VÝSKUM KRASOVÝCH VÔD Z POHĽADU OCHRANY JASKÝŇ NA SLOVENSKU

KARST WATERS RESEARCH FROM THE CAVES PROTECTION POINT OF VIEW IN SLOVAKIA

Dagmar Haviarová

ABSTRACT
The caves represent specific immensely vulnerable natural geosystems. The karst waters occur in many caves and cave systems. The Slovak Caves Administration as a part of the Ministry of the Environment of the Slovak Republic carries out research of karst waters connected with caves. Waters of the vadose zone - seepage water and water of underground hydrological systems (underground rivers) are in the centre of attention. Hydrogeochemical, hydroindicative and hydrometric methods are used in the research. All results are used subsequently for protection of caves (expert statements, practical care, projects of cave protection zones).

KEY WORDS
caves, karst, karst water, water quality, caves protection

KĽÚČOVÉ SLOVÁ
jaskyne, kras, krasová voda, kvalita vody, ochrana jaskýň

ÚVOD

Krasové územia zaberajú na Slovensku plochu vyše 2700 km^2. Charakterizuje ich výskyt mnohých povrchových a podzemných krasových foriem, ktoré vytvárajú špecifický ráz takýchto území. Podzemnú dominantu krasu tvoria jaskyne, ktorých je v súčasnosti registrovaných viac ako 5400. Väčšina jaskýň je vytvorená v krasových, prevažne karbonátových horninách. Nájdu sa aj také, ktoré sú vytvorené v nekrasových horninách, hlavne v bazaltoch, andezitoch a pieskovcoch. Podmienkou optimálnej ochrany jaskýň je čo najvyšší stupeň ich poznania. Krehkú rovnováhu jaskynného prostredia veľmi ľahko naruší neprimerané využívanie jaskýň a krajiny v ich okolí, za ktorým často krát stojí nevedomosť a nedostatočné množstvo informácií. Porušenie rovnováhy a existujúcich väzieb medzi jednotlivými zložkami jaskynného prostredia môže viesť v konečnom dôsledku až k trvalému poškodeniu ich prírodných a kultúrnych hodnôt.

Voda patrí k najvýznamnejším a zároveň k najohrozenejším zložkám jaskynného prostredia. Jej kvalitatívne aj kvantitatívne vlastnosti vo veľkej miere ovplyvňujú charakter ďalších jaskynných zložiek (biozložku, speleotémy - jaskynné formácie zahrňujúce všetky typy sintrovej výzdoby a výplne,...). Potreba výskumu krasových vôd prepojených na jaskyne a jaskynné systémy je preto veľmi veľká. Každá lokalita si pritom vyžaduje individuálny prístup riešení, ktoré akceptujú jej lokálne pomery. Vychádza sa pritom hlavne z geologických, tektonických a geomorfologických podmienok, ktoré vo veľkej miere podmieňujú charakter krasového prostredia a spôsob prúdenia jeho krasových vôd.

Všetky výsledky získané v procese výskumu a monitoringu jaskynných vôd sa priebežne využívajú pre účely efektívnej ochrany jaskýň.

ZÁKLADNÁ DEFINÍCIA JASKYNE

Jaskyňa je podľa zákona NR SR č. 543/2002 Z.z. o ochrane prírody a krajiny definovaná ako človeku prístupný a prírodnými procesmi vytvorený dutý podzemný priestor v zemskej kôre, ktorého dĺžka alebo hĺbka presahuje 2 metre a rozmery povrchového otvoru sú menšie ako jeho dĺžka alebo hĺbka. Podľa výkladového slovníka karsologickej a speleologickej terminológie (Panoš, 2001) predstavuje jaskyňa podzemnú dutinu celú alebo z veľkej časti obklopenú materskou horninou (rozpustnou, sčasti rozpustnou alebo nerozpustnou), v ktorej vznikla vplyvom endogénnych či exogénnych síl a procesov. V bežnej speleologickej terminológii sa termínom jaskyňa označuje dutina, ktorej rozmery dovoľujú vstup a priechod dospelého človeka, v hydrogeológii zasa ako dutina, ktorej rozmery umožňujú vode turbulentný pohyb. Pretože vznik jaskýň ovplyvňuje veľa prírodných faktorov, existuje aj veľké množstvo

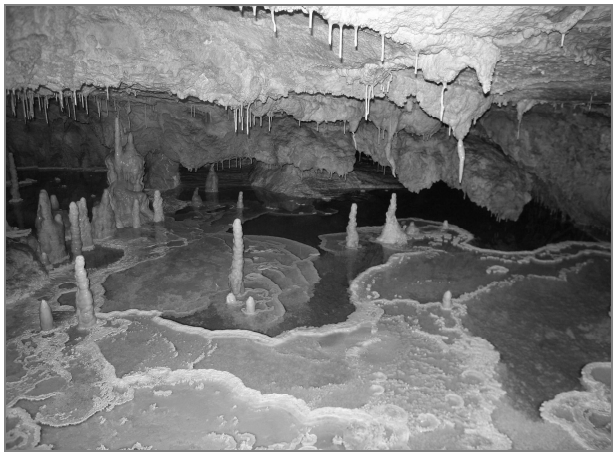
Mgr. Dagmar Haviarová
ŠOP, Správa slovenských jaskýň, Hodžova 11, 031 01 Liptovský Mikuláš, haviarova@ssj.sk

kritérií pre ich klasifikáciu.

Podľa Ústavy SR sú všetky jaskyne vo vlastníctve štátu. Podľa zákona o ochrane prírody a krajiny predstavujú všetky jaskyne na Slovensku prírodné pamiatky. Tie najvýznamnejšie (44 jaskýň a priepastí) boli vyhlásené za národné prírodné pamiatky. Pokiaľ si to vyžaduje záujem ochrany jaskyne, môže byť príslušným krajským úradom životného prostredia vyhlásené aj jej ochranné pásmo v rámci ktorého platia podmienky ochrany v zmysle zákona NR SR č. 543/2002 Z.z., § 24, odstavca 9 a 10. Ochranné pásmo jaskyne je vyhlásené na základe spracovaného a predloženého návrhu, ktorý vypracovávajú pracovníci Správy slovenských jaskýň. Celý proces vyhlásenia ochranného pásma je pomerne náročný a zdĺhavý. Vďaka ochranným pásmam dochádza k regulácii hospodárskej činnosti na povrchu, ktorá sa viditeľne podieľa aj na ochrane podzemných krasových vôd v týchto územiach. K 31. 8. 2007 malo na Slovensku svoje ochranné pásmo len deväť jaskýň.

VODA A JASKYNE

Podľa Panoša (2001) sa pojmom krasová voda súmarne označuje všetka voda, ktorá cirkuluje v endokrasovej a exokrasovej zóne rozpustných hornín. Voda býva občasnou respektíve trvalou súčasťou mnohých jaskýň. Svojou mechanickou a chemickou činnosťou sa podieľa na tvorbe a modelovaní jaskynných priestorov, vzniku prípadne deštrukcii jaskynných výplní. Za určitých podmienok ovplyvňuje aj jaskynnú mikroklímu a diverzitu vodných jaskynných zoocenóz. Voda predstavuje aj transportné médium, ktoré prináša do jaskýň rôznorodý, častokrát nežiaduci materiál.



Obr. 1: Jazierko v Demänovskej jaskyni mieru (Foto: D. Haviarová)
Fig. 1: Lake in the Demänovská Cave of Peace (Photo: D. Haviarová)

V endokrasovej zóne sa pohybuje puklinami a dutinami rôznych rozmerov, ktoré prechodne alebo trvale vypĺňa. Podľa spôsobu pohybu sa delí do dvoch základných pásiem krasovej hydrografie; vrchného vadózneho (nenasýteného) a spodného freatického (nasýteného). Pohyb vody v krase je značne komplikovaný, vo veľkej miere závislý na charaktere a porušenosti horninového prostredia. Priamo v jaskyniach sa krasová voda vyskytuje najčastejšie len vo forme priesakovej vody, ktorá sa za určitých podmienok môže lokálne akumulovať vo forme podzemných jazierok (obr.1). Oveľa zriedkavejšou formou v podzemných systémoch nenasýtenej zóny je horizontálna cirkulácia vôd. Podzemné vodné toky, ktoré sú známe z prostredia jaskýň, tvoria často krát len zlomok oveľa väčších a rozsiahlejších podzemných hydrologických systémov. Ich prieskum limituje častá prítomnosť sifónov (úseky jaskynných chodieb, v ktorých sa jaskynný strop znižuje natoľko, že sa ponára pod tekuté či pevné jaskynné výplne a tým rozdeľuje jaskynné chodby na dva oddelené voľné úseky), ktorých prekonanie nie je v mnohých prípadoch možné ani pre skúsených speleopotápačov. Na základe komplexnejších výskumov vzniká možnosť bližšie zadefinovať takéto systémy vrátane ich prepojenia na ponory, jaskyne, priepasti a krasové vyvieračky.

K najvýznamnejším podzemným hydrologickým systémom na Slovensku patrí ponorný systém Demänovky a jej prítokov v Demänovskej doline. Tento systém bol vzhľadom k svojej reprezentatívnosti a prírodným hodnotám v roku 2006 zaradený medzi ramsarské lokality medzinárodného významu v kategórii podzemné krasové a jaskynné hydrologické systémy. Ďalším zaujímavým podzemným hydrologickým systémom severných svahov Nízkych Tatier je systém Krakovej hole zahrňujúci najhlbší jaskynný systém Slovenska „Systém Hipmanových jaskýň“ a ponorný systém Štiavnice a Bystrej v Jánskej doline. V podzemí Muránsko-Tisoveckého krasu existuje predpoklad rozsiahlych podzemných hydrologických systémov, z ktorých sú známe len časti systému Mokrá lúka-Bobačka, Suché doly - Teplica a systém Jazerná jaskyňa - Periodická vyvieračka. Na Silickej planine Slovenského krasu dominuje brezovsko-kečovský a silicko-gombasecký podzemný systém spájajúci viacero významných ponorov, jaskýň, priepastí a vyvieračiek. S aktívnymi vodnými tokmi sa na Silickej planine stretávame napríklad aj v Hrušovskej jaskyni a Krásnohorskej jaskyni. Občasné toky sa nachádzajú aj v jaskyni Domica, ktorá je súčasťou slovensko-maďarského podzemného hydrologického a jaskynného systému zaradeného medzi ramsarské lokality. Plešivská planina Slovenského krasu je významná z pohľadu výskytu viacerých vyvieračiek, z jaskýň tu dominuje Nová Brzotínska jaskyňa s podzemným vodným tokom. V južnej časti Jasovskej planiny patrí k najzaujímavejším jaskyniam s aktívnym vodným tokom Drienovská jaskyňa a jaskyňa Skalistého potoka. V Malých Karpatoch dominujú dva nie príliš známe podzemné hydrologické systémy; Priepadlo - Limbašský systém a Borinský krasový systém. V Roháčoch je

zaujímavý podzemný hydrologický systém dostupný v časti Brestovskej jaskyne. V Ponickom krase je známe podzemné hydrologické prepojenie Ponickej jaskyne s 1700 m vzdialenou Oraveckou vyvieračkou. Významnou lokalitou stredného Slovenska je aj bystriansko - valaská sústava tvorená ponornými vodami potoka Bystrá. Za zmienku stojí aj podzemný hydrologický systém Podbanišťa v Driencanskom krase. Menšie podzemné toky sú súčasťou aj niektorých ďalších lokalít, ktoré charakterizuje rozdielny stupeň poznania a preskúmanosti. Prehľad najvýznamnejších lokalít s podzemnými tokmi (občasnými alebo trvalými) približuje obrázok 4 a tabuľka 1.

VÝSKUM KRASOVÝCH VÔD V JASKYNIACH A JASKYNNÝCH SYSTÉMOCH

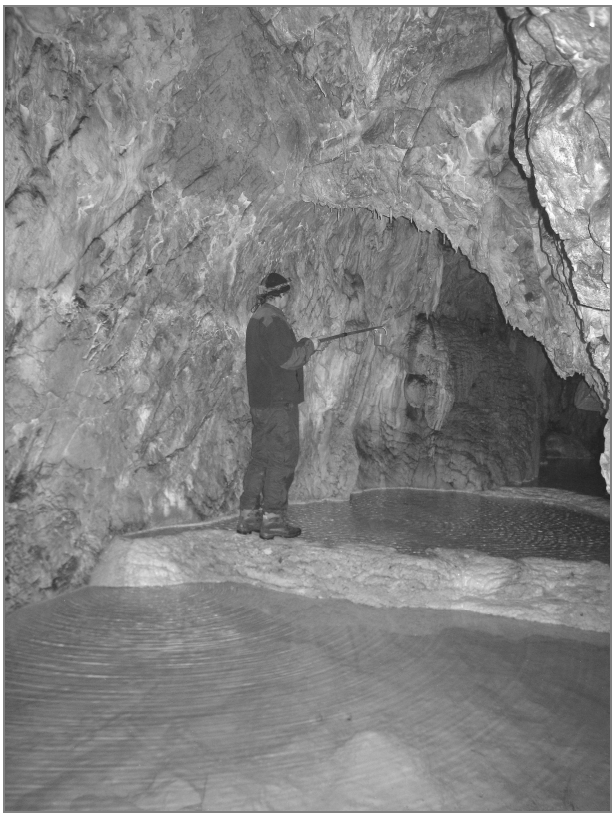
Výskum jaskýň a jaskynných systémov na Slovensku zastrešuje v rámci svojich činností Správa slovenských jaskýň (SSJ), ktorá je sučasťou Štátnej ochrany prírody SR (ŠOP) a ktorá má v zmysle svojho štatútu na starosti výskum, ochranu a praktickú starostlivosť všetkých sprístupnených a nesprístupnených jaskýň na Slovensku. Konkrétne úlohy a problémy zamerané priamo na jaskynné prostredie vykonávajú jej odborní pracovníci, ktorí úzko spolupracujú s členmi Slovenskej speleologickej spoločnosti, rôznymi odbornými organizáciami a vedeckými pracovníkmi vysokých škôl na Slovensku a v zahraničí. Pri výskume krasových vôd prepojených na jaskyne a jaskynné systémy sa pritom pozornosť sústreďuje najmä na dostupnejšiu, nenasýtenú zónu, pričom rozsah prác často krát limitujú technické, finančné a speleologické možnosti.

Problematike krasových vôd v kontexte s hydrogeologickými pomermi vybraných území a ich zraniteľnosťou sa nezávisle venujú aj niektoré ďalšie organizácie (napr. ŠGÚDŠ). Kým v týchto prípadoch je pozornosť výskumov upriamená viac na hydrogeologické štruktúry a hydrogeologické povodia ako celky, v prípade výskumu spojenom s jaskyňami sa jedná skôr o riešenie konkrétnych, často špecifických problémov v ich vnútri.

Pri výskume vody v jaskyniach a jaskynných systémoch sa v prvotných fázach uplatňujú rovnaké postupy, ako pri ktorýchkoľvek iných hydrogeologických prieskumoch. Svoje miesto tu má sumarizácia (čo najkompletnejšia) dostupných archívnych materiálov príslušnej lokality, ale aj rekognoskácia terénu na povrchu a v podzemí zahrňujúca dokumentáciu všetkých významných krasových javov (s dôrazom na ponory, vyvieračky, miesta priesakov). Na povrchu sa súčasne dokumentujú zdroje znečistenia (aktuálne aj potenciálne), ktoré môžu ohrozovať kvalitu podzemných vôd v jaskyniach. Následne podľa charakteru lokality a cieľa výskumu prichádza na rad aplikácia hydrogeochemických, hydroindikačných a hydrometrických metód, ktoré sa rôznym spôsobom kombinujú a dopĺňajú.

Hydrogeochemické metódy

Prostredníctvom hydrogeochemických metód sa zisťujú kvalitatívne parametre vôd jaskynného prostredia, hodnotí sa ich interakcia s horninovým prostredím, agresivita na sintrové výplne (opadávanie brčiek, korózia sintrov) a materskú horninu. Okrem aktuálnej kvality jaskynných vôd sa pri dlhodobom, respektíve opakovanom monitoringu posudzujú aj prípadné trendy jej vývoja. Posudzuje sa aj prenos znečistenia do jaskynných systémov a jeho následné odbúranie alebo akumulácia. Zistenie nevyhovujúcej kvality jaskynných vôd sa stáva podnetom pre hľadanie príčin a spôsobu ich eliminácie. Pri stanovení základných fyzikálnochemických parametrov vôd je snaha zahrnúť do pozorovaní čo najreprezentatívnejšie odberné miesta, ktoré podchytia všetky typy vôd v jaskyni (počnúc vodou infiltračnou, cez akumulovanú vodu v jazierkach, vodu podzemných vodných tokov).

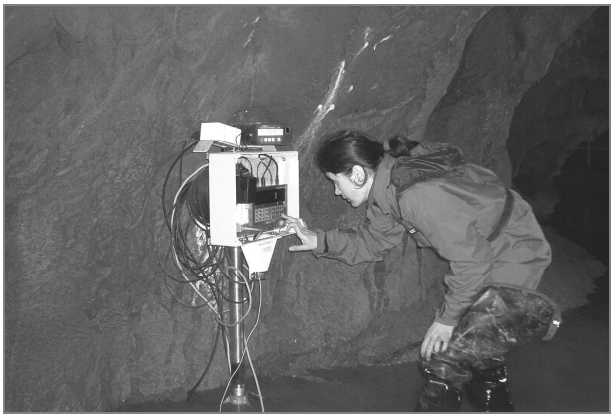


Obr. 2: Odber priesakovej vody, jaskyňa Beníková (Foto: D. Haviarová)
Fig. 2: The seepage water sampling, the Beníková Cave (Photo: D. Haviarová)

Získané chemické analýzy sú ukladané do databázy. Pri ich vyhodnocovaní sa využívajú grafické aj štatistické spracovania. Sledovanie chemického zloženia priesakových vôd (obr. 2) v Demänovskom jaskynnom systéme (Nízke Tatry, Demänovská dolina) potvrdilo napríklad rozdiely v stupni mineralizácie v závislosti od takých parametrov akými boli charakter a hrúbka nadložia, intenzita priesaku a tektonická porušenosť masívu. Lokálne boli v rámci tohto systému identifikované zvýšené obsahy uránu vo vode, ktoré korelovali s pásmami vyznačujúcimi sa vyššou prirodzenou rádioaktivitou horninového prostredia. V prípade zisťovania pôvodu vysokej mineralizácie vôd autochtónnych tokov v Demänovskej doline, boli stanovené závery hovoriace o výraznom vplyve mineralizačných procesov prebiehajúcich v pôdnom kryte a zvetralinovom plášti (Droppa, Klaučo, 1985).

Pri posudzovaní kvality krasových vôd na lokalitách s dlhodobo pretrvávajúcou poľnohospodárskou činnosťou bolo čiastočne preukázané zhoršenie ich kvalitatívnych vlastností. K hlavným dôvodom takéhoto stavu patrí v minulosti nadmerné používanie hnojív, nevhodné umiestnenie hnojísk a ich nedostatočná izolácia, košarovanie. Ako príklad môže slúžiť lokalita Važeckého (Kozie chrbty) a Ponického krasu (Zvolenská kotlina), kde počas väčších zrážkových udalostí a jarnom topení snehu počas sledovaní v rokoch 2004-2006 bola v miestnych vyvieračkách prepojených na jaskynné prostredie identifikovaná zhoršená kvalita vôd spojená hlavne s organickým znečistením a nežiaducim mikrobiologickým oživením vôd. V Ponickej jaskyni, ktorá leží len pár metrov od veľkokapacitného hnojiska miestneho družstva, môžeme ešte aj dnes vidieť na stenách povlaky a kúsky hnoja, ktoré sa sem dostali z povrchu. Obidve lokality majú v súčasnosti spracované už svoje návrhy ochranných pásiem, ktoré by mali zlepšiť podmienky využívania týchto území. Podobné závery vo vzťahu ku kvalite vôd boli zistené aj v prípade jaskyne Domica (Slovenský kras, Silická planina), kde vzhľadom k veľkému významu tejto lokality (jaskyňa svetového prírodného dedičstva UNESCO, ramsarská lokalita) prebieha už dlhodobejšie monitoring kvality vôd. Vzhľadom k existencii niekoľkých ponorov v povodí jaskyne sa občasné znečistenie dostáva do podzemia vo veľmi krátkom čase po prívalových zrážkach a topení snehu.

V súčasnosti sa v jaskyni Domica rovnako ako v Gombaseckej jaskyni (Slovenský kras, Silická planina) rozbieha integrovaný monitorovací systém podzemných tokov s diaľkovým prenosom dát a ich automatickým ukladaním do centrálnej databázy v sídle SSJ. Systém zahŕňa kontinuálne merania vybraných parametrov kvality vôd (pH, teplota vody, merná elektrická vodivosť vody, obsah chloridov), ktoré vhodne dopĺňajú expedičné odbery (obr. 3).



Obr. 3: Kontinuálne sledovanie vybraných parametrov kvality vôd, Gombasecká jaskyňa (Foto: J. Zelinka)
Fig. 3: The continual observation of selected components of water quality, the Gombasecká Cave (Photo: J. Zelinka)

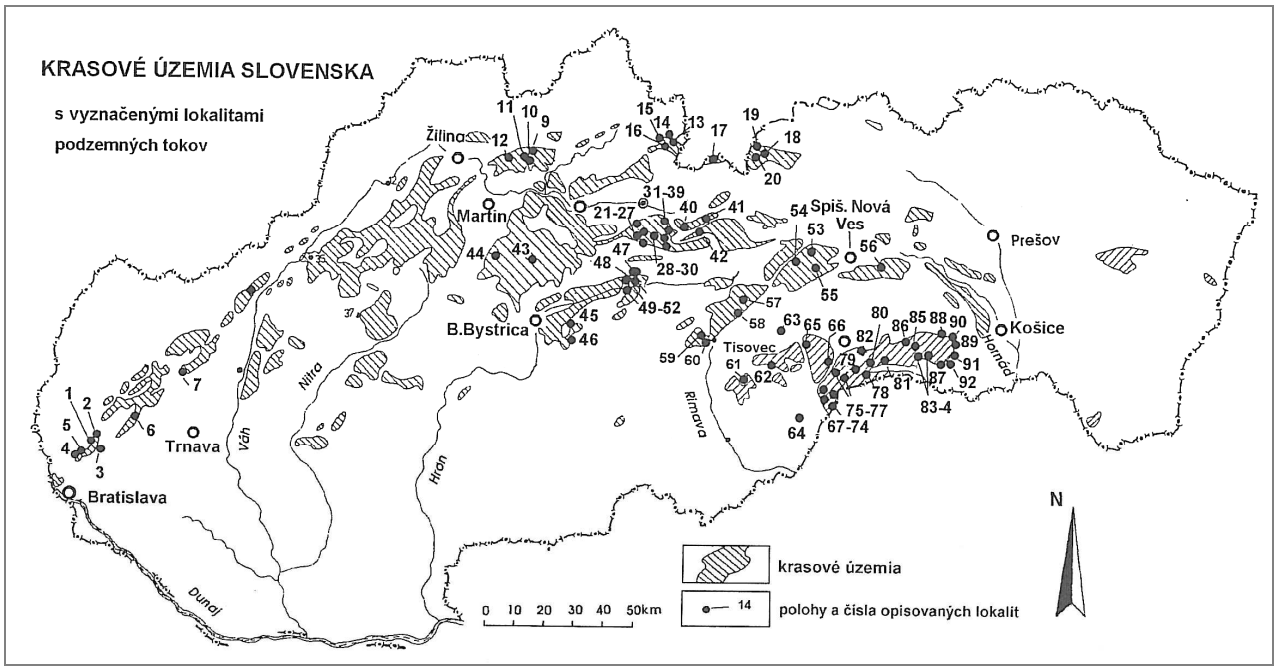
Potvrdenie veľmi dobrej kvality krasových vôd v prípade minimálneho antropogénneho vplyvu dokumentujú napríklad výsledky zo sledovania kvality podzemného toku v Brestovskej jaskyni (Západné Tatry, Roháče). Na tejto lokalite rovnako ako na príklade Demänovského jaskynného systému a jaskyne Milada (Slovenský kras, Silická planina) môžeme demonštrovať aj využitie termometrických meraní a meraní mernej elektrickej vodivosti vody podzemných tokov, s cieľom identifikácie možných, vizuálne nepotvrdených prítokov.

Hydroindikačné metódy

Hydroindikačné metódy predstavujú jedny z najvýznamnejších metód využívaných pri výskume podzemných hydrologických systémov. Ide o stopovacie skúšky, prostredníctvom ktorých sa zisťuje hydraulická komunikácia a efektívna rýchlosť pohybu podzemnej vody medzi vybranými lokalitami, hodnotí sa čas zdržania vôd v jednotlivých sifonálnych častiach systémov. Interpretáciou stopovacích skúšok sa získavajú podklady pre hodnotenie zraniteľnosti podzemných vôd v jaskynných systémoch. Do jaskýň sa totiž v mnohých prípadoch dostávajú vody aj z niekoľko kilometrov vzdialených území, ktoré zdanlivo s jaskynným prostredím nijak nesúvisia. Počas skúšok sa najčastejšie sleduje komunikácia medzi ponormi, priepasťami a ponárajúcimi sa povrchovými vodnými tokmi so známymi úsekmi podzemných vodných tokov v jaskyniach a vyvieračkami ležiacimi v ich okolí.

K najčastejšie používaným stopovacím látkam, ktoré boli využívané hlavne v minulosti v rámci praktickej speleológie patrí fluoresceín a NaCl. V súčasnosti sa do popredia dostávajú stopovače, ktoré minimálne ovplyvňujú kvalitu vôd a ktorých vplyv na okolité životné prostredie je zanedbateľný. K takýmto stopovačom

patria rádioaktívne izotopy a bakteriofágy. Rádioaktívne izotopy ^{113}In a ^{82}Br boli napríklad využité pri stopovacích skúškach v Demänovskom jaskynnom systéme (Sluka, 1999), kde pri viacerých čiastkových skúškach bol identifikovaný pomerne krátky čas medzi ponorením sa povrchových vôd do podzemia (v kontaktnej zóne Lúčok) a ich opätovnom objavení sa prostredníctvom vyvieračky (Vyvieranie) na povrchu. Výsledky zároveň priniesli informácie o existencii rozsiahlych a zložitých obehoch podzemných vôd v niektorých častiach tohto systému (napr. okolie Pustej jaskyne). V rámci novších stopovacích skúšok boli ako stopovacie látky využité biologické stopovače - morské bakteriofágy. Tieto fágy ani ich hostiteľské baktérie nie sú schopné v sladkých vodách dlhodobo prežívať ani sa rozmnožovať. Nie sú toxické ani patogénne voči živým organizmom a preto sú vhodným stopovačom hlavne na lokalitách, kde existuje riziko prepojenia jaskynných vôd s vodami miestnych vodných zdrojov. Morské bakteriofágy boli ako stopovače použité napríklad v roku 2006 na Silickej planine v Slovenskom krase pri sledovaní hydraulickej komunikácie medzi vodami podzemného toku jaskyne Milada, priepasti Bezodná ľadnica, vyvieračkami v okolí Kečova a prameňmi na maďarskej strane v okolí jaskyne Vass Imre (Haviarová, Gruber, 2006). Stopovacia skúška bola robená predovšetkým za účelom návrhu ochranného pásma maďarskej jaskyne Vass Imre v prepojení na plánované ochranné pásmo jaskyne Milada. Pozitívny výsledok skúšky v prípade prepojenia jaskyne Milada, Bezodnej ľadnice a Kečovskej vyvieračky časovo nekorešpondoval s výsledkami starších stopovacích skúšok, ktoré udávali niekoľko násobne dlhšie časové intervaly medzi aplikáciou stopovacej látky a jej detekcii na sledovaných lokalitách. Tento nesúlad bol spôsobený pravdepodobne použitím rozdielneho typu stopovača, ale zároveň aj rozdielnym stupňom naplnenia horninového prostredia v čase vykonania skúšok. Potvrdil sa tak význam udávať spolu s výsledkom stopovacej skúšky aj stupeň naplnenia horninového prostredia (napríklad formou údajov o výdatnosti miestnych prameňov, prietokov povrchového a podzemného vodného toku). Stopovacie skúšky na tejto lokalite doplnili aj geofyzikálne merania (merania metódou symetrického odporového profilovania), ktoré naznačili existenciu zatiaľ neznámych podzemných priestorov v okolí jaskyne Vass Imre vedúcich smerom k slovenským hraniciam, čím potvrdili opodstatnenosť vykonania ďalších skúšok v predmetnom území. Uvedená stopovacia skúška bola zároveň príkladom spolupráce SSJ na slovenskej strany a správy Národného parku Aggtelek na strane maďarskej, ktorá je nevyhnutná pri výskume a ochrane cezhraničných jaskynných systémov a krasových zvodnencov. Pre účely návrhu ochranného pásma Brestovskej jaskyne boli v roku 2007 vykonané stopovacie skúšky za použitia bakteriofág aj v povodí tejto jaskyne.



Obr. 4: Mapa Slovenska s lokalitami podzemných tokov, podľa Hochmutha (2000)
Fig. 4: Map of Slovakia with localities of underground streams, according to Hochmuth (2000)

Tab. 1: Zoznam lokalít na obr. 4, podľa Hochmutha (2000), upravené. Aktuálne dĺžky a hĺbky lokalít k 30.6.2007
Tab. 1: The list of localities in the fig. 4, according to Hochmuth (2000), modified. Topical length and depth of localities to 30.6.2007

	zameraná dĺžka (m)	hĺbka (m)		zameraná dĺžka (m)	hĺbka (m)
A. Ponorný hydrologický systém Borinského krasu			36. Občasná vyvieračka v Medzibrodí	400	30
1. Veľké Prepadlé	1241	70	37. Nová Stanišovská jaskyňa	2334	31
2. Veľké Prepadlé 3	413	53	38. Malá Stanišovská jaskyňa	320	
3. Limbašská vyvieračka	17	9	39. Plačúca skala	118	
4. Medené Hámre	5		**J. Ostatné samostatné lokality stredného Slovenska**		
5. Riečna jaskyňa	43	4	40. Priepasť v Grúni	40	20
B. Ostatné samostatné lokality západného Slovenska			41. Jaskyňa v Priepadlách	60	30
6. Cajla	75	25	42. Zápoľná	1789	59
7. Trstínska vodná priepasť	205	38	43. Jelenecká jaskyňa	62	
8. Hladový prameň	110		44. Ponorová jaskyňa v Podflochovskej doline	60	18
C. Podzemné hydrolog.systémy v Krivánskej Malej Fatre			**K. Ponorný systém v Ponickom krase**		
9. Jaskyňa vo vyvieračke	4		45. Ponická jaskyňa	794	33
10. Jaskyňa nad vyvieračkou	620	20	46. Oravecká vyvieračka	23	
11. Estavela vo Vrátnej	6		**L. Ponorné riečisko bystriansko - valaštianskej sústavy**		
12. Belská vyvieračka	13		47. Bystrianska jaskyňa	3320	98
D. Ponorný systém v oblasti Brestovej v Roháčoch			48. Bystriansky závrt	843	175
13. Brestovská jaskyňa	1450		49. Prepadlisko na Valaskej		18
14. Brestovská vyvieračka	60		50. Jazero Tajch	?	
15. Ponorová jaskyňa	70	12	51. Javorová vyvieračka	?	
16. Jaskyňa v závrte	?		52. Pri diere	160	45
E. Systém odvodnenia vrásy Červených vrchov			**M. Samostatné lokality Slovenského raja a Galmusu**		
17. Občasná vyvieračka	450	41	53. Zlatá diera	513	
F. Ponorné systémy v Javorovej doline (Vysoké Tatry)			54. Dlhá jaskyňa	95	
18. Javorinka	8536	360	55. Kešelova diera	62	
19.- 20. Suchá diera - Mokrá diera	1764	32	56. Vyvieračka I. v Poráčskej doline	50	18
G. Ponorné systémy v Demänovskej doline			**N. Ponorné systémy Muránsko - Tisoveckého krasu**		
21. Demänovská jaskyňa mieru	16245		57. Bobačka	3036	142
22. Vyvieranie	1437		58. Hradná vyvieračka	?	
23. Demänovská jaskyňa slobody	8497		59. Teplica	1000	30
24. Pustá jaskyňa	4106		60. Jazerná jaskyňa, Periodická vyvieračka	160	
25. Údolná jaskyňa	210		**O. Podzemný hydrol.systém Podbanišťa v Driencanskom krase**		
26. Jaskyňa pod útesom	300		61. Kadlub	54	10
27. Štefanová č.1	3519	110	**P. Samostatné lokality J a Z od Plešiveckej planiny**		
H. Podzemný hydrologický systém Krakovej hole			62. Gemerskoteplická jaskyňa	637	29
28. Systém Hipmanových jaskýň	7536	495	63. Ochtinská aragonitová jaskyňa	300	
29. Bivaková jaskyňa	49	7	64. Morské oko		38
30. Jaskyňa v Záskočí - Na Predných	5034	284	**Q. Vyvieračky Plešiveckej planiny**		
I. Ponorný systém Štiavnice a Bystrej v Jánskej doline			65. Hučiaca vyvieračka	1000	40
31. Ponor pod Sokolom	30		66. Nová Brzotínska vyvieračka	800	
32. Sokolová jaskyňa	1460		**R. Silická planina: brezovsko-kečovský podzem.hydrol.systém**		
33. Poschodový potok	347	20	67. Milada	800	
34. Jaskyňa zlomísk	10471	147	68. Matilda	116	19
35. Jaskyňa v Hlbokom	308		69. Bezodná ľadnica	160	70

Tab. 1: Zoznam lokalít na obr. 4, podľa Hochmutha (2000), upravené. Aktuálne dĺžky a hĺbky lokalít k 30.6.2007 (pokračovanie)
Tab. 1: The list of localities in the fig. 4, according to Hochmuth (2000), modified. Topical length and depth of localities to 30.6.2007 (continuation)

	zameraná dĺžka (m)	hĺbka (m)		zameraná dĺžka (m)	hĺbka (m)
70. Kečovská vyvieračka 1	?		82. Krásnohorská jaskyňa	1355	
71. Jaskyňa Kečovských prameňov I	33		**V. Podzemné hydrol.systémy južnej časti Jasovskej planiny**		
72. Kečovský ponor I	20	16	83. Skalistý potok	6032	328
73. Kečovská vyvieračka 2	30	9	84. Kunia priepasť	813	203
74. Kečovská vyvieračka 3	30	11	85. Jaskyňa pod potokom	12	
S. Silicko - gombasecký podzemný hydrologický systém			86. Travertínová jaskyňa	17	
75. Silická ľadnica	1100	110	87. Drienovská jaskyňa	1348	60
76. Ponorová priepasť		135	88. Gajdova štôlňa	150	
77. Gombasecká jaskyňa	1525	15	**Z. Podzemné hydrol.systémy Medzevskej pahorkatiny**		
78. Majkova jaskyňa	400		89. Jasovská jaskyňa	2811	55
T. Podzemné hydrol. systémy severnej časti Silickej planiny			90. Kamenná pivnica	322	
79. Jaskyňa v ponore Jašteričieho jazera	1189	74	91. Helena	418	
80. Vápenná jaskyňa	460	44	92. Moldavská jaskyňa	3070	
81. Hrušovská jaskyňa	780				

Hydrometrické merania

Hydrometrické merania zahŕňajú merania prietokov podzemných tokov, merania prietokov ponárajúcich sa tokov, merania výdatnosti krasových prameňov prepojených na jaskynné systémy, ale aj merania kolísania hladín podzemných jazierok, intenzity priesakov, stanovení kapacity ponorov. Dôraz sa kladie hlavne na dlhodobé režimové pozorovania, ktorých výsledky sa väčšinou ďalej spracovávajú formou jednoduchých korelácií. Výsledky korelačných analýz naznačujú vzťahové väzby medzi jednotlivými skúmanými veličinami, reakcie na vonkajšie klimatické pomery a s nimi súvisiace zmeny kvality vôd. V prípade takýchto analýz sú často využívané aj databázové údaje Slovenského hydrometeorologického ústavu, ktorý v rámci čiastkového monitorovacieho systému „voda“ monitoruje prostredníctvom štátnej monitorovacej siete aj niektoré vodné toky a pramene ležiace v krasových územiach.

Výsledky niektorých hydrometrických meraní sú dôležité nielen z hľadiska poznania, ale v prípade sprístupnených jaskýň aj z hľadiska ich prevádzky. Ako príklad môže slúžiť sledovanie a interpretácia režimových zmien Hessovho jazierka v Jasovskej jaskyni (Medzevská pahorkatina), ktoré v minulosti nastúpaním svojej hladiny už niekoľkokrát obmedzilo jej prevádzku. Podobný prípad predstavuje aj jazierko v Hlbokom dóme Ochtinskej aragonitovej jaskyni (Revúcka vrchovina) alebo studňa v Mramorovej sieni Gombaseckej jaskyne.

Na základe výsledkov režimových meraní prietokov občasných vodných tokov v povodí jaskyne Domica bola navrhnutá rekonštrukcia v súčasnosti nefunkčných vodohospodárskych objektov ležiacich v povodí jaskyne s ich presne vyšpecifikovaným režimom. Ide o objekty poldrov, ktoré boli na lokalite postavené v 60-tych rokoch za účelom ochrany jaskyne pred záplavami.

V prípade nesprístupnených jaskýň je poznanie režimu ich podzemných vôd mnohokrát dôležité z pohľadu plánovania a realizácie ďalších speleologických prieskumov. Z minulosti sú známe prípady, kedy počas prác dobrovoľných jaskyniarov v systémoch došlo k prívalovým zrážkam a jaskyniari vzhľadom k rýchlej komunikácii povrchových vôd s podzemím ostali izolovaní v jaskyni.

Výsledky hydrometrovaní sa využívajú na zisťovanie okamžitých prietokov, ale napríklad aj na stanovenie skrytých prestupov vôd, prípadne prítomnosť možných, dosiaľ neznámych odbočiek jaskynných chodieb v prípade meraní prietokov na podzemných tokoch rozdelených viacerými neznámymi úsekmi.

ZÁVER

Krasové územia vrátane ich podzemných vôd sa vyznačujú vysokým stupňom zraniteľnosti. Cieľom príspevku bolo priblížiť problematiku ochrany a výskumu krasových vôd, ktoré sú priamo prepojené na jaskyne a jaskynné systémy. V rámci výskumu, ktorý zabezpečuje Správa slovenských jaskýň sa v súčasnosti bežne využívajú hlavne metódy aplikované pri hydrologických a hydrochemických výskumoch. Ich praktická realizácia býva v podzemí oveľa náročnejšia ako je tomu na povrchu. Získanie tak aj najzákladnejších informácií o charaktere a správaní sa vôd v jaskyniach býva často krát zložité a fyzicky náročné.

V posledných rokoch bol výskum zo strany Správy slovenských jaskýň aj vo vzťahu k jaskynným vodám zameraný na najvýznamnejšie jaskyne a jaskynné systémy, ktoré reprezentujú národné prírodné pamiatky, lokality svetového prírodného dedičstva alebo zvlášť ohrozené lokality zo strany antropogénnych aktivít. Vo väčšine prípadov išlo o súčasť inventarizačných výskumov jaskýň, ktorých snahou bolo hodnotiť jaskyne komplexnejšie, z pohľadu viacerých zložiek ich prostredia. Aj v blízkej budúcnosti sa plánuje pokračovať v takýchto výskumoch vzhľadom k tomu, že ich výsledkom je získanie ucelených informácií o jaskynných systémoch, ktoré sú nevyhnutné z hľadiska ich efektívnej ochrany. Všetky takto získané poznatky nachádzajú svoje uplatnenie pri príprave návrhov ochranných pásiem jaskýň, programov starostlivostí, rôznorodých odborných vyjadreniach a správnych konaniach. Niektoré výsledky výskumov sa využívajú aj pri ďalších speleologických prieskumoch.

LITERATÚRA

Droppa, V., Klaučo, S. 1986: K problematike tvorby chemického zloženia krasovej vody (Nízke Tatry - Demänovská dolina). Mineralia slovaca, 18, 5. 451-458.

Haviarová, D., Gruber, P. 2006: Stopovacia skúška v jaskyni Milada. Aragonit, 11. 43-45.

Hochmuth, Z. 2000: Problémy speleologického prieskumu podzemných tokov na Slovensku. Grafotlač, s.r.o. Prešov. 164 s.

Panoš, V. 2001: Karsologická a speleologická terminológie. Výkladový slovník s ekvivalenty ve slovenštine a jednacích jazycích Medzinárodní speleologické unie (UNESCO). Knižné centrum, Žilina. 352 s.

Sluka, M. 1999: Interpretácia stopovacích skúšok v povodí Demänovky z hľadiska speleologického prieskumu. Zborník referátov z 2. vedeckej konferencie „Výskum, využívanie a ochrana jaskýň“. Liptovský Mikuláš. 112-119.

Zákon NR SR č. 543/2002 Z.z. o ochrane prírody a krajiny.

KARST WATERS RESEARCH FROM THE CAVES PROTECTION POINT OF VIEW IN SLOVAKIA

SUMMARY

The Slovak Republic has more than 5, 400 registered caves and the karst territories cover more than 2,700 km^2. All caves according to the Act No. 543/2002 - On Nature and Landscape Protection are nature monuments. 44 caves and abysses have been designated national nature monuments. The caves according to the Constitution of the Slovak Republic are state-owned. The caves represent very vulnerable natural geosystems. These systems can be damaged during non optimal using of caves and land.

Water is one of the most vulnerable parts of the cave environment. Water participated in formation of caves and cave spaces, formation and destruction of caves fills, it is transport medium, and has influence on cave clime and water cave fauna. The research of cave water is provided by the Slovak Caves Administration as a part of the Ministry of the Environment of Slovak Republic in cooperation with several expert organizations and universities. The research is focused on non-saturated zone; vertical (seepage water) and horizontal (underground streams) circulation of water. All results of researches and monitoring of cave water are important for better knowledge of the caves. These results are used within practical protection of caves and their management (projects of protection zones, expertise, statements). The underground research is very demanding, every locality requires individual and specific approach. Within the research, hydrogeochemical, hydroindicative and hydrometric methods are used. Primary documentation is also important.

Hydrogeochemical methods serve for determination of qualitative parameters of cave waters and their change in time and space, their corrosive effect on the carbonate cave fills, assessing transfer and accumulation of pollution. The researches of seepage water (for example - the Demänovský Cave System) confirmed influence of geological and tectonic setting, thickness of overlying layers, intensity of seepage water on mineralization. Results from the monitoring of water quality showed influence of anthropogenic activities (agriculture, …) on quality of karst water. The seasonal pollution has been detected in water of the Ponický and Važecký karst and the Domica Cave, for example. The new integrated monitoring system is started in the Domica Cave and the Gombasecká Cave with continual measurement of selected parameters of water (conductivity, temperature, pH, chloride). These data are transferred to the headquarters of the Slovak Caves Administration in Liptovský Mikuláš. Application of thermometric measurements and water conductivity measurement for identification cover transfer underground was used on many localities (the Demänovský Cave System, the Brestovská Cave, the Milada Cave, …). Hydroindicative methods (tracing tests) are used for identification hydraulic communication between selected localities (ponor - cave, ponor - karst spring, cave - spring). Water tracing helps to define the path followed by inaccessible underground stream. Predominantly “safe” tracers are used at present. For example, the radioactive isotopes (^{113}In, ^{82}Br) were used within the Demänovský Cave System (Sluka, 1999), sea bacteriophages have been used in the Milada Cave

(Haviarova, Grúber, 2006) and Brestovská Cave. The hydrometric methods included measurements of discharges of underground and inflow streams, measurement of karst spring yield, fluctuation of underground lakes water level, intensity seepage water and determination capacity of ponors. Some measurement in the show caves (the continual observation of water level fluctuation in Hess' lake - the Jasovská Cave, lake in the Ochtinská Aragonite Cave, discharge of underground streams in the Domica Cave) and interpretation of regime change are important for caves operation.