

# HYDROLÓGIA A HYDROCHÉMIA

## NAJNOVŠIE VÝSLEDKY MONITOROVANIA VODNEJ ZLOŽKY PODZEMNEJ MOKRADE DOMICA-BARADLA

Dagmar Haviarová<sup>1</sup> – Peter Gruber<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Správa slovenských jaskýň, Hodžova 11, 031 01 Liptovský Mikuláš; haviarova@ssj.sk

<sup>2</sup> Správa Národného parku Aggtelek, 3758 Jósvalfő, Maďarská republika; info.anp@mail.matav.hu

### **D. Haviarová & P. Gruber: The newest results of water component monitoring of the underground wetland of Domica-Baradla**

**Abstract:** The Domica-Baradla cave system as karst subterranean hydrological system represents the wetland of international importance. The cave system is situated in the cross-boundary position of Slovakia and Hungary. The Slovak Caves Administration (Slovakia) and the Administration of the National Park Aggtelek (Hungary) cooperate in the frame work of the protection of the cave system. This cooperation includes mainly a hydrological and hydrochemical monitoring. This article presents results of these observations, that were carried out during period 1. 1. 2004 – 31. 8. 2005.

**Key words:** hydrological monitoring, hydrochemistry, precipitation, water pollution, Domica Cave, Baradla Cave

## ÚVOD

Jaskynný systém Domica-Baradla predstavuje podzemný hydrologický systém rozprestierajúci sa na území dvoch štátov, Slovenska a Maďarska. Výnimočné hodnoty lokality prevažne z hľadiska hydrologie a zoológie boli dôvodom jej zápisu medzi podzemné mokrade medzinárodného významu. Pri ochrane jaskynného systému existuje úzka spolupráca medzi Správou slovenských jaskýň (SSJ) a Správou Národného parku Aggtelek, ktoré sa podieľajú na vykonávaní činností a aktivít súvisiacich so zachovaním jeho charakteru a prírodných hodnôt. Koordinácia a úzka spolupráca v rámci hydrologického a hydrochemického monitoringu realizovaného na slovenskej a maďarskej strane jaskynného systému prináša dôležité výsledky vo vzťahu k jeho poznaniu a ochrane.

Článok približuje výsledky hydrologických a hydrochemických pozorovaní za obdobie rokov 2004, 2005 (k 31. 8. 2005), ktoré boli pokračovaním predošlých monitorovacích prác realizovaných na slovenskej strane systému pracovníkmi SSJ od konca roku 1999 (Peško, 2003; Haviarová, 2004) a v maďarskej časti systému od roku 2003. Príspevok hodnotí hydrologický systém za uvedené časové obdobie zo stránky kvantitatívnej i kvalitatívnej. V stručnosti približuje aj dlhodobější vývoj zrážkových pomerov povodia jaskyne Domica, ktorý je dôležitý z pohľadu zhodnotenia aktivity podzemných tokov v jaskyni.

## JASKYŇA DOMICA

### **Základná charakteristika meraní**

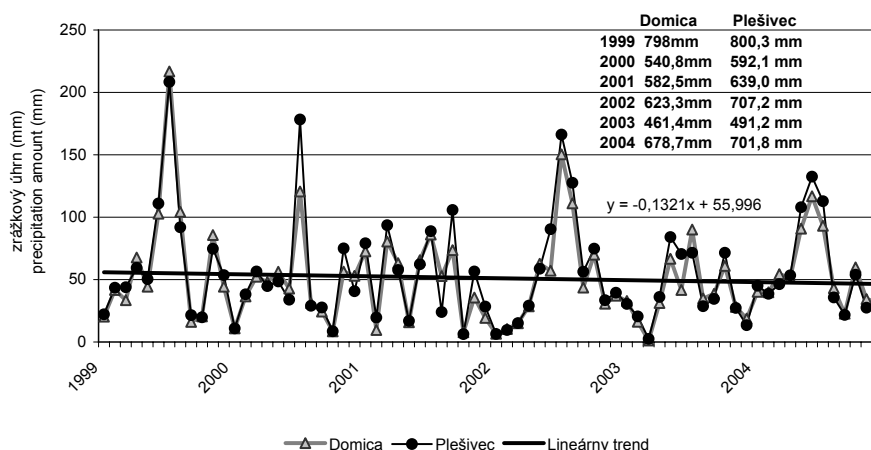
Hydrologický monitoring v roku 2004 nadviazal v plnom rozsahu na charakter a rozsah prác z predchádzajúcich rokov. Kvalita vôd pretekajúcich jaskynným systémom až do jeho maďarskej časti bola sledovaná formou kontinuálneho záznamu mernej elektrickej vodivosti (EC) a teploty vody (20-minútový interval záznamu predstavujúci 72 nameraných dát pre jednu veličinu v rámci stanovišťa v priebehu jedného dňa pri použití datalogera BABUC/A – LSI, Taliansko a konduktometra LF 196 – WTW, Nemecko) podzemného toku Styx (stanovište v Panenskej chodbe) a Domického potoka (stanovište Majkov dóm) a expedičných meraní kvality týchto vôd (1-krát denne) multifunkčnou sondou Horiba (sledovanie oxido-redukčného potenciálu Eh, pH, zákalu, obsahu rozpustených látok vo vode). Podrobnejšie údaje o kvalite vôd sa získavali z expedičných odberov, ktorých vzorky sa subdodávateľsky spracovávali v chemickom laboratóriu SeVaKu, a. s., v Liptovskom Mikuláši. Ich výsledky boli vyhodnocované podľa STN 75 7111 (Kvalita vody. Pitná voda) a vyhlášky MZ SR č. 151/2004 Z. z. o požiadavkách na pitnú vodu a kontrole kvality pitnej vody. Stanovenie prietokov Domického potoka sa v roku 2004 riešilo podobne ako v predchádzajúcom období denným odpočtom výšky prepadového lúča na osadenom mernom priepade v ponore Domického potoka s následným prepočtom prietoku Q. Vzhľadom na doteraz zistený charakter režimu jeho prietokov s cieľom spresniť získavané údaje sa začiatkom roka 2005 pristúpilo k osadeniu automatickej meracej stanice – hlbkovej sondy typu Mars 4i slúžiacej na automatické meranie výšky prepadového lúča. Interval merania bol

zvolený rovnaký ako v prípade merania mernej elektrickej vodivosti a teploty vody, t. j. 20 minút. Identickou sondou sa nahradila aj stará hĺbková sonda na Styxe (stanovište v Panenskej chodbe), slúžiaca rovnako na meranie výšky prepádového lúča v mieste merného priepadu. Počas roka sa priebežne vykonávali odpočty dát z monitorovacích zariadení a zabezpečovala sa ich údržba. Všetky kontinuálne merané dáta boli postupne spracované do formy základných štatistických súborov (priemerné denné hodnoty, maximálne a minimálne denné hodnoty, modusy, smerodajné odchýlky, variačné rozpätia). Ani počas tohto sledovaného obdobia sme sa nevyhli narušeniu kontinuálnosti meraných údajov spôsobenému občasnou poruchovosťou monitorovacej techniky (podmienenej vysokou vzdušnou vlhkosťou v jaskyni, výpadkami elektrického prúdu, elektrickými výbojmi počas búrok alebo opotrebovanosťou používanej techniky), ktorú vzhľadom na jej limitujúci počet nebolo možné vždy vymeniť za funkčné zariadenia.

### Zhodnotenie zrážkových pomerov v povodí jaskyne

Charakter prietokov obidvoch občasných podzemných tokov je odrazom viacerých prírodných faktorov. Medzi tie najzákladnejšie sa radia klimatické charakteristiky – zrážky, evapotranspirácia, teplota vzduchu. Pri aktivite podzemného toku Styxu a Domického potoka hrá dôležitú úlohu množstvo zrážok spadnutých počas roka v povodí jaskynného systému. Okrem ročného zrážkového úhrnu je veľmi podstatné aj jeho rozloženie počas roka. Aj preto bola pri areáli jaskyne v spolupráci s SHMÚ v Košiciach zriadená v roku 1999 účelová zrážkomerná stanica. Dovtedy sa údaje o zrážkových úhrnoch preberali z najbližšej meteorologickej stanice v Plešivci, ležiacej cca 10 km od jaskyne. Z chodu ročných zrážkových úhrnov z obidvoch staníc za obdobie rokov 1999 – 2004 a mesačných zrážkových úhrnov za rovnaké obdobie je zrejмый obdobný trend priebehu zrážok z obidvoch staníšť pri pretrvávajúci o niečo nižších zrážkových úhrnov v stanici Domica. Priemerne za uvedené obdobie je tento zrážkový úhrn nižší o 41 mm. Priebeh mesačných zrážkových úhrnov zo stanice Plešivec a Domica za obdobie rokov 1999 – 2004 približuje obr. 1.

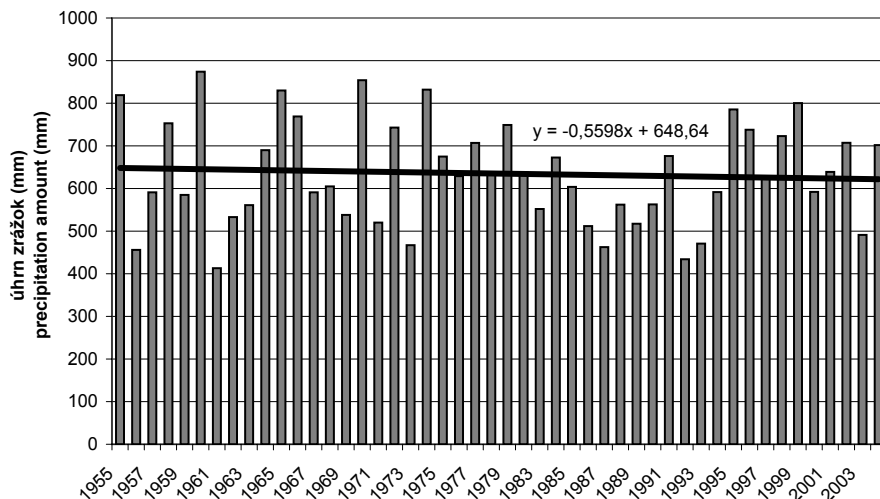
Vychádzajúc z potvrdenia podobného trendu vývoja mesačných zrážkových úhrnov z obidvoch staníc, ako aj vypočítanej hodnoty koeficienta korelácie vyjadrujúcej vzťah medzi ročnými zrážkovými úhrnami obidvoch staníc za časové obdobie rokov 1999 – 2004 (zodpovedajúca hodnota 0,97 hovorí o pomerne vysokej korelácii obidvoch premenných), je možné na čiastočné priblíženie priebehu zrážok v povodí jaskyne Domica a jej okolí za časové obdobie pred rokom 1999 použiť zrážkové úhrny z meteorologickej stanice v Plešivci. Tie nám vo forme mesačných zrážkových úhrnov za obdobie rokov 1955 – 2004 poskytol SHMÚ v Bratislave. Trend ročných zrážkových úhrnov z tejto stanice počas uvedeného časového obdobia má mierne klesajúci charakter (obr. 2). Zrážkové úhrny sa vyznačujú vysokou premenlivosťou, s najnižšie nameraným ročným zrážkovým úhrnom 413 mm (rok 1961) a najvyšším úhrnom 874 mm (rok 1960). Rad nízkych ročných zrážkových úhrnov bolo možné v meteorologickej stanici sledovať v období druhej polovice 80. a začiatkom 90. rokov. V období rokov 1955 – 2004 predstavoval ročný zrážkový úhrn pri 50 % zabezpečení 635 mm. Čiara prekročenia ročných zrážkových úhrnov zhotovená pre uvedené časové obdobie je súčasťou obrázka č. 3. Najvyššie mesačné zrážkové úhrny boli spojené s mesiacom jún (86,1 mm), najnižšie s mesiacom január (30,3 mm). Pri zrážkových úhrnoch v stanici Domica za rovnaké obdobie je možné predpokladať podobný priebeh režimu chýbajúcich dát (analogický trend pri nižších úhrnoch). Vychádzajúc z tohto predpokladu a z priebehu trendovej čiary ročných zrážkových úhrnov za posledných 50 rokov v stanici Plešivec, ktorá má len pozvoľne klesajúci priebeh, nie je opodstatnené hovoriť o výraznom poklese zrážkových úhrnov v povodí jaskyne Domica a jej okolí za uvedené časové obdobie.



Obr. 1. Priebeh mesačných zrážkových úhrnov zo stanice Plešivec a Domica za obdobie rokov 1999 – 2004

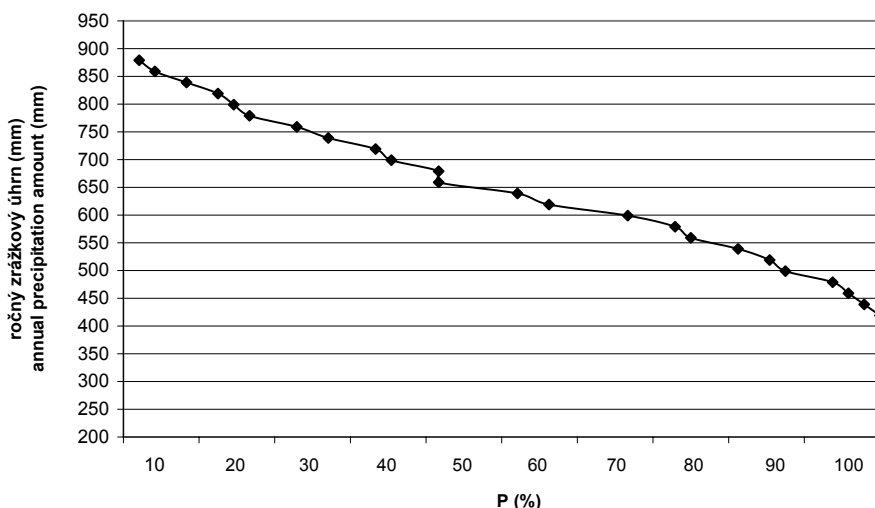
Fig. 1. The course of monthly precipitation amounts at the station Plešivec and Domica during time period 1999 – 2004

Od roku 2000 sa v povodí jaskyne Domice sledovala séria rokov s nižšími ročnými zrážkovými úhrnmi, ktorej kontinuita bola narušená až v roku 2004. Aj počas tejto relatívne suchšej periódy sa však v priebehu rokov vyskytli zrážky, ktorých denný úhrn prekročil 30 mm. V roku 2000 sa v letných mesiacoch vyskytli výdatné zrážky 2-krát (16. júl – 41 mm a 28. júl – 33 mm), v roku 2002 celkovo 4-krát (27. máj – 30,5 mm, 16. júl – 37 mm, 18. júl – 31,8 mm, 6. august – 35 mm). Extrémne suché obdobie bolo zaznamenané od septembra 2001 do mája 2002. Tento stav korešpondoval s celkovým charakterom zrážok v tomto období na východnom území Slovenska. V roku 2003 spadlo v povodí Domice len 461,4 mm zrážok, čo v prípade stanice v Plešivci (491,2 mm) predstavovalo siedmy najnižší ročný zrážkový úhrn od roku 1955. Z dôvodu detailnejšieho poznania priebehu zrážkových úhrnov sa nám v roku 2004 podarilo na Domici sfunkčnit' automatickú zrážkomernú stanicu, ktorá počas roka s výnimkou zimných mesiacov zaznamenáva chod zrážkových úhrnov v intervale jednej hodiny.



Obr. 2. Priebeh ročných zrážkových úhrnov z meteorologickej stanice Plešivec za obdobie rokov 1955 – 2004

Fig. 2. The course of the annual precipitation amounts at the meteorologic station Plešivec during time period 1955 – 2004



Obr. 3. Čiara prekročenia ročných zrážkových úhrnov z meteorologickej stanice Plešivec, obdobie 1955 – 2004

Fig. 3. The line of overrun of the annual precipitation amounts from the meteorologic station in Plešivec, time period 1955 – 2004

## Zhodnotenie výsledkov monitoringu za rok 2004

### Výsledky kvantitatívnych meraní

Rok 2004 predstavoval v porovnaní s rokom 2003 výrazný nárast objemu vody v jaskynnóm systéme. Kým v roku 2003 tvoril aktívny prietok Styxu len 19 dní (5 % ročnej aktivity), v roku 2004 vzrástol počet dní s jeho aktívnym prietokom na 194 (53 % ročnej aktivity). Konkrétne išlo o obdobia 1. – 5. 1. 2004, 6. – 11. 2. 2004, 17. – 21. 2. 2004, 23. 2. – 5. 3. 2004, 10. 3. – 22. 8. 2004. Aktivita Styxu bola podmienená výraznejšou zrážkovou činnosťou, ktorá za tento rok sumárne predstavovala 678,7 mm. V zimných mesiacoch krátke vlny prietokov vznikli ako dôsledok nárastu vonkajšej teploty vzduchu s následným odtápaním snehovej pokrývky na povrchu. Jarné topenie snehu v povodí jaskyne Domica bolo hlavným zdrojom vody podmieňujúcim aktivitu toku Styxu. Jeho postupné vyznievanie v spojení s niekoľkými menšími zvýšeniami prietoku počas výraznejších letných zrážok trvalo až do druhej polovice augusta. Pre poruchy datalogera na stanovišti nie sú známe hodnoty prietokov Styxu za obdobie 12. 5. – 30. 6. 2004. Mohli vzrásť 11. 6. 2004 (zrážka 26,2 mm)

a v dňoch 19. – 20. 6. 2004, keď na povrchu sumárne počas dvoch dní spadlo 42,4 mm zrážok. Domický potok si aj v tomto roku zachovával charakter svojho režimu, t. j. rýchlu reakciu prietoku na povrchovú zrážkovú činnosť a krátke trvanie. Vzhľadom na to, že údaje o prietokoch Domického potoka sa v tomto čase ešte nezískavali automatickou stanicou, ich hodnoty majú skôr orientačný charakter. Vďaka zvýšenej aktivite obidvoch podzemných tokov sa po dvojročnej prestávke v jaskyni znova prevádzkovala plavba.

### ***Výsledky kvalitatívnych meraní***

Z výsledkov merania mernej elektrickej vodivosti na Styxe je zrejmé, že sa v závislosti od charakteru jeho prietokov stretávame v podzemí s dvoma typmi vôd. V prvom prípade ide o primárne zrážkové vody, formujúce sa z okamžitých zrážok a z odtápajúcej sa snehovej pokrývky. Druhý prípad predstavujú karbonatogénne vody, ako petrogénne vody, ktorých chemizmus je podmienený mineralogicko-petrografickým charakterom horninového prostredia. Zrážkové vody sa dostávajú do jaskyne na začiatku prietokových vln predovšetkým cez ponory jaskynného systému. Pri rýchlom obehú sa nestačia dostatočne nasýtiť, a preto sú hodnoty ich mernej elektrickej vodivosti veľmi nízke. Ich pretrvávajúce v systéme je krátke. S predlžujúcou sa dobou styku zrážkových vôd s horninovým prostredím dochádza k ich metamorfóze, zvyšuje sa ich mineralizácia a mení sa ich celkový chemizmus. Slabo metamorfované zrážkové vody Styxu a Domického potoka prinášajú do podzemia najvýraznejšie znečistenie. Zrážkové vody spôsobujúce splach z terénu predstavujú transportné médium, s ktorým vstupujú do jaskyne rôzne nečistoty. Voda následne nadobúda nevyhovujúce sensorické vlastnosti. Z expedičných meraní sondou Horiba boli zistené v niektorých prípadoch veľmi vysoké hodnoty zákalu. S cieľom stanoviť podrobnejšie chemizmus jaskynných vôd, sa počas roka postupne vykonalo niekoľko odberov týchto vôd.

Prvá vzorka v jaskyni sa odobrala 23. 2. 2004 z priestorov I. plavby. V rámci účelovej analýzy boli podľa Vyhlášky MZ SR č. 151/2004 Z. z. prekročené jej medzné hodnoty zákalu a  $\text{CHSK}_{\text{Mn}}$  (chemická spotreba kyslíka manganistanom draselným predstavujúca nepriamy údaj o obsahu organických látok vo vode). Obsahy fosforečnanov vo vode prekračovali medznú hodnotu STN 75 7111 (Pitná voda). Voda dosahovala aj výrazné bakteriálne znečistenie vo forme zvýšených obsahov koliformných, mezofilných a psychrofilných baktérií. Druhý odber jaskynných vôd sa uskutočnil 29. 2. 2004, pri doznievaní prietokov obidvoch tokov. Vody Domického potoka aj Styxu mali v tomto prípade prekročené medzné hodnoty zákalu, amónnych iónov a  $\text{CHSK}_{\text{Mn}}$  vrátane prekročenia indikačnej hodnoty absorbancie. Aj v tomto prípade sa zistila vysoká prítomnosť koliformných, mezofilných a psychrofilných baktérií. Dňa 16. 3. 2004, v čase výraznejších prietokov, bola odobraná vzorka vody z Domického potoka, v ktorej dominoval extrémny zákal (2035,74 ZF). Vysoká bola aj hodnota  $\text{CHSK}_{\text{Mn}}$  (19 mg/l), absorbancie (3,785 – 254 nm, 1 cm) a amónnych iónov (1,712 mg/l), podobne vysoké hodnoty dosahovali aj mezofilné a psychrofilné baktérie. Dňa 11. 5. 2004 bol vykonaný posledný odber vôd Styxu. V tomto prípade už išlo podľa hodnoty mernej elektrickej vodivosti (752  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), obsahu vápenatých (160,3 mg/l) a hydrogénuhličitanových (452,14 mg/l) iónov o klasickú krasovú karbonatogénnu vodu, ktorá sa formovala zo zrážok v prostredí karbonátov pri procese ich rozpúšťania. Kvalita týchto vôd vo všetkých ukazovateľoch s výnimkou absorbancie zodpovedala Vyhláške č. 151/2004 Z. z. Vo vzťahu k bakteriálnemu oživeniu bolo vo vode identifikované mierne zvýšenie koliformných baktérií. Súčasne s vodami Styxu sa odobrala vzorka vody z Domického potoka, v ktorej sa prejavilo len zvýšenie absorbancie a obsahu železa a mangánu. Obsah koliformných, mezofilných ani psychrofilných baktérií nebol prekročený.

Počas kontinuálneho záznamu mernej elektrickej vodivosti vôd Styxu sa jej hodnoty pohybovali v rozsahu 20  $\mu\text{S}/\text{cm}$  až 747  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , s modusom 747  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Teplota vody bola zaznamenaná v rozpätí 0,4 °C až 10,1 °C s modusom 9,3 °C. Vzhľadom na expedičné merania realizované multifunkčnou sondou Horiba počas poruchy funkčnosti datalógera (12. 5. – 30. 6. 2004) sa dá predpokladať, že maximálne okamžité teploty vôd pri ich vstupe do podzemia počas júrovej zrážky boli ešte o niečo vyššie. Na Domickom potoku (Majkov dóm) sa teplota z expedičných meraní pohybovala v rozpätí 0,9 °C až 14,2 °C. Počas kontinuálnych meraní sa pri jarnom topení snehu namerali aj nižšie hodnoty teploty vody (len 0,1 °C). Podľa meraných hodnôt pH bola voda obidvoch tokov slabo alkalická, prípadne neutrálna. Prostredie podľa hodnôt Eh bolo prevažne slabo oxidačné, občasne indiferentné, s vyššími hodnotami Eh pri vodách Domického potoka.

## **Zhodnotenie výsledkov monitoringu za rok 2005**

### ***Výsledky kvantitatívnych meraní***

Rok 2005 podobne ako rok 2004 bol z hľadiska objemu vody v jaskyni pomerne priaznivý. Množstvo zrážok, ktoré spadlo počas zimného obdobia, sa podpísalo na aktivite Styxu v jarných mesiacoch, ktorá vo forme nízkych prietokov pretrvala až do leta. Krátkodobé zvýšenie vonkajšej teploty vzduchu spôsobilo

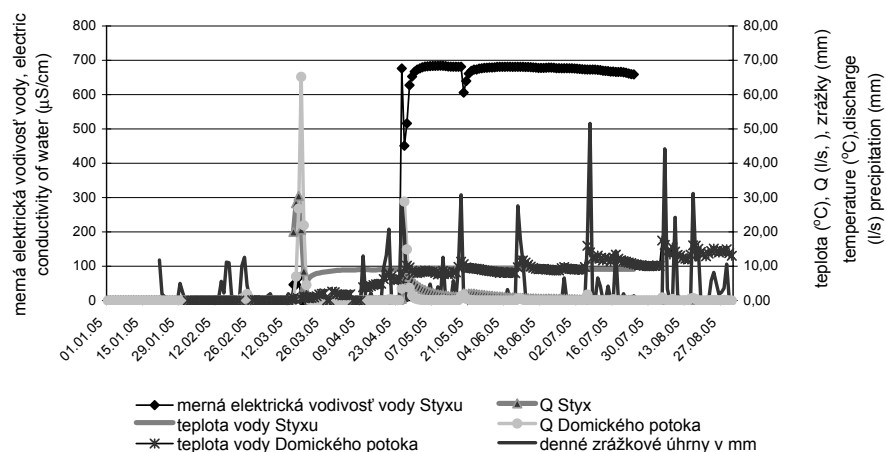
jeho aktivitu (4 dni) už koncom mesiaca február. Tieto prietoky však boli vzhľadom na pretrvávajúce nízke nočné teploty malé – do 1 l/s. Výrazná prietoková vlna nastúpila 14. 3. 2005 a jej doznievanie trvalo až do 26. 4. 2005, keď vplyvom intenzívnejších zrážok (25. – 26. 4. 2005 – cca 48,2 mm) narástol prietok Styxu na 25 l/s. Podstatne menšie zvýšenie prietoku (max. 3,3 l/s) bolo zaznamenané ešte 19. 5. 2005 ako reakcia na výdatnejšie zrážky z predchádzajúcich dní. Priemerná hodnota prietoku Styxu z údajov od začiatku roka do 24. 7. 2005, keď sa skončila jeho aktivita, predstavovala 1,7 l/s. Prietoky Domického potoka sa v roku 2005 začali sledovať automatickou stanicou Mars 4i s 20-minútovým intervalom záznamu, čím sa v porovnaní s predchádzajúcim obdobím zvýšila presnosť v ich meraní. Počas sledovaného obdobia sa takmer všetky výraznejšie zrážky prejavili na prietokoch Domického potoka, kým na Styxe ostával prietok väčšinou konštantný. Najvyššie prietoky dosiahol Domický potok pri marcovom topení snehu, keď sa hodnota prietoku v čase kulminácie vyšplhala zhruba na 218 l/s. Doba trvania jednotlivých prietokových vln bola krátka, vo všetkých prípadoch po kulminácii nastal rýchly pokles prietokov takmer na nulovú hodnotu. Priemerný prietok Domického potoka aj vzhľadom na jeho výraznejšie denné maximá v niektorých prípadoch mal k 31. 8. 2005 hodnotu len necelý 1 l/s.

### Výsledky kvalitatívnych meraní

Podobne ako v roku 2004 bolo aj v roku 2005 možné pozorovať na Styxe prítomnosť vôd s rozdielnym stupňom mineralizácie. Kým počas topenia snehu boli jej hodnoty extrémne nízke (minimálna hodnota mernej elektrickej vodivosti bola 22  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), postupne s klesaním prietokov dochádzalo k ich postupnému zvyšovaniu. Priemerná hodnota EC dosiahla 650  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , modus predstavoval 681  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Obdobne teplota vody kolísala v širokom rozpätí 0,8 °C až 9,3 °C s modusom 9,3 °C, rovnakým ako v roku 2004. Údaje o mernej elektrickej vodivosti vôd Domického potoka z kontinuálneho záznamu na stanovišti v Majkovom dóme vzhľadom na nekompletnosť údajov spôsobených poruchovosťou prístroja nebolo možné podrobnejšie interpretovať. Teplota vôd Domického potoka meraná v jeho ponore dosahovala hodnoty od 0,1 °C do 16,2 °C. Výsledky expedičných meraní multifunkčnou sondou Horiba hovorili o slabo alkalickom charaktere vôd Domického potoka aj Styxu. Ich hodnoty sa v prípade Domického potoka pohybovali v rozpätí 7,6 až 8,4, vody Styxu dosahovali hodnoty 7,5 až 8,4. Z pohľadu oxido-redukčných podmienok bolo prostredie obidvoch vôd slabo oxidačné. Na začiatku prietokových vln Domického potoka pretrvávali výraznejšie zákalové stavy jeho vôd.

Počas roka sa vykonali 3 sady odberov vzoriek vôd. V prvom prípade boli zachytené vody z jarného topenia snehu. Vďaka priaznivému charakteru hydrologických pomerov v území v čase odberu bolo možné odobrať vzorky vody nielen zo Styxu a Domického potoka, ale aj vzorky vôd ponárajúcich sa priamo do podzemia v dvoch z hlavných ponorov jaskynného systému, ponore Čertova diera a ponore Líščia diera. Zberná oblasť týchto vôd zahŕňa časť poľnohospodársky využívaného územia. Na porovnanie ich kvality s vodami, ktorých zberná oblasť nie je prepojená s územím intenzívne poľnohospodársky využívaným, sa súčasne odoberala voda z občasne pritekajúceho bezmenného ľavostranného prítoku Styxu za priestorom druhej plavby jaskyne. Výsledky analýz, podobne ako výsledky z roku 2003 (Haviarová, 2004), ukázali rozdiely v kvalite týchto vôd. Vody vstupujúce do systému cez ponory z nekrasového územia mali podľa Vyhlášky MZ SR č. 151/2004 Z. z. v rámci rozsahu svojej analýzy prekročené medzné hodnoty zákalu,  $\text{CHSK}_{\text{Mn}}$ , amónnych iónov, železa a mangánu. Prekročené boli aj indi-

kačné hodnoty absorban-  
cie. Extrémne vysoké  
hodnoty sa zistili pri fos-  
forečnanoch; v prípade  
Domického potoka pred-  
stavovali až 76,1 mg/l.  
Pri vodách ponárajúcich  
sa v Čertovej diere zod-  
povedal zistený obsah  
fosforečnanov hodnote  
59,3 mg/l a pri vodách  
ponárajúcich sa v Líščej  
diere 41,56 mg/l (norma  
STN 75 7111 pre fosfo-  
rečnany udáva medznú  
hodnotu 1 mg/l). V tom  
istom čase dosahoval  
obsah fosforečnanov  
v krasovej vode z vyššie



Obr. 4. Priebeh monitorovaných parametrov (priemerné denné hodnoty) na Styxe a Domickom potoku, 1. 1. – 31. 8. 2005, jaskyňa Domica  
Fig. 4. The course of observed parameters (average daily values) of the Styx Stream and the Domica Stream, 1. 1. – 31. 8. 2005, Domica Cave

opísaného prítoku Styxu len 1,4 mg/l. Teplota vôd počas odberu bola veľmi nízka: 0,2 °C mala voda v ponore Čertova a Líščia diera, voda Domického potoka dosahovala 0,8 °C, voda Styxu v Panenskej chodbe mala 1 °C a krasová voda za druhou plavbou sa priblížila teplote 1,8 °C. Obsah dusičnanov vo všetkých vzorkách bol nízky, neprekročil hodnotu 9 mg/l. Mikrobiologické ukazovatele v rámci tejto sady odberov neboli stanovené. Druhý odber vôd sa vykonal 26. 4. 2005 počas zvýšených prietokov na obidvoch podzemných tokoch, spôsobených intenzívnejšou zrážkovou činnosťou. Aj napriek už spomínanej zrážkovej činnosti nedošlo k extrémnemu zriedeniu karbonatogénnych vôd Styxu, a tým k výraznejšiemu poklesu ich mineralizácie, ani k zvýšeniu ich zákalu. Prívalová voda priniesla len bakteriálne znečistenie. Všetky ostatné stanovené ukazovatele boli v norme. Vody Domického potoka okrem bakteriálneho znečistenia mali zvýšený zákal, absorbanciu,  $\text{CHSK}_{\text{Mn}}$  zvýšený obsah železa a mangánu. V čase posledného odberu 20. 6. 2005 sa prietok Styxu pohyboval len do 0,5 l/s, prietok Domického potoka bol blízky nule. Vody Styxu charakterizovala vyššia mineralizácia, hodnoty všetkých vybraných ukazovateľov boli nízke, mierne zvýšený bol len obsah koliformných baktérií (70 v 100 ml). Vyššie mineralizované boli aj vody Domického potoka, ktoré mali zároveň aj vyššiu hodnotu absorbancie,  $\text{CHSK}_{\text{Mn}}$  a zvýšené bakteriálne oživenie.

Tab. 1. Prehľad vybraných ukazovateľov kvality vôd jaskynného systému Domica: MH – medzná hodnota kvality vody, OH – odporúčaná hodnota

Tab. 1. Summary of the selected components of water quality in the Domica Cave System: MH – limit value, OH – recommend value

Dátum	Miesto odberu	Vodivosť mS/m	Zákal ZF	$\text{CHSK}_{\text{Mn}}$ mg/l	Amónne ióny mg/l	Cl <sup>-</sup> mg/l	$\text{SO}_4^{2-}$ mg/l	$\text{NO}_2^-$ mg/l	$\text{NO}_3^-$ mg/l	$\text{PO}_4^{3-}$ mg/l	Ca <sup>2+</sup> mg/l	$\text{HCO}_3^-$ mg/l
23. 2. 2004	I. plavba	12,1	9,53	13,44	0,42	5,5	1,92	0	2,1	1,35	–	–
29. 2. 2004	Domický potok	12,9	10,9	14,1	0,69	4,4	11,1	0,033	3,6	0,76	24	67,21
	Styx	16,4	10	8,9	0,54	4,4	13,9	0,027	3,95	0,55	30	85,54
16. 3. 2004	Domický potok	6,8	2036	19	1,712	4,8	1,44	–	9,11	0,103	–	–
11. 5. 2004	Domický potok	62	1,78	2,1	0,396	9,4	38,42	0	7,1	0,066	122,2	360,49
	Styx	75,2	0,8	1,3	0	3,4	45,63	0	2,3	0,059	160,3	452,14
17. 3. 2005	Čertova diera	6	13,37	9,3	1,095	2,3	2,4	0,02	1,4	59,3	13,6	36,66
	Líščia diera	6,3	75,1	5,44	1,893	2,5	1,92	0,022	8,3	41,56	10	24,44
	Domický potok	5,1	169,4	7,6	1,39	2,3	1,92	0	6,57	76,1	7,2	18,33
	Styx	7,2	121,9	9,44	0,646	2,6	1,92	0,007	7,1	19,36	12	24,44
	prítok Styxu za II. plavbou	68,6	0,71	1,3	1,009	1,9	35,54	0	2	1,415	160	439,92
26. 4. 2005	Domický potok	37,9	20,02	7,5	0,325	16,5	41,9	0,044	8,4	0,414	60,1	146,64
	Styx	65,2	0,83	1,1	0,453	4,2	43,23	0,003	1,37	0,147	160,3	427,7
20. 6. 2005	Domický potok	58,7	1,21	4,48	0,26	18,6	30,3	0,006	13,2	0,012	108,2	366,6
	Styx	69,5	0,92	0,6	0,176	1,8	37,9	0	1,59	0,016	160,3	464,36
Vyhláška MZ SR č. 151/2004 Z. z.		MH 125	MH 5	MH 3,0	MH 0,5	MH 100	MH 250	MH 0,1	MH 50		OH > 30	

Tab. 2. Prehľad vybraných ukazovateľov kvality vôd jaskynného systému Domica: MH – medzná hodnota kvality vody

Tab. 2. Summary of the selected components of water quality in the Domica Cave System: MH – limit value

Dátum	Miesto odberu	Koliformné baktérie v 100 ml	Mezofilné baktérie v 1 ml	Psychrofilné baktérie v 1 ml
23. 2. 2004	I. plavba	400	2000	2200
29. 2. 2004	Domický potok	1500	1000	6300
	Styx	1200	370	2700
16. 3. 2004	Domický potok	–	3500	27000
11. 5. 2004	Domický potok	10	20	25
	Styx	30	15	80
26. 4. 2005	Domický potok	2000	700	3500
	Styx	600	1700	3600
20. 6. 2005	Domický potok	500	260	1000
	Styx	70	26	80
Vyhláška MZ SR č. 151/2004 Z. z.		MH 0 v 100 ml		

### Základná charakteristika meraní

Kvalita vôd jaskynného systému Domica-Baradla v jej maďarskej časti sa sleduje na vodách Styxu a jeho najväčšieho prítoku Acheron. Na Styxe je zvoleným miestom monitorovania priestor za časťou jaskyne s názvom Koncertná sieň v smere k slovensko-maďarským hraniciam. Kvalita vôd Acheronu sa v jaskyni sleduje v mieste ležiacom približne 100 m od jeho hlavného ponoru. Kvalita vôd sa merala multifunkčnými sondami typu HYDROLAB, ktoré boli neskôr nahradené obdobnými sondami typu YSI. Realizované merania majú kontinuálny charakter, v pravidelných 20-minútových intervaloch sa sledujú hodnoty mernej elektrickej vodivosti vody, jej teploty, pH, oxido-redukčného potenciálu, kyslíkového nasýtenia a obsahu dusičnanov. Sledovanie prietokov na uvedených tokoch sa v súčasnosti v jaskyni nerealizuje.

### Zhodnotenie výsledkov monitoringu za rok 2004

Počas roka 2004 sa v rámci hydrochemických meraní sledovala len kvalita vôd Acheronu. Dôvodom bolo poškodenie sondy umiestnenej na Styxe vplyvom elektrických výbojov počas jednej z májových búrok. Vody Acheronu boli počas roka aktívne celkovo trikrát – od 5. do 25. 10. 2004, od 2. do 30. 11. 2004 a od 9. do 31. 12. 2004. Vody mali vo všetkých prípadoch slabo alkalický charakter, ich pH sa pohybovalo v rozpätí 7,5 až 8,2. Teplota vôd bola takmer konštantná, s osciláciou 0,1 °C od jej priemeru, ktorý predstavoval 9,8 °C. Hodnoty EC sa pohybovali od 193  $\mu\text{S}/\text{cm}$  do 721  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Zrážkové vody v povodí Acheronu sú na povrchu zachytávané v troch poldroch, z ktorých voda dotuje podzemný tok. Stagnácia povrchových vôd pred ich vstupom do podzemia v spojitosti s prebiehajúcimi biochemickými procesmi počas nej sa do určitej miery podpísala na nižšom kyslíkovom nasýtení sledovaných vôd Acheronu. Hodnoty oxido-redukčného potenciálu boli namerané v rozpätí od -8 do 363 mV. Nízke hodnoty Eh sa zaznamenali počas údržby jaskyne. Koncom roka 2004 došlo v povodí Acheronu k poruche miestnej kanalizácie. Ďalšia porucha nastala na miestnom vodovodnom potrubí, z ktorého unikajúca voda transportovala vzniknuté lokálne znečistenie od jeho zdroja (miesto poškodeného kanalizačného potrubia) až do priestorov jaskyne. Postupné vyplavovanie znečistenia spôsobilo zhoršenie kvality vôd Acheronu, ktoré sa v prípade sledovaných veličín prejavilo zvýšením hodnôt dusičnanov (maximálna nameraná hodnota 74,33 mg/l). Ich zvýšenie pretrvávalo aj začiatkom roku 2005.

### Zhodnotenie výsledkov monitoringu za rok 2005

V roku 2005 pokračovalo sledovanie kvality vôd Acheronu. Prvé merania zachytili vodu, ktorá nemala prirodzený pôvod. Išlo o vodu vytekajúcu z už spomínaného poškodeného vodovodného potrubia, ktorá naďalej vyplavovala z horninového prostredia nečistoty z poškodenej kanalizácie. Znečistenie sa vo vode v mieste monitorovania opäť prejavilo vyššími hodnotami dusičnanov (maximálna hodnota 33,5 mg/l). Koncom februára, podobne ako na slovenskej strane vplyvom krátkodobého vonkajšieho oteplenia, došlo k čiastočnému odtopeniu snehovej pokrývky a následnému vstupu chladnejších, nízkomineralizovaných vôd do systému. Aj tieto vody mali zvýšené obsahy dusičnanov (zvýšenie obsahu dusičnanov z priemerných 6 mg/l až na 44,9 mg/l), pH vody bolo nepatrne posunuté z hodnoty 7,6 na 8,0. Trvanie aktívneho prietoku sa skončilo 2. 3. 2005 a aktivita Acheronu sa obnovila až 16. 3. 2005, keď vody z topiaceho sa snehu začali dotovať jaskynný systém. Teplota vôd v mieste merania sa len pozvoľna zvyšovala z necelého 0,5 °C na 8,5 °C, nameraných 13. 4. 2005, posledný deň aktívneho prietoku Acheronu. Podobne to bolo aj s mineralizáciou vôd, merná elektrická vodivosť sa postupne zvyšovala zo 121  $\mu\text{S}/\text{cm}$  na 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Oxido-redukčný potenciál sa pohyboval v rozpätí 361 až 412 mV. Vody boli slabo alkalické. Jarné topenie snehu prinieslo do jaskyne znečistenie pochádzajúce z poľnohospodárskej činnosti na povrchu. Lokálne hromadenie maštalného hnoja na poliach v zbernej oblasti Acheronu počas zimných mesiacov a skoro na jar (v čase zamrznutého pôdneho pokryvu) spôsobuje už dlhodobo počas jarného topenia snehu zhoršenie kvality vôd vtekajúcich do jaskyne. Nasvedčujú tomu aj vysoké hodnoty dusičnanov obsiahnutých v jaskynných vodách, ktoré sa v tomto prípade vyšplhali na 82 mg/l. Aktivitu Acheronu v jarnom období ukončilo vyčerpanie zdrojových vôd na povrchu. Jeho prietoky sa stali opäť aktívne až počas výdatnejších zrážok začiatkom júla.

V roku 2005 sa v rámci maďarskej časti systému sledovala aj kvalita vôd podzemného toku Styxu. Ešte koncom roka 2004 bola na Styxe osadená nová sonda typu YSI, nahradzujúca predchádzajúcu poškodenú sondu. Získané výsledky z meraní vybraných fyzikálno-chemických vlastností vôd Styxu na jeho slovenskej a maďarskej strane neboli totožné. Dôvodom je skutočnosť, že Styx na maďarskom území až po monitorovacie stanovište priberá niekoľko menších prítokov. K najväčším sa radia pravostranné prítoky Rubikon, prítok z Čerňanskej vetvy a prítok za závalom pri dolinke Baradla. V závislosti od charakteru týchto prítokov sa následne mení aj kvalita vôd v Styxe. Z kvantitatívnej stránky je dôležitý fakt, že vody Styxu pretekajúce jaskynným systémom

v jeho domickej časti sa po trase postupne tratia v spodnejších partiách systému, čo často vedie k situácii, keď pri aktívnom prietoku Styxu v Domici je jeho prietok v Baradle nulový. Aby sa získali bližšie údaje o odtokových pomeroch podzemného toku Styxu v rámci systému, bola na jar vykonaná farbiaca skúška, pri ktorej sa 31. 3. 2005 za II. plavbou v jaskyni Domica pri prietoku Styxu 0,2 l/s do jeho vôd aplikovali 2 l rozpusteného fluoresceínu. Zafarbená voda sa v sprístupnenej časti jaskyne Baradla neobjavila. Po časovom intervale 63 hodín bol indikátor pozorovaný vo vyvieracích Medence a Csó, ležiacich 4650 m (vzdušná vzdialenosť) od miesta aplikácie farbiva. Priemerná rýchlosť pohybu indikátora predstavovala 73,8 m/h.

Počas roka boli na Styxe zaznamenané jeho aktívne prietoky v dvoch cykloch. Prvý prebiehal od 16. 3. do 15. 5. 2005, druhý od 6. do 29. 7. 2005. Vody mali podobne ako vody Acheronu slabo alkalický charakter, ich pH sa pohybovalo v rozpätí 7,2 až 8,2. EC sa v závislosti od charakteru dotácie jaskynného systému zrážkovými vodami pohybovala od 73  $\mu\text{S}/\text{cm}$  do 714  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Rozpätie teploty vody spadalo do intervalu 1,7 °C (vody z jarného topenia snehu) až 10,4 °C. Oxido-redukčný potenciál kolísal v hodnotách od 152 mV do 258 mV. Obsahy dusičnanov boli aj na tomto monitorovacom stanovišti zvýšené, počas jarného obdobia sa vyšplhali na hodnotu 50 mg/l. V letnom období, keď nastal pokles prietokov, sa namerané obsahy pohybovali v rozpätí 2,4 mg/l až 27,1 mg/l. Začiatkom apríla sa pri zisťovaní obsahu dusičnanov vo vode zaznamenal ešte jeden výrazný extrém. Jeho zvýšenie až na hranicu 285 mg/l sa môže spájať s činnosťou jaskyniarov v tejto časti jaskyne v danom období. Tí počas svojej činnosti rozvírili staré usadeniny v koryte Styxu a z nich sa následne uvoľnilo kumulované znečistenie staršieho dáta vrátane dusičnanov. Kontaminujúce látky v procese niektorých fyzikálno-chemických reakcií, medzi ktoré patrí napríklad aj sorpcia, majú možnosť počas svojej migrácie eliminovať sa z kvapalnej fázy do sedimentov, z ktorých sa následne pri zmene podmienok môžu uvoľniť. Tento prípad je príkladom toho, ako môže znečistenie pretrvávajúť v jaskynnom systéme a ako môže následne dlhodobo ovplyvňovať kvalitu jeho vôd.

## ZÁVER

Výsledky hydrologických a hydrochemických meraní za obdobie posledných dvoch rokov v rámci jaskynného systému Domica-Baradla možno zhrnúť do niekoľkých bodov:

1. Podzemné toky Styx a Domický potok v rámci slovenskej časti systému si zachovávajú charakter svojho režimu, t. j. rýchla reakcia Domického potoka na vonkajšie zrážky s následným dynamickým poklesom jeho prietokov po skončení kulminácie a pomerne vyrovnané prietoky Styxu s hodnotami prevažne do 2 l/s s výnimkou extrémnych prietokov počas jarného topenia snehu a dlhodobějších, prípadne výdatnejších letných zrážok.

2. Priaznivé klimatické pomery počas hodnoteného obdobia v povodí jaskyne Domica podmienili v porovnaní s predchádzajúcimi dvoma rokmi relatívne dlhodobú aktivitu podzemného toku Styx, čo sa priaznivo odrazilo na možnosti prevádzkovania plavby v jaskyni.

3. Výsledky farbiacej skúšky potvrdili prestupy vôd podzemného toku Styxu za priestormi II. plavby v jaskyni Domica do spodnejších častí hydrogeologického kolektora.

4. Sledovanie kvality vôd v jaskyni Domica potvrdilo nižšiu kvalitu pri vodách Domického potoka v porovnaní s kvalitou vôd Styxu. Najnižšia kvalita súvisela s obdobím jarného topenia snehu, keď v prípade týchto vôd pretrvávajú predovšetkým zhoršenie ich senzorickej vlastností a bakteriálne znečistenie (za súčasného zvýšenia obsahu amónnych iónov, organických látok a fosforečnanov).

5. Hydrochemické merania ukázali vyššie obsahy dusičnanov vo vodách v maďarskej časti systému súvisiace s poľnohospodárskou činnosťou realizovanou na povrchu územia spadajúceho do povodia jaskyne. Vo vzťahu k poľnohospodárskym aktivitám je možné v tejto časti systému predpokladať zhoršenie kvality jaskynných vôd aj v niektorých ďalších, v súčasnosti nesledovaných ukazovateľoch kvality (organické a bakteriálne znečistenie).

6. Medzinárodný význam lokality spojený s jej zápisom do Zoznamu medzinárodne významných mokradí a záväzky vyplývajúce z tohto postavenia sú dôvodom na pokračovanie hydrologických a hydrochemických meraní, ktorých výsledky aj počas hodnoteného obdobia poukázali na pretrvávajúce riziká spojené s ohrozením kvality aj kvantity vôd tohto podzemného hydrologického systému.

## LITERATÚRA

HAVIAROVÁ, D. 2004. Predbežné výsledky hydrologického monitoringu v Jasovskej jaskyni, Gombaseckej jaskyni a jaskyni Domica. In P. Bella, Ed. Výskum, využívanie a ochrana jaskýň 4. Zborník referátov, Liptovský Mikuláš, 95–103.

PEŠKO, M. 2003. Výsledky hydrologického monitoringu jaskyne Domica v rokoch 1999 – 2001. Aragonit, 8, 15–17.

SHMÚ Bratislava. Mesačné úhrny zrážok za obdobie rokov 1955 – 2004, meteorologická stanica Plešivec. Databáza SHMÚ.

STN 75 7111 – Pitná voda.

Vyhláška MZ SR č. 151/2004 Z. z. o požiadavkách na pitnú vodu a kontrolu kvality pitnej vody.