

Migrační experimenty: vývoj nástrojů a detekčních metod pro studium transportních parametrů v puklinovém prostředí krystalických hornin

Filip Jankovský^{1*}, Milan Zuna¹, Václava Havlová¹, Pavel Kůs², Jakub Jankovec³, Milan Hokr⁴, Daniela Doubravová⁵, Johannes Kulenkampff⁶

¹ÚJV Řež, a.s. (*filip.jankovsky@ujv.cz); ²Centrum výzkumu Řež s.r.o.; ³PROGEO, s.r.o.; ⁴Technická univerzita v Liberci; ⁵ADVACAM s.r.o.; ⁶Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (DE)



⁶Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (DE)

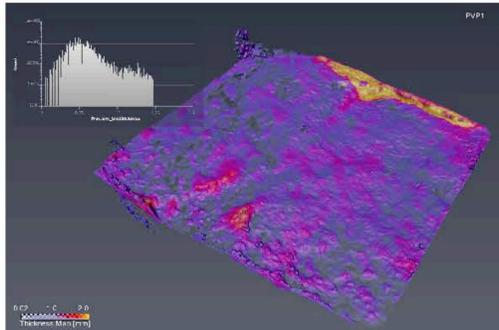


Příspěvek shrnuje průběžné výsledky z projektů, jejichž úkolem je studium transportu kontaminantu v puklinovém prostředí krystalických hornin. Za tímto účelem jsou vyvíjeny on-line detekční metody pro různé druhy stopovacích látek (radionuklidy, těžké kovy, nanomateriály). Migrační experimenty jsou realizovány v laboratorních podmínkách na horninových vzorcích různého měřítka s přirozenou nebo uměle vytvořenou puklinou. Experimentální data slouží pro predikci výsledků pomocí matematických modelů (MODFLOW+MT3D, Flow123d, Feflow) a následnou optimalizaci postupů modelování.

Detailní 3D charakterizace puklin v horninových vzorcích cm a dm měřítka



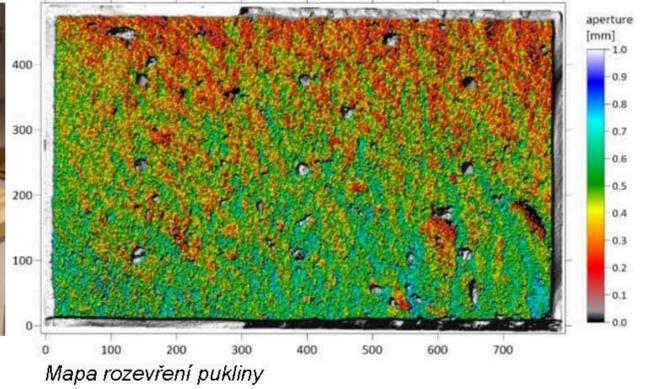
Vzorek vrtného jádra z PVP Bukov s přirozenou puklinou o rozměrech 7,8 x 9 cm



Topografie přirozené pukliny s grafem četnosti rozevření



Granitový blok s uměle vytvořenou puklinou o rozměrech 80 x 50 cm



Mapa rozevření pukliny

- μ CT hustotní mapování neporušených vzorků s přirozenou puklinou (HZDR, Německo)
- Rozlišení zobrazovací metody (Nikon XTH225ST) : 50 μ m
- Po segmentaci pukliny lze zjistit mapu rozevření pukliny

- 3D sken obou částí pukliny vzniklých rozlomením bloku
- Mapa rozevření pukliny generovaná na základě dat z 3D skeneru po sesazení bloku
- Rozlišení zobrazovací metody (Romer Absolute Arm) : 100 μ m
- Srovnání změřeného, hydraulického a transportního rozevření

Migrační experimenty v umělé puklině (in - situ detekce stopovacích látek)

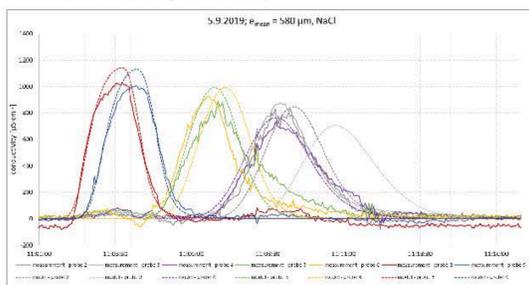


Instrumentovaný blok pro in-situ záznam změn vodivosti v čase (KCl, NaCl)

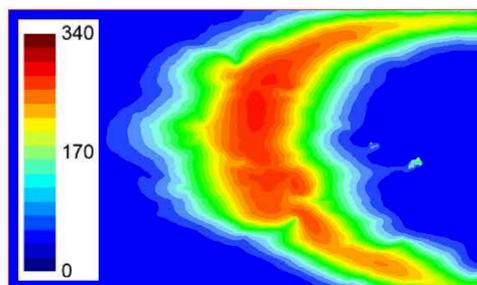


Instrumentovaný testovací blok pro in-situ záznam změn frekvence magnetické susceptibility

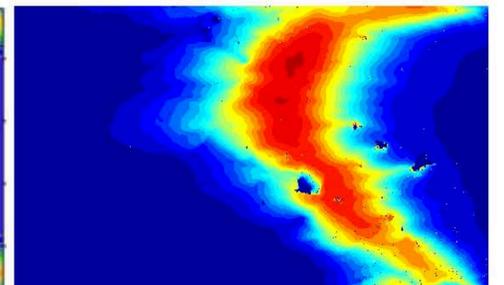
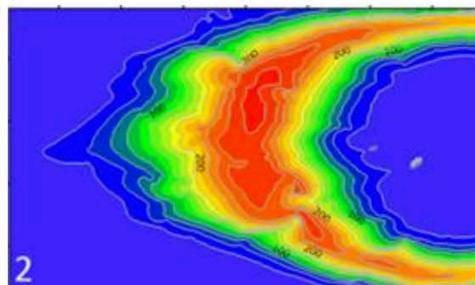
- In-situ detekce šíření stopovacích látek puklinou je zajištěno senzory, které jsou umístěny ve vrtech dosahujících až na kontakt s puklinou
- Kalibrace modelů transportního rozevření je dána shodou simulovaných a změřených průnikových křivek
- Konzervativní (nesorbující se) stopovací látky: NaCl, KCl, KI, HTO, HDO
- Reaktivní (sorbujiící se) stopovací látky: Pb(ClO₄)₂, nZVI nanočástice (nanoželezo)



Srovnání změřených a simulovaných průnikových křivek v devíti monitorovacích pozicích v puklině



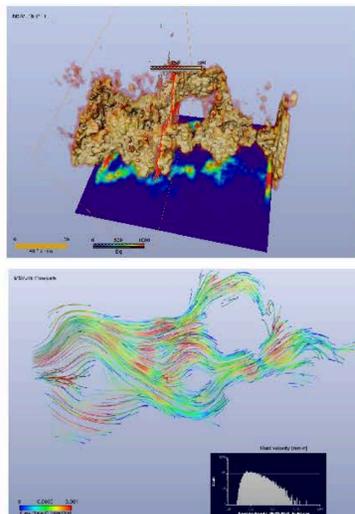
Porovnání transportních modelů nezávisle vypočtených třemi softwary (MT3D, Feflow a Flow123d) při průniku stopovací látky puklinou v čase (t)



Migrační experimenty v přirozené puklině (vizualizace pohybu stopovacích látek)

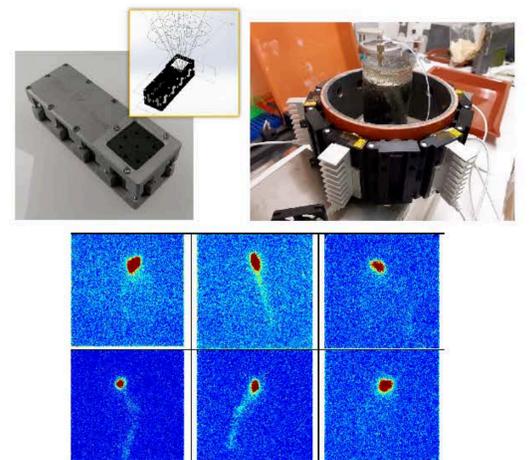
GeoPET (HZDR, Lipsko)

- Pozitronová emisní tomografie
- Rozlišení metody: 1 mm
- Krátkodobý izotop: [¹⁸F]KF (aktivita 100 MBq)
- Průtok: 1 ml/hod
- Výstupem je mapa aktivity a rychlosti proudění uvnitř pukliny
- Prokázáno heterogenní šíření kontaminačního mraku puklinou (channeling)



MiniPIX (ÚJV, ADVACAM)

- Vývoj a testování krátkodobých radionuklidů
- Výroba RN v LVR-15 (experimentální reaktor)
- Detektor Minipix Timepix3 (CdTe 2 mm)
- 12 detektorů – variabilní geometrie
- Výroba a měření krátkodobých izotopů rhenia a holmia (¹⁸⁸Re, ¹⁶⁶Ho)
- Výroba krátkodobých nanočástic – aktivace (Ho)
- Statické i dynamické experimenty – přirozená /umělá puklina
- 3D rekonstrukční SW



Vizualizace šíření ¹⁶⁶Re v přirozené puklině (6 detektorů)

Závěry

- Ověřeno systematicky vyšší transportní rozevření v porovnání s hydraulickým, advektivní transport je ovlivněn třením v puklině
- Využití krátkodobých izotopů je vhodné pro studium transportních procesů (citlivost, 3D transport, minimalizace odpadu aj.)