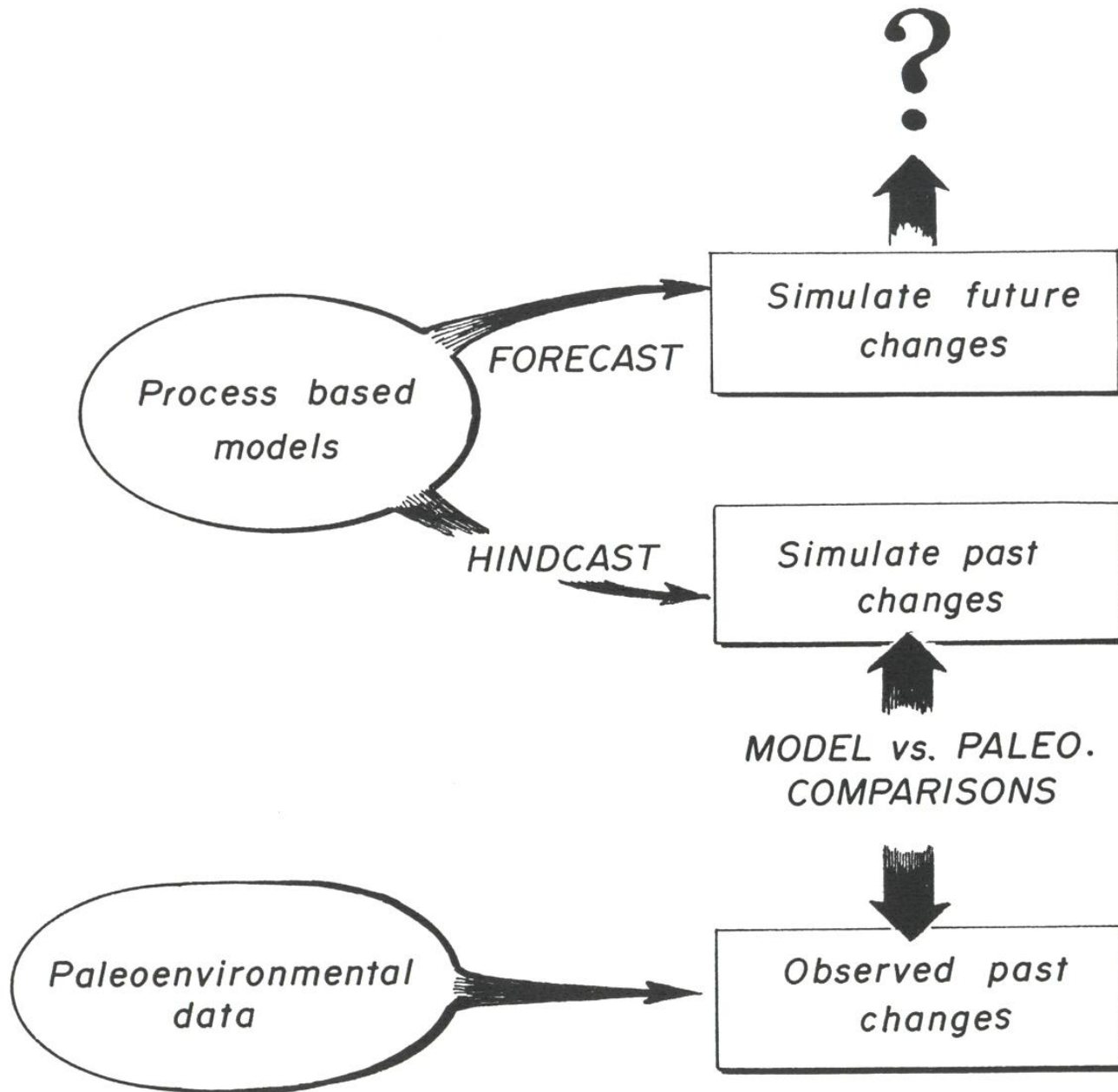


# Paleolimnologie

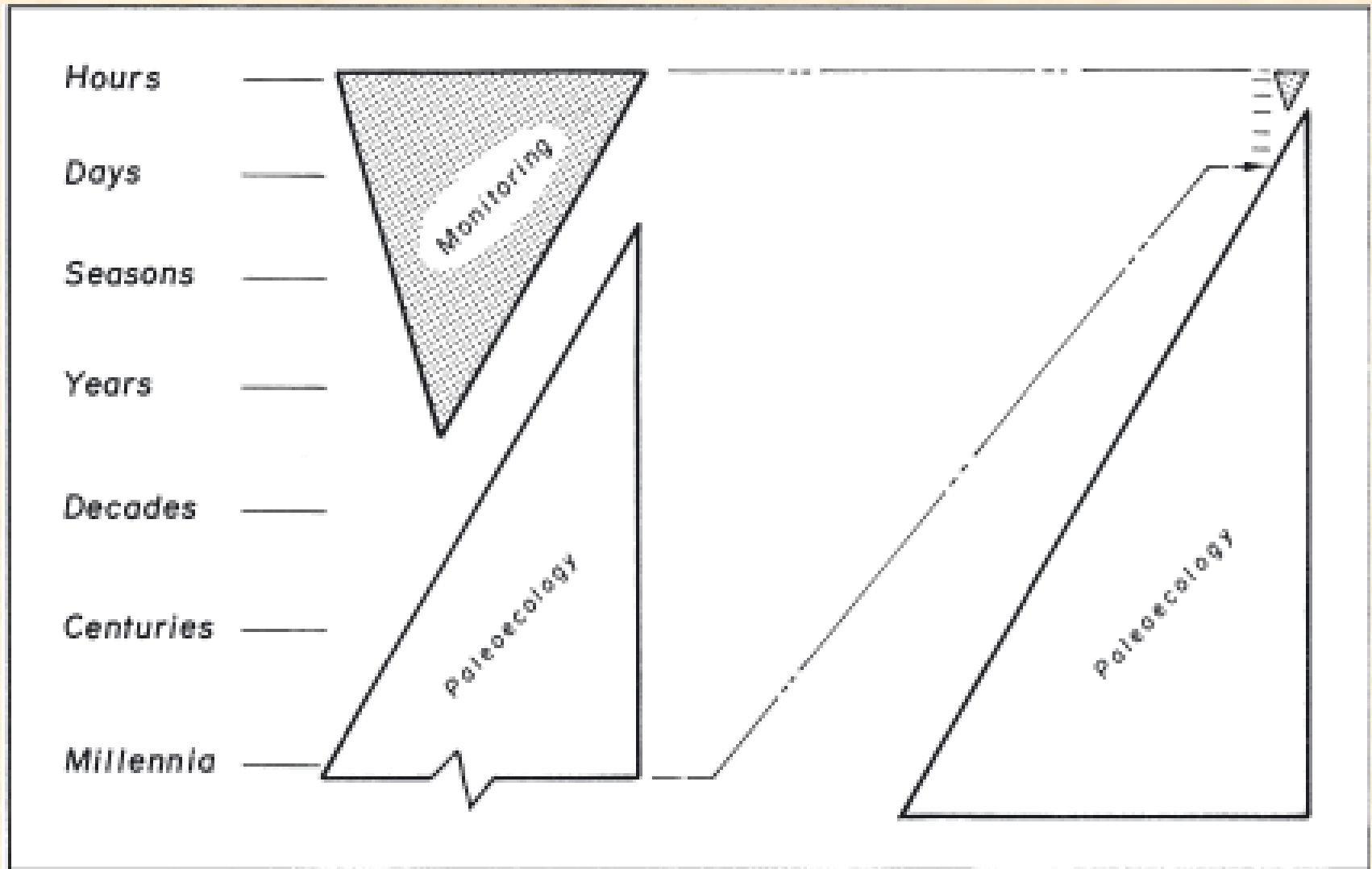
V kontextu **PALEOKLIMATOLOGIE**, která studuje změny klimatických podmínek na Zemi před obdobím instrumentálního meteorologického měření, a to na základě záznamů dochovaných v přírodním prostředí. Paleoklimatická data poskytují základ pro testování hypotéz o příčinách klimatických změn.

### Proč nás zajímají klimatické poměry v minulosti?

- ❑ pochopení **příčiny přirozených klimatických fluktuací** v minulosti umožní odhadovat nebo předpovídat klimatické změny v budoucnu.
- ❑ „**climate surprises**“ – doklady o prudkých změnách klimatického systému v minulosti za krátký časový úsek. Pochopení těchto výkyvů je nezbytné pokud nechceme aby nás v budoucnu zaskočily.
- ❑ pomůžou zjistit, jaký je **vliv lidské činnosti** na současný stav klimatu; do jaké míry je globální oteplování zaznamenané v posledním století výsledkem přirozených příčin (jako je variabilita sluneční aktivity) nebo vlivu člověka.
- ❑ klimatické modely – paleoklimatologie tak pomáhá **zdokonalit schopnost počítačových modelů** simulovat klima v budoucnosti



## Jak to lze studovat?

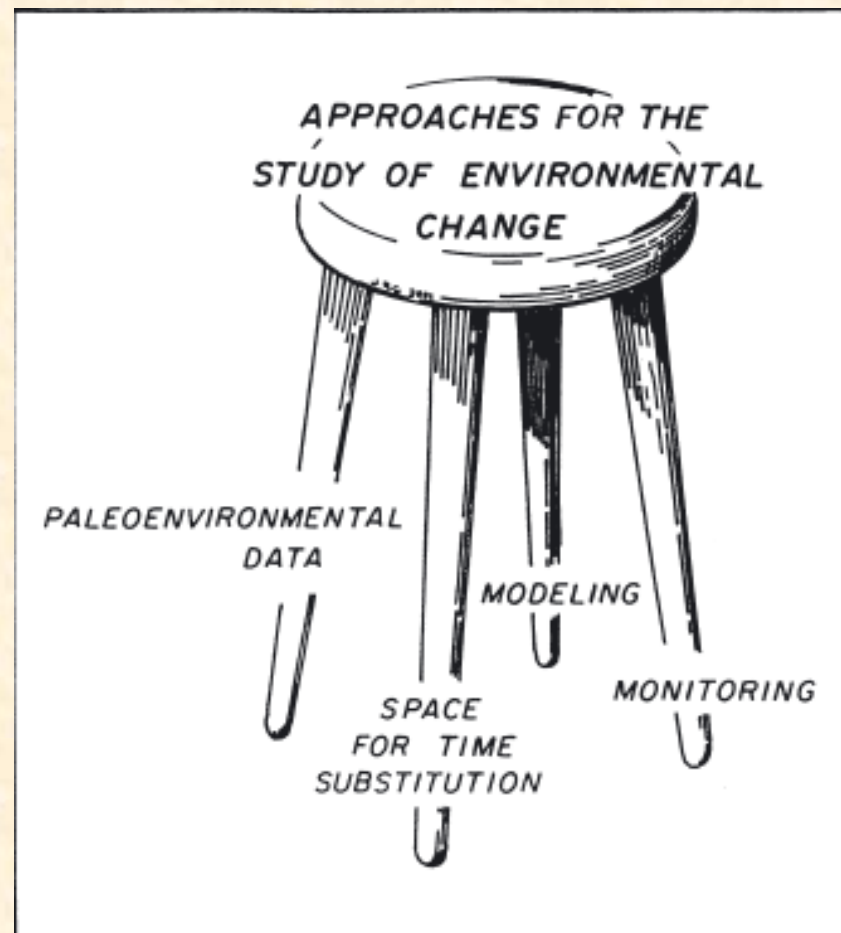


Časová škála na obrázku vlevo je v logaritmicím měřítku; obrázek napravo ukazuje reálné zastoupení relativního množství informací potenciálně dostupných ze sedimentů!! (Modified from Smol, 1992).

Čtyři nejdůležitější zdroje dat pro environmentální hodnocení. Každý samostatně má své výhody a nevýhody, stejně jako čtyřnohá stolička, nejjistější odpověď dostaneme, když použijeme všechny 4 přístupy.

Paleoenvironmentální přístupy poskytují důležitá data, která nemohou být získána přímo jinými přístupy. Např. ekosystémy byly jen zřídka zkoumány dříve než se objevil nějaký zásadní vliv.

Space for time substitution – např. srovnání současného stavu jezer z podobných oblastí (stejně podloží, klima, vegetace aj.), kdy jeden soubor jezer byl ovlivněn (acidifikací), druhý ne. Neovlivněná jezera ukážou limnologické parametry jaké pravděpodobně měly dnes ovlivněná jezera před zasažením.



# PALEOLIMNOLOGIE

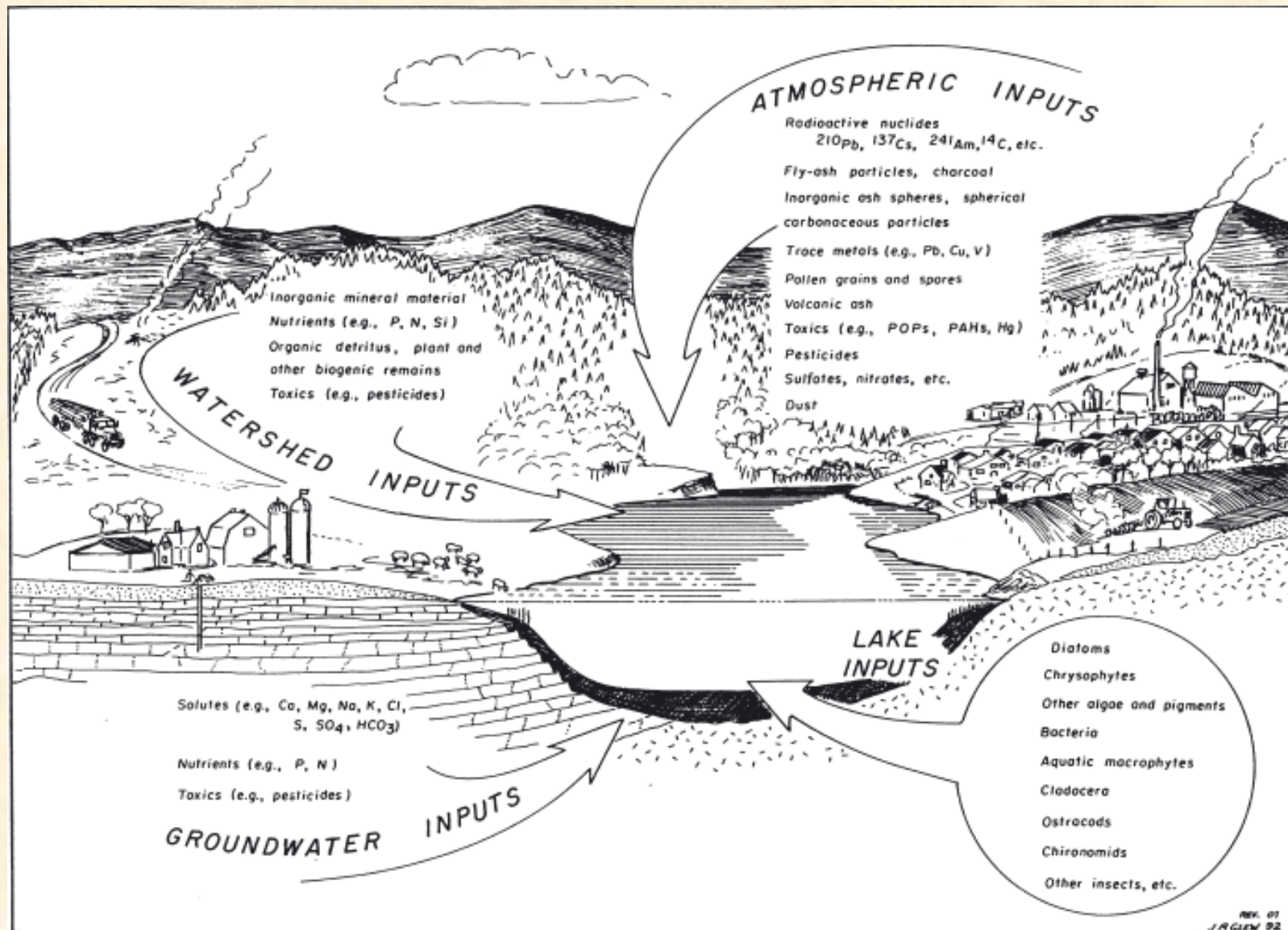
*Z řečtiny (paleon= starý, limne= jezera, logos= studium) je odnož limnologie studující historické vlastnosti a vývoj sladkovodních a brakických vod na základě analýz fyzikálních, chemických, geologických, hydrologických, ekologických a biologických charakteristik jezerních sedimentů.*

Paleolimnologie se zaměřuje na **paleoenviromentální rekonstrukce** a **rekonstrukce klimatu** v historii, přičemž využívá záznamů uložených v jezerních sedimentech.

Pomocí paleolimnologie může být zkoumáno mnoho témat. Procesy operující na **různých časových a prostorových škálách**, jako jsou narušení povodí, globální klimatické změny, geologická historie vnitrozemských nádrží a biologický vývoj, mohou využít to, co je jednotícím tématem studia jezerních deposit: jejich význam jako **záznamy historie Země s vysokým časovým rozlišením a za velmi dlouhý časový interval.**

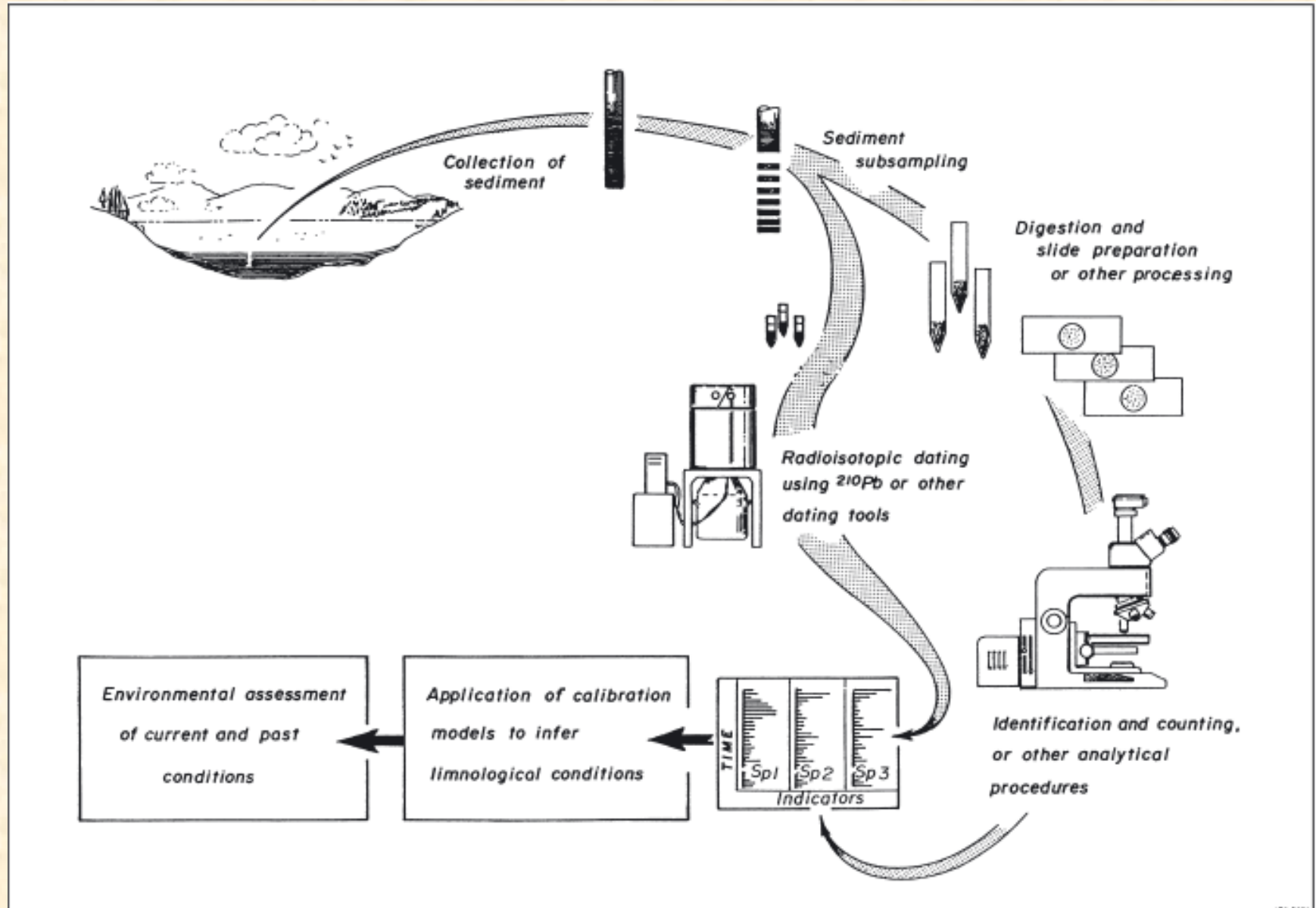
Je to multi-vědní obor využívající znalostí ze sedimentologie, geomorfologie, geochemie, hydrologie, biologie, ekologie, geografie,.....

# SEDIMENT - ECOLOGICKÁ PAMĚŤ



Jezerní sediment je tvořen materiálem z celé řady zdrojů, které obecně můžeme rozdělit na allochthonní (mimo jezero, z povodí nebo ovzduší) a autochthonní (vznikají v jezeře). Smol *et al.* (2001a); used with permission.

# JAK POSTUPOVAT V PALEOLIMNO STUDIÍCH





## **1. Výběr lokality**

Vychází z řešeného problému – site-specific studie vs. obecnější otázka. Nutnost znát limnologii lokality – procesy kt. Mohou vnést chybu.

## **2. Výběr odběrového místa**

Obvykle jen 1 nebo jen několik málo kórů – měli by representovat limnologické a environmentální podmínky lokality. Z místa, kde je integrován nejrepresentativnější materiál pro řešenou otázku. Obvykle nejhlubší místo jezer.

# Původ jezer a kvalita paleolimnolog. záznamů

Kvalita paleolimnolog. záznamů je přímo spojena s mechanismem evoluce nádrže

**Způsob vzniku a vývoje jezera musí být pečlivě uvážěn při posouzení vhodnosti jezera pro konkrétní paleolimnolog. otázky.**

*Jaké je požadované stáří záznamu?* – jezera s nízkou sed. rychlostí poskytují nejdelší záznam.

*Jaká je požadovaná úroveň časového rozlišení?* – jezera s vysokou akumul. rychlostí sedimentu a/nebo nízkou bioturbulencí poskytují záznamy s nejvyšším rozlišením.

*Jak kritická je kontinualita sedimentace či stratigrafická úplnost k zodpovězení (nějaké) otázky?* – jezera, jejichž sedimentační záznam vykazuje vysoký stupeň strat. komplexity jsou typicky hluboká a/nebo prodělala rozsáhle erozní vyplavení.

*Z jak velkého areálu (povodí) by měl archiv obsahovat data?* – jezera s malým povodím často archivují lokální události, což se může a nemusí shodovat s regionálním modelem environ.změn. Naopak velká jezera v sobě nesou signály ze širší oblasti, ale jejich záznamy mohou zakrývat lokální nebo krátkodobé procesy.

# **1. Výběr lokality**

Vychází z řešeného problému – site-specific studie vs. obecnější otázka. Nutnost znát limnologii lokality – procesy kt. Mohou vnést chybu.

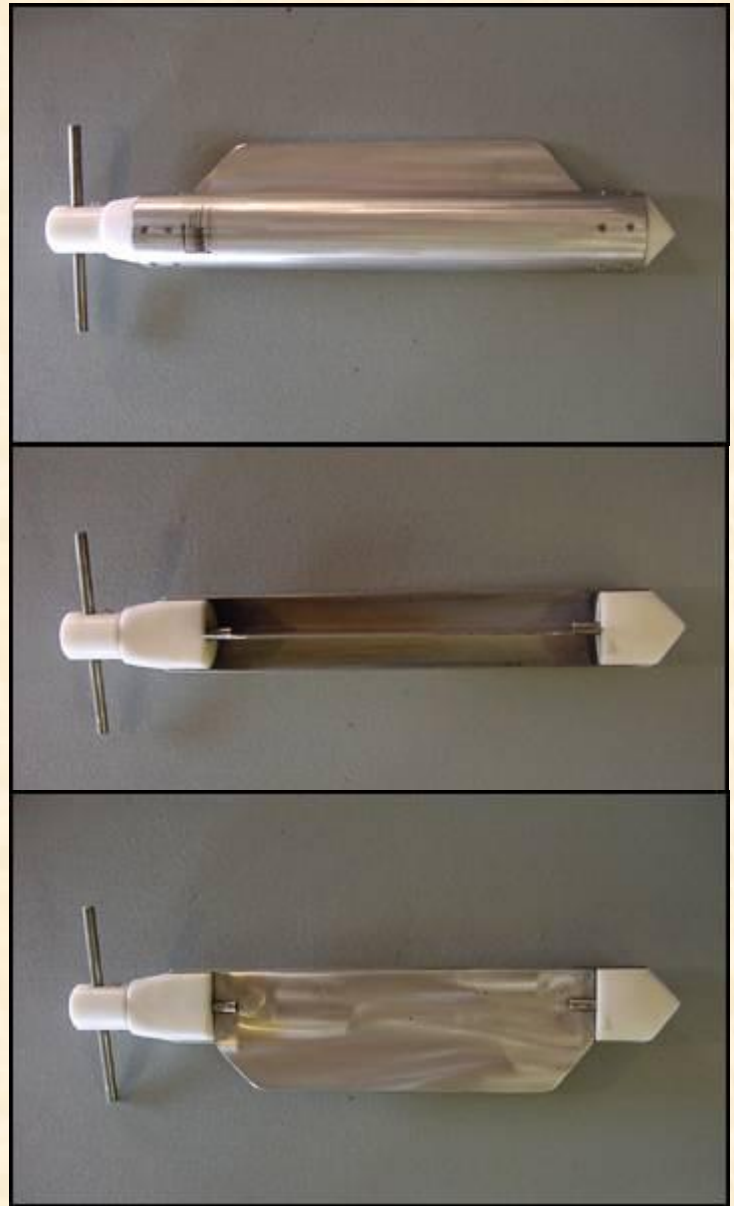
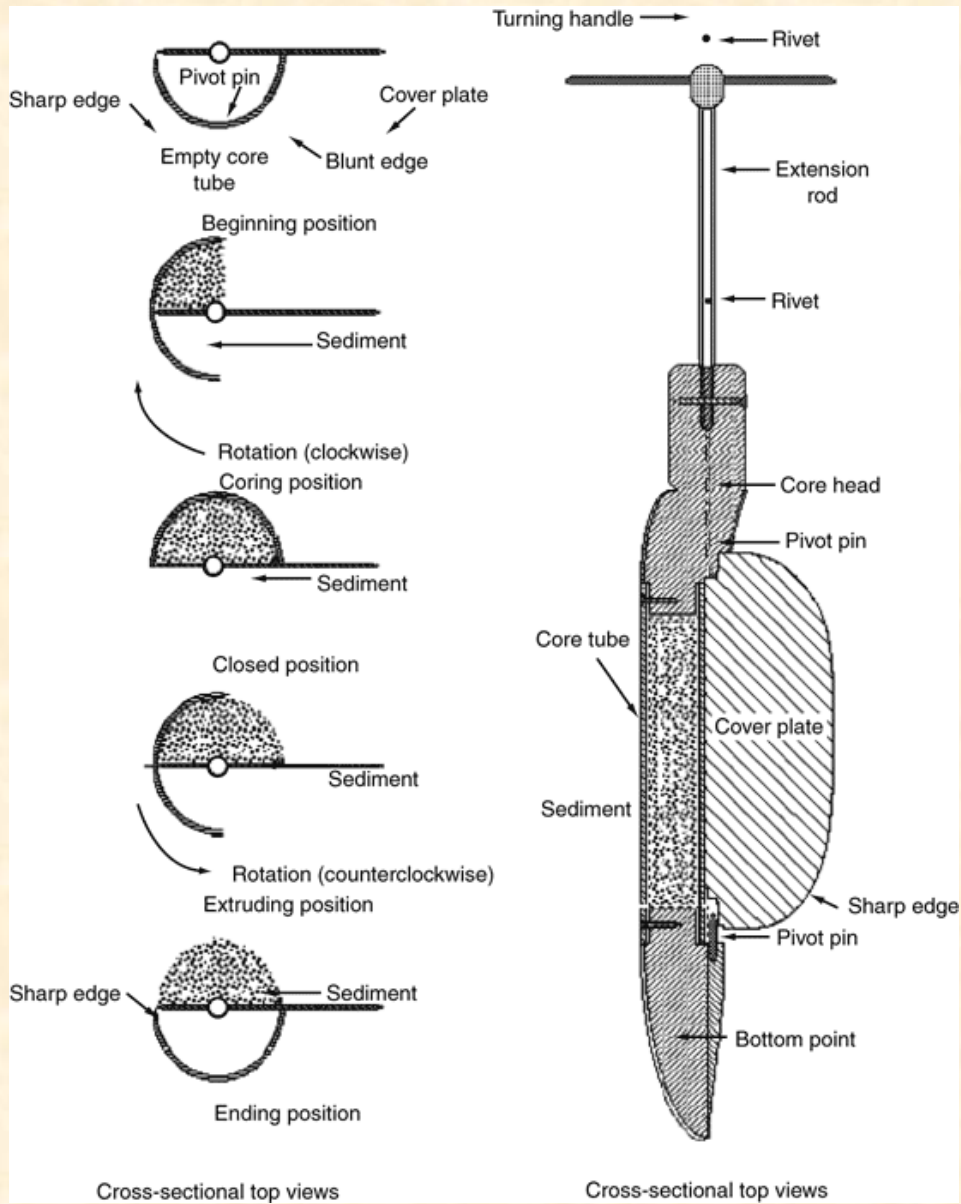
# **2. Výběr odběrového místa**

Obvykle jen 1 nebo jen několik málo kórů – měli by representovat limnologické a environmentální podmínky lokality. Z místa, kde je integrován nejreprezentativnější materiál pro řešenou otázku. Obvykle nejhlubší místo jezer.

# **3. Odběr sedimentu**

Výběr odběrového zařízení dle dostupnosti odběrového místa, charakteru sedimentu, délky požadovaného kóru a požadovaného časového rozpětí.

# **CHAMBER SAMPLERS – Russian peat corer**



**CHAMBER SAMPLERS – Russian peat corer**

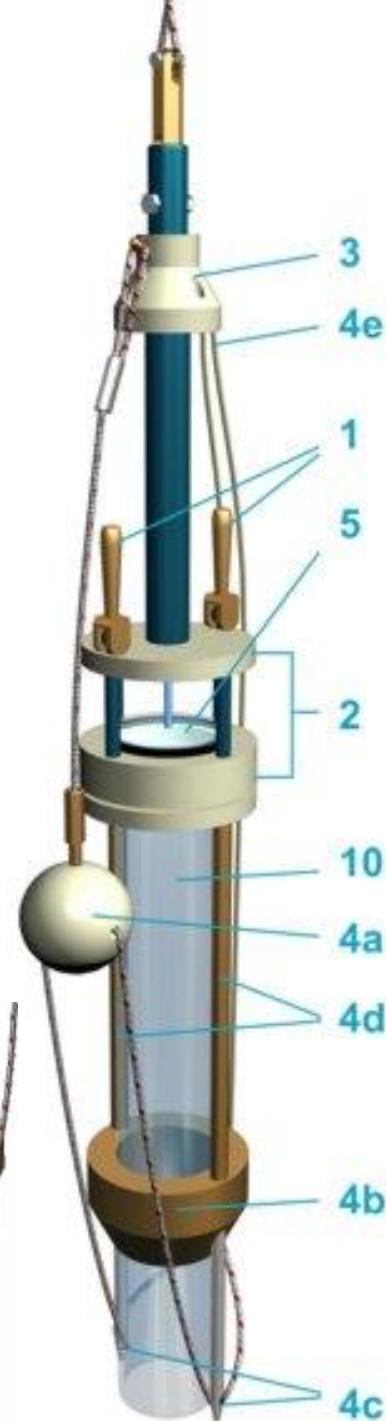
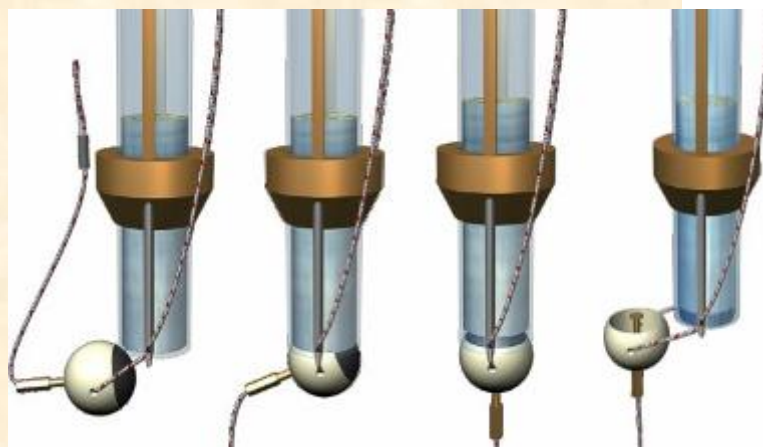
**GRAVITY CORERS – open barrel corers – krátké kory,  
limitace hloubkou nádrže**



GLEW KORER



KAJAK KORER



**CHAMBER SAMPLERS – Russian peat corer**

**GRAVITY CORERS – open barrel corers – krátké kory,  
limitace hloubkou nádrže**

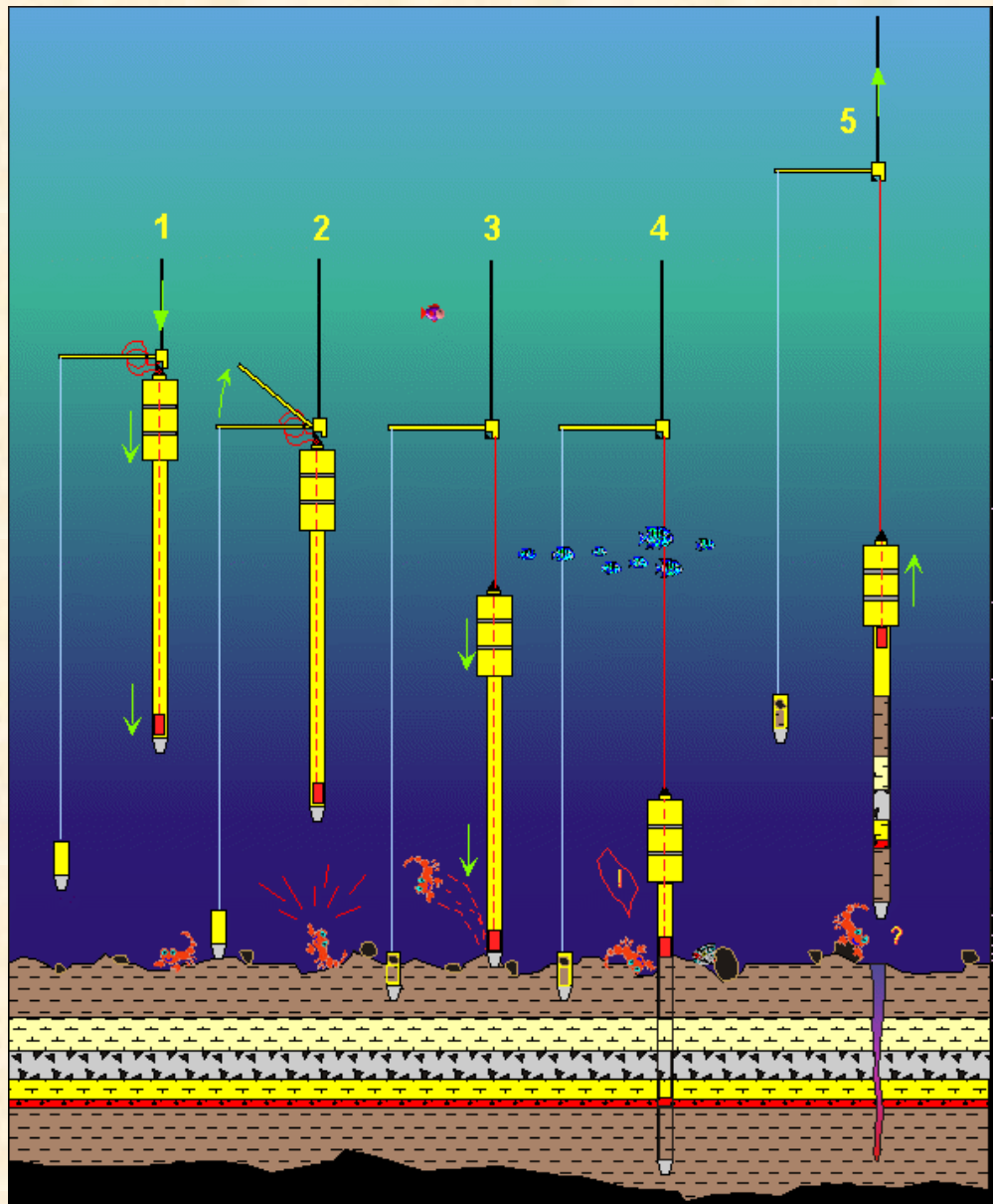
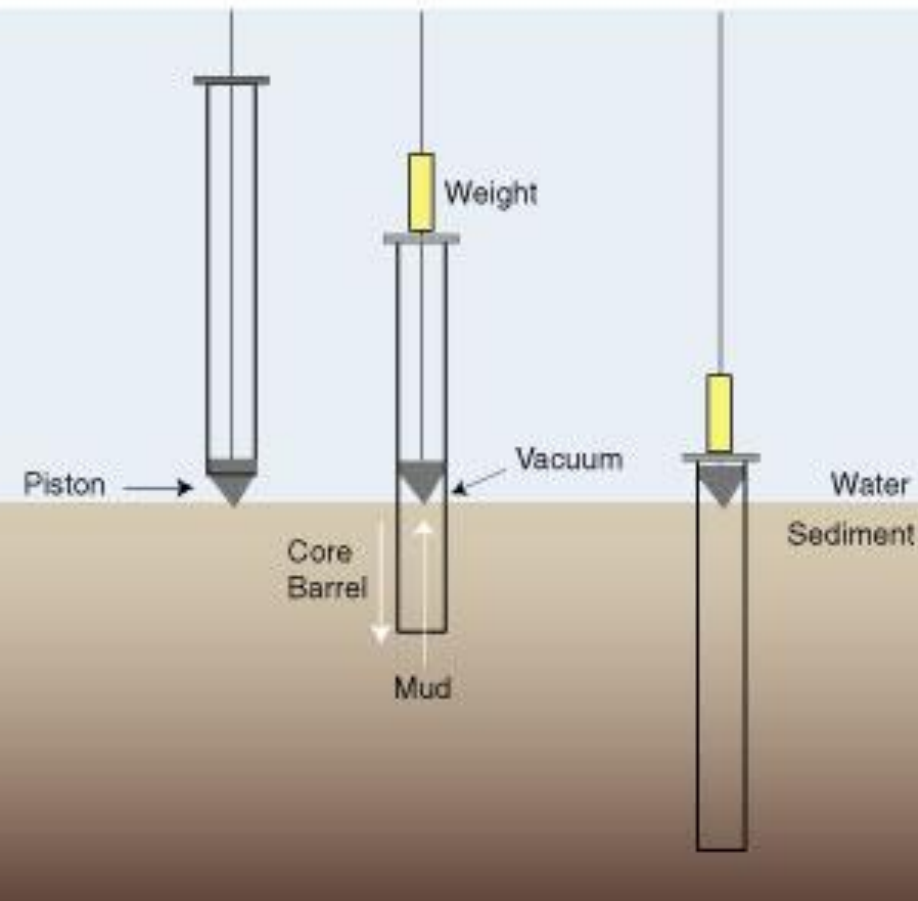
**PISTON CORERS – dlouhé kory, odběr mořských sedimentů**

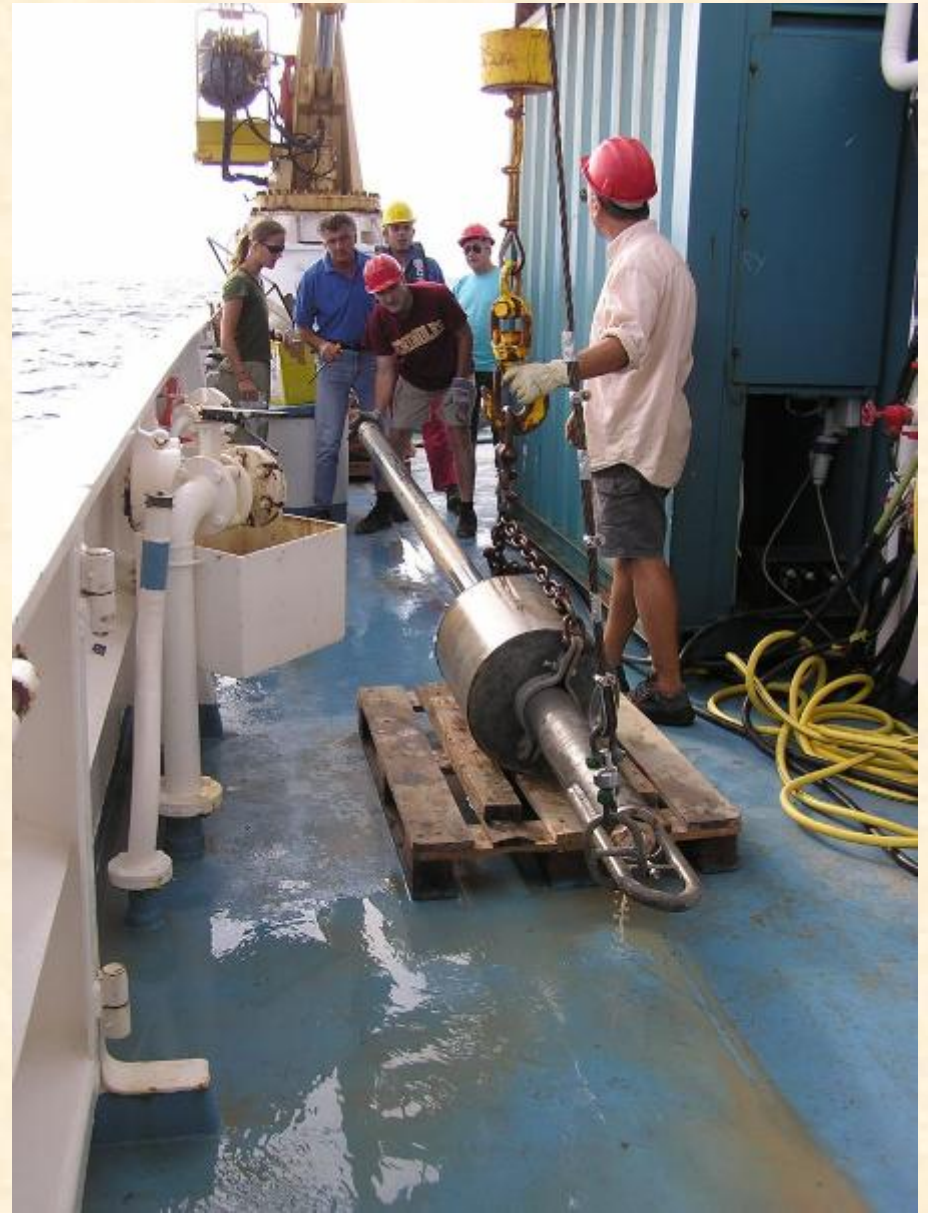


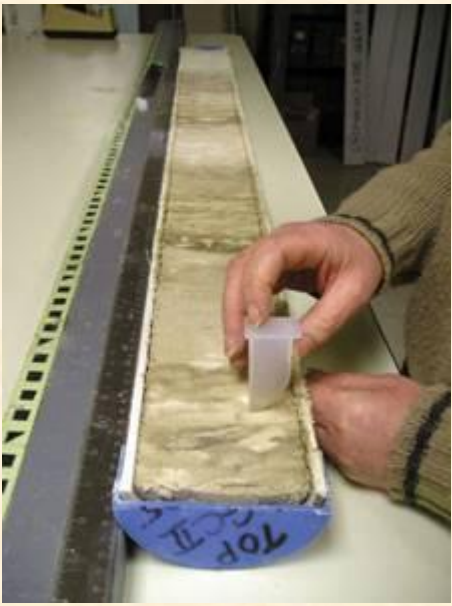




The corer is lowered to just above the sediment-water interface, with the piston at the bottom of the core barrel. The piston is then fixed in one place by a cable while a weight pushes the core barrel into the sediment. Because the core barrel is moving, but the piston isn't, a vacuum develops between the piston and the mud. This vacuum allows the mud to rise easily into the core barrel despite the friction which would otherwise cause the mud to drag along the sides of the barrel.







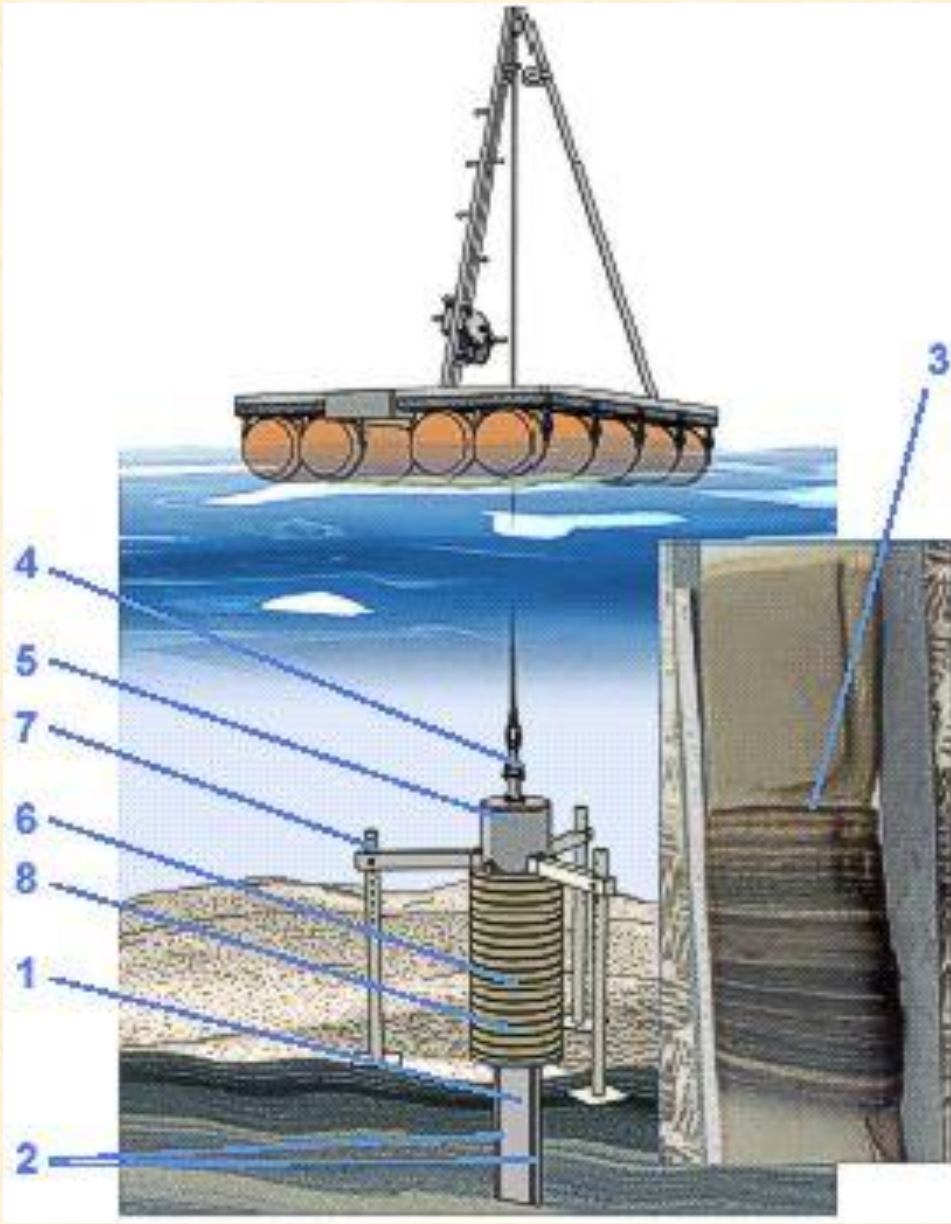
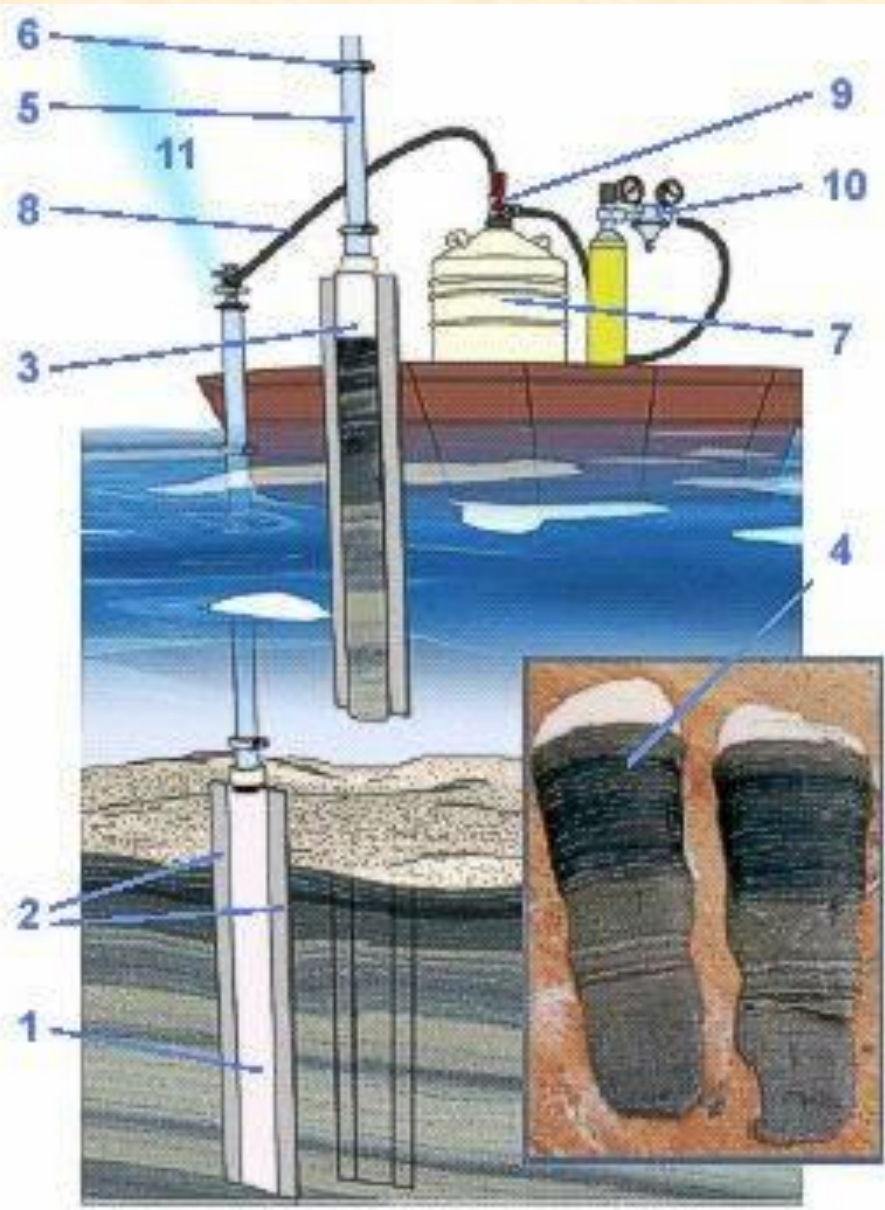
**CHAMBER SAMPLERS – Russian peat corer**

**GRAVITY CORERS – open barrel corers – krátké kory,  
limitace hloubkou nádrže**

**PISTON CORERS – dlouhé kory, odběr mořských sedimentů**

**FREEZE CORERS – rozhraní voda-sediment, vodnaté  
sedimenty**









## 1. Výběr lokality

Vychází z řešeného problému – site-specific studie vs. obecnější otázka. Nutnost znát limnologii lokality – procesy kt. Mohou vnést chybu.

## 2. Výběr odběrového místa

Obvykle jen 1 nebo jen několik málo kórů – měli by reprezentovat limnologické a environmentální podmínky lokality. Z místa, kde je integrován nejreprezentativnější materiál pro řešenou otázku. Obvykle nejhlubší místo jezer.

## 3. Odběr sedimentu

Výběr odběrového zařízení dle dostupnosti odběrového místa, charakteru sedimentu, délky požadovaného kóru a požadovaného časového rozpětí.

## 4. Rozdělení kóru

Rozdělení kóru na vrstvy pokrývající požadovaný časový úsek

## 5. Datování sedimentu

**Kritický moment!! Bez spolehlivého depth-age modelu nelze pracovat. Celá řada metod, nejčastěji však  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  a  $^{14}\text{C}$**

# ZÁKLADNÍ METODY DATOVÁNÍ SEDIMETU

Chronologie – primární cíl všech paleolimnolog. studií.

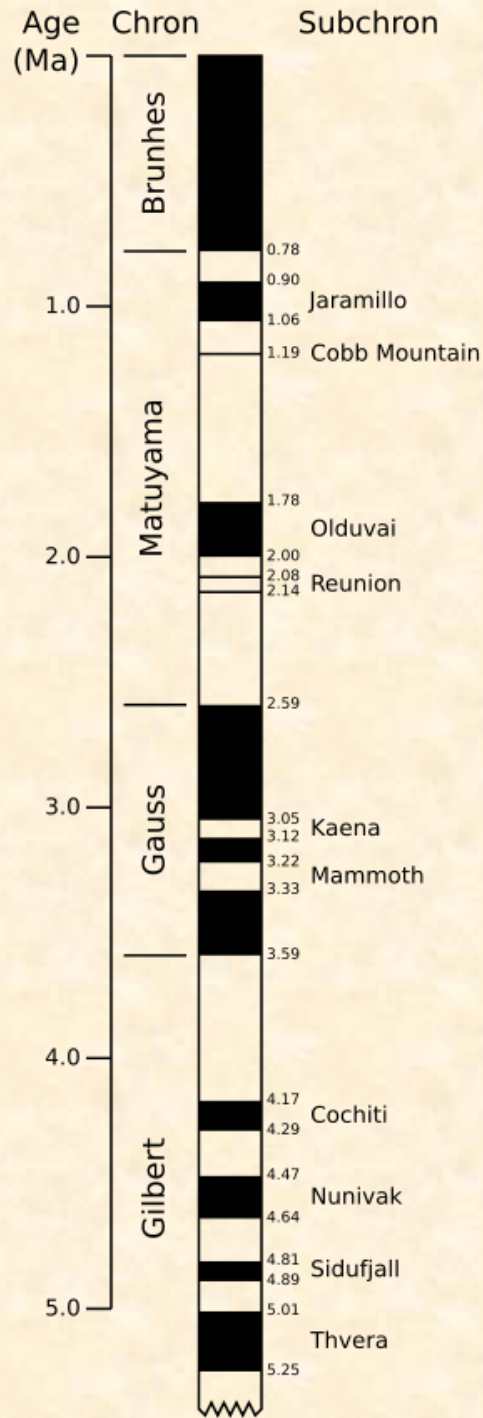
Rozlišujeme **relativní a absolutní datovací metody**. Relativní je založena na konceptu vrstvení (starší sedimenty vespod) a litologické korelaci. Absolutní jsou prováděny bez nezbytných odkazů na jiné analýzy nebo umístění, stanovují stáří přímo.

**I) Age ekivalent horizons (Isochrons) = Relativní korelační metody** – porovnává časové horizonty (stratografické makrery = vůdčí horizonty) z různých míst na Zemi..

*Paleomagnetismus* – jemné sedimenty obsahují minerály, kt. jsou orientovány podle magnet. pole svého okolí - info geomagnet. poli v době sedimentace. V historii došlo několikrát k výměně S a J pólu (od konce Křídy 160x). MATUYAMA/BRUNHES – hranice ranného Pleistocenu.

*Tefrochronologie* – datování pomocí horizontů vulkanického popela. Ve stř. Evropě – Laacher See tefra, stáří 11 tis. let. – Pleistocen/Holocen

Funkčnost relativního datování je limitována vysokou heterogenitou jezerních deposit. Proto je **absolutní datování** stáří sedimentů nezbytnou součástí paleolim. výzkumů.



## II) Absolutní datovací metody

### 1. Radioizotopové metody

Založeny na rozpadu nestabilních radioaktivních prvků na dceřiné isotopy, přičemž se emituje záření ( $\alpha, \beta, \gamma$ ) částic o známé rychlosti, které se měří.

Kosmogení isotopy – vznikají interakcí kosmického záření s původním atomem v atmosféře či na zemi.

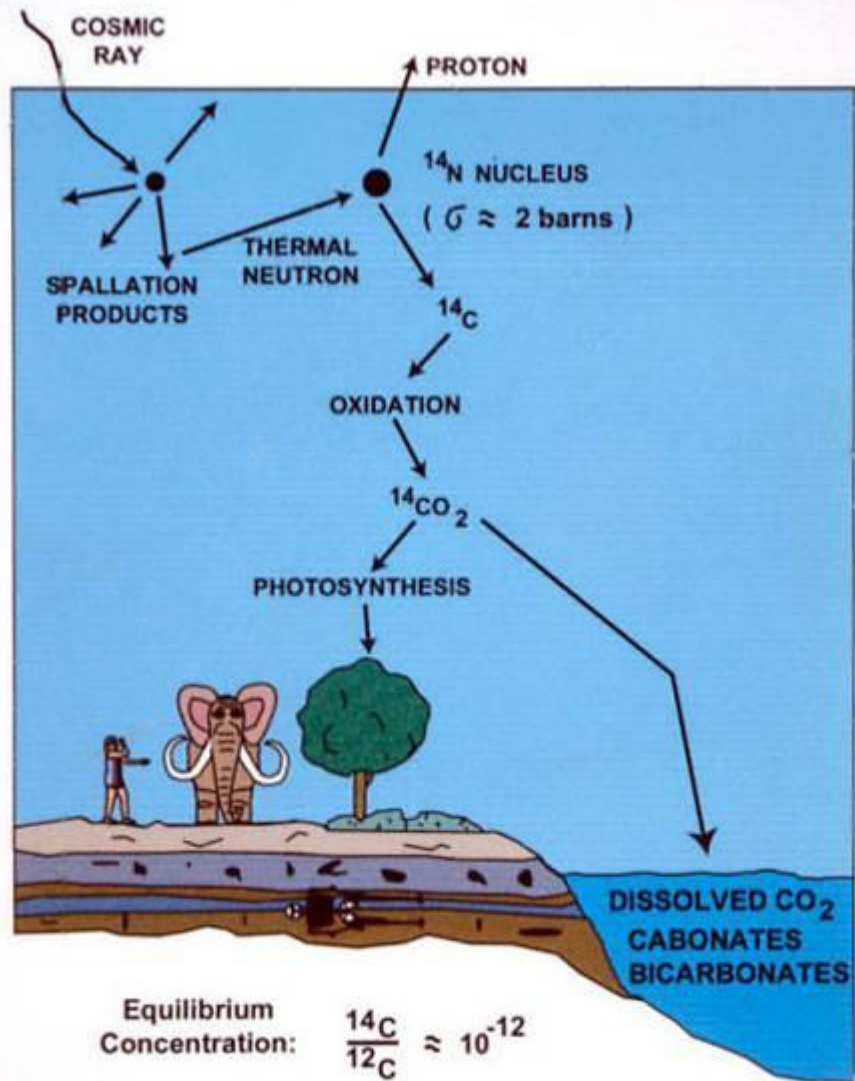
Isotopy prvků kovů – s pomalým rozpadem jsou přítomny v zemské kůře

Umělé radioizotopy – uvolněné do atmosféry z výbuchů atomových zbraní nebo při havárii jaderných elektráren

### **<sup>14</sup>C**

Je postupně produkován ve vrchní atmosféře

PRODUCTION  
DISTRIBUTION  
DECAY

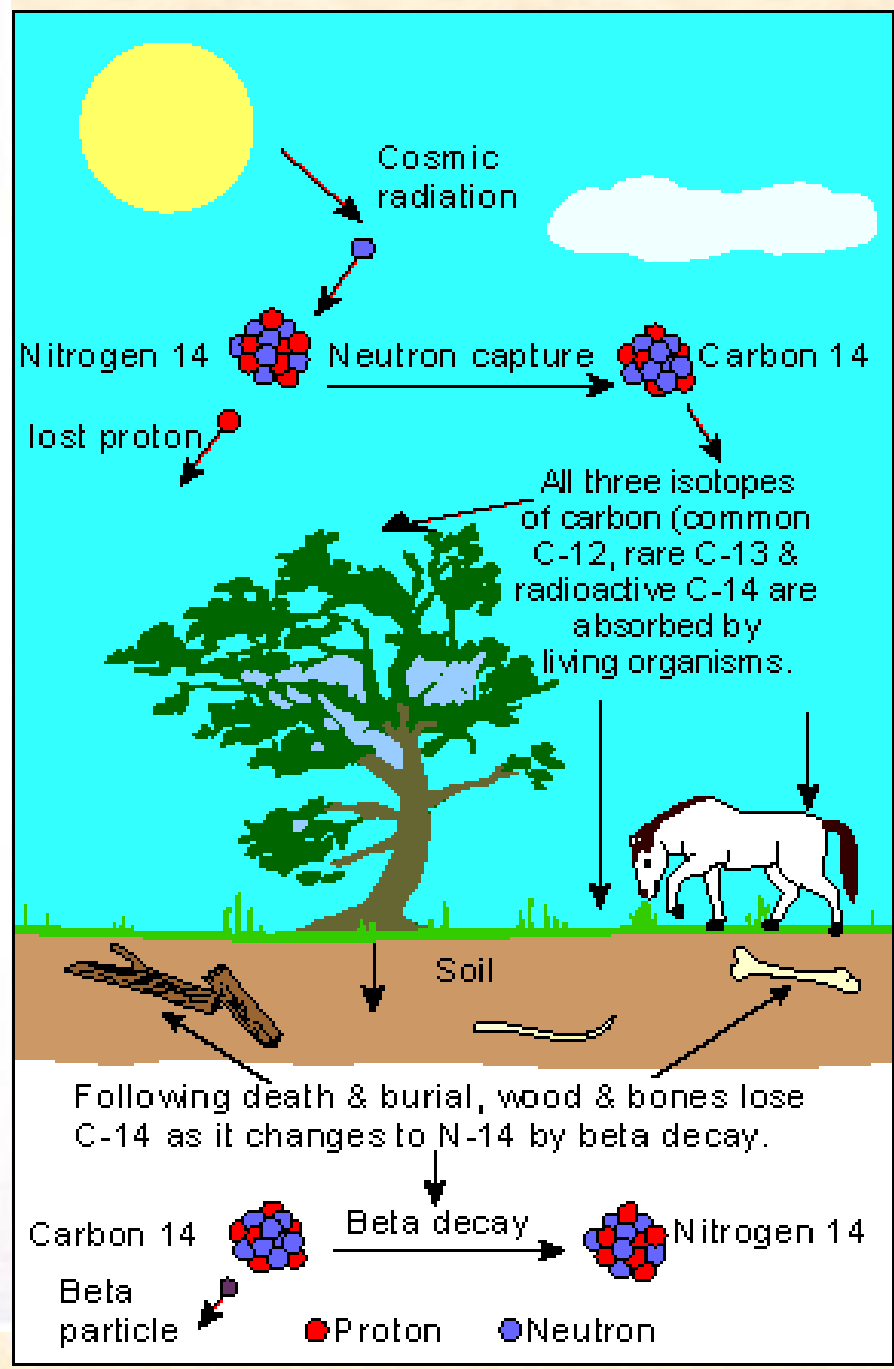


Equilibrium Concentration:  $\frac{^{14}\text{C}}{^{12}\text{C}} \approx 10^{-12}$

Then:  $^{14}\text{C} \rightarrow ^{14}\text{N} + e^- + \bar{\nu}$

$\tau_{1/2} = 5700$  years

One Gram  $\rightarrow \sim 10$  counts/minute



## II) Absolutní datovací metody

### 1. Radioizotopové metody

Založeny na rozpadu nestabilních radioaktivních prvků na dceřiné isotopy, přičemž se emituje záření ( $\alpha, \beta, \gamma$ ) částic o známé rychlosti, které se měří.

Kosmogení isotopy – vznikají interakcí kosmického záření z původním atomem v atmosféře či na zemi.

Isotopy prvků kovů – s pomalým rozpadem jsou přítomny v zemské kůře

Umělé radioizotopy – uvolněné do atmosféry z výbuchů atomových zbraní nebo při havárii jaderných elektráren

#### **$^{14}\text{C}$ – limit 60ka**

Je postupně produkován ve vrchní atmosféře působením kosmického záření na atomy N, poté je oxidován a asimilován při dýchání, fotosyntéze, difunduje do vody a vodních organismů – ve stejném poměru  $^{12}\text{C}/^{14}\text{C}$  v jakém se nachází v atmosféře.

Radiokarbon se pak rozpadá **-poločas rozpadu 5730 let-** zpět na  $^{14}\text{N}$ , emitují se  $\beta$  částice. K analýzám je nutno větší mn. materiálu – nejlépe makrozbytky (semena, kusy dřeva apod.)

#### Konvenční datování (beta counting)

Počítá rozpad (emisi  $\beta$  částic), který proběhl za určitý čas. Např. současný uhlík produkuje kolem 15  $\beta$  částic min/g. Tato hodnota bude klesat jak bude  $^{14}\text{C}$  ubývat. Rychlost rozpadu je přímo úměrná konc. zbývajících  $^{14}\text{C}$  ve vzorku – můžeme spočítat radiokarbonový věk.

## AMS (accelerator mass spectrometry, atom counting)

Moderní metoda založená na přímém počítání  $^{14}\text{C}$  atomů ve vzorku. Nejdříve separuje  $^{14}\text{C}$  od  $^{14}\text{N}$ , pak zničí ostatní isotopy uhlíku (v akcelerátoru), zůstane jen  $^{14}\text{C}$ .

Jak konvenční tak AMS datování udává stáří v radiokarbonových „letech“, vztažených k roku 1950. Kalibrační vzorek pro nulové datum (začátek radiokarb. datování) je dřevo z roku 1850, které rostlo před nástupem masivního přísunu volného  $^{14}\text{C}$  z fosilních paliv. **Nutná je kalibrace na kalendářní věk!**

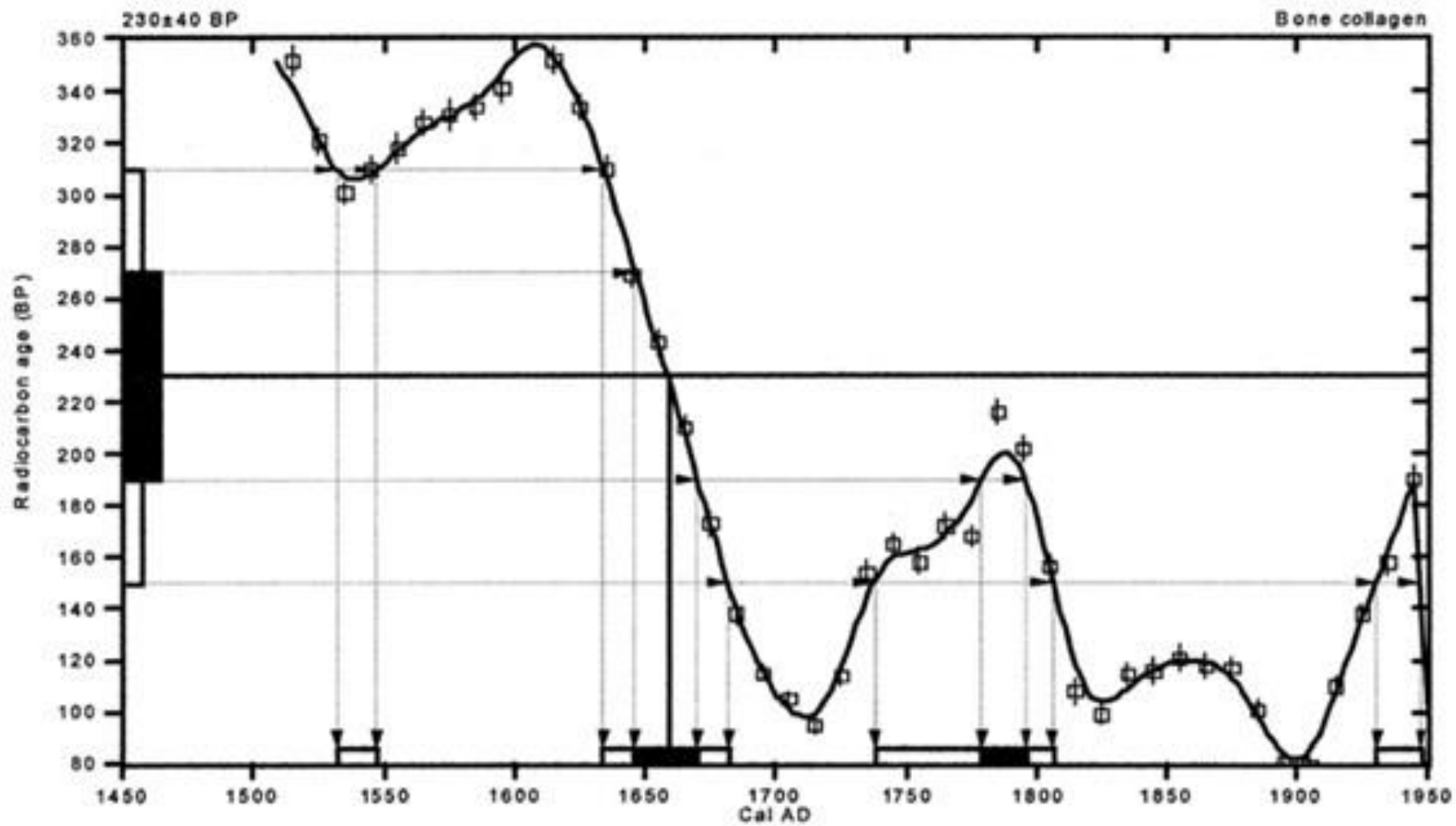
## Atmosférická variabilita produkce $^{14}\text{C}$

Produkce  $^{14}\text{C}$  ve svrchní atmosféře neprobíhá konst. rychlostí.

Období, kdy bylo v atmosféře více  $^{14}\text{C}$  způsobí, že tohodobé sedimenty budou datovány jako mladší - **nutná dendrologická kalibrace.**

Radiokarb datování bylo použito přímo na vzorky dřeva datované pomocí letokruhů a zjistila se systematická chyba mezi kalendářním a radiokarb. věkem, kt. musela být zp. změnami v produkci  $^{14}\text{C}$  (v důsl. změn síly Zem magneticého pole, kt. koriguje množství dopadajícího kosmického záření) – kalibrační křivka.





# EXPLANATION OF THE BETA ANALYTIC DENDRO-CALIBRATION PRINTOUT

## CALIBRATION OF RADIOCARBON AGE TO CALENDAR YEARS

Variables used in the calculation of age calibration →

(Variables: C13/C12= :Delta-R= :Glob res= :lab. multi=1)

Laboratory Number: Beta-12345

Conventional radiocarbon age: 2400 +/- 60 BP

The uncalibrated conventional radiocarbon age (+ 1 sigma)

The recommended calibration age range to be used for interpretation →

Calibrated result: cal BC 770 to 380  
(2 sigma, 95% probability)

Intercept data:

Intercept of conventional radiocarbon age with calibration curve:

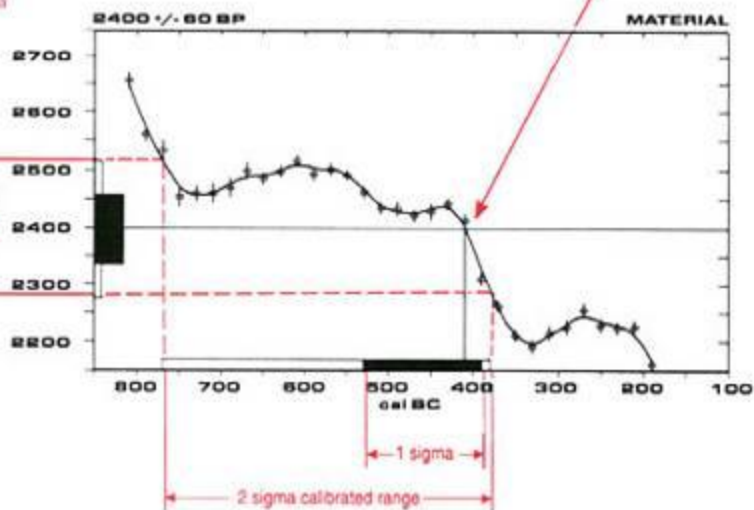
cal BC 410

cal BC 530 to 390

The intercept between the conventional radiocarbon age and the calibrated calendar time scale curve.

The calibration result of the conventional radiocarbon age ± 1 sigma

1 sigma calibrated result: cal BC 530 to 390  
(68% probability)



### References:

- Pretoria Calibration Curve for Short Lived Samples  
Vogel, J.C., Fuls, A., Visser, E. and Becker, B., 1993, Radiocarbon 35(1), p73-86
- A Simplified Approach to Calibrating C14 Dates  
Talma, A.S. and Vogel, J.C., 1993, Radiocarbon 35(2), p317-322
- Calibration - 1993  
Stuiver, M., Long, A., Kra, R.S. and Devine, J.M., 1993, Radiocarbon 35(1)

Beta Analytic, Inc., 4985 S.W. 74th Court, Miami, Florida 33155

## CALIBRATION OF RADIOCARBON AGE TO CALENDAR YEARS

(Variables: C13/C12=-13.6;lab. mult=1)

Laboratory number: Beta-159021

Conventional radiocarbon age: 230±40 BP

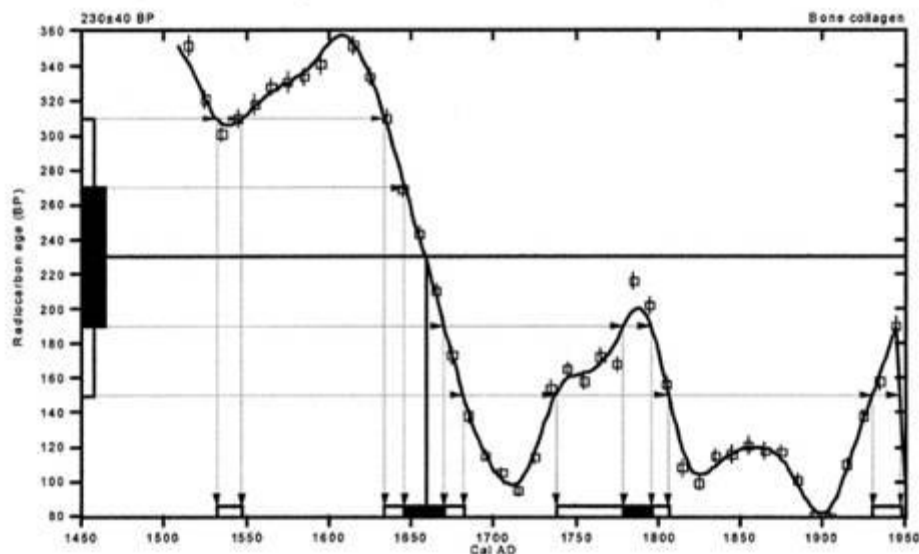
2 Sigma calibrated results: Cal AD 1530 to 1550 (Cal BP 420 to 400) and Cal AD 1630 to 1680 (Cal BP 320 to 270) and Cal AD 1740 to 1810 (Cal BP 210 to 140) and Cal AD 1930 to 1950 (Cal BP 20 to 0)

Intercept data

Intercept of radiocarbon age with calibration curve:

Cal AD 1660 (Cal BP 290)

1 Sigma calibrated results: Cal AD 1650 to 1670 (Cal BP 300 to 280) and Cal AD 1780 to 1800 (Cal BP 170 to 150)



### References:

- Database used  
INTCAL98  
Calibration Database  
Editorial Comment  
Stuiver, M., van der Plicht, H., 1998, Radiocarbon 40(3), pxi-xtii
- INTCAL98 Radiocarbon Age Calibration  
Stuiver, M., et. al., 1998, Radiocarbon 40(3), p1041-1053
- Mathematics  
A Simplified Approach to Calibrating C14 Dates  
Talma, A.S., Vogel, J.C., 1993, Radiocarbon 35(2), p317-322

## Beta Analytic Radiocarbon Dating Laboratory

4985 S.W. 74th Court, Miami, Florida 33155 • Tel: (305)667-5167 • Fax: (305)661-0964 • E-Mail: beta@radiocarbon.com

Reporting results (recommended)

- List the conventional radiocarbon age with its associated 1 sigma standard deviation in a table and designate it as such.
- Discussion of ages in the text should focus on the 2 sigma calibrated range.

# Uranové řady

Radiometrické datování založené na rozpadové řadě  $^{238}\text{U} - ^{232}\text{Th} - ^{235}\text{U}$  – stabilní isotopy Pb s různými poločasy rozpadu – široký rozsah datování ( **$10-5 \times 10^5$  let**).

U je inkorporován do krystalických uhličitánů – poměr dceřiných izotopů roste než se ustanoví rovnovážné koncentrace každého izotopu = dlouhodobé (sekulární) ekvilibrium.

**$^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$**  – stanovení doby, kdy byl U inkorporován do vzorku.

Rozsah:  **$10^3$  až  $5 \times 10^5$** .

Na **karbonáty bohaté sedimenty** - krápníky, travertiny, pěnovce.

-  **$^{210}\text{Pb}$**  – **nejrozšířenější metoda pro vysoké rozlišení datování velmi ml. sedimentů** ( **$100-150$  let**). Krátký pol. rozpadu (21,6 let) – použití pro otázky prudkých ekol. změn a vlivu člověka na jezerní ekosystémy.

Vzniká z řady  $^{238}\text{U} - ^{236}\text{Ra} - ^{222}\text{Ra}$  (plyn do atmosféry, 3 dny) –  $^{210}\text{Pb}$ , které je deponováno do jezer. sedimentů (váže se na jemné partikule). Zde se rozkládá přes nestabilní  $^{210}\text{Bi} - ^{210}\text{Po}$  na stabilní  $^{206}\text{Pb}$ .

Olovo 210 se měří pomocí počítání alfa částic v rozpadu  $^{210}\text{Po} - ^{206}\text{Pb}$  (méně vzorku, ale zničí se celý) nebo gama částic v  $^{210}\text{Bi} - ^{210}\text{Po}$  (více vzorku, zůstane zachován).

# Umělé radioizotopy

Testování nukleárních zbraní – radioaktivní spad různých umělých izotopů.

Pík spadu nukleotidů z testování zbraní – r. 1963. Po ukončení testování depozice prudce klesla, další pík v r. 1986 byl způsoben havárií Černobylu. Jde především o  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{239}\text{Pu}$  a  $^{240}\text{Pu}$ .

**$^{40}\text{K}/^{40}\text{Ar}$  – limit 100 ka – 30 Ma**

Radiometrická metoda vhodná na **datování velmi starých sedimentů** (i pre-Pleistoceních). Nutná přítomnost K-minerálů.

Rozklad:  $^{40}\text{K}$  s velmi dl pol rozpadu ( $1,31 \times 10^9$  let) –  $^{40}\text{Ar}$  (vzácný plyn).

Vulkanické horniny. Po ztuhnutí lávy je každý  $^{40}\text{Ar}$  uvězněn v krystalické mřížce křemičitého minerálu, z něhož pochází. Přímá kvantifikace obou izotopů ve vzorku.

V jezerních sedimentech jen v tefrách – vrstvy sopečného popela. Ty obsahují K-minerály (křem. živce, biotit...).

# Luminiscenční datovací metody

Využívají nahromadění uložených el.nábojů v zrnkách sedimentů z působení ionizačního záření z přírodních nukleárních rozkladů a z kosmického záření. Některé sed. partikule mohou část této energie uchovávat po značnou dobu (více než  $10^6$ let). Počátek ukládání energie = poslední expozice slunečního záření či výrazného zahřátí sedimentu.

Stanovení stáří pak spočívá v umělém vyprázdnění el pastí buď zahřátím (termoluminiscence TL) nebo použitím silného zdroje světla (opticky stimulovaná lumminiscence OSL) – fotony jsou emitovány ze vzorku a měřeny citlivými detektory.

Hl. na eolické sedimenty, lze použít i na kvartérní sedimenty kde je **organicky chudý sediment** (vysokohorská jezera, arktická jezera, Pleistocenní části sedimentů).

# 1. Výběr lokality

Vychází z řešeného problému – site-specific studie vs. obecnější otázka. Nutnost znát limnologii lokality – procesy kt. Mohou vnést chybu.

# 2. Výběr odběrového místa

Obvykle jen 1 nebo jen několik málo kórů – měli by reprezentovat limnologické a environmentální podmínky lokality. Z místa, kde je integrován nejreprezentativnější materiál pro řešenou otázku. Obvykle nejhlubší místo jezer.

# 3. Odběr sedimentu

Výběr odběrového zařízení dle dostupnosti odběrového místa, charakteru sedimentu, délky požadovaného kóru a požadovaného časového rozpětí.

# 4. Rozdělení kóru

Rozdělení kóru na vrstvy pokrývající požadovaný časový úsek

# 5. Datování sedimentu

Kritický moment!! Bez spolehlivého depth-age modelu nelze pracovat. Celá řada metod, nejčastěji však  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  a  $^{14}\text{C}$

# 6. Shromáždění proxy dat

Největší krok! Fyzikální, chemické a biologické informace

# 7. Interpretace proxy dat pro environmentální hodnocení

Za posl. 25 let obrovský progres. Transfer functions – kvantitativní rekonstrukce!

# GEOCHEMICKÁ DATA

Geochemie jezerních sedimentů je výsledkem interakcí mezi externími vstupy z povodí, podzemní vody, vegetace, ovzduší a interními procesy v jezerech.

Data se vztahují na suchou hmotnost – eliminuje se různý obsah vody v profilu sedimentu. Vyjadřují se v hmotnostních zlomcích celk. materiálu (hm.%, ppm). Když je známa sed. rychlost je možné také vypočítat flux rate ( $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{yr}^{-1}$ ).

## Si, Al

za běžných pH a T podmíněk téměř nerozpustné a málo reaktivní prvky. Zvýšené množství Si a Al v sedimentech – větší aktivita zvětrávání – **indikuje teplejší a vlhčí klima.**

Vyšší rozpustnost Al za kyselých podmíněk – **odhad historie pH** (separačními metodami lze rozlišit Al vzniklý v jezeře od Al z erodovaných půd).

## Na, K

Sedimentační profil Na a K odráží mineralogické vedl. produkty půdního zvětrávání. Vztah mezi intenzitou **zvětrávání a erozí** způsobenou klimatickými podmínkami a akumulací těchto prvků. Silné eroze – více K, Na – po odlednění, po odlesnění.

## Ca, Mg, Sr

Hlavní složka většiny podloží. Jejich vyšší poměr rovněž indikuje zvýšenou erozi a nízkou stabilitu půd v povodí. Zvýšená salinita zp. vyšší poměr  $Mg/Ca_{\text{water}}$  – info o evaporaci.

Významné je využití v uhličitanových minerálech z vodních bezobratlých (Ostracoda) Stanovení Sr/Ca ve schránkách indikuje tento poměr ve vodě, kde je kontrolován salinitou. Poměr Mg/Ca je pak dán tímto poměrem ve vodě, kde je ovlivněn teplotou.

= odhad paleoteploty a paleosalinity.

## Fe, Mn

Do jezer se dostávají ve formě minerálů, oxidů, koloidních částic či v org. komplexech. **Kyselá nebo redukční podmínky** zvyšují mobilitu prvků (předpokládá se zvýšený přísun během period okyselení půdy v povodí – např. když dominují jehličnany).

Mobilita Fe i Mn velmi roste na redox rozhraní – snaha o interpretaci redox historie jezera – za anaerobních podmínek je rozp Mn o něco větší než Fe =>

na začátku redukčních podmínek rostoucí Fe/Mn pak **pokles**  $Fe/Mn_{\text{sed}}$  když anoxie přetrvávala.



# Fosfor

Velký zájem o pochopení [historie fosforu a eutrofizace](#), bohužel mobilita a biologická reaktivita P na rozhraní voda-sediment je proti takové interpretaci, dlouhodobá akumulace P jen málokdy odráží P loading.

Diatomy – paleoinfo o mn P v epilimniu – chybí korelace mezi P ve vodním sloupci a záznamy sedimentovaného P.

## S

Do jezera z atmosféry, přítoků, spodní vody, převážně ve formě anorganických síranů a S-nesoucích organických látek.

Ve velmi starých sedimentech – lze dle konc. S [rozlišit sedimenty mořského a lakustriního původu](#).

Hlavní zdroj S v sedimentech pochází z usazování organické hmoty (sestonu) – C/S. V oceánech je celková konc S a síranů mnohem větší, a poměr C/S je v mořských oceánech kolem 0.5-5, zatímco v jezerních sedimentech 40-120.

$\text{FeS}_2$  – za anoxie nerozpustný, může se akumulovat v sed – možnost použití jako paleoredox indikátor.

V nejmladších sedimentech – S v kyselých srážkách – [potenciál pro dokumentaci antropogenního vlivu](#).

# Organická hmota

Může pocházet z různých terestrických i jezerních zdrojů – potenciál!

## TOC

Nejčastější geochem. stanovení. Ztráta žíháním (LOI) – mohou být problémy v sedimentech chudých na OM.

Často je brán jako **indikátor produktivity**. Předpokladem je, že původní produktivita je kvantitativně odražena v množství biomasy, kt. padá na dno jezera a je poté úměrně degradována.

Kvalitativně lze TOC vztáhnout např. k růstu ledovců (pokles konc) nebo deglaciaci (růst konc)

TOC profil – užitečné pro dokumentaci dlouhodobých klimatických oscilací.

## C/N

OM z fytoplanktonu je bohatší na N a má nižší C/N poměr než terestrická OM – nástroj pro rozlišení dlouhodobých přechodů mezi terestrickým a jezerním zdrojem OM, kt mohou být výsledkem **fluktuace jezerní hladiny** či **migrace velkých říčních delt**.

Problematika časně diagenetické ztráty N, což vede ke zvýšení C/N poměru (diageneze:procesy probíhající po uložení sedimentu)

# BIOLOGICKÉ DOKLADY ZMĚN

## Zpracování fosilních dat

1. Popis dat – co se nachází v té které vrstvě a za jakých podmínek

- **přítomnost/ nepřítomnost** – pokud z nějakého důvodu nelze org počítat
- **% data** – nemusí rozlišit mezi vlivem dominantních org a aktuálními změnami abundance v čase = vztáhnout data na jednotku sedimentu (g suché váhy).

!! abundance na jednotku sedimentu se může měnit v důsl. změn sed rychlosti !!  
= je-li možné dobře odhadnout sed. rychlost lze data vyjádřit jako

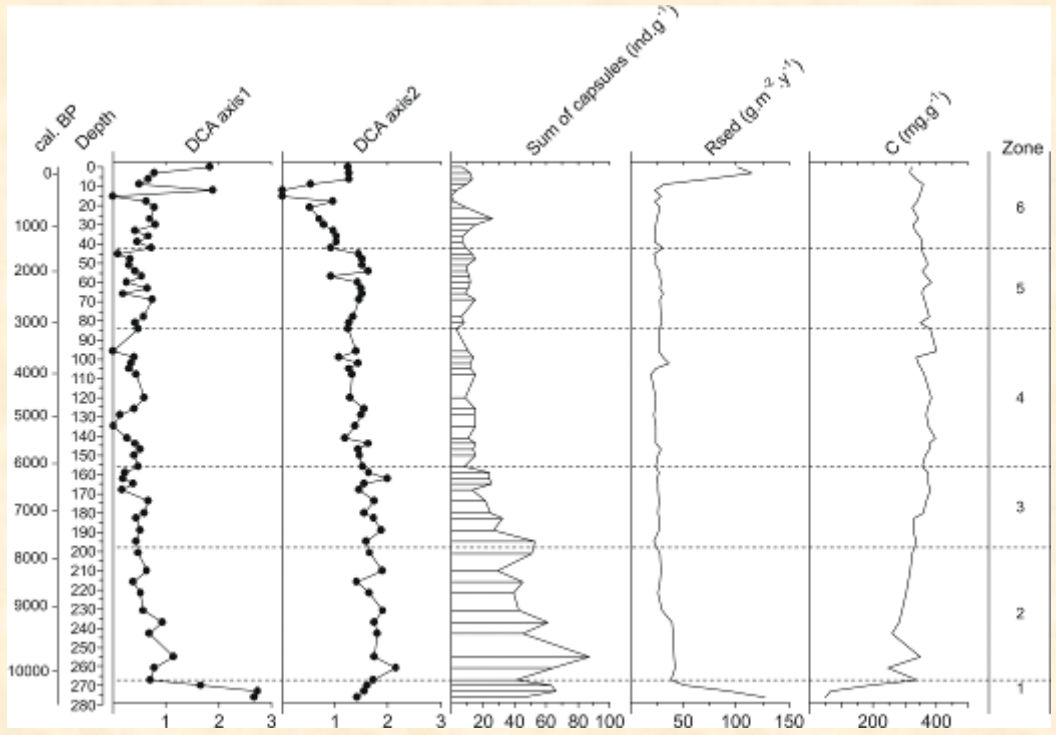
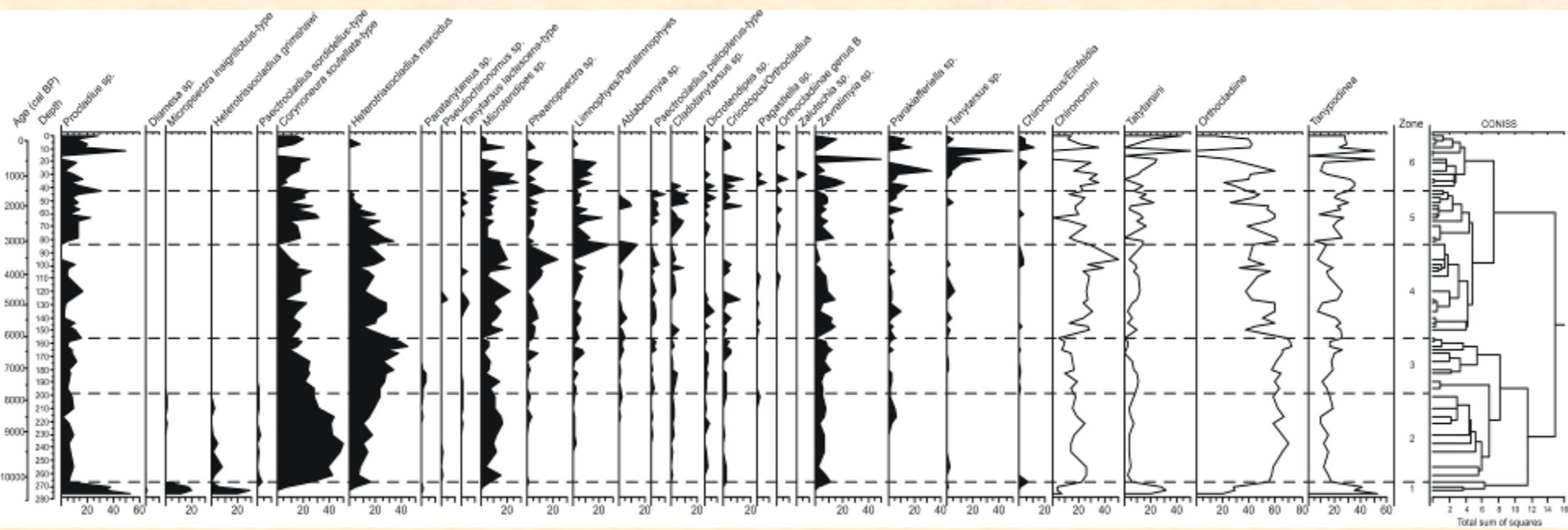
**flux rate (ind.cm<sup>-2</sup>.rok<sup>-1</sup>)**

- **druhov<sup>á</sup> bohatost a druhová diverzita**

- **srovnání podobnosti mezi vrstvami** – lokalizace míst prudkých změn

a) Klastrová analýza – spojí vzorky do homogeních skupin – zonace

b) Multivariační analýzy – zobrazení hodnot první osy (v jednotkách sm.odch.)



# BIOLOGICKÁ DATA - Interpretace

Princip : distribuce abundance organismů je kontrolována fyz., chem a biol. faktory danými prostředím

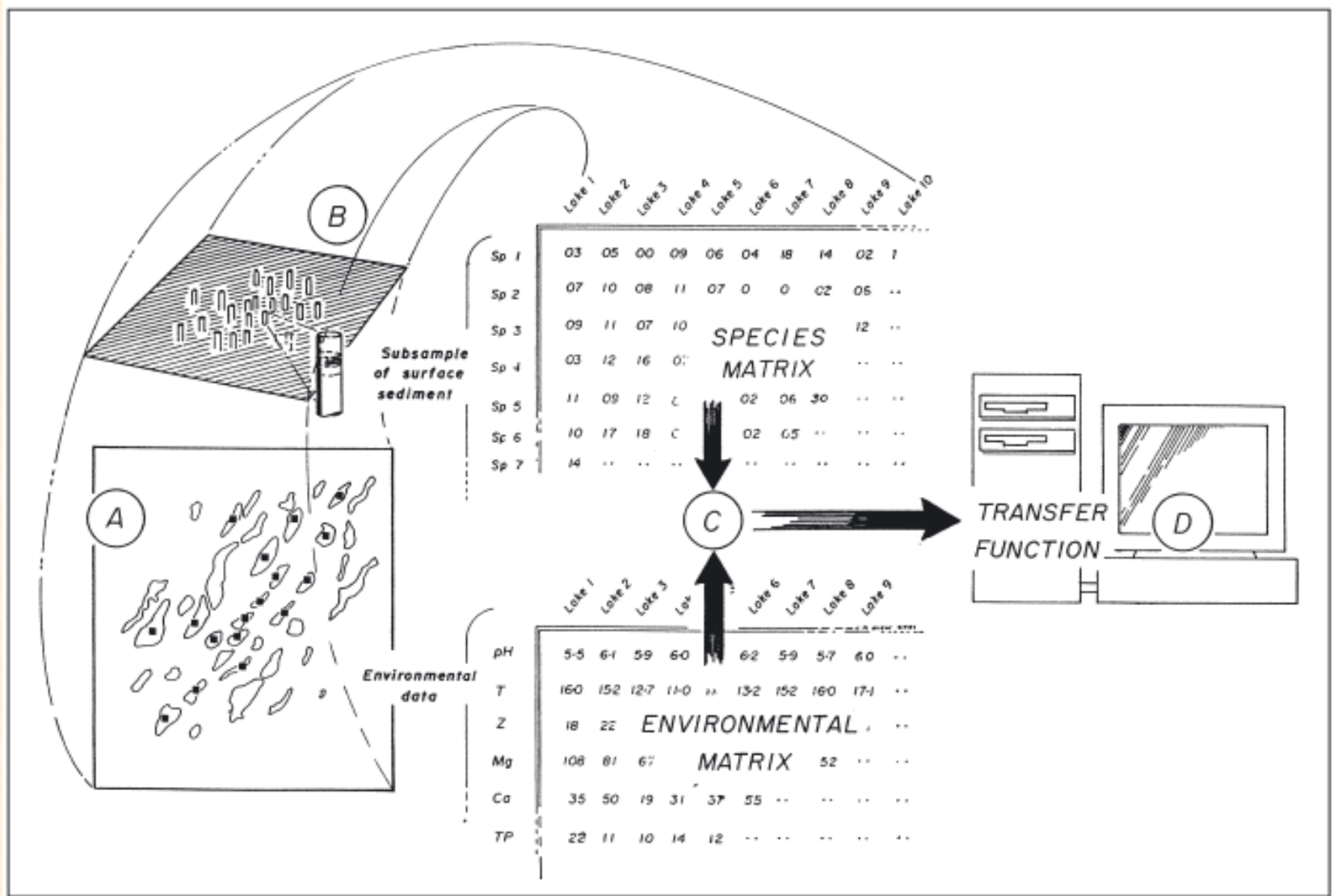
PROTO současná distribuce a abundance org může souviset s parametry prostředí , tj. fosilní společenstva mohou sloužit k odvození environmentálních podmínek v minulosti.

CÍL: vytvořit určitý model odhadu podmínek v době deposice fosilie

KALIBRAČNÍ SOUBORY DAT (calibrataion data sets/ training sets)

slouží ke definování ekologického optima a tolerance organismů k danému parametru (T, pH...)

- Výběr souboru jezer, tak, aby byl reprezentován co možná největší gradient parametru prostředí, který nás zajímá
- Dostupná limnologická a environmentální data, nejlépe několikaletá řada
- Povrchové vzorky sedimentu (1 cm = 2/3 roky) – představují současné druhové zastoupení v jezeře (celoroční přísun organismů)
- regrese a korelace druhového složení a požadovaného parametru – model pro kvantitativní rekonstrukci určitého parametru prostředí
- stanovení vzájemného vztahu – základ modelu - [transfer function](#).



C – zjistí, která proměnná prostředí ovlivňuje druhové složení a jak dobře může být tato proměnná zpětně rekonstruována. Optima pro jednotlivé taxony – Gaussova křivka rozdělení

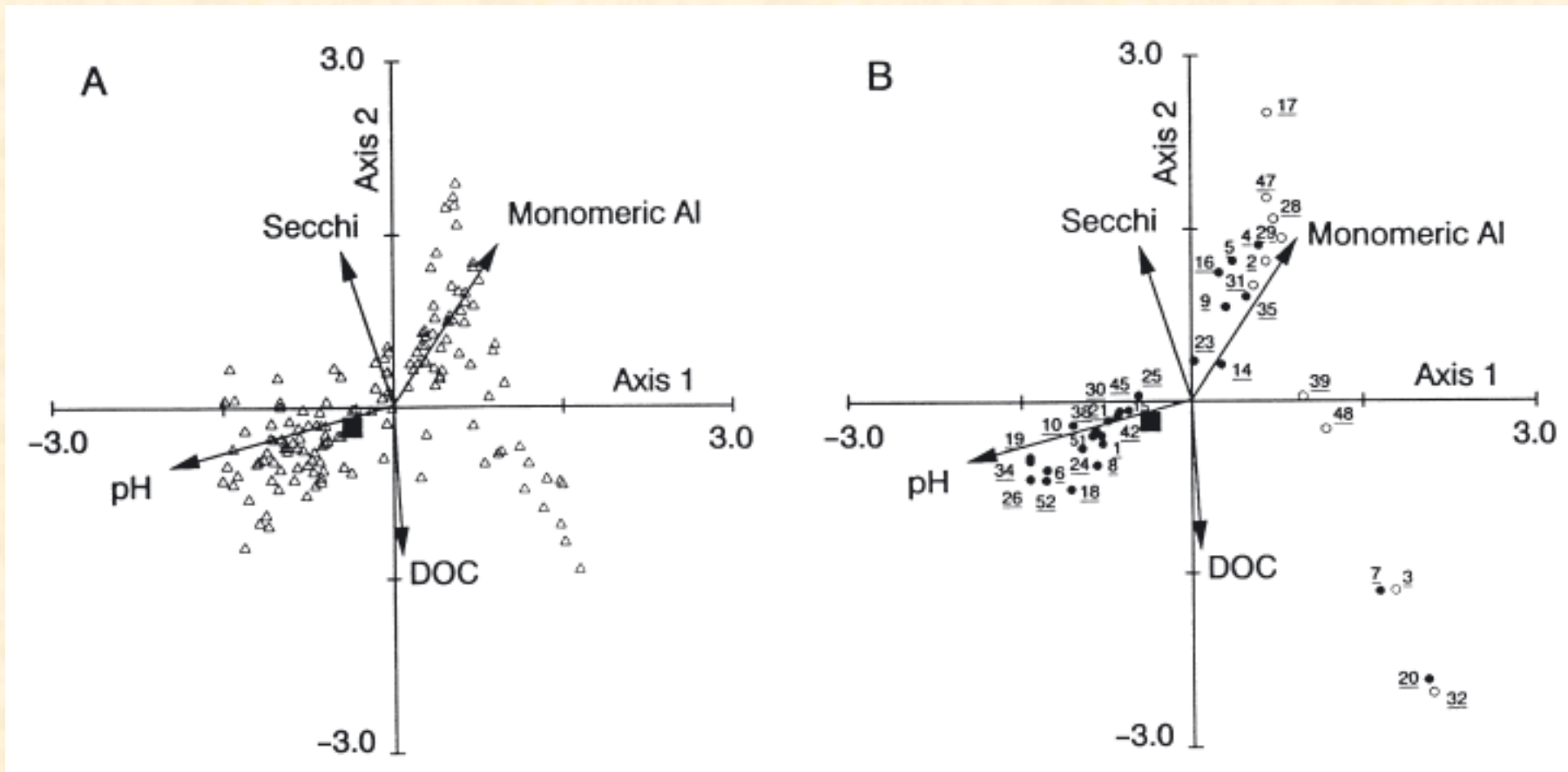


Figure 6.4. Canonical correspondence analysis (CCA) ordination plots of (A) 149 diatom taxa identified from the surface sediments of 37 Adirondack Park calibration lakes. Individual diatom taxa are shown as triangles. The four significant environmental variables are shown as arrows. B) Same CCA biplot, but this time showing the position of the 37 calibration lakes (marked by numbers) as they plot on the ordination. Modified from Kingston *et al.* (1992).

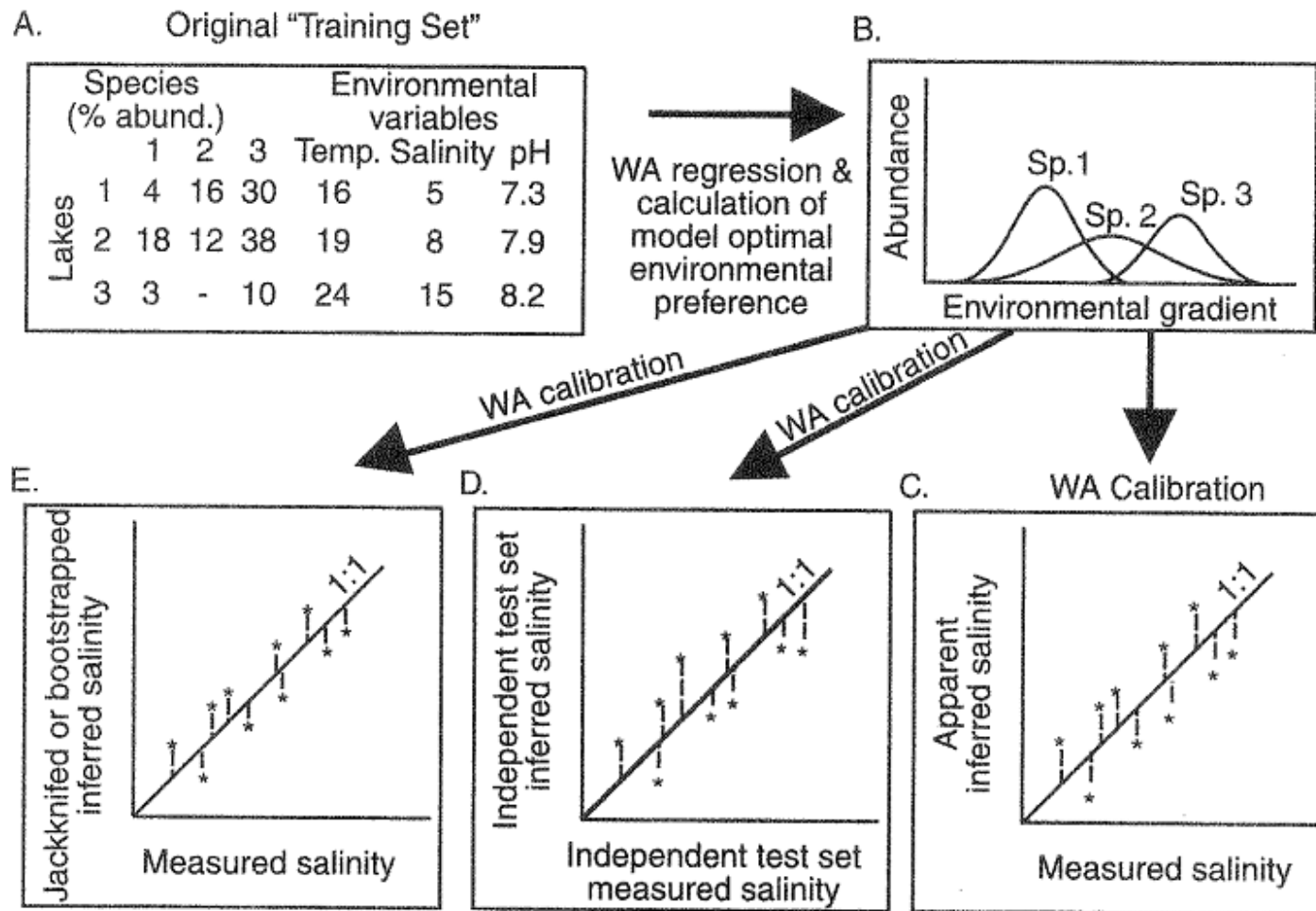
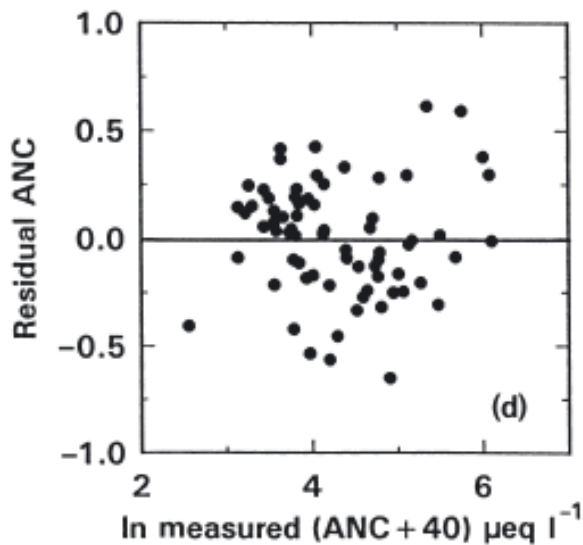
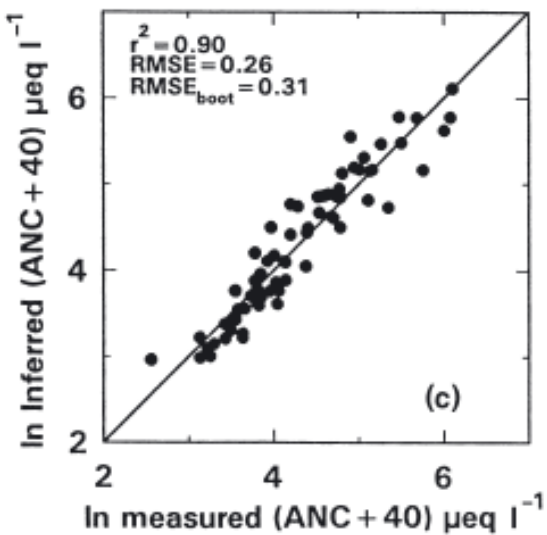
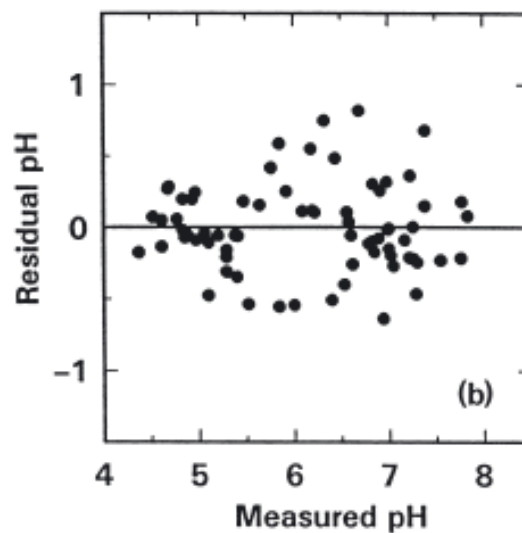
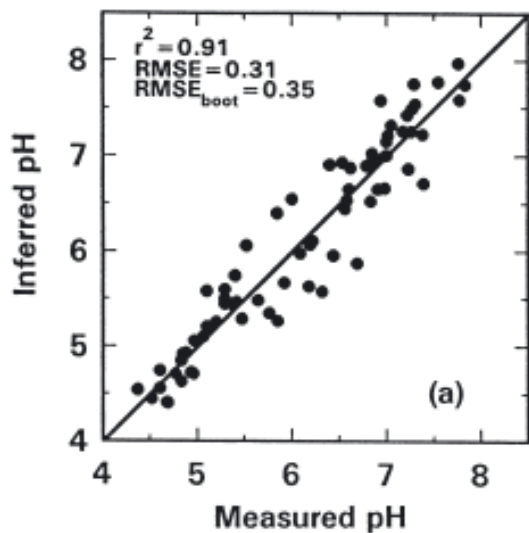


Figure 10.5. Steps in developing a quantitative paleoecological inference model. Modified from Fritz et al. (1999).

The typical steps used in developing and assessing the predictive ability of an inference model. A) Selection of a modern set of lakes that span the limnological gradient of interest from which both environmental variables and species assemblages (often from the surface sediments) are collected. B) The regression step, where species response curves are estimated based on their distributions in the calibration set of lakes. The calibration steps: C) where the same set of lakes from which the species responses were estimated is also used to generate the inference model (thus producing an overly optimistic  $r^2_{\text{apparent}}$ ); D) where an independent test set of lakes is used to generate the inference model; or E) where computer re-sampling techniques, such as bootstrapping or jackknifing, are used to assess the inference model. Modified from Fritz *et al.* (1999).





Význam TF spočívá ve schopnosti přesně odrážet parametry prostředí v druhovém složení společenstva.

Ke zhodnocení této schopnosti je nutné kalibrovat vztahy odvozené z training setu (kde parametr prostředí můžeme měřit) s odhadnutými (modelem odvozenými) hodnotami.

V regresní analýze je pak kvalita vztahu odvozených vs měřených hodnot vyjádřena jako shoda regrese, k. je popsána koef. determinance  $r^2$  a regresním 95% konfidenčním intervalem. V dobré TF je rozptyl dat (residualy) malý a vztah mezi druh. slož. a parametrem prostředí je silný.

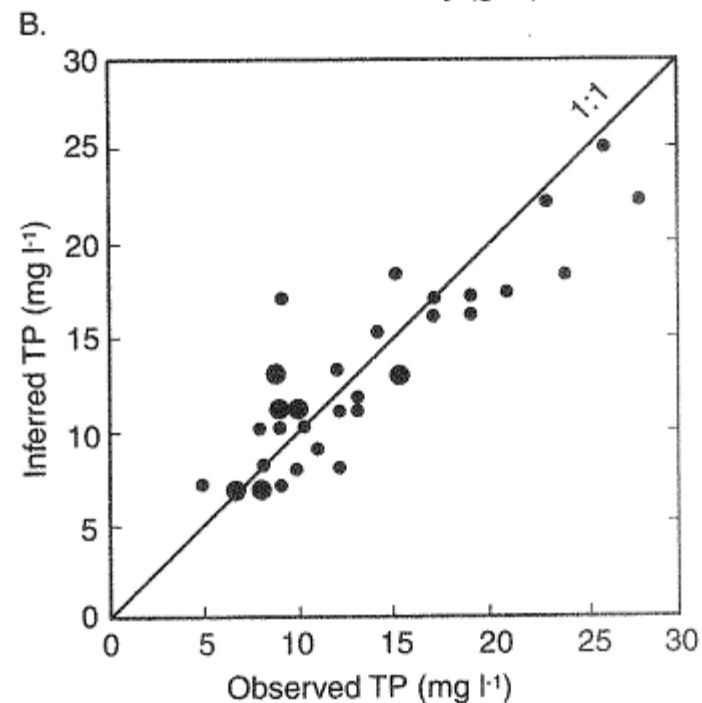
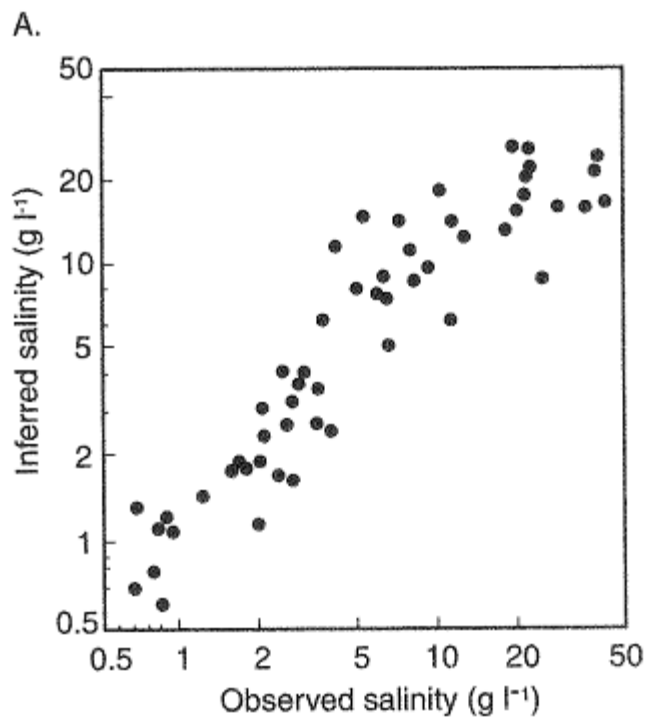


Figure 10.6. Weighted averaging-inferred lake water chemistry using diatom surface sediment training sets, showing the relationship between inferred values and observed data (analytical measurement). (A) Lake salinity ( $\text{g l}^{-1}$ ) from the North American Great Plains (after Fritz et al., 1991). (B) Total phosphorus ( $\mu\text{g TP l}^{-1}$ ) from British Columbian lakes (after Hall and Smol, 1992). These plots clearly illustrate the ability of simple weighted-averaging models to reconstruct water chemistry. From N.J. Anderson (1995b).



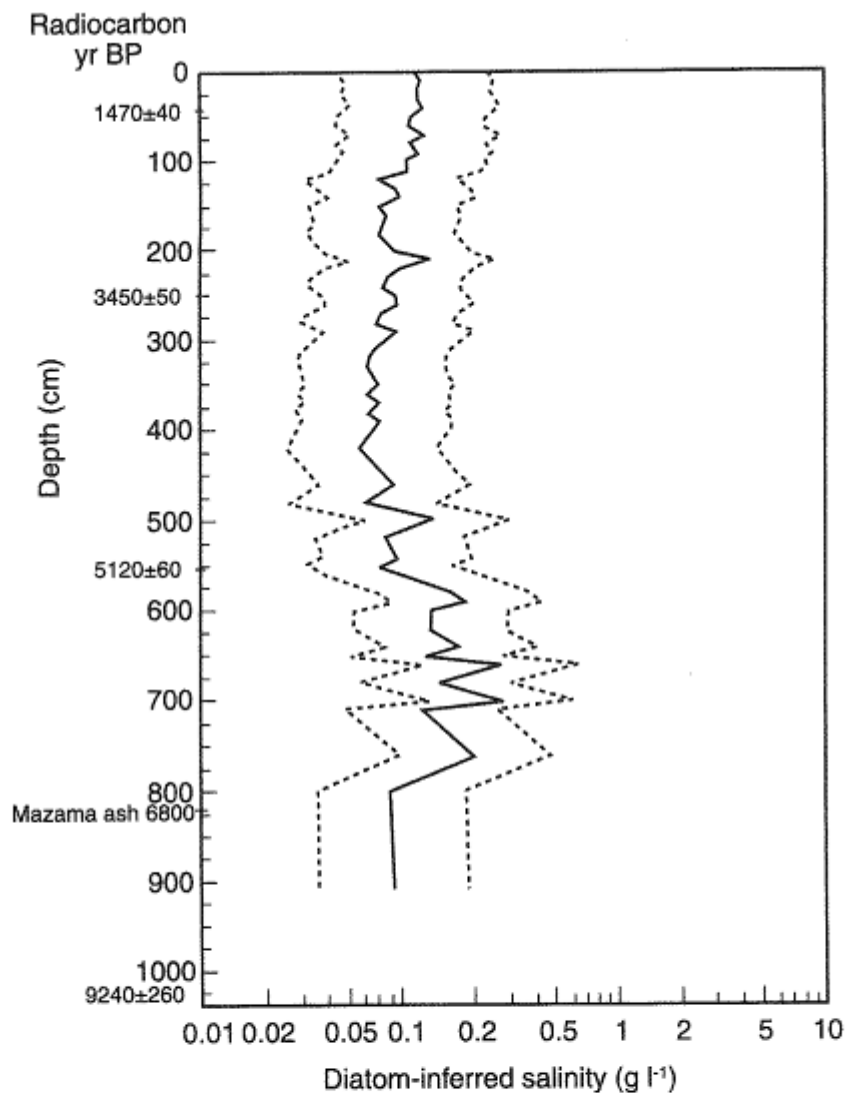
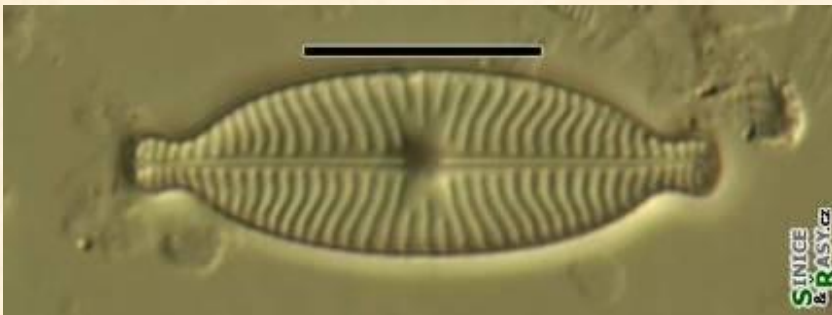
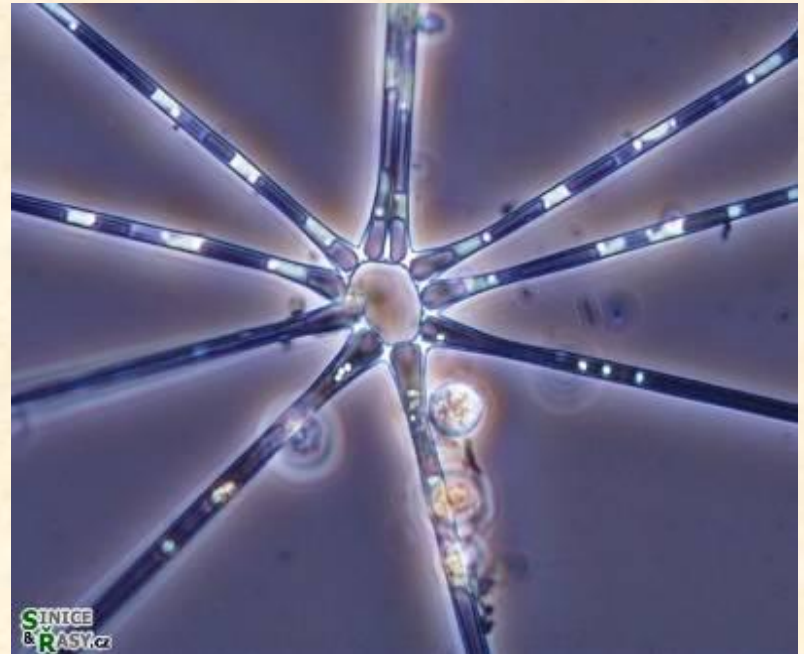
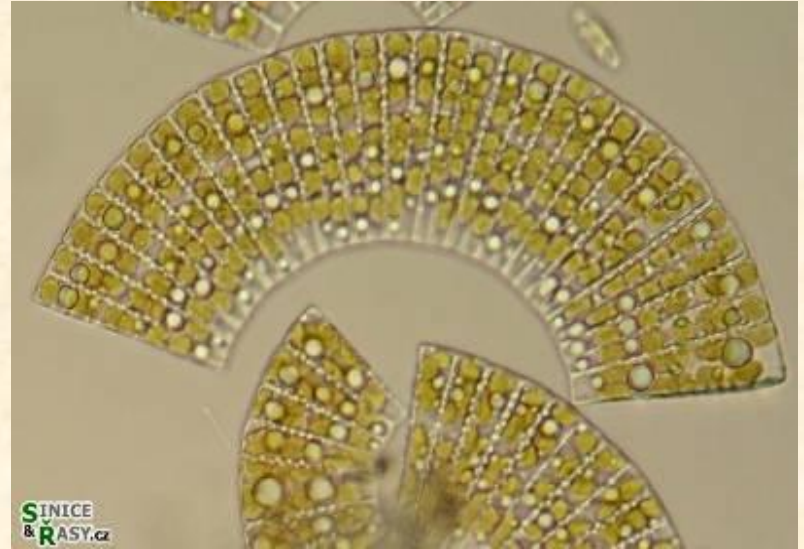
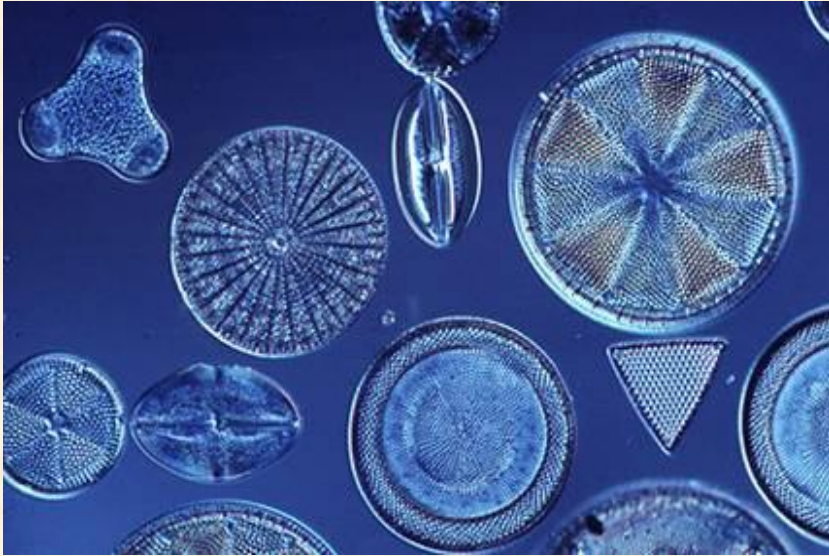


Figure 10.7. A plot of Holocene history of diatom-inferred salinity for Harris Lake, Saskatchewan. The salinity inferences were derived from a salinity transfer function developed from lakes in southern British Columbia and using the computer program WACALIB version 3.3 (Line et al., 1994). The major taxa encountered in the Harris Lake core were sufficiently represented in the surface sediment calibration data set, so modern analogs were not a problem. The inferred salinity values are mean bootstrap estimates and the errors (dotted lines) are estimated standard errors of prediction provided in the WACALIB output. From Wilson et al. (1997).

# Diatomae

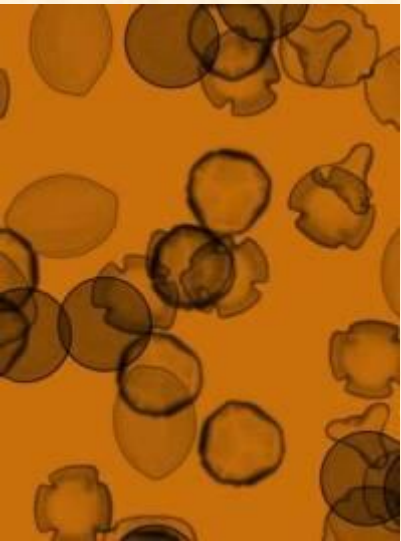
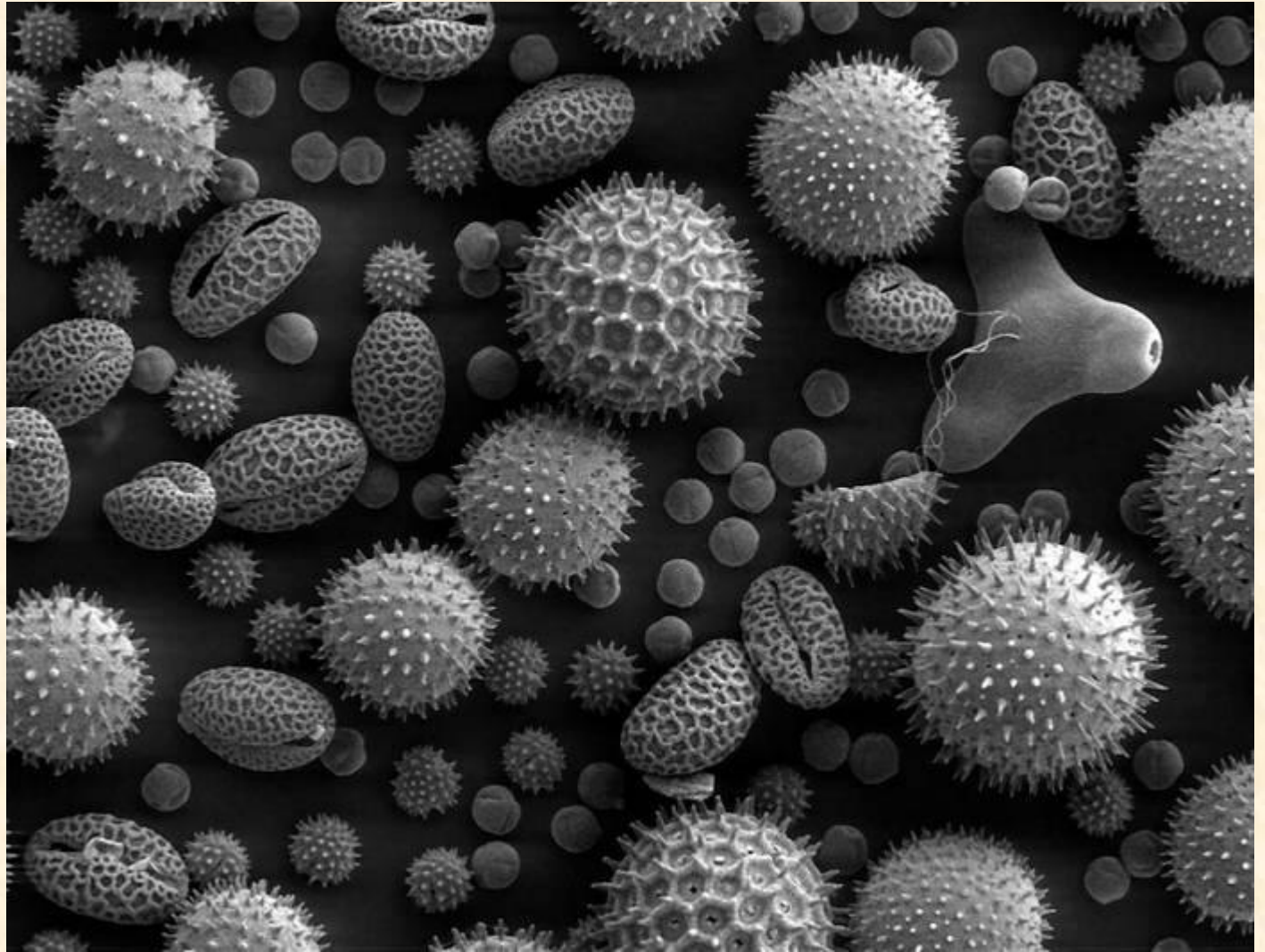
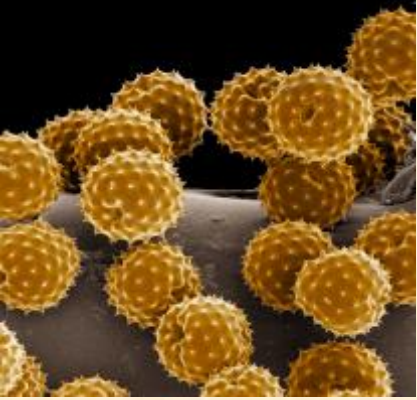


## Jedna z nejvíce ceněných skupin v paleolimnologii

Dobře se uchovávají + široké spektrum habitatů = velmi běžné v jezerních systémech, přesto jsou citlivé na různé faktory prostředí:

- ❑ **změny pH, salinity** – rozsivky jsou velmi citlivé ke změnám pH – za kyselých podmínek dominují bentické acidotolerantní D - **kvantitativní rekonstrukce pH**  
– změny salinity souvisí s aridními podmínkami, zvláště stane-li se jezero hydrolog. uzavřené = **nepřímé odvození P/E a regional. klimatu.**
- ❑ **změny produktivity** – dostupnost živin ovlivňuje dr. složení fytoplanktonu = různé diatomy mají různé optimální konc pro různé živiny. Měření změn fosforu v sedimentu je problematické – záznam fosfor-senzitivních diatom je alternativa jak to zjistit – **TF na celkový FOSFOR**
- ❑ **změny teploty** – vztah D a T není tak dobře probádán, důkazy o přímé vlivu T na D jsou omezené = dobrá je korelace T a D v chladných oblastech . Dokladem změn T je ↑ produktivita doprovázející odlednění – prudký ↑ diatom v sedimentech.

# Pyly

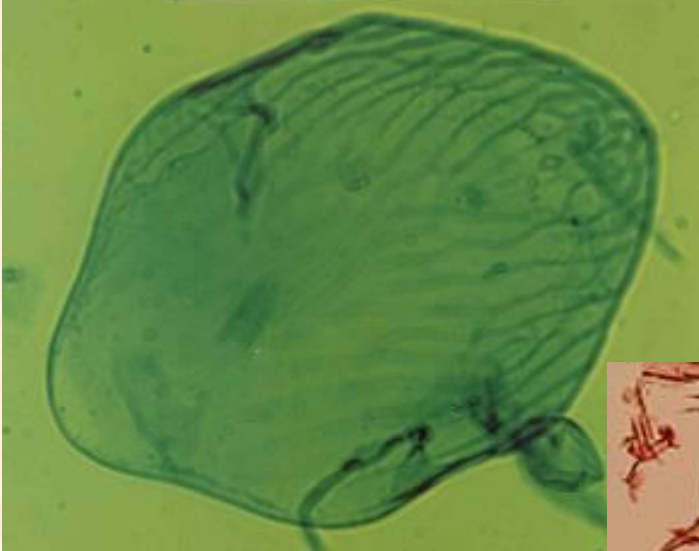
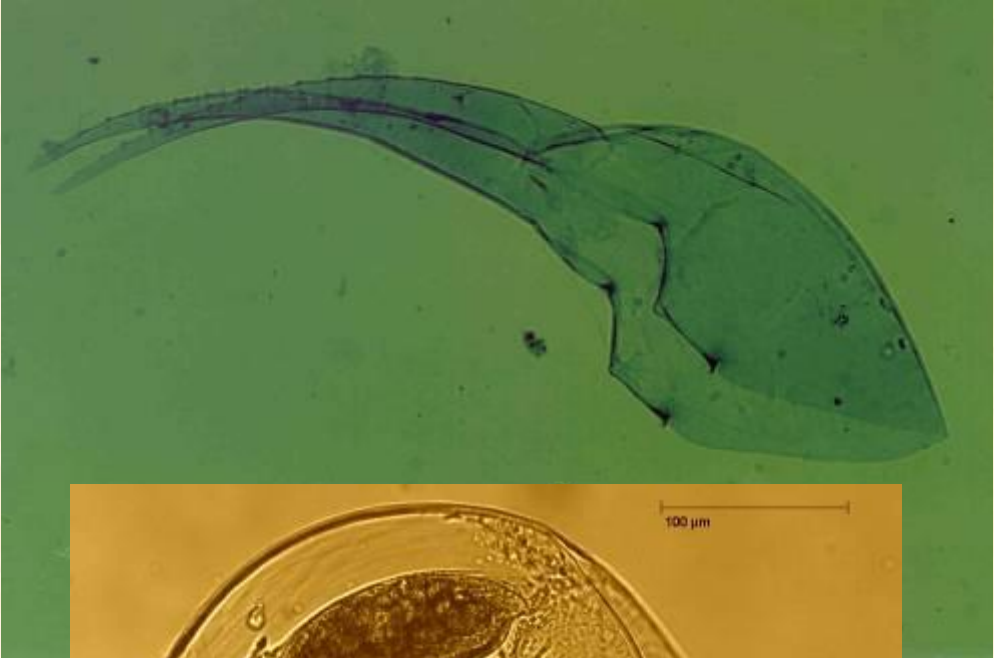
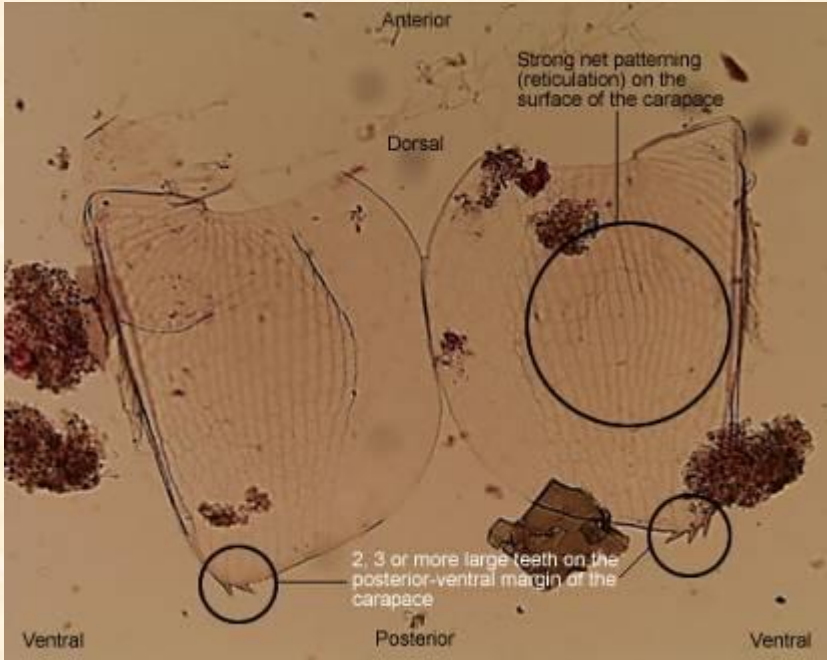


## Pochází z různých zdrojů – z vodních rostlin, přibřežních makrofyt, terestrických rostlin v povodí i mimo povodí.

Výskyt pylu v sedimentech je ovlivněn

- **produkcí**, kt závisí na zp opylení – např borovice produkuje obrovské mn pylu
- **velikostí a tvarem pylového zrna** – úspěšnost transportu (malá zrna dál, zrna s křidélky se déle udrží ve vzduchu a transportují se dál)
- **typem povodí a lokálním klimatem** – v suchých ob.l je hlavní transportní mechanismus vítr (a sním se nese i hodně půdních částic), zatímco ve humidních obl je nutné počítat také transport fluvialní. Rozdíly jsou rovněž ve bezlesém a lesnatém povodí, což ovlivňuje proudění vzduchu.
- ❑ **změny hladiny vody** – společenstvo vodních rostlin emerzních (Phragmites, Typha, Equisetum), submerzních a plovoucích (Potamogeton, Nymphaea) a sublitorálních (Chara, Nitella)
- ❑ **salinita** – různá tolerance makrofyt k salinitě (halofytní Ruppia a ZanicHELLIA) – indikují posun k suššímu klimatu
- ❑ **pH** – rozšíření mechů je dobře korelováno se změnami pH, zejména v kyselém a neutrálním rozmezí - **TF** v S. Americe
- ❑ **živiny** – makrofyta citlivá na dostupnost živin zejména ve vysokých nad. výškách a zem. šířkách - prudký nárůst makrofyt po odlednění

# Cladocera





V sedimentech ve velkých počtech, zachovávají se různé části těla (hlavový štít, postabdomen, karapax, ehipia) → dobrá determinace.

Rozšířené v planktonu (Bosminidae, Daphniidae), epibentosu i litorálu (Chydoridae) → užiteční v mnoha kontextech.

## □ plantkonní/litorální dr. – fluktuace hladiny

P/L silně koreluje s relativní plochou litorální zóny jezera. Litorální taxony mnohem víc ovlivněny fluktuací hladiny než pelagiální → lépe se hodí kóry z litorálu.

ALE:

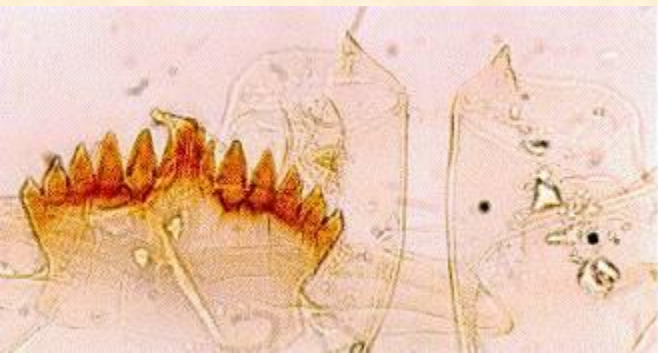
- *topografie litorálu* = jezera v rovinaté krajině - ↑ litorální plocha – způsobí, že P/L ↓ jak ↑ hladina
- *top-down efekt predátorů* = selektivní tlak na planktonní cladocera - ↓ P/L aniž by došlo ke změně hladiny
- *živiny* = ↑ živin – ↑ fytoplanktonu - ↑ planktoních cladocer + ↓ průhlednost povede k ↓ makrofytních a litorálních cladocer aniž by došlo ke změně hladiny
- *hlubokovodní mechy* = adaptované na ↓ světla – poskytují habitat pro litorální druhy v mnohem větších hloubkách než jakou obvykle osidlují makrofyta

## □ salinita a pH

Dobrý vztah mezi změnami dr složení a salinitou – **TF**. Např s ↑ salinitou ↓ Chydoridae a ↑ *Moina micrura*

Chydoridae – indikátor současné acidifikace. Mohou být ovšem ovlivněni průvodními jevy acidifikace (toxicita Al, vymizení ryb tj. ↓ predačního tlaku), nicméně některé druhy byly potvrzeny jako citlivé na změny pH – umožnilo **kvantitativní odhad pH**.

# Chironomidae



## Hmyz – výjimečná diverzita, široké spektrum habitatů a potravních specializací Pakomáři – nejpočetnější a dr. nejbohatší skupina mezi bentosem 😊

V sedimentech se uchovávají chitinizované hlavové kapsuly. Ty mohou být z oblastí litorálu transportovány hlouběji – ve vzorku sedimentu pak nacházíme jak prof tak lit druhy.

### ***Kontroverze v chironomidolandu***

- *rozsah T*, za jakých se formují společenstva Ch. Je dost velký, aby se zněj dalo něco odvodit?

- **kritický přechod Pleistocen/Holocen** – ekology vysledovaná vazba mezi spol Ch a trofií jezer – snaha rozšířit i do minulosti. Profundální druhy jako *Heterotrissocladius* (vyžaduje  $\uparrow O_2$  a  $\downarrow T$ ) byly zamýšleny k charakterizaci Pozdního Glaciálu, kdy byla jezera jednoznačně oligotrofní. Naopak, druhy tolerantní k  $\downarrow O_2$  v profundálu zobrazovaly více eutrofní Holocenní jezera.

### **ALE!**

1. Přechod posledního G/I neprobíhal postupným oteplováním, ale spíše oscilacemi několika chladných a teplejších period. CH na ně reagovali rychle, otázka co tyto změny skutečně řídilo (T, živiny, kyslík?) zůstává kontroverzní.

2. To co se dřív pokládalo za odezvu CH na  $O_2$  stres může být ve skutečnosti kombinovaná rce na kyslík, T a další faktory – na kyslík náročné druhy bývají výhradně oligostenotermní. V interpretaci fosilních Ch byly vlivy těchto 2 parametrů matoucí.

### 3. Oteplení na poč H – mnoho vlivů na jezera mírného pasu:

změny v přísunu sedimentu, uvolnění živin ze zarostlého povodí, ↑ produkce ve vrchních vrstvách vod sloupce, rozšíření příležitostí pro teplomilné litorální dr, redukce či eliminace hlubokých prokysličených habitatů, redukce rozsahu chladných habitatů.

Téměř současný posun v druhovém složení CH na hranci P/H v jezerech s velmi rozdílným typem povodí, půdou, vegetačním krytem i podložím je důvod, proč lze brát **TEPLOTU** jako klíčový faktor způsobující tyto změny v dr zastoupení

#### ☐ **teplota**

- určuje schopnost larev dokončit životní cyklus (ať chladno – či teplomilných druhů)
- přímo působí na životní historii Ch. – čas tvorby kukly, čas výletů, růstová rychlost, rychlost příjmu potravy, líhnutí..
- s T souvisí změny druhové diverzity a změny společenstev: příliš chladné i teplé klima zp. ↓ diverzity

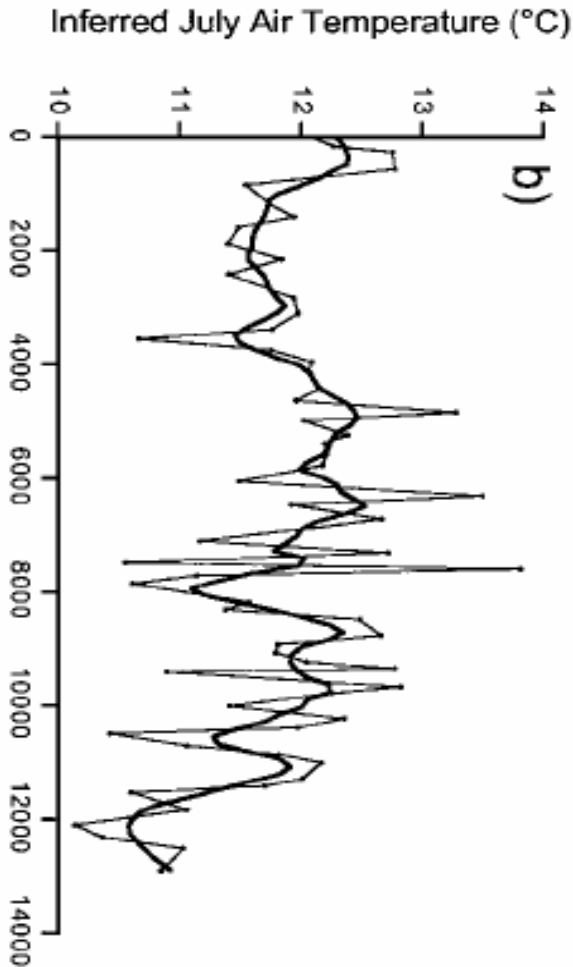


### **NEJLEPŠÍ PALEOINDIKÁTOR TEPLoty**

Training sety a kalibrační modely vyvinuty pro celou řasu regionů S. Ameriky a Evropy. Malé statistické chyby těchto modelů = CH nejlepší kvantitativní idikátor T v současnosti dostupný pro paleolimnology.

## Je zajímavé, že často je tento vztah silnější s $T_{\text{vzduchu}}$ než $T_{\text{vody}}$

Důvodem může být fakt, že larvy dlouho žijící ve vodě musí být schopny zvládat široké spektrum  $T$ , kdežto imága, která žijí jen krátce, jsou limitována  $T_{\text{vzd}}$  (úspěšná kolonizace jezera).



Holocene chironomid inferred July air temperatures for Hinterburgsee, Bernese Alps, Switzerland. Heiri et al., 2003.

## □ kyslík, produktivita, makrofyta, sedimenty

Změny v množství dostupných živin nepochybně působí na strukturu spol Ch.

Tento vliv je zprostředkován přes vztah produktivity a saturace  $O_2$  v hypolimniu, vývoj makrofyty a akumulaci OM (zdroj potravy) - nejsou to však nezávislé proměnné a je těžké jejich vliv na Ch oddělit .

Nejvíce přímý vztah živiny vs Ch je v profundální fauně, v litorálu je silný vliv makrofyty.

Různé dr Ch se liší schopností snášet  $\downarrow O_2$  = potenciál pro rekonstrukce oxygenace hypolimnia a sekundárně **rekonstrukci trofických podmínek**.

Rozdíly mezi současnými Ch z oligotrofních a eutrofních jezer aplikovány v **interpretaci kulturní eutrofizace**. Tyto rozdíly zdá se více souvisí se změnami saturace kyslíkem než živinami samými = pokusy o kvantitativní model odhadu anoxie.

Existuje vazba mezi Ch a kvalitou sedimentu – TOC, textura – ovlivňuje potravní strategii larev.

## □ salinita, fluktuace hladiny aj.

V aridních oblastech je vývoj Dipter obecně kontrolován jinými faktory než T. →

Druhy odolné k salinitě + korelace s makrofyty, které ↓ při ↑ salinitě = rekonstrukce fluktuace hladiny (makrofyta a s ní asociovaní Ch.) a salinity.

Acidifikace způsobuje ↓ diverzity. Není jasné zda jde o přímý vliv, či nepřímý, zprostředkovaný změnami v produktivitě jezer (acidifikací indukovaná eutrofizace při silné acidifikace a oligotrofizace při pH mezi 5-6) a v predáčním tlaku (↓ pH = ↓ ryb).



# LOKÁLNÍ AŽ REGIONÁLNÍ MĚŘÍTKO

## ZÁZNAMY ZMĚNY POVODÍ A INDUSTRIALIZACE

### □ land-use

Změny v rychlosti akumulace sedimentu – jasný signál narušení povodí (těžba rašeliny, odlesnění, pastva. Odlesnění - ↓ i ↑ živin v jezeře, závisí na složení půd v povodí.

Po větší část historie lidský vliv na půdní erozi nulový – důležité vědět, zda na místě bylo osídlení a od kdy - srovnání s archeolog. nálezy = odlišit vliv klimatu a lid. činnosti na povodí.

### □ živiny a eutrofizace

Zemědělství – hnojení (neřízený experiment 😊) – různý typ povodí reaguje různě, jak jezera? Otázka pro paleolimnology – rozsivky, pakomáři, ↓ C:N, ↑ N:P.

### □ těžké kovy

Fosilní paliva, produkty průmyslu. Nutné znát mechanismy transportu a sedimentace TK

Hg – transpor na velké vzdálenosti, pík v pol. 19 st. (průmyslová revoluce)

Pb – rád nahrazuje Ca v biochem cyklech. Pík v době říše Římské (objevení a tavení stříbra) a středověku (skončil ↓ populace po moru ve 13 st.)

## ❑ acidifikace

Až do 20 let min století nebylo pH měřeno přímo– tj 60 let poté, co začaly být produkovány emise. První seriózní monitoring v 60 letech – to již byla některá jezera acidifikovaná – vědecký problém byl na světě 😊

Různé jezerní oblasti na světě – různé rce na kyselou depozici.

Některá jezera měla kyselý trend již před několika tisící lety – primárním zdrojem acidity byly organické humínové kyseliny

### Paleolimnologické analýzy

– zdokumentovaly historii acidifikace

- umožnily korelaci limnologických parametrů v jezerech s různou citlivostí k acidifikaci a atmosférické kyselé depozice různé na různých oblastech světa.
- souběžný vzrůst jak acidifikačních indikátorů v sedimentech, tak atmosférických polutantů (Pb, PAH) ve jezerech vzdálených od přímého zdroje znečištění = doklad, že acidifikace byla důsledkem antropogenního spalování fosilních paliv.

Rozsivky, pakomáři, analýzy Al...

# ZÁZNAMY KLIMATICKÝCH ZMĚN

Klimatické variace – změny solární aktivity, erupce sopek, změny oceánské cirkulace, růst a tání ledovců

## □10 – 100 leté oscilace

Variace SZ : 11, 22, 44 a 80-90 letý cyklus – změny velikosti a aktivity slunečních skvrn – korelují se změnami T a srážek

Sopečná erupce: zastínění slunce sopečným prachem na velké vzdálenosti – ochlazení.

Změny NAO – ovlivňuje počasí Z a St Evropy – rozdíl tlaku nad Azory (výše) a Islandem (níže) zp proudění vzduchu z teplého Atlantiku na pevninu (západní větry)– mírné zimy. Cca 30 leté cykly

## ***Oteplování klimatu v posledních dekáдах***

paleodata: přímý odhad klim změn v posledních stoletích (hl v oblastech polárních a vysokohorských); odhad míry přirozené variability klim. systému a rychlosti změn klimatu před 20st. – zhodnocení pružnosti klim systému ke glob odchylkám + má přímý význam pro interpretaci současných změn klimatu.

***Středověké klim optimum*** ~1000 – 1300 AD

***LIA- malá doba ledová*** 1300 – 1850 AD – na poč výkyvy, od 1700 trvalé ochlazení

# GLOBALNÍ MĚŘÍTKO ZÁZNAMY KLIMATICKÝCH ZMĚN

Teleconnetion – dálkové vztahy mezi událostmi a jejich vlivem na klima, které vysvětlují zjevnou synchronizaci mnoha klimatických událostí, jenž se objevily v globálním měřítku.

## □ Bølling – Allerød a Young Dryas

Konec Pleistocénu a počátek deglaciace byl poznamenán sérií náhlých změn, 10ti – 100letých, teplými/chladnými a vlhkými/suchými událostmi.

První záznamy pochází z ledovcových vrtů – jakým rozsahem se tyto události dotkly nezaledněných oblastí? – odpovědi v jezerních sedimentech.

14.7-12.8 ka BP – **B/A interstitial** – teplá oscilace – první mohutné tání ledu. Je evidentní hlavně v Severoatl regionech. V některých oblastech proběhla mezi B a A krátká studená perioda Older Dryas (Stř. Dryas).

12.8-11.5 ka BP okamžitě po A následoval extrémně chladný interval **YD**. Ovlivnil velkou část Evropy, S. Ameriky, Afriky a pravděpodobně i ostatní části světa. Letní T 12 C v celé severoatl oblasti. V S. Am a Africe provázen extrémním suchem.

Možný důvod YD – tání ledovců – ochlazení Atlantiku – potlačení Golf proudu – ochlazení sev polokoule – jak ale vysvětlit YD v jiných částech světa???? Také nejistá korelace mezi načasováním tání a regionálním ochlazením

**Důležitost lokálních událostí**, které vytvořili pozitivní zpětnou vazbu na regionální klima.

Studie ze S. Am – doklad oteplení doprovázeného velkým táním severoam ledovce. Bylo epizodické a směřovalo do různých bodu S. Am. (malé povodňové události zaznamenané v Lake Superior ale velké naplavení sedimentů ve vzdálenějších regionech). Voda z ledovce směřovala k Velkým jezerům – masivní přísun studené vody - ↑ povrchu jezer a tím i jejich kapacitu tvořit regionální ochlazení + ↑ trvání ledové pokrývky = regionální událost mohla zastínit globální vliv YD.

### ☐ **Náhlé události (events) v Holocénu**

Z jezerních archívů doložen důležitý fakt, že klimatické změny pokračovaly na kontinentech i po terminaci Pleistocení deglaciace.

Silné fluktuace T se 10 – 100 letým trváním ve Stř Holocénu (**kolem 8.2 ka BP**) – jakkoli byl považován za interval globálně teplý, nebyl synchronní v glob. měřítku.