

povedlo hned třikrát a studované vzorky se staly prvními českými zkamenělinami, které byly na synchrotronu zkoumány. Ohromné množství cenných dat (v řádu terabajtů) získaných popsanou metodou postupně rekonstruuji ve speciálním softwaru sloužícím k vytváření trojrozměrných vizualizací zkamenělin a jejich vnitřních struktur. Následné interpretace pomohly odhalit nejen nečekanou anatomii, ale i různé aspekty životních strategií pravěkých tvorů.

Tak bylo možné nejen rekonstruovat lebky a detailní anatomii mozku zhruba 410 milionů let starých bazálních rybovitých obratlovců z devonu pražské pánve. Díky synchrotronu byly naprosto nečekaně objeveny zuby a zubní destičky u těchto čelistnatců, považovaných za vývojově nejstarší zástupce vývojové linie vedoucí až k člověku. Překvapivě jejich chrup nevypadal tak, jak bychom očekávali. Naopak, v zásadních znacích připomínal zuby a čelisti u dnes žijících paryb, ryb i jejich potomků čtvernožců. Objev má tudíž potenciál změnit náš ustálený pohled na příbuzenské vztahy na bázi vývojového stromu obratlovců. Následné skenování

v submikronovém rozlišení umožnilo vizualizovat způsob růstu, a dokonce i dokonale zachované buněčné prostory uvnitř dentinu těchto starodávných zubů (Vaškaninová a kol. 2020).

Pomocí synchrotronu jsme mohli nahlédnout dovnitř 465 milionů let starého trilobita z ordoviku pražské pánve se zachovaným obsahem střev (obr. 13). U této výjimečné zkameněliny, trojrozměrně zachovalé v tzv. rokycanské kuličce (křemité konkreci), se podařilo zrekonstruovat obsah žaludků a střeva, a až na úroveň druhů určit živočichy, které trilobit pozřel. Trávicí trakt tohoto členovce byl zcela naplněný vápenatými schránkami a jejich úlomky, které patřily mořským bezobratlým, jako jsou lasturnatky, mlži a ostnokožci. Díky příznivým okolnostem zachování zkoumaného trilobita se podařilo odvodit i dříve nepředstavitelné detaily o způsobu života, výživě a trávení těchto pravěkých tvorů, připomínající některé dnešní mořské koryše a klepítkatce. Paleofyziologie není úplně novým oborem (vzpomeňme třeba studie o teplokrevnosti dinosaurů), ovšem až rozmach používání nedestruktivních metod v paleontologii umožní rozší-

ření tohoto výzkumného směru a usnadní chápání vymřelých tvorů jakožto živých organismů.

Závěrem

Období romantické deskriptivní paleontologie je nenávratně minulostí. Informace, které bylo možné z fosilií získat během 19. a 20. století, narazily na své limity. Dnes na scénu vstupují nové metody, integrované a mezioborový výzkum. Dříve netušené možnosti významně přispívají k pochopení minulosti, ta je východiskem a často i mementem pro současnost i budoucnost. Fosilní ekosystémy a jejich proměny v čase poskytují, jako jediné, relevantní odpovědi na otázky rychlosti, intenzity a dopadů klimatických změn a přírodních katastrof, dávají možnost posoudit míru a selektivitu různých vymírání, stejně jako obnovu světových biotopů.

Spoluautoři: Martin Košťák, Stanislav Opluštil a Valéria Vaškaninová

Seznam použité literatury uvádíme na webové stránce Živy.

Lucie Juříčková, Adam Petrusek

Do skály bez vrtáku – ryjící mořští živočichové

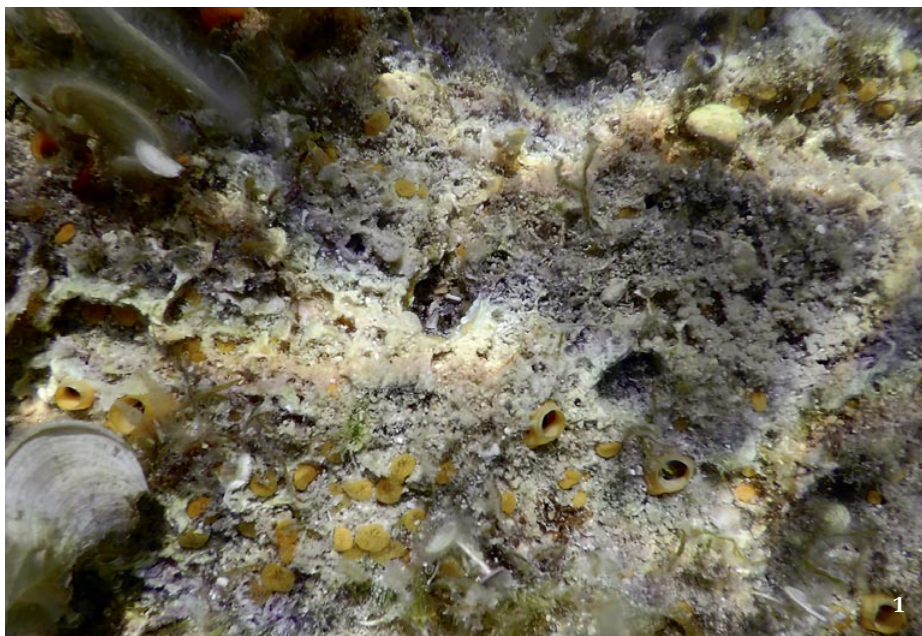
Ryjící živočichové obývají půdu i různé sedimenty, pokrývající většinu povrchu Země. Tyto organismy jsou různých velikostí i tvarů a můžeme je zařadit do mnoha živočišných kmenů. Že je výhodné umět rýt v substrátu, zjistili živočichové už v prekambriu, což mělo za následek jejich rozmach, a naopak úbytek různých forem žijících přisedle. Míchání sedimentu v důsledku této činnosti, nazývané bioturbace, pak klíčovým způsobem změnilo látkové toky v sedimentech. Existují ale i živočichové, kteří dovedou rýt v substrátech mnohem tvrdších, než je půda nebo mořské sedimenty. Ryjí, nebo spíš vrtají v kameni, ve dřevě, v korálech, ve schránkách měkkýšů i v kostech obratlovců, čímž vracejí různé prvky, především vápník, dlouhodobě uvězněný v těchto materiálech, do koloběhu látek. Zároveň tak přispívají k destrukci pevných struktur – bioerozi. Důvody k této činnosti mají jednotlivé druhy různé – úkryt, konzumace vrtaného materiálu, překonání schránky kořisti apod. Zde se zaměříme na mořské živočichy, které můžeme běžně potkat kolem evropských břehů a kteří se s touto výzvou úspěšně popasovali.

Není dno jako dno, není skála jako skála. Vlastnosti materiálů ovlivňují způsoby, jakými se do nich dá vrtat. Lépe se vrtá do měkkých substrátů, jako je bahno nebo písek, kdy ryjící organismus v zásadě „pouze“ deformuje své okolí. Tvrdý substrát je pro zarývání mnohem obtížnějším materiálem, ale zato poskytuje tvůrci nory pevnější a bezpečnější úkryt. Není tedy divu, že tato nika nezůstala v přírodě

volná. Do pevných substrátů se dá dostat mechanicky pomocí abraze nebo chemicky – rozleptáváním. Oba způsoby živočichové využívají, ale úspěšně dokázali zdolat jen některé materiály. Dřevo neodolává dlouho a ani vápencové skály nejsou pro některé živočichy nepřekonatelnou překážkou, naopak do vyvělin nebo odolných přeměněných hornin se obvykle nepouštět. Nejvýznamnější původce děr či nor

různých velikostí a tvarů ve skalách a dalších pevných strukturách na pobřeží evropských moří najdeme mezi houbovci, kroužkovci a měkkýši. V místech, kde je pobřeží tvořeno převážně vápencovými skalami, třeba na chorvatském pobřeží Jadrana, nám důsledky jejich činnosti nemohou uniknout. Oblázkové pláže bývají poseté lehkými „pórovitými“ kameny, často navíc proděravělými hladkými rovnými tunely jako od vrtáku. Ne každý si však uvědomuje, že obojí způsobili mořští bezobratlí. Jejich činnosti jsou si ale velmi dobře vědomi podmořští archeologové a inženýři – pro tyto živočichy není velký rozdíl mezi přirozenou skálou, zatopenými zbytky chrámu a mramorovou antickou sochou, nebo mezi potopeným kmenem stromu a vrakem lodi. Mohou se pustit ale i do betonu a dřevěných přístavních struktur. Bioeroze tedy také přispívá k zániku ponořeného kulturního dědictví a může způsobovat ekonomické škody.

● **Houbovci (Porifera)** pronikající do skal jsou měkké organismy bez jakýchkoli struktur umožňujících abrazi. Je tedy jasné, že k narušování pevného substrátu využívají především chemické rozpouštění. A je třeba vyzdvihnout, že se stali ve výrobě nejrůznějších chemikálií skutečnými mistry. Vzhledem k jejich přisedlému způsobu života jsou chemické interakce s prostředím a predátory ty jediné možné. Houbovci prorůstají nejen vápencové skály, daří se jim i v kostrách korálů, zvápenatělých řasách, v ulitách plžů i lasturách mlžů, čímž mohou působit také škody např. v akvakulturách ústřic. Houbovci jsou, jak známo, velice jednoduchí živočichové, kteří většinou nemají buňky organizované ve tkáních. Specializované buňky v jejich tělech nicméně mají různé funkce. V případě vrtání se uplatňují buňky s prstovitými výběžky, které vylučují kyselinu sloužící k rozleptávání vápencových skal. Jiné typy buněk jsou schopné odstraňovat



1 Houba sírová (*Cliona celata*) je nejrozšířenější zástupce vrtavých houbovců. Český název dostala podle sírově žlutého zbarvení, kolem Evropy ale žijí i jinak zbarvené druhy. Na snímku jsou vidět otevřené vyvrhovací otvory – oskula – a zbytek živočicha je uvnitř skály.

2 a 3 Datlovka vrtavá (*Litophaga litophaga*) vrtá nory tloušťky prstu. Málokdy ji v nich můžeme zahlédnout, většinou žije skrytě. Zde již odumřelí jedinci, na jejichž povrchu lze rozeznat jemné struktury, které pomáhají mechanické abrazi skály. Foto L. Juříčková (obr. 1), A. Petrusek (2) a J. Novák (3)

z těla houbovců produkty této činnosti a nechávat droboučké vápencové pelety odcházet ven vyvrhovacími otvory – oskuly. Velikost vypuzených partikul se pohybuje od 15 do 100 μm . Při pokusu zjistit, jaký je podíl těchto částecek v mořském sedimentu, se ukázala překvapivá čísla. V severním Jadranu tvořily částecčky produkované houbovci rodu *Cliona* 2–3 % sedimentu, zatímco v jedné laguně v Tichém oceánu dokonce 30 % sedimentu! Celý houbovec se nachází uvnitř proerodované-

ho kamene a navenek jsou z něj vidět jen oskula, jak můžeme pozorovat třeba u nejběžnějšího evropského druhu – houby sírové (*C. celata*, obr. 1). Pokud houbovec odumře, zbydou po něm na povrchu kamene právě tyto otvory po oskulech, větší či menší část skály je pak rozpuštěna a po rozkladu biomasy houbovce zůstává ve formě dutin.

Známe ryjící zástupce čtyř řádů ze skupiny křemitých houbovců (*Demospongia*), kteří vytvářejí otvůrky různých velikostí, tvarů a struktur. Zdá se, že tyto typické mikrostruktury jsou specifické pro jednotlivé skupiny rodů, ale nijak nezávisí na vlastnostech substrátu. Houbovci tedy vytvářejí něco jako taxonomický otisk prstu ve skále, který pomůže při jejich identifikaci, i když tvůrce už je dávno mrtvý. S kamenem „prožraným“ od houbovce se běžně setkáváme třeba na plážích. Často nás překvapí, že poměrně velký kámen je nezvykle lehký – většinu jeho objemu zevnitř rozpustil houbovec. Známe případy tak rozsáhlé eroze, že zdánlivý kámen je tvořen tenkou slupkou vápence na povrchu a vnitřek kompletně vyplnila masa houbovce jen s občasnými fragmenty horniny.

Nakonec i povrch skály opadá a „obnažený“ houbovec zůstane napospas prostředí.

● **Mlži (Mollusca: Bivalvia).** Většina vrtáků v písku nebo v bahně, někteří ale dobyli skály či dřevo. Mechanické vrtání a rašplování umožňují nejrůznější zoubky nebo rýhy na lasturách mlžů. Obrušování substrátu ale mohou napomoci i specificky vytvarované konce lastur, které připomínají vrták. Někdy je takto vytvarovaná celá lastura, resp. její redukované zbytky.

To je případ asi nejznámějšího mořského organismu ryjícího ve dřevě – sášeň lodní (*Teredo navalis*, obr. 5; české jméno se objevovalo i ve tvaru šášeň, z ruského dialektu ho převzal J. S. Presl v r. 1824). Tento mlž má velmi redukované lastury do jakýchsi malých škrabek, většina těla má ale červovitý tvar. Protože tělní povrch mlže – plášť – je schopný vylučovat uhličitán vápenatý, dokáže si sášeň „vyvápnit“ své vyvrtané rourky. Vrtá skoro v jakémkoli dřevě (malé částecčky může zkonsumovat, ale jinak se živí mikroskopickými řasami), které spadne do moře anebo jej tam umístí člověk. Způsobuje tak škody na různých dřevěných pilířích, mostech, molech, ale i lodích. Uvádí se, že polovina lodí španělské armády, která se potopila během bouří, byla napadena sášní. Je tedy jasné, jak se tento původně atlantský druh rozšířil do celého světa. Sášeň je proterandrický hermafrodit, každý jedinec začíná život jako sameček. Poté, co uvolní sperma do vodního prostředí, začne fungovat jako samička. To trvá několik týdnů, ale i měsíců, obvykle podle teploty vody. Larvy jsou planktonní a umožňují šíření druhu na další vhodné substráty. Sášeň má ve specializovaných žaberních buňkách symbiotické bakterie rodu *Teredinibacter*, umožňující jim trávit celulózu ze dřeva. V jejich střevech byly nalezeny i bakterie rodu *Alteromonas*, rovněž schopné trávit celulózu (Goodell a kol. 2024).

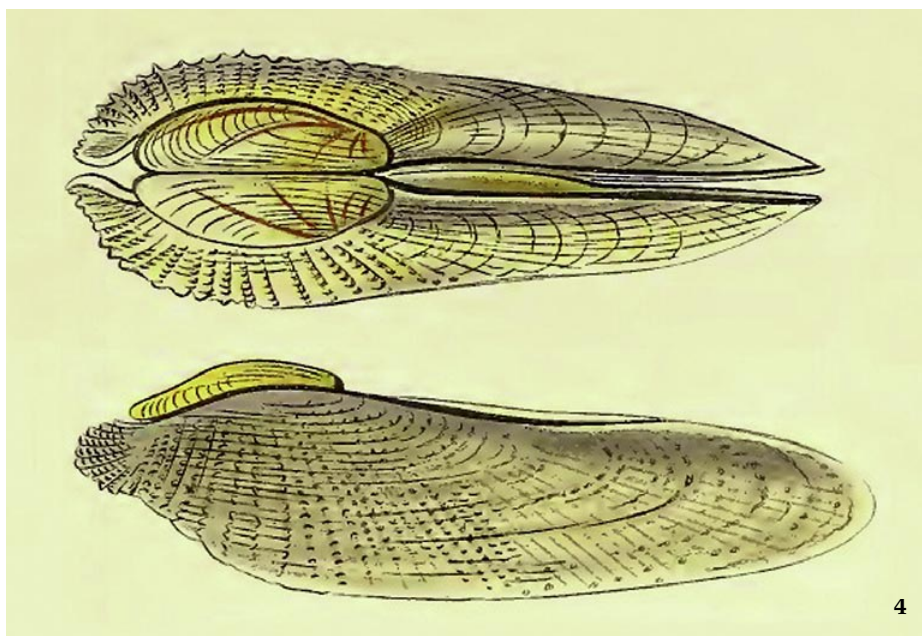
Další druhy mlžů jsou schopny vrtat do skal – nejen do vápence a mramoru, ale i jiných vápenatých usazenin nebo mírně přeměněných hornin, jako jsou pískovce, opuky, jílovce a břidlice. Při vrtání otevírají své lastury co nejvíce do šířky, aby oškrábaly stěnu nory. Druhy vrtající v písku naopak lastury svírají, aby co nejlépe proklouzly



měkkým substrátem. Chemické narušování tvrdých substrátů je u mlžů způsobeno sekrety plášťových žláz, umístěných po okraji pláště. Tyto žlázy nevylučují kyselinu, jak se dříve myslelo, ale mukopolysacharidy, vázající vápník ze skály. Dlouhou dobu se předpokládalo, že mlži používají buď mechanický, nebo chemický způsob vrtání v tvrdých substrátech, v poslední době se však ukazuje, že nejspíš většinou kombinují obojí.

Velice jemně rýhovaný povrch lastur připomínající pilník najdeme u datlovek, např. datlovky vrtavé (*Lithophaga lithophaga* – do češtiny bychom její vědecké jméno doslova přeložili jako kamenožroutka kamenožravá, obr. 2 a 3). Tito běžní obyvatelé vápencových skal Atlantského oceánu, Středozemního a Rudého moře z čeledi slávkovití (*Mytilidae*) jsou příbuzní třeba slávce jedlé (*Mytilus edulis*). Kromě datlovek dovedou ve vápencových skalách vrtat i další druhy této čeledi. Středomořské datlovky patří mezi mlže s nejpomalejšími růstovými rychlostmi – uvádí se, že do délky 5 cm dorostou za 15–35 let a mohou žít i přes 50 let. Jiné druhy téhož rodu, jako třeba jihoamerická *L. patagonica*, ale prokazatelně rostou rychleji. Skoro celou tu dobu, až na krátké období planktonního života v larválním stadiu a následné pronikání pod povrch substrátu, žijí ve své kamenné noře, kterou postupně zvětšují, jak rostou. Délka nory bývá zhruba 1,5krát větší než lastury samotné. Uvnitř nory se mlž drží pomocí byssových vláken, která jsou připevněná zhruba uprostřed chodby a umožňují datlovce dvě polohy – u vchodu do nory, kdy vystrkuje ven z nory okraj pláště, a uvnitř nory, kam se při vyrušení rychle zatáhne. V noře filtrují vodu a živí se drobnými částicemi organického sedimentu i drobným planktonem. Po uhybnutí mlže tento těžce vydobytý domeček rádi zdědí jiní mořští živočichové, kteří v něm nacházejí úkryt – od koryšů a kroužkovic po drobné benthické ryby, např. sližouny (*Blenniidae*) a trojploutvovce (*Tripterygionidae*). Již od antických dob jsou datlovky považovány za delikatesu. Jediným způsobem, jak je získat, je ale rozbít povrch skály, kde se vyskytují. Taková destruktivní metoda sběru není samozřejmě dlouhodobě udržitelná a vede k významným změnám benthických ekosystémů. I proto byla na většině středomořského pobřeží zakázána. Ze stejného důvodu je datlovka zařazena i do přílohy II úmluvy CITES, i když jako druh není ohrožena.

O hodně hrubší povrch připomínající spíš rašplí mají lastury skulaře vrtavého (*Pholas dactylus*, obr. 4) a dalších druhů z čeledi skulařovití (*Pholadidae*), kteří se vyskytují kolem celé Evropy. Jelikož jde také o jedlé druhy, z mnoha míst v posledních desetiletích zmizely. Skulaři mají konce lastur tvarované podobně jako sášeň, takže jsou velmi účinné v mechanické abrazi. Vrtají přímou chodbu, končící okrouhlou komůrkou. U britských populací bylo spočítáno, že jeden jedinec skulaře vrtavého vyprodukuje asi 10 cm³ sedimentu za život. Obrys skulaře ve tmě září zelenomodrým světlem, světelné žlázy, které bioluminiscenční sekret produkují, jsou dva podélné pruhy ve výdecho-
vém sifonu, pár trojúhelníkovitých orgánů



4



5

4 Skulař vrtavý (*Pholas dactylus*) má lastury hrubě žebernaté a navíc vytvarované jako okraj vrtáku. Jsou tedy dokonale přizpůsobené k mechanickému vrtání ve skalách. Orig. S. Clessin (1893)

5 Sášeň lodní (*Teredo navalis*) najdeme často v kusech dřeva vyplavených na břehu. Pokud ho zkusíme rozlomit, ukážou se bílé vyvápňené rourky v jinak proděravěném dřevě. Orig. G. P. Deshayes (1844–48)

v dutině pláště blízko sifonu a pruh kolem okraje pláště. Přestože je tento druh známý již od starověku, kdy o jeho tajemné bioluminiscenci psal už Plinius, o jeho biologii se toho příliš neví.

K bezpečnému životu ve vápencových skalách se uchýlila i řada dalších nepřibuzných druhů mlžů. K bioerozi a destrukci památek z římských dob přispívají třeba kamenovka vrtavá (*Petricola lithophaga*) z čeledi zadénkovití (*Veneridae*) nebo nedovřenka evropská (*Rocellaria dubia*) z čeledi nedovřenkovití (*Gastrochaenidae*). Druhý zmíněný druh se může zavrtávat do substrátu nebo tvořit akumulace vzájemně srůstajících jedinců v dutinách. Chodbičky se sifony má zvápenatělé a na povrchu skály mohou být zřetelná jen jejich vyústění v charakteristickém tvaru číslice 8.

● **Kroužkovci (Annelida).** Mnoho zástupců obývajících mořské prostředí je volně žijících, najdeme mezi nimi ale i řadu přisedlých forem v rourkách a někteří dokážou rýt v tvrdých substrátech. Nejběžnějšími z nich jsou zástupci čeledi Spionidae, ryjící zejména v biogenních strukturách, např. v kostrách korálů a v tlustších lasturách

mlžů, a to včetně těch komerčně využívaných, třeba ústřic. Přestože mlže svou aktivitou hned neohroží na životě, na zdraví jim tyto obyvatelé jejich lastur rozhodně nepřidají. Asi nejrozšířenějším rodem, který se vyskytuje po celém světě, je *Polydora*, ale ryjí i zástupci dalších rodů tribu Polydorini. Některé druhy jsou zřejmě schopné přepínat mezi tunelářským způsobem života a životem v rource, a to v závislosti na prostředí, kde se uchytí jejich planktonní larva. Pokud larva dopadne na vhodný tvrdý substrát, vyvinou se ryjící formy, pokud ne, živočich si vytvoří rourku. Otvory po spionidech vypadají podobně jako u výše zmíněného mlže nedovřenky jako osmička, ale jsou podstatně menší.

Nory vyvrtané mlži jsou o dost větší než dírký vytvořené houbovci, ale v jedné skále se mohou vyskytovat pohromadě. Milimetrové otvory patří houbovcům nebo spionidům, zatímco otvory o průměru lidského prstu jsou dílem mlžů.

Tunelující živočichové nejenže vracejí řadu prvků zpátky do oběhu živin a napomáhají erozi skal a dalších pevných substrátů, ale vytvářením otvorů ve skalách poskytují úkryty jiným organismům. I díky nim je nejen povrch, ale i vnitřek korálového útesu bohatě oživen, zároveň však svou činností neodvratně přispívají k jeho rozpadu. Provrtané skály jsou málo prozkoumaným biotopem, do kterého není snadné nahlédnout, přestože ho potkáte i na evropském mořském pobřeží zcela běžně.

Použitou literaturu uvádíme na webové stránce Živý.