

Posudek vedoucího práce na diplomovou práci

## CELL-CENTERED LAGRANGEOVSKÝ KÓD PRO SIMULACE VE FYZICE LASEROVÉHO PLAZMATU

*Autor práce:* Bc. Ivan Tarant  
*Vedoucí práce:* doc. Ing. Pavel Váchal, Ph.D.  
*Konzultant:* prof. Ing. Richard Liska, CSc.  
*Pracoviště:* Katedra fyzikální elektroniky (KFE) FJFI ČVUT v Praze

Tématem předložené práce je zobecnění cell-centered hydrodynamického kódu pro použití v cylindrických ( $r$ - $z$ ) souřadnicích a jeho rozšíření o absorpci laserového záření.

Širší motivací tohoto projektu do budoucna je získání lagrangeovsko-eulerovského (ALE) simulačního nástroje, 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, by tento nový kód měl umožňovat práci se sítěmi libovolné topologie s obecně polygonálními buňkami. Jedná se tedy o projekt s velkým významem pro výzkumné i výukové aktivity skupiny.

Ve své bakalářské práci student navrhl a implementoval základní cell-centered lagrangeovský simulační kód na nestrukturovaných dvourozměrných výpočetních sítích v kartézské geometrii. V rámci diplomové práce nyní přidal možnost pracovat v cylindrických souřadnicích, což je režim, ve kterém lze snadněji provádět realističtější simulace zahrnující interakce laserového záření s terčí a plazmatem. Za tímto účelem student dále implementoval a otestoval mechanismus absorpce energie laserového pulsu na kritické ploše. Stejně jako dříve byl i nyní kladen důraz na důkladné průběžné testování, modularitu, přehlednost a snadnou rozšiřitelnost kódu umožňující například použití jiného numerického schématu, zahrnutí dalších fyzikálních jevů do modelu, či zobecnění na lagrangeovsko-eulerovský kód typu ALE.

V úvodní části práce autor představuje použitý matematický model a specifika jeho implementace v cylindrických souřadnicích, a to v přehledné a kompaktní formě s odkazy na detailní popis a podrobnosti v existující literatuře. Zvláštní důraz klade na dva populární přístupy k řešení zákonů zachování v  $r$ - $z$ , a sice Control Volume (CV) a Area-Weighted (AW) formulace. Těm se pak dále věnuje i v pasáži o konkrétní diskretizaci na obecně polygonálních nestrukturovaných sítích pro použití v lagrangeovském schématu EUCCLHYD prvního řádu. Následuje pasáž o zahrnutí interakce s laserovým zářením do fyzikálního modelu a jeho jednoduché realizaci pomocí absorpce energie na kritické ploše. V kapitole o numerických výsledcích je pak demonstrována funkčnost obou implementovaných variant cylindrického schématu pomocí tří standardních hydrodynamických testů na různých typech výpočetních sítí a dále předvedena absorpce laserového záření na modelové simulaci ozařování kovového terče laserovým svazkem.

Tím byly beze zbytku splněny všechny body zadání diplomové práce.

Student pracoval svědomitě a samostatně, především při psaní vlastního textu, kdy již k první verzi jsem měl díky autorově preciznosti pouze několik drobných připomínek. Rukopis považuji za odborně zdařilý a – přestože nejsem expertem na britskou angličtinu – i velmi dobrý po stránce jazykové. Předložený text může být použit i jako solidní přehledný základ pro další studenty k prvnímu seznámení s tématem, zvláště pak s problematikou numerických výpočtů v cylindrických souřadnicích, kdy ve stávající literatuře některé aspekty a praktické poznámky buď chybí, nebo jsou naopak popisovány příliš podrobně a rigorózně.

Práce je dobře čitelná a obsahuje zanedbatelné minimum překlepů a nepřesností v textu. Bohužel se kvůli mírné časové tísní v závěru nepodařilo odchytnout několik drobností v obrázcích (chybějící popisek osy  $r$  u obr. 2 či kolmost normály v obr. 3) a vzorcích (např. indexy v rovnicích (2.10) a (2.11), člen navíc v souhrnu (2.42b) či náhlé neokomentované použití symbolu  $\Pi$  pro tlak na hranu v rovnici (2.1)), ovšem tyto maličkosti podle mého názoru díky kontextu nijak nebrání srozumitelnosti ani neuvádí čtenáře v omyl. I z hlediska technického tedy text práce hodnotím kladně.

Dosažené výsledky jsou přesvědčivé a potenciál dalšího využití a rozvoje velmi vysoký.

*Konstatuji tedy, že pan Ivan Tarant úspěšně zpracoval přidělené téma, zadání splnil v plném rozsahu a v některých ohledech jej i překonal. Předkládanou diplomovou práci považuji za zdařilou, s radostí ji doporučuji k obhajobě a navrhuji ji hodnotit známkou **A** (výborně).*

Jako námět k případné diskusi bych se pana kolegy rád zeptal, jaké by byly dle jeho názoru a dosavadních zkušeností přínosy jednotlivých směrů dalšího vývoje naznačených v práci (tedy trasování laserového svazku, přidání tepelné vodivosti či rozšíření lagrangeovského numerického schématu na metodu ALE) z hlediska vylepšení simulací interakce laseru s terčem.

V Praze dne 20.5. 2022

---

Pavel Váchal  
KFE FJFI ČVUT