

MODELOVANÍ ZPĚTNÉHO PROUDU ZA SCHODEM S ČÁSTICEMI METODOU LARGE EDDY SIMULATION

Ing. Jaroslav Volavý

Školitel: prof. Ing. Miroslav Jícha, CSc.

VUT v Brně
Fakulta strojního inženýrství
Energetický ústav
Odbor termomechaniky a techniky prostředí

22. březen 2011

Obsah

- 1 Úvod
 - Motivace
- 2 Geometrie a síť
 - Rozměry a třecí rychlost
 - Popis použitých modelů
 - Okrajové podmínky a síť
- 3 Výsledky
 - Bez částic
 - S částicemi

Motivace

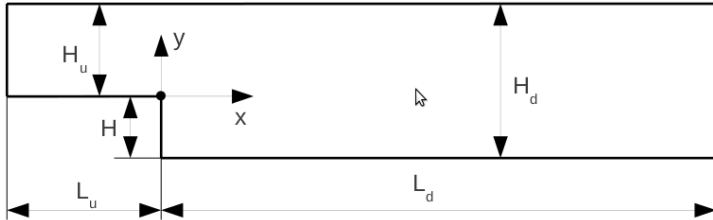
Proč zpětný proud za schodem?

Navržené modely transportu částic je třeba validovat

Zpětný prúd za schodem (backward facing step):

- jednoduchá geometrie
- turbulence
- snadno dostupná data pro srovnání - omyl

Dimenze BFS



$$H_d = 66.7 \text{ mm}$$

$$H_u = 40 \text{ mm}$$

$$H = 26.7 \text{ mm}$$

$$L_u = 3 \cdot H_u = 120 \text{ mm}$$

$$L_d = 10 \cdot H_u = 400 \text{ mm}$$

Parametry proudění

Rychlost v ose kanálu

10.5m/s

$$Re_h = \frac{U_0 h}{\nu}$$

13 800

třecí rychlost u_τ

0.5m/s

Disipace ϵ

4.3m²s⁻³

Kolmogorovo měřítko (odhad)

170μm

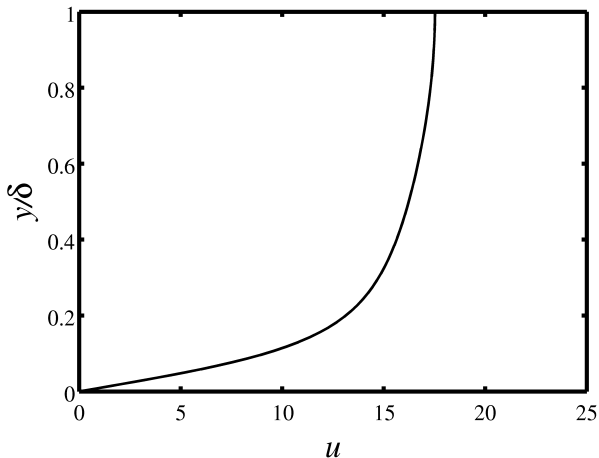
Třecí rychlost

Smykové napětí vyjádřené v jednotkách rychlosti

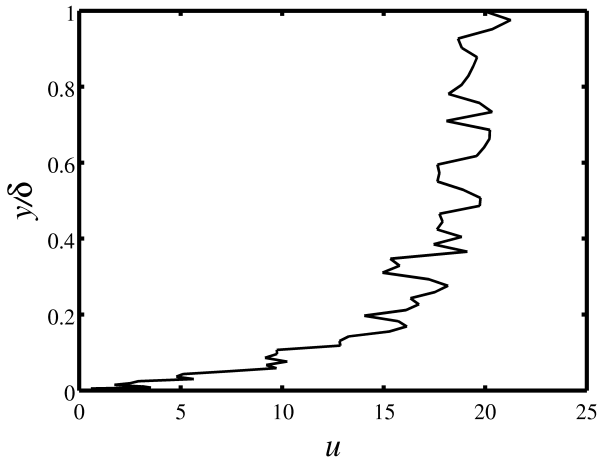
Pomocí dimenzionální analýzy dostaneme:

$$u_\tau = \sqrt{\frac{\tau_w}{\rho}}, \quad \text{kde} \quad \tau_w = \mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)_{y=0}$$

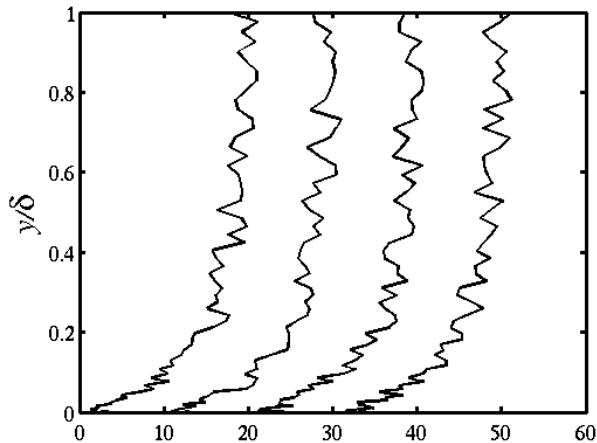
Jak zjistit smykové napětí na stěně



Jak zjistit smykové napětí na stěně



Jak zjistit smykové napětí na stěně



K čemu se používá třecí rychlost

Třecí rychlost se používá pro výpočet

- bezrozměrná rychlost

$$u^+ = \frac{u}{u_\tau}$$

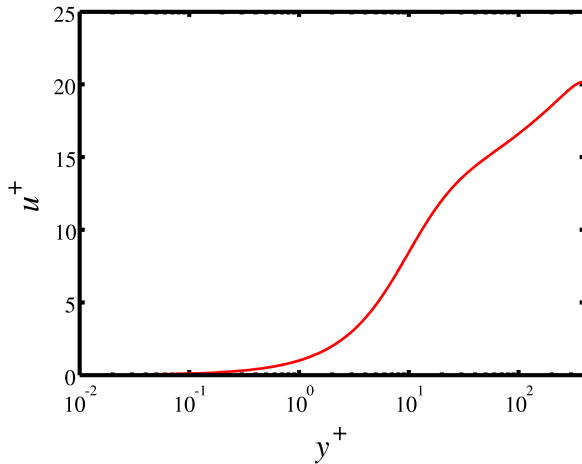
- stěnové jednotky (wall units)

$$\Delta x^+ = \Delta x u_\tau / \nu, \dots$$

- bezrozměrná vzdálenost od stěny

$$y^+ = \frac{u_\tau y}{\nu}$$

Význam pro stěnové funkce



Nosná fáze - Large Eddy Simulation

Filtrace

$$\bar{\mathbf{u}}(\mathbf{x}) = \mathbf{G} * \mathbf{u}(\mathbf{x})$$

Filtrované Navier-Stokesovy rovnice

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\bar{u}_i \bar{u}_j) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial^2 \bar{u}_i}{\partial x_k \partial x_k} - \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + f_{particles}$$

Subgridní napětí

$$\tau_{ij} = \overline{u_i u_j} - \bar{u}_i \bar{u}_j$$

Subgridní modely pro Large Eddy Simulation

k-equation model

$$\frac{\partial k_{sgs}}{\partial t} + \bar{u}_i \frac{\partial k_{sgs}}{\partial x_i} = -\tau_{ij} \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - C_c \frac{k_{sgs}^{3/2}}{\Delta} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\nu_k}{\sigma_k} \frac{\partial k_{sgs}}{\partial x_j} \right) \quad (1)$$

$$\tau_{ij} = -2\nu_k \bar{S}_{ij} + \frac{2}{3} k_{sgs} \delta_{ij} \quad (2)$$

dynamic k-equation model

$$\mathcal{L}_{ij} - (\delta_{ij}/3)\mathcal{L}_{kk} = -C_k \left(\tilde{\Delta} K^{1/2} \tilde{S}_{ij} - \Delta \widetilde{k^{1/2} S_{ij}} \right) \quad (3)$$

$$\nu \left(\frac{\partial \widetilde{\bar{u}_i}}{\partial x_j} \frac{\partial \widetilde{\bar{u}_i}}{\partial x_j} - \frac{\partial \tilde{u}_i}{\partial x_j} \frac{\partial \tilde{u}_i}{\partial x_j} \right) = C_c \left(\frac{K^{3/2}}{\tilde{\Delta}} - \frac{\widetilde{k^{3/2}}}{\Delta} \right) \quad (4)$$

Joke :-)

Disperzní fáze - Lagrangeovy pohybové rovnice

Pohybová rovnice částice

$$\frac{d\mathbf{v}_j}{dt} = \frac{\mathbf{u}(\mathbf{x}_j, t) - \mathbf{v}_j}{\tau_p} \left(1 + 0.15 \text{Re}_p^{0.687} \right)$$

Rychlost v pozici částice

$$u_i = \bar{u}_i + X \sqrt{u_i^2 - \bar{u}_i^2}$$

Okrajové podmínky

inlet

```
{  
  type    fixedValue;  
  value   uniform (10 0 0);  
}
```

outlet

```
{  
  type    inletOutlet;  
  inletValue   uniform (0 0 0);  
  value        uniform (0 0 0);  
}
```



wall

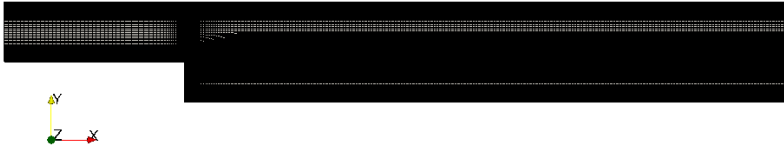
```
{  
  type    fixedValue;  
  value   uniform (0 0 0);  
}
```

cyclic0

```
{  
  type    cyclic;  
}
```

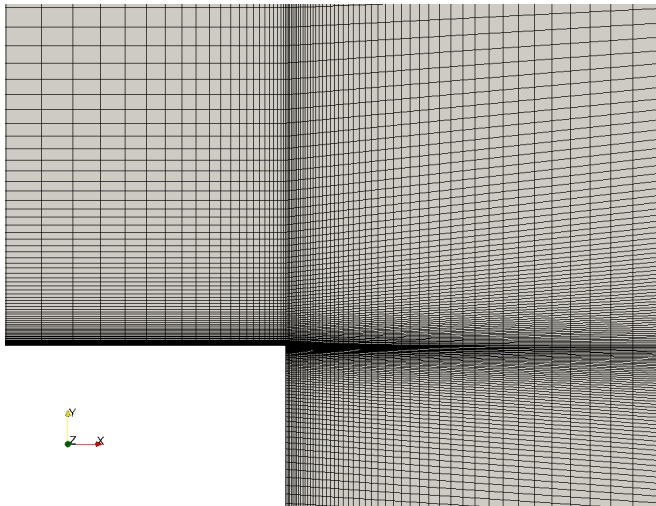

Síť

Celkový pohled

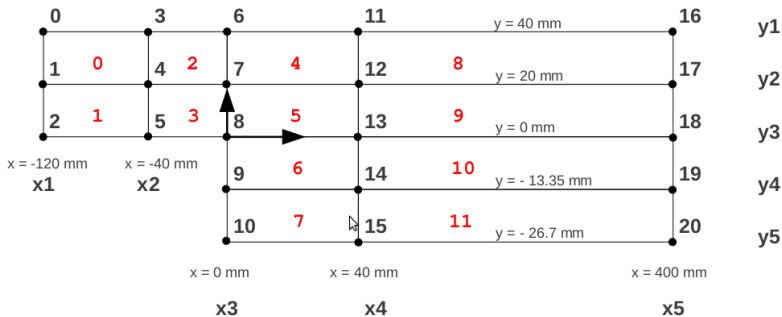


Síť

Detail sítě

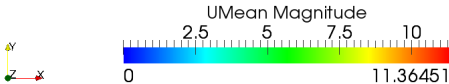
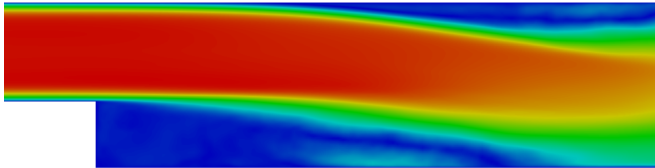


Bloky sítě



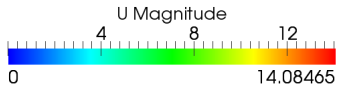
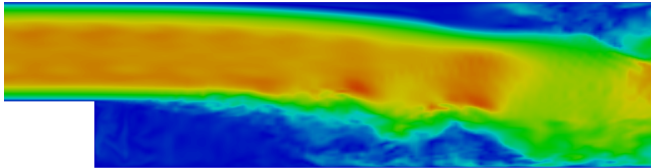
Průměrná rychlost

Velikost



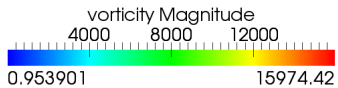
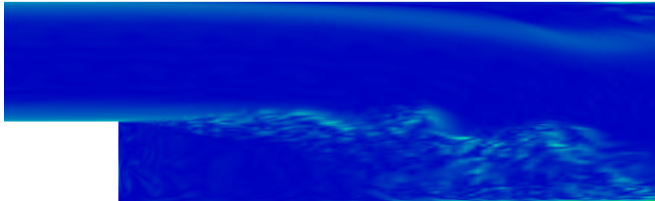
Okamžitá rychlost

Velikost



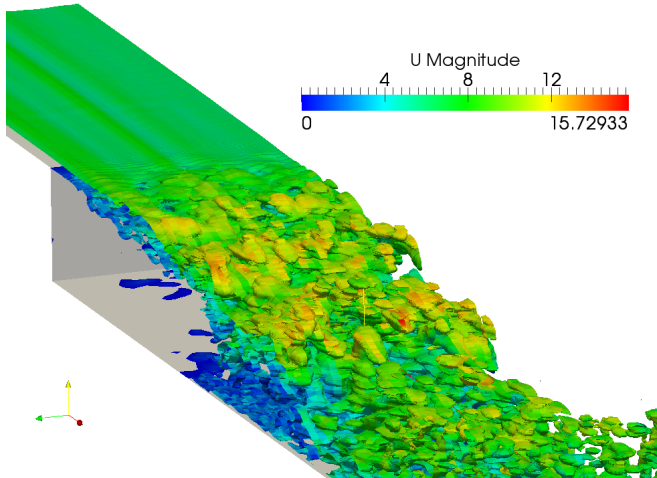
Vířivost

Velikost

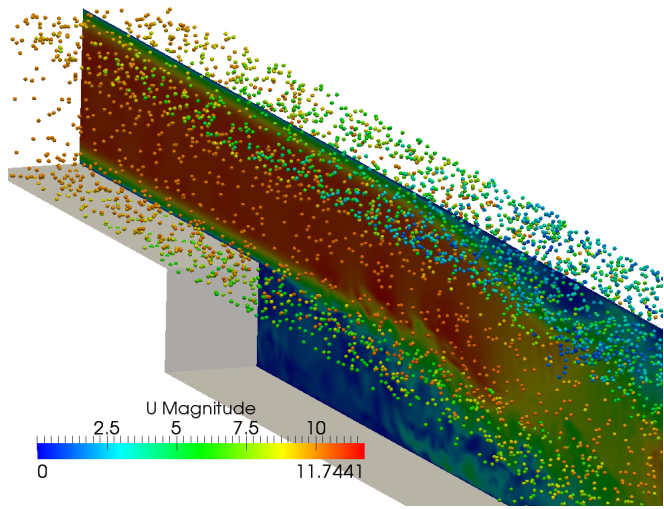


Enstropie

a.k.a. energie vířivosti



Částice



Vlastnosti částic

Simulace budou provedeny pro tyto částice:

	I	II	III
materiál	sklo	sklo	měď
průměr (μm)	90	150	70
hustota ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	2500	2500	8800
Stokesovo číslo	3.0	7.2	6.9
hmotnostní podíl (%)	20,40,60	20,40,60	20,40,60

Závěr

Hotovo

- navržena geometrie oblasti
- vygenerována síť
- jednofázové proudění
- zprovoznění částic v OpenFOAMu

Udělat

- zahrnout vliv částic do subgridního modelu
- upravit model vstupu částic do domény
- spočítat a zpracovat

Ďekuji za pozornost