Ponořený kráter
(Submerged crater)

Úloha 10 TMF 2025/2026,
konzultant Alexandr Dizov

Zadání úlohy 10. Ponořený kráter

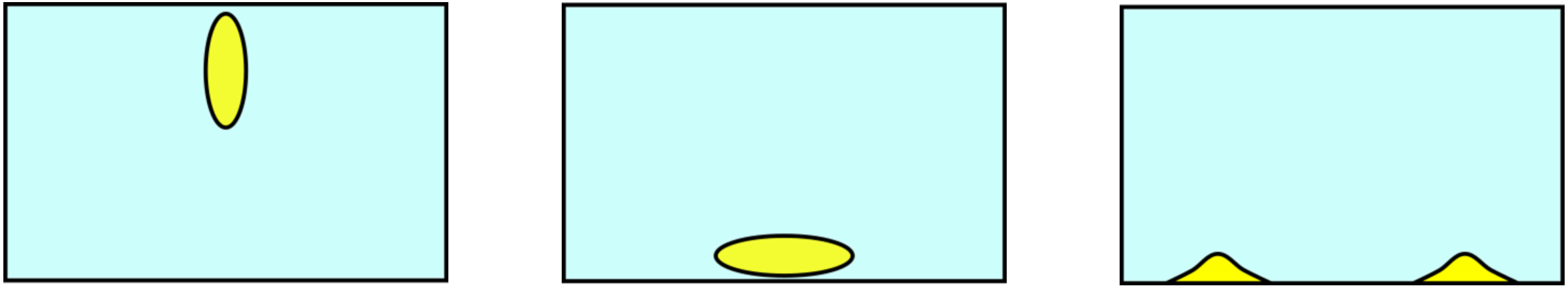
Pokud necháte písek nebo podobný zrnitý materiál klesnout ke dnu nádoby zaplněné vodou, může vytvořit strukturu podobnou kráteru. Vysvětlete a prozkoumejte tento jev.

If you release sand or similar granular material in a container filled with water, the material will sink to the bottom and may form a crater-like structure. Explain and investigate the phenomenon.

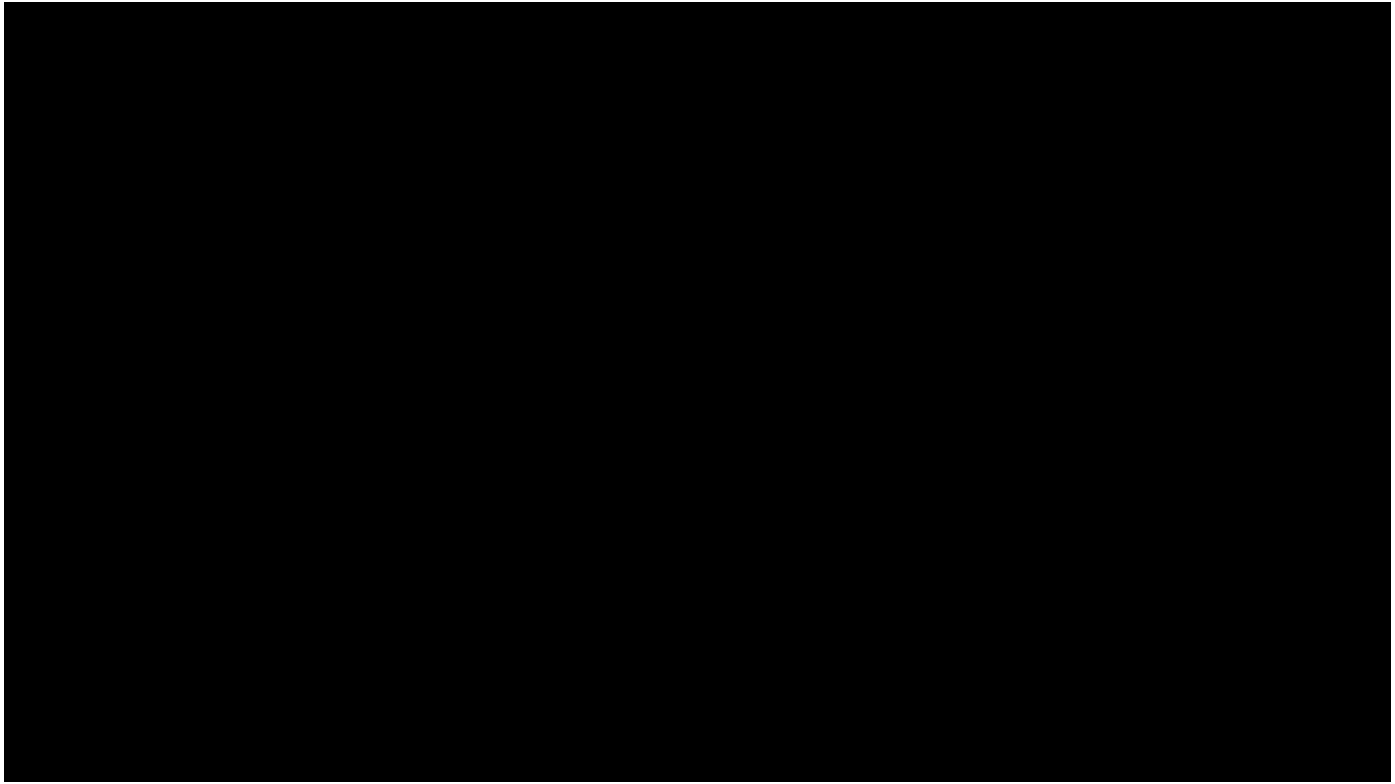
Ukázka experimentu: případ 1

Zdroj: НикитаЧерников-в1о, https://www.youtube.com/shorts/qAPqEtucVPo

Experiment: případ 1

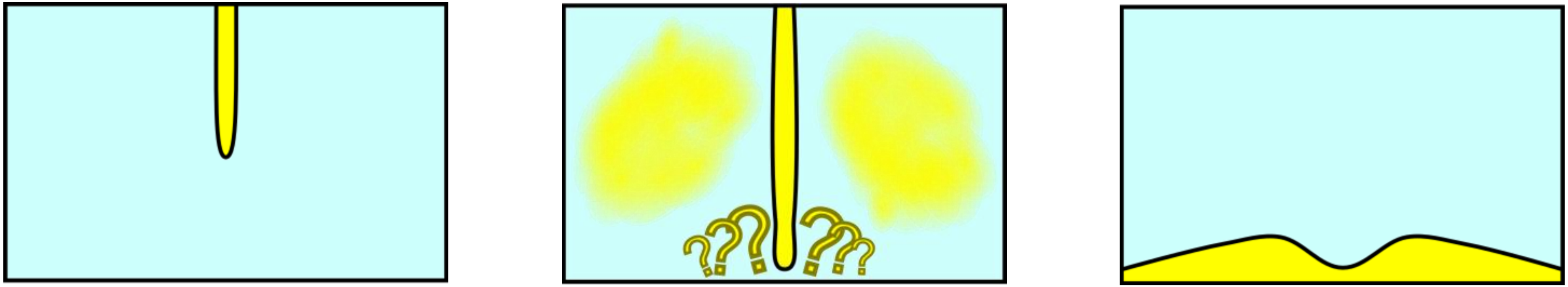


Ukázka experimentu: případ 2



Zrdoj: IYPT Sweden, https://www.youtube.com/watch?v=kA0neuI6yRM

Experiment: případ 2

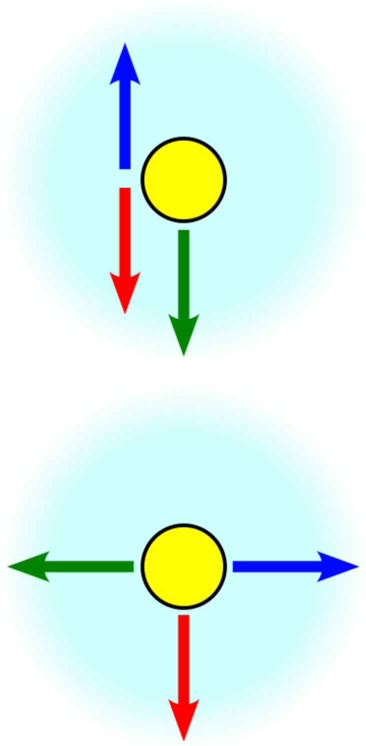


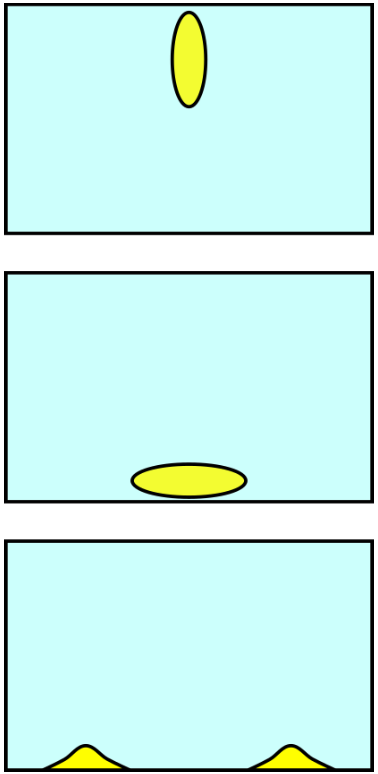
Možný přístup p. 1

- Gravitační síla a Stokesova síla působící na zrno

$$m\frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{F}_g + \vec{F}_d$$

$$\vec{F}_d = -\frac{1}{2}\, c_d\, S\, \rho_f\, v\vec{v}$$





Možný přístup p. 2 - advekce materiálu

Pohybová rovnice
$$\vec{\nabla} \cdot \mathbf{t}^D - \vec{\nabla} p + \rho \vec{g} = \rho \left(\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \vec{v} \cdot \vec{\nabla} \vec{v} \right) \tag{1}$$

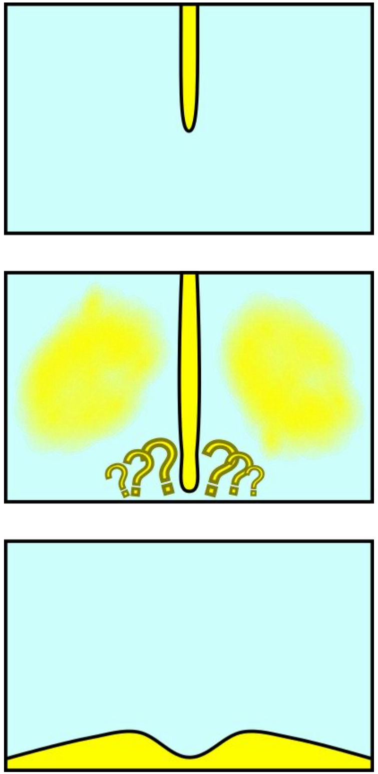
Reologie
$$\mathbf{t}^D - \eta \left[\vec{\nabla} \vec{v} \right]^S = \mathbf{O} \tag{2}$$

Rovnice kontinuity
$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{v}) = 0 \tag{3}$$

Rovnice advekce
$$\frac{\partial C_{\mathrm{sand}}}{\partial t} + \vec{v} \cdot \vec{\nabla} C_{\mathrm{sand}} = 0 \tag{4}$$

Hustota
$$\rho = C_{\mathrm{sand}} \rho_{\mathrm{sand}} + (1 - C_{\mathrm{sand}}) \rho_{H_2O} \tag{5}$$

Viskozita
$$\eta_{\mathrm{eff}} = ? \tag{6}$$



Možný přístup p. 2 – zjednodušení

Pohybová rovnice
$$\vec{\nabla} \cdot \mathbf{t}^D - \vec{\nabla} p + \rho \vec{g} = \cancel{\rho \left(\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \vec{v} \cdot \vec{\nabla} \vec{v} \right)} \tag{1}$$

Reologie
$$\mathbf{t}^D - \eta \left[\vec{\nabla} \vec{v} \right]^S = \mathbf{O} \tag{2}$$

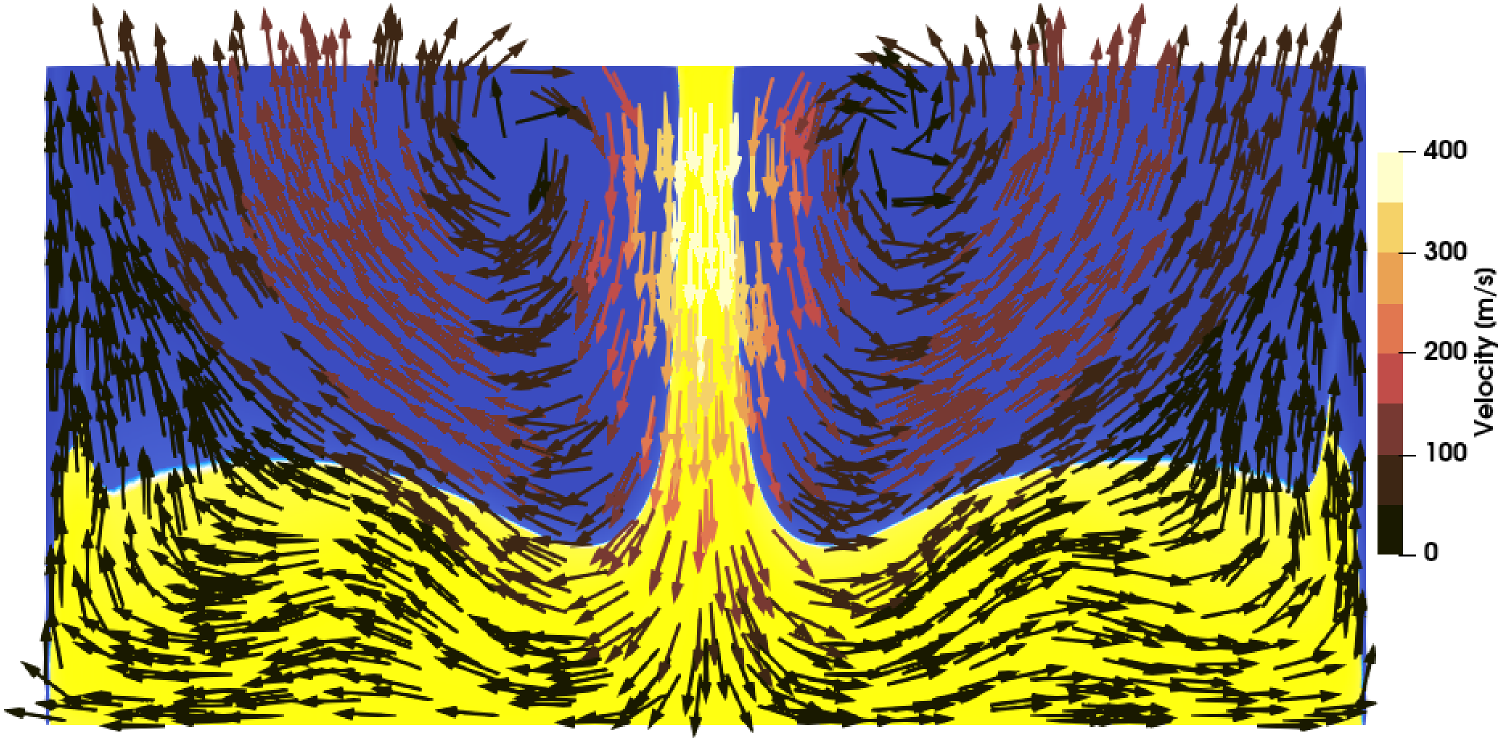
Rovnice kontinuity
$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{v}) = 0 \tag{3}$$

Rovnice advekce
$$\frac{\partial C_{\text{sand}}}{\partial t} + \vec{v} \cdot \vec{\nabla} C_{\text{sand}} = 0 \tag{4}$$

Hustota
$$\rho = C_{\text{sand}} \rho_{\text{sand}} + (1 - C_{\text{sand}}) \rho_{H_2O} \tag{5}$$

Viskozita
$$\eta_{\text{eff}} = \text{const} \tag{6}$$

Možný přístup p. 2 - zjednodušení



Možný přístup p. 2 – zjednodušení

Pohybová rovnice
$$\vec{\nabla} \cdot \mathbf{t}^D - \vec{\nabla} p + \rho \vec{g} = \rho \cancel{\left(\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \vec{v} \cdot \vec{\nabla} \vec{v} \right)} \tag{1}$$

Reologie
$$\mathbf{t}^D - \eta \left[\vec{\nabla} \vec{v} \right]^S = \mathbf{O} \tag{2}$$

Rovnice kontinuity
$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{v}) = 0 \tag{3}$$

Rovnice advekce
$$\frac{\partial C_{\text{sand}}}{\partial t} + \vec{v} \cdot \vec{\nabla} C_{\text{sand}} = 0 \tag{4}$$

Hustota
$$\rho = C_{\text{sand}} \rho_{\text{sand}} + (1 - C_{\text{sand}}) \rho_{H_2O} \tag{5}$$

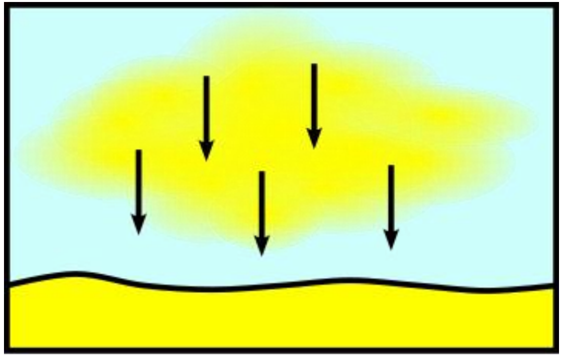
Viskozita
$$\eta_{\text{eff}} = \text{const} \tag{6}$$

Plugin do ASPECTu (explicitně), nebo nějaký řešič Navier-Stokese

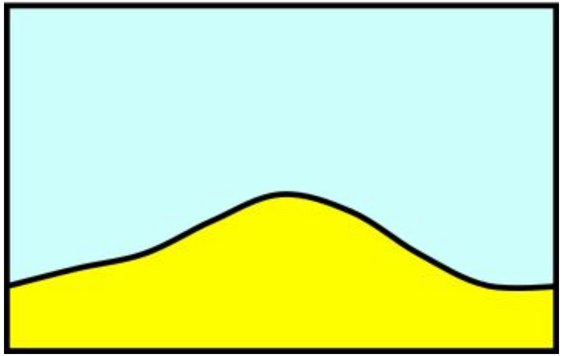
Viskozita: Pradeep et al., 2024: Origins of complexity in the rheology of Soft Earth suspensions

Možný přístup p. 2 - sedimentace

$$\phi(x,y) = \int_{\mathbb{R}} \phi(x,y,z)\,dz$$



Numerický sedimentační model: Ismail et al., 2022: Modeling and analysis of fluid rheology effect on sand screen performance



Jednodušší numerická sedimentace: Patočka et al., 2022: Residence time of inertial particles in 3D thermal convection: Implications for magma reservoirs

Možný přístup p. 2 - odfoukávání částic

Model unášení písku větrem: Wang et al., 2025: Rheological sand bed generates non-rebounding particles