

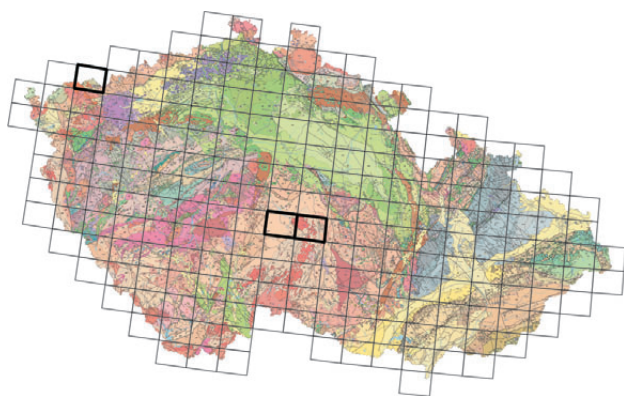
ZÁVISLOST HYDRAULICKÉ VODIVOSTI GRANITŮ NA MÍŘE JEJICH PORUŠENÍ

Hydraulic conductivity and fracture frequency dependence in granite massifs

LENKA RUKAVIČKOVÁ

Česká geologická služba, Geologická 6, 150 00 Praha 5

(23-12 Ledeč nad Sázavou, 23-21 Havlíčkův Brod, 01-43 Horní Blatná)



Key words: Hydraulic conductivity, fracture frequency, granite, mathematical model, Bohemian Massif

Abstract: We evaluated the correlations between number of fractures and hydraulic conductivities in three types of granites in the Bohemian Massif. The evaluation include the Podlesí, Melechov and Lipnice granites. Regardless of the granite type, the correlations have different trends in granites with the conductivities higher respectively lower than 10^{-8} m.s^{-1} . The correlation between the two parameters is positive and sometimes it is statistically insignificant in granite with the conductivity below 10^{-8} m.s^{-1} . The correlation is negative in the sections with the conductivity above 10^{-8} m.s^{-1} . The less fractures are in the sections, the higher probability is that a single fracture with relatively very high conductivity is present. Combined mathematical models are the most suitable tools for groundwater flow simulation in heterogeneous fracture environment. They include equivalent continuum representation of small fractures and discrete fracture network of large conductive fractures or fractures zones.

Kromě nejsvrchnější části granitových masivů, která je tvořena zvětralinovým pláštěm většinou písčitého či hlinitopísčitého charakteru, je vlastní granit z hydrogeologického hlediska prostředím ryze puklinovým. Podzemní vody zde proudí prakticky výhradně po puklinách. Hydraulická vodivost neporušené horninové matrice je velmi nízká. Koeficient hydraulické vodivosti k (m.s^{-1}) je u neporušeného granitu v řádu 10^{-11} a menší, z hlediska proudění může horninovou maticí považovat za nepropustnou.

Při matematickém modelování proudění podzemních vod v puklinovém prostředí je často reálná puklinová síť nahrazována stochastickou puklinovou sítí generovanou na základě statistické analýzy strukturně geologických měření. Pro obvykle tři hlavní směry puklin (puklinové třídy) jsou generovány sady puklin, jejichž četnost a odchylky od generelního směru a sklonu příslušné puklinové třídy od-

povídají datům zjištěným v terénu. Obecně je pak při modelování vycházeno z předpokladu, že čím vyšší je četnost puklin v hornině, tím vyšší je i její propustnost, tedy hydraulická vodivost. Takový ryze puklinový model byl aplikován na simulaci proudění mezi trojicí vrtů v podleském granitovém pni v Krušných horách (RUKAVIČKOVÁ 2006, SEVERÝN et al. 2006). Model vykazoval dobrou shodu s reálnými daty z hydrodynamických zkoušek ve svrchní části masivu do hloubky 50 m; pro tuto část je typická vyšší míra otevření a propojení menších puklin. V hlubších částech masivu s vysokou heterogenitou hydraulických vlastností shody dosaženo nebylo ani po kalibračních krocích, které zahrnovaly částečné potlačení stochasticky generované sítě a deterministické zadání významných vodivých puklin zjištěných terénním výzkumem.

Jedním z cílů navazujícího hydrogeologického výzkumu bylo proto stanovení vztahu mezi hydraulickou vodivostí granitů a mírou porušení testovaného horninového prostředí. Tento vztah má rozhodující význam pro výběr vhodných modelovacích nástrojů pro budoucí aplikace zejména v oblasti výběru vhodné lokality pro hlubinné úložiště radioaktivních odpadů.

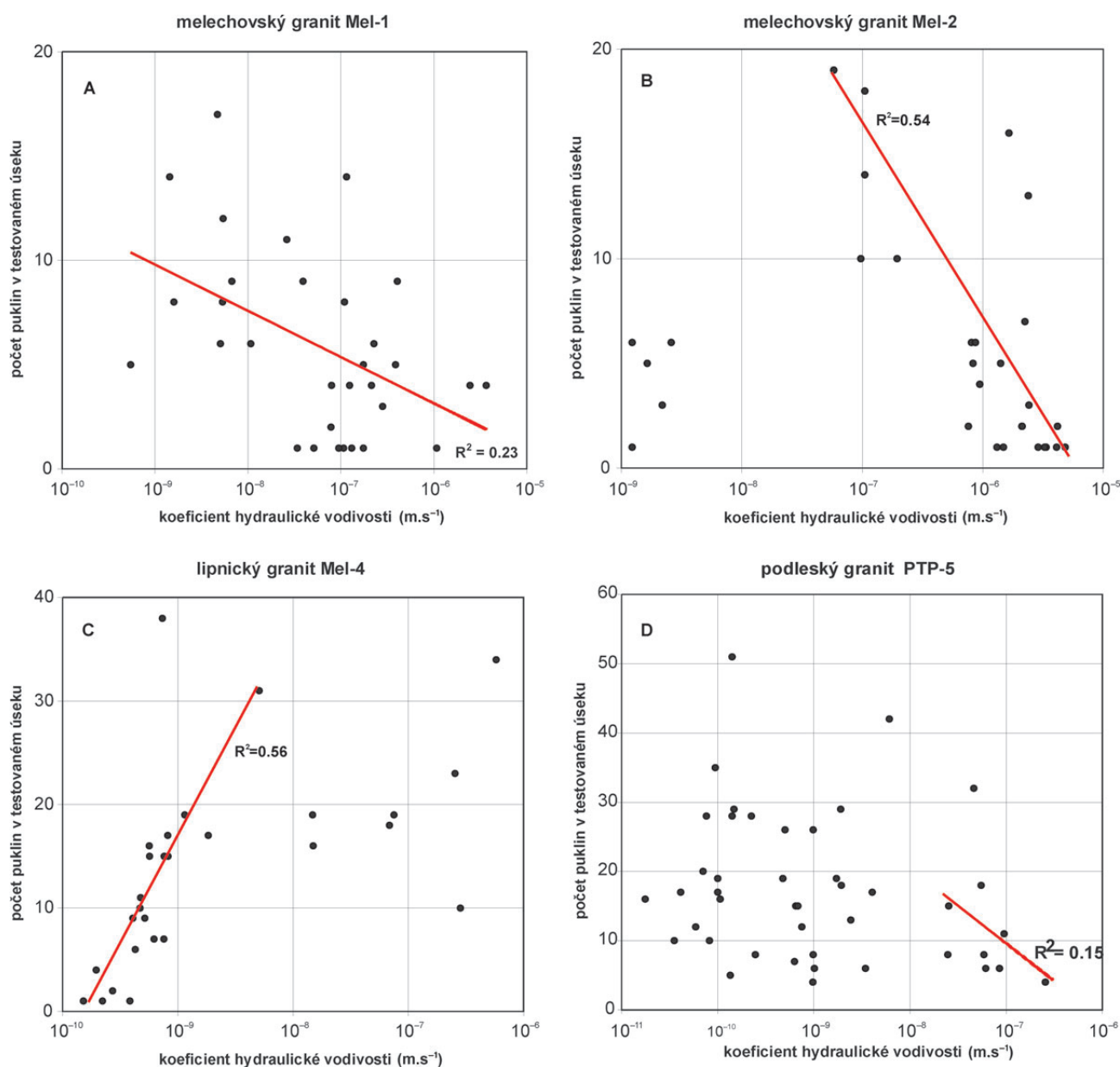
Metodika

Pro vyhodnocení jsme využili výsledky etážových hydrodynamických zkoušek se standardním intervalem pakrů 6 m (RUKAVIČKOVÁ 2006) a strukturní popisy příslušných vrtných jader (HAVÍR 2006, LEXA – SCHULMANN 2006). Pro každý testovaný interval byla porovnávána hodnota koeficientu hydraulické vodivosti s počtem puklin zastižených vrtným stvolem v tomto intervalu. Do další etapy vyhodnocení jsme zahrnuli i vliv sklonu puklin. K dispozici byla data ze tří typů granitů do hloubek 300 m. Byl to podleský granit – část variského nejdecko-eibenstockého granitového masivu – a lipnický a melechovský granit, součást melechovského granitového masivu.

Výsledky výzkumu

Korelace tektonických a hydrogeologických dat pro různé vrty a různé typy granitů přinesla zajímavé výsledky. Příklady pro jednotlivé vrty a typy granitů jsou uvedeny v obr. 1.

U granitu melechovského typu byl zaznamenán zřetelný trend poklesu hydraulické vodivosti se zvyšujícím se počtem zastižených puklin v etáži. Pouze u vrtu Mel-2 leží několik etáží mimo trend naznačený červenou linií (obr. 1B); jsou to etáže s nejnižší hydraulickou vodivostí (k je v řádu



Obr. 1. Vztah četnosti puklin a hydraulické vodivosti v melechovském (A, B), lipnickém (C) a podleském (D) granitu.

$10^{-9} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) a zdá se, že u nich naopak hydraulická vodivost s počtem puklin roste.

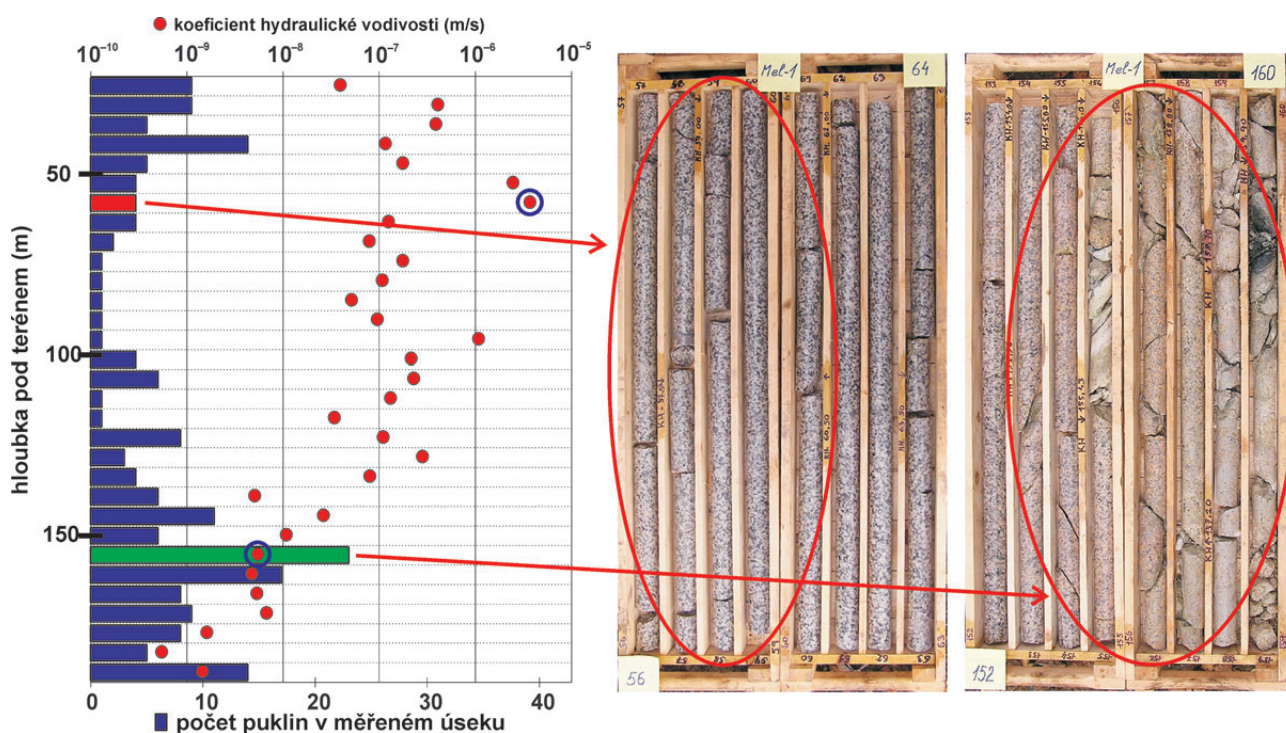
Velmi výrazný trend růstu hydraulické vodivosti se stoupajícím počtem puklin je vidět na obrázku 1C v lipnickém granitu, i zde jde o etáže s nízkou hydraulickou vodivostí v řádech 10^{-10} až $10^{-9} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Pro vyšší hydraulické vodivosti jakoukoliv závislost sledovaných veličin v lipnickém granitu nelze vysledovat.

Posledním hodnoceným typem granitu je granit podleský (obr. 1D). Zde hydraulická vodivost v oblasti nízkých hodnot (pod $10^{-8} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) nezávisí na četnosti puklin v měřeném úseku a při vyšších hydraulických vodivostech je trend obdobný jako v granitu melechovském, tedy pokles hydraulické vodivosti se zvyšujícím se počtem zastižených puklin v etáži.

Výsledky vyhodnocení potvrdily velmi slabý vztah četnosti puklin a hydraulické vodivosti u granitů České-

ho masivu. Vzájemná vazba těchto parametrů závisí na typu granitu. Ze sledovaných typů granitů se obecnému předpokladu „čím více puklin, tím vyšší propustnost“ nejvíce blíží granit lipnický z melechovského masivu. Pro melechovský granit je naopak typický inverzní trend, tedy vysoká hydraulická vodivost úseků s nízkou četností puklin.

Typický příklad inverzního trendu v melechovském granitu je znázorněn v obr. 2. Podíváme-li se na profil vrtu Mel-1 v melechovském granitu, je zřejmé, že úsekům s vysokou četností puklin neodpovídají vysoké hodnoty hydraulické vodivosti. Etáž s nejvyšší hydraulickou vodivostí $4,5\cdot 10^{-6} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (v obr. 2 označena červeným sloupcem) má velmi nízkou četnost puklin. Na druhou stranu poruchová zóna s vysokou četností puklin (zelený sloupec) má hodnotu hydraulické vodivosti srovnatelnou s okolním horninovým prostředím a o tři řády nižší než výše uváděný úsek



Obr. 2. Hloubkový profil vrtu Mel-1 v melechovském granitu zahrnující četnost puklin a hydraulickou vodivost testovaných etáží. V pravé části obrázku jsou uvedeny fotografie vrtných jader vybraných intervalů.

s nízkou četností puklin. V pravé části obrázku jsou snímky vrtných jader příslušných testovaných úseků. Vysoce vodivá puklina se nachází v úseku na první pohled téměř neporušeném, kde se vyskytují pouze subhorizontální pukliny velice obtížně odlišitelné od čerstvých prasklin, vzniklých v průběhu vrtného procesu při manipulaci s vrtným jádrem. V obrázku 2 jsou zvýrazněny extrémy melechovského granitu, s podobnými příklady se setkáváme i u jiných typů granitů.

Bez ohledu na typ granitu má obvykle závislost četnosti puklin a hydraulické vodivosti rozdílný charakter u prostředí s hydraulickou vodivostí nad, respektive pod hodnotou 10^{-8} (10^{-9}) $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

V prostředí s nízkou hydraulickou vodivostí jsou oba parametry na sobě zcela nezávislé, nebo s rostoucím počtem puklin roste i hydraulická vodivost. V úsecích s vyšší hydraulickou vodivostí je trend obvykle inverzní – čím nižší počet puklin v měřeném úseku, tím vyšší je pravděpodobnost výskytu otevřené vodivé pukliny.

Sklon puklin zastižených vrtným stvolem má na hydraulickou vodivost jen nepatrný vliv. V druhé fázi vyhodnocení jsme v grafech obr. 1 počet puklin nahradili plochou průsečků puklin s pláštěm vrtu, charakter závislosti se ale prakticky nezměnil. Ze srovnání procentuálního zastoupení puklin různých sklonových tříd v etážích vyplynulo, že hydraulická vodivost stoupá se zvyšujícím se zastoupením plochých puklin, což je dáno faktem, že zastižené významné propustné pukliny byly v naprosté většině subhorizontální.

V melechovském i lipnickém granitu byly v hloubkách pod 140 m zastiženy výrazné tektonické poruchy, zatěsněné sekundárními minerály. Jejich mocnost kolísala mezi

10–30 m. Pro tyto poruchy byl typický rozpukaný, silně alterovaný drčený granit. Hydraulická vodivost byla díky zatěsnění puklin srovnatelná s okolním neporušeným horninovým prostředím. Jílové minerály mají z hlediska šíření znečištění lepší sorpční vlastnosti než vlastní granit. Ze strukturně geologického hlediska významné poruchové zóny proto nemusí být současně i dobrými vodiči podzemních vod, naopak zatěsněné poruchy či jejich úseky mohou hrát úlohu přírodní bariéry (izolátoru).

Závěr

Srovnání strukturních měření a výsledků hydrodynamických zkoušek ve vrtech v Českém masivu ukázalo, že ve svrchních 300 m granitových masivů je závislost mezi četností puklin a hydraulickou vodivostí velmi slabá a setkáváme se i s inverzním trendem.

Tyto poznatky jsou významné pro volbu matematického modelu. Stochasticky generovaná puklinová síť na základě statistického zpracování strukturně geologických dat pro matematické modelování proudění podzemních vod v puklinovém prostředí není příliš vhodná, protože neodpovídá reálnému stavu proudění po malém počtu otevřených puklin.

Do modelu je třeba zadávat přednostně deterministicky určené významné pukliny a propustné puklinové zóny a stochasticky zadanou síť ostatních puklin spíše potlačovat. Z tohoto hlediska se jeví velmi přínosné modely kombinované, které umožňují deterministické zadání významných puklin a puklinových zón a méně významné pukliny nahrazují ekvivalentním porézním médiem.

Poděkování. Zde uvedené výsledky výzkumu vznikly za podpory Výzkumného centra „Pokročilé sanační technologie a procesy“, ID 1M4674788502, MŠMT.

Literatura

- HAVÍŘ, J. (2006): Studium křehkých poruch v širším okolí obce Potůčky. Dílčí zpráva. In: RUKAVIČKOVÁ, L. et al. (2006): Závěrečná zpráva Programu státní podpory výzkumu a vývoje MŽP – projekt VaV/660/2/03 „Vývoj metodiky identifikace a matematického modelování proudění a geochemické interakce v rozpukaném prostředí kompaktních hornin“. – MS Min. život. prostředí. Praha.
- LEXA, O. – SCHULMANN, K. (2006): Vyhodnocení povrchových křehkých struktur a puklinové sítě na testovací lokalitě Melechovský masiv. Projekt: Provedení geologických a dalších prací na testovací lokalitě Melechovský masiv – 2. etapa. – MS Správa úložišť radioaktiv. odpadů. Praha.
- RUKAVIČKOVÁ, L. (2006): Vývoj metodiky hydraulického testování rozpukaného masivu. Disertační práce. – MS Techn. univ. Liberec.
- SEVERÝN, O. et al. (2006): Matematické modelování. Dílčí zpráva. In: RUKAVIČKOVÁ, L. et al. (2006): Závěrečná zpráva Programu státní podpory výzkumu a vývoje MŽP – projekt VaV/660/2/03 „Vývoj metodiky identifikace a matematického modelování proudění a geochemické interakce v rozpukaném prostředí kompaktních hornin“. – MS Min. život. prostředí. Praha.