

Modelová interpretace hydraulických
a migračních laboratorních testů na
granitových vzorcích



Přehled obsahu

- Problematika puklinových modelů
- Přehled laboratorních vzorků a zkoušek
- Použité modelové aplikace
- Simulace testů vzorků “válec“
- Simulace testů vzorků “hřeben“
- Simulace testů vzorku “blok“
- Shrnutí výsledků



Modelování puklinového prostředí

- Rozvoj výzkumu orientovaného na puklinové prostředí
- Matematické modely pro puklinové prostředí – problematické praktické využití
- Velká nehomogenita a anisotropie prostředí
- Velká konceptualizace geometrie prostředí
- Velké zjednodušení matematicko-fyzikálního aparátu pro simulace procesů
- Nedostatek modelových vstupních a kalibračních dat

Projekt č.: V09/2004 MPO-ČR

Metody a nástroje hodnocení vlivu inženýrských bariér na vzdálené interakce v prostředí hlubinného úložiště

- Ověření možnosti predikce vlivu aplikovaných inženýrských bariér na migrační parametry zvodnělých puklinových systémů
- Matematický model jako analytický a predikční nástroj
- laboratorní zkoušky, terénní testy, modelová řešení
- ISATech s.r.o., SG Geotechnika, a.s., PROGEO s.r.o., A.V.ČR



Přehled testovaných laboratorních vzorků

- Testováno v laboratoři SG Geotechnika, a.s.
- Granit z lomu v Panských Dubénkách
- Tři typy (tvary) granitových těles
- Válec, hřeben, blok
- Tektonicky neporušené, přirozeně porušené, s uměle vytvořenou puklinou

Žulový lom Panské Dubénky

- místo původu vzorků a vody pro laboratorní testy
- testovací lokalita



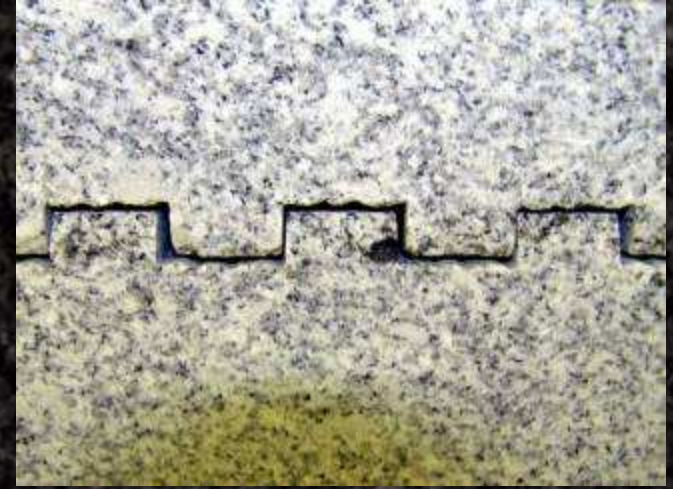
Tělesa typu válec

- 17 těles
- průměr podstavy 83 – 137 mm
- výška 151 – 201 mm
- v ose vrt s průměrem 19 mm
- bez viditelné tektoniky
- tektonicky porušené
 - otevřené pukliny
 - vyhojené pukliny



Tělesa typu hřeben

- 2 vzorky s umělou puklinou
- kvádrové dvoudílné bloky 800×600×300 mm
- umělá otevřená pulina
- na opačných pólech 2 vrty (injekční 19 mm, extrakční 45 mm)
- 1. vzorek - puklina bez výplně
- 2. vzorek – puklina vyplněna granitovým pískem frakce 0.5 mm



Těleso typu blok

- krychlové těleso s hranou 600mm
- sub-horizontální puklina se sklonem cca 7.5°
- umělé zprůchodnění přirozené pukliny
- ve středu jedné z podstav injekční vrt s poloměrem 18 mm
- puklina po obvodu tělesa zatěsněna až na cca 48 mm odtokový otvor



Laboratorní testy

GEOMETRICKÁ MĚŘENÍ

- měření **rozevření puklin** na obvodu vzorků a ve vrtech
- **měření rozsahu poruchových zón** pomocí barviva

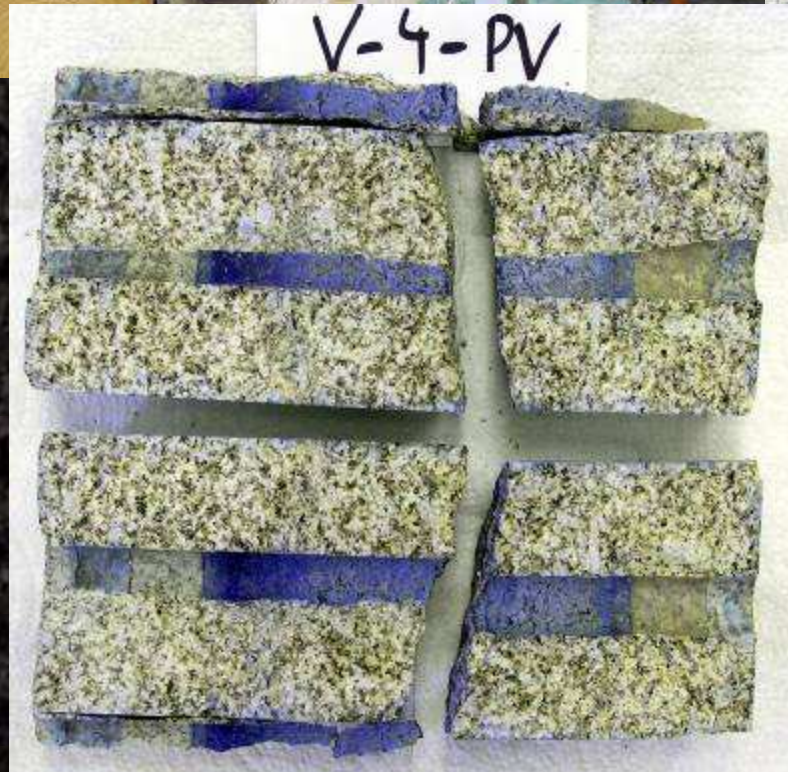
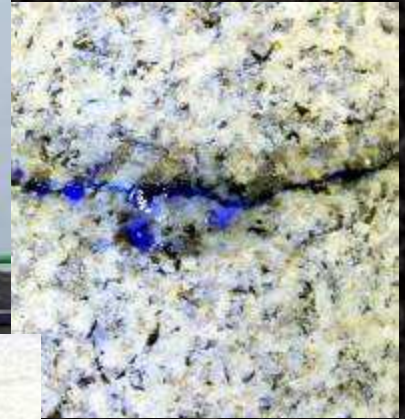
HYDRAULICKÉ

- válce, hřebeny, blok
- stacionární podmínky proudění při konstantním gradientu
 - byreta, trojosý přístroj, marriottova láhev
- každý vzorek testován pro tři gradienty
- nasycené prostředí
- **velikost průtoku vzorkem**

MIGRAČNÍ

- hřebeny, blok
- stacionární podmínky proudění
- konzervativní stopovač NaCl
- detekce pomocí měření el. konduktivity
- **průniková křivka průtoku stopovače**





Použité aplikace - NAPSAC

- NAPSAC 9.3
- Modul programového balíku CONNECTFLOW
- Koncept diskrétní puklinové sítě
- Jednotlivé pukliny s konstantním nebo variabilním rozevřením
- Kombinace deterministického a stochastického zadávání puklin
- FEM
- 2D proudění v jednotlivé puklině / 3D puklinové sítě
- Modelování hustotně závislého proudění a transportu ve variabilně nasyceném prostředí
- Stacionární i transientní varianta modelu proudění
- Transport roztoku a radionuklidů pomocí techniky particle tracking
- Advekce, disperze, difúze, sorpce

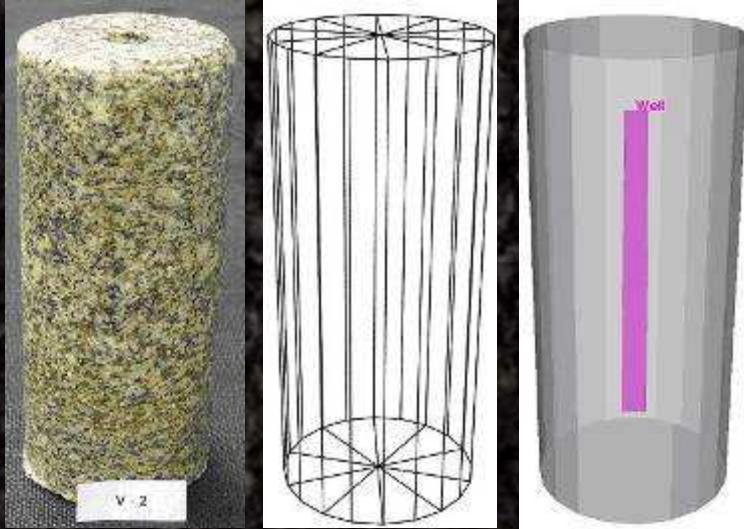
Použité aplikace - Feflow

- Feflow 5.2
- Komplexní modelová aplikace
- Koncept ekvivalentního kontinua s možností využití diskrétní pukliny
- Jednotlivé pukliny s konceptem paralelních ploch
- deterministické zadávání puklin pomocí diskrétních prvků
- FEM
- 2D proudění v jednotlivé puklině / 3D v doméně
- Modelování hustotně závislého proudění a transportu ve variabilně nasyceném prostředí
- Stacionární i transientní varianta modelu proudění
- Transport roztoku, radionuklidů a tepla
- Advekce, disperze, difúze, sorpce

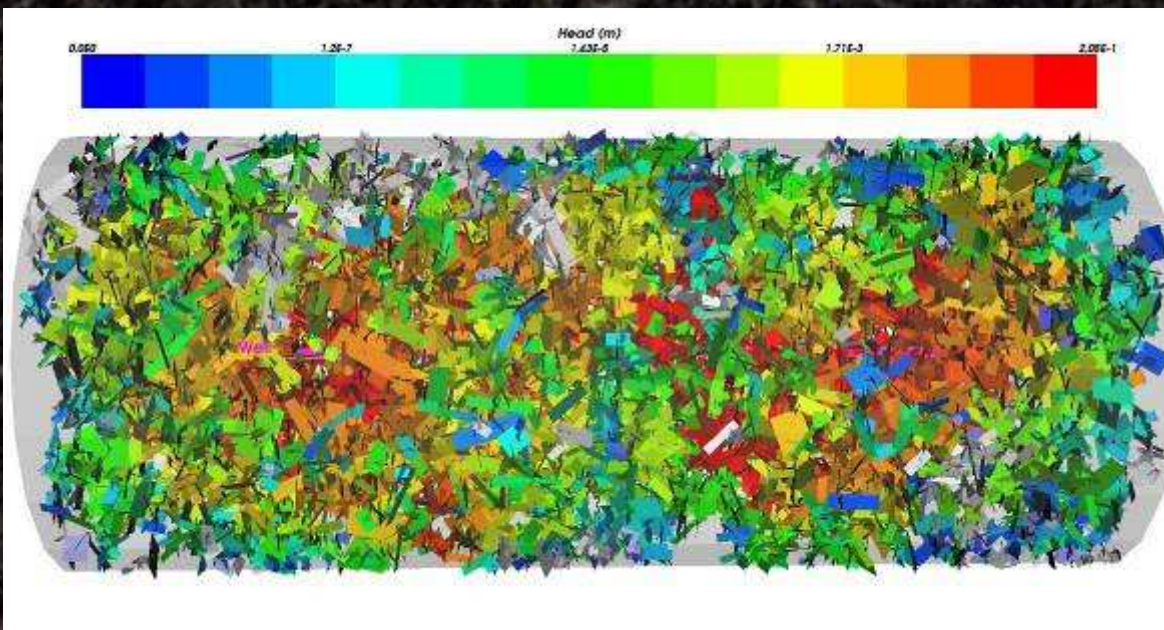


Simulace testů na válcových vzorcích

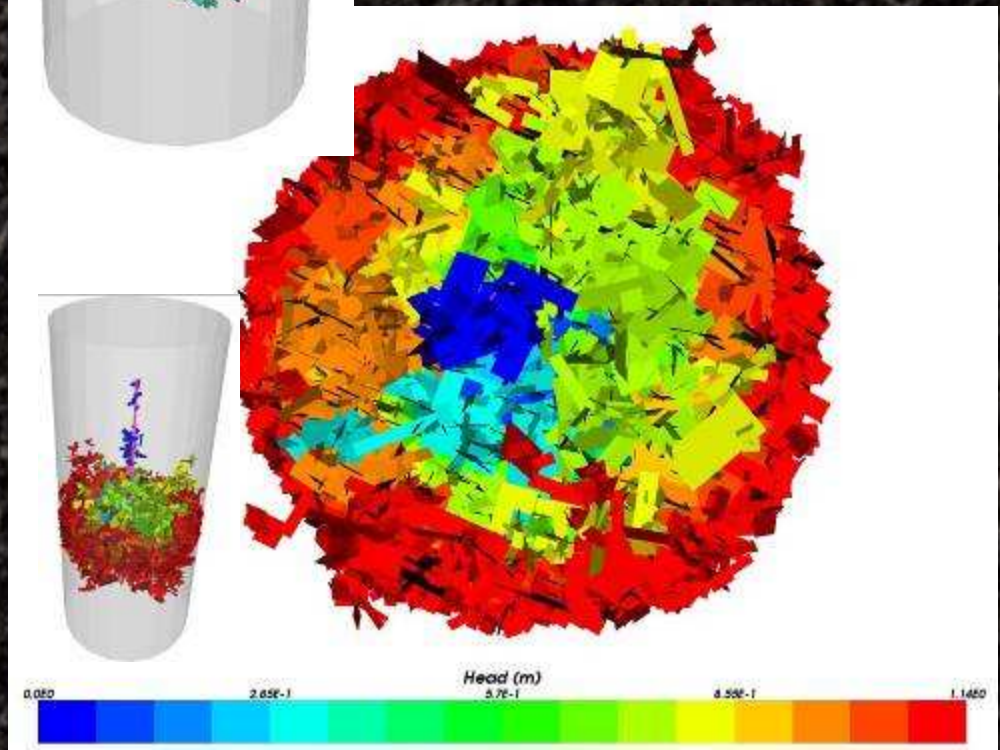
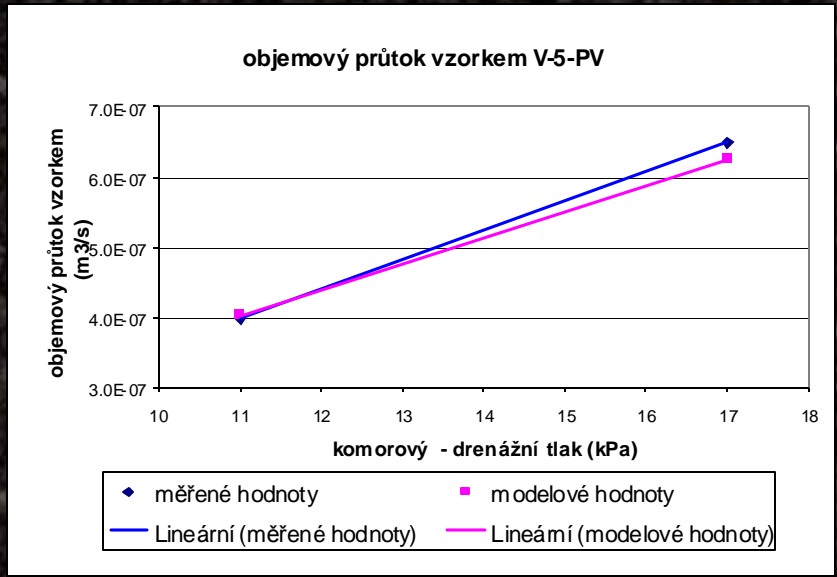
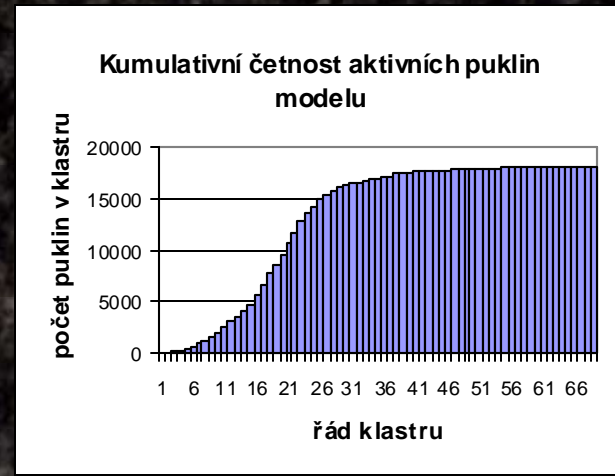
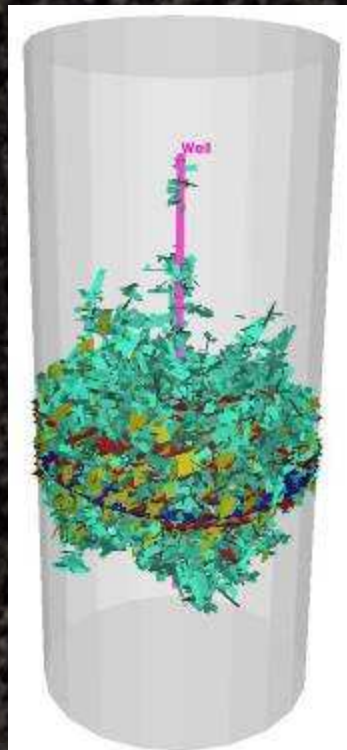
NAPSAC



- Modelová doména
 - 10 čtyřbokých hranolů
 - 1 geotechnický objekt
- Okrajové podmínky – konstantní tlak v závislosti na typu testu
- Vzorky bez viditelného porušení
 - všesměrná stochastická sada (mikrotektonika, pórová propustnost)

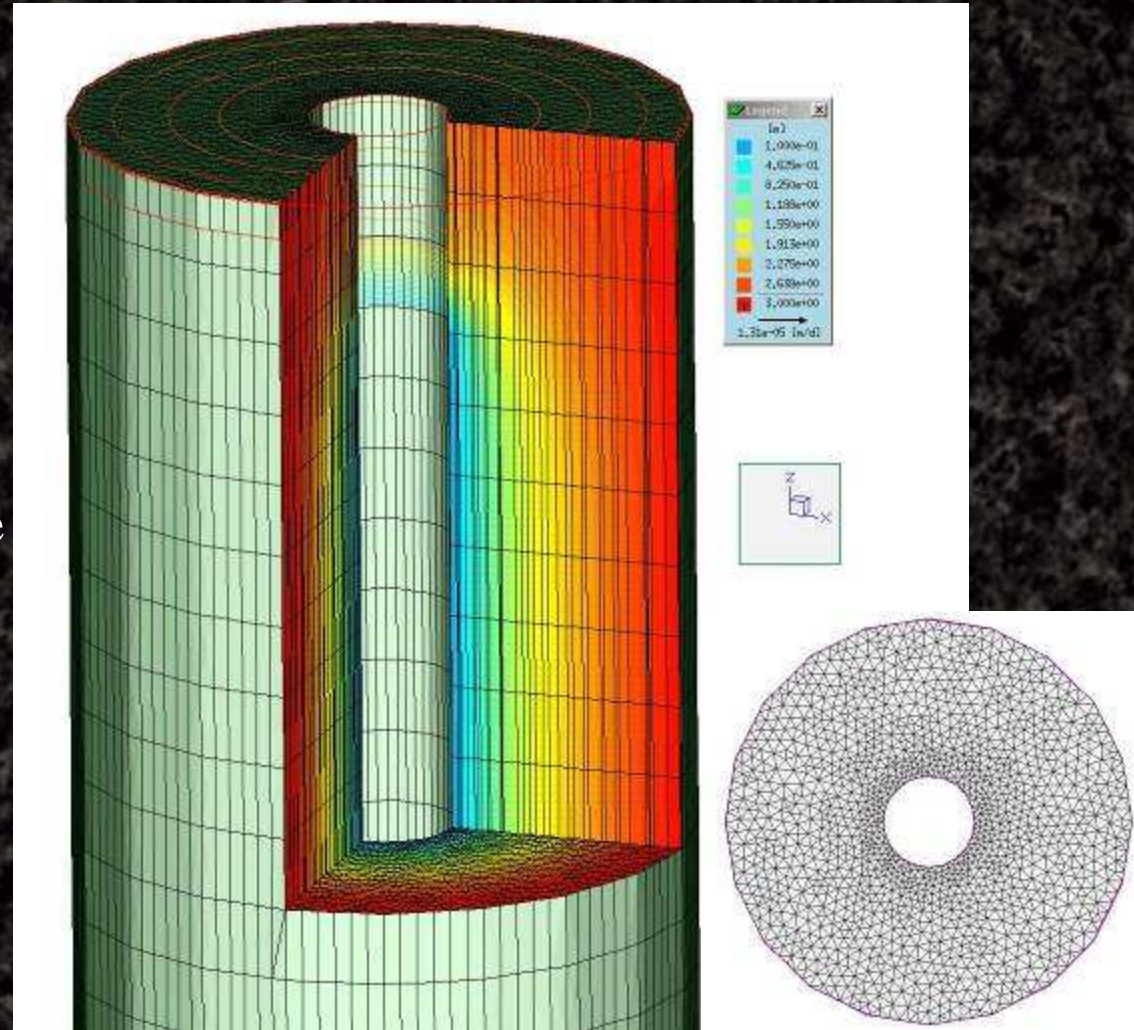


- Viditelná puklina – diskretní deterministická puklina s proměnlivým rozevřením
- Doprovodné puklinové sady – mikropukliny směrově závislé na mateřské puklině
- Všesměrné poručení – všesměrná nezávislá sada
- Vedení vody závisí na vyhojení mateřské pukliny

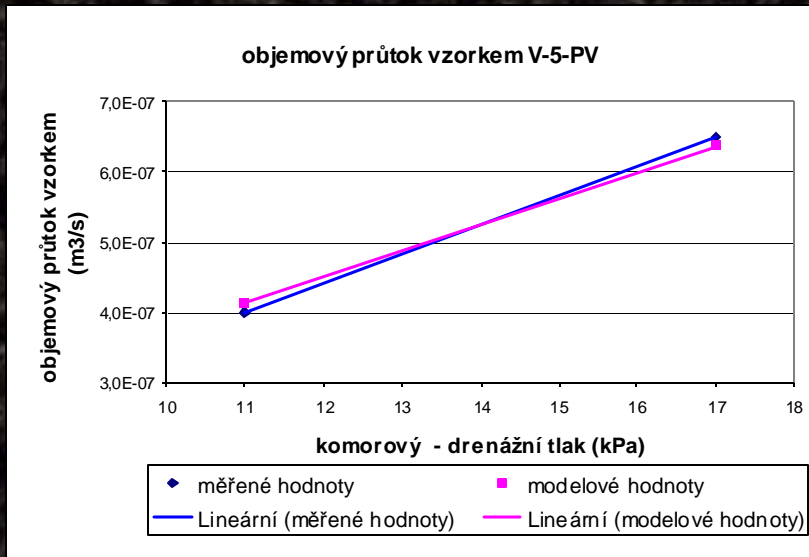
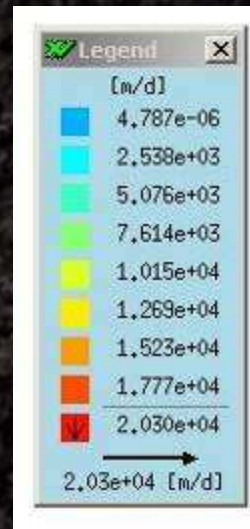
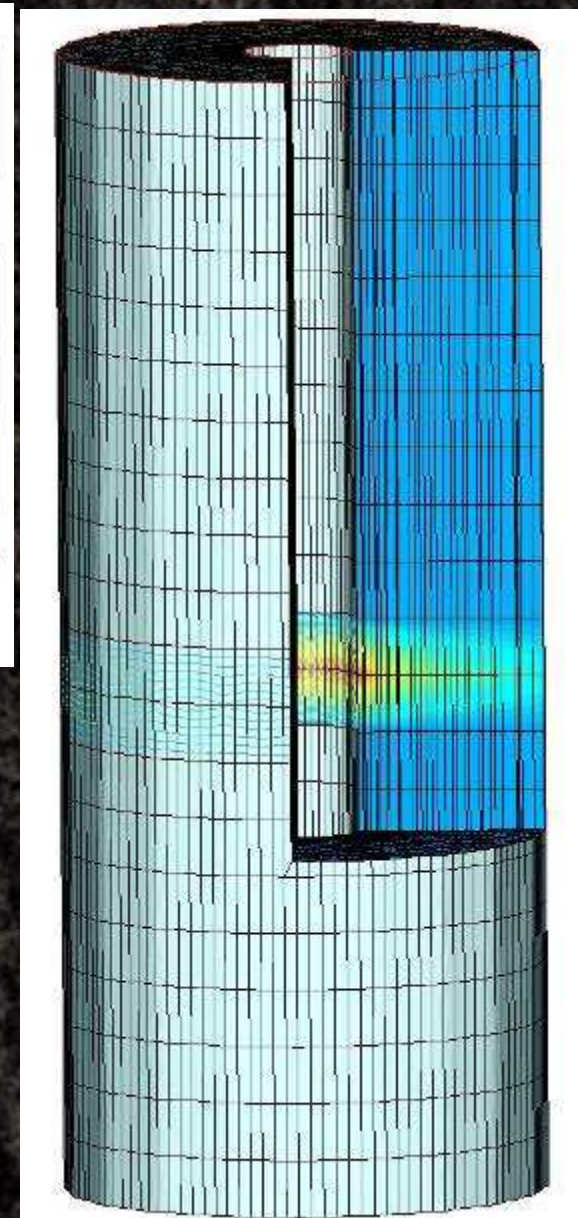
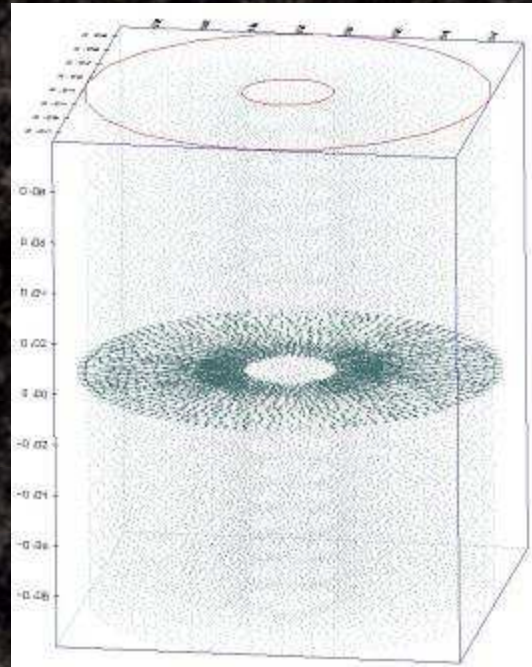


Simulace testů na válcových vzorcích Feflow

- Modelová doména
 - těleso tvořeno 20 modelovými vrstvami
 - příčný řez tvar mezikruží
- Okrajové podmínky – konstantní tlak v závislosti na typu testu
- Vzorky bez viditelného porušení – Darcyho rovnice
 - propustnost granitu simulována pomocí hydraulické vodivosti

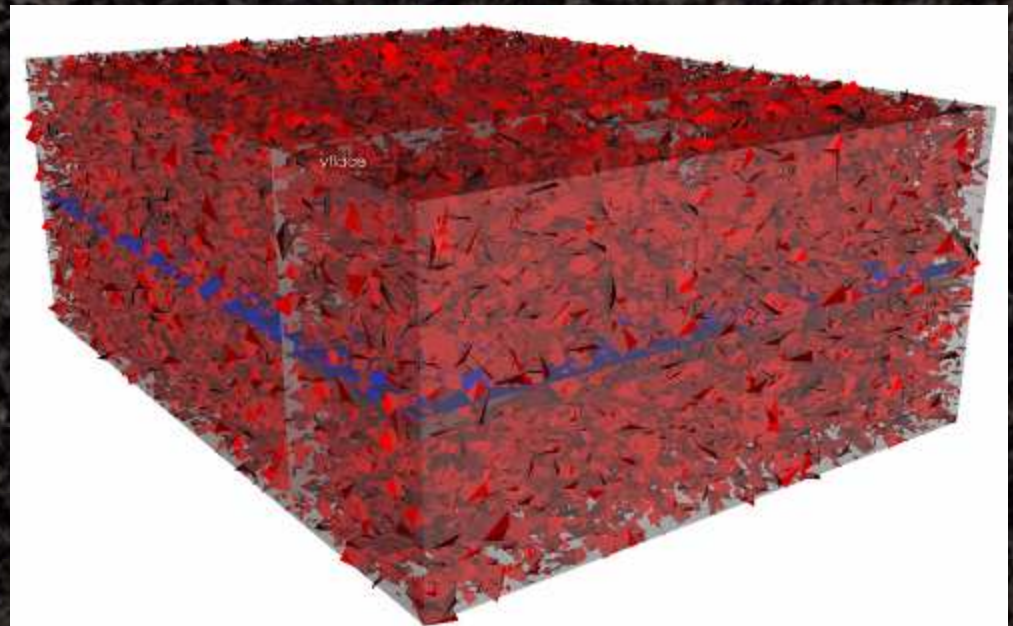
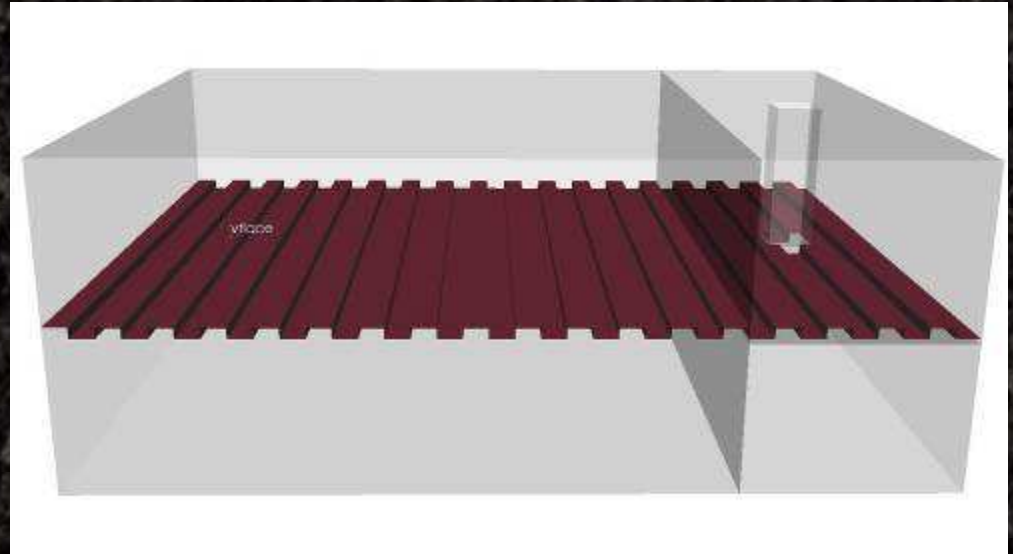


- Viditelná puklina – deterministická puklina zadaná diskrétními prvky
- Puklina s konstantním rozevřením
- Porušená zóna kolem mateřské pukliny pomocí vyšší hydraulické vodivosti

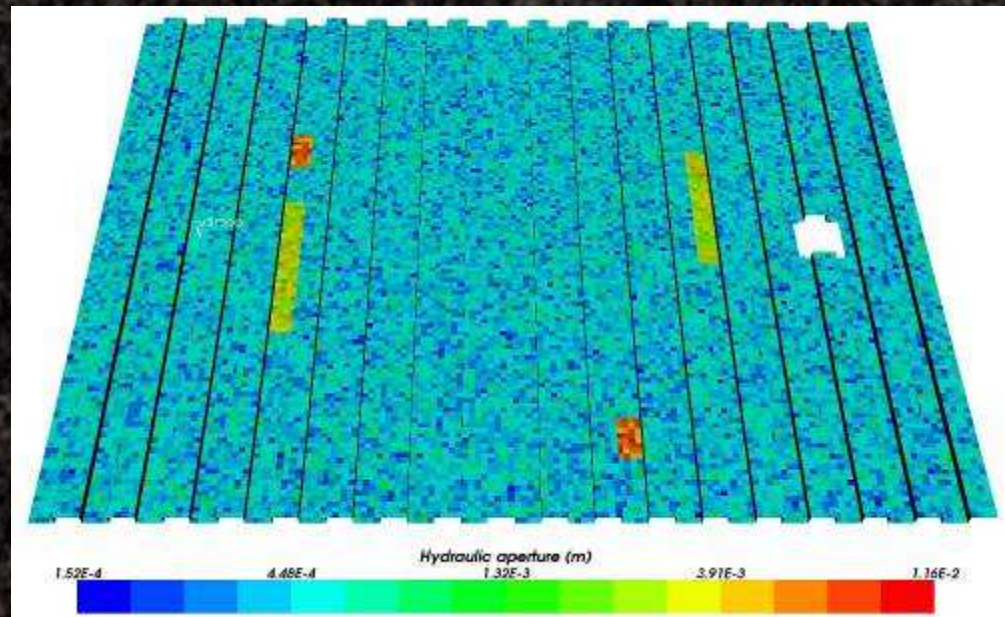


Simulace testů hřebenů NAPSAC

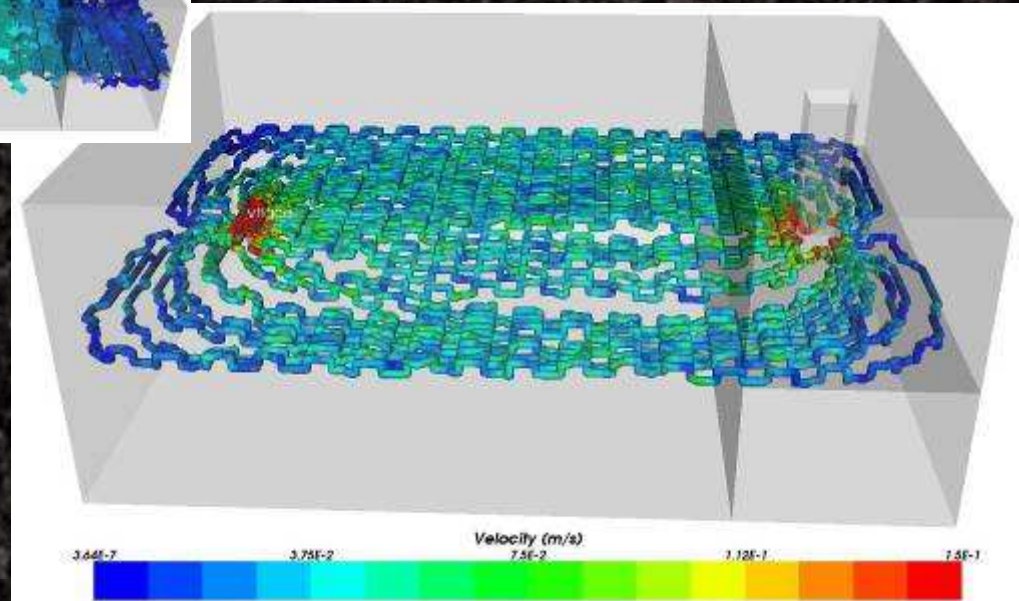
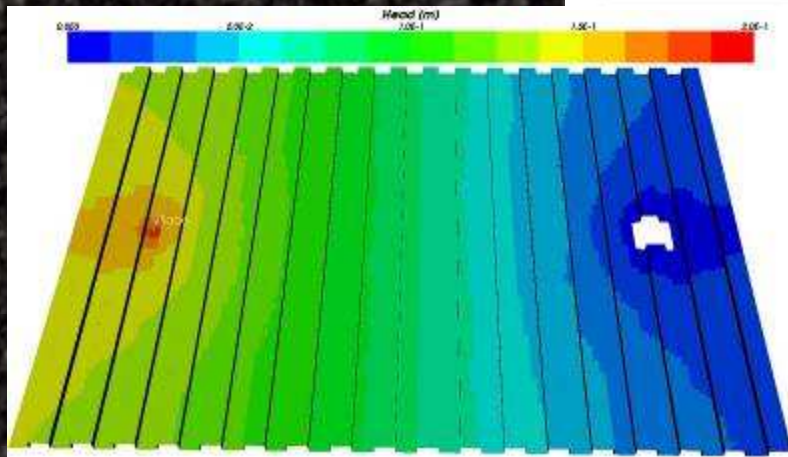
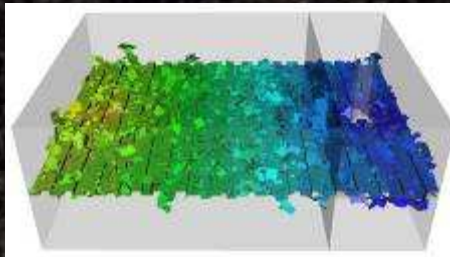
- Modelová doména
 - 6 čtyřbokých hranolů
 - 1 geotechnický objekt
 - volný prostor simulující extrakční vrt
- Okrajové podmínky – konstantní tlak, nulový průtok
- umělá puklina složená ze 71 diskretních ploch
- Proměnlivé rozevření puklin
- 1 stochastická sada pro mikrotektonickou (pórovou) propustnost



- Vzorek s výplní granitovou drtí větší variabilita rozevření
- Rozevření kalibrováno na velikost průtoků a tvar průnikové křivky
- Migrace řešena pomocí metody particle tracking (každou sekundu uvolnění 500 částic stopovače do systému – sestrojení kompletní křivky)

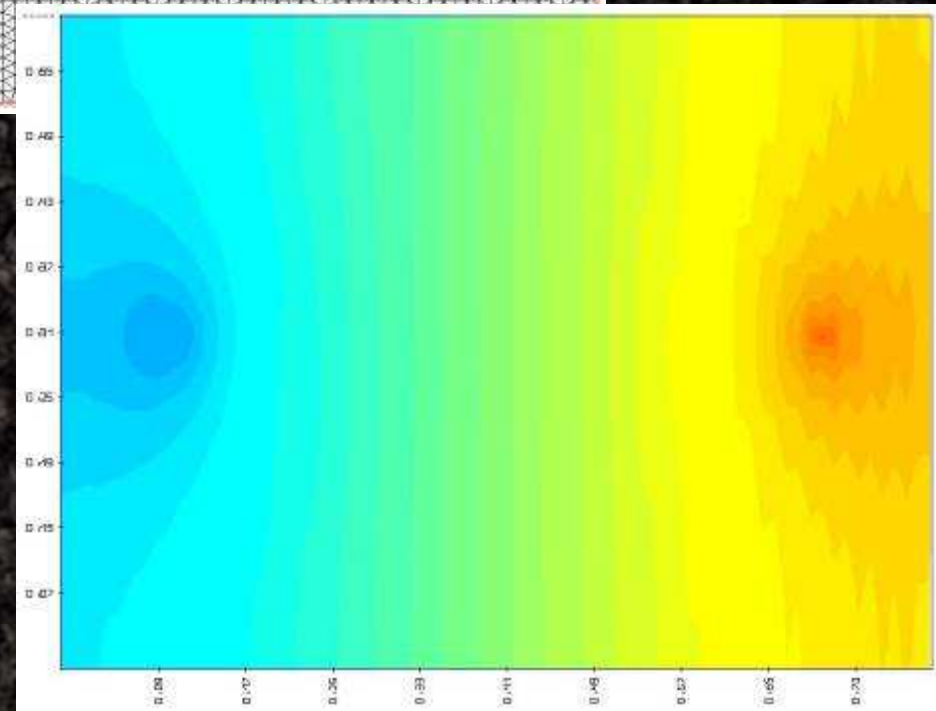
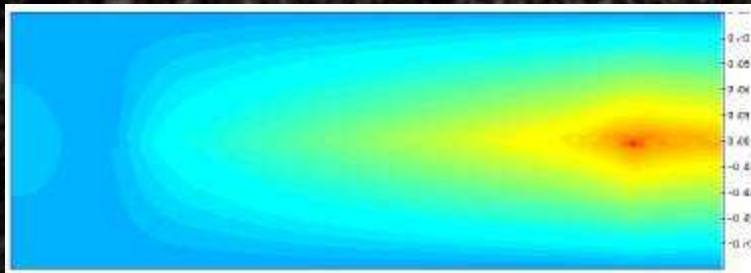
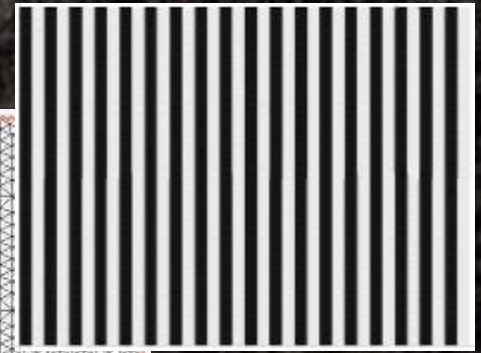
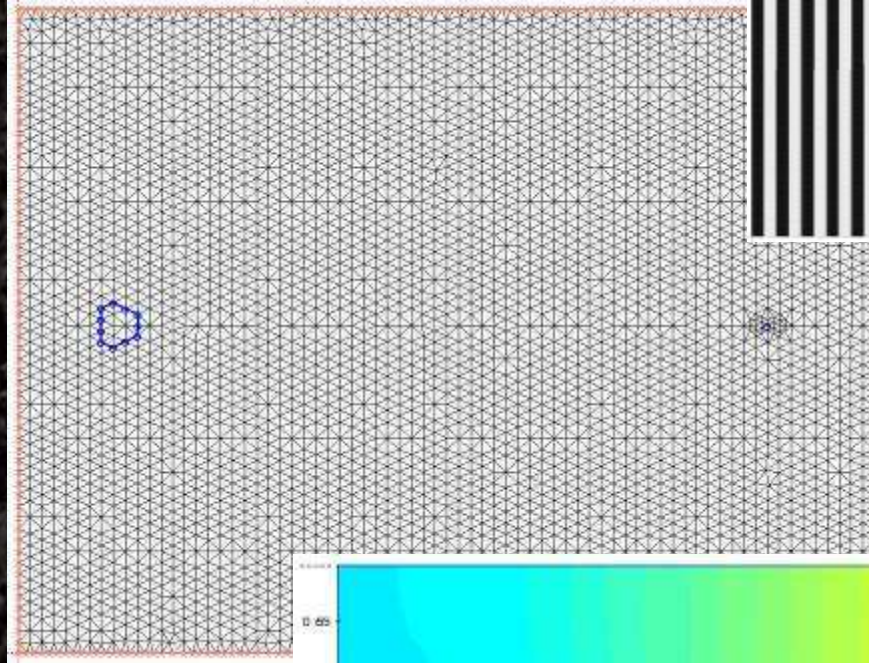


ProGeo

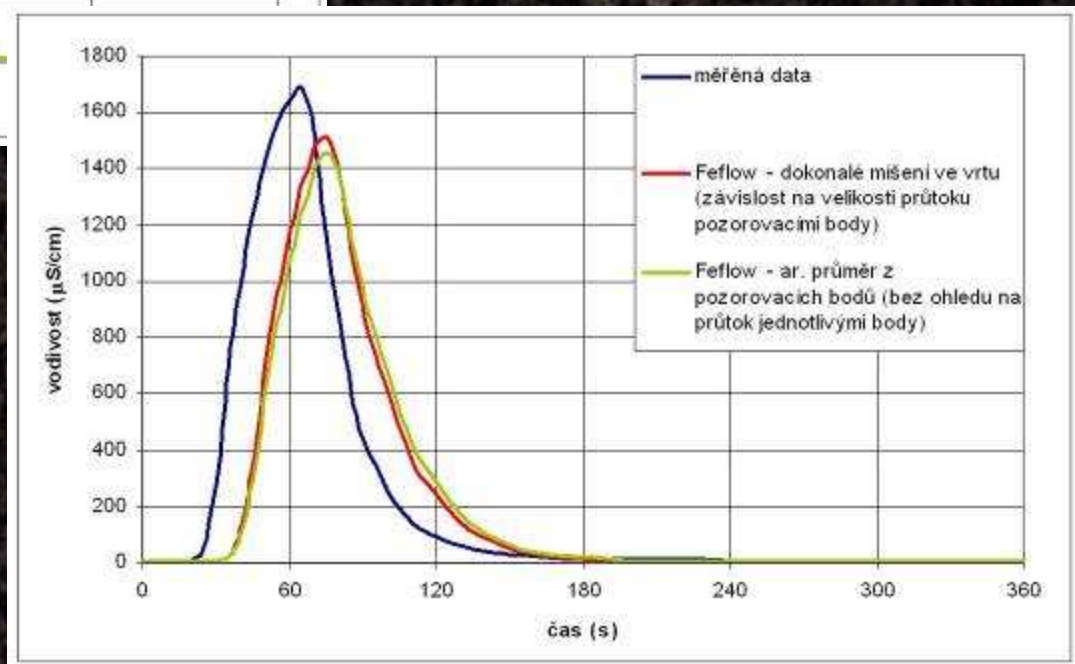
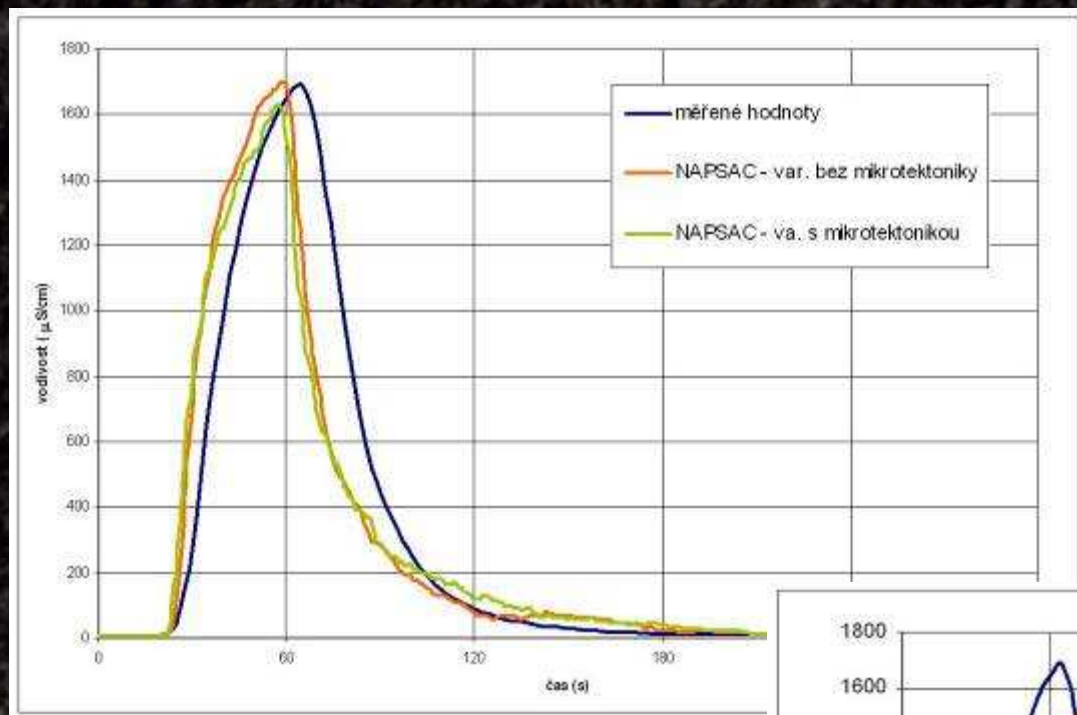


Simulace testů hřebenů Feflow

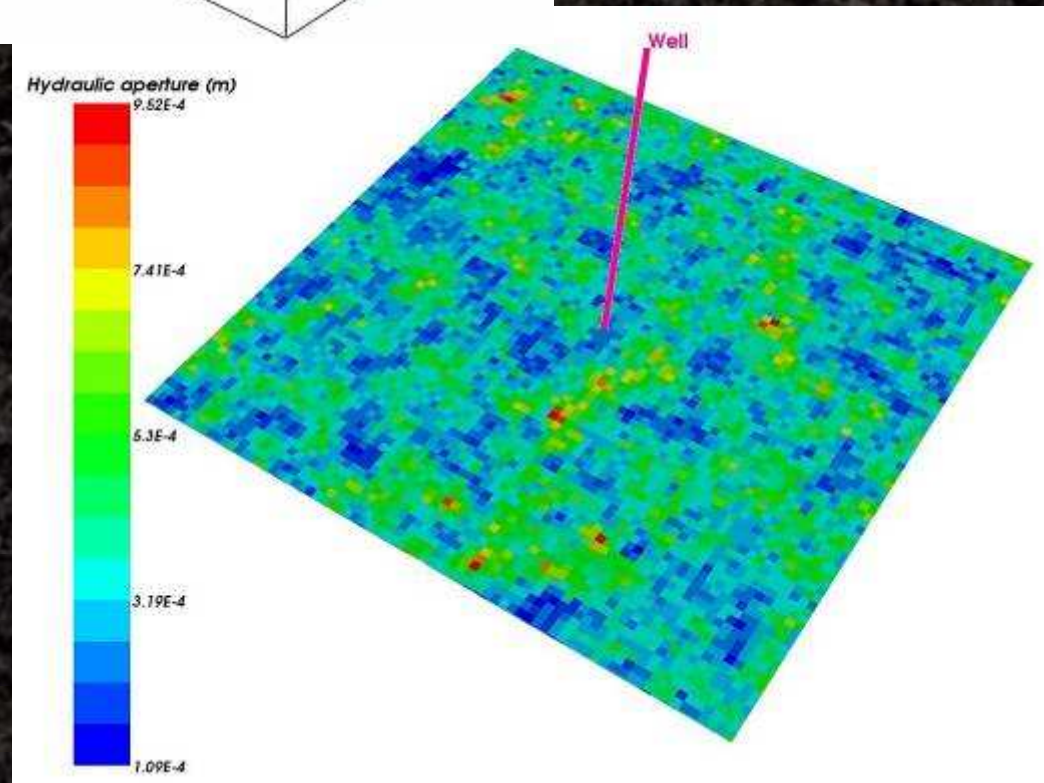
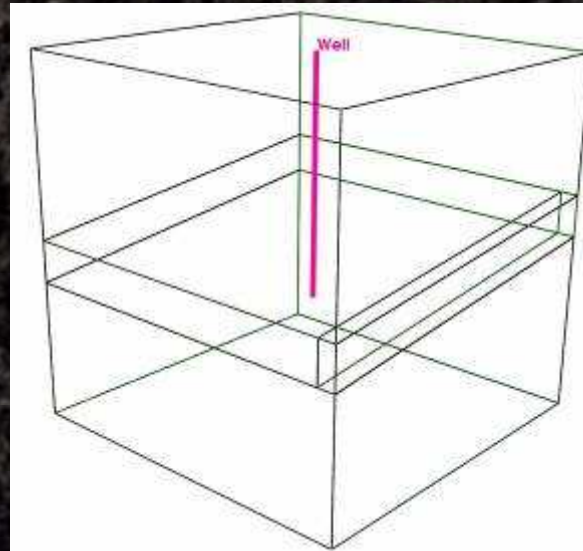
- Modelová doména
 - 5 vrstev
 - 3. a 4. slice diskrétní trojúhelníkové a obdelníkové prvky - puklina
 - vrty simulovány pomocí okrajové podmínky
- Okrajové podmínky – konstantní tlak
- Konstantní rozevření simulované pukliny
- zóny mírně zvýšené propustnosti kolem pukliny



Konstrukce modelových průnikových křivek

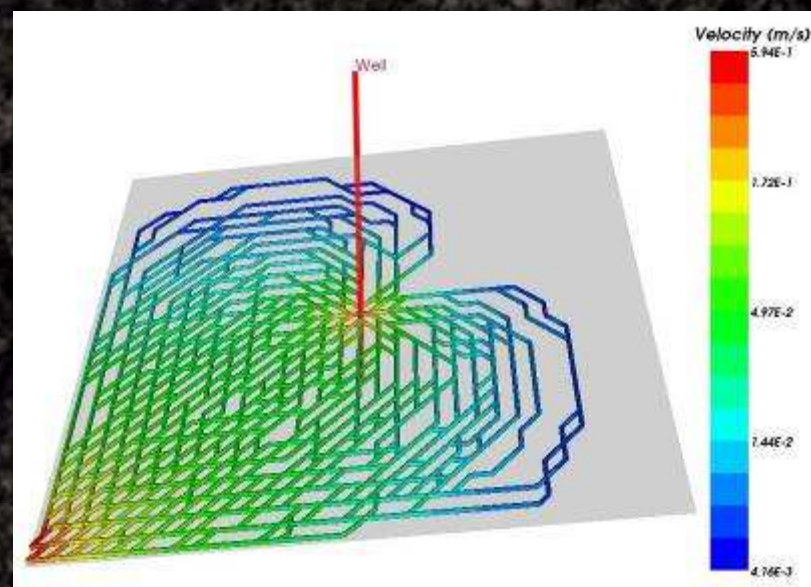
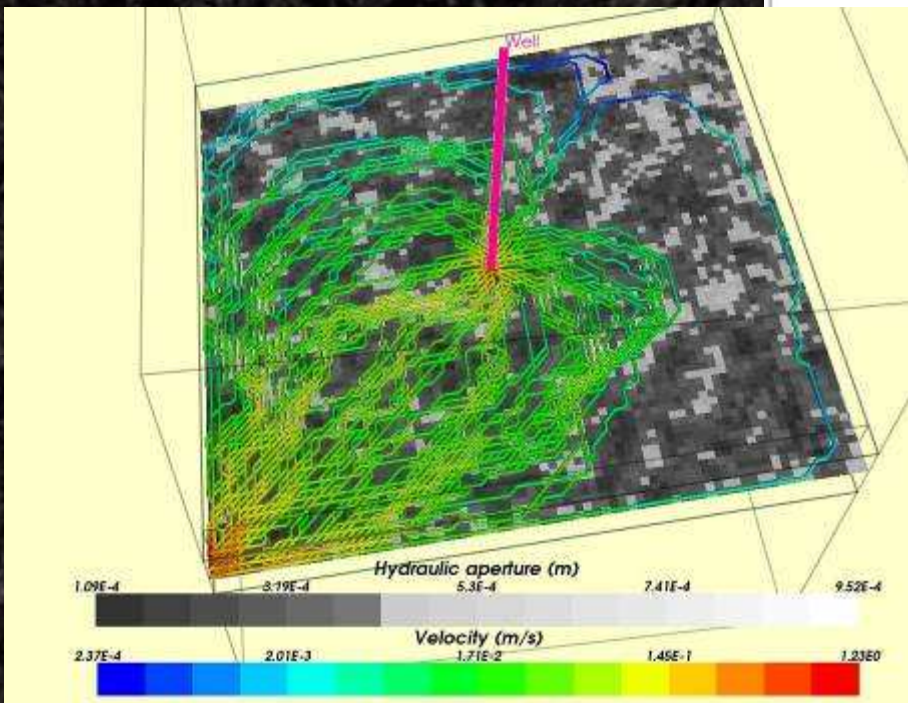
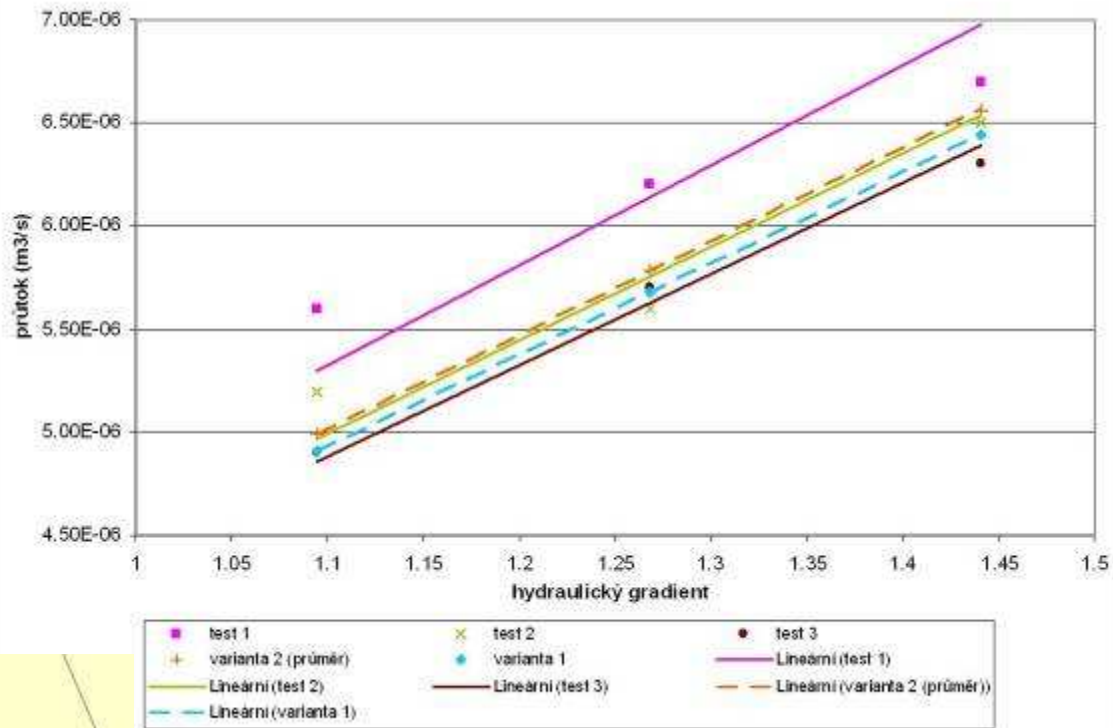


Simulace testů bloku NAPSAC



- Modelová doména
 - vytvořena ze 4 šestistěnnů
 - 1 geotechnický objekt – centrální vrt
 - okrajová podmínka simuluje extrakční štěrbinu
- Okrajové podmínky – konstantní tlak, konstantní průtok
- Simulace pomocí jedné deterministické pukliny
- Variantně s konstantním a proměnlivým rozevřením puklin

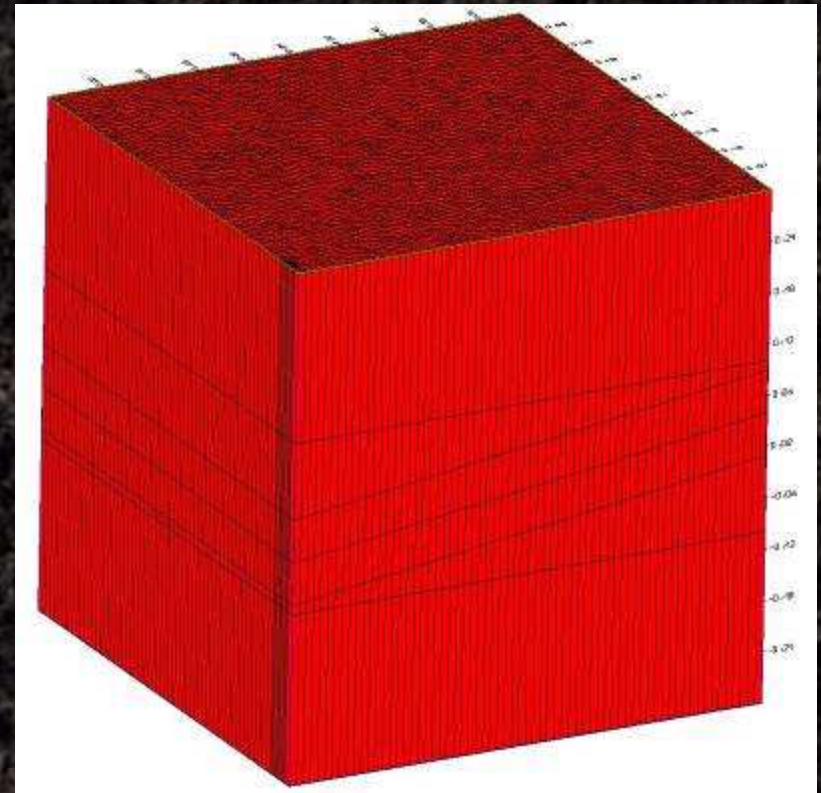
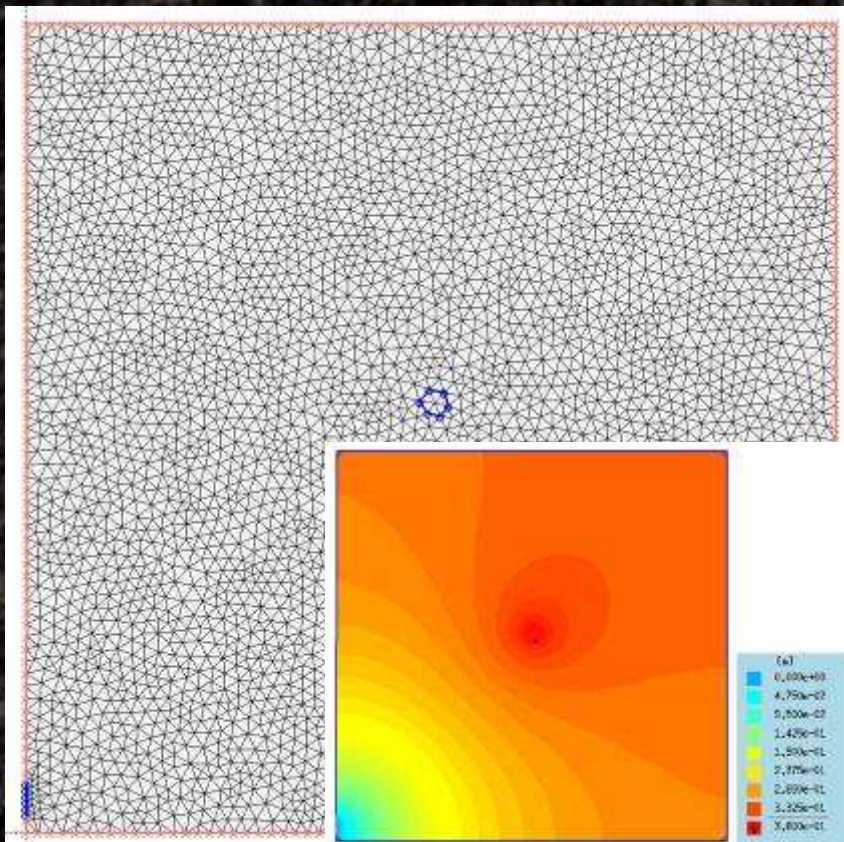
- Rozevření pukliny laděno podle velikosti průtoku
- Rozdílná distribuce proudových trajektorií v závislosti na variabilitě rozevření



Simulace testů bloku Fefow

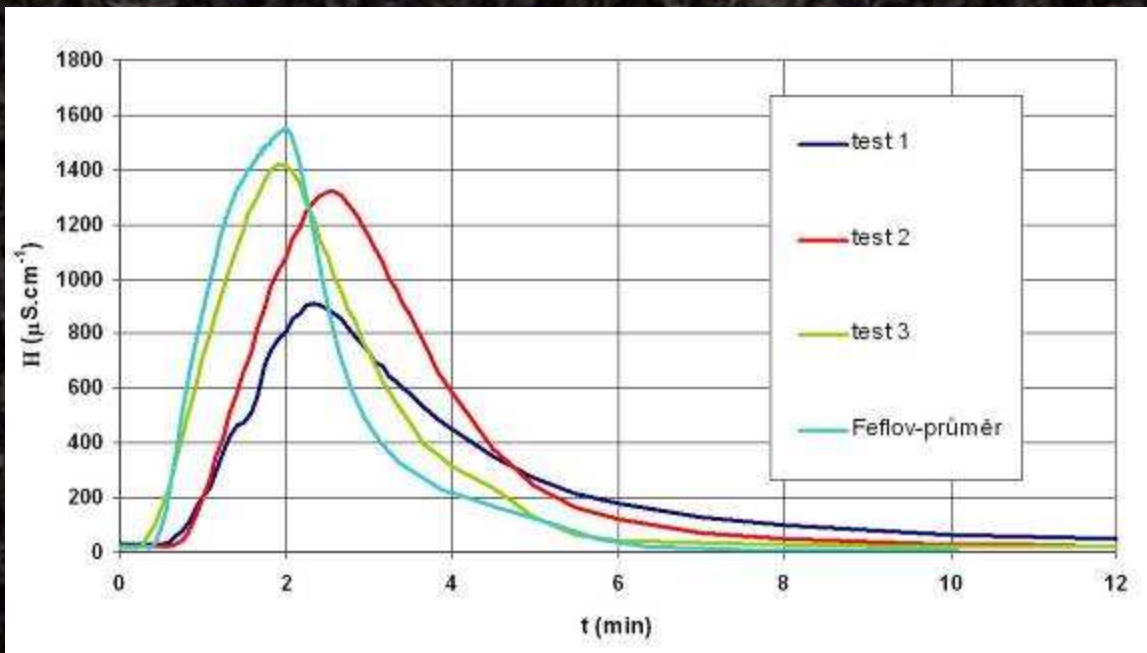
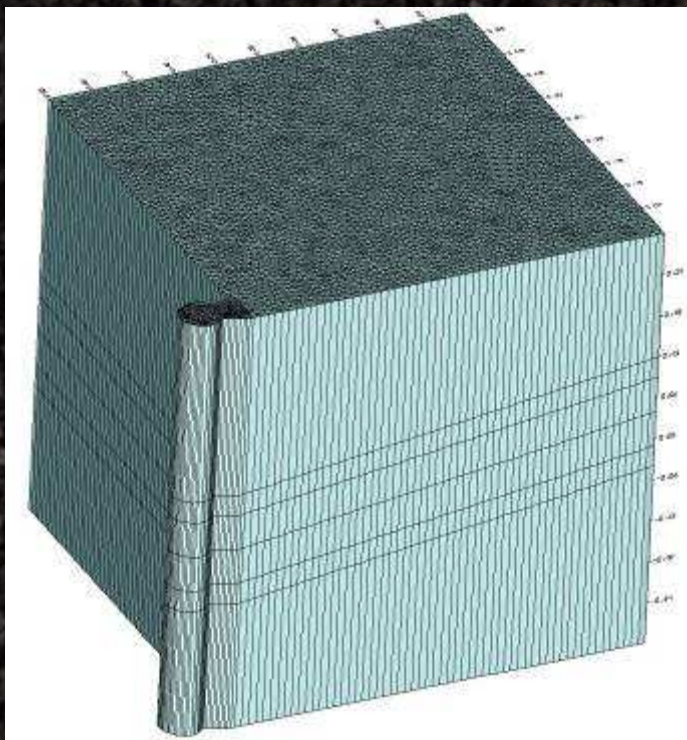
- Modelová doména

- 6 vrstev
- ve 4. slice diskrétní trojúhelníkové prvky - puklina
- vrt simulovány pomocí okrajové podmínky



- Okrajové podmínky – konstantní tlak, konstantní průtok
- Konstantní rozevření simulované pukliny
- Zóny mírně zvýšené propustnosti kolem pukliny

- detekce stopovače mimo vzorek
- do simulace zahrnuta nádoba s detektorem



Shrnutí výsledků, další postup prací

- Simulace průběhu laboratorních zkoušek puklinového prostředí v malém měřítku
- Odzkoušení metodiky simulací
- Ověření možnosti dosažení uspokojivých výsledků použitím různých přístupů při dostatečném množství vstupních dat

- Laboratorní testy a modelová řešení vzorků hřeben a blok se zainjektovanými puklinami
- Terénní hydraulické a migrační testy před a po injektáži puklin, modelové simulace testů
- Modelová predikce výsledků a následné ověření výsledků terénními zkouškami