

ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE

**AUTOREFERÁT
DIZERTAČNEJ PRÁCE**

Žilina, 2025

Ing. Ľubomír Volner

Žilinská univerzita v Žiline
Fakulta prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov
Katedra železničnej dopravy

Ing. Ľubomír Volner

Autoreferát dizertačnej práce

Návrh metodiky tvorby dopravného modelu v železničnej doprave

na získanie akademického titulu **d o k t o r**
(„philosophiae doctor“, v skratke „PhD.“)
v študijnom odbore 3772 Doprava,
v študijnom programe Doprava.

Žilina 2025

Dizertačná práca bola vypracovaná v dennej forme doktorandského štúdia na Fakulte prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov Žilinskej univerzity v Žiline.

Predkladateľ: Ing. Lubomír Volner
Žilinská univerzita v Žiline Fakulta PEDAS
Katedra železničnej dopravy

Školiteľ: doc., Ing. Juraj Čamaj, PhD.
Žilinská univerzita v Žiline Fakulta PEDAS
Katedra železničnej dopravy

Oponenti: prof. Ing. Václav Cempírek, Ph.D., DBA
Vysoká škola logistiky,
Palackého 1381/25, 750 02 Přerov

Ing. Peter Šulko, PhD.
Železnice Slovenskej republiky
Klemensova 8, 813 61 Bratislava

Autoreferát bol rozoslaný dňa:

Obhajoba dizertačnej práce sa koná dňa o h.
v zasadačke dekanátu fakulty PEDAS pred komisiou pre obhajobu dizertačnej
práce schválenou odborovou komisiou v študijnom odbore 3772 Doprava, v
študijnom programe Doprava, vymenovanou dekanom Fakulty prevádzky
a ekonomiky dopravy a spojov Žilinskej univerzity v Žiline.

prof. Ing. Miloš Poliak, PhD. v. r.
predseda odborovej komisie
študijného odboru 3772 Doprava

ABSTRAKT

VOLNER Ľubomír, Ing.: Návrh metodiky tvorby dopravného modelu v železničnej doprave [Dizertačná práca]. Žilinská univerzita v Žiline. Fakulta prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov; Katedra železničnej dopravy. Vedúci dizertačnej práce: ČAMAJ Juraj, doc. ,Ing., PhD.; Stupeň odbornej kvalifikácie: PhD.. Žilina: FPEDAS, ŽU, 2025. 110 s.

Dizertačná práca je zameraná na návrh metodického aparátu tvorby dopravných modelov v železničnej doprave. Východiskom bola realizovaná analýza súčasného stavu riešenia problematiky metodických postupov tvorby dopravných modelov. V návrhovej časti je formulovaný metodický aparát tvorby modelov v železničnej doprave zahrňujúci všeobecné vymedzenie modelov, parametrické nastavenie modelovanej infraštruktúry, vytvorenie modelových scenárov a simuláciu prevádzky železničnej dopravy s cieľom verifikácie kategorizácie parametrov infraštruktúrnych prvkov a determinácie miery spoľahlivosti výstupov aplikáciou abstrakcie vybraných parametrov z modelovanej siete. Výstupy simulácii umožňujú formulovať postupy, zásady a odporúčania pre spracovateľov modelov vo všeobecnej rovine týkajúce sa definovania charakteru modelu, účelu a cieľov modelu a potenciálne očakávanej miery spoľahlivosti výstupov simulácii. V rámci práce je vytvorené konsolidované znenie metodiky vo forme konkrétnych úprav súčasne platnej metodической príručky pre tvorbu dopravných modelov a dopravných prognóz.

Kľúčové slová: dopravný model. železničná doprava. simulácia. model infraštruktúry

ABSTRACT

VOLNER Ľubomír, Ing.: Proposal of the methodology for the development of the transport model in railway transport [Dissertation thesis]. University of Žilina. Faculty of Operation and Economics of Transport and Communications; Department of Railway Transport. Supervisor: ČAMAJ Juraj, doc., Ing., PhD.; Degree: PhD. Žilina: FPEDAS, ŽU, 2025. 110 p.

The present dissertation is focused on the proposal of methodological apparatus for the creation of traffic models in railway transport. The basis was the analysis of the current state of the art in the field of methodological procedures for the creation of transport models. In the design part, the methodological apparatus of creating models in railway transport is formulated, including the general definition of models, parametric setting of the modelled infrastructure, creation of model scenarios and simulation of railway transport operation with the aim of verification of categorisation of parameters of infrastructure elements and determination of the level of reliability of the outputs by applying abstraction of selected parameters from the modelled network. The outputs of the simulations allow the formulation of procedures, principles and recommendations for the modelers in general terms concerning the definition of the nature of the model, the purpose and objectives of the model and the potentially expected level of reliability of the outputs of the simulations. The work includes a consolidated version of the methodology in the form of specific modifications of the currently valid methodological manual for the development of traffic models and traffic forecasts.

Keywords: transport model. rail transport. simulation. infrastructure model

ÚVOD

Výstavba, modernizácia a zavádzanie nových trendov v oblasti dopravnej infraštruktúry sú predpokladom pre zabezpečenie trvaloudržateľného rozvoja, hospodárskeho rastu a konkurencieschopnosti krajiny. Rozvinutá, kvalitná a bezpečná dopravná sieť je prioritou v oblasti dopravnej politiky nielen na národnej úrovni, ale aj v rámci spoločného vnútorného trhu Európskej únie. Vytváranie podmienok pre rýchlejší a plynulejší presun materiálov, tovarov a osôb je kľúčové vo vzťahu k dosahovaniu ekonomického rastu a vnútornej integrity EÚ voči obchodným partnerom a potenciálnym investorom navonok.

S cieľom vytvorenia dopravného systému na adekvátnej kvantitatívnej a kvalitatívnej úrovni formulujú Európska únia, štáty, ale aj regióny strategické dokumenty a politiky rozvoja dopravných systémov. K napĺňaniu definovaných cieľov dochádza prostredníctvom implementácie konkrétnych projektov, najmä z oblasti budovania a modernizácie dopravnej infraštruktúry. Štát by mal pri uplatňovaní dopravnej politiky v časti rozvoja a modernizácie dopravnej infraštruktúry dlhodobo plánovať investičné aktivity tak, aby bola zachovaná kontinuita a realizovateľnosť implementačných plánov dopravných infraštruktúrnych projektov s ohľadom na finančné, personálne, časové, dodávateľsko-odberateľské, a iné obmedzenia. Aby boli verejné prostriedky vynakladané efektívne (v súlade s princípom hodnoty za peniaze), je potrebné založiť rozhodovanie o realizovaní konkrétnych projektov a ich technickom riešení na relevantných dátach o súčasnom a predpokladanom budúcom stave dopravného systému, a nárokov na neho kladených. V prípade dopravných infraštruktúrnych projektov sú takýmito zdrojmi podkladov dopravné modely.

V súčasnosti je v podmienkach Slovenskej republiky (ďalej ako SR) určujúci metodický dokument pre spracovanie dopravných modelov s účinnosťou od 01.08.2021 pod názvom: „Metodická príručka k zostave dopravných modelov a dopravných prognóz“, ktorého gestorom je Ministerstvo dopravy SR (ďalej ako MDV SR). (MDV SR, 2021) Uvedený dokument poskytuje základné informácie o dopravných modeloch, potrebných vstupných dátach, o všeobecnom procese ich tvorby, pričom hlbšie sa venuje iba štruktúre takzvaného 4-stupňového dopravného modelu. Vo všeobecnosti je možné konštatovať, že väčšina dokumentov tohto charakteru sa sústreďuje na problematiku dopravného dopytu v rámci dopravných simulácií.

SÚČASNÝ STAV RIEŠENEJ PROBLEMATIKY

V súčasnosti jediným metodickým dokumentom pre tvorbu dopravných modelov v SR je dokument: „Metodická príručka k zostave dopravných modelov a dopravných prognóz“, ktorého gestorom je Ministerstvo dopravy SR. (MDV SR, 2021) Cieľom metodiky je zjednotiť spôsob spracovania dopravných prognóz pre podobné typy opatrení.

Na základe analýzy metodických príručiek pre tvorbu dopravných modelov je možné konštatovať, že uvádzajú minimálne požiadavky na rozsah a štruktúru údajov len pre tvorbu makroskopických modelov, bez bližšej špecifikácie potrieb technických parametrov infraštruktúry vzhľadom na rozsah modelovaného územia a účel zostavovaného dopravného modelu. V tomto smere príručky neuvádzajú ďalšie usmernenia a odporúčania a neposkytujú informácie o možných dopadoch zovšeobecnenia jednotlivých technických parametrov prvkov železničnej infraštruktúry na výsledky dopravných simulácií, ani mieru akceptovaného zovšeobecnenia vzhľadom na relevantnosť výstupov zostavovaného dopravného modelu.

CIEĽ DIZERTAČNEJ PRÁCE

Hlavným cieľom práce je na základe výsledkov analýzy odborných publikácií a metodických dokumentov z oblasti tvorby dopravných modelov pre rozhodovanie kompetentných autorít a hodnotenie efektívnosti projektov financovaných alebo spolufinancovaných z verejných zdrojov a navrhnúť metodický aparát tvorby modelu ponuky (dopravnej siete). Metodický prístup by mal poskytnúť užívateľom, ale aj riadiacim orgánom pre tvorbu dopravných politík a implementáciu železničných infraštruktúrnych projektov analytický nástroj, obsahujúci zásady, pravidlá, odporúčania, ale aj obmedzenia v procese vytvárania modelovej siete železničnej infraštruktúry, na základe druhu spracovávaného dopravného modelu, a poskytnúť cieľovej skupine užívateľov poznatky o možných dopadoch na časovú a kapacitnú náročnosť modelu ponuky, ako aj o vplyve na záverečné výstupy dopravnej simulácie pri aplikácii zvolenej miery zovšeobecnenia (abstrahovania) od vybraných technických parametrov prvkov železničnej infraštruktúry.

Formulované odporúčania by mali v práci smerovať k definovaniu „obligatórnych“, „fakultatívnych“ a „doplnkových“ parametrov železničnej infraštruktúry v procese tvorby dopravných modelov.

Kvantifikácia dopadov zovšeobecnenia, respektíve abstrakcie od určitých technických parametrov infraštruktúry, izolovane a v kombinácii, v procese vytvárania modelu dopravnej siete, bola následne vykonaná prostredníctvom zvolených výskumných metód, ktorých výsledkom bolo stanovenie vplyvu na výstupy týmto spôsobom konštruovaného modelu.

Potvrdenie možnosti aplikačnej praxe navrhnutého metodického aparátu bolo vykonané prevedením série experimentov vo zvolenom simulačnom nástroji pre modelovanie dopravnej infraštruktúry, s cieľom simulovania a komparácie rôznych stavov vstupných technických infraštruktúrnych parametrov a ich vplyvu na dosahované výsledky.

METODIKA PRÁCE A METÓDY SKÚMANIA

V procese tvorby dizertačnej práce boli využité najmä zdroje vedeckého, odborného aj komerčného charakteru, v rozsahu teoretických poznatkov o dopravnom plánovaní a modelovaní a dokumentov zameraných na poskytnutie praktických metodických nástrojov pre tvorbu dopravných modelov a výkon simulácií dopravných a prepravných procesov.

Metóda analýzy

Cieľom analýzy bolo preukázať alebo vyvrátiť existenciu jednoznačných zásad, postupov a pravidiel, a analyzovať prípadnú mieru odporúčaní vo vzťahu k technickým parametrom železničnej infraštruktúry, vstupujúcich do procesu tvorby modelov dopravných sietí.

Metóda syntézy

Metóda syntézy ako opačný postup k metóde analýzy bola využitá v procese tvorby metodického aparátu. Cieľom je získanie poznatkov o súvislostiach medzi technickými prvkami železničnej infraštruktúry, ich vzájomné vzťahy, vhodnosť a mieru ich využitia v procese tvorby modelu siete a navrhnúť novú štruktúru dát.

Metóda konkretizácie a abstrakcie

Dve vyššie uvedené metódy boli v rámci tejto dizertačnej práce využité pri vytváraní štruktúry technických parametrov železničnej infraštruktúry, ako vstupov pre tvorbu modelov dopravných sietí, s cieľom definovania obligatórnych (povinných) parametrov, fakultatívnych (voliteľných) parametrov a doplnkových parametrov infraštruktúry tak, aby bolo možné sledovať vplyv ich abstrakcie alebo konkretizácie na výsledne výstupy dopravného modelu.

Metóda experimentu

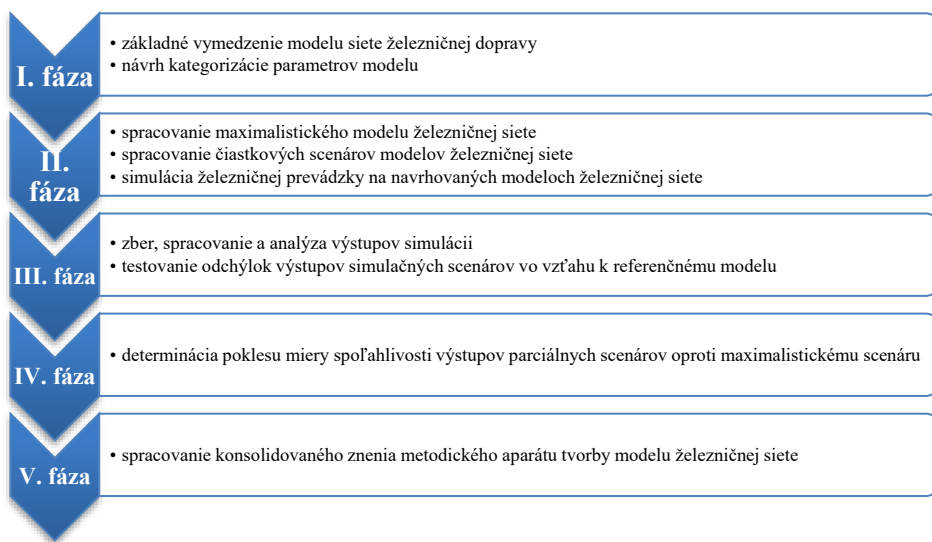
Metóda experimentu bola využitá vo fáze testovania zostrojeného metodického aparátu využitím simulačného nástroja pre modelovanie železničnej dopravy. Využitý simulačný softvér OpenTrack pracuje na báze zmiešanej simulácie, teda simulácie diskrétného a spojitého procesu. Spojitý faktor je v rámci simulácii reprezentovaný pohybom dopravných prostriedkov na sieti a diskretný faktor zase simuluje rôzne stavy parametrov modelovanej infraštruktúry.

Vyhodnotenie výstupov realizovaných simulácii spočíva v kvantifikácii odchýlky modelovaných scenárov vo vzťahu k referenčným hodnotám sledovaných parametrov. Miera nepresnosti výstupov modelu v rozličnej štruktúre a podrobnosti vstupných infraštruktúrnych parametrov bola stanovená využitím metrických metód (MSE, RMSE, MAE a MAPE) pre sledovanie odchýlok skutočných (referenčných) a predikovaných (simulovaných) hodnôt. Identifikovaná chybovosť bola následne využitá pre posúdenie správnej kategorizácie parametra medzi obligatórne, fakultatívne a doplnkové v procese tvorby modelu železničnej siete a pre stanovenie očakávanej miery nepresnosti výstupov pri abstrakcii (zjednodušení formy) parametra z množiny technických prvkov kreovaného modelu siete.

NÁVRH METODIKY VORBY MODELU SIETE ŽELEZNIČNEJ DOPRAVY

Metodika tvorby modelu infraštruktúry železničnej dopravy v rámci tejto dizertačnej práce spočíva v návrhu procesného postupu vedúcemu k správne definovaniu základných charakteristík sieťového modelu, s nimi súvisiacej parametrizácie infraštruktúry a možných očakávaných dopadov miery podrobnosti implementovaných prvkov modelu na simulované výstupy.

Tvorbu metodického aparátu je možné rámcovo rozdeliť do niekoľkých fáz ilustrovaných na nasledujúcom obrázku.



Obrázok 1Fázy návrhu metodiky tvorby modelu siete v železničnej doprave

Základné vymedzenie modelu poskytne bazálne informácie uľahčujúce orientáciu v zásadách a postupoch spracovateľovi modelu v procese kreovania infraštruktúry, ako aj tretím stranám prichádzajúcim do styku s modelom (objednávateľia, verejné a štátne inštitúcie, samosprávy, hodnotiace authority, a pod.) vo vzťahu ku kľúčovým charakteristikám modelu determinujúcim jeho samotnú architektúru, a to v rozsahu:

- dopravných módov (železničná osobná/nákladná/zmiešaná doprava),
- cieľov a účelu modelu (strategické plánovanie a prognózy, investičné a prioritizačné plány, hodnotenie efektov projektov, zvyšovanie kapacity,

- rozsahu modelu (makroskopické, mezoskopické, mikroskopické, nanoskopické a hybridné modely)a
- dynamike modelu (statické a dynamické modely).

Tabuľka 1. Kategorizácia parametrov v závislosti od rozsahu modelu

Rozsah modelu	Prvok	Kód parametra											
		A 1	A 2	A 3	A 4	A 5	A 6	A 7	A 8	A 9	A1 0		
		B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B1 1	B1 2
Makroskopický	Hran y	O	O	D	D	D	D	O	D	D	D	N/A	
	Uzly	O	O	D	F	D	D	D	D	D	D	D	D
Mezoskopický	Hran y	O	O	F	F	F	F	O	D	F	D	N/A	
	Uzly	O	O	F	O	F	F	F	F	D	F	F	D
Mikroskopický	Hran y	O	O	O	O	O	F	O	D	O	O	N/A	
	Uzly	O	O	O	O	O	O	O	O	D	O	O	O
Nanoskopický	Hran y	v závislosti od simulovaného prvku, resp. skupiny prvkov											
	Uzly												

Legenda: O – obligatórne, F – fakultatívne, D – doplnkové
A = traťové úseky, B = dopravné
Dĺžka (A1), Traťová rýchlosť (A2), Obmedzujúca priepustná výkonnosť traťového úseku (A3), Sklon trate (A4), Oblúky na trati (A5), Trakčná sústava (A6), Počet traťových koľají (A7), Druh zabezpečovacieho zariadenia (A8), Poloha a druh návěstidiel (A9), Dopravné obmedzenia (A10), Dĺžka (B1), Rýchlosť v obvode dopravne (B2), Obmedzujúca priepustná výkonnosť v obvode dopravne (B3), Počet dopravných koľají (B4), Počet manipulačných koľají (B5), Počet odstavných koľají (B6), Počet a dĺžka nástupísk (B7), Poloha a druh návěstidiel (B8), Druh zabezpečovacieho zariadenia (B9), Poloha a druh výhybiek (B10), Zariadenia na rozradzovanie a zriaďovanie súprav nákladných vlakov (B11), Dopravné obmedzenia (B12)

TESTOVANIE MIERY SPOLÁHLIVOSTI VÝSTUPOV MODELOV

Overenie dopadov parametrických zmien v simulovaných modeloch na odchýlky výstupov vo vzťahu k referenčnému scenáru a čiastočne aj validovanie významu navrhovanej kategorizácie parametrov pre tvorbu siete železničnej infraštruktúry bolo vykonané prostredníctvom série simulácií pre potvrdenie správnosti, spoľahlivosti a determináciu miery očakávanej odchýlky výsledkov simulácií čiastkových scenárov vo vzťahu k referenčnému modelu.

Pre uvedené účely bol využitý simulačný softvér (OpenTrack), ktorý umožnil vytvorenie dopravného modelu železničnej infraštruktúry vo viacerých scenároch a simuláciu dopadov rôzneho parametrického nastavenia modelu železničnej infraštruktúry.

Referenčný model železničnej infraštruktúry TEŽ je zostrojený na základe podkladov o sieti v najvyššej miere podrobnosti technickej charakteristiky, predstavuje teda najvernejšiu kópiu reálnych podmienok akú bolo možné dosiahnuť pri tvorbe modelu železničnej infraštruktúry na základe dostupných podkladov, materiálov a informácií a obmedzení, ktoré so sebou prináša využitie konkrétneho softvérového riešenia a jeho možnosti a funkcionality.

Proces tvorby modelu infraštruktúry TEŽ je možné rozdeliť do troch krokov:

- Zber, analýza a spracovanie podkladov o technickej charakteristike modelovanej siete,
- Vytvorenie technickej parametrizácie siete v tabelárnej forme,
- Vytvorenie modelu siete na základe technických parametrov v simulačnom softvéri OpenTrack.

Referenčný model siete predstavuje z hľadiska podrobnosti a kvality dát o technickom priebehu infraštruktúry najpodrobnejší, reálnym podmienkam sa najviac približujúci model železničnej infraštruktúry. Pre potreby skúmania navrhovanej kategorizácie parametrov vstupujúcich do tvorby siete a determinovanie miery redukcie kvality výstupov simulácií zjednodušením parciálnych technických parametrov alebo ich úplným abstrahovaním z kreovaného modelu bolo vytvorených niekoľko ďalších modelov (infraštruktúrnych simulačných scenárov), ktorých výstupy simulácie boli porovnávané s výsledkami referenčného modelu.

V nasledujúcej tabuľke sú popísané jednotlivé scenáre parametrického nastavenia modelovanej siete spolu so zjednodušením miery konkrétnosti alebo úplnou abstrakciou zohľadňovaných parametrov využitím zostavenej segmentácie simulovanej siete.

Tabuľka 2. Simulačné scenáre

<i>Popis modelovaných scenárov siete TEŽ</i>	
Označenie scenára	Popis scenára
S1	- segmentácia siete do agregovanej podoby vzťahnutej ku polohe dopravne alebo návěstídiel modelu, - aplikácia priemerných rýchlostí na sieti do vytvorených segmentov
S2	- segmentácia siete do agregovanej podoby vzťahnutej ku polohe dopravne alebo návěstídiel modelu, - aplikácia priemerných sklonov na sieti do vytvorených segmentov
S3	- abstrahovanie od parametru smerových pomerov siete
S4.1	- segmentácia siete do agregovanej podoby vzťahnutej ku polohe dopravne (medzistaničné úseky), - aplikácia hodnôt rozhodného spádu a stúpania (v zmysle TTP) v celom úseku do vytvorených segmentov (zlom sklonu v kilometrickej polovici segmentu)
S4.2	- vytvorenie segmentu zodpovedajúceho dĺžke 1 km v rámci siete, - aplikácia hodnôt rozhodného spádu a stúpania (v zmysle TTP) vo vytvorenom úseku 1 km - abstrahovanie od sklonových parametrov v ostatných úsekoch siete
S5	- abstrahovanie od doplnkových parametrov siete (priecestné zabezpečovacie zariadenia, trakčné meniarnie, určené miesta zastavenia, a pod.)
S6	- abstrahovanie od parametru sklonových pomerov siete
S7	- abstrahovanie od parametrov sklonových a smerových pomerov siete
S8	- abstrahovanie od parametrov sklonových a smerových pomerov siete - aplikácia priemernej rýchlosti v celom traťovom úseku

Uvedené scenáre boli následne zaťažené simulovanou dopravnou prevádzkou s nasledujúcimi parametrami.

Tabuľka 3. Model dopytu

<i>Parametre modelu dopytu</i>	
Parameter	Popis parametra
Rozsah dopravy	- 19 párov vlakov/24 hod.
Interval prevádzky	- hodinový takt
Začiatok/koniec prevádzky	- v súlade so ZCP trate 112 D (04:16 z Štrbské Pleso – 22:36 z Poprad-Tatry)
Dĺžka pobytu	- v súlade so ZCP trate 112 D
Prevádzkové charakteristiky jednotky	- v súlade s elektrickými jednotkami radu 425.9
Doba obratu v koncových staniách	- 6 min.

Výstupy simulácii v grafickej a tabelárnej podobe boli využité na skúmanie odchýlok sledovaných parametrov v jednotlivých simulovaných scenároch oproti ich referenčným hodnotám. Výsledky boli využité na determináciu miery redukcie kvality (presnosti) simulovaných hodnôt parametrov vo vzťahu k referenčným hodnotám, ktoré umožnili pre každý so scenárov stanoviť vplyv

zahrnutia zjednodušenej formy parametra, resp. úplnej abstrakcie parametra z parametrickej architektúry modelu infraštruktúry.

Pre potreby vyhodnotenia odchýlok časového faktoru prostredníctvom miery plnenia grafikonu vlakovej dopravy boli z dostupných výstupov simulácii použité dátové zostavy o časových polohách príchodov a odchodov vlakov do a z dopravní v zmysle cestovných poriadkov. Pre stanovenie spoľahlivosti výstupov boli kvantifikované chyby % odchýlky (MAPE) odčítané od maximálnej spoľahlivosti výstupov 100%. V nasledujúcej tabuľke sú výsledky spoľahlivosti jednotlivých simulačných scenárov vo vzťahu k referenčnému scenáru.

Tabuľka 4. Spoľahlivosť výstupov – parameter času

<i>Určenie miery spoľahlivosti modelov na základe MAPE – parameter času</i>			
Miera spoľahlivosti výstupov vo vzťahu k referenčnému modelu [%]			
Scenár/Výkon	90 %	Scenár/Výkon	100 %
S8	77,77	S8	77,65
S1	89,23	S1	89,01
S4.1	92,35	S4.1	91,84
S4.2	95,15	S4.2	94,54
S6	96,14	S6	94,88
S7	96,14	S7	94,88
S2	99,23	S2	98,15
S3	100,00	S3	100,00
S5	100,00	S5	100,00

Tabuľka 5. Spoľahlivosť výstupov – parameter energetickej náročnosti

<i>Určenie miery spoľahlivosti modelov na základe MAPE – parameter energetickej náročnosti</i>			
Miera spoľahlivosti výstupov vo vzťahu k referenčnému modelu [%]			
Scenár/Výkon	90 %	Scenár/Výkon	100 %
S4.1	23,84 %	S8	25,93 %
S8	28,84 %	S7	31,09 %
S7	33,36 %	S4.1	34,94 %
S6	53,97 %	S6	57,10 %
S4.2	54,64 %	S4.2	64,49 %
S2	83,08 %	S2	77,51 %
S3	88,39 %	S3	90,08 %
S1	92,36 %	S1	90,87 %
S5	100,00 %	S5	100,00 %

TEORETICKÉ A PRAKTICKÉ PRÍNOSY DIZERTAČNEJ PRÁCE

V rámci dizertačnej práce bolo snahou rozšíriť súčasný stav poznania problematiky tvorby modelov siete železničnej dopravy a dopadov abstrakcie, resp. konkretizácie parametrického nastavenia charakteru infraštruktúrnych prvkov najmä v otázkach definovania vstupov v procese tvorby železničnej siete a dopadov zmeny parametrického nastavenia infraštruktúry na simulačné výstupy.

Teoretické prínosy súvisia najmä s koncepčným a metodologickým uchopením tvorby dopravného modelu železničnej siete. V rámci práce boli rozpracované časti venované definovaniu množiny vstupných parametrov a ich kategorizácii, návrhu modelovej štruktúry a selekcie formy nožnej abstrakcie, resp. zjednodušenia vybraných parametrov v závislosti od požadovanej miery spoľahlivosti výstupov. Medzi teoretické prínosy dizertačnej práce je možné zaradiť:

- návrh metodického aparátu tvorby modelu ponuky (dopravnej siete) v rámci procesu tvorby dopravných modelov pre železničnú dopravu,
- návrh a validácia všeobecnej kategorizácie parametrov v procese tvorby modelu železničnej infraštruktúry,
- determinácia miery chyby – zníženej presnosti výstupov vplyvom abstrakcie od vybraných technických parametrov v procese tvorby modelu železničnej infraštruktúry,
- identifikovanie kritických prvkov a parametrov železničnej infraštruktúry so signifikantným dopadom na výstupy dopravného modelu,

Praktické prínosy práce vyplývajú z možností aplikácie navrhutej metodiky v podmienkach SR v oblasti tvorby dopravných modelov, ako aj pri riešení konkrétnych úloh dopravného plánovania, optimalizácie prevádzky alebo hodnotenia dopravných politík. Výsledky simulácií využité pre skúmanie vybraných vstupných parametrov a následná determinácia spoľahlivosti výstupov v rôznych simulačných scenároch umožnili kvantifikáciu dopadov abstrakcie alebo zjednodušenia, respektíve naopak konkretizácie parametrického nastavenia infraštruktúrnych prvkov na mieru spoľahlivosti výstupov zostrojeného dopravného modelu. Medzi praktické prínosy dizertačnej práce je možné zaradiť:

- možnosť implementovania navrhnutého metodického aparátu do metodických dokumentov SR pre tvorbu dopravných modelov,
- možnosť praktickej aplikácie metodického aparátu pri tvorbe dopravných modelov v železničnej doprave v oblastiach základného vymedzenia modelu,

odporúčanej kategorizácie vstupných infraštruktúrnych parametrov a stanovenia očakávanej miery spoľahlivosti výsledkov simulácií.

ZÁVER

Hlavným cieľom práce bolo na základe výsledkov analýzy odborných publikácií a metodických dokumentov z oblasti tvorby dopravných modelov pre rozhodovanie kompetentných autorít a hodnotenie efektívnosti projektov financovaných alebo spolufinancovaných z verejných zdrojov navrhnuť metodický aparát tvorby modelu ponuky (dopravnej siete). Naplnenie uvedeného cieľa bolo dosiahnuté prostredníctvom vytvorenia komplexného návrhu metodiky pre tvorbu modelov v železničnej doprave v rámci návrhovej časti dizertačnej práce.

Návrh zahŕňoval niekoľko procesných fáz, ktoré priamo alebo nepriamo (prostredníctvom výsledkov) vytvárali obsah metodického aparátu ako príručky formulujúcej postupy, zásady a odporúčania, ako aj možné dopady na výsledky simulácií pri tvorbe dopravných modelov železničnej dopravy. Kvantifikácia dopadov zovšeobecnenia, respektíve abstrakcie od určitých technických parametrov infraštruktúry, izolovane a v kombinácii, v procese vytvárania modelu dopravnej siete, bola následne vykonaná prostredníctvom zvolených výskumných metód, ktorých výsledkom bolo stanovenie vplyvu na výstupy týmto spôsobom konštruovaného modelu.

Na základe poznatkov je možné pristúpiť z pozície spracovateľa dopravného modelu ku kvalifikovanému rozhodnutiu o štruktúre a úrovni podrobnosti vstupných parametrov pri tvorbe železničnej siete v závislosti od požadovanej miery spoľahlivosti výstupov simulácií, a naopak pri určitej dátovej základni, ktorou disponuje spracovateľ modelu odhadnúť na akej úrovni sa budú výstupy simulácií, realizovaných na zostavenom modeli pohybovať.

Výsledky práce a nadobudnuté poznatky je možné využiť ako východisko pre ďalší výskum v oblasti tvorby dopravných modelov v železničnej doprave, skúmaní vzájomnej interakcie modelov ponuky a dopytu, ich synergických efektov, ako aj zvýšenia úrovne univerzálnej aplikovateľnosti navrhovaného metodického aparátu.

PUBLIKOVANÉ PRÁCE SÚVISIACE S RIEŠENOU PROBLEMATIKOU

Introduction to the issue of transport modeling and the purpose of creating transport models [Úvod do problematiky dopravného modelovania a účel tvorby dopravných modelov] / Volner, Ľubomír, In: PHD Progress [textový dokument (print)] : vedecký časopis študentov doktorandského štúdia Fakulty prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov Žilinskej univerzity v Žiline. – Žilina (Slovensko) : Žilinská univerzita v Žiline. Fakulta prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov. – ISSN 1339-1712. – Roč. 10, č. 2 (2022), s. 62-68 [tlačená forma]

Probability theory in transport modelling process [Teória pravdepodobnosti v procese modelovania dopravy] / Volner, Ľubomír, In: Revue Internationale des Sciences humaines et naturelles [textový dokument (print)] . – Zürich (Švajčiarsko) : Internationale Stiftung Schulung, Kunst, Ausbildung. – ISSN 2235-2007. – č. 2 (2023), s. 81-95 [tlačená forma]

Use of software solutions for simulations of traffic processes depending on the type of traffic models [Použitie softvérových riešení na simuláciu dopravných procesov v závislosti od typu dopravných modelov], Volner, Ľubomír DOI 10.2478/ttt-2023-0008. In: Transport technic and technology [elektronický dokument] . – Varšava (Poľsko) : De Gruyter. – ISSN (online) 2585-8084. – Roč. 18, č. 2 (2023), s. 28-30 [online]

Impacts of crisis measures on the social behavior of the population in meeting mobility needs / Hubková, Svetlana [Autor, Teologický inštitút KU, 20%] ; Volner, Ľubomír [Autor, [Interný doktorand]ZUZPEDKŽD, 80%] ; Sociálna práca v súčasnej spoločnosti, 3 [06.12.2024, Spišské Podhradie, Slovensko]. – [angličtina]. – [OV 060]. – [ŠO 6115]. – [príspevok z podujatia].

Capabilities of modelling in supporting the management of public transport systems / Volner, Ľubomír, DOI 10.59505/IRHNS.22352007.2024.2.03., In: Revue Internationale des Sciences humaines et naturelles [textový dokument (print)] . – Zürich (Švajčiarsko) : Internationale Stiftung Schulung, Kunst, Ausbildung. – ISSN 2235-2007. – Roč. 14, č. 2 (2024), s. 27-34 [tlačená forma]

Towards the efficiency of infrastructure building in the Slovak Republic : methodological apparatus of change management / Volner, Ľubomír; Čamaj, Juraj; Pálková, Adriana – DOI 10.3390/su17062423. – SCIE ; SSCI ; CCC ; SCO ; WOS CC. In: Sustainability [elektronický dokument] . – Bazilej (Švajčiarsko) : Multidisciplinary Digital Publishing Institute. – ISSN (online)

2071-1050. – Roč. 17, č. 6 (2025), art. no. 2423, s. [1-16] [online]. – Nordic
List: 0

ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV VYUŽITÝCH V DIZERTAČNEJ PRÁCI

ACKOFF RL, 1962, *Scientific Method: optimizing applied research decisions*, John Wiley & Sons, Inc., New York,

ANDRESEN C.A., HANSEN A., LE GOC R., DAVY P., HOPE S.M., 2013, *Topology of fracture networks*, *Frontiers in Physics*, volume 1, online:

<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphy.2013.00007/full>

BARCELÓ J., 2010, *Fundamentals of Traffic Simulation*, International Series in Operation Research & Management Science, volume 145, online:

https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4419-6142-6_1

BEDNÁRIKOVÁ M., 2013, *Úvod do metodológie vied*, Trnavská univerzita v Trnave, ISBN: 978-80-8082-620-8, online:

https://ff.truni.sk/sites/default/files/publikacie/bednarikova_uvod_do_metodologie_vied.pdf

BERRONE S., PIERACCINI S., SCIALÓ S., 2015, *A PDE-Constrained Optimization Formulation for Discrete Fracture Network Flows*, *SIAM Journal on Scientific Computing*, volume 35, issue 2, online: <https://doi.org/10.1137/120865884>

BUKVIČ L., ŠKRINJAR J., ABRAMOVIČ B., ZITRICKÝ V., 2021, *Route Selection Decision-Making in an Intermodal Transport Network Using Game Theory*, *Sustainability* 2021, volume 13, issue 8, online: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/8/4443>

CRISTENSEN C., ALBERT R., 2007, *Using graph concepts to understand the organization of complex systems*, *International Journal of Bifurcation and Chaos*, volume 17, issue 7, online:

<https://arxiv.org/ftp/q-bio/papers/0609/0609036.pdf>

DAELLENBACH H.G., 1994, *Systems and Decision Making: A Management Science Approach*, United Kingdom, online:

https://www.academia.edu/23088679/Daellenbach_systems_and_decision_making_a_management_science_approach_wiley_1994

DAHL A., KINDL A., WALTHER CH., PAUFLEDER-MANN D., ROOS A., WABMUTH V., WEINSTOCK F., RÖHLING W., MANN H., 2016, *Methodology Manual for the Federal Transport Infrastructure Plan 2030*, Karlsruhe, Berlin, Waldkirch, München, online:

https://bmdv.bund.de/SharedDocs/EN/Documents/G/federal-transport-infrastructure-plan-2030-en.pdf?__blob=publicationFile

GAHÉR F., 2020, *Methods of Abstraction, Idealization and Concretization in Logic: the Case of Shifted Time in Factual Conditionals*, *Filozofia*, 75, 2020, No. 8, pp. 660-676, online:

<https://www.sav.sk/journals/uploads/10220955filozofia.2020.75.8.4.pdf>

GHAFFARI H. O., NASSERI M. H. B., YOUNG R. P., 2011, *Fluid Flow Complexity in Fracture Networks: Analysis with Graph Theory and LBM*, Cornell University, online:

<https://doi.org/10.48550/arXiv.1107.4918>

GRINČOVÁ A., PETRILLOVÁ J., Aplikovaná štatistika, Technická univerzita v Košiciach, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Košice, 2019, online:

https://kmti.fei.tuke.sk/sites/default/files/2022-09/aplik_stat_ucebnica.pdf

HOPE M.S., DAVY P., MAILLOT J., LE GOC R., HANSEN A., 2015, *Topological impact of constrained fracture growth*, Frontiers in Physics, volume 3, online:

<https://doi.org/10.3389/fphy.2015.00075>

HYMAN J.D., JIMÉNEZ-MARTÍNEZ J., VISWANATHAN H.S., CAREY J.W., PORTER L.M., ROUGIER E., KARRA S., KANG Q., FRASH L., CHEN L., LEI Z., O'MALLEY D., MAKEDONSKA N., 2016, *Understanding hydraulic fracturing: a multi-scale problem*, Philosophical Transactions of the Royal Society A, online: <https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0426>

JASPERS, 2014, *Jaspers Appraisal Guidance – The Use of Transport Models in Transport Planning and Project Appraisal*, online:

<https://jaspers.eib.org/LibraryNP/JASPERS%20Working%20Papers/The%20Use%20of%20Transport%20Models%20in%20Transport%20Planning%20and%20Project%20Appraisal.pdf>

JUŘÍK D., JANOŠ V., 2022, *Using Census Data for the Gravity Model in Smart Transport Planning*, 2022 Smart Cities Symposium Prague, online:

<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9792555>

KRITHIKAIVASAN B., ZENG Y., MEDHI D., 2008, *Generalized Cost-Function-Based Forecasting for Periodically Measured Nonstationary Traffic*, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans, volume 38, no. 5, online:

<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4604819>

LAW, A., 2007, *Simulation modelling and analysis*, Boston [u.a.], McGraw-Hill, ISBN 978-007-125519-6

MDV SR., 2021, *Metodická príručka k zostave dopravných modelov a dopravných prognóz*, Verzia 1.1., Bratislava, online: <https://www.mindop.sk/ministerstvo-1/doprava-3/dopravne-modelovanie/metodika-dopravneho-modelovania-a-dopravných-prognóz>

ONDRÁČKOVÁ J., HOFHANSL P., MELZER Z., DUFEK J., VOLEK J., VALTA J., ČAMPULA R., TÖGEL M., 2017, *Metodika pro tvorbu a hodnocení makroskopických dopravních modelů – minimální standardy návrhů modelů pro dopravní plánování*, Centrum dopravního výzkumu, v.v.i., ISBN: 978-80-88074-52-6, online: <https://www.cdv.cz/file/metodika-pro-tvorbu-a-hodnoceni-makroskopických-dopravních-modelů/>

ORAVA F., *Prognostické inženýrství v dopravě*, Pardubice, Univerzita Pardubice, 2000, ISBN 80-7194-245-6

RISTVEJ J., 2010, *Vedecké metódy*, Katedra Krízového manažmentu, Žilinská univerzita v Žiline, online: <http://trilobit.fai.utb.cz/vedecke-metody>

ROMERO C., ZAMORANO C., ORTEGA E., MARTÍN B., 2021, *Access to Secondary HSR Stations in the Urban Periphery: A Generalised Cost-Based Assessment*, Sustainability, volume 13, issue 21, online: <https://doi.org/10.3390/su132112286>

SÆVIK P.N., NIXON C.W., 2017, *Inclusion of Topological Measurements into Analytic Estimates of Effective Permeability in Fractured Media*, Water Resources Research, vol. 53, issue 11, online: <https://doi.org/10.1002/2017WR020943>

SANTIAGO E., ROMERO-SALCEDO M., VELASCO-HERNÁNDEZ J.X., VELASQUILLO L.G., HERNÁNDEZ J.A., 2021, *An Integrated Strategy for Analyzing Flow Conductivity of Fractures in a Naturally Fractured Reservoir Using a Complex Network Metric*, Advances in

Computational Intelligence, MICAI 2012, Lecture Notes in Computer Science, volume 7630, online: https://doi.org/10.1007/978-3-642-37798-3_31

SHANNON, R., E., 1998, *Introduction to the art and science of simulation*, online: <http://www.informs-sim.org/wsc98papers/001.PDF>

SIEBERS, P.-O., SHERMAN G., AICKELIN U., MENACHOF D., 2011, *Comparing Decision Support Tools for Cargo Screening Processes*, 10th International Conference on Modeling and Applied Simulation (MAS2011), Rome, Italy, online: https://scholar.google.ae/citations?view_op=view_citation&hl=fr&user=mfZtyl4AAAAJ&cstart=20&pagesize=80&sortby=pubdate&citation_for_view=mfZtyl4AAAAJ:TFP_iSt0sucC

ŠULGAN, M., ŠLESINGER, J. 2014. *Alokácia logistického centra ovplyvňuje jeho konkurencieschopnosť na trhu*. Perner's Contacts, 9 (1), 180–186. Dostupné online: <https://pernerscontacts.upce.cz/index.php/perner/article/view/631>

YANG Y., WANG C., LIU W., ZHOU P., 2018, *Understanding the determinants of travel mode choice of residents and its carbon mitigation potential*, Energy Policy, volume 115, online: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.01.033>

YONG H., HE J., ZHU D., ZHOU J., 2010, *Traffic network equilibrium with capacity constraints and generalized Wardrop equilibrium*. Nonlinear Analysis, Real World Applications, volume 11, issue 5, online: <https://doi.org/10.1016/j.nonrwa.2010.05.011>

ŽELEZNICE SLOVENSKEJ REPUBLIKY, 2023, *Podmienky používania železničnej siete pre GVD 2024/2025*, Železnice Slovenskej republiky, online: <https://www.zsr.sk/files/dopravcovia/zeleznicna-infrastruktura/podmienky-pouzivania-zeleznicnej-infrastruktury/ppzs-2025/podmienkypouzivaniazelsiete2025-1-zmena-tlac.pdf>

ŽELEZNICE SLOVENSKEJ REPUBLIKY, 2020, *Tabuľky traťových pomerov 112D*, Železnice Slovenskej republiky, online: <https://www.zsr.sk/files/sps/Doprava/Tabulky-tratovych-pomerov/Aktualne-TTP/TTP-112-D-Poprad-Tatry-TEZ-Strbske-Pleso-TEZ-29z.pdf>