ISSN 1211–8796

*Acta Mus. Moraviae, Sci. geol.*
CVI (2021): 2, 171–180, 2021

# FACIE S HOJNÝMI MIKROBIALITY VE SPODNÍM TOURNAI V LOMECH MOKRÁ, ČESKÁ REPUBLIKA

LOWER TOURNAISIAN MICROBIALITE-RICH FACIES AT THE MOKRÁ QUARRIES, CZECH REPUBLIC

JIŘÍ KALVODA, TOMÁŠ KUMPAN

*Abstract*

Kalvoda, J., Kumpan, T., 2021: Facie s hojnými mikrobiality ve spodním tournai v lomech Mokrá, Česká republika. – Acta Musei Moraviae, Scientiae geologicae, 106, 2, 171–180 (with English summary).

*Lower Tournaisian microbialite-rich facies at the Mokrá quarries, Czech Republic*

Microbial carbonates are autochtonous buildups produced by growth and metabolic activities of benthic calcimicrobes. Microbial carbonates, e.g., stromatolites, thrombolites, dendrolites, and leiolites, were abundant during Precambrian, and are rather rare from the beginning of Phanerozoic due to the boom of metazoan grazing activity. However, despite this trend, microbialites repeatedly became abundant during short times of biotic crises and their aftermath, which were typical by metazoan decline and microbial proliferation. The lower Tournaisian limestone succession from the Mokrá-central quarry, Czech Republic, provided unique opportunity to study microbial-rich facies, deposited in the aftermath of Devonian-Carboniferous mass extinction (Hangenberg biotic crisis). The evidence of microbial-metazoan buildups is indirect, provided by allochthonous clasts of microbialites reworked within carbonate turbidites of a lower part of a carbonate platform slope. The most abundant are fragments of thrombolites revealing clotted fabric and cross sections of cyanobacteria (*Girvanella* and *Ortonella*-like), and rather rare are transitional forms between thrombolites and leolites. Common is occurrence of *Frutexites* and renalcids (*Renalcis, Chabakovia*). Micritic intraclasts, bryozoans, brachiopods, crinoids, calcareous foraminifers, and calcareous algae are also abundant. Very important is occurrence of bryozoans, which grew in co-operation with calcimicrobes. The bryozoan association evidences that the microbialites have been originally formed in the littoral zone. The lower Tournaisian marine microbialites are quite rare. The microbialites from the Mokrá quarry show similarities with the well-studied shallow marine microbial-metazoan reefs from the lower Tournaisian Gudman Formation, Queensland, Australia. The occurrence of microbialites, oolites, and micritic limestones in the lower Tournaisian at Mokrá represents association of the anachronistic facies, characteristic for aftermaths of biotic crises during the Phanerozoic.

*Key words:* calcimicrobes, thrombolites, renalcids, *Frutexites*, Moravia

Jiří Kalvoda, Department of Geological Sciences, Masaryk University, Kotlářská 2, 602 00, Brno, Czech Republic, e-mail: dino@sci.muni.cz

Tomáš Kumpan, Department of Geological Sciences, Masaryk University, Kotlářská 2, 602 00, Brno, Czech Republic, e-mail: kumpan@sci.muni.cz

## ÚVOD

Mikrobi představovali dominantní skupinu organizmů v prekambriu, kdy vytvářeli velmi rozšířené stromatolity a další mikrobiální nárůsty. S nástupem mnohobuněčných organizmů a jejich spásacích aktivit došlo později v paleozoiku k jejich rychlému ústupu a dnes jsou mikrobiality vzácně se vyskytující formy. V geologické minulosti však došlo ně-

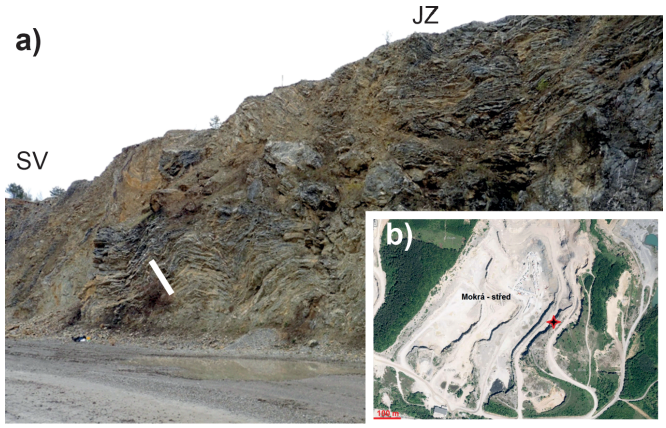
kolikrát ke zvratu v tomto vývoji. Bylo to vždy po velkých vymíráních, se kterými byl spojen výrazný ústup mnohobuněčných (např. Wood 1999, Calner 2005). Při krizích ekosystémů, a především po nich, docházelo k invazi mezotrofních oportunistických mikrobiálních společenstev do uprázdněných ekologických nik, dokud nebyly vytlačeny do refugií v okrajových ekologických nikách nově se rozvíjejícími skupinami mnohobuněčných (např. Kershaw *et al.*, 1999, Riding 2006).

Pozdní devon byl obdobím zásadních změn globálních ekosystémů, které byly spojeny s přechodem z devonského klimatického režimu skleníkového efektu ke karbonskému zalednění (Isaacson *et al.* 2008). Tyto změny měly za následek biotické krize a mezi ty nejzásadnější patřila hangenberská krize na konci famenu. Hangenberská krize se projevila hromadným vymíráním, glacioeustatickými fluktuacemi mořské hladiny, zastavením či výrazným snížením karbonátové produkce a nástupem siliciklastické sedimentace, která byla místy spojena s vysokou bioproduktivitou a výrazným pohřbíváním organické hmoty (např. Kaiser *et al.* 2016).

V rámci probíhajících stratigrafických výzkumů líšeňského souvrství v lomech na Mokré byly ve spodním tournai zjištěny turbiditové facie bohaté mikrobiálními alochemy. Hojné mikrobiality v asociaci s enkrustujícími mechovkami dokumentují výrazný ústup metazoí po vymírání na hranici devon/karbon. Výskyty mikrobialitů byly doposud ze spodního tournai dokumentovány zřídka, i v globálním měřítku (Webb 1998), a proto si zasluhují pozornost. Tato krátká zpráva přináší petrologickou dokumentaci výskytu těchto mikrobiálních vápenců.

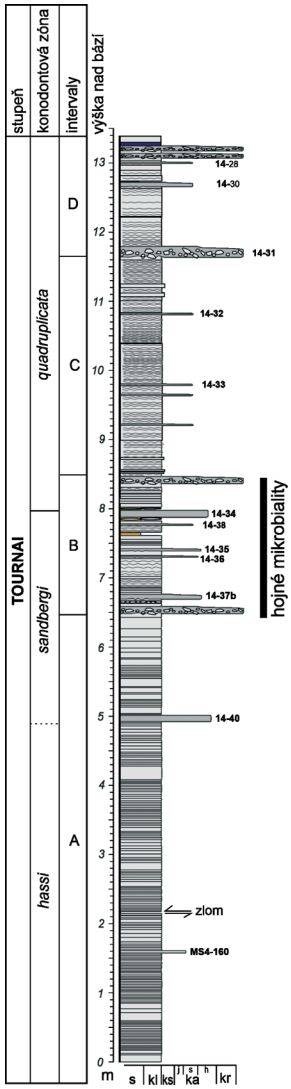
## GEOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA

Studované horniny spodního tournai jsou součástí sedimentárního pokryvu brunovistulika, které bylo v devonu a starším karbonu situováno při jihovýchodním okraji Laurusie (Kalvoda *et al.* 2008). Dokumentovaný sled je součástí paleozoické sekvence vývoje Moravského krasu a náleží líšeňskému souvrství, ve kterém lze v jižní části Moravském krasu, kde se lomy Mokrá nacházejí, rozlišit dva hlavní litofaciální vývoje: hostěnický a horákovský (Kalvoda 1997, Rez *et al.* 2011). Hostěnický vývoj zahrnuje ve spodním tournai periplatformní mikritické hemipelagity „spodních“ křtinských vápenců vyšší části svahu pánve a hemipelagity s tempestity z distálního šelfu. Spodní tournai ve vývoji horákovském představuje uloženiny nižších částí svahu pánve a zahrnuje jak periplatformní hemipelagity, tak kalciturbidity „svrchních“ křtinských vápenců (Kalvoda 1997, Rez *et al.* 2011). Naše studium se zaměřilo na profil MS4 v lomu Mokrá-střed (obr. 1). Ten reprezentuje přechod mezi hostěnickým a horákovským vývojem. Dominují zde mikritické hemipelagity, které obsahují vložky kalciturbiditů, ve kterých jsou místy zastoupeny mikrobiality.




Obr. 1. a) Fotografie studovaného profilu MS4 (2014). Bílá linie = polohy s mikrobiality. b) Satelitní mapa s lokací studovaného profilu MS4 (zdroj topografické mapy: https://geoportal. cuzk. cz/).

Fig. 1. a) The photo of the studied section MS4 (2014). The white line = microbial-rich horizon. b) Satellite map with the location of the studied section MS4 (source of the topographic map: https://geoportal. cuzk. cz/).




Obr. 2. Stratigrafické schéma studovaného profilu MS4. Zkratky: s = slínovec, kl = kalcilutit, ks = kalcisiltit, ka = kalciarenit (j = jemnozrnný, s = střednozrnný; h = hrubozrnný), kr = kalcirudit.

Fig. 2. Stratigraphic log of the studied section MS4. Abbreviations: s = marlstone, kl = calcilutite, ks = calcisiltite, ka = calcarenite (j = fine-grained, s = medium-grained, h = coarse-grained), kr = calcirudite.

## MATERIÁL A METODY

Studovaný profil MS4 (GPS: 49°13′54″N, 16°46′04E; obr. 1) v jihovýchodní stěně etáže 395 lomu Mokrá-střed zachycuje 14 m sledu „svrchních“ křtinských vápenců, které odpovídají intervalu konodontových zón spodního tournai *Siphonodella hassi, Siphonodella sandbergi* a *Siphonodella quadruplicata* (Kalvoda a Kumpan 2014; obr. 2). Petrografická charakteristika byla stanovena vrstvu po vrstvě a byly odebrány vzorky ze všech vrstev kalciturbiditů. Vzorky z „pozaďových“ hemipelagických sedimentů byly odebírány v pravidelném kroku 50 cm. Ze vzorků byly v brusírně ÚGV PřF MU v Brně vyhotoveny výbrusy, které byly studovány polarizačním mikroskopem. Pro klasifikaci vápenců byla použita revidovaná Dunhamova klasifikace (Lokier a Junaibi 2016).

## VÝSLEDKY

### Facie a mikrofacie

Ve spodní části profilu v intervalu A (metráž 0–6,5 m; zóna *hassi* a spodní část zóny *sandbergi*; obr. 2) naprosto převažují světle šedé slabě hlíznaté kalcilutity. Ty tvoří vrstvy o mocnosti ~1–2 cm, které vytváří ~ 0,5–1 m mocné intervaly, oddělené od sebe mocnějšími lavicemi o mocnosti ~10–30 cm. Především v lavicovitých polohách je velice dobře patrná bioturbace a chodbičky (*Planolites* isp.). V mikroměřítku zahrnují tyto kalcilutity vápence typu lime-mudstone a wackestone, které obsahují radiolarie, spikuly, tenkostěnné mlže a ostrakody. Chodby s kruhovým průřezem jsou vyplněny jak mikritem, tak blokovým sparitem, poukazujícím na alespoň částečnou ranou cementaci. Pelagická fauna dokládá hlubokomořský původ těchto sedimentů, které mohou představovat jak kalové kalciturbidity, tak „pozaďové" hemipelagity (srovnej Kalvoda *et al.* 1999). Kromě převažujících kalcilutitů se ve spodní části profilu vyskytují dvě polohy kalciarenitů, které poskytly konodontovou faunu. Jedná se o vápenec typu packstone, tvořené převážně ostnokožci, dasykladátními řasami a moravamminidy. Dále se vyskytují jednokomůrkové foraminifery, peloidy, ostrakodi a trilobiti.

Vyšší část profilu (interval B, 6,5–8,5 m; svrchní část zóny *sandbergi*, nejnižší část zóny *quadruplicata*; obr. 2) je tvořena silně hlíznatými kalcilutity, ve kterých se vyskytují hojné vložky kalciarenitů a kalciruditů. Šedé až tmavě šedé kalcilutity vytváří jak hlíznaté, laterálně stálé polohy, tak polohy s izolovanými hlízami, které plavou ve slínitých partiích. Mikrofacie kalcilutitů jsou totožné s kalcilutity v podložním intervalu A. Místy se vyskytují vložky tmavě šedých vápnitých kalovců až slínovců. Kalciarenity jsou tmavě šedé, jemnozrnné až středně zrnité a vytváří 1 až 10 cm mocné vrstvy s ostrými erozními bázemi. Jedná se o vápence typu packstone a v ojedinělém případě grainstone, ve kterých převládají ostnokožci, dasykladátní řasy, moravamminidi, peloidy nebo brachiopodi. Běžní jsou mikrobi, kteří jsou hlavním tématem této zprávy, a dále ostrakodi, trilobiti, jednokomůrkové foraminifery a intraklasty mikritických vápenců. Doprovázejí je mechovky, gastropodi a vzácné mnohokomůrkové foraminifery. Tmavě šedé kalcirudity vytváří vrstvy mocné 10 až 15 cm. Jedná se o vápence typu rudstone a floatstone. Intraklasty jsou tvořené vápenci typu lime-mudstone s radioláriemi a základní hmota je tvořena kalciarenity typu packstone s echinodermáty, intraklasty a fragmenty mikrobialitů. Kalcirudity jsou vázány na spodní oddíly vrstev a ve vyšších částech gradují do kalciarenitů. Jak kalciarenity tak kalcirudity reprezentují sedimenty gravitačních proudů, čemuž nasvědčují pozitivní gradace, ostré báze a z mělkých částí platformy derivované alochemy, které jsou ve výrazném ekologickém kontrastu s okolními pozaďovými sedimenty.

V další části profilu (interval C; 8,5–11,8 m; zóna *quadruplicata*; obr. 2) převažují silně hlíznaté kalcilutity v nichž jsou přítomné nehojné vložky jemnozrnných kalciarenitů o mocnosti 1 až 2 cm. V nejvyšší části profilu (interval D; 11,8–13,4 m; zóna *quadruplicata*; obr. 2) kalciarenitů a intraklastických kalciruditů přibývá a vyskytují se také vrstvy rohovců.

### Mikrobialní karbonáty a mikroproblematika

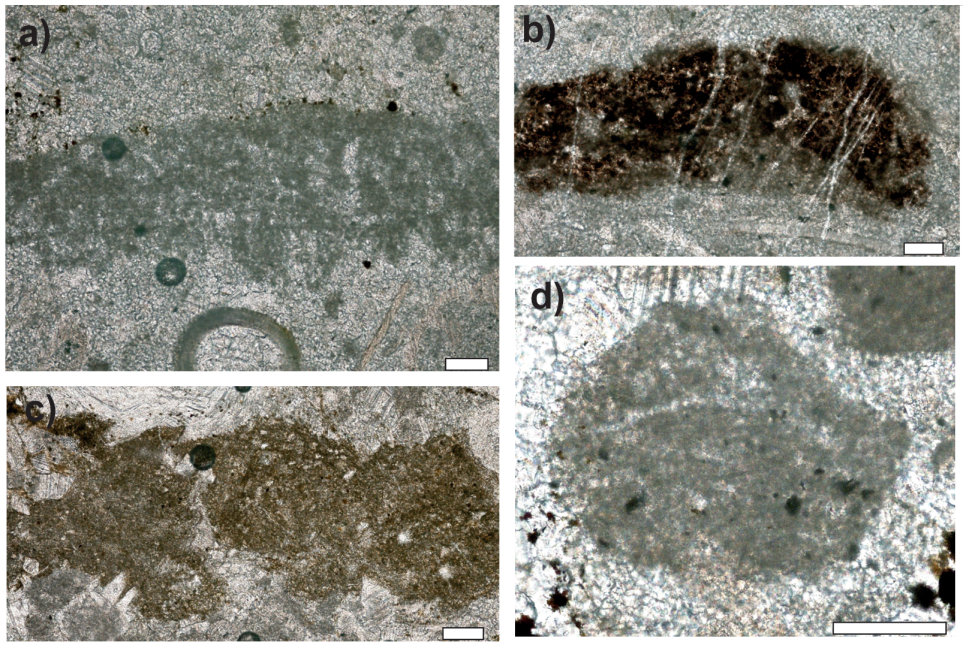
Mikrobiální karbonáty jsou autochtonní nárůsty vytvořené růstem a metabolickou aktivitou mikrobiálních bentózních organismů, zahrnující zachycování zrn a srážení minerálů. Mikrobiální nárůsty se člení na laminované stromatolity, chuchvalcovité thrombolity, dendritické dendrolity a afanitické leiolity (Riding 2000, 2011). Ve vrstvách kalciturbiditů na profilu MS4 (především v intervalu B; obr. 2) byly ve studovaném materiálu hojně zastoupeny thrombolity (obr. 3), vzácně thrombolity přecházející do leiolitů. Jedná se o redeponované fragmenty různé velikosti, nejhojněji písčité frakce, ale mnohé dosahují velikosti až několika mm. Thrombolity jsou tvořené mikritem, který má typickou chuchvalcovitou stavbu (obr. 3) a místy lze pozorovat zachovalé tyčinkovité (podélné) i kruhovité (příčné)

průřezy sinic, blízkých rodu *Ortonella* nebo *Girvanella* (obr. 3a, d). V thrombolitech byl zaznamenán výskyt euhedrálního křemene a dolomitu.

Mimo fragmentované a redeponované mikrobiality byla zaznamenána chuchvalcovitá stavba, společně s keříčky *Frutexites*, i ve dvou výbrusech z facií hemipelagitů (slabě hlíznatých kalcilutitů) (obr. 4), ukazující na pravděpodobný mikrobiální původ mikritu v těchto polohách. Ve výbrusech z dalších poloh podobné stavby pozorovány nebyly.

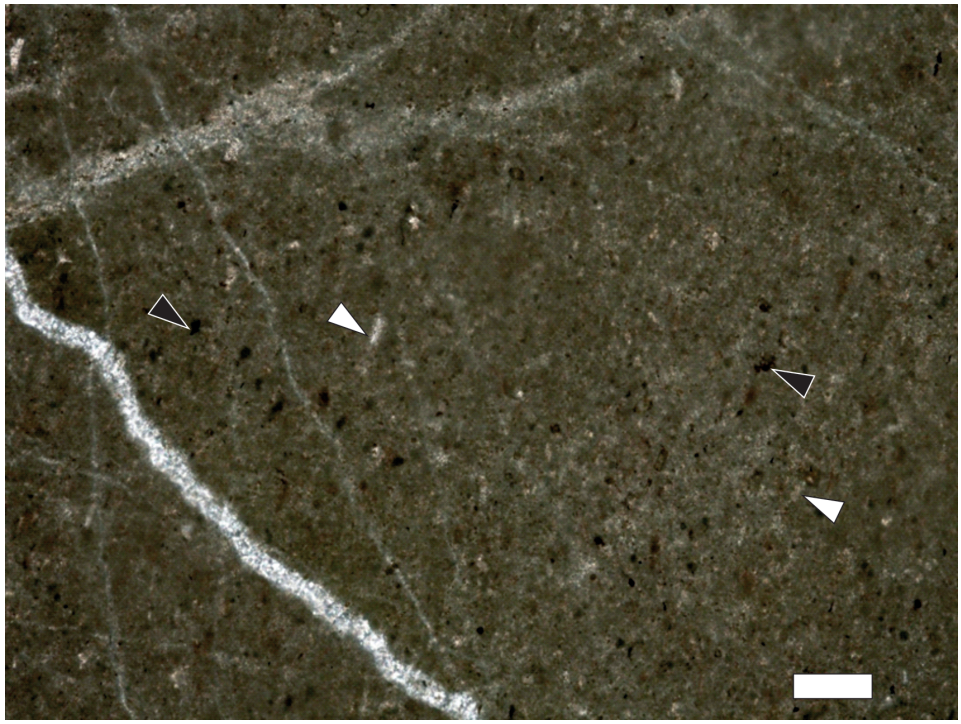
Thrombolity jsou ve studovaném materiálu často doprovázeny frutexitovými nárůsty (obr. 5). *Frutexites* jsou rozvětvené jemně laminované až opakní struktury skládající se z oxidů Fe a Mn a kalcitu. Jakubowicz *et al.* (2014) rozlišili tři typy frutexitových enkrustací, lišící se mikrostrukturou a mineralogicky, jako důsledek prostorových a časových variací v redoxních podmínkách. Ve studovaných vzorcích se vyskytuje typ 1, který je charakterizován vysokým obsahem oxidů Fe, který má za následek opakní až napůl průsvitný a chuchvalcovitý (mikropeloidální) zjev (obr. 5). Rozlišujícím znakem je jeho začlenění do mikrosparitického sedimentu a to, že se nikdy nevyskytuje v dutinách vyplněných sparitem.

Ve studovaných faciích bohatých mikrobiality se taktéž vyskytují redeponované úlomky renalcidů. Renalcidi jsou problematická skupina mikrofosilií, která měla ve starším paleozoiku útesotvorný význam. Po vymírání na konci famenu je však jejich výskyt poměrně vzácný (Chuvashov a Riding 1984, Mamet 1991). Většinou jsou přiřazováni ke kalcifikovaným sinicím (Saltovskaya 1984, Pratt 1984, Riding 1991, 2011). Stephens a Sumner (2002) se na základě nízkých hodnot izotopů uhlíku domnívali, že se nejedná o sinice, řasy nebo struktury vzniklé jejich činností, a že renalcidi představují fosilizované biofimy, kte-



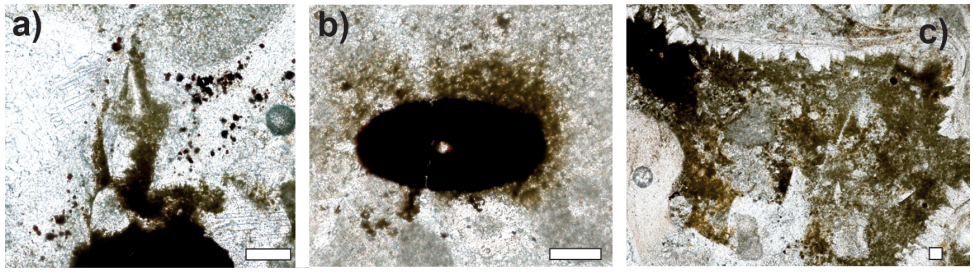

Obr. 3. a, d) Thrombolit s tyčinkovitými průřezy sinic (blízké rodům *Girvanella* nebo *Ortonella*); b, c) klasty thrombolitů s různým stupněm vývinu *Frutexites*. Profil MS4, interval B. Grafické měřítko = 100 mikrometrů.

Fig. 3. a, d) Thrombolite with tubular cross sections of cyanobacteria (affinity to genera *Girvanella* or *Ortonella*); b, c) thrombolite clasts with various degree of *Frutexites* development. Section MS4, interval B. The scale bar = 100 microns.



Obr. 4. Vápenec typu lime-mudstone s chuchvalcovitým mikritem, *Frutexites* (černé šipky) a tyčinkovitými průřezy sinic (bílé šipky). Patrně se jedná o autochtonní mikrobialit. Profil MS4, interval B. Grafické měřítko = 100 mikrometrů.

Fig. 4. Lime-mudstone revealing clotted micrite, *Frutexites* (black arrows), and tubular cross sections of cyanobacteria (white arrows). This limestone probably represents autochtonous microbialite. Section MS4, interval B. The scale bar = 100 microns.



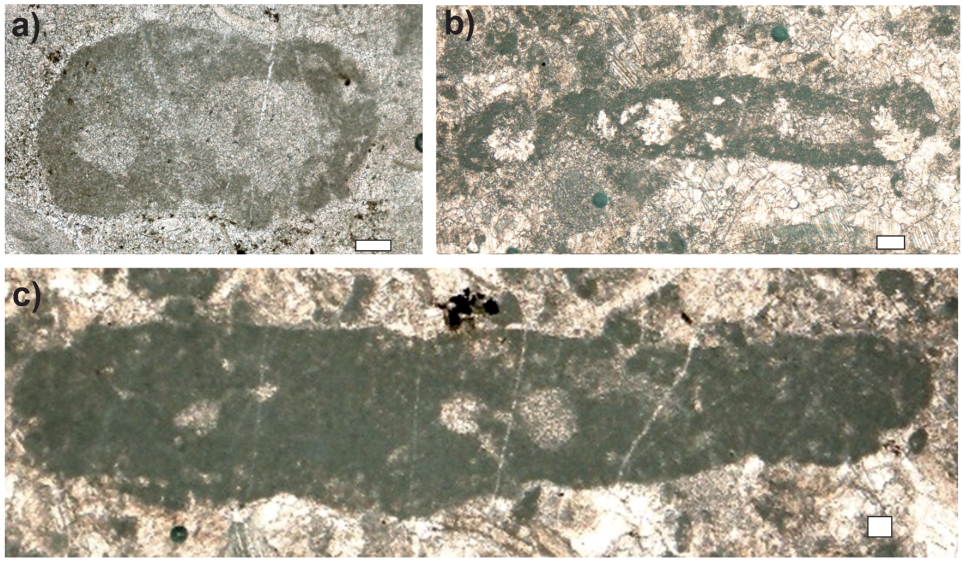

Obr. 5. a, b) Frutexitová enkrustace a mikropeloidy v mikrosparitickém vápenci; c) klast tvořený průřezem brachiopoda a mikrobialitem s *Frutexites* a cementem typu dogtooth; vpravo klence dolomitu. Profil MS4, interval B. Grafické měřítko = 100 mikrometrů.

Fig. 5. a) *Frutexites*-encrustation and micropeloids in the microsparitic limestone; b) clast comprising brachiopod shell and microbialite with *Frutexites* and dogtooth cement; right: dolomite rhomboeders. Section MS4, interval B. The scale bar = 100 microns.

ré byly kalcifikovány aktivitou heterotrofních bakterií. Ve výbrusech z profilu MS4 v Mokré byly pozorovány chuchvalcovité a komůrkovité morfotypy *Renalcis* (obr. 6a, b) a septátní *Chabakovia* (obr. 6c, d). Dnes převládá názor, že se v obou případech jedná o morfologické variace rodu kalcimikroba rodu *Renalcis* (Pratt 1984).

**Mechovky**

Spodnotournaiské facie s mikrobiality na Mokré-střed jsou dále charakteristické poměrně hojným výskytem mechovek. Společenstvo mechovek zde bylo detailně popsáno Tolokonnikovou *et al.* (2017) a je zastoupeno enkrustujícími a jemně se větvícími formami. Identifikovány byly následující taxony: *Eridopora moravica, Nikiforovella* sp., *Saffordotaxis* sp. a ?*Streblotrypella* sp (Tolokonnikova *et al.* 2017).




Obr. 6. a) Klast renalcida v mikrosparitickém vápenci a mikropeloidy *Frutexites*; b, c) klast větevnatého septátního renalcida, nejspíše *Chabakovia*. Profil MS4, interval B. Grafické měřítko = 100 mikrometrů.
Fig. 6. a) Clast of renalcid in the microsparitic limestone and *Frutexites*-micropeloids; b, c) clast of a branching septate renalcid, probably *Chabakovia*. Section MS4, interval B. The scale bar = 100 microns.

## DISKUZE

Tvorba mikrobiálních karbonátů je spojována s přítomností mikrobů jako jsou bakterie, sinice, houby a prvoci a vyžaduje příznivou saturaci uhličitanem vápenatým (Riding 2000). Společenstva těchto mikroorganismů vytvářejí mikrobiální rohože s propletenou změtí různě orientovaných sférických a tyčinkovitých buněk, což se promítá do výsledných sedimentárních struktur (Flügel 2004). Mikrobiální karbonáty se objevují většinou v subtidálních nebo intertidálních prostředích. Ve fanerozoiku byly však většinou upozaděny, kvůli spásání mikrobů mnohobuněčnými organizmy, a hojný výskyt je charakteristický pro období biotických krizí a následujících raných etap zotavování postižených ekosystémů.

Přítomnost mikrobiálních karbonátů na Mokré představuje jeden z mála dokumentovaných příkladů výskytu marinních mikrobialitů ve spodním tournai. Ty byly zjištěny například v Číně (např. Yao *et al.* 2016), Rusku (např. Antoshkina 1998) nebo z Queenslandu v Austrálii, ze souvrství Gudman (Webb 1998). Tam jsou útesy tvořeny mikrobiality zastou-

penými jak stromatolity, tak thrombolity, vyskytujícími se v asociaci s další objemově nevýznamnou biotou reprezentovanou mechovkami, koloniálními korály, krinoidy a vápnitými řasami. Předpokládá se, že tyto útesy vznikaly kolonizací mikrobiálních společenstev na oolitických píscích.

Při srovnání se stejně starými útesy Gudman v Austrálii klasty námi zjištěných mikrobialitů z Moravského krasu vykazují určité shody i rozdíly. Shody jsou patrny v přítomnosti thrombolitů i ve výskytu doprovodné bioty. Rozdíly jsou patrné v absenci stromatolitů a ve větším zastoupení mechovek na Mokré, které evidentně hrály důležitou roli spolu s mikrobiality ve stabilizaci nárůstů. Enkrustující mechovky vytvářejí ploché nárůsty na substrátech nebo schránkách v prostředích pohybující se vody. Často se vyskytují v asociaci s mikrobiality (např. Paul 1996). Mikrobiality potom vytvářejí pevný substrát potřebný ke vzniku mechovkových nárůstových struktur (Ernst a Königshof 2008). Zjištěné společenstvo mechovek dokládá, že původní prostředí depozice mikrobialitů bylo mělké moře s výraznou hydrodynamikou (Tolokonnikova *et al.* 2017). Dalším rozdílem je přítomnost renalcidů v Moravském krasu, kteří v souvrství Gudman chybí. Ti byli ale rozšířenou formou v mikrobiálních útesech famenu a to jak v Austrálii, tak v Číně (Webb 2002, Shen *et al.* 2005).

Po zalednění na konci devonu došlo na Moravě, podobně jako v jiných částech světa, k výrazné regresi a vynoření karbonátových platforem. Hlavní karbonátová produkce se soustředila na svahy pánví, kde dominují mikritické facie vápenců. Facie mikrobialitů v Mokré připomínají mikrobiální boundstony ukládané na příkrých svazích karbonské karbonátové platformy ve Španělsku (Della Porta *et al.* 2003). To je typ platforem, který Schlager (2003) označuje jako typ M, pro který je typické dysfotické nebo afotické prostředí s nízkým obsahem kyslíku, bohaté na živiny. Tento typ depozičních prostředí je typický pro období po velkých fanerozoických vymíráních. Námi studované mikrobiality připomínají rovněž materiál z bioherm typu B (Archer a Feldman 1986) ze siluru Indiany a Ohia, kde spolu s mikrobiality sehrály důležitou roli i fistuliporidní mechovky.

Ve studovaných vzorcích jsou běžné výskyty *Frutexites* často v asociaci s mikrobiality nebo produkty jejich diagenetické přeměny. Nárůsty typu *Frutexites* bývají často označovány jako železité nebo manganové mikrostromatolity (např. Horodyski 1975). Rostly v nízkoenergetickému prostředí charakterizovaném pomalou sedimentací a často limitovaným množstvím kyslíku. Vyskytují se tedy jak na dnech hlubokých dysaerobních pánví, často v prostředí hardgroundů, tak v mělkovodním prostředí dutin a povlaků. Předpokladem pro jejich výskyt jsou oligotrofní podmínky a jejich vznik je spojován s mikrobiální aktivitou (Reolid 2011, Jakubowicz *et al.* 2014).

## ZÁVĚR

Studovaný profil v lomech na Mokré poskytl unikátní údaje o přítomnosti spodnotournaiských mikrobialitů, které spolu s mechovkami vytvářely nárůsty v rámci karbonátové továrny typu M, v mělkých a agitovaných mořských vodách. Tyto indicie jsou nepřímé, protože zmiňované mikrobiality a s nimi asociující mechovky tvoří klasty v kalciturbiditech. Dokumentují určitou obdobu spodnotournaiských mělkomořských útesů tvořených mikrobiality v asociaci s dalšími méně hojnými skeletálními klasty, reprezentovanými především mechovkami, brachiopody, krinoidy a vápnitými řasami, popsanými ze souvrství Gudman v Queenslandu v Austrálii.

Mikrobiality bohaté facie, společně s mocnými sledy mikritických vápenců a s oolity, které jsou hojné ve spodním tournai horákovského litofaciálního vývoje Moravského krasu, představují typické společenstvo tzv. anachronistických facií. Anachronistické facie jsou typické pro období po globálních biotických krizích, kdy byly ekosystémy ochuzené o mnohobuněčné organizmy a kalcifikace tak probíhala díky mikrobům, případně vznikem autigenních karbonátů, kvůli přesycení mořských vod vůči karbonátu.

## PODĚKOVÁNÍ

Autoři děkují společnosti Českomoravský cement a.s. za umožnění a podporu výzkumu v lomech Mokrá, jmenovitě dr. Romanu Donocikovi. Výzkum byl finančně podpořen projektem GAČR 20-20785J „Pátrání po stopách biogenicity a způsobu alterace zrn mikrobiálních facií devonu a karbonu, příklady z Českého masivu". Autoři děkují recenzentům Hedvice Weinerové a Tomáši Weinerovi za kritické posouzení manuskriptu.

## LITERATURA

Antoshkina, A. I. 1998: Organic buildups and reefs on the Palaeozoic carbonate platform margin, Pechora Urals, Russia. – Sedimentary Geology, 118, 87–211.

Archer, A.W., Feldman, H. R. 1986: Microbioherms of the Waldron Shale (Silurian, Indiana): Implications for organic framework in Silurian reefs of the Great Lakes area. – Palaios, 1, 133–140.

Calner, M., 2005: A Late Silurian extinction event and anachronistic period. – Geology, 33, 305–308.

Della Porta, G., Kenter J. A. M., Bahamonde, J. R., Immenhauser, A., Villa, E., 2003: Microbial boundstone dominated carbonate slope (Upper Carboniferous, N Spain) Microfacies, lithofacies distribution and stratal geometry. – Facies, 49, 175–208.

Ernst, A., Königshof, P., 2008: The role of bryozoans in fossil reefs – An example from the Middle Devonian of the Western Sahara. – Facies, 54, 613–620.

Flügel, E., 2004: Microfacies of carbonate rocks: analysis, interpretation and application. Springer Verlag.

Horodysky, R. J., 1975: Stromatolites of the Lower Missoula Group (Middle Proterozoic), Belt Supergroup, Glacier National Park, Montana. – Precambrian Research, 2, 215–254.

Chuvashov, B., Riding, R., 1984: Principal floras of Palaeozoic marine algae. – Palaeontology, 27, 487–500.

Isaacson, P., Díaz-Martínez, E., Grader, G. W., Kalvoda, J., Bábek, O., Devuyst, F. X., 2008: Late Devonian–earliest Mississippian glaciation in Gondwanaland and its biogeographic consequences. – Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 268, 126–142.

Jakubowicz, M., Belka, Z., Berkowski, Z., 2014: Frutexites encrustations on rugose corals (Middle Devonian, southern Morocco): complex growth of microbial microstromatolites. – Facies, 60, 631–650.

Kaiser, S. I., Aretz, M., & Becker, R. T., 2016: The global Hangenberg Crisis (Devonian–Carboniferous transition): review of a first-order mass extinction. – In: R. T. Becker, P. Königshof, C. E.Brett (Eds.): Devonian Climate, Sea Level and Evolutionary Events: Geological Society, London, Special Publications, 423, 387–439.

Kalvoda, J. 1997: Přechod karbonátové a kulmské sedimentace v širším okolí Mokré. MS, Ústav geologických věd. Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity, Brno.

Kalvoda, J., Bábek, O., Fatka, O., Leichmann, J., Melichar, R., Nehyba, S., Špaček, P. 2008: Brunovistulian Terrane (Bohemian Massif, Central Europe) from Late Proterozoic to Late Paleozoic: a review. – International Journal of Earth Sciences, 97, 497–518

Kalvoda, J., Bábek, O., Malovaná, A., 1999: Sedimentary and Biofacies Record in Calciturbidites at the Devonian-Carboniferous Boundary in Moravia (Moravian-Silezian Zone, Middle Europe). – Facies, 41, 141–158.

Kalvoda, J., Kumpan, T., 2014: Nové paleontologické nálezy v lomech cementárny v Mokré v roce 2014. MS, Českomoravský cement a. s.

Kershaw, S., Zhang, T., Lan, G., 1999: A ?microbialite carbonate crust at the Permian– Triassic boundary in South China, and its palaeoenvironmental significance. – Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 146, 1–18.

Lokier, S. W., Junaibi, M. A., 2016: The petrographic description of carbonate facies: are we all speaking the same language? – Sedimentology, 63, 1843–1885.

Mamet, B., 1991: Carboniferous calcareous algae. In: Calcareous Algae and Stromatolites (Ed. R. Riding). Springer-Verlag, Berlín, 370–451.

Pratt, B. R., 1984: Epiphyton and Renalcis–diagenetic microfossils from calcification of coccoid blue-green-algae. – J Sediment Petrol, 54, 948–971.

Reolid, M., 2011: Palaeoenvironmental contexts for microbial communities from Fe–Mn crusts of Middle-Upper Jurassic hardgrounds (Betic-Rifian Cordillera). – Spanish Journal of Palaeontology, 26, 135–160.

Rez, J., Melichar, R., Kalvoda, J., 2011: Polyphase deformation of the Variscan accretionary wedge: an example from the southern part of the Moravian Karst (Bohemian Massif, Czech Republic). – Geological Society, London, Special Publications, 349, 223–235.

Riding, R., 1991: Classifi cation of microbial carbonates. – In: Riding, R. (ed.): Calcareous Algae and Stromatolites. Springer, Berlin, 21–51.

Riding, R., 2006: Microbial carbonate abundance compared withfluctuations in metazoan diversity over geological time. – Sedimentary Geology, 185, 229–238.

Riding, R., 2000: Microbial carbonates: the geological record of calcified bacterial-algal mats and biofilms. Sedimentology, 47, 179–214.

Riding, R., 2011: Microbialites, stromatolites, and thrombolites, in Reitner, J., and Thiel, V., eds. Encyclopedia of Geobiology, Encyclopedia of Earth Sciences Series: Springer Netherlands, p. 635–654.

Saltovskaya, D., 1984: On some new Paleozoic algae of Tadzikhistan. In: New species of calcareous flora and faunaof Tadzikhistan (in Russian, translated). – Akademija Nauk Tadzikhoe SSSR, Institut Geologii, Tadzikhoe Otdelenie Vseseyonogo Paleontologicheskogo Obschestva, 141–160.

Shen, J. W., Teng, J. B., Pedoja, K., 2005: Middle and Late Devonianm microbial carbonates, reefs and mounds in Guilin, South China and their sequence stratigraphic, paleoenvironmental and paleoclimatic significance. – Science in China, Series D, Earth Sciences, 48, 1900–1912.

Schlager, W., 2003: Benthic carbonate factories of the Phanerozoic. – International Journal of Earth Sciences, 92, 445–464.

Stephens, N. P., Sumner, D.Y., 2002: Renalcids as fossilized biofilm clusters. Palaios, 17, 225–236

Tolokonnikova, Z., Kalvoda, J., Kumpan, T., 2017: An early Tournaisian (Mississippian) bryozoan fauna from the Moravian Karst (Rhenohercynian Zone, Czech Republic). – Geobios, 50, 341–348.

Webb, G. E., 1998: Earliest known Carboniferous shallow water reefs Gudman Formation Tnlb Queensland Australia Implications for Late Devonian reef collapse and recovery. – Geology, 26, 951–954.

Webb, G. E., 2002: Latest Devonian and Early Carboniferous reefs: depressed reef building after the middle Paleozoic collapse, p. 239–269. – In: W. Kiessling, E. Flugel, and J. Golonka (Eds.): Phanerozoic reefpatterns, SEPM Special Publication, 72.

Wood, R. A., 1999: Reef Evolution. Oxford Univ. Press, Oxford, 414 pp.

Yao, L., Aretz, M., Chen, J., Webb G. E., Wang, X. 2016: Global microbial carbonate proliferation after the end-Devonian mass extinction: Mainly controlled by demise of skeletal bioconstructors. – Scientific Reports, 6, 39694.