

# Využití larev pakomárovitých v paleolimnologii



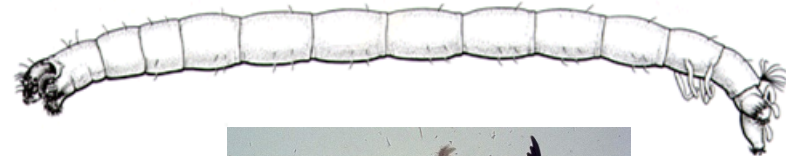
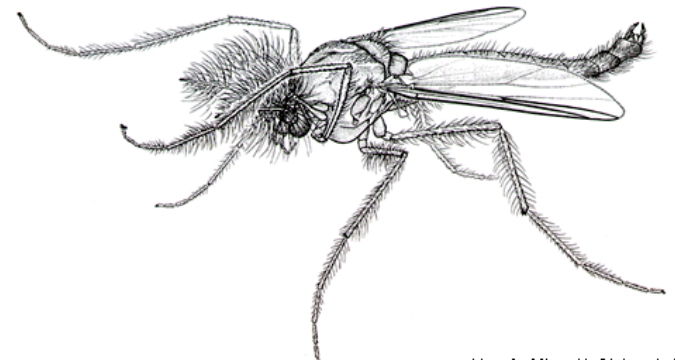
Petr Pařil



# Biologie pakomárů

(čel.: Chironomidae, řád: Diptera – dvoukřídlí)

- **dospělci** - suchozemští krátkověcí (dny-týdny), nepřijímají potravu, užší vazba k T vzduchu než u výhradně vodních skupin
- **larvy** - životní cyklus ve vodě (měsíce), **vazba k faktorům prostředí**, predátoři, detritofágní fytofágní, filtrátoři
- **taxonomické (ekologické) skupiny** nikoliv druhy – rozdílná ekologie druhů v rámci skupiny problémem interpretací
- v subfossilním materiálu **část znaků larev chybí** (hlavová kapsula chitin + proteiny)
- **závazná determinační úroveň** pro larvy v celé Evropě (Brooks et al. 2007)
- stále **nalézány neznámé taxony** v méně prozkoumaných regionech



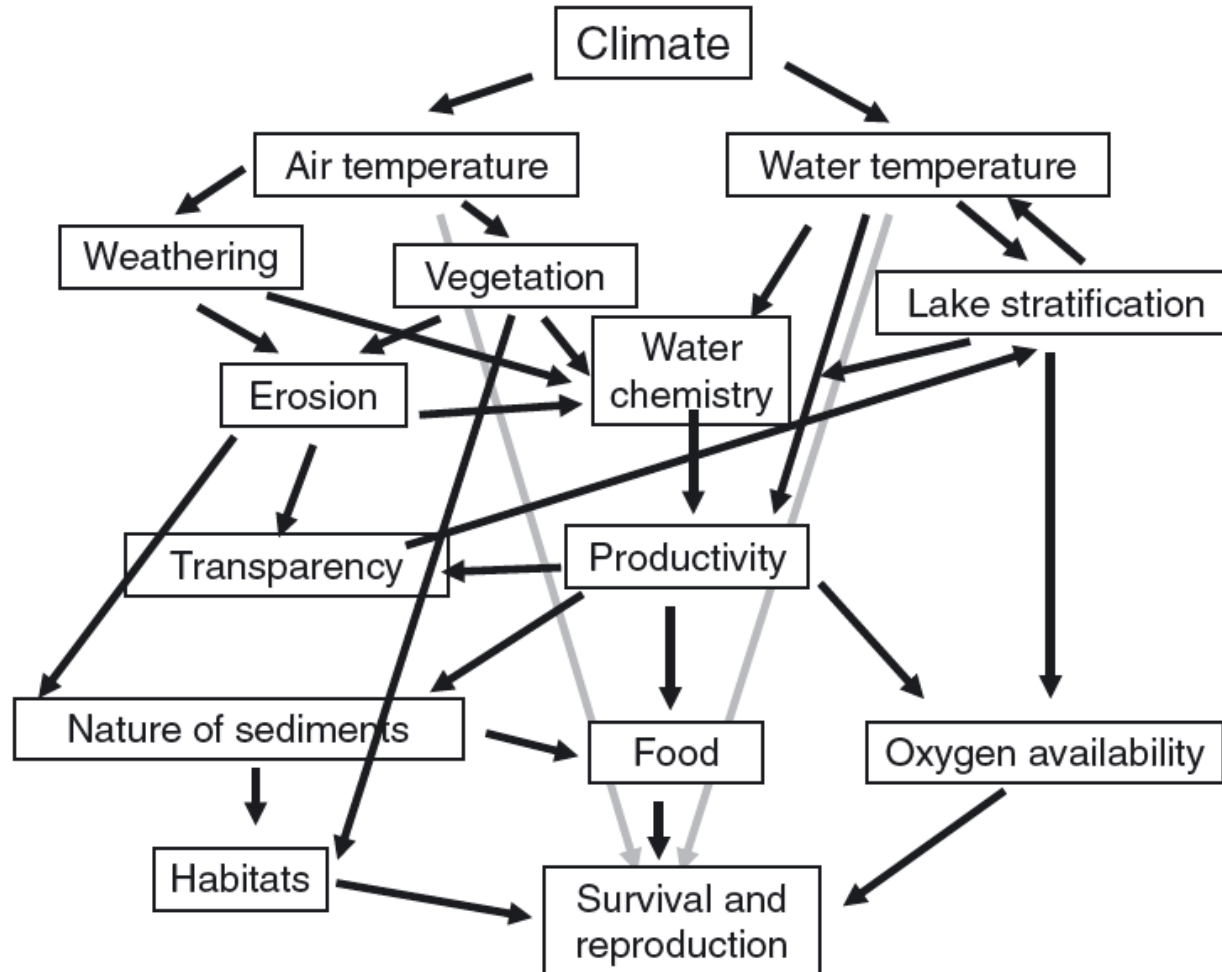
# Výhody pakomárů

- **vysoká denzita a značná diverzita** v jezerních společenstvech (x zbytků jiného hmyzu málo a nekompletní, malá diverzita – např. brouci, jepice, střechatky)
- **široká ekologická valence** skupiny – obsazují téměř všechny sladkovodní habitaty
- **dobře konzervované** sklerotizované (chitin) hlavové kapsuly
- **zařazení do taxonomických skupin** dle ekologických nároků ve vztahu k faktorům prostředí
- **relativně dobře známa ekologie** recentních druhů – lze dovozovat ekologii subrecentních taxonů
- **dobře patrné změny početnosti i druhového složení** při změnách některých faktorů prostředí
- **rychlá reakce** na změnu faktorů díky krátké generační době
- **determinace možná** i při částečném poškození

# Nevýhody pakomárů

- **obtížnost** determinace
- **časová náročnost** zpracování vzorků (vaření, vytrídění a montování do preparátů)
- na poškozeném materiálu **chybí důležité znaky**
- **ekologické nároky** v rámci širších taxonů **se mohou lišit** u jednotlivých druhů (pod rozlišovací úrovní)
- při rekonstrukci teploty její **změna překryta dalšími faktory** (např. eutrofizace)
- **transport kapsulí** v rámci jezera (míchání vody při vyrovnávání teplot či větrem, sedimentací z okrajových částí – vhodné hledat nejhlubší část jezera)
- **vhodné podmínky ke konzervaci pouze v jezerech**, která však nejsou geograficky rovnoměrně rozmístěná (velké oblasti nepokryty)

# Faktory ovlivňující pakomáry



# Vztah k faktorům prostředí

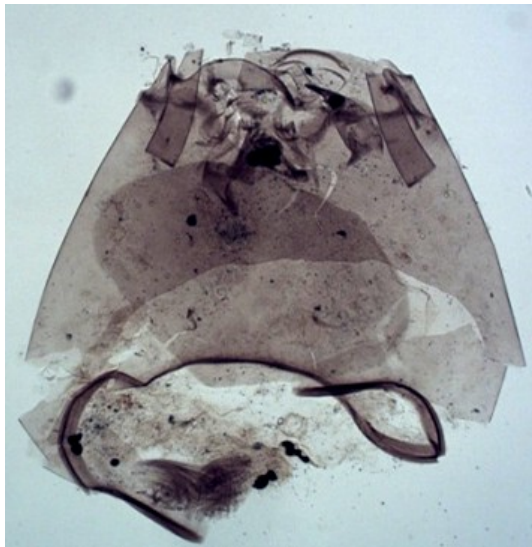
- **pH** – pokud  $< 5,5$  pokles diverzity a abundance (problémy s osmoregulací), x nárůst abundance díky absenci ryb, kyselost způsobuje oligotrofizaci
- **kyslík** – nedostatek → pokles abundance/diverzity, citlivé taxony mizí x nárůst taxonů s hemoglobinem (vazba teploty a kyslíku – možnost chybné interpretace)
- **teplota** – ovlivňuje všechny fáze životního cyklu (líhnutí, vývoj, emergence) chladnomilné/teplomilné druhy, někdy striktnější vazba k T vzduchu než k T vody (adulti)
- **morfologie substrátu** – různá preference k jednotlivým typům substrátu (jemnozrnné, hrubozrnné, makrofyta) – pro potravu, rozmnožování, úkryt
- **živiny a potrava** – nižší abundance s nedostatkem potravy, vazba specialistů na určitý typ potravy (makrofyta), přísun živin ve formě P, vztah ke konc.  $O_2$
- **odlišení limnických a fluviálních biotopů** - střídání fází průtočného jezera
- **výška hladiny** – změny mohou reflektovat i intenzitu srážek (profundál / litorál)
- **suchá epizoda** ve vývoji jezera (změna salinity, makrofyt atd.) – zejména v aridních oblastech
- **oscilace hladiny moře** v příbřežní zóně – reakce halofilních taxonů

# Ekologické skupiny pakomárovitých

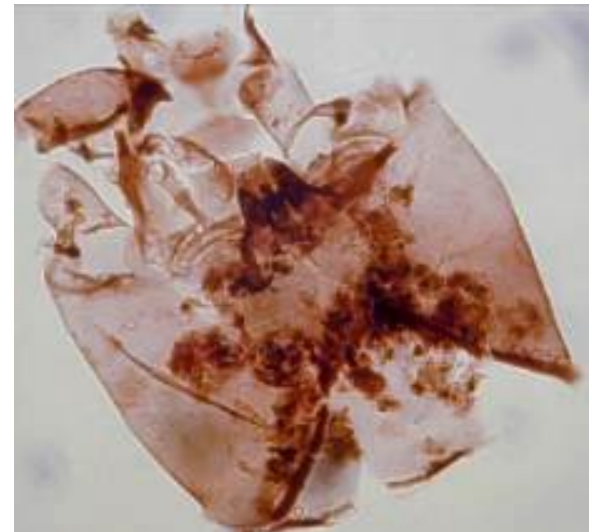
- chladnomilné / teplomilné – **změna klimatu, teploty**
- oxifilní / tolerantní k anoxii – **trofie, míchání jezera, teplota atd.**
- acidofilní / acidofobní - **acidifikace**
- fytofylní / lithofilní – **substrát, vývoj litorálu**
- akvatické / terestrické – **suché fáze, přítoky**
- fluviální / limnické – **přítoky, splachy z povodí**
- litorální / profundální – **hloubka jezera, stratifikace, míchání**

Typicky glaciální druhy v recentní fauně většinou chybí (typicky výskyt v chladných severských jezerech Skandinávie)

*Derotanypus* sp.



*Corynocera* sk. *ambigua*



# Problém rekonstrukce postglaciálních změn klimatu

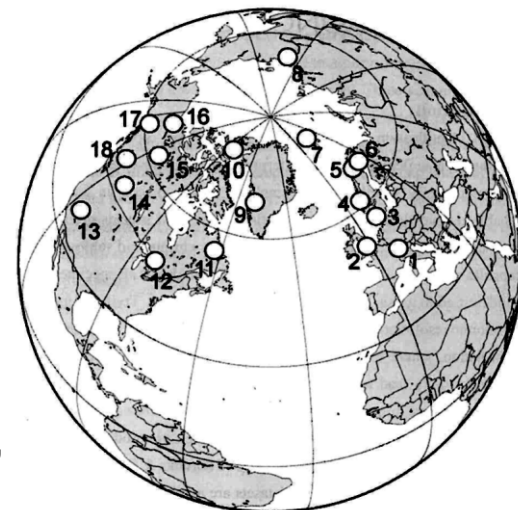
- změna několika faktorů současně - synchronní působení vzájemně provázaných veličin
- nárůst  $T_{\text{vzduchu / vody}}$  (pokles konc.  $O_2$ ) → vyšší srážky → růst splachů (míchání sedimentu) → nárůst hladiny → rozšíření litorální vegetace → nárůst trofie
- synergické x antagonistické působení různých faktorů ovlivňuje společenstvo pouze do určité míry
- → obtížná interpretace míry vlivu jednotlivých faktorů



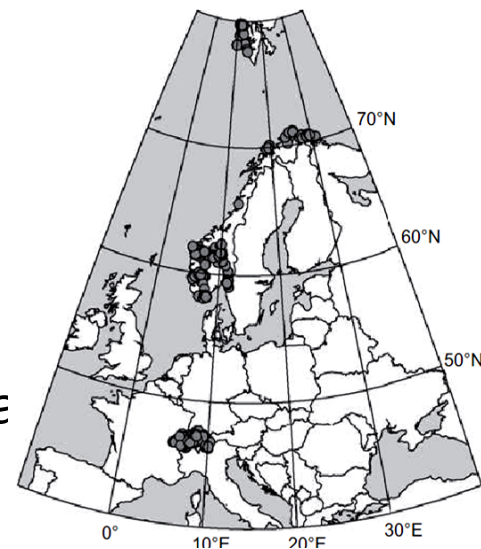
# Modely rekonstrukce teploty

(„transfer functions“)

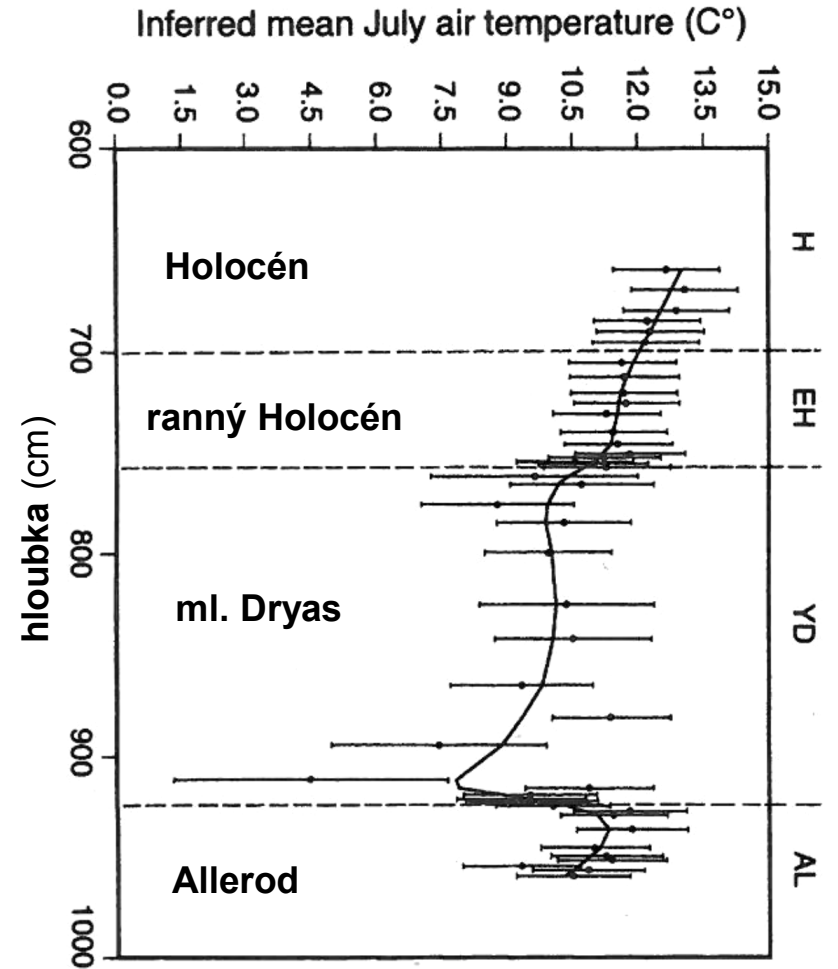
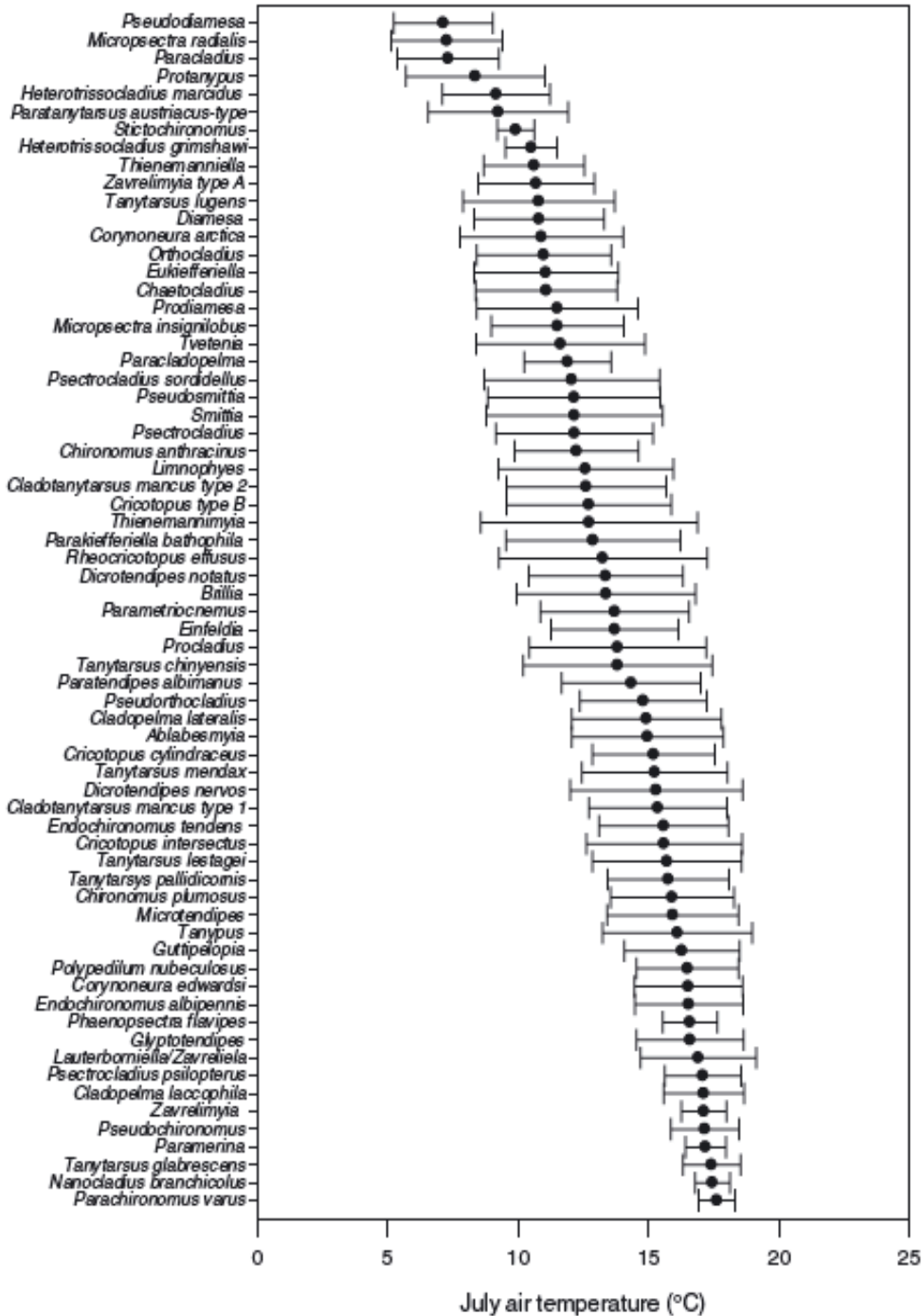
- průměrná letní (červencová) teplota vzduchu
- nejpoužívanější modely v Evropě:
  - skandinávský
  - alpský (švýcarský)
  - dále severoamerický, asijský, jihoamerický, sibiřský, potenciálně slovenský? atd.
- pro území ČR vhodná kombinace obou modelů (*Heiri et al. 2011*)
- **kalibrační data** („training set“) – alespoň 50-100 recentních lokalit z regionu, přesnost rekonstrukce teploty cca 0,5-1,5 °C (změny okolo 2 °C obtížně zachytitelné)
- **lokální rozdíly** při rekonstrukci teploty u blízkých lokalit – mikroklimatické rozdíly ALE někdy zpochybňováno
- problém **interference s dalšími ekol. vlivy** (zejména **trofie**, dále srážky, nadmořská výška, recentně acidifikace)



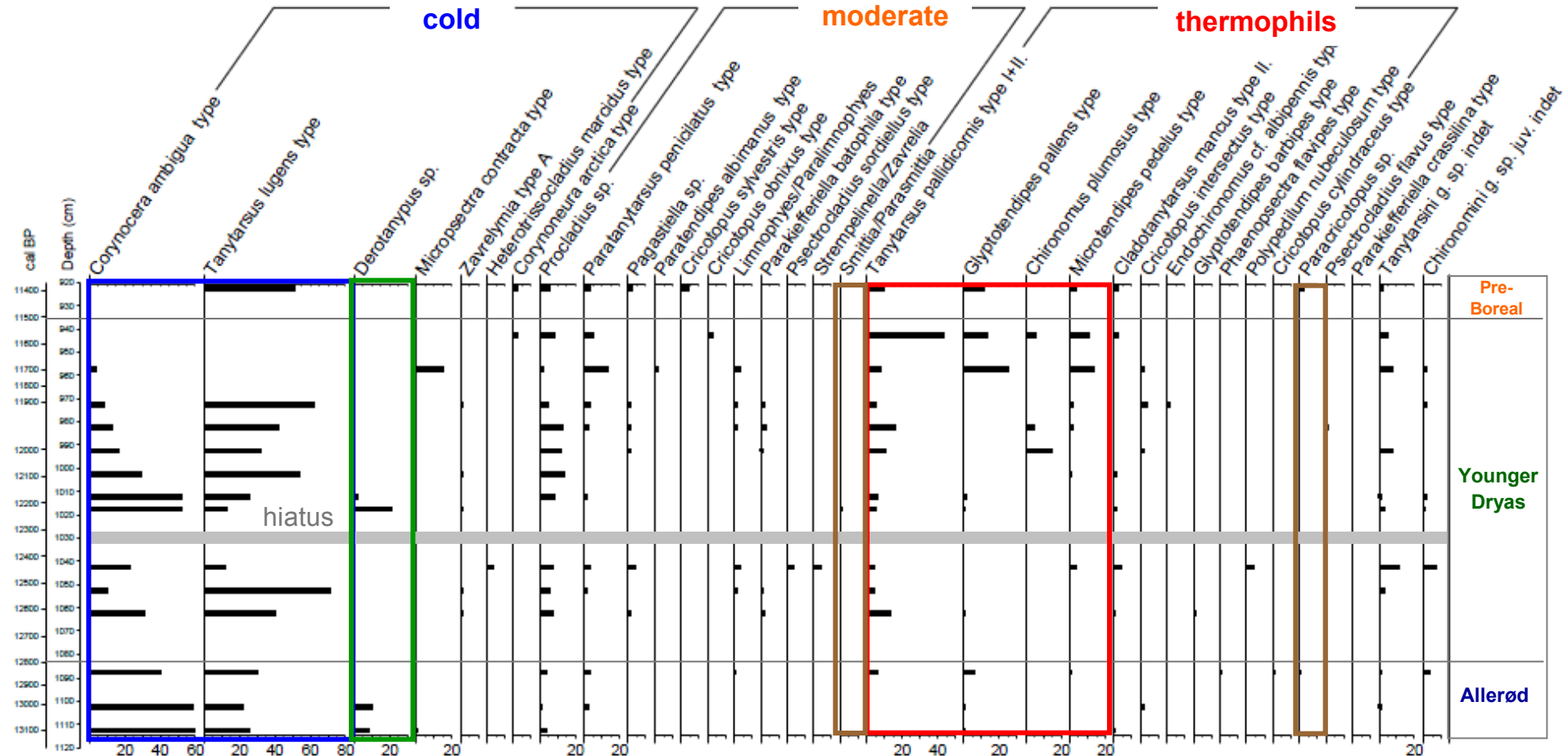
území s kalibračním modelem



# Vztah „morfotypů“ pakomárů k teplotě – intervaly spolehlivosti

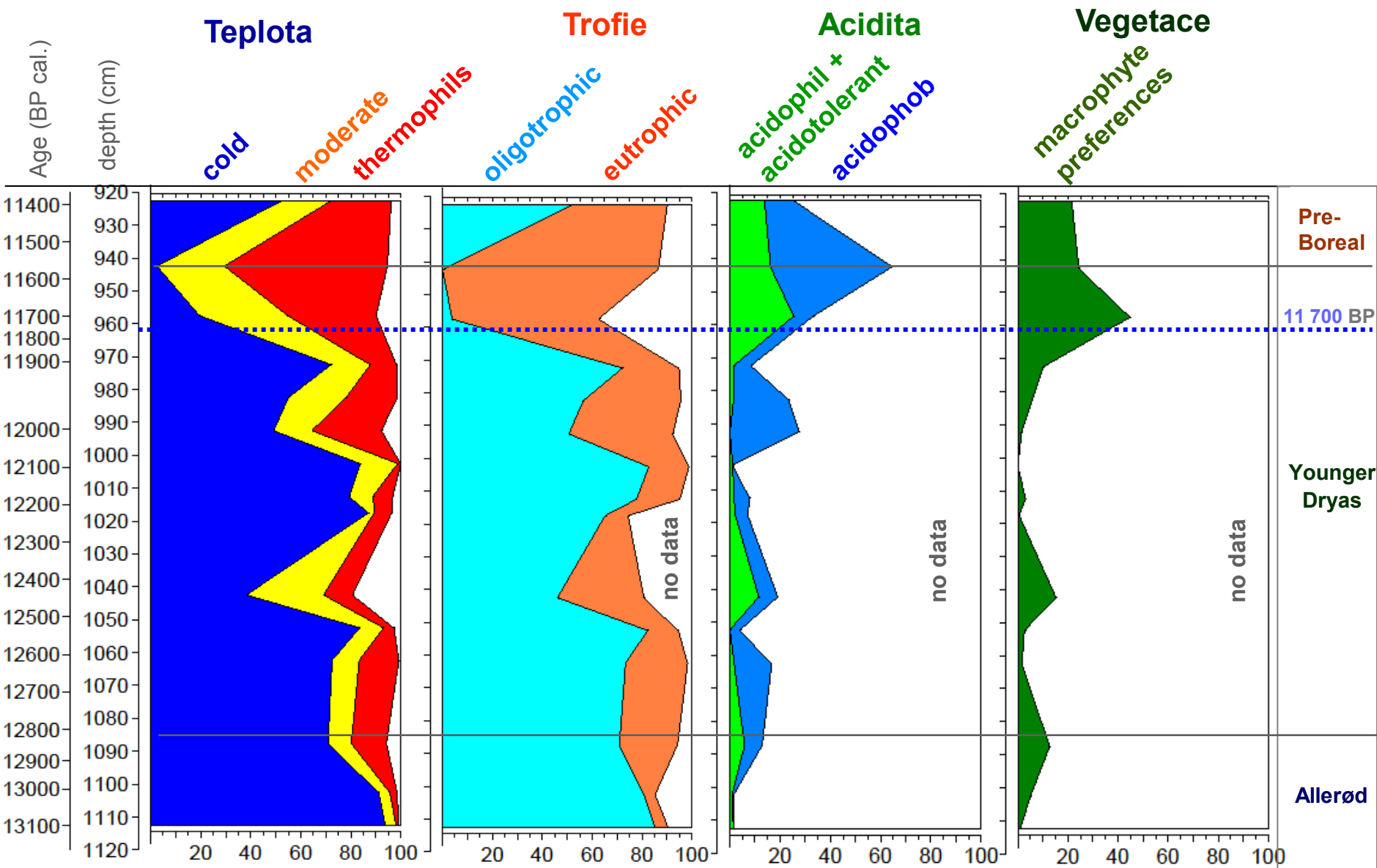


# Změny ve společenstvu ve vztahu k teplotě



(graph prepared by E. Jamrichova)

# Rekonstrukce změn ekol. faktorů



(without hiatus in depth 1032,5 cm)

(graph prepared by E. Jamrichova)

# Dosavadní výzkum střední Evropy

- střední a východní Evropa minimum prací

- **ČR**

- šumavská jezera (Bitušík 2000, Tátošová 2006, 2008),
- Komořanské jezero (Vondrák *et al.* 2012), Stará jímka (Šumava), jihočeská zazemněná jezera ...
- jezero Švarcenberk (Rojik *et al.* 2012)



- **Karpatská oblast**

- Tatranská plesa (acidifikace, recentních 100-200 let) Bitušík *et al.* 2009, Šporkla *et al.* 2002)
- ojedinělé práce Polsko (Plociennik *et al.* 2011, Rumunsko (Toth *et al.* 2012, 2015-7), Vihorlat – Hypkaňa (Hájková *et al.* 2016)
- kalibrační soubor dat pro tuto oblast dosud chybí



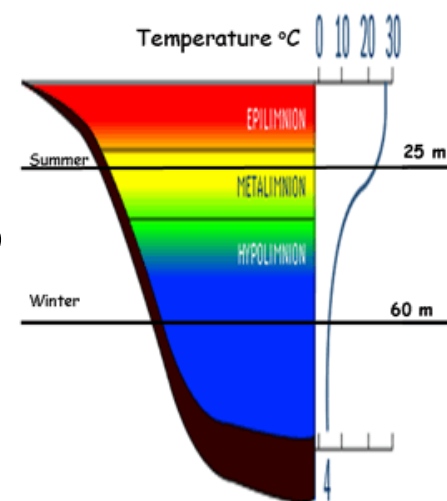
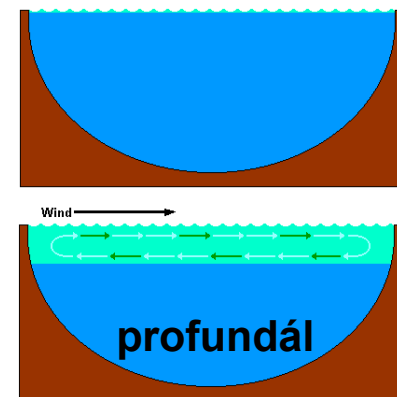
# Výhody/nevýhody různých typů lokalit

- **zazemněná jezera** (palaeolake, filled lake)
  - jednodušší přístup a odběr vzorků
  - konzervovaný archiv nenarušen recentními zásahy
  - ALE horní 1-2 m nepoužitelné – poškození kořeny, zrašelinění
- **recentní jezera**
  - obtížnější odběr delšího kóru (lod', plošina)
  - vzorek kontinuálně do současnosti
  - negativní vlivy současnosti (míchání sedimentu)
  - srovnání výsledků s recentní faunou
- **degradace materiálu** při nevhodných podmínkách
  - vyšší kyselost
  - hodně organických látek
  - oxidace (např. střídání sucha a zavodnění dna)
  - vysoký tlak nadložních vrstev (rozlámání)



# Jaká jezera jsou vhodná pro rekonstrukci T dle pakomárů?

- **hlubší než několik m** (jinak vliv eutrofizace, vegetace, zimní vymrzání)
- **ALE nepřiliš hluboká** (10-20 m), pokud vyvinutá stabilní **termoklina** (jezero se nemíchá) je vliv teploty vzduchu na teplotu vody v hlubších vrstvách u dna zkreslený
- hledáme **nejhlubší místo jezera** - zachycení kompletního sedimentačního archivu
- **transport hlav** do nejhlubších míst z okrajových částí jezera (z litorální vegetace, přítoků atd.), způsobeno sedimentací + **prouděním (míchání** zejména velkých jezer) - výsledky rekonstrukce mohou být ovlivněny
- **malá povodí** (lépe popsitelné podmínky a faktory) často **v horách** (vliv člověka menší či později)
- pro rekonstrukci nejvíce využívány taxony žijící trvale v **profundálu** (nejhlubší místa dna v hypolimnii)
- **litorální** druhy - ovlivněny krátkodobými vlivy málo díky pufrační schopnosti makrofyt



# Způsob odběru

odběr z pevného povrchu zazemněná paleojezera

- **ruský rašelinný vrták** (hlubší profily)
- **ručně kopaný vzorek** (mělčí profily s hlubším horizontem vody) – výhodou více materiálu ke zpracování

odběr z hladiny recentního jezera

- **z lodi** – spuštěný tubus se záklopkou
- **plošina** ukotvená v několika bodech (složitější a nákladnější ALE **vysoká přesnost+délka sondy**)
- **zimní odběr z ledu**

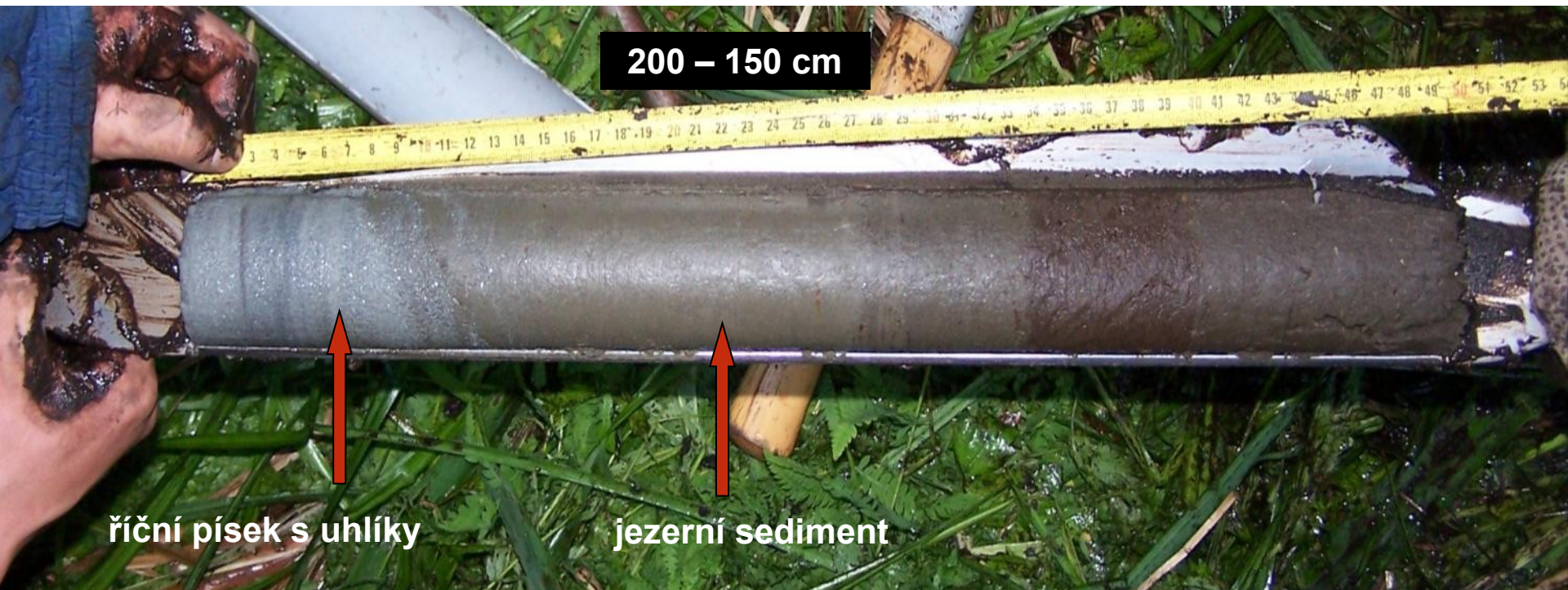






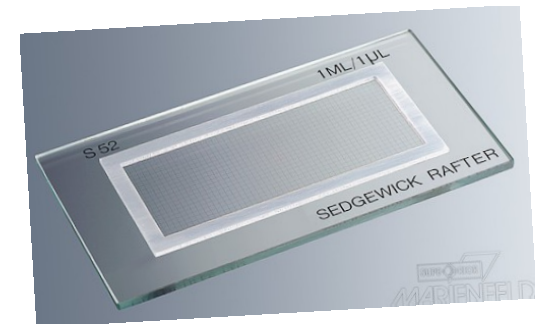
# Popis a separace vzorku

- vizuální **popis vrstev** a zaměření přechodů mezi nimi
- ponechání v kovovém korýtku (z výkopu)
- separace do igelitových sáčku s označením (z vrtu)
- umístění do chladných prostor (omezení rozkladu)



# Metodika zpracování vzorků

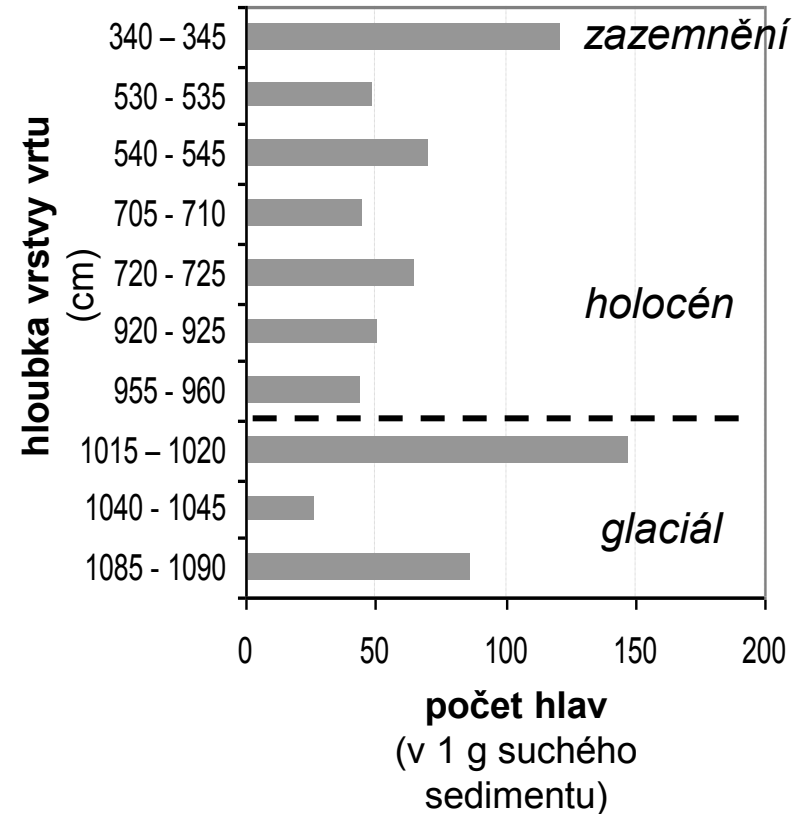
- **odběr** 2-6 g sedimentu (dle denzity hlav) např. pomocí odříznuté injekční stříkačky
- **vařit** 20 min. v 10% KOH (odstranění části org. zbytků)
- v případě **vápnitých sedimentů** slabou rozpouštění kys. octovou
- **promýt** přes sítko o velikosti 100  $\mu\text{m}$
- **třídění** v počítací komůrce (Sedgwick – Rafter) entomologickými špendlíky pod binokulární lupou (zvětšení cca 20) – manuálně náročné
- **podmínka 50 hlav** z vrstvy pro rekonstrukci teploty
- **odvodnění** řadou v 70% a 96% ethanolu
- **preparace** temenem hlavy dolů do euparalu (70 – 90%) – podmínka zachování více než poloviny hlavy
- **časová náročnost** třídění a preparace 10-20 hod na vrstvu dle množství org. zbytků a hustoty hlav



# Kvantifikace pakomárů a další měřené veličiny

- **vhodná kvantifikace** (na rozdíl od jiných proxy) – informace o procesech v jezeře
- ošetření **rozdílné sedimentační rychlosti, zhutnění substrátu, velikosti a složení částic** atd.
- **standardizace na 1 g suchého substrátu** (sušení při 105 °C/24hod)
- dále např. **obsah organické hmoty** - ztráta žíháním při 550 °C (**LOI**"loss on ignition),
- **organický C** (karbonáty při 950 °C )
- **chemická analýza - kovy** - Fe, Mn (konc. O<sub>2</sub>), Al (prům. zneč), Si, Ti, Zr, Ni, atd., **biogeny** - P (eutrofizace), N, S (anoxie) – celkově obtížná interpretace
- **granulometrie** sedimentu
- **magnetická susceptibilita (AMS)** – změny magnetizmu dle orientace minerálů v sedimentu

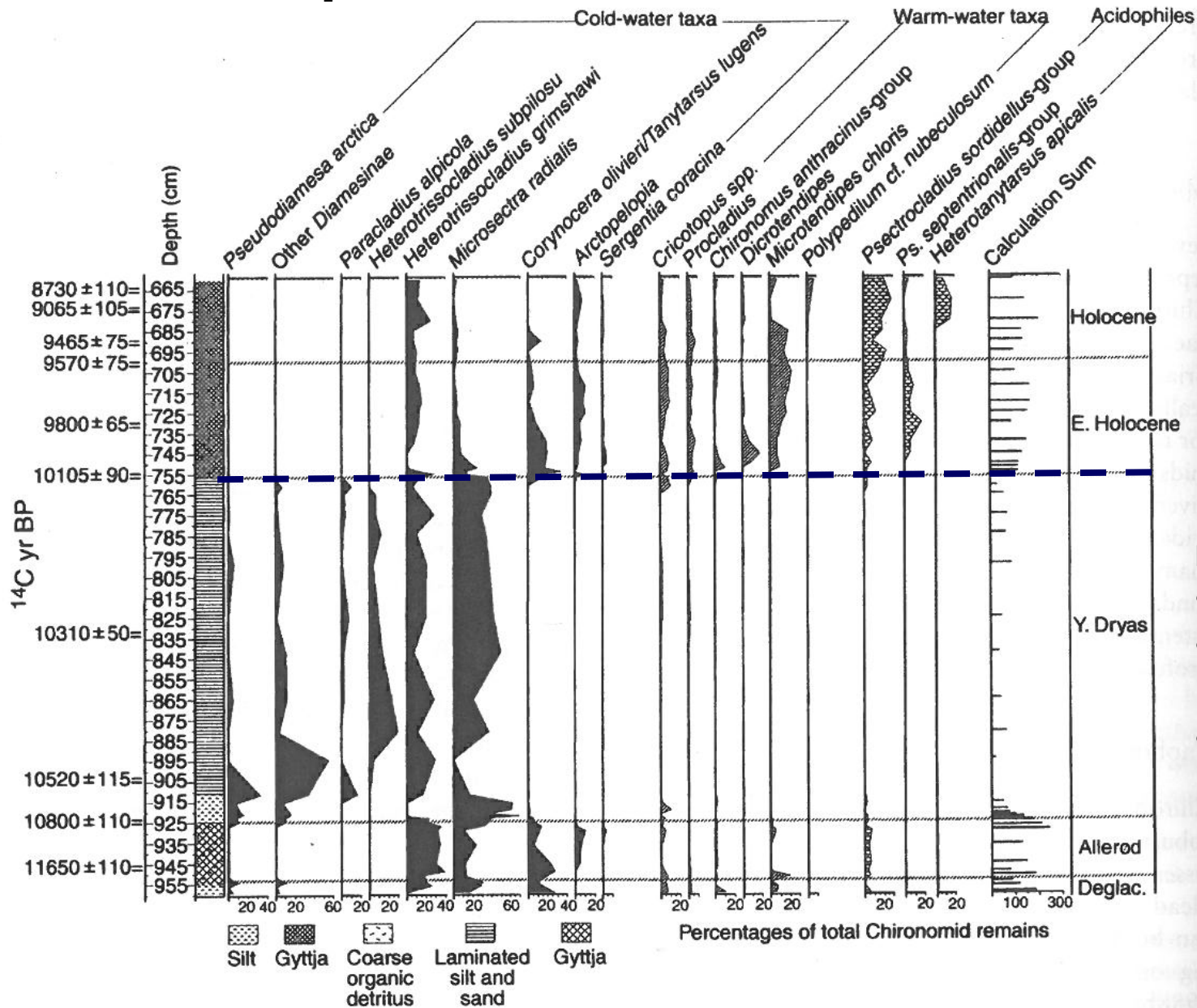
## Změny denzity hlav v profilu



## paradox interpretace vysoké denzity hlav

- vysoká produktivita?
- nízká sedimentační rychlost?

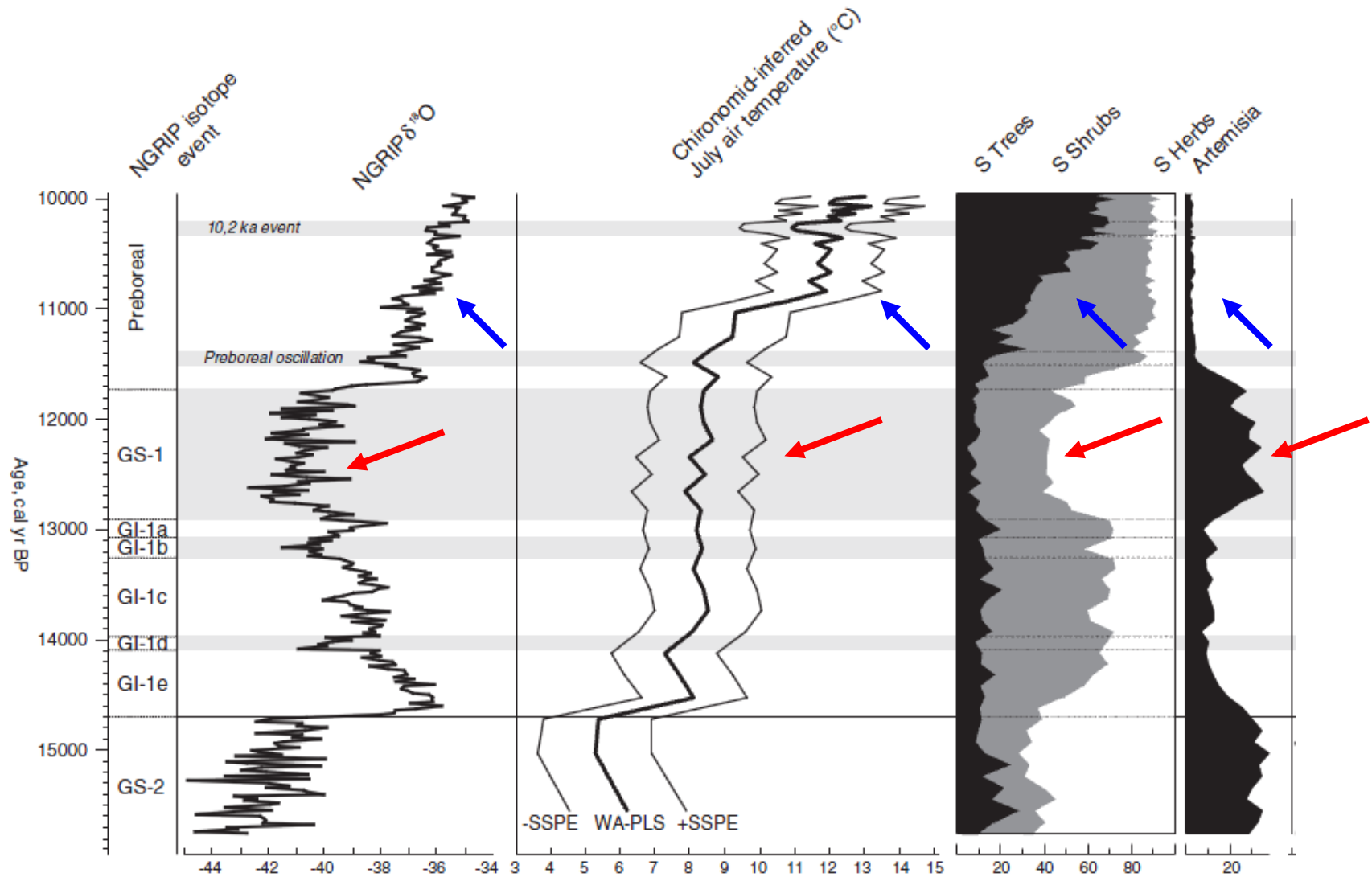
# Změny zastoupení ekologických skupin přechod Pleistocén - Holocén



## rychlé změny

- dobrá disperze
- krátký vývojový cyklus
- vysoké denzity

# Různá citlivost ke změnám prostředí



# Moderní metody

## stabilní izotopy N, C, O

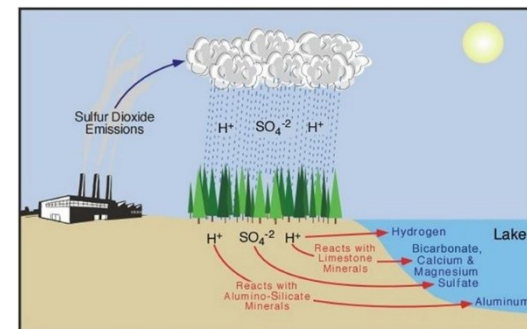
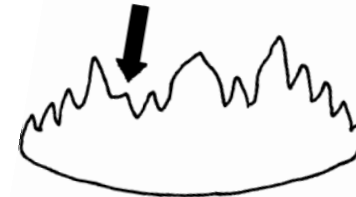
- **izolace přímo ze zbytků hlavových schránek** - metodicky náročnější - proxy pro rekonstrukce
  - **$\delta$  C-13** - potravní toky, produktivita, typ vegetace (poměr k  $\delta$  C-12)
    - např. podíl autotrofní složky či metanogenních bakterií v potravě
  - **$\delta$  N-15** - potravní toky v ekosystému (poměr k  $\delta$  N-14), např. dostupnost a stupeň utilizace N, dominance sinic (fixují vzdušný N)
  - **$\delta$  O-18** - teploty, srážky (poměr k  $\delta$  O-16)
- možné použít i zbytky hlav pouze jednoho taxonu – ekologické implikace např. o potravních zdrojích

## subrecentní DNA

- analýza zpřesní taxonomickou příslušnost „typů“ k současným taxonům – zpřesnění ekol. nároků – rozdíly mezi populacemi

# Další využití paleorekonstrukcí dle pakomárovitých

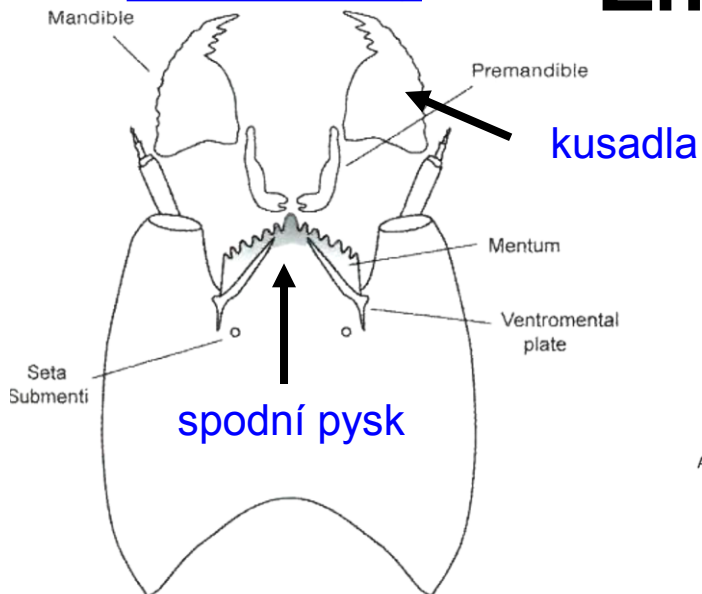
- **revitalizace jezer** – problémy průmyslového znečištění v historii jezera - **system časného varování** dle pakomárů (stanoví blíží se kolaps ekosystému)
- **vliv polutantů** – vznik deformací spodního pysku
- **acidifikace** - nástup acidotolerantních druhů během průmyslové éry a návrat acidofobů („recovery“) – studie Šumavských a Tatranských jezer
- **rybí obsádka** – různý rozsah poškození hlavových kapsul, ovlivnění druhového složení pakomárů
- **recentních analogie** paleospolečenstev pakomárovitých – odvození historických podmínek v jezeře (pouze u stávajících jezer)





# Znaky na hlavě

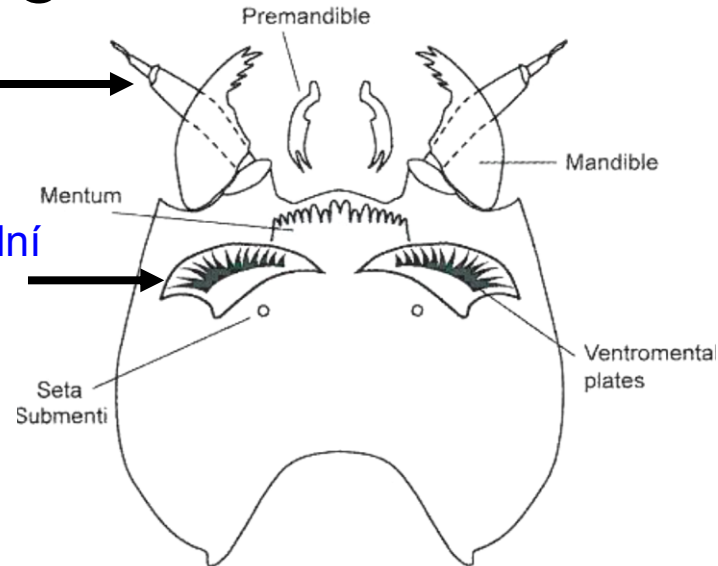
**ORTHOCLADIINAE**



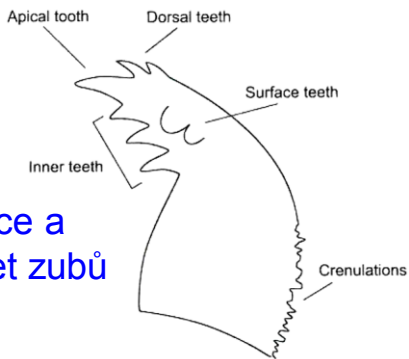
**CHIRONOMINAE**  
Chironomini

**tykadla**  
(často chybí)

**ventromentální**  
**plátky**

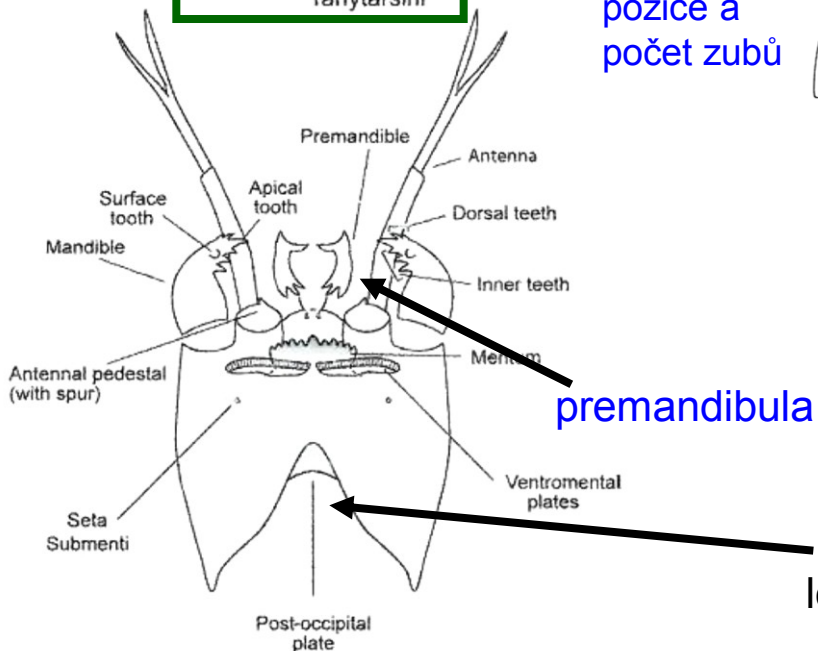


## KUSADLO



**pozice a**  
**počet zubů**

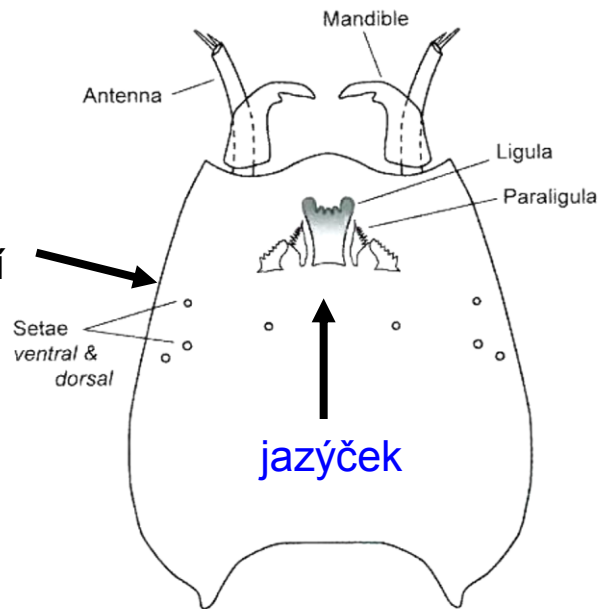
**CHIRONOMINAE**  
Tanytarsini



**štetiny**  
vrchní/spodní  
části hlavy

**tvár výřezu,**  
**lemování, lišty**

**TANYPODINAE**



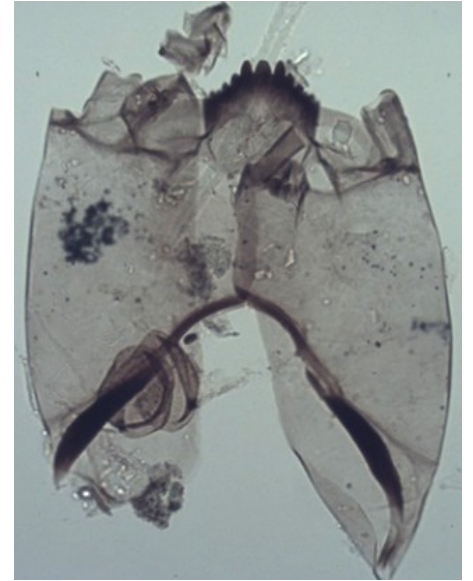
Orthocladiinae



Corynoneurinae



Chironominae

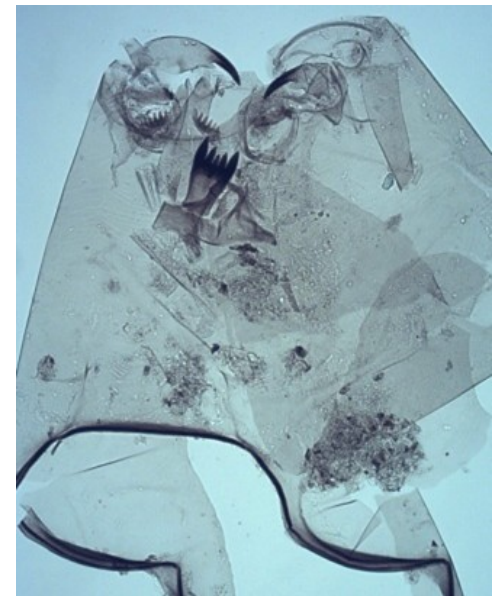
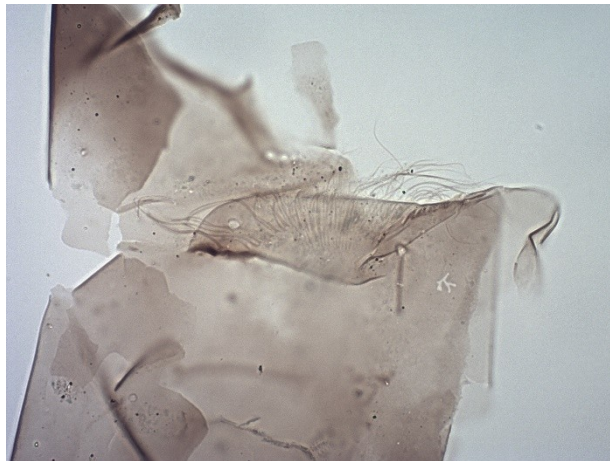


Tanypodinae

Tanytarsini



Prodiamesinae



# Základní literární zdroje

- Brooks, S.J. & Birks, H.J.B (2001): Chironomid-inferred air temperatures from late-glacial and Holocene sites in north-west Europe: progress and problems. *Quaternary Science Reviews* 20: 1723 – 1741.
- Brooks, S.J. (2006): Fossil midges (Diptera: Chironomidae) as palaeoclimatic indicators of the Eurasian region. *Quaternary Science Reviews* 25: 1894 – 1910.
- Brooks, S.J., Bennion, H. & Birks, H.J.B. (2001): Tracing lake trophic history with a chironomid-total phosphorus inference model. *Freshwater Biology* 46: 513 – 533.
- Brodersen, K.P. & Quinlan, R. (2006): Midges as palaeoindicators of lake productivity, eutrophication and hypolimnetic oxygen. *Quaternary Science Reviews* 25: 1995 – 2012.
- Brooks, S.J., Langdon, P.G. & Heiri, O. (2007): **The identification and use of Palaeartic Chironomidae larvae in palaeoecology.** London, Quaternary Research Association: p 276.
- Buczkó K., E. K. Magyari, P. Bitusik, A. Wacnik 2009 Review of dated Late Quaternary palaeolimnological records in the Carpathian Region, east-central Europe. *Palaeolimnological Proxies as Tools of Environmental Reconstruction in Fresh Water Developments in Hydrobiology* 208: 3-28.
- Cohen, A.S. (2003): *Paleolimnology: The History and Evolution of Lake Systems.* New York, Oxford University Press: p. 318 – 322.
- Eggermont H. and O. Heiri 2012. The chironomid-temperature relationship: expression in nature and palaeoenvironmental implications. *Biol. Rev.* 87: 430–456.
- Heiri, O., Brooks, S.J., Birks, H.J.B. & Lotter, A. F. (2011): A 274-lake calibration data-set and inference model for chironomid-based summer air temperature reconstruction in Europe. *Quaternary Science Reviews* 30: 3445 – 3456.
- Langdon, P.Q., Ruiz, Z., Brodersen, K.P. & Foster, I.D.L. (2006): Assessing lake eutrophication using chironomids: understanding the nature of community response in different lake types. *Freshwater Biology* 51: 562 – 577.
- Larocque, I., Hall, R.I. & Grahn, E. (2001): Chironomids as indicators of climate change: a 100- lake training set from a subarctic region of northern Sweden (Lapland). *Journal of Paleolimnology* 26: 307 – 322.
- Rojik F., V.Kubovčík, S. Bučkuliaková, L. Blašková & M. Hajková 2012. Čo o vývoji prírody po poslednom glaciáli v strednej Európe hovoria pakomáre? *Sborník abstraktov „Zoológia 2012“*, 18. Feriencove dni 22. – 24. november 2012, Technická univerzita vo Zvolene, p. 148-150.