

# Porovnání numerických řešičů pro pneumatický transport velkých částic a jejich validace

Ing. Petra Tisovská <petra.tisovska@tul.cz>, doc. Ing. Petr Šidlof, Ph.D.

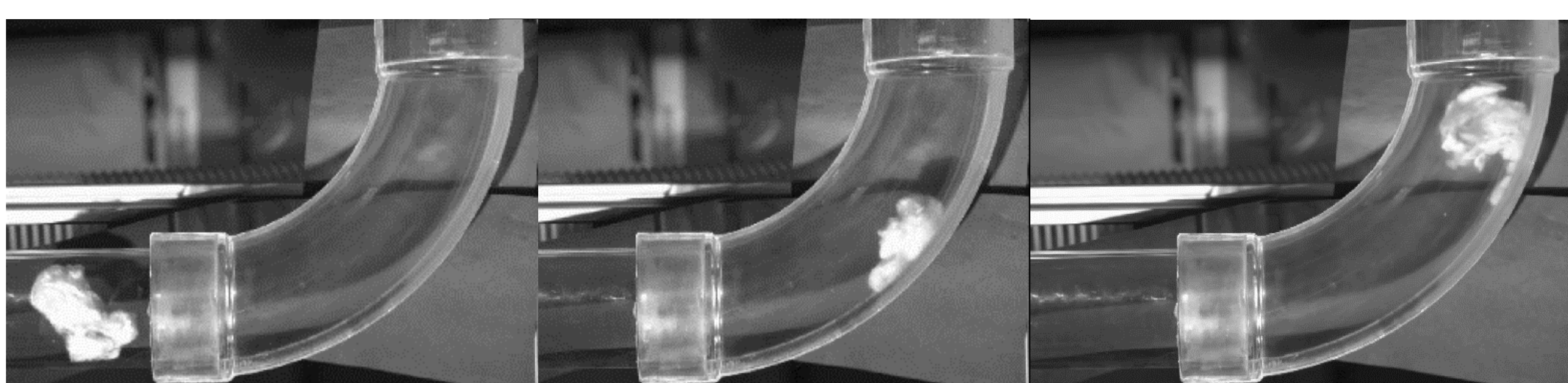
## ABSTRAKT

Tento příspěvek je součástí projektu, který se zabývá vývojem modelů a numerických metod a jejich aplikace v simulačním software pro řešení parciálních diferenciálních rovnic. Důraz je zde kladen na numerickou simulaci velké částice a zhodnocení vhodnosti numerických řešičů pro simulaci interakce této částice s prouděním tekutiny.

## ÚVOD

Pneumatický transport pevných částic je klíčovou součástí mnoha průmyslových odvětví. Numerické simulace si kladou za cíl tento děj popsat a následně jej optimalizovat v různých průmyslových zařízeních.

Cílem tohoto projektu je porovnání vhodnosti různých numerických řešičů (komerční ANSYS Fluent, OpenSource OpenFOAM) pro řešení unášení bavlny v průmyslovém provozu. Příklad kusu bavlny v potrubí je zobrazen na obrázku 1.



**Obrázek 1:** Chování transportované bavlny v kolenu při rychlosti vzduchu  $u_0 = 5$  m/s

Z obrázku je patrné, že dochází ke změně tvaru bavlny. Vzorek se při průchodu kolene smrští a následně zase rozvine a odlepí od stěny potrubí.

Nejvíce diskutovaným problémem v této oblasti je transport velkého množství malých částic, které jsou definovány dle velikosti  $d$  a charakteristického rozměru sítě  $l$ :  $d \ll l$ . Důležitým příkladem použití numerických výpočtů je například proces tzv. fluidized bed, kterým se zabývá Linmin Li [1].

Příklad CFD simulace velkého množství částic přemísťovaného pneumatickým transportem lze nalézt v článku [2].

## METODIKA

Pro numerické simulace unášení pevných částic v tekutině se používají dva základní přístupy: Euler – Euler a Euler – Lagrange. V této práci byl zvolen přístup Euler (pro tekutinu) a Lagrange (pro pevnou fázi).

Nestlačitelná Navier-Stokesova rovnice popisuje proudění tekutiny:

$$\frac{\partial \alpha_f u_f}{\partial t} + \nabla \cdot (\alpha_f u_f u_f) = \frac{1}{\rho_f} (-\nabla p + \alpha_f \nabla \cdot \tau + \alpha_f \rho_f g + F_f)$$

a

$$\nabla \cdot (\alpha_s u_s + \alpha_f u_f) = 0$$

Pohyb pevné částice je popsán Newtonovým druhým pohybovým zákonem:

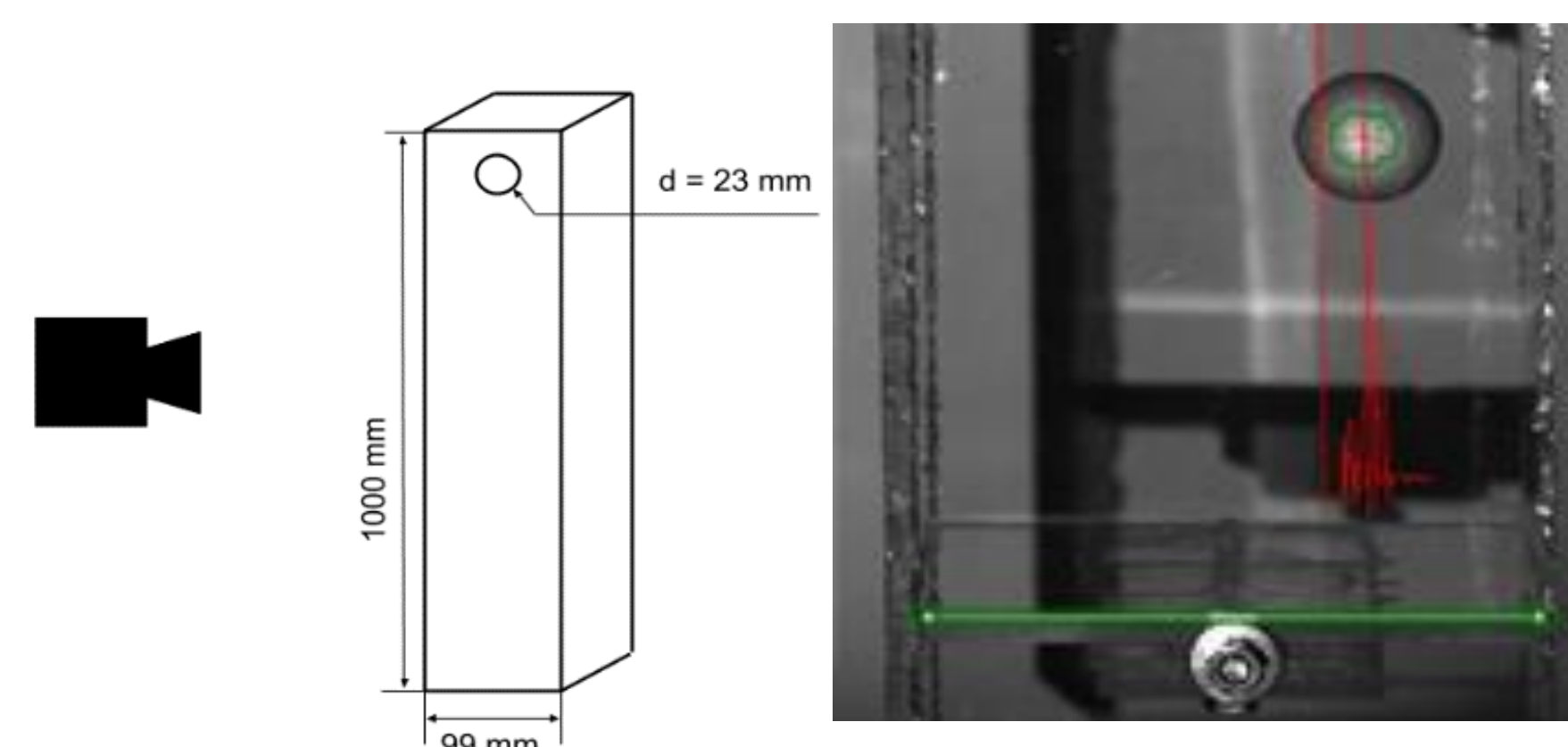
$$m_i \frac{dv_i}{dt} = \sum_{j=1}^{n_c} F_{ij}^c + F_i^f + F_i^g \quad \text{a} \quad I_i \frac{dw_i}{dt} = \sum_{j=1}^{n_c} M_{ij}$$

## VÝSLEDKY A DISKUZE

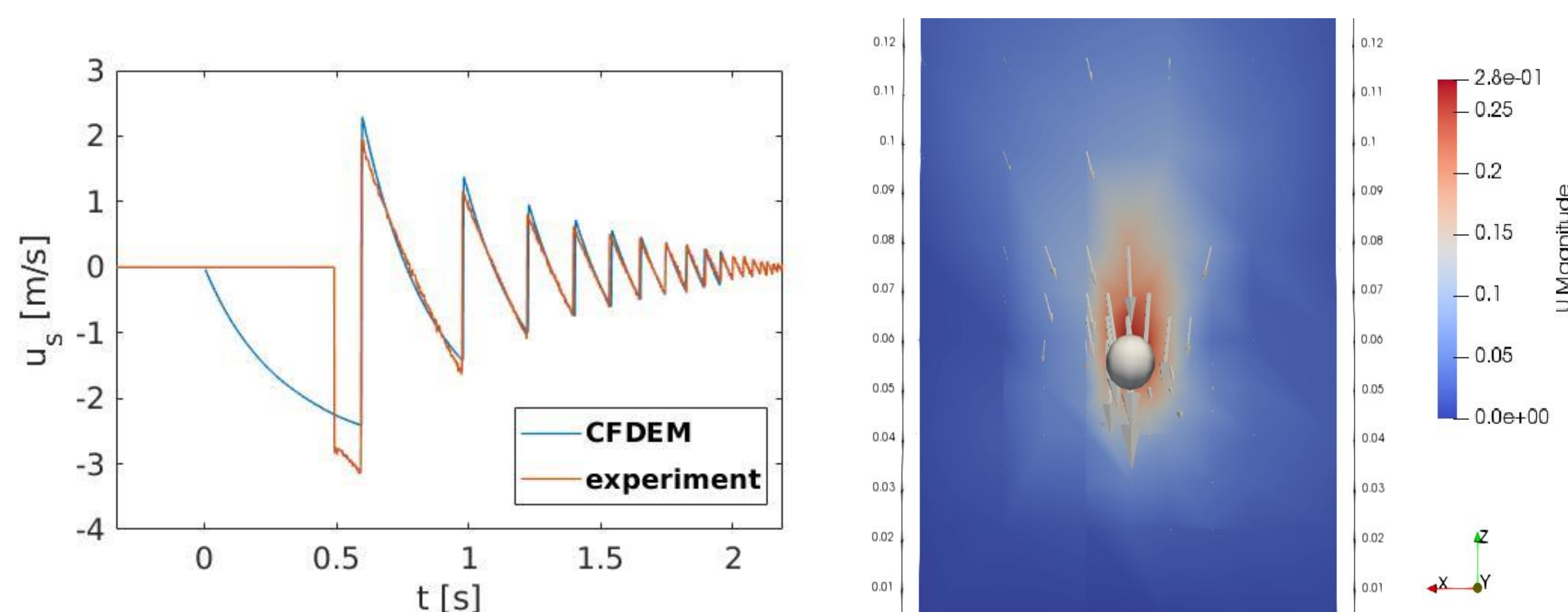
Proudění tekutiny je tedy počítáno Eulerovým přístupem, metodou konečných objemů. Pohyb částic je určen Lagrangeovským přístupem, kde je sledována každá částice. Interakce mezi prouděním a pevným tělesem je dána silami, které jsou určeny experimentálně odvozenými vztahy.

Pro OpenFOAM i ANSYS Fluent bylo simulacemi ověřeno, že pro konvergenci řešení musí být splněna podmínka velikosti částice  $d \ll l$ . Tyto řešiče jsou nevhodné. Pro velkou částici platí, že  $d > l$ . V numerických simulacích byl zvolen poměr  $d/l = 4,6$ .

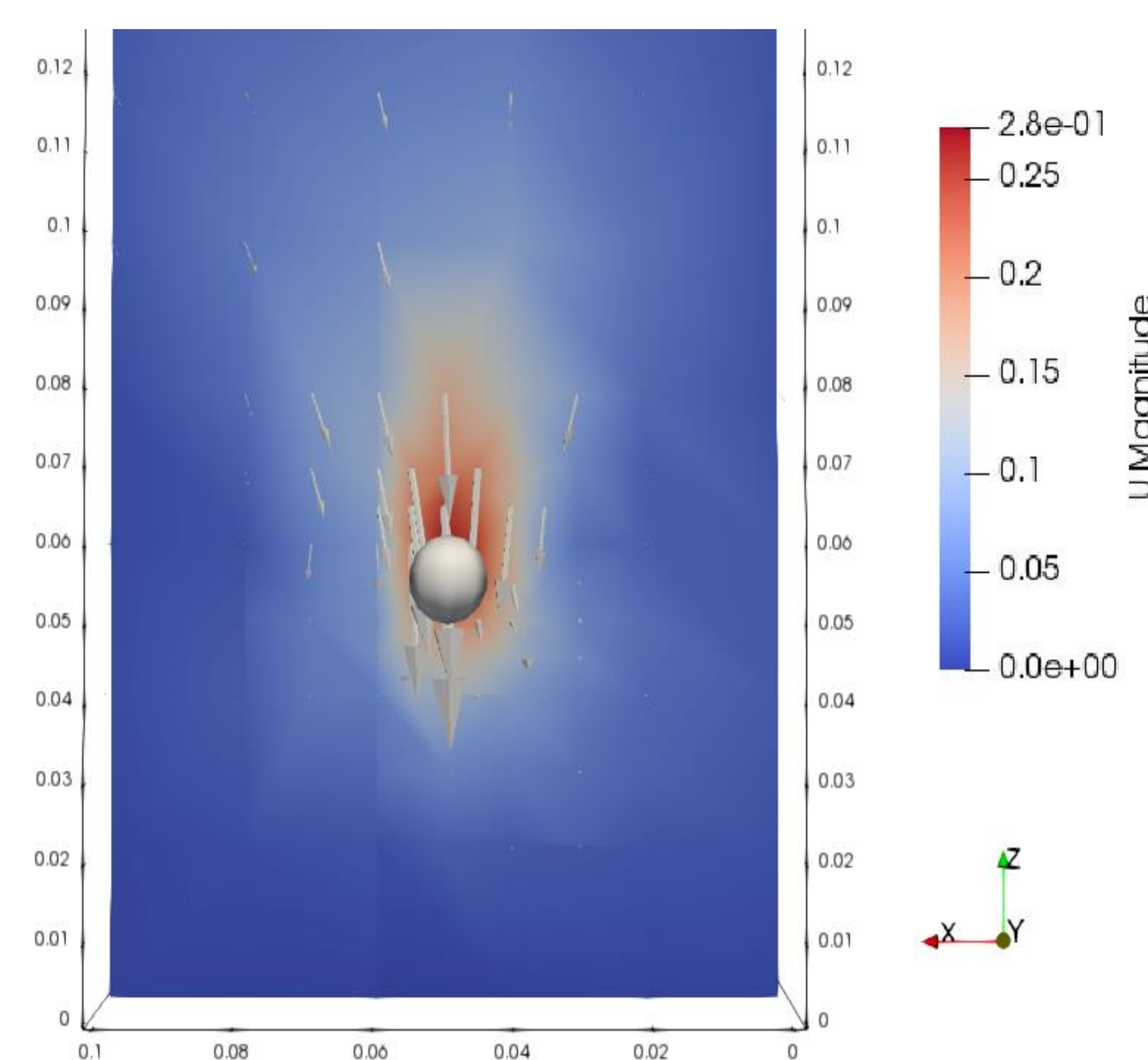
Pro numerickou simulaci velké částice byl zvolen balík CFDEM. Software byl ověřen na základě experimentu volného pádu částice a jejímu následnému odrazu. Experiment je schematicky popsán na obrázku 2, kde je také zobrazen detail z měření. Výsledky jsou zobrazené na obrázcích 3 a 4.



**Obrázek 2:** Volný pád částice  $d = 23$  mm snímáný vysokorychlostní kamerou a detail z prováděného experimentu



**Obrázek 3:** Srovnání rychlosti částice  $u_s$  v experimentu s CFDEM simulací



**Obrázek 4:** Volný pád částice v nehybném vzduchu

Z provedených CFD simulací vyplývá, že vhodným nástrojem pro simulování pohybu velkých částic v tekutině je CFD-DEM. Budoucí práce se bude zabývat tvarem a vlastnostmi pevné částice, jako je například její porozita, elasticita apod. Jako jiný vhodný přístup se jeví metoda Euler-Euler, kde je pevná částice popsána jako velmi viskózní kapalina s patřičnými vlastnostmi.

## REFERENCE

- [1] LINMIN LI, BAOKUAN LI, ZHONGQIU LIU. Modeling of spout-fluidized beds and investigation of drag closures using OpenFOAM, Powder Technology, Volume 305, 2017, Pages 364-376, ISSN 0032-5910.
- [2] CHENLONG D., CHENG S., LINGLING WU, YUEMIN Z. JINFENG HE. CFD-DEM simulation of fluid-solid flow of a tapered column separation bed, International Journal of Mining Science and Technology, Volume 25, Issue 5, 2015, Pages 855-859, ISSN 2095-2686.
- [3] ZHANG, ZIXIN AND YIN. A Coupled CFD-DEM Simulation of Slurry Infiltration and Filter Cake Formation during Slurry Shield Tunneling, Infrastructures, Volume 3, 2018, Issue 2, ISSN 2412-3811.