

**Posudek oponenta na bakalářskou práci:**  
**„Superpoissonovské stavy balančního částicového systému“**

**Autor bakalářské práce: Jiří Nábělek**

**Oponent bakalářské práce: Ing. Michaela Ledvinová, Ph.D.**

Posuzovaná bakalářská práce se zabývá tématem stochastického modelování dopravních systémů, konkrétně atypickými statistickými jevy, které lze při jejich studiu pozorovat, a to superpoissonovskými stavy. Osvětluje základní pojmy a vztahy nezbytné k pochopení dané problematiky, přičemž zároveň nabízí metodiku, jak tyto jevy vysvětlit. Zavedené postupy jsou následně využity k detekci superpoissonovských stavů v souboru empirických dat.

V první kapitole autor uvádí souhrn veličin, které popisují dopravní tok jak z pohledu makroskopického (charakterizují dopravní proud jako celek), tak i z pohledu mikroskopického (zohledňují vlastnosti jednotlivých částic systému). Následně pracuje s pojmy časová a prostorová světlost, resp. rozestup, a vysvětluje přechod k pravděpodobnostnímu popisu dopravního systému pomocí náhodných veličin i základní úlohu stochastického modelování mikrostruktury dopravního proudu, kterou je nalezení vhodné hustoty pravděpodobnosti a odpovídajícího rozdělení časových nebo prostorových rozestupů. V další části autor diskutuje základní požadavky na zmíněné pravděpodobnostní funkce a definuje třídu tzv. balancovaných hustot vhodných pro popis distribuce světlostí včetně rozboru elementárních vlastností takových funkcí.

Ve druhé kapitole autor představuje model termodynamického plynu známý ze statistické fyziky a jeho aplikace na problém popisu dopravního proudu. Nezbytnou součástí tvoří úvaha o socio-dynamických silách působících mezi jednotlivými vozidly na jednoproudé vozovce a rozbor obecných vlastností silového potenciálu, který tyto síly charakterizuje. Dále uvádí přehled základních interakčních potenciálů a jejich generátorů, jež se při popisu vzájemného působení vozidel často využívají, a klasifikace potenciálů dle jejich dosahovosti. Následuje zavedení hamiltoniánu termodynamického plynu, s nímž velice úzce souvisí stěžejní pojem studovaného modelu, stochastická rezistivita, která reprezentuje míru rezistivity systému vůči náhodným jevům. V závěru kapitoly autor předkládá nástin řešení modelu homogenního plynu s krátkodosahovým potenciálem a diskusi obecného tvaru rozdělení prostorových světlostí.

V rámci třetí kapitoly autor předkládá detailní formulaci balančního částicového systému, který alternuje již zmíněný model termodynamického plynu a je definován pomocí posloupnosti roztečí tzv. multiroztečí. Je zde uveden souhrn základních poznatků o balančních částicových systémech a jejich statistické charakteristiky (střední hodnota roztečí a multiroztečí, trendová funkce, rozptyl roztečí a multiroztečí, frekvenční rozptyl a statistická rigidita) včetně Laplaceovy formy. Na základě statistické rigidity dále definuje pojmy deflektce a stochastická kompresibilita, jež představuje účinný nástroj pro členění částicových systémů na subpoissonovské a superpoissonovské. Kapitulu uzavírá klasifikací systémů podle hodnoty kompresibility.

Ve čtvrté (nejrozsáhlejší) kapitole podrobuje autor hluboké analýze repulzivní varianty balančního částicového systému a jeho obecné vlastnosti. Detailně rozebírá BČS zadaný generátorem ze třídy GIG

distribucí, a to systémy s jednoparametrickým i dvouparametrickým GIG jádrem, i vlastnosti parametrizace GIG rozdělení. V návaznosti na předchozí výsledky v závěrečné části kapitoly pomocí kompresibility GIG rozdělení zavádí klasifikaci BČS v závislosti na parametrech GIG distribuce. Zároveň autor dochází k velice zajímavému závěru, že mezi jednotlivými vozidly v dopravním proudu existují takéí přitažlivé síly.

Poznatky, o nichž pojednávají první čtyři kapitoly, využil autor při analýze rozsáhlého souboru empirických dat pro tři jízdní pruhy tříproudové komunikace. Výsledky této analýzy shrnuje v páté kapitole práce. V úvodu kapitoly autor uvádí fázové diagramy pro jednotlivé jízdní pruhy (konkrétně graf závislosti intenzity na hustotě). Následuje souhrn histogramů škálovaných roztečí pro jednotlivé pruhy a různá hustotní pásma, které demonstrují vhodnost GIG rozdělení pro popis hustoty pravděpodobnosti prostorových a časových světlostí. V rámci druhé části kapitoly je vypočtena statistická rigidita a příslušná kompresibilita, pomocí níž jsou pro některá hustotní pásma detekovány super-poissonovské stavy.

Autor ve své bakalářské práci předkládá poměrně ucelenou rešerši pojmů z oblasti modelování dopravního proudu. Cituje většinu významných publikací, které se touto novou metodikou zabírají, a dokazuje tak, že se s danou problematikou důkladně obeznámil. Definiční vztahy a výroky jsou zavedeny většinou korektně. V práci je demonstrováno několik důkazů, z nichž je zřejmé, že autor má velmi dobré matematické znalosti a umí je správně aplikovat. **Za celou práci je třeba vyzdvihnout autorův důkaz věty 4.3.4 na straně 40**, který dosud nikdo jiný neprovedl (resp. nebyl publikován v dostupných zdrojích). Jedná se přitom o zcela zásadní výsledek, který má značný potenciál pro další výzkum a případnou publikaci v impaktovaném článku. Autor tak velmi významně překročil požadavky, které jsou běžně na bakalářskou práci kladené. V kapitole čtvrté a páté autor srozumitelně a přitom dostatečně korektně osvětluje princip statistické rigidity a odpovídajících charakteristik. Všechny zmíněné znalosti autor účelně využil při zpracování empirických dat, kde (po jejich náležitě unifikaci) dokázal odhalit pro konkrétní hodnoty fázových proměnných super-poissonovské stavy. Analýzu velmi vhodně doprovázejí obrázky fázových diagramů, histogramy normalizovaných rozestupů roztříděné dle hustotních pásem a konečně grafy statistické rigidity pro vybrané hustoty ve všech jízdních pruzích.

Za negativní stránku je nutné zmínit nadměrný počet překlepů v textu, který bohužel zbytečně snižuje úroveň bakalářské práce. Dalším výrazným nedostatkem je skutečnost, že autor často opominul vysvětlit proměnné vystupující v uvedené definici, případně matematické symboly, které jsou poněkud specifické a nemusí být běžně známé. Jedná se například o následující:

- Str. 9: V definicích fázových proměnných chybí vysvětlení proměnných  $\xi$ ,  $\tau$ .
- Str. 9: Chybí vysvětlení symbolu  $C^2(\mathbb{R})$ .
- Str. 12: Chybí vysvětlení symbolu  $\theta(x)$ , tj. Heavisideovy funkce.
- Str. 12: V axiomu částečné spojitosti chybí vysvětlení symbolu  $PC(\mathbb{R})$ .
- Str. 19: Který ze symbolů v obecném tvaru hustoty pravděpodobnosti vyjadřuje Diracovu funkci? Z textu to není zřejmé.
- Str. 24: Ve větě 3.2.1. není vysvětlen symbol pro vícenásobnou konvoluci.

Za podstatnější lze označit například tyto nesrovnalosti:

- Str. 13: V bodu 4 ve větě 1.4.5, má být uvedeno „pokud  $f(x).g(x)$  leží v  $L(\mathbb{R})$ .“
- Str. 12: Hustoty v obrázku 1.1 nejsou zřejmě správně normovány (obsah pod grafy funkcí není jistě stejný).
- Str. 23: Multirozteče v obrázku 3.2 nejsou zřejmě indexovány správně.

- Str. 24: Statistická rigidita Erlangova rozdělení pro  $n=2$  v obrázku 3.3 zřejmě nebyla vypočtena správně (křivka by se neměla odchylovat tak výrazně od počátku).
- Str. 28: Odvození kompresibility Diracova systému není rozhodně korektní. Symbol Diracovy funkce nesmí stát za znakem integrálu.

Jedná se o kvalitně zpracovanou bakalářskou práci, která může být podkladem pro další odbornou a výzkumnou činnost. Vzhledem k výše uvedeným skutečnostem **doporučuji posuzovanou bakalářskou práci k obhajobě** a navrhuji hodnocení **stupněm B (velmi dobře)**.

#### **Dotazy/náměty k obhajobě:**

- 1) Symboly v definičních vztazích 3.1.4., 3.1.5. a 3.1.6. nejsou značeny správným sčítacím indexem, nesouhlasí ani horní meze sumy. Uveďte prosím definiční vztahy ve správném tvaru.
- 2) Odvození kompresibility Diracova systému není korektní, jak je zmíněno výše. Mohl byste nastínit řešení tohoto problému pomocí teorie zobecněných funkcí, případně integrálních transformací?

V Pardubicích, 12. 8. 2022

Michaela Ledvinová

Ing. Michaela Ledvinová, Ph.D. (michaela.ledvinova@upce.cz)  
Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Katedra technologie a řízení dopravy  
Studentská 95, 532 10 Pardubice