

Fosilizace bez kamenění: kvartérní fosilie a jejich význam pro poznání kořenů současné přírody

Pod pojmem fosilie si obvykle představíme zkamenělý nebo do kamene otřetý organismus vymřelý před velmi dávnou dobou. Takovému procesu se však říká petrifikace, tedy kamenění. Ne každý pozůstatek dávno mrtvého organismu ale musí být nutně zkamenělý. Vzpomeňme třeba mamuty zamrzlé v permafrostu. Navíc ne každý fosilizovaný organismus musí být vymřelý. Podíváme-li se do sedimentů z období ne tak dávných, starých nikoli miliony, ale třeba jen deseti tisíců nebo pouhé desítky let, nahlédneme samý počátek procesu fosilizace. Takto mladé sedimenty ještě zpravidla nebudou zpevněné a pozůstatky organismů, které v nich najdeme, většinou nebudou vymřelé. Pojďme se tedy podívat na tyto nejmladší čtvrtohorní (kvartérní) fosilie.

Latinské slovo fossa znamená příkop nebo jámu. Fosilie v obecném smyslu jsou tedy libovolné objekty nalezené pod povrchem terénu, zpravidla v nějakém výkopu. Doslova vykopávky. Význam pojmu se ustálil v průběhu evropské renesance, v době prudce zvýšeného zájmu o všechno minulé. Tehdy byly představy o geologickém stáří Země, jejích vrstev a povaze konkrétních nálezů v nich objevených velmi mlhavé. Dlouhou dobu ještě trvalo, než se naplno ukázalo šokující stáří planetárních dějin a než si lidé definovali jednotlivé vědy o minulosti. Zájem badatelů o fosilní objekty se následkem toho začaly rozrůžňovat. Jestliže pod povrch Země nahlížel biolog, zajímaly ho především pozůstatky rostlin a živočichů. Archeologové přednostně pátrali po artefaktech a jiných dokladech lidské činnosti. Geologové se zajímali hlavně o horniny a jejich texturu, složení atd.

V průběhu 20. století došlo k protiběžnému pohybu a jednotlivé obory věd o minulosti Země se začaly slučovat. Postupně se formovala geobiologie, paleoekologie, environmentální archeologie a jiné transdisciplinární směry, které začaly skládat fragmenty poznání, tehdy už značně rozsáhlé, v jednotný obraz minulého dění. Rozdělení na tradiční disciplíny však do značné míry přetrvává dodnes. Je to dáno nesmírnou šíří poznatků, typů nálezů i hloubkou geologického času. Na tomto místě budeme psát pouze o kvartérních fosiliích, a sice výlučně z pozice biologů. Jinak by naše téma bylo příliš rozsáhlé a „fušovali“ bychom do řemesla spoustě mnohem fundovanějších odborníků.

Zvláštnosti kvartérních fosilií

Obecně můžeme říci, že čím starší fosilie jsou, tím je jich méně – příslušné sedimenty

ty erodovaly, byly přepracovány horotvornými procesy apod. Kvartérní sedimenty včetně fosilií v nich obsažených jsou nejmladší, a teoreticky by jich tedy mělo být všude kolem nás plno – navzdory relativně krátkému trvání kvartérního období (zhruba posledních 2,5 milionu let). Jenže tyto sedimenty jsou zároveň ještě nezpevněné (nekonsolidované), a proto mnohem náchylnější k erozi. To je podpořeno obrovskými klimatickými výkyvy během kvartéru (střídáním ledových a meziledových dob) a směrem k dnešku i postupně akcelerující lidskou činností, která má skrz orbu, těžbu a stavební aktivity ničivé účinky právě na kvartérní sedimenty uložené nejvíce na ráně, ponejvíce přímo na zemském povrchu.

Pozůstatkům organismů z nejmladšího období kvartéru – z holocénu (posledních 11 700 let) – se někdy říká subfosilie, protože ještě obsahují nepřeměněné organické (uhlíkaté) zbytky původních těl. Subfosilie vlastně vypadají téměř jako jejich živé ekvivalenty, jelikož se zatím nestihly rozložit. Na rozdíl od velmi starých fosilií se obvykle zachovává mnohem víc jedinců i druhů – mnohdy pracujeme s celými společenstvy organismů, z nichž naprostá většina se kolem nás vyskytuje dodnes. Protože nejsou zase tak staré, aplikujeme na ně tzv. princip aktualismu. Předpokládáme, že ekologické vlastnosti organismů, které tato společenstva tvoří, se neliší od jejich recentních příbuzných. To nám umožňuje na základě takových společenstev do velkých detailů rekonstruovat minulý stav stanoviště, na němž se daná vrstva určitého stáří nachází. Je-li společenstvo holocenní nebo ze závěru posledního glaciálu, můžeme dokonce relativně přesně určit jeho stáří pomocí radiouhlíkového datování, což je dnes rutinní postup. I starší vrstvy a jejich fosilie lze datovat, i když jinými metodami a s menší přesností. Díky velkému množství prozkoumaných lokalit se také dají sledovat posuny areálů jednotlivých druhů v čase. Při troše štěstí se ze subfosilií dokonce dá extrahovat starobylá DNA (označovaná jako aDNA) a v dalším kroku „přečíst“ její genetická informace.

Jaké fosilie se nám tedy z kvartéru zachovaly, kde je najdeme a co se díky nim můžeme dozvědět? Různá prostředí, v nichž se dochovávají, můžeme při prvním přiblížení rozdělit na akvatickou a terestricko-karbonátovou facii (neboli vápnité sedimenty suchozemského prostředí). Každá má svá specifika a v každé se zachovávají zbytky jiných organismů nebo jejich části. Obě facie jsou navíc na zemském povrchu rozmístěny nerovnoměrně. Někde je více bažin či jezerních sedimentů, třeba dále na severu nebo u nás ve srážkově bohatých horách a v plochých bezodtokých pánvích. Jinde je zase více jeskyň a převisů, jejichž výplň se dá prokopat – např. v suchých krasových a pseudokrasových (u nás třeba v pískovcových) oblastech. Pokud se chceme něco podstatného dozvědět o vývoji krajiny jako celku a o druzích a společenstvech, které



1 Průzkum až 5 m mocného rašelinného ložiska v Adršpašsko-teplických skalách s využitím přenosného ručního vrtáku. Chráněná krajinná oblast Broumovsko

ji obývaly, je třeba kombinovat nálezy z více typů těchto přírodních archivů.

Terestricko-karbonátová facie

Pro terestricko-karbonátovou facii, jak už název napovídá, je typické prostředí bohaté na uhličitán vápenatý, které umožňuje zachování vápnitých součástí organismů – především kostí obratlovců a ulit plžů. Kostí bývá na určitý objem sedimentu obvykle méně než ulit, což odráží řádově rozdílné populační početnosti. Jsou ovšem významné výjimky, jak uvidíme dále. A jak získat z této facie fosilie? Standardním postupem je vykopat v sedimentu jámu a odkrýt vertikální řez – „profil“ – který odhalí jednotlivé vrstvy. Zde platí obecný princip superpozice – čím je vrstva uložena hlouběji, tím je starší. V některých případech může dojít k druhotnému promíchání sedimentu, což se děje např. v nivách řek, které mohou přemístit (redeponovat) celé vrstevní sledy a v nich obsazené fosilie. Někdy dojde k promíchání gravitačním pohybem ve svahových sedimentech. Vyločit nemůžeme ani činnost různých živočichů, kteří sediment prorývají (žížaly, živočichové hrabající nory). Také lidé často hrabou a přemísťují materiál. Už vzhled jednotlivých vrstev profilu – základní litologie – nám odhalí nejdůležitější změny prostředí. Pokud bylo prostředí stejné, i vrstva sedimentu vypadá stejně. Z odhalených vrstev odlišných svými viditelnými a hmatatelnými vlastnostmi pak odebíráme několikolitrové vzorky sedimentu a zpracováváme je na různě jemných sítích. Prvním krokem je rozplav (flotace), kdy z hladiny vodou zalitého vzorku sbíráme plovoucí, lehké či vzduchem naplněné zbytky. Např. ulity plžů, které se později určují nejsnadněji, protože jsou prakticky stejné jako u současných (živých, recentních) jedinců. Následuje výplav, kdy rozpuštěný jemný sediment odplavíme a na sítích zbydou větší a tvrdé objekty – kamínky, kusy sintru, kosti, střepy měkkýších ulit, dřevěné uhlíky a jiné zuhelnatělé části rostlin, případně drobné archeologické nálezy. Takové fosilie není třeba nijak konzervovat, uchovávají se za sucha při pokojové teplotě a „nezkazí se“, takže se k nim můžeme kdykoli vrátit a upřesnit třeba původní determinaci.

Z kosterních pozůstatků se při výzkumu kvartéru využívají především drobní savci. Jejich větší kumulace najdeme zejména tam, kde už je někdo před námi „vysbíral“. Typicky to bývá pod skalními převisy, na nichž hnízdily sovy, které lovil drobné obratlovce v širším okolí lokality a jejichž vývržky plné kostí se pod hnízdišti zachovaly. Čím větší savci, tím jsou jejich kosti vzácnější; na kostru mamuta zkrátka hned tak nenarazíme. Nejvýznamnější a také nejtrvanlivější fosilií, která po savcích zůstává, je zub. Savčí zuby prošly během kvartéru dramatickým vývojem odrážejícím vývoj prostředí a mohou tedy posloužit i jako stratigraficky významné, indexové fosilie vymezující určitá období.

Ulity plžů najdeme obvykle tam, kde jejich majitelé uhynuli, a to nezřídka v počtech stovek i tisíců jedinců. Jejich tvary během kvartéru žádné dramatické změny neprodělaly, takže stratigrafický význam příliš velké nemají. Na první pohled z nich však poznáme, zda jde o společenstvo



z doby ledové, nebo z doby meziledové. Společenstva měkkýšů ale odrážejí velké detaily prostředí, ve kterém žila. Díky tomu můžeme rekonstruovat krajinnou mozaiku. Nedávná studie (Kubíková a kol. 2025) odhalila, že k podchycení druhotné diverzity určité konkrétní krajiny jeden sedimentární záznam nestačí, protože zachycuje diverzitu ve velmi malém okruhu od naleziště. Abychom podchytili diverzitu krajiny jako celku, řekneme velikosti standardní chráněné krajinné oblasti, potřebujeme zde vykopat alespoň dva, ale ideálně mnohem více fosilních sledů.

Rostlinné fosilie se v terestricko-karbonátové facii příliš dobře nedochovávají. Čerstvé rostlinné zbytky se v takovém prostředí většinou rychle mikrobiálně rozloží. Výjimku tvoří velmi trvanlivá semena některých rostlin, zejména pokud jsou už zaživa inkrustována uhličitánem vápenatým – třeba semena stromu břestovce (*Celtis*), bezu (*Sambucus*), nebo nevelké skupiny bylinných druhů. Co se nám zde z rostlin zachová, jsou především zuhelnatělé zbytky. Původcem zuhelnatění je vždy oheň, protože v krátkém čase trvání kvartéru k postupné karbonizaci nemůže dojít. Zuhelnatění nastalo tedy náraz, v průběhu požáru vegetace, ale ještě častěji v ohništích, která zvláště v holocénu hořela snad v každém převisu nebo jeskynním vchodu. Lidé topili dřevem a jeho nedostatečně

spálené kusy tam zůstaly zakonzervovány jako uhlíky. Ty jsou na základě mikroskopické anatomie určitelné většinou na úrovni rodu – borovice (*Pinus*), bříza (*Betula*), dub (*Quercus*) atd. Lidé v ohništích případně mohli zanechat i nějakou jinou příměs rostlinného původu, která se tam ocitla buď čistou náhodou, ale ještě častěji jako zbytek lidské stravy.

Akvatická facie

Odlíšné prostředí píše příběh minulosti docela jiným způsobem. Největší kontrast s terestricko-karbonátovou facii představuje kyselá (ve smyslu vysoké koncentrace volných vodíkových radikálů – nízkého pH) facie akvatická. Přebytek vody a kyselá, nebo alespoň neutrální reakce (hodnota pH kolem 7), tu skvěle konzervují nezuhelnatělé organické zbytky. Na prameništích a v rašeliništích sycených především srážkovou vodou (ombrotrofních rašeliništích) tak vznikají mocná souvrství mrtvé organické hmoty. Podobně v jezerních pánvích, pod volnými hladinami stálých vodních ploch. Taková organická souvrství jsou dokonalými archivy rostlinných zbytků, ale také třeba zbytků řas, nebo pozůstatků různých bezobratlých živočichů obvykle s chitinovou kutikulou, např. pakomárů (Chironomidae), brouků (Coleoptera), lasturnatek (Ostracoda) atd. Nedostatek kyslíku pod stálou vodní hladinou nedovoluje





2 Soubor pylových zrn, převažují borovice (*Pinus*), jedle (*Abies*) a smrk (*Picea*), a spor kapradin pod optickým mikroskopem. Koncentrát získaný chemickou cestou ze vzorku rašeliny. Stáří vzorku zhruba 4 000 let

3 Průzkum 13 m mocného sedimentárního sledu proříznutého potokem ve Valčianské dolině v Malé Fatře na Slovensku. Lokalita je unikátní tím, že se zde společně zachovávají schránky měkkýšů, zbytky rostlin i pylová zrna.

4 Nálezy ulit plžů a kosterních pozůstatků drobných obratlovců ve výplavu z vrstvy pod archeologicky a paleoekologicky zkoumaným převísem Velký Mamuták v CHKO Český ráj. Plži žili na místě, zatímco kosti a zuby pocházejí z mrtvých netopýrů a z vývržků sov, které dodnes sedávají i hnízdí na skalních římsách nad převísem. Snímky P. Pokorného, pokud není uvedeno jinak

5 Odebírání vzorků z archeologického naleziště pod pískovcovým skalním převísem Vlajková věž na Maloskalsku. Zachovávají se tu i ulity plžů, protože skalní stěna byla v minulosti pokrytá vápnitou krustou. Foto L. Juříčková

živým organismům tato souvrství narušovat hrabáním a prolézáním. Konzervace tu bývá dokonalá a zvrstvení velmi jemné – jde o dokonalé „přírodní záznamy“. Stačí rozplavit kus rašeliny nebo jezerního sedimentu na dostatečně jemném sítu a pod binokulární lupou rovnou můžeme separovat a určovat pozůstatky drobných rostlin a živočichů. Jejich výpověď je zpravidla lokální – rekonstruujeme tak vývoj mokřadu samotného. Kostí obratlovců a schránky měkkýšů se v kyselém mokřadním prostředí dochovávají málokdy, protože se v něm účinně rozpouští jejich strukturní karbonát – uhličitán vápenatý. Výjimku tvoří pěnovecová prameniště nebo jezerní křídý, které jsou naopak na měkkýši schránky velmi bohaté. Právě pro zmíněné selektivní zachování je dobré kombinovat výpovědi jednotlivých kontrastních facií – pokud jsou k tomu jen trochu vhodné podmínky. Teprve potom získáme komplexní obraz o dlouhodobém vývoji prostředí nějakého konkrétního kusu krajiny.

Tradiční a velice účinnou metodou studia minulé vegetace v organických sedi-

mentech akvatické facie je pylová analýza, jejíž základy byly položeny před více než sto lety. V jediném krychlovém centimetru rašeliny či jezerního sedimentu jsou obvykle přítomny tisíce až stovky tisíc dokonale zachovaných pylových zrn, která dokážeme laboratorními postupy koncentrovat a získat tak téměř čisté preparáty. Pod mikroskopem je potom určujeme na úroveň druhu, skupiny druhů a rodů (nejčastěji) nebo na úroveň nějaké ještě vyšší taxonomické jednotky (přinejhorším třeba čeledi). Taková koncentrace fosilií dovoluje velice jemné vzorkování a získaná data mají navíc vysokou statistickou průkaznost – v jediném vzorku zpravidla určujeme vyšší stovky, někdy i první tisíce pylových zrn a spor rostlin. Postupujeme vrstvu po vrstvě, téměř tak nahusto, jak se nám zlíbí. Určitým interpretačním problémem s takto získanými daty se ale nevyhneme. Strašákem je zejména nejasná prostorová výpověď, protože u libovolného konkrétního nálezu pylového zrna či spory nikdy nedokážeme říci, z jaké vzdálenosti pochází. Jejich šíření vzduchem se může odehrávat i na obrovské vzdálenosti, i když logicky drtivě převažují místní zdroje. Rozklíčovat prostorové vztahy a rekonstruovat tak minulou vegetaci v reálném geografickém prostoru je potom úkolem velice rafinovaného modelování. Sebesofistikovanější model nám sice nemůže poskytnout absolutní jistotu,



ale aspoň máme interpretaci pod přímou kontrolou, takříkajíc krok po kroku.

V obhospodařovaných krajínách podobných území, jako je Česká republika, jsou všechny mokřady a jejich cenné přírodní archivy pod neustálým tlakem. Ohrožují je především průběžné snahy o odvodňování zemědělských i lesních pozemků. Jakmile mokřad odvodníme, ihned započne rozklad jeho organických sedimentů. Nenávratně tak přicházíme o unikátní svědectví minulosti naší přírody, krajiny a lidského konání. Záchrana takových archivů uložených v organických sedimentech by proto měla být jednou z priorit zákonné ochrany přírody. Nejen kvůli živým mokřadům a jejich zásadnímu významu pro krajinu, ale i kvůli tomu, jaké poklady minulosti ve svých sedimentech konzervují.

Tím příběh zdaleka nekončí...

Pro jednoduchost jsme vybrali hlavní a tradičně využívané kvartérní fosilie a rozdělili prostředí jejich nálezů na dvě základní a v našich krajích nejčastěji zkoumané sedimentární facie. Existuje však nepřehledná řada méně obvyklých, ale neméně zajímavých fosilií, jejichž potenciál pro poznání minulosti ještě čeká na odhalení. A také existuje celá škála méně častých nálezových prostředí, opět se značným potenciálem k řešení specifických otázek kvartérního vývoje až směrem ke žhavé současnosti. Jmenujme např. hluboké jeskynní interiéry, pěnovecová tělesa na vápnitých vývěrech, sprašová souvrství, půdy a půdní sedimenty, nebo svahoviny nejrozličnějších vlastností. Ve výčtu nálezových situací nesmíme rozhodně zapomenout na celá archeologická naleziště se širokou škálou lidmi formovaných prostředí a s kulturními vrstvami, v nichž se mnohdy rovněž uchovávají pozůstatky organismů. Archeologické situace nesou cenné informace o kulturních krajínách a v neposlední řadě též o lidském světě jako takovém – jakým způsobem lidé využívali přírodní zdroje a jak se díky tomu podíleli na postupném utváření naší přírody, která je do značné míry lidským výtvozem.

Na závěr snad ještě jednu rozšiřující poznámku. Nejen druhové složení společenstev kvartérních organismů poskytuje cenné informace o dávném prostředí. Velmi mnoho dokážeme vyčíst např. z chemických analýz jednotlivých fosilií. Izotopy řady prvků mimo jiné ukazují na změny základních klimatických charakteristik, jakými jsou meziroční nebo dokonce sezonní výkyvy teplot a množství srážek (v tomto případě z jednotlivých letokruhů subfosilních stromových kmenů, blíže Živa 2025, 4: 173–177). Z kostí obratlovců – včetně člověka – nebo z ulit plžů můžeme díky jejich izotopovému složení získat zásadní poznatky o jejich potravě a o prostředích, ve kterých žili.

Článek vznikl za podpory projektu Paleoekologická rekonstrukce ekosystému jako podklad pro plánování ochrany zvláště chráněných území (č. SS07010074) Technologické agentury ČR, řešeného v rámci programu Prostředí pro život.

Použitou literaturu najdete na webových stránkách Živy.