

# Posudek školitele dizertační práce

**Autor práce:** Ing. Matěj Klíma  
**Název práce:** Pokročilé metody pro Lagrangeovsko-Eulerovské simulace  
Advanced Tools for Arbitrary Lagrangian-Eulerian Simulations  
**Školitel:** doc. Ing. Milan Kuchařík, PhD.  
**Školitel-specialista:** prof. Ing. Richard Liska, CSc.

Lagrangeovsko-Eulerovské (ALE) metody jsou jednou z možností, jak v hydrodynamických simulacích využívat výhody pohyblivé výpočetní sítě při zachování robustnosti výpočtu, dosažené vyhlazováním sítě a následnou interpolací (remapem) stavových veličin na novou síť. Tento typ metod je využíván ve velkém počtu simulačních kódů a výzkumem v této oblasti se zabývá celá řada vědeckých skupin, jedná se tedy o aktuální a důležité téma.

V předložené dizertační práci se doktorand zabývá vylepšením ALE metod ve vícemateriálovém případě, kdy je umožněna přítomnost několika různých materiálů v každé buňce sítě, což umožňuje velice přesný popis chování rozhraní jednotlivých materiálů. Práce se zabývá metodami nejen pro klasickou hydrodynamiku, ale i rozšířením pro dynamiku elastických/plastických pevných látek, kdy je tlak v rovnicích nahrazen plným tenzorem napětí. Prvním tématem práce je vylepšování materiálového modelu, definujícího interakci různých materiálů uvnitř výpočetní buňky. Existující IA-SSD model byl vylepšen, aby umožňoval korektně reprezentovat vysokorychlostní i nízkorychlostní interakce materiálů. Dále byl model rozšířen o interakce s materiálem reprezentujícím pevnou látku a byl do něj zahrnut model vakua pomocí speciálního typu materiálu (v práci nazývaného void), včetně jeho zavírání a otvírání. Druhým významným tématem práce je vylepšení metod pro remap stavových veličin. Práce obsahuje analýzu numerické chyby tradičních používaných metod a navrhuje způsob, jak tyto metody lokálně kombinovat, aby bylo dosaženo minimální numerické chyby, nebyla ovlivněna symetrie řešení, a zároveň byl minimalizován výpočetní čas simulace. Dále je v práci navržena metoda pro remap tenzoru napětí, která je v případě simulace s elastickým materiálem nezbytná, přičemž hlavní důraz je kladen na zachování elastické energie pomocí nezávislého remapu tenzorových invariantů a následného škálování výsledného tenzoru. Všechna tato vylepšení přispívají k možnosti realisticky simulovat velice různorodé typy problémů obsahující plyny, kapaliny, pevné látky a vakuum, což je v práci doloženo několika vybranými reprezentativními příklady.

Práce je vypracována formou souboru pěti článků (obsažených v přílohách A-E) s doprovodným textem, přičemž dva články se týkají vylepšení modelu materiálové interakce, dva články se věnují analýze a zkombinování remapovacích metod a jeden článek se zabývá metodou pro remap tenzoru napětí. V úvodu doprovodného textu je obsažen přehled aktuálních numerických metod, které jsou v současné době v hydrodynamických kódech využívány. Následně autor zasadil do tohoto kontextu metody, kterými se sám zabývá, a krátce v bodech shrnul jednotlivé metody, kterými v této práci přispěl, přehledně rozdělené mezi metody týkající se materiálových modelů a metody remapování. V kapitole 2 jsou krátce popsány základní rovnice dynamiky tekutin a kontinua, včetně potřebného modelu vývoje tenzoru napětí a odpovídající stavové rovnice. Z následující kapitole jsou poté rozebrány jednotlivé numerické algoritmy založené na lagrangeovské střídavé diskretizaci rovnic kontinua ve vícemateriálovém případě. Konečně v kapitole 4 se doktorand dostává materiálovému modelu IA-SSD, který vylepšil a rozšířil v článcích A a B. Přehledně popisuje jednotlivá vylepšení,

včetně modelu vakua a jeho otevírání a uzavírání. V kapitole 5 se doktorand podobným způsobem věnuje numerickým metodám pro remap veličin, opět jsou shrnuty základy těchto metod a s odkazy do článků C, D a E zdůrazňuje svůj přínos. V poslední technické kapitole 6 demonstruje doktorand na několika numerických testech chování nových metod. Testy jsou velice dobře vybrány a zahrnují celou škálu problémů, od jednoduchých fluidních testů až po vícemateriálové situace kombinující plyn, elastickou látku a vakuum. V kapitole 7 jsou poté jednotlivé obsažené články krátce popsány a u každého je detailně uveden podíl doktoranda. Shrnutí celé práce je obsaženo v kapitole 8.

Doprovodný text obsahuje asi 70 stran, bibliografie má 106 položek. Je napsán v anglickém jazyce s jen velmi malým množstvím chyb, které jsou při rozsahu práce naprosto akceptovatelné. Ve čtyřech z pěti obsažených článků je doktorand uveden jako první autor, ve třech jako korespondující autor. Všechny články vyšly v kvalitních impaktovaných časopisech a na všech odvedl doktorand podstatnou část práce. Jejich spoluautory jsou zahraniční vědci ze špičkových světových pracovišť (LANL a AWE). Část práce věnovaná modelům vakua byla provedena v rámci mezinárodní spolupráce s Národní laboratoří Los Alamos, kde autor absolvoval dvě tříměsíční stáže.

Úroveň předložené dizertační práce hodnotím jako velice vysokou, a to jak po technické, tak po obsahové stránce. Výsledky doktoranda v ní obsažené jsou přehledně popsány a podloženy kvalitními publikacemi, které jsou obsaženy v jejích přílohách. Ing. Matěj Klíma v práci vedle značného přehledu o současných numerických metodách pro modelování dynamiky tekutin a kontinua prokazuje i schopnost samostatné vědecké činnosti. Práce splňuje všechny požadavky kladené na dizertační práci a doporučuji ji k obhajobě.

V Praze, 31. srpna 2020  
doc. Ing. Milan Kuchařík, PhD.

