

## ŠÍŘENÍ KONTAMINANTŮ V PORÉZNÍM PROSTŘEDÍ

ING. RADEK FUČÍK, ING. JIŘÍ MIKYŠKA, PH.D.

### Popis tématu

Matematické modelování dvoufázového nemísivého a nestlačitelného proudění v rigidním heterogenním porézním prostředí nachází uplatnění zejména při těžbě ropy nebo naopak při sanaci starých ekologických zátěží. V modelech dvoufázového proudění (například oleje a vody) předpokládáme, že obě látky tvoří v porézním prostředí kontinuum a proudění každé jednotlivé fáze (látky) je možné popsat pomocí Darcyho zákona. Pro popis vzájemné interakce obou fází a pevného porézního prostředí se používá kapilární tlak, který je definován jako rozdíl tlaku nesmáčivé fáze (oleje) a tlaku smáčivé fáze (vody). Poslední rovnicí k uzavření matematického modelu je rovnice kontinuity jakožto důsledek zákona zachování hmoty. Výsledným matematickým modelem je soustava nelineárních parciálních diferenciálních rovnic, jejichž analýza a hledání fyzikálně správného řešení vyžadují znalost podstaty interakce tekutých fází s pevným skeletem na nanoskopické, mikroskopické i makroskopické úrovni. Tento mnohoškálový přístup je klíčem k moderním matematickým modelům proudění v porézních prostředí. Výsledky numerických výpočtů simulující laboratorní experimenty jsou porovnány s experimentálními daty získanými díky spolupráci s pracovištěm CESEP, Colorado School of Mines, Golden, Colorado.

### Matematický model

Rovnice dvoufázového nemísivého a nestlačitelného proudění:

$$\Phi \frac{\partial S_\alpha}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial \mathbf{x}} \left[ \frac{K}{\mu_\alpha} \mathbf{k}_{r\alpha} \left( \frac{\partial}{\partial \mathbf{x}} (\mathbf{p}_w + \delta_{\alpha n} \mathbf{p}_c) - \rho_\alpha \mathbf{g} \right) \right],$$

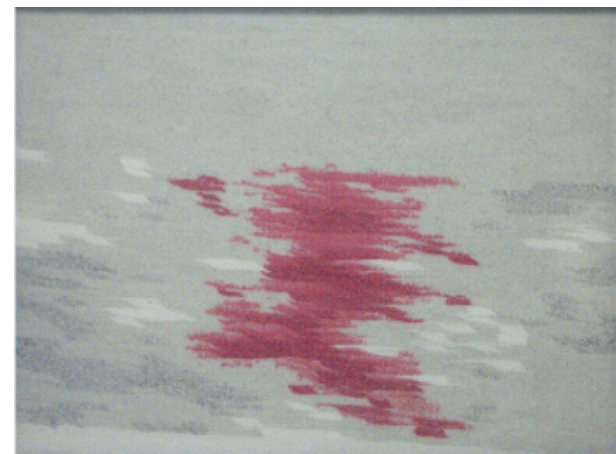
$\alpha$  index smáčivé a nesmáčivé fáze  $\alpha \in \{w, n\}$ ,  
 $S_\alpha$  Saturace,  $\mathbf{p}_\alpha$  Tlak,  
 $\rho_\alpha$  Hustota,  $\mu_\alpha$  Dynamická viskozita,  
 $\mathbf{g}$  Gravitační zrychlení,  $\Phi$  Porozita,  
 $K$  Vnitřní propustnost,  $\mathbf{k}_{r\alpha}$  Relativní propustnost,

kde  $S_w + S_n = 1$  a  $\delta_{\alpha n}$  je Kroneckerův symbol. Kapilární tlak  $\mathbf{p}_c$  je nelineární funkcí od saturace  $S_w$  a je definován vztahem

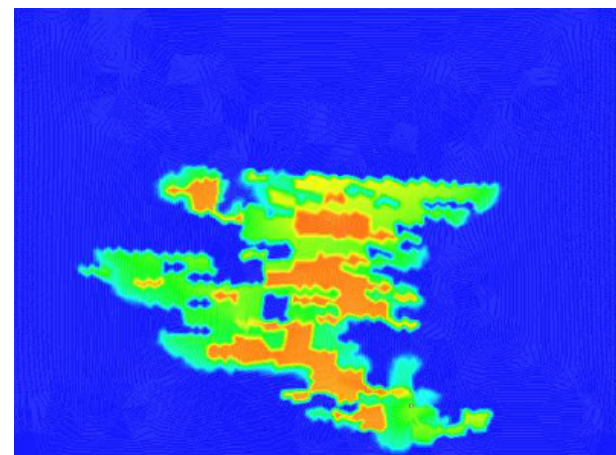
$$\mathbf{p}_c = \mathbf{p}_n - \mathbf{p}_w.$$

### Numerické řešení

Experimentální měření (CESEP):



Numerická simulace (MMG):



### Laboratoř CESEP, Colorado



### Čím se budete zabývat

- ▶ Sestavení matematického modelu
- ▶ Studium a implementace numerických metod
- ▶ Návrh počítačového kódu pro výpočet na clusteru MMG

