SLOVENSKÝ KRAS ACTA CARSOLOGICA SLOVACA	58/2	181 – 204	LIPTOVSKÝ MIKULÁŠ 2020

POZNATKY O SPELEOGENÉZE V PRÁCACH GEOLÓGA FRANTIŠKA POŠEPNÉHO

JOZEF PSOTKA

Slovenské múzeum ochrany prírody a jaskyniarstva, Školská 4, 031 01 Liptovský Mikuláš; jozef.psotka@gmail.com

J. Psotka: Knowledge of speleogenesis in the works of geologist František Pošepný

Abstract: František Pošepný (March 30, 1836, Jilemnice – March 27, 1895, Döbling) was an important and world-renowned geoscientist of Czech origin. He is known and respected especially for the publication "The genesis of ore-deposits" (1894, 1902). However, little is known that he made a significant contribution to the geological study of caves. In addition to scientific interest, his cave research was mainly related to the practical aspect – the ore deposits in carbonate rocks, therefore he deals in detail with the processes of their filling. His remarkable knowledge of speleogenesis includes caves in various stages of their development, from their inception to the senile and fossil stages, he deals with structural-geological and lithological factors, karst hydrology and interpretation of their geological and geomorphologic development. He gained his first knowledge about the formation of cavities in soluble rocks at a rock salt deposit near the town of Ocna Mureş (Marosújvár) in Romania. He later recognized the effects of karst processes on the Pb-Zn deposit of Cave di Predil (Raibl) in Italy (1870) and was probably the first who described solutional scallops. He published an article (1871) dealing with the genesis and filling of caves and karst cavities. After further study of the Raibl deposit (1873), he recognized the importance of bedding planes and fissures for karstification and pointed out to the influence of different rock solubility and the role of impermeable rocks on cave formation. He gained the greatest amount of knowledge about karst phenomena and processes during the study of the Baiţa Bihor (Rézbánya) ore district in Romania (1874). In his most famous work on ore deposits (1894), he introduced and defined the term vadose zone and described the related speleogenesis. Although he initially assumed the formation of caves only by descending vadose waters, he changed this view under the influence of the publications of J. J. Nöggerath (1845) and G. A. Daubrée (1879) later and began to accept their origin by ascending waters. This paved the way for much later and modern concepts of hydrothermal and hypogenic speleogenesis.

Key words: František Pošepný, vadose zone, speleogenesis, history of speleology

ÚVOD

František Pošepný (30. marca 1836, Jilemnice – 27. marca 1895, Döbling) bol významný a svetovo uznávaný vedec českého pôvodu, dnes považovaný za najvýraznejšieho predstaviteľa českej geológie a súvisiacich geovied druhej polovice 19. storočia. Medzi ložiskovými geológmi je dodnes známy a rešpektovaný najmä pre publikáciu „*The genesis of ore-deposits*“ (1894, 1902) a je právom pokladaný za jedného zo zakladateľov geológie rudných ložísk, ako samostatného vedného odboru. Bolo publikovaných množstvo príspevkov, venovaných životu a vedeckému prínosu F. Pošepného. Pre základný prehľad je vhodný napríklad zborník vydaný k 150. výročiu jeho narodenia (Kaisrová 1986). F. Pošepný pracoval ako banský geológ na rudných i nerudných ložiskách v Sedmohradsku, Uhorsku, Alpách

Obr. 1. Geológ František Pošepný (30. 3. 1836, Jilemnice – 27. 3. 1895, Döbling).
Fig. 1. Geologist František Pošepný (March 30, 1836, Jilemnice - March 27, 1895, Döbling).

Obr. 2. Hrob Františka Pošepného a jeho rodičov. Jeho meno sa nenachádza na náhrobnom pomníku, len na náhrobnej doske je nad vencom nápis Fr. Pošepný (na foto nie je čitateľný).
Fig. 2. Grave of František Pošepný and his parents. His name is not on the gravestone, only on the grave slab is an inscription Fr. Pošepný (not readable in the photo).

a v Čechách a navštívil aj viaceré ložiská v USA a inde vo svete. V rokoch 1872 – 1874 pôsobil v Banskej Štiavnici ako druhý hlavný štátny geológ pre Uhorsko, neskôr ako vicesekretár na rakúskom ministerstve orby a od roku 1879 na Banskej akadémii v Příbrami ako vedúci katedry ložiskovej geológie s titulom banský radca, kde bol potom vymenovaný za mimoriadneho (1882) a neskôr za riadneho profesora (1887). Publikoval vyše 100 vedeckých prác. Vďaka jeho početným výskumom a publikáciám bol v roku 1888 prijatý za čestného člena American Institute of Mining Engineers. Akadémia vied Českej republiky udeľuje od roku 1995 čestnú odborovú medailu F. Pošepného za zásluhy v geologických vedách, ktorá bola zriadená Československou akadémiou vied dňa 12. januára 1967, ako čestná plaketa k oceneniu vynikajúcich výsledkov vedeckej práce v oblasti geológie (www.avcr.cz).

Je však málo známe, že F. Pošepný významne prispel aj ku geologickému štúdiu jaskýň. Jeho práce sú dodnes citované v literatúre venovanej geológii ložísk, ale v podstatnej speleologickej literatúre 20. storočia sa, žiaľ, jeho meno vôbec neobjavuje. Jeho prínos pre karsológiu pripomenuli až Shaw (1992), neskôr Bosák (2000) a Bosák a Bella (2016), ktorí naňho upozornili ako na autora termínu *vadózna zóna*. Títo autori uvažujú, že Pošepný v podstate položil základy modernej karsológie oveľa skôr a v modernejšom poňatí ako Édouard-Alfred Martel či Jovan Cvijić. Je ťažko pochopiteľné, že jeho poznatky o jaskyniach unikli pozornosti vedcov ako boli Jovan Cvijić, Alfred Grund, Friedrich Katzer či William Morris Davis, pretože jeho práce boli publikované v dôležitých geologických a baníckych periodikách tej doby. Je však dosť možné, že tieto poznatky zostali v tieni ohromného množstva údajov o rudných i nerudných ložiskách, ktorým je venovaná prevažná časť jeho prác. Autora tohto príspevku priviedol k štúdiu Pošepného publikácií vlastný niekoľkoročný speleologický prieskum oblasti Baiţa Bihor (Rézbánya), spolu s priateľmi zo speleoklubov Drienka a Šariš. Autor pri štúdiu Pošepného prác zažil nemálo prekvapení a bol až fascinovaný z toho, ako výstižne a detailne opísal krasové javy a procesy a akú nadčasovú a modernú terminológiu pritom použil. Pri citáciách jednotlivých pasáží sa autor snažil o čo najpresnejší preklad z Pošepného publikácií písaných v nemčine, väčšinou v zdigitalizovanej

podobe (www.zobodat.at). Pri preklade z anglických textov práce *Genesis of ore–deposits* vychádzal z digitálnej online verzie publikácie Transactions of the American Institute of Mining Engineers (www.hathitrust.org). Podnetom pre napísanie tohto príspevku boli aj slová P. Bosáka (2000), ktorý píše, že F. Pošepný: „*musí byť znovu objavený pre modernú krasovú vedu*“.

PRVÉ POZOROVANIA KRASOVÝCH PROCESOV (1867)

F. Pošepný vo svojich početných publikáciách prvýkrát upozornil na proces krasovatenia – vytvárania podzemných kanálov rozpúšťaním horniny, v práci z roku 1867, kde opisuje tento jav, vyvolaný antropogénnou činnosťou pri ťažbe kamennej soli na významnom sedmohradskom ložisku pri meste Marosújvár (Ocna Mureş v dnešnom Rumunsku). Treba poznamenať, že nežiaduce rozpúšťanie soli tu spôsobovalo výrazné ekonomické škody a Pošepný, ako praktický geológ, sa snažil pochopením tohto procesu eliminovať či aspoň obmedziť straty. Ťažba kamennej soli pod úrovňou rieky Mureş tu bola stále ohrozovaná záplavami, ako aj prienikmi podzemnej vody do soľného ložiska. V kapitole „*Vodné riziko*“ (s. 512-513) píše, že sladká voda presakuje cez priepustné vrstvy pieskov a štrkov do soľného pňa, kde sa nasýti soľou a keď nenájde žiadny odtok, stagnuje nad soľným pňom. S týmto problémom tu bojovali už Rimania, ale ešte vo väčšej miere baníci v jeho dobe. Napriek tomu, že veľkú pozornosť venovali vodotesnosti šácht a zadržaniu vôd zo štrkov, presakovalo tu viac vody, ako v iných soľných baniach. V šachte Josefi, ležiacej najbližšie k rieke, sa objavovali dokonca prievaly vôd. Pred šachtou boli vybudované podzemné vodotesné hrádze, ale v krátkom čase voda hrádzu obišla a prenikla dnu po jej obidvoch okrajoch. Potom vybudovali hrádzu, ktorá obkolesovala šachtu, ale voda si našla cestu zospodu. Postupne budovali stále hlbšie a hlbšie hrádze až tu nakoniec vzniklo 5 radov hrádzí. Píše, že je samozrejmé, že čím viac vodu čerpali tým viac pokračoval jej prítok cez vodné kanály, so stále sladšou a viac pritekajúcou vodou. Takto dochádzalo k obrovským stratám na ložisku, pretože vyčerpaná voda sa odvádzala do rieky Mureş. Tieto straty vyčíslil až na 75 000 ton soli za rok, čo tvorilo až jednu pätinu (!) vtedajšej produkcie soli v Rakúsku. Na s. 513 píše, že vylúhovanie nebolo obmedzené len na jej ohraničenie, ale prenikalo dovnútra telesa soli, kde vytváralo riadne kanály a tiež soľ rozvoľňovalo. V roku 1865 zostúpil do odvodňovacej šachty, kde na jej počve pozoroval cylindrické otvory s priemerom asi 15 cm, z ktorých vytekala voda pod značným tlakom. Tento kanál nebol viazaný na žiadnu puklinu, ale bol vylúhovaný v úplne celistvej soli. Uvažoval, že: „*Cesty rozpúšťania, aké boli otvorené v šachte, tiež zodpovedajú myšlienke pomalého vytvárania celej siete otvorených kanálov. Ich smer musí byť, prirodzene, vzhľadom na povahu pretínajúcich sa vrstiev soli, viac či menej zakrivený a hlavne prebiehať od prameňa sladkej vody až po najnižšie miesto. Prvý impulz k vzniku otvorených kanálov bol pravdepodobne spôsobený rýchlejšou cirkuláciou horninovej vlhkosti v tejto línii.*“ Tieto fakty viedli k uznaniu chybného princípu budovania odvodňovacích šácht priamo v soľnom telese. Najvhodnejším riešením bolo obklopiť soľnú kupolu vodotesnou hrádzou zabudovanou do jej nadložných vrstiev. Obávali sa však, že veľké tlaky vody by mohli ľahko poškodiť teleso hrádze a že poškodené oblasti by sa dali len ťažko opraviť atď. Po zvážení výhod a nevýhod viacerých projektov sa rozhodlo odviesť vody zo štrkov cez tunel alebo otvorenú priekopu okolo soľného pňa a zachytiť ich predtým, ako pritečú do soľného telesa a potom vodu čerpať primerane výkonnými strojmi.

ROZPOZNANIE KRASOVÝCH PROCESOV NA Pb-Zn LOŽISKU RAIBL (1870)

V príspevku ku genéze oloveno-zinkových rúd ložiska Raibl (dnes Cave di Predil, Taliansko), si Pošepný (1870, s. 247–248) všimol morfológiu vápencových stien v krasových dutinách na kontakte s rudou a zrejme ako prvý a priam ukážkovo, opisuje lastúrovité vyhĺbeniny stien (scallops). Pravdepodobne tu tiež načrtol proces metasomatózy: „*Svojrázny je charakter skalných stien. Keď sa z nej odstráni rudná hmota, ktorá je často úplne voľne pripojená, ukážu sa nespočetné miskovité vyhĺbeniny, ktorých konvexita smeruje proti hornine a ich zbiehajúce sa hrany vytvárajú polygonálnu kresbu. Niet pochýb o tom, že to predstavuje účinok korozívnych tekutín na rozpustnú horninu, ale pretože jednotlivé kôry zinkovej rudy prebiehajú rovnobežne s touto skalnou stenou, je možné s rovnakou pravdepodobnosťou konštatovať, že uhličitan vápenatý tu bol nahradený uhličitanom zinočnatým v najtesnejšej spojitosti s koróziou.*“ Rane Curl vo svojej klasickej práci (1966) píše, že tieto formy prvýkrát opisuje Lugeon (1915, n. v.) z vápencových korýt povrchových tokov a neskôr ich z jaskýň opísal Bretz (1942). Pošepný tieto tvary opísal z krasových dutín a jaskýň v revíroch Raibl a Rézbánya už v prácach z rokov 1870 a 1874, čo je o 40 – 45 rokov skôr, ako sa doteraz uvažovalo.

O TVORBE JASKÝŇ A DUTÍN (1871)

F. Pošepný sa pri svojej práci na rudných ložiskách vo vápencoch a dolomitoch čoraz častejšie stretával s prejavmi krasových procesov a vplyvom pribúdajúcich poznatkov, no s vedomím, že sa v tej dobe vedelo o geológii jaskýň tak žalostne málo, publikoval v roku 1871 článok „*O tvorbe jaskýň a dutín*“. Hneď v úvode pripomenul význam štúdia jaskýň pre geológiu a upozornil, že ide o veľmi širokú oblasť výskumu, ktorý ďaleko presahuje samotný fenomén jaskýň: „*Ak študujete výskyt dutín v horninách, odhliadneme od ich absolútnej veľkosti a berieme do úvahy aj úplne alebo čiastočne vyplnené dutiny, získame nanešťastie stále trochu málo spracovanú, ale celkom obsiahlu a dôležitú oblasť geológie, v ktorej samotný fenomén jaskýň predstavuje len jednu časť štúdia.*“ Ďalej opísal základné mechanizmy vzniku jaskýň: „*Za predpokladu pôvodnej priepustnosti horniny sa sekundárne zmeny v prísune a odnose minerálnej hmoty prejavia na tendencii vyhlbovať alebo vypĺňať, to prvé musí samozrejme predchádzať to druhé... Tvorba jaskýň začína s rozširovaním pôvodných medzier v horninovom masíve, spôsobuje výskyt geód a jaskýň a končí ich úplným pokračovaním v horninových telesách, ktoré sú pre ne priaznivé.*“ Už vyvinuté jaskyne a systémy považuje za ich „*stredné štádium*“ a všíma si ich tvar a prevládajúci rozmer: „*Stredné štádiá sú najviac pútavé a tu je to tvar, resp. prevládajúci jeden alebo dva rozmery, ako aj zoskupenie do celých geódových a jaskynných systémov, ktoré obzvlášť upútajú pozornosť. V rúrovitých priestoroch je iba jeden, v doskovitých priestoroch sa nápadne objavujú dva rozmery a ich priebeh môže byť priamy alebo zakrivený, vzhľadom k tomu či je jeho sklon strmý alebo plocho ležiaci.*“

O tvorbe jaskýň v rozpustných horninách uvažuje ako o kombinácii chemických a fyzikálnych procesov a za najväčší vplyv pokladá chemické účinky cirkulujúcich tekutín: „*Vplyvy, ktoré spôsobili tieto javy, sú mechanickej alebo chemickej povahy. Je zrejmé, že sa výsledky chemických účinkov, najmä pri ľahko rozpustných horninách, budú vyskytovať častejšie a musia sa zreteľne prejavovať a že všetky horniny sú tiež vystavené mechanickým vplyvom. Preto je to v prípade ľahko rozpustných hornín, kde obidva činitele zvyčajne vystupujú spolu, že sa najvýraznejšie javy vyskytujú v kamennej soli, sadrovci, vápenci... Pokiaľ ide o účinky vplyvov chemickej povahy, prehľad výsledkov získaných v tejto oblasti ukazuje, že kvapaliny, ktoré spôsobili tento typ dutiny, museli cirkulovať, že smer obehu,*

jeho začiatok, stredný priebeh a koniec, sa teda dajú určiť v celej sérii týchto javov. Pretože vynikajúcim zdrojom týchto tekutín sú atmosférické zrážky, ktoré prenikajú do hornín, absorbujú tu rôzne látky na jednom mieste, uvoľňujú z nich určité látky na inom mieste a nakoniec sa znova objavujú ako minerálna voda so zložením zodpovedajúcim týmto procesom." Upozornil, že rozdelenie jaskýň podľa A. Schmidla[1] (1854, 1863), ktorý ich rozdelil na ponorové a výverové, nezahŕňa jaskyne „*stredného toku*" a dutiny bez komunikácie s povrchom, ktoré sa často nachádzajú v baniach (nazýva ich *Greisen* – starci, zrejme v zmysle *senilné jaskyne*). Pripomenul, že: „*Iba v prípade, že k cirkulácii nedochádza veľmi hlboko pod povrchom, napríklad v niektorých vápencových alebo sadrovcových horách, sa podzemný tok prejavuje na povrchu tvorbou závrtov atď.*" Ďalej poukázal na fakt, že je obvykle menej miest výverov, ako je miest prieniku vody do masívu a uviedol príčiny tohto javu: „*Je v povahe vecí, že početným bodom prieniku zodpovedá menší počet bodov výveru, pretože podzemné spájanie sa vyskytuje častejšie ako vetvenie, že príslušné výverové body sú obvykle na spodnej hranici rozpustnejšieho horninového telesa s menej rozpustnou horninou a v najnižšom bode terénu.*" Pripomenul, že: „*Výsledky rozpúšťania sa však zriedka pozorujú bez pridania mechanických činiteľov*" a v ďalšom texte uviedol príklad vytvárania kanálov len čisto rozpúšťaním kamennej soli, ktorý opísal na ložisku Ocna Mureş (Marosújvár) už v práci z roku 1867. Priblížil tu spôsob ich vzniku a čo je veľmi podstatné, prvýkrát tu vysvetlil výskyt kanálov v rôznych výškových horizontoch, ako sa vyskytujú aj vo vápencoch a sadrovcoch. „*Medzi bodmi prieniku na hranici soli a bodmi výveru v najhlbšej jame bola najprv vytvorená línia aktívneho obehu horninovej vlhkosti a tá sa postupne rozšírila pôvodne sladkou, teda vylúhovacou vodou do otvoreného kanála s pomerne priamou cestou medzi týmito dvoma bodmi. Ak sa bod prieniku zmenil a ak konštrukcia jamy dala podnet pre vytvorenie iného bodu výveru, tým sa zmenil smer a poloha línie najaktívnejšej cirkulácie a valcovitej dutiny, ktorá sa na nej vytvorila a preto nie je ťažké vysvetliť kríženie kanálov v rôznych horizontoch, aké sa vyskytujú aj vo vápencových a sadrovcových pohoriach. V jaskynných systémoch Meziad v pohorí Bihor sa napríklad dva jaskynné horizonty pretínajú takmer v pravom uhle.*" V biografickej knihe o významnom ruskom geológovi Georgijovi Alexejevovi Maksimovičovi (Maksimovič et al. 2004) je uvedené, že Maksimovič považoval článok F. Pošepného z roku 1871 za vôbec prvú prácu, kde sa píše o jaskynných úrovniach.

O účinkoch mechanických činiteľov, význame puklín pre obeh tekutín a abrazívnom pôsobení klastov hornín unášaných prúdom Pošepný ďalej napísal: "*Mechanické sily buď vytvárajú dutinu samostatne alebo ju napomáhajú formovať a rozširovať. Čisto mechanické prejavy sily vytvárajú predovšetkým trhlinové dutiny a ich najrôznejšie zoskupenia. Od jednoduchých priestorov trhlín s pravidelnými a rovnomernými stenami, počnúc tvarmi so zrútenými skalnými stenami a s tým spojenými priestormi sutín a križujúcich sa trhlín až po skupiny trhlín, žilníky, drvené zóny atď. V prípade ľahko rozpustných hornín, pukliny, ktoré sú často sami o sebe zanedbateľné, dávajú podnet pre ich značné rozšírenie v dôsledku rýchlejšej cirkulácie rozpúšťacích a hĺbiacich tekutín, iniciovanej puklinovitosťou. Ak už bola zahájená aktívna cirkulácia, fragmenty hornín odtrhnuté prúdom majú hĺbiaci efekt, ktorým sú steny kanálov vyhladzované a priestory rozširované. Zaujímavým príkladom je v tejto súvislosti takzvaný Portál v Rezbánya v pohorí Bihor. Ide o výverovú jaskyňu tunelového tvaru, s plochými hladkými stenami, ktoré boli vyhladené úlomkami tvrdých hornín, ktoré sa transportujú silnými prúdmi, aké sa vyskytujú počas topenia snehu a silných lejakov.*"

1 Adolf Schmidl (18. 5. 1802 Tři Sekery pri Mariánských Lázňach – 20. 11. 1863 Budapešť) bol rakúsko-uhorský geograf, pôvodom český Nemec. Bol zakladateľom modernej speleológie. V rokoch 1850 – 1857 skúmal klasické krasové oblasti a jaskyne Slovinska, ale aj jaskyne v Rakúsku, Maďarsku či Sedmohradsku.

V článku definoval aj jaskynné sedimenty (1871, s. 61) a rozdelil ich na mechanické a chemické. Pri chemických sedimentoch uvažoval o troch skupinách, podľa spôsobu ich ukladania závislého od toho, či cirkulujúca tekutina vypĺňala celú dutinu alebo iba čiastočne: „*Systémom dutín prechádzajú okrem tekutín aj plyny a pary a usadeniny sú buď chemickými zrazeninami alebo sedimentmi fragmentov hornín, mechanicky unášaných prúdením. Tieto mechanické sedimenty sú buď produktmi trenia hornín, odplavovania voľných horninových a minerálnych hmôt, odlomených fragmentov stien a v prípade silných prúdov, aké sú v strmých a priestranných jaskynných systémoch, ide o hrubozrnnejší horninový materiál. Pri priamej komunikácii s povrchom nájdeme medzi nimi zvyšky rastlín a zvierat, ba dokonca kultúrne predmety vytvorené ľudskými rukami, čo je dôvodom, prečo paleontológovia a archeológovia často navštevujú tieto priestory. Je samozrejmé, že tieto mechanické sedimenty obvykle pokrývajú iba spodok dutiny a sú tam uložené horizontálne. V prípade jaskýň alebo systémov dutín, ktoré spolu komunikujú iba cez drobnejšie kanály, sa zrejme môže ukladať iba jemný kal.*

Chemickými usadeninami sú buď vyzrážané pary, napríklad kryštalické kôry ľadových jaskýň, výkvet rôznych ľahšie rozpustných a nestabilných solí, napríklad Glauberova soľ, epsomit, halotrichit, železo, zinok a síran meďnatý atď., ale aj usadeniny ťažko rozpustných látok, rôznych solí, sulfidov kovov atď.

Mimoriadne rozmanité javy možno všeobecne zhrnúť do nasledujúcich skupín. Ak cirkulujúca tekutina vyplní celú dutinu, usadeniny sa uložia na všetky časti steny a obalia akékoľvek cudzie voľné telesá. Teraz, keď sa povaha usadenín často mení, to ponúka možnosť podrobne študovať postupnosť tvorby minerálnych kôr. Pretože v stĺpovitých dutinách ustupuje tretí rozmer, usadzovanie sa mohlo uskutočňovať iba na hlavne vyvinutých stenách a je to obraz, ktorý získate, keď prerežete priestor stĺpca symetricky vyplneného minerálnymi kôrami. Tieto kôry zriedka pozostávajú z jedného minerálu, zvyčajne sa zmieša niekoľko minerálov a až potom iba jeden alebo druhý kryštalizuje. Tieto kôry tiež často obsahujú stopy mechanických sedimentov... Ak cirkulujúca tekutina vyplní dutinu iba čiastočne, minerálne kôry sa môžu usadiť iba na spodných častiach. Horná časť dutín je naproti tomu často vyplnená veľmi charakteristickým úkazom tzv. kvapľov alebo stalaktitov, zvlášť dobre známe sú stalaktity vápencových jaskýň. V tejto forme je však veľa ďalších látok, ktoré sa nachádzajú aj v ložiskách pyritu, galenitu, sfaleritu, kalamínu atď. V prípadoch, keď v dutinách necirkuluje žiadna tekutina, nájdeme okrem stalaktitov vo vrchných častiach aj ukážkové stalagmity na spodných častiach, striedajúce sa s mechanickými sedimentmi, pretože tie sa zvyčajne nachádzajú iba v spodných častiach.“

V závere príspevku poukázal na význam štúdia úplne alebo čiastočne vyplnených dutín pre pochopenie procesov, ktoré nie je možné priamo pozorovať: „*Ak berieme do úvahy dutiny, ktoré už boli úplne alebo čiastočne vyplnené, získate veľa informácií o inak neprístupnom strednom toku obiehajúcich kvapalín.*“

ĎALŠIE POZNATKY O KRASOVATENÍ Z LOŽISKA RAIBL (1873)

Vo svojej obsiahlej práci o tomto ložisku Pošepný (1873, s. 396) už v podstate definoval proces krasovatenia, kde kládol dôraz na rozpustnosť hornín, prítomnosť nepriepustných vložiek a vrstiev a ich význam pre obeh tekutín v horninách. Za prvotnú predispozíciu pre vytváranie jaskýň tu správne pokladal plochy vrstevnatosti. Aktívny obeh tekutín a s tým súvisiace javy podľa neho umožnili línie ich prieniku puklinami: „*Chemické a mechanické vplyvy boli tesne prepojené. Niektoré vrstvy boli obzvlášť predisponované pre rozpúšťanie a potom, čo sa na nich vytvorili väčšie dutiny, čiastočné zrútenie a ďalšie rozpukanie priľahlých vrstiev boli neodvratné. Tým sa otvorili nové cesty pre rozpúšťacie a metamorfné*

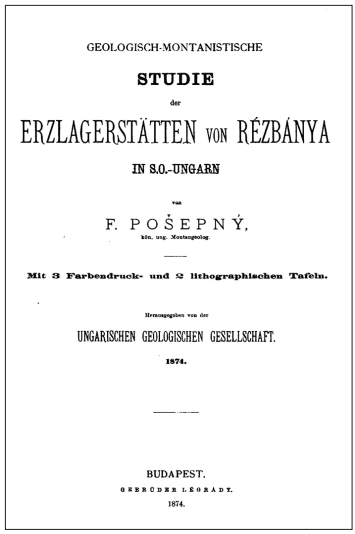
vplyvy a týmto spôsobom mohli byť dotknuté aj oblasti hornín, ktoré sú vzdialené od súborov vrstiev, ktoré boli narušené ako prvé.

Vrstvy, ktoré boli rozpúšťaním ovplyvnené ako prvé, môžu byť predisponované pre rozpúšťanie buď ich chemickým zložením alebo ich relatívnou pozíciou voči iným, menej rozpustným vrstvám. Podzemná cirkulácia nasleduje, ak odhliadneme od puklín a prítomnosti ľahko priepustných vrstiev a máme na mysli iba horniny s rôznym stupňom rozpustnosti, najmä ľahšie rozpustné horniny, a čoskoro dôjde k aktívnemu obehu a účinkom rozpúšťania vo forme sérií dutín, na rozhraní voči menej rozpustným horninám. Bridličnaté vložky v našich dolomitových a vápencových masívoch iste predstavujú ťažšie rozpustné horniny a prvé rozpúšťanie a vytváranie dutín sa muselo viazať na ich kontaktnú plochu s ľahšie rozpustnými vápencami a dolomitmi. Prvá predispozícia pre tieto dutiny mohla existovať dokonca ešte pred porušením horninového komplexu puklinami prostredníctvom vrstevných plôch a cez pukliny sa aktívna cirkulácia tekutín a jej dôsledky viaže na línie prieniku týchto vrstiev s puklinami. Ak sa bližšie pozrieme na rozšírenie tvorby dutín v celom revíre,... s približovaním k hranici bridlíc rastie frekvencia a intenzita, a zdá sa, že bridlicová hranica ako celok sťahovala cirkuláciu tekutín do jej blízkosti."

Na s. 420 porovnal situáciu na ložisku Raibl s rudným revírom Rézbánya (Baiţa Bihor) a poukázal tu hlavne na odlišný vplyv dajok vyvretých hornín na cirkuláciu tekutín vo vápencovom masíve: „*Úloha dajok vyvretých hornín* v *Rézbánya, ako nerozpustných a pre tekutiny ťažko priepustných hornín uprostred masívu rozpustných hornín, je v mnohých ohľadoch iná ako našich puklín, ktoré urýchľujú cirkuláciu tekutín. V Rézbányi si všimnete, že sa niekedy recentné prázdne, ale aj staré, rudami vyplnené dutiny vzďaľujú od dislokácií a smerujú od bodu prieniku cez stenu vyvretých hornín k druhému takémuto bodu v najbližšej skalnej stene, a že aj tu platia rovnaké zákony podzemného obehu tekutín ako v prípadoch, ktoré sú bližšie k povrchu a nášmu pozorovaniu, a skrátka, že tu ide o analogické genetické vzťahy.*"

POZNATKY Z VÝSKUMU REVÍRU RÉZBÁNYA (1874)

Rudný revír Baiţa Bihor (Rézbánya) v Rumunsku je historicky významná banská oblasť, s komplexnou geologickou stavbou, známa ťažbou polymetalických rúd od stredoveku až po súčasnosť (Stoici 1983). Na zložitosť oblasti *Rézbánya* poukázal Pošepný už v krátkom príspevku z roku 1868. Na základe štúdia Pošepného publikácií možno predpokladať, že najviac poznatkov o krasových procesoch získal práve tu. V roku 1874 publikoval rozsiahlu štúdiu o tejto významnej ložiskovej oblasti (obr. 3). Veľkú pozornosť v nej venuje aj krasu a jaskyniam. Už v úvodných častiach, na s. 39, upozorňuje, že: „*Obzvlášť zaujímavý je podzemný vodný tok v tomto komplikovane budovanom teréne a ním podmienený úkaz jaskýň. Existuje tu toľko súvisiacich javov, ktoré sú tu zastúpené na relatívne malom priestore a ktoré sa inak objavujú iba príležitostne, takže je ľahšie robiť genetické závery tu, ako kdekoľvek inde.*" Ďalej priblížil krasovú hydrogeológiu územia, známu výverovú jaskyňu Porţile Bihorului (obr. 4) a jej ponory: „*Najzaujímavejším fenoménom je však takzvaný Portál, kde dva lieviky predstavujú vstup vody zo západnej strany a tunelovitá jaskyňa predstavuje výver vody zo severnej strany. Na sedle medzi hrebeňom Bernard a Caecilia v teréne, ktorý je známy ako Ponor, sa okrem niekoľkých závrtov nachádza otvorená ponorová jaskyňa, do ktorej vteká malý tok pochádzajúci z kopca Caecilia. Trochu hlbšie v rokline Ponor bola v bani Helena opäť zastihnutá ponorová jaskyňa. Názov ponor je pre tento jav veľmi charakteristický. Zrejme pochádza zo slovanského ponoriti – ponoriť sa, a možno ho nájsť na mnohých miestach v susednom Sedmohradsku. S tým je často spojený druhý, taktiež slovanský názov suchodol, suché údolie (Valea sacca). Tento názov sa vzťa-*



GEOLOGISCH-MONTANISTISCHE

STUDIE

der

ERZLAGERSTÄTTEN VON RÉZBÁNYA

IN S.O.-UNGARN

von

F. POŠEPNÝ,

kön. ung. Montangeolog

Mit 3 Farbendruck- und 2 lithographischen Tafeln.

Herausgegeben von der

UNGARISCHEN GEOLOGISCHEN GESELLSCHAFT.

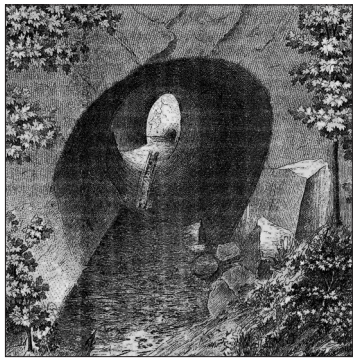
1874.

BUDAPEST.

GEBRÜDER L. ŞORADY.

1874.

Obr. 3. Titulná strana monografie: Geologicko-banská štúdia rudných ložísk Rézbánya v juhovýchodnom Maďarsku (1874).
Fig. 3. Title page of the monograph: Geological-mining study of Rézbánya ore deposits in south-eastern Hungary (1874).



Obr. 4. Kresba vchodu jaskyne Portál (súčasný názov Porţile Bihorului) v dnešnom Rumunsku (podľa Pošepného 1874).
Fig. 4. Drawing of the entrance to the Portal cave (current name Porţile Bihorului) in present-day Romania (after Pošepný 1874).

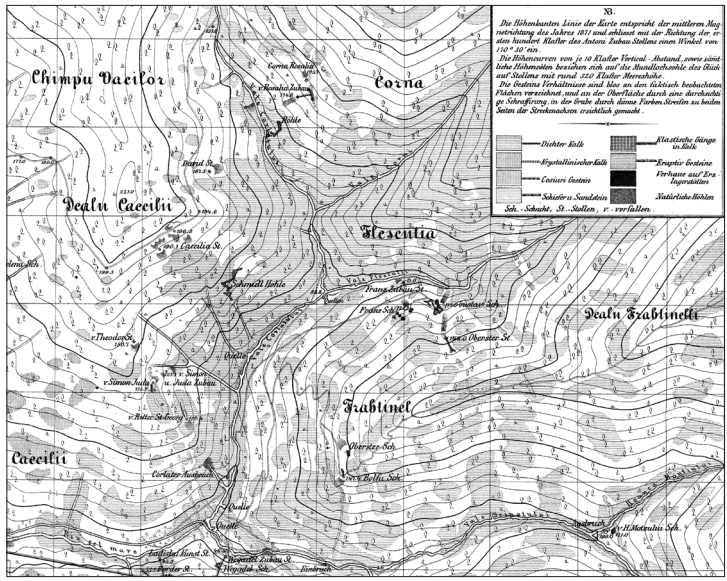
huje na tú časť údolia, ktorá leží pod vstupom vody alebo ponorom, a ktorá je zvyčajne bez vody a nanajvýš vedie vodu v daždivých časoch."

Na s. 40. pokračoval v opise krasovej hydrológie dolín s dnešnými názvami Corlatului, Corlăţelul a Fleşcuţa, v masíve vrchu Ţapu (obr. 5): „*Potok Corlat pramení pod hrebeňom Ţzap a ponára sa do veľkých, čiastočne otvorených jaskýň, na hranici vápencového komplexu Werksthal. Podobné javy sa nachádzajú aj v obidvoch prítokoch, roklinách Görna a Flescutia. V poslednej menovanej je obrovský lievik na vápencovej hranici, tzv. Fundatura (slepá dolina). V bani Gustav-šachta tiež narazili na ponorovú jaskyňu. Voda sa vynára pri sútoku s dolinou Corlatului, v blízkosti výstupu podložných hornín, v niekoľkých veľkých prameňoch. Vo vápencoch hory Corlat (alebo Caecilia) sa nachádza niekoľko výverov: medzi nimi krásna a nádherne zachovaná Schmidlova jaskyňa, starobylý výverový bod.*"

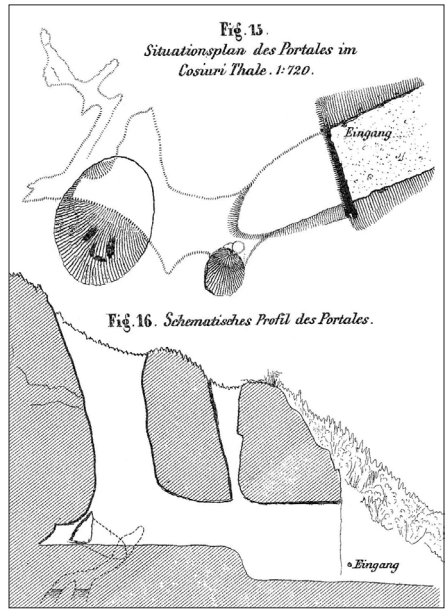
Na s. 40 tiež upozornil na jaskyne, ktoré sa neprejavujú na povrchu, ale narazili na ne pri banskej činnosti: „*Podzemné jaskyne, ktoré sa nepreukazujú na povrchu, a pre ktoré som navrhol názov Greisen (starci), boli vo veľkom počte nájdené pri banskej činnosti, ako spomeniem v podrobnom popise.*"

Ďalej (s. 41) opäť pripomenul význam nepriepustných hornín, v tomto prípade bazaltových dajok a ich kontaktu s vápencami: „*Ak sa pozriete na celú sériu týchto javov, zistíte, že vápenec je ľahko priepustný pre vodu a cirkulácia podzemnej vody sa prednostne drží kontaktu s menej priepustnými horninami. Takouto horninou je nielen podložie vápencov, ale aj často pozorované bazaltové dajky, ktoré prenikli vápence. Podzemné toky sa vytvorili na kontakte s týmito horninami a objavujú sa vstupy, ako aj vývery vody. Vtoky vedú dole do týchto podzemných kanálov a ich vytváranie bolo spôsobené puklinami vo vápenci alebo inými poruchami. Z toho dôvodu sa podzemné jaskyne alebo greiseny vyskytujú v blízkosti rudných ložísk. Keď sú samotné ložiská priamo na kontakte, je ich vysvetlenie jednoduchšie.*"

Na s. 44 – 46 sa podrobne venoval jaskyni Portál (obr. 6, dnešný názov Porţile Bihorului) a pozoruhodne opísal jej morfológiu, svoje pozorovanie jej hydrologického režimu a nakoniec vysvetlil jej speleogenézu. „*Portál sa v skutočnosti nazýva impozantný tunelový vstup do tejto jaskyne, ktorá je krátkou výverovou jaskyňou s prepadnutými ponorovými lievikmi. Schmidl uvádza (1863, s. 266) opis tejto jaskyne, ale vynechal veľa zaujímavých vecí... Ak prichádzate z doliny Coşuri, uvidíte na opačnej strane doliny, v bralnatej vápencovej stene v západnom svahu, zároveň vchod aj osvetlené*



Obr. 5. Výrez z bansko-geologickej mapy revíru Werksthal pri Rézbánya (podľa Pošepného 1874)
Fig. 5. Section of the mining and geologic map of the Werksthal district near Rézbánya (after Pošepný 1874)



Obr. 6. Pôdorysný plán a rez jaskyne Porţile Bihorului pri obci Baiţa v rumunskom Bihore (podľa Pošepného 1874)
Fig. 6. Plan and cross section of the Porţile Bihorului Cave near the village of Baiţa in Bihor, Romania (after Pošepný 1874)

pozadie jaskyne. Ak sa vyšplháte na skalnaté, veľmi hladko vyleštené dno údolia, akoby ste liezli na rampu, najprv si myslíte, že pred sebou máte tunel. Avšak čoskoro zistíte, že steny tunela nie sú valcovité, ale špirálovité, pri zachovaní hladkých stien. Šírka je 6 siah

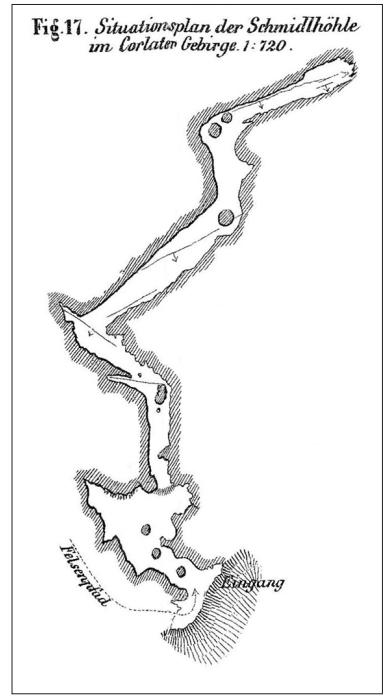
a približne rovnaká je aj výška, v týchto rozmeroch pokračuje asi 10 siah a tvorí sieň s veľmi rovnou podlahou, ktorá je pokrytá obliakmi rôznych hornín. Na konci tejto siene je asi 2 siahy vysoký, vertikálny, tiež veľmi hladko vyleštený stupeň, ktorý musíte vyliezť aby ste sa dostali do druhej, približne 20 siah vysokej siene, ktorá komunikuje s povrchom cez dva lievikovité otvory. Prvý z otvorov, neďaleko spomenutého stupňa je úzky a nepravidelný, druhý je však takmer kruhový lievik s hladkými stenami, ktorého spodný priemer je približne 10 siah a výška ktorého je až 25 siah. Na stenách lievika je možné pozorovať niekoľko otvorov, ústia vnútorných kanálov, ktoré občas vyprázdňujú vodu. Schmidl nemohol ísť ďalej a spomenul, že táto sieň sa končí v úzkej pukline, a že na dne je viditeľný menší vstup do jaskyne, v ktorej sa nachádza jazero. Navštívil som toto miesto v rôznych časoch a dokázal som sa hlbšie prekopať do tejto menšej jaskyne. Je tu úzky priechod, ktorý už nemá hladké steny, asi 6 siah v severnom smere s pomerne klesajúcim dnom, odtiaľ sa jaskyňa otočí smerom na severozápad a stále môžete postúpiť asi o 10 siah. Na tejto ceste som stretol kanál, prichádzajúci zhora a hlbokú odbočku, v ktorej stála voda. Tam som raz pozoroval prudký nárast hladiny vody a ustúpil, aby som nebol prekvapený vodou. Keď som sa tam po nejakom čase vrátil, zistil som, že hladina vody klesá. Toto pozorovanie mi dalo predstavu, že tu máme do činenia s intermitentnou vodou. Pri ďalšej návšteve som zistil, že je tento kanál naplnený vodou, ktorá potom pretekala druhou sieňou nad stupňom do prvej haly. To bol aj prípad, keď cez veľký lievik vtekalo málo alebo žiadna voda. V tom čase voda, ktorá odtekala, pochádzala z kanálov, ktoré som objavil a keďže je strmý, musela sa týmto kanálom tlačiť nahor hydrostatickým tlakom. Týmto je vysvetlený celý komplex javov.“ Ďalej vysvetlil miestnu krasovú hydrogeológiu a genézu jaskyne. Lokalitu považoval za ukážkový príklad abrazívnych účinkov sedimentov pri vytváraní jaskyne: „*Voda tečie z horných oblastí na kontaktnej ploche s podložnými horninami Coşuri, rohovcami a bridlicami, ktoré skutočne vystupujú niečo nad spojením vody z Portálu s potokom Coşuri a môže eventuálne vystupovať aj vyššie, do kanálov ležiacich na puklinách. Táto voda pôvodne vytekala z malej výverovej jaskyne. Na tomto mieste sa voda zo západných svahov spojila s týmto kanálom, postupne sa vylúhovali vertikálne kanály a v mieste, kde sa pridávalo najviac vody, sa tento vertikálny kanál zarútil a umožnil, že sa vodou strhávané úlomky hornín mohli dostať do druhej siene. Účinkom bolo, že sa tieto úlomky hornín silou vody, ktorá v daždivých časoch padala zo strmého svahu do lievika, pohybovali a treli proti sebe ako aj o steny. Takto sa vytvorili hladké steny veľkého lievika a dvoch sení a postupne dali vstupnej sieni jej dnešný tvar tunela. Obliaky niekedy pozostávajú z mimoriadne tvrdého a húževnatého materiálu, z rohovca a často sa vybrúsia na pravidelné gule s vyleštеným povrchom. Kvôli krátkej vzdialenosti ich transportu tu mohli byť uvedené len ako hranaté úlomky. Takéto gule sa nemohli vytvoriť jednoduchým prechodom cez túto jaskyňu, ale pravdepodobne zostali na dne druhej siene po dlhú dobu a pri každom prívale sa znova rozvírili. Portál tak ponúka jeden z najvzácnejších príkladov, keď mechanické sily vyhlbujú horninu v takom veľkom meradle alebo skôr pomáhajú vyhĺbiť ju. Poskytuje tiež faktické dôkazy o tom, že podzemné kanály majú svoje stúpajúce časti, čo môže viesť k sifónovému efektu, ako aj k úkazu periodicity.*“

Na s. 60 – 61 sa venoval opisu veľkého krasového výveru *Corlat* s jaskyňou (dnes Izvorul Crişului Negru) a prameňa rieky Crişul Negru (Fekete Körös), ktorý opísal už Schmidl (1863, s. 268). Poznamenal, že: „*Sintrové a stalaktitové formy sa nachádzajú vo veľmi rudimentárnom stave tým, že vysoký vodný stav, ktorý často zaberá celý profil jaskyne, bráni ich formovaniu.*“ Ďalej vysvetlil geologické faktory, vplyvom ktorých sa tento mohutný výver nachádza práve na tomto mieste: „*...existujú dva faktory, ktoré spôsobujú, že voda vyteká z tohto bodu. Zjavne tu vystupujú rohovce, ktorých povrch sa mierne ukláňa na juh a juho-*

západ..., tvorí plochu, po ktorej prebieha cirkulácia podzemnej vody. Ďalej zóna bazaltu, ktorá preniká do celého vrstvového komplexu a tvorí podzemnú hrádzu, ktorá túto vodu neprepustí podzemne, ale núti ju vystupovať na povrch".

Pokračoval na s. 61 – 62, opisom ponorových jaskýň vyššie v doline a poukázal na ne, ako na dôkazy postupného zahlbovania doliny: „*Vyššie v doline sa nachádza viacero menších jaskýň, ktoré pokiaľ v nich môžete dôjsť vedú dole, teda sú to ponorové jaskyne. Určite siahajú až na rozhranie hornín, po ktorom potom odteká voda, ktorú tu privádzajú. Nachádzajú sa spravidla v istej výške nad dnom doliny. Dolina tu predstavuje úzku skalnatú tiesňavu, v ktorej povodne pravdepodobne spôsobia upchatie, takže možno aj teraz môžu tieto jaskyne dočasne fungovať ako ponory. Tieto, nad dnom doliny ležiace, ponory sú zároveň zrejmé dôkazy postupnej erózie.*"

Na s. 62 opísal senilnú výverovú jaskyňu (obr. 7), ktorú nazval Schmidlova jaskyňa – *Schmidlhöhle* (dnes Peştera lui Schmidl), aby, ako píše, pripomenul vynikajúceho speleológa A. Schmidla. Na konci jaskyne si všimol sintrovú výplň, jej charakter a uvažoval o genéze jaskyne: „*Koniec je najvyšším bodom a tu si možno všimnúť niekoľko javov, ktoré naznačujú, že pokračovanie klesalo, ale v súčasnosti je úplne alebo čiastočne vyplnené. V malej koncovej sieni sa nachádza podlaha z vápenného sintra s veľmi charakteristickými vlnkovými a kotlovými tvarmi a pod ňou je druhé dno z vápenného sintra, miestami prelámané a pokryté jemným ílom. Je preto veľmi pravdepodobné, že voda, ktorá vylúhovala tieto dutiny, sa dostala na koniec jaskyne stúpajúcim kanálom a pretekala upadajúcimi priestormi s klesajúcim stropom a dnom. Podlahové sintrové formy môžu mať na niektorých miestach značnú hrúbku a môžu tiež obsahovať väčšie dutiny na rôznych miestach, čo sa dá dedukovať podľa zvuku.*"



Obr. 7. Pôdorysný plán jaskyne Schmidlhöhle (súčasný názov Peştera lui Schmidl) pri obci Baiţa v rumunskom Bihore (podľa Pošepného 1874).
Fig. 7. Plan of the Schmidlhöhle Cave (current name Peştera lui Schmidl) near the village of Baiţa in Bihor, Romania (after Pošepný 1874).

Pokračoval opisom zaujímavých sintrových foriem tejto jaskyne (s. 63): „*Charakteristickým rysom je, že stalagmity, najmä v zadnej časti jaskyne, sú zriedkavé. Mohli by však byť zakryté aj podlahovým sintrom, v každom prípade je tvorba stalagmitov zanedbateľná a vápenatá voda využívala všetok svoj obsah vápnika na tvorbu stalaktitov. Všetky faktory tvorby sintrov, obsah vápnika a množstvo kvapkajúcej vody, ako aj teplota a vlhkosť vo vzduchu boli obzvlášť priaznivé práve pre tvorbu stalaktitov. Z mnohých veľmi poučných príkladov uvádzam stalagmity známe ako „mešec na peniaze" (Geldsack). Z pukliny na strope vzniká nad previsnutou časťou horniny stalaktit, ktorý sa čiastočne vyvinul ako „záclona"..., čiastočne ako valec, asi 1,5 stopy hrubý a 2 siahy dlhý, ktorý na spodnom konci prebieha do gule s priemerom asi 2,5 stopy. Kým valcový povrch je veľmi hladký, prirastená guľa je vyplnená nespočetným množstvom malých výčnelkov, ktoré zodpovedajú parazitickým stalaktitom. Celok voľne visí nad veľmi zarovnanou sintrovou podlahou... Tento, rovnako ako väčšina stalaktitov v zadnej časti jaskyne, sa vyznačuje čisto bielou farbou a určitým*

stupňom priehľadnosti. Dôvod, prečo tento stalaktit nevytvoril kužeľovitý tvar na spodnom konci, ale namiesto toho tu vytvoril takú veľkú guľu, je ťažké určiť, pretože do toho mohli byť zapojené rôzne faktory."

Na s. 70 opísal lastúrovité jamky (scallops) z jaskyne nafáranej v šachte Gustav a odkázal na svoju publikáciu o ložisku Raibl (1870), kde tieto formy už predtým opísal: *„Čo však vzbudzuje mimoriadny záujem, sú konkávne zakrivenia povrchu, ktoré sú výsledkom prieniku vyhĺbenín v tvare misky, aké nachádzame na materiáloch skorodovaných tekutinami, a ktoré sú veľmi charakteristické pre vápencové jaskyne, ktoré sa zjavne tvoria vylúhovaním.*"

Na s. 82 opísal šachtu Schachtadel, kde baníci vyťažili vertikálnu jaskyňu až do hĺbky 36 m, ktorá bola vyplnená pieskom a zaoblenými kusmi rudy s váhou až 400 kg. Predpokladal tu intenzívnejšie rozpúšťanie na kontakte s rudou: „*Fenomén jaskýň vyplnených úlomkami piesku a rudy nie je ojedinelý, ako ukážem ďalej a zdá sa, že sa dá vysvetliť skutočnosťou, že k intenzívnejšiemu vylúhovaniu došlo tesne pri ložisku rudy a namiesto toho, aby ruda zostala nedotknutá ako na väčšine miest, toto bolo atakované, časti rudy okolo neho izolované a zmiešané so zvyškami vylúhovania.*"

Na s. 143 opísal horizontálnu jaskyňu, na ktorú narazili banskou štôlňou na ložisku Reichenstein v revíre Valea Seacă a poukázal na vodorovné výklenky na stenách, ktoré podľa neho korešpondujú s úrovňou tekutiny, ktorá ju vypĺňala: „*...v nadloží úzkej polohy bazaltu sa vyskytuje jaskyňa, ktorá má v protiklade k mnohým jaskyniam a greisenom tejto horskej oblasti rovný priebeh. Jej steny boli pokryté kryštálmi kalcitu a dookola boli horizontálne rímsy, zodpovedajúce okrajom brehov tekutiny, ktorá ju kedysi vypĺňala*".

Poznatky zosumarizoval na konci štúdie, kde sa v podkapitole „*Jaskynné javy*" (*Die Höhlenerscheinungen)* obsiahlo venoval fenoménu jaskýň (s. 179 – 182). Poukazuje na význam oblasti Rézbánya pre pochopenie krasovej hydrológie (s. 179): „*Po tom čo boli pri skúmaných ložiskách, nielen v revíre Rézbánya, ale aj v iných analogických rudných revíroch, veľmi často nafárané podzemné jaskyne, nemožno ich považovať za náhodný jav. Vieme, že tento jav nie je rovnaký vo všetkých vápencových horách. V niektorých mohutných vápencových štruktúrach, ktoré sú rozšírené na veľkých plochách, nenájdeme žiadne stopy jaskýň, zatiaľ čo v iných, geologicky rovnako starých vápencových terénoch ich stretávame na každom kroku. Posledný uvedený prípad je teraz dobre zastúpený v oblasti okolo Rézbánya... Je tu na pomerne malom priestore nahromadených toľko javov, že si môžeme urobiť pomerne kompletný obraz o obehu podzemnej vody.*"

Ďalej definoval krasové horniny a krasovatenie (s. 180): „*Je zrejmé, že dutiny nájdené vo vápencových horách sú sekundárneho pôvodu a za svoj vznik vďačia rozpúšťacím tekutinám cirkulujúcim v horninách. Hneď ako začne v horninovom médiu, zloženom z ľahko rozpustných látok (kamenná soľ, sadrovec, vápenec atď.) obeh tekutín, hornina sa rozpustí a na jej mieste zostanú dutiny. Ak je táto hornina úplne homogénna, vytvorí sa línia najsilnejšej cirkulácie medzi vtokmi a výstupnými bodmi kvapaliny, kde sa vylúhovanie bude uskutočňovať v stále väčšej a väčšej mierke, až kým sa nakoniec nevytvorí otvorený kanál, ktorého umiestnenie a smer závisí od umiestnenia týchto dvoch bodov. Hneď ako sa poloha jedného z týchto bodov zmení, zmení sa aj poloha a smer dutiny, ktorá medzi nimi vzniká. Ak sa výtokový otvor zdvojnásobí, dutina sa smerom dole zjavne rozdelí na dve ramená.*

Je zrejmé, že najčastejšou príčinou cirkulácie tekutín v prírode, je rozdiel v úrovni prítokových a odtokových bodov. Ak je táto podmienka splnená, môžu sa za určitých okolností vytvoriť sifónové dutiny, na ktorých jednej strane sa kvapalina pohybuje nadol a na druhej strane smerom nahor. Posledný uvedený prípad sa musí vyskytovať často, najmä v prípade heterogénnych hornín na miestach, kde sa vyskytujú horšie rozpustné alebo úplne vodotesné časti horniny. No naše vápencové hory nie sú v žiadnom prípade homogénne,

ale s početnými doskovitými telesami bazaltu a medzivrstvami nepriepustných hornín, ako aj prerastené veľmi nepravidelnými pňami vyvretých hornín a obklopené horninami, ktoré sú všeobecne ťažko preniknuteľné pre tekutiny. Podzemná cirkulácia preto vytvorí dutiny veľmi komplikovanej povahy. Celá vápencová masa je rozrezaná tenkými, strmými bazaltovými dajkami na oddelené časti. Keby boli tieto bazaltové dajky navzájom paralelné, ako sa dávnejšie predpokladalo, vápencové bloky by boli hranaté a všade dookola ohraničené. Ale keďže je viac pravdepodobné, že sa tieto dajky v smere aj sklone vetvia alebo spájajú a predstavujú dlhú tiahlu sieť, tvar vápencových blokov môže byť oveľa nepravidelnejší, šošovkovitý a klinovitý."

Pokračoval na s. 181 geologickou interpretáciou: „*Ak nájdeme dutinu v ktoromkoľvek bloku, je to dôkaz o súčasnom alebo minulom obehu tekutín a zároveň dôkaz, že vápencový blok nie je úplne uzavretý od zvyšnej vápencovej masy, ale okolité vodotesné horniny boli na niektorom mieste perforované. (... ako „vodotesné horniny" chápem tie, ktoré umožňujú len veľmi malú cirkuláciu kvapalín a neobsahujú žiadne rozpustné zložky, takže žiadne dutiny nemôžu byť vytvorené iba vylúhovaním). Ak teraz predpokladáme, že hmota každého jedného bloku je homogénna, dutina by samozrejme mala mať smer od bodu vstupu k bodu prielomu prepážky, alebo všeobecne mať smer v spojnici prítokových a odtokových bodov v každom jednotlivom vápencovom bloku. Ale vápencová hmota nie je úplne homogénna, takže smer a tvar dutín sa tým o niečo mení. Je zrejmé, že strmé bazaltové dajky vo všeobecnosti podmieňujú strmé jaskyne. Avšak strmá alebo plochá pozícia jaskýň závisí v celom priebehu aj od výškového rozdielu medzi bodom vstupu a výstupu, ale body prielomu v jednotlivých vápencových blokoch môžu byť aj nižšie, ako posledný výtokový bod... Takisto vysvetlenie javu, že jaskyne sa najčastejšie vyskytujú na kontakte rozpustných s nerozpustnými horninami, nie je problematické, pretože vápenec je horninové médium priepustné pre vodu. Takže všetky množstvá kvapaliny, ktoré pritekajú nad úrovňou najnižšieho bodu terénu, padajú na vodotesné podložie a akumulujú sa na ňom (pokiaľ je nad úrovňou najnižšieho terénneho bodu) a postupne, v dôsledku aktívnej cirkulácie po povrchu tohto podložia, vytvoria dutiny. Tieto dutiny sa nakoniec zlúčia do otvoreného kanála, ktorý prebieha v smere, ktorý všeobecne zodpovedá línii najstrmšieho sklonu podložia, ako aj smeru výtokového bodu.*"

Pošepný v tejto práci predpokladal podzemný obeh tekutín a tvorbu jaskýň len nad úrovňou výverového bodu (s. 181 – 182). Ako však ukážeme ďalej, ovplyvnený poznatkami iných autorov, neskôr svoj názor pozmenil. „*Pokiaľ nadložná nepriepustná vrstva nezatláča obehovú cestu smerom nadol, nemôže dôjsť k žiadnej cirkulácii pod úrovňou výverového bodu, ale tekutiny úplne nasýtené rozpustenými látkami v tejto oblasti stagnujú.*" Po dosiahnutí úrovne nepriepustného podložia, predpokladal viac menej horizontálny priebeh jaskynných priestorov: „*Od bodu, kde úroveň výverového bodu pretína povrch podložia, za predpokladu, že ide o homogénnu horninu, dutina prebieha v smere k bodu výveru viac alebo menej horizontálne.*"

Na s. 182 písal o význame puklín pre obeh podzemnej vody: „*K týmto faktorom musíme pridať rozpukanie vápenca, aby sme získali predstavu o veľkej zložitosti tohto javu. Puklina podporí rýchly obeh tekutín a preto aj tvorbu dutín na nej. Ľahkosť, s akou tekutiny prenikajú cez jednotlivé pukliny a zóny puklín, musí nevyhnutne spôsobovať veľké odchýlky ťahov dutín od smeru, ktorý som si vopred vyrátal a kde predpokladám nielen homogénnu, ale aj masívnu horninu, ktorá nebola porušená žiadnou puklinou. Ak sa puklina nachádza približne v smere vhodnom pre výver, bude obeh určite nasledovať túto trasu. Ak však leží v priečnom smere, môže nastať prípad, že cirkulácia v pukline klesne takmer na úroveň výverového bodu. Po puklinách môžu tekutiny teraz klesať rýchlejšie z hornej oblasti do dolnej oblasti, aby sa pripojili k hlavnej mase podzemného toku cirkulujúcej tekutiny. Dô-*

sledkom tohto javu na povrchu je vytváranie celých radov vodných hltačov (ponorov) a keď sa tieto jaskyne nakoniec zrútia, známy fenomén závrtov.

Tieto tekutiny, ktoré sa dostali do podzemia omnoho priamejšie, zrejme obsahujú iba málo látok rozpustených z horniny, a preto môžu v tomto ohľade spôsobiť tiež zmeny v hlavnom kanáli. K týmto záverom by sa mohlo pridať mnoho ďalších, ak by šlo o vysvetlenie jednotlivých prípadov, ale to čo už bolo povedané, by malo stačiť na preukázanie príčinnej súvislosti najvýraznejších javov."

Na s. 182 pokračoval podkapitolou: *„Prechádzajúca tvorba jaskýň na ložiskách rúd"*, kde uviedol dôvody, prečo považoval rudné telesá tvaru pňov (stockförmige) za vyplnené jaskyne: „*1. Rudy a kontaktné minerály zaujímajú pozíciu voči vápencom, čo bezpochyby predstavuje sekundárne útvary. Zvyčajne sú ostro ohraničené od vápenca a dokonca aj v miestach, kde sa vyskytujú jednotlivé impregnácie vo vápencoch, nesplývajú s horninou, ale tvoria ostro definované oblasti. 2. Priečky medzi rudami a vápencami vykazujú často charakteristický ráz stien jaskýň, ktoré sa vylúhovali vo vápencoch, ako som detailne spomenul v popise šachty Gustav. 3. U niektorých rudných žíl sa objavuje krustifikácia (vrstevnaté usporiadanie minerálov), ktorá sa musí všade považovať za zjavné kritérium dutiny, ktorá kedysi existovala v mieste výplne... 4. Vonkajšie tvary, otvorené ťažbou, úplne zodpovedajú tvarom priestorov, ktoré sú stále v procese vyhlbovania. 5. Ich umiestnenie vo vápenci oproti nerozpustným a vodotesným horninám je úplne rovnaké ako umiestnenie jaskýň a senilných jaskýň (Greisen), ktoré sú aj v súčasnosti v tvorbe. Čiastočne ležia na kontaktoch, čiastočne na porušených zónach a dokonca aj senilné jaskyne (Greisen) sa často nachádzajú v bezprostrednej blízkosti rúd, čo dokazuje, že podmienky ich vzniku sú analogické.*"

Na s. 186 – 187 sa venoval minerálnej výplni jaskýň a opísal aj jaskynné dutiny úplne vyplnené sedimentmi (paleokras): „*V mojom, už citovanom článku o jaskyniach a dutinách som rozlíšil tri druhy výplní. Keď cirkulujúce tekutiny vyplnia celú dutinu, usadeniny sa uložia na všetky steny a postupne sa, s výnimkou niekoľkých centrálnych geód, vyplnia paralelnými minerálnymi kôrami. Ak kvapalina cirkuluje iba v dolnej časti dutín, minerálne kôry sa môžu usadiť iba v tejto časti, zatiaľ čo v hornej časti dochádza ku tvorbe stalaktitov. Keď sú nakoniec dutiny pretekané iba zriedkavo malými množstvami kvapaliny alebo ak sa ich cirkulácia už úplne zastavila, môžu sa na podlahe usadiť stalagmity a spolu s tvorbou sintra a stalaktitov vyplniť celú dutinu... tvar týchto jaskýň musí byť rúrovitý a ich vertikálny profil, keďže úroveň výveru v dôsledku erózie a vylúhovania neustále klesá, bude spravidla pozdĺžny a bude mať väčšiu výšku ako šírku. V prístupných vápencových jaskyniach, kde si už tekutiny vytvorili inú cestu... nájdete pevné vápencové dno iba na relatívne málo miestach. Spodná časť jaskyne je spravidla vyplnená niekoľkými horizontmi sintrových útvarov, ktoré sa tiahnu klenuté medzi stalagmitmi a zanechávajú dutiny, ktoré sa pri vstupe na najvyššie dno prezrádzajú dutým zvukom. Je ľahké si predstaviť stavbu úplne vyplnenej jaskyne, aj keď už došlo k veľkým molekulárnym zmenám vo vápencovej hmote. Časti vertikálne, vláknité a zložené z koncentrických kôr sa budú striedať so štruktúrami z horizontálne uložených kôr a vyššie uvedené priestory sa vyplnia pelitickou, piesočnatou a vápnitou hmotou, s výnimkou niekoľkých centrálnych geód.*

Tieto tak charakteristicky zložené útvary teraz nájdeme na niekoľkých miestach, napríklad pod Piatra Muncelului, na ceste vedúcej z Rezbánya do Valea Sacca, neďaleko šachty Neu-Antoni a na niekoľkých miestach v revíroch Werksthaler a Valea Sacca. Napriek skutočnosti, že sú odkryté iba malé časti, existuje dostatok dôkazov na ich vysvetlenie ako úplne vyplnených vápencových jaskýň. V dutinách vyplnených rudami a kontaktnými minerálmi v tejto horskej oblasti, som nemal príležitosť pozorovať ani jeden z týchto znakov,

ale pravdepodobne sú v rudných ložiskách Raibl, kde takzvané rúrkovité rudy (Röhrenerze) naznačujú existenciu stalaktitov. Vzhľad minerálnych a rudných kôr vo výplni tunajších rudných žíl naznačuje proces formovania hlavne prostredníctvom tekutín, ktoré vyplnili celú dutinu."

O PODZEMNEJ CIRKULÁCII TEKUTÍN (1885)

Na medzinárodnom geologickom kongrese v Berlíne v roku 1885 vystúpil Pošepný s príspevkom „*O smere pohybu podzemných cirkulujúcich tekutín*", v ktorom charakterizoval cirkuláciu tekutín v zemskej kôre. Oponoval teórii o laterálnej sekrécii Fridolina von Sandbergera (1885) a prikláňal sa k teórii vzniku ložísk z roztokov vystupujúcich z hĺbky. Uviedol, že kanály v horninách môžu vznikať aj podzemnou vodou vystupujúcou z hĺbky. O pohybe tekutín napísal (Pošepný 1885, s. 74): „*Vystupujúce pramene sa pohybujú otvorenými kanálmi a táto skutočnosť je rozhodujúca pre názor, že charakterizujú spiatočnú cestu podzemnej vody, ktorá prenikla do hĺbky kapilárnymi cestami... Podľa tohto pohľadu sa podzemná cirkulácia rozdeľuje na dve časti: plytkú, prostredníctvom ktorej atmosférické zrážky klesajú cez intersticiálne priestory v horninách a na hladine podzemnej vody dochádza k laterálnemu odtoku do hlbších častí zemského povrchu a hlboký obeh, ktorým sa podzemná voda kapilárnou priepustnosťou na veľkých plochách dostane do hĺbky a stúpa otvorenými kanálmi, ktoré siahajú priamo alebo nepriamo až na povrch. V prípade plytkého obehu dochádza najprv k zostupu, potom k laterálnemu pohybu v otvorených intersticiálnych priestoroch horniny, u hlbokého obehu dochádza najprv k zostupu v kapilárach, potom k laterálnej migrácii až do otvorených kanálov a k výstupu cez ne.*"

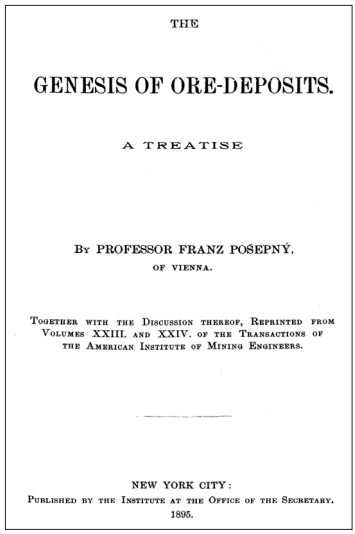
GENÉZA RUDNÝCH LOŽÍSK (1893)

Pošepného najznámejšia a najviac citovaná práca – „*The genesis of ore-deposits*" – bola predstavená 31. júla 1893, na 65. mítingu Amerického inštitútu banských inžinierov v Chicagu, ktorý bol súčasťou medzinárodného inžinierskeho kongresu, a ktorého sa zo zdravotných dôvodov nemohol osobne zúčastniť. Práca vyšla v roku 1894 v Transactions of the American Institute of Mining Engineers (zv. 23) a pokračovanie rozsiahlej diskusie k nej v roku 1895 (zv. 24). Znovu bola vydaná ako samostatná publikácia spolu s diskusiou v roku 1895 (obr. 8). Jej druhé vydanie z roku 1902 bolo rozšírené o biografiu F. Pošepného a mnoho ďalších príspevkov a diskusií publikovaných v zv. 30 a 31 spomenutých Transactions. Český preklad práce uverejnil na pokračovanie Bohuslav Ježek v roku 1927 v časopise *Hornický věstník a Hornické a hutnické listy* a celé dielo (okrem diskusie) preložili Věra Přibylová a Zdeněk. Pouba v roku 1986.

F. Pošepný sa v tejto práci venoval aj genéze jaskýň a dutín v horninách, najmä vo vzťahu k cirkulácii vody a roztokov, a vypĺňaniu týchto priestorov ložiskami nerastných surovín. V kapitole *„Xenogenity*[2] *všeobecne*" (1894a, s. 208) spomenul aj primárne dutiny v horninách, ale venoval sa najmä priestorom sekundárneho pôvodu a všímal si štruktúru ich výplne: „*... ložiská nerastných surovín na stenách dutín, vytvorené z tekutín cirkulujúcich v ich vnútri, majú zvyčajne charakteristickú štruktúru, pre ktorú navrhujem názov krustifikácia...*" Považoval ju za typický znak pre výplne dutín (čo uviedol už v práci z 1874, s. 183): „*Spravidla však platí, že krustifikácia je charakteristickým znakom výplne dutín.*"

Potom definoval termíny, ktorými rozlíšil dva základné spôsoby vytvárania dutín (1894a, s. 207 – 208): mechanický a chemický. „*Predtým som tieto priestory nazýval (s od-*

2 Xenogenity – Pošepného termín pre nerastné ložiská neskoršieho pôvodu ako okolitá hornina. Dnes sa používa termín epigenetické ložiská.



THE

GENESIS OF ORE-DEPOSITS.

A TREATISE

BY PROFESSOR FRANZ POŠEPNÝ,
OF VIENNA.

TOGETHER WITH THE DISCUSSION THEREOF, REPRINTED FROM VOLUMES XXIII. AND XXIV. OF THE TRANSACTIONS OF THE AMERICAN INSTITUTE OF MINING ENGINEERS.

NEW YORK CITY:
PUBLISHED BY THE INSTITUTE AT THE OFFICE OF THE SECRETARY.
1895.

Obr. 8. Titulná strana práce *Genéza rudných ložísk* (1895)
Fig. 8. Title page of the work *Genesis of ore-deposits* (1895)

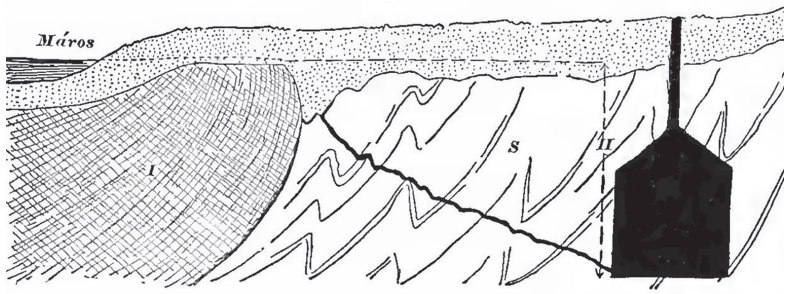
kazom najmä na sprievodné zlomové javy) „dislokačné priestory" (spaces of dislocation), ale verím, že termín „priestory odtrhnutia" (spaces of discission, zo scindere – roztrhnutie) by bol vhodnejší. Naposledy menovaná trieda, ktorú som predtým nazýval „priestory korózie" (s odkazom na účinok lúhovacích kvapalín), ale teraz by som ho nahradil samovysvetľujúcim názvom „disolučné priestory" (spaces of dissolution, priestory rozpúšťania)." Tieto Pošepného termíny sú uvedené aj v súčasnom geotechnickom slovníku (Herrmann a Bucksch 2013, s. 242), kde sú definované ako: *„Diszissionsraum (space of discission, discission space): Priestor alebo dutina v horninách alebo medzi nimi, vytvorená deformáciou hornín. Dissolutionsraum (space of dissolution, dissolution space): Priestor alebo dutina v horninách, alebo medzi nimi, vytvorená rozpustením horninového materiálu.*"

O dutinách vytvorených rozpúšťaním Pošepný ďalej napísal: „*Disolučné priestory sa prirodzene vyskytujú v rozpustných horninách, najmä vo vápencoch a s úžasnou čistotou ukazujú nepravidelný priebeh, ktorý často nasledujú podzemné vody. Na povrchu a blízko povrchu sa často vyskytujú sústavy dutín pri kontakte rozpustných s nerozpustnými horninami a môžeme usúdiť, že tento vzťah ovplyvňuje aj podzemnú cirkuláciu. Rozpúšťanie zriedka zasahuje do celej masy rozpustnej horniny. Zvyčajne ovplyvňuje iba jej časť, v ktorej vytvára viac alebo menej nepravidelné reťazce dutín, niekedy také veľké, že sa do nich zrútia časti stropu a takto sa lokálne vytvárajú priestory odtrhnutia. Dutina vyplnená sekundárnym minerálom, akokoľvek nepravidelný môže byť jej tvar a napriek tomu, že pretína zvrstvenie, zvyčajne vykazuje prevládajúci priebeh, čo nás vedie k tomu aby sme rozpoznali kanál cirkulácie kvapaliny, ktorej vďačíme za nerastné ložisko. Ako ukážem neskôr, musíme predpokladať, že kvapalina, ktorá vytvorila disolučný priestor, tiež uskutočnila vyplnenie a v skutočnosti boli oba procesy takmer súčasné.*"

V podkapitole „*Vadózna podzemná cirkulácia*" (1894a, s. 213 – 216) charakterizoval základné zákonitosti pohybu podzemnej vody vo vadóznej zóne a vo vzťahu k tvorbe jaskýň napísal (s. 214): „*Zvláštne podmienky sú vytvorené výskytom relatívne rozpustných hornín, ako je kamenná soľ, sadrovec, vápenec a dolomit, v ktorých sa prienikom meteorických vôd a cirkuláciou podzemnej vody vytvárajú spojené dutiny, tvoriace kompletné kanály pre vadóznu cirkuláciu.*" Ďalej pripomenul význam štúdia výplní jaskýň: *„Často je možné pozorovať priamo nielen vytváranie, ale aj výplň týchto dutín a tým získať cenný materiál na vysvetlenie pôvodu xenogenitov mimo vadózneho obehu, a ktoré nie sú pozorovateľné vo fázach tvorby.*" Poukazuje na viaceré fázy vývoja jaskýň: „*...javy lúhovania indikujú cestu cirkulujúcich tekutín cez rozpustné horniny, takže môžeme tento proces študovať v niekoľkých fázach. Voda tečúca na dne jaskyne vo vápenci je nepochybne podzemná voda a z toho vyplýva, že ňou sa vytvorila celá komplexná skupina dutín. Ak v inej vápencovej jaskyni nevidíme tečúcu vodu, tok si musel nájsť nejaký nižší výtok a jaskyňa pre nás predstavuje fosílny kanál podzemnej vody.*" V ďalšom texte (s. 215) vysvetlil princíp vytvárania kanálov v ložisku kamennej soli (obr. 9) a aplikoval ho aj na menej rozpustné horniny (s. 216). V podstate generalizoval to, čo publikoval už v prácach z rokov 1867, 1871 a 1874. „*Presne*

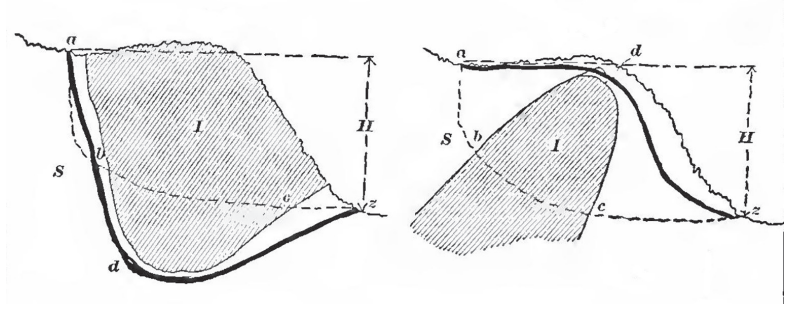
rovnakým spôsobom sa vytvorili kanály aj v iných, menej rozpustných horninách, napríklad vo vápenci, keď hladina vstupu bola nad úrovňou výstupu podzemnej vody a medzi týmito dvoma bodmi sa vytvorila línia maximálnej aktivity cirkulácie. Táto línia a dutiny, ktoré sa pozdĺž nej vyvíjali, by samozrejme v skutočnosti nikdy nemali pravidelný parabolický priebeh, ale záviseli by od rôznych vplyvov zvrstvenia, prítomnosti hornín s nerovnomernou rozpustnosťou alebo dokonca od prímesi nepriepustných hornín. Hmota naposledy spomenutých, vyskytujúca sa na línii spájajúcej dva menované body, môže spôsobiť, že sa kanál ohne nahor a nadol alebo miestami dokonca nadobudne stúpajúci sklon... Keď sa však k týmto faktorom pridajú pukliny, podmienky sa podstatne zmenia, cirkulácia prednostne sleduje otvorené pukliny a ak tieto prechádzajú rozpustnými horninami, zväčšuje ich rozpúšťaním. Niekedy sa poloha a úroveň výveru menia, ako napríklad pri progresívnej erózii dolín a potom sa môže ľahko stať, že nový kanál, ktorý bude predstavovať nové podmienky, pôjde úplne iným smerom, križujúc líniu starého kanála.“ Vplyv nerozpustných hornín na kontakte s rozpustnými znázornil na obr. 10.

Termín „*vadózna zóna*“ bol veľmi dobre prijatý americkou geologickou komunitou a podnietil ďalšiu diskusiu (napr. Daly 1917). Významný hydrogeológ Oscar Edward Me-



Obr. 9. Schéma vzniku krasových kanálov v ložisku kamennej soli pri Ocna Mureş (Marosújvár) v Rumunsku: I – nepriepustná hornina, S – kamenná soľ, H – piezometrická výška vadóznej cirkulácie (podľa Pošepného 1894a)

Fig. 9. Scheme of formation of the karst channels in rock salt deposit near Ocna Mureş (Marosújvár) in Romania: I – impermeable rock, S – rock salt, H – hydrostatic head of vadose circulation (after Pošepný 1894a)



Obr. 10. Priebeh vadóznej cirkulácie ovplyvnený povahou hornín. S–rozpustná, I–nerozpustná hornina, H–tlaková výška, a–vstup, z–výstup, abcz–prirodzená krivka cirkulácie vody neovplyvnená nerozpustnou horninou, adz–skutočná cesta pod alebo nad nerozpustnými horninami (podľa Pošepného 1894a)

Fig. 10. Course of vadose circulation, influenced by the nature of the rocks. S – soluble, I – insoluble rock, H – hydrostatic head, a – inlet, z – outlet, abcz – natural curve of water circulation unaffected by insoluble rock, adz – actual path below or above insoluble rocks (after Pošepný 1894a)

inzer (1923, s. 5) napísal: „*Termín vadózna voda pôvodne používal Pošepný na označenie vody v zóne prevzdušnenia – veľmi vhodný termín pre definovaný a dôležitý koncept.*“ Neskôr sa tento termín ujal aj medzi nemecky hovoriacimi hydrogeológmi (napr. Prinz a Kampe 1934). Je zaujímavé, že napríklad W. M. Davis (1930) a A. C. Swinnerton (1932) sa vôbec nezmienili o jeho pôvode, hoci tento termín vo svojich prácach o vzniku jaskýň použili. A. Bögli (1980, s. 100) nepresne uviedol, že termín zaviedol Meinzer (1923), ten však jasne ako pôvodcu tohto konceptu a termínu uviedol Pošepného. Pozoruhodné je, že hoci Pošepného citovalo mnoho amerických, prevažne ložiskových geológov, vôbec sa nedostal do pozornosti krasových vedcov. Neuviedol ho ani D. C. Ford (2016) vo svojom súčasnom historickom príspevku o krasovej vede. Jedinú prácu, ktorú sa mi podarilo nájsť, je *Sprievodca výberom vápencových jaskýň a prameňov ako národných pamiatok* (1970) od geológa a zaslúžilého jaskyniara z Indiany Richarda L. Powella, ktorý v nej cituje pasáže o vadóznej zóne a tvorbe jaskýň z práce Pošepného (1894a). Neskôr na F. Pošepného upozornili vo svojich prácach Shaw (1992, s. 163), Bosák (2000) a Bosák a Bella (2016), najmä ako na pôvodcu termínu *vadózna zóna,* ale aj pre jeho poznámky o speleogenéze.

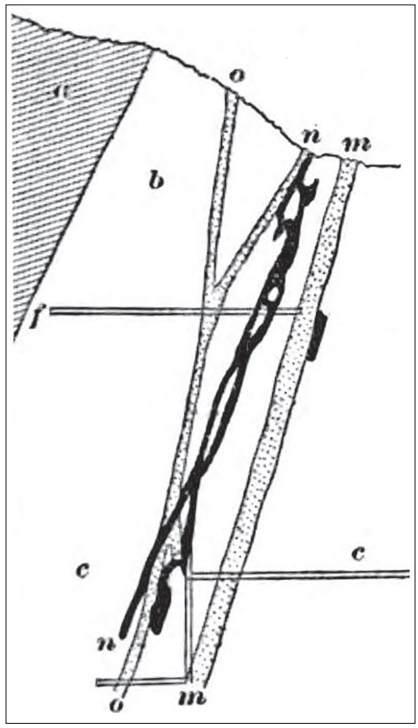
V podkapitole „*Zmeny vytvorené minerálnymi prameňmi*“ (1894a, s. 240 – 242) Pošepný uviedol príklady pôsobenia termálnych vôd na vápence, ktoré publikovali J. J. Nöggerath[3] (1845) a G. A. Daubrée[4] (1879). Francúzsky geológ G. A. Daubrée sa zaoberal účinkami minerálnych vôd na rôzne horniny a stavebný kameň a opísal zaujímavé erózne formy (1879, s. 208 – 209, obr. 19) na vápencových blokoch rímskej nádrže na termálnom prameni v Bourbonne–les–Bains. Išlo o ostré rozoklané tvary, medzi nahor sa zužujúcimi komínovitými dutinami s výškou do 60 cm, ktoré podľa neho zjavne vznikali odspodu nahor zahlbovaním perforácií pozdĺž zvislých štrbín medzi tesanými vápencovými kameňmi. Pošepný považoval za analogické a nemenej dôležité pozorovanie Nöggeratha (1845), ktorý popísal v blízkosti kúpeľov Burchied cylindrické kanály s priemerom 20 – 90 cm, vytvorené v devónskych vápencoch, odkryté odstrelmi pri budovaní terasy pre dom. Tie nižšie položené obsahovali termálnu vodu a vyššie ležiace, odkryté v stene lomu, boli prázdne. Diery neboli úplne zvislé, ale vo svojom priebehu vykazovali určité nepravidelnosti a ohyby a zjavne sledovali strmý sklon vápencov (80°). Zaujímavá bola premena vápenca na bielosivú, zemitú, vo vlhkom stave takmer plastickú hmotu, nie vždy rovnomernú a rovnakej hrúbky, ktorá zasahovala až do vzdialenosti 15 cm od okraja kanálov. Tieto zmeny zasahovali, ale viac lokálne a do menšej hĺbky, aj do vrstevných škár. Zmena horniny bola najväčšia na vnútornom povrchu kanála alebo najbližšie k vrstevným škáram, odkiaľ bola postupne menej invazívna a postupne prešla do najvýraznejšieho prechodu na bežný sivý, pevný vápenec. Na niektorých miestach na vnútorných stenách bola zemitá hmota čiastočne úplne rozpustená alebo odpadnutá a miestami sa v nepravidelných vyhĺbeninách vytvoril biely „púčikovitý“ sinter. Autor nepochyboval, že kanály a súvisiace zmeny vápenca boli vytvorené vystupujúcimi termálnymi vodami, ktoré horninu postupne rozpustili kvôli svojmu pomerne bohatému obsahu oxidu uhličitého a vysokej teplote. Pri ich vzniku pripustil aj pôsobenie mechanického tlaku vystupujúcich prameňov na postupne rozloženú horninu (Nöggerath 1845, s. 517 – 518).

F. Pošepný v práci o rudnej oblasti Rézbánya (1874) ešte uvažoval o vytváraní jaskýň len nad úrovňou podzemnej vody, lebo ako napísal (1894a, s. 242), v tom čase mu ešte nebola známa publikácia J. J. Nöggeratha: „*... eróziu kanálov vo vápenci, ktoré sú vyplnené rudou, som pripisoval podzemnej vode, namiesto toho, aby som pripustil ich vznik stúpajúcimi mi-*

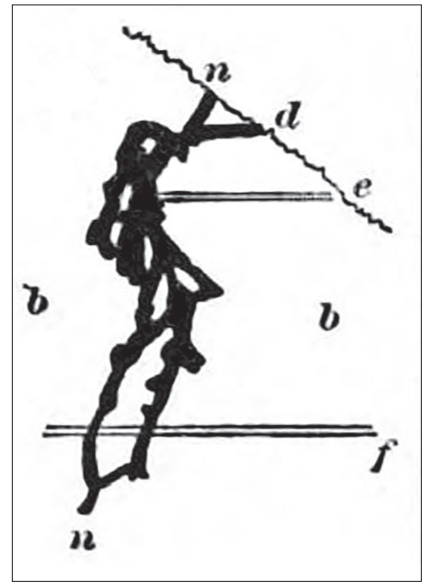
3 Johann Jacob Nöggerath (10. 10. 1788 – 13. 9. 1877) bol nemecký mineralóg a geológ, profesor univerzity v Bonne a riaditeľ univerzitného prírodovedného múzea.

4 Gabriel Auguste Daubrée (25. 6. 1814 – 29. 5. 1896) bol francúzsky geológ, ktorý pôsobil ako profesor na univerzitách v Štrasburgu a Paríži. Bol členom a predsedom Francúzskej akadémie vied.

nerálnymi vodami.“ Preto sa v ďalšom texte (1894a, s. 287 – 289) vrátil k oblasti Rézbánya v Rumunsku a prehodnotil geologickú interpretáciu polymetalického ložiska Reichenstein (obr. 11, 12) v revíre Valle Sacca (dnes Valea Seacă). Pošepného koncept genézy ložiska by sme dnes označili ako hydrotermálny paleokras. Mezozoické vápence tu pretínajú početné dajky vyvretých hornín viacerých typov. Rudné teleso tvaru kanála, vytvorené vo vápenci, sa nachádza medzi dajkami bazaltov, čiže nepriepustnými horninami. Bolo ťažené do hĺbky okolo 400 m a má väčšinou kruhové alebo eliptické horizontálne prierezy. Na povrchu pôvodne vystupoval len jeden kanál, ktorý sa smerom do hĺbky rozdelil na susedné a vzájomne prepojené vetvy, pričom niektoré z nich by mohli pokračovať paralelne a nezávisle na veľké vzdialenosti. Celková plocha prierezu týchto kanálov bola v priemere asi 20 až 30 $m^{2.}$ Aj keď Pošepný nemohol toto ložisko skúmať v procese ťažby, na základe vzoriek rudy usudzuje, že táto bola vytvorená postupnou precipitáciou kôr. O genéze rudných



Obr. 11. Časť V – Z vertikálneho rezu revírom Valea Seacă, ložisko Reichenstein (Baiţa Bihor, Rumunsko): a – pieskovec, b – jurský vápenec, c – liasový vápenec, f – štôlňa, mm a oo – bazaltové dajky, nn – rudné teleso Reichenstein (podľa Pošepného 1894a)
Fig. 11. Portion of E – W vertical section through Valea Seacă district, Reichenstein deposit (Baiţa Bihor, Romania): a – sandstone, b – Jurassic limestone, c – Liassic limestone, f – adit, mm and oo – basalt dikes, nn – Reichenstein ore body (after Pošepný 1894a)



Obr. 12. Vertikálny pozdĺžny rez rudným telesom Reichenstein, Valea Seacă: nn – rudné teleso, b – vápenec, d, e, f – štôlne (podľa Pošepného 1894a)
Fig. 12. Vertical longitudinal section of Reichenstein ore body, Valea Seacă: nn – ore body, b – limestone, d, e, f – adits (after Pošepný 1894a)

kanálov napísal (1894a, s. 288): „*Pokiaľ ide o pôvod dutiny, najskôr ma v mojich názoroch ovplyvnili početné jaskyne tohto regiónu. Bane opakovane dosiahli jaskyne, do ktorých sa mohla vypustiť banská voda bez ich naplnenia, čiže existuje nejaký podzemný odtok. Tieto jaskyne však vytvorili, ako som už vysvetlil v prvej časti, zostupujúce tekutiny vadózneho obehu a predpokladať podobný pôvod pre dutiny vyplnené rudnými telesami by znamenalo, že tieto dutiny boli vytvorené spôsobom priamo opačným ako je spôsob, v ktorom boli vyplnené, čo je vysoko nepravdepodobné.*“ Až neskôr, keď sa oboznámil s pozorovaním J. J. Nöggeratha zistil, že: „*...stúpajúce minerálne pramene sú schopné prerezať sa na povrch a vytvoriť kanály, ktoré nakoniec vyplnia rudou... takmer valcovitá forma rudných telies Valle Sacca, bola teda uspokojivo vysvetlená*“.

Pozoruhodná je jeho geologická interpretácia (Pošepný 1894a, s. 289), v ktorej vysvetlil, prečo nemohli byť rudné kanály ložiska Reichenstein vytvorené vadóznou cirkuláciou. V dnešnej terminológii by sme ju označili ako speleogenézu v obmedzených podmienkach (speleogenesis in confined settings): „*Úseky rôznych banských diel ukazujú, že rudné teleso očividne končí na jednej strane dajky a znova začína na druhej strane, ako keby cez ňu prechádzalo. V takom prípade budú pórovité miesta v hmote dajky v mieste prieniku určovať dráhu kanála. Je dôležité, že rudný kanál Reichenstein prechádza v hĺbke cez dajky k JZ, smerom ku pravdepodobne veľkej zlomovej poruche a nie v smere súčasnej drenáže. Ani bývalá hlboká drenáž z tohto kanála nemohla byť na SV, po kontakte medzi vápencom a podložným liasovým pieskovcom... z toho dôvodu, že všetky bariéry bazaltových dajok, nepochybne siahajúce z vápenca do pieskovca, by bránili tomuto toku. Stratigrafické pomery tak vylučujú možnosť, že tento kanál bol vytvorený vadóznym obehom a preukazujú ako pravdepodobnejší názor, že za svoj pôvod vďačí vzostupným vodám hlbokého obehu, ktoré určite ovplyvnili jeho vypĺňanie.*“

Pošepného stanovisko, že jaskyne a krasové kanály môžu vznikať nielen vadóznym tokom, ale aj vodami hlbokého obehu, bolo veľmi významnou zmenou jeho pohľadu na speleogenézu. V diskusii k jeho referátu (Pošepný 1895a,b) mu oponoval Samuel Franklin Emmons (in Pošepný 1895b, s. 186): „*Viera prof. Pošepného v schopnosti vzostupného prúdu ohriatej vody alebo termálnych prameňov sa mi v niektorých prípadoch javí ako prehnaná a neprimeraná...*“ a tiež George Ferdinand Becker (s. 190): „*Zdá sa v podstate isté, že otvorené dutiny vo vápencoch sa môžu tvoriť iba nad stálou hladinou podzemnej vody v oblasti, pretože v tejto oblasti musí byť voda pod touto hladinou asi nasýtená uhličitanom vápenatým.*“ S Pošepným súhlasil Rossiter Worthington Raymond (s. 245): „*Ďalším dôležitým bodom v článku prof. Pošepného je jeho tvrdenie (založené na Nöggerathových pozorovaniach, ale nie bez ďalšej podpory), že otvorené disolučné priestory môžu byť vytvorené vzostupnými aj zostupnými prúdmi.*“ F. Pošepný (1895b, s. 226) odpovedal Emmonsovi: „*Pán Emmons pochybuje o mojom závere na základe Nöggerathových pozorovaní, že vody stúpajúce pod tlakom sú schopné si vytvoriť v rozpustných horninách kanál. V tejto súvislosti musím poukázať na ťažkosti, ktoré sa vyskytli pri vysvetľovaní dutín v rozpustných horninách, obsahujúcich rudné komíny. V mojej monografii o Rézbánya, ktorá bola uverejnená, keď mi Nöggerathova práca nebola známa, som bol nútený predpokladať, že príčinou vzniku dutiny sú zostupné vadózne prúdy a ako príčina výplne na druhej strane vzostupné prúdy hlbokej cirkulácie, inými slovami dva procesy, predstavujúce extrémy obehu a postupne pôsobiace v rovnakom smere. Takúto dilemu môže predstavovať akýkoľvek nález rudy vo vápenci. Naozaj som sa zoznámil s prípadmi naznačujúcimi, že dva procesy formovania dutín a vyplňovania dutín mohli byť niekedy takmer súčasné.*[5] *Veľmi ma potešilo, keď som sa*

5 Odkazoval na s. 18 a obr. 14 na Tafel III. vo svojej publikácii *Über die Entstehung der Blei- und Zinklagerstätten in auflöslichen Gesteinen* (Pošepný 1894b). V tejto práci pozri obr. 13 (v strede).

dozvedel o Nöggerathových pozorovaniach a dedukciách, a vtedy som sa snažil oboznámiť pána Emmonsa listom s následnou zmenou svojich vlastných názorov.“

Autor tohto príspevku predpokladá, že F. Pošepný svojimi názormi otvoril nielen problematiku hydrotermálneho krasovatenia (aj keď termín *termálny* nikde nepoužil), ktorej sa venovalo viac pozornosti až od polovice 20. storočia, ale dotkol sa už aj fenoménu hypogénnej speleogenézy, ktorý bol rozpracovaný len v posledných niekoľkých desiatkach rokov.

O VZNIKU OLOVENO-ZINKOVÝCH RÚD V ROZPUSTNÝCH HORNINÁCH (1893)

V prednáške prednesenej na Generálnych banských dňoch v Klagenfurte 17. augusta 1893, o genéze Pb–Zn rúd v rozpustných horninách, F. Pošepný porovnal genetické vzťahy viacerých ložísk (v Korutánsku, na Sardínii, Severnom Anglicku, hornom Sliezsku a v Colorade v USA) a zaoberal sa otázkami vzniku dutín, ich rudnej výplne a jej sekundárnych zmien. Čo sa týka genézy dutín a jaskýň, sumarizoval tu poznatky, ktoré už publikoval vo svojich predošlých prácach (priestory vytvorené mechanickým porušením a disolučné priestory, vadózna zóna a zóna hlbokého obehu atď.).

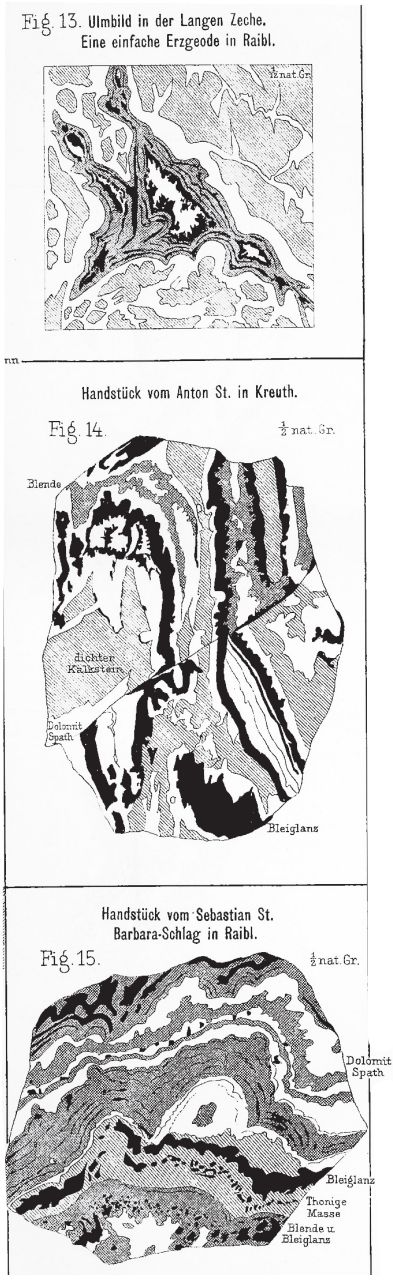
Poukázal na rolu zlomových porúch vo vápencoch a dolomitoch (na ložisku Raibl nazývaných *Blätter*), na ktorých došlo k pohybu (čo odvodil od zrkadiel, striácií a výskytu drvených hornín), a ktoré sú spravidla strmo uklonené, ale niekedy sú celkom ploché, pretínajú vrstvy alebo sa tiahnu s vrstevnatosťou. Uvažoval, že predstavovali kanály, cez ktoré mohli prechádzať rudné roztoky. V práci (Pošepný 1894b, s. 79) napísal: „... *rozpúšťanie hornín vychádza väčšinou z týchto ruptúrnych faktorov. Postihuje buď priamo steny puklín a rozširuje pôvodný puklinový priestor na disolučný priestor alebo je rozpúšťanie prevažne obmedzené na určitú zónu hornín, respektíve na ich jednotlivé vrstvy. Ak existuje hrubý komplex hornín s takmer rovnakou rozpustnosťou, rozpúšťanie sa neobmedzí na jednu vrstvu, ale bude sa snažiť preniknúť celým súborom vrstiev.*“

Ďalej napísal (s. 80 – 81), že čo sa týka vypĺňania disolučných priestorov, máme viacero príležitostí pozorovať tento proces v priestoroch vytvorených v krasových horninách (kamenná soľ, sadrovec, vápenec a dolomit) vadóznou cirkuláciou (napríklad ponorové a výverové jaskyne). „*Javy v soľných pohoriach sa dajú sledovať ešte výraznejšie a dokonca umelo napodobňovať v soľnej alebo cukrovej hmote a mnohými spôsobmi ich modifikovať zmenou polohy bodu vtoku a výtoku. Výška a horizontálna vzdialenosť týchto dvoch bodov určujú súčasne s charakterom prostredia rozpustnej horniny, krivku podzemnej vody (ktorá musí pripomínať parabolu) a v ňom prebiehajúce dutiny.*

V hlbokej zóne ležiacej pod hladinou podzemnej vody nie je možné tieto podmienky pozorovať... Keďže však slabo nasýtená, studená podzemná voda iba pod vplyvom gravitácie je schopná vo vadóznej zóne nahlodávať rozpustné horniny, možno to oveľa viac očakávať od teplých a pod väčším tlakom vystupujúcich minerálnych vôd, bohatých na rozpustené látky.“

Na s. 81 – 82 pokračoval o vypĺňaní jaskýň. „*Prirodzene, vo vadóznej oblasti obvykle nachádzame vo vylúhovaných priestoroch aj vzduch, čím sú vytvorené úplne iné podmienky vypĺňania, ako pri kanáloch, ktorých celý profil zaberá v nich cirkulujúca tekutina. Je dobre známe, že tam, kde kvapalina usadzujúca látku vyplní celý profil v potrubiach, nastane usadzovanie rovnomerne na stenách, ale keď vzduch alebo plyn vnikne do priestoru rúry, gravitácia je okamžite viditeľná a k usadzovaniu dochádza iba v spodnej časti profilu. Do priestorov nachádzajúcich sa v rozpustných horninách však tekutiny tiež prenikajú v hornej časti profilu, ktorá je naplnená vzduchom alebo plynom a vytvárajú tu na strope a na oboch stenách veľmi špecifické usadeniny, ktoré sa vyznačujú svojou stalaktitovou štruktúrou.*

Je celkom správne, že sú tieto podmienky vo vadóznej oblasti dosť všeobecné, avšak úplne nechýbajú ani v hlbokej oblasti, pretože aj tam sa môže akumulovať plyn, najmä v často veľmi nepravidelne tvarovaných disolučných priestoroch a dať podnet k tvorbe stalaktitov, ako predstavuje výskyt takzvaných rúrkových rúd z Raiblu. V hlbokej oblasti je pravidlom, že sa jednotlivé minerálne kôry usadzujú na stenách dutiny a postupne ju vypĺňajú až do tzv. centrálnej geódy, akokoľvek je priestor tvarovaný, či už ide o puklinový alebo nepravidelný geódový priestor."



Pošepný už v práci o ložisku Raibl (1873) naznačil, že vytváranie disolučných priestorov mohlo prebiehať súčasne s metamorfózou (metasomatózou). V práci 1894b opísal na s. 93 – 94 vzorku rudy z bane Anton pri obci Kreuth v Bavorsku (obr. 13, v strede). Na konci makroskopického petrografického opisu vzorky dodáva: „*Komplikácie, ktoré sa dajú pozorovať pri tejto vzorke, sú však príliš veľké na to, aby ich nasledovalo konečné vysvetlenie, najmä preto, že musím pripustiť, že tieto pozorovania mi naznačujú, že s vytváraním disolučného priestoru boli zároveň spojené aj metamorfné procesy.*"

ZHRNUTIE

Napriek tomu, že geologický výskum jaskýň tvoril u Františka Pošepného len malý zlomok zo širokej oblasti geologických a montánnych vied, ktorými sa zaoberal, súbor týchto poznatkov predstavuje ucelený a na jeho dobu pozoruhodne komplexný a moderný pohľad na genézu jaskýň a krasových dutín, a ich výplne. Zahŕňa jaskyne v rôznych fázach ich vývoja, od ich vzniku až po senilné a fosílne štádiá, venuje sa štruktúrno-geologickým a litologickým faktorom, krasovej hydrológii aj interpretácii geologického a geomorfologického vývoja.

Pošepného výskum jaskýň súvisel, okrem vedeckého záujmu, najmä s praktickým hľadiskom – s ložiskami rúd v karbonátových horninách, preto sa vo svojich prácach podrobne venuje procesom ich vypĺňania. Prvé poznatky o tvorbe dutín v rozpustných horninách získal na ložisku kamennej soli

Obr. 13. Horný obrázok – rudná geóda z ložiska Raibl, stredný obrázok – vzorka zo štôlne Anton pri obci v Kreuth v Bavorsku, spodný obrázok – vzorka rudy zo štôlne Sebastian na ložisku Raibl (podľa Pošepného 1894b).
Fig. 13. Upper picture – ore geode from the Raibl deposit, middle picture – sample from the Anton adit near the village of Kreuth in Bavaria, lower picture – sample of ore from the Sebastian adit at the Raibl deposit (after Pošepný 1894b).

pri meste Ocna Mureş (Marosújvár) v Rumunsku. Neskôr rozpoznal pôsobenie krasových procesov na Pb-Zn ložisku Cave di Predil (Raibl) v Taliansku (1870) a bol zrejme prvým, kto opísal lastúrovité vyhĺbeniny (scallops). Už onedlho na to publikoval článok (1871), v ktorom sa venoval genéze a vypĺňaniu jaskýň a krasových dutín. Po ďalšom štúdiu ložiska Raibl (1873) rozpoznal význam vrstvových plôch a puklín pre krasovatenie a poukázal na vplyv rozdielnej rozpustnosti hornín a úlohu nepriepustných hornín pri tvorbe jaskýň. Najväčší objem poznatkov o krasových javoch a procesoch získal pri štúdiu rudného revíru Baiţa Bihor (Rézbánya) v Rumunsku. Tieto tvoria aj významnú časť generalizácie údajov na konci jeho monografie z roku 1874. Vo svojej najznámejšej práci *Genéza rudných ložísk* uviedol a definoval termín *vadózna zóna* a popísal s ňou súvisiacu genézu jaskýň. Aj keď spočiatku predpokladal tvorbu dutín a jaskýň len zostupujúcimi vodami vadóznej cirkulácie, neskôr pod vplyvom publikácií J. J. Nöggeratha (1845) a G. A. Daubréeho (1879), tento pohľad zmenil a začal uvažovať o ich vzniku vystupujúcimi vodami. Týmto otvoril cestu k oveľa neskorším a moderným konceptom hydrotermálneho a hypogénneho krasovatenia.

Poďakovanie: Ďakujem Mgr. Petrovi Kašingovi z archivu VŠB–Technická univerzita Ostrava za fotografie F. Pošepného, Mgr. Adriane Matejkovej, PhD., vedúcej archívu Slovenského Banského múzea za fotokópiu článku, prof. Bogdanovi P. Onacovi z University of South Florida za poskytnutie literatúry od amerických autorov a recenzentovi prof. RNDr. Pavlovi Bosákovi, DrSc. za podnetné pripomienky, doplnenie a opravy textu.

LITERATÚRA

Bögli A. 1980. Karst Hydrology and Physical Speleology, Springer-Verlag, Berlin, 284 s.

Bosák P. 2000. Notes on the history of some karstological terms – hydrothermal karst, geysermite, vadose zone. Acta carsologica, 29, 2, 233–240.

Bosák P. & Bella P. 2016. Z historie speleologie: k prvnímu použití termínů hydrotermální kras, gejzírový krápník, vadózní zóna a stropní koryto v pracích Josefa Chromého, Emanuela Michala, Františka Pošepného a Zdeňka Rotha. Speleofórum, 35, 115–121.

Bretz J. H. 1942. Vadose and phreatic features of limestone caverns. Journal of Geology, 50, 675–811.

Curl R. L. 1966. Scallops and flutes. Transactions of the Cave Research Group of Great Britain, 7, 2, 121–160.

Daly M. 1917. Genetic classification of underground volatile agents. Economic Geology, 12, 6, 487–504.

Daubrée A. 1879. Études synthétiques de géologie expérimentale. Paris, 555 s.

Davis W. M. 1930. The origin of limestone caverns. Bulletin of the Geological Society of America, XLI, 475–628.

Ford D. C. 2016. The science of caves and karst: From the beginning of the Geological Society of America to ca. 1960. Geological Society of America, Special Paper 516 (Feinberg J., Gao Y., Alexander E. C., Eds.: Caves and karst across time), 1–17.

Herrmann H. & Bucksch H. 2013. Dictionary Geotechnical Engineering / Wörterbuch GeoTechnik. 2nd ed., Springer, 1319 s.

Kaisrová L., Red. 1986. Geolog František Pošepný. Sborník prací ke 150. výročí narození Františka Pošepného (1836 – 1895). Ústřední ústav geologický, Praha, 64 s.

Lugeon M. 1915. Le striage du lit fluvial. Annales de Géographie, 23–24, 385–393.

Maksimovič E. G., Maksimovič,N. G. & Kataev V. N. 2004. Georgij Aleksejevič Maksimovič. Kursiv, Perm, 512 s.

Meinzer O. E. 1923. Outline of ground-water hydrology, with definitions. Geological Survey Water–supply Paper, 494, Washington, 71 s.

Nöggerath J. J. 1845. Über die sogenannten natürlichen Schächte oder geologischen Orgeln in verschiedenen Kalkstein-Bildungen. Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geognosie, Geologie und Petrefakten–Kunde, Stuttgart, 513–535.

Pošepný F. 1867. Studien aus dem Salinengebiet Siebenbürgens. Jahrbuch der Kaiserlich-Königlichen Geologischen Reichsanstalt, 17, 475–516.
Pošepný F. 1868. Bemerkungen über Rézbánya. Verhandlungen der Geologischen Bundesanstalt, 17, 418–419.
Pošepný F. 1870. Zur Genesis der Galmeilagerstätten. Verhandlungen der Geologischen Bundesanstalt, 13, 247–249.
Pošepný F. 1871. Ueber Höhlen- und Hohlraum- Bildung. Verhandlungen der Geologischen Bundesanstalt, 4, 58–62.
Pošepný F. 1873. Die Blei– und Galmei- Erzlagerstätten von Raibl in Kärnten. Jahrbuch k. k. geologisches Reichsanstalt, 23, 317–424.
Pošepný F. 1874. Geologisch-montanistische Studie der Erzlagerstätten von Rézbánya in S.- O. Ungarn. Gebrüder Légrady, Budapest, 198 s.
Pošepný F. 1885. Ueber die Bewegungsrichtung der unterirdisch circulirenden Flüssigkeiten. Comptes rendus de la session du Congrès geologique internationale, Berlin, 71–76.
Pošepný F. 1894a. The genesis of ore-deposits. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. XXIII., Being part II. of the Proceedings, Papers and Discussions of the Chicago Meeting of 1893, Constituting Divisions C and D of the International Engineering Congress, 197–369, 587–608.
Pošepný F. 1894b. Ueber die Entstehung der Blei- und Zinklagerstätten in auflöslichen Gesteinen. Berg- und Hüttenmänisches Jahrbuch der k. k. Bergakademien zu Leoben und Přibram und der königlich Bergakademie zu Schemnitz 42, 77–130.
Pošepný F. 1895a. Discussion (continued) of Prof. Pošepný's paper on the genesis of ore-deposits. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, vol. XXIV., February 1894 to October 1894, 942–1006.
Pošepný F. 1895b. The genesis of ore–deposits: A Treatise. Together with the discussion thereof, reprinted from volumes XXIII. and XXIV. of the Transactions of the American Institute of Mining Engineers. New York, 265 s.
Pošepný F. 1902. The genesis of ore-deposits, 2nd Ed. American Institute of Mining Engineers, New York, 806 s. (preklad Raymond R. W.).
Pošepný F. 1927. O genesi rudních ložisek. Hornický věstník a Hornické a hutnické listy 9, 33–37, 59–62, 71–76, 84–88, 102, 105–122–125, 137–141, 145–149, 161–165, 331–334, 345–347, 361–365, 376–381, 391–395 (překlad Ježek B.).
Pošepný F. 1986. Geneze rudních ložisek. Ústřední ústav geologický, Praha, 184 p. (překlad Přibylová V. a Pouba Z.)
Powell L. R. 1970. Guide to the Selection of Limestone Caverns and Springs in the United States as National landmarks. Indiana Geological Survey, 292 s. URL: http://npshistory.com/publications/nnl/limestone.pdf
Prinz E. & Kampe R. 1934. Handbuch der Hydrologie, 2, Quellen. Springer, Berlin, 291 s.
Sandberger F. 1885. Untersuchungen über Erzgänge, II. Wiesbaden, 159 s.
Shaw T. 1992. History of cave science. 2nd Ed. Sydney Speleological Society, Sydney, 338 s.
Schmidl A. 1854. Die Grotten und Höhlen von Adelsberg, Lueg, Planina und Laas. Braumüller, Wien, 316 s.
Schmidl A. 1863. Das Bihar-Gebirge an der Grenze von Ungarn und Siebenbürgen. Förster & Bartelmus, Wien, 442 s.
Stoici S. 1983. Districtul metalogenetic Băiţa Bihorului. Academiei RSR, Bucureşti, 189 s.
Swinnerton A. C. 1932. Origin of limestone caverns. Geological Society of America, Bulletin, 43, 662–693.