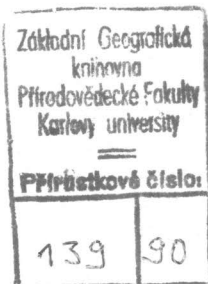


# SBORNÍK

## ČESKOSLOVENSKÉ GEOGRAFICKÉ SPOLEČNOSTI

ROČNÍK 1990 • ČÍSLO 1 • SVAZEK 95



VLADIMÍR PANOŠ, RADOMIL PUČÁLKA

### TĚŽBA GRAFITU A KRAS V ČESKOKRUMLOVSKÉ VRCHOVINĚ

V. Panoš, R. Pučálka: *Graphite Mining and Karst in the Českokrumlovská vrchovina Highland*. — Sborník ČSGS, 95, 1, p. 1–12 (1990). — The paper presents results of analytic investigation concerning regularities that control the subterranean karst water inrushes from paleokarst caverns into the graphite mine situated at village of Bližná in the Lower Proterozoic paragneiss — limestone series of the Českokrumlovská vrchovina Highland (South Bohemia).

#### Úvod

V poslední době se karsologie, rozvíjející se v rámci geografických věd, stále více zapojuje do řešení problémů, které souvisejí s racionálním využíváním přírodních zdrojů. Tato problematika bývá ovšem v krasových krajinách značně složitá. Kromě vodních zásob tu jde především o využití ložisek nerostných surovin, vázaných jak na exokrasovou, tak endokrasovou zónu rozpustných hornin. Většina těchto ložisek se vyskytuje ve zkrasovělých karbonátových horninách, kde vznikla působením rozličných procesů a za velmi osobitých vnějších i vnitřních podmínek. Obecně jde o ložiska sedimentárního, zvětrávacího a hydrotermálního původu.

K nejběžnějším surovinovým ložiskům v krasových oblastech patří ložiska sedimentární, představující akumulace základní surovinové hmoty vzniklé mechanickými, chemickými a biochemickými procesy. Jde o ložiska rud hliníku (bauxity), železa, cínu, wolframu, zlata a vzácných zemin, dále ložiska diamantů, drahých kamenů, uhlí a rašeliny. K surovinám vzniklým zvětrávacími procesy, patří kromě bauxitů také ložiska manganu a fosfátů. K infiltračním typům ložisek patří zejména uranové, vanadové, niklové a železné rudy. Častá jsou ložiska hydrotermálního původu, především rudy olova a zinku, ložiska barytu a fluoritu. Rovněž světově významné zásoby ropy a zemního plynu vznikly migrací do velkých endokrasových prostor nebo do makropórů zkrasovělých hornin. K těmto typu patří i zásoby podzemní vody, které podle odhadu zasobují

25 % lidstva. I vlastní krasovějící horniny samy o sobě jsou významnými surovinovými zdroji (vápeneč, dolomit, sádrovec, anhydrit, jodidy, bromidy, chloridy apod.).

Specifické vlastnosti krasových krajin jsou příčinou, že těžba surovinových zdrojů je neobyčejně obtížná. K tomu je totiž třeba dobře poznat genezi jak vlastních ložisek, tak i krasových systémů, v nichž jsou ložiska uložena. V naší literatuře se touto problematikou zabývá jen poměrně málo prací, většinou přehledného či úzce regionálního charakteru (např. Bosák, P. a kol. 2, Kukla, J., Ložek, V. 13, Kužvart, M. 14, Kužvart, M. a kol. 15, Ložek, V. 17, Panoš, V. 19, Smolíková, L. 28). Zato v zahraničí vyšla celá řada základních i regionálních studií (Bathurst, R. G. C. 1, Ford, D. C., Drake, R. O. 4, Hill, C. A., Forti, P. 7, Folk, R. L. 5, Friedmann, G. M., Sanders, J. E. 6, Laznicka, P. 16, Perna, G. 23, Prokopčuk, B. I. a kol. 24, Quinlan, J. F. 27, Zuffardi, P. 32).

V oblasti Českého masívu jsou kromě zmíněných surovinových zdrojů na zkrasovělé karbonátové horniny vázána ložiska grafitu, vzniklá regionální přeměnou sedimentů s obsahem biogenního uhlíku. Zejména na lokalitách českokrumlovského pruhu pestré skupiny moldanubika působily interakce mezi krasem a těžbou grafitových ložisek od samých počátků těžby značné potíže, které se projevovaly zejména při nafárání krasových dutin vyplněných vodou. Zákonitostem geneze krasu ovšem nebyla věnována zvláštní pozornost. V roce 1983 však došlo na grafitovém dolu u Bližné, spravovaném n. p. Rudné doly Příbram, závod Netolice, při ražení směrné štoly ke katastrofálním průvalům podzemních vod z krasových kaveren do důlních prostor. Voda náhle zaplavila a unášenými sedimenty zanesla nejhlubší (třetí) patro důlního díla a způsobila značné materiální škody. Vzniklo podezření, že jde o vodu z blízké údolní nádrže Lipno. Na žádost provozovatele dolu prozkoumala a zmapovala krasové dutiny nejprve základní organizace České speleologické společnosti „Geospeleos“ (E. Janoušek, J. Kadlec, O. Jäger 9). Potom n. p. Stavební geologie České Budějovice provedl hydrogeologický průzkum, prováděný vrtnými sondami, geofyzikálním měřením, hydrodynamickými zkouškami a hydrochemickými analýzami (V. Vašta 31). Protože s rozvojem jaderné energetiky stoupá důležitost grafitu v národním hospodářství a nebezpečné vodní průvaly krasových vod se ukázaly jako faktor limitující či dokonce znemožňující těžbu grafitu u Bližné, požádalo vědecké kolegium geologie-geografie Československé akademie věd Geografický ústav ČSAV v Brně o komplexní výzkum a odborné posouzení krasových poměrů širšího okolí grafitového dolu a o vypracování návrhu, jak zajistit maximální bezpečnost důlního provozu. Elaborát se měl stát zároven podkladem pro rozhodnutí, zda těžba grafitu na studované lokalitě může pokračovat, či zda bude zastavena. Výzkumem byli pověřeni autoři předloženého příspěvku, kteří lokalitu prostudovali a vypracovali požadovaný podklad pro bezpečnostní opatření (V. Panoš, R. Pučálka 22). Závěry byly oponovány a n. p. Rudné doly Příbram jich využil k vypracování bezpečnostních směrnic pro ražby a dobývání na dolu Bližná (J. Radovský, 26). Předložený příspěvek shrnuje hlavní výsledky výzkumu, který kromě poznatků významných pro těžební praxi přinesl i nové poznatky o některých, dosud neuvázaných aspektech krasového procesu v krystalických vápencích pestré skupiny českokrumlovského moldanubika.

## Přehled geologických a geomorfologických poměrů okolí grafitového dolu u Bližné

Širší okolí studovaného území je budováno horninami českokrumlovského pruhu pestré skupiny moldanubika, jimž se přisuzuje staroproterozoické až archaické stáří (Z. Mísař a kol. 18).

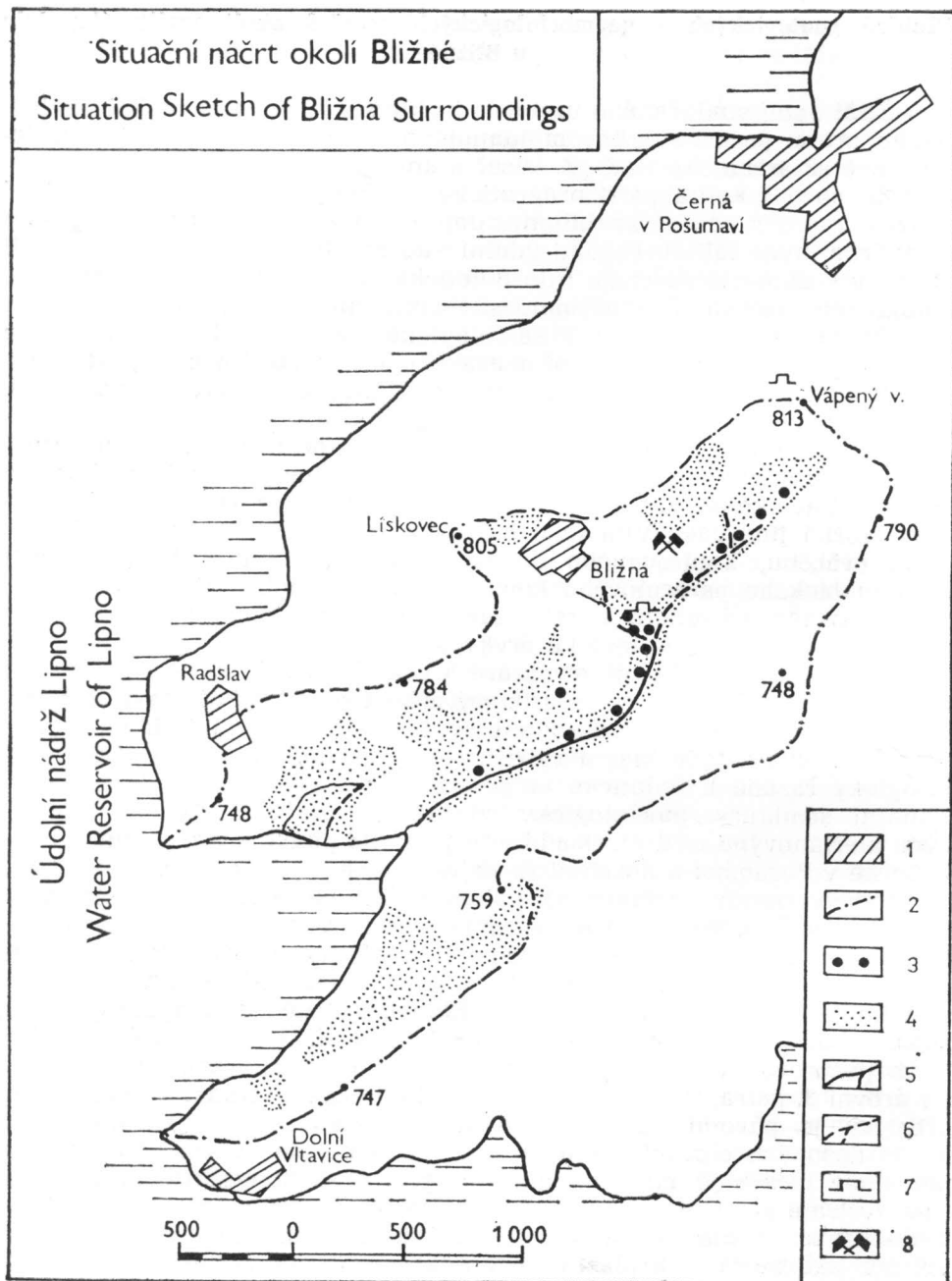
Zájmová lokalita patří orograficky k jižní okrajové části Vltavické brázdy, která je táhlou synklinální depresí mezi Šumavou a Šumavským podhůřím, nyní zalitou vodami údolní nádrže Lipno. Část území (v okolí Černé v Pošumaví) zasahuje i do Boletické vrchoviny, severního geomorfologického okrsku Českokrumlovské vrchoviny, podcelku Šumavského podhůří (J. Demek a kol. 3). V karsologické regionalizaci Československa je toto území součástí tzv. Pošumavského krasu (B. Kučera, J. Hromas, F. Skřivánek 10), vázaného na rozptýlené drobné výskyty krystalických vápenců jižní a jihozápadní části Českého masívu.

V okolí Bližné tyto horniny vytvářejí složitou strukturu typu nesouměrné, tektonicky značně porušené brachyantiklinály, orientované kolmo na osu Vltavické brázdy, s podkovovitým uzávěrem na SV. Podobné struktury tvoří i jiné části Vltavické brázdy a jsou základem jejího křivolakého průběhu, kopírovaného ohyby původního toku Vltavy v oblasti moldanubického pararulového komplexu. V uspořádání základních tvarů měkce zvlněného reliéfu starého zarovnaného povrchu se v různé míře odrážejí strukturní i litologické prvky.

Na brachyantiklinální strukturu v okolí Bližné je vázán inverzní reliéf rozvětveného poloostrova, který mezi Černou v Pošumaví, Bližnou, Radslaví a Dolní Vltavicí zasahuje hluboko do údolní nádrže Lipno. Okraje poloostrova a jeho hlavní výběžky tvoří asymetrické hřbety, geomorfologicky řazené k Boletické vrchovině. Jde o vyšší okraje brachyantiklinální struktury, morfologicky zdůrazněné amfibolitovými, vápencovými a erlánovými tvrdoši. Oba hřbety se na SZ podkovovitě spojují v okolí Černé v Pošumaví a dosahují tu největší výšky (Vápenný vrch 813 m).

Hřbety omezují mělkou vanovitou sníženinu, široce se rozevírající k JZ, kde je do výše 725 m n. m. zaplavena zálivem údolní nádrže Lipno. Nezaplavená část deprese má měkce zvlněné dno, vázané na mocná fosilní eluvia pararulového komplexu, pokrytá nesouvisle kvartérními aluviálními a deluviálními sedimenty. Eluvia, patrně spodnopaleogenního stáří, dosahují mocnosti 30–40 m, místy i větší. Bázi zvětralé zóny lze totiž pozorovat v některých úsecích chodeb grafitového dolu Bližná i v úrovni 3. patra, tj. v hloubce 65 m pod povrchem terénu. V okrajových hřbetech je původní mocnost eluvia podstatně redukována denudací. Na tvrdošových elevacích eluvia zachována nejsou vůbec. Vystupují tu jen slabě navětralé matečné horniny postižené kongelifrakcí. Svrchní část zvětralé zóny je porušena gravitačními pohyby, splachem a mrazovou soliflukcí. Silné krypturbační prohnětení a přemístění zvětralin i nadložních sedimentárních plášťů lze v odkryvech sledovat do hloubek nad 3 m. Místy je zřetelně i rozvlečení úlomků nezvětralých hřbetů podpovrchových škrapů, vázaných na dolomitické polohy karbonátových čoček a vloček.

Z karsologického hlediska je významná skutečnost, že v ose strukturně-erozní sníženiny v širším okolí Bližné leží velké zvrásněné čočkovité těleso krystalických vápenců, příkře ukloněné k SZ, prostoupené



Obr. 1 — sídla, 2 — geografická rozvodnice, 3 — zakryté ponory, 4 — plošná meliorační drenáž, 5 — přirozené vodní toky a otevřené meliorační kanály, 6 — trubní meliorační kanály, 7 — grafitové lomy, 8 — grafitové doly.

erlánovými a dolomitovými polohami a doprovázené ložisky grafitu. V tomto tělese je založen grafitový důl Bližná. Vápence tohoto tělesa jsou do neznámých hloubek silně zkrasovělé a prostoupené krasovými kavernami různých rozměrů.

Stromovitá síť drobných konsekventních a subsekventních toků různě křížuje podložní pruh zkrasovělých vápenců. Mělké údolní tvary, silně porušené orbou, se spojují na JV od Bližné, zhruba ve výši 745 m n. m., v jediné údolí bezejmenného potoka, bývalé levé pobočky Vltavy, který se nyní vlévá do zálivu lipenské údolní nádrže mezi Dolní Vltavicí a Radslaví. Ve východní části sníženiny a na přilehlém okrajovém hřebetu je zachován souvislý lesní porost se zbytky původních rozsáhlých vrchovištních močálů, v současné době uměle odvodněných. Vlivem centrální polohy karbonátového tělesa v ose mísovitě sníženiny jsou krasové kaverny hlavním kolektorem vody, která do nich infiltruje z povrchu, hlavně z koryt povrchových toků. Protože do těchto toků jsou vyvedeny i rozsáhlé trubní soustavy meliorací z bývalých zamokřených luk, dnes přeměněných v orná pole, a močálů, jsou endokrasové systémy kolektorem infiltrované vody vlastně z celé sníženiny.

### **Rozsah hornických prací**

Nejstarší hornické práce v okolí Bližné se datují již do minulých staletí. Pro objasnění celkové situace je podstatné, že v jižním a jihovýchodním okolí bylo ve starším období dolování vyhloubeno několik šachet do průměrné hloubky kolem 21 m pod povrchem terénu. Již v nejstarším období byla těžba několikrát přerušena a znovu zahájena, vždy pro silné přítoky podzemní vody do důlních prostor. V současné době jsou tato stará důlní díla známa jen v krátkých izolovaných úsecích.

Když v roce 1957 byla napuštěna údolní nádrž Lipno, čímž došlo k zaplavení všech důlních děl v grafitovém revíru v okolí Černé v Pošumaví, zůstal důl u Bližné jedinou těženou lokalitou. Po několikaletém ložiskovém průzkumu byl jeho provoz obnoven roku 1958. V současné době je důl u Bližné otevřen jámou Václav, jejíž horizontální prostory se rozkládají ve třech úrovních (patrech). Ústí těžební jámy leží ve výši 752,97 m n. m., ohlubeň 1. patra ve výši 731,77 m n. m. (tedy v hloubce 21 m pod povrchem terénu), ohlubeň 2. patra ve výši 715,20 m n. m. (kolem 38 m pod povrchem) a ohlubeň 3. patra ve výši 688 m n. m. (kolem 65 m pod povrchem). Uvažuje se ještě o vyrazení 4. patra v úrovni zhruba 622 m n. m. (kolem 90 m pod povrchem terénu). Horizontálně nejrozsáhlejší jsou štoly 2. patra, rozvětvené ke čtyřem grafitovým ložiskům (původní Barbora a Stará jáma a později objevená ložiska Bližná II a Bližná Střed). Hlavní chodby zhruba sledují směr vrstev (popřípadě směr břidličnatosti), přičemž v podstatě kopírují i horizontální deformace esovité vrásové struktury krystalických vápenců. Pásmo Bližná Střed je nafáráno chodbami směru SSZ—JJV, tedy zhruba kolmo na směr vrstev. Jednotlivá patra jsou s povrchem spojena čtyřmi větracími komínky.

Hladina údolní nádrže Lipno leží ve výši 725 m n. m., tedy v úrovni mezi 1. a 2. patrem důlního díla. Jáma Václav přitom leží ve vzdálenosti 1 200 m od pobřežní čáry údolní nádrže (ve směru SZ) a čela směrných

chodeb 2. a 3. patra pásma Bližná II jsou od pobřežní čáry vzdálena ve směru JZ (tedy šikmo na vrstevní směry) rovněž jen asi 1 200 m.

Při hloubení jámy Václav a při ražení horizontálních chodeb docházelo často k prudkému zvyšování množství podzemní vody, vtékající do důlních prostor. Voda přitom unášela v suspenzi jemnozrné plaveniny. Do dolu místy vnikaly i proudy zvodnělého, velmi mobilního materiálu, pocházejícího z krasových dutin.

K největším průvalům podzemní vody a zvodnělého materiálu došlo 13. 1. 1983 a 4. 2. 1983 ve směrné chodbě 3. patra nedaleko větracího komínu. Razicí práce v tomto případě načepovaly rozměrné, vertikálně i horizontálně velmi členité krasové kaverny, sahající vzhůru až do úrovně 2. patra a pokračující směrem dolů i pod úroveň dna chodeb 3. patra. Horní části kaveren jsou uzavřeny sedimentárními výplněmi. Voda a sedimenty z těchto kaveren se vevalily do velké části chodeb 3. patra a způsobily značné materiální škody. Jen díky předchozím technickým a organizačním opatřením nedošlo přitom ke ztrátám na lidských životech. Podrobný popis průběhu průvalů publikovali J. Sobotka, J. Radovský, M. Šarbach (29).

### **Hydrogeologické a krasově hydrogeologické charakteristiky**

Jestliže se s ohledem na složitou geologickou stavbu a s ohledem na nedostatek odkryvů či vrtů v širším okolí Bližné pomínou pravděpodobné odchylky v průběhu geografické a geologické rozvodnice, lze studovanou lokalitu považovat za samostatnou hydrogeologickou jednotku, vázanou na osní část silně deformované brachyantiklinální struktury a výrazně oddělenou od přilehlých úseků nyní zaplaveného údolí Vltavy i od sousedních hydrogeologických jednotek v okrajových částech Vltavické brázdy.

Tuto hydrogeologickou jednotku představuje velmi složitá nádrž podzemní vody, jejíž základní rysy určuje soustava velmi dobře vyvinutých krasových dutin v hlavním pruhu krystalických vápenců v podélné ose sníženiny.

Ačkoliv se autoři všech technických zpráv o grafitovém dolu u Bližné o přítomnosti krasových kaveren zmiňují, nevěnují takřka žádnou pozornost ani jejich morfologii ani jejich hydrogeologické funkci a spojitosti. Tím tedy dosud nebyla známa ani dynamika, způsob vyživování a vyprazdňování krasové zvodně, kterou tyto kaverny hlavně tvoří. Ta skutečnost jen ukazuje na nejrůznější potíže, které jsou obecně vždy spojeny se specifickými vlastnostmi krasových zvodní a s nedostatečnou připraveností hydrogeologů zvládnout je při hydroekonomickém využití všude na světě (V. Panoš 21).

Přestože krasová zvodně vzhledem k nevelké rozloze centrálního karbonátového pruhu tvoří jen menší část celé bliženské hydrogeologické jednotky, je pro svůj vertikální rozsah, kapacitu a částečnou hydraulickou spojitost s průlinovými a puklinovými systémy na nekarbonátových křídlech struktury hlavním kolektorem podzemní vody a tedy rozhodující i pro hydrogeologické hodnocení území.

K vyřešení otázek, které s existencí a funkcí této krasové zvodně souvisejí, bylo nutno ovšem věnovat pozornost i ostatním, tj. nekarboná-

toovým částem celé jednotky, především propustnosti rulového komplexu.

Někteří autoři zpráv o hydrogeologickém průzkumu studovaného území zdůrazňují význam průlinových vod a retenční schopnost mocných eluviálních zón rulového souvrství. Výsledky hydrogeologického vrtného průzkumu a přímé pozorování v grafitovém dolu ukazují, že průlinová propustnost fosilního eluvia je poměrně malá. Silně ji totiž omezuje kolmatace průlin jílovitými komponentami zvětralin. Výjimku tvoří jílovitopísčité polohy a zóny podél velkých tektonických linií. Tyto zóny ovlivňují i hornické práce, protože v nich dochází k bobtnání zvodnělé horniny a k deformacím důlní výztuže.

Mnohem významnější je puklinová propustnost, vyvolaná rozpojenými, někdy také kalcitem vyhojenými zónami v nekarbonátových polohách metamorfitů. Tato propustnost je velmi nepravidelná, protože je závislá na střídání poloh odlišného petrografického složení a na proměnlivosti tektonického porušení celého komplexu. Vyšší puklinovou propustnost mají pevné migmatitizované a rohovcové ruly a erlány, kde puklinové soustavy nejsou kolmatovány jílovitými produkty zvětrávání (V. Vašta 31). V okolí Bližné však souvislé puklinové zvodnění nesahá příliš hluboko pod místní erozní bázi. Pouze ve významných poruchových pásmech může cirkulace puklinové podzemní vody zasahovat do hloubek i několika set metrů pod povrch reliéfu. O podstatnějších změnách vertikálního rozsahu zóny souvislého puklinového zvodnění po napuštění údolní nádrže Lipno nejsou k dispozici žádné údaje.

Pokud jde o krasovou část hydrogeologické jednotky u Bližné, teprve průvaly podzemní vody do důlních prostor umožnily poznat rozměry evakuovaných krasových dutin a učinit i závěry o jejich genezi, horizontálním i vertikálním rozložení a jejich hydrogeologické funkci. Výsledky speleologického a hydrogeologického průzkumu, zejména režimního pozorování vydatnosti a chemismu podzemní vody vtékající i po odvodnění hlavních krasových dutin do důlního díla, a poznání vztahů mezi tvary reliéfu a rozložením krasových dutin umožnily učinit tyto závěry o krasové zvodni u Bližné:

Podle mezinárodně uznávané typizace (V. Panoš 21) jde o hlubokou zvodeň kryptokrasovou (interstratální) s velkým vertikálním rozsahem, podmíněným příkrým úklonem čočkovitých těles krystalických vápenců. Vápencové polohy jsou z obou stran obklopeny nerozpustnými a většinou špatně propustnými horninami, které oddělují krystalické vápence od vlastního rulového komplexu. Na jihovýchodní straně (předpokládané podloží) jde o polohy dolomitických vápenců až vápnitých dolomitů, na straně severozápadní (nadloží) o grafitické ruly a ložiska grafitu. Dolomitické polohy jsou i uvnitř souvrství krystalických vápenců, jak je tomu i v ostatních částech pestré skupiny moldanubika (M. Krutský 11). Silně ukloněné a značně deformované krystalické vápence se svým špatně propustným obalem působí jako samostatný, do značné míry od ostatních cirkulačních systémů izolovaný hydrogeologický objekt s vlastním cirkulačním vodním aparátem.

Hlavním sběrným a akumulacním prostředím této zvodně jsou krasové dutiny, vyvinuté převážně podél vrstevních ploch a ploch břidličnatosti, místy i podél jejich průsečnic s plochami svislých puklinových systémů. Často mají ráz kontaktních jeskyní, vázaných na styčné zóny krystalických vápenců s grafitovými, dolomitickými či erlánovými po-

lohami. Tyto polohy jsou v krystalických vápencích nepravidelně rozmístěné.

Při komplexním karsologickém výzkumu území byla věnována pozornost i morfologii a hydrogeologické funkci krasových dutin, tedy i jejich závislosti na tvarech povrchu a povrchové hydrografii.

Podrobně byl studován soubor krasových dutin, jejichž načepování způsobilo v roce 1983 zmíněné katastrofální vodní průvaly. Jde o dvě velké jeskynní prostory a několik menších dutin. Velké prostory mají rozsáhlé, značně členité horizontální až subhorizontální úseky. Přecházejí do vertikálních studňovitých prostor, do nichž ze stran ústí menší rourovité kanály. Horizontální úseky leží shodně v úrovni 715—710 m n. m. (tedy přibližně v úrovni 2. patra důlního díla). Vertikální úseky sahají do neznámých hloubek pod úroveň 3. patra (688 m n. m.). Největší dutina má objem 860 m<sup>3</sup>. Původně byla vyplněna jílovitými a jílovito-písečnými, jemně zvrstvenými sedimenty se šupinkami flogopitu. Sedimenty jsou složeny hlavně z rozvolněných komponent hlubokých zvětralin pararulového komplexu, které byly do jeskyní vplaveny z povrchu a usazeny ve vodním prostředí. Část tvoří nerozpustné příměsi krystalických vápenců. Při načepování jeskyní razicími pracemi byly tyto sedimenty většinou vyplaveny do důlních prostor. Druhá největší dutina má objem kolem 225 m<sup>3</sup>. Je zavalena hrubou blokovou sutí, spočívající na sedimentárních výplních podobné proveniencie jako v předchozí dutině. Ze sutí této dutiny vyvěrá soustředěný pramen, který má prakticky stálou vydatnost (12,5—13,0 l · s<sup>-1</sup>).

Z mnoha okolností vyplývá, že jde o sekundárně izolované úseky rozsáhlého, souvislého jeskynního systému, který je vyvinut ve směru vrstev krystalických vápenců. Závislost morfologie jeskyní na struktuře je tak těsná, že některé části prostor do podrobností kopírují sebemenší litologické změny a tektonické deformace matečné horniny. Tato závislost je také příčinou velké horizontální i vertikální členitosti dutin. Stropy jsou často řícené, ale všude, kde jsou celistvé, se v nich jeví stopy modelace proudící vodou. Také dna jeskyní jsou přehloubena výraznými erozními koryty.

V některých částech jeskynních prostor je původní matečná hornina rozložená v plastickou tvarohovitou hmotu. Podstatu tohoto jevu objasnila analýza odebraných vzorků provedená za vedení univ. prof. RNDr. B. Fojta, CSc., na katedře mineralogie a petrografie přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity v Brně; poskytla tyto výsledky:

#### Původní matečná hornina:

Jde o typický krystalický vápenc s nečetnými, nepravidelnými smouhovitými interpozicemi diopsidu s vrstlým podružným tremolitem a s akcesorickými vtroušeninami vločkového grafitu, pyritu a flogopitu. Diopsid podléhá supergenní přeměně — hlavně podél směrů štěpnosti a odlučnosti. Produkt přeměny se nepodařilo identifikovat. Do intergranulár kalcitu prostupuje limonit.

#### Rozložená hornina:

Hmota je výrazně ochuzena o krystalický vápenc a diopsid je značně přeměněn. Další komponenty, zjištěné v původní matečné hornině, nebyly identifikovány. Projevu je se tu také výrazný úbytek CO<sub>2</sub>. Termickou analýzou byl zjištěn úbytek krystalického vápence zhruba o tři čtvrtiny původní hmotnosti. Rozklad původní horniny a pře-



měna jejích složek byla vyvolána cirkulující podzemní vodou, napadající zejména inhomogenní partie erlánového charakteru (směs kalcitu a diopsidu). Rozkladný proces podporuje přítomnost akcesorického pyritu.

Uvedená varianta krasového procesu nemá hydrotermální charakter. Jde zřejmě o důsledek intenzivního tropického zvětrávání, který dosud v karsologické literatuře týkající se erlánovitých hornin nebyl popsán.

Autochtonní sintrové formace ve zkoumaných jeskyních nebyly nalezeny. Alochtonní sedimenty byly do jeskyní vplaveny z povrchu. Jejich množství, různorodost a uložení svědčí o intenzivním až masovém přísunu. Tyto sedimenty vytvářejí v nepravidelných jeskyních často překážky, rozdělující souvislý jeskynní systém do množství izolovaných úseků. Na vzniku překážek se podílejí i sutě. Přepážky pak jsou hlavní příčinou akumulací podzemní vody, která krasové dutiny vyplňuje obvykle v celém jejich objemu.

Pro stanovení zákonitostí vzniku, vývoje a funkce jeskyní je důležité zjištění, že krasové dutiny objevené v roce 1983 leží v místech, kde na povrchu protíná pruh krystalických vápenců mělké údolí potoka pramenícího v okolí obce Bližná. Soubory dutin, které způsobovaly průvaly vod v dřívějších obdobích těžby grafitu, jsou seřazeny podél koryta levé pobočky hlavního toku, pramenící na svazích Vápenného vrchu (813 m). Další významnou okolností je, že úroveň horizontálních a subhorizontálních úseků všech dosud objevených dutin (715—710 m n. m.) souhlasí zhruba s úrovní skalního dna údolí Vltavy v přilehlém úseku Vltavické brázdy. Z této okolnosti lze vyvodit, že tato jeskynní úroveň byla dlouhou dobu závislá na erozní bázi dané údolním systémem staré Vltavy, dokud ještě nebyl prohlouben zpětnou erozí vyvolanou vznikem Českobudějovické pánve. Všechny zjištěné souvislosti opravňují spojit vznik této soustavy s vývojem zarovnaného paleogenního povrchu a s obdobím jeho deformování a dislokování ke konci oligocénu a v miocénu. Jde tedy o součásti původně souvislého jeskynního systému, kterým se odvodňovala strukturně-erozní deprese mezi Vápenným vrchem (813 m), Bližnou, Radslaví a Dolní Vltavicí do údolí Vltavy.

Dále lze ze zjištěných skutečností vyvozovat, že pruh krystalických vápenců není v okolí Bližné izolován, ale pokračuje mezi Radslaví a Bližnou až do údolí Vltavy. Vlivem strmého úklonu vrstev tohoto pruhu sahá zkrasovění krystalických vápenců zřejmě značně hluboko pod úroveň dna původního vltavského údolí. V jiných částech pestré skupiny moldanubika bylo vrtným průzkumem potvrzeno zkrasovění krystalických vápenců dokonce do hloubek několika set metrů pod povrchem terénu [V. Vašta 31].

Z krasově hydrogeologického hlediska patří studované jeskyně k dynamicky velmi aktivnímu jeskynnímu systému freatické zóny krasové zvodně. Voda, která se v nich hromadí v současné době, je zčásti dotována vodou vnikající do podzemí z koryt povrchových toků zakrytými puklinovými ponory, zčásti vodou migrující do krasových dutin z puklinových soustav okolního pararulového komplexu. Mocné polohy jeskynních sedimentárních výplní (různé frakce eluviální pararulové zóny) však svědčí, že hlavním zdrojem podzemní krasové vody jsou místní povrchové toky v širším okolí Bližné.

Tyto závěry podporuje i chemismus vod, které dosud vtékají do důlního díla na různých místech, zejména vody, vytékající soustředěně ze

sufového závalu jedné z velkých dutin v úrovni 3. patra grafitového dolu. Jde totiž o vodu středně tvrdou alkalické reakce kalcium-magnesium-hydrogenuhlíčitanového typu se zvýšeným obsahem dusičnanů (V. Vašta 31). Podle dlouhodobého pozorování tohoto výtoku (J. Sobotka, J. Radovský, M. Šarbach 29) se ve vydatnosti tohoto vývěru projevují malé výkyvy, které s jistým zpožděním odrážejí vydatnější dešťové srážky nebo období tání sněhové pokrývky. Jde tedy převážně o vodu, která je do ponorů v korytech vodních toků sváděna zejména paprsky trubní sítě rozsáhlých melioračních systémů ze zemědělsky obdělávaných ploch a z vrchovištních močálů celého povodí bliženského potoka. V žádném případě tedy nejde o vodu z údolní nádrže Lipno, která má zcela jiný chemismus.

### Závěr

Krasové dutiny v krystalických vápencích v okolí Bližné jsou součástí starého, dobře vyvinutého, souvislého a hydrogeologicky velmi aktivního jeskynního systému s velmi nepravidelným horizontálním dendritickým průběhem. Je zřejmě uspořádán v několika úrovních, které nepochybně sahají i pod dno nynější údolní nádrže Lipno, ale jsou vlivem proměnlivé struktury krystalických vápenců nepravidelně rozloženy do neznámých hloubek. Systém je sekundárně rozdělen do izolovaných úseků, zcela vyplněných vodou. Jeho jímací kapacita je mimořádně velká. Nepravidelné rozložení krasových dutin způsobuje, že jsou těžko identifikovatelné běžným či geofyzikálním průzkumem. Nelze vyloučit, že na jih od Radslavi a Dolní Vltavice mohou do systému vnikat i vody z údolní nádrže.

Autoři předloženého příspěvku proto doporučili vedení n. p. Rudné doly Příbram, provozovateli grafitového dolu Bližná, aby důlní štoly byly raženy mimo karbonátový pruh jen na jeho severozápadní straně, aby dostatečná vzdálenost razících prací byla zajišťována dlouhými horizontálními vrty a aby se čela těžebních chodeb zastavila v jižním okolí Bližné v dostatečné vzdálenosti od pobřežní čáry údolní nádrže Lipno. Dále bylo doporučeno, aby bylo realizováno sledování zvodnělých dutin pomocí speciálních geofyzikálních metod (metodou nízkofrekvenční elektromagnetické lokace nebo metodou vysokofrekvenčního elektromagnetického prosvěcování), které mohou současně poskytnout údaje o poloze grafitových ložisek. Je také žádoucí doplnit tento výzkum radioizotopovou detekcí směru pohybu podzemních krasových vod a kontrolovat těsnost melioračních svodných sítí.

Kromě praktických výsledků přinesl karsologický výzkum interakcí mezi krasovými jevy a těžbou grafitu u Bližné nové poznatky o dosud nepopsaném charakteru krasového procesu a o složitých dynamických vlastnostech krasových zvodní. Ze speleologického hlediska patří jeskynní systém v okolí Bližné k největším dosud známým prostorám v jižních Čechách.

### Literatura:

1. BATHURST, R. G. C.: Carbonate sediments and their diagenesis. 2nd ed., New York, Elsevier Publ. Co. 1976, 658 s.

2. BOSÁK, P. a kol.: Jeskyňářství v teorii a praxi. Praha, Česká speleologická společnost, Státní zemědělské nakladatelství 1988, 215 s.
3. DEMEK, J. a kol.: Zeměpisný lexikon ČSR. Hory a nížiny. Praha, Academia 1987, 584 s.
4. FOLK, R. L.: Carbonate petrography in the post-Sorbian age. In: Envolving concepts in sedimentology. J. Hopkins. Univ. 1973, Studies Geology, 21, s. 118—158.
5. FORD, D. C., DRAKE, R. O.: Spatial and temporal variations in karst solution rates: The structural variability. In: THORN, C. E., ed., Space and Time in Geomorphology. London, Allen and Unwin 1982, s. 147—170.
6. FRIEDMAN, G. M., SANDERS, J. E.: Principles of sedimentology. New York, J. Wiley and Sons 1978, 792 s.
7. HILL, C. A., FORTI, P.: Cave minerals. 2nd Ed. Nat. Speleol. Soc. 1986, 238 s.
8. CHÁBERA, S.: Krasové jeskyně v jižních Čechách. Lidé a země, 4, Praha, NČSAV 1955, s. 87—89.
9. JANOUŠEK, E., KADLEC, J., JÄGER, O.: Vyhodnocení krasových dutin na dole Bližná. Závěrečná zpráva. Netolice 1985, 14 s.
10. KUČERA, B., HROMAS, J., SKŘIVÁNEK, F.: Jeskyně a propasti v Československu. Praha, Academia 1981, 252 s.
11. KRUTSKÝ, M.: Dolomitizace krystalických vápenců na Šumavě. Věstník ÚÚG, 34, Praha, 1959, s. 415—428.
12. KUKLA, J., BATÍK, P.: Krasové jeskyně na Šumavě. Čs. kras, 12, Praha, Academia 1960, s. 37—46.
13. KUKLA, J., LOŽEK, V.: K problematice výzkumu jeskynních výplní. Čs. kras, 11, Praha, Academia 1958, s. 19—83.
14. KUŽVART, M.: Ložiska nerudných surovin. Praha, Academia 1984, 440 s.
15. KUŽVART, M. a kol.: Ložiska nerudných surovin v ČSR. Praha, Univerzita Karlova 1983, 521 s.
16. LAZNICKA, P.: Empirical Metallogeny. Vol. 1. Amsterdam, Elsevier 1985, 1758 s.
17. LOŽEK, V.: Sedimenty v krasu. Knihovna České speleologické společnosti, 1, Praha, 1986, s. 111—124.
18. MÍŠAŘ, Z. a kol.: Geologie ČSSR. I. Český masív. Praha, SPN 1983, s. 51—68.
19. PANOŠ, V.: Krasovění — součást epigeneze karbonátových hornin. Acta Universitatis Palackianae Olomucensis, F. R. N., 74, Geographica — Geologica, XXVII, Praha, SPN 1983, s. 31—50.
20. PANOŠ, V.: K otázce interakcí mezi krasem a strukturou. AUPO, F. R. N., 92, Geographica — Geologica, XXVII, Praha, SPN 1988, s. 29—40.
21. PANOŠ, V.: Typy krasových zvodní. AUPO, F. R. N., 92, Geographica — Geologica, XXVII, Praha, SPN 1988, s. 41—50.
22. PANOŠ, V., PUČÁLKA, R.: Posouzení krasově hydrogeologických poměrů okolí grafitového dolu Bližná, n. p. Rudné doly Příbram, závod Netolice. GGÚ ČSAV, Brno 1989, 22 s.
23. PERNA, G.: Giacimenti minerali carsici. Proc. 6th Int. Congr. Speleol., I, Praha, Academia 1975, s. 523—543.
24. PROKOPČUK, B. I. a kol.: Drevnij rudonosnyj karst. Moskva, Izd. Nedra 1988, 220 s.
25. PUČÁLKA, R.: Objev a význam největších jeskynních prostor v Pošumavském krasu. Slovenský kras, XXX, Martin 1989, (v tisku).
26. RADOVSKÝ, J.: Projekt bezpečnostních opatření pro ražby a dobývání v oblasti nebezpečné průvaly vod a zvodnělého materiálu na dole Bližná. Archiv Rudné doly n. p. Příbram, závod Netolice, Příbram, 1989, 13 s.
27. QUINLAN, J. F.: Karst — related mineral deposits and possible criteria for the recognition of paleokarst: A review of preservable characteristics of Holocene and older karst terraines. Proc. 24th Int. Geogr. Congr., 6, Montreal 1972, s. 156—168.
28. SMOLÍKOVÁ, L.: Pedologie I., II. Praha, Univerzita Karlova 1982, 284 s.
29. SOBOTKA, J., RADOVSKÝ, J., ŠARBACH, M.: Poznátky z ražení v krasové oblasti na grafitovém dole Bližná. Rudy, 33, Praha 1985, s. 315—323.
30. SVOBODA, J. a kol.: Regionální geologie ČSSR, I, Český masív, sv. 1, Krystalinikum. Praha, Academia 1964, 377 s.
31. VAŠTA, V.: Zpráva o hydrogeologickém průzkumu Bližná—Lipno. České Budějovice, Stavební geologie 1984, 18 s.
32. ZUFFARDI, P.: Karst and economic mineral deposits. In: WILF, K. H., ed., Handbook of Strata — Bound and Stratiform Ore Deposits, 3, Amsterdam, Elsevier 1976, s. 175—212.

## Summary

### GRAPHITE MINING AND KARST IN THE ČESKOKRUMLOVSKÁ VRCHOVINA HIGHLAND

The paper deals with results of complex karstological investigation that concerns regularities controlling the catastrophic subterranean water inrushes from a paleokarst system into graphite mine situated at the village of Bližná in the Lower Proterozoic Moldanubic paragneiss — limestone series of the Českokrumlovská vrchovina Highlands (South Bohemia).

The investigated karst system is developed in a complicated stripe of crystalline limestone surrounded by deeply weathered paragneiss complex. The system is completely filled by accumulated subterranean water the sudden inrushes of which endanger the mining. It was proved that the water accumulations consist of water from local superficial streams infiltrating into underground through hidden ponors. This water comes mainly from extended artificial drainage red covering large surroundings of the graphite mine.

As the cave system is vertically and horizontally very irregular, special detection methods were recommended to its localization. The results of scientific investigation were fully accepted by the operator of the graphite mine and they were used for realization of necessary and effective safety provisions.

Besides of practical results also some theoretical problems have been studied, before all an unusual character of the karst process desintegrating the dolomitic and erlan intercalations in the crystalline limestone. The studied cave system belongs to the largest ones in South Bohemia.

Fig. 1: 1 — seats, 2 — geographic divide, 3 — covered ponors, 4 — areal reclaiming drainage, 5 — natural streams and open-air reclaiming drains, 6 — tubular reclaiming drains, 7 — graphite pits, 8 — graphite mines.

*(Pracoviště autorů: Geografický ústav ČSAV, Mendlovo nám. 1, 662 82 Brno.)*

Došlo do redakce 7. 6. 1989.

Lektorovala J. Loučková