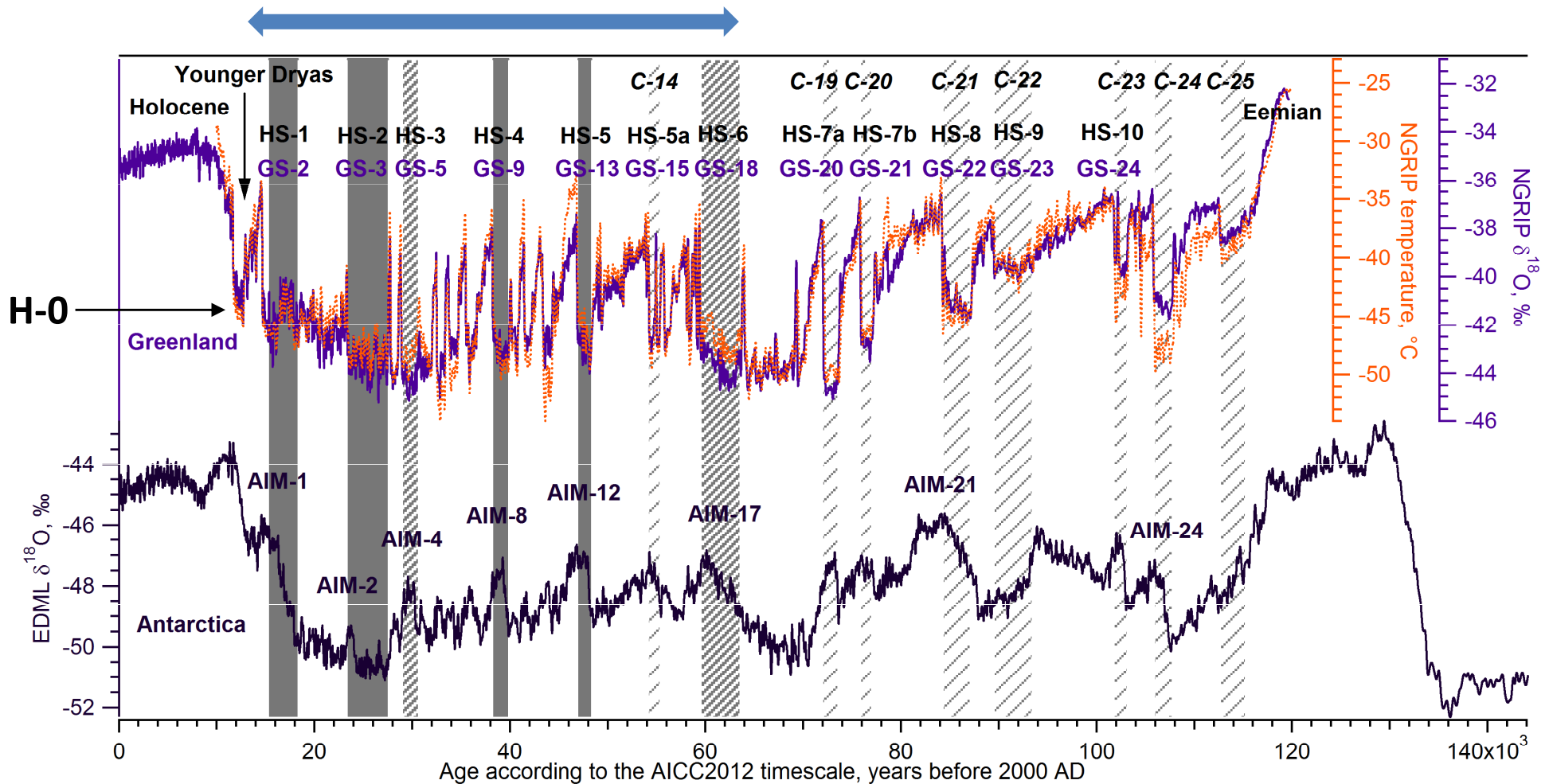
- v současnosti se za hlavní příčinu rychlých Dansgaard-Oeschgerových změn považují *změny v charakteru oceánského proudění*
- vzrůstající *přísun sladké vody z ledovců* do vod severního Atlantiku může na evropském kontinentu způsobit *náhlé ochlazení!*

Heinrichovy eventy

a - křivka úrovně mořské hladiny pro MIS-3 korálových teras Huonského poloostrova, Papua Nová Guinea. Vyznačeny jsou horní a spodní úrovně. **b** – záznam planktonní foraminifery *Neogloboquadrina pachyderma* (s.) ve vrtu V23-81 (severní Atlantik). Původní ^{14}C datování z vrtu (+) přepočteno na kalendářní roky. Rozsah hlavních Heinrichových eventů identifikovaných ve vrtech severního Atlantiku, označující chladné periody, jsou vyznačeny modře. Šipky – průměrná datace Heinrichových eventů. **c** - IRD ze dvou vrtů jižního Atlantiku (TTN057-21 and TTN057-13/1094). IRD peaky jižního Atlantiku odpovídají chladným eventům severního Atlantiku.



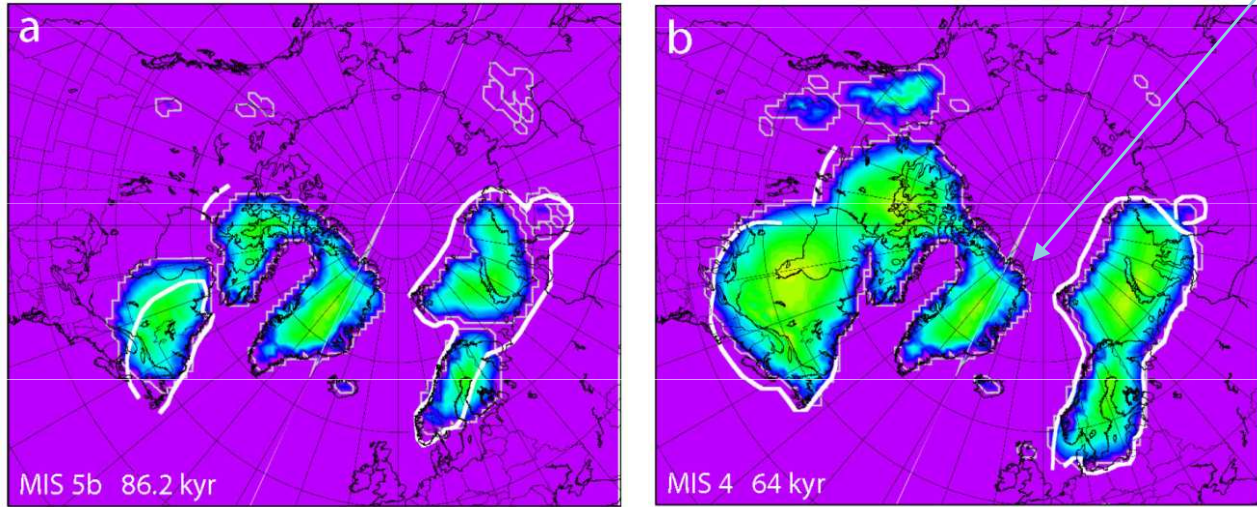
Heinrichovy eventy



Chronologie klimatických událostí posledního (viselského) glaciálu (~posledních 120 000 let) zachycená v polárních ledovcových vrtech a přibližná relativní pozice Heinrichových eventů, původně zachycených v marinních vrtech severního Atlantiku. Fialová linie: $\delta^{18}\text{O}$ z ledovcového vrtu NGRIP (Grónsko) (NGRIP members, 2004). Oranžové tečky: rekonstrukce teplot v místě NGRIP (Kindler et al., 2014). Tmavě fialová: $\delta^{18}\text{O}$ z ledovcového vrtu EDML (Antarktida) (EPICA community members, 2006). Šedá pole: hlavní Heinrichovy eventy většinou z oblasti Laurentidy (H1, H2, H4, H5). Šedé šrafy: hlavní Heinrichovy eventy většinou evropského původu (H3, H6). Šedá řídká šrafa + čísla C-14 to C-25: méně výrazné IRD vrstvy v mořských sedimentech severního Atlantiku (Chapman et al., 1999). HS-1 to HS-10: Heinrichovy stadiály (HS, Heinrich, 1988; Rasmussen et al., 2003; Rashid et al., 2003). GS-2 to GS-24: Grónské stadiály (GS, Rasmussen et al., 2014). AIM-1 to AIM-24: Antarktické izotopové maximum (AIM, EPICA community members, 2006). Ledovcové vrty z Antarktidy a Grónska vyneseny pro společné časové škále AICC2012 (Bazin et al., 2013; Veres et al., 2013).

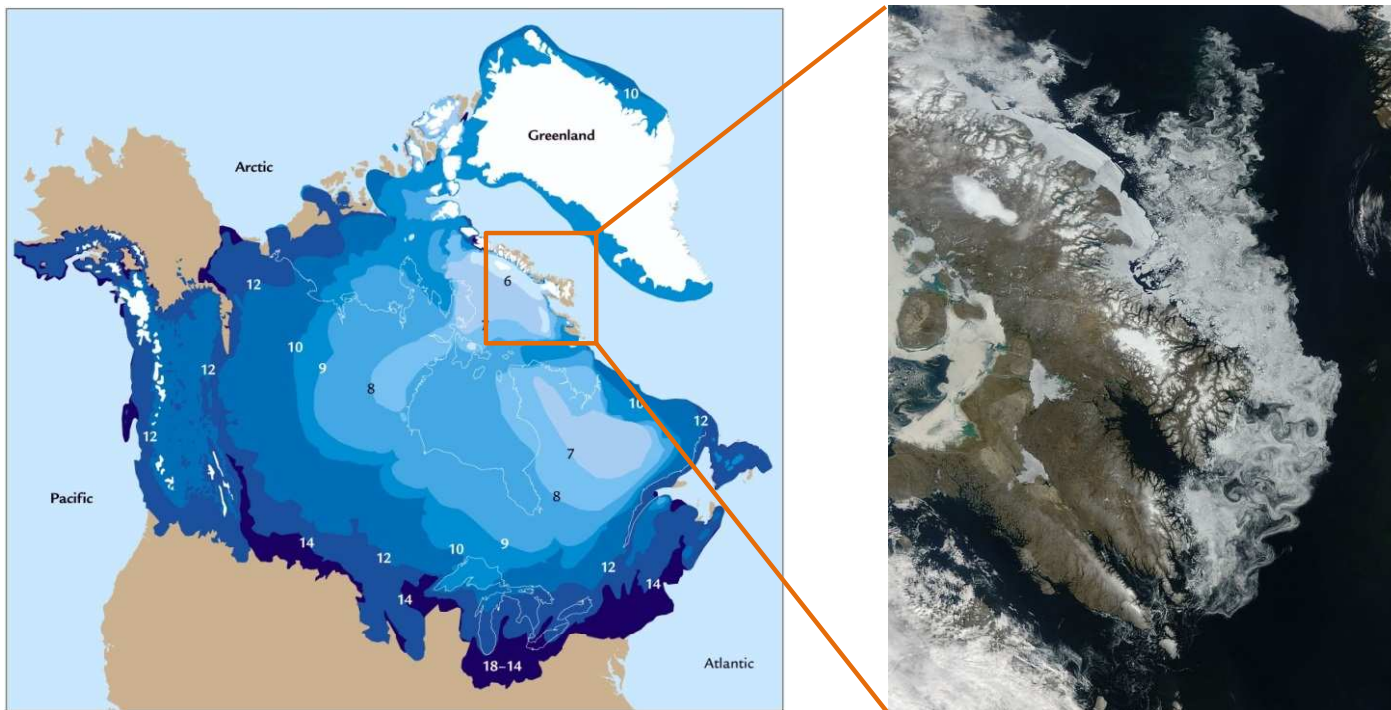
Heinrichovy eventy

H-6 ~ 60–64 ky BP



Model mociosti ledovcového pokryvu v průběhu MIS 5b a MIS4 (dle Kleman et al. 2013, upraveno).

IRD - 180µm až 3 mm



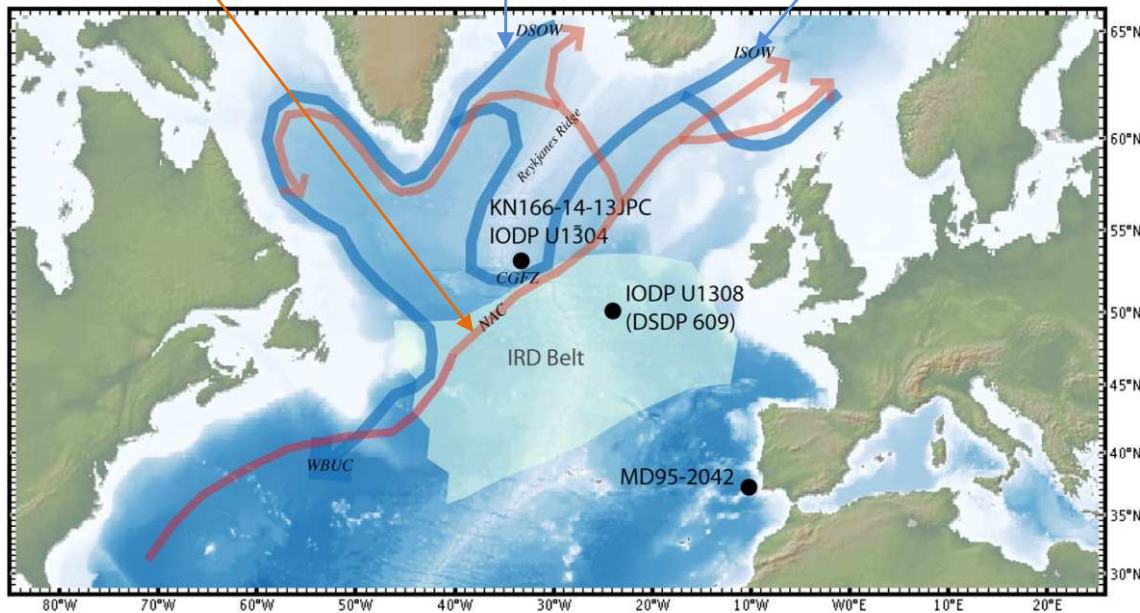
Hlavní příčina je *nestabilita kontinentálního ledovce v oblasti Laurentidy*

Korelace klimatických záznamů z hlubokomořských vrtů (severní Atlantik)

Severoatlantický proud
(teplý)

Denmark Strait Overflow Water

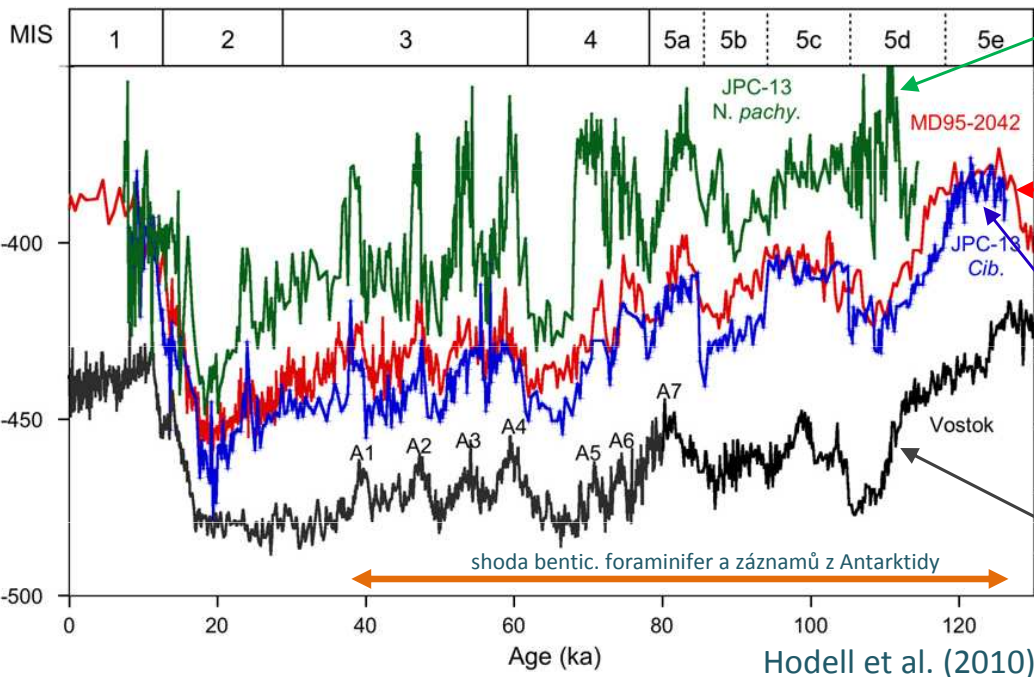
Island-Scotland Overflow Water



ISOW + DSOW – větve chladného hlubokomořského proudění (NADW – North Atlantic Deep Water)

Hodell et al. (2010)

Planktonní foraminifery
(*Neogloboquadrina pachyderma*)



Bentické foraminifery
(*Cibicides wuellerstorfi*)
– Portugalsko

Bentické foraminifery
(*Cibicides wuellerstorfi*)

Antarktický záznam δD (synchronizováno)

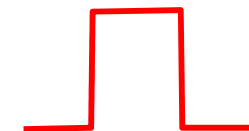
Dobrá korelace záznamu bentických foraminifer

Hodell et al. (2010)

Korelace IRD s Heinrichovými eventy a chladnými cykly C19-C21

bentické foraminifery

planktonní foraminifery
(*N. pachyderma*)

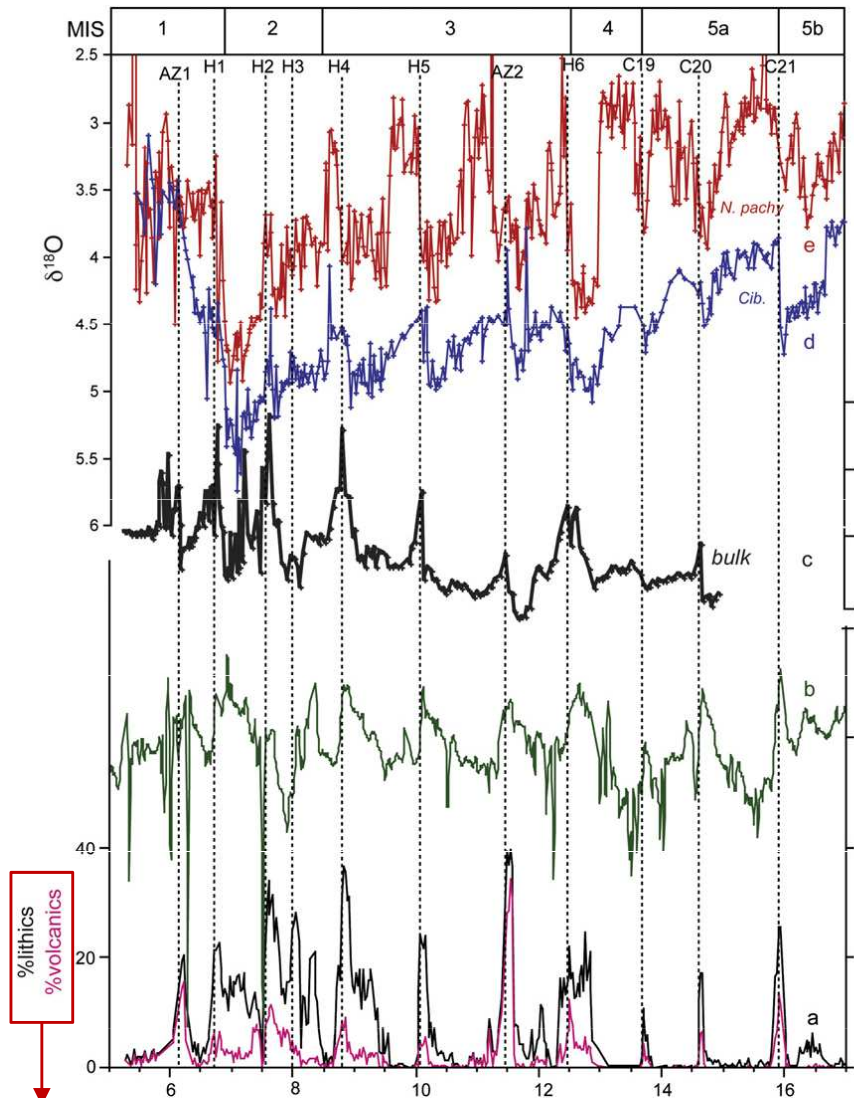
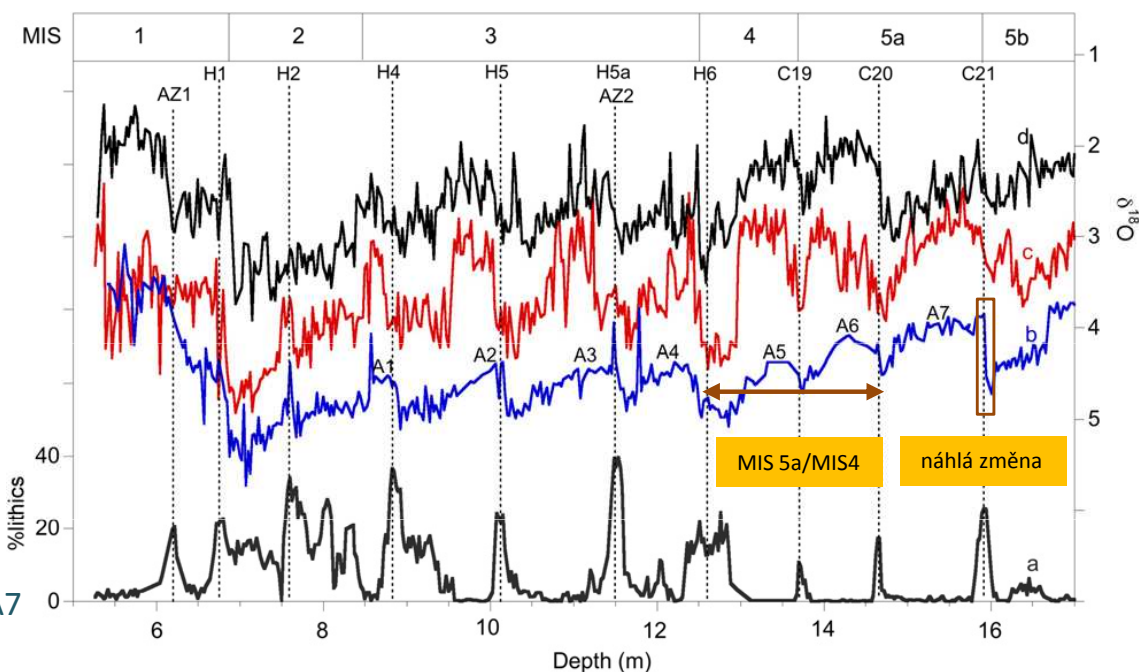


Planktonní foraminifery – odpovídají A1–A7

Bentické foraminifery – spíše „tisíciletý“ cyklus

Korelace IRD s poklesem $\delta^{18}\text{O}$ u bentických foraminifer ($\sim 0,3-0,5 \text{ ‰}$), u planktonních pokles později ($\sim 1 \text{ ‰}$)

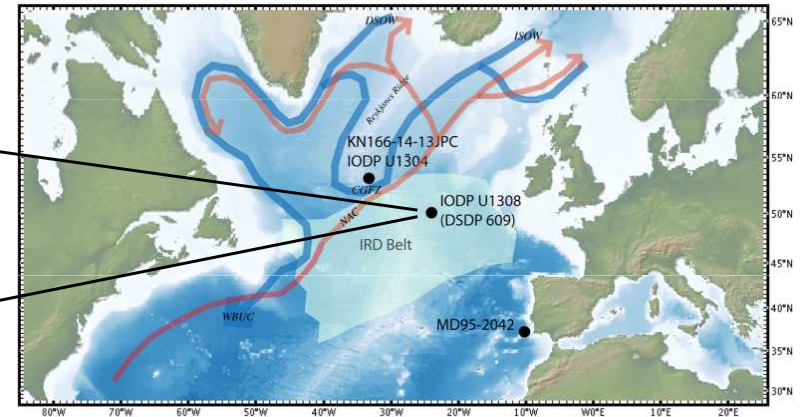
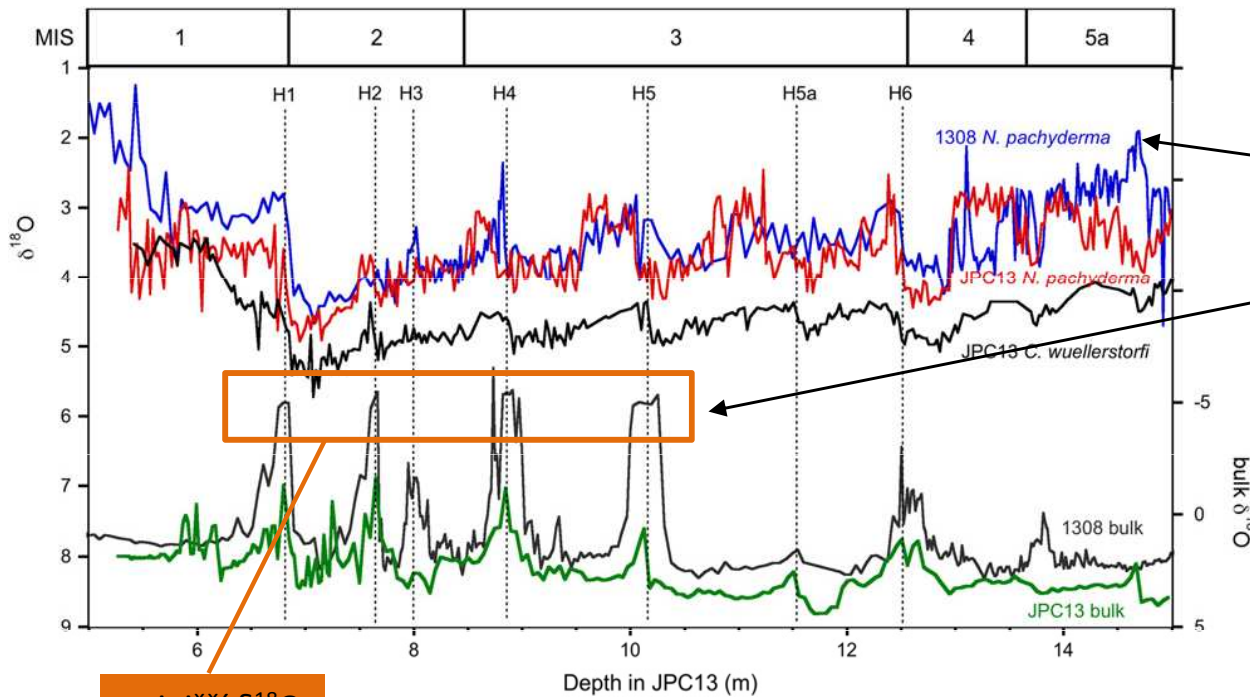
vrt JPC-13



dominantně Q a vulkanity (bazalty)

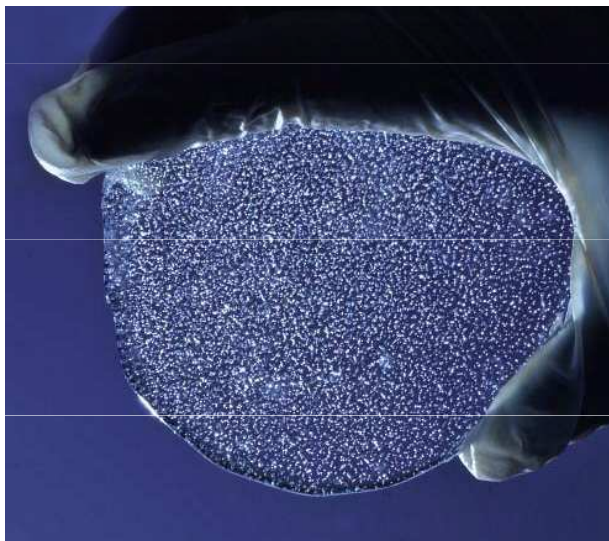
IRD-proxy data z vrtu JPC-13. Vertikální šedé čárkované linie – pozice Heinrichových eventů (H) a McManus et al. (1994) chladných period (C). Dle Hodell et al. (2010).

Procentuální podíl úlomků hornin (a) a záznamy $\delta^{18}\text{O}$ u bentických foraminifer *Cibicides* (b), planktonních *Neoglobobulimina pachyderma* (c) a *Globigerina bulloides*. A1-A7 – teplé výkyvy (Antarktida) (dle Hodell et al. 2010, upraveno).



nejnižší $\delta^{18}\text{O}$

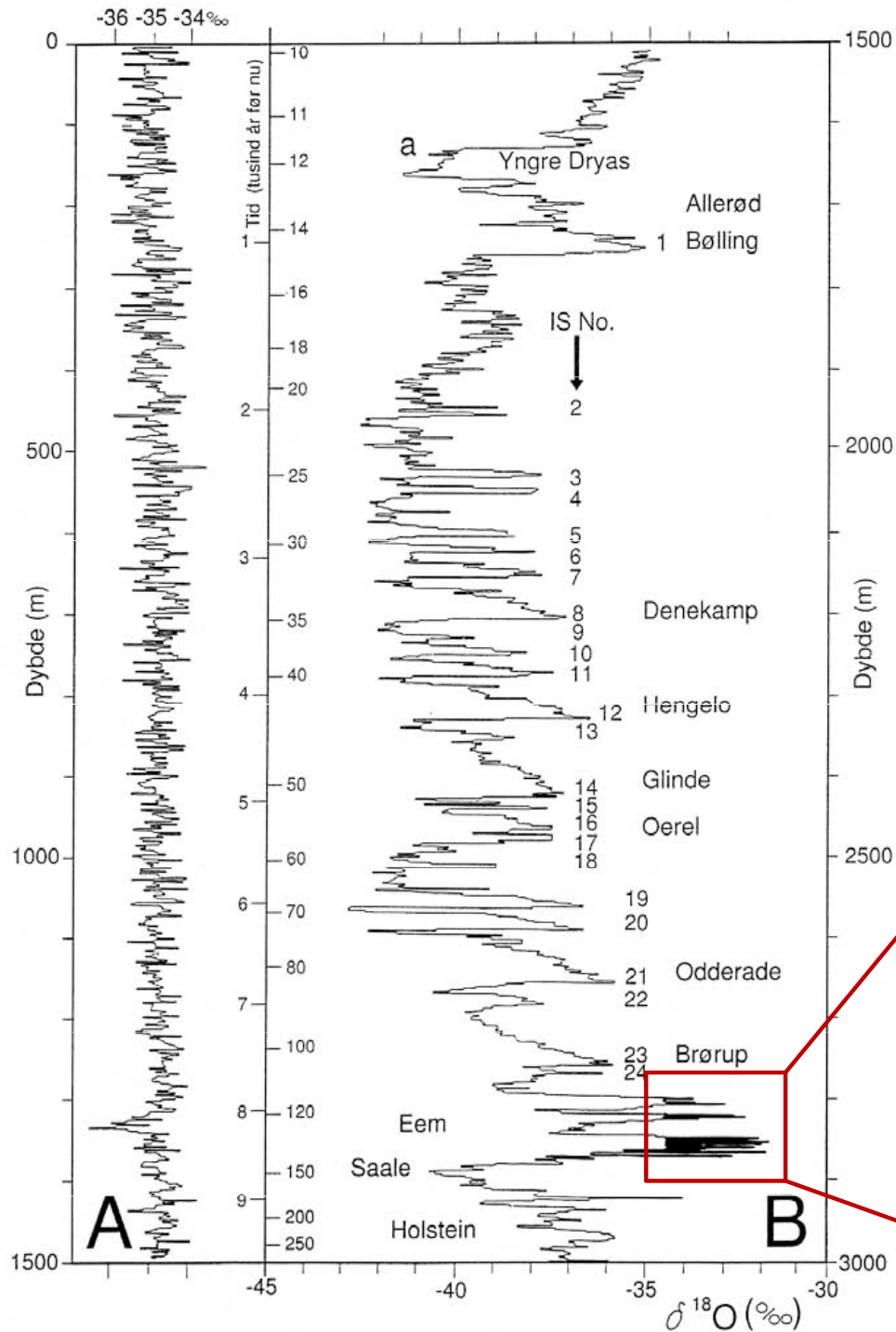
jemnozrnný detritický karbonát původ hlavně z Laurentidy (kde $\delta^{18}\text{O} = -5,5\text{‰}$)



Po Heinrichových eventech dochází k *prudkému oteplení*, která ve stupni MIS 3 přecházejí v nejdelší a nejteplejší interstadiály v Grónsku

Data $\delta^{15}\text{N}$ z plynových bublin v ledovcových vrtech ukazují na oteplení počátkem G-1S až o $\sim 12\text{ °C}$!

Kompletní profil ledovcového vrtu GRIP

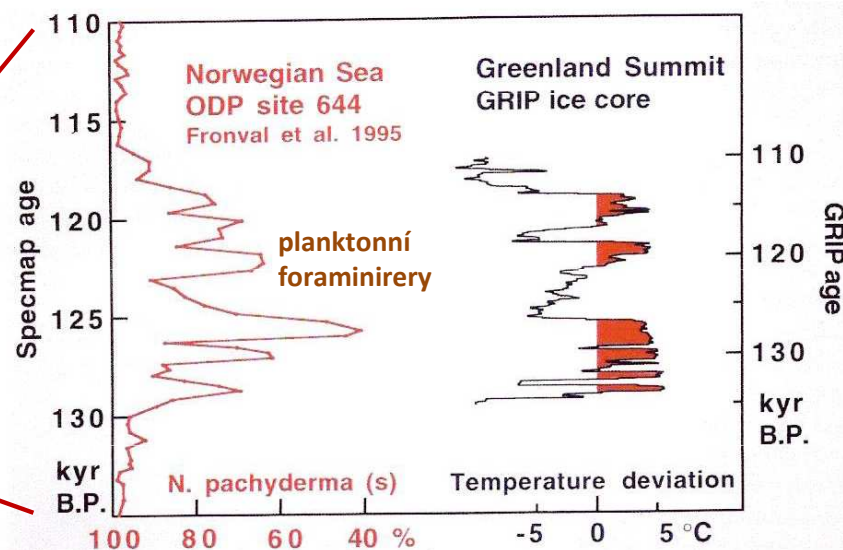


GRIP – reference pro všechny paleoklimatické studie na severní polokouli do 100 ky BP

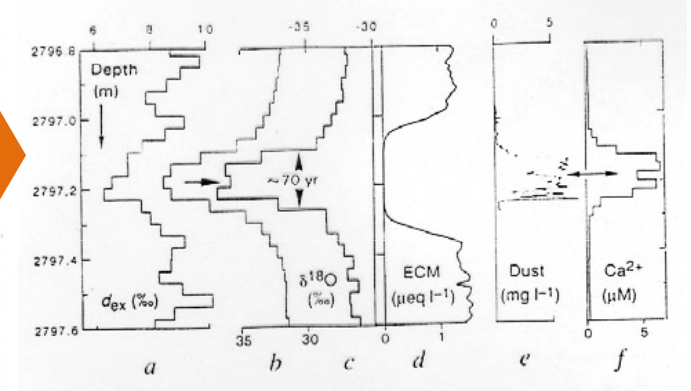
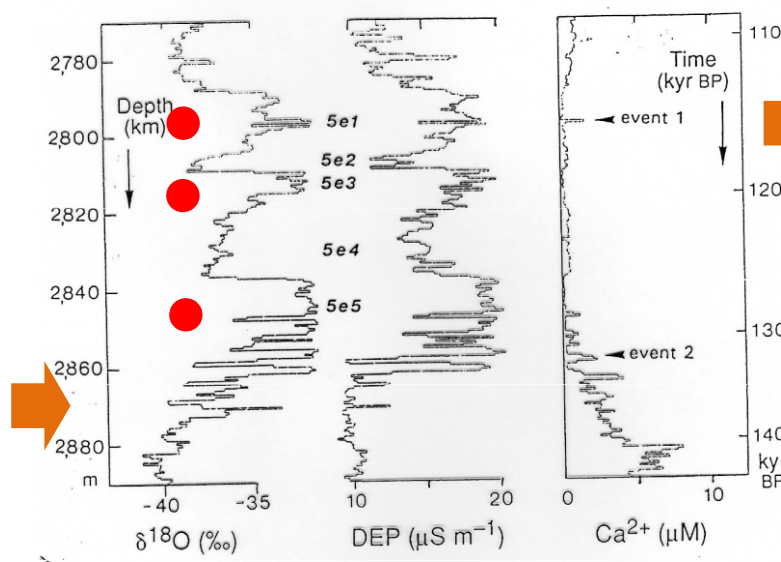
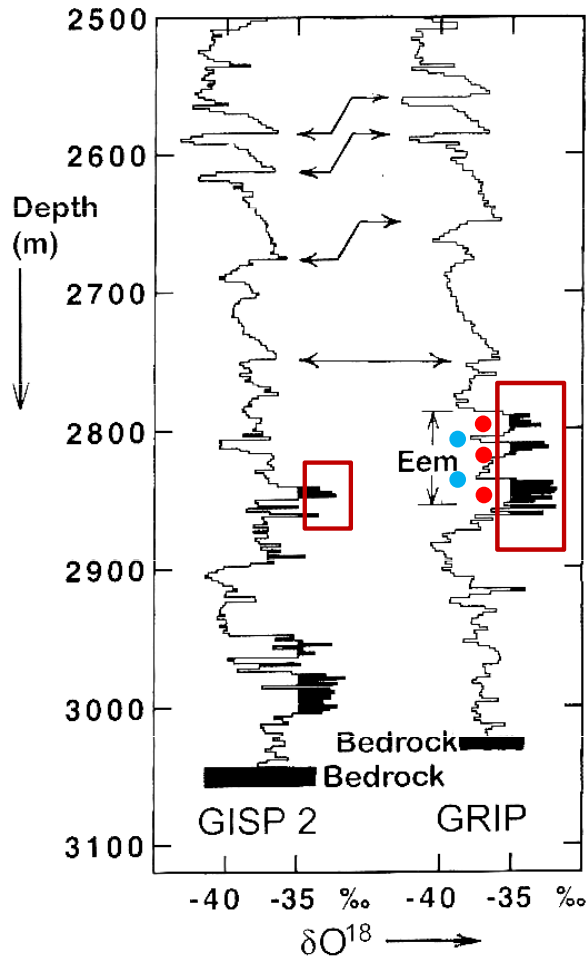
23 potvrzených Dansgaard-Oeschgerových interstadialů v průběhu posledního glaciálu (11.7-110 ka BP).

Holocén (0-11.7 ky BP) – velmi stabilní interglaciální klima

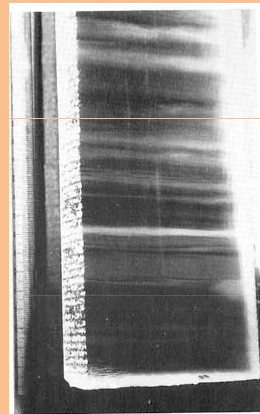
POZOR!!! nestabilita klimatu v interglacialu eem (110-135 ka BP)



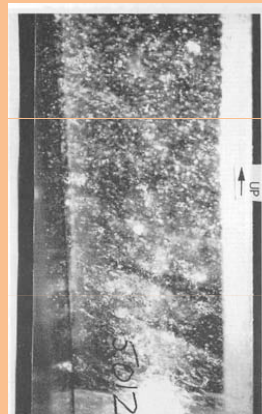
GRIP vs. GISP2, problém vizuálního záznamu eemského interglaciálu



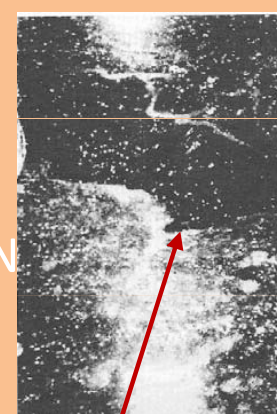
Event 1 - krátkodobý (20 cm, ~70 let) chladný výkyv v průběhu MIS 5e1 (114 ky BP)



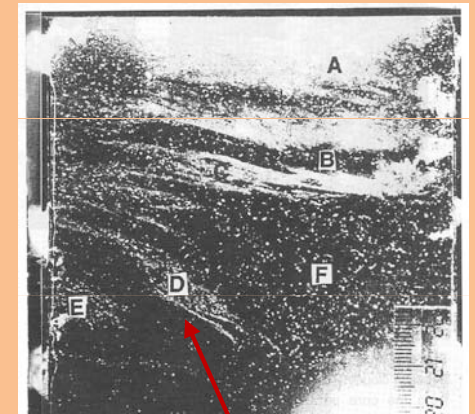
Neporušené vrstvy nad hl. 2500 m



Ukloněné vrstvy v hloubce 2757 m (GRIP)



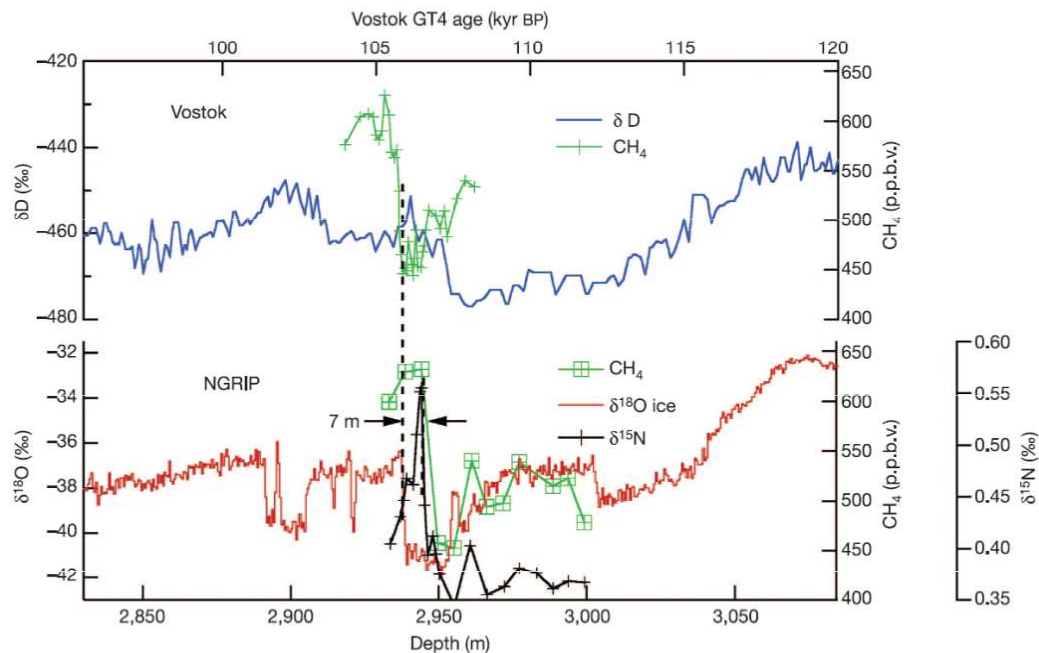
Porušená vrstva v hloubce 2873 m.



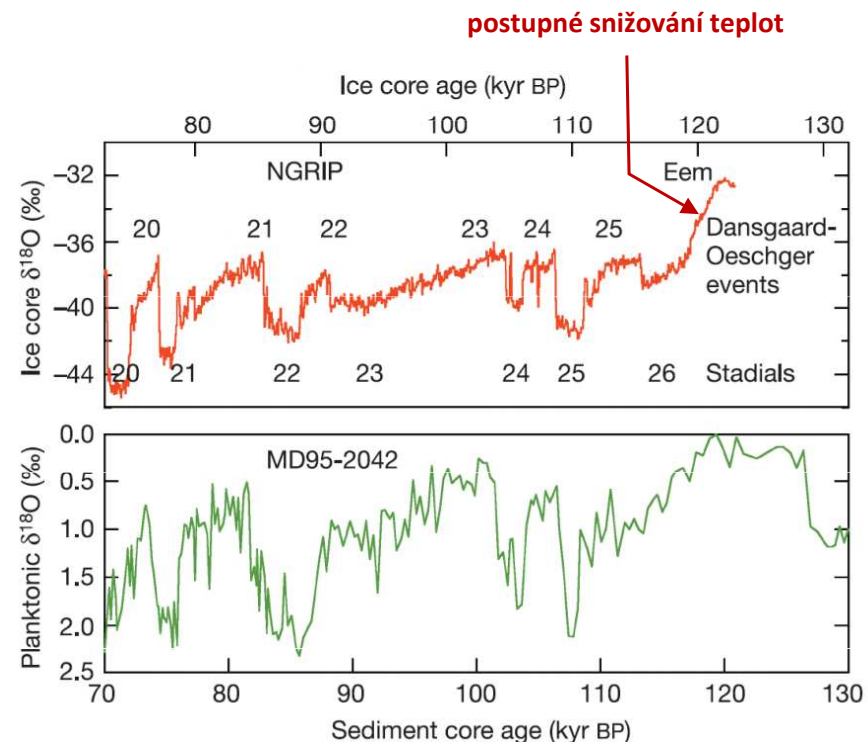
Zvrásněná vrstva v hloubce 2923 m.

V hloubkách pod 2700 m – vrstvy tlakově deformované nejen v mikro-, ale i makroměřítku. Tři teplé výkyvy v rámci MIS 5e (pouze GRIP!)

NGRIP – North Greenland Ice Core Project



Srovnání záznamů z vrtů NGRIP (Grónsko) a Vostok (Antarktida).



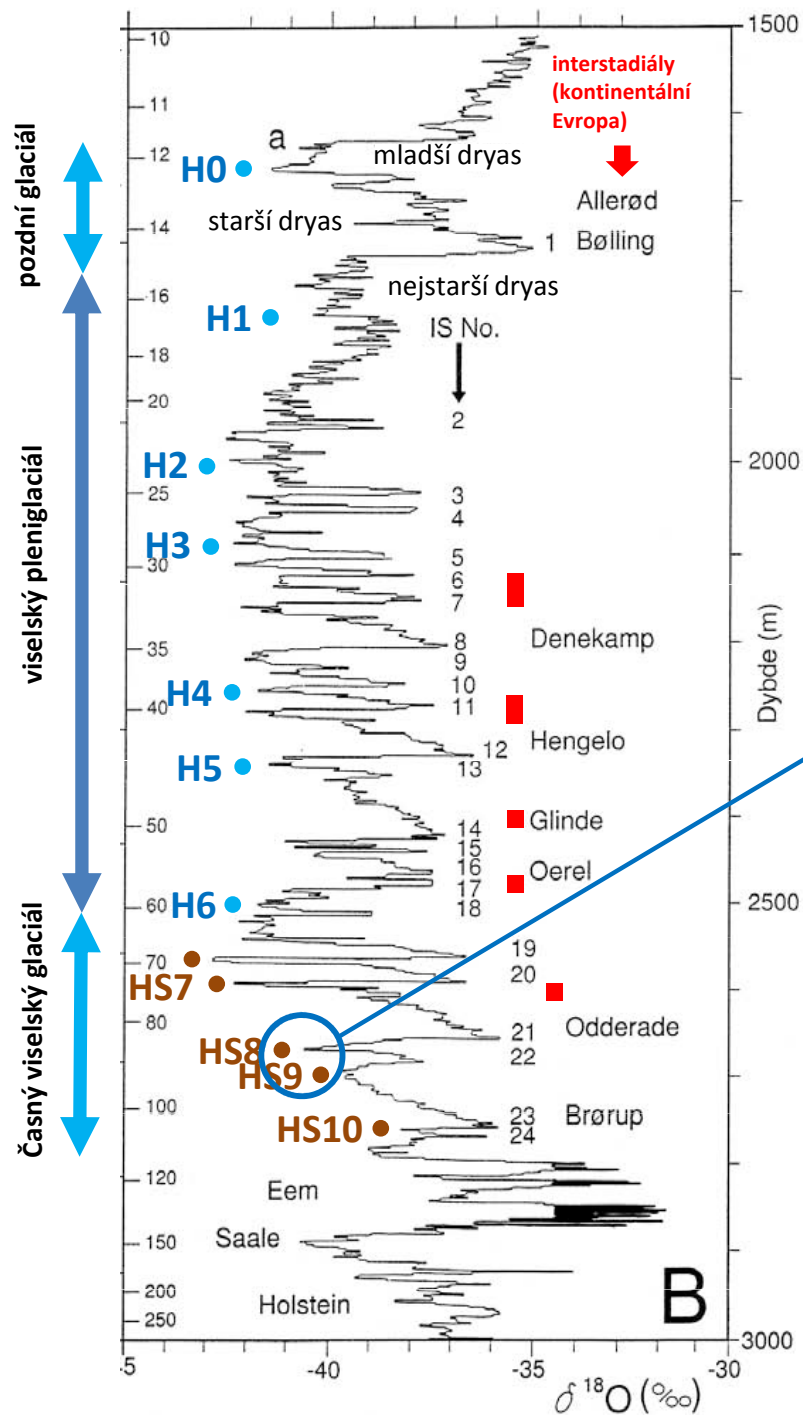
Srovnání záznamů z vrtů NGRIP (Grónsko) a $\delta^{18}O$ planktonních foraminifer z vrtu u portugalského pobřeží.

Vzrůst $\delta^{15}N$ a koncentrace CH_4 je v NGRIP je o 7 m hlouběji než odpovídající vzrůst teplot odvozený z $\delta^{18}O$ - přirozený rozdíl mezi daty z ledu a vzduchových bublin uvnitř

V NGRIP není zaznamenána nestabilita klimatu jako v GRIP

Vrt NGRIP prodloužil záznam izotopické klimatické křivky z 90 ka BP na 123 ka BP, zachycena konec eemu, ne však celý eemský interglaciál!

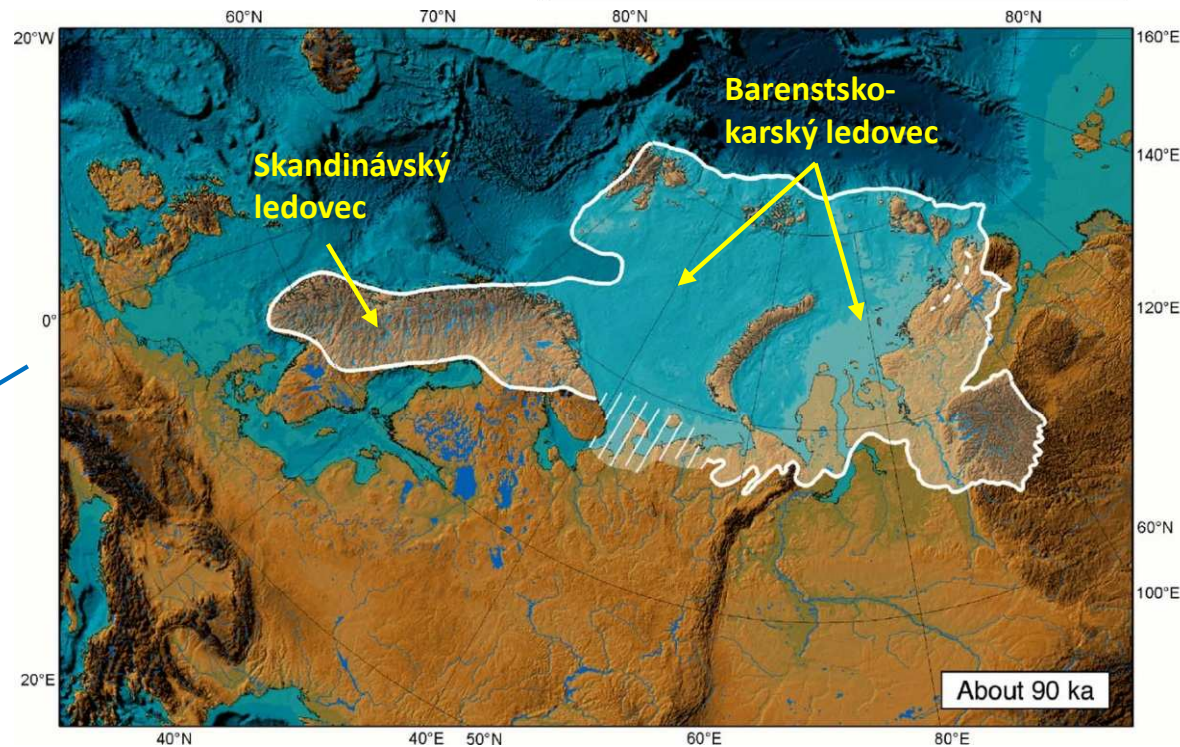
Klimatický vývoj ve viselském glaciálu a ledovcový pokryv



Časové zařazení Heinrichových eventů)

Event	Age, Kyr		
	Hemming (2004)	Bond & Lotti (1995)	Vidal <i>et al.</i> (1999)
H0	~12		
H1	16.8		14
H2	24	23	22
H3	~31	29	
H4	38	37	35
H5	45		45
H6	~60		

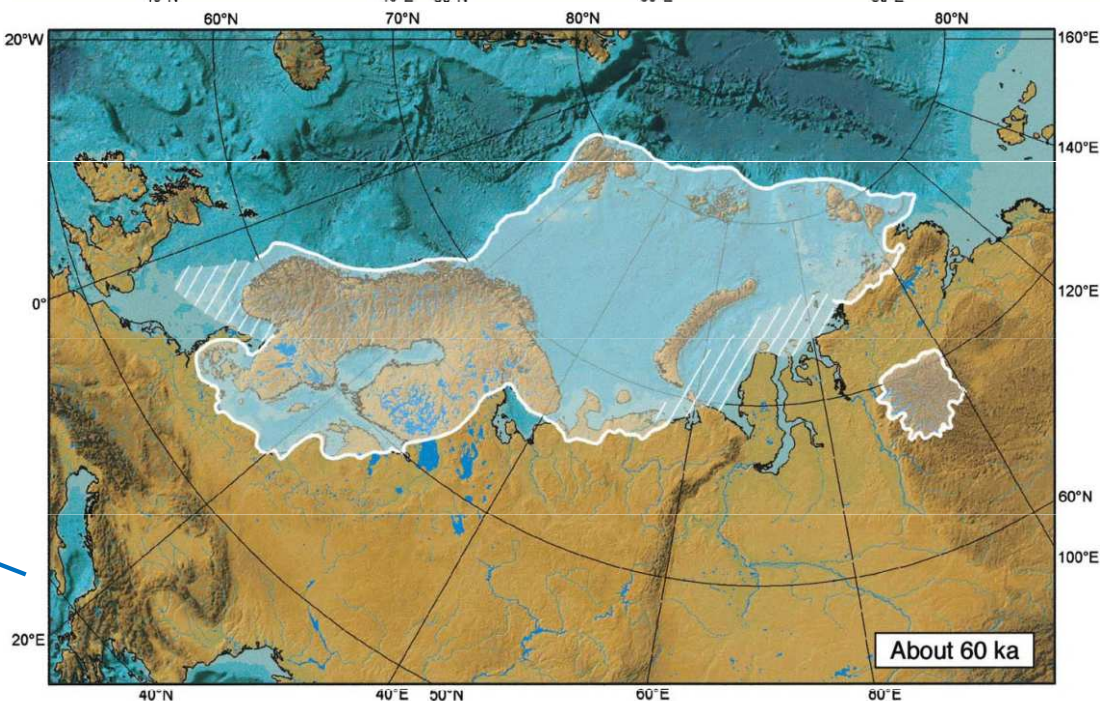
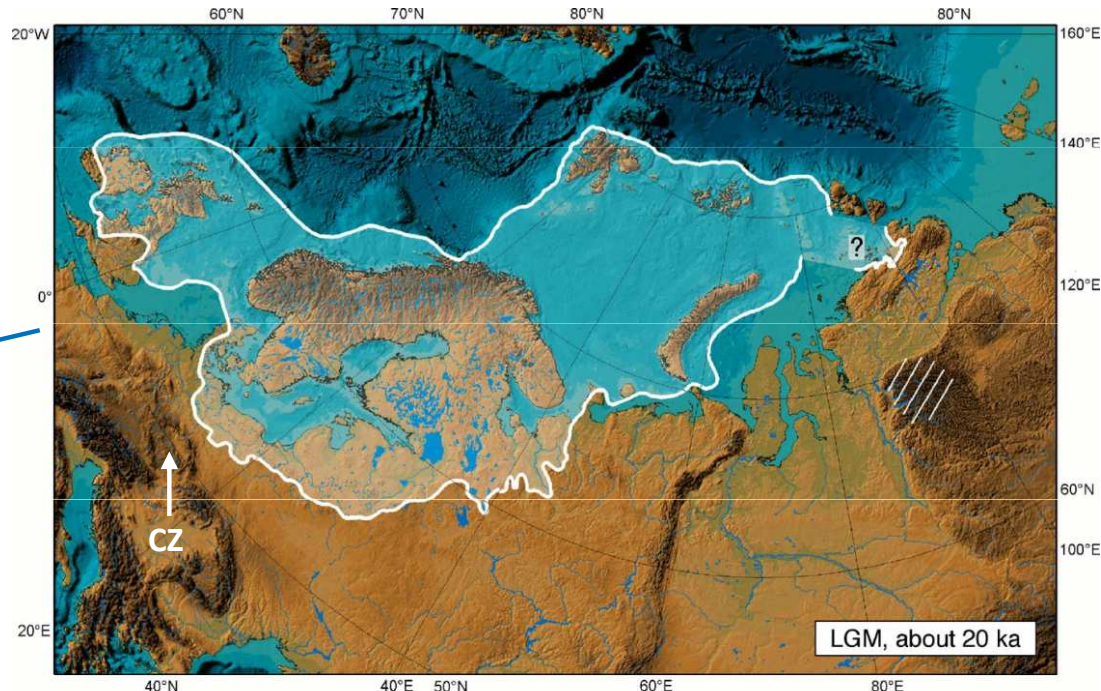
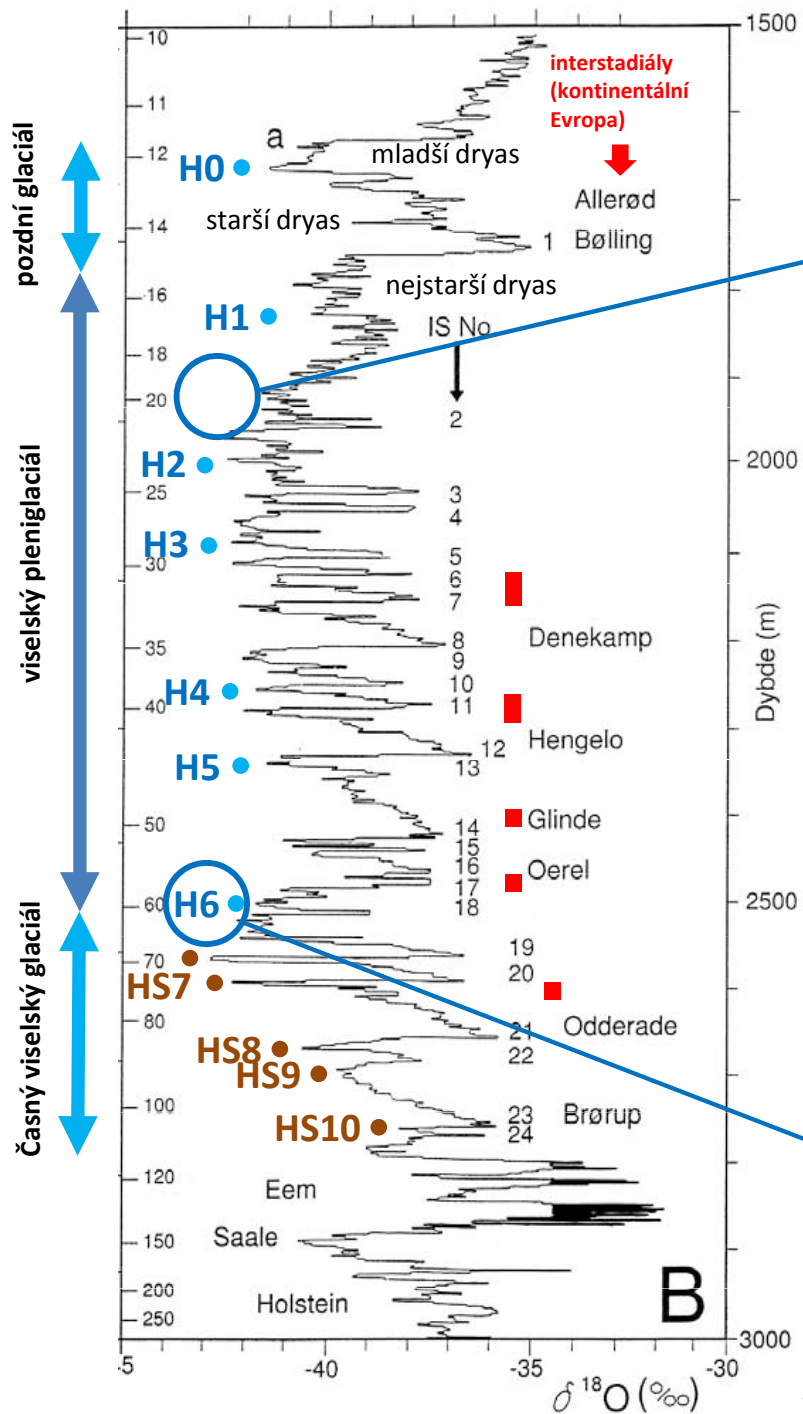
H1,2 are dated by radiocarbon; H3-6 by correlation to GISP2.



Euroasijský ledovcový pokryv glaciálního maxima časného viselského glaciálu (90-80 ky BP). Ledovec pokrýval severní Skandinávii, Barensovo a Karské moře včetně Svalbardu, Země Fr. Josefa, Severní země a sahal až na Sibiř (Svendsen *et al.* 2004).

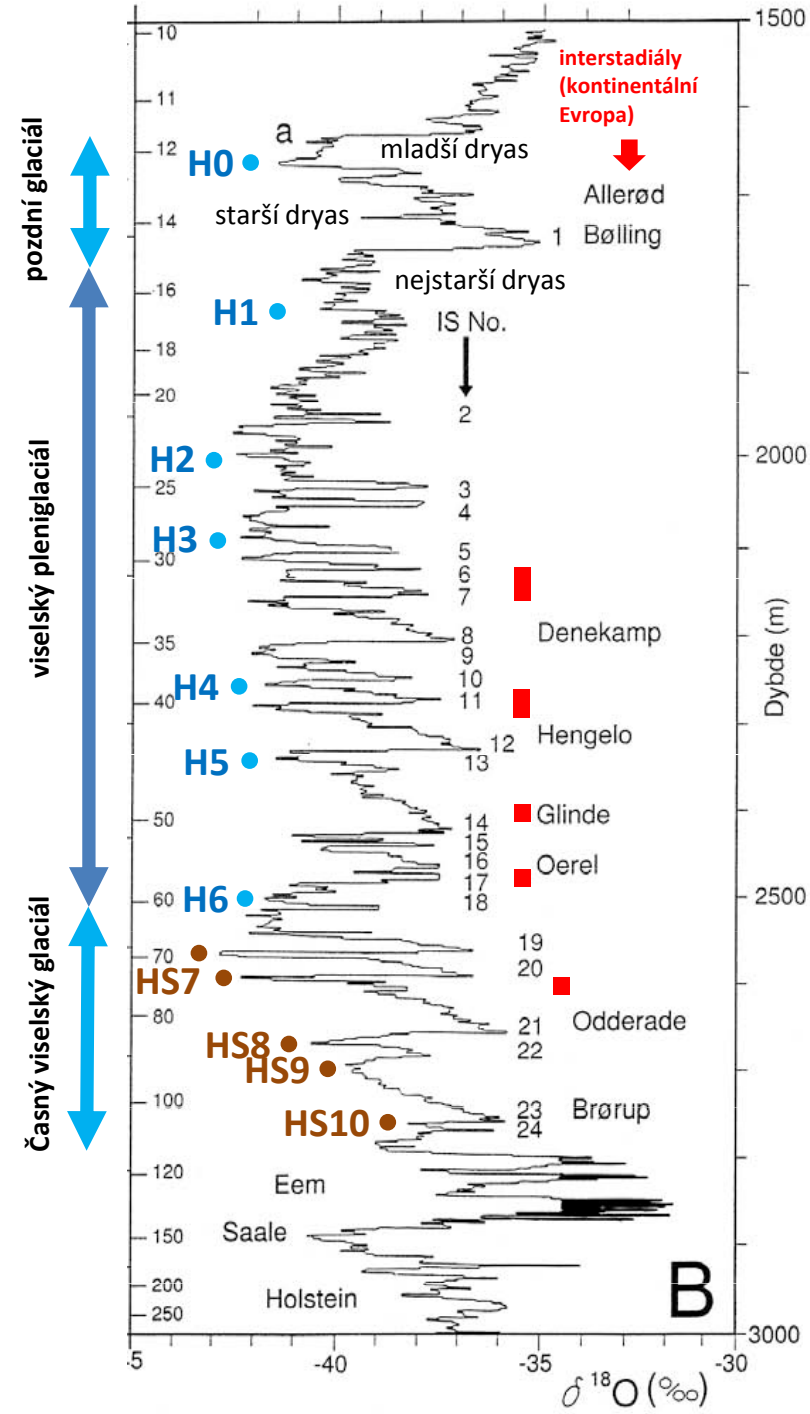
První hlavní růst ledovců – 90 až 80 ky BP, IRD v Severním ledovém oceánu (HS8 + HS9)

Klimatický vývoj ve viselském glaciálu



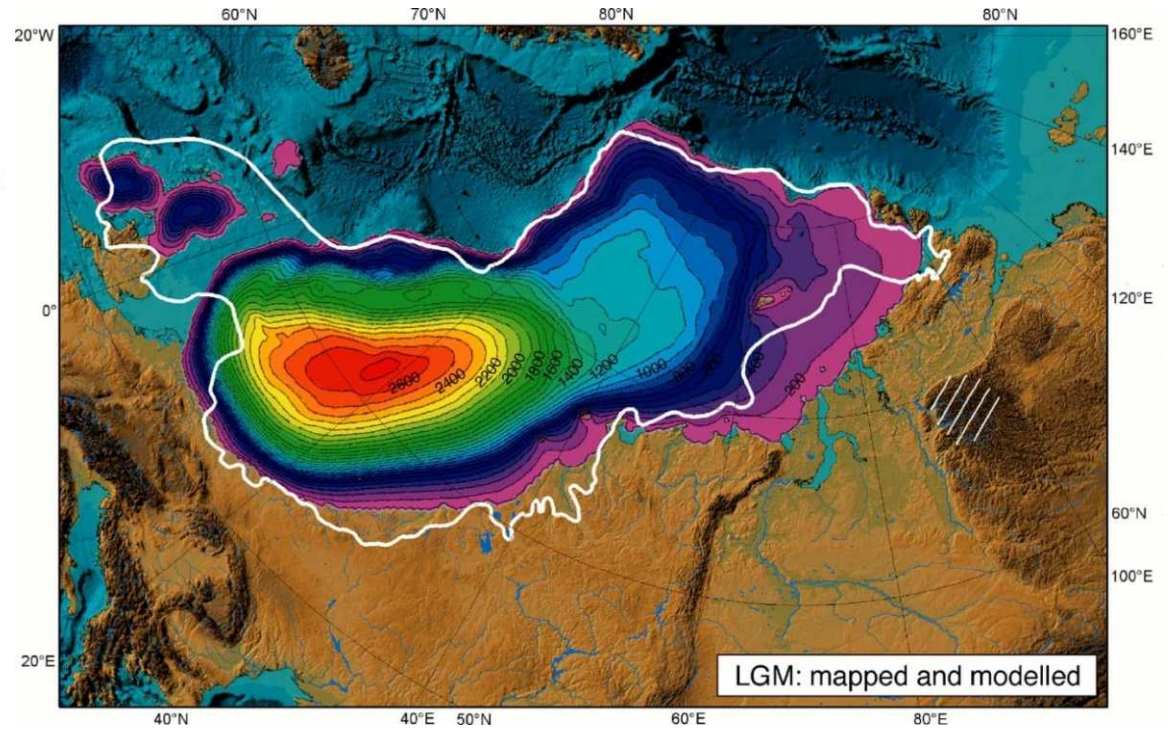
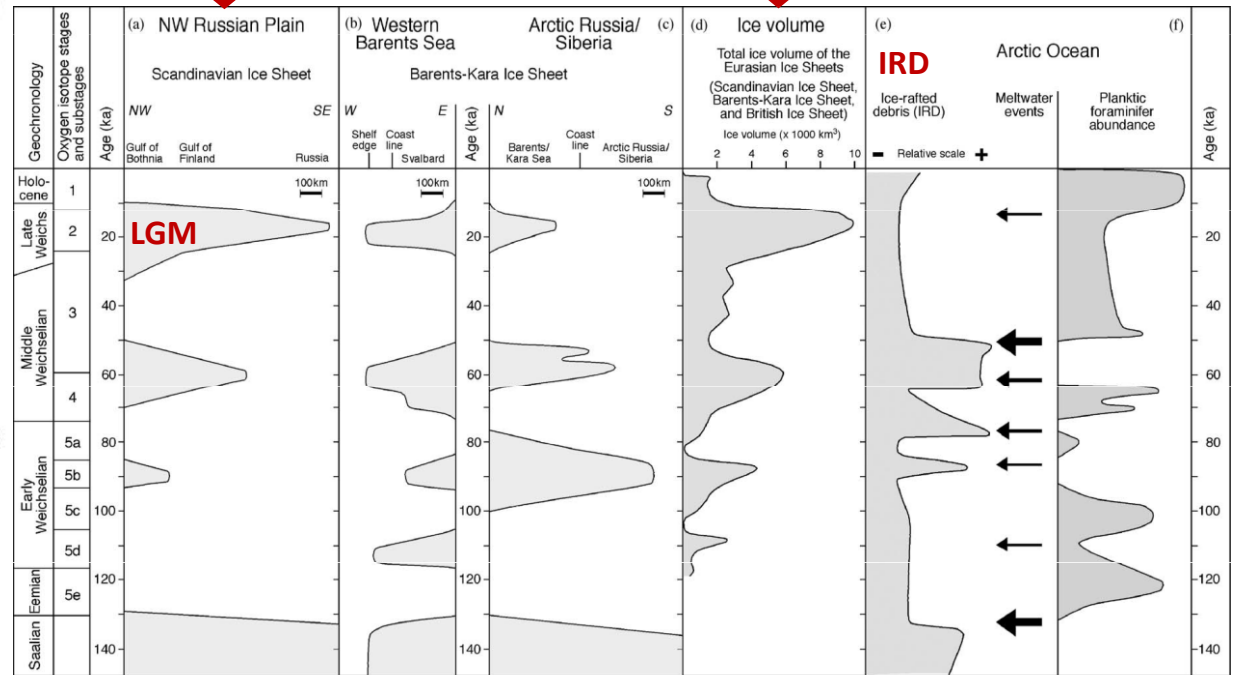
Euroasijský ledovcový pokryv maxima středně viselského glaciálu (60-50 ky BP). Ledovec pokrýval severní Skandinávii, Barensovo a Karské moře včetně Svalbardu, Země Fr. Josefa, Severní země, ústup zalednění Sibíře (Svendsen et al. 2004).

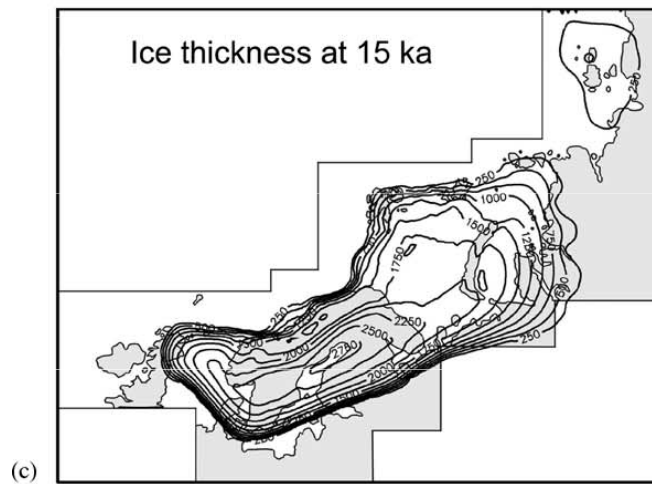
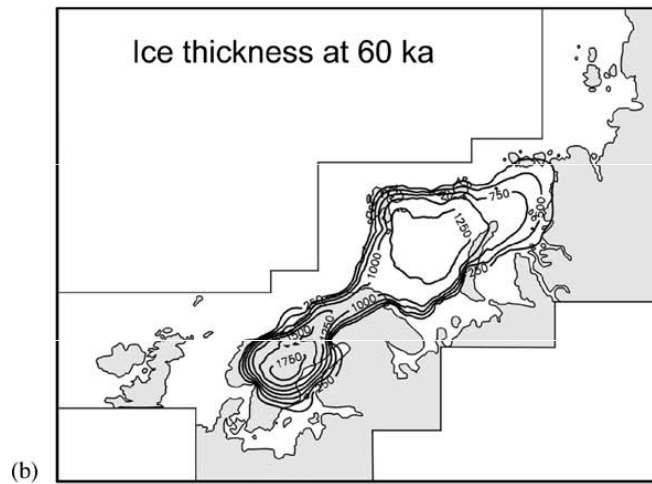
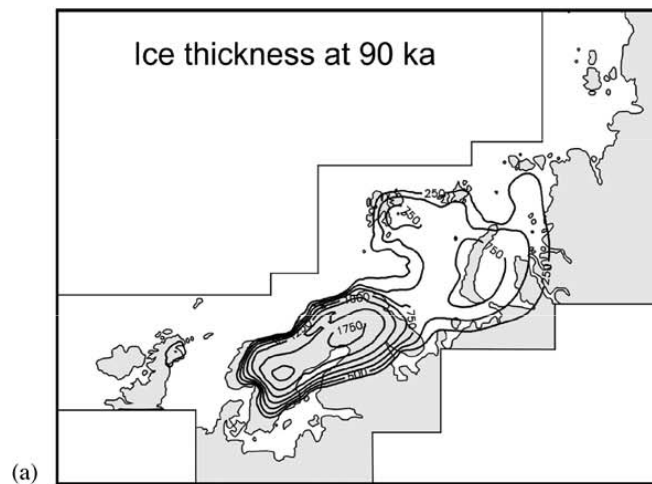
Klimatický vývoj ve viselském glaciálu



skandinávský ledovec

objem ledu euroasijského ledovce





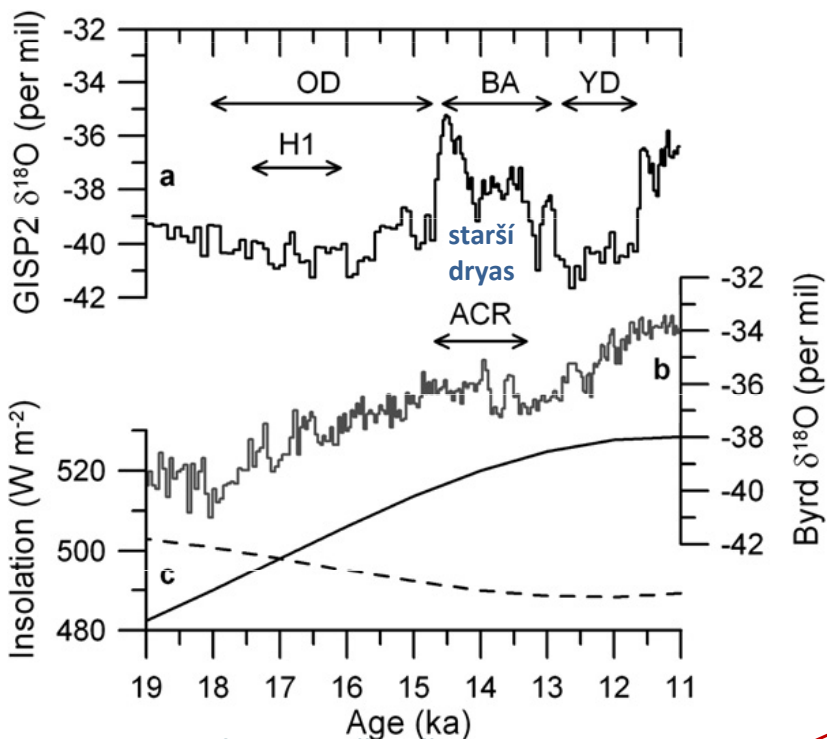
Svendsen et al. 2004

Konec LGM a klimatický vývoj na hranici pleistocén/holocén

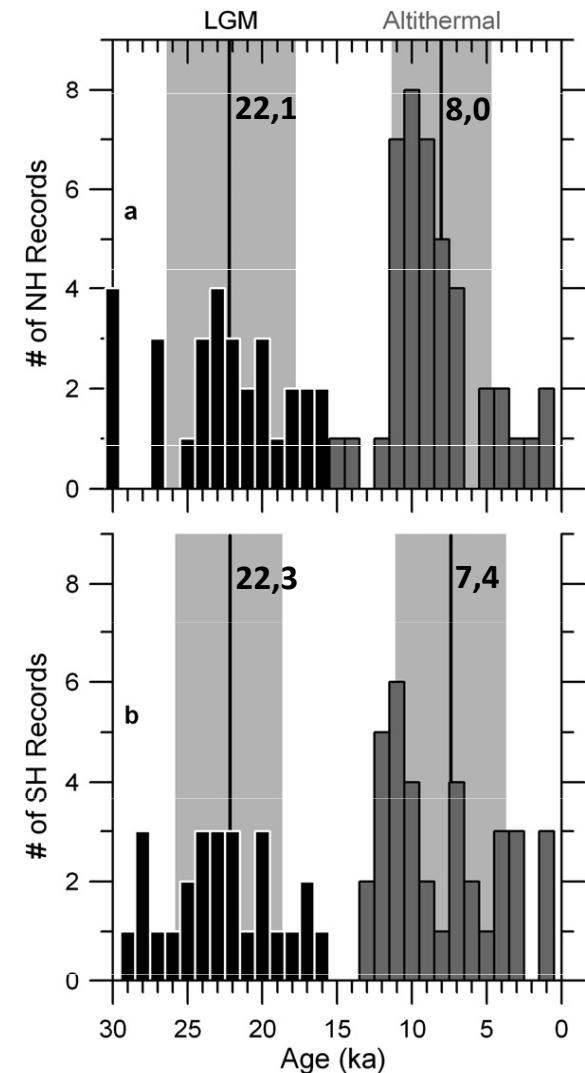
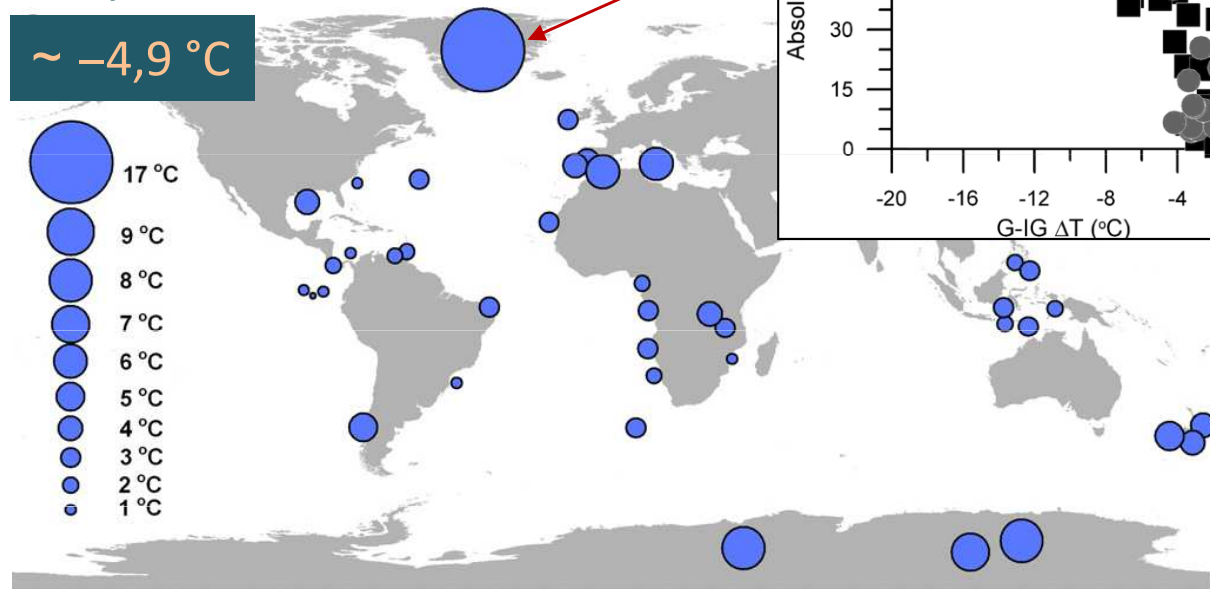
Deglaciace

Severní polokoule: H1 (17,5–16 ky BP), nejstarší dryas (OD, 18–14,7 ky BP), Bölling/Alleröd (BA, 14,7–12,9 Ky BP), mladší dryas (YD, 12,9–11,7 Ky BP)

Jižní polokoule: ACR (Antarctic Cold Reversal, 15–13 Ky BP)



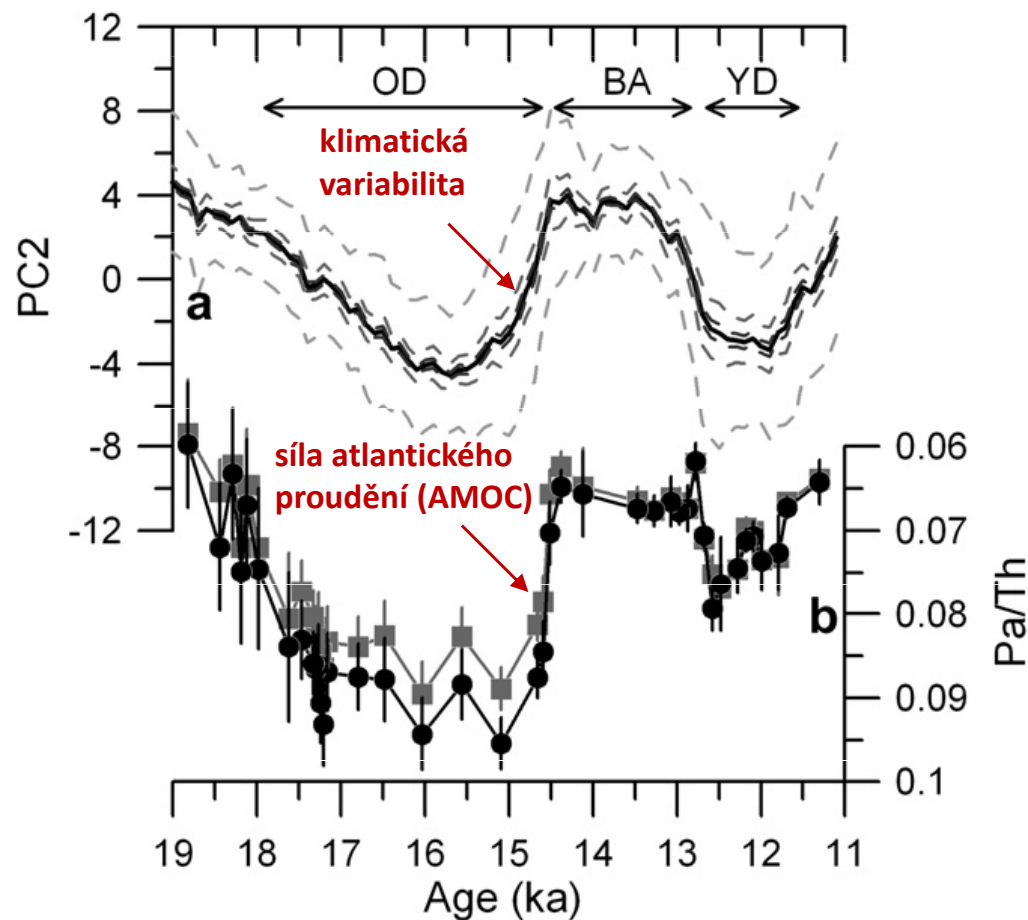
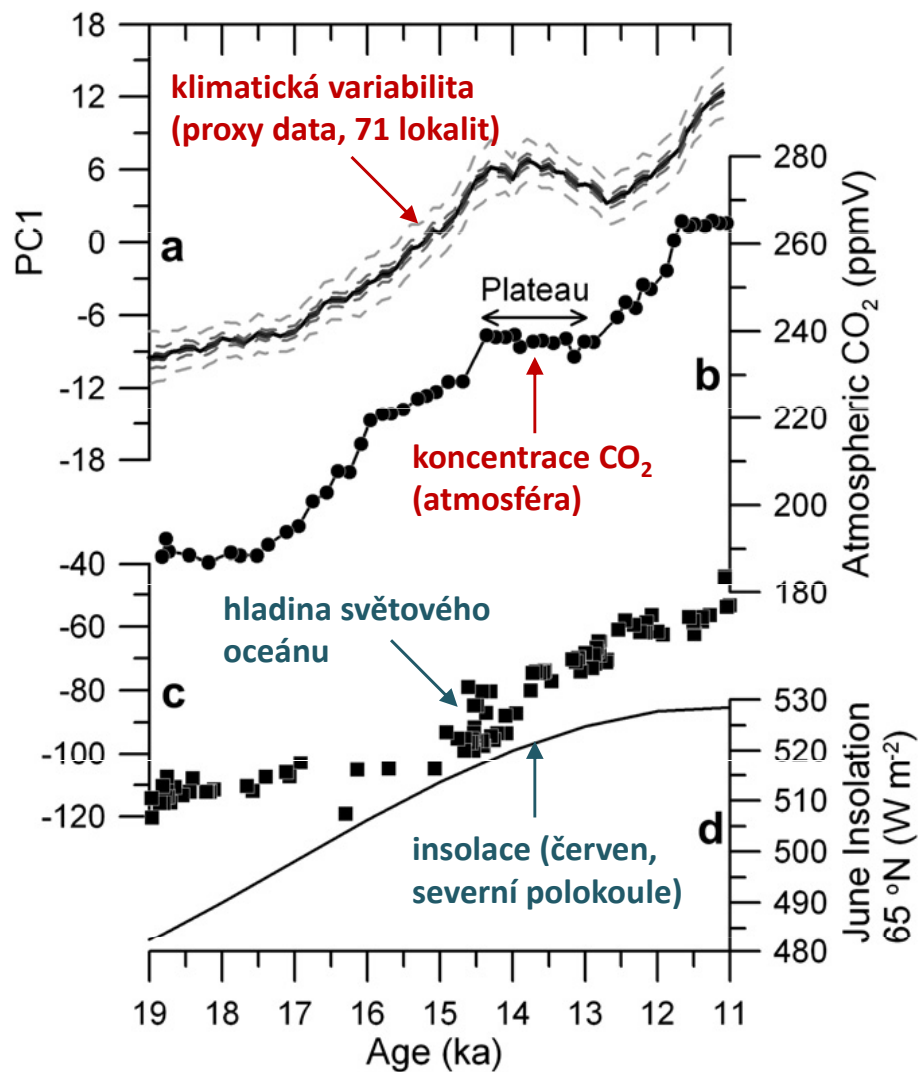
Glaciály celosvětově:



Vzrůst rozdílů teplot mezi glaciálem a interglaciálem směrem k pólům (Shakun, Carlson 2010).

(Shakun, Carlson 2010)

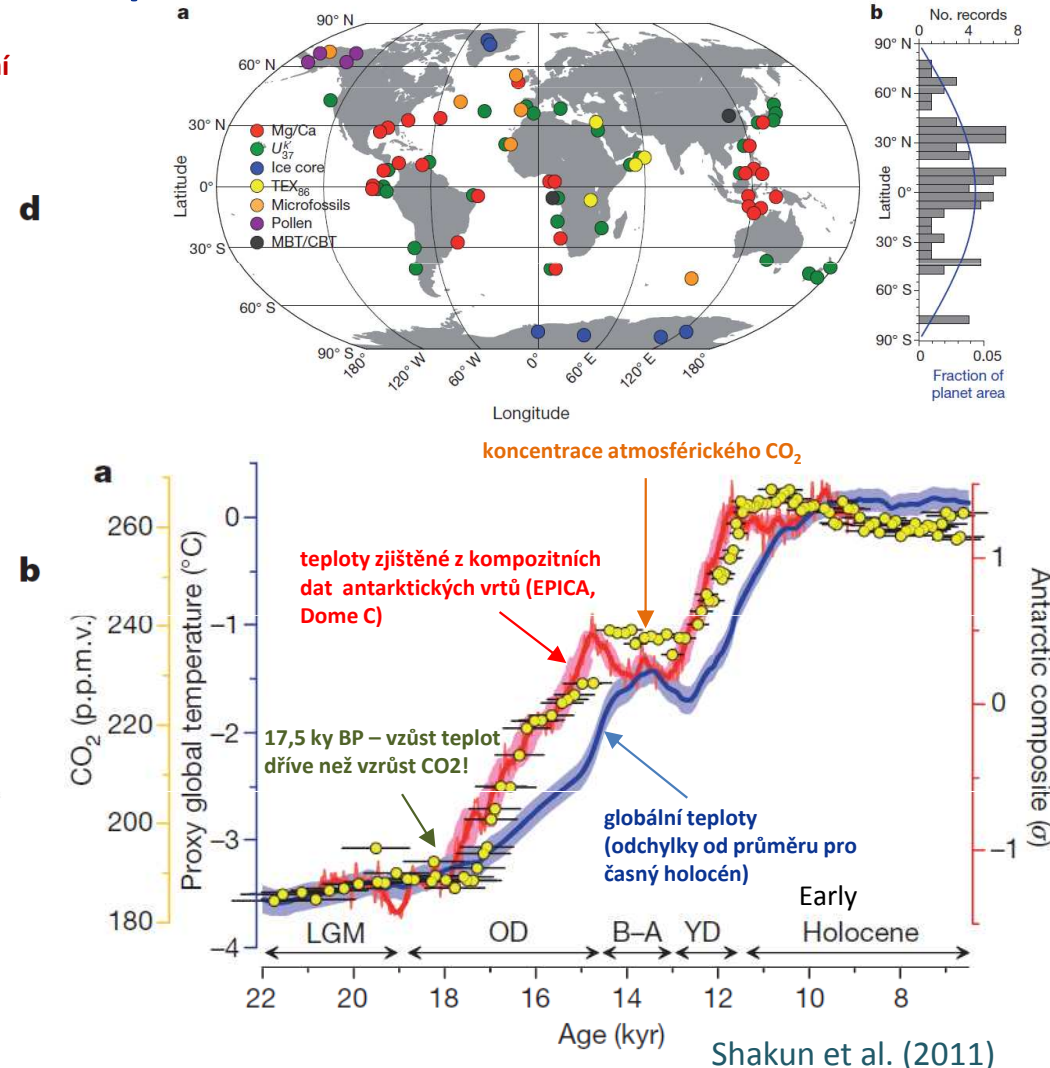
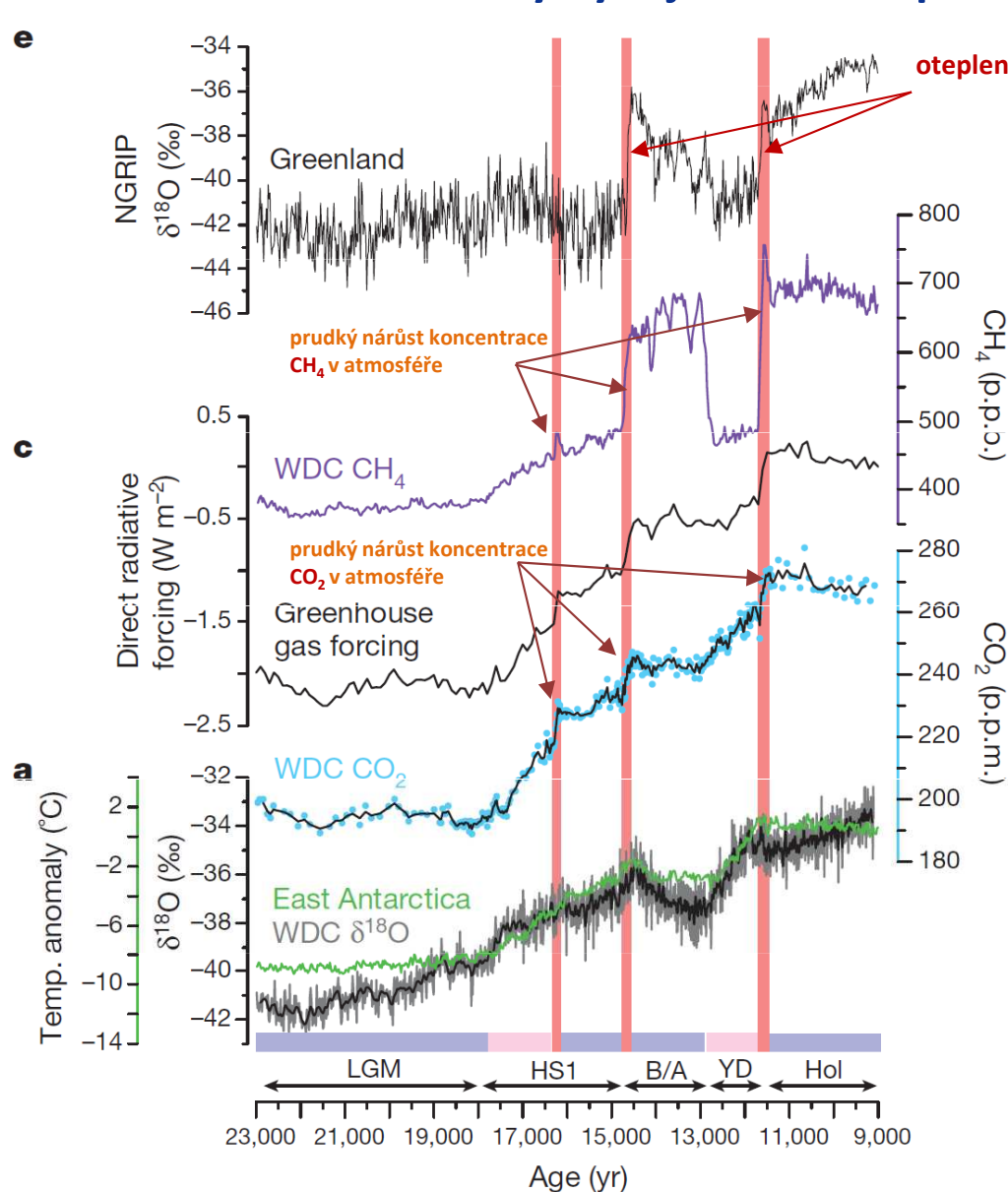
Konec LGM a klimatický vývoj na hranici pleistocén/holocén



(Shakun, Carlson 2010)

Klimatická variabilita - nejvíce koreluje se změnami koncentrace atmosférického CO₂ a silou atlantického proudění

Konec LGM a klimatický vývoj na hranici pleistocén/holocén



Skleníkové plyny a stabilní izotopy z měření na Antarktidě a v Grónsku. a – $\delta^{18}\text{O}$ z WDC (Antarktida) a odvozené teploty ve východní Antarktidě; b – Atmosférické koncentrace CO_2 ; c – přímý radiační nárůst CO_2 , CH_4 a N_2O ; d – Atmosférické koncentrace CH_4 ; e - $\delta^{18}\text{O}$ z NGRIP (Grónsko). Dle Macrott et al. (2014).

Vzrůst koncentrace skleníkových plynů (CO_2 , CH_4) předchází globální oteplování!

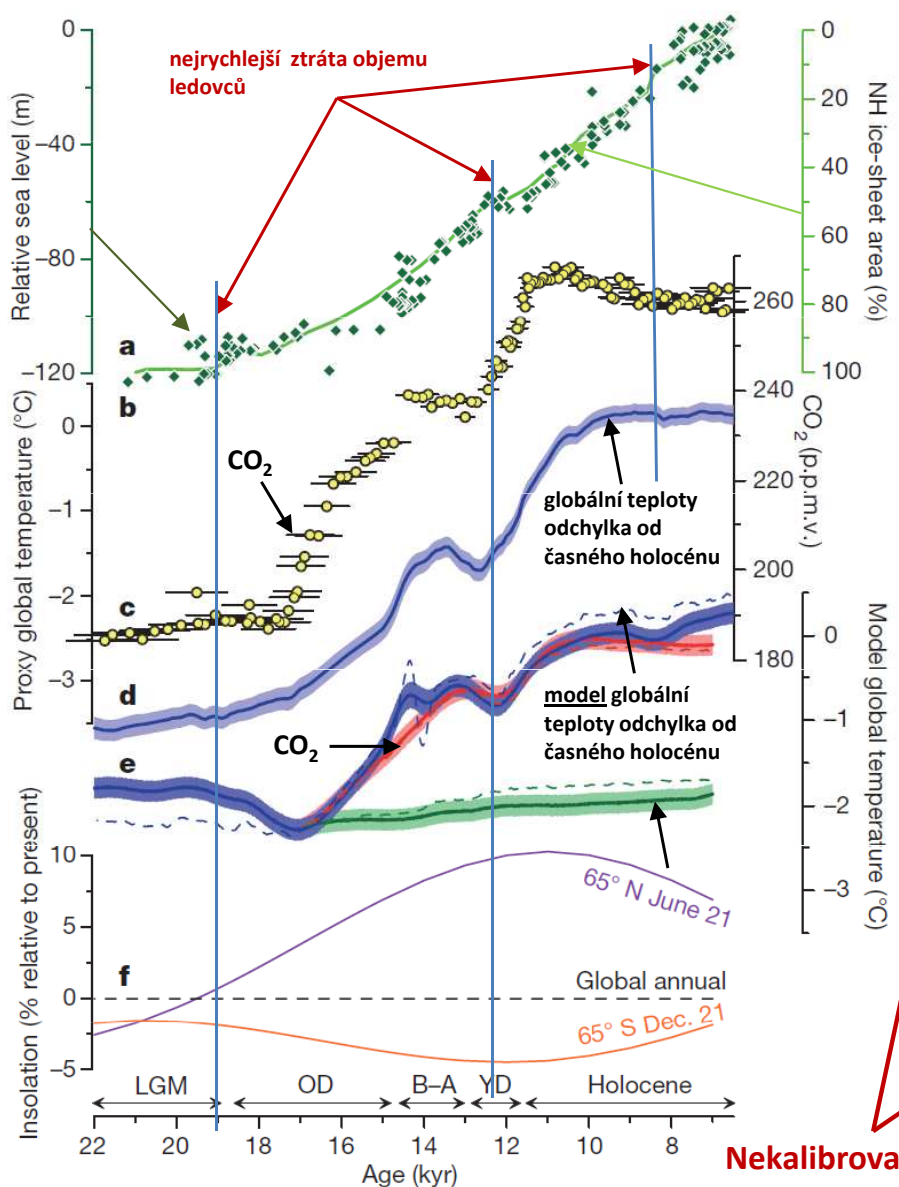
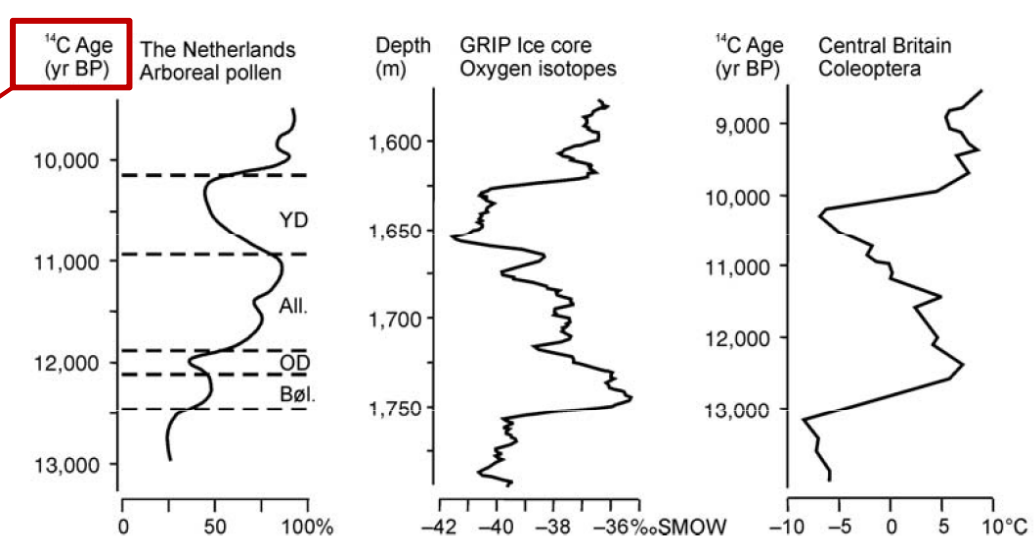
Rozdíly mezi intenzitou teplotních změn na severní a jižní polokouli - dány změnami AMOC (Atlantická meridionální cirkulace)

Rozsah ledovcových štítů se zmenšoval nejvíce v průběhu stagnace globálních teplot (19 ky BP, mladší dryas, holocén)

Globální průměrné oteplování se různou měrou projevilo v různých oblastech

Stratigrafie pozdního glaciálu až holocénu

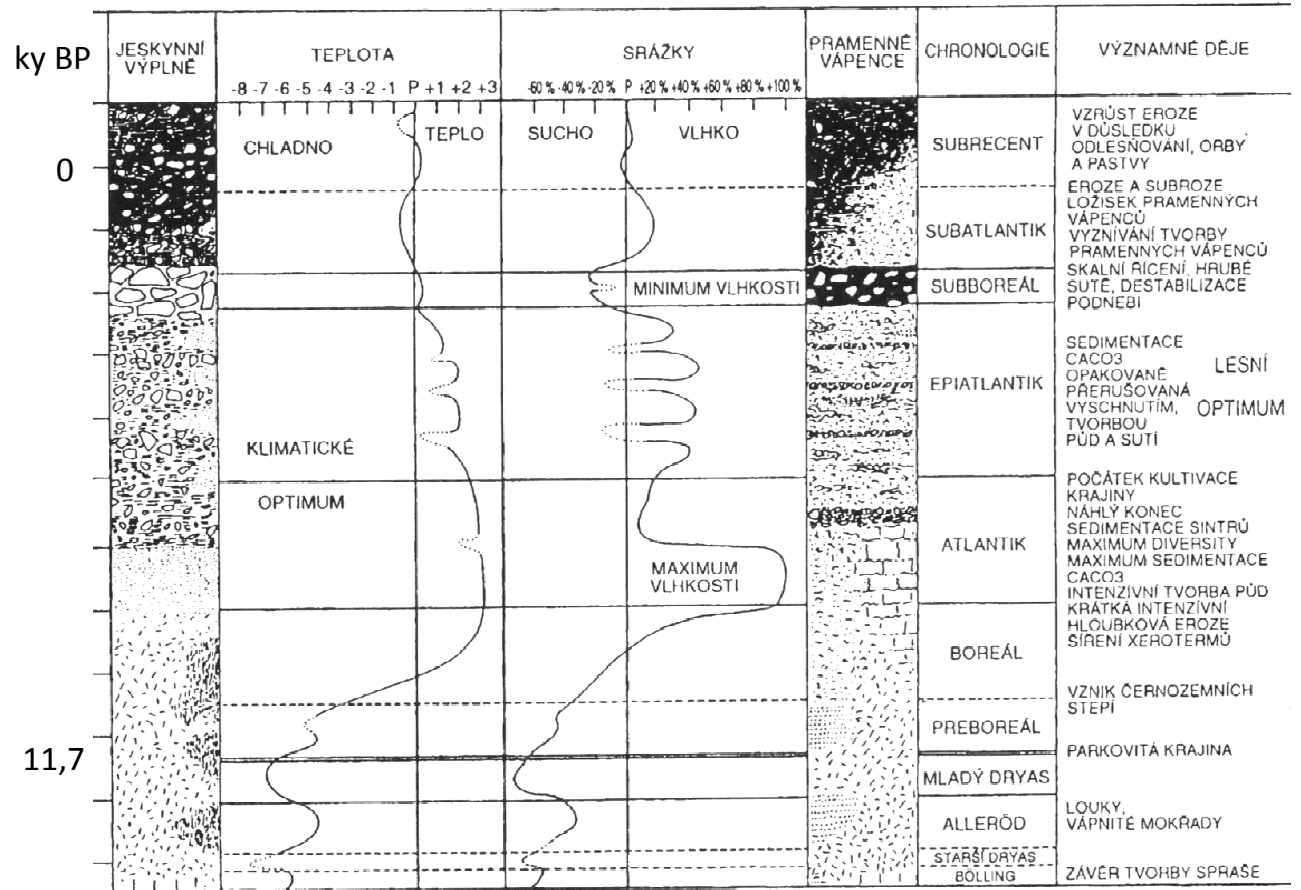
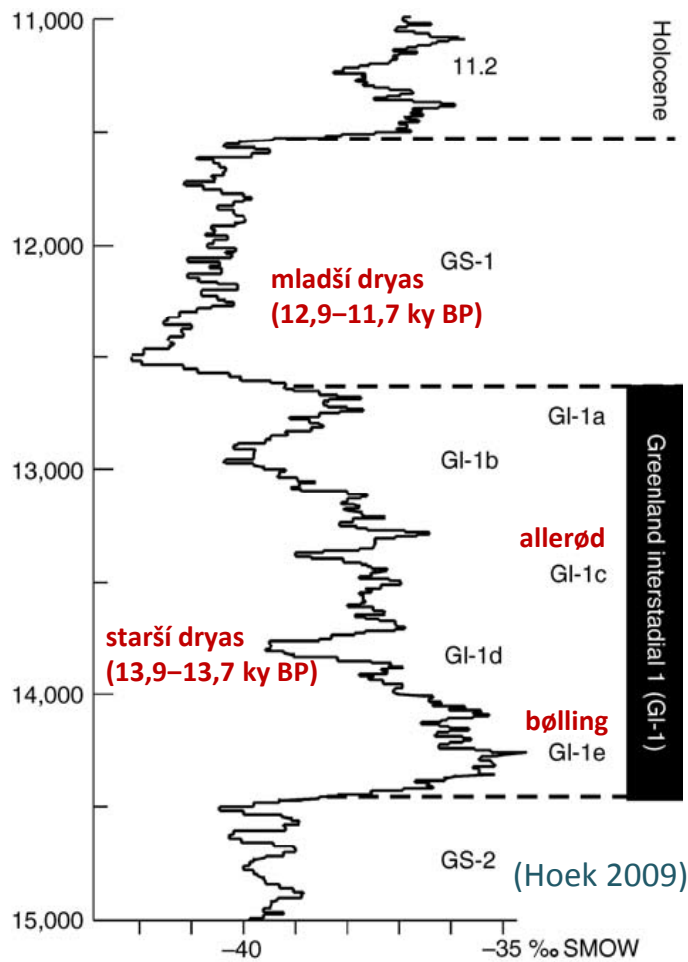
The Netherlands	
¹⁴ C age BP	biozone HOLOCENE
10,150	Late Dryas
10,950	<i>Pinus</i>
11,250	Allerød
11,900	<i>Betula</i>
12,100	Earlier Dryas
12,450	Bølling
12,900	Earliest Dryas
	PLENIGLACIAL



Shakun et al. (2011)

Srovnání interstadiálu bølling/allerød na základě klimatické křivky z pylových analýz (arboreální druhy), δ18O (GRIP) a coelopter (Britské ostrovy) (Hoek 2009).

Stratigrafický záznam holocénu v kontinentální Evropě



Pozdní glaciál ve střední Evropě

Bølling/allerød - interstadiální výkyv (14,7–12,9 Ky BP), iniciální teplá fáze viselského pozdního glaciálu, následuje mladší dryas.

Bølling (14,7–13,9 ky BP) – koncová fáze zániku permafrostu, MAT 2 °C, v lednu -10 °C, červenec 13 °C. Parkové lesy s borovicí, aktivita svahových procesu nižší (vegetace)

Starší dryas (13,9–13,7 ky BP) – jen asi 200 let, slabé ochlazení, zmenšení srážek, na našem území lesotundra, vrcholové partie hor – až subarktické klima

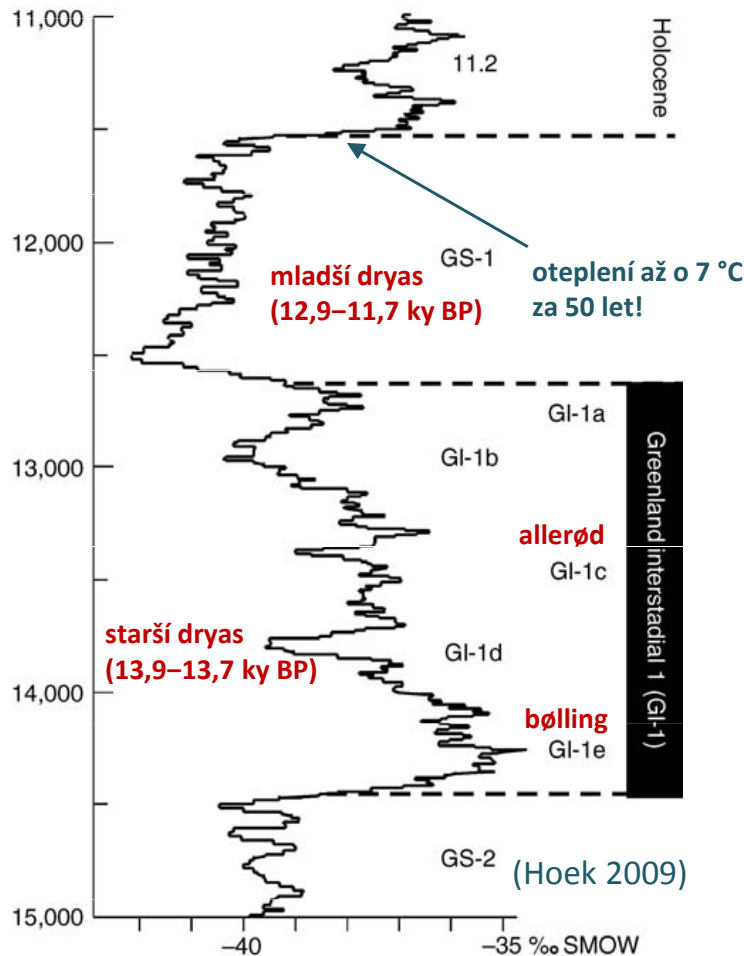
PREBOREÁL	-8 900	Šíření borovice, břízy, první náročné dřeviny, líska	Slabě vyvinuté vápnité půdy	MAGDALENIEN ↓ PALEOLIT ↓ POZDNÍ	POZDNÍ ↓ GLACIÁL ↓ PLEISTOCÉN
MLADÝ DRYAS	-9 500	Řídká tajga, poslední výskyt glaciálních prvků	Nehumózní svahoviny		
ALLERÖD	-11 000	Šíření borovice, břízy na úkor otevřených formací	Slabé humózní půdy		
STARŠÍ DRYAS	-13 000	Ochlazení	Počátky vývoje půd		
BÖLLING	-13 400	Šíření borovice, břízy			
STARÝ DRYAS	-14 000 -15 000	Přechod sprašové stepi do vlhčí facie			

Ložek (2005)

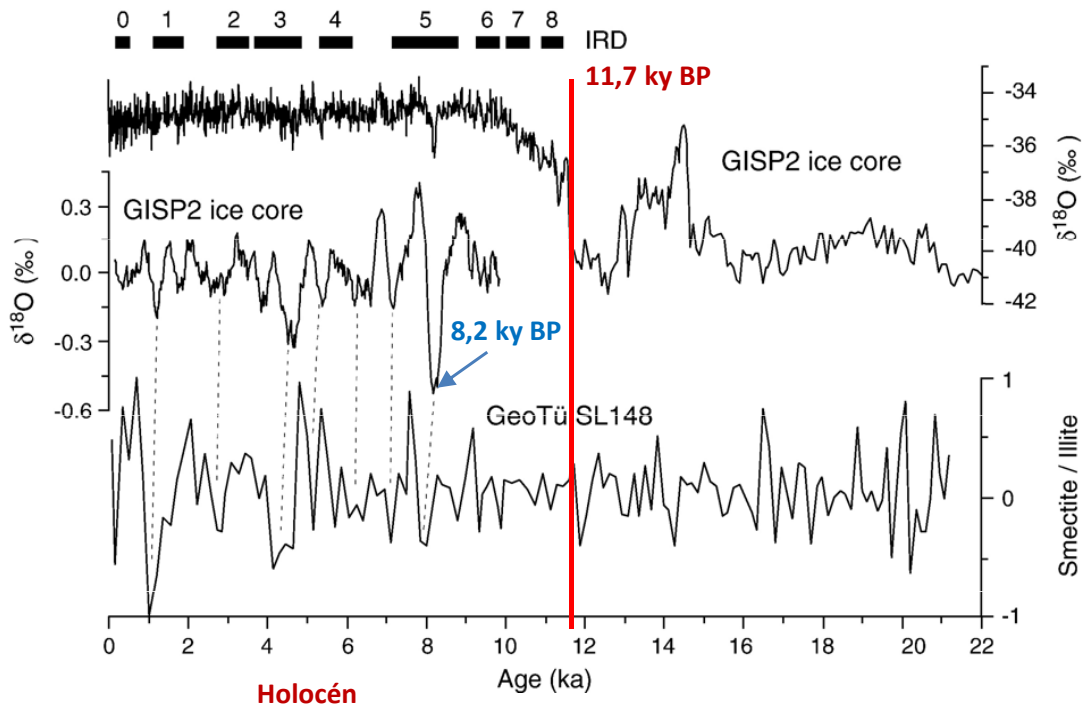
Allerød (13,7–12.9 ky BP) – MAT v níže položených oblastech 4–5 °C, v lednu -8 °C, červenec až 15 °C. Celkový rozpad permafrostu, rozvoj lesní vegetace. V ČR – šíření borovice + břízy. Karpatská oblast – modřín + borovice, stále výrazný podíl tundrových prvků. Vrcholové části hor – periglaciální klima, ?ostrovní permafrost

Mladší dryas (12,9–11,7 ky BP) – poslední výrazně studené období na našem území s periglaciální morfogenezí. MAT v níže položených oblastech ČR asi -3 °C, leden -18 °C, červenec asi 10 °C. Zastavení vývoje lesní vegetace, postup tundry, vývoj nesouvislého permafrostu, mrazové zvětrávání kryoturpace, svahové deformace

Krkonoše, Hrubý Jeseník, Šumava – keřová tundra až arkticko-alpinská poušť, lišejníky, mechy



Klimatický vývoj v holocénu

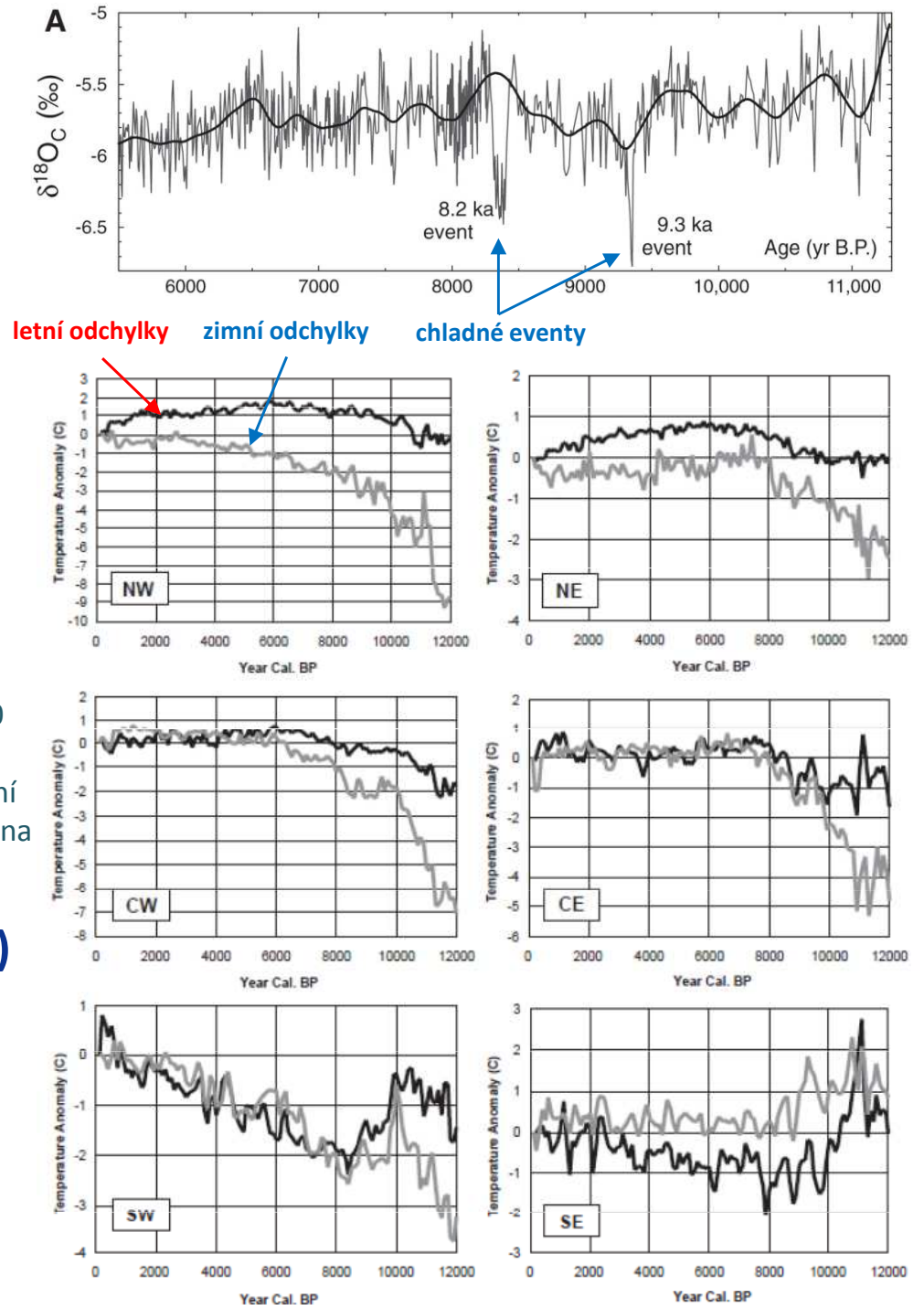


Záznam $\delta^{18}\text{O}$ z ledovcového vrtu GISP2 a vyhlazená časová série $\delta^{18}\text{O}$ (300 leté průměry). Černé obdélníky nahoře – IRD vrstvičky v vrtů v Severním Atlantiku. Dole záznam jílových minerálů z vrtu v Egejském moři. Holocenní studené intervaly v Sev. Atlantiku korelují s chladnými a suchými intervaly na severním okraji východního Středomoří (Ehrmann et al. 2007).

**Začátek holocénu – rychlý růst teplot (preboreál)
poté klima vcelku stabilní**

**Holocenní klimatické optimum – projevilo se v
severní Evropě, jižní Evropa - ochlazování**

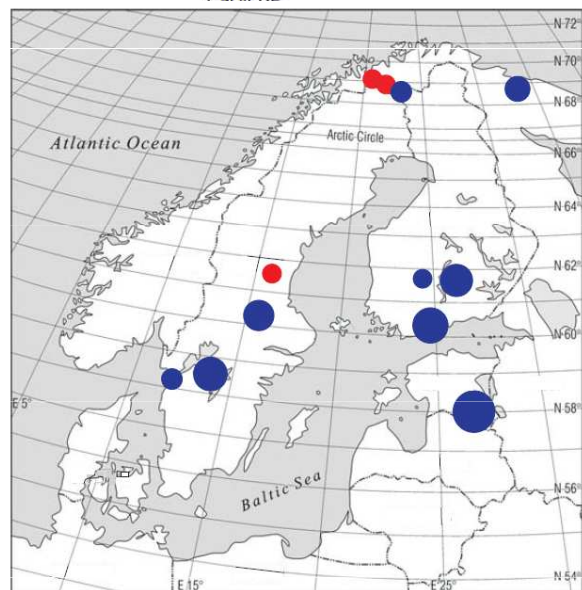
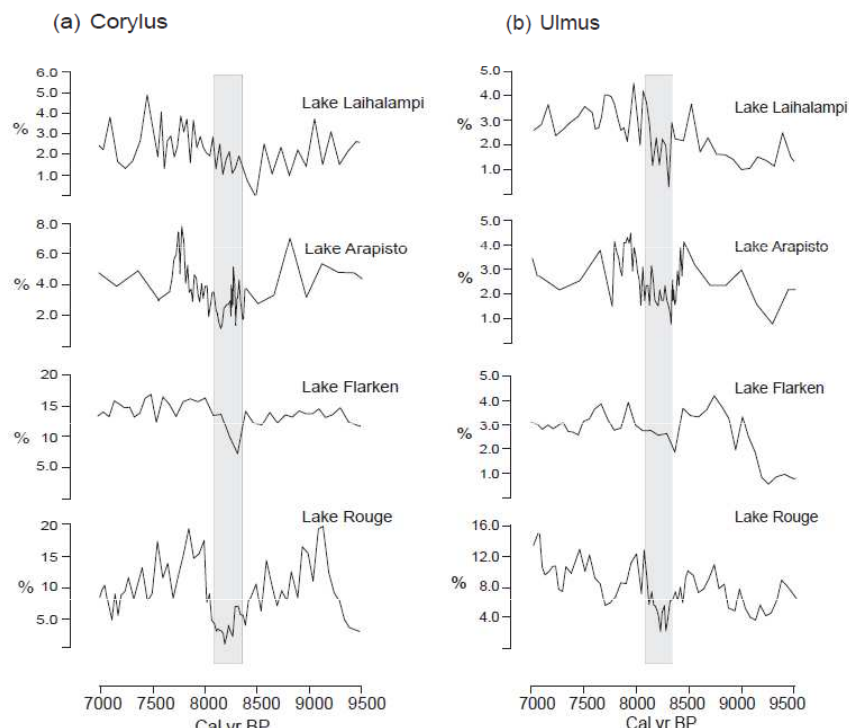
Pylová data z různých regionů Evropy ukazují na výraznou časovou a prostorovou diferenciaci (Davis et al. 2003).



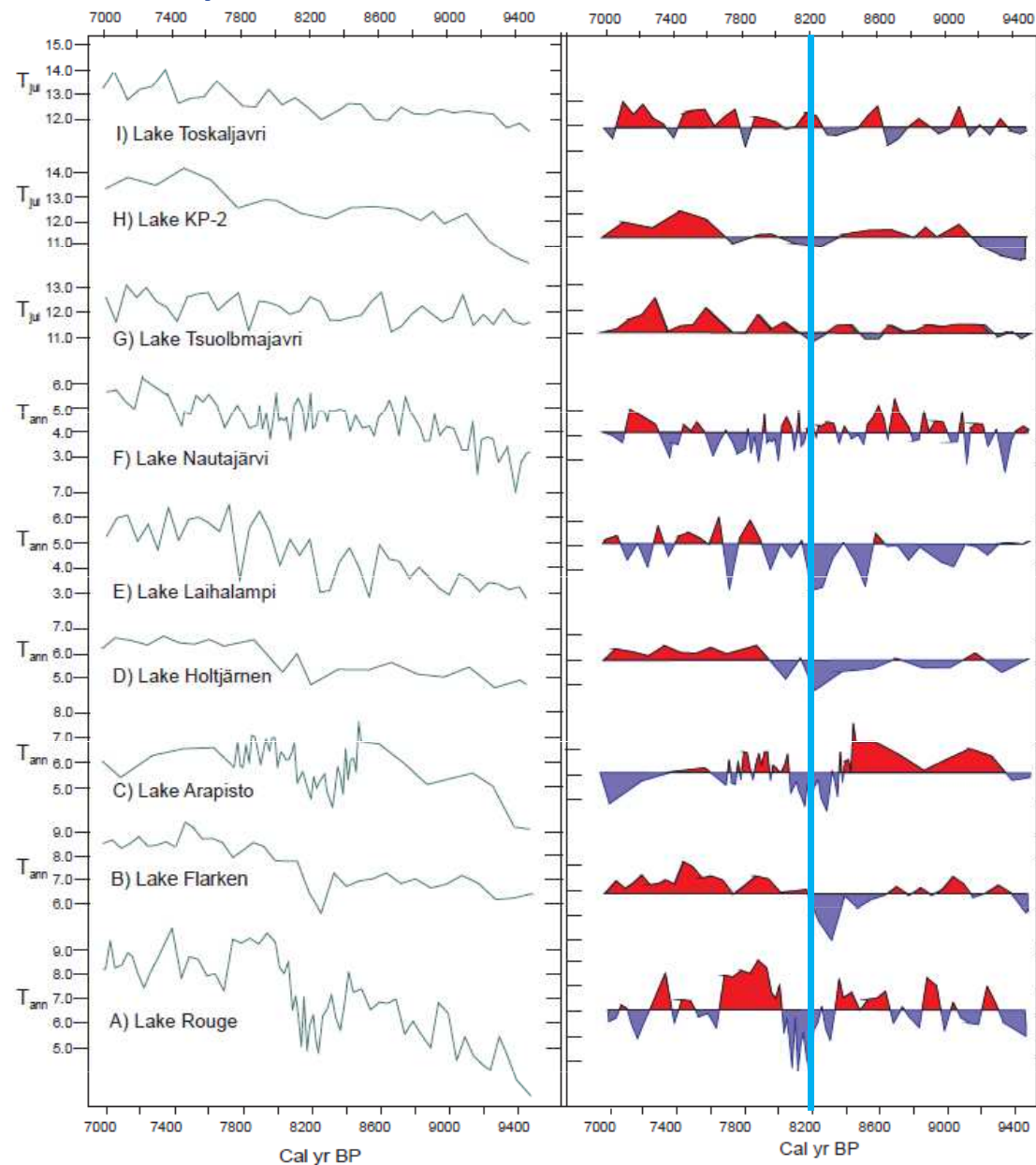
Pylové záznamy z jezerních sedimentů (Skandinávie)

Cal yr BP

Cal yr BP



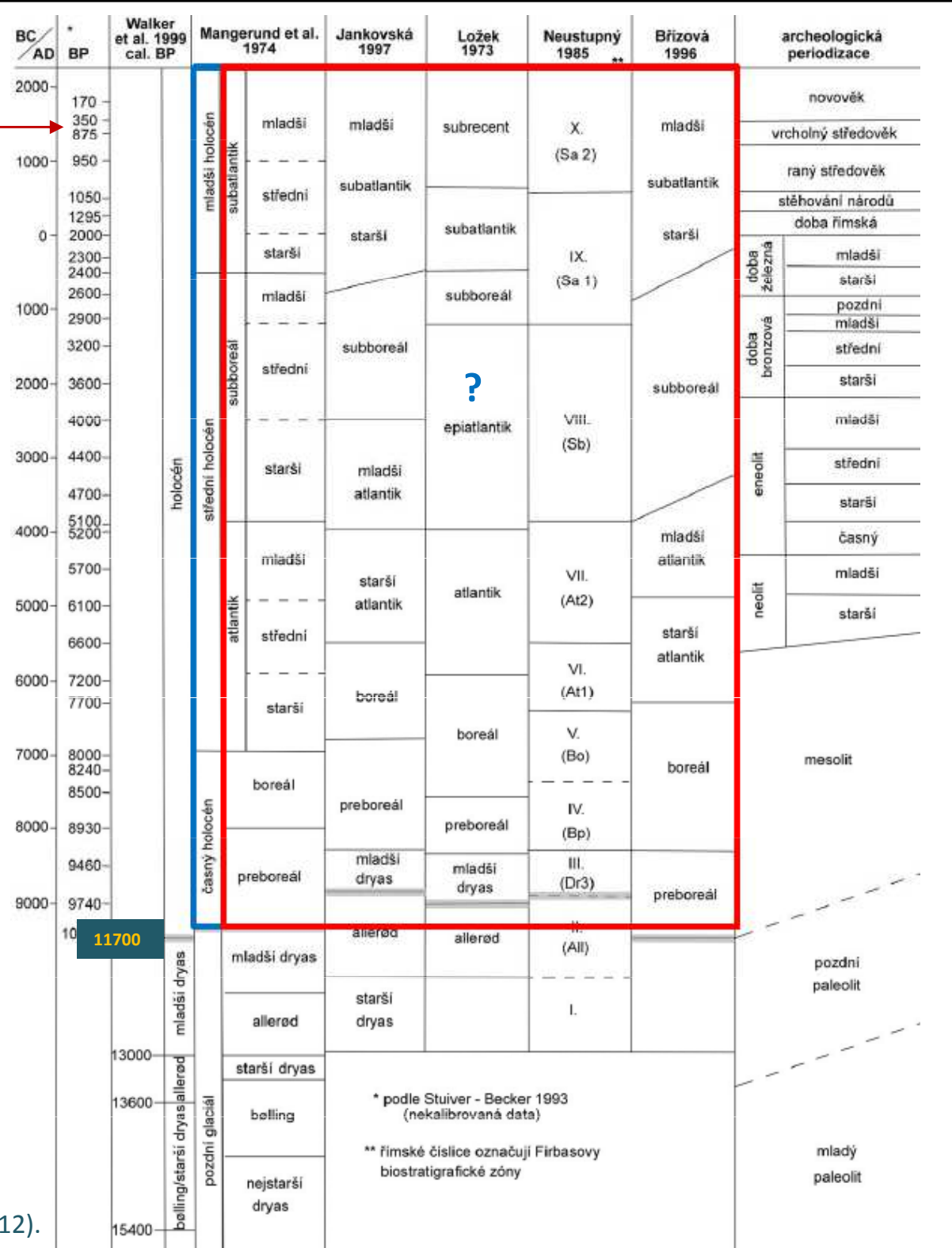
Seppä et al. (2007).



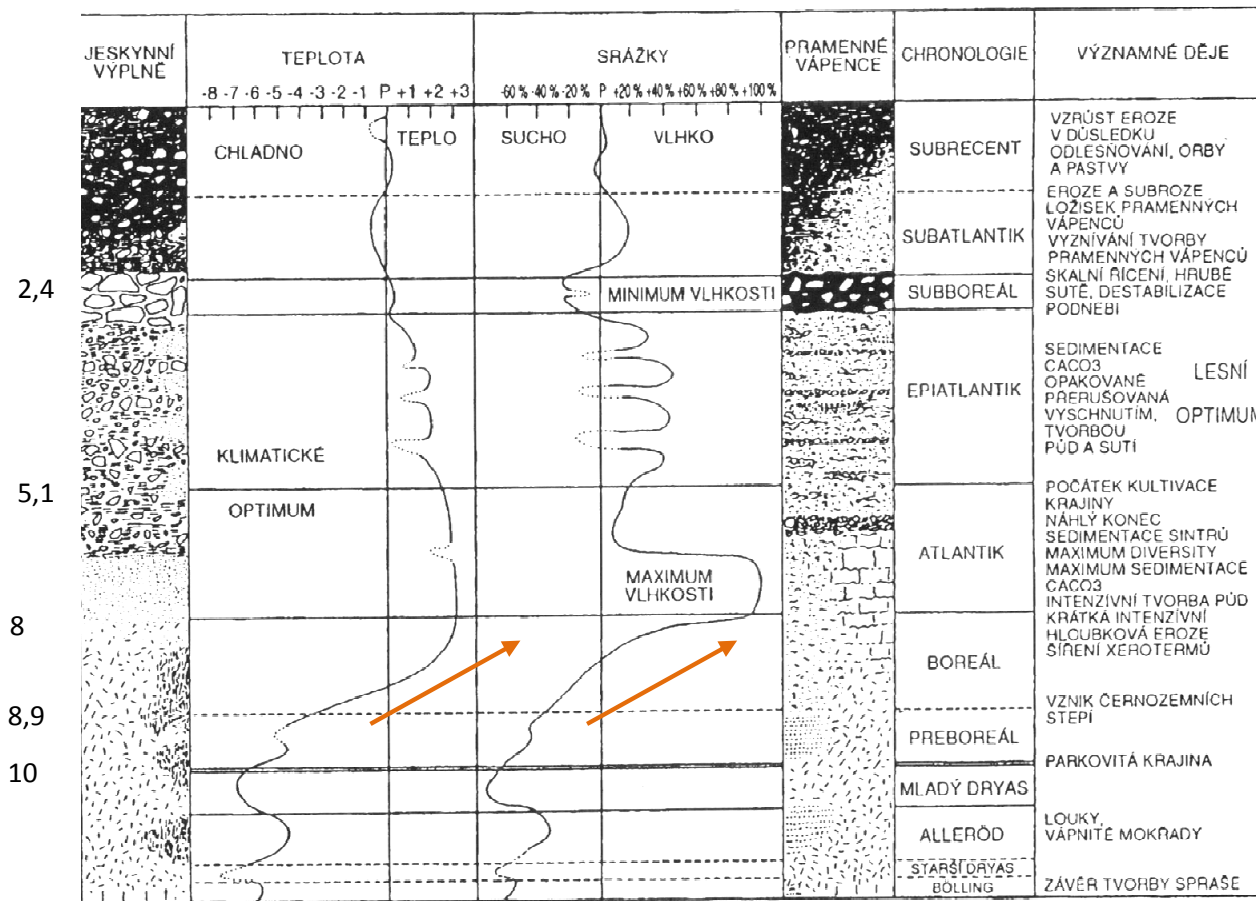
8,2 ky BP – významné ochlazení, v pylových záznamech sev. Evropy v době 8,3–8,0 Ky BP absence teplomilných dřevin

Stratigrafie holocénu

radiometrická data
(¹⁴C, nekalibrovaná) →



Pokorný et al. (2012).



Nejvlhčí a nejteplejší období holocénu

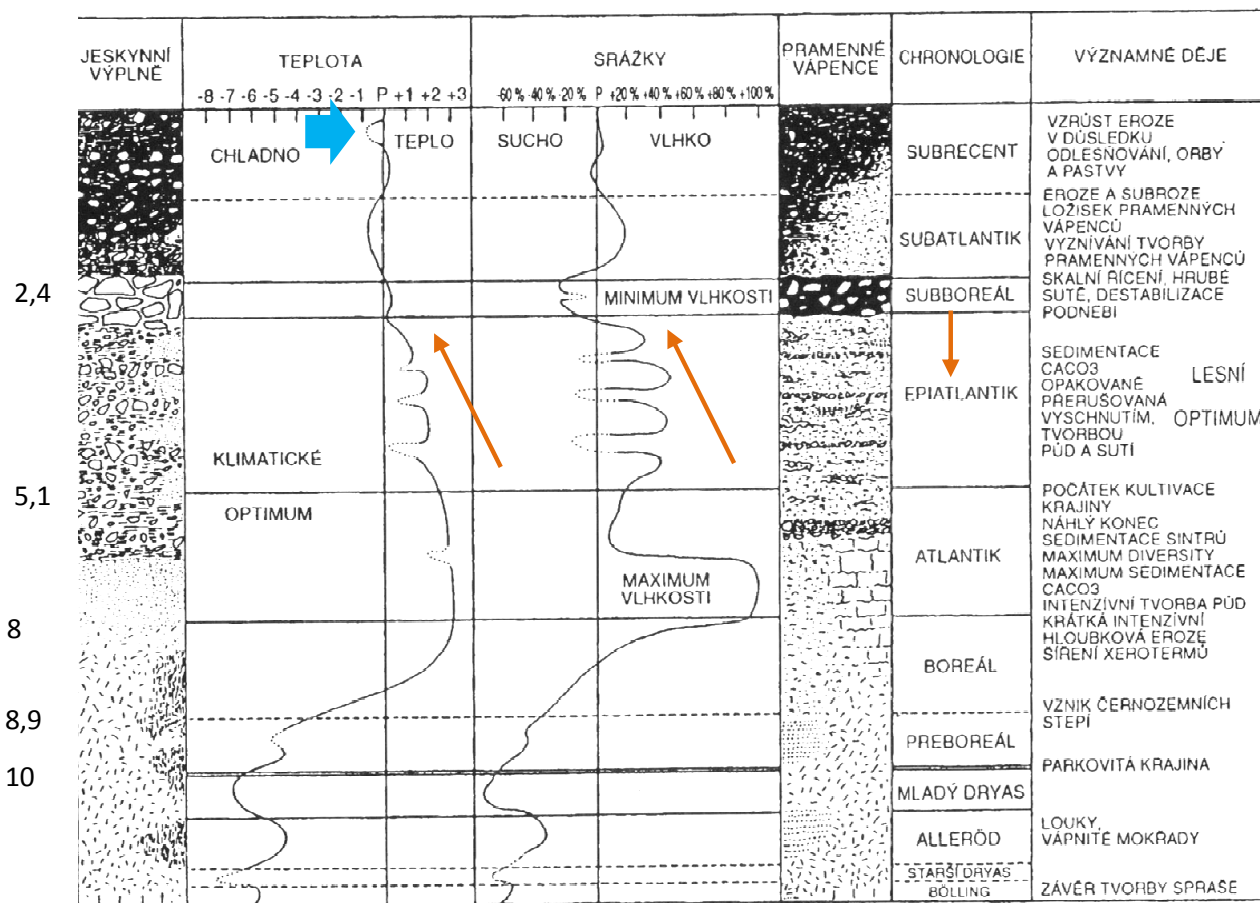
Preboreál (10–8,9 ¹⁴C ky BP) – MAT asi o 3 °C nižší než dnes, vzestup teplot + vlhkosti, koncen preboreálu klima srovnatelné s dnešním. Převaha borovice a břízy, dále osika, jalovec vrba, jeřáb. Vysokohorské oblasti - tundra

Boreál (8,9–8,0 ¹⁴C ky BP) – MAT o 2–3 °C vyšší než dnes, vzestup vlhkosti, borové lesy + líska (zpožděný nástup lesní vegetace)

Atlantik (8,0–5,1 ¹⁴C ky BP) – v první polovině MAT o 3 °C a srážky až o 100 % vyšší než dnes, rozvoj listnatých lesů, ústup stepí i alpinských holí, rychlý růst rašelin a slatin

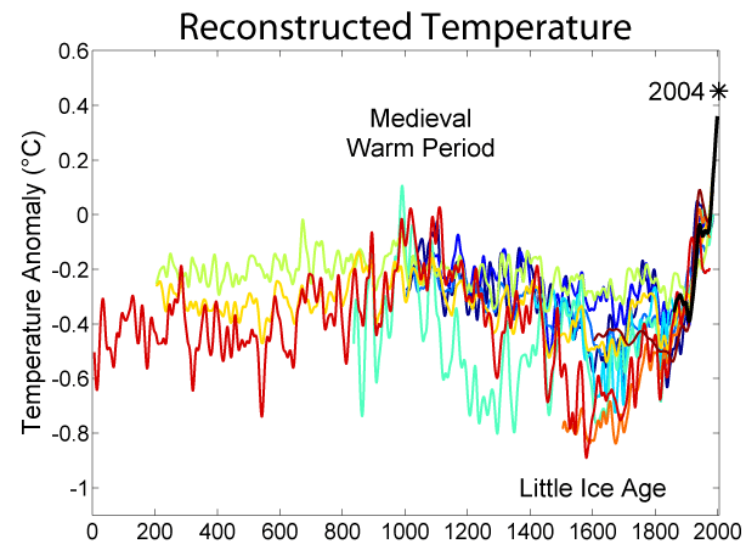
Subboreál (5,1–2,4 ¹⁴C ky BP) – zpočátku MAT o 1 °C vyšší než dnes, střídání sušších a vlhčích i teplejších a chladnějších období, ubývání srážek, zhoršení klimatu

Subatlantik (2,4 až dodnes ¹⁴C ky BP) – vzrůstající vliv člověka, na začátku ještě chladněji (asi o 1 °C než dnes), v tomto úseku ve vyšších polohách maximum jedle, buku a smrku, v nižších polohách habr a dub. Středověk – výrazné narušení vegetace



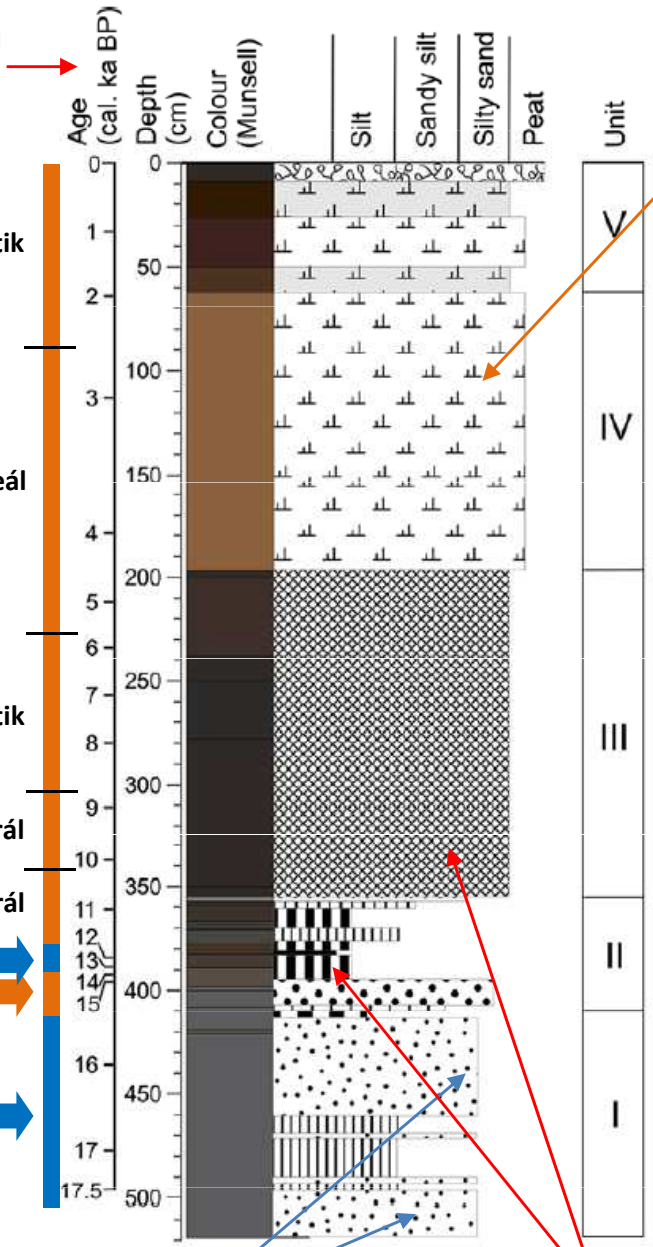
„malá doba ledová“

14. až 19. století

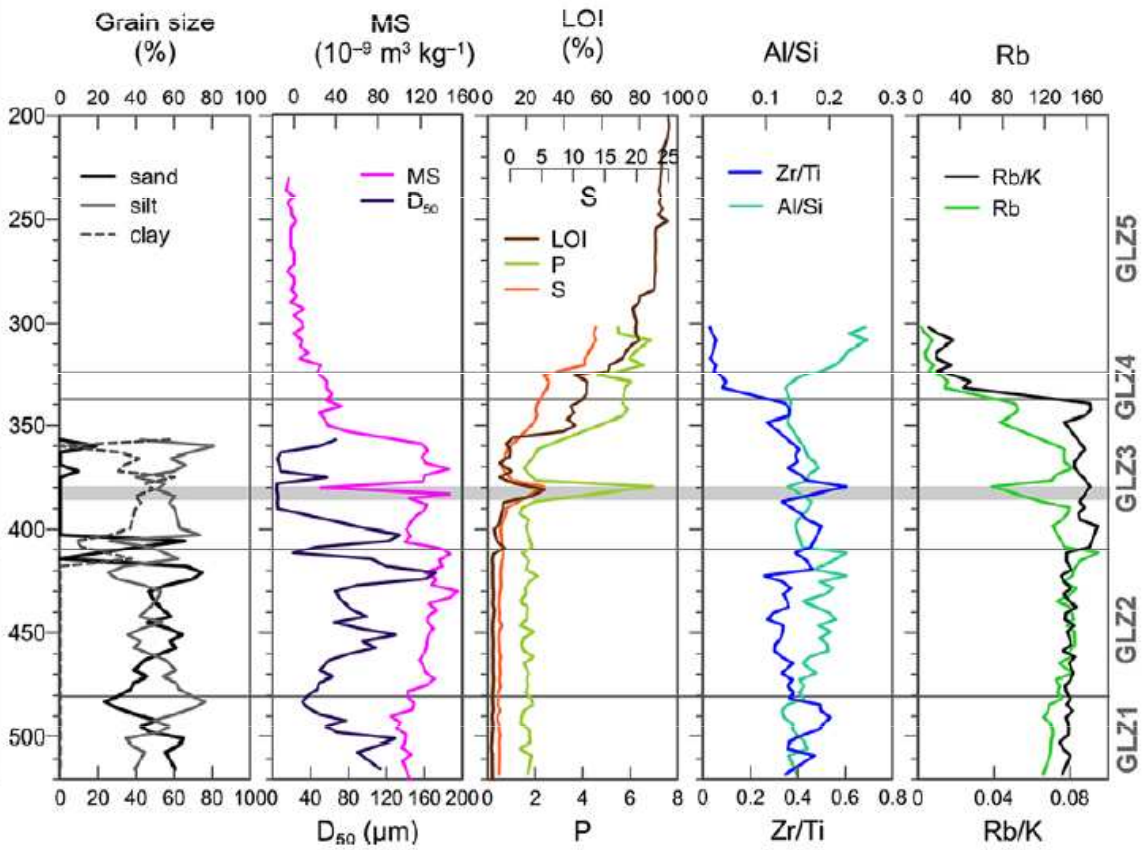
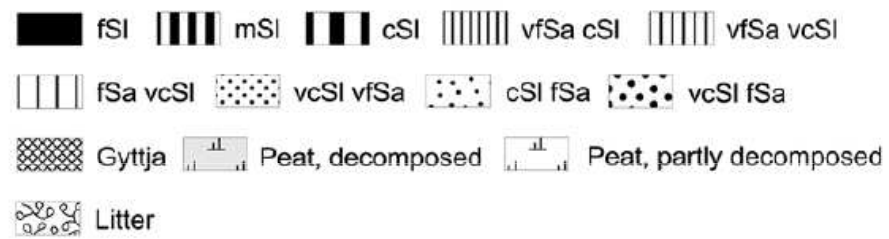


Holocén

kalibrovaná data



zdvihlá rašelinná kupa

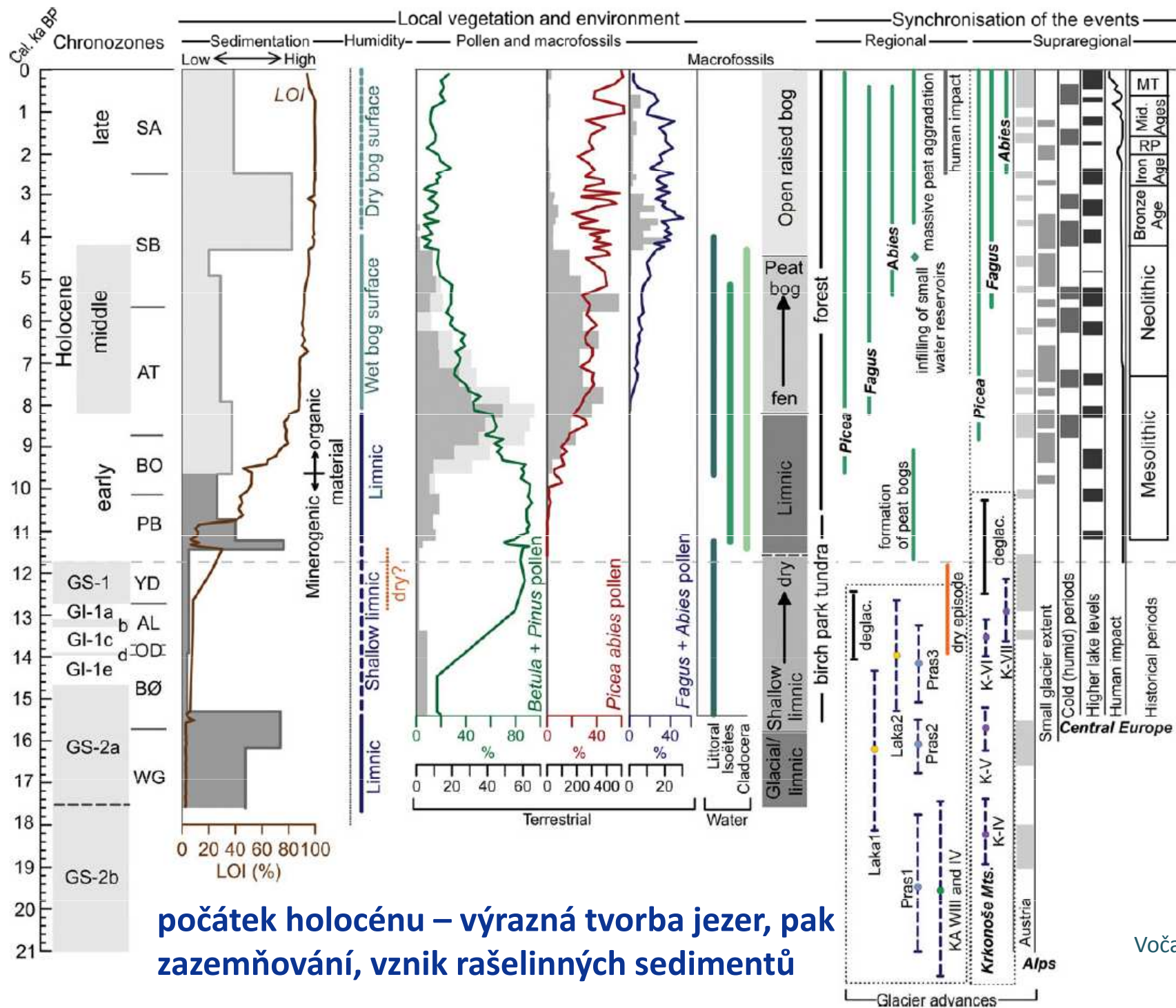


mladší dryas
bølling/allerød
nejstarší dryas

převážně písčité sedimentace (glacilimnická), absence organiky

hrubozrnné až velmi jemnozrnné silty, (limnická sedimentace, gyttja), přechod do rašeliniště (slatiny)

Černé jezero (Český les)



počátek holocénu – výrazná tvorba jezer, pak zalemňování, vznik rašelinných sedimentů

Vočadlova et al. (2015)

