

## VLASTNOSTI SPELEOAEROSÓLOV Z HĽADISKA SPELEOTERAPIE VO VYBRANÝCH SPRÍSTUPNENÝCH JASKYNIACH NA SLOVENSKU

*Milan Bobro – Jozef Hančulák – Anton Lucinkiewicz – Ján Zelinka*

Podmienkou a zárukou úspešnej liečby v jaskyniach je tzv. speleo-aerosól, ktorý predstavuje ovzdušie s jemnodispergovanými zložkami tuhej a kvapalnej fázy. Navyše špecifická mikroklima jaskýň má málo ovplyvniteľný cha-

rakter, v prípade zmien nastáva jej rýchla regenerácia do pôvodného stavu. Jaskynné aerosóly majú vzhľadom k svojmu zloženiu disperznej fázy väčšinou veľmi priaznivé účinky na dýchacie orgány, ale aj na povrchové časti tela –

pokožku, hlavne pleť. Obsahujú vysoký podiel kvapalnej fázy, kde sa v podobe rozpustných solí nachádzajú prednostne niektoré prvky. V podobe kyslých uhličitanov sú tu prevažne Ca, Mg, Fe, menej Mn a niekedy K a Na. Takéto zloženie

Tab. 1. Obsah sledovaných prvkov v tuhej fáze aerosólu.

Lokalita	Tuhá fáza	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	Pb	Co	Ni	Ag	Hg	Sb	As	Cd
	mg.m <sup>3</sup>														
Belianska jaskyňa	35	1,42	0,69	0,44	0,009	0,27	0,34	0,106	0,005	0	St	0	0,24	0,002	0,152
Bystrianska jaskyňa	16	0,11	0,38	0,09	0,001	0,20	0,06	0,039	0	0	0	St	0	St	St
Domica	15	2,03	0,70	0,60	0,004	0,73	0,31	0	0	0	0	0	0	0,003	0,009
Driny	31	1,86	0,59	0,63	0,020	0,28	1,54	0,001	0,002	0,001	St	0,015	St	St	0,001
Gombasecká jaskyňa	38	2,54	2,29	0,44	0,003	1,07	0,39	St	0,025	0,032	-	0,003	-	0,003	0,012
Jasovská jaskyňa	6	0,61	0,57	0,89	0,060	0,04	0,12	St	0	0	St	0,003	0,05	0,001	0
Demänovská jaskyňa slobody	13	0,40	0,48	0,57	0,022	0,09	0,09	0,034	0,005	0	0	0,008	St	-	0,022
Jelšava	125	19,9	52,6	19,8	0,9	1,05	1,05	1,10	0,052	0,033	St	0,53	0,02	0,02	0,033
NPK	150	150	150	150	10	40	0,5	0,7	1	1	-	0,3	30	0,3	3

Tab. 2. Obsah prvkov v kvapkajúcej vode.

Lokalita	Odparok	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	Pb	Cr	Ag	Hg	Sb	As	Cd	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	pH
	g.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>			µg.l <sup>-1</sup>											
Belianska jaskyňa	0,2967	33,7	14,9	0,29	7,0	9,5	15,5	8,0	-	0,5	0	29	0	1,0	68,9	8,2
Bystrianska jaskyňa	0,3048	57,9	21,0	0,37	5,5	25	15,2	19	0	0	0	0	0	1,5	45,4	7,9
Domica	0,1774	33,6	41,0	2,63	5,5	1,9	16,0	9	0	0,2	0,07	0,5	0	1,0	12,8	7,1
Driny	0,2963	56,9	-	0,24	4	69	30	9	3	0	0,01	0	5,0	0,5	31,9	7,4
Gombasecká jaskyňa	0,2824	79,9	34,9	0,26	6,0	1,3	8,0	3	0	4	0,10	7	0,4	2,0	27,2	7,5
Jasovská jaskyňa	0,9773	71,1	9,3	0,06	2,0	44	6,6	23	St	0	0	0	0	1,9	84,1	7,7
Demänovská jaskyňa slobody	0,1373	14,8	7,6	0,22	1,5	9,0	7,0	2,5	0,5	0,5	0	8,5	0,5	1,0	99,0	7,9

Tab. 3. Mikroklimatické faktory a obsah radónu vo vybraných priestoroch existujúcich a navrhovaných liečební.

Lokalita	Prúdenie vzduchu	Teplota vzduchu	Rosný bod	Relatívna vlhkosť vzduchu	Radón
	ms <sup>-1</sup>	°C	°C	%	10 <sup>4</sup> MeV.l <sup>-1</sup>
Belianska jaskyňa	0,30	5,8	5,2	97,0	0,96
Bystrianska jaskyňa	0,02	5,6	5,4	98,6	0,24
Domica	0,01	10,7	10,5	99,1	2,25
Driny	0,38	11,4	8,6	96,1	1,95
Gombasecká jaskyňa	0,04	10,8	8,6	92,6	1,63
Jasovská jaskyňa	0,15	7,8	7,3	97,3	1,52
Demänovská jaskyňa slobody	0,02	7,1	6,1	94,6	1,65

zapríčiňujú vysokú alkalitu prostredia. Únikom molekúl vody z kyslých uhličitanov nastávajú kryštalizačné procesy spôsobujúce rast mikrokryštalinitov uhličitanov, hlavne Ca, prevažne s kostrovitým tvarom častíc. Tieto potom v jaskynnom aerosóle predstavujú základnú zložku tuhej fázy. Voda s rozpustenými kyslími uhličitanmi sa do ovzdušia dostáva kvapkaním, stekáním a následným rozprašovaním. Takto vznikajú zárodoky sintrovej výplne jaskýň (kvaple, náteky a iné formy). Vo vodnom roztoku sa týmto procesom z kyslého uhličitanu uvoľní molekula vody a CO<sub>2</sub>, pričom vzniká kalcit. Kalcit rozptýlený v ovzduší predstavuje liečivú zložku, ktorá sa dostáva cez alveoly až do krvného riečiska. Z hľadiska speleoterapie je obsah významných prvkov (Ca, Mg) v aerosóloch oproti ostatným prvkom veľmi dôležitý.

Každá jaskyňa má svoje špecifiká a uchováva si postavenie hlavných prvkov v určitom pomere. Týka sa to aj obsahu Ca a Mg. Je to pomer 1:1 (Gombasecká jaskyňa, Jasovská jaskyňa, Demänovská jaskyňa slobody) alebo 3:1 v prospech Ca (Belianska jaskyňa, Domica). Zvláštny aerosól má Bystrianska jaskyňa, kde v aerosóle prevažuje obsah Mg oproti Ca v pomere 3:1. Ostatné prvky sú v minimálnom zastúpení, len v Gombaseckej jaskyni sme zistili zvýšený obsah Zn (tab. 1). V kvapkajúcej vode pozorujeme dominantné postavenie obsahu Ca oproti ostatným prvkom. Obsah Ca je 1,8- až 7,8-krát vyšší ako obsah Mg. Len jaskyňa Domica signalizuje prevahu Mg vo vode – je ho 1,2-krát viac ako Ca. Avšak v aerosóle je tento pomer obrátený v prospech Ca. Vysoký obsah Fe vo vode súvisí s charakteristickým farbením sintrových útvarov a výskytom prevažne železitej terra rossy v zbernej hydrologickej oblasti jaskyne.

Zaujímavou a nie zanedbateľnou zložkou jaskynného aerosólu sú rozpadové produkty radónu. Za normálnych podmienok je Rn<sup>222</sup> v plynnnej podobe s polčasom rozpadu 3,82 dňa 7,67-krát ťažší ako vzduch. Rozpadové produkty vytvárajú submikroskopické častice s alfa-žiarením. Hmotné častice rozpadu v jaskynnom aerosóle poletujú samostatne alebo sa viažu adhéznymi silami na mikrokryštalinitu kalcitu kríčkovitého a kostrovitého tvaru, s ktorými sa

po rozprášení pohybujú a tvoria súčasť jaskynného aerosólu. Množstvo radónu v jaskynných prostrediach je rôzne. Priemerné hodnoty v jaskynných priestoroch vybraných a navrhovaných na liečebné pobyty uvádzame v tabuľke 3. V súčasnosti sa predpokladá, že tak ako je množstvo Rn<sup>222</sup> v banskom pracovnom prostredí v množstvách nad najvyššie prípustné koncentrácie (NPK=1,2.10<sup>4</sup>MeV.l<sup>-1</sup>) škodlivé, v jaskynnom prostredí, kde človek pri liečebnom procese pobudne len určitý čas a je prísne sledovaný odborným lekárom, môže byť jednou z významných liečivých zložiek.

So zreteľom na to, čo sme uviedli, môžeme konštatovať, že kvalitu jaskynného aerosólu a jeho účinky výrazne ovplyvňujú mineralogické, morfológické, chemické a fyzikálno-chemické vlastnosti jeho tuhej i kvapalnej fázy.

Pri porovnaní získaných hodnôt sledovaných prvkov z tuhej fázy jaskynného aerosólu s platnými hygienickými normami (NPK) zistujeme, že sú 10- až 100-násobne nižšie ako normami stanovené hodnoty. Jaskynné prostredie je prakticky bezprašné, lebo hodnoty tuhej fázy získané na filtroch môžu mať pôvod aj v kvapalnej fáze, z ktorej tuhá fáza vzniká po vysušení kryštalizačnými procesmi. Zvýšené hodnoty tuhej fázy sú na miestach stáleho aktívneho rastu sintrovej výplne, kde sa rozprašovaním dostáva do ovzdušia jej vyšší podiel. Výskyt toxických prvkov Cd, Hg, Pb, As, Cd je veľmi nízky. Porovnateľný s normami pre voľné ovzdušie je len obsah Cu v jaskyni Driny, ako aj v jaskyni Domica, Belianskej a Gombaseckej jaskyni; v Belianskej jaskyni ešte aj obsah Pb a sčasti Cd.

Za priaznivý faktor možno považovať aj mikroklimu jaskýň. Vyznačuje sa stabilnou teplotou a vysokou vlhkosťou vzduchu, ako aj určitým prúdením vzduchu. Charakteristické hodnoty vlhkosti, teploty a prúdenia vzduchu vykazuje každá jaskyňa (tab. 3).

Podobnú mikroklimu a zloženie aerosólu má aj banské prostredie v starých vyťažených priestoroch magnezitového ložiska Jelšava v Dúbravskom masíve. Tu sú však podmienky závislé od spôsobov ťažby v jej blízkosti. V prípade využitia takýchto priestorov na liečebné účely by bolo treba urobiť veľa opatrení vrátane

zložitých, najmä bezpečnostných zásahov. V aerosóloch majú prevahu tuhé zložky horčíka. Oproti normám atmosférického prostredia je zvýšený obsah Cu, Pb, Hg. Ani z 1/50 však nedosahujú povolené hodnoty pre pracovné prostredie.

Na Slovensku je 12 sprístupnených jaskýň, z ktorých vyše polovica má vhodné mikroklimatické podmienky na speleoterapiu. V závislosti od morfológických a prevádzkových podmienok sú v niektorých z nich vyčlenené priestory na liečebné pobyty (Spodná partizánska sieň v Bystrianskej jaskyni, Dóm netopierov v Jasovskej jaskyni, Štrková chodba a Archív v Demänovskej jaskyni slobody). Existencia väčších podzemných priestorov iba na prehliadkových trasách sťažuje až vylučuje tieto aktivity v čase prevádzky v Gombaseckej jaskyni, v jaskyniach Domica a Driny. V Belianskej jaskyni sa vykonávajú tzv. pohybové liečebné pobyty.

Správa slovenských jaskýň v Liptovskom Mikuláši účinne spolupracuje s akreditovanými zdravotníckymi pracoviskami a liečebnými ústavmi, ktoré vykonávajú speleoliečbu a rekondičné pobyty vo vyhradených priestoroch sprístupnených jaskýň. Okrem toho zabezpečuje odborný dozor nad podzemnými priestormi v jaskyniach vyčlenenými na tieto účely a ochranu tohto zvláštneho a vzácneho prírodného prostredia. Podľa potreby sa sledujú mikroklimatické, bakteriologické a chemické vlastnosti aerosólov, vody a obsahu radónu, resp. ostatnej rádiácie. Takýmto spôsobom Správa slovenských jaskýň vytvára priaznivé podmienky na realizáciu liečebných procesov.

Možno konštatovať, že prostredie uvedeníh sprístupnených jaskýň je veľmi čisté a nezávadné. Svojou čistotou konkuruje ovzdušiu v operačných sálach. Dôkazom mimoriadnych vlastností speleo-aerosólu je stále sa rozširujúci záujem o liečebné a rekondičné pobyty v jaskyniach. Najviac túto výnimočnosť jaskýň využívajú deti najmä z mestského prostredia a osoby pracujúce v prašných prevádzkach. Už v minulosti tieto priaznivé vlastnosti využívali baníci a pracovníci v ťažkom priemysle. Takýmto spôsobom sa pri dodržiavaní všetkých zásad ochrany jaskýň ako prírodných pamiatok naplňa aj ich významné humánne poslanie.

## LITERATÚRA

- BOBRO, M. (1998). Kvalita prostredia v slovenských jaskyniach vybraných na speleoterapiu. II. košické dni pracovného lekárstva a klinickej toxikológie (Tatranské Zruby), FNLP, LF UPJŠ, Košice (v tlači).
- BOBRO, M. – ZELINKA, J. (1998). Charakteristika speleo-aerosólu Belianskej a Bystrianskej jaskyne. *Aragonit*, 3, 14–15.
- BOBRO, M. – HANČULÁK, J. – ŠPIČUK, J. (1995). Monitorovanie kvality ovzdušia v prostredí NP Slovenský raj. *Naturae Tutela*, 3, 33–35.