



## Oponentský posudek bakalářské práce Dominika Horáka „Matematické modelování proudění a obtékání překážek pomocí mřížkové Boltzmannovy metody“

V předkládané bakalářské práci se autor zaměřuje na problematiku proudění tekutin a obtékání překážek. Vybrané téma je motivováno využitím numerických modelů v praktických oborech jako Formule 1.

Práce je přehledně členěna do tří kapitol doplněných závěrem, úvodem a abstraktem. V první kapitole je popsán matematický model pro úlohu proudění tekutiny kolem pevné překážky. Zde uvedený model je obecnější, než úlohy řešené numericky v dalších kapitolách, což je dobrý základ pro budoucí práce jako výzkumný úkol nebo diplomová práce. Druhá kapitola je věnována popisu mřížkové Boltzmannovy metody, která byla použita pro numerické řešení testovacích úloh v této práci. Popis využívá známých poznatků dostupných v literatuře a přehledně shrnuje formulaci metody pro rychlostní modely D2Q9 a D3Q27, které jsou použity dále. Poslední dvě sekce jsou věnovány matematickému popisu a implementaci algoritmu pro výpočet síly mezi překážkou a tekutinou pomocí metody výměny hybnosti. V poslední kapitole jsou uvedeny výsledky testovacích úloh dokazující správnost implementace výše uvedeného algoritmu ve 2D i 3D.

Práce je napsána přehledně pomocí spisovného českého jazyka a obsahuje zanedbatelný počet překlepů a gramatických i faktických chyb. Z hlediska počtu stránek je práce spíše podprůměrná, což ale spolu s úderností textu má za následek, že se velmi dobře čte. Práce je dokladem toho, že student investoval velké množství času a úsilí do studia mřížkové Boltzmannovy metody, existujícího kódu v C++ a CUDA, a jeho rozšíření o nový algoritmus. Hlavní výsledek práce je, že implementovaný algoritmus pro výpočet síly funguje, a to ve 2D i 3D, což je výsledek nad rámec zadání práce.

Do diskuse během obhajoby předkládám následující poznámky a dotazy:

- V práci se zkratka LBM skloňuje podle středního rodu. Správně česky je však LBM ženského rodu, protože písmeno „M“ znamená „metoda“. Měli bychom tedy psát např. „LBM je založena“ a ne „LBM je založeno“.
- Jaký je smysl členu  $\nu\rho \Delta \vec{u}$  ve vstupních podmínkách (1.12a) a (1.14a)? Používá se to v nějaké literatuře? Je možné takto definovanou makroskopickou podmínku implementovat v mezoskopickém přístupu mřížkové Boltzmannovy metody?
- Odpovídá mezoskopická podmínka (2.15) makroskopické podmínce (1.12d)? Tj. když z rovnovážných distribučních funkcí spočítáme makroskopické veličiny, dostaneme opět hodnoty  $\rho_{ini}$  a  $\vec{u}_{ini}$ ?
- Rovnice (2.29) specifikuje volbu relaxačních časů pro CLBM. Jak jsou voleny relaxační časy  $\tau_0$ ,  $\tau_1$  a  $\tau_2$ ?
- Jaké jsou vstupní hodnoty pro výpočet Reynoldsova čísla ve 3D úlohách? Používá se maximální nebo průměrná rychlost na vstupu?
- V obrázcích 3.2b) a 3.3b) jsou čárkované křivky pro  $\nu_{LBM}$  rovno  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$  a  $10^{-4}$ , přičemž ta prostřední (modrá) je nejbližší referenčním hodnotám. V textu se ale píše, že hodnoty konvergují pro zmenšující se časový krok. Jak je to myšleno?

- V čem spočívá rozdíl v metodice při porovnávání průměrných hodnot  $c_D$  a  $c_L$  pro stabilní úlohy a maximálních hodnot  $c_D$  a  $c_L$  pro nestabilní úlohy? Je to způsobeno nedostatkem referenční literatury nebo něčím jiným? Počítá se průměr resp. maximum přes nějaký časový interval? V úloze 3.2.2 jsou maximální referenční hodnoty pro  $c_L$  záporné. Nebylo by naopak lepší porovnat minimální hodnoty  $c_L$ ? Nedal by se pro nestabilní úlohy nějak porovnat i časový průběh proudění?

Vzhledem k výše uvedenému navrhuji hodnotit tuto práci stupněm **A – výborně**.

V Praze, dne 23. června 2022

Ing. Jakub Klinkovský