Litostratigrafie a stáří sedimentů šumavských jezer: prvotní zhodnocení

Lithostratigraphy and age of the Bohemian Forest lake sediments: A first assessment

Daniel Vondrák[1] – Jiří Kopáček[2] – Günther Kletetschka[3, 4] – Barbora Chattová[5] – Vladimír Suchánek[6] – Jolana Tátosová[1] – Petr Kuneš[7]

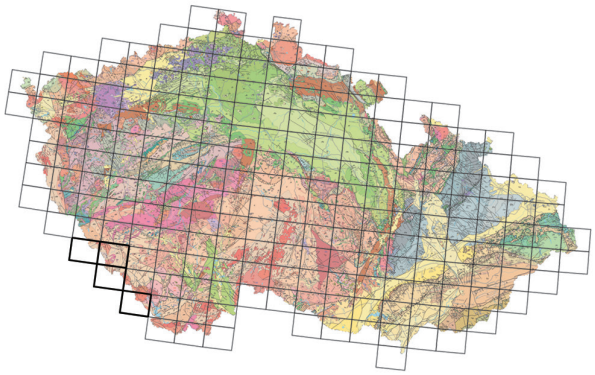
[1] Ústav pro životní prostředí, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, Benátská 2, 128 01 Praha 2; daniel.vondrak@natur.cuni.cz
[2] Hydrobiologický ústav, Biologické centrum AV ČR, v. v. i., Na Sádkách 702/7, 370 05 České Budějovice
[3] Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užité geofyziky, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, Albertov 6, 128 43 Praha 2
[4] Geophysical Institute, University of Alaska Fairbanks, 903 N Koyukuk Drive, Fairbanks, Alaska, USA
[5] Ústav botaniky a zoologie, Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita, Kotlářská 267/2, 611 37 Brno
[6] Ústav geologie a paleontologie, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, Albertov 6, 128 43 Praha 2
[7] Katedra botaniky, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, Benátská 2, 128 01 Praha 2

Please cite this article as: Vondrák, D. – Kopáček, J. – Kletetschka, G. – Chattová, B. – Suchánek, V. – Tátosová, J. – Kuneš, P. (2019): Lithostratigraphy and age of the Bohemian Forest lake sediments: A first assessment. – Geoscience Research Reports 52, 75–83. (in Czech)

Key words: Bohemian Forest, local deglaciation, Late Glacial, radiocarbon dating, palaeolimnology, Czech Republic

Summary: The Bohemian Forest (Šumava Mts.) lakes are situated along the Czech-German-Austrian border. In addition to the existing eight glacial lakes, other eight infilled lakes were found so far (Fig. 1). These sites represent important natural archives, allowing reconstructions of past environmental changes since the end of the last deglaciation. Although these sediments became a subject of increasing scientific interest during the last decades, a comparison among the individual lakes is still lacking. Here, we aim to investigate the age of these natural archives and compare their general lithostratigraphic patterns. To fulfil our research aim, we studied lake sediment cores from three localities (Plešné jezero, Prášilské jezero, Stará jímka) and compared them with the published data on other two sites (Malé Černé jezero, Rachelsee), using accelerator mass spectrometry (AMS) radiocarbon dating, simplified description of the lithology, and loss-on-ignition (LOI). Sediments of Late Glacial age contain a series of silt- and clay-dominated layers with low proportion of organic matter indicated by LOI with concentrations usually <10% (Figs 2, 3, 4). In contrast, the Holocene sediment consists of organically-rich dark brown material (gyttja) (Figs 2, 3). In the infilled lakes, this sediment gradually becomes peaty in the upper layers (LOI 16–96%). The oldest ^{14}C date based on AMS dating of terrestrial plant remains (14,411–13,831 cal. yr. BP; Stará jímka; Table 1, Fig. 2) corresponds to the Bølling interstadial. Despite repeated sampling, no evidence of Late Glacial sediments was documented in Prášilské jezero (Fig. 2). Based on the first results obtained from the sediment cores, we conclude that:

– The age of sedimentation onset in the Bohemian Forest lakes may differ from age of the moraines damming the lake water.
– The oldest natural archives represented by the Bohemian Forest lake sediments cover at least the whole Late Glacial period (~14,700–11,650 cal. yr. BP).
– Besides individualities in historical development of each catchment, the lake sediments reflect the general regional changes due to climatically driven deglaciation and forest establishment.
– The future investigation of the Bohemian Forest lake sediments needs to be based on a uniform and coherent approach including geochemical, geophysical, and palaeoecological methods. In addition, the dating can be supported by tephrochronology as the Laacher See Tephra was recently documented at Stará jímka site (Fig. 4).



(21-44 Železná Ruda, 22-33 Kašperské Hory, 32-11 Kvilda, 32-14 Nová Pec)

Jezerní sedimenty představují jedny z nejvýznamnějších přírodních archivů obsahujících informace o nejmladší geologické minulosti střední Evropy. V Českém masivu byly ještě donedávna lokality s přítomností jezerních sedimentů, které by navíc stářím odpovídaly poslednímu kvartérnímu klimatickému cyklu, považovány za velmi vzácné. V posledních letech však byla na území Česka doložena existence několika desítek zazemněných jezerních pánví, z nichž velká část pravděpodobně vznikla v období tzv. pozdního glaciálu (~14 700–11 650 cal. yr. BP; uvedené jednotky představují kalendářní roky před rokem 1950; Vondrák et al. 2015, Hošek et al. 2016, 2018). Mezi

DOI 10.3140/zpravy.geol.2019.13

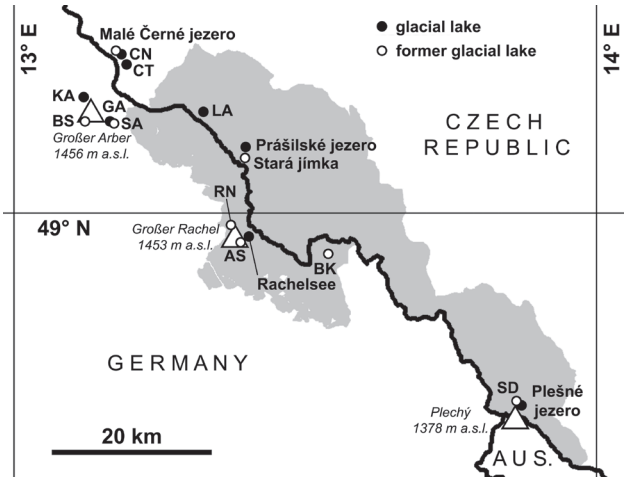
oblasti s významným výskytem jezerních sedimentů patří rovněž Šumava, kde po ústupu lokálního horského zalednění vznikla jezera karová. Některá z nich byla již také zazemněna (Pfaffl 1986, 1991, 1997, Mentlík et al. 2010, Vočadlová et al. 2015, Vondrák et al. 2015). V posledních letech jsou šumavské jezerní sedimenty předmětem stále se zvyšujícího zájmu o jejich interdisciplinární studium. Tento trend je mj. důsledkem toho, že v nich lze dosáhnout vysokého časového rozlišení, jelikož sedimentace v jezerním prostředí je prakticky kontinuální a ve stávajících jezerech probíhá dodnes. S ohledem na přibývající počet zkoumaných lokalit je nezbytné jejich prvotní porovnání, které by rozlišilo, do jaké míry lze poznatky plynoucí z jezerních sedimentů považovat za obecné, tedy regionální, či lokální.

Cílem této práce je aktualizovat údaje o stáří šumavských jezer, zdokumentovat délky časového období zachyceného v jednotlivých sedimentárních záznamech a posoudit, zda charakter sedimentovaného materiálu, resp. litologie vrtů, v čase odráží vedle individuální historie každého jezerního povodí též synchronní změny v celé oblasti. Za tímto účelem prezentujeme vlastní výsledky z vrtů z Plešného jezera, Prášilského jezera a Staré jímky, které srovnáváme s publikovanými výsledky z vrtů z Malého Černého jezera (Vočadlová et al. 2015) a Rachelsee (Kadlubowska – Michler 1989).

Charakteristika lokalit a metodika

Šumavská jezera se nacházejí ve vysokých polohách Šumavy podél státní hranice České republiky, Německa a Rakouska (obr. 1). Podloží v povodí jezer tvoří metamorfity a plutonické horniny moldanubika, převážně pak pararula, svory, migmatity a granity (Vrba et al. 2000, https://mapy.geology.cz/geocr50/). Současný reliéf povodí silně ovlivnilo lokální kvartérní zalednění, které dalo vzniknout i samotným jezerním pánvím (např. Raab – Völkel 2003, Vočadlová – Křížek 2009, Mentlík et al. 2010, 2013). Osm stávajících jezer je situováno na dně ledovcových karů v nadmořských výškách 917–1087 m. Vedle nich bylo v oblasti v různé míře zdokumentováno dalších 8 zaniklých ledovcových jezer – Alter See (Alter Rachelsee, Pfaffl 1986), Bankelschwelle (Pfaffl 1986), Bärnriegel-Kar (Pfaffl 1997), Rachel-Nordkar (Pfaffl 1986), Stará jímka (Alte Schwelle, Mentlík et al. 2010), Stifterova díra (Stifter Hollow, Vondrák et al. 2015), Stiller Arbersee (Pfaffl 1991) a bezejmenná lokalita v karu Černého jezera (Vočadlová et al. 2015), která je v této práci uváděna pod názvem Malé Černé jezero. Tyto lokality pokrývají rozmezí nadmořských výšek od 925 m do 1130 m. Existenci dalších podobných zazemněných jezer na Šumavě nelze vyloučit (např. Pfaffl 1986).

V této práci prezentujeme litologické popisy vrtů ze tří jezerních lokalit – jezer Prášilského, Plešného a Staré jímky, které srovnáváme s publikovanými litologickými popisy pro vrty z Malého Černého jezera (Vočadlová et al. 2015) a Rachelsee (Kadlubowska – Michler 1989). Litologický popis konkrétního vrtu z Plešného jezera publikovali Pražáková et al. (2006), ostatní dva dosud nikdo. GPS souřadnice jednotlivých vrtů jsou uvedeny v tab. 1. Vrt z Prášilského jezera (PRA15; délka 2,19 m) byl odebrán v srpnu 2015 z plovoucí plošiny za pomoci komorového odběráku typu „Russian peat corer“ (komora 1,5 × 0,075 m) a gravitačního odběráku v Boylově modifikaci (průměr 0,1 m; Boyle 1995). Detailní informace k metodice odběru a výsledky radiokarbonového datování uvádějí Carterová et al. (2018a). Vrt SJ2 ze zazemněného jezera Stará jímka o délce 5 m byl získán pomocí pístového vrtáku s pneumatickým kladivem (komora 1 × 0,06 m) v říjnu 2008. Na téže lokalitě byl v těsné blízkosti SJ2 odebrán i paralelní vrt SJ North, jehož pozdně glaciální část detailně studovali a popsali Kletetschka et al. (2018). V této práci je zahrnut pro doplnění záznamu ze SJ2, jelikož v něm byla přímo doložena tefra z erupce Laacher See (Kletetschka et al. 2018). Hloubky ve všech vrtech prezentujeme vůči rozhraní voda-sediment (v případě zazemněných jezer vůči povrchu terénu), které tak představuje hloubku 0 m. Vzhledem k nejednotnosti dříve publikovaných popisů sedimentárního vývoje na jednotlivých lokalitách se zde soustředíme pouze na hlavní, nejnápadnější litologické změny.



Obr. 1. Poloha šumavských lokalit s jezerními sedimenty. ● – současná ledovcová jezera, ○ – jezera zazemněná. Názvy lokalit zmíněných v této práci jen okrajově jsou uvedeny zkratkou: AS – Alter See, BK – Bärnriegel-Kar, BS – Bankelschwelle, CN – Černé jezero, CT – Čertovo jezero, GA – Großer Arbersee, KA – Kleiner Arbersee, LA – Laka, RN – Rachel-Nordkar, SA – Stiller Arbersee, SD – Stifterova díra. Šedá oblast znázorňuje území národních parků Šumava a Bayerischer Wald.

Fig. 1. Location of lake sediment sites within the Bohemian Forest (Šumava) mountain range. ● – current glacial lakes, ○ – naturally infilled lakes. The names of sites mentioned marginally in this study are abbreviated: AS – Alter See, BK – Bärnriegel-Kar, BS – Bankelschwelle, CN – Černé jezero, CT – Čertovo jezero, GA – Großer Arbersee, KA – Kleiner Arbersee, LA – Laka, RN – Rachel-Nordkar, SA – Stiller Arbersee, SD – Stifterova díra. Area of the Šumava National Park, Czechia, and the Bayerischer Wald National Park, Germany, is shown in grey.

Za účelem stanovení stáří konkrétních litologických fází bylo využito radiokarbonového datování metodou urychlovačové hmotnostní spektrometrie (accelerator mass spectrometry – AMS). Datováno bylo 6 vzorků ze Staré jímky (vrt SJ2) a 2 vzorky z Plešného jezera (jde o doplňující analýzu u vrtu PL1990, o kterém pojednávají např. Pražáková et al. 2006). Ostatních 23 radiokarbonových dat bylo přejato z dříve publikovaných prací (Pražáková et al. 2006,

Vočadlová et al. 2015, Carter et al. 2018a). Všechna data byla následně převedena na kalendářní roky (cal. yr. BP) za využití kalibrační křivky IntCal13 (Reimer et al. 2013) a online softwaru OxCal verze 4.3.2 (Bronk Ramsey, C.; https://c14.arch.ox.ac.uk/oxcal.html).

U vrtu z Plešného jezera a obou vrtů ze Staré jímky jsme dále provedli stanovení ztráty žíháním (loss-on-ignition – LOI) za účelem zjištění obsahu organické hmoty v jednotlivých vrstvách. V případě vrtu PL1990 a spodní části vrtu SJ2 (3,2–4,85 m) byl proto sediment rozdělen na vrstvy o mocnosti 0,03 m, v případě SJ North (zájmový úsek 3,97–4,707 m) na vrstvy o mocnosti 0,01 či 0,002 m. Z nich odebrané vzorky o známé suché hmotnosti byly žíhány v muflovací peci při teplotě 550 °C do konstantní hmotnosti. Hodnota LOI byla vypočtena jako rozdíl mezi hmotností vysušeného (105 °C) vzorku před žíháním a po něm a vyjádřena v procentech. Křivky LOI pro vrty z lokalit Malé Černé jezero a Rachelsee byly získány z prací Vočadlové et al. (2015) a Kadlubowské a Michlera (1989).

Výsledky a interpretace

Dosavadní litologické popisy vrtů jezerními sedimenty šumavských jezer jsou zatíženy značnou nejednotností. V případě Plešného jezera (Pražáková et al. 2006) a Rachelsee (Kadlubowska – Michler 1989) z nich lze získat jen základní představu o povaze sedimentu, a to na základě údajů o barvě, odhadu velikosti částic a množství organické hmoty. Obdobné údaje pro Malé Černé jezero (Vočadlová et al. 2015) jsou ve stejných parametrech o poznání podrobnější a doplněné i o poznámky k charakteru organické hmoty. Tyto skutečnosti jsme zohlednili a litologické popisy vrtů Malého Černého jezera, ale i z Prášilského jezera a Staré jímky prezentujeme rovněž v jednotně zjednodušené formě (obr. 2, 3). Díky tomuto zjednodušení bylo možno všech pět vrtů vzájemně srovnat a zhodnotit u nich právě jen hlavní etapy sedimentárního vývoje. Uplatněný přístup nutně opomíjí skutečnost, že některé přechody mezi různými litologickými fázemi jsou při bližším pohledu plynulé, nikoliv skokové, ani nepostihuje nápadné erozní vrstvy s mocností menší než 0,005 m. Takové vrstvy s vysokým podílem jílu byly např. zaznamenány u vrtu z Prášilského jezera (PRA15), kde ostře kontrastovaly s převážně organickým, tmavým sedimentem typu gyttja (= sapropel, tj. převážně organický, neplastický, amorfní sediment tvořený zejména částicemi < 0,1 mm), který jinak ve vrtu dominoval. Součástí obr. 2 je vedle schematizované litologie vrtů i přehled výsledků radiokarbonového datování. Detaily k datovaným vzorkům a nekalibrované výsledky datování pak shrnuje tab. 1.

Vrty z jednotlivých lokalit se liší jak svou délkou, tak litologií (obr. 2). U délky vrtu z Rachelsee (3,5 m) je třeba vzít v úvahu, že byla limitována odběrovým zařízením (Kadlubowska – Michler 1989) a nebylo tak pravděpodobně dosaženo kontaktu s podložním materiálem nacházejícím se pod jemnozrnnými jezerními sedimenty. U ostatních vrtů se dosažení kontaktu s podložním materiálem předpokládá, a to zejména kvůli přítomnosti písku či štěrku na jejich bázi, která limitovala proniknutí odběrových zařízení do větší hloubky. V případě Staré jímky byl díky použití pístového odběráku s pneumatickým kladivem na bázi vrtu SJ2 získán i hrubý písek se štěrkem o hrubosti až 6 cm.

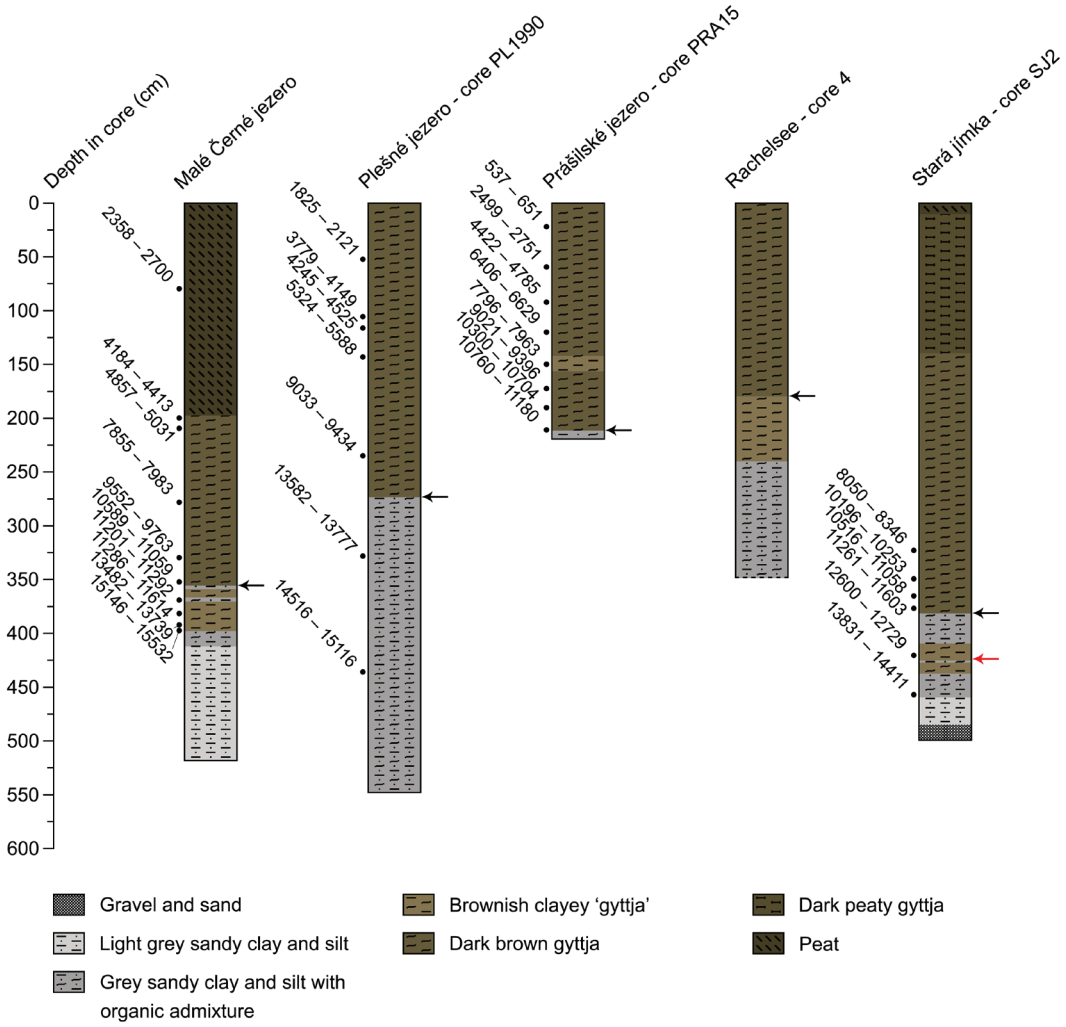
Nepočítáme-li podložní štěrk, přesahují všechny vrty svou délkou 4,8 m, a to s nápadnou výjimkou výrazně kratšího (2,19 m) vrtu z Prášilského jezera. Tento vrt (PRA15) totiž zcela postrádá pozdně glaciální záznam, což je doloženo nejen jeho datováním (tab. 1, obr. 2), ale také přítomností jehlic smrku ztepilého (*Picea abies*) i v nejhlubších vrstvách (Carter et al. 2018b). Ani opakované odběry na Prášilském jezeře (2015, 2016, 2017) nevedly k získání starších sedimentů (P. Kuneš, nepublikováno), a tak lze předpokládat, že chybějí. Ukládání sedimentů v Prášilském jezeře proto začalo později než v ostatních čtyřech jezerech, a to pravděpodobně kolem hranice mladšího dryasu a holocénu (11 650 ± 99 cal. yr. BP). Datování morény hradící Prášilské jezero pomocí ^{10}Be (Mentlík et al. 2013) nenaznačuje, že by k ústupu ledovce z karu došlo až na konci mladšího dryasu (12 900–11 760 cal. yr. BP). Důvod opožděného počátku sedimentace v jezerní pánvi je proto zřejmě jiný. Možným vysvětlením by mohlo být výrazné prosakování morény v době pozdního glaciálu, které udrželo pánev nezaplavenou.

Oproti Prášilskému jezeru dokládají vrty z Malého Černého jezera, Plešného jezera a Staré jímky existenci jezerního prostředí jednoznačně už v době pozdního glaciálu (obr. 2). Pozdně glaciální sedimenty ve všech těchto vrtech však byly velmi chudé na terestrické rostlinné makrozbytky. Z toho důvodu bylo v některých případech nutné datovat i vzorky nespecifikovaného organického uhlíku obsaženého v jezerním sedimentu (tzv. bulk; tab. 1). Ani tak však nebyla datována, s ohledem na malý podíl organické hmoty (obr. 3), báze žádného z těchto vrtů. Určitou výjimkou je jen datování pomocí opticky stimulované luminiscence ve vrtu z Malého Černého jezera (Vočadlová et al. 2015), které je však zatíženo příliš velkou chybou (časový interval 13 858–21 460 cal. yr. BP). Nejstarší radiokarbonově datované vzorky přesto naznačují, že tato jezera vznikla buď v době oteplení na počátku bøllingu (14 700 cal. yr. BP), nebo dokonce ještě dříve. Nejstarší datum, které nebylo získáno ze vzorku typu bulk, ale z daleko vhodnějších zbytků terestrických dřevin, pochází ze Staré jímky a odpovídá mu časový interval 14 411–13 831 cal. yr. BP (tab. 1). Výsledky datování profilů ze zazemněných, po celou dobu existence tedy pravděpodobně nepříliš hlubokých jezer (Malé Černé jezero, Stará jímka) kontrastují s představou prezentovanou Kłapytou et al. (2016), že suché klima pozdního glaciálu umožňovalo ve středoevropských horách vznik vodních ploch jen v těch jezerních pánvích, ve kterých se dnes nacházejí jezera s maximální hloubkou přesahující 10 m. Na Šumavě takové podmínky zjevně nenastaly. Předpokládáme proto, že existence mělkých horských jezer byla i v této době spojena spíše s jejich genezí a propustností morén a nebyla zásadně limitována nižšími srážkovými úhrny.

Doložené sedimenty pozdně glaciálního stáří se vyznačují nápadným zbarvením v různých odstínech šedé, která po oxidaci materiálu při kontaktu se vzduchem získává

Site	Core code	Core location	Sample depth (cm)	Sample lab ID number	^{14}C age (yr. BP)	Calibrated age (cal. yr. BP, 2σ range)	Material dated	Reference
Malé Černé jezero	–	49°10.95‘ N, 13°10.80‘ E	80	UGAMS-3933	2,440 ± 25	2,700–2,358	*Picea* needle, moss	Vočadlová et al. (2015)
Malé Černé jezero	–	49°10.95‘ N, 13°10.80‘ E	200	UGAMS-3934	3,870 ± 25	4,413–4,184	*Picea* needle, fruit scale	Vočadlová et al. (2015)
Malé Černé jezero	–	49°10.95‘ N, 13°10.80‘ E	210	UGAMS-3935	4,360 ± 25	5,031–4,857	bulk sample	Vočadlová et al. (2015)
Malé Černé jezero	–	49°10.95‘ N, 13°10.80‘ E	278	UGAMS-3936	7,100 ± 30	7,983–7,855	bulk sample	Vočadlová et al. (2015)
Malé Černé jezero	–	49°10.95‘ N, 13°10.80‘ E	330	UGAMS-3937	8,710 ± 30	9,763–9,552	*Picea* fruit	Vočadlová et al. (2015)
Malé Černé jezero	–	49°10.95‘ N, 13°10.80‘ E	352.5	UGAMS-3938	9,470 ± 30	11,059–10,589	bulk sample	Vočadlová et al. (2015)
Malé Černé jezero	–	49°10.95‘ N, 13°10.80‘ E	369	UGAMS-3939	9,840 ± 30	11292–11201	bulk sample	Vočadlová et al. (2015)
Malé Černé jezero	–	49°10.95‘ N, 13°10.80‘ E	382	UGAMS-3940	9,990 ± 30	11614–11286	moss	Vočadlová et al. (2015)
Malé Černé jezero	–	49°10.95‘ N, 13°10.80‘ E	391.5	UGAMS-3941	11,790 ± 30	13,739–13,482	bulk sample	Vočadlová et al. (2015)
Malé Černé jezero	–	49°10.95‘ N, 13°10.80‘ E	397	UGAMS-3942	12,840 ± 40	15,532–15,146	bulk sample	Vočadlová et al. (2015)
Plešné jezero	PL1990	close to the deepest point of the lake	52.5	NZA-9645	2,005 ± 60	2,121–1,825	*Betula* leaf	Pražáková et al. (2006)
Plešné jezero	PL1990	close to the deepest point of the lake	106.5	NZA-9317	3,637 ± 60	4,149–3,779	*Pinus* bark and needles	Pražáková et al. (2006)
Plešné jezero	PL1990	close to the deepest point of the lake	115.5	NZA-13686	3,949 ± 50	4,525–4,245	*Abies* needle and seed	Pražáková et al. (2006)
Plešné jezero	PL1990	close to the deepest point of the lake	143.5	NZA-11663	4,733 ± 55	5,588–5,324	*Pinus* branch and needles, *Picea* needles	Pražáková et al. (2006)
Plešné jezero	PL1990	close to the deepest point of the lake	235.5	NZA-9599	8,264 ± 65	9,434–9,033	tree bark	Pražáková et al. (2006)
Plešné jezero	PL1990	close to the deepest point of the lake	328.5	Beta-463233	11,890 ± 30	13,777–13,582	bulk sample	this study
Plešné jezero	PL1990	close to the deepest point of the lake	436.5	Beta-455601	12,540 ± 40	15,116–14,516	bulk sample	this study
Prášilské jezero	Pra-15, drive 2-1	49°4.5114‘ N, 13°23.9856‘ E	21.25	Poz-84783	590 ± 30	651–537	bulk sample	Carter et al. (2018a)
Prášilské jezero	Pra-15, drive 2-1	49°4.5114‘ N, 13°23.9856‘ E	59.75	Poz-81580	2,545 ± 30	2,751–2,499	*Picea* needle	Carter et al. (2018a)
Prášilské jezero	Pra-15, drive 2-1	49°4.5114‘ N, 13°23.9856‘ E	149.25	Poz-87722	7,055 ± 40	7,963–7,796	*Picea* needle	Carter et al. (2018a)
Prášilské jezero	Pra-15, drive 2-2	49°4.5114‘ N, 13°23.9856‘ E	92.25	Poz-81582	4,040 ± 35	4,785–4,422	*Picea* needles	Carter et al. (2018a)
Prášilské jezero	Pra-15, drive 2-2	49°4.5114‘ N, 13°23.9856‘ E	120.25	Poz-81583	5,700 ± 40	6,629–6,406	*Picea* needle	Carter et al. (2018a)
Prášilské jezero	Pra-15, drive 2-2	49°4.5114‘ N, 13°23.9856‘ E	171.75	Poz-84781	8,210 ± 50	9,396–9,021	*Picea* needles	Carter et al. (2018a)
Prášilské jezero	Pra-15, drive 2-2	49°4.5114‘ N, 13°23.9856‘ E	190.25	Poz-84780	9,330 ± 60	10,704–10,300	*Picea* bud scales, *Betula* leaf and seed	Carter et al. (2018a)
Prášilské jezero	Pra-15, drive 2-2	49°4.5114‘ N, 13°23.9856‘ E	210.75	Poz-80183	9,620 ± 60	11,180–10,760	*Picea* seed	Carter et al. (2018a)
Stará jímka	SJ2	49°4.1233‘ N, 13°24.1783‘ E	321.7	LTL-15654A	7,390 ± 50	8,346–8,050	bulk sample without plant macro-remains	this study
Stará jímka	SJ2	49°4.1233‘ N, 13°24.1783‘ E	349.3	Beta-439991	9,070 ± 30	10,253–10,196	bulk sample without plant macro-remains	this study
Stará jímka	SJ2	49°4.1233‘ N, 13°24.1783‘ E	365.1	Beta-508409	9,430 ± 50	11,058–10,516	*Pinus* needle fragments	this study
Stará jímka	SJ2	49°4.1233‘ N, 13°24.1783‘ E	377.0	UGAMS-12505	9,960 ± 30	11,603–11,261	*Betula* twig	this study
Stará jímka	SJ2	49°4.1233‘ N, 13°24.1783‘ E	420.5	Beta-439992	10,710 ± 30	12,729–12,600	bulk sample	this study
Stará jímka	SJ2	49°4.1233‘ N, 13°24.1783‘ E	457.5	Beta-508407	12,210 ± 70	14,411–13,831	*Larix* needle, leaf (cf. *Betula nana*) fragments	this study

narezlý tón (obr. 2, 3). Obsahují vysoký podíl anorganických částic velikostně odpovídajících jílu, prachu a případně i písku. Na bázi vrtů ze Staré jímky (4,59–4,86 m, SJ2) a Malého Černého jezera (4,1–5,2 m) byla zachycena fáze rychlé sedimentace v jezerním prostředí (obr. 2, 3), nápadná zcela zanedbatelným obsahem pylu a dalších mikroskopických pozůstatků organismů (Vočadlová et al. 2015, D. Vondrák, nepublikováno). Šedý pozdně glaciální sediment z Malého Černého jezera a Staré jímky je později, ale ještě před počátkem holocénu, opakovaně střídán hnědým či tmavým sedimentem s vyšším podílem organické hmoty, který se však ještě nedá nazvat plně vyvinutou gyttjou.

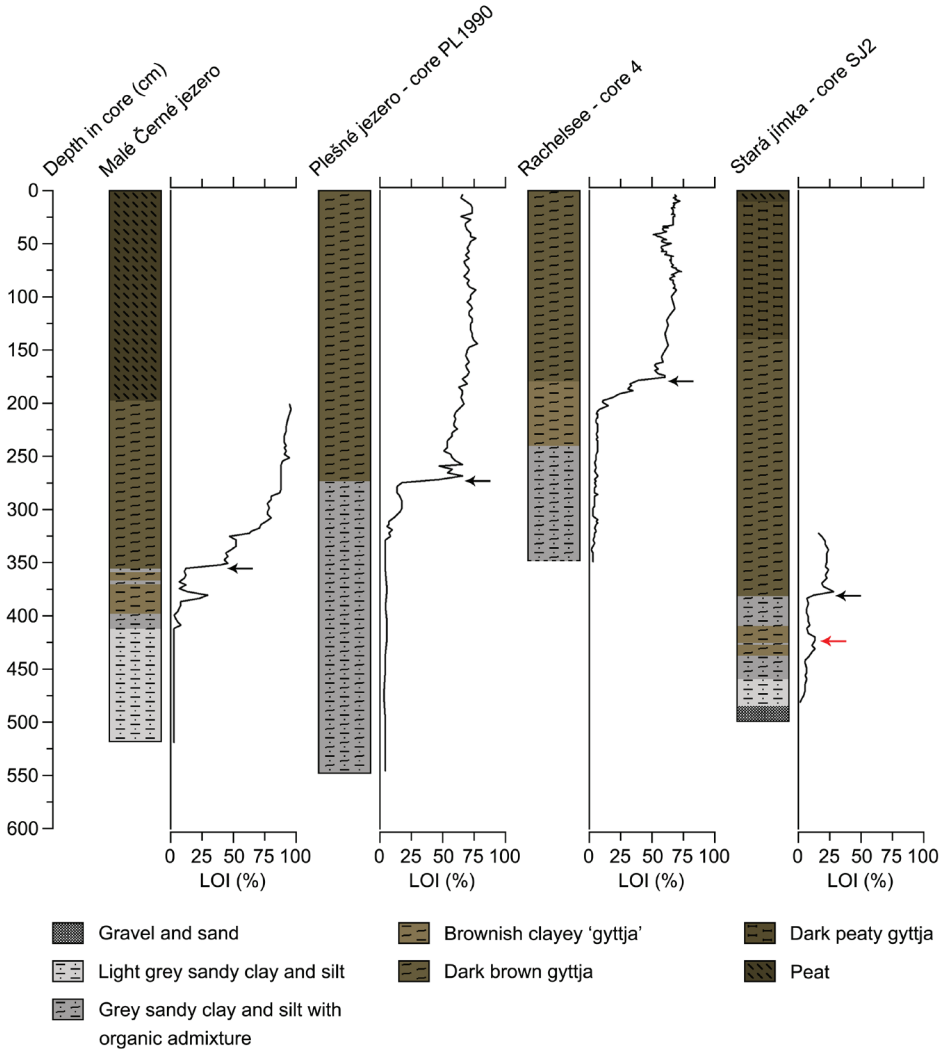


Obr. 2. Zjednodušený popis litologie vrtů jezerních sedimentů z pěti šumavských lokalit – Malého Černého jezera, Plešného jezera, Prášilského jezera, Rachelsee a Staré jímky. ● – radiokarbonově datované vzorky (cal. yr. BP; 95,4% konfidenční interval). → – předpokládaný začátek sedimentace materiálu s vysokým podílem organické hmoty na počátku holocénu; → – poloha tefry Laacher See, zdokumentované na paralelním vrtu (SJ North) z lokality Stará jímka (Kletetschka et al. 2018, Procházka et al. 2019). Litologie vrtu z Malého Černého jezera převzata z práce Vočadlové et al. (2015) a zjednodušena, litologie vrtu z Plešného jezera převzata z práce Pražákové et al. (2006), litologie vrtu z Rachelsee z práce Kadlubowské a Michlera (1989) a zjednodušena.
Fig. 2. Simplified lithology of lake sediment cores from five Bohemian Forest sites – Malé Černé jezero, Plešné jezero, Prášilské jezero, Rachelsee, and Stará jímka. ● – radiocarbon dated samples (cal. yr. BP; 95.4% confidence interval), → – presumed beginning of highly organic sedimentation at the Holocene onset, → – location of the Laacher See Tephra layer found in a parallel core (SJ North) from the Stará jímka site (Kletetschka et al. 2018, Procházka et al. 2019). Lithology of Malé Černé jezero core is adapted from Vočadlová et al. (2015) and simplified. Lithology of Plešné jezero is adapted from Pražáková et al. (2006). Lithology of Rachelsee core is adapted from Kadlubowska and Michler (1989) and simplified.

< Tabulka 1. Radiokarbonová data z vrtů ze čtyř šumavských jezer. Výsledky radiokarbonového datování byly kalibrovány za využití kalibrační křivky IntCal13 (Reimer et al. 2013) a OxCal verze 4.3.2 (https://c14.arch.ox.ac.uk/oxcal.html). 2σ interval odpovídá 95,4% konfidenčnímu intervalu pro kalibrované stáří.
Table 1. List of radiocarbon ages for cores from four Bohemian Forest lakes. 14C-dates were calibrated using the IntCal13 calibration curve (Reimer et al. 2013) in OxCal version 4.3.2 (https://c14.arch.ox.ac.uk/oxcal.html). 2σ range shows 95.4% confidence interval of the calibrated age.

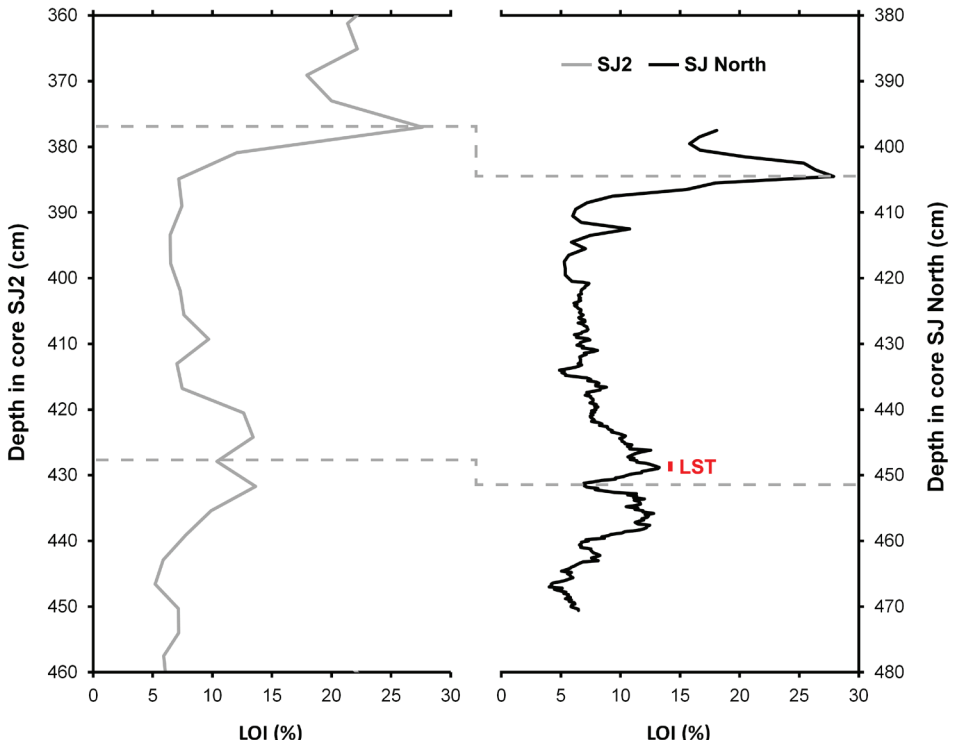
Detailní zachycení evidentních dynamických změn v tomto časovém úseku je však mimo možnosti vizuálního popisu sedimentu, prováděného navíc různými osobami. Z toho důvodu jsme popisy doplnili o stanovení ztráty žíháním (LOI; obr. 3), tedy klasickou metodou, která není zatížena subjektivním přístupem, jako tomu může být u zmíněného litologického popisu. Tímto způsobem jsme potvrdili zvýšenou akumulaci organické hmoty ve zmíněných hnědých vrstvách – LOI až 29 % u Malého Černého jezera (v šedých vrstvách jen 2–10 %) a až 14 % u Staré jímky (v šedých vrstvách jen 2–8 %). Ač v Plešném jezeře obdobná změna zbarvení nebyla zaregistrována (Pražáková et al. 2006), i tam hodnoty LOI ještě před počátkem holocénu přerůstají hodnotu 10 % (od hloubky 3,09 m) a dosahují až 17 %. To napovídá, že jde o jev obecný a v šumavských jezerech došlo k postupnému zvyšování obsahu organické hmoty v sedimentech již v průběhu pozdního glaciálu.

Prostřednictvím porovnání křivek LOI jsme rovněž podpořili předpoklad o existenci pozdně glaciálních sedimentů ve vrtu z Rachelsee. Tento vrt popisovaný v práci Kadlubowské a Michlera (1989) sice radiokarbonově datován nebyl, ale jeho charakteristika podle LOI v kombinaci s jednoduchým litologickým popisem ukazuje na obdobný vývoj, jaký popisujeme u většiny ostatních záznamů s výjimkou Prášilského jezera. Z Rachelsee bylo navíc publikováno detailní datování jiného vrtu (Carter et al. 2018a),



Obr. 3. Srovnání litologie vrtů z Malého Černého jezera, Plešného jezera, Rachelsee a Staré jímky s výsledky ztráty žíháním (LOI). → – předpokládaný začátek sedimentace materiálu s vysokým podílem organické hmoty na počátku holocénu. → – poloha tefry Laacher See zdokumentované na paralelním vrtu (SJ North) z lokality Stará jímka (Kletetschka et al. 2018, Procházka et al. 2019). Litologie vrtu z Malého Černého jezera převzata z práce Vočadlové et al. (2015) a zjednodušena, litologie vrtu z Plešného jezera přejata z práce Pražákové et al. (2006), litologie vrtu z Rachelsee přejata z práce Kadlubowské a Michlera (1989) a zjednodušena. Křivky LOI pro Malé Černé jezero a Rachelsee jsou překresleny z práce Vočadlové et al. (2015) a Kadlubowské a Michlera (1989).

Fig. 3. Comparison of Malé Černé jezero, Plešné jezero, Rachelsee, and Stará jímka core lithology with loss-on-ignition (LOI). → – presumed beginning of highly organic sedimentation at the Holocene onset. → – location of the Laacher See Tephra layer found in a parallel core (SJ North) from the Stará jímka site (Kletetschka et al. 2018, Procházka et al. 2019). Lithology of Malé Černé jezero core is adapted from Vočadlová et al. (2015) and simplified. Lithology of Plešné jezero is adapted from Pražáková et al. (2006). Lithology of Rachelsee core is adapted from Kadlubowska and Michler (1989) and simplified. LOI curves for Malé Černé jezero and Rachelsee are redrawn from graphs presented at Vočadlová et al. (2015) and Kadlubowska and Michler (1989).



Obr. 4. Srovnání částí dvou vrtů (SJ2, SJ North) z lokality Stará jímka prostřednictvím ztráty žíháním (LOI). **LST** – interval hloubek odpovídajících nálezu tefry Laacher See (LST) podle Kletetschky et al. (2018).
Fig. 4. Correlation of two core (SJ2, SJ North) sections from Stará jímka site based on loss-on-ignition (LOI). **LST** – depth interval where the Laacher See Tephra (LST) was found by Kletetschka et al. (2018).

které rovněž dokládá přítomnost pozdně glaciálního sedimentu, avšak bez doprovodného litologického popisu. Nejstarší z radiokarbonových dat zde má hodnotu 11 310 ± 40 yr. BP, resp. 13 261–13 077 cal. yr. BP, a nalézá se v hloubce 3,14 m, přičemž uvedená délka celého vrtu je 11,8 m. Spolu s výsledky pionýrské práce A. Reissingerra (1931 in Veselý 1994), které dokládají v Černém jezeře mocnost limnických sedimentů 15,3 m, jde o údaje o zdaleka nejhlubším vrtu dosud získaném z některého ze šumavských jezer.

Litologické změny zaznamenané pro období odpovídající druhé půli pozdního glaciálu si do budoucna zaslouží bližší pozornost. Lze předpokládat, že souvisí s velkou dynamikou tehdejších environmentálních změn spojených zejména s nestabilním klimatem (např. Ammann et al. 2013). Důležitou roli v tomto směru může sehrát nález tefry Laacher See (též stáří asi 12 900 cal. yr. BP) na lokalitě Stará jímka ve vrtu SJ North (úlomky vulkanického skla potvrzeny v intervalu hloubek 4,492–4,478 m) odebraném v těsné blízkosti vrtu SJ2 (Kletetschka et al. 2018, Procházka et al. 2019). Hodnoty LOI napříč oběma profily se velmi dobře shodují (obr. 4), díky čemuž lze polohu středu tefry přibližně určit i ve vrtu SJ2 (4,24–4,23 m ± 0,01 m). Tato tefra se do oblasti Šumavy dostala atmosférickou cestou po erupci vulkánu Laacher See ve východní části Eifelu v Německu (Schmincke et al. 1999), tedy ze vzdálenosti asi 470 km. Lze předpokládat, že tefra Laacher See je přítomna ve všech šumavských sedimentech odpovídajícího stáří, což ji předurčuje k využití jako zásadního chronostratigrafického markeru, s jehož pomocí půjde srovnávat navzájem záznamy z jednotlivých lokalit na Šumavě. Stejný přístup však lze uplatnit i v širším měřítku a porovnávat šumavské záznamy s velkým množstvím lokalit v západní části střední Evropy a v dalších regionech, kde byla tatáž tefra rovněž doložena.

Nejvýraznější litologickou změnou ve všech vrtech je počátek sedimentace tmavě hnědého jezerního sedimentu s vysokým podílem organické hmoty (obr. 2, 3). Stejná událost byla pravděpodobně zachycena také ve vrtech z Großer Arbersee, Černého jezera a Čertova jezera (Michler 2000, 2001). Jde o sediment typu gyttja, který se počal na dně jezer akumulovat zhruba mezi 11 000 až 11 500 cal. yr. BP. Je charakterizován vysokými hodnotami LOI, které se u vrtu z Plešného jezera pohybují v rozmezí 46–76 % (obr. 3). U Malého Černého jezera převyšují 40 % a od hloubky 2,9 m neklesají pod 80 %, což lze interpretovat jako důsledek zazemňování a postupné přeměny jezera na rašeliniště. V případě Staré jímky, kde byly analyzovány jen vrstvy odpovídající zhruba spodnímu holocénu (Greenlandian; 11 650–8 200 cal. yr. BP), byly zaznamenány hodnoty výrazně nižší, a to v rozmezí 18–28 %. Důvod tohoto nižšího podílu organické hmoty není zcela zřejmý, snad má vztah ke skutečnosti, že Stará jímka je ze zde porovnávaných lokalit tou nejvýše položenou (1110 m n. m.) a les v povodí jezera začal dominovat později. Právě nástup lesa a vznik lesních půd je totiž považován za událost, která zásadně změnila charakter materiálu, který v šumavských jezerech sedimentoval (Kopáček et al. 2009, Carter et al. 2018a). Tento typ sedimentu se ve stávajících jezerech akumuluje až do současnosti, u jezer zazemněných však byl postupně nahrazován rašelinou. V případě Malého Černého jezera přepokládají Vočadlová et al. (2015) zánik jezera kolem 4500 cal. yr. BP. U Staré jímky lze dle nálezů zbytků živočichů obývajících jezerní prostředí (D. Vondrák, nepublikováno) soudit, že lokalita nabývala podoby velmi mělkého jezera či občasné vodní plochy ještě v posledních staletích.

Závěr

Sedimentární záznam z Prášilského jezera dokládá, že šumavská jezera mohou mít jiné stáří než morény, které je hradí. Doba ústupu ledovce z karů nemusela nutně na všech šestnácti dosud známých jezerních lokalitách na Šumavě přesně odpovídat i době vzniku samotných jezer. Nejdelší z těchto přírodních archivů zahrnují minimálně celý holocén a celý pozdní glaciál, tj. pokrývají alespoň období posledních 14 700 roků. Podle prezentovaných poznatků z pěti lokalit se v hrubých rysech charakter sedimentu v čase měnil obdobně. Určující bylo zejména období po začátku spodního holocénu, kdy v důsledku globální klimatické změny začala v povodích jezer dominovat lesní vegetace a lesní půdy. Na druhou stranu odráží každý ze záznamů zjevně také lokální historii konkrétního povodí, což je nápadné zejména v případě malých mělkých jezer, dnes převážně zazemněných, která jsou obecně citlivější k nejrůznějším disturbancím.

Prezentované litologické popisy vrtů je nutno považovat za velmi zjednodušující. Při budoucím výzkumu by měl být kladen důraz na detailnější a metodicky jednotné charakterizace těchto unikátních sedimentů, podepřené využitím robustních geochemických a geofyzikálních metod, popř. biostratigraficky. Zájem by měl být mimo jiné logicky upřen na záznamy odpovídající pozdnímu glaciálu a počátku holocénu. Šlo totiž o období, kdy jezerní sedimenty byly ovlivněny velkou dynamikou abiotických i biotických procesů formujících povodí jezer. V takto orientovaných studiích může významně posloužit nedávno doložená přítomnost tefry Laacher See, která je důležitým nadregionálním chronostratigrafickým markerem.

Poděkování. Výzkum byl realizován v rámci projektů podpořených GA ČR (č. 16-06915S – EUROPIA a č. 17-05935S – LAYERS) a GA UK (č. 687012 a č. 884218). Za cenné komentáře k problematice šumavských zazemněných jezer děkujeme Fritzu Pfafflovi. Janu Hradeckému a Pavlu Mentlíkovi děkujeme za poskytnutí materiálu z lokality Stará jímka (vrt SJ2). Za pomoc při odběru vrtu SJ North děkujeme Jaroslavu Kadlecovi a za pomoc při stanovení LOI na témže vrtu Tereze Vaňkové. Velký dík za realizaci odběru vrtu z Prášilského jezera patří Johnu F. Boylovi, Jennifer L. Clear, Richardu C. Chiverellovi, Fioně Russell a Danielu Schillereffovi. Za umožnění terénních prací bychom rádi poděkovali Správě Národního parku Šumava.

Literatura

Ammann, B. – van Leeuwen, J. F. N. – van der Knaap, W. O. – Lischke, H. – Heiri, O. – Tinner, W. (2013): Vegetation responses to rapid warming and to minor climatic fluctuations during the Late-Glacial Interstadial (GI-1) at Gerzensee (Switzerland). – Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. 391, 40–59.

Boyle, J. F. (1995): A simple closure mechanism for a compact, large-diameter, gravity corer. – J. Paleolimnol. 13(1), 85–87.

Carter, V. A. – Chiverrell, R. C. – Clear, J. L. – Kuosmanen, N. – Moravcová, A. – Svoboda, M. – Svobodová-Svitavská, H. – van Leeuwen, J. F. N. – van der Knaap, W. O. – Kuneš, P. (2018a): Quantitative Palynology Informing Conservation Ecology in the Bohemian/Bavarian Forests of Central Europe. – Front. Plant Sci. 8, art. 2268.

Carter, V. A. – Moravcová, A. – Chiverrell, R. C. – Clear, J. L. – Finsinger, W. – Dreslerová, D. – Halsall, K. – Kuneš, P. (2018b): Holocene-scale fire dynamics of central European temperate spruce-beech forests. – Quat. Sci. Rev. 191, 15–30.

Hošek, J. – Prach, J. – Šída, P. – Houfková, P. – Vondrák, D. – Lisá, L. – Pokorný, P. – Chvojka, O. – Dohnal, J. (2016): Sedimentární vývoj pozdně glaciálních jezer u Veselí nad Lužnicí. – Geoscience Research Reports 49, 131–139.

Hošek, J. – Pokorný, P. – Prach, J. – Šída, P. – Křížek, M. (2018): Fosilní termokras v jižních Čechách. – Geoscience Research Reports 51(2), 157–164.

Kadlubowska, J. Z. – Michler, G. (1989): Paläoökologische Untersuchungen an Sedimentkernen aus dem Rachelsee. – Ber. Bayer. Akad. Naturschutz Landschaftspflege 13, 230–260.

Kłapyta, P. – Zasadni, J. – Pociask-Karteczka, J. – Gajda, A. – Franczak, P. (2016): Late Glacial and Holocene paleoenvironmental records in the Tatra Mountains, East-Central Europe, based on lake, peat bog and colluvial sedimentary data: A summary review. – Quat. Int. 415, 126–144.

Kletetschka, G. – Vondrák, D. – Hrubá, J. – Procházka, V. – Nábělek, L. – Svitavská-Svobodová, H. – Bobek, P. – Hořická, Z. – Kadlec, J. – Takáč, M. – Stuchlík, E. (2018): Cosmic-Impact Event in Lake Sediments from Central Europe Postdates the Laacher See Eruption and Marks Onset of the Younger Dryas. – J. Geol. 126, 561–575.

Kopáček, J. – Hejzlar, J. – Kaňa, J. – Norton, S. A. – Porcal, P. – Turek, J. (2009): Trends in aluminium export from a mountainous area to surface waters, from deglaciation to the recent: Effects of vegetation and soil development, atmospheric acidification, and nitrogen-saturation. – J. Inorg. Biochem. 103, 1439–1448.

Mentlík, P. – Engel, Z. – Braucher, R. – Léanni, L. – Team, A. (2013): Chronology of the Late Weichselian glaciation in the Bohemian Forest in Central Europe. – Quat. Sci. Rev. 65, 120–128.

Mentlík, P. – Minár, J. – Břízová, E. – Lisá, L. – Táboříik, P. – Stacke, V. (2010): Glaciation in the surroundings of Prášilské Lake (Bohemian Forest, Czech Republic). – Geomorphology 117, 181–194.

Michler, G. (2000): Untersuchungen an Sedimentkernen aus dem Großen Arbersee. – Der Bayerische Wald 14(2), 3–16.

Michler, G. (2001): Untersuchungen an Sedimentkernen aus dem Schwarzen See (Cerne jezero) und Teufelssee (Certovo jezero) in Böhmerwald (Tschechien). – Der Bayerische Wald 15(2), 20–31.

Pfaffl, F. (1986): Glazialmorphologische Untersuchungen an den Lachen im Arbergebiet/Bayerischer Wald. – Geol. Blätter Nordostbayern angrenz. Gebiete 36, 269–278.

Pfaffl, F. (1991): Alfred Rathsburg und Gerhard Engelmann – zwei bedeutende Glazialmorphologen des Bayerishen Waldes und des Böhmerwaldes. – Geol. Blätter Nordostbayern angrenz. Gebiete 41, 217–220.

Pfaffl, F. (1997): Das Bärenriegel-Kar und seine Moränenlandschaft im Nationalpark Bayerischer Wald bei Finsterau. – Der Bayerische Wald 11(2), 22–23.

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 from Plešné Lake, the Bohemian Forest. – Biol. Brat. 61/Suppl. 20, S387–S399.

Procházka, V. – Mizera, J. – Kletetschka, G. – Vondrák, D. (2019): Late Glacial sediments of the Stará Jímka paleolake and the first finding of Laacher See Tephra in the Czech Republic. – Int. J. Earth. Sci. 108(1), 357–378.

Raab, T. – Völkel, J. (2003): Late Pleistocene glaciation of the Kleiner Arbersee area in the Bavarian Forest, south Germany. – Quat. Sci. Rev. 22, 581–593.

Reimer, P. J. – Bard, E. – Bayliss, A. et al. (2013): IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0–50,000 years cal BP. – Radiocarbon 55, 1869–1887.

Reissinger, A. (1931): Schlammuntersuchungen am Schwarzen See im Böhmerwalde. – Naturwiss. Gesellsch. Bayreuth. Bayreuth.

Schmincke, H.-U. – Park, C. – Harms, E. (1999): Evolution and environmental impacts of the eruption of Laacher See Volcano (Germany) 12,900 a BP. – Quat. Int. 61, 61–72.

Veselý, J. (1994): Investigation of the nature of the Šumava Lakes: A review. – Čas. Nár. Muz. (Praha), Ř. přírodověd. 163, 103–120.

Vočadlová, K. – Křížek, M. (2009): Comparison of glacial relief landforms and the factors which determine glaciation in the surroundings of Černé Jezero lake and Čertovo Jezero lake (Šumava Mts., Czech Republic). – Mor. geogr. Rep. 17(2), 2–14.

Vočadlová, K. – Petr, L. – Žáčková, P. – Křížek, M. – Křížová, L. – Hutchinson, S. M. – Šobr, M. (2015): The Lateglacial and Holocene in Central Europe: a multi-proxy environmental record from the Bohemian Forest, Czech Republic. – Boreas 44, 769–784.

Vondrák, D. – Prach, J. – Houfková, P. (2015): Sedimenty postglaciálních jezer v ČR – unikátní přírodní archívy (českou) limnologií přehlížené / Sediments of postglacial lakes in the Czech Republic – unique natural archives overlooked by (Czech) limnology. In: Rádková, V. – Bojková, J., ed.: XVII. konference České limnologické společnosti a Slovenskej limnologickej spoločnosti „Voda – věc veřejná“. Sborník příspěvků, 162–167. – Čes. limnolog. společ., Masaryk. univ. Brno.

Vrba, J. – Kopáček, J. – Fott, J. (2000): Long-term limnological research of the Bohemian Forest lakes and their recent status. – Silva Gabreta 4, 7–28.