

# Zachování vápnitých fosilií pozdně čtvrtohorní fauny v sedimentárních výplních pískovcových jeskyní kaňonu Labe

Preservation of calcareous fossils of Late Quaternary fauna in sedimentary fills of sandstone caves in the Elbe River Canyon

JAROSLAV KUKLA<sup>1</sup> – LUCIE JUŘIČKOVÁ<sup>2</sup> – FILIP KŘIVOHLAVÝ<sup>1</sup> – DANIEL VONDRÁK<sup>1</sup>

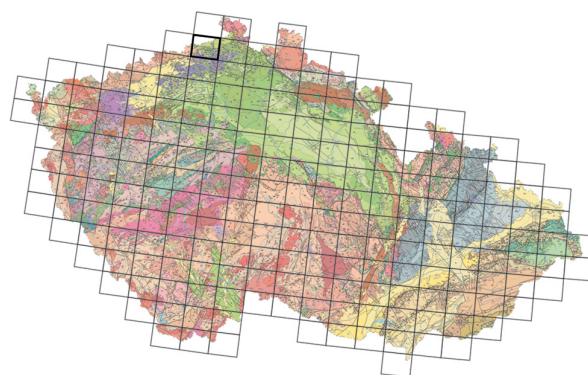
<sup>1</sup> Ústav pro životní prostředí, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, Benátská 2, 128 01 Praha 2; daniel.vondrak@natur.cuni.cz

<sup>2</sup> Katedra zoologie, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, Viničná 7, 128 00 Praha 2

Please cite this article as: Kukla, J. – Juříčková, L. – Křivohlavý, F. – Vondrák, D. (2025): Preservation of calcareous fossils of Late Quaternary fauna in sedimentary fills of sandstone caves in the Elbe River Canyon. – Geoscience Research Reports 58, 2, 90–96. (in Czech)

**Key words:** Bohemian Cretaceous Basin, sandstone landscape, Holocene sediments, radiocarbon dating, Quaternary fauna, natural acidification, secondary carbonates

**Summary:** Sandstone caves are usually an unfavourable environment for the preservation of gastropod shells and vertebrate bones in Quaternary sediments. The cause of unfavourable taphonomic conditions in sedimentary fills is most often low pH, which leads to the dissolution of fossils. However, there are exceptions to this rule. Here we report on the discovery of Quaternary sediments rich in calcareous fossils that we have made in Otto Mörtzsch Cave (Labské pískovce Protected Landscape Area, Czechia). This site is one of the deepest crevice-type caves (–40 m) in the Elbe River Canyon, the largest European sandstone canyon located at the border between Czechia and Germany (Fig. 1). The good preservation of the gastropod shells and vertebrate bones found (Fig. 2) is probably due to the presence of secondary carbonates (speleothems) on the cave walls and their erosion and deposition together with the fossils (Figs 2, 3, 4). The original source of calcium carbonate was likely loess, which



(02-23 Děčín)

was deposited above the cave during the Last Pleniglacial and later degraded. Radiocarbon (<sup>14</sup>C) dating results (Table 1) show that the natural archive represented by the sedimentary sequence studied reflects environmental changes in the Elbe River Canyon during the Early and Middle Holocene (Northgrippian and Greenlandian), when the sandstone landscape was not yet strongly affected by natural acidification. The acidification process later caused decalcification and oligotrophication of soils and a subsequent decline in acid-sensitive fauna and flora. This fact is also evidenced by the gastropod fauna we found, dominated by species associated with mixed forest environment (Fig. 2), and by dated charcoal from oak (*Quercus*) and hazel (*Corylus*) trees (Table 1). Results of <sup>14</sup>C dating further indicate that Otto Mörtzsch Cave was formed at the beginning of the Holocene at the latest. The natural archive in Otto Mörtzsch Cave is unique, and further research may significantly deepen our knowledge of the Holocene environmental history of the Labské pískovce (Elbe Sandstones) Protected Landscape Area and the nearby České Švýcarsko (Bohemian Switzerland) National Park.

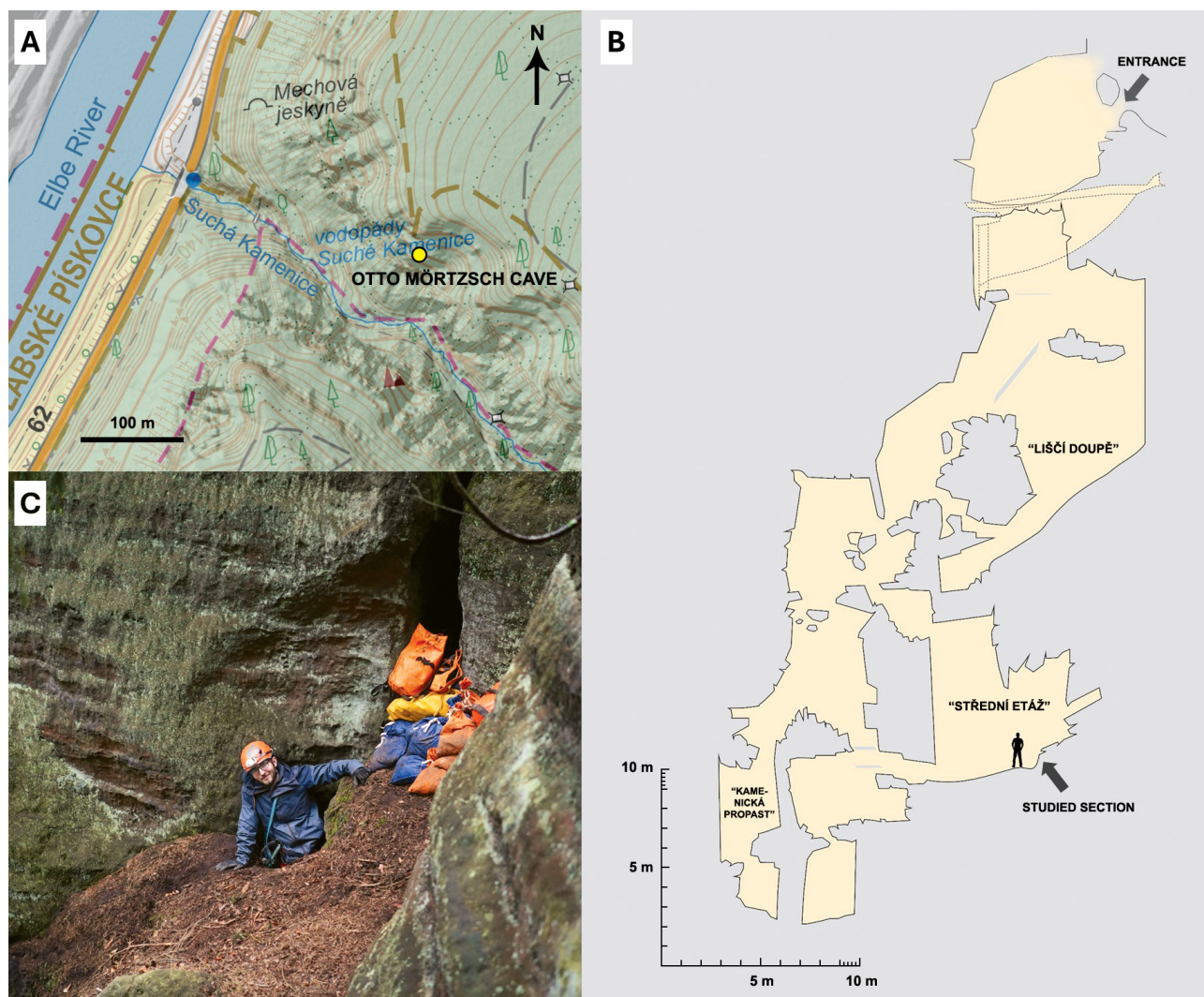
Jeskyně jsou specifickými krajinnými prvky, které v řadě případů poskytují příhodné podmínky pro vznik čtvrtohorních přírodních archivů. Zejména v krasových jeskyních pak tyto přírodní archivy často obsahují vápnitě fosilie, jmenovitě ulity plžů a kosti obratlovců. V nekrasových jeskyních jsou však nálezy takovýchto čtvrtohorních fosilií vzácné. Příhodné tafonomické podmínky uvnitř jeskyní, kupříkladu stabilní teplota a vlhkost, totiž bývají doprovázeny nepříznivým chemismem ukládaných sedimentů, a to zejména nízkým pH, díky němuž jsou vápnitě fosilie rychle degradovány. Za silně nepříznivé prostředí pro dlouhodobé uchování těchto fosilií jsou vzhledem k nízkému pH po-

važovány sedimenty většiny pískovcových krajín. Dosaďované nálezy sice ukázaly, že příhodné podmínky ojedinele poskytují sedimenty pískovcových převisů, ale i v těchto případech je fosilní materiál málokdy bohatý (Härtel et al. 2007). Sedimenty tvořící výplně pískovcových jeskyní či ukládané u jejich vchodů jsou obvykle z hlediska vápnitých fosilií sterilní. Nejvyšší koncentrace pískovcových jeskyní na území České republiky je známa z oblasti CHKO Labské pískovce a NP České Švýcarsko, kde aktuálně probíhající výzkum zdokumentoval více než 200 takovýchto lokalit (projekt TA ČR SS07010065). Navzdory tomu však z výše uvedených důvodů nebyla jmenovaná oblast dosud

považována za atraktivní pro výzkum čtvrtohorní malako-fauny a obratlovců.

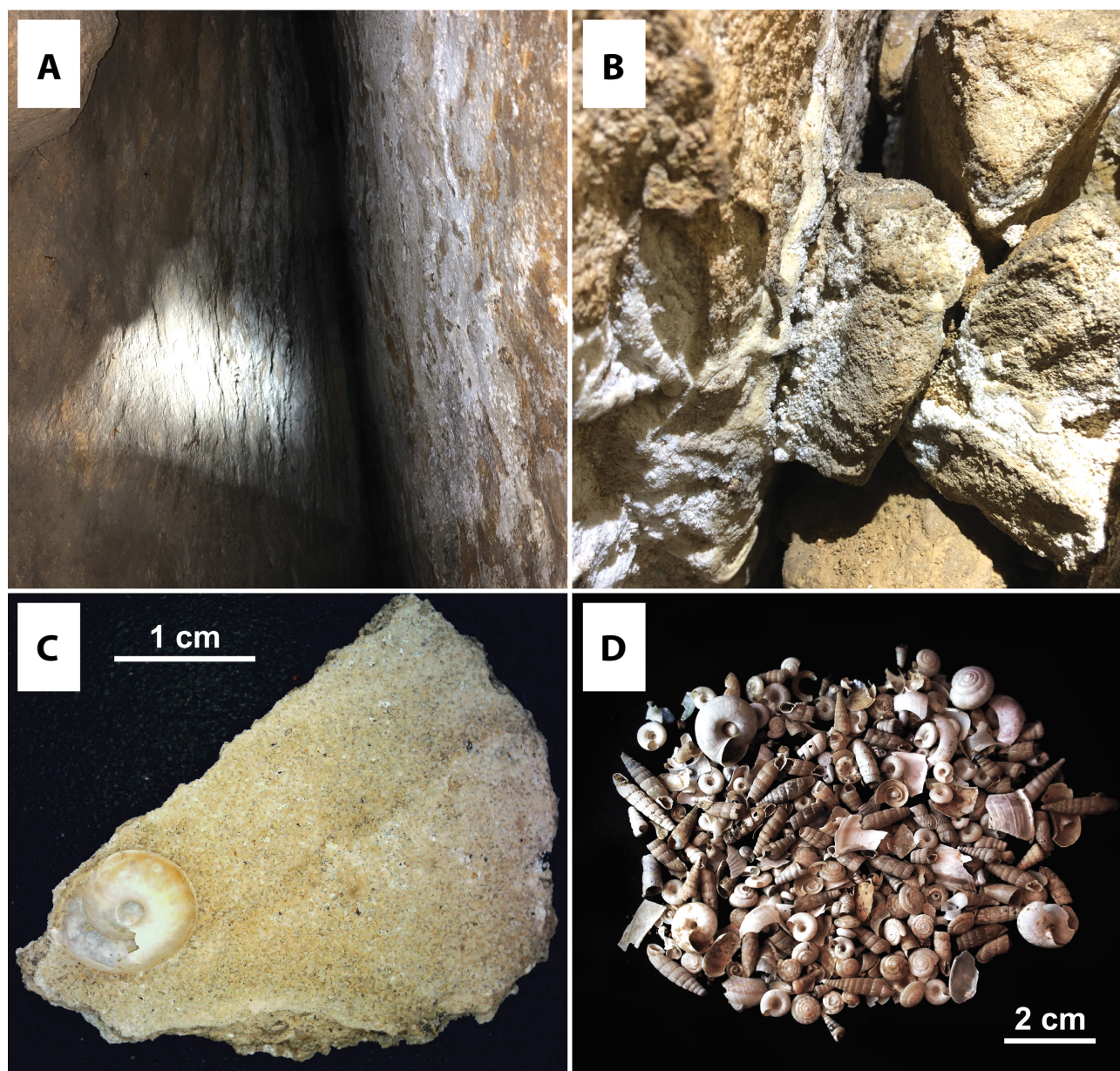
Předešlý výzkum Pokorného a Vrabce (2011a) sice doložil ojedinělé nálezy ulit plžů ve 4 z 12 zkoumaných pískovcových jeskyní, avšak tyto autoři je považovali za recentní materiál o stáří do několika desítek let či – jmenovitě v případě Pytlácké jeskyně – o subrecentní materiál, nepřesahující svým stářím posledních asi 1600 let. Datovacích metod nebylo využito také kvůli tomu, že na žádné z lokalit mocnost studovaných sedimentů nepřesahovala několik decimetrů. Podobné výsledky přinesl i osteologický průzkum provedený stejným týmem ve stejných 12 jeskyních (Pokorný – Vrabec 2011b). Z nepočtených nálezů kostí mikro- i makrofauny na polovině z těchto lokalit Pokorný a Vrabec (2011b) odvodili stáří odpovídající pravděpodobně svrchnímu holocénu (meghalayan), resp. zřejmě recentu či subrecentu, i když u malé části nálezů zcela nevyloučili možné vyšší stáří, spadající do středního či spodního holocénu (northgrippian a greenlandian).

Opět však šlo pouze o hrubý odhad doby uložení nálezů, jelikož studie nebyla doplněna žádnými datovacími metodami. Jiný systematický výzkum zaměřený na zbytky čtvrtohorní fauny v sedimentech pískovcových jeskyní v zájmové oblasti proveden nebyl. Publikováno bylo jen několik málo krátkých zpráv o náhodných nálezech nedatovaných kostí velkých savců. Výjimkou je nález části kostry medvěda hnědého (*Ursus arctos*) v jedné z prostor Pytlácké jeskyně v kaňonu Labe, dnes známé jako Medvědí dóm. Prvotní odhad stáří tohoto nálezu, který vycházel pouze z míry eroze kostní hmoty a znalostí o době posledního prokázaného výskytu medvěda hnědého v oblasti, činil několik stovek let (Benda 2013). V roce 2013 však proběhlo dodatečné radiouhlíkové datování, které stanovilo nekalibrované stáří na  $5765 \pm 35$  a BP (Benda 2014, Sázelová 2017), což při využití kalibrační křivky IntCal20 (Reimer et al. 2020) odpovídá rozmezí 6662–6464 cal a BP (94,5% konfidenční interval, program OxCal verze 4.4).



Obr. 1. Jeskyně Otto Mörtzsch: A – poloha studované lokality (žlutý bod) u soutoku Labe a Suché Kamenice, B – rozvinutý řez jeskyní (mapování bylo provedeno v dubnu 2021 pomocí Disto X2), C – vchod do jeskyně.

Fig. 1. Otto Mörtzsch Cave: A – location of the study site (yellow circle) at the confluence of the Elbe and Suchá Kamenice rivers, B – cross-section of the cave (the mapping survey was performed in April 2021 using Disto X2), C – entrance to the cave.



Obr. 2. A – sintry na stěnách vstupní části jeskyně Otto Mörtzsche (rozměry rozsedliny asi  $6 \times 6 \times 0,5$  m), B – sintry pokrývající stěny jeskyně a úlomky pískovce v rozsedlině nacházející se u studovaného profilu (úlomek pískovce uprostřed má šířku asi 5 cm), C – úlomek sintru obsahující plži ulitu, D – část nálezů schránek plžů z intervalu hloubek 20–25 cm.

Fig. 2. A – speleothems covering walls of the cave and sandstone fragments in a crevice located near the studied section (the sandstone fragment in the middle is about 5 cm wide), C – speleothem fragment containing a gastropod shell, D – part of the gastropod shell findings from the depth interval of 20–25 cm.

Dochování středně holocenních kosterních pozůstatků medvěda hnědého jasně ukázalo, že se za určitých příznivých podmínek mohou v sedimentárních výplních pískovcových jeskyní uchovávat vápnité fosilie čtvrtohorní fauny po dobu delší než první stovky roků. Tato skutečnost zároveň naznačila možnost, že jiné, dosud nedatované nálezy ze zdejších pískovcových jeskyní mohou být starší, než za jaké byly původně pokládány. Uvedený předpoklad byl potvrzen nálezem na vápnité fosilie bohaté sedimentární výplně v jeskyni Otto Mörtzsche na pravém břehu kaňonu Labe, který je zde prezentován. V této práci primárně nezhodnocujeme nalezené fosilní fauny z pohledu taxonomie

a paleoekologie, ale zaměřujeme se na základní charakterizaci nově objeveného přírodního archivu a zejména na příčiny zachování fosilií v prostředí kvádrových pískovců.

### Charakteristika lokality

Jeskyně Otto Mörtzsche byla objevena v roce 2002 německými speleology na české straně kaňonu Labe nedaleko ústí Suché Kamenice ( $50^{\circ}51'43.50''$  N,  $14^{\circ}13'53.30''$  E; 225 m n. m.; obr. 1). Kaňon Labe je zde tvořen křídovými pískovci bělohorského a jizerského souvrství a jeho hloubka

dosahuje 200 až 300 metrů (Adamovič et al. 2010, Vařilová et al. 2020). Jeskyně Otto Mörtzsche je vyvinuta v pískovcích bělohorského souvrství (spodní turon a počátek středního turonu), v němž zde převládají křemenné kvádrové pískovce s typickým šikmým zvrstvením, a jde o jednu z nejhlubších jeskyní Labských pískovců. Její hloubka, stanovená jako rozdíl mezi nadmořskými výškami vchodu a nejhlubšího místa, činí 40 m. Vstup do jeskyně je tvořen úzkým průlezem, který ústí do asi 50 cm široké hlavní rozsedliny vedoucí směrem V–Z, tedy rovnoběžně s roklí Suché Kamenice (obr. 1, 2). Na konci vstupní chodby se u země nachází horizontální plazivka tvořená vrstevní dutinou, která ústí do paralelní rozsedliny, na kterou navazuje kolmá rozsedlina, vedoucí zpět do hlavní rozsedliny. Tou lze sestoupit do větší, vysoké prostory pojmenované jako Liščí doupě (obr. 1). Ve východním směru lze rozsedlinou dále sestoupit do tzv. Střední etáže, jejíž horní část je se spodní propojena úzkým komínem, zužujícím se až na 30 cm. Pod tímto průlezným komínem na dno Střední etáže navazují odbočky do nejhlubších partií jeskyně a také zhruba 50 cm široká a 6 m dlouhá horizontální chodba, která je brána jako součást Střední etáže. V této chodbě byla autory této práce objevena sedimentární výplň s bohatým paleontologickým materiálem (obr. 2, 3). Dále zde byly pozorovány nápadné světlé minerální povlaky na stěnách, jejichž úlomky byly součástí uloženého sedimentu. Tyto nesouvislé povlaky byly nalezeny také v některých partiích výše položených částí jeskyně (obr. 2). In situ testování minerálních povlaků pomocí 10% HCl ukázalo, že se jedná o sekundární karbonáty (sintry) (např. Bruthans et al. 2012). Vnitřní prostory celé jeskyně byly následně detailně zmapovány s pomocí přenosného dálkoměru s integrovaným kompasem a sklonoměrem Disto X2 (obr. 1). Denivelace od vchodu jeskyně k povrchu zájmové sedimentární výplně činí 30 m, přičemž nejhlubší místo jeskyně se nachází o 10 m níže.

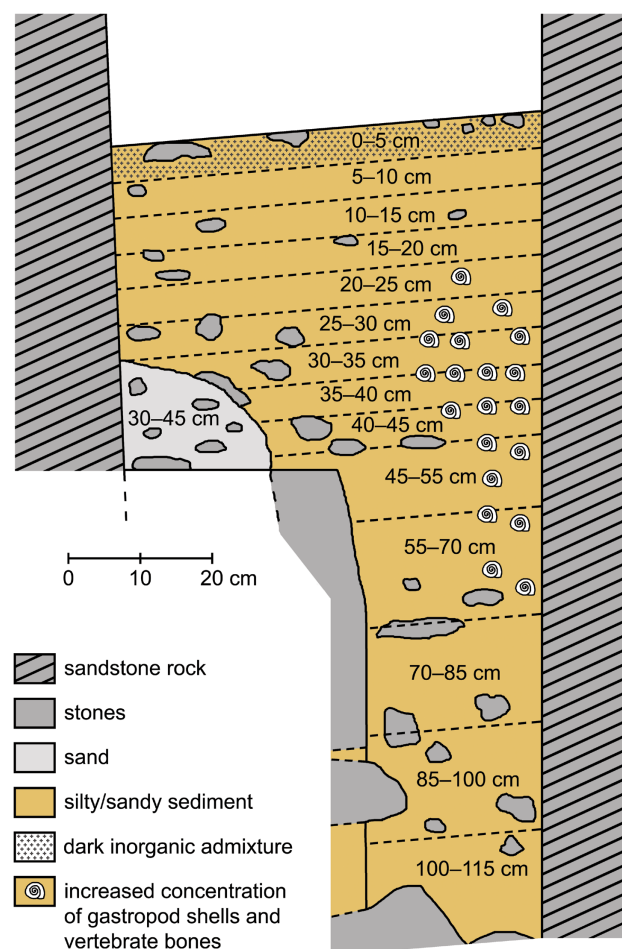
## Metodika studia sedimentů

Ve výše uvedené sedimentární výplni nacházející se v boční chodbě Střední etáže (obr. 1) byl odkryt profil o mocnosti 115 cm (obr. 3). Ze stěny profilu byly následně odebrány vzorky sedimentu na jednotlivé analýzy. Pro chemické analýzy, které vyžadují malý objem sedimentu (< 40 ml), byly vzorky odebrány kontinuálně v kroku 5 cm. Pro paleontologické analýzy a analýzy ze stěny jeskyně erozí uvolněných úlomků pevných sintrů, které vyžadovaly velký objem sedimentu, byly vzorky o mokřím objemu 10–15 litrů odebrány kontinuálně v kroku 5 cm až do hloubky 45 cm a dále pak nepravidelně po vrstvách 45–55 cm, 55–70 cm, 70–85 cm, 85–100 a 100–115 cm, což reflektovalo postupné zužování stěny profilu, ze které bylo možno zájmový sediment získat (obr. 3). Úlomky sintrů a fosilie, a to včetně makroskopických uhlíků, byly vybírány manuálně z frakce získané proplavením vzorků sedimentu na sítích o velikosti ok 0,2 mm.

K datování sedimentárního záznamu byla využita metoda radiouhlíkového ( $^{14}\text{C}$ ) datování, pro kterou byly vy-

brány tři uhlíky a jedna kost z vrstev nápadně bohatých na schránky plžů a kosti drobných obratlovců. Samotná analýza proběhla s využitím urychlovačové hmotnostní spektrometrie (AMS). Při selekci uhlíků jsme se zaměřili na ty, které pocházely ze dřevin, jež se v současnosti v nejbližším okolí jeskyně nevyskytují nebo jsou vzácné. Současnými dominantními dřevinami v blízkosti jeskynního vchodu jsou borovice lesní (*Pinus sylvestris*), bříza bělokorá (*Betula pendula*) a smrk ztepilý (*Picea abies*). Minoritně je přítomen buk lesní (*Fagus sylvatica*). Ke kalibraci získaného  $^{14}\text{C}$  stáří na kalendářní roky byla použita křivka IntCal20 (Reimer et al. 2020).

Chemické analýzy zahrnovaly charakterizaci jemné frakce sedimentu tvořené částicemi < 2 mm, tedy frakce zbavené i makroskopických úlomků ulit, kostí, uhlíků a sintrů, pomocí měření pH ve vyluzích, rentgenové fluorescenční spektrometrie (XRF) a ztráty žiháním při 550 °C po dobu 4 hodin (= LOI<sub>550 °C</sub>; stanovení obsahu organické hmoty) a 950 °C po dobu 2 hodin (= LOI<sub>950 °C</sub>; stanovení obsahu karbonátů). Ke stanovení pH v extraktech vzorků sedimentů byl použit poměr 1 : 5, kdy se 10 g sedimentu



Obr. 3. Schéma profilu studovaného v jeskyni Otto Mörtzsche. Přerušované čáry ukazují hranice mezi vzorky využitými pro analýzy vápnitých fosilií a úlomků sintrů.

Fig. 3. Schematic diagram of the section studied in Otto Mörtzsche Cave. The dashed lines indicate the boundaries between samples used for analyses of calcareous fossils and speleothem fragments.

z každé vrstvy extrahovalo v 50 ml destilované vody. Získané extrakty byly následně měřeny pH elektrodou (Inlab Pro-ISM, Mettler Toledo). Pro měření XRF byl využit spektrometr Vanta (Olympus, USA) bez kolimace a za využití módu geoChem. Stanovení  $LOI_{550\text{ }^{\circ}\text{C}}$  i  $LOI_{950\text{ }^{\circ}\text{C}}$  bylo provedeno i u vzorků makroskopických úlomků sintrů. Všechny vzorky byly před analýzami homogenizovány v kulovém mlýnu MM 400 (Retsch).

## Výsledky a diskuse

Profil studovaný v jeskyni Otto Mörtzsche byl charakteristický poměrně uniformní sedimentací, kdy nejnápadnějšími vizuálními změnami byly jednak změny v koncentraci vápnných fosilií, kterých bylo v hloubkách 70 až 115 cm méně než ve zbytku profilu, jednak tmavší barva sedimentu v povrchové vrstvě 0–5 cm. Koncentrace fosilií byly dále větší u pravého okraje profilu než u levého (obr. 3). Dominantními složkami uloženého sedimentu byly silt, písek a různě velké úlomky pískovce, doprovázené minoritní frakcí tvořenou výše zmíněnými úlomky sintrů bílé či okrové barvy (obr. 2). Studovaný profil lze i přes absenci nápadných změn ukládaného sedimentu označit za komplexní přírodní archiv, jelikož získané vzorky obsahovaly početné kosti drobných obratlovců, ulity plžů a uhlíky, jejichž detailní analýza bude předmětem navazujícího výzkumu. Ve vzorcích, které byly původně odebrány kvůli provedení chemických analýz, byla navíc nalezena dobře zachovaná pylová zrna. Výsledky pylové analýzy, které samy o sobě ukazují, že přírodní archiv pravděpodobně zachycuje podstatnou část holocenní historie okolní krajiny, a to včetně období optima náročných listnatých dřevin ve středním holocénu, publikovali Pokorný et al. (2023). Tuto interpretaci podporují i výsledky námi provedeného  $^{14}\text{C}$  datování, které nenaznačují porušení časové posloupnosti při ukládání sedimentů a ukazují, že přírodní archiv pokrývá vedle středního holocénu přinejmenším většinu spodního holocénu (tabulka 1). Jelikož zatím nebyly dato-

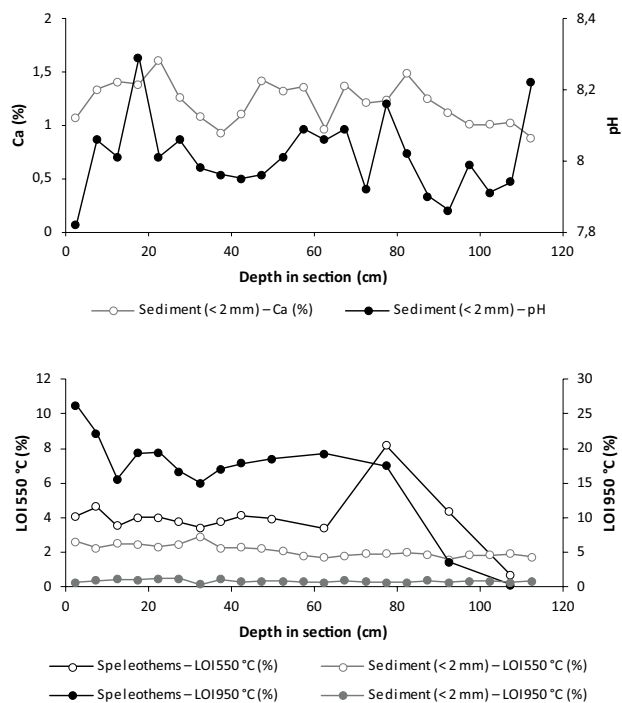
vány vzorky z nejstarších vrstev, které byly méně bohaté na vápnné fosilie, nelze vyloučit, že je zde zachycen i úplný závěr posledního glaciálu a celý spodní holocén. Tato možnost nicméně nemá oporu v litologickém záznamu, jelikož bazální vrstvy se nápadněji neodlišují od vrstev přímo datovaných do spodního holocénu.

Prvotní výsledky zoologických analýz ukázaly v datovaných vrstvách převahu zástupců lesní fauny, jež v případě plžů (dominantní druhy *Goniodiscus rotundatus*, *Discus ruderatus*, *Fructicola fructicum*, *Mediterranea depressa*, *Perforatella incarnata*) neodpovídá extrémně chudé recentní fauně známé z pískovcového kaňonu Labe a obdobných pískovcových oblastí v ČR (Ložek 1997, Juříčková et al. 2020). Někdejší lesní ekosystém se tedy vyznačoval nápadně větší dostupností  $\text{CaCO}_3$  a živin. Vedle indikátorů lesa byly dále nalezeny druhy vázané na skalní prostředí (např. plž *Pupilla sterii*) a na jeskynní interiéry (Chiroptera). Na přítomnost smíšeného lesa ukazují i datované uhlíky dubu (*Quercus*) a lísky (*Corylus*) – viz tabulka 1. Objemová koncentrace nalezených vápnných fosilií nápadně převyšovala tu, kterou uvádějí z jiných pískovcových jeskyní kaňonu Labe Pokorný a Vrabec (2011a, b). V případě plžů se jednalo o stovky jedinců na každou analyzovanou vrstvu. Tyto fosilie jsou navíc velmi dobře zachovány, což poukazuje na příhodné tafonomické podmínky (obr. 2).

Při hledání hlavní příčiny těchto příhodných tafonomických podmínek jsme předpokládali odlišnost chemických vlastností ukládaného čtvrtohorního sedimentu od vlastností okolní kyselé horniny. Tento předpoklad byl potvrzen doložením přítomnosti karbonátů v jemné frakci sedimentu pomocí  $LOI_{950\text{ }^{\circ}\text{C}}$  (rozmezí hodnot 0,4–1,2 %; průměr 0,8 %). Jemná frakce sedimentu byla v jednotlivých vrstvách dále charakterizována co do zastoupení vápníku (Ca) a pH výluhů. Hodnoty koncentrace Ca se pohybovaly v rozmezí 0,9 % až 1,6 % s průměrem 1,2 % a hodnoty pH ve výlužích v rozmezí 7,8 až 8,3 s průměrem 8,0 (obr. 4). Výrazně vyšší hodnoty  $LOI_{950\text{ }^{\circ}\text{C}}$  oproti jemné frakci však byly zjištěny u úlomků sintrů, kde dosáhly až 26,2 % (obr. 4).

Tabulka 1. Radiouhlíková ( $^{14}\text{C}$ ) data pro čtyři vzorky odebrané ze sedimentárního záznamu v jeskyni Otto Mörtzsche. Výsledky  $^{14}\text{C}$  datování byly kalibrovány za využití kalibrační křivky IntCal20 (Reimer et al. 2020) v online programu OxCal verze 4.4 (Bronk Ramsey, C., online aplikace).  $2\sigma$  interval odpovídá 95,4% konfidenčnímu intervalu pro kalibrované stáří. AMS – urychlovačová hmotnostní spektrometrie Table 1. Radiocarbon ( $^{14}\text{C}$ ) ages for four samples collected from the sedimentary record in Otto Mörtzsche Cave.  $^{14}\text{C}$  dates were calibrated using the IntCal20 calibration curve (Reimer et al. 2020) and the OxCal version 4.4 program (Bronk Ramsey, C., online application).  $2\sigma$  range shows 95.4% confidence interval of the calibrated age. AMS – accelerator mass spectrometry

Sample depth (cm)	Laboratory number	Material dated	Dating method	Radiocarbon age ( $^{14}\text{C}$ a BP)	Calibrated $2\sigma$ range (cal a BP)
10–15	UGAMS#49447	charcoal – <i>Quercus</i> sp.	AMS	5960 ± 25	6885–6730 (92.3%) 6700–6679 (3.1%)
40–45	UGAMS#49448	charcoal – <i>Quercus</i> sp.	AMS	8340 ± 25	9456–9283 (95.4%)
45–55	UGAMS#49450	bone collagen – <i>Plecotus austriacus</i> (jaw)	AMS	8900 ± 30	10177–9905 (95.4%)
55–70	UGAMS#49449	charcoal – <i>Corylus avellana</i>	AMS	9380 ± 30	10692–10510 (95.4%)



Obr. 4. Obsah karbonátů a organické hmoty v jemné frakci sedimentu (< 2 mm) a úlomcích sintrů získaných z hrubé frakce sedimentu (> 2 mm). Nahoře: koncentrace vápníku (Ca) v jemné frakci sedimentu a pH jejího výluhu. Dole: ztráta žiháním při 550 °C (LOI<sub>550 °C</sub>) a 950 °C (LOI<sub>950 °C</sub>) stanovená u vzorků sintrů a jemné frakce sedimentu. Fig. 4. Carbonate and organic matter content in the fine sediment fraction (< 2 mm) and speleothem fragments obtained from the coarse sediment fraction (> 2 mm). Top: calcium (Ca) concentration in the fine sediment fraction and pH of the fine fraction leachate. Bottom: loss-on-ignition at 550 °C (LOI<sub>550 °C</sub>) and 950 °C (LOI<sub>950 °C</sub>) determined for speleothem samples and the fine sediment fraction.

Úlomky sintrů se běžně vyskytovaly v rozmezí hloubek 0–85 cm, kde jejich průměrná hodnota LOI<sub>950 °C</sub> činila 18,7%. Naopak v rozmezí hloubek 85–115 cm byly tyto úlomky zcela ojedinělé a zjištěné hodnoty LOI<sub>950 °C</sub> činily méně než 4%, snad z důvodu dlouhodobého vyluhování. S výjimkou nejhlubší vrstvy měly dále vzorky sintrů vyšší hodnoty LOI<sub>550 °C</sub> než vzorky jemné frakce sedimentu (obr. 4), což poukázalo na to, že obsahovaly větší podíl spalitelné organické hmoty. Průměrné hodnoty LOI<sub>550 °C</sub> u obou typů vzorků, tj. 2,1% u jemné frakce sedimentu a 4,0% u sintrů, však lze považovat za nízké a dokládající, že organická hmota tvořila v obou případech jen minoritní příměs.

Předpokládáme, že právě vznik sintrů uvnitř jeskyně Otto Mörtzsche a jejich následná eroze a ukládání jako součásti nalezených sedimentů byly klíčovými faktory, který umožnil vytvoření vhodných podmínek pro dlouhodobé a kvalitní zachování vápňitých fosilií. Původ sekundárních karbonátů může být různý, avšak vzhledem ke geologickému kontextu a současným představám o environmentální historii území v posledním glaciálním cyklu je pravděpodobné, že karbonáty původně pocházely z akumulací spraše, případně též z karbonátových čoček v pískovci (Sekyra 1961, Härtel et al. 2007, Vařilová et al. 2020). Spraša byla po konci její tvorby v závěru pleniglaciálu a nástupu teplejšího a vlhčího klimatu postižena postupným vymýváváním

v ní obsaženého CaCO<sub>3</sub>. Analogickou situaci popsali např. Bruthans et al. (2012) na případu sintrů v šesti jeskyních situovaných v Českém ráji, avšak bez současného dochování záznamu fosilní fauny.

Ze získaných poznatků vyplývá, že vznik cenných čtvrtohorních přírodních archivů obsahujících vápňité fosilie je možný i ve vnitřním prostředí pískovcových jeskyní, předpokládá však zřejmě souběh tří faktorů, jimiž jsou (1) tvorba sekundárních karbonátů (tj. sintrů s významným podílem CaCO<sub>3</sub>) a jejich následná eroze a ukládání do sedimentů, (2) stabilní geologické a hydrologické podmínky na místech s omezeným vlivem kyselých skapových a průsakových vod a (3) ukládání biologického materiálu (tj. schránek plžů a kostí obratlovců) pocházejícího převážně z vnějšího prostředí. Tyto faktory se však zjevně potkávají jen v ojedinělých případech. Z jeskyní v okolí kaňonu Labe jsou známy i jiné, často nápadně členité typy sintrů, z nichž některé neobsahují CaCO<sub>3</sub> (Adamovič et al. 2022). Výskyt plochých sintrů s vysokým obsahem CaCO<sub>3</sub>, které odpovídají těm z jeskyně Otto Mörtzsche, a jejich ukládání do sedimentů jsme zaznamenali i v dalších pískovcových jeskyních české části kaňonu Labe mezi Děčínem a Hřenskem. Ve všech těchto nám známých případech jsou však tamější sedimentární výplně vápňitých fosilií prosté, nebo jich obsahují jen velmi málo a mají malou mocnost (např. Loupežnická jeskyně, Hluboká mezerní jeskyně, Třináctá jeskyně). Námí zde prezentovaný přírodní archiv v jeskyni Otto Mörtzsche je proto díky mocnosti sedimentární výplně a zejména bohatosti na vápňité fosilie čtvrtohorní fauny zatím v daném regionu jedinečný.

Získané výsledky <sup>14</sup>C datování dokládají, že námí studované sedimenty se začaly ukládat nejpozději kolem 10 600 cal a BP, tedy v první polovině spodního holocénu (tabulka 1). Skutečnost, že již tehdy měla rozsedlina charakter jeskyně, dokládají kosterní pozůstatky letounů přítomné ve všech analyzovaných vrstvách profilu. Budoucí výzkum pravděpodobně pomůže objasnit otázku, zda jeskyně vznikla už na sklonku posledního glaciálu, resp. na počátku mořského izotopového stupně 1 (MIS 1), což je stáří uvažované Bruthansem et al. (2012) v případě některých jeskyní v Českém ráji, které však měly odlišnou genezi. Námí prezentované minimální stáří pro Střední etáž jeskyně Otto Mörtzsche, stanovené na základě <sup>14</sup>C datování v ní nalezených sedimentů, resp. fosilií, je prvním takovýmto údajem pro jeskyně Labských pískovců. Předpokládáme, že obdobně vysoké stáří mohou mít i některé jiné rozsedlinové jeskyně na území CHKO Labské pískovce a NP České Švýcarsko.

## Závěr

Existence sedimentární výplně bohaté na schránky plžů a kosti drobných obratlovců v pískovcové jeskyni Otto Mörtzsche je podmíněna dlouhodobou zásaditou reakcí v ní uložených sedimentů, která brání degradaci vápňitých fosilií v jinak chemicky nepříznivém prostředí okolní pískovcové krajiny. Tato zásaditá reakce je způsobena lokálním výskytem sintrů bohatých na CaCO<sub>3</sub> uvnitř jeskyně

a ukládáním jejich úlomků jako součástí sedimentárního záznamu. Srovnatelný přírodní archiv zachycující přinejmenším období spodního a středního holocénu nebyl v oblasti CHKO Labské pískovce a NP České Švýcarsko dosud znám. Budoucí výzkum materiálu získaného v jeskyni Otto Mörtzsche může přinést důležité poznatky o podobě zdejších ekosystémů v té části holocénu, kdy mikroklimatické a půdní podmínky zjevně umožňovaly nejen výskyt náročných listnatých dřevin a na ně asociované malakofauny, ale také vyluhování  $\text{CaCO}_3$  z půdního horizontu a jeho opětovné srážení uvnitř jeskyně. Nálezy kostí letounů ve všech studovaných vrstvách dále ukazují, že jeskynní prostředí na místě Střední etáže dnešní jeskyně Otto Mörtzsche existovalo nejpозději od první poloviny spodního holocénu.

*Poděkování. Autoři práce děkují Lukáši Faltusovi, Janu Hanzelkovi, Radaně Kavkové, Zuzaně Krušinové a Jakubu Mikulčíkovi za pomoc při provádění terénní části výzkumu, Evě Löbelové za asistenci při měření pomocí XRF spektrometru a Přemyslu Bobkovi a Ivanu Horáčkovi za pomoc s výběrem a determinací vhodných fosilií pro  $^{14}\text{C}$  datování. Poděkování dále patří recenzentům rukopisu Jiřímu Adamovičovi a Janu Hoškovi a Správě Národního parku České Švýcarsko a CHKO Labské pískovce. Prezentovaný výzkum byl financován se státní podporou Technologické agentury ČR a Ministerstva životního prostředí ČR v rámci programu Prostředí pro život (projekt SS07010065).*

## Literatura

- ADAMOVIČ, J. – KUKLA, J. – FILIPPI, M. – SKÁLA, R. – MÉSZÁROSOVÁ, N. (2022): Speleothems in sandstone crevice and boulder caves of the Elbe River Canyon, Czech Republic. – *Int. J. Speleol.* 51, 2, 141–162.
- ADAMOVIČ, J. – MIKULÁŠ, R. – CÍLEK, V. (2010): Atlas pískovcových skalních měst České a Slovenské republiky. – 459 str. Academia. Praha.
- BENDA, P. (2013): Vyhynulé a neznámé druhy Labských pískovců (Českosaského Švýcarska). Díl 15. Medvěd hnědý (*Ursus arctos*). – *Čes. Švýcarsko* 12, 1, 6–7.
- BENDA, P. (2014): Ještě k medvědovi hnědému (*Ursus arctos*). – *Čes. Švýcarsko* 13, 2, 8.
- BRUTHANS, J. – SCHWEIGSTILLOVÁ, J. – JENČ, P. – CHURÁČKOVÁ, Z. – BEZDIČKA, P. (2012):  $^{14}\text{C}$  and U-series dating of speleothems in the Bohemian Paradise (Czech Republic): Retreat rates of sandstone cave walls and implications for cave origin. – *Acta Geodyn. Geomater.* 9, 93–108.
- HÄRTEL, H. – CÍLEK, V. – HERBEN, T. – JACKSON, A. – WILLIAMS, R., ed. (2007): Sandstone landscapes. – 496 str. Academia. Praha.
- JUŘIČKOVÁ, L. – ŠÍDA, P. – HORÁČKOVÁ, J. – LOŽEK, V. – POKORNÝ, P. (2020): The lost paradise of snails: Transformation of the middle-Holocene forest ecosystems in Bohemia, Czech Republic, as revealed by declining land snail diversity. – *Holocene* 30, 9, 1254–1265.
- LOŽEK, V. (1997): Nálezy z pískovcových převisů a otázka degradace krajiny v mladším pravěku v širších souvislostech. – *Ochr. Přír.* 52, 5, 146–148.
- POKORNÝ, P. – HOŠKOVÁ, K. – PRACH, J. – ŠÍDA, P. – BEDNÁŘ, P. (2023): Nová paleobotanická data prokazují původní status modřínu opadavého (*Larix decidua* Mill.) v severních Čechách. – *Zpr. les. Výzk.* 68, 4, 197–205.
- POKORNÝ, R. – VRABEC, J. (2011a): Malakozoologický výzkum sedimentů ve vybraných pseudokrasových jeskyních Ústeckého kraje. – *Stud. oecol.* 2, 41–43.
- POKORNÝ, R. – VRABEC, J. (2011b): Osteologický průzkum vybraných jeskyní Ústeckého kraje v kontextu závěru posledního glaciálního cyklu. – *Sbor. Obl. Muz (Most), Ř. přírodověd.* 33, 3–14.
- REIMER, P. J. – AUSTIN, W. E. N. – BARD, E. – BAYLISS, A. – BLACKWELL, P. G. – BRONK RAMSEY, CH. – BUTZIN, M. – CHENG, H. – EDWARDS, R. L. – FRIEDRICH, M. – GROOTES, P. M. – GILDERSON, T. P. – HAJDAS, I. – HEATON, T. J. – HOGG, A. G. – HUGHEN, K. A. – KROMER, B. – MANNING, S. W. – MUSCHELER, R. – PALMER, R. W. – PEARSON, CH. – VAN DER PLICHT, J. – REIMER, R. W. – RICHARDS, D. A. – SCOTT, E. M. – SOUTHON, J. R. – TURNER, CH. S. M. – WACKER, L. – ADOLPHI, F. – BÜNTGEN, U. – CAPANO, M. – FAHRNRI, S. M. – FOGTMANN-SCHULZ, A. – FRIEDRICH, R. – KÖHLER, P. – KUDSK, S. – MIYAKE, F. – OLSEN, J. – REINIG, F. – SAKAMOTO, M. – SOOKDEO, A. – TALAMO, S. (2020): The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP). – *Radiocarbon* 62, 725–757.
- SÁZELOVÁ, S. (2017): IIB. Nález medvěda z jeskyně Pytlácké. In: SVOBODA, J. A., ed.: Mezolit severních Čech II: Komplexní výzkum skalních převisů na Českolipsku a Děčínsku, 2003–2015, 50–51. – *Archeol. úst. AV ČR. Brno.*
- SEKYRA, J. (1961): Mapa ložisek přirozených hnojiv a minerální síly půd, M-33-IX (Děčín). – *Ústř. úst. geol. Praha.*
- VAŘILOVÁ, Z. – ADAMOVIČ, J. – BELISOVÁ, N. – COUBAL, M. – HAVRÁNEK P. – KUKLA, J. – LYSÁK, J. – MIKULÁŠ, R. (2020): Geologie Českosaského Švýcarska. – 576 str. Spr. Nár. parku Čes. Švýcarsko, Muz. města Ústí n. Labem a Ústecký kraj. Ústí nad Labem.