

Posudek vedoucího práce na bakalářskou práci

## CELL-CENTERED LAGRANGEOVSKO-EULEROVSKÝ KÓD PRO HYDRODYNAMICKÉ SIMULACE

*Autor práce:* Maryia Butsko  
*Vedoucí práce:* doc. Ing. Pavel Váchal, Ph.D.  
*Pracoviště:* Katedra fyzikální elektroniky (KFE) FJFI ČVUT v Praze

Tématem předložené práce je vývoj a implementace cell-centered lagrangeovsko-eulerovského (ALE) hydrodynamického kódu za použití stávajícího lagrangeovského modulu vyvinutého na KFE.

Širší motivací tohoto projektu je získání lagrangeovsko-eulerovského nástroje pro simulace hydrodynamiky a fyziky laserového plazmatu, který bude alternativou ke stávajícímu staggered kódu PALE, vyvíjenému ve Skupině počítačové fyziky na KFE, ovšem tentokrát s cell-centered diskretizací. Ten by měl sloužit jako reference k validaci stávajících numerických výsledků, odstranit vliv inherentních vlastností staggered diskretizace a usnadnit testování nových numerických postupů. Navíc, na rozdíl od PALE, má nový kód umožňovat práci se sítěmi libovolné topologie s obecně polygonálními buňkami. Jedná se tedy o projekt s velkým významem pro výzkumné i výukové aktivity skupiny.

V zadání bakalářské práce bylo úkolem nejprve se seznámit se současným stavem problematiky, navrhnout obecnou strukturu cell-centered ALE simulačního kódu s důrazem na modularitu, přehlednost a snadnou rozšiřitelnost, a tuto strukturu v rámci přípravy implementovat v jedné dimenzi. Dále pak využít takto nabytých zkušeností ke zobecnění stávajícího dvourozměrného lagrangeovského kódu pro nestrukturované sítě na simulační kód typu indirect ALE, což obnáší mimo jiné implementaci alespoň jedné metody pro adaptaci sítí (rezone) a jedné pro konzervativní přenos řešení mezi sítěmi (remap). Výsledný kód pak měl být ověřen na vhodných testovacích úlohách.

V úvodní části práce autorka představuje předmětný systém parciálních diferenciálních rovnic (zákonů zachování) a přehlednou, kompaktní formou přibližuje základní přístupy k jeho numerickému řešení pomocí výpočetních sítí - čistě lagrangeovský, čistě eulerovský, a metodologii ALE, kombinující oba výše uvedené postupy. Následuje vysvětlení základních bloků nepřímého algoritmu ALE v jedné dimenzi a dále bližší popis rozšíření do dvou dimenzí s důrazem na případ cell-centered diskretizace na sítích s obecně polygonálními buňkami. Po nezbytných poznámkách o členění a implementaci obou vyvinutých kódů (1D i 2D) pak práce obsahuje vybrané numerické výsledky klasických testovacích úloh demonstrující různé režimy simulace, tedy buď kompletní ALE výpočet, nebo výpočty čistě lagrangeovské či čistě eulerovské, jež jsou jeho speciálními případy. Pro kontrolu a demonstraci konvergence jednotlivých metod jsou obsaženy testy jednorozměrné, schopnost práce s dvourozměrnými nestrukturovanými sítěmi libovolné topologie je pak ilustrována výsledky na sítích kartézských, polárních i obecně polygonálních. Modularita kódu je zjevná ze zastoupení a kombinace různých dílčích metod v jednotlivých blocích, tedy ve fázi lagrangeovské, v rezonu i v remapu.

V této souvislosti je třeba zdůraznit, že práce hned v několika ohledech přesahuje rámec zadání. Zatímco pro splnění úkolu rozšíření lagrangeovského kódu na ALE by formálně stačila jakákoli jedna metoda adaptace sítě, autorka jich implementovala hned několik, takže kód již nyní může fungovat nejen s jednoduchým vyhlazováním, ale i s pokročilejší adaptací sítě pomocí minimalizace funkcionálu hladkosti (CN smoothing), a nebo v režimu Lagrange+Remap, tedy vlastně eulerovsky. Podobně pro remapování byla implementována nejen základní technika prvního řádu (donor), ale i mnohem náročnější verze s lineární rekonstrukcí (včetně několika různých limiterů), umožňující přesnější výpočty, což obnášelo mnohem více práce než bylo požadováno v zadání. V této souvislosti je také třeba ocenit ukázkou numerické konvergence pomocí hladkého Vilarova testu, která rozdíl mezi oběma metodami remapování zřetelně demonstruje. Očekávání vedoucího práce byla tedy beze zbytku naplněna a překonána.

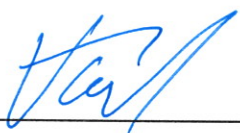
Studentka pracovala svědomitě, aktivně a samostatně, během práce bylo zřetelné značné zlepšení ať již v porozumění tématu, programátorských dovednostech, nebo ve schopnosti výsledky komunikovat a publikovat. Rukopis považuji za velmi zdařilý po technické i jazykové stránce, což si zaslouží ocenění mimo jiné i proto, že jazyk práce není autorčíným mateřským jazykem. Teoretická pasáž textu může být použita i jako základní přehled do metodiky ALE pro nezavěšeného čtenáře, případně pro další studenty k seznámení s použitými numerickými postupy. Dosažené výsledky jsou přesvědčivé a potenciál dalšího využití a vývoje velmi vysoký.

V konečné verzi textu jsem si nevšiml žádných faktických ani jazykových chyb, které by bránily porozumění textu. Pokud mohu posoudit, typografická úprava, styl referencí atd. odpovídá požadavkům ČVUT.

#### **Závěr:**

Konstatuji, že slečna Maryia Butsko úspěšně zpracovala přidělené téma, zadání splnila v plném rozsahu a ještě jej do značné míry překročila. Předkládanou bakalářskou práci považuji za velmi zdařilou, s radostí ji doporučuji k obhajobě a navrhuji ji hodnotit známkou **A (výborně)**.

V Praze dne 22.1. 2024

  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Pavel Váchal, Ph.D.  
KFE FJFI ČVUT