

BIOLOGICKÁ DEGRADACE ARAGONITU VE ZBRAŠOVSKÝCH ARAGONITOVÝCH JESKYNÍCH

Biologic degradation of aragonite in the Zbrašov aragonite caves

Milan Geršl¹, Martin Novák²

¹Ústav geologických věd PřF MU, Kotlářská 2, 611 37 Brno; e-mail: kaimon@sci.muni.cz

²Pears Health Cyber s.r.o., Václavské nám. 21, 110 00 Praha 1; e-mail: martin.novak@farmacie.cz

(25-12 Hranice)

Key words: *Hranice Karst, Zbrašov aragonite caves, aragonite, microbiology, microscopic fungi*

Abstract

Zbrašov aragonite caves are situated in the Teplice nad Bečvou district, 40 km SE from Olomouc. The degradation of the aragonite speleothems has been already observed before. The degradation occurs as reddish, fulvous or red coating, which covers the main area of originally white aragonite (formation „Opona“, Juriks hall). Our research conducted in 2002 was focused on the cultivation of the microscopic fungi from coatings in the microbiologic agar. This research confirmed microbial contamination of aragonite, previously indicated in 1991 - 1992. Our investigation resulted in determination of the Aspergillus and the Penicillium genus in samples of coatings. X-ray diffraction indicated aragonite, calcite, huntite, and magnesite in the „Opona“ formation.

Úvod

Zbrašovské aragonitové jeskyně (ZAJ), ležící v katastru obce Teplice nad Bečvou, 40 km vjv. od Olomouce jsou dnes největší známou a jedinou turisticky zpřístupněnou jeskynní soustavou Hranického krasu. Jeskyně byly vytvořeny ve vápencích devonského až spodnokarbonského stáří. Při vzniku jeskyní se významně uplatňovaly korozivní vlastnosti uhličitých minerálních vod.

Mikrobiální kolonizace aragonitu

Působením uhličitých minerálních vod vznikaly ve zdejších jeskyních také některé neobvyklé druhy krasové výzdoby. Mezi ně se řadí i několikacentimetrové drúzy aragonitu. „V posledním dómu, „Jeskyni Jurikově“, je velký výběžek skalního stropu, zvaný „Opona“, porostlý krystalovaným aragonitem. Jsou to nádherné jehlicovité drúzy, třpytivě se lesknoucí, na nichž se drobí světlo lamp v nespočetné světelné záblesky.“ napsal v roce 1940 J. Kinský.

V poslední době je však možné vysledovat degradaci právě této cenné aragonitové výzdoby. Přímou na lokalitě lze již pouhým okem pozorovat červenavé, rezavé až červenohnědé povlaky pokrývající větší část původně bílého aragonitu. Další překvapení pak přináší pohled na mikroskopické preparáty. Výzkumy v letech 1991-92 (Marvanová et al. 1991, Marvanová et al. 1992) poprvé potvrdily, že na znečištění aragonitové výzdoby se podílejí především plísňe. Seznam identifikovaných mikromycet uvádějí např. Hanuláková – Marvanová (1994). Další výzkumy (např. Novák 1999) prokázaly příčinnou souvislost mezi vysokou návštěvností a degradačními procesy, probíhajícími na aragonitové výzdobě. Jedná se o vnášení organického materiálu do jeskynního systému, přesněji

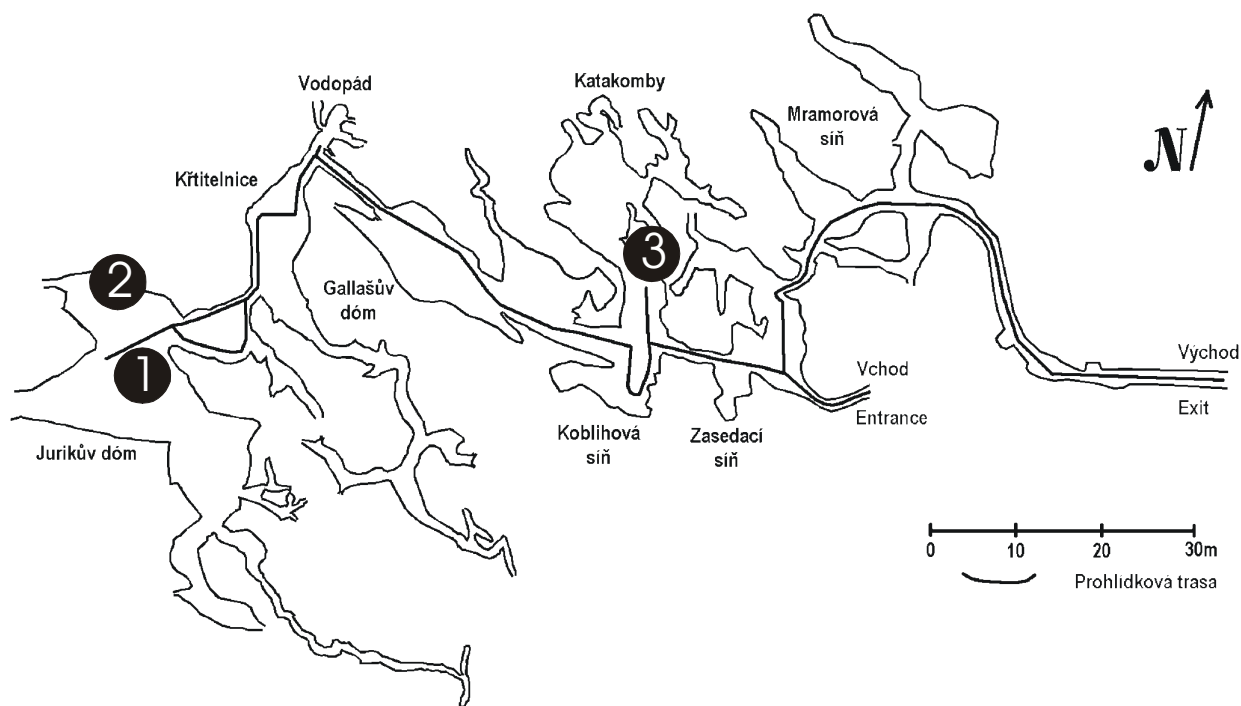
o odlučování textilních vláken z oděvů návštěvníků, vlasů, epidermis a dalšího materiálu a jejich následné depozici na aragonitovou výzdobu. Toto hromadění organických substrátů v původně oligotrofním systému změnilo přesně vyjádřené ekologické vztahy v původním ekosystému jeskyni. Nedostupnost potravních zdrojů přestala být limitujícím faktorem a zvýšení trofie umožnilo mohutný rozvoj bakterií a mikromycet na deponovaném organickém materiálu.

Výsledkem předešlých aktivit při řešení tohoto problému bylo také několik pokusů o dezinfekci aragonitové výzdoby. Konkrétně se jednalo o aplikaci mikrovlákného záření (laboratorně, exp. 7 min., intenzita aj. neuvedeno). Výsledkem byl nečekaný masivní nárůst mikroskopických hub i bakterií po ozáření (Hanuláková – Marvanová 1993). Aplikace roztoku Boronitu (přesné složení roztoku, ani koncentrace neuvedena) rovněž nepřinesla uspokojivé výsledky: „Naopak se zdálo, že roztok této chemikálie negativně působil na aragonit a rozpouštěl jej.“ (Hanuláková – Marvanová 1994).

Cílem naší práce bylo ověření a dokumentace depozice organického materiálu, srovnání mikroorganismální kolonizace v přístupných a nepřístupných částech ZAJ a následné testování možnosti dezinfekce krasové výzdoby. Výsledkem naší práce by tedy mělo být zhodnocení ekologických vztahů v ZAJ s přihlédnutím k vysoké návštěvnosti.

Použité metody výzkumu

Hlavní výzkum probíhal na nejvíce postižené části aragonitové výzdoby, tj. v Jurikově dómu, na útvaru zvaném Opona. Opona je jméno svislého skalního štítu o délce cca 10 m a výšce 3 m, na kterém se vyskytuje jediná souvislá plocha aragonitu v celých ZAJ. Deponovaný organický materiál je zde pozorovatelný pouhým okem. Kontrolní



Obr. 1 – Schématická mapa Zbrašovských aragonitových jeskyní s vyznačenými lokalitami mikrobiologického vzorkování. 1 – Jurikův dóm – Opona, 2 – Jurikův dóm – Tunel, 3 – Koblihová síň.

Fig. 1 – Schematic plan of the Zbrašov aragonite caves with locality of sampling. 1 – Jurik's Dome – Curtain, 2 – Jurik's Dome – Tunnel, 3 – Dumpling Hall.

vyšetření probíhala v části Jurikova dómu zvané Tunel a v Koblihové síni.

1. Důkaz proteinů – K potvrzení bílkovinné povahy části organického materiálu nalezeného na minerálních útvech byla použita xanthoproteinová reakce. Tuto reakci lze považovat za signifikantní důkaz přítomnosti proteinů ve vzorku.

2. Kultivace mikromycet – Ověření mikrobiální kolonizace minerálních útvarů bylo provedeno klasickými mikrobiologickými kultivacemi vzorků získaných stěry vatovými tampony. Ke kultivaci byl použit Sabouraudův agar s chloramphenicolem firmy Bio Rad. Petriho misky se stěry byly z důvodu zachování identických růstových podmínek (stálá teplota 15 °C, relativní vzdušná vlhkost téměř 100 % a přirozený režim CO₂) kultivovány v jeskynních prostorách. Kultivace probíhala vždy po dobu 3 týdnů. Po této kultivační době byla provedena determinace narostlých kultur.

První sada Petriho misek byla naočkována dne 30. března 2002 šesti stěry z bodů 1-6 pravidelně rozvržených ve spodní hraně v celé délce Opony. Další stěr byl proveden v části Jurikova dómu zvané Tunel z povrchu pizolitové kalcitové výzdoby. Oblast je nepřístupná veřejnosti z důvodu trvalé vysoké koncentrace oxidu uhličitého. Koncentrace se zde pohybují v intervalu 20-30 % CO₂. Poslední stěr této sady byl proveden z povrchu kalcitové „koblihové“ výzdoby v Koblihové síni (výzdoba je zde často osahávána návštěvníky).

Druhá sada Petriho misek s živnou půdou byla upravena k zavěšení. Misky byly zavěšeny v otevřené poloze dnem vzhůru tak, aby simulovaly pozici aragonitu

při zachytávání vznášejícího se prachu a aby bylo zabráněno znehodnocení agarů skapovou vodou. Misky byly umístěny na vytipovaných místech Opony dne 10. srpna 2002. Jednalo se o body 4 a 6, jejichž lokalizace byla totožná s místy stěru. Další miska byla instalována na mříži Objevitelského komína, kde je nejvyšší přirozené proudění stoupajících (klesajících) vzdušin. Obsah Petriho misky s živnou půdou položené v prostoru U Ježka dnem dolů byl po několika dnech znehodnocen skapovou vodou.

3. Mineralogická charakteristika – Mineralogická charakteristika zkoumaných úseků jeskynní výzdoby byla zjišťována rentgenovou práškovou difrakční analýzou. Analýzy byly pořízeny difraktometrem STOE STADI-P, 40 kV, 25mA, Co_{Kα}. Načtení záznamů provedl V. Vávra, PřF MU Brno, fázová analýza M. Geršl pomocí programu VISUAL X^{POW}, databáze JCPDS. Z útvaru Opona bylo odebráno šest vzorků (32/00, 33/00, KK 07/02, KK 08/02, KK 09/02, KK 10/02), v Koblihové síni se jednalo o vzorky tři (03/99b, 03/99c, 03/99g).

Výsledky provedených vyšetření

1. Důkaz proteinů – Provedenou xanthoproteinovou reakcí byly ve zkoumaném vzorku separovaného z aragonitu Opony prokázány proteiny.

2. Determinace kultur – Rodová determinace kultur v podstatě potvrdila předchozí výzkumy Hanulákové a Marvanové (1994). Druhové zařazení nebylo provedeno z důvodu nedostatku potřebných prostředků.

V případě Opony (aragonit), byl prokázán masivní nárůst mikromycet v širokém druhovém spektru. Plotny

Lokalita	Označení vzorku	Minerální fáze
Jurikův dóm – Opona	32/00	aragonit
	33/00	aragonit
	KK 07/02	aragonit
	KK 08/02	huntit
	KK 09/02	kalcit
KK 10/02	magnezit	
Jurikův dóm – Tunel	neanalyzováno	kalcit
Koblihová síň	03/99b	kalcit
	03/99c	kalcit
	03/99g	kalcit

Tab. 1 – Výsledky rtg-práškové difrakční analýzy mikrobiologicky vyšetřených speleotém.

Tab. 1 – Result of rtf-diffraction analyse of microbial speleothems.

pro zachycení polétavých spor, umístěné pod Oponou a u vstupu do Objevitelského komína, byly rovněž silně kolonizovány. Jednalo se především o zástupce rodů *Aspergillus* a *Penicillium*. Stěr provedený z kalcitové výzdoby v Tunelu, ukázal pouze několik kolonií jediného taxonu kvasinkovitého organismu, jehož identifikace probíhá. Identický taxon, pouze ve větší kvantitě, byl jediným detekovaným druhem ve stěru z Koblihové síně.

3. Mineralogická charakteristika – Z útvaru Opona byly odebráno a analyzováno šest vzorků s následujícími výsledky: 3krát byl stanoven aragonit, ve zbylých vzorcích monominerálně huntit, kalcit, magnezit.

Z Koblihové síně byl ve všech třech případech zjištěn pouze kalcit. Pro zřetelnou analogii s již dříve analyzovanými vzorky ze ZAJ (Geršl, nepublikované zprávy) byl pizolitový materiál z prostory Tunel určen jako kalcit bez dalších analýz.

Diskuze

Provedený průzkum potvrdil v přístupných částech jeskyní organické znečištění a následnou kolonizaci mikromycetami. K nejvíce postiženým prostorám patří oblast Opony v Jurikově dómu, a to z důvodů souhry následujících faktorů: přímo pod Oponou se návštěvníci shromáždí k poslechu relativně dlouhého výkladu průvodce. Podmíněno rozdílem teplot mezi vydechovaným vzduchem a jeskynní atmosférou, umocněným přirozeným prouděním vzdušín Objevitelským komínem o výšce 42 m, vzniká stoupavé proudění. Toto s sebou unáší odloučená oděvní vlákna, částičky epidermis apod. Členitost aragonitových drúz a vlhkost na jejich povrchu umožňuje snadné přichycení tohoto materiálu. Vznikají tak prostým okem viditelná depozita, která slouží jako rezervoár potravních zdrojů pro mnoho taxonů bakterií a mikromycet.

Jeskyně objevené v roce 1913 byly pro veřejnost zpřístupněny roku 1926. Návštěvnost dlouhodobě přesahuje 50 000 návštěvníků ročně, resp. za obvyklých 7 měsíců návštěvní sezóny. Pro názornost uvádíme návštěvnost

za posledních pět let 1998: 51 707, 1999: 59 275, 2000: 51 100, 2001: 43 751, 2002: 52 195 (zdroj AOPK ČR). Je však možné, že ani v minulosti množství návštěvníků nebylo nijak zanedbatelné. Kunský (1957) uvádí, že elektricky osvětlené Zbrašovské jeskyně navštívilo v roce 1955 celkem 25 924 turistů a v roce 1956 již 40 973 turistů.

Taxony mikromycet, jimž jejichž ekologická valence umožňuje růst v podmínkách ZAJ, zde nacházejí ideální možnost existence, neboť až na chvostokoka *Folsomia candida*, troficky vázaného na mikromycety (Rozkošný 1992) nebylo prokázáno nic, co by jejich růst omezovalo. Výsledkem je masivní nárůst těchto organismů a následná degradace aragonitu jejich metabolity.

Mikroorganismální metabolity způsobují degradaci výzdoby jednak přímo – rozrušováním krystalů aragonitu, ale i sekundárně – usazováním barevných pigmentů, a to jak druhově specifických, tak působením Schiffových činidel. Původní úvaha, považující červené a hnědé pigmenty za hydroxidy železa, se v případě studovaných útvarů ukázala být mylnou. Mikromycety pomocí enzymatického vybavení štěpí složité organické sloučeniny jako jsou např. keratiny a celulóza na jednodušší sloučeniny. Tyto následně slouží jako živný substrát pro bakterie. Bakterie produkují na konci metabolických drah agresivní látky, jako např. kyselina mravenčí, kys. octová, kys. propionová, acetoin aj. Následná interakce s uhličitany sintry způsobuje destrukci uhličitany forem krasové výzdoby. Sekundární efekt je způsoben schopností některých mikromycet produkovat a uvolňovat do okolí organické pigmenty. Tyto pigmenty se následně usazují do narušených struktur aragonitových drúz. V neposlední řadě se uplatňují i sloučeniny typu Schiffových činidel, jež zde pravděpodobně vznikají následným mechanismem: bakterie produkují do prostředí oxidující enzymy, katalyzující oxidaci fenolytických látek. Tak vznikají chinony, které v přítomnosti aminokyselin vyloučených činností proteináz – keratináz vytvářejí zmíněná Schiffova činidla, podílející se na druhotném zbarvení aragonitových drúz.

Zřetelný rozdíl mezi kolonizací přístupných (Opona) a nepřístupných oblastí jeskyní (Tunel), potvrzuje hypotézu, že limitujícím ekologickým faktorem jsou zde potravní zdroje, reprezentované organickými depozity, nanesenými na Oponu návštěvníky. Podstatné je také srovnání výsledků z Opony s výsledky z Tunelu a Koblihové síně, kde výzdoba dokonce přichází do styku

Rok	Návštěvnost
1998	51 707
1999	59 275
2000	51 100
2001	43 751
2002	52 195
1955	25 924
1956	40 973

Tab. 2 – Přehled návštěvnosti ZAJ za posledních 5 let provozu (podle AOPK ČR).

Tab. 2 – Summary of the visitors number in last 5 years (according to AOPK ČR).

s návštěvníky. Praktická nepřítomnost mikrobiální kolonizace speleotém v Koblíhové síni prokazuje hypotézu o nepřítomnosti potravních zdrojů, neumožňující rozvoj kolonizace. Parciální inhibiční efekt vysoké koncentrace oxidu uhličitého v Tunelu je sice možný, nicméně kontrolní stěry, provedené Koblíhové síni, potvrzují stávající názor o klíčovém postavení organických depozit.

Množství poléťavých spor zachycených v Jurikově dómu může především u částí návštěvníků tvořenou zdravotně kompromitovanými pacienty z okolních lázní znamenat teoretickou možnost vzniku pulmonální mykózy.

Rentgenovou difrakcí byly na útvaru Opona stanoveny aragonit, kalcit, huntit a magnezit. Makroskopicky byla největší depozita prachového znečištění zjištěna právě na aragonitu. Speleotémy tvořené kalcitem, huntitem a magnezitem se na zachycení prachových částic podílejí menší částí. Tento jev lze vysvětlit habitem aragonitu, tedy velkou členitostí a velkým povrchem jehlicovitých až keříčkovitých drúz. Zachytávání prachových nečistot do jemných struktur aragonitu je podpořeno vlhkostí udržující se na jejich povrchu. Na lokalitách Tunel a

Koblíhová síň byla mikrobiální kontaminace vyšetřena na kalcitových speleotémách.

Závěr

Výzkum ověřil předpokládanou masivní kolonizaci Opony mikroorganismy, jež využívají jako zdroj potravy organické materiály, vnášené do jeskynního systému návštěvníky. Přítomné mikroorganismy se především svými metabolity podílejí na degradaci aragonitové výzdoby. Klíčovým problémem je velké množství deponovaného organického materiálu.

V současné fázi výzkumu probíhá rozhodování mezi uplatněním fyzikální nebo chemické dezinfekční metody a současné testování několika metod. Klíčovým faktorem je mimo účinnosti na cílovou skupinu organismů inertní působení na aragonit. Správně ZAJ jsme navrhli další řešení v podobě odsunu návštěvního chodníku dál od spádnice Opony. Volba vhodné dezinfekční metody spolu s odsunutím návštěvní trasy by měla vést ke stabilizaci biologicko-mineralogických vztahů na útvaru Opona.

Literatura:

- Hanuláková, D. – Marvanová, L. (1994): Závěrečná zpráva o výskytu mikromycet ve Zbrašovských jeskyních a ověření možného fungicidního působení roztoku Boronitu na tyto mikroorganismy. – MS, archiv správa Zbrašovských aragonitových jeskyní. Brno.
- Kunský, J. (1940): Aragonitové jeskyně u Hranic na Moravě. – Časopis turistů, 52, 11-12, 169-170. Praha.
- Kunský, J. (1957): Zbrašovský teplicový kras a jeskyně na severní Moravě. – Sbor. Čs. Spol. Zeměp., 62, 4, 306-351. Praha.
- Marvanová, L. – Kalousková, V. – Scháněl, L. (1991): Napadení, poškození a znečištění aragonitu ve Zbrašovských aragonitových jeskyních. – MS, archiv správa Zbrašovských aragonitových jeskyní. Brno.
- Marvanová, L. – Kalousková, V. – Hanuláková, D. – Scháněl, L. (1992): Microscopic fungi in the Zbrašov aragonite caves. – Čes. mykol., 46, 243-250.
- Novák, M. (1999): Vliv metabolických produktů bakterií a mikromycet na degradaci uhličitánových forem sintrů ve Zbrašovských aragonitových jeskyních. – MS, diplomová práce. Přírodov. fak. UP Olomouc. Olomouc.
- Rozkošný, R. (1992): Zpráva o faunistickém výzkumu Zbrašovských jeskyní (Teplíce nad Bečvou). – MS, archiv správa Zbrašovských aragonitových jeskyní. Brno.