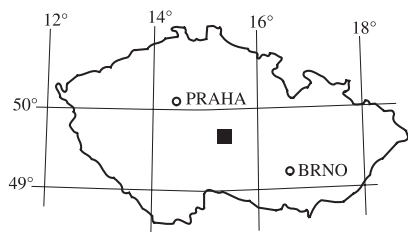


HYDROCHEMICKÝ A HYDROGEOLOGICKÝ MONITORING TESTOVACÍ LOKALITY MELECHOVSKÝ MASIV

Hydrogeological and hydrochemical monitoring of the Melechov pluton test site

JAN BUDKOVSKÝ

Česká geologická služba, Klárov 3/131, 118 21 Praha 1



Key words: hydrochemistry, hydrogeology, groundwater, Melechov pluton, spent fuel repository

Abstract: Within the frame of the project of the Radioactive Waste Repository Authority carried out the detailed geological investigation on the area of the Melechov pluton testing site was realised. Hydrogeological and hydrochemical monitoring of the groundwater was one part of the investigation. The most important aim was the location of important hydrogeologically active fractures. The results argue for a reasonable agreement in identification of the fractures with geophysical results.

The monitoring was focused on the observation of physiochemical parameters (water temperature, pH, specific conductivity, discharge) of 22 springs and water discharge of selected 7 water-courses and their temporal changes in relation to elevated precipitation. Chemical analyses of the main components (Na, K, Mg, Ca, Li, Fe, Al, SiO₂, Cl, NO₃, SO₄, F, NH₄), alkalinity and specific conductivity in each water sample from springs and boreholes were included. For the samples from springs the ²²²Rn total volume activity was estimated. For samples from selected isolated levels in the investigation boreholes some stable isotopes and TOC were estimated too. The probability of the occurrence of the hydrogeologically active fractures is higher in the case of springs which show some anomalies, such as higher values of specific discharge, temporal stable values of discharge, retarded reactions to the extreme precipitation volume, higher water temperature, higher mineralization, higher ²²²Rn total volume activity and higher Na/Ca ratio.

Cíl a postup prací

Principem testovací lokality melechovský masiv je vytvořit komplexní metodiku výzkumu tak, aby byla co nejekonomičtější a přitom co nejméně destruktivní vůči potenciálnímu hostitelskému prostředí pro hlubinné úložiště. Pro nalezení dostatečně velkého a neporušeného horninového bloku je třeba vytvořit prostorový model průběhu tektonických poruch. Lokalizace hydrogeologicky významných tektonických poruch je také jednou z hlavních náplní hydrogeologického a hydrochemického monitoringu. Chemická charakterizace povrchových a podzemních vod může být jedním z indikátorů výskytu tektonických poruch. Ty mohou být predikovány již na základě statistického zpracová-

ní výsledků měření fyzikálně-chemických a hydrologických a hydrometeorologických dat z několikaletého monitoringu pramenů a vodotečí.

Během 1. etapy bylo na 14 km² perspektivních ploch nebo v jejich bezprostřední blízkosti zdokumentováno 28 pramenů, ve 2. etapě přibylo dalších 49. Celkový počet pravidelně monitorovaných pramenů dosáhl počtu 22, všechny drénují na území ploch P-1a a P-1b, primárně určených pro hydrogeologické a hydrochemické studie. Na pramenech byly monitorovány parametry vydatnost, teplota vody, specifická vodivost a pH a společně s měřením průtoku sedmi vybraných vodotečí byly zaznamenávány přibližně v měsíčních intervalech. Na všech dvaadvaceti pravidelně sledovaných pramenech a na dalších šestnácti nemonitorovaných byly jednorázově odebrány vzorky pro celkovou analýzu vod (Na, K, Mg, Ca, Li, Fe, Al, SiO₂, Cl, NO₃, SO₄, F, NH₄), stanovení alkality a stanovení vodivosti. Tyto analýzy byly provedeny i u vodních vzorků z izolovaných etáží vrtů Mel-1 až 5. V případě Mel-1 a Mel-2 byl navíc stanoven celkový obsah organického uhlíku jakožto ukazatel potenciální kontaminace povrchovou vodou použitou pro výplach. Dále byla stanovena celková objemová aktivita ²²²Rn ve vodě u třiceti hydrogeologických objektů.

Výsledky a diskuse

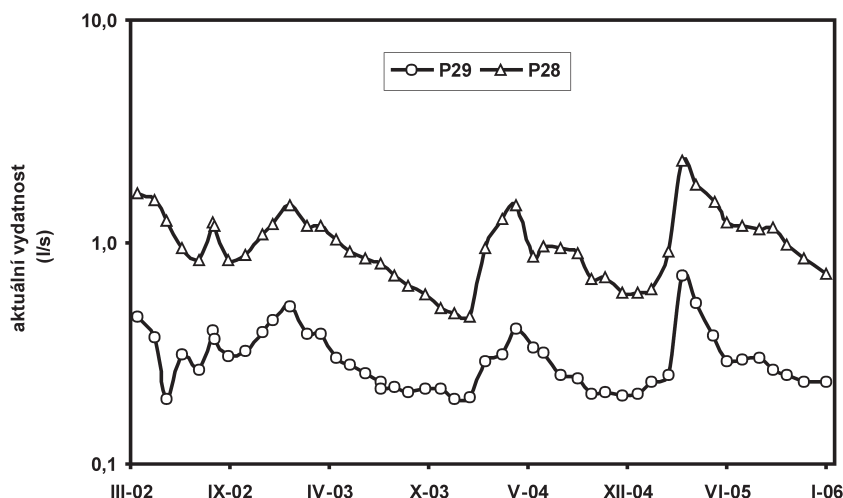
Podle předpokladů je oběh podzemních vod na území perspektivních ploch mělký a je vázán zejména na zvětralinový plášť. Nicméně se prokázala dobrá shoda výskytu pramenů a linií indikovaných geologickým, tektonickým a zejména geofyzikálním výzkumem. Z hlediska identifikace společného oběhu vod mezi různými prameny je zajímavé sledování korelace časového vývoje fyzikálně-chemických parametrů a vydatnosti. Jako indicie pro posouzení hloubky oběhu podzemní vody v místě pramene a tím i potenciální přítomnosti tektonické poruchy může posloužit vzájemná korelace časových změn vydatnosti a fyzikálně-chemických parametrů podzemní vody mezi prameny, dále relativní srovnání míry stability monitorovaných parametrů mezi jednotlivými prameny, rychlosti a intenzity odezvy krátkodobě zvýšených srážkových úhrnů na těchto parametrech.

Z hlediska vydatnosti je možné celkově zhodnotit prameny jako variabilní až subvariabilní. Příkladem pramenů, podle nichž byla lokalizována významná hydrologicky aktivní tektonická porucha a následně potvrzena geofyzikálními metodami, je linie pramenů s identifikačním označením P28 – P29 – P50. Pramen P28 má třetí nejvyšší průměrnou hodnotu vydatnosti (1,1 l/s). Pramen P29 také

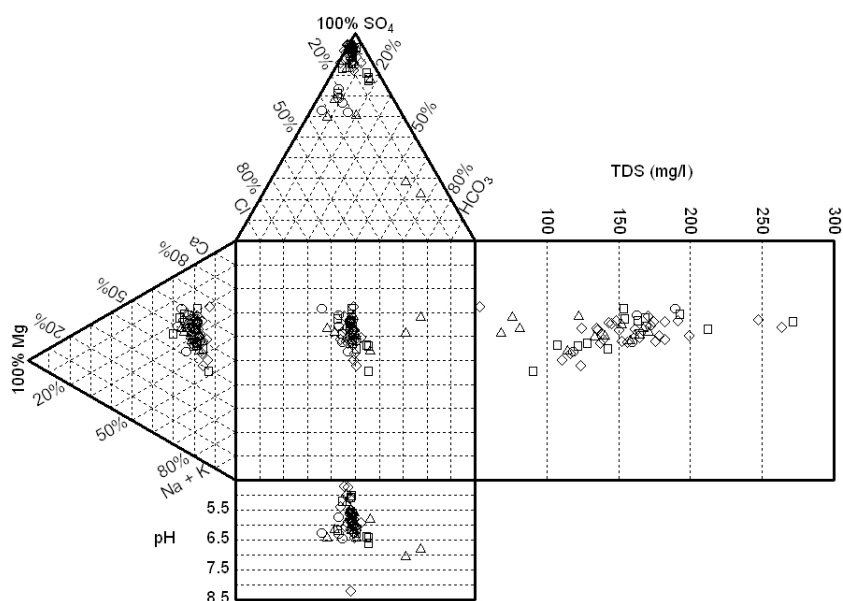
patří do skupiny pramenů s relativně vyšší vydatností. Časové změny vydatností pramenů spolu P28 a P29 spolu dobře korelují (obr. 1); hodnota Pearsonova korelačního koeficientu činí 0,79. Prameny P28 a P29 vyvěrající na území jz. části kry lipnického granitu mají nejméně variabilní vydatnosti ze všech pramenů.

Z hlediska celkové mineralizace (TDS) lze podzemní vody – 54 přírodních vývěrů, 4 ze studen, 2 ze zatopeného lomu – na území všech perspektivních ploch kategorizovat podle Alekinova rozdělení (ALEKIN 1962 in PITTER 1998) do tří tříd: 5 vzorků bylo velmi málo mineralizovaných (TDS do 100 mg/l), 50 vzorků málo mineralizovaných (TDS 100–200 mg/l) a pouze 5 vzorků středně mineralizovaných (TDS 200–500 mg/l), což mimo jiné svědčí pro rychlý oběh podzemních vod ve zvětralinové zóně. Jak je patrné z Durovova grafu na obr. 2, nejvíce variabilní ve smyslu mineralizace jsou prameny vyskytující se na zvodni granitu koutského typu, nejmenší rozptyl mají prameny vyskytující se na zvodni granitu melechovského typu. Podle výsledků analýz patří generálně podzemní vody odebrané na území melechovského masivu mezi vody síranové, vody typu Na-Ca-SO₄. Nejvýraznější podíl na utváření chemizmu podzemních vod na zájmovém území mají sírany. Ty mají patrně původ ve zvětrávání sulfidů. Z kationtů převládá takřka jednoznačně vápník, koncentrací nad 25 mol. ekv. % často dosahuje sodík a zcela výjimečně hořčík. Tato sekvence je obvyklá pro málo mineralizované vody, na jejichž chemickém složení se podílí reakce s aluminosilikátovými horninami. V těchto vodách je obvyklá převaha Ca nad Na, se vzrůstající mineralizací se však koncentrace vápníku nemění, a proto v řadě relativně klesá. Podobně se chová i hořčík (PACES 1983). Mírná převaha sodíku nad vápníkem byla pozorována pouze u tří pramenů – P15, P37 a P49, což by mohlo indikovat hlubší oběh podzemní vody. Tyto prameny mají další společné znaky: mají nejnižší obsahy hořčíku, nejvyšší koncentraci kyseliny křemičité a relativně nižší obsahy síranů. Malé povodí Loukov na v, svahu vlastního vrchu Melechov má nižší průměrný srážkoodtokový poměr (0,3) a vykazuje odtok síranů dvoj- i vícenásobný ve srovnání se srážkami (FORTOVÁ 2000). Koncentrace síranů se pohybuje cca od 30 do 90 mg/l u naprosté většiny pramenů.

Měření objemové aktivity ²²²Rn bylo použito jako doplňkové metody pro lokalizaci tektonických poruch. Ve skupině čtyřiceti vybraných pramenů na všech perspektivních plochách byly naměřeny hodnoty, které oscilovaly v po-



Obr. 1. Časový variogram vydatnosti pramenů P28 a P29 založených na téže tektonické linii.



Obr. 2. Durovův graf základních chemických složek podzemních vod na testovací lokalitě.

měrně širokém intervalu (cca 50 až 1500 Bq/l). Medián činil 588 Bq/l. Aktivity vyšší než 750 Bq/l byly zaznamenány u sedmnácti pramenů, jejichž lokalizace poměrně dobře koresponduje s tektonickými poruchami ověřenými metodami geofyzikálního a tektonického výzkumu v předchozí etapě.

Na území ploch P-1a a P-1b byly identifikovány 2 hlavní systémy hydrogeologicky významných poruch: (1) nejméně 4 linie ssv. směru, (2) 5 jednotlivých linií a 1 poruchové pásmo sz. směru. Tyto linie jsou znázorněny v Účelové hydrogeologické mapě perspektivních ploch 1 : 10 000 (RUKAVIČKOVÁ a BUDKOVSKÝ 2004). Souhrnně je možné konstatovat, že hlubší oběh podzemních vod lze očekávat u pramenů: (a) s výrazně vyšší vydatností ve srovnání s ostatními prameny, (b) se stabilní vydatností a méně výraznými a zpožděnými reakcemi na zvýšené úhrny srážek, (c) se stabilní teplotou podzemní vody, (d) s vyšší teplotou podzemní vody ve srovnání s ostatními prameny, (e) se zvýšenou objemovou aktivitou ²²²Rn, (f) s převahou sodíku

nad vápníkem v celkové analýze podzemních vod, (g) s relativní mineralizací podzemních vod.

Návrh dalších prací

Pro několikaměsíční periodické sledování změn chemizmu podzemní vody odebrané jednotlivě z různých puklinových systémů je žádoucí instalace multipakového systému do výzkumných vrtů Mel-1, Mel-2, Mel-3 a Mel-4. Současně s monitorováním podzemní vody ve vrtu by měl být periodicky sledován chemizmus podzemní vody na prameňech (zejména v okolí vrtů na předpokládaných nebo prokázaných tektonických liniích) a vodotečích, popř. chemizmus srážek v rámci pokračujícího hydrogeologického monitoringu. Monitoring pokračující v dalších etapách projektu v již menším územním rozsahu na plochách P-1a a P-1b bude sloužit ke kontrole vývoje stavu přírodního prostředí na zájmovém území.

V rámci monitoringu by měly být stanoveny tyto parametry: specifická vodivost, pH, základní analýza vod včetně stanovení Si, izotopy $\delta^2\text{H}$, ^3H , $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{34}\text{S}$ (v SO_4), $\delta^{37}\text{Cl}$, $\delta^{87}\text{Sr}$, $\delta^{10}\text{Sr}$, ^{14}C pmc, $\delta^{13}\text{C}$ promile PDB. Pro určení původu podzemních vod vzorkovaných ve vrtech, jejich průměrné doby setrvání (retenční čas) a poměrů mísení je dů-

ležitě vyhodnotit zejména izotopová data z vodních vzorků: $\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$, ^3H , ^{13}C v DIC a DOC, ^{34}S v SO_4 , ^{15}N , popř. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$.

Data získaná v rámci pokračujícího hydrochemického a hydrologického monitoringu včetně výstupů z malého povodí Loukov (součásti monitorovací sítě GEOMON) sledovaného na perspektivní ploše P-1a a případně i nově instalovaných stanic s automatickým odečtem dat na hlavních vodotečích odvodňujících zájmové území budou podkladem pro vyhodnocení celkové hydrologické bilance. Hydrologická bilance území je nenahraditelný vstup pro regionální modelová řešení proudění podzemních vod, výpočet látkových toků a potenciálního rizika transportu kontaminace.

Literatura

- ALEKIN, O. A. (1962): Grundlagen der Wasserchemie. – VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie. Leipzig.
 FOTTOVÁ, D. (2000): Hydrogeochemie v povodí Loukov – závěrečná zpráva. – MS Čes. geol. služba. Praha.
 PAČES, T. (1983): Základy geochemie vod. – Academia. Praha.
 PITTEK, P. (1998): Výpočet celkové mineralizace a její význam v hydrochemii. – Chem. Listy, 92, 772–776.
 RUKAVIČKOVÁ, L. – BUDKOVSKÝ, J. (2004): Detailní povrchový hydrogeologický výzkum a režimní měření na perspektivních plochách P-1a a P-1b. – MS Čes. geol. služba. Praha.

PETROFYZIKÁLNÍ A GEOMECHANICKÉ VLASTNOSTI VZORKŮ HORNIN MELECHOVSKÉHO MASIVU

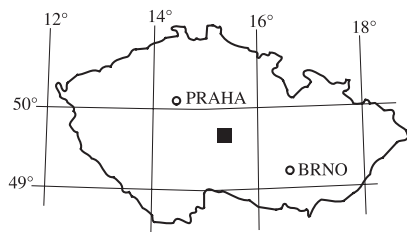
Petrophysical and geomechanical properties of rock specimens of the Melechov massif

JAROMÍR HANÁK¹ – MARTA CHLUPÁČOVÁ²

¹ Česká geologická služba, Leitnerova 22, 658 69 Brno

² Boháčova 866/4, 149 00 Praha

(23-12 Ledec nad Sázavou, 23-21 Havlíčkův Brod)



Key words: granites, Melechov massif, borehole, densities, porosity, distribution of Th, U, U(Ra), K, magnetic susceptibility, AMS, magnetic thermoanalysis, resistivity, P-wave velocity, geomechanical parameters, statistic evaluation

Abstract: In the Melechov massif, methods convenient for investigating radioactive waste deposits were tested in boreholes Mel-1, 2, 3, 4, 5, and 6 located within the test polygons. Density parameters, porosity, natural radioactivity and magnetic susceptibility were measured on specimens of the Lipnice, Kouty and Melechov granites taken from the above boreholes. Velocity of propagation of elastic pressure waves as well as resistivity

(both in three perpendicular directions on a specimen) were measured on a selected collection of specimens. For the structural purpose, the anisotropy of magnetic susceptibility was investigated accompanied by thermomagnetic analyses. In addition, geomechanical properties were investigated such as Young modulus of elasticity, Poisson's ratio, (compressive) cylindrical strength and (effective) fracture toughness. The results help to increase quality of the interpretation of the geophysical methods including the AMS in the whole area of the Melechov massif and they have been presented in full by HANÁK et al. (2006).

Provedené petrofyzikální práce

Fyzikální vlastnosti hornin byly stanoveny na jádrech z vrtů Mel-1, Mel-2, Mel-3, Mel-4, Mel-5 a Mel-6 z výběrových polygonů na lokalitě melechovský masiv (PROCHÁZKA 2001). Výsledky a jejich interpretace jsou dokumentovány v závěrečné zprávě HANÁKA et al. (2006).

Souhrnné počty vzorků odebraných a změřených jednotlivými metodami jsou uvedeny v tabulce 1 včetně vzorků odebraných pro účely tohoto projektu z povrchu.