

## I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

<b>Název práce:</b>	Řešení Sodova problému užitím SPH metody
<b>Jméno autora:</b>	Tomáš Halada
<b>Typ práce:</b>	bakalářská
<b>Fakulta/ústav:</b>	Fakulta strojní (FS)
<b>Katedra/ústav:</b>	Ústav technické matematiky
<b>Oponent práce:</b>	Doc. Ing. Jiří Fürst, PhD.
<b>Pracoviště oponenta práce:</b>	Ústav technické matematiky, FS ČVUT v Praze

## II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

<b>Zadání</b>	<b>mimořádně náročné</b>
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
Zadání vyžadovalo od studenta značnou dávku samostatnosti.	

<b>Splnění zadání</b>	<b>splněno</b>
<i>Posuďte, zda předložená závěrečná práce splňuje zadání. V komentáři případně uveďte body zadání, které nebyly zcela splněny, nebo zda je práce oproti zadání rozšířena. Nebylo-li zadání zcela splněno, pokuste se posoudit závažnost, dopady a případně i příčiny jednotlivých nedostatků.</i>	
Zadání bylo bezesbýtku splněno.	

<b>Zvolený postup řešení</b>	<b>vynikající</b>
<i>Posuďte, zda student zvolil správný postup nebo metody řešení.</i>	
Postup řešení plně odpovídá zadanému problému.	

<b>Odborná úroveň</b>	<b>A - výborně</b>
<i>Posuďte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.</i>	
Práce se zbývá užitím SPH metody pro řešení problému proudění stlačitelné tekutiny. Jedná se o náročný problém jak z hlediska vlastností fyzikálního a matematického modelu, tak z hlediska korektního matematického popisu. Ten rozhodně přesahuje rozsah znalostí požadovaných od absolventů bakalářského studia. Z tohoto důvodu navrhuji hodnocení A a to i přes určité nedostatky zmíněné v závěrečném komentáři.	

<b>Formální a jazyková úroveň, rozsah práce</b>	<b>A - výborně</b>
<i>Posuďte správnost používání formálních zápisů obsažených v práci. Posuďte typografickou a jazykovou stránku.</i>	
Práce je napsána srozumitelným jazykem bez většího množství chyb či překlepů. Práci lze formální stránce vytknout pouze pár drobných detailů: <ul style="list-style-type: none"> <li>• V grafech 5.12 a dále je v popisku 2x SPH přičemž graf obsahuje pouze jednu sadu dat z SPH metody</li> <li>• Překlep (?) ve jménu Rychtmyer (správně Richtmyer)</li> <li>• Nevhodně zvolený obrázek 1.1. Obrázek nijak nenaznačuje rozdíl mezi Lagrangeovskou a Eulerovskou sítí.</li> </ul>	

<b>Výběr zdrojů, korektnost citací</b>	<b>A - výborně</b>
<i>Vyjádřete se k aktivitě studenta při získávání a využívání studijních materiálů k řešení závěrečné práce. Charakterizujte výběr pramenů. Posuďte, zda student využil všechny relevantní zdroje. Ověřte, zda jsou všechny převzaté prvky řádně odlišeny od vlastních výsledků a úvah, zda nedošlo k porušení citační etiky a zda jsou bibliografické citace úplné a v souladu s citačními zvyklostmi a normami.</i>	
Citace odpovídají běžným standardům.	

<b>Další komentáře a hodnocení</b>
<i>Vyjádřete se k úrovni dosažených hlavních výsledků závěrečné práce, např. k úrovni teoretických výsledků, nebo k úrovni a</i>

*funkčnosti technického nebo programového vytvořeného řešení, publikačním výstupům, experimentální zručnosti apod.*

Předložená práce se zabývá numerickou simulací proudění stlačitelné tekutiny v rázové trubici pomocí tzv. SPH metody. Ta patří mezi alternativní numerické metody inspirované částicovým přístupem či tzv. „partition of unity“. Jak je v práci uvedeno, SPH metoda byla navržena roku 1977 pro simulace astrofyzikálních dějů. Později byla aplikována na celou řadu problémů. Mezi její hlavní přednosti patří snadná implementace pro případ proudění v časově závislých oblastech či pro případy proudění s volnou hladinou. Řešení Sodova problému (tj. proudění v rázové trubici) nepatří mezi typické problémy pro SPH metodu. To se nakonec ukazuje i v předložené práci, kdy jednoduché Laxovo-Friedrichsovo schéma dává přesnější výsledky v řádově kratším výpočetním čase. Přesto je v práci ukázáno, že pomocí SPH metody lze úspěšně řešit i problémy s rázovými či expanzními vlnami.

Autor v úvodní části podává stručný popis odvození SPH metody pro případ proudění stlačitelné tekutiny, poté formuluje Sodův problém, stručně popisuje základní body implementace a prezentuje výsledky ve srovnání s analytickým řešením a s numerickým řešením získaným Laxovým-Friedrichsovým schématem. Je zde proveden i rozbor přesnosti vzhledem k počtu použitých částic resp. Počtu bodů sítě a rozbor časové náročnosti výpočtu.

Vzhledem k náročnosti vybraného tématu doporučuji hodnocení známkou **A-výborně** a to i přes níže uvedené výhrady, které z části pramení právě z náročnosti tématu.

Výhrady a poznámky:

- Nevhodně zvolené značení ve vzorcích 1.1 a 1.2. Není jasné, co je  $X$  a  $Y$ , pokud  $Y$  jsou aktuální souřadnice, tak by Eulerovský popis měl být zhruba  $V=V(Y,t)$  a ne  $V(X,t)$ .
- Definice Dirackovy distribuce na str. 16 je špatně (resp. značně zjednodušující). Lepší definice vychází např. z teorie distribucí, tj. jako funkcionál na prostoru nekonečně diferencovatelných funkcí s kompaktním nosičem.
- Při zavedení váhové funkce  $W$  na str. 16 se neuvádí z jakého prostoru má tato funkce být. Dle (2.3) by měla být alespoň integrabilní.
- Není uvedeno v jakém smyslu je míněna limita ve vztahu (2.4).
- Vzorec (2.10) platí pouze pro  $x$  ve vzdálenosti  $kh$  od hranice oblasti, přesněji pro  $x$  z  $\omega - \text{supp}(W)$ , kde  $-$  je tzv. Minkowského rozdíl.
- Ve vzorci (2.12) (a dále) chybí u  $\Delta V$  index  $i$ .
- Zápis ve vzorci (2.13) je nejasný. Jedná se o divergenci? Pak by ale  $f$  měla být vektorová funkce.
- Při definici druhé gradientní formule by bylo vhodné odlišit značení, např. jako  $\langle \cdot \rangle_2$  jinak ne vzorec (2.21) špatně srozumitelný.
- Vzorec 2.24 je divergence? Pak  $f$  má být vektor a na levé straně chybí skalární součin.
- Vzorec (3.6) vede na soustavu rovnic pro hustoty. Je tomu opravdu tak?
- Jaká je souvislost  $r_{ij}$  a  $x_{ij}$  ve vzorcích (4.5) a (4.8)?
- V grafech 5.11 by bylo vhodné zakreslit křivku odpovídající  $n^{-1}$  resp.  $h^1$ . Pak by bylo možné „odhadnout“ řád přesnosti metody.

### III. CELKOVÉ HODNOCENÍ, OTÁZKY K OBHAJOBĚ, NÁVRH KLASIFIKACE

*Shrňte aspekty závěrečné práce, které nejvíce ovlivnily Vaše celkové hodnocení. Uvedte případné otázky, které by měl student zodpovědět při obhajobě závěrečné práce před komisí.*

Jak již bylo uvedeno dříve, práce se zabývá mimořádně obtížným a aktuálním tématem používajícím velmi obtížný matematický aparát. Proto navrhuji hodnocení známkou **výborně** a to i přes řadu výše uvedených nedostatků.

Při obhajobě by měl student zodpovědět následující otázky:

1. Jaký smysl má vzorec (3.6)? Jedná se opravdu o soustavu rovnic?

2. Můžete vysvětlit oscilaci v bodě  $x \sim 0.15$  v grafu 5.5 (a dalších)? Souvisí s kontaktní nespojitostí?
3. Jak byl volen časový krok pro SPH metodu? Dle grafu 5.7a se zdá, že náročnost stoupá kvadraticky s počtem částic. To by však spolu s popisem implementace v kapitole 5.1.3 naznačovalo pevnou volbu časového kroku nezávisle na počtu částic. Bylo tomu opravdu tak?

Předloženou závěrečnou práci hodnotím klasifikačním stupněm **A** - výborně.

Datum: 17.8.2020

Podpis:

