

# POSÚDENIE VPLYVU PRÍRODNÝCH A ANTROPOGÉNNÝCH FAKTOROV NA ZMENY MIKROKLIMATICKÉHO REŽIMU JASKYNE DOMICA

*Ján Zelinka*

Jaskyňa Domica sa od svojho objavenia v roku 1926 stala centrom záujmu nielen odborných kruhov, ale aj iných záujmových skupín. Už v roku 1930 vybudoval Klub československých turistov vchod do jaskyne (terajší východ) a o dva roky neskôr jaskyňu sprístupnil a elektricky osvetlil. Pre zatriktívnenie prehliadkovej trasy v roku sprístupnenia umelo prehradili občasný podzemný tok Styxu na podzemnú plavbu. Nasledujúci rok provizórne upravili aj druhú, tzv. Diamantovú plavbu, ktorá sa v súčasnosti následkom záplav neprevádzkuje. V roku 1958 postavili hrádzu v Panenskej chodbe, ktorá mala odstrániť nedostatok vody pre plavbu. Zároveň vyrazili aj východ od konca druhej plavby na povrch.

Po opakovaných záplavách jaskyne, pod ktoré sa významnou mierou podpísal dovtedajší spôsob poľnohospodárskeho využívania pôdneho krytu v hydrologickom povodí jaskyne, sa vykonali viaceré preventívne opatrenia voči negatívnym následkom dovtedajších záplav na jaskyňu. V roku 1984 sa vyrazila odvodňovacia štôľňa od ponoru Domického potoka na odvádzanie občasných privalových vôd z povrchu do nižších priestorov jaskyne, ktoré vedú cez Objavnú chodbu do Majkovho domu, aby sa zabránilo negatívnym následkom dovtedajších záplav na vlastnú jaskyňu.

## STAV PROBLEMATIKY – PRESKÚMANOSŤ LOKALITY

Územie Slovenského krasu sa nachádza v oblasti vrchovinovej, mierne teplej a mierne vlhkej klímy s priemernou teplotou vzduchu

v januári -3,5 až -6 °C, v júli 17 až 17,5 °C a ročnými zrážkami 650 až 850 mm (K. Tarábek, 1980). Najviac zrážok spadne v júli (85 – 95 mm), najmenej v januári (30 – 35 mm). Oblasť Domice patrí medzi územia s najväčšou intenzitou 15-minútového dažďa na Slovensku, pričom jeho hodnoty dosahujú až 150 mm. Práve v súvislosti s intenzívnymi búrkami bola jaskyňa v minulosti viackrát zaplavená.

Mikroklima jaskyne Domica bola donedávna venovaná minimálna pozornosť. Na základe veľmi sporadických meraní sa jaskyňa považovala z termodynamického hľadiska za statickú s uvádzanými teplotami vzduchu od 10,2 do 11,4 °C a jeho relatívnu vlhkosť 95 až 98 %.

Z posledných pozorovaní sa problematike speleoklímy v tejto jaskyni venoval v roku 1993 Banický ústav SAV (v súčasnosti Ústav geotechniky SAV) v Košiciach. Výsledkom bolo expertízne zhodnotenie kvality vybraných faktorov jaskynného prostredia z hľadiska vykonávania ozdravnovacích speleoklimatických pobytov.

Od polovice 90. rokov minulého storočia sa odborný záujem zamerl na štúdium a kontinuálne monitorovanie hydrologických pomerov podzemných vôd v jaskyni. Práve počas hydrologických pozorovaní, ako aj pri vyhodnotení získaných údajov z doterajšieho speleoklimatického monitoringu, sa získali tieto poznatky:

- počas významných zimných oteplení, ako aj pri jarom topení snehu sa do jaskyne dostávajú vody s relatívne veľmi nízkou teplotou,
- pri intenzívnych letných zrážkach sa naopak pritekajúce vody do jaskyne vyznačujú abnormálnym prínosom tepla do jaskynného prostredia,

- v obdobiach, počas ktorých sú obidva občasných toky jaskyne bez vody, nastáva hlavne na trase Domického potoka po sútoku so Styxom intenzívne prúdenie vzduchu, ktoré v zimnom období nežiaduco prechladzuje priestory Majkovho domu,

- podzemné toky sa v období svojej aktivity vyznačujú rozdielnymi teplotami vody, čo jednoznačne v mieste ich sútoku (okrem iných nežiaducich vplyvov) indikuje vznik „hmly“.

Poznanie väzieb a miery vzájomných vplyvov, no hlavne záujem o zachovanie a ochranu jaskyne Domica nás viedli k detailnejšiemu štúdiu jej mikroklimy. Účelom momentálne realizovaného monitoringu je nielen spoznanie mikroklimatického režimu jaskyne, ale aj posúdenie ovplyvnenia a ich možných negatívnych dôsledkov na speleoklímu a na zmeny predpokladaného pôvodného termodynamického režimu jaskyne, sintrovú výplň, biozložku, ale na základe jeho vyhodnotenia aj minimalizácia a náprava nevhodných antropogénnych zásahov z minulosti do pôvodných prírodných pomerov jaskyne.

## DOTERAJŠIE VÝSLEDKY MIKROKLIMATICKÉHO MONITORINGU

### Použitá technika

Pri úvodnom informatívnom monitoringu mikroklimy jaskyne Domica sa využívajú zá-

znamníky teploty a vlhkosti, tzv. „čierne skrinky“ (výrobca COMET System, spol. s r. o., Rožnov pod Radhoštěm, Česká republika). Umožňujú kontinuálny záznam 32-tisíc údajov vo voliteľnom intervale od 10 sekúnd do 24 hodín. V našom prípade sme zvolili interval záznamu 20 minút. Tento sa zhoduje s intervalom monitorovania hydrologických charakteristík.

Pri sledovaní vonkajších klimatických parametrov, ako aj pri zázname teploty vody sme využili automatické meracie a registračné stanice BABUC/A, neskôr BABUC/ABC (výrobca LSI, Milano, Taliansko) s príslušnými sondami.

## Lokalizácia meracích stanovišť

Na sledovanie základných mikroklimatických parametrov jaskynnej klímy – teploty, relatívnej vlhkosti vzduchu a teploty rosného bodu, sa zvolili tri stanovištia, ktoré podľa predpokladu mali odrážať vzájomné teplotné rozdiely, ako aj ich výkyvy.

Prvé stanovište je lokalizované v Majkovom dome v mieste pritekania Domického potoka. Pre poruchu a dlhodobý výpadok hodnôt zo záznamníka teploty vody, pôvodne umiestneného v jeho ponore, boli na porovnanie použité hodnoty teploty vody na začiatku 1. plavby.

Druhé meracie stanovište je v Panenskej chodbe v mieste inštalovaného vodomerného priepadu na občasný podzemný tok Styxu. Na tejto lokalite sa už dlhodobo realizuje hydrologický monitoring.

Tretí záznamník sme umiestnili v Koncertnej sieni, ktorá je v porovnaní s predchádzajúcimi stanovišťami bez podzemných tokov a relatívne izolovaná od ostatných jaskynných priestorov.

Získané a vyhodnotené údaje sa porovnávajú s parametrami vonkajšej klímy, ktoré sa zaznamenávajú v hodinových intervaloch v priestoroch vstupného areálu jaskyne.

## Zhodnotenie výsledkov podľa stanovišť

Keďže od začiatku realizácie orientačného mikroklimatického monitoringu v jaskyni Domica (od 1. 12. 2001) neboli podzemné toky dlhodobo aktívne, pri vyhodnotení nameraných údajov sme sa zamerali na časové úseky, keď sa v oboch tokoch krátkodobo objavila voda. Mikroklimatické hodnoty sú porovnané s výsledkami hydrologického monitoringu, ktorý realizoval Mgr. M. Peško a vyhodnotila Mgr. D. Haviarová, odborní pracovníci úseku ochrany jaskýň na Správe slovenských jaskýň v Liptovskom Mikuláši.

### Meracie stanovište: Majkov dóm

Tento podzemný priestor spolu s priestormi 1. plavby patrí svojou kubatúrou k najväčším v jaskyni. Úroveň dna Domického potoka je v ňom oproti ponore na povrchu o 15,45 m nižšie. Keď zoberieme do úvahy jeho relatívne krátku trasu z povrchu do sledovaných priestorov (asi 100 m), ktorá je navyše po vyrazení odvodňovacej štólne pomerne priama a bezbariérová, má nedostatočnú možnosť prijať, resp. odovzdať teplo okolitému prostrediu (materská hornina, speleoklíma, sedimenty a pod.), ktorým preteká. V čase vysokých prietokov sa pred Majkovým dómom vytvára sífón, ktorý zabraňuje výmene vzdušných medzi povrchom a jaskyňou s ich špe-

ficíckymi parametrami. Naopak, za nižších stavov alebo keď je sífón bez vody, dochádza v zimnom období k intenzívnemu prúdeniu prechladeného vzduchu z povrchu do priestorov jaskyne.

V období od 1. 12. 2001 do 23. 1. 2002 (obdobie bez vody) sme zaznamenali plynulý pokles priemerných denných teplôt jaskynného ovzdušia od 9,5 °C na hodnoty 8,9 °C. Za toto obdobie boli dlhodobo ustálené vonkajšie priemerné denné teploty na povrchu okolo -7,5 °C (so šiestimi okamžitými minimálnymi teplotami pod -15 °C).

Od 21. 1. 2002 sa na povrchu výrazne otepilo, priemerné denné teploty stúpli na hodnotu +4 °C (max. 14 °C), čo trvalo až do 26. 2. 2002, keď znova poklesli pod bod mrazu. Oteplenie vonkajšej klímy malo za následok roztopenie snehu v okolí jaskyne, ktorý po zamrznutej pôde okamžite stiekol do jaskyne. Prudké stúpnutie prietoku sa prejavilo v nočných hodinách 22. 1. a kulminovalo v noci dňa 25. 1. v 1. plavbe na výške hladiny vody 1,1 m. Po zadržaní vód hrádzou plavby dochádzalo k ich pomalému odtokaniu. 24 hodín pred kulmináciou max. hladiny dosiahla teplota vody 5 °C, keď pravdepodobne podliehala vyššej kumulovanej teplote prostredia, ktorým pretekala, a zároveň bola pod vplyvom zmiešania s oneskorenou prítokovou vlnou Styxu. Následne v priebehu 24 hodín sa zaznamenal jej plynulý prudký pokles až na hodnotu 1,6 °C, ktorú dosiahla pri kulminácii max. hladiny. S rýchlym skončením aktivity oboch podzemných tokov nastáva plynulý nárast teploty vody zadržanej v 1. plavbe, ktorá po 10 dňoch stúpla na hodnotu 7 °C (obr. 1).

Vplyvom aktivity podzemných tokov s nižšími teplotami ako boli priemerné teploty okolitého prostredia, sa v priebehu dvoch dní prejavil „prudký“ pokles teploty vzduchu v sledovanom priestore o 0,25 °C. Po skončení aktivity tokov, no stále pri uzatvorenom sífóne pred Majkovým dómom, priemerné teploty vzduchu stúpli o 0,1 °C a udržali sa na tejto úrovni až do úplného opadnutia hladiny vody.

Pre ilustráciu a potvrdenie úvah z úvodu tohto príspevku uvediem priebeh zmien teploty vody na podzemnom toku Domického potoka počas posledného expedičného merania dňa 19. 2. 2003: ponor 2,4 °C, Majkov dóm 4,8 °C, pred Rímskymi kúpeľmi 5,4 °C, vtok do 1. plavby

6,8 °C, 1. plavba (po 10 m) 7,8 °C a 1. plavba (po 40 m) 8,6 °C.

### Meracie stanovište: Panenská chodba

Panenskú chodbu v mieste sledovania tvoria v porovnaní s predchádzajúcim stanovišťom relatívne malé priestory. Preto môžeme očakávať výraznejšie lokálne výkyvy parametrov mikroklimy vplyvom krátkodobých ovplyvňovaní občasným podzemným tokom Styxu.

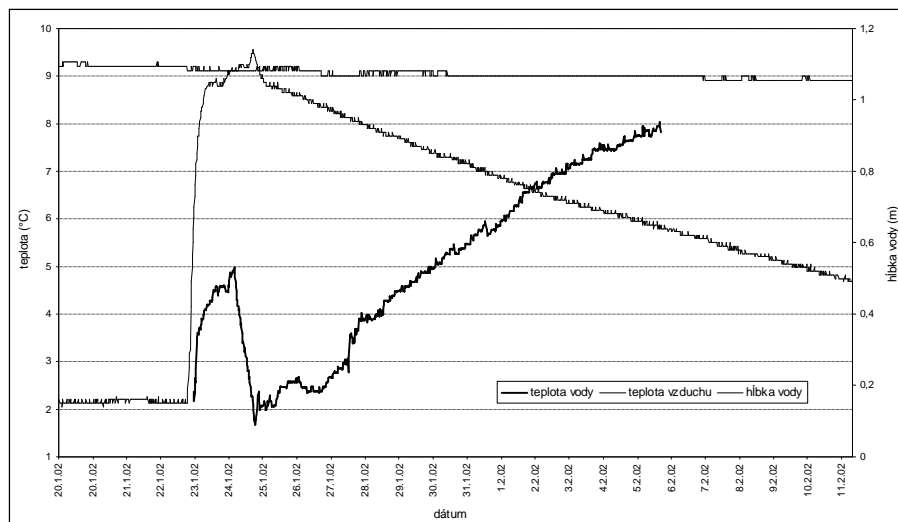
Teploty vzduchu v sledovanom priestore boli v období od 20. 12. 2001 do 23. 1. 2002 pomerne vyrovnané, s denným priemerom 11,1 °C. Zároveň sme dvakrát zaznamenali ich krátkodobé prudké poklesy o 1,2 °C, ktoré pravdepodobne spôsobilo prúdenie chladnejšieho vzduchu smerom od Čertovej diery.

V noci z 22. na 23. 1. 2002 pritekla do priestoru voda s teplotou 2,5 °C, ktorá okamžite opadla. Za relatívne krátky časový úsek ochladila okolitú klímu o 0,5 °C. Zostatok vody vo vodomernom priepade vplyvom prestupu tepla z horninového prostredia a sedimentov počas 24 hodín zvýšil svoju teplotu na 5,1 °C za sprievodnej stabilizácie a mierneho zostupu teploty ovzdušia. Počas nasledujúceho dňa znova stúpala hladina Styxu, čo bolo sprevádzané poklesom teploty vody až na 1,6 °C a samozrejme aj poklesom teploty vzduchu na 10,0 °C. Po opakovanom rýchlom poklese hladiny vody, spojenom s plynulým nárastom jej teploty, nastáva aj postupná stabilizácia mikroklimy a jej priemernej teploty na úroveň 11 °C (obr. 2).

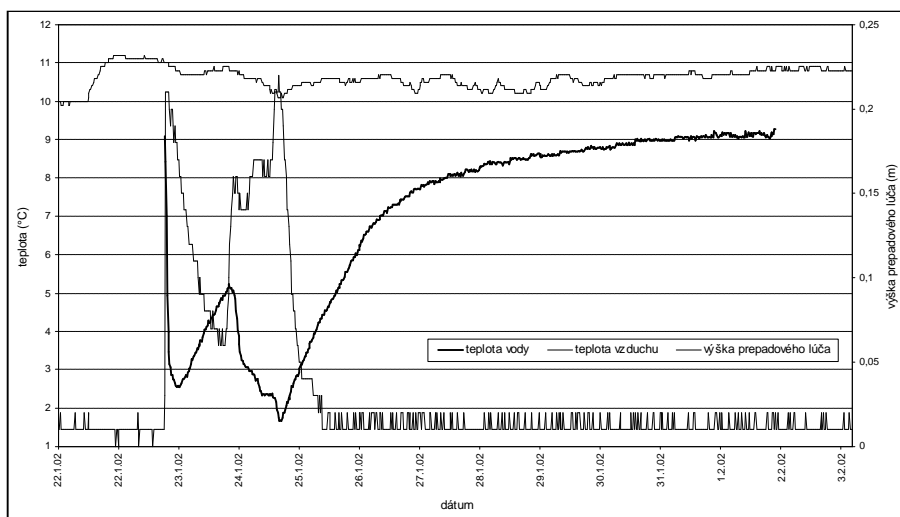
Opačný prípad sme v monitorovanom priestore zaznamenali od 16. do 20. 7. 2002. V tomto období vplyvom intenzívnych 15-minútových zrážok na povrchu došlo k trom príválom vód, ktorých max. teploty sa pohybovali od 16 do 17,9 °C. Tieto spôsobili oteplenie vzduchu z priemerných hodnôt 11,1 °C až na 12,8 °C s miernou osciláciou (poklesom) pred a po opadnutí príválových vln, ktorú spôsobilo zintenzívnenie prúdenia vzdušných hmôt medzi Čertovou dierou a Panenskou chodbou (obr. 3).

### Meracie stanovište: Koncertná sieň

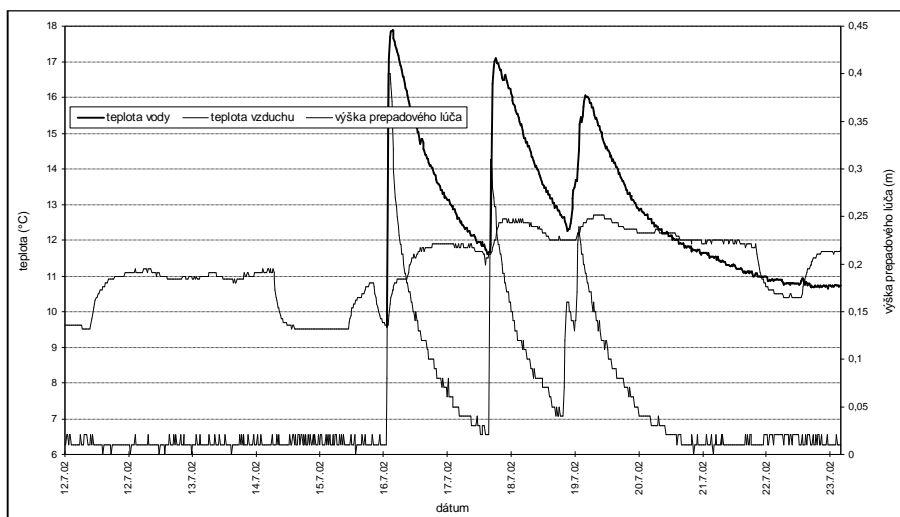
Tento podzemný priestor je bez občasných podzemných vodných tokov a s minimálnou intenzitou presakujúcich vód. Zároveň je v rámci jaskynného systému relatívne izolovaný od okolitých priestorov. Po vyhodnotení zaznamenaných údajov z doterajšieho mikroklimatického



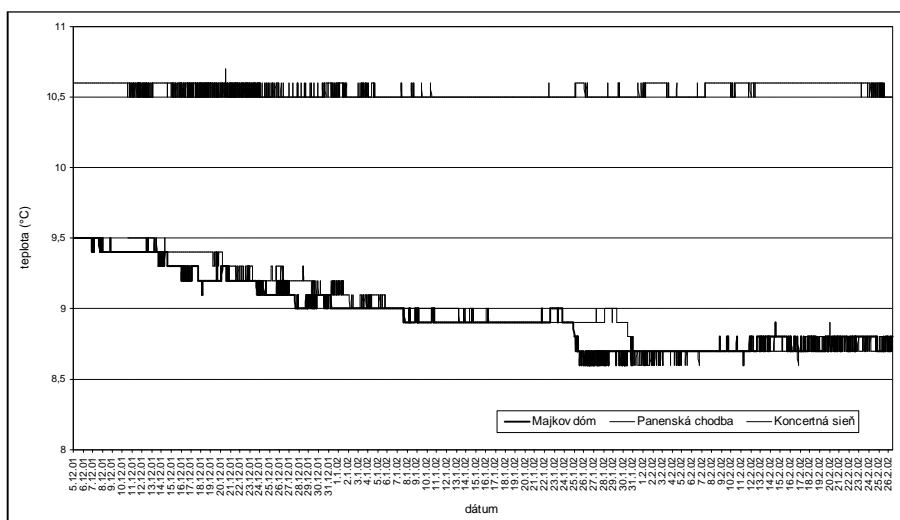
Obr. 1. Graf vplyvu zmien teploty vody v 1. plavbe na zmeny teploty vzduchu v Majkovom dome za obdobie 20. 1. – 11. 2. 2002.



Obr. 2. Graf vplyvu zmien teploty vody v Styxe (Panenská chodba) na zmenu teploty vzduchu za obdobie 22. 1. – 3. 2. 2002.



Obr. 3. Graf vplyvu zmien teploty vody v Styxe (Panenská chodba) na zmenu teploty vzduchu za obdobie 12. 7. – 23. 7. 2002.



Obr. 4. Graf priebehu okamžitých hodnôt teploty vzduchu v klimaticky odlišných častiach jaskyne za obdobie 5. 12. 2001 – 26. 2. 2002.

monitoringu sa z termodynamického hľadiska javí ako statické miesto s priemernými konštantnými teplotami počas celého sledovaného obdobia 10,6 °C (obr. 4).

## ZÁVERY

Doterajšie výsledky z orientačného mikroklimatického monitoringu v Domici ukázali, že na parametre jaskynnej klímy vplyva viacero faktorov. Z prírodných faktorov k jej stabilizácii najväčšou mierou prispieva relatívne veľký objem podzemných priestorov a schopnosť materskej horniny a sekundárnych výplní jaskyne kumulovať teplo.

Ako významný činiteľ ovplyvňujúci prirodzený režim jaskyne sa javia jej hydrologické pomery. Z doterajších krátkodobých kontinuálnych mikroklimatických pozorovaní nám vychádza, že maximálna miera ovplyvňovania teploty vzduchu sa prejavuje počas každého kvantitatívneho a kvalitatívneho stavu občasných podzemných tokov pretekajúcich jaskyňou. Existuje viac reálnych hydrologických stavov, ktoré oteplujú, resp. ochladzujú jaskynné ovzdušie.

Na ochladzovanie mikroklimy jaskyne majú najväčší vplyv:

- trasy podzemných tokov v období bez vody, ktoré pri otvorení sífónov umožňujú intenzívny (občasný) prienik chladnejšieho vzduchu z povrchu, resp. chladnejších častí do relatívne teplejších,
- zimné, resp. jaré dlhodobjšie oteplenia sprevádzané topením snehu, ktoré aktivizujú obidva podzemné vodné toky,
- dlhodobá kumulácia chladných vôd v 1. a 2. plavbe jaskyne.

Pri odovzdávaní kladného tepla ovzdušiu jaskyne najväčšiu rolu zohrávajú privalové vody krátkodobého charakteru, ktoré spôsobujú intenzívne búrky v letnom období.

Za antropogénne faktory vplyvajúce na speleoklimu považujeme najmä:

- vybudovanie umelých hrádzí na konci 1. a 2. plavby, ktoré zadržujú veľké množstvo vody v závislosti od kvantity a aktivity podzemných tokov, ako aj jej teploty,
- vybudovanie odvodňovacej štólne medzi ponorom Domického potoka a Majkovým dómom, ktorá umožňuje rýchle vtečenie vôd z povrchu s minimálnymi zmenami ich fyzikálnych a termických vlastností,
- vplyv návštevnosti, ktorý sa však zatiaľ neseledoval.

## Odporúčania

Na základe doterajších poznatkov z mikroklimatického monitoringu jaskyne Domici môžeme konštatovať, že už v súčasnosti jeho realizácia umožňuje formulovať opatrenia, ktoré by mali pomôcť zachovaniu, resp. návratu pôvodných prírodných parametrov jaskyne s cieľom jej ochrany. Účelná ochrana však vyžaduje neustále monitorovanie dominantných prírodných prvkov a detailné spoznanie všetkých faktorov, ktoré ju môžu negatívne ovplyvniť. Najväčší dôraz je nevyhnutné klásť hlavne na posudzovanie všetkých antropogénnych činností, ktoré sa plánujú v jaskyni i v jej ochrannom pásme realizovať; usmerňovať ich a v prípade potreby pružne obmedziť a vylúčiť terajšie vplyvy, ako aj z úrovne súčasného poznania zrevidovať ume-

lé zásahy do jaskynného prostredia z minulosti. Ak je to možné, treba tiež vykonať ich nápravu.

Preto aj z pohľadu mikroklimatického monitoringu je jednoznačne nevyhnutné v ňom pokračovať spoločne s realizáciou hydrolo-

gického monitoringu. Zároveň ho treba rozšíriť o sledovanie a priebežné vyhodnocovanie relatívnej vlhkosti vzduchu, teploty rosného bodu a rýchlosti prúdenia vzduchu na už overených stanovištiach. Je isté, že k rozvoju poznania

vzájomných vzťahov v sledovanom jaskynnom geosystéme prispeje aj inštalácia novej vonkajšej klimatickej stanice v roku 2002, ktorá nám umožní detailné vyhodnotenie atmosférických vplyvov na mikroklimu jaskyne.

## LITERATÚRA

- BELLA, P. (1996). Jaskyne Slovenského a Aggteleckého krasu v zozname svetového dedičstva. *Spravodaj SSS*, 27, 1, 51–53.
- BELLA, P. (1997). Ochrana a starostlivosť o sprístupnené jaskyne v Chránenej krajinej oblasti BR Slovenský kras. In Rozložník, M. – Šmíd, J. (ed.): *Ochrana krasových javov a krasových území. Zborník referátov, Brzotín*, 35–45.
- BELLA, P. – HLAVÁČ, J. (1996). Zastúpenie a starostlivosť o slovenské jaskyne vo svetovom dedičstve. In Húška, D. (ed.): *ENVIRO Nitra. Zborník referátov*, 98–102.
- BELLA, P. – PEŠKO, M. – GAŽÍK, P. – ZELINKA, J. (2001). Národná prírodná pamiatka jaskyňa Domica – program starostlivosti. *Manuskript, SSJ, Liptovský Mikuláš*.
- BOBRO, M. – HANČULÁK, J. – BÁLINTOVÁ, M. (1993). Zhodnotenie kvality zložiek jaskynného prostredia vo vybraných priestoroch jaskyne Domica. *Expertízna správa, Ústav geotechniky SAV, Košice*.
- KLAUČO, S. – FILOVÁ, J. (1996). Hydrologický a hydrochemický monitoring jaskyne Domica. In Bella, P. (ed.): *Sprístupnené jaskyne – výskum, ochrana a využívanie. Zborník referátov, Liptovský Mikuláš*, 80–82.
- KLAUČO, S. – FILOVÁ, J. – PEŠKO, M. (1999). Hydrologický monitoring v jaskyni Domica v rokoch 1997 – 1998. *Aragonit*, 4, 11–14.
- PEŠKO, M. (1996). Hydrologické pomery jaskyne Domica. In Bella, P. (ed.): *Sprístupnené jaskyne – výskum, ochrana a využívanie. Zborník referátov, Liptovský Mikuláš*, 77–79.
- TARÁBEK, K. (1980). Klimatickogeografické typy. *Atlas SSR, Bratislava*.
- ZELINKA, J. (1997). Uzatváranie vchodov do jaskýň. *Aragonit*, 2, 16–17.
- ZELINKA, J. (2002). Vplyv hydrologického režimu jaskyne Domica na zmeny jej mikroklimy. In Midriak, R. (ed.): *Biosférické rezervácie na Slovensku*, 4. Zborník referátov, Banská Štiavnica, 81–87.

## SUMMARY

**The Domica Cave belongs among the most valuable caves in Slovakia. The highest level of protection applies to this cave. It was inscribed on the World Natural Heritage List and included among the International List of Ramsar Sites.**

**Not a great attention was paid to the study of cave microclimate by the end of 2001. The interest was oriented more on a detail observation of its hydrological regime. Several significant influences of intermittent underground watercourses on speleoclimate changes were observed during the hydrological monitoring in the recent years. The first period of microclimatic monitoring has been realized since December 2001. This monitoring informed, except for the natural influences, also on significant antropogenic ones, especially on the negative consequences of technical facilities constructed in the cave.**