

## MATEMATICKÝ MODEL ZAMRZÁNÍ PORÉZNÍHO PROSTŘEDÍ

ING. ALEXANDR ŽÁK A PROF. DR. ING. MICHAL BENEŠ

### Popis tématu

Téma zkoumá chování porézního prostředí zaplněného vodou **zamrzající** nebo tající v jeho pórech. Protože voda má větší hustotu než led, dochází při této fázové změně **rozpínání** porézního prostředí.

**Fyzikální model** musí zahrnovat:

- ▶ energetickou bilanci - rovnice vedení tepla zahrnující entalpii
- ▶ bilanci hybnosti pevné fáze - upravené rovnice lineární elasticity
- ▶ bilanci hybnosti kapalné fáze - Navierovy - Stokesovy rovnice ve vhodných souřadnicích
- ▶ podmínky na fázovém rozhraní voda-led, kámen-led a kámen-voda

**Motivace:**

- ▶ klimatické změny vedoucí k tání věčně zmrzlé půdy
- ▶ transportní procesy spojené s táním ledovců a uvolňování metanu do ovzduší

Téma je součástí spolupráce s Colorado School of Mines Golden, USA.

### Matematický model

Zamrzání porézního prostředí lze popsat pomocí **bilance energie**:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \Delta T + L v_f$$

$\rho, c, \lambda$  materiálové vlastnosti vedení tepla,

$T$  absolutní teplota,

$L, v_f$  latentní teplo, rychlost pohybu fázového rozhraní

**mechanické rovnováhy** popisující posuny  $\mathbf{u}_s$  zrn v porézním

prostředí s napětím  $\sigma_s$  silami  $\mathbf{F}$ :

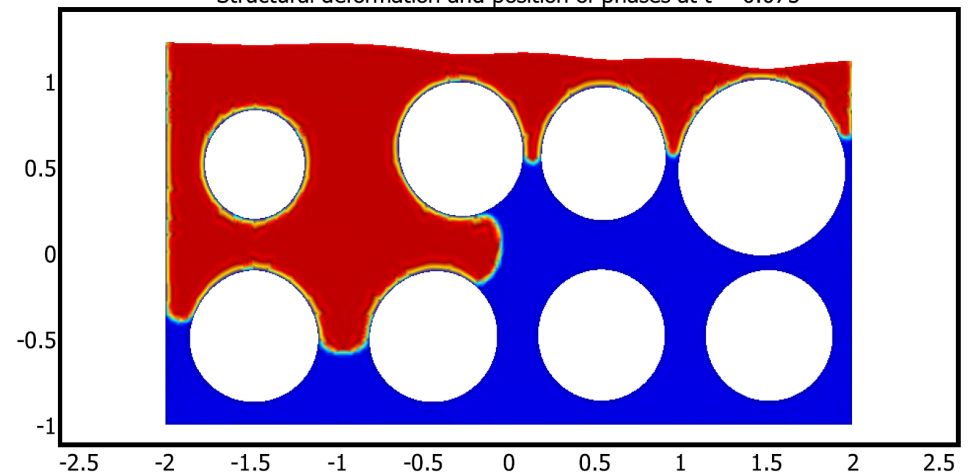
$$\rho \partial_{tt} \mathbf{u}_s - \nabla \cdot \sigma_s = \mathbf{F}$$

a **pohybu kapaliny** rychlostí  $\partial_t \mathbf{u}_l$ :

$$\rho \partial_{tt} \mathbf{u}_l - \nabla \cdot \sigma_l = \mathbf{F}$$

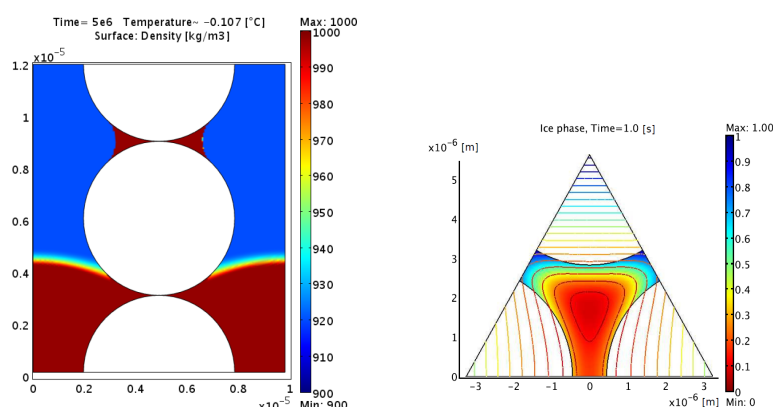
### Termoelasticita porézního prostředí

Structural deformation and position of phases at  $t = 0.075$



Led zaplňuje volné póry a rozpíná porézní strukturu  
(Czech Japanese Polish Seminar in Applied Mathematics Krakow 2016  
A. Žák a M. Beneš)

### Porézní mikrostruktura



Formování ledu v pórech - A. Žák (2013-17)

### Čím se budete zabývat

- ▶ Základy fázových přechodů
- ▶ Matematická analýza parabolických parciálních diferenciálních rovnic
- ▶ Strukturální mechanika
- ▶ Termodynamika kapalin a pevných látek
- ▶ Spolupráce na experimentech v malém měřítku
- ▶ Výpočetní studie fázové dynamiky v porézním prostředí

Bc.  
Ing.  
Ph.D.

