

Speleologie

Revize výskytu nickamínku ve Velikonoční jeskyni u Týnčan

Moonmilk of the Easter Cave near Týnčany revisited

Karel Žák¹, Václav Křišťfek², Ivo Světlík³, Radim Brom⁴, Zuzana Stehliková⁵

0. Abstract

Moonmilk of the Velikonoční (Easter) Cave at Týnčany (about 50 km south of Prague; at altitude of 522 m a.s.l.) occurs as several cm thick plastic accumulations on the cave walls, cave roof, and cave floor. The moonmilk is formed by needle-fibre calcite. The cave is located close to the surface and has temperature oscillating around 8.5 °C. Stable isotope data (C and O isotopes on carbonate) indicate slow formation of the moonmilk under isotope equilibrium. The moonmilk carbonate ¹⁴C activity of 41.74±0.34 pMC indicates Middle Holocene age of the dated sample. The biological activity within the moonmilk pores is moderate to low. A proposed model explains the formation of moonmilk in relation to seasonal microclimatic cycles, with influence of cyclic formation of condensation water on the cave walls, and with possible participation of microbial life.

1. Úvod – co je nickamínek?

Nickamínek je všeobecný termín k označení zvláštního typu speleotém (speleotéma = sekundární minerální akumulace v jeskyni *sensu* Moore 1952). Je tvořen monominerálními nebo polyminerálními agregáty mikrokrytalických minerálních látek. Obvykle je nickamínek bílé nebo žlutobílé barvy, v čerstvém stavu za vlhka je měkký, plastický, někdy až kašovitý a v pórech mikrokrytalických agregátů obsahuje obvykle 40 až 80 % vody. Část vody může být vázána i v hydratovaných minerálech. Po vyschnutí je dehydratovaný nickamínek lehký, silně porézní, drobný až středně pevný. Nejčastěji je tvořen kalcitem (nebo „lublinitem“; lublinit je morfologický termín, vláknitá varieta kalcitu), hydratovanými formami CaCO₃, aragonitem, hydromagnezitem, huntitem a dalšími minerály.

Nickamínek představuje neobvyklý a velmi nápadný typ speleotém, který byl od nepaměti lékařsky využíván. Problematiku lékařského využití nickamínku v minulosti zmiňuje poprvé pravděpodobně Gessner (1555), z česky psaných prací například Pakr (1979), Cílek (1992, 1996) nebo Panoš (2001), z mezinárodní literatury například Shaw (1997) nebo Hillová a Forti (2004). Tomuto historickému využití nickamínku odpovídá i bohatství jeho jmen (v různých jazycích je pro nickamínek známo asi 80 synonym, viz např. Heller 1966, Panoš 2001; latinsky *lac lunae*; anglicky *moonmilk*, *rockmilk*; slovensky *mäkký sinter* nebo *plastický sinter*; francouzsky *montmilch*, *lait de lune*, *lait des montagnes*; italsky *latte di monte*; německy *Mondmilch*, *Bergmilch*, *Kalkmilch*; rusky *горное молоко*, *лунное молоко*; španělsky *moon milk*; maďarsky *hegyitej*). Český název nickamínek pochází ze 17. století od obyvatel Sloupských jeskyní v Moravském krasu (Dvořák 1953; Pakr 1979; Típková 1991). Fisher (1992) doporučil, aby se termíny „moonmilk“ nebo „mondmilch“ používaly výhradně pro nickamínek tvořený formami CaCO₃ a vodou, jak odpovídá nickamínku popsanému C. Gessnerem v roce 1555 z typové lokality jeskyně Mondmilchloch na hoře Pilatus ve Švýcarsku, což však obecně nebylo přijato (viz též Cílek 1994, diskuse k vymezení termínu také Cooper 1993; Hillová a Forti 1993; k terminologii také Gèze 1955; Louček 1958; Pakr 1979).

Drobné krystalky minerálů tvořící nickamínek mají nejčastěji vláknitou nebo tyčinkovitou formu. Tato kalcitová vlákna nebo jehlice jsou podobná formám popsaným z povrchových kalcikrust (kalkret), z kalcitem zpevněných sedimentů uložených větrem (eolinitů) nebo z nejrůznějších kalcitových tmelů vadózních prostředí (Jones a Kahle 1993; Phillips a Self 1987; Verrecchia a Verrecchia 1994). Nickamínek je popsán z řady jeskyní v různých prostředích, nejčastěji se však vyskytuje jednak v horských jeskyních s nízkou teplotou (zhruba pod 7 °C), často je však nalézán i v mírném, subtropickém a tropickém klimatu v jeskyních s poměrně vysokými teplotami.

V jeskyních nickamínek vytváří povlaky a vrstvy na stěnách, nepravidelné shluky, bochníkovité tvary i krápníky a různé další morfologické typy výzdoby. Existuje několik teorií jeho vzniku, přičemž žádná z nich nedokáže vysvětlit všechny známé výskyty. Nickamínek tedy pravděpodobně vzniká více různými procesy, čemuž napovídá i jeho mineralogická pestrost i výskyt v různých klimatických podmínkách. Dosavadní přehledy možných procesů vzniku nickamínku uváděly obvykle čtyři možnosti jeho vzniku, z nichž třetí je do velké míry zpochybnitelná a čtvrtá v sobě může zahrnovat některé aspekty první a druhé možnosti (přehledně Hillová a Forti 1986, 1997; převzato do česky psané literatury Bednářovou 1993; Panošem 2001; zde doplněno a komentováno autory):

(1) V chladných jeskyních (s teplotou pod cca 7 °C, případně v jeskyních s periodickým nebo stálým výskytem ledu) může být za nízkých teplot a přesycení roztoku preferována tvorba vláknitého kalcitu (lublinitu) nebo hydratovaných karbonátů (monohydrokalcitu, ikaitu, těž hydromagnezitu v dolomitových jeskyních) ve výše uvedených vláknitých nebo tyčinkovitých formách (k vysokohorským jeskyním z novější literatury např. Borsato a kol. 2000). Vznik hydratovaných forem je preferován, pokud je celková mineralizace roztoku vyšší, což může být v některých chladných jeskyních důsledek částečného vymrznutí vody a tím zvýšení obsahu rozpuštěných látek ve zbytkovém roztoku (někdy je uváděn význam zvýšené přítomnosti Al, Si nebo P). Některé typy nickamínku tedy mohou mít určité vztahy ke kryogenním jeskynním karbonátům, které se srážejí během mrznutí krasových vod v jeskyních (o tomto procesu vzniká

¹ Geologický ústav AV ČR, Rozvojová 269, 165 02 Praha 6 - Lysolaje, zak@gli.cas.cz

² Biologické centrum AV ČR - Ústav půdní biologie, Na Sádkách 7, 370 05 České Budějovice, kristuf@upb.cas.cz

³ Ústav jaderné fyziky AV ČR, Oddělení dozimetrie záření, Na Truhláře 39/64, 180 86 Praha 8, svetlik@ujf.cas.cz

⁴ Speleoklub Týnčany (ZO 1-08 ČSS), Týnčany 45, 262 55 Petrovice u Sedlčan, brom.radim@centrum.cz

⁵ Univerzita Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem, Fakulta životního prostředí, Králova Výšina 3132/7, 400 96 Ústí nad Labem, stehlikovaz@seznam.cz
Poděkování: Provedené práce byly podpořeny výzkumným záměrem AV0Z30130516 (GLÚ AV ČR) a projekty GAČR 205/02/0449 a MŠMT LC06066.

Čes. kras (Beroun), 32(2006), 17-25, 4 obr.

ISSN 1211-1643

ISBN 80-903477-1-1

ku poprvé uvažoval Trombe, 1952, str. 235). Mnohé hydratované karbonáty jsou za vyšších teplot nestabilní a mohou časem přejít na bezvodé karbonáty, tedy zejména na obvyklý kalcit.

(2) Nickamínku může vznikat jako součást životního cyklu organismů. Z nickamínku byly izolovány různé bakterie, řasy a plísně, zatímco v jiných případech nebyl organický život v pórech nickamínku nalezen. Literatura k tomuto tématu je mimořádně bohatá. V česky psané literatuře použil tento model vzniku Lysenko (1969), z přehledných prací odkazujeme na Northup a Lavoie (2001), či na nejnovější podrobnou studii z jeskyně Altamira (Cañaveras a kol. 2006), která prokázala aktivní mikrobiální struktury v nickamínku. Minerály mohou být přímo sráženy mikroorganismy, nebo mikroorganismy vytvářejí povrchy, na kterých se minerály srážejí. Ani zjištění mikroorganismů či plísní v pórech mikrokrytalických agregátů ale ještě neznamená, že vznik nickamínku je přímým důsledkem jejich metabolického cyklu. U řady autorů ale panuje shoda, že na vzniku nickamínku v jeskyních tropického a subtropického pásma i některých jeskyní mírného klimatického pásma se biologický život významnou měrou podílí.

(3) Nejstarší teorie vzniku nickamínku předpokládá jeho vznik jako produkt mechanického rozpadu matečné karbonátové horniny. Tento model je však ve většině případů v rozporu jak s charakterem výskytu nickamínku, tak i s jeho izotopovou geochemií (která se liší od zdrojového vápence). Vznik nickamínku mechanickou dezintegrací vápence se může uplatit jen ve výjimečných případech, kdy se buď mohou zrna uvolněná dezintegrací horniny uplatnit v nickamínku částečně, nebo kdy se fakticky jedná o drcenou výplň tektonických struktur.

(4) Podle Hillové a Forti (1997) může nickamínku s velmi rozmanitým mineralogickým složením vznikat i běžným srážením přímo z podzemních vod, ale z různých důvodů nevznikají velké krystaly ale mikrokrytalický agregát, a to i v případě, že sráženým minerálem je přímo kalcit nebo aragonit. Konkrétní fyzikálně-chemické příčiny proč se tak děje však Hillová a Forti (1997) neuvádějí. Důvody jsou tedy dosud nejasné a mohou se částečně překrývat s mechanismy uvedenými pod (1) nebo (2).

Vzhledem k podmínkám vzniku nickamínku se s ním v českých krasových jeskyních ve větším množství obvykle nesetkáváme (zevrubný přehled všech lokalit výskytu podobných typů sekundárních formací, i v prostředí mimo kras, uvádí Pakr 1979). Horských jeskyní s nízkými teplotami je zde minimum. Teploty ve většině krasových jeskyní Čech se pohybují v intervalu 7 až 10 °C. V českých jeskyních se nickamínku obvykle nachází pouze v blízkosti jeskyních vchodů nebo nehluboko pod povrchem, zpravidla v systémech s poměrně dynamických prouděním vzduchu. V Českém krasu v území mezi Prahou a Zdicemi jsou známy jen drobné výskyty speleotém podobných nickamínku, zpravidla jsou však vyschlé a ztvrdlé do porézní pevné nebo rozpadavé bílé hmoty. Příkladem mohou být náteky na stropě Princovy jeskyně u Srbska (nedaleko za vchodem), akumulace ve stropě západního vchodu jeskyně Na Vysoké skále (Na Telíně) u Vinařic, výskyt v jeskyni Na Mramoru u Litné (též zvané Jezevčí díra nebo Jirkovská, viz též Lysenko, 1969), nebo drobný výskyt v Koněpruských jeskyních (Cílek a Koloušek 1990). Stáří nickamínku těchto lokalit dosud neznáme.

V Čechách jsou dosud známy jen dva výskyty nickamínku v jeskyních, které jsou svým rozsahem významné, bohatě je na nich zastoupen plastický nickamínku ve velkých akumulacích, a dostalo se jim větší odborné pozornosti. Prvním z nich je výskyt nickamínku v jeskyni Na Vošmendě v údolí potoka Vošmendi u Bozkova, objevené bozkovskými jeskyňáři v roce 1961 (Řehák 1965; Lysenko 1969; Hromas 1970; Lysenko 1975; Faltysová 2002; Ouhrabka,

v tisku). Druhou lokalitou s poměrně masivním výskytem nickamínku je Velikonoční jeskyně u Týnčan nedaleko Sedlčan (Formánek 1985, Formánek 1992, Bednářová 1993). Po stránce vzniku se nickamínkem z těchto lokalit podrobněji zabývali jen Lysenko (1969, 1975) a Bednářová (1993). Lysenko (1969) na základě mikroskopického studia považuje v jeskyni Na Vošmendě za důležitou pro vznik nickamínku přítomnost plísní, které popisuje jako až 5 cm (!) silné vrstvy. Na povrchu plísní se podle něj vylučují jemné mikrokrytalické povlaky tvořené chomáčky jehličkovitého lublinitu. V další zprávě (Lysenko 1975) popisuje přechody mezi nickamínkem a běžnými pevnými typy sintrů, hlavně na základě materiálu ze slovenských lokalit.

Velikonoční jeskyně u Týnčan dosud nebyla kromě drobnějších výzkumných prací systematicky studována. Bednářová (1993) zkoumala zdejší nickamínku pomocí EDAXu, RTG dat, scanovacího elektronového mikroskopu a chemické analýzy. Popisuje nickamínku jako síťoví drobných, asi 20 µm dlouhých, místy vroubkovaných, okolo 1-3 µm (???) i méně silných krystalů kalcitu. EDAX vykázal pouze přítomnost Ca a jen ojediněle stopová množství Si a Al. Mineralogicky byly vzorky tvořeny jen kalcitem. Po stránce chemismu vykázal nickamínku oproti okolnímu krystalickému vápenci mírně vyšší obsahy Al, Na a K, mírně nižší obsahy Mn, Fe a Mg. V práci Cílka (1996) byla publikována jedna mikrofotografie týnčanského nickamínku z elektronového mikroskopu.

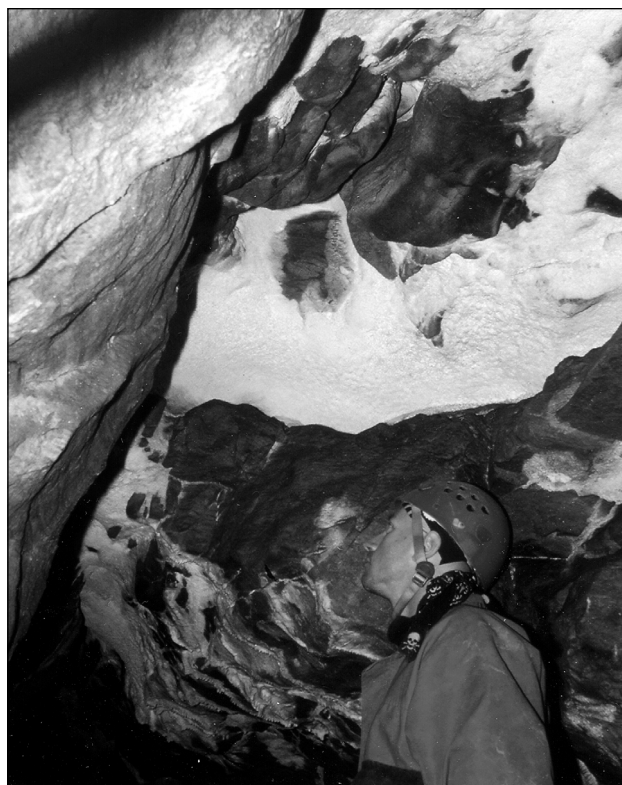
Protože se v případě nickamínku ve Velikonoční jeskyni jedná o výskyt významný v rámci celých Čech, pokusili jsme se na poznatky Bednářové (1993) navázat a znalosti o něm rozšířit. Použité metody zahrnují mikrobiologický výzkum, studium pomocí elektronové mikroskopie, geochemii stabilních izotopů uhlíku a kyslíku a stanovení aktivity radiouhlíku (¹⁴C) v karbonátu nickamínku. Metody byly zvoleny tak, aby přispěly k poznání procesů vzniku nickamínku a pomohly určit jeho stáří. Cílem orientačního mikrobiologického výzkumu bylo zjistit, zda je zdejší nickamínku v současnosti masivně mikrobiálně oživen. Současně byl v jeskyni zahájen roční monitoring současných mikroklimatických poměrů.

2. Velikonoční jeskyně u Týnčan a výskyt nickamínku

Velikonoční jeskyně se nachází v čoče krystalických vápenců tzv. sedlčansko-krásohorského metamorfovaného ostrova 500 m sv. od Týnčan, 10 km jz. od Sedlčan, v sz. úbočí návrší Jar-nice. Vchod jeskyně je v nadmořské výšce 522 m n.m. Jako metamorfované ostrovy jsou označovány denudační zbytky kontaktně metamorfovaného pláště středočeského plutonu (Svoboda 1933). Podrobnější výzkum krasových jevů ve zdejším tělese krystalických vápenců probíhá přerušovaně od roku 1973, první etapu průzkumu shrnul Formánek (1985, 1992). Nejvýznamnější dosud známou jeskyní v krystalických vápencích sedlčansko-krásohorského ostrova je právě Velikonoční jeskyně, objevená výkopovými pracemi o Velikonocích v roce 1974 (Formánek 1985; viz též Brom a Kolčava 2006).

Velikonoční jeskyně je členitý systém několika chodbiček a menších prostor s dvěma vchody, s celkovou délkou všech prostor 122 m. Jeskyně byla objevena dolním vstupem po nalezení tzv. „mastného fleku“, tedy místa, kde v zimě vystupuje teplý vzduch a kde taje sníh. Později byl vyčištěn komín k dnes užívanému hornímu vstupu a dolní vstup byl zaslepen. V sedimentech komína byl nalezen osteologický materiál holocenního stáří (I. Horáček, 1976, nepubl.). Jeskyně se nachází v hloubce 2 až 12 m pod povrchem návrší, průměrně 8 m. Výskyty nickamínku se koncentrují zejména do největšího prostoru jeskyně označované jako Dračí dóm s rozměry 6 x 3 x 2,5 m a do jejího okolí. Nickamínku zde vytváří bílé

nebo místy světle žlutobílé kůry tvarohovitého vzhledu, s mocností až několik centimetrů, lokálně i první desítky centimetrů (obr. 1, viz též obr. 4 v Brom a Kolčava 2006)). Tvar povrchu akumulací nickamínku je nepravidelný, místy bochníkovitý, kůry nickamínku pokrývají zejména části stropu a stěn i počvu prostor u paty svislých nebo převíslych stěn. Povrch akumulací je v detailu obvykle značně nerovný, místy hrudkovitý, tvarohovitého vzhledu. Někde nickamínek obaluje starší krápníky běžného typu, tvořené normálním kompaktním jeskynním sintrem. Většinu akumulací tvoří měkký plastický nickamínek s vysokým obsahem vody v pórech. Vyschnutí některých partií vede ke vzniku pevnější lehké porézní hmoty. Nickamínek se vyskytuje na místech, která jsou mokrá nebo vlhká, avšak která za běžných srážkových poměrů nejeví výrazný skap vody.



Obr. 1. Velikonoční jeskyně, Dračí dóm, bílé povlaky nickamínku. (Foto Lukáš Němeček).

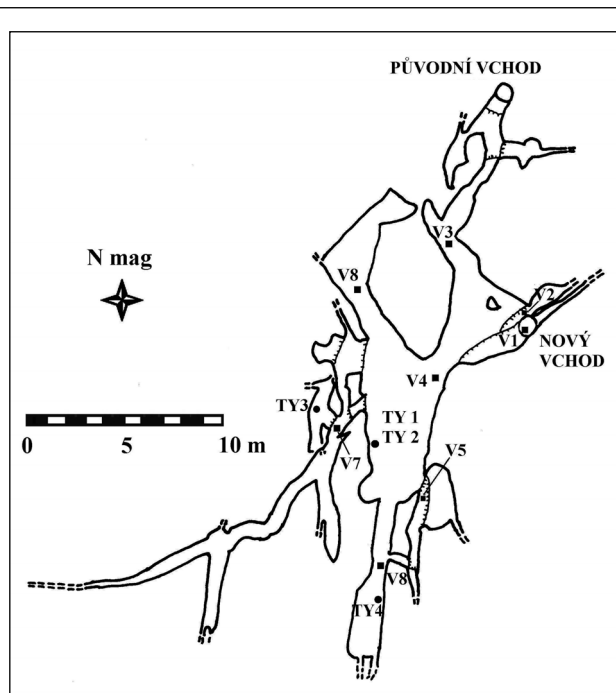
Fig. 1. Velikonoční Cave, Dome of Dragon, white moonmilk coatings (Photo by Lukáš Němeček).

Nedaleko Velikonoční jeskyně byla v roce 1957 vyražena průzkumná štola o délce 25 m. Štola je od jeskyně vzdálena v nejbližším místě jen 23 metrů a její vchod se nachází o 8 m níže než je současný hlavní vchod do Velikonoční jeskyně. I ve štole bylo zastiženo několik menších zkrasovělých partií s výskytem masivních laminovaných jeskynních sintrů (nikoliv ale nickamínku). Zkrasovělými neprůleznými dutinami jeskyně a štola navzájem komunikují. Z hlediska jeskynní klimatologie tedy tvoří dnes štola a jeskyně jeden mikroklimatický podzemní systém. Vyražení štoly nepochybně ovlivnilo mikroklimatické poměry v jeskyni. Na klimatické poměry jeskyně mělo jistě vliv i zaslepení původního objevného vchodu.

3. Použité metody

Vzorky nickamínku byly odebrány ve Velikonoční jeskyni sterilním nástrojem do sterilních vzorkovnic. Bylo vzorkováno místo

při patě západní stěny Dračího dómu (pevný vzorek TY-1, částečně plastický TY-2) a místo současného prolongačního výkopu v tzv. Kobce, kde je jedna z největších akumulací nickamínku v celé jeskyni (zcela plastický vzorek TY-3). Ve vstupu do tzv. Alenčiny říše byl z opadu ze stěny odebrán ještě malý nesterilní zcela pevný vzorek vyschlého nickamínku (TY-4). Místa odběrů vzorků jsou znázorněny na obrázku 2.



Obr. 2. Obrysová mapka Velikonoční jeskyně u Týnčan s vyznačením míst odběru vzorků nickamínku (TY1 až TY4) a s pozicemi teploměrů pro mikroklimatická měření (V1 až V8).

Fig. 2. Schematic map of the Velikonoční (Easter) Cave near Týnčany village. Moonmilk sampling points (TY1 to TY4) and positions of thermometers for microclimatic measurements (V1 to V8) are shown.

Vysušením částí vzorku (105 °C na vzduchu) byla stanovena relativní terénní vlhkost. Nejvlhčí vzorek TY-3 vykázal suchou hmotnost jen 37 % terénní hmotnosti, tedy 63 % původního vzorku byla voda. Naopak nejsušší vzorek TY-4 měl suchou hmotnost 67 % terénní hmotnosti a podíl vody činil 33 %. U vybraného vzorku byla TY-2 byla v laboratořích Geologického ústavu AV ČR provedena RTG identifikace minerálů.

Čerstvě odebrané vzorky nickamínku (TY-3) byly urychleně dopraveny do laboratoře a podrobeny mikrobiologické analýze. Počty kultivovatelných bakterií byly sledovány plotnovou metodou (R2A agar, Difco). Kultivace Petriho misek probíhala při teplotě 20°C ve tmě. Celkové počty bakterií byly stanoveny epifluorescenční mikroskopií (DAPI barvení, Bloem 1995). Poměr kultivovatelných buněk (C, colony forming units – CFU stanovené na R2A agaru) k celkovému počtu bakterií (T) byl použit ke stanovení indexu sukcesního stavu substrátu (C/T; Garland a kol. 2001).

Na základě ekologického konceptu r- a K-strategie byla kvantifikována bakteriální populace nickamínku plotnovou metodou s denním odečtem bakterií po dobu sedmi dnů (Křišťálek a kol. 2005).

Principem použité metody stanovení bazální respirace substrátu je absorpce oxidu uhličitého, produkovaného mikroorganismy, v roztoku hydroxidu sodného. Množství nezreagovaného hydroxidu se stanoví titračně. Údaje uvedené v práci jsou průměrné hodnoty ze 4 stanovení.

Studium vzorků nickamínku pomocí elektronové mikroskopie bylo provedeno v Laboratoři elektronové mikroskopie Biologického centra AV ČR - Parazitologického ústavu v Českých Budějovicích. Vzorky byly připraveny a pozorovány dle metod popsanych v práci Frouze a kol. (2002) (scanovací mikroskop - SEM JEOL 6300) a Vancové a kol. (2006) (transmisní mikroskop - TEM JEOL 1010).

Pro stanovení poměru stabilních izotopů uhlíku a kyslíku v karbonátu nickamínku byly všechny čtyři vysušené vzorky reagovány běžným způsobem při 25 °C ve vakuu se 100 % H_3PO_4 . Izotopové složení uhlíku a kyslíku připraveného plynu CO_2 bylo stanoveno oproti plynu CO_2 připravenému stejným postupem z karbonátového standardu na hmotnostním spektrometru Finnigan MAT 251 v laboratořích České geologické služby. Výsledky jsou vyjádřeny pomocí obvyklých hodnot $\delta^{13}C$ a $\delta^{18}O$ v promile (‰), proti mezinárodnímu standardu V-PDB. Celková chyba stanovení obou hodnot je $\pm 0,1$ ‰.

Pro stanovení aktivity ^{14}C v laboratořích Ústavu jaderné fyziky AV ČR v karbonátu nickamínku byl zpracován vysušený vzorek TY-3. Evakuovaný vzorek byl rozkládán přidavkem 100 % kyseliny fosforečné. Uvolněný oxid uhličitý byl jímán do ampule chlazené kapalným dusíkem. Z připraveného CO_2 byl syntetizován benzen postupem syntézy karbidu lithného, hydrolyzy, čištění acetyleny a katalytické trimerizace (Gupta a Polach 1985). Vzorek syntetizovaného benzenu byl proměřován na nízkopozadovém kapalinovém scintilačním spektrometru Quantulus 1220. Jako slepý (fossilní) vzorek byl použit komerčně dostupný benzen (fy. Sigma-Aldrich, spectrofotometric grade). Pro kalibraci byla použita kyselina šťavelová NIST (NBS) HOX II SRM 4990-C (Schneider a kol. 1995). Naměřená aktivita uhlíku 14 byla přepočtena na konvenční radiouhlíkové stáří a vyjádřena v letech BP (Before Present) a pMC (percentage of modern carbon) dle Stuiver-Polachovy konvence (Stuiver a Polach 1977). Vypočtená kombinovaná nejistota konvenčního radiouhlíkového stáří zahrnuje dílčí příspěvky dané měřením vzorku, slepého vzorku, kalibrací, opravou na vliv zhášení a stanovením hodnoty $\delta^{13}C$. Pro přiřazení stáří vzorku byl použit revidovaný kalibrační program Calib 5.0.1. V souladu s dostupnými údaji o vzorku byla použita kalibrační křivka Intcal04. Po přiřazení nejistot daných radiouhlíkovou kalibrační křivkou byly nejistoty radiouhlíkového stáří vzorku přepočteny na intervaly kalibrovaného/kalendářního stáří vzorku (pro interval 2 s, odpovídající pravděpodobnosti přibližně 95 %). V rámci interpretace kalendářního stáří vzorku byly posuzovány tyto možnosti:

(1) Při vzniku vzorku nedošlo k příměsi fossilního uhlíku a aktivita vzorku odpovídá právě uhlíku 14 přítomnému v ovzduší v době vzniku. Výslednou nejistotu stanovení nebylo proto zapotřebí dále rozšiřovat. Tento postup byl použit pro určení maximálního možného stáří vzorku.

(2) Při vzniku došlo k příměsi přibližně 20 % fossilního uhlíku (z mramorů) do vzorku. Odhad poměru fossilní/aktuální uhlík je však zatížen značnou nejistotou, odhadovanou na nejméně 10 %, ostatní složky nejistoty jsou v tomto případě zanedbatelné. Výsledný interval pravděpodobného stáří vzorku se za předpokladu poměrně krátkodobého vzniku vzorku proto pohybuje v rozmezí let přibližně 5600 až 2000 let BC.

Mikroklimatická měření zahrnovala sledování teploty vzduchu v jeskyni (nejméně jeden odečet měsíčně na celkem 12 místech v jeskyni a v blízké štolě) a sledování relativní vlhkosti a proudění vzduchu v jeskyni. V hlavní prostora byl instalován i maximo-minimální teploměr, zaznamenávající největší výkyvy teploty mezi návštěvami.

Ve dvou termínech bylo provedeno stanovení obsahu CO_2 v jeskynní atmosféře. Poprvé bylo stanovení obsahu CO_2 provedeno na podzim 2005 po konci letní sezóny, při zhruba vyrovnané vnější a vnitřní teplotě, kdy by měly být obsahy CO_2 nejvyšší. Druhý termín měření byl v lednu 2006, po období dlouhotrvajících mrazů za poměrně výrazného proudění vzduchu směrem ze štoly do jeskyně, při vnější teplotě výrazně nižší než byla teplota v jeskyni. V podzimním termínu bylo měřeno nejprve ve štolě a potom v jeskyni, v zimním termínu napřed v jeskyni a až potom ve štolě. Stanovení obsahu CO_2 ve vzduchu bylo vždy provedeno jako první měření po příchodu do jeskyně a štoly. Bylo dbáno, aby přístroj nebyl ovlivněn dechem obsluhy. Pro měření byla vybrána období, kdy v jeskyni po řadu dní před měřením neprobíhala žádná činnost a kdy byly všechny vchodové uzávěry do podzemí po několika týdnech uzavřeny. Použit byl mobilní analyzátor CO_2 **Anagas CD 98** firmy Environmental Instruments (UK), pracující na principu infračervené detekce. Měření bylo provedeno po celé délce štoly při průchodu tam a zpět, s kalibrací na vnější atmosférickou koncentraci na počátku a konci měření. Ve vlastní Velikonoční jeskyni bylo měření provedeno v hlavní prostora jeskyně, Dračím domě, a ve dně sondy pod vchodem, také s kalibrací na vnější koncentraci na počátku a konci měření. Výsledky byly korigovány na předpokládanou vnější úroveň obsahu CO_2 0,04 obj. %.

4. Výsledky a diskuse

Charakter výskytu nickamínku v českých jeskyních

Oba nejznámější a nejbohatší výskytu nickamínku v Čechách, tedy v jeskyni Na Vošmendě u Bozkova a ve studované Velikonoční jeskyni u Týnčan, sdílejí mnoho společných rysů. Z hlediska makroskopického pozorování, tedy velikosti a rozsahu akumulací, morfologie jejich povrchu a rozmístění v jeskyni jsou obě lokality podobné. V obou případech se jedná o nevelké jeskyně nacházející se v metamorfovaných krystalických vápencích, v podobné nadmořské výšce (Velikonoční jeskyně 522 m n.m., jeskyně Na Vošmendě 450 m n.m.). V obou případech se nejvíce nickamínku nachází v nevelkých hloubkách kolem 5 až 12 m pod povrchem. Forma výskytu je také podobná, s největšími akumulacemi na stropě a převyšlých stěnách, nebo na spodních či bočních stěnách zařízených bloků vápence, v místech, která jsou spíše jen vlhká než mokrá. Povrch akumulací sdílí v obou jeskyních podobný nerovný tvarohovitý vzhled. V případě jeskyně Na Vošmendě je místy na svislých stěnách patrné, že nickamínek je buď smýván nebo korodován stékajícími vodami. Až 5 cm mocné vrstvy plísní, uváděné Lysenkem (1969), jsme při orientační nedestruktivní prohlídce lokality Na Vošmendě v současnosti nepozorovali. Obě jeskyně se shodují i v tom, že mají poměrně zřetelné sezónní proudění vzduchu. Mírně se však liší teplota vnitrojeskynního prostředí, která v případě Velikonoční jeskyně osciluje okolo 8,5 °C, zatímco jeskyně Na Vošmendě má teplotu průměrně okolo 7,5 °C (osobní sdělení V. Ouhrabka, přesnější klimatická měření nebyla v jeskyni Na Vošmendě dosud provedena). I všechny další české výskytu nickamínku (nebo nickamínku podobného typu sintru), které v tomto příspěvku zmiňujeme, se nacházejí blízko jeskynních vchodů (Princova u Srbska, jeskyně na Vysoké skále u Vinařic v Českém krasu a j.). Také v případě Velikonoční jeskyně u Týnčan mají hlouběji se nacházející dutiny ve štolě Na Jarnici již normální laminované typy speleotém a nikoliv nickamínek. Dosavadní pozorování tedy naznačují, že u českých jeskyní, které se nacházejí v teplotních a klimatických podmínkách ve kterých nickamínek příliš často nevzniká, má pro jeho vznik blízkost povrchu a vchodu podstatný význam. Cílek (1995a, b) uvádí, že ve vstupních

partiích Sloupských jeskyní v Moravském krasu vzniká nickamínku podobná novotvořená hydratovaná forma CaCO_3 recentně velmi rychle hlavně během zimního období. Veškeré provedené analytické práce však byly zaměřeny na materiál z Velikonoční jeskyně u Týnčan. Ostatní lokality proto dále podrobněji nediskutujeme.

Mikrobiologický výzkum nickamínku

Kultivační metodou bylo zjištěno, že v jednom gramu suché hmoty nickamínku bylo až $4,1 \times 10^6$ kolonií heterotrofních bakterií. To je ovšem jenom ta část bakterií ve sledovaném substrátu, kterým vyhovovalo námi nabídnuté médium. Celkové počty bakterií stanovené epifluorescenční mikroskopií pak byly o tři řády vyšší ($T = 2,34 \times 10^9$ bakterií na 1 g suché hmoty) v porovnání s kultivační metodou. Námi zjištěné celkové počty bakterií v nickamínku jsou 3-5krát nižší než hodnoty udávané Frouzem a Novákovou (2004) pro lesní půdu a o jeden řád vyšší než v iniciačním substrátu výsypek nebo v sedimentech Ardovské jeskyně nebo jeskyně Domica (NP Slovenský kras) (V. Křišťůfek, nepublikováno). Poměr kultivovatelných buněk (C, CFU stanovené na R2A agaru) k celkovému počtu buněk (T) byl použit ke stanovení indexu sukcesního stavu nickamínku. Hodnota $C/T = 0,0017$ je nízká a ukazuje na to, že ve sledovaném objektu je velmi malý podíl kultivovatelných bakterií. Hodnoty C/T pro organickou půdu se pohybují např. v rozmezí 0,0080 - 0,0700. Podobné a ještě nižší hodnoty C/T jako u nickamínku jsme zjistili například v kopě netopýřího guana jeskyně Domica (0,0006 - 0,0017; Křišťůfek, nepubl.). Na vrcholu kopy guana, kde převažovaly čerstvé exkrementy (převážně tvořené těžko rozložitelným chitinem - zbytky křídél nočních motýlů), byly hodnoty C/T nejnižší, směrem k patě kopy se hodnoty zvyšovaly. Takový stav bývá u půd nebo substrátů na počátku jejich sukcesního stavu - v tzv. iniciačním stádiu, nebo naopak ve velmi pozdním stádiu sukcese. Souvisí to s abiotickými a/nebo biotickými faktory, které se mění v průběhu sukcese a ovlivňují složení společenstva bakterií (Křišťůfek a kol. 2005).

Bakteriální společenstvo nickamínku je charakteristické přítomností r-strategů (bakterie narostlé během tří dnů kultivace), kteří představovali až 63 procent narostlé populace. Podobné údaje byly zjištěny např. pro sedimenty jeskyně Slovenského krasu, netopýřího guana nebo substráty iniciačního stádia nere kultivovaných výsypek (75-90 %; Křišťůfek a kol., 2005; nebo dosud nepublikováno).

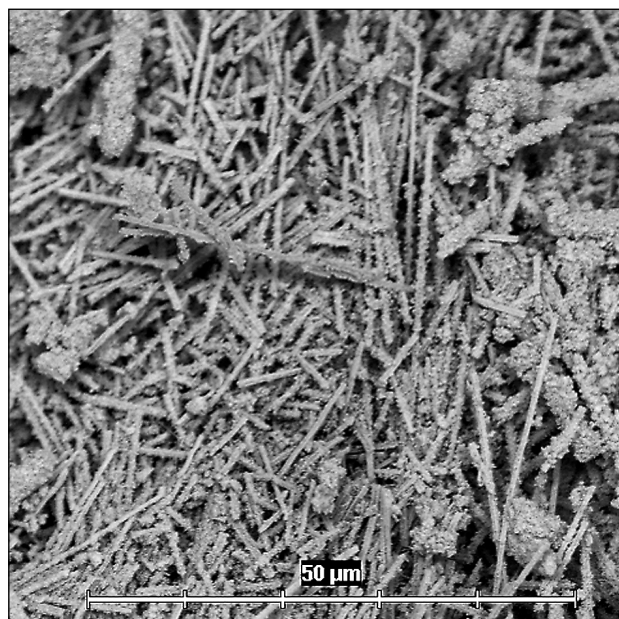
Hodnota basální respirace nickamínku (TY-3) byla $3,96 \mu\text{g C-CO}_2$ na 1 g nickamínku za 1 hodinu. Tato hodnota je blízká např. mikrobiální respiraci stanovené Frouzem a Novákovou (2004) ve vlhkých místech listnatého lesa ($4,10 \mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$), ale je až sedmkrát vyšší než hodnota respirace zjištěná stejnými autory v iniciačním substrátu (stáří jeden rok) nere kultivovaných výsypek tvořených cyprisovými jíly (Sokolov, SZ Čechy). Bohužel se nedá určit, jaký podíl ze zjištěné respirace představuje biologická produkce a jakým podílem se na zjištěné respiraci projevil anorganický rozpad HCO_3^- v pórovém roztoku nickamínku.

Použité mikrobiologické metody tedy zaznamenaly v nickamínku mikroživot, ale nemohly již přispět k vysvětlení nakolik se přímo podílí na jeho vzniku.

Studium nickamínku pomocí TEM a SEM, RTG identifikace minerálů

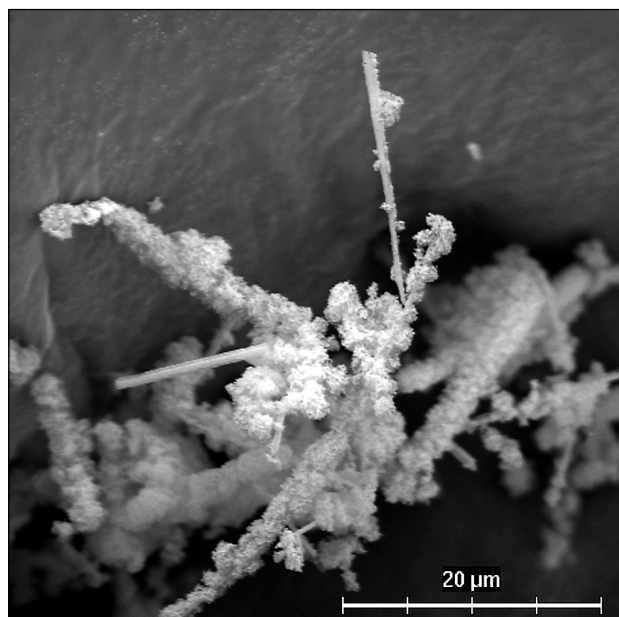
Ve shodě s Bednářovou (1993) lze konstatovat, že nickamínek z Týnčan je tvořen různě hustým sítvem nepravidelně orientovaných, převážně přímých, jehlicovitých nebo tyčinkovitých krystalů kalcitu (obr. 3). Tyto krystaly mají délky nejčastěji v rozmezí 10 až 50 μm a tloušťku okolo 1 μm nebo méně. Jehlice a vlákna se

prakticky nevětví. Hustota těchto krystalků v jejich prostorovém uspořádání je různá a navíc je jejich povrch často pokryt nepravidelnými bradavičnatými nárůsty (viz obr. 4), které je někdy tmelí do kompaktnějšího agregátu. Dutiny mezi krystaly však představují obvykle výrazně více než 1/2 celkového objemu. Hmoty nickamínku je nehomogenní, střídají se převažující partie s menším podílem dutin a tyčinkovitými krystalky silně obrostlým nárůsty, s 1 až 3 mm velkými méně zaplněnými „dutinami“, ve kterých je řidší prostorová struktura velmi jemných jehlicovitých krystalů s menším



Obr. 3. Elektronová mikrofotografie nickamínku z Týnčan, odražené elektrony (BSE), plastický nickamínek, vzorek TY-3.

Fig. 3. Microphotograph of moonmilk from Týnčan (back scattered electrons, sample TY3).



Obr. 4. Elektronová mikrofotografie nickamínku z Týnčan, sekundární elektrony (SEM), nárůsty na tyčinkovitých krystalech, vzorek TY-1.

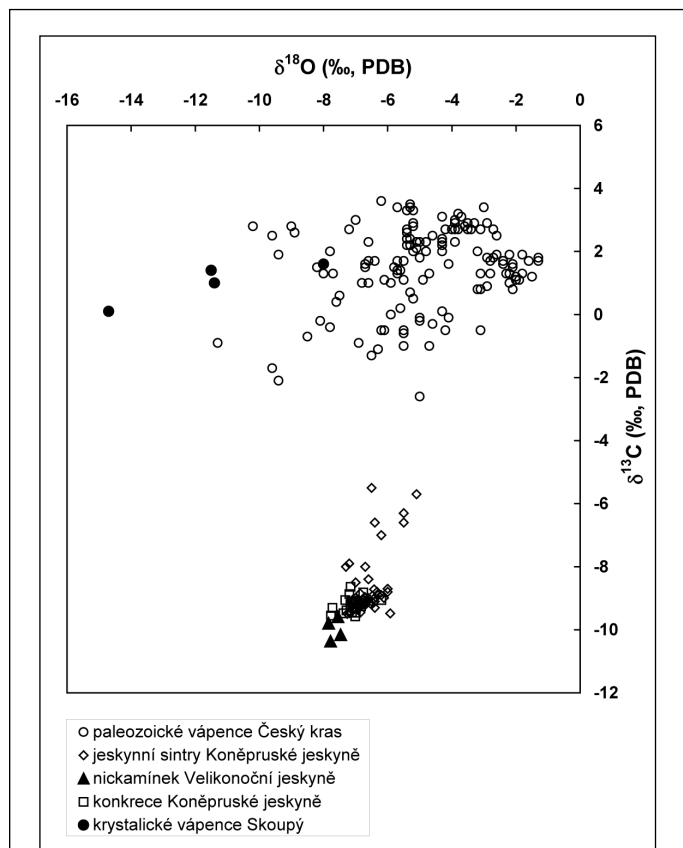
Fig. 4. Microphotograph of moonmilk from Týnčan with overgrowths on needle crystals (secondary electrons, sample TY1).

podílem nárůstů. V některých dutinách se nachází velmi jemné síti-vo kalcitových vláken, připomínající pseudomycelia. Během mikroskopického studia (SEM i TEM) se nepodařilo přímo identifikovat bakterie, plísňe nebo jinou biologickou složku nickamínku, byly pozorovány pouze kalcitové krystaly a nepravidelné kalcitové nárůsty na nich a mezi nimi (viz obr. 4). Podobné nárůsty na kalcitových vlákních byly někdy interpretovány jako shluky bakterií a hyfy hub (viz např. mikrofotografie nickamínku in Boston 2004).

Vzhledem k dřívějším stanovením Bednářové (1993) byla kontrolní RTG determinace minerálů provedena jen na jednom vzorku (TY-2), která potvrdila naprostou převahu kalcitu ve vzorku.

Stabilní izotopy C a O

Výsledky stanovení izotopového složení uhlíku a kyslíku v kalcitu nickamínku z Týnčan spolu s daty pro zdejší krystalický vápenec jsou znázorněny na obrázku 5. Pro srovnání jsou uvedena data i pro některé další typy sekundárních karbonátů z Českého krasu, jeskynní sintry z Koněpruských jeskyní a karbonátové konkrece v jeskyních sedimentech tamtéž, zobrazena jsou i data pro nemetamorfované paleozoické vápence z oblasti Českého krasu.



Obr. 5. Izotopové složení C a O karbonátu nickamínku z Týnčan (4 vzorky). Srovnávací data použitá v grafu jsou podle Žáka a kol. (1987), Hladíkové, Mrázka a Žáka (1989), Hladíkové, Hladíla a Kříbka (1997) a Pavelové (2006).

Fig. 5. Carbon and oxygen stable isotope composition of moonmilk from Týnčany (4 samples). Data used for comparison are after Žák et al. (1987), Hladíková, Mrázek and Žák (1989), Hladíková, Hladil and Kříbek (1997), and Pavelová (2006).

Data pro krystalické vápence ze sedlčansko-krásohorského ostrova (konkrétně z lomu Skoupý, který je od studované Velikonoční jeskyně vzdálen několik set m jv. směrem) jsou v oblasti typické pro sedimentární mořské vápence metamorfované v prostředí otevřeném pro fluidní fázi, což vede k posunu $\delta^{18}\text{O}$ k nižším hod-

notám oproti jejich nemetamorfovaným ekvivalentům. Tato data nejsou tedy žádným překvapením a plně odpovídají vzniku hornin, ve kterých je jeskyně vytvořena.

Data pro nickamínek z Velikonoční jeskyně se nacházejí v oblasti typické pro sekundární jeskynní karbonáty vzniklé pomalou rovnovážnou krystalizací, bez podstatného uplatnění odparu vody a bez rychlého kinetického uvolnění CO_2 z roztoku. Rychlá (z hlediska frakcionace stabilních izotopů nerovnovážná) krystalizace nebo výrazný odpar vody vedou k posunu $\delta^{13}\text{C}$ i $\delta^{18}\text{O}$ vznikajícího karbonátu k vyšším hodnotám (Hendy 1971, v česky psané literatuře Šmejkal 1986).

Z provedených analýz izotopového složení C a O tedy vyplývají dva závěry. Diametrálně rozdílná data pro krystalický vápenec a nickamínek potvrzují již dříve známý fakt, že nickamínek nemohl vzniknout mechanickou dezintegrací (rozpadem) krystalického vápence, ale že se jedná o nově vznikající precipitát z krasových vod. Data současně dokládají, že nickamínek vznikl pomalou, z hlediska frakcionace stabilních izotopů rovnovážnou krystalizací, bez podstatného uplatnění odparu vody. Pokud by nickamínek vznikl v chladných podmínkách glaciálu, měly by být jeho hodnoty $\delta^{18}\text{O}$ výrazně nižší. Data $\delta^{18}\text{O}$ blízká holocénním sintrům naznačují, že vznikl za podobných klimatických podmínek jaké panují dnes, tedy v holocénu.

Stanovení aktivity ^{14}C

Zjištěná aktivita ^{14}C v karbonátu nickamínku (vzorek TY-3) je $41,74 \pm 0,34$ pMC (tj., procent aktivity standardu moderního uhlíku). Odhad skutečného stáří analyzovaného vzorku komplikuje skutečnost, že neznáme jeho počáteční aktivitu ^{14}C , která je u krasových typů karbonátů obvykle nižší než aktivita uhlíku čistě organického původu. U krasových karbonátů se jejich počáteční aktivita v době vzniku nejčastěji pohybuje v rozmezí cca 70 až 90 % aktivity současného organického uhlíku, existují ale i výjimky mimo toto rozmezí. Pokud by byl studovaný nickamínek všechen stejného stáří (tedy pokud by jeho vznik odpovídal krátkému období) a pokud by měl 100 % počáteční aktivitu, tedy stejnou jako tehdejší organický uhlík, odpovídalo by jeho stáří cca 8000 letům před současností (tj. 6000 let BC). Ani jeden z těchto předpokladů však s největší pravděpodobností neplatí a uvedený údaj proto představuje jen limitní (nejvyšší možný) odhad stáří. Ve skutečnosti bude stáří vzorku zřejmě nižší, protože jeho počáteční aktivita byla zřejmě nižší než 100 %. Vzorek však také nepochybně nebude zcela současný, protože současné aktivity ^{14}C v podzemních krasových vodách s krátkou dobou zdržení v podzemí ve středočeské oblasti (Český kras) jsou vyšší, obvykle v rozmezí $80,55 \pm 1,68$ až $86,77 \pm 1,54$ pMC (Záhrubský 2002). Na základě provedeného stanovení je nepochybné, že vzorek vznikl během holocénu. Pokud použijeme rozmezí počátečních aktivit známých z krasových vod Českého krasu s krátkou dobou zdržení (Záhrubský 2002), nebo z výzkumu akumulací pěnovec vytvářených těmito vodami během holocénu (Žák a kol. 2001), lze hrubě odhadnout vznik studovaného vzorku nickamínku do mladší poloviny holocénu, mezi cca 5600 a 2000 let BC.

Klimatická měření a obsah CO_2 v jeskynní atmosféře

Klimatická měření v jeskyni dosud probíhají a budou předmětem samostatné práce. Na základě dosud získaných dat lze soudit, že systém Velikonoční jeskyně a blízké štoly funguje z hlediska jeskynní mikroklimatologie jako dynamická jeskyně se dvěma vchody v různých výškách. V zimním období, kdy jsou vnější teploty nižší než teploty v jeskyni, dochází k nasávání vzduchu netěsnostmi kolem dveří štoly a k výstupu ohřátého vzduchu otvorem ve

vstupu do Velikonoční jeskyně. V letním období, kdy je interiér jeskyně chladnější než vnější prostředí, je proudění opačné. Přitom toto proudění má tendenci v zimě systém štola → jeskyně vysušovat a v létě systém jeskyně → štola spíše zvlhčovat kondenzující vzdušnou vlhkostí. Před objevem jeskyně zřejmě fungovala podobně, ovšem za podstatného uplatnění původního objevného (dnes zaslepeného) a dnešního vchodu.

S uvedeným dynamickým chováním současně jeskynní atmosféry jsou v souladu i výsledky měření obsahu CO_2 v jeskynním vzduchu, uvedené v následující tabulce:

Tabulka 1. *Obsahy CO_2 .*
Table 1. *Carbon dioxide contents.*

Datum měření	15.10. 2005	29.1. 2006
Hodina měření	10:00	11:00
Nejnižší noční teplota v předcházející noci	0 °C	-11 °C
Vnější teplota před jeskyní před měřením	11 °C	-6 °C
Obsahy CO_2		
Vnější atmosféra (údaj užité pro kalibraci)	0,04 %	0,04 %
Ve štole, za vstupními dveřmi	0,05 %	0,05 %
Ve štole, na konci	0,05 %	0,05 %
Velikonoční jeskyně, dno sondy pod vstupem	0,15 %	0,13 %
Velikonoční jeskyně, Dračí domek, po příchodu	0,10 %	0,09 %

Obsahy CO_2 v atmosféře Velikonoční jeskyně lze hodnotit jako velmi nízké, tedy jedná se o jeskyni, která má v dnešním režimu poměrně dynamickou výměnu vzduchu. Sonda pod vchodem do jeskyně reprezentuje prostředí s mírně horší ventilací. Mezi měřeními na podzim a v zimě nebyl podstatný rozdíl. Jak během podzimního tak i během zimního měření byly ve štole zjištěny nižší obsahy, v podstatě v rámci chyby měření blízké vnější atmosféře, a v jeskyni (oproti štole) obsahy mírně vyšší. Je ovšem třeba poznamenat, že i během noci předcházející podzimnímu měření byla vnější teplota nižší, než teplota v jeskyni, takže v obou případech v hodinách přecházejících měření systém nasával vzduch níže položenou štolou a vydechoval jej uzávěrem jeskyně. Ve vyložení letním režimu, kdy by vnější teploty byly trvale vyšší než teploty v jeskyni a cirkulace by byla obrácená, lze očekávat, že by koncentrace ve štole byly podobné, případně i mírně vyšší než v jeskyni.

Obsahy CO_2 v jeskynní atmosféře Velikonoční jeskyně lze hodnotit jako velmi nízké. Pro srovnání lze uvést některé jeskyně z nedalekého a klimaticky poměrně blízkého Českého krasu, které mají stabilně vysokou koncentraci CO_2 , například jeskyně Martina u Tetína 2 až 4 % CO_2 , vysoké obsahy mají i Fialová jeskyně na Chlumu u Srbska, Plší jeskyně v Kodě, nebo Studniční propast u Bubovic.

Pracovní model vzniku nickamínku v českých jeskyních

Vznik nickamínku vyžaduje v klimatických podmínkách mírného pásma velmi specifické podmínky, které nenastávají často. To vyplývá z toho, že z několika set jeskyní známých v Čechách je hojnější nickamínek popsán nebo zmiňován jen v několika z nich, přitom rozsahem velké a mocné akumulace plastického nickamínku jsou známy jen ze dvou lokalit. Ve všech známých případech v Čechách se plastický nickamínek nachází nedaleko jeskynních vchodů nebo nehluboko pod povrchem, hlubší části jeskyní ve stejných litologických a půdních podmínkách již nickamínek neobsahují. Blízkost povrchu má tedy pro jeho vznik nepochybný význam.

Další významnou skutečností je, že obě nejvýznamnější lokality umožňují vstup vzduchu z vnější atmosféry na dvou místech v různých výškách. Velikonoční jeskyně u Týnčan má dva vchody, dnes jeden uměle uzavřený, a navíc komunikuje s krasovými dutinami v nedaleké štole, jeskyně Na Vošmendě u Bozkova je ve své nejhlubší části nejvíce vzdálené od vchodu také propojena neprůleznými úžinami s povrchem. Jeskyně se dvěma vchody v různé výšce lze z mikroklimatického hlediska klasifikovat jako jeskyně dynamické, ve kterých dochází k proudění vzduchu a poměrně rychlé výměně jeskynní atmosféry s vnějším prostředím. Mikroklimatická měře-

ní ve Velikonoční jeskyni tento charakter potvrdila, i když dnešní poměry jsou částečně odlišné od původního přírodního stavu. V těchto systémech dochází v letním období ke zchlazení vstupujícího teplého a vlhkého vzduchu, což vede až ke vzniku kondenzační vody, která smáčí povrch stěn a kondenzační korozi rozpouští vápence. V zimních podmínkách při opačném proudění naopak dochází k vysoušení částí jeskyně vstupujícím chladným vzduchem s nízkou absolutní vlhkostí. Přitom je důležité, že zóny letní kondenzace a zimního vysoušení jeskyně se nacházejí v jejich odlišných částech.

V tomto pracovním modelu předpokládáme, že dynamická cirkulace vzduchu v jeskyni měla pro vznik nickamínku ve studovaných českých jeskyních rozhodující význam. Jednak vede k periodickému zvlhčování některých částí jeskyně kondenzační vlhkostí a potom zanáší do jeskyně spóry plísní i různé mikroorganismy, i organický prach (pylová zrna a podobně), které na vlhkých površích ulpívají. Předpokládáme, že roční klimatické cykly a pravidelné roční změny v cirkulaci vzduchu v jeskyni představují při vzniku nickamínku podstatný vliv. V letním období dojde ke kondenzaci, částečnému rozpuštění vápence, roztok steče nebo je nasát do agregátu nickamínku. V zimě potom je přisun kondenzační vlhkosti zastaven (dochází k vysoušení jeskyně, ale v jiné oblasti, při spodním vchodu). Pórový roztok v nickamínku se přesytí oproti karbonátu (v důsledku nižší koncentrace CO_2 v jeskynní atmosféře v zimě, v důsledku biologické aktivity v pórech nickamínku, v důsledku odparu malé části vody). Krystalizace je extrémně pomalá v prostředí mírně přesyceného roztoku se zvýšenou mineralizací (zdá se, že nickamínek častěji vzniká tam, kde mají vápence více silikátové nebo jílové složky, tedy minerálů s Si a Al). Výrazný odpar vody nebo rychlá krystalizace nickamínku (jak ji předpokládal např. Lysenko 1969) je ale v případě Velikonoční jeskyně vyloučena získanými daty stabilních izotopů C a O. Vliv biologické aktivity lze považovat za pravděpodobný. Masivní biologické oživení nebylo sice ve studovaných vzorcích zjištěno, těžiště jejich vzniku ale nej-

spíše bylo, jak naznačuje stanovení ^{14}C , před několika tisíci lety. Jedná se o prostředí troficky velmi chudé, tedy pokud by se jednalo o přímý důsledek biologické činnosti, musel by být vznik velkých akumulací nickamínku mimořádně pomalý.

Tento model je ve shodě s představou Cílka (1995a, b) o zimním vzniku nickamínku ve vstupní části Sloupských jeskyní. V mírné klimatické zóně popsali podobný mechanismus vzniku nickamínku související s ročními mikroklimatickými cykly a vlivem kondenzační vlhkosti také Lacelle, Lauriol a Clark (2004) z Caverne de l'Ours, údolí řeky Ottawy v Kanadě. Jedná se však dosud jen o pracovní model, který je třeba ověřit dalšími výzkumnými pracemi. Nepochybně jím nelze vysvětlovat všechny světové typy výskytu nickamínku, protože nickamínek horských nebo zaledněných jeskyní či nickamínek tropických a subtropických jeskyní s největší pravděpodobností vznikají zcela jinými mechanismy a řádově většími rychlostmi.

5. Závěr

Nickamínek ve Velikonoční jeskyni u Týnčan nevznikl mechanickou dezintegrací krystalického vápence, jeho vzhled i izotopové složení C a O karbonátu je odlišné. Jedná se o novotvořený sekundární precipitát ze krasových vod, vzniklý pomalou (z hlediska stabilních izotopů rovnovážnou) krystalizací bez podstatného uplatnění odparu vody. Data $\delta^{18}\text{O}$ blízká běžným holocénním sintrům naznačují, že studovaný nickamínek vznikl v podobných klimatických podmínkách, jaké panují v holocénu. To potvrzuje i stanovení aktivity ^{14}C v jednom vzorku silně plastického nickamínku ($41,74 \pm 0,34$ pMC), odpovídající s největší pravděpodobností vzniku mezi cca 5600 a 2000 lety před naším letopočtem (BC). Vznik studovaného plastického vzorku tedy není zcela recentní a vzniklý nickamínek si udržuje plasticitu po velmi dlouhá období. Naznačený pracovní model předpokládá vznik nickamínku v souvislosti s ročními klimatickými cykly a vznikem kondenzační vody v jeskyních s dynamickým chováním jeskynní atmosféry. Pro ochranu mimořádných akumulací nickamínku ve Velikonoční jeskyni u Týnčan a v jeskyni Na Vošmendě u Bozkova je zapotřebí do budoucna udržet dynamické chování jeskynní atmosféry blízké původním přírodním podmínkám.

Literatura:

- Bednářová J. (1993): Nickamínek z Velikonoční jeskyně u Týnčan. – *Knih. Čes. speleol. spol.*, 21: 80–82. Praha.
- Bloem J. (1995): Fluorescent staining of microbes for total direct counts. – In: Akkermans A. D. L., van Elsa J. D., de Bruijn F.J. (Eds.): *Molecular microbial ecology manual*: 1–12 Kluwer Academic Publisher. Dordrecht/Boston/London.
- Borsato A., Frisia S., Jones B., Van der Borg K. (2000): Calcite moonmilk: crystal morphology and environment of formation in caves of Italian Alps. – *J. Sed. Res.*, 70, 5: 1171–1182.
- Boston P. (2004): Biofilms. – In: Gunn, J. (Ed.): *Encyclopedia of caves*: 145–147. Fitzroy Dearborn (Taylor and Francis Group). New York, London.
- Brom R., Kolčava M. (2006): Nové mapy nejdůležitějších jeskyní Týnčanského krasu, – *Čes. kras (Beroun)*, 32: 56–60. Beroun.
- Cañaveras J. C., Cuezva S., Sanchez-Moral S., Lario J., Laiz L., Gonzalez J. M., Saiz-Jimenez C. (2006): The origin of fiber calcite crystals in moonmilk deposits. – *Naturwissenschaften*, 93: 27–32.
- Cílek V. (1992): Léčivé vlastnosti krasových vod. – *Speleo (Praha)*, 7: 38.
- Cílek V. (1994): Nickamínek nově definován. – *Speleo (Praha)*, 14: 31–32.

- Cílek V. (1995a): Zimní nickamínek ze Sloupských jeskyní. – *Speleo (Praha)*, 20: 29.
- Cílek V. (1995b): Zimní nickamínek ze Sloupských jeskyní. (přetisk ze *Spelea* č. 20). – *Minerál. Svět nerostů a drahých kamenů*, 6, 1: 63.
- Cílek V. (1996): Mléko Panny Marie. – *Vesmír*, 75, 12: 672.
- Cílek V., Koloušek D. (1990): Mineralogické výzkumy v Českém krasu. – *Čs. kras*, 41: 7–24. Praha.
- Cooper R. G. (1993): Forum: A comment on 'Type locality of Mondmilch'. – *Cave Sci.*, 20, 1: 29.
- Dvořák J. (1953): Příspěvek ke genesi nickamínku. – *Čs. kras*, 6, 2–3: 72–73. Brno.
- Faltysová H. (2002): *Přírodní rezervace Údolí Vošmendy*. – In: Mackovčin P., Sedláček M. (Eds.): *Chráněná území ČR, svazek III*: 184–185. Agentura ochr. přír. a krajiny ČR a EkoCentrum Brno. Praha.
- Fisher H. (1992): Forum: Type locality of Mondmilch. – *Cave Science*, 19, 2: 59–60.
- Formánek P. (1985): Krasové jevy sedlčansko-krásohorského ostrova. – *Ochránce přírody*, 3, 2: 8–9. Příbram.
- Formánek P. (1992): Krasové jevy sedlčansko-krásohorského metamorfovaného ostrova. – *Speleo (Praha)*, 7: 18–19.
- Frouz J., Elhottová D., Šustr V., Křišťfek V., Hubert J. (2002): Preliminary data about compartmentalization of the gut of the saprophagous dipteran larvae *Penthetria holosericea* (Bibionidae). – *Eur. J. Soil Biol.*, 38: 47–51.
- Frouz J., Nováková A. (2004): Development of soil microbial properties in topsoil layer during spontaneous succession in heaps after brown coal mining in relation to humus microstructure development. – *Geoderma*, 129: 54–64.
- Garland J. L., Cook K. L., Adams J. L., Kerkhof L. (2001): Culturability as an indicator of succession in microbial communities. – *Microbial Ecol.*, 42: 150–158.
- Gesner C. (1555): *Descriptio Montis Fracti sive Montis Pilati ut vulgo nominant, juxta Lucernam in Helvetia*. – Zürich.
- Gèze B. (1955): A propos du Montmilch ou Mondmilch. – *Bull. Comité Nat. Spéléol.*, 3. Paris.
- Gupta S. K., Polach H. A. (1985): *Radiocarbon dating practises at ANU*. – MS, ANU. Canberra.
- Heller F. (1966): Mondmilch oder Montmilch. – *Geol. Blätter für Nordost-Bayern und angrenzende Gebiete*, 16, 1: 56–66. Erlangen.
- Hendy C. H. (1971): The isotopic geochemistry of speleothems I. The calculation of effects of different modes of formation on the isotopic composition of speleothems and their applicability as paleoclimatic indicators. – *Geoch. Cosmoch. Acta*, 35: 801–824.
- Hill C., Forti P. (1986): *Cave minerals of the World*. – National Speleological Society: 1–238. Huntsville.
- Hill C. A., Forti P. (1993): Type locality of Mondmilch – a reply. – *Cave Sci.*, 20, 1: 30.
- Hill C., Forti P. (1997): *Cave minerals of the World*, Second Edition. – National Speleological Society: 1–463. Huntsville.
- Hill C., Forti P. (2004): *Speleothems: Carbonate*. – In: Gunn J. (ed.), *Encyclopedia of caves and karst science*: 690–692. Fitzroy Dearborn (Taylor and Francis Group). New York, London.
- Hladíková J., Mrázek P., Žák K. (1989): *Izotopické složení uhlíku a kyslíku v karbonátových horninách Čech a Moravy*. – MS, Ústřední ústav geologický. Praha.
- Hladíková J., Hladil J., Kříbek B. (1997): Carbon and oxygen isotope record across Pridoli to Givetian stage boundaries in the Barrandian basin (Czech Republic). – *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 132: 225–241.

- Hromas J. (1970): Jeskyně na Vošmendě. – *Lidé a Země*: 311.
- Jones B., Kahle C. F. (1993): Morphology, relationship, and origin of fiber and dendritic calcite crystals. – *J. Sed. Petrol.*, 63: 1018–1031.
- Lacelle D., Lauriol B., Clark I. D. (2004): Seasonal isotopic imprint in moonmilk from Caverne de l'Ours (Quebec, Canada): implications for climatic reconstruction. – *Can. J. Earth Sci.*, 41, 2: 1411–1423.
- Křišťůfek V., Elhottová D., Chroňáková A., Dostálková I., Pícek T., Kalčík J. (2005): Growth strategy of heterotrophic bacterial population along successional sequence on spoil of brown coal colliery substrate. – *Folia Microbiol.*, 50, 5: 427–435.
- Louček D. (1958): Mondmilch nebo montmilch (nickamínek). – *Čs. kras*, 11: 174–175. Praha.
- Lysenko V. (1969): Nickamínek – jeho vznik. – *Čs. kras*, 21: 123–124. Praha.
- Lysenko V. (1975): Nickamínek – vývojový stupeň sekundární mineralogické výplně jeskyní. – *Čs. kras*, 27: 89–93. Praha.
- Moore G. W. (1952): Speleothem – a new cave term. – *Nat. Speleol. Soc. News*, 10, 6: 2.
- Northup D. E., Lavoie K. H. (2001): Geomicrobiology of Caves: A review. – *Geomicrobiol. J.*, 18: 199–222.
- Ouhrabka V. (v tisku): Jeskyně na Vošmendě. – In: Hromas J. (Eds.), *Jeskyně České republiky, Chráněná území ČR*, XIII. Agentura ochr. přír. a krajiny ČR a EkoCentrum Brno. Praha. V tisku.
- Pakr A. (1979): *Rozšíření a ochrana nalezišť nickamínku*. – Krajské středisko státní památkové péče a ochrany přírody: 1–117. Ostrava.
- Panoš V. (2001): *Karsologická a speleologická terminologie*. – Knižné centrum: 1–352. Žilina. Heslo nickamínek str. 137–138.
- Pavelová E. (2006): *Vývoj klastických jeskynních sedimentů středního patra Koněpruských jeskyní*. – MS, Dipl. práce. Přírodověd. Fak. Univ. Karlovy Praha: 1–70, 14 stran příloh.
- Phillips S. E., Self P. G. (1987): Morphology, crystallography and origin of needle-fibre calcite in Quaternary pedogenic calcretes of South Australia. – *Austral. J. Soil Res.*, 25: 429–444.
- Řehák J. (1965): Jeskyně a krasové jevy v údolí Vošmendy u Bozkova. – *Čs. kras*, 16: 17–21. Praha.
- Schneider R. J., McNihol A. P., Nadeau M. J., Reden K. F. (1995): Measurements of the Oxalic Acid II/Oxalic Acid I Ratio as a Quality Control Parameter at NOSAMS. – *Radiocarbon*, 37, 2: 693–696.
- Shaw T. R. (1997): Historical introduction. – In: Hill C., Forti P. (1997): *Cave minerals of the World*, Second Edition: 27–43. Nat. Speleol. Soc. Huntsville.
- Stuiver M., Polach H. A. (1977): Discussion. Reporting of ^{14}C data. – *Radiocarbon*, 19, 3: 355–363.
- Svoboda J. (1933): Metamorfovaný ostrov sedláčsko-krásnohorský. – *Arch. Přírodověd. Výzk. Čech*, 18, 4: 1–60.
- Šmejkal V. (1986): Využití stabilních izotopů ve speleologii. – *Čs. kras*, 37, 27–32. Praha.
- Típková J. (1991): Nickamínek z Kostrové jeskyně v Zádielské dolině. – *Speleo (Praha)*, 6: 12–13.
- Trombe F. (1952): *Traité de Spéléologie*. – Payot: 1–376. Paris.
- Vancová M., Zacharovová K., Grubhoffer L., Nebesářová J. (2006): Ultrastructure and lecithin characterization of granular salivary cells from *Ixodes ricinus* females. – *J. Parasitol.*, 92, 3: 431–440.
- Verrecchia E. P., Verrecchia K. E. (1994): Needle-fiber calcite: a critical review and a proposed classification. – *J. Sed. Res.*, A, 64: 650–664.
- Záhrubský K. (2002): *Možnosti využití izotopů uhlíku ^{14}C a ^{13}C v hydrogeologii Českého krasu*. – MS, Doktorská dis. práce. Přírodověd. Fak. Univ. Karlovy: 1–136. Praha.
- Žák K., Hladíková J., Buzek F., Kadlecová R., Ložek V., Cílek V., Kadlec J., Žigová A., Bruthans J., Šťastný M. (2001): Holocenní vápence a krasový pramen ve Svatém Janu pod Skalou v Českém krasu. – *Czech Geol. Surv. Spec. Pap.*, 13: 1–133. Praha.
- Žák K., Hladíková J., Lysenko V., Slačík J. (1987): Izotopické složení uhlíku a kyslíku jeskynních sintrů, žilných kalcitů a sedimentárních vápenců z Českého krasu. – *Čs. kras (Beroun)*, 13: 5–28. Beroun.