CFD simulace vícefázového proudění na nakloněné desce: porovnání smáčivosti různých kapalin

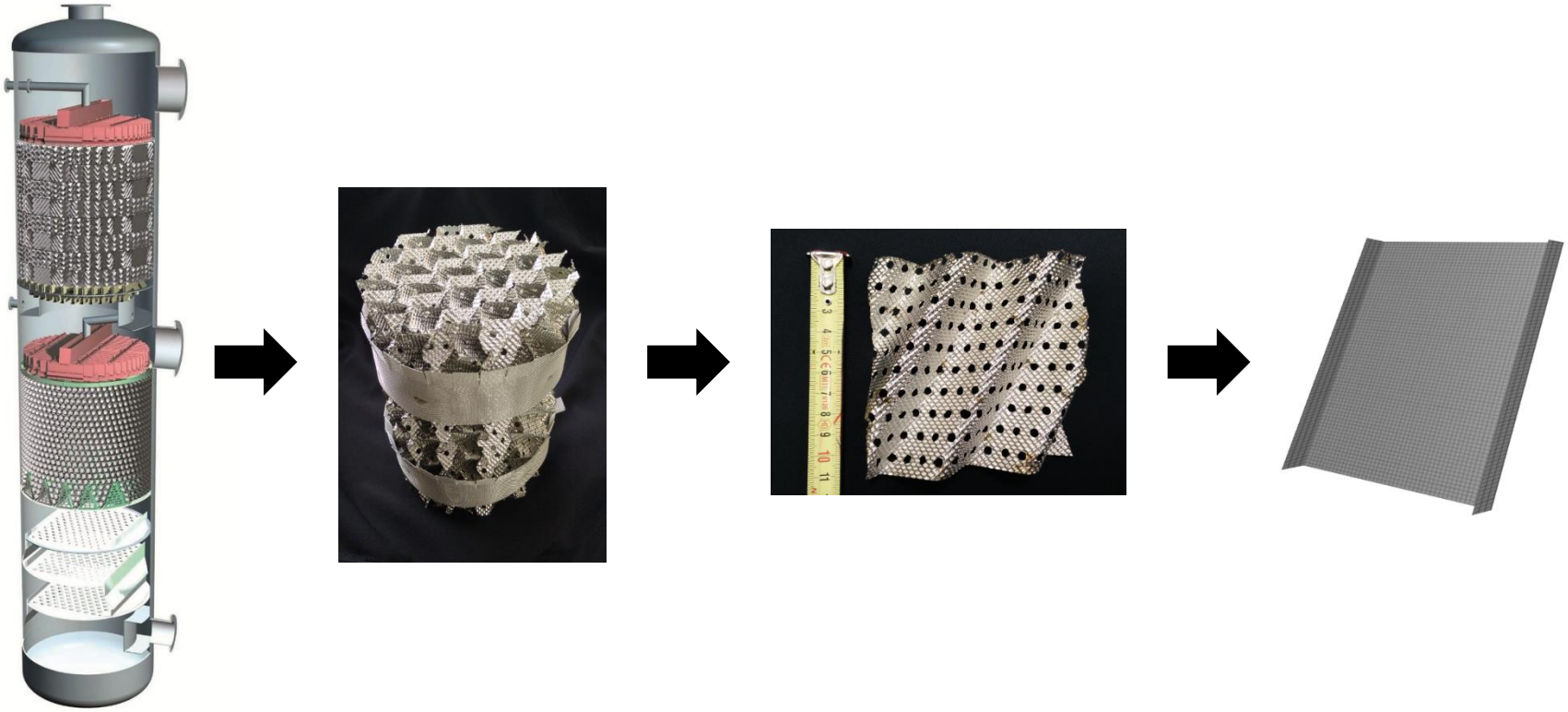
Martin Šourek

VŠCHT Praha
Ústav matematiky

Praha 13. Prosince 2016

Úvod

Motivace
Modelování vícefázových toků

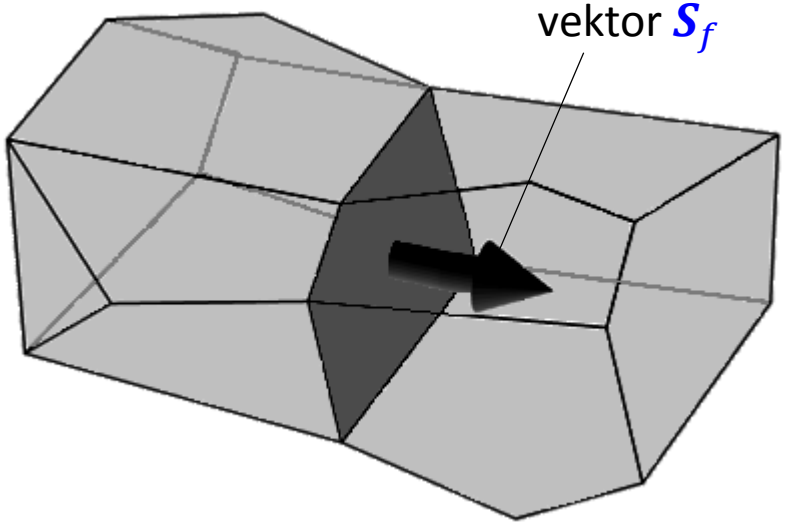


Model

Využití Gauss-Ostrogradského věty při integraci přes objem buňky

$$\iiint_{V_P} \nabla \cdot \boldsymbol{a} dV = \oiint_{S_P} \boldsymbol{a} d\boldsymbol{S}$$

$$\oiint_{S_P} \boldsymbol{a} d\boldsymbol{S} = \sum_f \iint_f \boldsymbol{a} \cdot d\boldsymbol{S}$$



Aproximace hodnotou v těžišti stěny

$$\sum_f \iint_f \boldsymbol{a} \cdot d\boldsymbol{S} = \sum_f \boldsymbol{S}_f \cdot \boldsymbol{a}_f$$

Řešič interFoam
Metoda objemu tekutiny

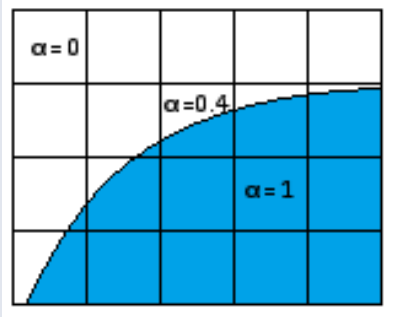
Navier-Stokesovy rovnice nestlačitelného izotermického proudění doplněné o VoF

$$\nabla \cdot \mathbf{U} = 0$$

$$\frac{\partial \alpha}{\partial t} + \nabla \cdot (\mathbf{U}\alpha) = 0$$

$$\frac{\partial (\rho \mathbf{U})}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{U} \otimes \mathbf{U}) = -\nabla p + \nabla \cdot \mathbf{T} + \rho \boldsymbol{f}_b$$

Ilustrace VoF metody



Vlastnosti v buňce obsahující fázové rozhraní

$$\rho = \rho_l \alpha + \rho_g (1 - \alpha)$$

$$\mu = \mu_l \alpha + \mu_g (1 - \alpha)$$

Řešič interFoam
Implementace advekční rovnice

Eulerův model dvou tekutin

$$\frac{\partial \alpha}{\partial t} + \nabla \cdot (\mathbf{U}_l \alpha) = 0$$

$$\frac{\partial (1-\alpha)}{\partial t} + \nabla \cdot \left[\mathbf{U}_g (1-\alpha)\right] = 0$$

Předpoklad a relativní rychlost

$$\mathbf{U} = \mathbf{U}_l \alpha + \mathbf{U}_g (1-\alpha)$$

$$\mathbf{U}_r = \mathbf{U}_l - \mathbf{U}_g$$

Advekční rovnice s kompresním členem

$$\frac{\partial \alpha}{\partial t} + \nabla \cdot (\mathbf{U}\alpha) + \nabla \cdot [\mathbf{U}_r \alpha (1-\alpha)] = 0$$

Řešič interFoam

Implementace zákonu zachování hybnosti

Zákon zachování hybnosti

$$\frac{\partial(\rho\mathbf{U})}{\partial t} + \nabla\cdot(\rho\mathbf{U}\otimes\mathbf{U}) = -\nabla p + \nabla\cdot\mathbf{T} + \rho\boldsymbol{f}_b$$

Vyjádření členů v rovnici

$$\mathbf{f}_\sigma = \sigma\kappa\nabla\alpha$$

$$\nabla\cdot\mathbf{T} = \nabla\cdot(\mu\nabla\mathbf{U}) + (\nabla\mathbf{U})\cdot\nabla\mu$$

Zákon zachování hybnosti ve tvaru implementovaném v řešiči interFoam

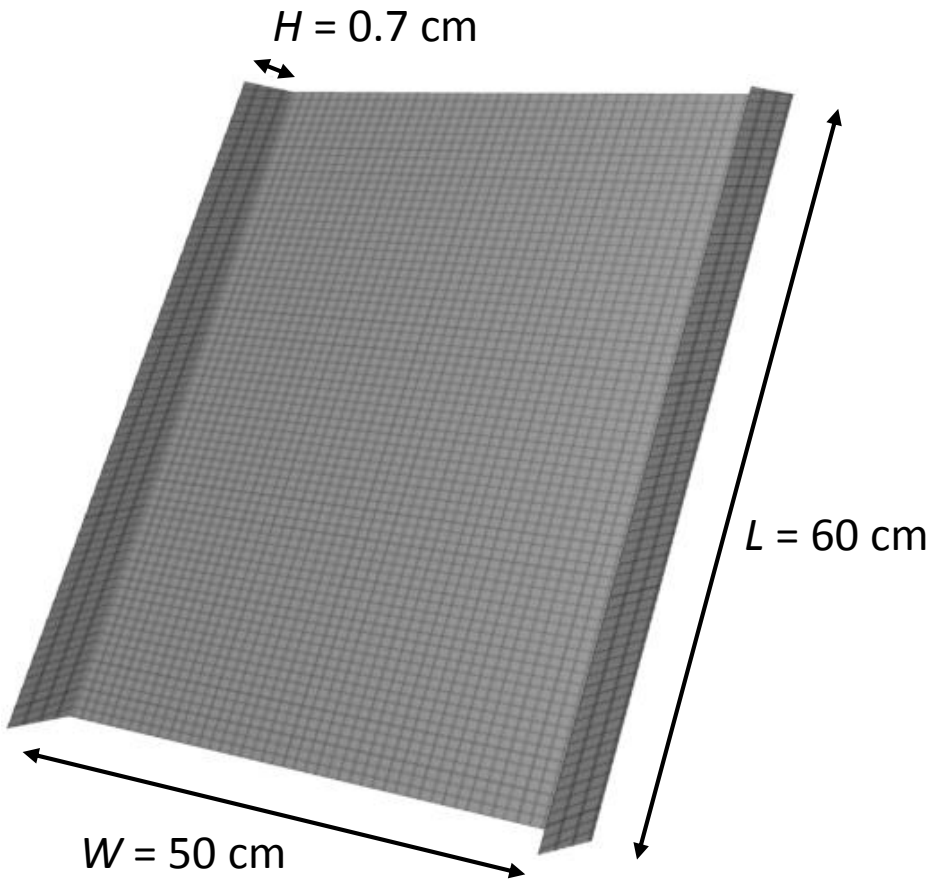
$$\frac{\partial(\rho\mathbf{U})}{\partial t} + \nabla\cdot(\rho\mathbf{U}\otimes\mathbf{U}) - \nabla\cdot(\mu\nabla\mathbf{U}) - (\nabla\mathbf{U})\cdot\nabla\mu = -\nabla p_d - \boldsymbol{g}\cdot\boldsymbol{x}\nabla\rho + \sigma\kappa\nabla\alpha$$

Výpočetní doména
Nastavované parametry

Dodatečné parametry

Úhel náklonu $\varphi = \frac{\pi}{3}$ rad

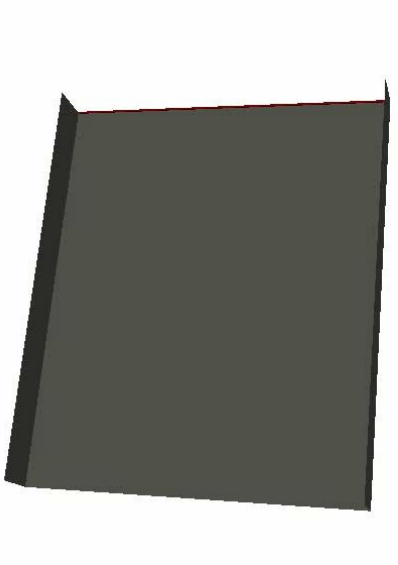
Výška vstupu kapaliny H_l = 0.4 mm



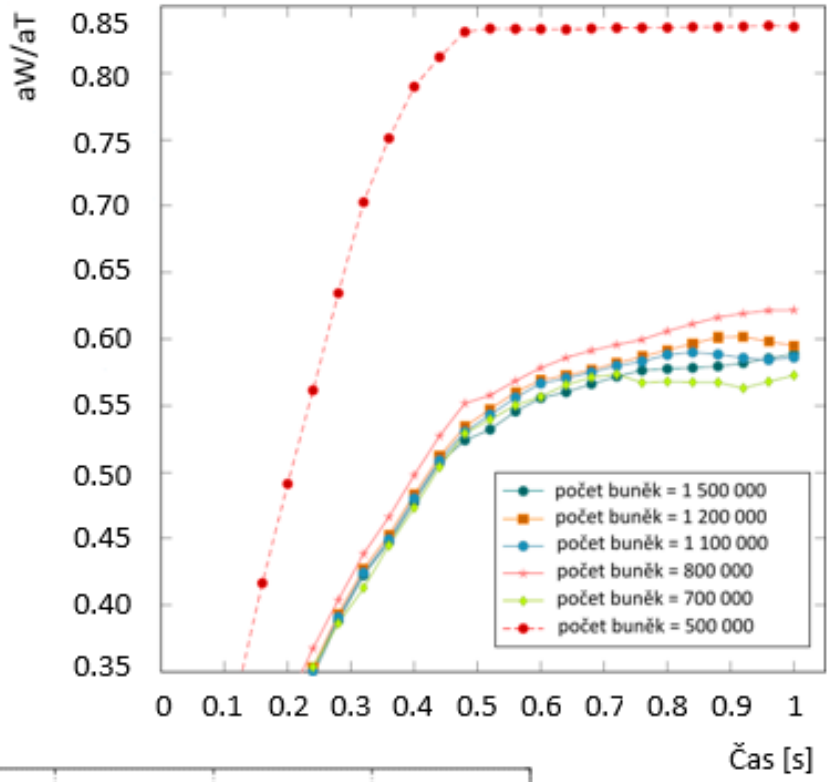
Weberovo číslo

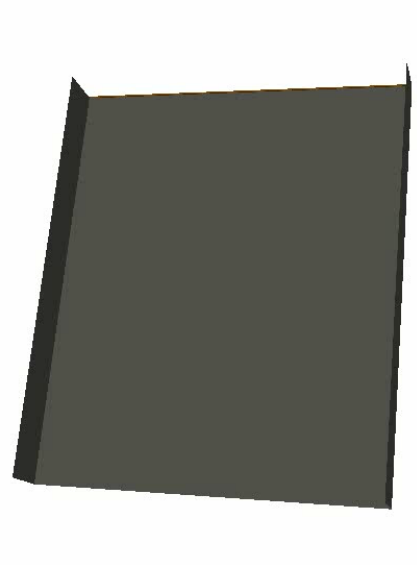
$$\mathrm{We} = \frac{\rho_l \left|\left|U\right|\right|^2 H_l}{\gamma_l}$$

Výpočetní doména
Volba jemnosti sítě

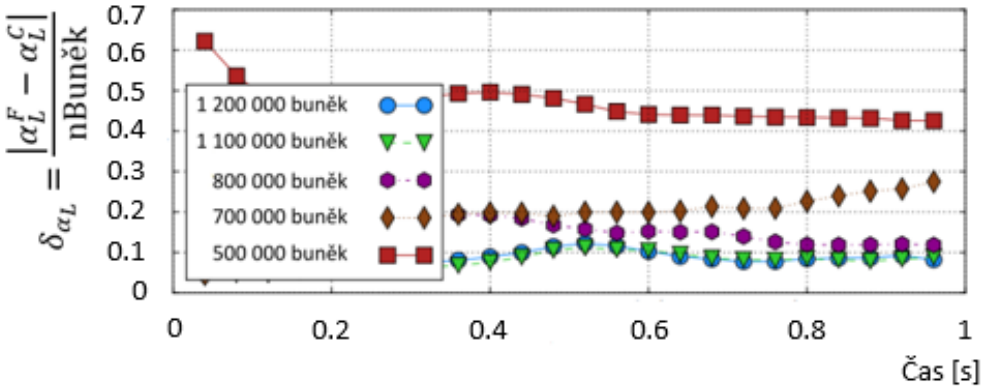


500 000 buněk





1 200 000 buněk



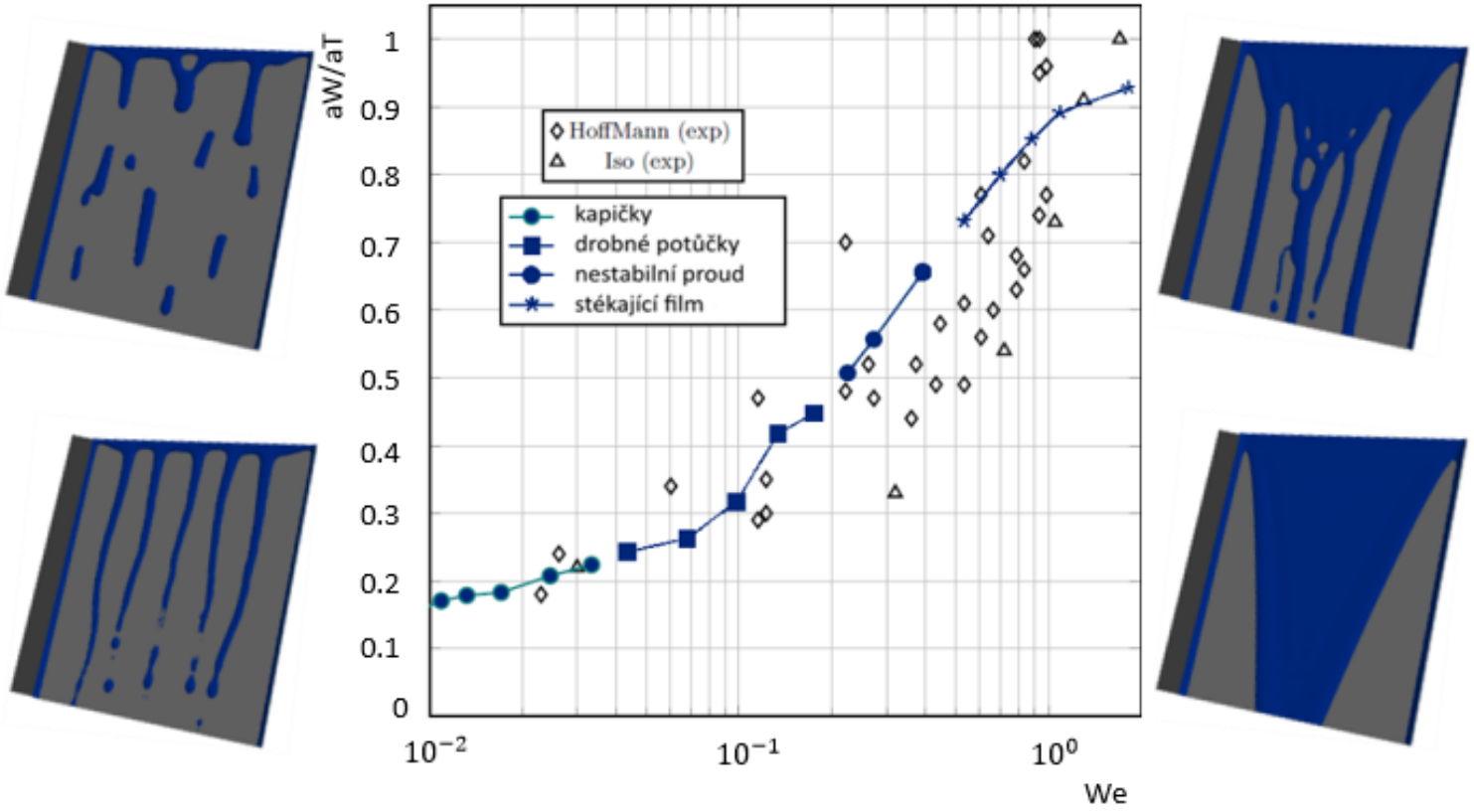
Tabulka jemnosti sítě pro různé kapaliny

Kapalina	počet buněk
H2O	1 100 000
CH3OH	1 100 000
C2H5OH	1 100 000
C6H14	1 200 000
C7H16	1 200 000

Výsledky

Validace

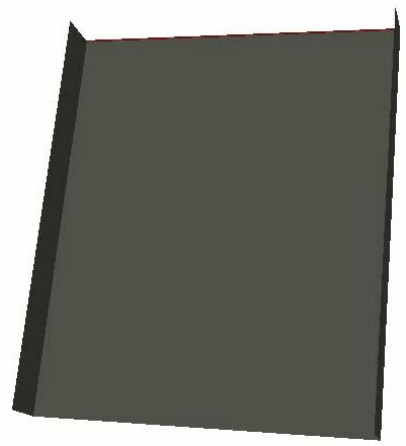
Porovnání výsledků simulace pro H2O s dostupnými experimentálními daty



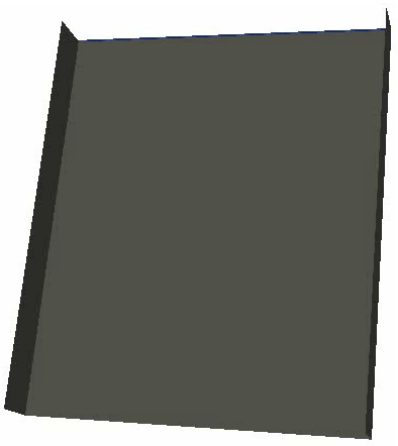
Smáčivost kapalin

Porovnání smáčivosti studovaných kapalin v závislosti na voleném parametru

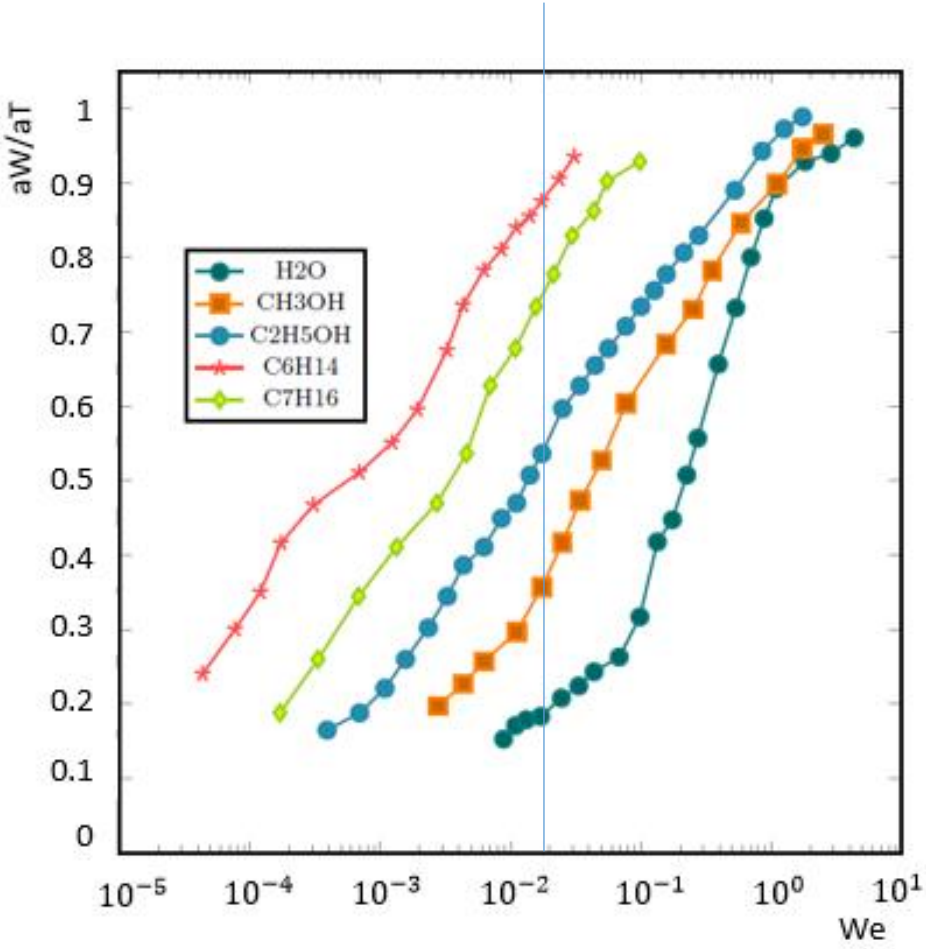
Porovnání toků pro dané We

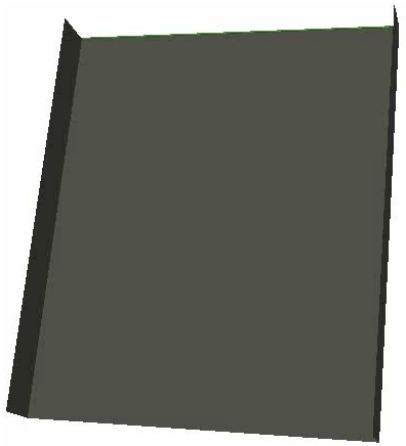


C6H14

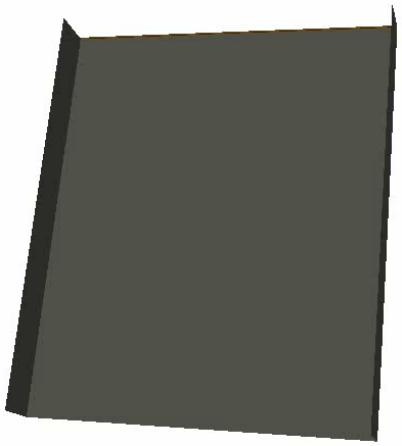


C2H5OH





C7H16



CH3OH

Závěr

Reference

1. Moukalled, F., L. Mangani, and M. Darwish, *The Finite Volume Method in Computational Fluid Dynamics: An Advanced Introduction with OpenFOAM and Matlab*. 2015: Springer Publishing Company, Incorporated. 791.
2. Jasak, H., *Error analysis and estimation for finite volume method with applications to fluid flow.* 1996.
3. Versteeg, H.K., *An introduction to computational fluid dynamics : the finite volume method*. 1st ed. ed, ed. W. Malalasekera. 1995, Harlow: Pearson.
4. Cooke, J.J., et al., *Gas-liquid flow on smooth and textured inclined planes.* World Academy of Science, Engineering and Technology, 2012. **6**(8): p. 1449-1457.
5. Hoffmann, A., et al., *Detailed Investigation of Multiphase (Gas–Liquid and Gas–Liquid–Liquid) Flow Behaviour on Inclined Plates.* Chemical Engineering Research and Design, 2006. **84**(2): p. 147-154.
6. Hoffmann, A., et al., *Fluid dynamics in multiphase distillation processes in packed towers.* Computers & Chemical Engineering, 2005. **29**(6): p. 1433-1437.

Děkuji Vám za pozornost