

Abstrakt

Tato práce je zaměřena na proudění podzemní vody a transport kontaminantů podzemní vodou v prostředí granitových hornin. V práci je převážně diskutován advektivní a disperzní typ transportu kontaminantů. Transport kontaminantů difúzí je komentován pouze okrajově v souvislosti s pórovitostí horninové matrice. Základním cílem předkládané práce bylo charakterizování granitového prostředí z hlediska výzkumu jeho hydraulických a mechanicko-fyzikálních parametrů. Dílčími cíly bylo laboratorní ověření těsnicí funkce injekční směsi v puklinovém prostředí granitových bloků, charakterizování pórovitosti a propustnosti granitové matrice v laboratorním měřítku, zjištění vzájemného propojení puklin mezi vrty *in situ* a stanovení souvislostí mezi strukturou horniny a rychlostmi seismických vln.

Jako vhodné injekční látky byly vybrány 4 směsi bentonitu a cementu v různých hmotnostních poměrech. Na základě výsledků stanovení koeficientu hydraulické vodivosti laboratorních vzorků a dalších aspektů jako např. objemová stálost byla vybrána vhodná injekční směs, kterou byly granitové bloky parciálně injektovány.

Propustnost a pórovitost horninové matrice granitu z lokality Panské Dubenky byla testována na třech laboratorních vzorcích. Hydraulická vodivost byla určena v průběhu deseti testů s rozdílnými konstantními hydraulickými gradienty v nasyceném prostředí. Z výsledků vyplývá, že má testovaný granit průměrnou otevřenou pórovitost 1,05%, celkovou pórovitost 1,13% a koeficient hydraulické vodivosti $4,0 \times 10^{-12} \text{ m.s}^{-1}$. Růstu otevřené pórovitosti laboratorních vzorků odpovídá růst jejich koeficientu hydraulické vodivosti.

Ověření těsnicí funkce injekční směsi bylo realizováno na laboratorním tělese s přirozenou puklinou a dvou tělesech s uměle vytvořenými puklinami z lokality Panské Dubenky. Na volných puklinách byly realizovány stopovací zkoušky s roztokem chloridu sodného a fluoresceinu současně s měřením objemových průtoků v závislosti na definovaném konstantním hydraulickém gradientu v nasyceném prostředí. Poté byly injekční vrty v laboratorních blocích zatěsněny pomocí jílocementové směsi. Následně byly stopovací zkoušky zopakovány. Porovnáním stopovacích zkoušek volných a injektovaných puklin bylo zjištěno, že injekční směs snižuje při shodném hydraulickém gradientu průtok vody o pět řádů a že po její aplikaci se i při hydraulickém gradientu vyšším o tři řády sníží časy prvního objevení stopovače z vteřin na desítky minut a časy maximální koncentrace z minut na hodiny.

Zjištění vzájemného propojení puklin mezi vrty na lokalitě Panské Dubenky bylo realizováno pomocí cross-hole testů se stopovačem fluoresceinem. Data z realizovaných C-H testů byla použita k tvorbě geometrického modelu puklinového systému zájmové lokality a sloužila rovněž ke kalibraci hydrogeologického modelu. Výsledky C-H testů ukazují, že jednotlivé vrty jsou nejčastěji propojeny subhorizontálními puklinami. Vertikální pukliny mají většinou funkci těsnicí.

Vzájemné souvislosti mezi strukturou hornin a rychlostmi seismických vln byly studovány na laboratorních vzorcích ze sedmi lokalit granitoidních hornin v Českém masivu. Rychlosti seismických vln byly měřeny na laboratorních vzorcích, které byly nenasycené, nasycené a vysušené. Rychlosti seismických vln vzorky byly porovnány s jejich objemovou hmotností, pórovitostí a koeficientem hydraulické vodivosti. Dále byly porovnány hodnoty Youngova modulu pružnosti vyhodnocené z rychlosti šíření seismických vln (dynamicky) a stanovené v průběhu jednoosého stlačování (staticky). Rychlosti P-vln i S-vln ve vysušených vzorcích byly nižší než ve vzorcích nasycených. Většina vzorků vykazovala mírnou anizotropii rychlostí. Seismická měření na vzorcích postihla i relativně malé nehomogenity fyzikálních parametrů v rámci monotónního profilu vrtu a indikovala pozvolné litologické přechody. Vzorky ze 4 lokalit vykazovaly nárůst rychlosti seismických vln společně z růstem objemové hmotnosti. Vzorky ze 3 lokalit měly trend poklesu rychlosti seismických vln společně z růstem otevřené pórovitosti. Na vysušených vzorcích z šesti lokalit byl trend snižujících se seismických rychlostí se zvyšujícím se koeficientem hydraulické vodivosti korelovan. Hodnoty dynamických modulů pružnosti stanovených na přirozeně vlhkých vzorcích byly

vyšší než hodnoty modulů statických. Rychlosti P-vln a S-vln měřené napříč vzorky umístěnými v lisu se v průběhu stlačování zvyšovaly. Rozdíl hodnot dynamického a statického modulu pružnosti se v průběhu zatěžování snižoval. Nasycené vzorky měly nižší pevnost v prostém tlaku a statický modul pružnosti než vysušené vzorky ze stejné hloubky. Naopak modul pružnosti stanovený ultrazvukovým prozařováním byl vyšší v nasycených vzorcích než ve vysušených vzorcích z téže hloubky.

Přínosem této práce a současně uveřejněných publikací je komplexní zpracování vlastností granitoidních hornin všemi dostupnými metodami měření s výhledem na realizaci podzemního úložiště radioaktivních odpadů.

Abstract

This work is focused on the groundwater flow and transport of contaminants in the environment of granitic rocks. Mainly advective and dispersive types of transport of contaminants are discussed in this work. Transport of contaminants by diffusion is mentioned only marginally in relation to porosity of rock matrix. The main aim of this work was to characterize hydraulic and mechanical-physical parameters of the granite. Partial objectives were to verify the sealing function of the laboratory grout mixture in fractured granite blocks, to characterize the porosity and hydraulic conductivity of the granite matrix at laboratory scale, to find connection between boreholes *in situ* and to establish a link between the structure of rocks and velocities of seismic waves.

Four bentonite and cement mixtures in different weight ratios have been selected as a grout mixture. Suitable injection mixture was selected based on the results of hydraulic conductivity coefficient, and other aspects, such as volumetric stability. The granite blocks were partially grouted by using of the selected grout mixture.

Hydraulic conductivity and porosity of the granite rock matrix from the Panské Dubenky test site was tested at three laboratory samples. Hydraulic conductivity was determined with different constant hydraulic gradients in the saturated environment. The results show that the tested granite has open porosity 1.05%, total porosity 1.13% and coefficient of hydraulic conductivity $4.0 \times 10^{-12} \text{ m.s}^{-1}$. Increase of the open porosity of the samples corresponds to the increase of the hydraulic conductivity.

Verification of the sealing function of the grout mixture was carried out on laboratory blocks with natural and artificial fractures from the Panské Dubenky test site. Tracer tests in open fractures were carried out with sodium chloride and sodium fluorescein. At the same time the flow rate based on a defined constant hydraulic gradient in a saturated environment was measured. The injection boreholes of the granite blocks were then grouted using bentonite-cement grout mixture. Subsequently, tracer tests were repeated. It was found that grout mixture decreases flow of water five times at the same hydraulic gradient. After application of grout mixture, even when the hydraulic gradient increased by three orders of value, the time of first arrival of tracers increased from seconds to tens of minutes and the time of peak concentration increased from minutes to hours.

The findings of connectivity between boreholes in the Panské Dubenky test site were realized by cross-hole (C-H) tracer tests with fluorescein. The results of C-H tests were used to create a geometric model of fracture net and to calibrate the hydrological model. The results of C-H test show that boreholes are most often connected by subhorizontal fractures. Vertical fractures had usually sealing function.

Relation between the structure of rocks and velocities of seismic waves was studied in laboratory samples from seven localities of granitoid rocks in the Czech Massif. Seismic wave velocities were measured in laboratory samples, which were unsaturated, saturated and dried. Velocities of seismic waves were compared with their bulk density, open porosity and coefficient of hydraulic conductivity. Furthermore, comparison of the Young's modulus evaluated from the velocity of seismic waves (dynamic) and from uniaxial compression tests (static) was made. Velocities of P-waves and S-waves in the dried samples were lower than in the saturated samples. Most of the samples showed moderate anisotropy of velocity. Relatively small inhomogeneities of the physical parameters of the monotonic profile of the borehole and gradual lithological transition were indicated by seismic measurements. Samples from four sites showed an increase in the velocities of seismic waves along the density increase. Samples from three locations showed decrease of seismic waves velocities along the increase of open porosity. The dried samples from six localities showed a trend of decreasing seismic velocity with increasing coefficient of hydraulic conductivity. Values of dynamic modulus of elasticity determined on naturally wet samples were higher than the static modules. Velocities of P-waves and S-waves measured across the sample increased during uniaxial compression. The difference between the dynamic and static modulus

decreased during loading. Saturated samples had lower unconfined compressive strength and static modulus of elasticity than dry samples from the same depth. Conversely modulus determined by ultrasound was higher in saturated samples than in the dried samples from the same depth.

The contribution of this work and published papers is a complex processing of the granitic rocks properties with use of all available measurement methods with a view to implementing the underground disposal site of radioactive waste.