

doc. Ing. Norbert Adamko, PhD.
Katedra matematických metód a operačnej analýzy
Fakulta riadenia a informatiky
Žilinská univerzita v Žiline
Univerzitná 1, 010 26 Žilina, Slovenská republika
Norbert.Adamko@fri.uniza.sk

POSUDOK dizertačnej práce

Dizertant: Ing. Radek NOVOTNÝ

Názov práce: Metodika budování škálovatelných simulačních modelů železničních systémů

Posudok som vypracoval na základe menovania oponentom dizertačnej práce, ktoré mi bolo od predsedu komisie pre obhajobu dizertačnej práce, doc. Ing. Tomáša Brandejského, Dr., doručené listom zo dňa 31. augusta 2020.

1. Štruktúra a obsah práce, metódy spracovania práce

Práca je členená na dvanásť kapitol. Po úvode autor uvádza ciele práce, ktoré sú však spracované príliš stručne – absentuje podrobnejší popis čiastkových cieľov práce. V dvoch nasledujúcich kapitolách sa autor venuje vysvetleniu základných (v práci využívaných) pojmov z oblasti železničnej dopravy a simulačného modelovania. Pre túto oblasť autor zvolil v ČR i SR zaužívanú terminológiu podľa Křivého a Kindlera. V ďalších kapitolách autor uvádza stručný prehľad aktuálneho stavu využívania hybridných modelov v oblasti modelovania dopravy a poskytuje i prehľad aktuálne v praxi využívaných simulačných nástrojov pre modelovanie železničnej prevádzky.

V ďalšom texte sa autor venuje vlastnému návrhu hybridného simulačného modelu železničnej prevádzky, pričom sa podrobne zaoberá popisom spôsobu modelovania infraštruktúry na rôznych úrovniach detailnosti – mikroskopickej a makroskopickej, následne rozoberá spôsob tvorby hybridného modelu prevádzky so zreteľom na transformáciu dopravných prúdov na rozhraní mikroskopicky a makroskopicky modelovaných oblastí modelovaného systému.

Metodike *ScalRail*, ktorá podľa dizertanta predstavuje hlavný prínos práce, je venovaná samostatná kapitola. Aplikácia a overenie metodiky je následne prezentované na prípadovej štúdii – modeli železničnej prevádzky na menšom úseku železničnej siete s využitím vstupných dát z reálnej prevádzky.

Zvolené metódy spracovania práce je možné s malými pripomienkami považovať za adekvátne.

Po formálnej stránke je práca na dobrej úrovni, no zvýšenú pozornosť by bolo vhodné venovať zalomeniu textu (predložky na konci riadkov a pod.) a označeniu veličín (napr. na strane 68 má symbol v tri rôzne významy – rýchlosť, vlak, vrchol).

2. Aktuálnosť témy dizertačnej práce

Práca sa zaoberá stále aktuálnou problematikou modelovania prevádzky komplexných a rozsiahlych systémov, so zameraním na železničnú prevádzku. So vzrastajúcimi požiadavkami na rozsah i detailnosť modelov je nevyhnutné skúmať spôsoby ich efektívneho návrhu, implementácie a vykonávania. V tejto súvislosti by práve využitie hybridných modelov mohlo priniesť zaujímavé možnosti. Vzhľadom na uvedené, považujem tému a ciele dizertačnej práce za aktuálne.

3. Hodnotenie výsledkov dizertačnej práce

Autor si pre dizertačnú prácu vytýčil cieľ vytvoriť metodiku pre tvorbu škálovateľných modelov železničných systémov. Metodika je principiálne založená na využití hybridných simulačných modelov, kombinujúcich mikroskopickú a makroskopickú úroveň podrobnosti modelovania infraštruktúry, ako aj prevádzky v modelovanom systéme. Metodika zovšeobecňuje postup tvorby hybridných modelov, pričom podrobný postup na vypracovanie jednotlivých fáz autor prezentuje na prípadovej štúdii s využitím vlastného simulačného nástroja *SimTrackEd*. Nástroj poskytuje podporu pre kombinovanie mikroskopických a makroskopických submodelov v rámci jedného simulačného modelu, zvláštnu pozornosť autor venoval tvorbe hybridného modelu infraštruktúry.

Metodika v predloženom znení predpokladá existenciu mikroskopického modelu ako infraštruktúry tak aj prevádzky modelovaného systému – z tohto mikroskopického modelu je následne možné pre zvolené oblasti systému vytvoriť makroskopický submodel. Navrhovaná metodika je teda využiteľná iba za predpokladu, že uvedené podrobné informácie sú k dispozícii a užívateľ ich definuje. Toto je možné vnímať ako rozpor s jednou z hlavných výhod použitia makroskopických submodelov, teda práve absenciou potreby definovania podrobných dát o infraštruktúre, či prevádzke. Metodika avšak umožňuje využívať ďalšiu z výhod nasadenia makroskopických modelov, ktorou je rýchle vykonávanie simulačného výpočtu v makroskopickom submodeli (v porovnaní s mikroskopickým submodelom). Využiteľnosť metodiky v praxi je podporená autorom navrhnutým a implementovaným softvérovým nástrojom, ktorý poskytuje prostriedky na jednoduchú definíciu modelu i zmenu jeho konfigurácie (definovanie mikroskopických a makroskopických submodelov).

Správnosť navrhovaných postupov v metodike a ich aplikácie s využitím implementovanej softvérovej podpory autor overil na modeli menšieho rozsahu s využitím vstupných dát z reálnej prevádzky. Na uvedenom modeli autor demonštroval vplyv rôznych konfigurácií modelu (v zmysle nahradenia vybraných pôvodne mikroskopicky modelovaných častí makroskopickým modelom) na hodnoty sledovaných výstupných atribútov. Výsledky simulačných experimentov sa dizertant rozhodol porovnať s výsledkami z iného simulačného nástroja, čo je síce dostatočné, no za vhodnejšie by som v tomto prípade považoval vykonanie validácie priamym porovnaním s reálnou prevádzkou modelovaného systému.

Autorom prezentovanú metodiku je podľa môjho názoru možné chápať ako významný prvý krok, k návrhu ďalšej metodiky, ktorá by nevyžadovala prvotnú definíciu mikroskopického modelu, a tým by bola v praxi využiteľnejšia. Autor totiž vo svojej práci preukázal, že s využitím ním navrhovaných postupov a s pomocou definície navrhovaných makro-hrán a makro-uzlov je možné v rámci jedného

simulačného modelu účelne kombinovať mikro- a makroskopické submodely, a pritom dosiahnuť uspokojivé výsledky simulačných experimentov. V závere práce dizertant sám predkladá niekoľko veľmi perspektívnych možností ďalšieho vývoja (škoda, že sa aspoň niektoré z nich nepodarilo uskutočniť už v rámci dizertačnej práce).

Dizertantom navrhnutý a implementovaný simulačný nástroj *SimTrackEd* je zaujímavým výsledkom autorovej práce, ktorý je možné považovať za prínos pre oblasť modelovania železničných systémov.

4. Otázky a pripomienky

V rámci obhajoby prosím autora o vyjadrenie sa k nasledovným pripomienkam a otázkam:

1. Z akého dôvodu je chýbajúca lokalizácia uzla (strana 35⁶) považovaná za hrubú chybu, aj keď za jedná o schematický model infraštruktúry?
2. Na strane 55⁸ sa uvádza, že kapacita makro-segmentu je dynamický atribút. Akým spôsobom dochádza k jeho zmene počas simulačného výpočtu?
3. Prosím o vysvetlenie „koeficientu zrýchlenia“ a jeho výpočtu (strana 56).
4. Ako by bolo možné v rámci makro-hrany modelovať rôzne zabezpečovacie systémy, napríklad 3-znakový vs. 4-znakový autoblok, (vzhľadom na skutočnosť uvedenú na strane 59⁴)?
5. Akým spôsobom je modelovaná obojsmerná jazda napríklad po jednokolažnej trati (z uvedeného Algoritmu 1 to nie je zrejmé)?
6. Bolo by v rámci metodiky možné fázu C vykonať ako druhú v poradí?
7. Prečo autor pre overenie správnosti prevádzky nad makro-hranami zvolil ako kritérium rozdiel v sume jazdných dôb vlakov namiesto sledovania odchýlok jazdných dôb jednotlivých vlakov (tieto sú vyhodnotené v tabuľke 10)?
8. V tabuľke 15 sa dĺžky vlakových ciest pre jednotlivé smery líšia o viac ako 1400 m, prosím o podrobnejšie vysvetlenie tohto rozdielu.
9. Súhrnné vyhodnotenie výsledkov stochastických experimentov v rámci jednotlivých scenárov (priemerný prírastok meškania uvedený na strane 95⁴) je podľa môjho názoru diskutabilné a nie je ho možné použiť ako kritérium svedčiace o správnosti hybridného modelu. Vzhľadom na charakter scenárov je nevyhnutné posudzovať ich separátne (čo autor aj urobil) a dôsledne sa zaoberať dôvodmi pre zistené rozdiely (obzvlášť v prípade Sc01s a Sc02s). Prosím o doplnenie podrobnejšej analýzy dôvodov pre zistené odchýlky.
10. Vo vyhodnotení absentuje preukázanie signifikantnosti zistených rozdielov medzi výsledkami experimentov (vzhľadom na šírku intervalu spoľahlivosti nie je jednoznačné, že zistené rozdiely sú štatisticky významné). Prosím o doplnenie v rámci obhajoby (napríklad prostredníctvom t-testu).
11. Prečo podľa autora došlo k nárastu hodnoty *meanSWDI* medzi scenármi Sc02s a Sc04s?
12. Je hodnota 0,09 v poslednom riadku a druhom stĺpci v tabuľke 18 správna?
13. Pre zvýšenie dôveryhodnosti navrhovaného makroskopického submodelu by bolo vhodné doplniť experimenty o vyhodnotenie správania sa modelu pri zmene parametrov makro-segmentov (napríklad vplyv zmeny kapacity hrany, ktorá by mohla simulovať využitie iného zabezpečovacieho zariadenia). Prosím o doplnenie v rámci obhajoby.
14. Má autor bližšiu predstavu o spôsobe realizácie mezoskopického modelu infraštruktúry a prevádzky navrhovaného v závere práce?

5. Hodnotenie publikačnej činnosti dizertanta

Publikačné výstupy autora sú na dostatočnej úrovni. Autor výsledky svojej práce v priebehu posledných 5 rokov publikoval každoročne, i keď stále na rovnakej, avšak relevantnej, konferencii.

6. Záverečné hodnotenie

Dizertačná práca podľa môjho názoru spĺňa podmienky tvorivej vedeckej práce na udelenie titulu Ph.D., a preto ju odporúčam na obhajobu.

V Žiline, 18.9.2020

Norbert Adamko