Stanovisko školitele k dizertační práci „Cellular automata and their potential in didactics of physics," autora RNDr. Františka Šeby

Hlavním předmětem zájmu předložené dizertační práce jsou tzv. buněčné (celulární) automaty, které z vědeckého hlediska představují vysoce aktuální a extrémně účinný nástroj pro analýzu a predikce různorodých fyzikálních, biologických, sociofyzikálních, ekonomických a dalších systémů. Záměrem odborné části doktorského studia aspiranta RNDr. Františka Šeby bylo nejen seznámit se s různými aplikacemi tohoto teoretického nástroje, ale také navrhnout didaktické alternativy buněčných modelů, a to takové, které budou relativně snadno pochopitelné pro středoškolské studenty se zvýšeným zájmem o přírodní vědy. Klíčovým předpokladem pro úspěch takového projektu je hlubší pochopení teorie celulárních automatů a bezproblémové zvládnutí konstrukce jejich numerických reprezentací. Obojí se aspirantovi během jeho studia zdařilo nadmíru. Míra jeho porozumění problematice může být kromě jiného demonstrována také na jeho publikačních výstupech. Za všechny zde uvádím články:

- M. Krbálek, F. Šeba, M. Krbálková, *Super-random states in vehicular traffic — detection & explanation*, Physica A (ve fázi předtiskových korektur)
- F. Šeba, M. Krbálek, *Super-Poissonian Statistics In Traffic Flow*, APLIMAT 2020 - Proceedings (2020) 930-941
- M. Krbálek, J. Apeltauer, F. Šeba, *Traffic Flow Merging — Statistical and Numerical Modeling of Microstructure,* Journal of Computational Science 32C (2019) 99-105

Didaktickým pilířem práce je použití buněčných automatů k vysvětlení chování komplexnějších fyzikálních/biologických systémů, které jsou daleko za rámcem systémů běžně řešených na střední škole. Ačkoliv matematický aparát, nezbytný ke kompletnímu analytickému vysvětlení dynamiky těchto netriviálních systémů, je pro studenty středních škol enormně složitý, celulární modely vysvětlují příslušnou dynamiku přirozeně, a to pomocí sady jednoduchých pravidel. Touto cestou tak mohou být studentům středních škol předány i otevřené vědecké otázky či poznatky z netradičních vědeckých disciplín, jakými jsou např. dynamika davu či fyzika dopravního proudění.

Struktura práce: Práce sestává z úvodu, pěti základních kapitol, závěru a soupisu použitých zdrojů. Zabírá 151 stran vlastního textu (po vyloučení stran s nutnými formálními náležitostmi) a je sepsána v anglickém jazyce. V první kapitole autor seznamuje čtenáře se zavedením buněčných modelů a historií celulárního modelování. Druhá kapitola nabízí velmi

obecný pohled do „stochastického nitra“ fyzikálních systémů. Rozebírá jednotlivé „zdroje“ způsobující odklon deterministických systémů k systémům stochastickým, v nichž více či méně dominuje náhodnostní složka. Zamýšlí se také nad případy, kdy i systémy popsané velice elementárními pravidly vykazují značnou stochasticitu. Diskuse k možnostem aplikace celulárních automatů v didaktice fyziky je probírána v kapitole třetí. Konkrétní realizované verze vybraných celulárních automatů (např. pro pohyb mravenců či ptáků v hejnu, popř. pro simulaci pohybu vozidel po jednoproudé komunikaci) jsou společně s dalšími příklady podrobně diskutovány ve čtvrté kapitole. S využitím četných grafických výstupů autor vysvětluje, jak lze za pomoci celulárních automatů replikovat reálné paterny detekované např. ve sklenici vařící vody, ve sněhových vločkách, ve zvířecích vzorech či ve tvarech blesků. V páté kapitole se autor dostává k prezentaci vlastních vědeckých výsledků. Jedná se o řešení dílčích otevřených problémů z oblasti fyziky dopravního proudění. Představen je nejprve dopravní model – založený na Metropolisově algoritmu – věrohodně replikující statistické vlastnosti mikrostruktury dopravního proudu. S jeho pomocí (a s pomocí aparátu matematické statistiky) je pak vysvětleno, jakým způsobem lze zjistit, na kolik sousedních vozidel reaguje řidič při řízení vozidla, tj. kolik vozidel při svém rozhodování zohledňuje. Další problematikou, kterou posuzovaná práce pokrývá, je tzv. traffic merging, tj. zipování dopravních proudů. Na jednoduchém celulárním modelu je ukázáno, jak se statistika rozestupů mezi sousedními vozidly transformuje po splynutí dvou proudů do jediného. Posledním (a navíc vysoce aktuálním) tématem je vysvětlení občasného výskytu tzv. super-poissonovských stavů v mikrostruktuře dopravního systému. Jedná se o stavy, které vykazují vyšší míru náhodnosti než je „maximální“ míra známá z absolutně náhodných, tj. Poissonových systémů. Následuje závěr sumarizující záměry, vize a výsledky dizertační práce.

Shrnutí a hodnocení: Dizertační práce RNDr. Františka Šeby je neotřelým pokusem, jak relativně hravým a přitažlivým způsobem vysvětlit středoškolským studentům příčiny vzniku komplikovaných struktur či formací v některých méně typických fyzikálních, biologických, sociodynamických či dopravních systémech, pro něž by klasické matematicko-fyzikální řešení bylo neúměrně komplikované. Reformulace celulárních modelů (pro vybrané problémy) do příslušných didaktických variant a jejich implementace v prostředí Excel, který je běžně dostupným softwarem na všech typech středních škol, se zdá být jako nanejvýš smysluplný způsob, jak přiblížit studentům středních škol výsledky, k nimž dospěl aktuální vědecký výzkum.

Vedle nesporně kvalitní didaktické složky práce autor během svého více než pětiletého doktorského studia prokázal, že je schopen samostatného vědeckého výzkumu v oblasti fyziky.

To dokládají jeho vědecké publikace, z nichž některé připravoval a případně prezentoval téměř zcela samostatně.

Předložená dizertační práce je sepsána přehlednou a poměrně kompaktní formou. Osobně ji pokládám za velice kvalitní a shledávám ji významným přínosem k didaktice fyziky i v mezinárodním měřítku. Dizertační práci proto doporučuji k obhajobě.

doc. Mgr. Milan Krbálek, Ph.D.
Katedra matematiky
Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská
České vysoké učení technické v Praze
Trojanova 13
120 00 Praha 2

V Pardubicích dne 26. března 2021.