

FENOMÉN ZAKOUŘENÝCH JESKYNÍ: PŘÍČINY, VÝZNAM A NÁPRAVA

Václav Cílek

Ve zpřístupněných jeskyních, zvláště těch, které byly známy delší dobu, se pravidelně setkáváme se zčernalými chodbami, zašedlou krápníkovou výzdobou a stopami očazení stěn. Tento jev je charakteristicky vyvinutý v Demänovské ledové jeskyni nebo ve Sloupsko-šošuvských jeskyních na Moravě. Při sledování průvodcovských výkladů i při diskuzích s odborníky se ukázalo, že na příčiny zčernání stěn jeskyně nepanuje jednotný názor. V tomto článku se proto pokouším řešit následující otázky:

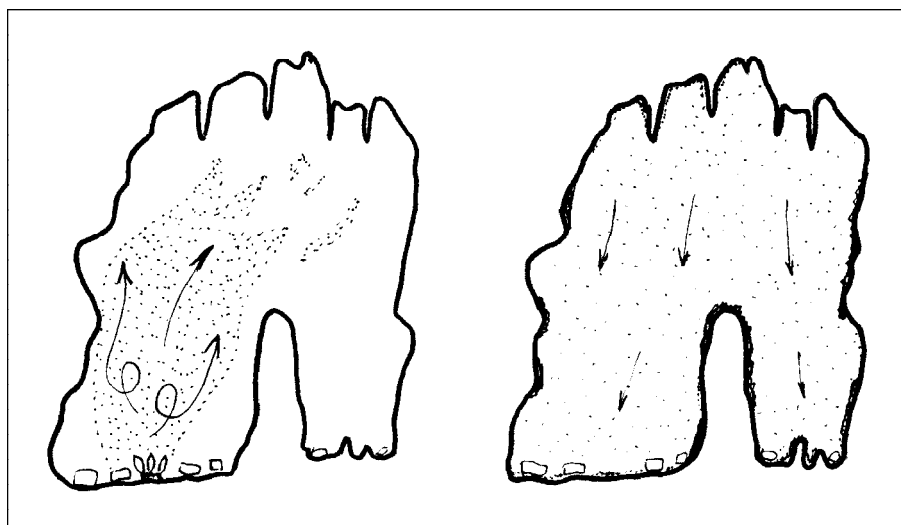
1. Jaké jsou příčiny zčernání jeskynních stěn? V dalším textu bude ukázáno, že se jedná o tři hlavní faktory – zčernání následkem rozdělávání ohňů a svícení loučemi; zčernání následkem rozkladu organických povlaků, zejména sinic a hub; zčernání následkem srážení Mn-oxidů.

2. Ke zčernání jeskyní došlo v řadě případů již v 19. století. Máme na něj pohlížet jako na poškození jeskyně a usilovat o nápravu anebo naopak jako na kulturní jev, který si již zaslouží ochranu?

3. Zčernání jako archeologický pramen. Pokusy ukazují, že je téměř nemožné v jeskyni využívat „standardní“ oheň, protože i velké prostory se rychle zaplní dýmem (Matoušek, 1997). Jak naši předci v jeskyních svítili a topili? Experimenty ukazují, že bude nutné přehodnotit „techniku“ používání ohňů v jeskyních.

val již Soukop (1858), popisující rozdíl mezi dřívější bělostnou výzdobou Sloupsko-šošuvských jeskyní a jejich zašedlým a znečištěným povrchem (stav v polovině 19. století!). Mikrosondový výzkum ukazuje vcelku monotónní složení začernalých povrchů – jedná se o uhlíkové částice (saze) velmi často ve směsi s jílovými minerály a někdy

s drobnými zrnky křemene či dokonce pylovými zrnky. V jeskyni Domica jsou na uhlíkové částice ze dna a boků dómu sorbovány jako na aktivním uhlí zvýšené obsahy jemně dispergovaného opálu (2 – 8 hm. %) a lokálně malá množství (1 – 3 hm. %) Fe-hydroxidů, někdy se stopami fosforečnanů. Organické látky nebyly sledovány. Většinu zčer-



Obr. 1. Na levém obrázku je znázorněn otevřený plamen, který vytváří dým, ten vyplní prostor jeskyně a pomalu si sedá (vpravo) za vzniku zčernalých povrchů.

METODIKA A VÝBĚR LOKALIT

Jako základ slouží soubor 24 vzorků zčernalých jeskynních povrchů, které byly analyzovány standardní metodikou (viz Cílek, 1999) pomocí energiově-disperzního analyzátoru rtg. záření při různých zvětšeních 60 – 2000 x. V rámci tohoto souboru byly analyzovány vzorky z následujících lokalit:

Domica: 10 vzorků z Dómu mystérií, Černošské chýše a přístupové trasy směrem od Samsonových sloupů.

Demänovská ledová jeskyně: průběžně, 6 vzorků z Černé galerie a Jezerní chodby.

Silická lednice: Archeologický dóm, 4 vzorky.

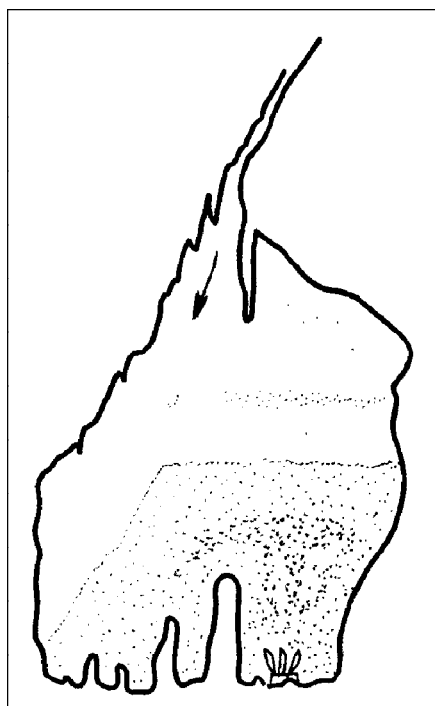
Jeskyně Mažarná ve Velké Fatře: 2 vzorky v zadní části jeskyně u skupiny krápníků.

Sloupsko-šošuvské jeskyně: 2 vzorky z vchodových partií a Trámové síně.

Kromě toho byly obdobnou metodikou již dříve zpracovávány vzorky Mn- a Fe-povlaků z různých jeskynních lokalit (nejméně 15 vzorků). Začernění stěn bylo dále sledováno v historickém podzemí, a to zejména na těchto lokalitách: Kutná Hora (řada štól, 14. – 16. století), Mikulov v Krušných horách (stříbrný důl, datace nápisu na stěně – druhá polovina 16. stol.), Vehlovice – opukové komory (19. století) a na dalších místech.

ZČERNÁNÍ NÁSLEDKEM ROZDĚLÁVÁNÍ OHŇŮ

Jedná se o nejběžnější příčinu vzniku začernalých povrchů. Na „dým loučový“ poukazo-



Obr. 2. V některých místech jeskyně panují složité mikroklimatické podmínky. V tomto případě způsobil vzduch sestupující z pukliny vznik jazyku poměrně čistého vzduchu a levá stěna jeskyně se tak chová jako plocha, která zčernání odpuzuje.

nání jeskynních prostor v Domici, Demänovské ledové jeskyni, Sloupsko-šošuvské jeskyni a téměř jistě i v dalších jeskyních můžeme tedy přičíst nějakému zdroji s otevřeným čadivým ohněm – loučím či pokusům o zapálení ohně. Na zčernalých stěnách se kromě sazí obvykle zachytávají i prašné částice.

Stěny důlních děl ze 14. – 16. století (Kutná Hora, Mikulov v Krušných horách) jsou někdy pokryty sytě černými, pololesklými až krystalicky vyhlížejícími sazovými povlaky. Naproti tomu v jeskyních se nejčastěji setkáváme s tenkými, špinavě zemíťnými povlaky. K jejich vzniku může dojít velmi rychle – někdy stačí jen jediný větší oheň na vcelku rozsáhlé zešednutí jeskynních stěn.

Zčernání často ukazuje na složité mikroklimatické poměry proudění dýmu – některé stěny saze odpuzují. Mírně převislé stěny chodeb bývají méně zaprášeny sesedajícími se sazami. V jiných případech byla pozorována stratifikace dýmu, který téměř nevystupuje, či jinde naopak nesestupuje pod určitou hranici, danou rozhraním s různou teplotou ovzduší. Příímý oheň naproti tomu je takovým zdrojem tepla, že dochází k turbulenci ovzduší a celkovému vyplňování prostor dýmem. Celkově je možné říct, že většina zčernalých ploch není v jeskyních způsobena příímým opálením, ale pomalou sedimentací sazí, které se lépe zachytávají na „lapačích prachu“, jakými jsou navlhle či mírně ukloněné stěny. Příímý kontakt s ohněm se rovněž projevuje lokálním zčervenáním vápenců (anebo i jiných hornin, jak je patrné např. na středověkých hradech).

ZČERNÁNÍ NÁSLEDKEM ROZKLADU ORGANICKÝCH POVLAKŮ

V málo známém článku upozornil B. Fott (1944) na tmavé pruhy na skalách, které vypadají jako rozlitý inkoust. Podle provedeného mikrobiologického výzkumu se tak např. v Prokopském údolí u Prahy uplatňují sinice *Lyngbya sp.*, *Calothrix parietina*, *Gloeocapsa alpina*. Slizovité povlaky sinic vysychají a stáří černají. Jsou dobře patrné zejména na světlých skalách. Známe je ze všech krasových oblastí, kde jsou tak běžné, že jim prakticky nevěnujeme pozornost. Podobné slizovité povlaky se pravidelně vyskytují poblíž jeskynních vchodů a místy i pod některými jeskynnými komínky. Na stěnách ve vlhkém prostředí jeskyně se lépe usazuje prach přinášející návštěvníky. Při výzkumu pomocí mikroskopy byly poměrně často na speleotémách nalézána mikroskopická vlákna organického původu anebo pylová zrna. V prostředí zpřístupněných jeskyní, kde je vyšší prašnost a zejména přítomnost osvětlení, je existence zejména nižších rostlin běžná. Slizovité siničné povlaky se často objevují ve vápencových lomech, kde představují první stupeň biologické kolonizace.

V roce 1998 jsem odebíral v Silické lednici ve Slovenském krasu orientační vzorky na mineralogický výzkum. Ve stropu Archeologického domu byly patrná čtyři tmavá torza kruhů o průměru asi 4 – 6 m a šířce kolem 40 – 60 cm. Podobná struktura se vyskytovala i v boku domu. Při ohledání tohoto místa jsem našel recentní, částečně již zčernalé podhoubí, které se směrem k vnějšímu okraji kruhu měnilo na tenký, zprohýbaný odlupující se organický povlak, který byl částečně karbonatizován (určen byl pouze kalcit, difraktograf Philips). Podhoubí připomínalo známou dřevomorku, ale může se jednat o řadu jiných hub (viz foto na str. 161 in Herink, 1941), např. Bělochorož dūlní (*Leptoporis fodinarum*, názvosloví citováno podle článku). Vodní kapky srážející se na stěnách či stropu jeskyně mohou u dutin, které jsou spojeny s povrchem nebo nehluboko pod ním, sloužit jako zdroj vody pro houby, které nepotřebují denní světlo a jsou schopny vegetovat v prostředí obsahujícím minimum splaveného humusu. Po odumření podhoubí mohou vznikat tmavá místa, nebo jako v Silické lednici tmavé kruhy, které se postupnou kalcifikací mění na šedavé až bílé povlaky.

ZČERNÁNÍ NÁSLEDKEM MANGANOVÝCH POVLAKŮ

Fosilní i recentní černé manganové povlaky jsou v jeskyních poměrně běžné. Bývají vázány na pukliny, které víceméně přímo komunikují s povrchem. Pravděpodobným zdrojem manganu jsou jak samotné vápence, tak listy stromů, které mangan přijímají místo vápníku. Mangan má však jen omezené biochemické využití, a tak jsou jeho přebytky ukládány do listů a organismus se jej zbavuje opadem. Hodnoty Mn v atmosférické depozici podkorunových srážek (throughfall) jsou vždy značně vyšší než u srážek na volné ploše (viz Dobešová *et al.*, 2001; příklady pro lesní partie Českého krasu). Při biogeochemickém cyklu manganu dochází ke snadnějšímu převádění manganu do roztoku než při běžném zvětrávání.

Recentní manganové povlaky jsou téměř vždy doprovázeny rezavými či hnědými povlaky

železitých oxo-hydroxidů. Obvykle se dají snadno rozeznat od předešlých dvou případů díky:

1. barevné kombinaci černých (mangan) a rudohnědých (železo) partií,
2. výskytu v podobě proudů, laloků, zátek, ale málokdy souvislejších, homogenních ploch,
3. vazbě na obvykle vlhké pukliny směřující k povrchu.

Mineralogický výzkum těchto nátek zatím nebyl detailně prováděn. Jedná se o analyticky poměrně složitý problém stárnoucích směsí původně amorfních nebo strukturně i chemicky špatně definovaných minerálů. V Krásohorské jeskyni byly zjištěny asbolanové „sintry“, v Mnichově jeskyni u Moldavy byl nalezen kontaktní birnessit, v koněpruské oblasti byly objeveny fosilní povlaky todorokitu (veškerá určení K. Melka, difraktograf Philips).

ZČERNÁNÍ JAKO ARCHEOLOGICKÝ PRAMEN

Petránek a Pouba (1951) se snažili využít tmavých zón v krápnících k určení jednak rychlosti růstu krápníků, jednak šířky tmavé zóny podávající určitou informaci o délce trvání jeskynního sídliště. Novější předběžné výzkumy (Gradišnički *et al.*, 2001) však ukazují, že výrazná tmavá zóna v domických krápnících je starší než bukovohorské osídlení a pravděpodobně pochází z mladého paleolitu. V jeskyni Mažarná ve Velké Fatře jsem pilou rozřezal velký ležící stalagmit a našel jsem v něm pět výraznějších tmavých zón tvořených sazemi. Zóny jsou velmi úzké, ukazují na velmi krátkodobé, opakované osídlení jeskyně, což je v souladu s výsledky archeologického výzkumu (Bárta, 1958). Důležité je, že poznatek o vícenásobném pravěkému využívání jeskyně byl v tomto případě zjištěn velmi rychle rozřiznutím krápníku, a tím bez většího zásahu do jeskynních sedimentů. V této souvislosti stojí za to uvést, že jeskyně mohla mít kulturní charakter. Z nepublikované fotografické dokumentace M. Šejna (ústní sdělení 1998) vyplývá, že o letním slunovratu Slunce zapadá v ose hlavního průhledu z jeskyně.

Matoušek (1997) prováděl pokusy s rozdělováním ohňů v malých jeskyních Českého krasu. Ukázalo se, že jeskynní prostory jsou velmi rychle vyplněny dýmem a tedy neobyvatelné. Na základě těchto pokusů jsem dále pokračoval v experimentech, které zde přehledně uvádím:

1. Pokus v Býčí skále. V dómu s archeologickými nálezy byl zapálen malý oheň z dobře proschlých, tenkých smrkových větvíček. Již po pěti minutách byl téměř celý prostor vyplněn dýmem a stal se neobyvatelným.

2. Další pokusy byly prováděny v historickém podzemí, aby nedošlo k poškození jeskyně. „Standardní“ táborový oheň menších rozměrů byl zapálen v podzemních pískovcových lomech u Nového Boru. Mohutné chodby mají průměrnou výšku kolem 6 m, šířku okolo 3,5 – 4 m a celý labyrint je několik set metrů dlouhý. Objem dutin je mnohonásobně větší než u většiny speleoarcheologických lokalit. Během půl hodiny se prostor do vzdálenosti několika desítek metrů od ohniště zcela vyplnil dýmem. Ohniště poté spotřebovalo část kyslíku a ocitlo se v „jezeře“ s vyšším množstvím oxidu uhličitého. Oheň byl přidušen, začal doutnat. Během dalších hodin byl v podstatě celý objem podzemního lomu vyplněn dýmem do té míry, že pobyt v podzemí se stal velmi obtížný. Prostory zůstala

zadýmená během dalších 30 hodin, kdy se velmi pozvolně vracela do normálního stavu.

3. V podzemí německého polního letiště v Praze-Šárce byl zapálen oheň, na který byly využity noviny a několik klacíků. Podzemní chodby jsou celkem asi 600 m dlouhé, 2,4 m vysoké a široké kolem 3 m. Dým homogenně vyplnil celý rozsah chodeb a teprve po 16 hodinách byl možný pohyb v podzemí bez pálení očí. Dým byl patrný ještě po dvou dnech. V obou výše uvedených případech ležel vchod nad ohništěm a podzemí s povrchem komunikovalo jen menším otvorem.

Ve světle těchto jednoduchých pokusů je nutné odmítnout představu, že někde uvnitř jeskyně plápolá oheň, kolem kterého se tísňí pravěcí lidé. Už samotný dým loučí může ztížit pobyt v prostoru i středně velké jeskyně. Je nutné hledat nějaké jiné vysvětlení pro většinu jeskynních ohňů, která nejsou poblíž vchodu. V úvahu např. připadá použití žhavých uhlíků, dřevěného uhlí nebo bezdýmných materiálů.

ZČERNÁNÍ JAKO KULTURNÍ FENOMÉN

Jak stará stopa po pobytu člověka v jeskyni je již památkou? Pravděpodobně by většina lidí uznala, že nápis či úprava jeskyně pocházející z 2. světové války dnes již památkou je. Dále by bylo možné uznat i některé objevitelské nápisy prvních expedic v 50. a 60. letech a výjimečně i mladší nápisy. Jak se však máme zachovat k zčernání kdysi světlých jeskynních prostor prvními výzkumníky a návštěvníky v 19. století?

Odpověď musí být individuální. Demänovská jeskyně svobody má díky tomu, že byla objevena a zpřístupněna později, značně odlišný ráz od Demänovské ledové jeskyně, byť jsou součástí jednoho podobného systému. S určitou nadsázkou je možné říct, že Ledová jeskyně je do určité míry kulturním fenoménem, protože zčernání stěn, množství nápisů a velkolepá historie jeskyně (po dobu dvou století se jednalo o nejslavnější slovenskou jeskyni; Droppa, 1957) z ní činí důležitou součást slovenských dějin. Naproti tomu blízká Jeskyně svobody zůstává nádherným přírodním fenoménem. V Ledové jeskyni jdeme spíš ve stopách dřívějších slavných návštěvníků – M. Bela, M. Hodží, A. Sládkoviče či S. Chalupky, zatímco v Jeskyni svobody se ocitáme v „království přírody“. Vyplývá z toho, že v Ledové jeskyni je vhodné zčernání stěn spíš chránit, zatímco v Jeskyni svobody spíš odstraňovat. Podobně je nutné zvažovat možnou očistu dalších slovenských jeskyní.

Je tady však ještě jeden závažný faktor. Na Slovensku tvoří jeskyně na rozdíl od Čech součást národní identity. Pokud se v Čechách zeptáme na nějaké národní místo, odpověď většinou zní ve smyslu hora Říp, Pražský hrad nebo harmonická kulturní krajina. Málokterý Slovák však na podobnou otázku připomene Bratislavský hrad, ale mnoho pojmenuje Kriváň či obecně slovenské hory, řeky a jeskyně. V českých zemích jsou podobně jako ve většině evropských zemí jeskyně významným přírodním bohatstvím, ale na Slovensku (ale zřejmě také v některých částech Řecka či Francie) často přesahují hranice přírodního jevu a dotýkají se tak mocných a neurčitých pojmů jako je národ, vlast či posvátno. Právě díky tomuto přesahu je při úpravách slovenských jeskyní nutné zvažovat obě kritéria – přírodní i kulturní.

NÁPRAVA

V roce 1998 natočila Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky krátký dokumentární film „Očista jeskyně“ (kamera J. Flek). Film ukazuje, že pomocí trysky s tlakovou vodou je možné některá místa jeskyně uvést do překvapivě čistého stavu. Tato metoda se běžně používá při očištění fasád domů, např. pro odstranění sazí a prachu z porézního travertinu z Dreveníka. Výsledky jsou ve většině případů vynikající. Metoda není destruktivní, i když při ní dochází k uvolnění již uvolněných partií kamene. Tlaková voda díky rozstříku čistí i „za rohem“. Mohou při ní být poškozeny některé poloplastické sintry, ale tlak vody v trysce je regulovatelný. V některých případech je zčernalý povrch již překrytý novým sintrem, černá barva dosud prosvítá, ale dá se očekávat, že v příštích desetiletích dojde k určité samovolné očištění, překrytí sintrových plev. Ostatní metody – drhnutí kar-

táčem a pod. – jsou obvykle více pracné, méně účinné a hrozí větší nebezpečí mechanického poškození. Drobné zčernalé plošky je možné očistit štětečkem namáčeným do kyseliny chlorovodíkové, ale to je spíš výjimečné a maloplošné opatření.

ZÁVĚRY

1. Zčernání stěn jeskyně vzniká třemi základními procesy – následkem svícení loučemi a spalování dřeva, rozkladem organických povlaků a následkem srážení Mn-oxidů.

2. Tmavé zóny v krápnících či sintrech mohou indikovat pravěké osídlení, aniž by bylo nutné kopat sondy. Výplním v jeskyni s tmavými přírůstkovými zónami je nutné věnovat zvláštní ochranu.

3. Zčernání jeskyně představuje kulturní fenomén, který by měl být v některých případech

chráněn (zčernání z 19. století či starší), jinde je však žádoucí návrat do původního, přirozeného stavu.

4. Nejlepší známý způsob čištění zčernalých stěn jeskyně spočívá ve využití trysky s tlakovou vodou a možným nastavením příkonu.

5. Pokusy bylo zjištěno, že i drobný oheň záhy vyplní jeskyni dýmem. Je nutné uvažovat o nějakých speciálních technikách svícení a rozdělování ohně v jeskyních – např. pomocí dřevěného uhlí.

Poděkování: Výzkum by nebyl možný bez vstřícného přístupu pracovníků Správy slovenských jeskyní, jmenovitě J. Hlaváče a P. Bellu a dále správců jeskyní a pracovníků Správy CHKO Slovenský kras, zejména M. Hliváka. Jim všem jsem velmi zavázán a doufám, že tento článek přispěje k diferencované ochraně podzemního bohatství. Výzkum je prováděn v rámci akademického projektu CEZ Z3-013-912.

LITERATURA

- BÁRTA, J. (1958). Jaskyňa Mažarná v krasovom území Velkej Fatry. *Slovenská archeológia*, 6, 2, 245–256.
- CÍLEK, V. (1999). Mineralogické výzkumy v jeskyni Domica. *Aragonit*, 4, 9–11.
- DOBEŠOVÁ, I. – CÍLEK, V. – SKŘIVAN, P. – BURIAN, M. (2001). Chemismus atmosférických srážek v oblasti Českého krasu. *Český kras*, 27, 40–46. Beroun.
- DROPPA, A. (1957). Demänovské jaskyne. Str. 11–16. SAV. Bratislava.
- FOTT, B. (1944). Inkoustové pruhy na skalách. *Chvilky v přírodě*, 3, 168–169. Brno.
- GRADZIŃSKI, M. – HERCMAN, H. – NOWICKI, T. – BELLA P. (2001). Dark coloured laminae within speleothems as an indicator of the prehistoric man activity: Case study from Domica Cave (Slovakia), preliminary results. *Proceedings, 13th International Congress of Speleology, Brasilia*, CD-ROM, record 206-S1.
- HERINK, J. A. (1941). Život v hlubinách země. *Chvilky v přírodě*, 1, 151–164. Brno.
- MATOUŠEK, V. (1999). Mikroklimatické poměry ve vybraných jeskyních Českého krasu s přihlédnutím k možnostem využívání těchto jeskyní v minulosti. In Cílek, V. (ed.): *Archeologie a jeskyně*. Knihovna ČSS, 29, 51–110. Praha.
- PETRÁNEK, J. – POUBA, Z. (1951). Pokus o datování vývoje jeskyně Domica na základě studia tmavých zón v krápnících a sintru. *Sborník ÚÚG*, 18, 245–272. Praha.
- SOUKOP, J. N. (1858). *Macocha a její okolí*. 52 stran. Nákladem vlastním. Brno.

SUMMARY

The origin of black surfaces generally attributed to soot particles in caves is often a matter of dispute. 24 samples of black surfaces were collected in several Slovakian caves in order to establish their origin (EDAX, diffractograph Philips). There are three basic mechanisms of black surface formation:

1. **open fires which create soot particles that slowly (sometimes within 2 days) sediment down. The black surfaces are then formed by mixture of carbon and dust particles (clay minerals, quartz, pollen grains).**

2. **organic coatings. The blue-green algae and mycelium of fungi imperfecti often form stains, tongues or even irregular circles that tend to die out and become black. In some cases the uneven drying organic coatings peel out and they are calcified.**

3. **Mn-coatings are common but they are usually associated with rusty Fe-coatings under the open fissures leading to the surface. Manganese oxides are often product of tree metabolism. Several minerals were identified – asbolane, todorokite and birnessite.**

The black cave sometimes represent cultural phenomenon of romantic visits of caves in 19th century or earlier and one should be always aware of their possible historical and cultural significance. However in most cases they are just "dirt" and should be removed. The water jet has provided the best results.

The experiments with open fires in caves revealed one important phenomenon – even small, ordinary fire will fill very large spaces with smoke that may slowly settle down during next one or two days. One should abandon the idea of prehistoric men sitting in the interior of cave around a fire, instead we should look out for other technological means such as use of charcoal or non-smoking materials.