

Zvláštnosti prostredia v Ochtinskej aragonitovej jaskyni

Milan Bobro¹, Jozef Hančulák¹ a Daniel Kupka¹

The Environment Specialities in the Ochtinska Aragonite Cave

The Ochtinska Aragonite Cave became well-known due to its unique decoration created by fruticose-like aggregates of crystalline aragonite. The cave is located in the cadastral territory of the village of Ochtiná on the west side of the Hrádok Mt. that belongs to the Slovenské Rudohorie Mts. During the opening season the cave is frequented. In the last period, an increased amount of CO₂ has been detected in air of the Ochtinska aragonite cave. The cave environment is created by caverns - relicts after mouldered ankerites and siderites in surroundings of Palaeozoic slates, limestones and dolomites. The residual ochre loams were created by weathering of carbonates. Probably, these processes held up till now and this fact may also result in the liberation of CO₂. From the viewpoint of the enhanced CO₂ content, the earths and waters occurred in the cave were found as its possible source. An enhanced CO₂ content was also measured in old air-proof closed mine workings, with a possibility of rot processes of old organic mine working components. Probably, has the rich attendance of the cave during the season the highest influence on the enhanced CO₂ content. The measurements of CO₂ content have pointed to its different values in various periods. In the period without visits, the CO₂ content in the cave exceeds that in the external surrounding air by 3-4 times, i. e. 310 – 330 ppm. In the period of visits, it is 8 – 10 times. Thus, the CO₂ content in the cave depends on the number of visits. Up till now, no influence of the CO₂ content variation on the unique karstic forms and the health status of the cave staff was not proven.

Key words: carbon dioxide, cave, concentration, incrustation effect of water, residual ochre loams.

Úvod

Jaskyňa sa nachádza na západnom svahu vrchu Hrádok (809,3 m n. m.), v katastrálnom území obce Ochtiná. Po geologickej stránke je oblasť budovaná paleozoickými jednotkami gemerika, veporika a silicika. Podľa starších prác tu poznáme dva typy zrudnenia, a to žilné sideritové a metasomatické ankeritové. Karbonáty boli na povrchu zmenené na okre – železné klobúky, ktoré boli v minulosti predmetom ťažby. Zvetrávaním ankeritov a sideritov v matečných horninách – bridliciach, vápencoch a dolomitoch, sa vytvorili priestory, kde boli zvláštnou formou vytvorené kríčkovité agregáty kryštalického aragonitu, tzv. železného kvetu. Rast týchto kríčkovitých útvarov nie je ovplyvnený gravitáciou a tento jav ešte nie je ani dnes uspokojivo vysvetlený.

Zvláštne je postavenie jaskyne vo vzťahu k výskytu zvýšeného obsahu CO₂ v jej ovzduší. Snaha poznania vplyvu CO₂ na jaskynnú výzdobu a na súčasnú prevádzku jaskyne, viedla Správu slovenských jaskýň v Liptovskom Mikuláši k vytvoreniu výskumu jaskynného prostredia z hľadiska jeho výskytu. Výsledky práce, ktorá bola urobená Ústavom geotechniky v etape rokov 1998-2000 zmapovaním pohybu CO₂ v určitých časových úsekoch, je prezentovaná v tomto článku. Okrem kontinuálnych meraní CO₂ boli odobrané a analyzované vzorky zemín a vody na vybrané prvky. Pohyb CO₂ bol sledovaný aj vo vode, ktorú pokladáme za genetický základ tvorby aragonitovej výzdoby, s následným výskytom CO₂.

Metodika

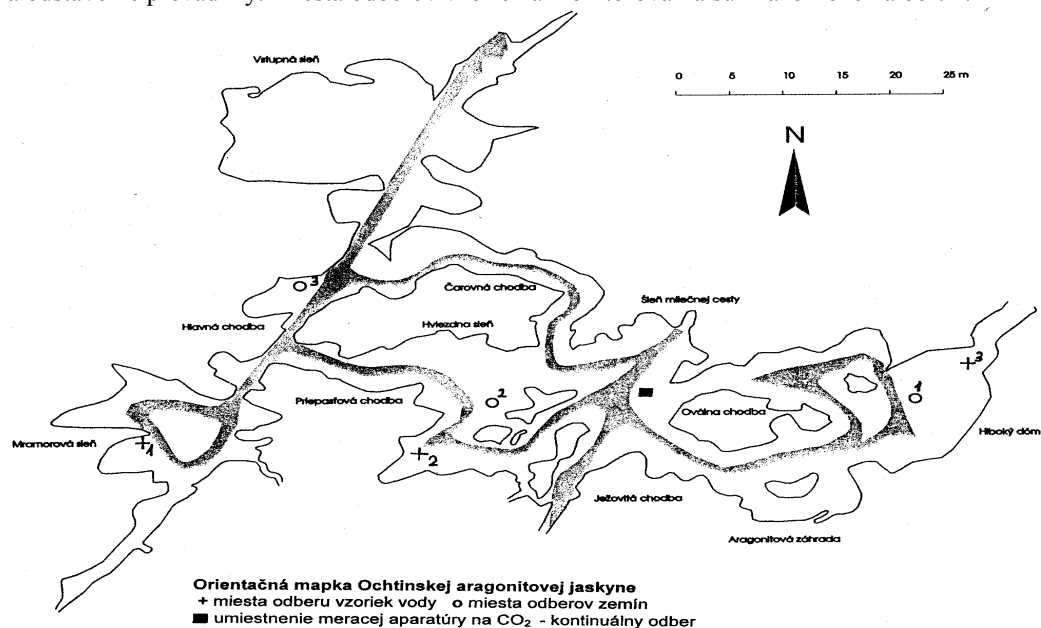
Stanovenie množstva CO₂ v jaskynných priestoroch malo svoj experimentálny vývoj. V r.1998 bol odber urobený v období návštev, do polyetylénových dvojplastikových vriec s hliníkovou fóliou. Získaná vzorka bola uzavretá a premiestnená do laboratória na priame určenie CO₂ na Orsetovom prístroji v laboratóriách ŽB Nižná Slaná. V roku 2000 boli urobené tri fázy merania tak, že bolo zachytené obdobie kľudu, obdobie s veľkým a malým počtom návštev. Táto séria meraní bola urobená kontinuálnou odberovou monitorovacou sondou, ktorú zabezpečoval nedisperzný infračervený (NDIR) analyzátor CO₂, typu Guardian plus Edinburgh Sensors Ltd. Údaje o koncentrácii CO₂ v ovzduší jaskyne boli vo zvolených časových intervaloch zaznamenávané aparátom Datalogger Extech a vyhodnocované grafickou formou.

Experimentálne práce

Prvá séria odberov ovzdušia v r. 1998 bola urobená v Sieni Mliečnej cesty (Bobro et al.,1998). Odber bol realizovaný nasávaním ovzdušia do popísaných vzorkovník z dýchacej zóny, t.j. z výškovej hladiny od počvy 1,30-1,50 m. Druhá séria meraní bola urobená v apríli, júni a septembri 2000 (Bobro et al., 2000). Ovzdušie bolo do analyzátorov nasávané z hladiny 10 cm nad počvou. Realizované boli aj merania v určitých vertikálnych hladinách od počvy, aby bolo možné pozorovať pohyb CO₂ vo zvolených výškových hladinách vzhľadom

¹ RNDr. Milan Bobro, PhD., Ing. Jozef Hančulák, PhD., MVDr. Daniel Kupka, PhD., Ústav geotechniky SAV, Watsonova 45, 043 53 Košice
(Recenzované a revidované verzia dodaná 3.5.2003)

na jeho hmotnosť, ktorá je vyššia ako má vzduch. Tieto merania boli urobené v 15 minútových intervaloch. Posledné kontinuálne meranie bolo urobené v čase, keď návštevnosť bola nízka a jaskyňa sa pripravovala na odstavenie prevádzky. Miesta odberov vzoriek a monitorovania sú znázornené na obr. 1.



Obr.1. Orientačná mapa Ochtinskej aragonitovej jaskyne.
 Fig.1. The map of the Ochtinska aragonite cave.

Výsledky

Už úvodné merania (jún 1998) zistili v priestoroch jaskyne zvýšený obsah CO₂. V tabuľke 1 uvádzame získané výsledky z obidvoch sérií meraní. Stav obsahu CO₂ v r. 1998 je vybraný z hodnôt poľudňajšieho času (12.00-13.00 hod.), ktoré sú spriemerované. Druhá séria meraní je zachytená v grafickom zobrazení, kde sú zachytené aj vysoké hodnoty CO₂, ktoré boli v kulminujúcej polohe len krátky čas. Počet návštevníkov je zobrazený na obr. 2 a celkový počet návštev je v tabuľke 1. V tabuľke 2 uvádzame hodnoty mikroklimatických faktorov počas odberov vzoriek a merania.

Tab.1. Priemerné zistené hodnoty CO₂ v aragonitovej jaskyni a počet návštevníkov.
 Tab.1. The average values of CO₂ concentration detected in the aragonite cave and the number of visitors.

Dátum odberu	Obsah CO ₂ [%]	Obsah CO ₂ [ppm]	Obsah CO ₂ [mg.m ⁻³]	Počet návštevníkov
26. 6. 1998	0,2540	2540	4567	287
27. 6. 1998	0,2560	2560	4603	272
3. 4. 2000	0,0940	940	1690	bez návštevy
4. 4. 2000	0,0885	885	1591	bez návštevy
5. 4. 2000	0,0875	875	1573	bez návštevy
5. 6. 2000	0,1720	1720	3092	voľný deň
6. 6. 2000	0,2260	2260	4063	307
7. 6. 2000	0,2440	2440	4387	255
8. 6. 2000	0,2510	2510	4312	225
26. 9. 2000	0,2470	2470	4441	13
27. 9. 2000	0,2395	2395	4306	18
28. 9. 2000	0,2330	2330	4189	7

V priestoroch jaskyne sa vyskytuje zvýšený obsah CO₂. Vo vonkajšom ovzduší sa nachádza v množstvách od 0,031 do 0,036%. Kulminácia obsahu CO₂ vo vonkajšom ovzduší je závislá na metabolizme zeleného krytu a jeho obsahy v poľudňajších, večerných a v ranných hodinách sa pohybujú po sínusoide (obr. 3). V jaskyni, v období kľudu a bez návštev, bol obsah CO₂ oproti vonkajšiemu ovzdušiu prekročený približne štvornásobne (obr. 2a). V období návštev je jeho obsah prekračovaný 8 až 10-krát (obr. 2b). Tento úkaz je závislý na počte návštevníkov, čo je výrazné v predloženom grafickom zobrazení. Podzemné priestory v blízkosti OAJ majú aj na iných miestach zvýšený obsah CO₂. Toto bolo overené vtedy, keď po ukončení meraní bol monitor prenesený do zatvorenej štólne Kapusta, kde boli hodnoty priemerne okolo 2200 ppm vo výške 1,5 m nad počvou. Táto

skutočnosť nás upozorňuje, že výskyt CO₂ nie je závislý len na počte návštevníkov, ale aj na iných zdrojoch. Za takéto môžeme považovať procesy, ktoré prebiehajú neustále aj v súčasnosti v starých priestoroch bývalých štôlní. Sú to hnilobné a tlejúce procesy starých organických súčastí banského prostredia a na tvorbe CO₂ má určitý podiel aj samotný masív, kde môže stále dochádzať k rozkladu karbonátov za vzniku CO₂. V súčasnosti sú staré banské priestory štôlnie Kapusta od jaskynných priestorov nepriedušne uzatvorené banskými protipožiarnymi prepážkami a nie sú dodatočné informácie, ako tieto opatrenia ovplyvnili množstvo CO₂ v jaskyni.

Tab.2. Dátum merania a mikroklimatické faktory v Sieni mliečnej dráhy.
Tab.2. The date of measurement and microclimatic factor in the Hall of Milky Way.

Dátum merania	mikroklimatické podmienky o 12.00 hod.			
	prúdenie [m.s ⁻²]	teplota [°C]	relat. vlh. [%]	rosný bod [°C]
26.jún 1998	0,08	8,7	97,1	8,6
27.jún 1998	0,14	8,9	97,3	8,3
3.apríl 2000	0,08	8,5	99,8	8,4
4.apríl 2000	0,06	8,6	99,4	8,5
5.apríl 2000	0,08	8,5	99,5	8,4
5.jún 2000	0,06	8,6	99,8	8,5
6.jún 2000	0,06	8,7	99,7	8,5
7.jún 2000	0,07	8,3	99,4	8,2
8.jún 2000	0,08	8,6	99,5	8,5
9.jún 2000	0,08	8,7	98,9	8,6
26.sept. 2000	0,06	9,3	97,3	8,4
27.sept. 2000	0,07	9,4	96,8	8,4
28.sept. 2000	0,06	9,6	95,9	8,3

Urobená bola vertikálna sonda, ktorá mala overiť výskyt CO₂ na určitých hladinách. Odbery boli urobené v 15 minútových intervaloch a na konkrétnych hladinách boli zistené nasledovné hodnoty. Na najnižšej hladine 0,05 m nad počvou bolo v čase pokusu namerané 2680 ppm. Vo výške 1,5 m to bolo 2245 ppm a vo výške 3 m 1867 ppm. Z tohto pokusu je možné pekne vidieť fyzikálny charakter CO₂. Jeho molekulová váha je 1,798 kg.m⁻³. Je ťažší ako vzduch a jeho väčšia koncentrácia sa vyskytuje na nižších miestach pri počve. Neistý pôvod CO₂ nás viedol k štúdiu pohybu a výskytu CO₂ v jaskynných vodách a zeminách.

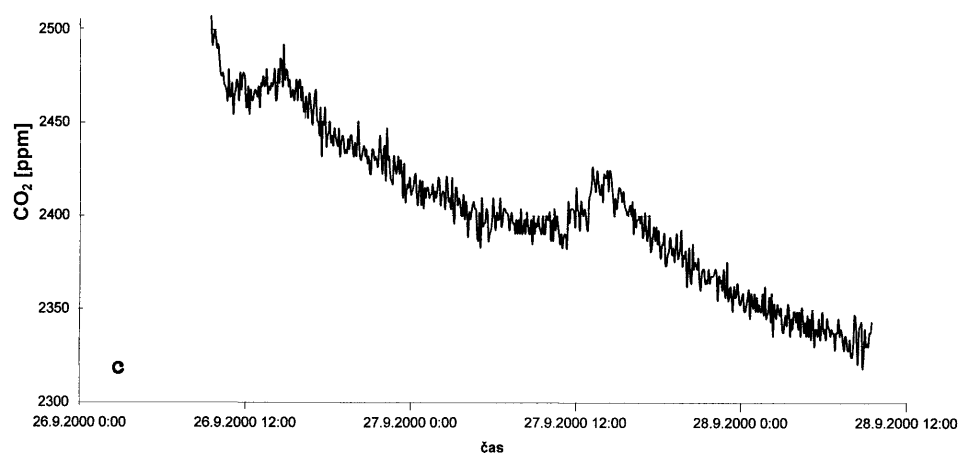
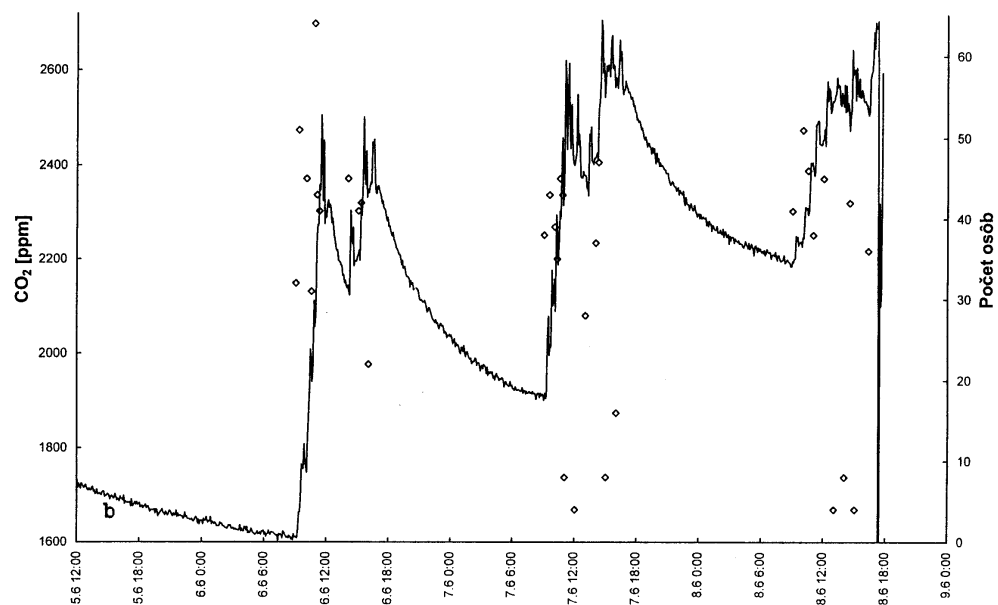
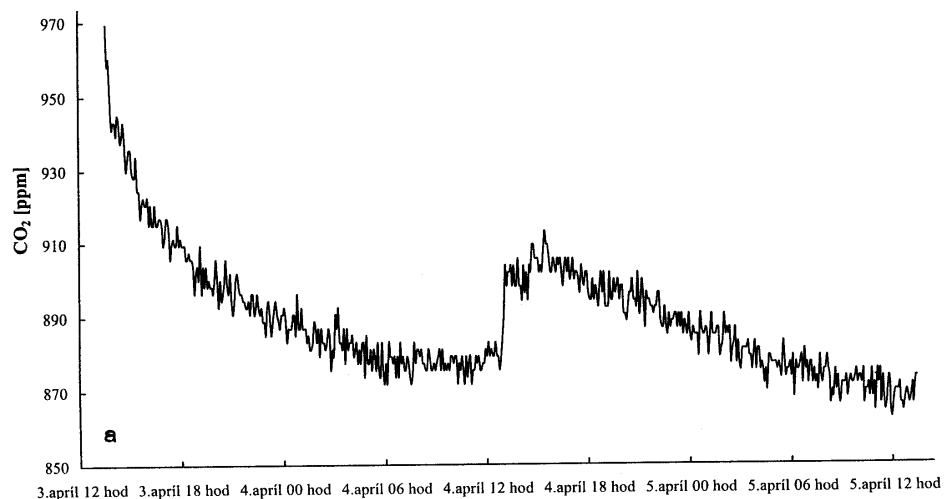
Zeminy v Ochtinskej aragonitovej jaskyni

V zeminách jaskyne nachádzame obsah základných prvkov približne v takých hodnotách, ako sú uvádzané hodnoty z ankeritových okrov z bývalého geologického prieskumu (Slávik et al., 1967). Výsledky analýzy zemín na vybrané prvky a obsah CO₂ je uvedený v tabuľke č. 3. Obsah železa sa pohybuje od 12,5 do 23,2%. Z prieskumných prác je to do 25%. Obsah Mn je uvádzaný 1,5-2,2%. V našich analýzach je to 1,85-2,8%. Ostatné ukazovatele, ako MgO, CaO, majú tiež približne tie isté hodnoty, ako boli získané pri prieskume. Na základe tohto nie je možné pôvod jaskynných zemín označiť jednoznačne za okry, ktoré majú pôvod vo zvetralinových produktoch metasomatických ankeritov. Môžeme ich nazvať jaskynné zeminy, ktoré majú reziduálny charakter (Rajman et al., 1990). Obsahy prvkov v jaskynných zeminách sme posudzovali v zmysle noriem (Metodický pokyn MŽP SR, 1998). Vyššie obsahy, ako prípustné, vykazuje Cu, Co, Ni, Sb a Hg. Tieto prvky predstavujú reziduá premien a zvetrávania pôvodných minerálov a hornín. Nepredstavujú žiadne nebezpečie pre životné prostredie, lebo zostávajú v pôvodných sedimentoch bez ďalších depozícií. Takéto zeminy tvorili podstatnú časť tzv. železných klobúkov v povrchových podmienkach, ako je to aj v predmetnom území, kde vznikali na miestach východov sideritových a ankeritových žíl. Pri vhodných podmienkach sa hromadili aj v jaskynných priestoroch, kde boli deponované a redeponované.

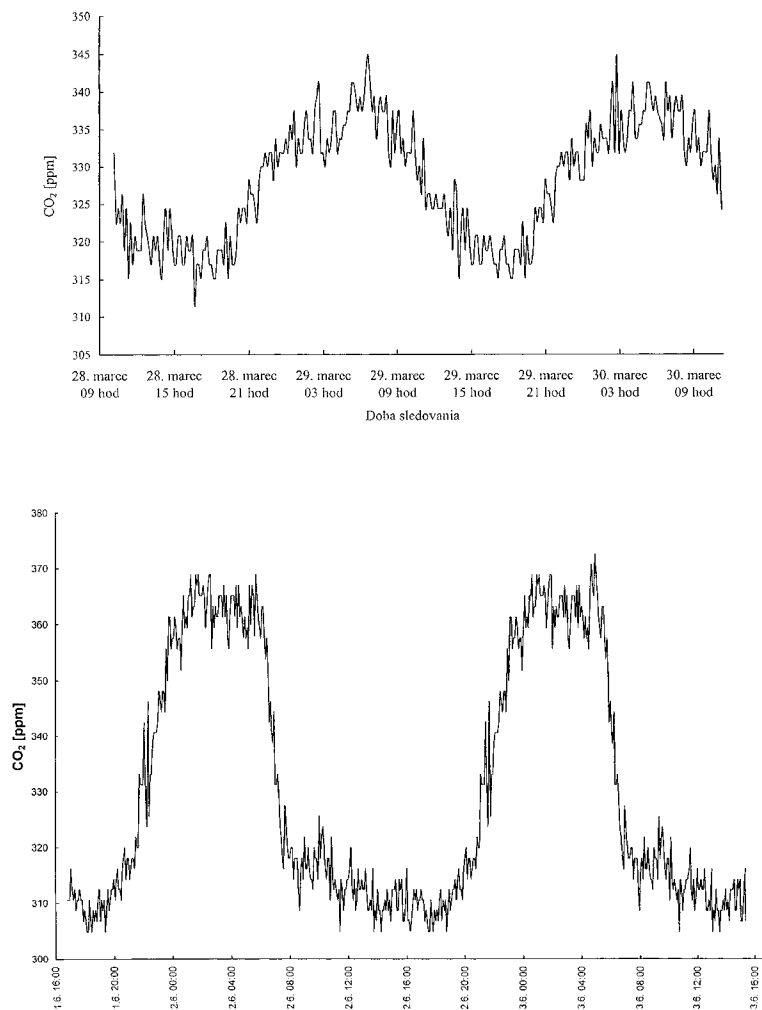
Tab.3. Chemická analýza zemín.
Tab.3. Chemical analyses of soils.

Miesto odberu	Fe	Ca	Mg	Al	Mn	Cu	Zn	Co
	[%]					[mg.kg ⁻¹ (ppm)]		
Hlboký dóm(1)	4,02	1,26	0,79	4,65	2,82	470	130	37,4
Hviezdna sieň (2)	12,5	1,12	0,97	6,90	1,85	220	130	13,2
Vstupná chodba (3)	23,2	0,34	0,88	1,85	2,67	60	80	4,7
TV – cieľová hodnota	-	-	-	-	-	36	140	9

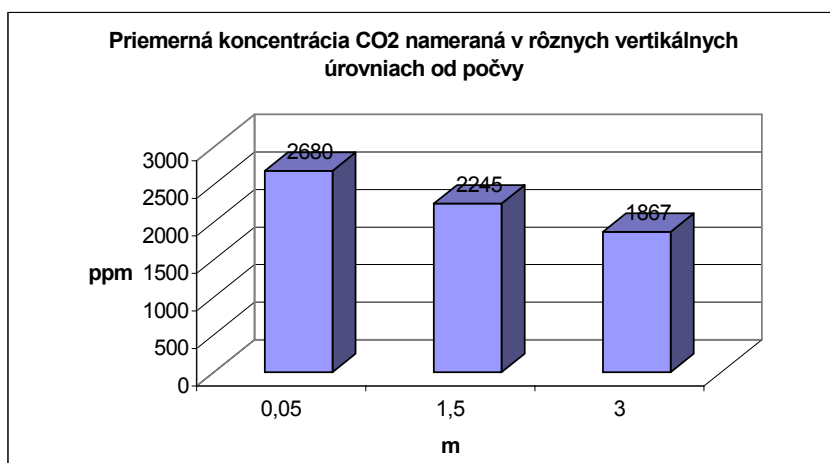
Miesto odberu	Ni	Pb	Sb	Cd	Cr	As	Hg	Voľný CO ₂	HCO ₃ ⁻
	[mg.kg ⁻¹ (ppm)]							[mg.l ⁻¹]	
Hlboký dóm(1)	756	29	4,7	1,6	30,7	4,9	2,5	26,7	122,6
Hviezdna sieň (2)	182	20	5,9	2,2	70,0	5,0	2,7	37,8	176,5
Vstupná chodba (3)	48	20	8,5	1,6	28,0	4,8	6,6	38,4	142,6
TV – cieľová hodnota	35	85	3	8	100	29	0,3	-	-



Obr.2. Koncentrácia oxidu uhličitého počas meraných intervalov v druhej sérii (a – bez návštev, b – návštevy, c – malá intenzita návštev).
 Fig.2. The concentration of carbon dioxide during measured intervals in the second series (a - without visits, b - with visits, c - low intensity of visits).



Obr.3. Koncentrácie CO₂ vo vonkajšom prostredí.
Fig.3. The concentrations of carbon dioxide in external surrounding air.



Obr.4. Priemerná koncentrácia CO₂ nameraná v rôznych vertikálnych úrovniach od počvy.
Fig.4. The average concentration of CO₂ measured in various vertical levels from the footwall.

CO₂ vo vode

Oxid uhličitý je vo vode rozpustený v molekulovej forme ako voľne hydratovaný CO₂. Necelé 1% reaguje s vodou na vznik nedisociovanú H₂CO₃. Koncentrácia rozpusteného CO₂ vo vode je úmerná jeho parciálnemu

tlaku v okolitom vzduchu. Atmosférický vzduch obsahuje 0,03 objemových percent CO_2 , čo zodpovedá jeho parciálnemu tlaku $3 \cdot 10^{-5}$ MPa. Pri týchto podmienkach sa ho pri teplote 10°C rozpustí v destilovanej vode asi $0,7\text{mg.l}^{-1}$.

Rozpustený oxid uhličitý sa nazýva voľný. Pod týmto názvom sa rozumie súčet koncentrácií voľne hydratovaného CO_2 a H_2CO_3 . Iónové formy oxidu uhličitého predstavujú ióny HCO_3^- a CO_3^{2-} . V nich oxid uhličitý sa nazýva viazaný a delí sa na hydrogénuhličitanový a uhličitanový. Súčet všetkých foriem sa označuje ako celkový oxid uhličitý. Pri pH pod 4,5 sa ióny HCO_3^- prakticky vo vode nevyskytujú a prevláda iba voľný CO_2 . Pri pH 8,3 prevládajú ióny HCO_3^- a pri pH nad 10,5 prevládajú ióny CO_3^{2-} .

Rozpustený voľný CO_2 je dokázateľný takmer vo všetkých prírodných vodách, ktorých pH neprevyšuje hodnotu 8,3. Obyčajné podzemné vody obsahujú obvykle niekoľko desiatok mg.l^{-1} voľného CO_2 . Vody s obsahom voľného CO_2 nad 1000mg.l^{-1} sa nazývajú minerálne vody uhličité, alebo kyselky. Problém predstavuje voľný oxid uhličitý, ktorý má vo vodách agresívne účinky na niektoré tuhé látky, alebo má inkruštné účinky tvorbou CaCO_3 , čím ho môžeme v Ochtinskej aragonitovej jaskyni považovať za pôvodcu tvorby aragonitových útvarov. V tabuľke 4 je uvedená aj chemická analýza priesakových vôd z jaskyne.

Tab.4. Chemická analýza priesakových vôd.
Tab.4. Chemical analyses of percolating waters.

Miesto odberu	Fe	Ca	Mg	Al	Zn	Cu	Mn	Sb	Pb	Cd	Hg	As	SO_4^{2-}
	[mg.l ⁻¹]							[µg.l ⁻¹]					
Hlb. dóm(1)	<0,05	10,0	7,5	<0,04	<0,01	<0,02	<0,03	6,77	<2	<0,2	<0,2	<2	25,1
Hviez. sieň (2)	<0,05	8,2	16,4	<0,04	<0,01	<0,02	<0,03	<1	<2	<0,2	<0,2	<2	21,9
Vstup. hod. (3)	<0,05	21,4	9,3	<0,04	<0,01	<0,02	<0,03	<1	<2	<0,2	<0,2	<2	17,9
Pitná voda*	0,3	-	-	0,2	3,0	0,5	0,1	5	10	3	1	10	-

* STN 75 7111

Vápenato – uhličitanová rovnováha a agresívny oxid uhličitý

V prírodných vodách má najväčší teoretický a praktický význam vápenato – uhličitanová rovnováha. Uplatňuje sa pri posudzovaní agresivity vody.

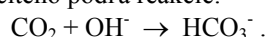
Oxid uhličitý, ktorý je nevyhnutný na to, aby sa CaCO_3 nevylučoval z roztoku alebo naopak, nerozpúšťal, nazýva sa rovnovážny. Ak je vo vode prítomné väčšie množstvo voľného CO_2 ako zodpovedá uhličitanovej rovnováhe, voda má tendenciu uhličitan vápenatý rozpúšťať. Rozdiel medzi obsahom voľného a rovnovážneho CO_2 sa nazýva nadbytočný CO_2 . Nadbytočný oxid uhličitý môže pôsobiť agresívne na rôzne materiály. Ak je vo vode prítomné menšie množstvo voľného CO_2 , ako zodpovedá rovnovážnemu, voda má tendenciu vylučovať CaCO_3 a tvoriť inkruštné. V tejto súvislosti sa hovorí o stabilite vody. Stabilitou vody sa rozumie jej vlastnosť nevylučovať z roztoku CaCO_3 , ani ho nerozpúšťať.

Vápenato – uhličitanovú rovnováhu, teda aj agresivitu vody, možno posúdiť len semikvantitatívne.

V jaskynných vodách bolo urobené stanovenie rozpustného oxidu uhličitého a aniónov HCO_3^- a CO_3^{2-} . Vychádzali sme z hodnôt:

$\text{ZNK}_{8,3}$ (celková acidita), $\text{KNK}_{8,3}$ (hodnota p – zjavná alkalita), $\text{KNK}_{4,5}$ (hodnota m – celková alkalita).

Pri stanovení $\text{ZNK}_{8,3}$ (zásaditá neutralizačná kapacita, celková acidita) dochádza k titracii voľného oxidu uhličitého podľa reakcie:



V ideálnom prípade, keď celkovú aciditu spôsobuje len voľný oxid uhličitý, bude platiť:

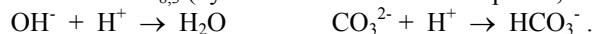
$$c_m(\text{CO}_2) = \text{ZNK}_{8,3} \cdot 44$$

Potom bude:

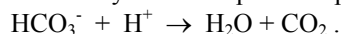
$$c_m(\text{CO}_2) - \text{hmotnostná koncentrácia voľného } \text{CO}_2 \text{ [mg.l}^{-1}\text{]},$$

$$\text{ZNK}_{8,3} - \text{zásaditá neutralizačná kapacita do pH 8,3 (celková acidita).}$$

Pri stanovení $\text{KNK}_{8,3}$ (kyselinová neutralizačná kapacita, hodnota p) dochádza k reakciám:



Okrem uvedených reakcií prebieha pri stanovení $\text{KNK}_{4,5}$ (hodnoty m) ešte reakcia:



Hodnoty p a m , ktoré sa udávajú v mmol.l^{-1} , vyjadrujú nasledujúce vzťahy:

$$p = c(\text{CO}_3^{2-}) + c(\text{OH}^-),$$

$$m = c(\text{HCO}_3^-) + 2c(\text{CO}_3^{2-}),$$

kde c – látková koncentrácia príslušnej zložky [mol.l^{-1}].

Ak roztok obsahuje merateľné množstvo iónov OH^- (približne $\text{pH} > 10$), môžeme zanedbať koncentráciu iónov HCO_3^- a platiť:

$$p = c(\text{CO}_3^{2-}) + c(\text{OH}^-),$$

$$m = 2c(\text{CO}_3^{2-}) + c(\text{OH}^-),$$

Z týchto vzťahov môžeme vyjadriť látkovú koncentráciu iónov OH^- a CO_3^{2-} v mmol.l^{-1} :

$$c(\text{OH}^-) = 2p - m \quad c(\text{CO}_3^{2-}) = m - p$$

Pokiaľ sú prítomné ióny HCO_3^- (približne $\text{pH} < 10$), koncentráciu iónov OH^- môžeme zanedbať a výpočet bude mať podobu:

$$p = c(\text{CO}_3^{2-}), \quad m = 2c(\text{CO}_3^{2-}) + c(\text{HCO}_3^-)$$

a látková koncentrácia iónov CO_3^{2-} a HCO_3^- v mmol.l^{-1} bude:

$$c(\text{CO}_3^{2-}) = p, \quad c(\text{HCO}_3^-) = m - 2p.$$

Pokiaľ hodnota $p = 0$, sú prítomné HCO_3^- a potom platí, že:

$$c(\text{HCO}_3^-) = m.$$

Výsledky stanovenia CO_2 v jaskynnej vode uvádzame v tabuľke 5.

Tab.5. Obsah CO_2 vo vodách OAJ: 1-Mramorová sieň, 2-Hviezdna sieň, 3-Hlboký dóm.
Tab.5. The content of CO_2 in the waters of the Ochtinska aragonite cave: 1- Marble Hall, 2- Stellar Hall, 3- Deep Dome.

Označenie vzorky	pH	ZNK _{8,3} celk.acidita [mmol.l ⁻¹]	Voľný CO_2 [mg.l ⁻¹]	KNK _{8,3} (hodnota p) [mmol.l ⁻¹]	KNK _{4,5} (hodnota m) [mmol.l ⁻¹]	HCO_3^- [mg.l ⁻¹]
V1a		0,698	30,7	0	2,853	125,5
V1b		0,748	32,9	0	3,049	134,2
V1 priemer	7,4	0,723	31,8	0	2,951	129,8
V2a		0,690	30,4	0	3,640	160,1
V2b		0,750	33,0	0	3,443	151,5
V2 priemer	7,5	0,720	31,7	0	3,541	155,8
V3a		0,550	24,1	0	2,262	99,5
V3b		0,550	24,1	0	2,164	95,2
V3 priemer	7,4	0,550	24,1	0	2,213	97,4

Záver

Urobené kontinuálne merania CO_2 v uvedených fázach v Ochtinskej aragonitovej jaskyni preukázali jeho zvýšené hodnoty za každých okolností. Pri porovnaní s najvyššou prípustnou koncentráciou (NPK), ktorá má hodnotu 6477 ppm to znamená, že najvyššie hodnoty namerané v jaskyni dosahujú 40% NPK, čo z hygienického aspektu nepredstavuje pre pracovníkov aj pri dlhodobjšom pobyte v takomto prostredí výrazné hygienické riziko. Po expozícii v prostredí so zvýšeným výskytom CO_2 je nutný pobyt na čerstvom vzduchu v dostačujúcom časovom intervale.

Záverom urobeného výskumu a rozboru výskytu CO_2 , v jaskyni môžeme konštatovať:

- zvýšené hodnoty CO_2 sú priamo závislé na množstve návštev,
- výskyt zvýšeného obsahu CO_2 je závislý na miestnych zdrojoch (hnieť, tlenie, oxidácia karbonátov a i.),
- vo vode a v zeminách priamo v priestoroch jaskyne nie je aktuálny zdroj CO_2 .

Za príčinu zvýšených obsahov tohto plynu môžeme označiť aj veľmi pomalú intenzitu prúdenia ovzdušia v priestoroch jaskyne, čím je zabezpečené slabé, alebo žiadne vetranie. Pri zmenách vetracích pomerov, resp. prívodu čerstvého vonkajšieho vzduchu do jaskyne nie je zabezpečená stabilita jaskynného aragonitového fenoménu, čo podmieňuje zistený stav v jaskyni udržať. Urobený výskum faktorov prostredia v Ochtinskej aragonitovej jaskyni potvrdil výnimočnosť tohto prostredia a jej neopakovateľnú krásu.

Literatúra

- BOBRO, M., HANČULÁK, J. a GEŠPEROVÁ, D.: Meranie a odbery vzoriek ovzdušia v Ochtinskej aragonitovej jaskyni s dôrazom na CO_2 . Expertíza. Ústav geotechniky SAV, Košice, júl 1998.
- BOBRO, M., KUPKA, D. a HANČULÁK, J.: Protokol z merania CO_2 v Ochtinskej aragonitovej jaskyni. Ústav geotechniky SAV, Košice, 2000.
- Metodický pokyn MŽP SR 1998 č. 549/98-2 na hodnotenie rizík zo znečistených sedimentov a vodných nádrží.
- RAJMAN, L., RODA, Š., RODA, Š. ml. a ŠČUKA, J.: Fyzikálno – chemický výskum krasového fenoménu Ochtinskej aragonitovej jaskyne. Speleolaboratórium pri Gombaseckej jaskyni, Slovenské múzeum ochrany prírody a jaskyniarstva, Liptovský Mikuláš, 1990.
- SLAVÍK, J. a kol.: Nerastné suroviny Slovenska. *Aktuality geologického prieskumu*, ÚGÚ Praha, 1967, s.74–76.