

Bioeroze kolem nás

V jiném článku tohoto čísla (str. 228–230) je popsán efekt organismů na mořské vápencové skalní povrchy. My, pozorovatelé české krajiny, máme bohaté možnosti jak hledat analogie těchto dějů ve fosilním záznamu. Jako nejtýpější a současně světově unikátní lokality pro fosilní mořskou bioerozi jsem popsal spodnokřídové skalní povrchy u Štramberka a miocenní skalní sruby v lomu Kalcit při severním okraji Brna (Mikuláš, Academia 2024, Živa 2025, 1: XIV). Dále jsou v citovaném atlasu vybraných fosilních stop České republiky uvedeny dutiny vyhloubené v klastických nevápencových horninách ve svrchní křídě v okolí Brandýsa nad Labem, holocenní stopy larev jepic ze slínovcového dna Ohře u Loun a dutina s larvou tesaříka ve dřevě dubu, které usadilo holocenní Labe. Nejmladším, holocenním až recentním uvedeným příkladem bioeroze jsou pak hnízdní dutinky solitérní včely hedvábnice (*Colletes*) na převislých površích křemenných pískovců Českého ráje. Zatímco bioeroze ve vápencích bývá kombinací mechanické a chemické aktivity původce, v ostatních typech hornin a ve dřevě jde takřka výhradně o mechanickou erozi – nejčastěji práci analogickou efektu vrtáku, pilníku, nůžek, kleští nebo kladiva.



Příkladem hedvábnic (obr. 1) a zřejmě i larev jepic z Ohře jsme se přiblížili k obsahu tohoto příspěvku, který má dát odpověď na otázku, zda a jak v našich suchozemských podmínkách dochází k narušování skalního podkladu a nepevných substrátů činností organismů. Odpověď se pokusíme rozdělit zhruba na dvě poloviny. Ta první se bude pohybovat na půdě vědního oboru ichnologie, nauky o stopách po činnosti organismů. Stopou (anglicky ichnofossil) se rozumí pozůstatek po činnosti organismu, ze kterého je patrný přinejmenším určitý aspekt morfologie původce. V klasické podobě to může být otisk končetiny, mnohem častěji jde o stopy projíždání substrátu bohatého na organické látky nebo tvorba doupat či jakýchkoli jiných hnízd. Druhou polovinu odpovědi pak musí dodat geochemie přírodního prostředí (environmentální geochemie) a částečně i fyzikální geografie.

Mikroorganismy – endolitické sinice, řasy, houby a bakterie

Sinice rodů *Plectonema* a *Scytonema* jsou na vápencových skalách, u nás v Moravském a Českém krasu, dobře zdokumentovány jako vrtavé organismy. Zarůstají dovnitř skály do hloubek jen výjimečně překračujících 0,1 mm s pomocí organických kyselin a dalších metabolitů a vytvářejí síť jemných chodbiček. Jimi provrtaný vápenec rychle podléhá mechanické (např. mrazové) erozi. Rychlost bioeroze se odhaduje na 0,01–0,05 mm za rok (Engel 2005).

Endolitické řasy (např. rody *Chroococcus* a *Gloeocapsa*, blíže na str. 252–256) rostou na povrchu i v mikroprasklinách vápence a pracují podobným způsobem jako sinice – společně s nimi vylučují organické kyseliny (oxalovou, citronovou), které uhlíčitany rozpouštějí a uvolňují vápenaté ionty (Ca^{2+}). Dostatečné prosycení nejsvrchnější vrst-

1 Skalní kůry ve slabě tmeleném křemenném pískovci české křídové pánve, využitě (a částečně již destruované) včelami rodu hedvábnice (*Colletes*). Průměr tunelů 7 mm. Skleněný vrch u České Lípy (2025)

2 Kořeny stromů, převážně habru obecného (*Carpinus betulus*), nad povrchem deskovitých vápenců požárského souvrství. Kořeny se nacházejí v různých (vesměs decimetrových) vzdálenostech od šikmé stěny, všechny však původně vznikly v břidličnatých polohách mezi vápencovými vrstvami. Zde lze odvodit rychlost destrukce skály přibližně na 1 m za 100 let. Lom nad Maroldovou vilou, přírodní památka Branické skály v Praze (2025)

3 Fialové linie ve spodnoordovické pokrývačské břidlici v lomu Tlukačka u Železného Brodu (2025). „Úsečky“ vypadají na první pohled jako primární biogenní textury (stopy „červů“), ale při srovnání se skutečnými fosilními stopami z pokrývačských břidlic vyniká jejich sekundární povaha. Může jít o produkt oxidace tenkých kořínků rostlin nebo mycelia hub. Na odkryté vrstevní ploše se však nedochovaly ani stopy po zbytcích organismů. Šířka záběru asi 20 cm

4 Terestrická bioeroze a stopy činností. Obrázek vznikl v době mé postdoktorátské stáže na univerzitě v Liverpoolu, a také proto je ze sentimentu po domácím prostředí použit styl a zčásti i koláž ilustrací Karla Šaudka, který je v akademické kresbě zcela ojedinělý. Horní řada skal zleva: borovice (*Pinus* sp.) s destruktivním efektem na „kvádrový“ pískovec, nora jezevce lesního (*Meles meles*) na rozhraní zpevněného pískovce a sypkého písku, pískovcový skalní převis s borovicí vzrostlou pod okapovou hranou, později deformovanou a vytvářející stromový žlábek, hnízdní komůrky solitérních včel v pískovcích a spraších (Hymenoptera), aktivně vykoušané komůrky jako součást kolonie mravenců (Formicidae). Dolní řada zleva: hlodání bobra evropského (*Castor fiber*) v kmeni stromu, růst dřevokazné houby, vytržení skalního bloku vývratem, stopy po drápech a po otěru srsti medvěda jeskynního (*Ursus spelaeus*) v krasové jeskyni, chemické působení kořínků rostlin (zde akátu, *Robinia*) na vápencové balvany a bloky, činnost šplhavců (Piciiformes) ve stromech napadených dřevokazným hmyzem, hnízdní chodbičky kůrovce, meandrovité stopy plže projíždajícího povrch vápence, lišejníkové jamky vyleptané kyselinami a cheláty. Převzato z publikace R. Mikuláše (2001)

vičky vápence buňkami a tkáněmi autotrofních organismů pak otevírá možnost též mikroskopickým vláknům organismů heterotrofních (hub a bakterií).

Lišejníky

Lišejníky na povrchu vápenců zanechávají po svém odumření nebo odstranění drobné, ostře ohraničené prohlubně známé jako lichen pits (obr. 4, vpravo dole). Jamky mají obvykle kruhový až eliptický tvar, velikost od zlomků milimetru po několik milimetrů a jejich dno bývá jemně zrnité rozrušené, často s patrným kontrastem vůči okolní intaktní ploše. Okraje mohou být mírně



vyvýšené v důsledku rozdílné odolnosti minerálních zrn vůči zvětrávání. Mechanismus vzniku souvisí s kombinací fyzikálního narušení hyfami lišejníků a chemického působení metabolitů, zejména tvorbou krystalů šťavelanu vápenatého, které urychlují rozpouštění karbonátové matrice a vedou k lokálnímu prohloubení povrchu.

Cévnaté rostliny

Odlišným typem bioeroze je efekt kořenů rostlin. Často lze pozorovat (nejlépe v opuštěných lomech) rozvírání skalních trhlin obrovskými silami generovanými růstem kořenů (princip klínu). Tytéž síly stojí za vznikem známých hrbolků na asfaltu, kde je původcem deformace např. svlačec (*Convolvulus*). K vytrhávání skalních bloků při vývrtech stromů (princip páky) dochází rovněž běžně; při tomto ději má rostlina na skálu čistě fyzikální účinek. Z hlediska ichnologie je problémem, že morfologické pozůstatky dějů, jako jsou vývrty nebo kanály po zetlelých kořenech, dosud nebyly ve fosilním záznamu systematicky zkoumány a celkově budou spíše nehojné. Je však efekt souvislé vegetace spíše destruktivní, nebo povrchy skal spíše chrání? I na tuto otázku se pokusíme odpovědět.

Kořenové rozpínání rostlin má v oboru živé přírody zcela výjimečné parametry (obr. 2). Na webové stránce národního parku Šumava byla uveřejněna měření dokumentující případy, kdy kořeny klíčící borovice lesní (*Pinus sylvestris*) a smrku ztepilého (*Picea abies*) vyvolaly zvedací tlaky až 5 MPa, které způsobily rozšíření již existujících puklin v krystalických horninách až o několik milimetrů ročně. Může se zdát, že rozšiřování již existujících puklin není pro statiku skalního podkladu zásadní, avšak rozevření pukliny znamená obvykle i její plošné rozšíření do dosud „zdravých“ partií skal. Při vývrtech bývají zpravidla vytrhávány menší bloky (5–20 kg) ze skalních stěn (blíže např. také Živa 2021, 6: 282–284).

Kvantitativní zhodnocení takové bioeroze je však obtížné. Pokud se o něj snažíme, bude platnost výsledku velmi poplatná délce měření (desetiletí versus odhad pro tisíciletí) a struktuře a mechanice skalního podkladu. Navíc narážíme na nutnost zhodnotit i ochranný efekt vegetace (viz též str. 241–243 této Živy). Souvislý vegetační kryt zpomaluje přímé dopady dešťových kapek a vody v pevném skupenství. Dále zpomaluje erozi snížením kolísání teplot

(denní/noční), a tím omezuje tepelnou erozi vlivem střídavého rozpínání a smršťování.

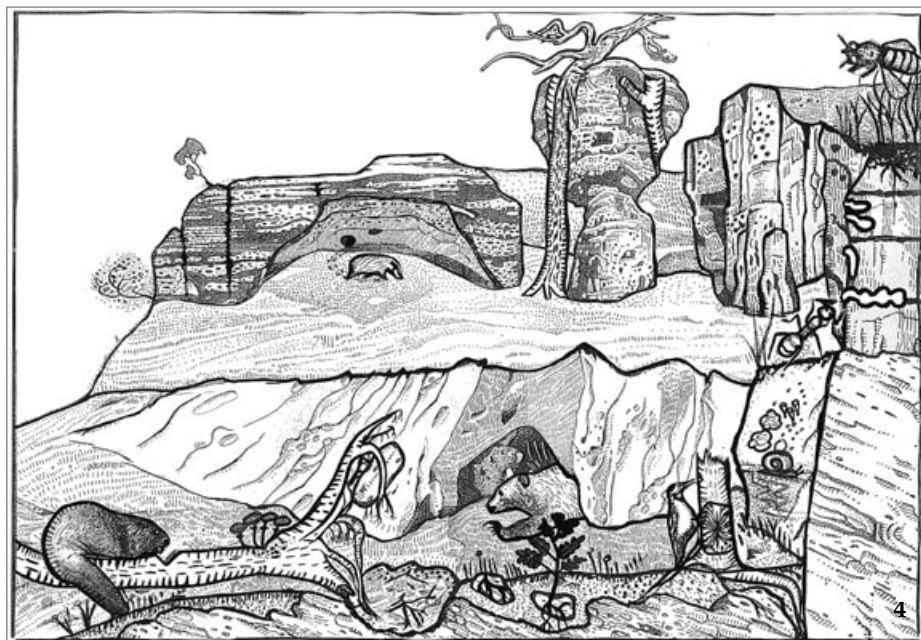
Živočiškové mechanicky narušující skály

Mezi bezobratlými erodujícími skálu dominuje hmyz. Mravenci (Formicidae) byli autorem tohoto článku „přistiženi“ v údolí potoka Zábrdka, jak vytvářejí prostorné komůrky v jemnozrnném křemenném pískovci podél mechanicky vzniklé vodorovné spáry. To však není téměř nic ve srovnání s výkonností termitů (Isoptera) – v Čechách a na Moravě nežijí, ale v jižní Evropě termity rodu *Reticulitermes* vytvářejí mechanicky i chemicky chodby na rozhraní skály a půdy, čímž vznikají charakteristické větvičky se žlábkem, viditelné po odplavení půdy. V Africe termity „vykousali“ chodby do starohorního prachovce zhruba do hloubky 50 m. Jistý krátký čas ve druhé polovině 20. století byly tyto chodby omylem pokládány za nejstarší makroskopické stopy po činnosti organismů. Stopy, které lze v přírodních podmínkách nalézt jen velmi obtížně, vynikají na umělých površích, např. na skle a syntetickém laku. Máme na mysli stopy radul plžů, kteří v přírodě konzumují jak organickou hmotu vyrůstající ze skály, tak nejsvrchnější setiny milimetru vápence prosyceného organickými látkami mikroskopických vrtavých obyvatel (více Míkuláš 2001 a citace v této publikaci).

Obratlovcem schopným narušovat zpevněné horniny je jezevec lesní (*Meles meles*). Jeho drápy jsou neúčinnější na hrubozrnných poréznych křemenných pískovcích. Zajímavě se k živočichům způsobujícím bioerozi přidává medvěd (*Ursus* sp.). Pleistocenní medvěd jeskynní (*U. spelaeus*) zanechal uvnitř některých alpských krasových jeskyní stopy po broušení drápů a také „vyleštěné“ plochy na skalních výstupcích, které medvědi používali k tření kožichu (Abel 1935). Slon africký (*Loxodonta africana*) zase kly vyrývá žlábkem do hornin bohatých na soli, např. do zpevněných tuřů, pro přímou konzumaci rytých suti.

Ptáci

Přechodem od medvědů a slonů k ptákům (Aves) současně víceméně přecházíme od geologicky definované bioeroze k bioturbaci – míšení nezpevněných hornin





(Mikuláš 2024). Výr velký (*Bubo bubo*) tak může vzhledem k častému hnízdění na skalních římsách a podobných místech odlamovat hrany skalního podkladu. Manipulace s úlomky hornin a minerálů je typická u břehule říční (*Riparia riparia*), která původně hnízdila především ve svislých stěnách u vodních toků. Protože hnízdí koloniálně (někdy i tisíce párů) a hrabe nory hluboké 30–180 cm, může spolupůsobit zřícení břehu (chodby však mohou v deštivém období roku i odvádět vláhu, a tím stěnu chránit; řeka Tosna, nepublikované pozorování autora). Dnes je většina stanovišť u nás sekundárních – pískovny, šterkopískovny, hliníky, kolmé svahy povrchových dolů, zvláště hnědouhelných. Podobné chování má několik druhů vhl (*Merops*), které si hrabou hnízdní nory nejen ve svislých stěnách, ale také v téměř rovném terénu. U vodních toků (ale i dále od vody) hrabe nory také ledňáček říční (*Alcedo atthis*). Hnízdí jednotlivě, v menší míře u stojatých vod, slepých ramen nebo v pískovnách.

V zemních dírách či skalních šterbinách hnízdí i někteří papoušci. Nejčastěji asi papoušek patagonský (*Cyanoliseus patagonus*) – v koloniích v kolmých písčítých březích řek a moří, ve vápencových útesech i skalních šterbinách. Páry hrabou nory až 3 m dlouhé, které se různě klikatí, spojují a vytvářejí úplný labyrint. Ve skalních šterbinách a v dírách mezi kořeny hnízdí např. i nestor kea (*Nestor notabilis*) na Novém Zélandu nebo v dírách vápencových skal amazoaňan kubánský (*Amazona leucocephala*). Také ara arakanga (*Ara macao*) hnízdí i v puklinách skal nebo v dírách písčítých břehů řek, obvykle ale v dutinách stromů. Mimoto až stohlavá hejna (i některých jiných druhů) jednou denně navštěvují hlinité břehy řek, kde požíráním kaolinové hlíny zamezují působení jedu z toxických plodin, jimiž se rovněž živí. Je pozoruhodné, že se to děje jen v části Peru, jinde ne.

Od členovců k sekvojím

O hmyzu jsme se již zmínili ve stati o bioerozi; podotýkáme, že v případě hmyzu bioeroze zcela plynule přechází do bioturbace, často v jediné několikacentimetrové chodbičce. Kromě jmenovaných blanokřídlých s nůžkovitými kousacími aparáty včetně mravenců musíme jako původce bioturbace z řad členovců zmínit pavouky, brouky a mravkolvy (více v Živě 1998, 2: 73–75). Skvělým médiem pro zachování

5 Stěna historického domu z nepálených cihel v obci Nové Osinalice. Viditelné jsou nejen kapkovité hnízdní komůrky soliterních včel, ale také četné stopy jejich predátorů, tedy dvojice vpichů ptáčích zobáků, a parazitů – větší oválné nory. Chráněná krajinná oblast Kokořínsko a Máchův kraj. Snímky R. Mikuláše

hmyzích staveb jsou spráše; nejčastěji jsou kolmé stěny pokryty komůrkami po hnízdění soliterních včel (Mikuláš a Cílek 2002).

Objemově největší podíl na míšení nezpěvných substrátů v temperátní zóně severní polokoule Země mají zřejmě kořeny jehličnatých stromů, následují (bez ambice správného seřazení) kořenové systémy listnatých stromů, kořeny lipnicovitých trav (*Poaceae*) a savci. Savčí nory jsou v našich krajích zřejmě nejznámějšími ichnologickými fenomény vůbec. Již z pohádek se děti dozvídají o liščích, králíčích a myších doupatech; seznam si můžete rozšířit o další nory šelem, hlodavců, hmyzožravců aj. Také vás již nespíše inspirovalo k zamýšlení „dílo“ prasat divokých (*Sus scrofa*) na loukách, v sadech i v lesích a zejména na místě bývalých studánek, ze kterých se jejich vinou staly „bahenní lázně“.

Biogeochemie přírodního prostředí

Jazykolomný termín biogeochemie vystihuje tu skrytější část působení organismů na neživou přírodu (a tím zase zpětně na životní prostředí). Zmínili jsme se o lišejnících, nyní můžeme přidat houby a jsme připraveni k závažným zjištěním.

Oxaláty neboli šťavelany jsou z chemického hlediska soli či estery kyseliny šťavelové (oxalové, HOOC-COOH). Kyselina šťavelová je strukturně velmi jednoduchá a reaktivní organická kyselina, která se vyskytuje přirozeně v rostlinách, jako je špenát, rebarbora, řepa a také v kakau, objevuje se tedy i v některých potravinách. Její nejrozšířenější soli je šťavelan vápenatý, o jehož výskytu v plodnicích hub a významu např. pro taxonomii bylo pojednáno už dříve (Živia 2012, 1: 14–16). Z hlediska biogeochemie je mnohem důležitější produkce kyseliny šťavelové myceliem při prorůstání substrátu, hlavně půdy. Její tvorba je klíčová v mnoha transformacích kovů a minerálů zprostředkovaných houbami a lišejníky.

Terestrické rostliny získávají anorganické prvky z půdy svými kořeny (přímo nebo přes spojení s mykorhizními houbami).

Prvky typu dusík nebo síra jsou do ekosystémů doplňovány atmosférickou depozicí. Jiné mají uzavřený koloběh (do půdy se opět vracejí rozkladem mrtvé organické hmoty) a může docházet maximálně k jejich ztrátám, což je případ fosforu. Ponechme nyní stranou člověkem způsobený nadbytečný přísun do prostředí z přemíry hnojení anorganickými hnojivy (eutrofizace). V přirozeném prostředí je jediná možnost doplňování fosforu přísunem z minerálů a hornin procesem jejich eroze (zvětrávání). Zvětrávání je kombinací fyzikálních a chemických procesů, přičemž u hornin a nerostů v půdním podloží nebo v minerální složce půdy hrají hlavní roli chemické procesy podmíněné houbami. V laboratorních podmínkách bylo prokázáno, že některé saprotrófní a již zmíněné mykorhizní houby dokážou produkci kyseliny šťavelové transformovat minerály, např. apatity. Za současného vzniku šťavelanu vápenatého se z těchto fosfátových minerálů uvolňuje fosfor, který může být k dispozici právě rostlinám. V tomto směru se předpokládá, že hlavní roli hrají ekto-mykorhizní houby, které mohou uvolněný fosfor rovnou rostlinám poskytnout.

Některé z uvedených procesů mohou mít uplatnění v biotechnologiích, např. bioremediaci látek z prostředí (přeměně toxinů na neškodné látky). Uvedme alespoň jeden příklad za všechny – houby by mohly hrát významnou roli v imobilizaci radioaktivních nebo těžkých kovů z prostředí (např. uranu nebo olova). Sice nedokážou transformovat vlastní prvek, ale vysrážením z prostředí ve formě nerozpustného šťavelanu jej mohou „vyčlenit“ z dalšího koloběhu. Tvorba nerozpustných šťavelanů lišejníků může mít ještě jeden zajímavý efekt – vznik ochranné vrstvy, patiny, na povrchu některých historických staveb a soch. Třeba u soch z vápence může vrstva šťavelanu chránit tuto měkkou horninu před „klasickou“ erozí. Na druhou stranu, transformace materiálů vlivem kyseliny šťavelové má i zjevná negativa – poškození historických staveb a výrobků, jako jsou skleněné tabulky nebo fresky na zdech.

Závěrem

Mikroorganismy (hlavně sinice a řasy) vrtaou činností pomalu, ale jistě rozrušují vápencové horniny v temperátní, subtropické a tropické klimatické zóně. Bezobratlí (mravenci, termiti) a obratlovci (jezevci, sovy aj.) mechanicky narušují povrch či okraje skal. Kořeny rostlin lokálně rozrušují skalní masiv, ale na druhé straně chrání otevřené skalní plochy před prudkými vnějšími vlivy a zpomalují celkovou erozi. Na rozdíl od bioerozivních stop v mořských prostředích mají suchozemské stopy jen malou šanci být uchovány ve fosilním záznamu (Mikuláš 2001). Na celoplanetární úrovni probíhají geochemické procesy svázané s bioerozí v širokém smyslu slova, které v některých případech zajišťují udržitelnost funkce ekosystémů. Znalosti v tomto oboru máme zatím v mnoha případech neúplné, a výzkumy jsou tak do budoucna perspektivní.

Článek vznikl s podporou Výzkumného záměru Geologického ústavu Akademie věd ČR č. AV0Z30130516.

Použitá literatura uvedena na webu Živy.