

Mineralia slov.
18 (1986), 5, 451—458

K problematike tvorby chemického zloženia krasovej vody (Nízke Tatry — Demänovská dolina)

VLADIMÍR DROPPA, STANISLAV KLAUČO

IGHP, n. p., Žilina, závod Bratislava, Geologická 18, 825 52 Bratislava

Doručené 11. 9. 1985

К вопросу строения химического состава карстовых вод (Низкие Татры — Деменовская пещера)

Работа занимается вопросами химического состава карстовых вод на территории со широко развитыми карстовыми моноклинальными хребтами извесняк-доломитового комплекса Деменовской долины в Низких Татрах. Результаты детальных измерений проточности карстовых вод на поверхности и внутри карбонатного массива (в системе пещер Деменовской пещеры), свидетельствуют о том, что основной состав минеральных элементов возникает на поверхности территории в почвенном покрове и плаще выветривания. Из этого познания является необходимым новой интерпретации т. н. „интензита коррозии карстовых потоков“ или „карстового коэффициента“.

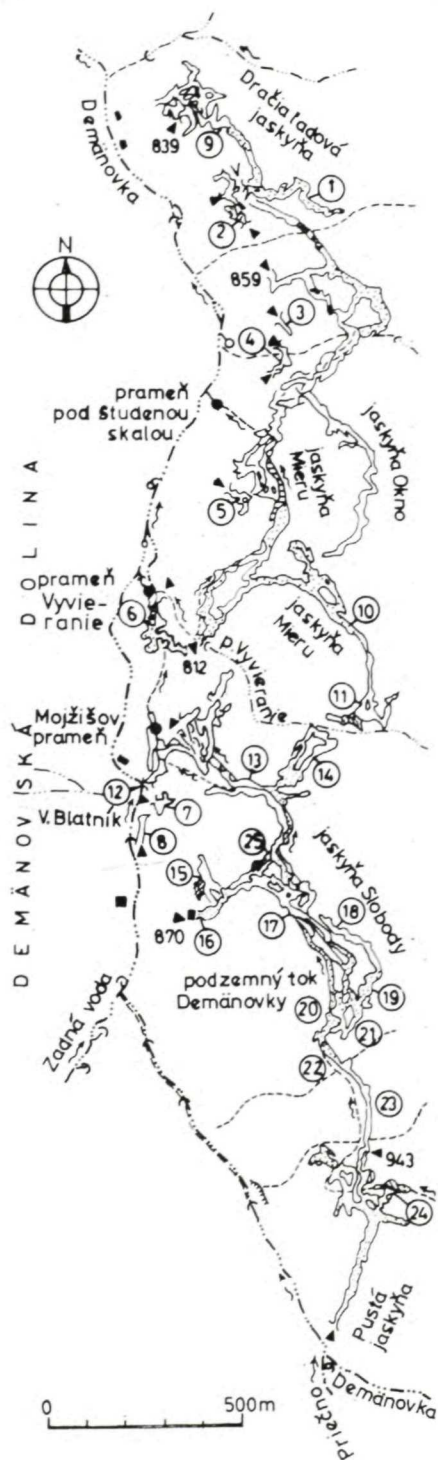
Contribution to the genesis of karstic water chemistry (Demänovská jaskyňa cave, Low Tatra Mts.)

A contribution is given to the genesis of mineralization in karstic water based on data from a nature karst of monoclinal ridges developed in limestone-dolomite complex of the Demänovská dolina valley in the Low Tatra Mts. Detailed measurement data of karstic water conductivity both on surface and underground in the carbonate massif (cave system of the Demänovská jaskyňa cave) point to the generation of dissolved mineral constituents of karstic water on the surface from soil cover and weathering crust. It appears from the knowledge that a new interpretation is necessary for the intensity of corrosion due to karstic streams and also for the meaning of karstification coefficient.

O problematike tvorby chemického zloženia podzemnej vody v krasových územiach je v súčasnosti dosť informácií zo základného regionálneho výskumu a podrobného prieskumu. Nové teoretické poznatky o hydrochémii krasovej vody možno získať najmä podrobnejším priesku-

mom. Súvisí to s veľkou heterogenitou migračného prostredia, ktorú regionálne zameraný prieskum i výskum nemusí vždy zistiť.

Vyhľadávací hydrogeologický prieskum hydrogeologickej štruktúry Demänovská dolina (Droppa — Klaučo, 1985) sa reali-



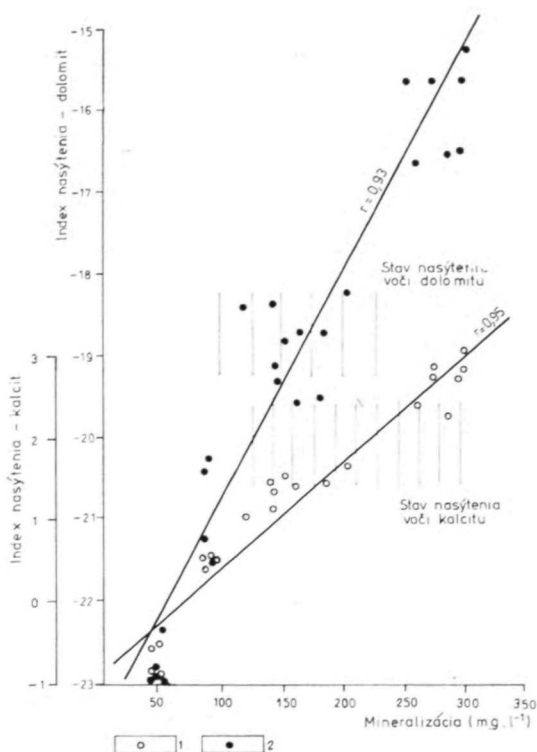
zoval samostatne v rámci regionálneho hydrogeologického prieskumu mezozoika SZ svahov Nizkych Tatier. Predtým sa problematikou tvorby chemizmu krasovej vody v tejto štruktúre zaoberali viacerí autori (Droppa, 1969; 1976; 1978; Kullman — Gazda, 1976; Gazda — Hanzel, 1980; Tereková, 1983).

Územie tvorí ladinský dolomit a guttensteinský vápenec krížňanskej jednotky. Zaberá plochu 16,4 km² v povodí Demänovky. Zvyšnú časť povodia toku Demänovky v horskej oblasti tvoria graniroidné horniny (28,6 km²). Vo vápencoch (obr. 1) sa vytvoril jeden z najväčších jaskynných systémov u nás (približne 22 km chodieb).

Podzemná voda karbonátovej štruktúry má alochtónne (tvoria ich najmä ponárajúce sa povrchové toky z kryštalinika) a autochtónne toky (zo samotného mezozoika). V jaskynnom systéme voda týchto tokov tvorí tzv. horizontálnu cirkuláciu

Obr. 1. Jaskynné systémy Demänovskej doliny s vyznačením dôležitých povrchových a podzemných tokov, resp. výverov (Kučera et al., 1981, doplnené). 1 — Benikova jaskyňa, 2 — Dvere, 3 — Barania jaskyňa, 4 — Tunelová jaskyňa, 5 — Zbojnícka jaskyňa, 6 — jaskyňa Vyvieranie, 7 — jaskyňa Pod útesom, 8 — Údolná jaskyňa, 9 — Demänovská jaskyňa — Kmeťov dóm, 10 — jaskyňa Mieru — Konzertná sála, 12 — jaskyňa Slobody — objavný ponor pri Björnsonovej chate, 13 — jaskyňa Slobody — Mramorové riečisko, 14 — jaskyňa Slobody — Suchá chodba, 15 — jaskyňa Slobody — Guľový dóm, 16 — turistický vchod do jaskyne Slobody, hotel, Hlboký dóm, 17 — jaskyňa Slobody — Panenská chodba a Jánošíkov dóm, 18 — jaskyňa Slobody — Zázračné siene, 19 — jaskyňa Slobody — Fialový dóm, 20 — jaskyňa Slobody — Ružová sieň, 21 — jaskyňa Slobody — Svantovitove siene, 22 — jaskyňa Slobody — Brková chodba, 23 — jaskyňa Slobody — Spojovacia chodba, 24 — Pustá jaskyňa — Achátový dóm, 25 — Rázcestie

Fig. 1. Cave systems of the Demänovská dolina valley with main surficial and underground streams and karstic sources (taken from Kučera et al., 1981, modified and complemented)



Obr. 2. Závislosť mineralizácie a indexu nasýtenia voči kalcitu a dolomitu. 1 — kalcit, 2 — dolomit

Fig. 2. Relation between mineralization and saturation index of calcite and dolomite. 1 — calcite, 2 — dolomite

(Droppa, 1976). V menšej miere podzemnú vodu karbonátovej štruktúry dopĺňa aj presakujúca zrážková voda, ktorá v podzemí vytvára vodu tzv. vertikálnej cirkulácie (Droppa, 1976). Uvedené členenie podzemnej vody podľa povahy cirkulácie (Droppa, 1976) korešponduje viac s hydrografickým ako s hydrogeologickým pohľadom na obeh krasovej vody. Nábornosť a prijateľná miera schematizácie však postačujú na nasledujúcu interpretáciu. Významný je aj podiel priamo prestupujúcej podzemnej vody zo zóny zvetrávania hornín kryštalinika (Droppa — Klaučo, 1985), ktorá sa dosiaľ nebrala do úvahy.

Krasová voda je v zmysle klasifikácie Palmera — Gazdu výrazne vápenato-hydrouhličitanového až vápenato-horečnato-hydrouhličitanového typu.

Hlavným mineralizačným procesom je korózia — rozpúšťanie karbonátových hornín. Tento proces sa jednoznačne odráža aj v chemickom zložení krasovej vody a súvisí s ním aj tvorba krasových útvarov. Táto jednoznačnosť sa testovala korelačnou analýzou, ktorá potvrdila závislosť celkovej mineralizácie a stupňa nasýtenia vody voči hlavným horninotvorným minerálom (obr. 2).

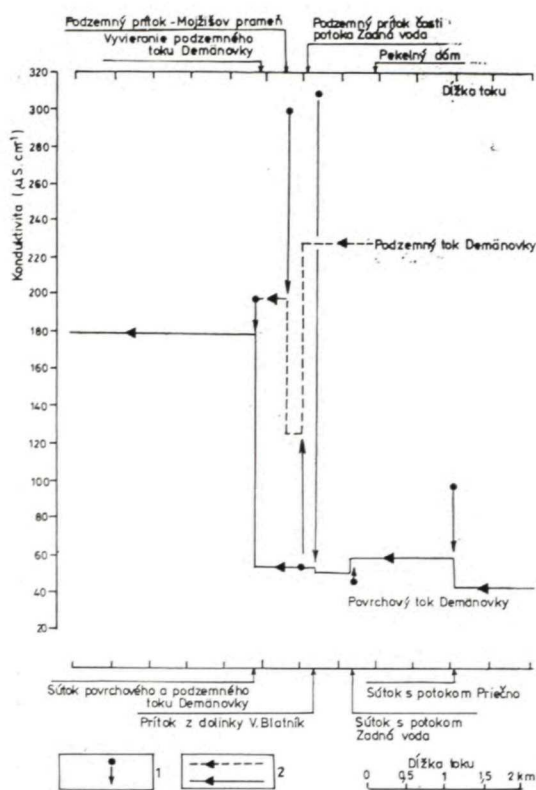
Medzi mineralizáciou a konduktivitou, ktorej meranie sa využilo pri detailizácii hydrochemického vývoja krasových vôd, sa aj pre dané typy vody potvrdil vysoký stupeň korelácie ($r = 0,98$; $n = 70$; Droppa — Klaučo, 1985).

Podľa doterajších výsledkov výskumu sa mineralizačné procesy uplatňujú najmä počas prestupu krasovej vody karbonátovou štruktúrou, konkrétne pri jej prestupe puklinami, resp. krasovými dutinami (jaskynným systémom).

Za dominantné procesy (Kullman — Gazda, 1976; Gazda — Hanzel, 1980; Droppa, 1976) sa považujú tieto druhy korózie (Bögli, 1964):

1. obyčajná — rozpúšťanie karbonátov podmieňuje prítomnosť určitého množstva agresívneho CO_2 vo vode;
2. zmiešavacia — rozpúšťanie karbonátov podmieňuje agresívny CO_2 , ktorý môže vzniknúť po zmiešaní dvoch vôd s rozdielnou koncentráciou rozpustených látok a rovnovážneho CO_2 a ktoré samy osebe nemusia byť agresívne;
3. schladzovacia — rozpúšťanie karbonátov podmieňuje agresívny CO_2 , ktorý vzniká na úkor rovnovážneho CO_2 pri klesaní teploty;
4. termická miešaná — kombinácia schladzovacej a zmiešavacej korózie, pričom pri vzniku agresívneho CO_2 sa podieľajú oba faktory súčasne (ide o zmiešanie dvoch vôd rovnakej koncentrácie, ale rozdielnej teploty).

Prírastok mineralizácie v tokoch pri ich vyústení z krasového územia sa vysvetľuje prebiehajúcimi procesmi korózie, so zvláštnym dôrazom na zmiešavaciu koróziu.



Obi. 3. Zmeny obsahu rozpustených látok v podzemných a povrchových tokoch (príklad potoka Demänovka). 1 — mineralizácia pritekajúcej vody a označenie miesta prítoku, 2 — označenie smeru toku

Fig. 3. Changes in dissolved component contents of surficial and underground streams (example of the Demänovka brook). 1 — mineralization of water inflow and inflow site, 2 — stream direction

ziu. Prírastok mineralizácie vzhľadom na plochu krasového povodia a časovú jednotku vyjadruje tzv. intenzita korózie krasových tokov, resp. koeficient krasovatenia, a je zároveň mierou agresívnych vlastností krasovej vody.

Detailné zameranie prieskumu, najmä pozorovania v samotnom jaskynnom systéme, ktoré umožnili sledovať vývoj chemizmu krasovej vody počas jej migrácie,

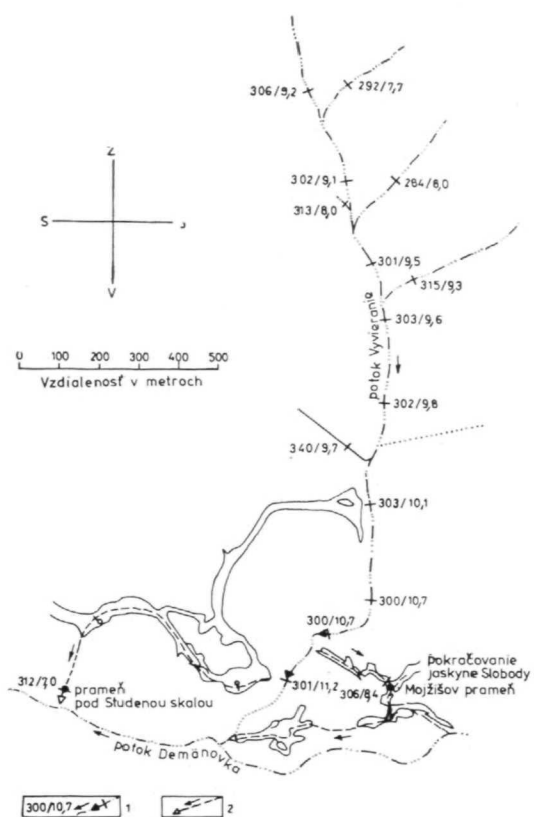
priniesol nové názory na tvorbu minerálneho obsahu krasovej vody.

V snahe priestorovo špecifikovať korozívny účinok krasovej vody sa podrobne merala konduktivita vo vode horizontálnej a vertikálnej cirkulácie. Pre porovnanie sa merala konduktivita aj v povrchových tokoch.

Zmeny mineralizácie vody horizontálnej cirkulácie znázorňuje príklad toku Demänovky (obr. 3). Podrobným meraním sa zistili dlhšie úseky tokov s ustálenou mineralizáciou, ktoré sú oddelené ostrými koncentračnými zmenami obsahu rozpustených látok, a to vždy v miestach prítokov s odlišnou mineralizáciou. Takýto vývoj mineralizácie dokumentuje, že prakticky jediným procesom, ktorý zasahuje do chemického zloženia vody krasových tokov, kým prestupuje karbonatickú štruktúru, je miešanie.

To, že sa po miešaní nezačnú uplatňovať procesy korózie (pričom prakticky vždy vzniknú priaznivé predpoklady pre zmiešavaciu koróziu), možno vysvetliť tak, že rýchlosť prúdenia v zóne horizontálnej cirkulácie je príliš veľká na to, aby mohli reakcie rozkladu karbonátov (korózia) prebehnúť v plnej miere. Iné vysvetlenie predpokladá, že voda alochtónneho toku, ktorá tvorí podstatné množstvo migrujúcej vody a je vzhľadom na svoj primárny chemizmus najviac agresívna (nízka mineralizácia, nízke pH), sa transportuje v koryte vyplnenom len málo hydrochemicky aktívnym obliakovým materiálom kryštalinika. Význam styčnej plochy karbonátových hornín s vodou v sifónoch možno vzhľadom na veľkú rýchlosť a turbulenciu prúdenia zanedbať.

Z vyššie uvedeného vyplýva, že prírastok látkového množstva (na základe ktorých sa špecifikovala tzv. intenzita korózie, resp. koeficient krasovatenia) nie sú vyvolané korozívnymi účinkami vody horizontálnej cirkulácie, ale spôsobilo ich



Obr. 4. Autochtónny tok v dolinke Vyvieranie a jeho podzemné pokračovanie. 1 — povrchový tok, miesto merania (konduktivita $\mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$, teplota $^{\circ}\text{C}$), ponor, 2 — predpokladaný a zistený podzemný tok vyvieracka

Fig. 4. Autochthonous stream in Vyvieranie valley and its underground continuation. 1 — surficial stream, measurement site (conductivity in $\mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$, temperature in $^{\circ}\text{C}$), stream submersion site, 2 — underground stream, presumed and localized, point of water issue

miešanie vysokomineralizovanej vody autochtónnych tokov ($270\text{--}310 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$) a nízkomineralizovanej vody alochtónnych tokov ($40\text{--}60 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$) v rámci toho druhu cirkulácie.

Zisťovali sme pôvod vysokej mineralizácie vody autochtónnych tokov. Ako príklad možno uviesť merania konduktivity autochtónneho toku v dolinke Vyvieranie,

v jeho povrchovej a podzemnej časti (jas-
kyňa Slobody a Mieru; obr. 4).

Autochtónna voda má už od prameňa (svahové pramene) sformované chemické zloženie, typické relatívne vysokou mineralizáciou, pričom počas transportu vody ani na karbonátovom podklade nedochádza k výraznejším zmenám mineralizácie, ktoré by svedčili o prebiehajúcej korózii. Potok sa v dolinke Vyvieranie ponára a v podzemí pokračuje ďalej bez podstatných zmien v mineralizácii. Autochtónna voda sa tvorí zo zrážok, ktoré sa po čiastočnom alebo úplnom prestupe pôdnym krytom a zvetralinovým plášťom koncentrujú do svahových prameňov. Mineralizácia vody prameňov autochtónnych tokov je 6—9-násobne vyššia ako mineralizácia zrážok. V. Tereková (1983) udáva priemernú hodnotu konduktivity zrážok $40,9 \mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$, čo predstavuje trojročný priemer vypočítaný z mesačných kumulatívnych zrážok na stanici Chopok. Pritom voda prameňov je v daných P-T podmienkach v stave nasýtenia a presýtenia voči kalcitu a dolomitu (obr. 2), preto má počas ďalšieho transportu stabilné zloženie. Z uvedeného vyplýva, že väčšina mineralizačných procesov vody autochtónnych tokov prebieha počas jej formovania v pôdnom kryte a zvetralinovom plášti, teda na „povrchu“ karbonátového masívu, resp. nehlboko pod ním. Tu dosahujú mineralizačné procesy aj maximálnu intenzitu, lebo sa tu priaznivo uplatňujú prakticky všetky známe faktory rozpúšťania karbonátových hornín:

— presakujúca zrážková voda má nízke pH a relatívne vyšší obsah CO_2 , pričom na znížených hodnotách pH má podiel aj znečistenie ovzdušia oxidmi síry;

— zvýšený obsah CO_2 a znížovanie pH (humínové kyseliny) zabezpečuje aj vegetačný kryt;

— predpokladaná zóna tvorby minerálneho obsahu vody je na rozdiel od hlbších

časti masívu (tlakové prúdenie v puklinách) trvale prevzdušnená, čo zabezpečuje stálu prítomnosť CO_2 ;

— styčná plocha vody s horninovým materiálom je veľká, neporovnateľne väčšia ako styčná plocha v puklinách a krasových dutinách;

— podzemná voda sa tu (pórové a pórovo-puklinové prostredie) dlhšie zdrží ako podzemná voda prúdiaca pod tlakom v puklinách, resp. voľne tečúca v krasových dutinách.

Podľa doterajších údajov sa vo vode horizontálnej cirkulácie nezistila korózia, špecifikoval sa len proces metamorfózy jej pôvodného chemizmu miešaním. I keď

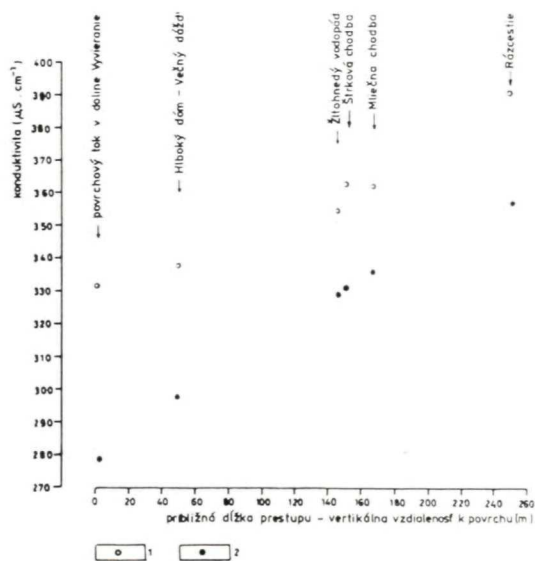
sa maximálna intenzita korózie karbonátového masívu sústreďuje na jeho povrch, procesy korózie sa zistili i v jeho vnútri, a to vo vode vertikálnej cirkulácie. Ako sme už uviedli, ide o zrážkovú vodu priamo presakujúcu cez pôdny kryt a zvetralinový plášť do systému puklín a krasových dutín, kde sa čiastočne sústreďuje (podľa speleologickej terminológie) do „dažďov“ a „chrličov“.

Po prestúpení cez zvetralinový plášť má táto voda koncentráciu rozpustených látok zhodnú s koncentráciou prameňov vody autochtónnych tokov. Čím dlhšie táto voda prestupuje cez puklinový a krasový systém, tým viac rastie jej mineralizácia (obr. 5). Smerom do vnútra masívu narastá nielen mocnosť vápencov a dolomitov v nadloží, ktoré musela vertikálne prestupujúca voda prekonať, ale aj obsah jej minerálnych látok.

Vzhľadom na to, že vo väčšine prípadov sa voda z rôznych vertikálnych prestupov vzájomne nemieša (jej prestup masívom je výrazne predisponovaný systémom puklín), je možné predpokladať, že túto vodu bude o minerálne látky obohacovať najmä tzv. schladzovacia korózia (Bögli, 1964).

Diskusia

Presunutie maximálnej intenzity mineralizačných procesov krasovej vody do pôdneho krytu a zvetralinového plášťa, teda na povrch krasového územia, je v rozpore s existenciou podzemných krasových dutín, o ktorých možno s určitou povedať, že vznikli koróznou činnosťou vody. Sme toho názoru, že tento rozpor je iba domnelý. Veľké podzemné jaskynné priestory skutočne vznikli (a vo vhodných podmienkach aj vznikajú) práve koróznymi procesmi, pričom sa pravdepodobne najviac uplatnila spomínaná zmiešavacia korózia. Išlo pritom o korózne rozšírenie



Obr. 5. Závislosť obsahu rozpustených látok vo vode vertikálnej cirkulácie počas jej prechodu karbonátovým masívom (príklad z jaskyne Slobody). 1 — minimálny stav (november 1984), 2 — maximálny stav (jún 1985)

Fig. 5. Relation between soluble mineral content of vertically circulating water and water passage through carbonate massif (example of the Jaskyňa Slobody cave system). 1 — minimal state, November 1984, 2 — maximal state, June 1985

viac-menej otvorených puklín, a to v čase, keď sa spomínané časti masívu nachádzali ešte vo freatickej zóne. A. Bögli (1964) pripisuje zmiešavacej korózii, najmä vo freatickej zóne, značný význam. Počas vyzdvihovania karbonátového masívu a neustáleho poklesávania eróznej bázy zanikla freatická zóna a odvodnili sa zatopené priestory. Jaskynný systém nadobudol dnešnú podobu, keď ponárajúca sa riečna sieť výrazne remodelovala a prepojila tieto priestory.

V súvislosti s uvedenými poznatkami o priebehu mineralizačných procesov vystupuje z hľadiska hydrogeochémie krasu do popredia aktuálna otázka: čo vlastne vyjadruje tzv. intenzita korózie krasových tokov (Droppa, 1976), resp. koeficient krasovatenia (Gazda — Hanzel, 1980). Tieto pojmy predstavujú látkové množstvo odnesené zo vzťažnej plochy, resp. z objemu karbonátového územia za istú časovú jednotku. Látkové množstvo je určené rozdielom Ca , Mg — CO_3 mineralizácie vody, ktorá vstupuje do krasového územia, a vody, ktorá z neho vystupuje. Takýto matematický postup je identický aj so zmiešavacou rovnicou (Hyánková, 1982):

$$q_1 \cdot c_1 + q_2 \cdot c_2 = q_3 \cdot c_3; q_3 = q_1 + q_2,$$

kde q_1 , c_1 — prietok a koncentrácia v alochtónnych tokoch, q_2 , c_2 — prietok a koncentrácia v autochtónnych tokoch, q_3 , c_3 — prietok a koncentrácia toku na konci krasového územia.

Z tejto rovnice sa intenzita korózie dá vyjadriť:

$$q_2 \cdot c_2 = q_3 \cdot c_3 - q_1 \cdot c_1.$$

Hodnota látkového množstva vyneseneho z krasového územia nebude potom predstavovať podiel korózie krasových tokov na tvorbe krasových priestorov — jaskynných dutín, ale pôjde skôr o vrst-

vičku karbonátov odnesenú z povrchu územia. Aby sa získala porovnateľná hodnota, pri výpočte by sa mala ako vzťažná jednotka použiť plocha skutočného povrchu povodia, a nielen jej rovinný priemet. Intenzita korózie pre dané územie dosahuje hodnotu $55,3 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{rok}$ (Droppa, 1974). Z plochy predmetného krasového územia by odnos z horninového masívu pri súčasnej konfigurácii povrchu predstavoval za rok $4,236 \cdot 10^{-2} \text{ mm}$.

Uvedené poznatky o tvorbe chemického zloženia krasovej vody sú úzko späté s konkrétnym typom krasu v konkrétnych prírodných podmienkach. Bude preto potrebné konfrontovať ich s poznatkami z iných typov krasových území.

Lokalizácia maximálnej intenzity koróznych procesov do pôdneho krytu a zvetralinového plášťa karbonátového masívu je podnetom na doplnenie doterajších pohľadov na genézu jaskynného systému.

Napokon treba dodať, že orientácia prieskumu, ale i výskumu na detail — jaskynný systém v karbonátovom masíve — (speleo-hydrogeológia, speleo-hydrochémia) môže priniesť nielen nové teoretické poznatky o obehú a tvorbe krasovej vody, ale aj cenné praktické skúsenosti pri ich využívaní a ochrane.

Literatúra

- Bögli, A. 1964: Mischungskorrosion — ein Beitrag zum Verkarstungsproblem. *Erdkunde B. (Bonn)*, 18, 83—92.
- Droppa, A. 1969: Rýchlosť rastu kvapľov v jaskyniach Liptovského krasu. *Stud. geogr. (Brno)*, 1, 61—68.
- Droppa, A. 1976: Intenzita korózie krasových tokov v Demänovskej doline. *Slov. Kras (Martin)*, 14, 3—30.
- Droppa, A. 1978: Intenzita korózie tokov v Jánskej doline. *Slov. Kras (Martin)*, 16, 39—67.
- Droppa, V. — Klaučo, S.: Čiastková štruktúra karbonátov križňanskej jednotky v povodí Demänovky — hydrogeologický vyhladávací prieskum. [Etapová správa čiastkovej úlohy za rok 1984.] *Manuskript — IGHP Bratislava*.

- Gazda, S. — Hanzel, V. 1980: Influence of natural factors or chemical properties of groundwaters in the West Carpathians Mesozoic. *Západ. Karpaty, Sér. Hydrogeol. inž. Geol.*, 3, 121—141.
- Hyánková, K. 1982: *Hydrochémia. Vyso-koškolské učebné texty*, PF UK Bratislava.
- Kullman, E. — Gazda, S. 1976: Základný hydrogeologický výskum mezozoika SV svahov Nizkých Tatier. *Manuskript — GÚDS Bratislava*.
- Kučera, B. — Hromas, J. — Skřivánek, F. 1981: Jeskyně a propasti v Československu. *Praha, Academia*.
- Tereková, V. 1983: Hydrogeologické a hydrochemické pomery Demänovskej doliny so zameraním na jaskyňu Mier. *Manuskript — ÚSOP Liptovský Mikuláš*.

Contribution to the genesis of karstic water chemistry (Demänovská jaskyňa cave, Low Tatra Mts.)

The paper summarizes most important knowledge on the genesis of mineralization in karstic water acquired in the course of hydrogeological research of the limestone-dolomite complex in the Demänovská dolina valley (Mesozoic of the Low Tatra Mts. northern slope). Detailed measurements of conductivity supplied data on the degree of karstic water saturation by carbonates (fig. 2). These data were aimed to follow changes in soluble component content in the water during its transport on the surface and circulation in the carbonate massif (in which mature karstic phenomena of monoclinical ridge type are developed). The knowledge obtained from the data may be summarized as follows.

1. Considerable changes in content of mineralizing components contained in karstic streams are always sharp ones being localized under the interflow of allochthonous and autochthonous streams (fig. 3). Increments in mineralizing components, found in the allochthonous stream of the Demänovka brook dredging the entire area, are due to corrosional effects of the stream itself. Increments in mineralization related to autochthonous streams are, to the contrary, negligible. Intensive corrosion does not occur either in this case (fig. 4).

2. Considerable portion of mineralizing components contained in water of allochthonous streams generates by precipitation water

passage through the soil cover and weathering crust of the carbonate massif. Corrosion as the main mineralizing process mostly acts but along the surface of the carbonate massif. This process of mineralization was stated only in the case of dispersed vertical passage of infiltrating water inside of the massif. The increment of mineralizing constituents of such water has been specified during its underground passage across the cave system, e. g. in the Jaskyňa Slobody cave system, namely in its segment oriented transversally to the longitudinal axis of the carbonate massif. Mostly the so called cooling corrosion contributes to this increment.

3. The frequently used characteristics of hydrogeochemistry in karstic waters expressed by the intensity of corrosion or by karstification coefficient yielded no estimate for the amount (volume) of eroded rocks in the interior of carbonate massifs as it may not be representative for the volume of newly originated karstic cavities but dependent on erosion processes acting on the surface of carbonate massifs (relatively to the amount of soil cover and weathering crust). Hence this estimate expresses mainly the amount of eroded carbonate mass from the surface of the massif. For calculation of this characteristic, it is then more correct to count with real unity surface of the (morphological) carbonate body instead of hitherto used area of its planar projection (e. g. in the map).