

# ROBUSTNOSŤ GRAFIKONU TRATE ŽILINA – RAJEC ZAHUSTENÉHO MESTSKÝMI SPOJMI

Michal Žarnay - Róbert Javorka

## Úvod

Prvý krok k integrácii dopravných systémov v Žiline a okolí vykonali v roku 2004 Železničná spoločnosť Slovensko, a.s. a Dopravný podnik mesta Žilina zavedením spoločnej tarify pre prepravu osôb vo vlakoch osobnej dopavy regionálnej trate Žilina – Rajec a v dopravných prostriedkoch mestskej hromadnej dopavy. Ďalšie integračné kroky v podobe nadväznosti konkrétnych spojov a užšieho prepojenia obidvoch systémov, ako aj pridruženie prímestskej autobusovej dopavy a ďalších železničných tratí zatiaľ čakajú na uskutočnenie.

V júli 2005 bola uvedená do prevádzky nová železničná zastávka Žilina-Solinky na predmetnej regionálnej trati v medzistaničnom úseku Žilina – Bytčica v km 4,7. To otvorilo možnosť častejšieho vlakového spojenia medzi sídliskom Solinky a blízkymi podnikmi v okolí ulíc Rajecká, Bytčická a Kamenná na jednej strane a centrom mesta v okolí žilinskej železničnej stanice na druhej strane. Spojenie je alternatívou k existujúcim paralelným autobusovým a trolejbusovým linkám, pričom ponúka kratší prepravný čas a výhodnejšiu nadväznosť na ďalšie vlakové spoje. V realite sa však počet vlakov v tomto úseku po vybudovaní zastávky nezmenil.

Naším cieľom bolo preskúmať, aké sú dopady zavedenia väčšieho počtu vlakov a ich vplyv na priepustnú výkonnosť daného úseku a koľko dodatočných trás vlakov možno zahrnúť do existujúceho grafikonu vlakovkej dopavy a ako bude takýto upravený grafikon reagovať na prípadné rušivé vplyvy spôsobené meškaním vlakov pri vstupe na trať v stanici Žilina. Využili sme na to možnosti simulácie prevádzky na železničnej trati.

V praxi českých a slovenských železníc sa používa komplexný systém SENA-JŘ-VT, resp. ZONA-CP-VT, ktorý umožňuje popri komplexnej práci s podrobným modelom reálnej železničnej infraštruktúry a prevádzky na nej aj riešenie konfliktov vzniknutých meškaním vlakov výpočtami, ktoré sa svojím charakterom podobajú simulácii prevádzky na železničnej trati (Šotek – Bachratý, 2005, Amcha et al., 2005, Šotek – Bachratý, 2008). Tento systém sa však javil pre našu potrebu ako prehnane komplexný a s nedostatočnou podporou pre automatické generovanie veľkého množstva meškajúcich vlakov pri vstupe na trať s náhodnou dĺžkou meškania. Z toho dôvodu sme sa vybrali cestou vytvorenia nového simulačného nástroja s jednoduchším a menej detailným modelom infraštruktúry a dostatočnou podporou pre simuláciu prevádzky na trati v dlhom časovom období. Ten sme použili pre vytýčenú simulačnú štúdiu.

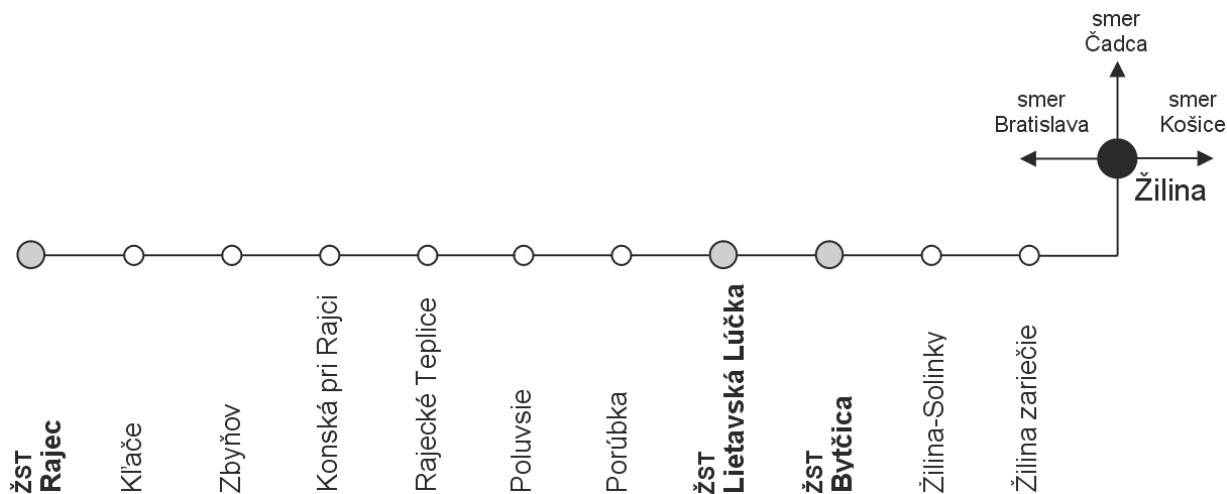
Výsledky nášho skúmania predkladáme v tomto príspevku, ktorý je členený nasledujúco: najprv uvidíme bližšie údaje o skúmanej železničnej trati, nasleduje stručný opis použitej aplikácie a vytvorenia simulačného modelu. Za tým predstavíme zvolené experimenty a ich výsledky a na záver vyhodnotíme prínos celej činnosti.

## Železničná trať Žilina – Rajec

Modelovaná železničná trať Žilina – Rajec je jednokoľajná, neelektrifikovaná trať o rozchode 1435 mm, odbočujúca v stanici Žilina (obr. 1). Začiatok trate sa nachádza v železničnej stanici Žilina v km 0,000 a koniec sa nachádza v železničnej stanici Rajec v km 21,285. Celková prevádzkovaná dĺžka tejto trate je 21,285 km. Najväčšia traťová rýchlosť je

60 km.h<sup>-1</sup> so zábrzdou vzdialenosťou 400 m (ŽSR, 2007/1). Pre prevádzku je zriadený traťový rádiový systém „ZUGFUNK 2000 (Kapsch)“, pomocou ktorého je možná komunikácia prevádzkových zamestnancov zúčastnených na riadení vlakovej dopravy. Maximálna dĺžka vlakov osobnej dopravy je určená v záhlaví Zošitového cestovného poriadku. Železničná prevádzka je vykonávaná podľa predpisu ŽSR Ž 1 – Pravidlá železničnej prevádzky. Trať je obsiahnutá v služobných pomôckach GVD pod číslom 114, v Knižnom cestovnom poriadku pre cestujúcu verejnosť pod číslom 126.

Železničná trať pozostáva zo štyroch železničných staníc a ôsmich zastávok, z toho dve sú aj nákladiskom. Párny smer je definovaný od začiatku trate (ŽST Žilina) ku koncu trate (ŽST Rajec), nepárny smer je definovaný v opačnom smere.



Obr. 1. Schéma železničnej trate Žilina – Rajec.

Z hľadiska koľajového rozvetvenia ide o dopravne s malým počtom staničných koľají, kde vo všetkých staniách sú tri dopravné koľaje okrem železničnej stanice Žilina, ktorá predstavuje svojim významom uzlovú stanicu s veľkým počtom staničných koľají. Pre vchody a odchody vlakov sú v nej spravidla využívané koľaje 5. až 7. nástupišťa.

Staničné zabezpečovacie zariadenie v staniách Bytčica, Lietavská Lúčka a Rajec je 1. kategórie s ručne prestavovanými výmenami. V železničnej stanici Žilina je reléové zabezpečovacie zariadenie 3. kategórie s ústredne prestavovanými výmenami.

V jednotlivých medzistaničných úsekoch príslušných dopravní Bytčica – Rajec je jazda vlakov zabezpečovaná telefonickým dorozumievaním (ponukou, prijatím a odhláškou). V medzistaničnom úseku Žilina – Bytčica je jazda vlakov zabezpečovaná poloautomatickým blokom.

Od roku 2008 boli nasadené do prevádzky motorové jednotky r. 813-913 zložené z motorového a riadiaceho vozňa, pevne spojené do jedného celku, čo umožňuje vykonať obrat vlaku v cieľovej stanici bez potreby klasického posunu s vlakovým rušňom a tým dochádza k skráteniu času potrebného na zostavu obrátového vlaku (Motorová, 2008).

Pre simuláciu bol použitý grafikon vlakovej dopravy platný pre obdobie rokov 2007/2008 (ŽSR, 2007/2), ktorý obsahoval celkom 11 trás vlakov osobnej dopravy v párnom smere, 10 trás vlakov osobnej dopravy v nepárnom smere a 4 pravidelné trasy vlakov nákladnej dopravy v oboch smeroch.

### Simulačný nástroj

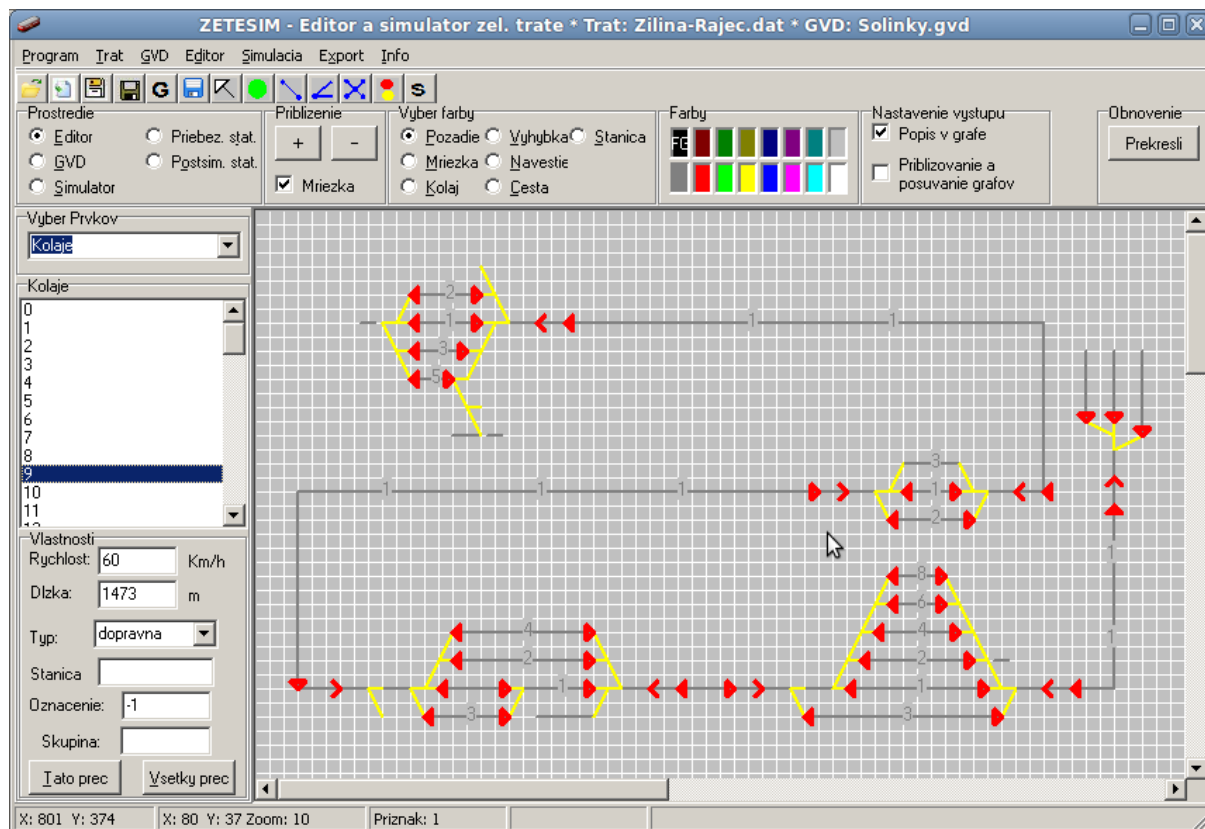
Pre simuláciu sa použila aplikácia *Zetesim – Editor a simulátor železničnej trate*, upravený nástroj vytvorený pôvodne študentami v rámci diplomových prác. Na začiatku sa volal *Editor* a poskytoval základné funkcie pre skúmanie železničných tratí v okolí Čadce (Potecký,

2006). Neskôr bol obohatený o viaceré dôležité detaily pre potreby tejto simulačnej štúdie a volal sa *EASOR – Editor and simulator of railway* (Mravec, 2008).

Použitá verzia 2.6 aplikácie *Zetesim* umožňuje:

- vytvoriť a upravovať železničnú trať,
- vytvoriť a upravovať grafikon vlakovej dopravy (GVD),
- simulovať prevádzku na trati včítane vlakov s meškaním a
- štatisticky vyhodnotiť simuláciu.

Model trate v programe *Zetesim* zahŕňa koľaje, výhybky a návěstidlá a ich základné vlastnosti. Zobrazenie trate je schematické s umiestňovaním bodov do pevne definovanej mriežky (obr. 2).



Obr. 2. Editor železničnej trate v aplikácii *Zetesim*.

Trasy jednotlivých vlakov s časovými údajmi možno okrem editácie tiež načítať z aplikácie na kreslenie grafikonu vlakovej dopravy *Train diagram* (Florek, 2005). V načítaných údajoch o vlaku možno ďalej editovať jeho trasu, príchody a odchody na zastávkach, obmedzenie jeho jazdy, dĺžku, maximálnu rýchlosť a radiace informácie o prechode vlakovej jednotky na nasledujúci vlak.

Simulácia prevádzky na železničnej trati má voliteľnú priebežnú animáciu. Náhodné vstupy modelu pozostávajú z generovania času meškania pre vlaky, ktoré do modelu vstupujú v železničnej stanici Žilina. Hodnota času meškania sa tvorí v dvoch krokoch. V prvom sa Bernoulliho rozdelením pravdepodobnosti určí, či vlak bude meškať. Ak áno, tak v druhom kroku sa určí, koľko bude meškať. Hodnota meškania pochádza z jedného z dvoch možných generátorov náhodných hodnôt, ktorý si používateľ zvolí. Prvý generuje hodnoty podľa ohraničeného exponenciálneho rozdelenia pravdepodobnosti, t. j. takého, z ktorého sa vezmú iba hodnoty menšie, nanajvýš rovné jeho strednej hodnote – ak sa vyskytne nevyhovujúca hodnota, tak sa z generátora berie nasledujúca až dovtedy, kým nevyhovuje podmienke (ďalej ho budeme označovať iba pojmom exponenciálne). Druhý generátor

poskytuje hodnoty podľa trojuholníkového rozdelenia pravdepodobnosti, v ktorom minimum i modus sú rovné nule.

Riadenie simulačného modelu sleduje dva ciele. Prvým je prevencia stavov uviaznutia vlakov v systéme, ku ktorým môže dôjsť z dôvodu posunu trasy vlaku vyvolaného meškaním. Druhým cieľom je zabezpečenie nadväznosti jednotlivých vlakov, ktoré realizuje daná motorová jednotka. Keďže aplikácia je určená predovšetkým na modelovanie regionálnych tratí s obmedzeným rozsahom a variabilitou situácií na riešenie, vytvorený riadiaci mechanizmus je jednoduchý a slúži na obsadzovanie traťových a staničných koľají a zachovanie nadväzností medzi prípojnými vlakmi pri ich meškaní.

Ďalšie informácie o implementácii nástroja možno nájsť v (Žarnay – Javorka, 2011).

### Štatistické výstupy

Vzhľadom na stanovený cieľ – sledovať správanie modelu pri meškaní vlakov vstupujúcich na trať v stanici Žilina – sme sledovali meškanie vlakov počas celej ich jazdy vyjadrené v niekoľkých ukazovateľoch:

1. *Meškanie jednej jazdy vlaku v danom dni* je vyjadrené ako aritmetický priemer a smerodajná odchýlka hodnôt meškania vlaku pri príchode na každú zastávku počas jazdy.
2. *Meškanie vlaku daného čísla za celý simulačný beh* reprezentuje aritmetický priemer a smerodajná odchýlka hodnôt meškania jednotlivých jász vlaku v simulovanom období (z predchádzajúceho bodu).
3. *Agregované meškanie všetkých vlakov za celý simulačný beh* – aritmetický priemer a smerodajná odchýlka hodnôt meškania (z predchádzajúceho bodu).
4. *Počet výskytov meškania vlaku daného čísla za celý simulačný beh* pri vstupe na trať a pri návrate z trate, t. j. pri odchode a pri príchode v železničnej stanici Žilina.
5. *Počet výskytov meškania všetkých vlakov* pri vstupe a pri návrate – sčítanie hodnôt pre vlaky podľa čísla (z predchádzajúceho bodu).

Uvedené ukazovatele sa dajú zobrazit' na rozhraní programu a exportovať do tabuľkových súborov formátu CSV a XLS.

### Simulačné experimenty

Do listu GVD 114 boli vo vybranom medzistaničnom úseku Žilina – Bytčica dodatočne vložené trasy osobných vlakov s rovnakými parametrami ako existujúce trasy vlakov. Preverili sme dva varianty, ktoré nazývame *Bytčica* a *Solinky*.

Vychádzajúc z technických parametrov motorovej jednotky 813-913, ktorá tvorí jeden konštrukčný celok a umožňuje riadenie jednotky z oboch stanovíšť (pri zmene smeru chodu vlaku bez technologických operácií – rozvesenie, posun, obiehanie súpravy a privesenie), sme do listu GVD vložili páry vlakov, ktoré túto vlastnosť využívajú. Technologický čas obratu zahŕňa minimálny čas potrebný na zmenu stanovíšť a rušňovodiča pri zmene smeru chodu vlaku vo variante *Solinky* ako aj vo variante *Bytčica*. V niektorých prípadoch vlakov v oboch variantoch nastáva aj ďalší doplnkový technologický posun pre privesenie ďalšej motorovej jednotky.

V prvom variante bolo vložených 35 trász osobných vlakov idúcich v pracovné dni. Prvý vložený vlak je vlak 3882 s odchodom zo Žiliny o 5:00 a posledný je vlak 3923 s príchodom do Žiliny o 23:05. Rozloženie vlakov počas dňa podrobnejšie ukazuje tabuľka 1. 17 párov vlakov dopĺňa vlak 3884, ktorý sa v stanici Bytčica spája s vlakom 3803 a ďalej pokračuje do stanice Žilina v zdvojenej súprave motorových jednotiek 813-913.

Tab. 1. Dodatočné vlaky vložené do GVD pre variant *Bytčica*.

	<b>3882</b>	<b>3884</b>	<b>3886</b>	<b>3888</b>	<b>3890</b>	<b>3892</b>	<b>3894</b>	<b>3898</b>	<b>3900</b>
<b>Žilina</b>	5:00	5:45	7:30	8:00	8:30	9:00	10:30	11:35	12:03
<b>Bytčica</b>	5:10	5:55	7:40	8:10	8:40	9:10	10:40	11:45	12:13
	<b>3883</b>		<b>3887</b>	<b>3889</b>	<b>3891</b>	<b>3893</b>	<b>3895</b>	<b>3899</b>	<b>3901</b>
<b>Bytčica</b>	5:30		7:45	8:15	8:45	9:15	10:45	11:49	12:17
<b>Žilina</b>	5:40		7:55	8:25	8:55	9:25	10:55	11:59	12:27

	<b>3902</b>	<b>3904</b>	<b>3906</b>	<b>3910</b>	<b>3914</b>	<b>3916</b>	<b>3918</b>	<b>3920</b>	<b>3922</b>
<b>Žilina</b>	13:30	14:25	16:20	18:05	19:53	20:50	21:30	22:05	22:40
<b>Bytčica</b>	13:40	14:35	16:30	18:15	20:03	21:00	21:40	22:15	22:50
	<b>3903</b>	<b>3905</b>	<b>3907</b>	<b>3911</b>	<b>3915</b>	<b>3917</b>	<b>3919</b>	<b>3921</b>	<b>3923</b>
<b>Bytčica</b>	13:45	14:40	16:35	18:20	20:30	21:15	21:50	22:20	22:55
<b>Žilina</b>	13:55	14:50	16:45	18:30	20:40	21:25	22:00	22:30	23:05

V druhom variante bolo obdobným spôsobom vložených v úseku Žilina – Žilina-Solinky 55 trás osobných vlakov. Prvý vložený vlak je vlak 3932 s odchodom zo Žiliny o 5:00 a posledný je vlak 3993 s príchodom do Žiliny o 22:57. Rozloženie vlakov počas dňa podrobnejšie ukazuje tabuľka 2. Prvý pár vlakov 3932/3933 je vedený v trase Žilina – Bytčica. Celkový počet 27 párov vlakov dopĺňa vlak 3978, ktorý sa, obdobne ako pri variante *Bytčica*, privesí v stanici Bytčica k jednotke od vlaku 3817 a vzniknutý vlak ďalej pokračuje do stanice Žilina v zdvojenej súprave motorových jednotiek 813-913.

Tab. 2. Dodatočné vlaky vložené do GVD pre variant *Solinky*. Podfarbené hodnoty sa týkajú stanice Bytčica.

	<b>3932</b>	<b>3934</b>	<b>3938</b>	<b>3940</b>	<b>3942</b>	<b>3944</b>	<b>3946</b>	<b>3948</b>	<b>3950</b>
<b>Žilina</b>	5:00	5:40	7:25	7:55	8:20	8:45	9:25	9:55	10:25
<b>Žilina-Solinky</b>	5:10	5:47	7:32	8:02	8:27	8:52	9:32	10:02	10:32
	<b>3933</b>	<b>3935</b>	<b>3939</b>	<b>3941</b>	<b>3943</b>	<b>3945</b>	<b>3947</b>	<b>3949</b>	<b>3951</b>
<b>Žilina-Solinky</b>	5:27	5:50	7:35	8:05	8:30	8:55	9:35	10:05	10:35
<b>Žilina</b>	5:37	5:57	7:42	8:12	8:37	9:02	9:42	10:12	10:42

	<b>3952</b>	<b>3954</b>	<b>3956</b>	<b>3958</b>	<b>3960</b>	<b>3966</b>	<b>3968</b>	<b>3970</b>	<b>3972</b>
<b>Žilina</b>	10:55	11:35	11:55	11:15	13:25	15:35	16:15	16:35	17:55
<b>Žilina-Solinky</b>	11:02	11:42	12:02	11:22	13:32	15:42	16:22	16:42	18:02
	<b>3953</b>	<b>3955</b>	<b>3957</b>	<b>3959</b>	<b>3961</b>	<b>3967</b>	<b>3969</b>	<b>3971</b>	<b>3973</b>
<b>Žilina-Solinky</b>	11:05	11:45	12:05	11:25	13:35	15:45	16:25	16:45	18:05
<b>Žilina</b>	11:12	11:52	12:12	11:32	13:42	15:52	16:32	16:52	18:12

	3974	3976	3978	3980	3982	3984	3986	3988	3990	3992
Žilina	18:15	19:20	19:52	20:25	20:45	21:05	21:25	21:45	22:05	22:40
Žilina-Solinky	18:22	19:27	20:02	20:32	20:52	21:12	21:32	21:52	22:12	22:47
	3975	3977		3981	3983	3985	3987	3989	3991	3993
Žilina-Solinky	18:25	19:30		20:35	20:55	21:15	21:35	21:55	22:15	22:50
Žilina	18:32	19:37		20:42	21:02	21:22	21:42	22:02	22:22	22:57

Z tabuliek je zrejmé, že v prípade zavedenia taktového grafikonu by vlaky vo variante *Bytčica* mohli jazdiť s polhodinovou periódou, keďže jazdný čas v úseku Žilina – Bytčica je 10,5 minúty. Pri jazdnom čase 7,5 minúty v úseku Žilina – Žilina-Solinky by v druhom variante jazdili vlaky s 20-minútovou periódou.

### Výsledky simulačných experimentov

Vykonalí sme dovedna 16 simulačných behov trvajúcich 3650 dní (zhruba 10 rokov). Z nich uvádzame výsledky polovice behov, nakoľko pre každú konfiguráciu boli vykonané dva behy s rovnakými parametrami a pre každú dvojicu sa absolútne hodnoty výsledkov nelíšili o viac ako 4 %. To ukazuje, že simulačné behy boli dostatočne dlhé na to, aby zachytili výkyvy náhodných vplyvov. Navyše nás zaujímajú v prvom rade relatívne rozdiely medzi konfiguráciami a nie presné hodnoty sledovaných štatistických ukazovateľov.

Pre každý variant teda uvádzame výsledky 4 behov. V dvoch sa hodnota meškania generovala podľa upraveného exponenciálneho rozdelenia pravdepodobnosti so strednou hodnotou (a zároveň limitom pre generované hodnoty) 1200 sekúnd (20 minút) a v dvoch podľa trojuholníkového rozdelenia pravdepodobnosti s hodnotou maxima rovnako 1200 sekúnd a s rovnakou hodnotou minima a modusu rovnou nule. Pre každú kombináciu variantu a generátora meškania sa simulovala prevádzka na trati pre 2 hodnoty podielu meškajúcich vlakov pri vstupe na trať v stanici Žilina: 20% a 50%.

Varianty porovnávame podľa týchto ukazovateľov:

1. agregované meškanie vlakov pri vstupe na trať v stanici Žilina a pri ich návrate späť (tab. 3a),
2. priemerné meškanie meškajúcich vlakov pri vstupe a výstupe (tab. 3b) a
3. početnosť výskytu meškania v histograme pri vstupe a výstupe (obr. 3).

Ako vidno z tabuliek, vo variante *Bytčica* sa narušenie grafikonu spôsobené vstupujúcimi vlakmi do systému zlikviduje pomalšie ako vo variante *Solinky*. Kým v prvom je súhrn meškania u vlakov pri návrate z trate ešte cca 18 %, resp. 12 % veľkosti hodnoty vstupujúcich, v druhom variante je to približne 4 %. Vidno to aj pri druhom ukazovateli, kde meškajúce vlaky pri návrate do Žiliny majú v prvom variante o zhruba 34 percentuálnych bodov vyššiu priemernú hodnotu meškania ako v druhom variante (57-60 % vs. 23-26 %).

Uvedený vzťah medzi variantami sa rovnako prejavil pri použití generátora hodnôt meškania podľa exponenciálneho i trojuholníkového rozdelenia pravdepodobnosti. Pri exponenciálnom sa vo variante *Bytčica* zachoval väčší rozsah meškania vlakov pri návrate o takmer polovicu (cca 18 % oproti cca 12,5 %), čo neplatí vo variante *Solinky*, kde sú hodnoty rovnaké na úrovni zhruba 4 %.

Tab. 3. Porovnanie variantov podľa agregovaného a priemerného meškania z meškajúcich vlakov pri vstupe na trať v stanici Žilina, pri výstupe z trate a podiel výstup/vstup. Konfigurácia je daná podielom meškajúcich vlakov na vstupe a použitým rozdelením pravdepodobnosti pre generátor hodnôt meškania.

## a) agregované meškание

konfigurácia	variant Bytčica			variant Solinky		
	vstup [hod]	výstup [hod]	podiel %	vstup [hod]	výstup [hod]	podiel %
20%, exponenciálne	2446,34	443,79	18,14	3200,45	127,65	3,99
20%, trojuholníkové	1937,21	237,93	12,28	2451,09	100,40	4,10
50%, exponenciálne	6002,64	1068,00	17,79	7680,51	314,94	4,10
50%, trojuholníkové	4772,01	594,82	12,46	6143,86	242,47	3,95

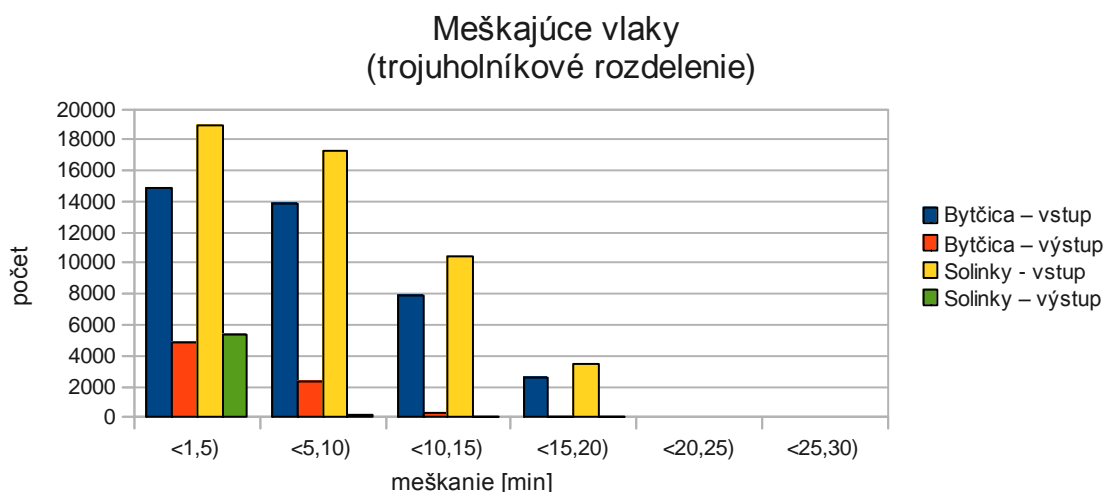
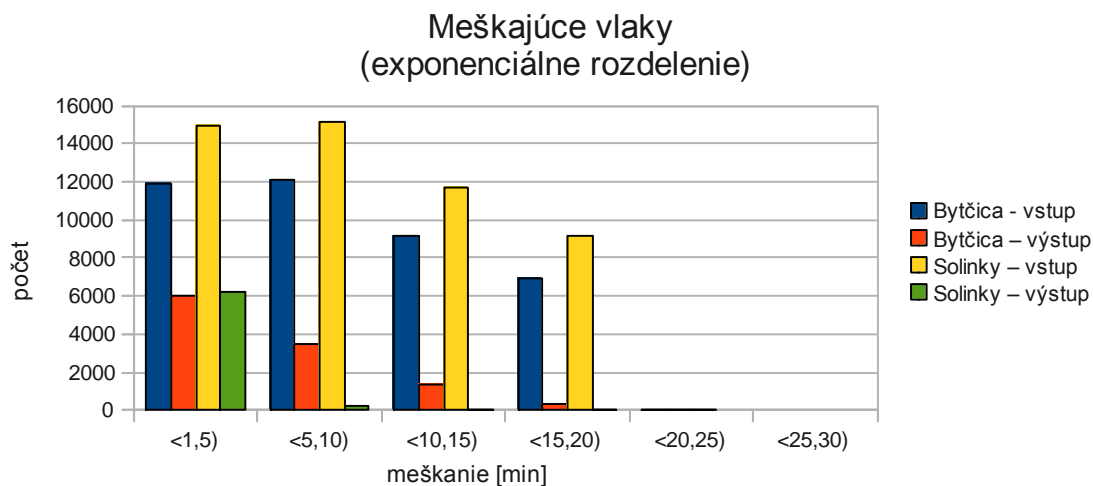
## b) priemerné meškание

	variant Bytčica			variant Solinky		
	vstup [min]	výstup [min]	podiel %	vstup [min]	výstup [min]	podiel %
20%, exponenciálne	8,12	4,91	60,54	8,42	1,95	23,17
20%, trojuholníkové	6,60	3,73	56,57	6,66	1,74	26,06
50%, exponenciálne	8,29	4,88	58,93	8,36	1,97	23,56
50%, trojuholníkové	6,60	3,78	57,26	6,67	1,70	25,52

Pre dva histogramy na obr. 3 sme vybrali výsledky behov s 50 %-ným podielom meškajúcich vlakov pri vstupe na trať, pričom výsledky behov s 20 %-ným podielom sú podobné.

Kým prvé dva ukazovatele uvedené v tabuľkách započítavajú všetky hodnoty meškania, ktoré sa vyskytli, v histogramoch sú vynechané hodnoty menšie ako 60 sekúnd, keďže s meškáním do jednej minúty sa v praxi pri vlakoch osobnej dopravy kategórie „Os“ neuvažuje aj keď sú v systéme splnenej vlakovej dopravy pri každom druhu vlaku vyhodnocované. Z toho dôvodu výška prvého a tretieho stĺpca pre interval <1,5) minút v oboch grafoch nie je taká vysoká, aby dostatočne verne zobrazovala priebeh rozdelenia pravdepodobnosti generátora hodnôt meškania. Zvlášť je to viditeľné pri exponenciálnom rozdelení, kde chyba veľká časť hodnôt.

Rozdiely vo výške prvého a tretieho stĺpca v každom intervale, ktoré zodpovedajú počtu meškaní vlakov pri vstupe do systému, spôsobil väčší počet dodaných vlakov vo variante Solinky o 20 na každý pracovný deň. Tento fakt sa prejavuje aj vo väčšom počte vlakov meškajúcich pri návrate z trate do Žiliny v hodnotách intervalu <1,5) minút v absolútnych hodnotách o 200, resp. 500 vlakov vo variante *Solinky*. Avšak vo vzťahu k počtu meškajúcich vlakov pri vstupe je podiel menší, takže aj z histogramov vidieť výraznejší pokles v meškání vlakov vo variante *Solinky*.



Obr. 3. Histogramy počtu meškajúcich vlakov pri vstupe a výstupe podľa použitého generátora meškania pre 50%-ný podiel meškajúcich vlakov pri vstupe na trať. Hodnoty do jednej minúty sa nezaznamenávali.

## Záver

V simulačnej štúdii sme overovali možnosti zahustenia grafikonu vlakovej dopravy (GVD) na železničnej trati Žilina – Rajec novými vlakmi trasovanými v medzistaničnom úseku Žilina – Bytčica, ktorý prechádza priemyselnou zónou Žiliny. Porovnali sme dva varianty. Do variantu *Bytčica* sme doplnili 35 trás vlakov v úseku trate Žilina – Bytčica a do variantu *Solinky* 55 trás vlakov v úseku trate Žilina – Žilina-Solinky (3 z nich po Bytčicu). Preverili sme ich pre dve rôzne rozdelenia pravdepodobnosti, upravené (zhora ohraničené) exponenciálne a trojuholníkové, a pre dve úrovne podielu meškajúcich vlakov pri vstupe na trať v uzlovej stanici Žilina, 20 a 50 percent.

Simulácia v programe *Zetesim* pre všetky zostavené konfigurácie ukázala, že variant *Solinky* sa s meškaním vlakov vstupujúcich na trať v stanici Žilina vyrovnáva rýchlejšie, teda tento variant upraveného grafikonu je robustnejší pre elimináciu meškania. Tento variant navyše umožňuje vložiť väčší počet trás vlakov v porovnaní s druhým variantom – v našom experimente je rozdiel 57 % – čo je dôležitý ukazovateľ pre pritiažnutie cestujúcich z paralelne fungujúcej mestskej hromadnej dopravy a prímestskej autobusovej dopravy.

V simulačných experimentoch sa neuvažovalo s pridaním vlakov nákladnej dopravy, kde je potrebné zdôrazniť, že pri budúcom testovaní prevádzkovania vlakovej dopravy v určitom systéme osobnej dopravy je potrebné ponechať priestor pre realizáciu nákladnej dopravy vo vymedzenom rozsahu.

V oblasti skúmania dopravy v regióne Rajeckej doliny sa ďalej javí možnosť navrhnuť a simulačne overiť integrovaný dopravný systém so zahrnutím prímestskej autobusovej dopravy, a na tom ukázať ekonomickú efektívnosť integrácie dopravy oproti súčasnému stavu. Okrem toho možno nástroj *Zetesim* bez potreby výrazných úprav použiť pre analýzu robustnosti na ľubovoľnej železničnej trati, predovšetkým jednokoľajnej trati regionálneho významu bez nutnosti komplikovaného riešenia prípadných konfliktov.

### Literatúra

1. Florek, P.: *Editor grafikonu vlakovej dopravy*. Diplomová práca. Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta riadenia a informatiky, 2005.
2. Amcha, R., Bachratý, H., Krýže, P., Veselý, P.: Príspevek k problematice dodatkových vlakov v prostredí IS SENA. Príspevok do zborníka konferencie *Dopravní systémy 2005*, 29. november 2005, Pardubice, str. 331-338, ISBN 80-7194-805-5
3. Motorová jednotka radu 813+913 [online]. In: *Železničné.info, magazín o železniciach na Slovensku*. Posledná revízia 7.7.2008 [cit. 27.11.2010]. Dostupné z: <<http://www.zeleznicne.info/view.php?navezclanku=motorova-jednotka-radu-813913&cisloclanku=2008070004>>.
4. Mravec, V.: *Preverenie priepustnosti železničnej trate Žilina - Rajec počítačovou simuláciou*. Diplomová práca. Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta riadenia a informatiky, 2008.
5. Potecký, M.: *Simulácia riadenia prevádzky na železničnej trati*. Diplomová práca. Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta riadenia a informatiky, 2006.
6. Šotek, K., Bachratý, H.: Nové možnosti simulačných modelov reálneho prostredia v železničnej doprave. Zborník medzinárodného sympózia *ŽEL 2005*, 24.-25. máj 2005, Žilina, str.119-127, ISBN 80-8070-399-X.
7. Šotek, K., Bachratý, H.: Algoritmus vkládání tras dodatkových vlakov. Sborník *Perners Aktuel*, č. V, december 2008. Pardubice 2008, str. 276-283, ISSN 1801-674X
8. Žarnay, M., Javorka, R.: Počítačová simulácia prevádzky železničnej trate. In: *Perner's Contacts*, Apríl 2011, Pardubice, str. 438-446, ISSN 1801-674X. Dostupné z: <[http://pernerscontacts.upce.cz/PC\\_212011.pdf](http://pernerscontacts.upce.cz/PC_212011.pdf)>.
9. Železnice Slovenskej republiky: *Tabuľky traťových pomerov 114*. ŽSR, 2007.
10. Železnice Slovenskej republiky: *Zošitový cestovný poriadok 114*. ŽSR, 2007.

### Ing. Michal Žarnay, PhD.

Katedra dopravných sietí  
Fakulta riadenia a informatiky  
Žilinská univerzita v Žiline  
Univerzitná 1  
010 26 Žilina  
tel.: +421 41 5134 224  
fax: +421 41 565 1015  
e-mail: [michal.zarnay@fri.uniza.sk](mailto:michal.zarnay@fri.uniza.sk)

### Ing. Róbert Javorka, PhD.

Úsek prevádzky  
Sekcia riadenia a realizácie prevádzky  
Správa riadenia a realizácie prevádzky Žilina  
Železničná spoločnosť Slovensko, a. s.  
Hviezdoslavova 31  
010 01 Žilina  
tel.: +421 41 229 2233  
e-mail: [javorka.robert@slovakrail.sk](mailto:javorka.robert@slovakrail.sk)

**Recenzent:** doc. Ing. Jozef Gašparík, PhD., Žilinská univerzita v Žiline