Základní charakterizace důlních vod ložisek Čelina a Mokrsko

Basic characteristics of ground waters in the Čelina and Mokrsko gold deposits

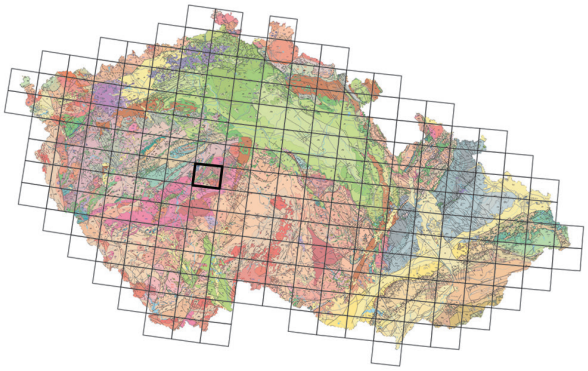
Michal Roll[1, 2] – Alexey Manaenko[3] – Jaroslav Hloušek[3]

[1] Geologický ústav AV ČR, v. v. i., Rozvojová 269, 165 00 Praha 6; roll@gli.cas.cz
[2] Ústav geochemie, mineralogie a nerostných surovin, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, Albertov 6, 128 43 Praha 2
[3] Centrum experimentální geotechniky, Fakulta stavební, České vysoké učení technické, Thákurova 7, 166 29 Praha 6

Please cite this article as: Roll, M. – Manaenko, A. – Hloušek, J. (2018): Basic characteristics of ground waters in the Čelina and Mokrsko gold deposits. – Geoscience Research Reports, 51, 13–16. (in Czech)

Key words: ground waters, hydrochemistry, underground laboratory, Josef adit, Čelina- Mokrsko, Bohemian Massif, Czech Republic

Summary: The Josef adit was driven during a mineral exploration project in search for gold in the Psí hory gold district in Central Bohemia in the 1980s. Two gold deposits were discovered in this area named after nearby villages of Čelina and Mokrsko. This area is built of two main geological units – the Jílové Zone consisting of a volcano-sedimentary complex of Neoproterozoic age, mainly composed of acid and intermediate volcanic rocks, tuffaceous shales and greywackes, and an amphibole-biotite granodiorite body of Variscan age belonging to the Central Bohemian Plutonic Complex. The low grade gold mineralization is disseminated in densely spaced quartz veins together with low amount of sulfides (pyrite, arsenopyrite, pyrrhotite). Recently, the Centre of Experimental Geotechnics of Faculty of Civil Engineering of the Czech Technical University in Prague established in the Josef adit an underground laboratory to carry out a range of experiments oriented on in-situ tests and measurements of underground structures or geotechnics in general including possible nuclear waste disposal site in relation to migration of groundwater or use of bentonite barriers and other tests. The groundwater chemistry is one of the main parameters which can strongly influence this kind of experiments, but no general groundwater chemistry was studied in this area as yet. One-year lasting groundwater monitoring, split into three quarterly sampling campaigns, was based on eleven monitoring and sampling sites. Six of them were in granodiorite, and the remaining five were located in the Jílové Zone. Some parameters such as pH, electric conductivity (EC), total dissolved solids (TDS) and temperature (T) were measured on site, while concentrations of Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+}, and SO_4^{2-} were determined in the laboratory shortly after collection of samples. The results showed that the host rocks played the major role in chemical composition of groundwater. There is no direct evidence that ground waters are affected by experiments and ongoing activities (salt solution influx, water pumping, construction works, etc). The only exception is the DOPAS experiment during which the grouting mixture was used in the construction which devaluated the measurements of potassium concentration. Based on chemical composition, two main types of groundwater can be distinguished. Both of them are classified as moderately mineralized waters. The first type is represented by water collected in the Jílové Zone showing pH close to neutral (7.85), higher TDS (369 mg/l), almost identical calcium and magnesium concentrations (43.5 and 51.5 mg/l), and higher content of sulfates (128 mg/l), which is likely to be due the oxidation of sulfides. The second type is a water from granodiorite which is slightly alkaline with pH corresponding to 8.18, with lower TDS content (307 mg/l), and showing significantly higher content of calcium relative to magnesium (59.9 and 24.7 mg/l, respectively), and lower concentration of sulfates (97.8 mg/l).



(12-44 Týnec nad Sázavou)

Štola Josef nacházející se na ostrohu Slapské přehrady u obce Cholín byla vyražena mezi lety 1989–1991 za účelem průzkumu těžby zlatonosné mineralizace ložisek Čelina a Mokrsko. Poměrně rozsáhlé podzemní dílo v součtu dosahuje délky téměř 8 km. V současné době má tento objekt v dlouhodobém pronájmu ČVUT v Praze, které zde prostřednictvím Centra experimentální geotechniky založilo v roce 2007 podzemní laboratoř. V ní se kromě výuky provozují migrační či termální in-situ experimenty a experimenty zabývající se problematikou hlubinného uložiště radioaktivních odpadů. Tento příspěvek shrnuje výsledky dlouhodobého monitoringu základních fyzikálně-chemických parametrů důlních vod na obou lokalitách. Jde o téměř neutrální až mírně zásadité středně mineralizované vody, na jejichž chemické složení má zásadní vliv geologická situace v dané oblasti.

DOI 10.3140/zpravy.geol.2018.05

Geologie oblasti

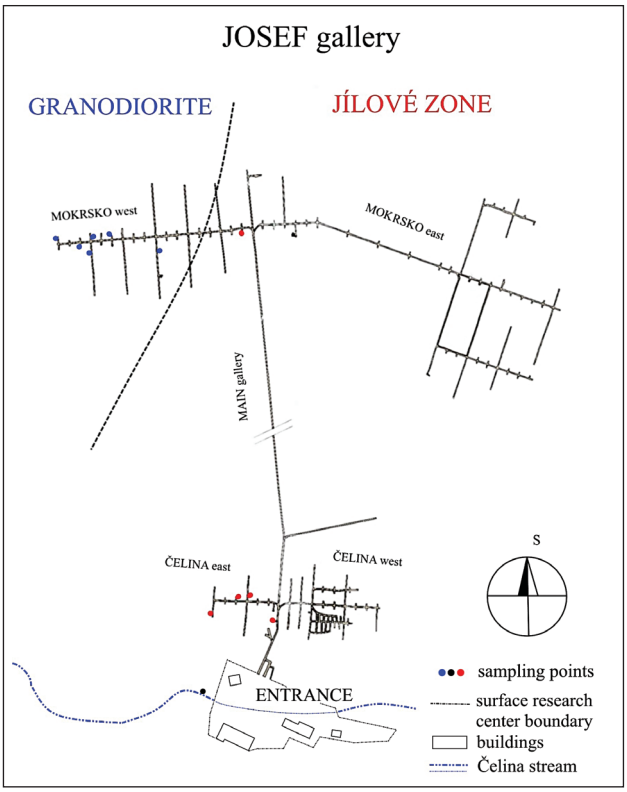
Tuto oblast tvoří především horniny tzv. jílovského pásma, řazeného k neoproterozoickým horninám davelského souvrství. Jílovské pásmo je 1–6 km široký a přibližně 70 km dlouhý pás hornin, který se táhne od Jílového u Prahy až do zóny tzv. metamorfních „ostrovů“ (Chlupáč et al. 2010). Při bázi jsou kyselé až intermediální vulkanity (andezity, dacity, ryolity), v nadloží vulkanosedimentární sekvence ryolitických a dacitických tufů, tufitických břidlic, metadrob, výjimečně i metabazitů. Druhou část studované oblasti tvoří amfibol-biotitický granodiorit apofýzy středočeského plutonického komplexu variského stáří, který způsobuje výraznou kontaktní metamorfózu hornin jílovského pásma za vzniku kontaktních rohovců a sericitových břidlic. Na intruzi tohoto významného tělesa je také vázána řada žilných diferenciátů, především lamprofyrů a porfyritů (Morávek et al. 1992). Na studované lokalitě se nachází také několik typů zrudnění, např. Au-mineralizace a W-mineralizace. Wolframové zrudnění vázané na polohy intermediálních až bazických tufů, s hlavním rudním minerálem scheelitem, často v asociaci s molybdenitem, je z ekonomického hlediska perspektivní akumulací (obsah W v průměru 0,2 %, výjimečně až 1 %), která má ovšem výrazně nepravidelný tvar a odlišnou strukturní pozici od žilného Au-zrudnění (Morávek et al. 1992). Dominantním typem zrudnění v této oblasti je zlatonosná mineralizace ložisek Čelina a Mokrsko, které spadají pod rudní revír Psí hory a jsou v těsném genetickém i geografickém sepětí. Au-mineralizace je vázána na křemenné žíly a žilníky s nízkým obsahem sulfidů (pyrit, arzenopyrit, pyrhotin, chalkopyrit); jde o vtroušenou mineralizaci, zlato je velmi jemnozrnné (μm až desítky μm) a místy doprovázené ryzím bismutem, bismutinem, maldonitem, popř. teluridy Bi hedleyitem a wehrlitem (Morávek et al. 1992).

Metodika

Pro odběry vzorků podzemní vody byly vybrány části Mokrsko-západ, které se z větší části nachází v amfibol-biotitickém granodioritu, respektive v břidlicích a prachovcích jílovského pásma. Další vzorkovanou oblastí byla Čelina-západ, situovaná převážně v kyselých tufitech (ryolity, dacity), tufitických břidlicích a metadrobách, a jako další páteřní štola, která se nachází ve stejných horninách jako část Čelina-západ. Celkem bylo vybráno jedenáct vzorkovacích míst, sedm v lokalitě Mokrsko-západ, další tři v oblasti Čelina-západ a poslední v páteřní štole (viz obr. 1). Vzorky se odebíraly čtvrtletně, a to celkem ve třech odběrových kampaních. Voda byla odebírána z dobře přístupných míst, jako jsou jímky, úpatní či horizontální vrty a výtoky na puklinách. Odběry byly prováděny do 50 ml PE, vzorkovnice byla vždy před odběrem třikrát vypláchnuta vzorkovanou vodou. Pro srovnání byly provedeny též odběry vod mimo štolu z povrchového toku, Čelinského potoka. Přímo v terénu byly na vzorkovaných místech měřeny pH, elektrická vodivost (EC), celková mineralizace (TDS) a teplota (T) pomocí terénního vodotěsného multimetru Hanna Instruments s kombinovanou sondou. Odebrané vzorky vod byly tentýž den zpracovány v laboratoři; nejprve filtrovány pomocí stříkačkového filtru AHLSTROM ReliaPrep™ CA 0,20 μm, v získaném filtrátu byly následně měřeny koncentrace vápníku (Ca^{2+}), hořčíku (Mg^{2+}), draslíku (K^+) a síranů (SO_4^{2-}). Koncentrace byly měřeny pomocí fotometrů Hanna Instruments, ke stanovení Ca^{2+} byla použita oxalátová metoda, Mg^{2+} kalmagitová metoda, K^+ tetrafenylborátová metoda a ke stanovení SO_4^{2-} turbiditimetrická metoda. Analýzy byly provedeny podle manuálu dodaného firmou Hanna Instruments, uvedená činidla byla také dodána firmou Hanna Instruments. Každé měření mělo 2–5 replik, výsledné hodnoty jsou aritmetickým průměrem těchto měření.

Výsledky analýz

Chemismus vod odebraných v hlavních geologických jednotkách – v tělese amfibol-biotitického granodioritu a horninách jílovského pásma, v nichž je důlní dílo situováno – je vyhodnocen v tab. 1. Pro srovnání jsou v ní uvedeny i hodnoty naměřené v Čelinském potoce, v odběrovém místě v těsném sousedství povrchového areálu Centra experimentální geotechniky, přibližně 70 m jz. od hlavního portálu štoly Josef (potok dále protéká umělým korytem pod povrchem povrchového areálu a následně ústí do Slapské přehrady, viz obr. 1).



Obr. 1. Schéma podzemí štoly Josef, včetně rozmístění vzorkovacích míst.
Fig. 1. The Josef adit underground scheme/layout/plan including sampling sites.

Tabulka 1. Výsledky měření základních fyzikálně-chemických parametrů vod
Table 1. Results of measurements of basic physical-chemical parameters of ground waters

site	pH	EC [mS/cm]	TDS [mg/l]	T [ºC]	Ca^{2+} [mg/l]	Mg^{2+} [mg/l]	K^{+} [mg/l]	SO_4^{2-} [mg/l]
Granodiorite	8.18	0.61	307	11.5	59.9	24.7	1.7	97.8
n	18	18	18	18	18	18	15	18
range	7.26–9.97	0.52–0.74	260–370	10.7–13.5	18–108.3	13–37	0.1–2.6	72.5–125
Jílové Zone	7.85	0.74	369	9.6	43.5	51.5	1.12	128.0
n	15	15	15	15	14	15	15	15
range	7.61–8.10	0.60–0.92	300–460	6.6–11.2	25–71	14–117	0–2.6	87–150
Čelina stream	8.19	0.71	357		79.3	31.7	1.47	82.0
n	3	3	3		3	3	3	3
range	8.02–8.37	0.68–0.75	340–380		55–106	27–37	1.3–1.7	74.5–86.5

Z uvedených výsledků vyplývá, že vody odebrané v horninách jílovského pásma mají téměř neutrální pH (7,85), vyšší celkovou mineralizaci (369 mg/l), průměrnou teplotu 11,5 ºC, velmi podobné hodnoty Ca^{2+} a Mg^{2+} (43,5 a 51,5 mg/l) a vyšší obsahy síranů (128 mg/l). Vody odebrané v oblasti granodioritu mají slabě zásaditý charakter (pH = 8,18), nižší celkovou mineralizaci (307 mg/l), průměrnou teplotu 9,6 ºC, více než dvojnásobně vyšší obsahy Ca^{2+} nad Mg^{2+} (59,9 a 24,7 mg/l) a celkově nižší obsahy síranů (97,8 mg/l). Oba dva typy vod jsou podle Alekina (1962) klasifikovány na základě celkové mineralizace jako vody středně mineralizované.

Diskuse

Zvýšené obsahy síranů a nižší pH ve vodách odebraných v horninách jílovského pásma zřejmě souvisí s oxidací sulfidů (především arzenopyritu a pyritu), vázaných společně se zlatou mineralizací na křemenné žíly. K podobným závěrům dospěla i Rukavičková et al. (2014). V některých případech koncentrace síranů přesahovaly detekční limit přístroje (DL = 150 mg/l). Z naměřených dat vyplývá, že chemické složení neovlivňuje charakter odběrového místa, tedy zda jde o vodu „stojatou“ (jímky, úpatní vrty), nebo proudící (horizontální vrty, výtoky na puklinách).

Vzhledem k množství experimentů a s nimi spojených činností, které v důlním díle probíhají, panovaly do jisté míry obavy, že v některých případech mohou být výsledky měření zkreslené. Pro řadu experimentů je typické nadměrné užívání stavebních hmot či geomateriálů (bentonitu), které jsou zdrojem vápníku, hořčíku a podporují tvorbu koloidních roztoků, některé projekty zabývající se termikou podporují tvorbu par v okolí experimentu, jiné vtláčejí solné roztoky do vrtů pro migrační účely (např. projekt PAMIRE). Tyto obavy se částečně naplnily – např. injektážní materiály použité pro experiment DOPAS ovlivnily měření draslíku natolik, že tyto hodnoty nakonec nemohly být zahrnuty do následného vyhodnocení. Naproti tomu běžné stavební práce, jako betonáž či další činnosti, čerpání vody apod., nemají prokazatelný vliv a fluktuace chemického složení jsou v rozsahu běžném pro přírodní vody. Dalším neočekávaným výsledkem je průběh teplot. Z naměřených hodnot je zřejmé, že vody v oblasti Čelina-západ jsou o víc než dva stupně chladnější, a to i přesto, že je tato oblast podstatně blíže povrchu (pozn.: mocnost nadložních hornin je cca 40–50 m) a také blíže vstupnímu portálu než oblast Mokrsko-západ, vzdálená téměř 2 km (délka páteřní štoly je 1835 m). Mikroklima a tedy i teplotu vody v této oblasti zřejmě ovlivňuje zvýšená produkce radiogenního tepla. Barnet a Fojtíková (2004) uvádějí zvýšené obsahy uranu 8,7 pp, a průměrnou koncentraci Rn v okolních domech 350 $Bq.m^{-3}$ (průměrná hodnota z celkem 55 měření, maximální naměřená koncentrace 400,8 $Bq.m^{-3}$). Teplotu mohl částečně ovlivnit i činorodý pohyb v této části důlního díla a také nucené větrání instalované v oblasti Mokrsko-západ.

Závěr

K základní charakteristice vod v důlním díle štola Josef byly využity terénní a laboratorní přístroje, které poskytlo Centrum experimentální geotechniky, a i přesto, že byly měřeny pouze základní fyzikálně-chemické parametry a jen část makroelementů, je zřejmé, že dominantní vliv na chemické složení vod mají hostitelské horniny, včetně přítomné sulfidické mineralizace. V tělese amfibol-biotitického granodioritu byly odebrány vody s výraznou převahou vápníku nad hořčíkem a s nižším obsahem síranů, zatímco z hornin jílovského pásma vody s vyrovnaným obsahem vápníku a hořčíku a zvýšeným obsahem síranů, který zřejmě souvisí s oxidací sulfidů v této oblasti. Tento proces má zřejmě na svědomí rozdíl v pH obou typů vod. Kontaminaci organickými a anorganickými látkami, které by narušovaly chemické složení přírodních vod, jejichž ekvivalent můžeme spatřovat například v Čelinském potoce, můžeme s jistotou určit jen v případě výskytu alarmujících hodnot koncentrací některých iontů, místně a časově těsně spjatých s probíhající výzkumnou činností, jako v případě měření koncentrace draslíku v těsné blízkosti projektu DOPAS.

Poděkování. Výzkum se uskutečnil v rámci projektu „Optimalizace výběru míst pro in situ experimenty v oblastech Čelina a Mokrsko na základě charakteristiky podzemních vod“, financovaného Studentskou grantovou soutěží ČVUT v Praze. Dále bylo sepsání článku financováno z projektu institucionální podpory RVO67985831. Autoři děkují editorovi Tomáši Charvátovi a recenzentům Miroslavu Rausovi a Zdeňku Pištorovi, kteří svými připomínkami pomohli zlepšit kvalitu rukopisu.

Literatura

Alekin, O. A. (1962): Grundlagen der Wasserchemie. Eine Einführung in die Chemie natürlicher Gewässer. – 260 str. Dtsch. Verlag Grundstoffindustr. Leipzig.

Barnet, I. – Fojtíková, I. (2004): Indoor radon related to uranium in granitoids of the Central Bohemian plutonic complex. Fourth European Conference on Protection against Radon at Home and at Work. – Czech Techn. Univ. Prague.

Chlupáč, I. – Brzobohatý, R. – Kovanda, J. – Stráník, Z. (2011): Geologická minulost České republiky. – 436 str. Academia. Praha.

Morávek, P. – Aichler, J. – Doškář, Z. – Duda, J. – Ďurišová, J. – Hauk, J. – Janatka, J. – Kalenda, F. – Klomínský, J. – Květoň, P. – Litochleb, J. – Malec, J. – Mrázek, I. – Novák, F. – Pouba, Z. – Pudilová, M. – Punčochář, M. – Skácel, J. – Soukup, B. – Studničková, B. – Sztacho, P. – Šponar, P. – Tásler, R. – Váňa, T. – Vaněček, M. – Veselý, J. (1992): Zlato v Českém masivu. – 245 str. Čes. geol. úst. Praha.

Rukavičková, L. – Holeček, J. – Sosna, K. (2014). Změny režimu a chemického složení podzemních vod v okolí termálního experimentu. – Zpr. geol. Výzk. v Roce 2014, 159–163.