

Univerzita Karlova v Praze
Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Geologie
Studijní obor: Geobiologie



Anna Poštulková

Paleoekologická rekonstrukce prostředí Komořanského jezera v pozdním glaciálu na základě analýzy rozsivek

*Palaeoecological reconstruction of Komořany Lake
in Late Glacial based on diatom analysis*

Diplomová práce

Vedoucí závěrečné práce: RNDr. Linda Nedbalová, Ph. D.

Konzultant: Mgr. Tomáš Bešta, Ph. D.

Praha, 2016

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 14. 5. 2016

Anna Poštulková

Obsah

ABSTRAKT	4
ABSTRACT.....	5
Poděkování.....	6
1 Úvod.....	7
2 Teorie	8
2.1 Společenstva rozsivek v paleolimnologických rekonstrukcích	8
2.2 Pozdní glaciál a jeho záznam v jezerních sedimentech	9
2.3 Výzkum jezerních sedimentů pozdního glaciálu v ČR.....	11
2.4 Historie výzkumu pozdně glaciálních sedimentů Komořanského jezera	12
3 Materiál a metody	14
3.1 Studovaná lokalita.....	14
3.2 Odběr a skladování profilu.....	16
3.3 Datace profilu.....	16
3.4 Ztráta žíháním – LOI (loss-on-ignition).....	16
3.5 Rozsivková analýza.....	16
3.5.1 Studovaná část profilu a rozsah analýzy	16
3.5.2 Izolace rozsivek ze sedimentu.....	17
3.5.3 Příprava trvalých preparátů	17
3.5.4 Počítání valv a určování taxonů	17
3.5.5 Koncentrace valv.....	18
3.5.6 Shluková analýza a rozdělení do DAZ	18
3.5.7 Rekonstrukce pH, TP a konduktivity pomocí transferových funkcí	19
3.5.8 Rekonstrukce saprobity a trofie pomocí indexů	21
3.5.9 Korelace vybraných parametrů	23
4 Výsledky	24
4.1 Datový model.....	24
4.2 Sedimentologický popis.....	24
4.3 Rozsivková analýza.....	24
4.3.1 Zachování valv	24

4.3.2	Nalezené taxony	25
4.3.3	Sladění taxonomie s EDDi a OMNIDIA	25
4.3.4	Poměr plankton/bentos.....	26
4.3.5	Rekonstrukce parametrů vodního prostředí	27
4.3.6	Shluková analýza a rozdělení do DAZ	29
4.4	Ztráta žíháním – LOI.....	34
4.5	Korelace vybraných parametrů	35
5	Diskuze.....	36
5.1	<i>Staurosira</i> sp. 1	36
5.2	Korelace indexů s ohledem na zapojení dominant.....	36
5.3	Hranice DAZ 2 a DAZ 3.....	37
5.4	Interpretace výsledků rekonstrukce	38
5.4.1	Srovnání změn v rozsivkovém záznamu s výkyvy klimatu.....	38
5.4.2	Poměr euplanktonních a bentických taxonů	39
5.4.3	Vývoj trofie	39
5.4.4	pH	41
5.4.5	Konduktivita.....	42
5.5	Možnosti dalšího výzkumu	42
6	Závěr	43
7	Soupis použité literatury	44
	Přílohy	53

ABSTRAKT

V rámci multi-proxy zpracování sedimentů zaniklé lokality Komořanské jezero byla na bazální části profilu PK-1-L odpovídající pozdnímu glaciálu a časnému holocénu provedena rozsivková analýza. Bylo možné se opřít o již dříve provedené radiokarbonové datování a vytvořený datový model, analýza rozsivek byla také doplněna o další výsledky (ztráta žíháním, přítomnost stomatocyst zlativek).

32 vzorků sedimentu v intervalech 0,4–0,6 cm bylo laboratorně zpracováno, z izolovaných valv byly vytvořeny trvalé preparáty a abundance jednotlivých taxonů byla stanovena pomocí světelné mikroskopie. Byla zjištěna koncentrace valv na gram suchého sedimentu a relativní zastoupení taxonů v jednotlivých vzorcích. Subdominanty a vzácné taxony byly u poloviny vzorků sledovány nezávisle s cílem odfiltrovat rušivý vliv dominant.

Na základě relativních četností taxonů byla provedena shluková analýza a vzorky rozděleny do tří rozsivkových akumulčních zón (DAZ). Rekonstrukce saprobity a trofie byla provedena pomocí indexů, hodnoty pH, konduktivity a koncentrace celkového fosforu (TP) byly odhadnuty za použití transferových funkcí.

Nejvýraznější změna ve společenstvech rozsivek byla zaznamenána ještě před začátkem holocénu, na jehož nástup dominantní taxony nereagují. Rekonstrukce konduktivity, trofie i saprobity ukázala velmi vyrovnané hodnoty, pouze pH se zvýšilo souběžně s výměnou dominant v průběhu pozdního glaciálu.

Při interpretaci byla zvláštní pozornost věnována rekonstrukci trofie, protože bylo cílem přezkoumat tradičně citované závěry o trofickém stavu jezera v pozdním glaciálu. Pokud to bylo možné, byly změny v rozsivkových asociacích zasazeny do kontextu změn klimatu.

Klíčová slova: rozsivky, *Bacillariophyceae*, Komořanské jezero, kvartér, pozdní glaciál, paleolimnologie, indexy, transferové funkce

ABSTRACT

Diatom analysis of basal part of profile PK-1-L contributes to multi-proxy research of former Lake Komořany. At this part of profile radiocarbon dating (dates sediments into Late Glacial and Early Holocene) and LOI (loss on ignition) had been conducted before, of which results have been utilized to more accurate interpretation of diatom analysis conclusions. Apart from diatom valves, presence of stomatocysts of Chrysophyceae has been observed.

Having separated diatom valves from 32 sediment samples in intervals 0,4–0,6 cm, permanent preparates have been created. Concentration of valves in a gramme of dry sediment and relative abundance of diatom taxons in each sample have been investigated using light microscopy. In a half of samples subdominants and rare taxons have been observed separately to eliminate the interference from dominant taxons.

Cluster analysis based on relative abundances of diatom taxons have been calculated and on its results have been subsequently determined three diatom accumulation zones (DAZ). Moreover trophic and saprobic indices have been calculated and levels of pH, conductivity and concentration of total phosphorus (TP) have been estimated by transfer functions.

Even before beginning of Holocene the major shift in composition of diatom communities have happened, to the start of Holocene dominant taxons haven't responded any more. Reconstructions of conductivity, trophic and saprobic state have provided very stable values, only reconstructed pH has increased simultaneously with exchange of dominant taxons.

Results of water environment parameters calculation have been interpreted in the context of climatic changes. The special attention have been paid to reconstruction of lake trophic state, in order to re-examine the traditionally cited conclusions about trophy of Lake Komořany in Late Glacial.

Key words: diatoms, *Bacillariophyceae*, Komořany Lake, Quaternary, Late Glacial, paleolimnology, indices, transfer functions

Poděkování

Na výsledné podobě této práce se podepsala řada lidí a všem patří můj velký dík. Není v mých silách si vzpomenout na všechny, kteří ovlivnili moje uvažování při prvním samostatnějším vědeckém výzkumu a ani není možné zde jmenovat všechny, kteří nepřímo souvisí se vznikem této práce tím, že mě vychovávali, učili, brali na exkurze nebo mě jinak podporovali v zájmu o vědeckou práci. Někteří se ale o napsání předkládané práce zasloužili bezprostředněji a o těch bych se na tomto místě chtěla zmínit.

V první řadě bych chtěla poděkovat své školitelce Lindě Nedbalové za poskytnutí zázemí pro laboratorní zpracování vzorků sedimentu i následné zpracování dat, její podnětné připomínky k interpretaci výsledků a obětavou pomoc s formálními náležitostmi práce.

Obrovský dík patří Tomáši Beštovi, který mi poskytl nejen vzorky sedimentu ke zpracování, ale zároveň mě zasvětil do tajů rozsivkové analýzy a nezištně mi pomáhal v průběhu celé práce radou i činem.

Děkuji také zaměstnancům a studentům katedry ekologie za přívětivé a podnětné prostředí k práci, jmenovitě pak Janě Vokurkové a Jasně Vukič za pomoc při práci v laboratoři a Martinu Černému za trpělivou technickou podporu při práci s mikroskopem.

Kataríně Holcové děkuji za nasměrování při výběru tématu a Zlatku Kvačkovi za to, že mi pomohl najít novou chuť do výzkumu rozsivek. Také děkuji Danielu Vondrákovi za možnost vyměnit si názory na problematiku Komořanského jezera.

Dále nesmím zapomenout na Hanku Rajdovou, které bych chtěla poděkovat za, až při samostatné práci plně doceněné, předání zkušeností s laboratorním zpracováním vzorků.

Můj dík náleží i chemické laboratoři ZŠ Jílovská za poskytnutí jinak nedostupné chemikálie – čpavku.

Zvláštní poděkování bych chtěla vyslovit své rodině a partnerovi za zázemí a trvalou podporu, bez které by tato práce nemohla být nikdy dokončena.

Práce byla vytvořena s podporou GA ČR č. 206/09/1564.

1 Úvod

Komořanské jezero je tradiční lokalitou pro výzkum vývoje prostředí v holocénu už od 19. století. Při záchranném výzkumu v 80. letech 20. století bylo před definitivním odtěžením sedimentů odebráno množství profilů a takto získané vzorky jsou od té doby podrobovány nejrůznějším analýzám (např. Jankovská, 2000, 2011; Jankovská & Pokorný, 2013; Valentová, 2011).

Neodmyslitelnou součástí paleorekonstrukce prostředí je i výzkum rozsivkových společenstev. Předkládaná práce mohla navázat na rozsáhlé výzkumy rozsivek Zdeňky Řehákové (Řeháková & kol., 1961; Řeháková, 1962, 1983, 1985, 1986, 1987) a rozsivkové analýzy Tomáše Bešty (Bešta, & kol., 2015; Houfková & kol., v přípravě).

Hlavní náplní práce bylo prozkoumat záznam pozdního glaciálu z velmi mělkého nížinného jezera a doplnit tak představy o vývoji nádrže, protože předchozí četné studie se zaměřovaly na interpretaci změn prostředí Komořanského jezera v průběhu holocénu. Záměrem bylo využít potenciál rozsivkové analýzy k rekonstrukci podmínek nádrže a pokusit se sledovat reakce rozsivkových asociací na prudké klimatické výkyvy pozdního glaciálu.

Zároveň si práce klade za cíl vnést světlo do nejasností ohledně trofických poměrů jezera v pozdním glaciálu, které jsou podle analýz chlorokokálních řas interpretovány jako oligo-mezotrofní (Jankovská & Pokorný, 2013). Rekonstrukce trofie na základě rozsivek nebyla do této chvíle provedena a tak bylo možné pochyby zakládat jen na pohledu na rozsivkové taxony nalezené v pozdním glaciálu Řehákovou (1986).

2 Teorie

2.1 Společenstva rozsivek v paleolimnologických rekonstrukcích

Rozsivková analýza je rozvinutou metodou založenou na vysoké morfologické variabilitě rozsivek, hojnosti napříč prostředími, poměrně snadné determinaci, vysokém potenciálu zachování schránek a zároveň jejich rychlé a specifické reakci na podmínky prostředí (Stoermer & Smol, 2010).

Rozbor složení rozsivkových společenstev slouží k odhadu řady parametrů vodního prostředí, ať už chemických (pH, koncentrace celkového fosforu–TP, rozpuštěný organický uhlík–DOC, trofie, saprobity, konduktivita/salinita) či fyzikálních (teplota, světlo, turbulence, rozsah zamrzání hladiny, úroveň hladiny) (Battarbee & kol., 2001; Kennington, 2002).

Nejčastěji sledujeme **relativní zastoupení taxonů** ve společenstvu, ze kterého lze dle nároků jednotlivých taxonů vyvodit pro dané společenstvo hodnoty pH, konduktivity, TP, trofie, saprobity či salinity. Odhadu těchto parametrů dosahujeme nejčastěji transferovými funkcemi (Juggins & Birks, 2012), které ale vyžadují nalezení dostatečně analogního datasetu k našim fosilním datům. V některých případech je proto stále nutné použít klasický způsob výpočtu pomocí ekologických hodnot přiřazených taxonům a následného vážení abundancemi taxonů (např. Van Dam & kol., 1994). S rostoucími možnostmi počítačové analýzy se daří prověřovat staré a vyvíjet nové kvantitativní metody, které by lépe vystihovaly vztah organismů a prostředí (Birks, 1998; Birks & Simpson, 2013).

Zájem o rekonstrukci pH pomocí subfosilních rozsivek vznikl v souvislosti se zkoumáním příčin acidifikace skandinávských jezer v 70. letech 20. století a potřebou dlouhodobých dat o vývoji jezerního pH. Vliv pH na organismy ve vodním prostředí a dobrá indikační schopnost rozsivek byly ale známy už dříve a klasifikaci rozsivek do skupin podle tolerance k pH se věnuje mnoho prací. Nejznámější z raných studií je Hustedtův klasifikační systém (Kennington, 2002). V současnosti jsou k rekonstrukci pH k dispozici rozsáhlé kombinované kalibrační datasety reflektující gradient pH (např. Birks & kol., 1990).

Rozsivky slouží díky druhově specifické toleranci jako neocenitelné indikátory změn koncentrací živin (Kennington, 2002). Nejčastěji je využívána jejich citlivá reakce na dostupnost fosforu, který je limitující živinou v jezerech mírného pásu. V tropických,

subtropických a jezerech aridních oblastí často hrají větší roli v regulaci produktivity sloučeniny dusíku, občas také křemík nebo železo (Cohen, 2003).

Odhad množství fosforu pomocí transferových funkcí z relativního zastoupení taxonů rozsivek je obzvlášť dobrým nástrojem, protože geochemické stanovení fosforu ze sedimentu je díky jeho nestálosti většinou nemožné (Cohen, 2003).

V souvislosti s ochranou vod a jejich vodohospodářským využitím vzniklo množství databází a indexů (např. Kelly & Whitton, 1995; Rott & kol., 1997, 1999; Marvan & kol., 2011), hodnotících úroveň saprobity, trofie či obecného ekologického stavu na základě tolerancí a optim nalezených taxonů rozsivek.

Dalšími parametry, pro které existují rozsáhlé datasety založené na rozsivkách, jsou salinita a konduktivita, jejichž změny silně ovlivňují skladbu společenstev (Cohen, 2003; Stoermer & Smol, 2010). Salinita může posloužit jako ukazatel poměru srážek a výparu a k rekonstrukci regionálního klimatu (Cohen, 2003). Změny v obsahu a složení iontů a tedy v konduktivitě odráží změny litologie, klimatu, vegetace nebo zásahy člověka (eroze, zavlažování, znečištění) (Potapova & Charles, 2003).

Poměr planktonních a bentických taxonů umožňuje rekonstruovat úroveň vodní hladiny (Stoermer & Smol, 2010). Ačkoli významnými faktory zůstávají dostupnost světla, živin či síla větru, zdá se, že lze na základě rozsivek odhalit pohyby vodní hladiny, pokud přistupujeme k výsledkům s opatrností (Heinsalu & kol., 2008). Nejvhodnější je podpořit odhad hloubky dalšími proxy (Laird & Cumming, 2008).

Velikostní rozrůznění planktonu může být ukazatelem změn teploty. Taxony s menší frustulou a tedy menším poměrem plochy ku objemu a nižšími rychlostmi poklesu by měly být zvýhodněny při nižší intenzitě míchání v podmínkách teplejšího klimatu (Winder & kol., 2009). Oddělit vliv teploty od dalších přímých i nepřímých faktorů je ale obtížné a je potřeba její vliv testovat případ od případu. Teplotní podmínky lze odhadovat i na základě relativního zastoupení taxonů nebo změn jejich strategií v životním cyklu (Battarbee & kol., 2001).

Ačkoli dostupnost světla je hlavním faktorem ovlivňujícím produktivitu i druhové složení planktonu i bentosu, je obtížné tento důležitý parametr na základě fosilních dat odhadnout (Battarbee & kol., 2001).

2.2 Pozdní glaciál a jeho záznam v jezerních sedimentech

Jako pozdní glaciál je označováno období klimatického neklidu těsně před nástupem holocénu, které na severní polokouli začíná prudkým oteplením přibližně

14,7 tisíc let cal BP a končí 11,7 tisíc let cal BP nástupem holocénu (Lowe & Walker, 2015).

Jeho stratigrafie na severní polokouli je vztažena k záznamu izotopů kyslíku v grónském ledovcovém vrtu NGRIP (Lowe & kol., 2008). Dle oscilací v poměru izotopů kyslíku, které jsou ukazatelem změn teploty, se rozlišují chladné stadiály (GS – Greenland Stadial) a klimaticky příznivější interstadiály (GI – Greenland Interstadial). Tyto eventy jsou do určité míry srovnatelné s tradičním dělením na teplejší výkyvy bølling (GI-1e) a allerød (GI-1a-c) oddělené krátkým chladným obdobím staršího dryasu (GI-1d). Mezi allerødem a začátkem holocénu došlo ještě k výraznému ochlazení nazývanému mladší dryas (GS-1) (Stuiver & kol., 1995; Lowe & Walker, 2015).

S rostoucím zájmem o klimatické změny v poslední době je spojen i intenzivní výzkum prudkých výkyvů klimatu na konci glaciálu. Jezerní sedimenty obsahují záznam těchto změn a navíc vypovídají o jejich regionálních odlišnostech. Synchronizací terestrického záznamu z jezer s grónskými ledovcovými vrty se totiž ukazuje, že intenzita nebo načasování změn se na gradientu kontinentality liší (Lowe & kol., 1994, 2008; Birks & Ammann, 2000; Hošek & kol., 2014).

Pro porovnání v rámci různých regionálních vývoje slouží dobře stratifikované dlouhodobé záznamy z lokalit jako je např. Gerzensee (Van Raden & kol., 2013), Gosciadz (Ralska-Jasiewiczowa & kol., 1998) nebo Švarcenberk (Hošek & kol., 2014).

Ke sledování odlišností klimatických změn slouží většinou porovnávání teplotních křivek (Lowe & kol., 1994; Birks & Ammann, 2000), které nám rozsivkový záznam nemůže poskytnout. Existují studie zkoumající poměr izotopů kyslíku z rozsivkových schránek, který však není proxy teploty ale vlhkosti (poměru srážek a výparu), i když samozřejmě se změnami teploty souvisí a lze ho srovnávat s klimatickými výkyvy zaznamenanými v ledovcích (Barker & kol., 2007; Hernandez & kol., 2010).

Rozsivky jsou běžnou součástí pozdně glaciálních sedimentů a nad jejich absencí je spíše potřeba se pozastavit (Kolaczek & kol., 2015). Slouží jako podstatná složka výzkumu změn úrovně hladiny (Galka & kol., 2015; Korponai & kol., 2010), trofie (Zhang & kol., 2014; Cvetkoska & kol., 2014), pH (Bradshaw & kol., 2000) či salinity (Vegas-Vilarrúbia & kol., 2013) v reakci na prudké změny klimatu v pozdním glaciálu.

2.3 Výzkum jezerních sedimentů pozdního glaciálu v ČR

V České republice, jakožto území ležící v glaciálu mimo pevninské zalednění, jsou jezerní sedimenty poměrně vzácné. Ještě vzácnější jsou takové, které poskytují možnost zkoumat období pozdního glaciálu a přechodu do holocénu (Hošek & kol., 2014).

V tomto ohledu zaujímá přední místo zaniklé jezero Švarcenberk v Třeboňské pánvi (Pokorný, 2002; Pokorný & Jankovská, 2000; Pokorný & kol., 2010), které poskytuje dobře stratifikovaný záznam pozdního glaciálu a umožňuje srovnání klimatických oscilací s dalšími evropskými lokalitami (Hošek & kol., 2014).

V nedávné době byly v okolí lokality Švarcenberk (Šída & kol., 2010; Šída & Pokorný, 2011) a rybníku Velký Tisý (Hošek & kol., 2013) pomocí kvartérně-geologického mapování, vrstevnicových map a leteckých ortofotomap vytipovány další jezerní deprese a následně nalezeny jezerní sedimenty. Na základě pylové analýzy a porovnání litologického vývoje s vývojem sedimentů jezera Švarcenberk bylo potvrzeno jejich pozdně glaciální až ranně holocénní stáří (Hošek & kol., 2013), v případě oblasti v okolí jezera Švarcenberk podpořené radiokarbonovým datováním uhlíků do období staršího holocénu (Šída & kol., 2010; Šída & Pokorný, 2011).

Další lokalitou v Třeboňské pánvi je zaniklé jezero Velanská Cesta nedaleko Českých Velenic, jehož pozdně glaciální a raně holocénní sedimenty byly podrobeny geochemické, rozsivkové a makrozbytkové analýze (Bešta & kol., 2009).

Rozsáhlá multidisciplinární analýza sedimentů Plešného jezera byla původně zaměřena na subrecentní změny chemismu. Následně byl ale výzkum rozšířen na celý rozsah odebraného profilu včetně pozdně glaciálních sedimentů. Sedimentům tohoto stáří se v rámci projektu věnovaly pylové a paleoalgologické analýzy (Jankovská, 2006), chemické rozborů sedimentů a analýza perlooček (Pražáková & kol., 2006) i analýza rozsivek (Štefková, 2008).

V oblasti Šumavy se dále sedimentům pozdně glaciálního stáří věnuje palynologická studie Staré jímky zaměřená na výzkum zalednění v okolí Prášílského jezera (Mentlík & kol., 2010).

Záznam spojený se zaledněním Krkonoš můžeme sledovat kromě ústupových morén i v sedimentech karového jezera na dně karového uzávěru Labského dolu vzniklého při ústupu labského ledovce v pozdním glaciálu (Engel & kol., 2010).

Z oblasti jižní Moravy pochází paleobotanické výzkumy pozdně glaciálních a holocénních sedimentů zaniklého jezera Vracov (Rybníčková & Rybníček, 1972) a Čejčského jezera (Břízová, 2009).

Jednou z lokalit zkoumanou při rekonstrukci nížinné vegetace v pozdním glaciálu byly i sedimenty zaniklého jezera na místě dnešního mokřadu Hrabanovská černava v Polabí (Petr & Novák, 2014).

2.4 Historie výzkumu pozdně glaciálních sedimentů Komořanského jezera

Výzkum sedimentů Komořanského jezera započal Wettstein (1896) nálezem subfossilních plodů kotvice plovoucí (*Trapa natans* var. *coronota*). Na základě stejného materiálu provedl Lühne (1897) první výzkum rozsivek.

Rozsáhlé paleobotanické výzkumy Karla Rudolpha (1926) se zaměřovaly na rekonstrukci vegetace v postglaciálu a snažily se o propojení s archeologickými nálezy. Rudolphův žák Hubert Losert se již věnoval i pozdně glaciálním sedimentům a pro své výzkumy (Losert, 1940) měl k dispozici i sedimenty z centrální části jezerní pánve, které byly později odtěženy a pro další výzkum ztraceny.

Franz Firbas provedl palynologické rozborů pozdně glaciálních i holocénních sedimentů a vytvořil chronologii (Firbas, 1949) později upravenou Emilem Neústupným (1985) a Vlastou Jankovskou (1983, 1984, 1988).

Paleobotanické studie prováděné na sedimentech Komořanského jezera byly už od počátku spjaté s archeologickým výzkumem (Wettstein, 1896; Rudolph, 1926). Zatímco Neústupný (1985) z archeologického hlediska dlouhodobě zpracovával období holocénu a poskytl materiál z tohoto období pro studium rostlinných zbytků (Pacltová & Žertová, 1959), Slavomil Vencl se věnoval lidskému osídlení v pozdním paleolitu a mezolitu a částečně tedy vycházel z pozdně glaciálních sedimentů (Vencl, 1970, 1994).

Studie věnující se geologickým aspektům výplně jezerní pánve se samozřejmě pozdně glaciálním sedimentům na bázi profilu věnovaly, zvláště protože se snažily objasnit otázku vzniku jezera (Žebera, 1964; Hurník, 1969).

Palynologické a paleoalgologické analýzy vycházející ze záchranných odběrů v 80. letech 20. století se věnují rekonstrukci vegetace a prostředí jezera v pozdním glaciálu a holocénu (Jankovská, 2000, 2011; Jankovská & Pokorný, 2013). Výsledky z Komořanského jezera byly použity i v souhrnné práci o vztahu vegetace a živočichů v průběhu pozdního glaciálu a holocénu (Jankovská, 1995).

Výzkumy rozsivek Zdeňky Řehákové cílily převážně na období holocénu a interpretaci podmínek v pozdním glaciálu se spíše vyhýbají (Řeháková & kol., 1961; Řeháková, 1962, 1983, 1985, 1986, 1987).

Rozsivkové analýzy z poslední doby se zabývají změnami klimatu v holocénu a sedimenty pozdního glaciálu zpracovávají velmi okrajově při zachycení hranice pleistocénu a holocénu (Bešta & kol., 2015; Houfková & kol., v přípravě).

3 Materiál a metody

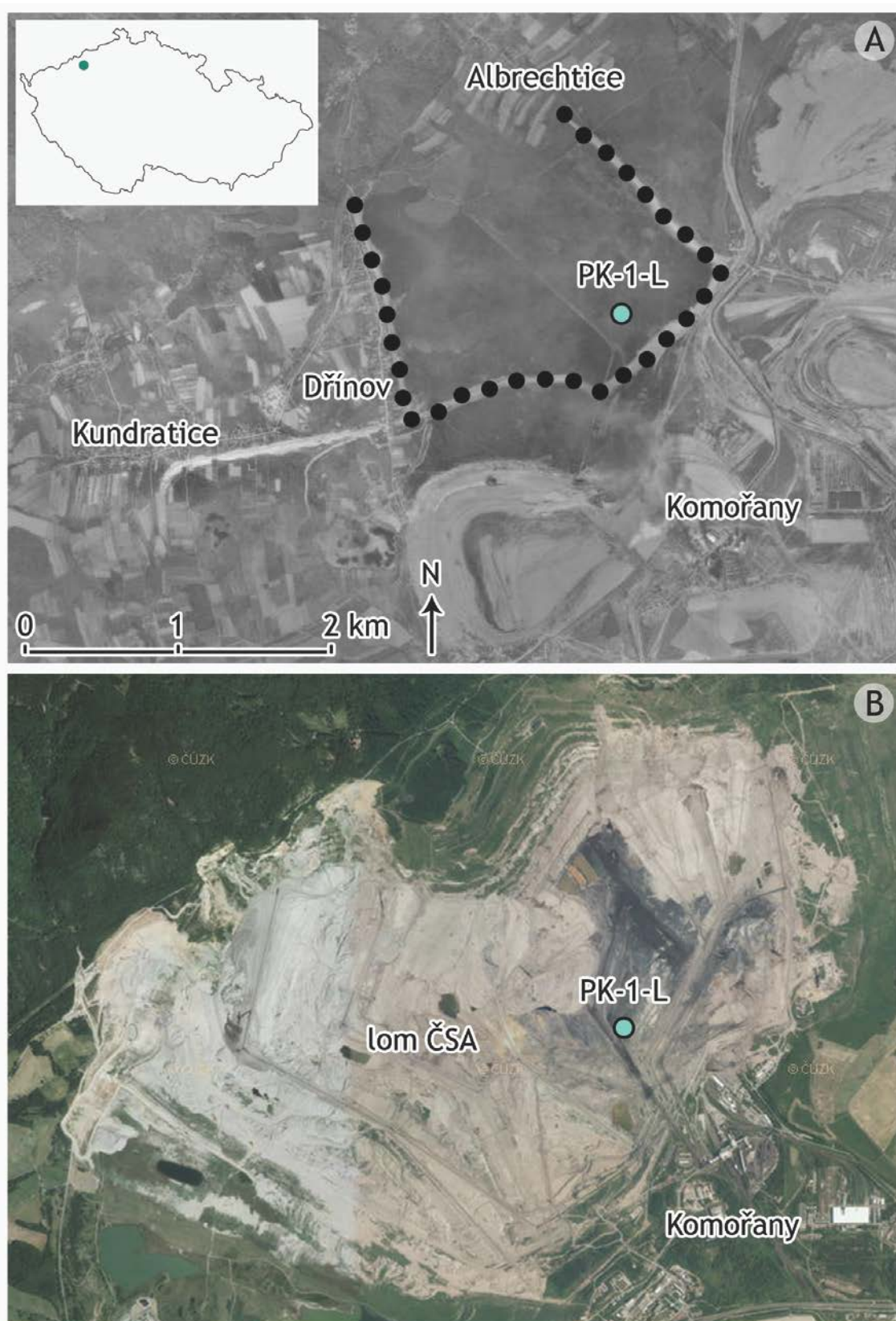
3.1 Studovaná lokalita

Komořanské jezero se nacházelo v severozápadních Čechách v podhůří Krušných hor ve výšce 230 m n. m. (Jankovská, 2011). Rozlévalo se mezi obcemi Souš, Komořany, Ervěnice a Horní Jiřetín na toku řeky Bíliny (Obr. 1) a jeho sedimenty ležely v přímém nadloží miocénních jíílů výplně severočeské (mostecké) hnědouhelné pánve (Řeháková, 1985).

Údaje o rozloze se liší, ale jako maximální rozsah vodní hladiny je uváděno 25 km² (Řeháková, 1986; Jankovská, 2011), což potvrzuje pozici jezera jako někdejšího největšího nížinného jezera v České republice. Hloubka jezera patrně nepřesahovala 10 metrů, reliéf dna se svažuje ke korytu Bíliny (Hurník, 1969; Řeháková, 1986).

Typický litologický vývoj jezera (bazální štěrky nebo hrubé písky, jemně zrnité písky, písčité jííl, gyttja a rašelina) odráží postupné přirozené zazemňování nádrže (Řeháková, 1985), které vyvrcholilo umělým vysušením posledních zbytků jezera v roce 1834 (Zapletal, 1954).

Detailněji se věnuji charakteristice a historii výzkumu Komořanského jezera ve své bakalářské práci (Poštulková, 2014).



Obr. 1: A: Na letecké mapě z roku 1953 (CENIA, 2009) je označeno místo odběru profilu PK-1-L ($50^{\circ}32'22.226''N$, $13^{\circ}32'2.056''E$) a přerušovanou čarou hráz Dřínovské nádrže (Dušek, 2008).

B: Ilustrace současného stavu lokality (CENIA, 2009).

3.2 Odběr a skladování profilu

Profil PK-1-L byl odebrán Jankovskou, Klápštěm a Benešem pomocí Kubienových krabic (50x10x10 cm) 11. 6. 1987 na místě vypuštěné Dřínovské nádrže (Obr. 1). Místo odběru bylo zaměřeno v souřadnicovém systému S-JTSK a z něj vypočteny souřadnice GPS (50°32'22.226"N, 13°32'2.056"E).

Profil byl skladován při 4 °C do roku 2008, poté byl sedimentologicky popsán a oddělena část sedimentu pro analýzy.

3.3 Datace profilu

Pomocí AMS (atomová hmotnostní spektrometrie) ¹⁴C bylo v laboratoři CAIS (Center for Applied Isotope Studies, University of Georgia, Athens) datováno pět vzorků gyttji z úrovní 144,5, 139,5, 136,5, 134 a 114,2 cm. Na jejich základě byl Mgr. Tomášem Beštou, Ph.D. vytvořen v programu OxCal 4.2.4 (Bronk Ramsey, 2013) lineárním proložením dat a kalibrací na cal BP (kalibrační křivka IntCal 13 (Reimer & kol., 2013) datový model (Poisson-process deposition model (Bronk Ramsey, 2008, 2009) se 2,5 postulovanými „eventy“ na cm (k=2,5) (Příloha 1).

3.4 Ztráta žíháním – LOI (loss-on-ignition)

Pro zjištění obsahu organické hmoty v sedimentu byl suchý sediment o známé hmotnosti žíhán v muflové peci při teplotě 550 °C po dobu čtyř hodin. Rozdílem hmotností byl určen poměrný obsah organické hmoty (Boyle, 2001).

3.5 Rozsivková analýza

3.5.1 Studovaná část profilu a rozsah analýzy

Pro rozsivkovou analýzu byl vybrán z celkové mocnosti profilu PK-1-L (150 cm) úsek jílovité a vrstevnaté gyttji při bázi profilu (128–143,6 cm), který odpovídá období pozdního glaciálu a nástupu holocénu. Část sedimentu byla oddělena a rozdělena po 2 mm (v úsecích 139,4–140 cm a 142–143,6 cm po 4 mm).

Bylo vytvořeno 87 trvalých preparátů, pro počítání valv bylo použito 32 z nich tak, aby ve stejnoměrných rozestupech reprezentovaly rozsah studovaného úseku. Pro analýzu byly použity pouze preparáty s hustotou valv na zorné pole příznivou pro sčítání (Battarbee, 1986).

3.5.2 Izolace rozsivek ze sedimentu

Vzorky byly zpracovávány v laboratoři katedry ekologie Přírodovědecké fakulty UK v Praze. Při preparaci rozsivek a tvorbě trvalých preparátů jsem postupovala na základě dostupné literatury: (Kalina, 1994; Gabrielová, 1986; Krammer & Lange-Bertalot, 1986; Battarbee & kol., 2001; Marvan & Heteša, 2006).

Pro odstranění organické hmoty byly vzorky vařeny ve 20–25 ml 30% H₂O₂, dokud se téměř všechna tekutina neodpařila. Poté byly přelity do 15 ml zkumavek a dolity destilovanou vodou do 14 ml. Byly ponechány alespoň 24 hodin stát, pipetou byl opatrně odstraněn supernatant a opět doplněna destilovaná voda. Proces vymývání byl pětkrát opakován, dokud nebyl zbylý H₂O₂ odstraněn.

3.5.3 Příprava trvalých preparátů

Vymyté vzorky byly protřepány a roztok byl nanesen pipetou na krycí sklo s již připravenou destilovanou vodou, roztokem mikrosfér a slabým roztokem NH₃ (Battarbee & kol., 2001). Všechny složky preparátu byly pečlivě odměřeny kvůli následné kvantitativní analýze. Po prohlédnutí pod mikroskopem byly vzorky nevhodné pro počítání valv zhotoveny v odlišné koncentraci. Celkový objem tekutiny na krycím skle ale vždy činil 700 µl.

Preparáty byly zafixovány syntetickou pryskyřicí Naphrax s vysokým indexem lomu (Fleming, 1954).

3.5.4 Počítání valv a určování taxonů

Valvy byly počítány při celkovém zvětšení 1000x za použití imerzního oleje na mikroskopu Nikon Eclipse E400 s fotoaparátem Canon EOS650D na katedře ekologie Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy v Praze.

Zorná pole byla vybírána náhodně tak, aby se příliš neopakovala v malé oblasti preparátu. Byly počítány valvy jak z valvárního, tak pleurálního pohledu. Za jednu valvu byly považovány ty zachované alespoň ze $\frac{3}{4}$ nebo středové pole + polární část nebo 2 apikální části. O problematice počítání rozlámaných frustul pojednává Kahlert & kol. (2012).

V intervalu po jednom centimentru (128,4 cm, 129,4 cm,...) bylo počítáno alespoň 700 valv za paralelního počítání mikrosfér, aby bylo zachyceno co nejvíce taxonů vzhledem k dominanci rodu *Staurosira*. Pro potlačení vlivu dominanty bylo ve zbývajících 16 vzorcích vyplňujících mezery po půl centimetru (128 cm, 129 cm,...)

počítáno 500 valv bez zástupců rodu *Staurosira*, ti byli v těchto vzorcích počítáni s menší přesností do dosažení počtu 100 valv nebo 100 mikrosfér. Dominance zástupců rodu *Staurosira* (dříve *Fragilaria*) je častým jevem a jejich vyloučení ze sčítání valv navrhuje Battarbee (1986).

Postup při počítání rozsivek je detailně popsán v Battarbee & kol. (2001).

Do taxonů byly rozsivky určovány dle Krammer (2000, 2002, 2003), Krammer & Lange-Bertalot (1986, 1988, 1991a, 1991b), Lange-Bertalot (2001) a Hofmann & kol. (2011). Určovací klíče řady Süßwasserflora von Mitteleuropa (Krammer & Lange-Bertalot, 1986, 1988, 1991a, 1991b) sice už nejsou ve všech směrech aktuální, ale pro potřeby další analýzy bylo jejich širší pojetí některých taxonů výhodné (viz kapitola 4.3.3 *Sladění taxonomie s EDDi a OMNIDIA*). Pro vyhledání synonymních názvů taxonů byly použity internetové databáze: (Index Nominum Algarum; Catalogue of Diatom Names; AlgaeBase (Guiry & Guiry, 2016)).

3.5.5 Koncentrace valv

Při počítání valv pro zjištění relativního zastoupení taxonů byly souběžně počítány polystyrenové mikrosféry, přidané do preparátu z roztoku o známé koncentraci (počet mikrosfér/ml). Díky tomu bylo možné zjistit počet valv/ml a poté přepočíst dle navážky na počet valv/g suchého sedimentu. Při zjišťování koncentrace valv jsem postupovala dle Battarbee & kol. (2001).

Pro stanovení suché váhy byl sediment o známé hmotnosti sušen po dobu šesti hodin při 105 °C (Boyle, 2001). Rozsivky byly izolovány ze sedimentu, který nebyl podroben sušení, aby se co nejvíce předešlo poškození valv.

3.5.6 Shluková analýza a rozdělení do DAZ

Na relativní druhové zastoupení rozsivek ve vzorcích byla aplikována aglomerativní shluková analýza CONISS (constrained incremental sum-of-squares) (Legendre & Birks, 2012) v programu TILIA 1.7.16 (Grimm, 2011). Pro transformaci dat byla zvolena odmocninná transformace, jako index odlišnosti „Edwards & Cavalli-Sforza's chord distance“.

Výsledkem analýzy je kladogram vzájemné podobnosti relativního druhového složení rozsivkových asociací ve vzorcích, v tomto případě s ohledem na pořadí vzorků, aby byla zachována jejich posloupnost v profilu. Výsledky shlukové analýzy sloužily jako pomůcka pro určení rozsivkových akumulčních zón (DAZ).

3.5.7 Rekonstrukce pH, TP a konduktivity pomocí transferových funkcí

3.5.7.1 Transferové funkce

Transferové funkce umožňují kvantitativní rekonstrukci podmínek prostředí na základě druhového zastoupení a abundance fosilních zbytků organismů. Základem je kalibrační (training/calibration) dataset, který spojuje výskyt a abundanci recentních druhů s parametry prostředí přímo naměřenými na lokalitě odběru. O správném postupu a problémech při tvorbě kalibračního datasetu pojednává blíže Juggins & Birks (2012).

Regresí vztahu recentních společenstev a parametrů prostředí (klasickým nebo inverzním přístupem) je vytvořena vlastní transferová funkce, která je použita v kalibračním kroku (calibration step) k výpočtu parametrů prostředí ze struktury fosilního společenstva (Stoermer & Smol, 2010; Juggins & Birks, 2012).

3.5.7.2 EDDi

Potřebné transferové funkce a kalibrační datasety jsou k dispozici na EDDi (European Diatom Database). Lze je použít buď online, nebo si stáhnout programy WinTran (převod .xls do formátu .cep) a ERNIE, který obsahuje kalibrační datasety a umožňuje provádět potřebné analýzy.

3.5.7.3 Výběr odpovídajícího kalibračního datasetu

EDDi obsahuje celkem 20 kalibračních datasetů pro výpočet pH, konduktivity, TP, TOC (celkového organického uhlíku) a aniontů. Pro každý parametr obsahuje kombinovaný dataset a potom dílčí lokální datasety. Bylo třeba nalézt pro každý parametr kalibrační dataset, který se nejlépe shoduje s fosilními daty.

Shodu jsem ověřovala v programu ERNIE nejprve pomocí funkce „Verify“, která umožňuje prohlédnout taxony použité pro analýzu a zkontrolovat tak i případné chyby v přepisu kódů. Tuto funkci jsem použila vždy pro kombinovaný dataset každého parametru. Pokud pro analýzu nebyl použit taxon hojný ve fosilních datech, snažila jsem se nalézt alternativní kódové označení v některém z agregátů taxonů.

Po kontrole kódů jsem použila metodu MAT (Modern Analogue Technique), která určí vzdálenosti vzorku od jeho nejbližších analogů (v programu ERNIE nejbližších pěti) a na jejich základě vypočte hodnotu environmentálního parametru (Juggins & Birks, 2012). Pro hledání nejvhodnějšího datasetu byla ale podstatná vzdálenost k nejbližšímu analognímu vzorku (chi-square chord distance – ve výstupu

programu označena jako minDC). Pokud je menší než 100, považujeme shodu za dobrou, hodnoty mezi 100 a 150 jsou také vyhovující, ale hranici 150 by přesáhnout neměla (Juggins, 2001).

3.5.7.4 WA – *Weighted Averaging*

Metoda „weighted averaging“ vychází z předpokladu, že reakce druhů na gradient prostředí nemá lineární, ale unimodální charakter. Na základě úvahy, že čím víc se podmínky blíží optimu druhu, je druh abundantnější, jsou spočítána optima pro daný parametr prostředí. Tomuto procesu říkáme WA regrese (Juggins & Birks, 2012).

$$\hat{u}_k = \frac{\sum_{i=1}^n y_{ik} x_i}{\sum_{i=1}^n y_{ik}}$$

U aplikace na fosilní data (WA kalibrace) uvažujeme obdobně, že rekonstruované podmínky byly nejvíce podobné optimu dominantního druhu (Juggins & Birks, 2012).

$$\hat{x}_0 = \frac{\sum_{k=1}^m y_{ik} \hat{u}_k}{\sum_{k=1}^m y_{ik}}$$

n – počet vzorků

\hat{u}_k – optimum taxonu k

y_{ik} – abundance taxonu k ve vzorku i

x_i – proměnná prostředí ve vzorku i

m – počet taxonů

\hat{x}_0 – odhad prostředí v minulosti (rekonstruovaná proměnná)

Pokud se rekonstruovaná hodnota pohybuje na okraji gradientu zvoleného datasetu, je vhodné použít metodu „classical deshrinking“, pokud se více blíží průměrné hodnotě, pak je vhodnější „inverse deshrinking“ (Birks, & kol., 1990).

U kombinovaných datasetů jsou k dispozici i další regresní metody: WA-PLS (weighted averaging-partial least squares) nebo LWAA (locally weighted weighted averaging). Pro výpočet parametrů byla ale nakonec zvolena základní WA regrese, která principem výpočtu pomocí váženého průměrování lépe odpovídá indexům a byla tedy

vhodnější variantou vzhledem k následnému porovnávání výsledků transferových funkcí a indexů.

3.5.8 Rekonstrukce saprobity a trofie pomocí indexů

K výpočtu indexů trofie a saprobity byl použit program OMNIDIA 5.1 (Lecoite, 2014). Taxonům byly přiřazeny kódy na základě databáze dostupné v programu. Na rozdíl od práce s EDDi, neobsahuje OMNIDIA kódy pro agregáty taxonů, je ale možné přiřadit kód na rodové úrovni. Data byla upravena do formalizované tabulky dle požadavků programu a importována ve formátu TXT (odděleným tabulátory). Pro každý vzorek pak lze v programu OMNIDIA spočítat zvolené indexy.

Na doporučení Mgr. Tomáše Bešty, Ph. D. byl Sládečkův index počítán zvlášť, protože podlehl aktualizaci (Marvan & kol., 2011).

Princip výpočtu většiny indexů je obdobný jako kalibrační krok u váženého průměrování v transferových funkcích. Jedná se o aritmetický průměr indikačních hodnot taxonů vážených jejich indikační vahou (reprezentující jejich valenci k rekonstruovanému parametru) a abundancí (Marvan & kol., 2011).

$$I = \frac{\sum_{k=1}^m h_k y_{ik} I_k}{\sum_{k=1}^m h_k y_{ik}}$$

h_k – indikační váha taxonu k

I_k – indikační hodnota taxonu k

m – počet taxonů

y_{ik} – abundance taxonu k ve vzorku i

3.5.8.1 Indexy trofie (TDI, TID)

Trophic Diatom Index (TDI) byl vyvinut pro sledování organického znečištění řek ve Velké Británii na základě 86 druhů rozsivek s odpovídající citlivostí. Testování na 70 lokalitách ukázalo, že odpovídá koncentraci fosforu ve vodním prostředí lépe než předešlé indexy. Jako pomocný parametr autoři zavádí poměrné zastoupení taxonů tolerantních ke znečištění. Hodnoty indexu se pohybují od 1 (čistá voda) do 5 (nejvíce znečištěná), pro možnost porovnání s jinými indexy je výstup indexu převeden do škály 0–100 (Kelly & Whitton, 1995).

Rottův index trofie (TID) je rakouský index pro stanovení trofie v tekoucích vodách. Nabývá hodnot od 0,3 po 3,9 a hodnotí stav sladkovodního prostředí dle následující stupnice (Rott, & kol., 1999):

Ultraoligotrofie	< 1
Oligotrofie	1,1–1,3
Oligo-mezotrofie	1,4–1,5
Mezotrofie	1,6–1,8
Mezo-eutrofie	1,9–2,2
Eutrofie	2,3–2,6
Eu-polytrofie	2,7–3,1
Polytrofie	3,2–3,4
Poly-hypertrofie	> 3,4

3.5.8.2 *Indexy saprobity (SID, SLA)*

Rottův index saprobity (SID) je rakouský index hodnotící úroveň saprobity. Nabývá hodnot od 1 po 3,8 a určuje stav vod dle následující stupnice (Rott, & kol., 1997):

Oligosaprobita	< 1,3
Oligosaprobita - β -mezosaprobita	1,4–1,7
β -mezosaprobita	1,8–2,1
β -mezosaprobita - α -mezosaprobita	2,2–2,5
α -mezosaprobita	2,6–3,0
α -mezosaprobita - polysaprobita	3,1–3,4
Polysaprobita	> 3,5

Sládečkův saprobní index vznikl v českém prostředí a hodnotí úroveň saprobity na stupnici od -1,5 do 8,5, přičemž pro limnosaprobity, která plně pokrývá kontext předkládané práce, platí rozmezí 0–4. V současnosti je saprobní index používán jako hlavní nástroj hodnocení povrchových vod podle fyto-bentosu ve formě EQR (ecological quality ratio) a dochází tak k posunu z použití k hodnocení čistě saprobnímu k hodnocení obecně ekologickému, tedy přímo k „nespecifickému“ hodnocení znečištění vodního prostředí (Marvan & kol., 2011). Různé úrovně saprobity uvedené v Sládeček (1986), Sládeček & Sládečková (1996):

Xenosaprobity	-0,51–0,5
Oligosaprobity	0,51–1,5
β -mezosaprobity	1,51–2,5
α -mezosaprobity	2,51–3,5
Polysaprobity	3,51–4,5

3.5.9 Korelace vybraných parametrů

Pro odhalení dalších vztahů zjištěných parametrů a ověření vztahů vyplývajících z grafického znázornění byl pro proměnné vypočten Spearmanův korelační koeficient ($p < 0,05$), který je vhodný k posuzování závislosti asymetricky rozdělených dat (Ježek, 2013). Tabulky znázorňující hodnotu korelačního koeficientu společně s grafy vyjadřujícími orientaci závislosti byly vytvořeny v programu Tinn-R 3.0.3.5 (Faria, 2014). Porovnávány byly: koncentrace valv, LOI, koncentrace celkového fosforu zjištěná transferovou funkcí (TP_WA), indexy saprobity a trofie pro celé rozsivkové společenstvo (SID, SLA, TDI, TID) a indexy saprobity a trofie počítané s vyloučením dominantních druhů (SID_c, SLA_c, TDI_c, TID_c).

4 Výsledky

4.1 Datový model

Dle datového modelu (Příloha 1) se hranice mezi pleistocénem a holocénem (11 650 let cal BP) (Stuiver & kol., 1995) nachází v hloubce 134,1–134,9 cm a dochází na ní k výraznému zvýšení sedimentační rychlosti (na průměrně 0,1 mm/rok) směrem do holocénu. Přímo do studovaného úseku spadají celkem tři ^{14}C AMS data z celkových pěti (z hloubek 134, 136,5 a 139,5 cm). Sedimentační rychlost je nižší v úseku 134–139,5 cm (průměrně 0,02 mm/rok) a opět stoupá od 139,5 cm směrem k bázi (průměrně 0,05 mm/rok).

4.2 Sedimentologický popis

Profil PK-1-L je tvořen štěrkem a pískem (150–145 cm), jílovitou gyttjou (145–135 cm), vrstevnatou gyttjou (135–100 cm), vrstevnatou tmavou gyttjou (100–26 cm) a bílou gyttjou, pravděpodobně už sedimentem Dřínovské nádrže (26–0 cm).

Studovaná část profilu se nachází v úseku jílovitě a vrstevnaté gyttji, jejichž přechod zhruba odpovídá hranici pleistocén/holocén tak, jak je určena datovým modelem. Při zkoumání preparátů pod mikroskopem byl také patrný nárůst množství klastů v poměru k valvám v hloubce 134–135 cm a množství a velikost klastů se směrem k bázi dále zvyšovaly.

4.3 Rozsivková analýza

4.3.1 Zachování valv

Schránky byly zejména ve spodní části profilu značně rozlámané. Menší a odolnější frustuly byly v dobrém stavu, ale ze zástupců větších rozměrů bylo možné často nalézt jen středová pole (rody *Gyrosigma*, *Pinnularia*, *Navicula*, *Caloneis*, *Gomphonema*, *Neidium*, *Stauroneis*, *Sellaphora*) nebo úlomky valv (rody *Epithemia*, *Hantzschia*, *Eunotia*, *Nitzschia*, *Surirella*, *Cymatopleura*). Zvláště poškozené byly frustuly někdejších zástupců rodu *Fragilaria* s dlouhými schránkami (*Fragilaria tenera*, *Ulnaria ulna*, *Fragilariforma nitzschioides*).

V takových případech byla snaha nalézt dobře zachovalého zástupce, dle kterého bylo možné ověřit příslušnost do druhu a přiřadit k němu i hůře určitelné úlomky.

Při počítání rozlámaných valv bylo postupováno způsobem popsáním v kapitole 3.5.4 *Počítání valv a určování taxonů*.

4.3.2 Nalezené taxony

Celkem bylo rozpoznáno v rámci studovaného úseku profilu 78 taxonů rozsivek. Vzhledem ke značnému poškození schránek, bylo možné určit některé valvy pouze do rodů, v ojedinělých případech jen do čeledi (Naviculaceae). Do celkového počtu rozeznávaných taxonů jsou ale zahrnuty pouze ty určené alespoň do druhu. Jejich úplný soupis naleznete v Příloze 2 a fotografie nejběžnějších taxonů v Příloze 3. Nejhojnější byli zástupci drobného tycho planktonu řazení dříve do taxonu *Fragilaria construens* s. l. Ehrenberg (*Staurosira construens* Ehrenberg, *Staurosira construens* var. *binodis* (Ehrenberg) P. B. Hamilton, *Staurosira venter* (Ehrenberg) Cleve & J. D. Möller).

Poznámku zasluhuje kategorie *Staurosira* sp. 1, která je sběrnou skupinou pro velmi drobné zástupce bez typického tvaru, takže nebylo možné přesně stanovit jejich příslušnost. Patrně se jedná o malé valvy *Staurosira construens* Ehrenberg anebo *Staurosira venter* (Ehrenberg) Cleve & J. D. Möller.

4.3.3 Sladění taxonomie s EDDi a OMNIDIA

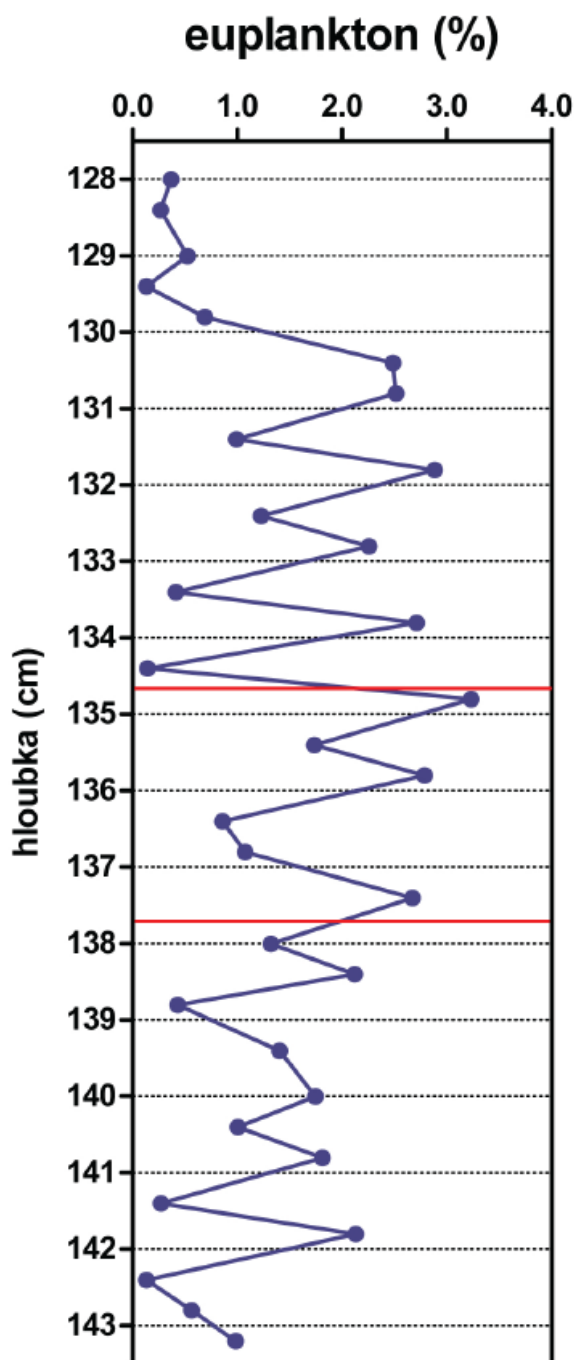
Vzhledem k tomu, že EDDi (European Diatom Database) vychází ze starší určovací literatury Süßwasserflora von Mitteleuropa (Krammer & Lange-Bertalot, 1986, 1988, 1991a, 1991b), vytvořila jsem přehlednou synonymiku aktuálně platných názvů s jejich ekvivalenty, které pak bylo nutné zadávat do databáze při hledání kódů pro program ERNIE (Příloha 4).

V případě, že nebyl kód pro taxon v databázi nalezen, byl zařazen na úroveň rodu (*Lindavia* cf. *balatonis* (Pantocsek) T. Nakov et al., *Pseudostaurosira polonica* (M. Witak & Lange-Bertalot) E. A. Morales & M. B. Edlund).

Zároveň se po ověření fosilních dat proti kombinovaným kalibračním datasetům ukázalo, že pro zlepšení shody je nutné některé taxony sloučit do dříve šířeji pojatých celků (*Achnanthes lanceolata* s. l. (Brébisson) Grunow, *Fragilaria construens* s. l. (Ehrenberg) Grunow) anebo je do datasetu vložit pod jiným kódem odpovídajícím zjišťovanému parametru. Taxon byl totiž často zahrnut v databázi pod vlastním kódem (ten se např. vyskytoval jen v kalibračním datasetu pro výpočet pH), ale zároveň byl v agregátu více druhů s jiným kódem (obsaženým např. v kalibračním datasetu pro salinitu).

Názvy taxonů v programu OMNIDIA 5.1 (Lecoite, 2014) byly natolik aktuální, že nebylo potřeba hledat pomocí synonym ani slučovat taxony.

4.3.4 Poměr plankton/bentos



Životní strategie nalezených taxonů byla určena dle kategorií zavedených Denysem (1991) dostupných v programu OMNIDIA 5.1 (Lecoite, 2014). Do poměrného zastoupení planktonu byly zahrnuty pouze euplanktonní taxony, tytoplankton byl považován za součást bentosu.

Euplanktonní taxony byly v profilu nalezeny pouze tři: *Aulacoseira ambigua* (Grunow) Simonsen, *Lindavia* cf. *balatonis* (Pantocsek) T. Nakov et al. a *Belonastrum berolinensis* (Lemmermann) Round & Maidana. Relativní zastoupení euplanktonu bylo v průběhu celého zkoumaného úseku profilu v prvních jednotkách procent, nejvyšší hodnoty se pohybovaly okolo 3% (Obr. 2).

Obr. 2: Průběh poměrného zastoupení euplanktonu. Kolísání mezi sousedními vzorky je způsobeno odlišnou metodikou sčítání valv. Červeně jsou vyznačeny hranice DAZ (rozsivkových akumulčních zón).

4.3.5 Rekonstrukce parametrů vodního prostředí

4.3.5.1 Rekonstrukce pH, TP a konduktivity pomocí transferových funkcí

Pro rekonstrukci pH, TP a konduktivity byla použita metoda WA (weighted averaging) v programu ERNIE. Jako kalibrační datasety byly použity kombinované datasety, vzhledem k tomu, že vykazovaly nejlepší shodu při ověření MAT (modern analogue technique). Z lokálních datasetů vykazoval lepší shodu než kombinovaný jen North-western European dataset pro TP, přesto byl nakonec zvolen kombinovaný dataset, jakožto bezpečnější varianta při aplikaci na fosilní data nepocházející přímo z geografické (geologické) oblasti vzniku datasetu (Juggins, 2001).

Rekonstruované hodnoty pH a konduktivity se pohybovaly na okrajích gradientu kalibračních datasetů, proto byly počítány metodou „classical deshrinking“. Pro TP byla použita metoda „inverse deshrinking“, protože se blížila více průměrné hodnotě kalibračního datasetu (Juggins, 2001).

Predikční schopnosti všech modelů jsou silné a vysoce signifikantní, jak ukazují výstupy z testů provedených programem ERNIE:

pH:

"Jackknife" errors or errors of "prediction"		
	Inverse	Classical
RMSE	0.46114	0.50937
r2	0.75623	0.7567
Ave Bias	0.0042676	0.0055564
Max Bias	0.54009	0.13637

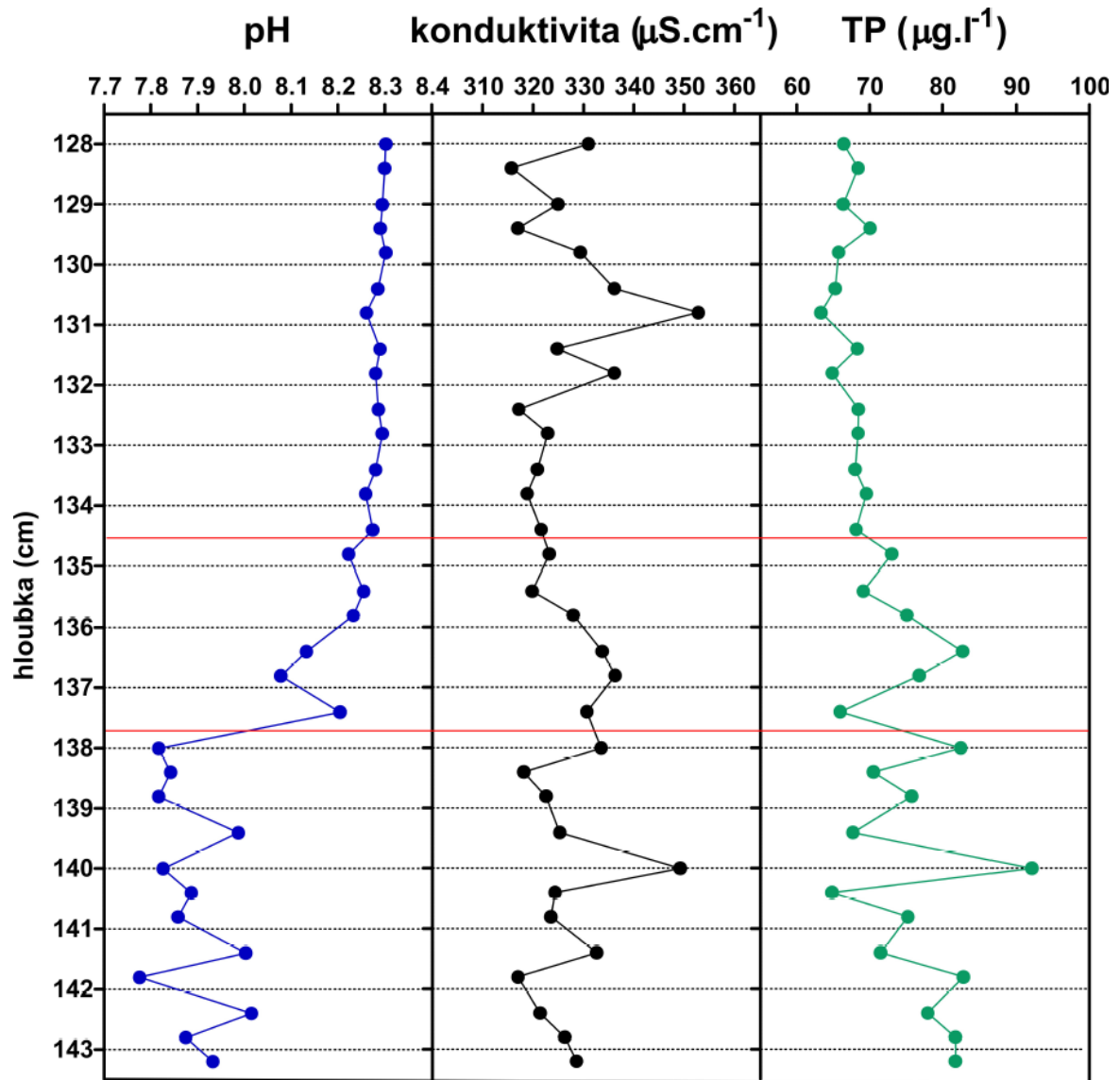
TP:

"Jackknife" errors or errors of "prediction"		
	Inverse	Classical
RMSE	0.33377	0.38594
r2	0.63716	0.63857
Ave Bias	0.0028626	0.0038784
Max Bias	0.71918	0.49712

Konduktivita:

"Jackknife" errors or errors of "prediction"		
	Inverse	Classical
RMSE	0.45257	0.47504
r2	0.76563	0.76608
Ave Bias	0.020124	0.023628
Max Bias	0.75478	0.50588

Na Obr. 3 jsou znázorněny střední hodnoty vypočtených parametrů, v Příloze 5 jsou uvedeny parametry i se střední chybou průměru.



Obr. 3: Střední hodnoty parametrů rekonstruovaných pomocí transferových funkcí. Červeně označeny hranice DAZ (rozsivkových akumulacních zón).

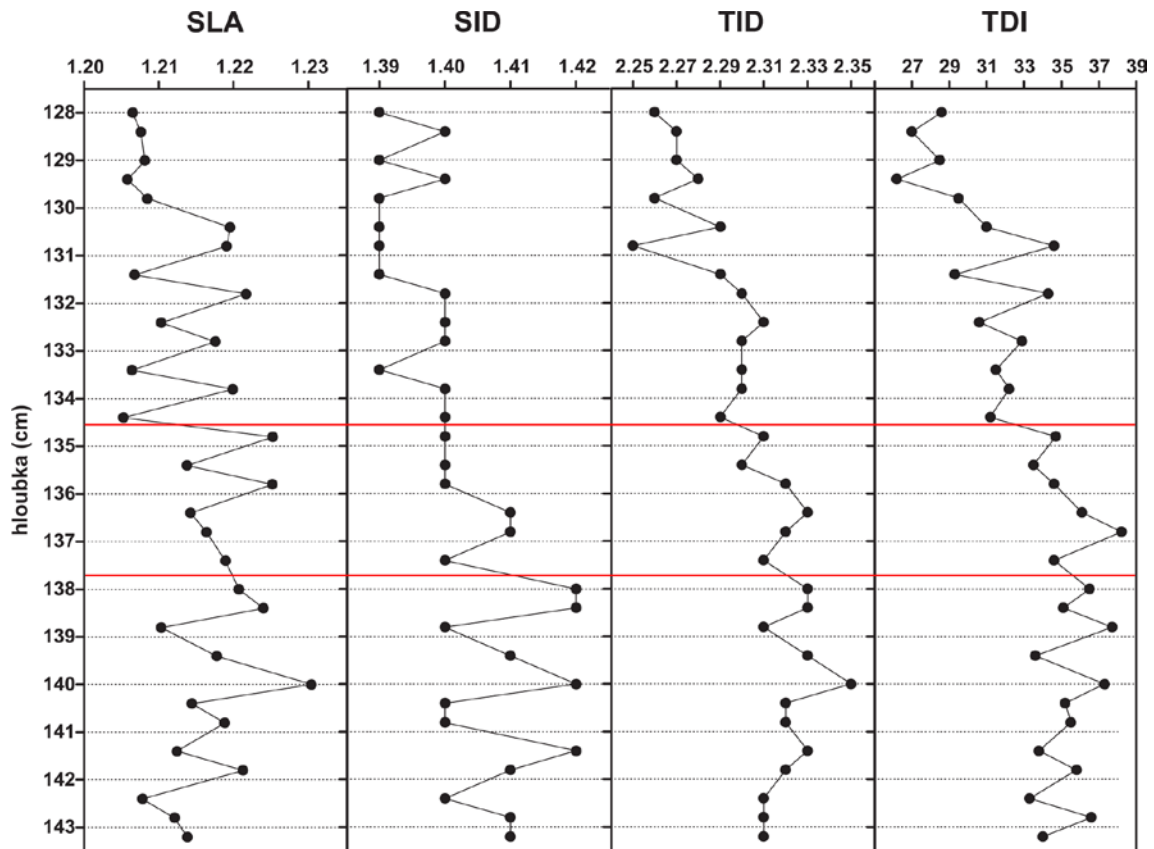
4.3.5.2 Rekonstrukce saprobity a trofie pomocí indexů

Vypočítané hodnoty indexů v programu OMNIDIA 5.1 (Lecointe, 2014) (TID, SID, TDI) a programu MS Excel (SLA) byly převedeny do grafů (Obr. 4) a dle dostupných klasifikačních stupnic odečteny odpovídající úrovně trofie a saprobity.

Rottův i Sládečkův saprobní index ukazují na oligosaprobní prostředí.

Hodnoty Trophic Diatom Index (TDI) spadají do 2. úrovně trofie, která by měla odpovídat množstvím fosforu ve vodě v rozmezí 0,01–0,035 mg/l (Kelly & Whitton,

1995). Tato koncentrace fosforu odpovídá mezotrofnímu stupni (Hartman & kol., 2005). Rottův trofický index (TID) nabývá hodnot na hranici mezo-eutrofie a eutrofie.



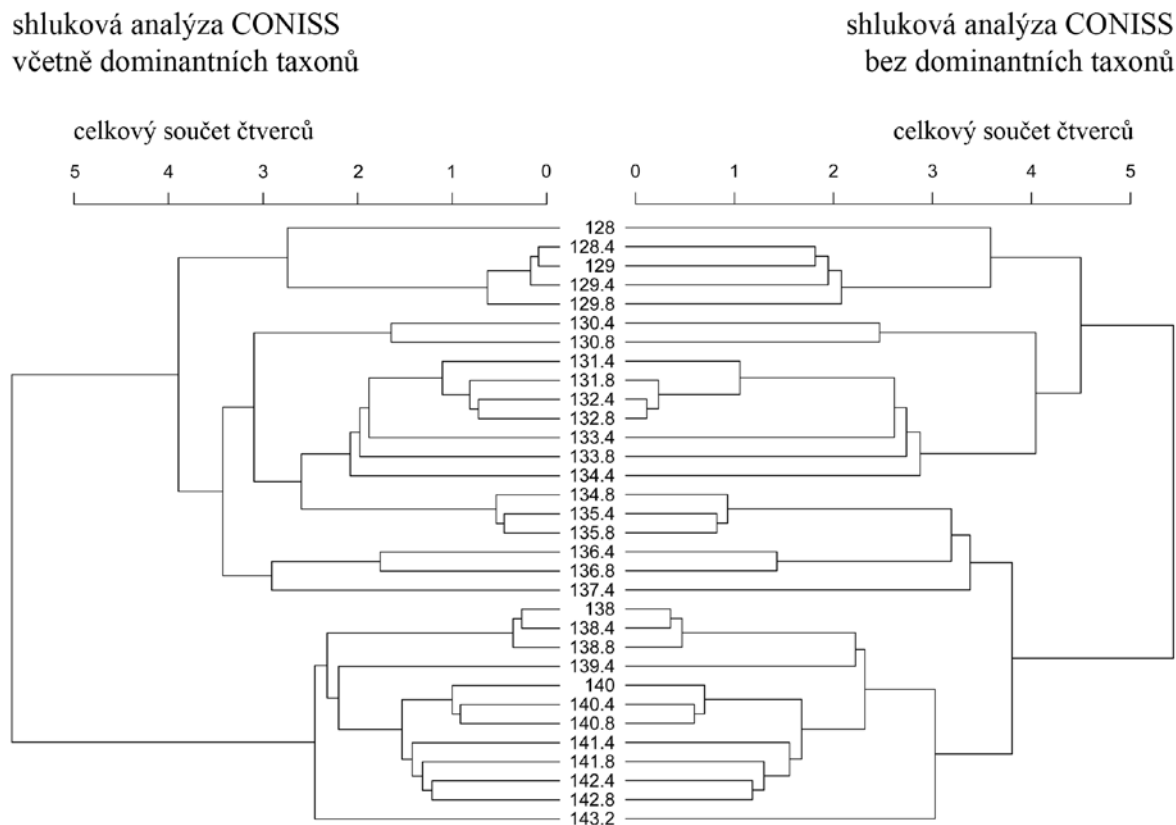
Obr. 4: Znárodnění průběhu indexů trofie a saprobity, červeně označeny hranice DAZ (rozsivkových akumulacních zón).

4.3.6 Shluková analýza a rozdělení do DAZ

Shluková analýza se zahrnutím všech taxonů rozdělila vzorky podle podobnosti relativního zastoupení taxonů s ohledem na pořadí vzorků v profilu (Obr. 5). Jako jediné signifikantní se metodou „broken-stick model“ v programu R 3.2.4 (R Core Team, 2016) ukázaly dva hlavní klastry. Na jejich základě byla určena hranice mezi DAZ 1 a DAZ 2. Ke kvalitativní změně společenstev rozsivek dochází mezi vzorky 137,4–137,6 cm a 138–138,2 cm, hranice zón byla tedy orientačně určena v hloubce 137,7 cm.

Hranice zón DAZ 2 a DAZ 3 není primárně určena kvalitativní změnou druhového složení rozsivkových společenstev, ale prudkou kvantitativní změnou množství valv na gram suché váhy začínající ve vzorku z hloubky 134,4–134,6 cm. Hranice není rozlišena ve shlukové analýze vytvořené ze všech nalezených taxonů, je však podpořena shlukovou analýzou s vyloučením dominantních taxonů *Staurosira*

construens a *Staurosira venter* (Obr. 5). Díky ní lze sledovat relativní změny četnosti subdominant a vzácných druhů. Z této analýzy vzešly dva signifikantní klastry (ověřené metodou „broken-stick model“), jejichž hranice je přesně v úrovni 134,5 cm a podporují tedy již dříve rozeznatelnou hranici.



Obr. 5: Srovnání shlukových analýz se zahrnutím a vyloučením dominantních taxonů.

V celém zkoumaném úseku profilu dominují alkalifilní oligosaprobní taxony, typicky preferující mezotrofní až eutrofní prostředí. Ke zjištění ekologických nároků níže popsaných taxonů byla použita literatura: Krammer & Lange-Bertalot (1986, 1988, 1991a, 1991b), Denys (1991), Van Dam & kol. (1994) a Hofmann & kol. (2011).

4.3.6.1 DAZ 1

Rozsah: 143,6–137,8 cm

Období dle datového modelu: 15 652 (± 132)–13 772 (± 368) let cal BP

Dominantním taxonem je s převahou *Staurosira venter*, která se často masově vyskytuje obzvláště v nížinných jezerech (Hofmann & kol., 2011). Tím se zóna liší od následujících, ve kterých jednoznačně dominuje *Staurosira construens*, která je ale v DAZ 1 zastoupena méně hojně. Velmi hojná je *Staurosira construens* var. *binodis*. Třetím nejhojnějším taxonem je *Fragilaria heidenii*, dále jsou hojněji zastoupeny *Staurosirella pinnata*, *Pseudostaurosira brevistriata*, *Staurosira construens* a taxony vyhledávající vyšší stupně trofie: *Planothidium joursacense*, *Gyrosigma acuminatum*, a euplanktonní taxon eutrofních vod *Aulacoseira ambigua*.

Kromě rozsivek byly zaznamenány i stomatocysty zlativek (Chrysophyceae) (Příloha 6), které se ve vzorcích vyskytovaly vždy v několika málo exemplářích. Proto je uvedena pouze jejich přítomnost/nepřítomnost ve vzorku (Obr. 6).

Hodnoty rekonstruovaného **pH** se pohybují v rozmezí 7,78–8,02, rozptyl rekonstruovaných hodnot je větší než v mladších zónách.

Rottův trofický index nabývá hodnot (2,31–2,35) těsně na spodní hranici **eutrofie** (Rott & kol., 1999). Koncentrace TP 64,8–92,1 $\mu\text{g/l}$ odpovídají také eutrofii (Hartman & kol., 2005).

Rekonstruovaná **konduktivita** se pohybuje ve větším rozptylu hodnot (317–349 $\mu\text{S/cm}$) než v DAZ 2.

4.3.6.2 DAZ 2

Rozsah: 137,8–134,5 cm

Období dle datového modelu: 13 772 (± 368)–11 672 (± 221) let cal BP

Zónu charakterizuje výměna dominant: prudký pokles v zastoupení *Staurosira venter* a její nahrazení rychlým nárůstem v relativní četnosti *Staurosira construens*, která je častou dominantou v sedimentárním záznamu nížinných jezer (Hofmann & kol., 2011). Stále sledujeme hojné zastoupení *Staurosira construens* var. *binodis*.

Hojná je i *Fragilaria heidenii*, která ale na konci zóny výrazně snížila svou abundanci, stejně jako *Planothidium joursacense*, *Gyrosigma acuminatum* nebo *Pseudostaurosira polonica*, která se už v DAZ 3 vůbec nevyskytuje.

Na začátku zóny je patrné navýšení v relativním zastoupení *Staurosirella pinnata* a mírný nárůst *Pseudostaurosira brevistriata*. V průběhu zóny se poprvé objevují *Navicula laterostrata*, *Navicula radiosa* a *Sellaphora vitabunda*, ale zatím dosahují jen nízkých četností.

K euplanktonním taxonům *Aulacoseira ambigua* a *Belonastrum berolinensis*, které v průběhu profilu svou četnost příliš nemění, se přidává zatím v nepatrných četnostech *Lindavia cf. balatonis*.

Stejně jako v předchozí zóně byla nalezena malá množství stomatocyst zlativek (Chrysophyceae).

Na hranici DAZ 1 a 2 dochází k výrazné změně rekonstruovaného **pH**, které v DAZ 2 nabývá hodnot 8,08–8,26. Tato změna je zřejmě zapříčiněna nahrazením taxonu *Staurosira venter*, který se běžně nachází i v cirkumneutrálních potocích a jezerech, typicky alkalifilním taxonem *Staurosira construens* (Hofmann & kol., 2011).

Rottův trofický index (2,30–2,33) i koncentrace TP (66–82,8 µg/l) opět odpovídají **eutrofnímu** prostředí (Rott & kol., 1999; Hartman & kol., 2005).

Rekonstruovaná **konduktivita** nabývá hodnot v rozmezí 320–336 µS/cm a její průběh se oproti DAZ 1 ustaluje a stabilnější zůstává i do spodní části DAZ 3.

4.3.6.3 DAZ 3

Rozsah: 134,5–128 cm

Období dle datového modelu: 11 672 (±221)–10 789 (±138) let cal BP

Relativní zastoupení dominantní *Staurosira construens* se ustaluje a už nestoupá.

Kromě poklesu četnosti některých taxonů relativně hojných v předchozích zónách (jak je popsáno u DAZ 2) sledujeme naopak zvýšení četnosti u euplanktonní *Belonastrum berolinensis* a *Fragilaria capucina* s.l.

Souběžně s maximální četností euplanktonní *Lindavia cf. balatonis* přibližně v úrovni 131 cm sledujeme nástup do té doby málo hojných taxonů: *Fragilaria capucina* s. l., *Geissleria schoenfeldii*, *Navicula laterostrata*, *Navicula radiosa* a *Sellaphora vitabunda*.

V úrovni přibližně 129,8 cm sledujeme mírnou změnu v relativním zastoupení, kterou zachycuje i shluková analýza. Vymizí do té doby hojně zastoupení *Staurosira construens* var. *binodis* a *Fragilaria heidenii*, *Pseudostaurosira brevistriata* a *Aulacoseira ambigua* také ustupují. V téže úrovni je patrný mírný nárůst v zastoupení *Staurosira venter*.

Rekonstruované **pH** pro DAZ 3 má velmi stálý průběh a hodnoty se pohybují v úzkém rozmezí 8,26–8,30.

Rottův trofický index (2,25–2,31) se pohybuje na hranici **mezo-eutrofie** a **eutrofie** (Rott & kol., 1999). Koncentrace TP hodnotami v rozmezí 63,3–70,1 µg/l odpovídá eutrofnímu stupni a má mnohem stálější průběh než v předchozích zónách (Hartman & kol., 2005).

Rekonstruovaná **konduktivita** má zpočátku stálější průběh pokračující z DAZ 2, nad úrovní 133 cm ale opět začínají být hodnoty rozptýlenější. Celkově se hodnoty pohybují v rozmezí 316–353 µS/cm.

Na hranici DAZ 2 a DAZ 3 se nedějí tak výrazné změny v relativní četnosti (shluková analýza se zahrnutím všech taxonů ji nepodporuje ani nesignifikantním klastrem), ale můžeme sledovat prudký nárůst koncentrace valv v sedimentu, sedimentační rychlosti a množství organické hmoty. Hranice je podpořena i nálezy křemičitých stomatocyst zlativek (Chrysophyceae), které byly identifikovány pouze v DAZ 1 a 2.

Hranici podporuje shluková analýza z dat s vyloučenými dominantami (*Staurosira venter* a *Staurosira construens*), která vzorky dělí na dva signifikantní klastry přesně odpovídající hranici 134,5 cm (Obr. 5). Podrobněji v kapitole 5.3 *Hranice DAZ 2 a DAZ 3*.

4.4 Ztráta žíháním – LOI

Výrazná změna obsahu organické hmoty se odehrává během DAZ 2 tj. mezi 137,7 a 134,5 cm (Obr. 6). Průměrná hodnota v DAZ 1 je 3 %, v DAZ 2 je to 9 % a v DAZ 3 nabývá průměrně podílu 15 %. Průběh obsahu organické hmoty byl korelován v rámci interpretace vývoje trofie v nádrži s dalšími proxy trofie a produktivity (Obr. 8).

4.5 Korelace vybraných parametrů

Pro účely diskuze byl vypočítán Spearmanův koeficient pro vybrané parametry vodního prostředí. Výsledky korelace jsou pro přehlednost uvedeny v diskuzi, kde jsou detailněji komentovány. Porovnávány byly indexy saprobity a trofie vypočítané z dat se zahrnutými nebo vyloučenými dominantními taxony (Obr. 7) a různé proxy trofie a produktivity jako pomůcka k interpretaci vývoje trofie (Obr. 8).

5 Diskuze

5.1 *Staurosira* sp. 1

Jednou z výrazných dominant ve studovaném úseku profilu je sběrný taxon *Staurosira* sp. 1 sdružující patrně drobné zástupce *Staurosira construens* Ehrenberg anebo *Staurosira venter* (Ehrenberg) Cleve & J. D. Möller. Jednalo se o valvy ve velikosti do pěti mikrometrů více či méně okrouhlého tvaru a na základě obrysu valvy je tedy nebylo možné blíže zařadit.

I Řeháková (1986) ve své poznámce ke stavu rozsivek v pozdně glaciálních sedimentech uvádí, že našla prakticky stejné taxony jako v preboreálu, ale všimla si nápadně malých rozměrů pozdně glaciálních zástupců.

V průběhu profilu tvoří *Staurosira* sp. 1 stále pozadí a na výraznou výměnu *S. construens* a *S. venter* viditelně nereaguje. Vzhledem k tomu, že pokládám za nepravděpodobné, že by byla celá populace taxonu tvořena jen takto drobnými zástupci, je možné předpokládat, že náležejí vždy z většiny k taxonu, který je v příslušné části profilu zrovna abundantnější.

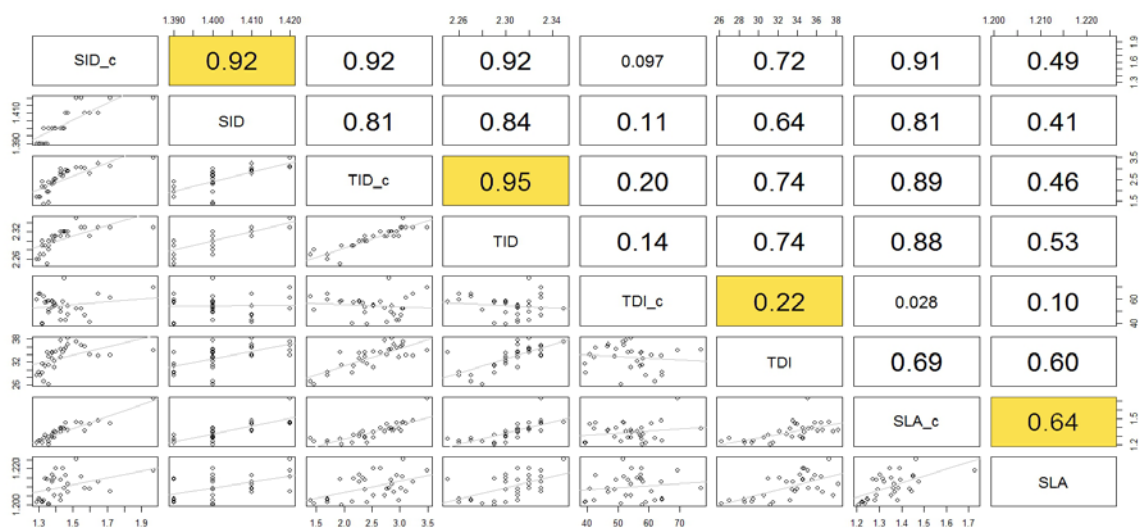
5.2 Korelace indexů s ohledem na zapojení dominant

Trophic Diatom Index (TDI) se ukázal jako nepříliš vhodný pro rekonstrukci trofie. Za prvé už z podstaty jeho vzniku za účelem monitoringu bodového organického znečištění a jeho odlišení od přirozené trofie v rámci tzv. Urban Wastewater Treatment Directive. Jeho rozlišovací schopnost je posunutá do vyšších trofických úrovní a při nižších koncentracích organických látek je jeho citlivost omezená (Kelly & Whitton, 1995; Kelly, 1998).

Lepší vlastnosti Rottova indexu trofie (TID) pro naši rekonstrukci podporuje i to, že jeho průběh vypočtený z celého rozsivkového společenstva (TID) a průběh na základě výpočtu s vyloučením dominant (TID_c) spolu úzce korelují ($R=0,95$, $p<0,05$) (Obr. 7). Z toho lze vyvodit, že hodnoty TID nejsou taženy jen silně dominantními taxony, ale index zapojuje i vzácnější taxony.

Vztah průběhu TDI se zahrnutými (TDI) a vyloučenými (TDI_c) dominantami je slabě negativní ($R=-0,22$, $p<0,05$) (Obr. 7). Lze tedy předpokládat, že jeho výpočet je silně závislý na dominantních taxonech.

U obou saprobních indexů vykazují jejich varianty se zapojením dominant do výpočtu (SID, SLA) a s vyloučenými dominantami (SID_c, SLA_c) mezi sebou signifikantní silnou pozitivní shodu (Obr. 7).



Obr. 7: Korelace trofických a saprobních indexů vypočítaných se zahrnutím dominant (SID, TID, TDI, SLA) a s vyloučením dominant (SID_c, TID_c, TDI_c, SLA_c) pomocí Spearmanova korelačního koeficientu. Signifikantní výsledky ($p < 0,05$) znázorněny větším písmem. Barevně zvýrazněny korelace komentované v diskuzi.

5.3 Hranice DAZ 2 a DAZ 3

Hranice rozsivkových akumulčních zón 2 a 3 není podpořena shlukovou analýzou vytvořenou za použití všech taxonů. Silné dominanty *Staurosira construens* a *Staurosira venter* totiž výraznou změnou na úrovni přechodu DAZ 1 a 2 (137,7 cm) určují dva základní signifikantní klastry, ale jemnější změny v druhovém složení zastírají.

Přitom jednoznačně na hranici DAZ 2 a 3 ke změně prostředí nádrže dochází, jak je vidět na změně obsahu organické hmoty, koncentraci valv i absenci stomatocyst zlatívek nad touto hranicí. Zároveň si lze všimnout, že řada subdominant na této hranici snižuje (*Planothidium joursacense*, *Gyrosigma acuminatum*, *Pseudostaurosira polonica*, *Fragilaria heidenii*) nebo zvyšuje (*Belonastrum berolinensis*, *Fragilaria capucina* s. l.) svou abundanci (Obr. 6).

Pro ověření sledovaných změn v zastoupení subdominantních taxonů byla provedena shluková analýza s vyloučením dominantních taxonů *Staurosira construens* a *Staurosira venter*, která dvěma signifikantními klastry podpořila hranici DAZ 2 a DAZ 3 (Obr. 5).

Tento postup, kdy se změny společenstva zastřené silnou dominancí drobných perifytických zástupců rodu *Staurosira* (dříve *Fragilaria*) odhalují pomocí vyloučení dominant z výpočtu, byl použit např. při rekonstrukcích pohybů hladiny jezera, kdy byly dominanty vyloučeny z poměru plankton:bentos (Battarbee, 1986; Barker & kol., 1994; Heinsalu & kol., 2008).

5.4 Interpretace výsledků rekonstrukce

5.4.1 Srovnání změn v rozsivkovém záznamu s výkyvy klimatu

Na základě pozorovaných dat můžeme říct, že se podařilo zachytit hranici pleistocénu a holocénu v úrovni přibližně 134,5 cm. V této hloubce se odehrává výrazná kvantitativní změna v koncentraci valv a obsahu organické hmoty v sedimentu (Obr. 6). Zároveň hranici podporuje výskyt stomatocyst zlativek a relativní zastoupení rozsivek s vyloučením dominantních taxonů (Obr. 5).

Kalibrované stáří dle datového modelu je pro vzorek z úrovně 134,5 cm 11 672 (± 221) let cal BP, což odpovídá hranici pleistocénu a holocénu (11 650 let cal BP) dle stratigrafie z grónského ledovcového vrtu GISP2 (Stuiver & kol., 1995).

Výrazná změna v relativním zastoupení taxonů rozsivek v hloubce 137,7 cm určená hlavně výměnou dominant *Staurosira construens* a *Staurosira venter* je datována na 13 630 (± 361) let cal BP. Začátek staršího dryasu je dle stratigrafie GISP2 14 090 let cal BP, začátek allerødu pak 14 010 cal BP (Stuiver & kol., 1995). Obě tato data se v rámci odchylky modelu pohybují mezi vzorky v úrovních 137,9 a 138,7 cm.

Dominantní taxony zřejmě odpovídají na změnu podmínek v průběhu pozdního glaciálu ještě před nástupem holocénu, jehož začátek u nich pak nevyvolává žádnou významnější reakci. Je možné, že by touto změnou podmínek mohl být začátek allerødu. Je ale zvláštní, že nesledujeme žádnou reakci na prudké klimatické změny v mladším dryasu. Dokud nemáme k dispozici výsledky palynologické analýzy, můžeme jen stěží o reakci nádrže na klimatické výkyvy pozdního glaciálu říct něco konkrétnějšího.

5.4.2 Poměr euplanktonních a bentických taxonů

Poměr planktonních a bentických taxonů by měl vypovídat o úrovni hladiny nádrže (Stoermer & Smol, 2010). Předpoklad byl, že v nevyrovnaném klimatu pozdního glaciálu by u mělkého jezera s velkou rozlohou mohlo docházet k výrazným změnám hladiny, eventuelně k dočasnému vysychání některých částí jezera. Takové změny by ale měly být pozorovány ve změnách planktonních a bentických dominant (Heinsalu & kol., 2008).

Stálost tychoplanktonních dominant a naprostá převaha bentických taxonů ale svědčí spíše o vyrovnaném a nízkém stavu hladiny.

5.4.3 Vývoj trofie

Prostředí Komořanského jezera je podle výskytu chlorokokálních řas *Pediastrum kawraiskyi*, *P. integrum* a *P. alternans* tradičně interpretováno jako výrazně chladné a převážně oligotrofní (Jankovská & Pokorný, 2013).

Řeháková (1986) ve své nejrozsáhlejší práci o Komořanském jezeru charakter jezera na základě podrobné rozsivkové analýzy interpretuje jako eutrofnější už od raného postglaciálu. O sedimentech pozdního glaciálu podává jen krátkou zprávu a uvádí, že našla taxony stejné jako v následujícím preboreálu. Přesto cituje závěry o trofii dle nálezu *Pedistrum kawraiskyi* jako oligotrofní a rekonstrukci podmínek kvůli chudému záznamu v pozdním glaciálu neprovádí.

Až na TDI ukazují trofické parametry vypočtené ze složení rozsivkových společenstev na mezo-eutrofní (TID) nebo eutrofní (transferové funkce – WA) prostředí (Obr. 3, Obr. 4). Použitelnost TDI pro paleolimnologické rekonstrukce diskutují v kapitole 5.2 *Korelace indexů s ohledem na zapojení dominant*.

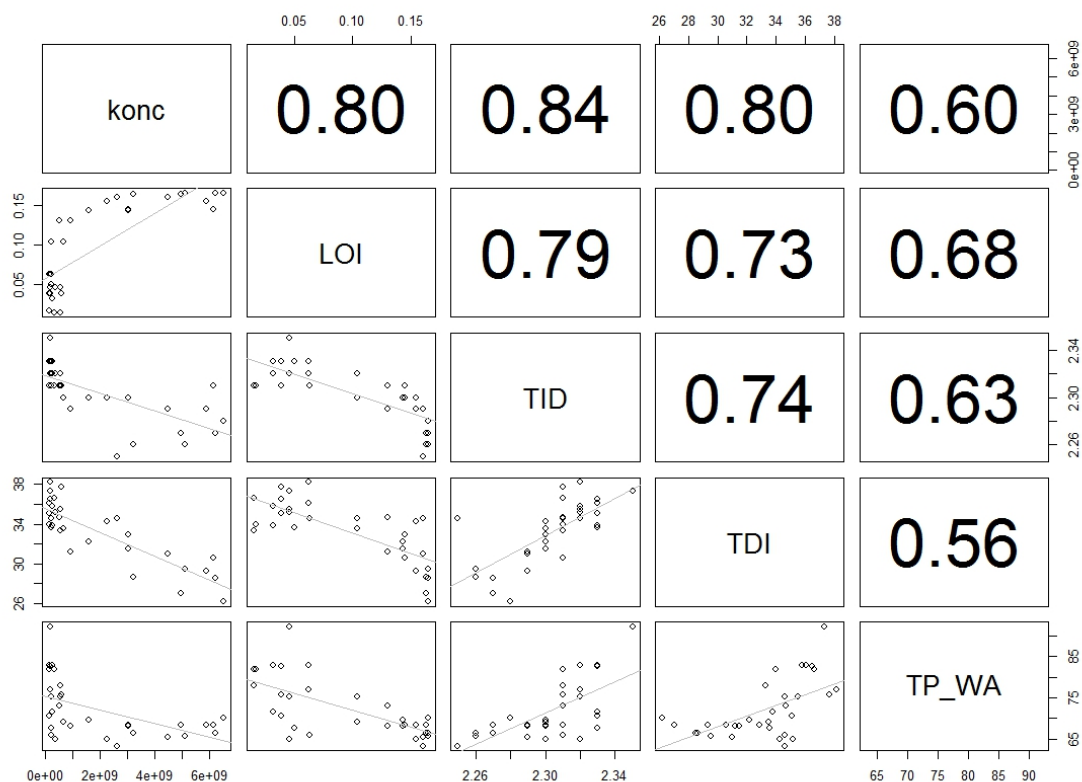
Vývoj trofie dle indexů i transferových funkcí vykazuje v průběhu profilu mírně klesající trend. Takový pokles trofie v průběhu vývoje jezera je popsán ze Skandinávských jezer v důsledku postupného vymývání živin ze substrátu a zarůstání vegetací, které zamezuje splachu živin do nádrže (Björk, 2010). V našem případě se ale jedná o tak nepatrné změny, že lze brát vývoj trofie ve zkoumaném úseku profilu jako neměnný.

Naopak zřetelně rostoucí trend mají LOI a koncentrace valv (konc), jak je vidět i z korelace s výsledky transferových funkcí (TP_WA) a indexů (TID, TDI), s nimiž mají silný negativní vztah (Obr. 8). Koncentrace valv je často brána jako ukazatel

produktivity nádrže, ale její interpretace jako měřítka produktivity rozsivek či dokonce primární produkce v nádrži je obtížná a vyžaduje stálost sedimentační rychlosti, srovnání vývoje z více profilů atd. Proto se pro rekonstrukci trofie doporučuje využít druhové složení rozsivkových společenstev (Battarbee, 1986; Battarbee & kol., 2001).

Dle rekonstrukce pomocí relativního zastoupení rozsivkových taxonů se tedy dostupnost živin v nádrži při přechodu z pozdního glaciálu do holocénu nezmění nebo dokonce mírně klesá. Produkce rozsivek i celková primární produkce se ale zvýší až s nástupem holocénu, jak je vidět na nárůstu koncentrací valv a poměrného zastoupení organické hmoty v sedimentu. Ačkoli dostupnost živin je v pozdním glaciálu vyšší díky na živiny bohatému substrátu a menšímu množství vegetace (Björk, 2010), zvýšení produktivity je brzděno dalšími faktory jako je dostupnost světla, teplota nebo délka vegetační sezóny (Hill & Knight, 1988; Battarbee & kol., 2001). Využití živin ke zvýšení produkce je umožněno až se zlepšením těchto faktorů s nástupem holocénu.

Ačkoli zůstává ohledně vývoje trofie Komořanského jezera mnoho nezodpovězených otázek a budou hledány další metody a možnosti interpretace k jejich objasnění, bylo by na místě na základě výsledků rekonstrukce pomocí Rottova trofického indexu, který se pohybuje na hranici mezo-eutrofie a eutrofie a výsledků transferových funkcí, podle nichž se množství fosforu pohybuje v úrovních odpovídajících eutrofii, přehodnotit stávající závěry o trofii Komořanského jezera v pozdním glaciálu.



Obr. 8: Korelace koncentrací valv (konc), LOI, trofických indexů (TID, TDI) a koncentrace TP (TP_WA) pomocí Spearmanova korelačního koeficientu. Všechny výsledky byly signifikantní ($p < 0,05$).

5.4.4 pH

Rekonstrukce pH sleduje hlavní výměnu dominant na hranici DAZ 1 a 2 a dále se v rámci profilu nemění (Obr. 3), protože v kombinovaném datasetu pro pH jsou taxony *Staurosira venter* a *Staurosira construens* odlišeny. *Staurosira construens* je uváděna jako striktněji alkalifilní (Hofmann & kol., 2011).

Odpověď na otázku, proč se jediná a výrazná změna pH odehrává mimo hlavní litologickou hranici (pleistocén/holocén), souvisí s objasněním mechanismů, které vedly k markantní výměně dominant v průběhu pozdního glaciálu a které dále nereagovaly na nástup holocénu.

Že ještě před nástupem holocénu došlo ke změně prostředí v nádrži, odráží nejen relativní zastoupení rozsivkových taxonů, ale i poměrné množství organické hmoty v sedimentu, které začalo prudce stoupat ještě před začátkem holocénu v přechodné zóně reprezentované DAZ 2 (Obr. 6).

5.4.5 Konduktivita

Konduktivita v rámci celého profilu kolísá jen málo a neprokazuje žádný zřejmý trend (Obr. 3). Zdá se, že v přechodné zóně DAZ 2 a na začátku DAZ 3 jsou rekonstruované hodnoty konduktivity vyrovnanější než na okrajích zkoumané části profilu.

Konduktivita je určena množstvím iontů ve vodě a zpravidla koreluje s množstvím rozpuštěných látek. Může klesat při zvýšení průtoku nebo při zvýšení přítoku čisté vody, naopak stoupá s rostoucí teplotou (Grünvald, 1997; Langhammer, 2009). Žádné dlouhodobé změny nebo výrazné krátkodobé výkyvy přesahující střední chybu průměru modelu ale v rekonstruovaných hodnotách nepozorujeme.

5.5 Možnosti dalšího výzkumu

Rozsivková analýza sama o sobě nestačí k rekonstrukci prostředí nádrže. V rámci diplomové práce byla doplněna alespoň o LOI, v dalším výzkumu bude možné propojit její výsledky s již provedeným geochemickým rozbořem v AcmeLabs (Acme Analytical Laboratories (Vancouver) Ltd.) a analýzou pakomárů ze zkoumaného profilu PK-1-L provedenou Mgr. Danielem Vondrákem.

Pro potvrzení časového zařazení a zonace vývoje podmínek v nádrži je klíčové provedení palynologické analýzy.

V rámci studia rozsivek by bylo možné zahustit zkoumané vzorky v klíčových pasážích na přechodech zón a počítat valvy časově náročnější metodou pro zachycení většího množství taxonů (např. do dosažení počtu 200 valv dominantních taxonů a pak ještě 400 valv bez dominant). Pro zpřesnění představy o produktivitě rozsivek by bylo možné stanovit množství biogenního křemíku.

Pro budoucí studium by bylo užitečné nalézt nádrže s analogickým vývojem. Nabízí se srovnání s přirozeně eutrofními nádržemi jako je např. Balaton (Cserny & Nagy-Bodor, 2000; Korponai & kol., 2010), ten je ale oproti Komořanskému jezeru nesrovnatelně větší svou rozlohou.

6 Závěr

Pomocí detailní rozsivkové analýzy bazální části profilu PK-1-L v půlcentimetrových intervalech se ukázalo, že rozsivková společenstva Komořanského jezera zřejmě reagují výrazněji svým složením na změnu podmínek v průběhu pozdního glaciálu než na nástup holocénu. Zda se jedná o reakci na začátek allerødu a proč nezaznamenáváme žádný vliv mladšího dryasu osvětlí až další výzkum.

V rozsivkovém záznamu silně převažují drobní tychoplanktonní zástupci, jejichž masový výskyt zastírá změny ve složení vzácnějších taxonů a při sčítání valv i znemožňuje vzácné taxony zachytit. Proto byla snaha tento vliv dominant odfiltrovat jak při sčítání, tak při rekonstrukcích parametrů prostředí nádrže, jak to již bylo jinými autory v těchto případech provedeno (Battarbee, 1986; Barker & kol., 1994; Heinsalu & kol., 2008). Díky tomu byla např. odhalena nezanedbatelná změna ve složení vzácnějších taxonů na hranici pleistocénu a holocénu.

Z rekonstrukcí prostředí nádrže pomocí indexů a transferových funkcí vyplývá, že byly sledované podmínky v Komořanském jezeru velmi stálé. Jedinou výjimkou je rekonstruované pH, které se skokově mění s výměnou dominantních taxonů.

Zvláštní pozornost byla věnována interpretaci trofických indexů a koncentracím celkového fosforu rekonstruovaným transferovými funkcemi. Výsledky rekonstrukcí přesvědčivě ukazují na mezo-eutrofní až eutrofní prostředí v nádrži už od pozdního glaciálu. Závěry rozsivkové analýzy vyvrací dosavadní interpretaci vývoje jezera postupnou eutrofizací od oligo-mezotrofních podmínek v pozdním glaciálu (Jankovská & Pokorný, 2013).

Komořanské jezero poskytuje unikátní příležitost ke zkoumání reakcí mělké, ale rozsáhlé, nížinné nádrže na prudké klimatické změny v pozdním glaciálu. Stálé podmínky mezo-eutrofní až eutrofní nádrže by měly umožnit sledovat změny většího rozsahu bez rušivých lokálních vlivů, které hrají velkou roli v sedimentárním záznamu oligotrofních nádrží (Bešta & kol., 2015). Mělká jezera bývají citlivá ke změnám podmínek a jejich sedimenty obsahují hodnotný záznam výkyvů klimatu (Robinson, 2004; Heinsalu & kol., 2008; Bešta & kol., 2009; Korponai & kol., 2010; Zawiska & kol., 2015).

Potenciál Komořanského jezera je v tomto směru ještě třeba prozkoumat, tato práce by měla posloužit jako základ pro další studie sedimentů pozdně glaciálního stáří v tomto jezeře.

7 Soupis použité literatury

- Barker, P. A., Roberts, N., Lamb, H. F., Van der Kaars, S., & Benkaddour, A. (1994). Interpretation of Holocene lake-level change from diatom assemblages in Lake Sidi Ali, Middle Atlas, Morocco. *Journal of Paleolimnology* (12), p. 223–234.
- Barker, P. A., Leng, M. J., Gasse, F., & Huang, Y. (2007). Century-to-millennial scale climatic variability in Lake Malawi revealed by isotope records. *Earth and Planetary Science Letters* (261), p. 93–103.
- Battarbee, R. W. (1986). Diatom analysis. In: B. E. Berglund, *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology* (p. 527–570). John Wiley et Sons Ltd.
- Battarbee, R. W., Jones, V. J., Flower, R. J., Cameron, N. G., Bennion, H., Carvalho, L. & kol. (2001). Diatoms. In: J. P. Smol, H. J. Birks, & W. M. Last, *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments, Vol. 3: Terrestrial, Algal and Siliceous Indicators* (p. 155–202). Kluwer Academic Publishers.
- Bešta, T., Šafránková, J., Pouzar, M., Novák, J., & Nováková, K. (2009). Late Pleistocene-early Holocene transition in the sediments of a former shallow lake in the Czech Republic. *Hydrobiologia* (631), p. 107–120.
- Bešta, T., Novák, J., Dreslerová, D., Jankovská, V., Bernardová, A., Lisá, L. & kol. (2015). Mid-Holocene history of a central European lake: Lake Komořany, Czech Republic. *Boreas* (44), p. 563–574.
- Birks, H. H., & Ammann, B. (2000). Two terrestrial records of rapid climatic change during the glacial-Holocene transition (14,000–9,000 calendar years B.P.) from Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* (97 (4)), p. 1390–1394.
- Birks, H. J. B. (1998). Numerical tools in palaeolimnology – Progress, potentialities, and problems – Review. *Journal of Paleolimnology* (20), p. 307–332.
- Birks, H. J. B., & Simpson, G. L. (2013). "Diatoms and pH reconstruction" (1990) revisited. *Journal of Palaeolimnology* (49), p. 363–371.
- Birks, H. J. B., Line, L. M., Juggins, S., Stevenson, A. C., & Ter Braak, C. J. (1990). Diatoms and pH Reconstruction. *Philosophical Transactions of the Royal Society B - Biological Sciences* (327), p. 263–278.
- Björk, S. (2010). The Evolution of Lakes and Wetlands. In: M. Eiselt, *Restoration of Lakes, Streams, Floodplains, and Bogs in Europe: Principles and Case Studies, Wetlands: Ecology, Conservation and Management 3* (p. 25–35). Springer Science+Business Media B.V.
- Boyle, J. F. (2001). Inorganic Geochemical Methods in Palaeolimnology. In: W. M. Last, & J. P. Smol, *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments, Vol. 2: Physical and Geochemical Methods* (p. 83–141). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

- Bradshaw, E. G., Jones, V. J., Birks, H. J., & Birks, H. H. (2000). Diatom responses to late-glacial and early-Holocene environmental changes at Kråkenes, western Norway. *Journal of Paleolimnology* (23), p. 21–34.
- Bronk Ramsey, C. (2009). Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon* (51), p. 337–360.
- Bronk Ramsey, C. (2008). Deposition models for chronological records. *Quaternary Science Reviews* (27), p. 42–60.
- Bronk Ramsey, C. (2013). *OxCal 4.2.4 online program*. [10. 5. 2016]. OxCal Project web: <https://c14.arch.ox.ac.uk/oxcal/OxCal.html>
- Břízová, E. (2009). Quaternary environmental history of the Čejčské Lake (S. Moravia, Czech Republic). *Bulletin of Geosciences* (84(4)), p. 637–652.
- Catalogue of Diatom Names*. [10. 5. 2016]. <http://researcharchive.calacademy.org/research/diatoms/names/index.asp>
- CENIA. (2009). *Mapová aplikace kontaminovaných míst*. [10. 5. 2016]. <http://kontaminace.cenia.cz>
- Cohen, A. S. (2003). *Paleolimnology*. Oxford University Press (US).
- Cserny, T., & Nagy-Bodor, E. (2000). Limnogeology of Lake Balaton (Hungary). In: E. H. Gierlowski-Kordesch, & K. R. Kelts, *Lake Basins Through Space and Time* (AAPG studies in Geology 46. vyd., p. 605–618). The American Association of Petroleum Geologists.
- Cvetkoska, A., Levkov, Z., Reed, J. M., & Wagner, B. (2014). Late Glacial to Holocene climate change and human impact in the Mediterranean: The last ca. 17 ka diatom record of Lake Prespa (Macedonia/Albania/Greece). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* (406), p. 22–32.
- Denys, L. (1991). *A check-list of the diatoms in the Holocene deposits of the Western Belgian coastal plain with a survey of their apparent ecological requirements. I. Introduction, ecological code and complete list*. Brussels: Belgische Geologische Dienst.
- Dušek, J. (2008). *Metodický list: 01_Česká republika - Poloha, rozloha*. [10. 5. 2016]. <https://www.guh.cz/esfnew/esfp1/index.php?file=hostlist&action=detail&aid=848>
- Engel, Z., Nývlt, D., Křížek, M., Treml, V., Jankovská, V., & Lisá, L. (2010). Sedimentary evidence of landscape and climate history since the end of MIS 3 in the Krkonoše Mountains, Czech Republic. *Quaternary Science Reviews* (29), p. 913–927.
- European Diatom Database*. (2010). [10. 5. 2016]. <http://craticula.ncl.ac.uk/Eddi/jsp/index.jsp>
- Faria, J. C. (2014). *Tinn-R Editor - GUI for R Language and Environment*. [10. 5. 2016]. <http://nbcgib.uesc.br/lec/software/editores/tinn-r/en>

- Firbas, F. (1949). *Spät- und nacheiszeitliche Waldgeschichte Mitteleuropas nördlich der Alpen* (Band 1, Allgemeine Waldgeschichte). Jena: G. Fischer.
- Fleming, W. D. (1954). Naphrax: A Synthetic Mounting Medium Of High Refractive Index New And Improved Methods Of Preparation. *Journal of Microscopy* (74), p. 42–44.
- Gabrielová, N. (1986). *Laboratorní metody v mikropaleontologii* (Metodická příručka 4. vyd.). Ústřední ústav geologický.
- Galka, M., Tobolski, K., & Bubak, I. (2015). Late Glacial and Early Holocene lake level fluctuations in NE Poland tracked by macro-fossil, pollen and diatom records. *Quaternary International* (388), p. 23–38.
- Grimm, E. (2011). Tilia. Ver. 1.7.16. Springfield: Illinois State Museum.
- Grünvald, A. (1997). *Hydrochemie*. Praha: ČVUT.
- Guiry, M. D. & Guiry, G. M. 2016. [10. 5. 2016]. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <http://www.algaebase.org>.
- Hartman, P., Příkryl, I., & Štědrovský, E. (2005). *Hydrobiologie*. Praha: Informatorium.
- Heinsalu, A., Luup, H., Alliksaar, T., Nõges, P., & Nõges, T. (2008). Water level changes in large shallow lake as reflected by the plankton:periphyton-ratio of sedimentary diatoms. *Hydrobiologia* (599), p. 23–30.
- Hernandez, A., Giraldo, S., Bao, R., Sáez, A., Leng, M. J., & Barker, P. A. (2010). ENSO and solar activity signals from oxygen isotopes in diatom silica during late glacial-Holocene transition in Central Andes (18°S). *Journal of Paleolimnology* (44), p. 413–429.
- Hill, W. R., & Knight, A. W. (1988). Nutrient and light limitation of algae in two northern California streams. *Journal of Phycology* (24), p. 125–132.
- Hofmann, G., Werum, M., & Lange-Bertalot, H. (2011). *Diatomeen im Süßwasser-Benthos von Mitteleuropa*. A. R. G. Gantner Verlag K. G.
- Hošek, J., Pokorný, P., Šída, P., & Prach, J. (2013). Nově objevená pozdně glaciální jezera na Třeboňsku. *Zprávy o geologických výzkumech v roce 2012, B - Kvartér, inženýrská geologie*, p. 126–131.
- Hošek, J., Pokorný, P., Kubovčík, V., Horáček, I., Žáčková, P., Kadlec, J. & kol. (2014). Late glacial climatic and environmental changes in eastern-central Europe: Correlation of multiple biotic and abiotic proxies from the Lake Švarcenberk, Czech Republic. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* (396), p. 155–172.
- Houfková, P., Bešta, T., Bernardová, A., Vondrák, D., Pokorný, P., Novák, J. Holocene climatic events linked to environmental changes at Lake Komořany Basin, Czech Republic. *v přípravě*
- Hurník, S. (1969). Příspěvek ke geologické problematice tzv. Komořanského jezera. *Mostecko-Litvínovsko, Regionální studie, Oddíl přírodních věd* (6), 5–14.

- Index Nominum Algarum*. [10. 5. 2016]. http://ucjeps.berkeley.edu/ina/img_ndx.html
- Jankovská, V. (1983). Palynologische Forschung am ehemaligen Komořany-See (Spätglazial bis Subatlantikum). *Věstník Ústředního ústavu geologického* (58 (2)), p. 99–107.
- Jankovská, V. (1984). Radiokarbondatierung der Sedimente aus dem ehemaligen Komořany-See (NW-Böhmen). *Věstník ústředního ústavu geologického* (59 (4)), p. 235–236.
- Jankovská, V. (1988). Palynologische Erforschung archäologischer Proben aus dem Komořanské jezero-See bei Most (NW-Böhmen). *Folia Geobotanica et Phytotaxonomica* (23), p. 45–77.
- Jankovská, V. (1995). Relationship between the Late Glacial and Holocene vegetation and the animal component of their ecosystems. *Geolines* (2), p. 11–14.
- Jankovská, V. (2000). Komořanské jezero Lake (CZ, NW Bohemia) - a unique natural archive. *Geolines* (11), p. 115–117.
- Jankovská, V. (2006). Late Glacial and Holocene history of Plešné Lake and its surrounding landscape based on pollen and palaeoalgal analyses. *Biologia* (61/20), p. 371–385.
- Jankovská, V. (2011). Komořany Lake - a lost archive for palaeobotanical, archaeological and historical information. *Acta Mus. Nat. Pragae, Ser. B, Hist. Nat.* (67 (1–2)), 47–50.
- Jankovská, V., & Pokorný, P. (2013). Reevaluation of the palaeoenvironmental record of the former Komořanské jezero lake: late-glacial and Holocene palaeolimnology and vegetation development in north-western Bohemia, Czech Republic. *Preslia* (85), p. 265–287.
- Ježek, J. (2013). Zpracování dat v geologii. Přírodovědecká fakulta UK v Praze.
- Juggins, S. (2001). The European Diatom Database - User Guide.
- Juggins, S., & Birks, H. J. (2012). Quantitative Environmental Reconstructions from Biological Data. In: H. J. Birks, A. F. Lotter, S. Juggins, J. P. Smol, & (eds.), *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments, Vol. 5, Data Handling and Numerical Techniques* (p. 431–494). Springer.
- Kahlert, M., & kol., a. (2012). Identification versus counting protocols as sources of uncertainty in diatom-based ecological status assessments. *Hydrobiologia* (695), p. 109–124.
- Kalina, T. (1994). Preparace rozsivek. In: B. Křísa, & K. Prášil, *Sběr, preparace a konzervace rostlinného materiálu* (p. 26–31). Univerzita Karlova v Praze, Fakulta Přírodovědecká.
- Kelly, M. G. (1998). Use of the trophic diatom index to monitor eutrophication in rivers. *Water Research* (32 (1)), p. 236–242.

- Kelly, M. G., & Whitton, B. A. (1995). The Trophic Diatom Index: a new index for monitoring eutrophication in rivers. *Journal of Applied Phycology* (7), p. 433–444.
- Kennington, K. (2002). The environmental applications of diatoms. In: S. K. Haslett, *Quaternary Environmental Micropalaeontology* (p. 166–184). New York: Arnold, London & Oxford University Press Inc.
- Kolaczek, P., Galka, M., Karpińska-Kolaczek, M., & Lutyńska, M. (2015). Late Pleniglacial and Late Glacial lake-mire transformations in southeastern Poland reflected in aquatic and wetland vegetation changes. *Quaternary International* (388), p. 39–50.
- Korponai, J., Braun, M., Buczkó, K., Gyulai, I., Forró, L., Nédli, J. & kol. (2010). Transition from shallow lake to a wetland: a multi-proxy case study in Zalavári Pond, Lake Balaton, Hungary. *Hydrobiologia* (641), p. 225–244.
- Krammer, K. (2000). *Diatoms of Europe. Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats. The Genus Pinnularia* (vol. 1). Ruggell: A.R.G. Gantner Verlag K.G.
- Krammer, K. (2002). *Diatoms of Europe. Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats. Cymbella* (vol. 3). Ruggell: A.R.G. Gantner Verlag K.G.
- Krammer, K. (2003). *Diatoms of Europe. Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats. Cymbopleura, Delicata, Navicymbula, Gomphocymbellopsis, Afrocybella* (vol.4). Ruggell: A.R.G. Gantner Verlag.
- Krammer, K., & Lange-Bertalot, H. (1986). Bacillariophyceae, 1. Teil: Naviculaceae. In: H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig, D. Mollenhauer, & (eds.), *Süßwasserflora von Mitteleuropa* (Band 2/1). Jena: Gustav Fischer Verlag.
- Krammer, K., & Lange-Bertalot, H. (1988). Bacillariophyceae, 2. Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. In: H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig, D. Mollenhauer, & (eds.), *Süßwasserflora von Mitteleuropa* (Band 2/2). Jena: Gustav Fischer Verlag.
- Krammer, K., & Lange-Bertalot, H. (1991a). Bacillariophyceae, 3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. In: H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig, D. Mollenhauer, & (eds.), *Süßwasserflora von Mitteleuropa* (Band 2/3). Jena: Gustav Fischer Verlag.
- Krammer, K., & Lange-Bertalot, H. (1991b). Bacillariophyceae, 4. Teil: Achnanthaceae, Kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema. In: H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig, D. Mollenhauer, & (eds.), *Süßwasserflora von Mitteleuropa* (Band 2/4). Jena: Gustav Fischer Verlag.
- Laird, K. R., & Cumming, B. F. (2008). Reconstruction of Holocene lake level from diatoms, chrysophytes and organic matter in a drainage lake from the Experimental Lakes Area (northwestern Ontario, Canada). *Quaternary Research* (69), p. 292–305.

- Lange-Bertalot, H. (2001). *Diatoms of Europe. Diatoms of European Inland Waters and Comparable Habitats. Navicula sensu stricto, 10 Genera Separated from Navicula sensu lato, Frustulia* (vol. 2). Ruggell: A.R.G. Gantner Verlag K.G.
- Langhammer, J. (2009). *Kvalita povrchových vod a jejich ochrana*. Přírodovědecká fakulta UK v Praze, Katedra fyzické geografie a geoekologie.
- Lecointe, C. (2014). *Omnidia*. [10. 5. 2016]. http://omnidia.free.fr/omnidia_english.htm
- Legendre, P., & Birks, H. J. (2012). Clustering and Partitioning. In: H. J. Birks, A. F. Lotter, S. Juggins, & J. P. Smol, *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Data Handling and Numerical Techniques* (p. 167–200). Springer.
- Losert, H. (1940). Beiträge zur spät- und nacheiszeitlichen Vegetationsgeschichte Innerböhmens, I. Der Kommerner See. *Beihefte zum Botanischen Centralblatt* (60B), p. 346–394.
- Lowe, J. J., & Walker, M. J. C. (2015). *Reconstructing Quaternary Environments* (Third Edition. vyd.). Routledge.
- Lowe, J. J., Ammann, B., Birks, H. H., Björck, S., Coope, G. R., Cwynar, L. & kol. (1994). Climatic changes in areas adjacent to the North Atlantic during the last glacial-interglacial transition (14–9 ka BP): a contribution to IGCP-253. *Journal of Quaternary Science* (9 (2)), p. 185–198.
- Lowe, J. J., Rasmussen, S. O., Björck, S., Hoek, W. Z., Steffensen, J. P., Walker, M. J. C. & kol. (2008). Synchronisation of palaeoenvironmental events in the North Atlantic region during the Last Termination: a revised protocol recommended by the INTIMATE group. *Quaternary Science Reviews* (27), p. 6–17.
- Lühne, V. (1897). Über ein subfossiles Vorkommen von Diatomaceen in Böhmen. *Österreichische botanische Zeitschrift* (9).
- Marvan, J., & Heteša, M. (2006). *Metodika odběru a zpracování vzorků fyto-bentosu tekoucích vod*. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka.
- Marvan, P., Opatřilová, L., Heteša, J., Maciak, M., & Horký, P. (2011). *Metodika hodnocení ekologického stavu útvarů povrchových vod tekoucích (kategorie řeka) pomocí biologické složky fyto-bentos*. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka. Praha: Ministerstvo životního prostředí ČR.
- Mentlík, P., Minár, J., Břízová, E., Lisá, L., Tábořík, P., & Stacke, V. (2010). Glaciation in the surroundings of Prášilské Lake (Bohemian Forest, Czech Republic). *Geomorphology* (117), p. 181–194.
- Neústupný, E. (1985). K holocénu Komořanského jezera. *Památky archeologické* (76), p. 9–70.
- Pacltová, B., & Žertová, A. (1959). Paleobotanický výzkum rašeliny a jezerních sedimentů s archeologickými artefakty na dole Roosevelt v Ervěnicích u Chomutova. *Zprávy o geologických výzkumech v r. 1957*, str. 171.

- Petr, L., & Novák, J. (2014). High vegetation and environmental diversity during the Late Glacial and Early Holocene on the example of lowlands in the Czech Republic. *Biologia* (69/7), p. 847–862.
- Pokorný, P. (2002). A high-resolution record of Late-Glacial and Early-Holocene climatic and environmental change in the Czech Republic. *Quaternary International* (91), p. 101–122.
- Pokorný, P., & Jankovská, V. (2000). Long-term vegetation dynamics and the infilling process of a former lake (Švarcenberk, Czech Republic). *Folia Geobotanica* (35), p. 433–457.
- Pokorný, P., Šída, P., Chvojka, O., Žáčková, P., Kuneš, P., Světlík, I. & kol. (2010). Palaeoenvironmental research of the Schwarzenberg Lake, southern Bohemia, and exploratory excavations of this key Mesolithic archaeological area. *Památky archeologické* (101), p. 5–38.
- Poštulková, A. (2014). *Rozsivky kvartérních sedimentů Komořanského jezera*. bakalářská práce, Přírodovědecká fakulta UK v Praze.
- Potapova, M., & Charles, D. F. (2003). Distribution of benthic diatoms in U.S. rivers in relation to conductivity and ionic composition. *Freshwater Biology* (48), p. 1311–1328.
- Pražáková, M., Veselý, J., Fott, J., Majer, V., & Kopáček, J. (2006). The long-term succession of cladoceran fauna and palaeoclimate forcing: A 14,600-year record of Plešné Lake, the Bohemian Forest. *Biologia* (61/20), p. 387–399.
- R Core Team. (2016). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. (R. C. Team, Editor). [10. 5. 2016]. <https://www.R-project.org/>
- Ralska-Jasiewiczowa, M., Goslar, T., Madeyska, T., & Starkel, L. (1998). *Lake Gosciadz, Central Poland - A Monographic Study*. Krakow: Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Sciences.
- Reimer, P. J., & kol. (2013). IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0–50,000 years cal BP. *Radiocarbon* (55 (4)), p. 1869–1887.
- Robinson, M. (2004). A Late glacial and Holocene diatom record from Clettnadal, Shetland Islands, northern Scotland. *Journal of Paleolimnology* (31), p. 295–319.
- Rott, E., Hofmann, G., Pall, K., Pfister, P., & Pipp, E. (1997). *Indikationslisten für Aufwuchsalgen Teil 1: Saprobielle indikation*. Wien: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft.
- Rott, E., Pipp, E., Pfister, P., Van Dam, H., Orther, K., Binder, N. & kol. (1999). *Indikationslisten für Aufwuchsalgen in Österreichischen Fliessgewässern. Teil 2: Trophieindikation*. Wien: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft.
- Rudolph, K. (1926). Pollenanalytische Untersuchungen im thermophilen Florengebiet Böhmens: Der "Kommerner See" bei Brüx. *Berichten der Deutschen Botanischen Gesellschaft*, 4 (44), p. 239–248.

- Rybníčková, E., & Rybníček, K. (1972). Erste Ergebnisse paläogeobotanischer Untersuchungen des Moores bei Vracov, Südmähren. *Folia Geobotanica et Phytotaxonomica* (7), p. 285–308.
- Řeháková, Z. (1962). Subfossilní diatomové sedimenty v oblasti bývalého Komořanského jezera. *Zprávy o geologických výzkumech v r. 1961*, p. 163–165.
- Řeháková, Z. (1983). Diatom succession in the post-glacial sediments of the Komořany Lake, North-West Bohemia, Czechoslovakia. *Hydrobiologia* (103), p. 241–245.
- Řeháková, Z. (1985). Diatomová flóra severočeské hnědouhelné pánve a jejího okolí. (M. a. Malkovský, Editor) *Geologie severočeské hnědouhelné pánve a jejího okolí*, p. 247–265.
- Řeháková, Z. (1986). The Postglacial history of diatom-bearing sediments of the former Lake Komořany (North-West Bohemia). *Sborník geologických věd* (17), p. 87–134.
- Řeháková, Z. (1987). *Srovnání postglaciálního vývoje diatomové flóry jezerních a bažinatých ekosystémů ČSR*. Archiv posudků a zpráv produkce ČGS, Praha.
- Řeháková, Z., & kol. (1961). Zpráva o výzkumu křemeliny z oblasti Komořanských velkolomů. *Archiv posudků a zpráv produkce ČGS*.
- Sládeček, V. (1986). Diatoms as Indicators of Organic Pollution. *Acta Hydrochimica Hydrobiologica* (14), p. 555–566.
- Sládeček, V., & Sládečková, A. (1996). *Atlas vodních organismů se zřetelem na vodárenství, povrchové vody a čistírny odpadních vod*. Praha: Ústav technologie vody a prostředí VŠCHT.
- Stoermer, E. F., & Smol, J. P. (2010). *The Diatoms: Applications for the Environmental and Earth Sciences*. New York: Cambridge University Press.
- Stuiver, M., Grootes, P. M., & Braziunas, T. F. (1995). The GISP $\delta^{18}\text{O}$ Climate Record of the Past 16,500 Years and the Role of the Sun, Ocean and Volcanoes. *Quaternary Research* (44), p. 341–354.
- Šída, P., & Pokorný, P. (2011). Zjišťování archeologického potenciálu krajiny pomocí kvartérně geologického mapování na příkladu Třeboňska. *Archeologické rozhledy* (63), p. 485–500.
- Šída, P., Pokorný, P., Chvojka, O., & Kuneš, P. (2010). Výzkum okolí jezera Švarcenberk v letech 2005 až 2008. In: P. Křišťuf, & P. Vařeka, *Opomíjená archeologie 2007-2008* (p. 36–45). Plzeň: Katedra archeologie FF Západočeské univerzity.
- Štefková, E. (2008). Diatom species composition in the sediment core of Plešné Lake (Bohemian Forest, Czech Republic). *Silva Gabreta* (14(2)), p. 73–84.
- Valentová, D. (2011). *Geochemické studium jezerních sedimentů v oblasti zaniklého Komořanského jezera*. diplomová práce, Přírodovědecká fakulta UK v Praze.

- Van Dam, H., Mertens, A., & Sinkeldam, J. (1994). A Coded Checklist and Ecological Indicator Values of Freshwater Diatoms from the Netherlands. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology* (28 (1)), p. 117–133.
- Van Raden, U. J., Colombaroli, D., Gilli, A., Schwander, J., Bernasconi, S. M., Bernasconi, S. M. & kol. (2013). High-resolution late-glacial chronology for the Gerzensee lake record (Switzerland): $\delta^{18}\text{O}$ correlation between a Gerzensee-stack and NGRIP. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* (391), p. 13–24.
- Vegas-Vilarrúbia, T., González-Sampériz, P., Morellón, M., Gil-Romera, G., Pérez-Sanz, A., & Valero-Garcés, B. (2013). Diatom and vegetation responses to Late Glacial and Early Holocene climate changes at Lake Estanya (Southern Pyrenees, NE Spain). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 392 (2013) 335–349 (392), p. 335–349.
- Vencl, S. (1970). Das Spätpaleolitikum in Böhmen. *Anthropologie* (8/1), p. 3–68.
- Vencl, S. (1994). The Upper and Late Paleolithic, and the Mesolithic. *Památky Archeologické, Supplementum* (1), p. 16–22.
- Wettstein, R. (1896). Über ein subfossiles Vorkommen von *Trapa natans* in Böhmen. *Lotos* (44).
- Winder, M., Reuter, J. E., & Schladow, S. G. (2009). Lake warming favours small-sized planktonic diatom species. *Proceedings of the Royal Society B* (276), p. 427–435.
- Zapletal, L. (1954). Zbytky Komořanského jezera. *Ochrana přírody* (9 (2)), p. 57–58.
- Zawiska, I., Slowiński, M., Correa-Metrio, A., Obremaska, M., Luoto, T., Nevalainen, L. & kol. (2015). The response of a shallow lake and its catchment to Late Glacial climate changes - A case study from eastern Poland. *Catena* (126), p. 1–10.
- Zhang, X., Reed, J., Wagner, B., Francke, A., & Levkov, Z. (2014). Lateglacial and Holocene climate and environmental change in the northeastern Mediterranean region: diatom evidence from Lake Dojran (Republic of Macedonia/Greece). *Quaternary Science Reviews* (103), p. 51–66.
- Žebera, K. (1964). Kvartér Českého masivu. In: J. a. Svoboda, *Regionální geologie ČSSR I. díl* (Sv. 2). Praha: Nakladatelství ČSAV.