



# Model dopravního uzlu

Modelování a simulace

2015/2016

8. decembra 2015

**Riešitelia:** Peter Gazdík ([xgazdi03@stud.fit.vutbr.cz](mailto:xgazdi03@stud.fit.vutbr.cz))  
Andrej Baáš ([xbaasa00@stud.fit.vutbr.cz](mailto:xbaasa00@stud.fit.vutbr.cz))

Fakulta Informačních Technologii  
Vysoké Učení Technické v Brně

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>1</b>
1.1	Autori a zdroje . . . . .	1
1.2	Prostredie pre overovanie validity modelu . . . . .	1
<b>2</b>	<b>Rozbor témy a použitých metód/technológií</b>	<b>2</b>
2.1	Popis použitých postupov . . . . .	4
2.2	Popis pôvodu použitých metód . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Koncepcia</b>	<b>4</b>
3.1	Spôsob vyjadrenia konceptuálneho modelu . . . . .	4
3.2	Popis konceptuálneho modelu . . . . .	4
<b>4</b>	<b>Architektúra simulačného modelu/simulátoru</b>	<b>8</b>
4.1	Mapovanie abstraktného modelu do simulačného modelu . . . . .	8
4.1.1	Formát vstupného súboru . . . . .	8
<b>5</b>	<b>Podstata simulačného experimentu a ich priebeh</b>	<b>9</b>
5.1	Postup experimentovania . . . . .	9
5.2	Dokumentácia jednotlivých experimentov . . . . .	9
5.2.1	Experimet č.1 . . . . .	9
5.2.2	Experimet č.2 . . . . .	9
5.2.3	Experimet č.3 . . . . .	10
5.2.4	Experimet č.4 . . . . .	10
5.3	Závery experimentov . . . . .	11
<b>6</b>	<b>Zhrnutie simulačného experimentu a záver</b>	<b>11</b>

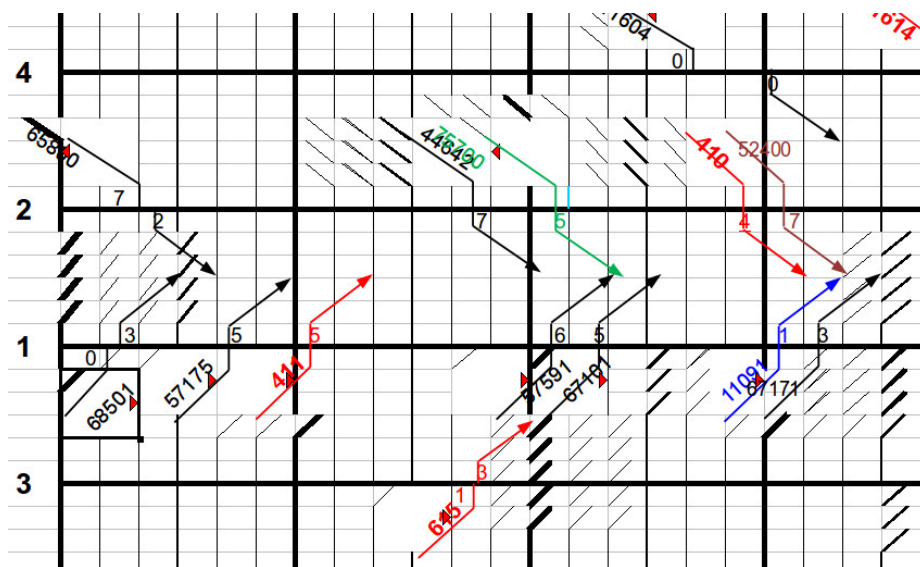
# 1 Úvod

Tento dokument popisuje vytváranie modelu [4, str. 6] a následnú simuláciu [4, str. 7] dopravného uzla, konkrétne železničnej stanice Púchov na Slovensku. Cieľom práce je simuláciou overiť správnosť návrhu grafikonu vlakovej dopravy [6] (GVD) pre rok 2015/2016, ktorý vstupuje do platnosti 13.12.2015. Platnosť budeme overovať na základe skúmania, ako často dochádza k zmene pridelenia koľají dispečerom oproti pomôcke „Plán obsadenia dopravných koľají“ [5, str. 9], ktorá stanovuje pre každý vlak koľaj, na ktorú by mal za ideálnych podmienok prísť.

## 1.1 Autori a zdroje

Na vypracovaní projektu sa podielali študenti FIT VUT Andrej Baáš a Peter Gazdík. Autori využívali konzultácie so zamestnancom Železníc Slovenskej republiky (ŽSR) Ing. Jozefom Baášom, ktorý pracuje ako vedúci technického oddelenia a autorom tak tiež poskytol niektoré odborné fakty, ktoré boli k vypracovaniu projektu nevyhnutné.

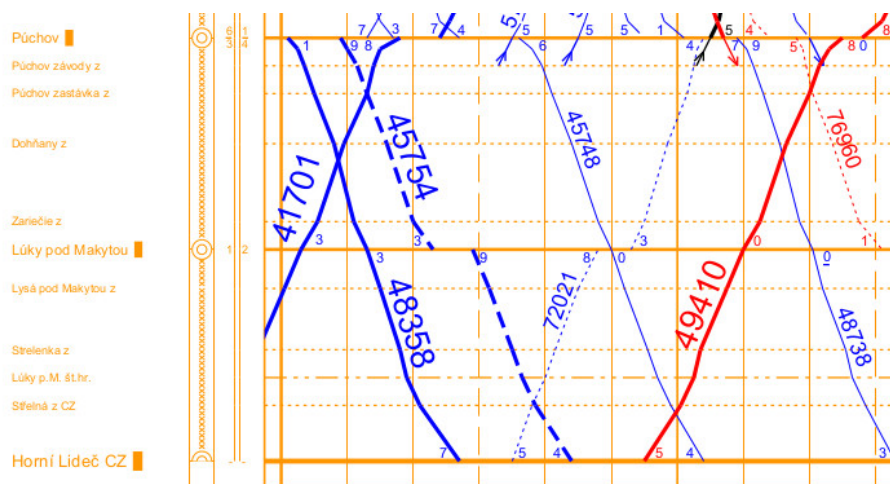
Medzi hlavné zdroje informácií patrila študijná opora [4] k predmetu Modelovanie a simulácie, schéma koľajiska na žel. stanici Púchov [9], Plán obsadenia koľají na žel. stanici Púchov [8], Grafikony vlakovej dopravy [12][11] zachycujúce pohyb vlakov v stanici Púchov a množstvo ďalšej literatúry zaoberajúcej sa riadením a simuláciou dopravy na železnici, ktorá bude priebežne spomínaná v texte.



Obr. 1: Ukážka plánu obsadenia dopravných koľají

## 1.2 Prostredie pre overovanie validity modelu

Nakoľko modelovaný systém ešte v súčasnej podobe nie je možné sledovať (v čase modelovania [4, str. 6] ešte neprišiel do platnosti nový grafikon vlakovej dopravy), bolo overovanie validity [4, str. 15] vykonávané len porovnávaním výstupu modelu s očakávaným správaním reálneho systému [4, str. 6]. Očakávané správanie reálneho systému bolo pre nás dané práve pomocou GVD. Na základe toho, že výstup modelu pri behu bez zavedených meškaní verne kopíroval návrh GVD usudzujeme, že model bez zavedených meškaní je validný.



Obr. 2: Ukážka grafickej podoby GVD

Posúdiť validitu modelu so zavedenými meškami nebolo možné jednoznačne. Vychádzame len z predpokladu, že nakoľko nedošlo oproti súčasnemu GVD k výrazným zmenám v pohybe vlakov, tak výstup z nášho modelu pri meškani zodpovedajúcim prevádzke podľa súčasného GVD bude vykazovať podobné chovanie ako súčasný reálny systém. Výsledok tohto experimentu zodpovedal osobným skúsenostiam dispečerov riadiacich dopravu v stanici Púchov (nevedú sa totiž štatistiky o zmene priradenia koľají) a teda taktiež považujeme náš model aj v tomto ohľade za validný.

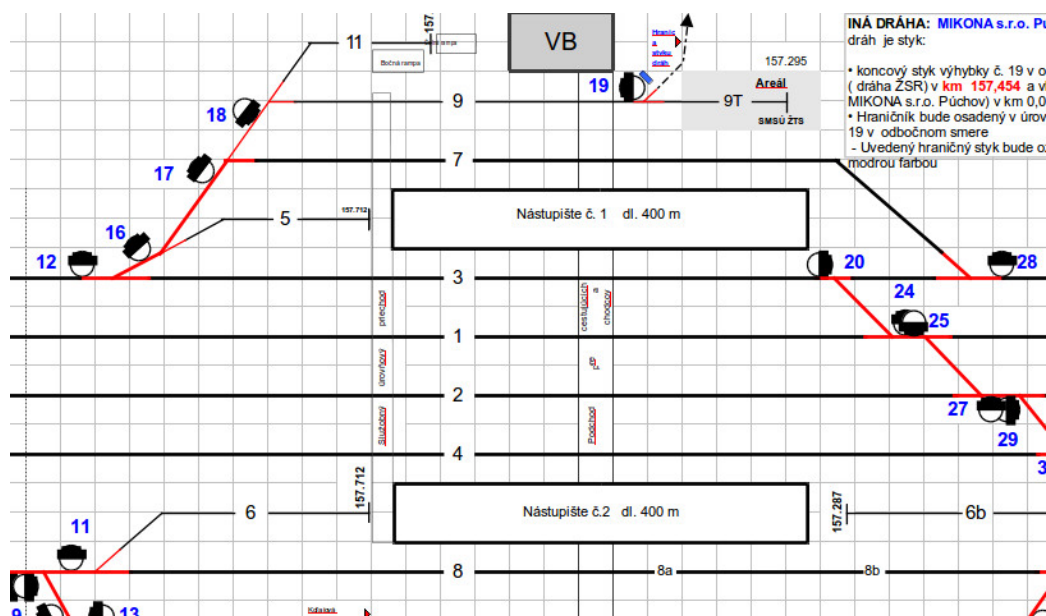
## 2 Rozbor témy a použitých metód/technológií

Železničná stanica Púchov je tvorená celkovo 15 koľajami [9], pričom len 4 z nich sa nachádzajú pri nástupištiach a je ich teda možné využiť pre nástup a výstup pasažierov (koľaje č. 3,4,7,8). Dĺžka nástupíšť je vo všetkých prípadoch rovnaká [9], a to 400m, takže je na nich možné obslúžiť všetky vlaky, ktoré v tejto stanici zastavujú. Koľaje č. 1 a 2 slúžia len na prejazd vlakov cez stanicu a zvyšné koľaje slúžia na odstavenie vlakov stojacich v stanici dlhšiu dobu (nákladné vlaky a vlaky, ktoré v stanici zostávajú cez noc). Spomínané koľaje je možné vidieť aj na obrázku č. 3.

Vlaky prichádzajú do stanice v ideálnom prípade v časoch daných cestovným poriadkom alebo s určitým meškaním oproti cestovnému poriadku. Vychádzajúc zo štatistiky ŽSR [13] v období od 11. 2. 2015 do 12. 2. 2015 bolo zmeškaných 20.23 % vlakov s priemerným meškaním 11.96 min.

Vlaku prichádzajúcemu na nástupište je dispečerom riadiacim dopravu v danej stanici určená koľaj na základe Plánu obsadenia dopravných koľají [8] a umožnený príjazd vlaku na túto koľaj nastavením výhybiek do príslušnej polohy a nastavením príslušných návěstidiel [10]. V prípade mimoriadnosti (meškanie vlaku, výluka koľaje), kedy je koľaj daná Plánom obsadenia koľají nedostupná, dochádza k prideleniu náhradnej koľaje [1].

Nakoľko však takéto zmeny vyžadujú množstvo úkonov, ktoré musí dispečer vykonať, je žiaduce, aby bol plán obsadenia koľají navrhnutý s ohľadom na možné mimoriadnosti (najmä meškania). Z tohoto dôvodu sa bude táto práca zaoberať simuláciou [4, str. 7] Plánu obsadenia koľají pre rok 2015/2016, ktorý od 13. 12. 2015 prichádza do platnosti, na odolnosť voči meškaniam.



Obr. 3: Výrez zo schémy koľají ŽST Púchov

Po pridelení koľaje následne vlak zastaví v stanici do doby pravidelného odjazdu, alebo v prípade, že sa jedná o zmeškaný vlak a doba státia v stanici by mala byť kratšia ako minimálny čas potrebný na odbavenie vlaku, tak vlak stojí v stanici tento minimálny čas. Minimálny čas bol určovaný na základe plánu obsadenia koľají a pre jednotlivé vlaky sa líši v závislosti na tom, či vlak v stanici zastavuje len na čas potrebný pre výstup a nástup pasažierov alebo tento vlak v stanici končí a dochádza pri ňom k úkonom potrebným na zaistenie jeho opätovného vypravenia na iný spoj (upratovanie, prestavenie rušňa na druhý koniec vlaku atď.).

Výnimkou sú vlaky kategórie IC, ktoré v stanici nezastavujú a len ňou prechádzajú konštantnou rýchlosťou. Pozorovaním v stanici sme zmerali, že tieto vlaky prejdú cez stanicu za 15 sekúnd.

Vlaky, ktoré v stanici jazdu končia a odchádzajú až o niekoľko hodín sú prestavené na koľaj, kde neobmedzujú pohyb ďalších vlakov v stanici. Spravidla sú teda odstavené na niektorú odstavnú koľaj.

Vlak môže zo stanice odísť neskôr ako je jeho plánovaný čas odjazdu aj v prípade, že tento vlak je plánovaný ako prípojný a čaká v stanici na prípoj maximálne po dobu danú čakacím časom [7, str. 3], ktorá začne plynúť od času jeho pravidelného odjazdu. Po príchode prípoja je taktiež potrebné zohľadniť dobu potrebnú na prestup cestujúcich. Prípojné vlaky v stanici Púchov majú štandardné čakacie doby stanovené všeobecnými predpismi [7], ktoré udávajú pre prípojné vlaky kategórie Ex, R čakacie časy 5 minút a pre vlaky kategórie Os 10 minút.

Vlak môže byť zo stanice vypravený na odjazdovú koľaj až v okamžiku, kedy pred ním vypravený vlak na túto koľaj urazil bezpečnú vzdialenosť od prvého návěstidla [10] (daná zábrzdňou vzdialenosťou vychádzajúcej z maximálnej traťovej rýchlosti). Z tejto vzdialenosti je potom možné určiť dobu, počas ktorej sú odjazdové koľaje zo stanice obsadené. Tieto časy sú potom nasledovné (výpočet vykonával zamestnanec ŽSR a nemáme ich k dispozícii): pre smer Praha 2 min. 23 sekúnd, smer Bratislava 2 min. 32 sekúnd a smer Košice 1 minúta.

## 2.1 Popis použitých postupov

Model bol implementovaný v jazyku C++ využitím knižnice SIMLIB [3], ktorá poskytuje základné prostriedky pre popis diskretných modelov [4, str. 12]. Zároveň je však možné používanie všetkých ostatných prostriedkov jazyka C++ a je tak možné rozšíriť knižnicu o ďalšie prostriedky potrebné pre modelovanie.

Preklad a testovanie programu prebiehalo na školskom serveri [merlin.fit.vutbr.cz](http://merlin.fit.vutbr.cz) pod operačným systémom CentOS 6.7 s prekladačom GCC vo verzii 4.9.3.

## 2.2 Popis pôvodu použitých metód

Použitá simulačná knižnica SIMLIB bola získaná z oficiálnych stránok a jej používanie je možné podľa podmienok licencie GNU LGPL.

# 3 Konceptcia

Pri modelovaní koľajiska v stanici uvažujeme len koľaje č. 1,2,3,4,7,8, pretože zvyšné koľaje sú využívané primárne na odstavenie vlakov a nie sú zahrnuté v pláne obsadenia dopravných koľají.

Taktiež v nami vytvorenom modeli neuvažujeme pohyb nákladných vlakov cez stanicu, nakoľko tieto vlaky majú pri riadení dopravy najnižšiu prioritu [10, str. 342] a pri meškaní vlakov prechádzajú stanicou tak, aby neobmedzili pohyb osobných vlakov s vyššou mierou priority.

Zanedbávané sú aj výhybky v stanici, ktorých úlohou je zabezpečiť príjazd vlakov na pridelenú koľaj. Model toto zabezpečuje na abstraktnejšej úrovni. Čas prechodu výhybkami je zahrnutý do doby, po ktorú vlak obsadzuje odjazdovú a príjazdovú koľaj.

## 3.1 Spôsob vyjadrenia konceptuálneho modelu

Všetky navrhnuté petriho siete [4, str. 31] zobrazujú model s veľkou mierou abstrakcie, nakoľko správanie systému je podmienené množstvom rozhodovacích algoritmov, ktoré by bolo petriho sieťou obtiažne modelovať.

Príjazdové a odjazdové koľaje sú znázornené petriho sieťou na obrázku 4. Generovanie vlakov, ktoré petriho sieť zobrazuje, je zjednodušené a bližšie je popísané v kapitole 3.2.

Príjazd, zabratie a odjazd vlaku z koľaje v stanici vyobrazuje petriho sieť na obrázku 5. Je na nej možné vidieť dve obslužné linky s výlučným prístupom [4, str. 36], pričom jedna reprezentuje dispečera v stanici a druhá koľaj v stanici.

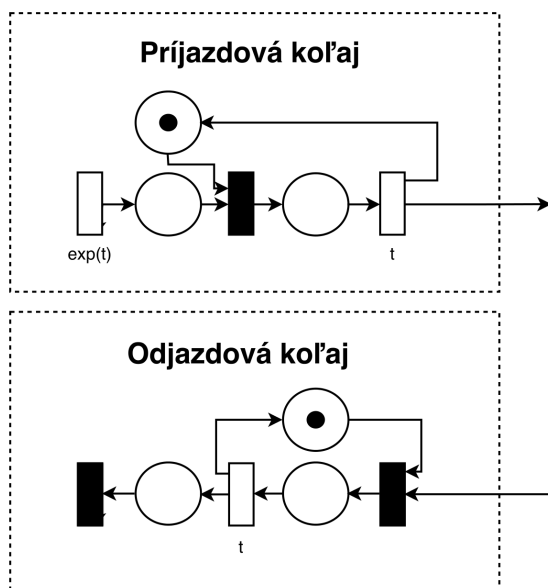
Pri modelovaní celej stanice Púchov je potrebné využiť celkovo 3 príjazdové a 3 odjazdové koľaje pre smer Bratislava, Košice, Praha a 6 koľají v stanici, pričom pre všetky tieto koľaje bude slúžiť len jedna obslužná linka dispečera.

## 3.2 Popis konceptuálneho modelu

### Príjazdové a odjazdové koľaje a generovanie vlakov

Príjazdová a odjazdová koľaj vyobrazená na obrázku 4 predstavuje obslužnú linku s výlučným prístupom [4, str. 36]. Po zabraní linky prichádzajúcim, resp. odchádzajúcim

vlakom vlak obsadí túto linku na dobu závislú na parametroch konkrétnej koľaje (dĺžka, traťová rýchlosť), vid' kapitola 2.



Obr. 4: Petriho sieť: Príjazdová a odjazdová koľaj

Vlaky sú na príjazdovú koľaj generované v časoch daných cestovným poriadkom, pričom ale tieto vlaky môžu nadobúdať meškanie stanovené na základe metodiky DB Richtlinie 405.0204A03 [2, str. 11].

Algoritmus generovania meškania podľa tejto metodiky je nasledovný:

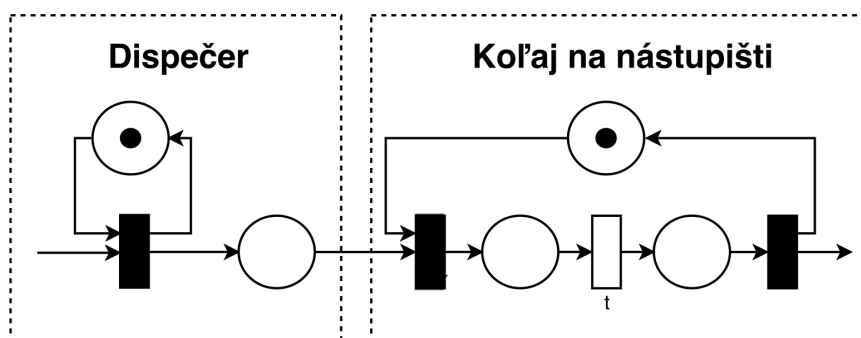
- vzhľadom ku pravdepodobnosti sa zistí, či vlak bude zmeškaný alebo nie,
- ak nie, vlak nebude omeškaný,
- ak áno, vygeneruje sa meškanie dané exponenciálnym rozdelením so stanovenou strednou hodnotou.

### Koľaje v stanici

Každá koľaj v stanici je reprezentovaná obslužnou linkou s výlučným prístupom, vid' obrázok 5. Koľaj umožňuje príchod vlaku v oboch smeroch. Pred obsadením koľaje vlakom najskôr dôjde k zabratiu linky *Dispečer*, ktorý prichádzajúcemu vlaku prideli koľaj a následne sa tento vlak pokúsi túto koľaj obsadiť. Situácia, že by bola koľaj aj napriek prideleniu dispečerom obsadená a vlak by na ňu musel čakať pred stanicou by znamenala, že všetky koľaje vhodné pre daný vlak sú už obsadené inými vlakmi.

Vlak následne obsadí koľaj do doby pravidelného odjazdu alebo na minimálnu dobu potrebnú pre odbavanie vlaku, ktorá je určená pre konkrétny vlak.

Po tejto dobe môže vlak opustiť koľaj, ale len v prípade, že je voľná odjazdová koľaj v smere odjazdu vlaku. Ak tomu tak nie je, vlak obsadzuje koľaj v stanici až do doby uvoľnenia odjazdovej koľaje.



Obr. 5: Petriho sieť: Koľaj v stanici spolu s dispečerom

### Stanovenie doby státia vlaku v stanici

Pri príchode vlaku do stanice je potrebné určiť dobu čakania, po ktorú má vlak v stanici stáť. Túto činnosť zabezpečuje v reálnom systéme dispečer riadenia dopravy. V modelovanom systéme však táto činnosť musí byť zabezpečená vhodne navrhnutým algoritmom.

Pri určovaní doby, ktorú má vlak stáť v stanici rozlišujeme nasledovné situácie:

1. vlak prichádza včas, prípadne s takým malým meškaním, že je možné jeho vypravenie v čase pravidelného odjazdu,
2. vlak prichádza zmeškaný a nie je ho možné stihnúť vypraviť v čase pravidelného odjazdu,
3. vlak je plánovaný ako prípojný a musí čakať na zmeškaný prípoj podobu čakacieho času.

V prípade bodu 1 a 2 stačí určiť dobu, ktorá je daná rozdielom času pravidelného odjazdu a skutočného príchodu a v prípade, že je táto doba kratšia ako minimálna doba potrebná na odbavenie vlaku v stanici, tak tento vlak čaká minimálne po túto dobu, inak do času odjazdu.

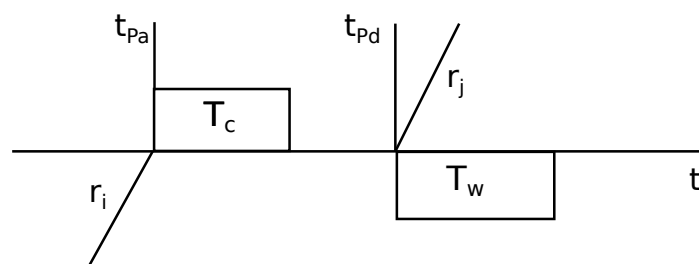
V 3. bode je potrebné pri rozhodovaní uvažovať aj tzv. čakací čas, vid'. kapitola 2, po ktorý vlak čaká v stanici na prípoj, ktorý je dôsledkom meškania oneskorený a tatiež čas potrebný na prestup cestujúcich. Situáciu bližšie popisujú obrázky 6 a 7.

Obrázok 6 znázorňuje prípad, kedy vlak  $r_i$  prichádza do stanice v čase plánovaného príchodu  $t_{Pa}$  a prípojný vlak  $r_j$  odchádza v čase plánovaného odjazdu  $t_{Pd}$ . Čas  $T_c$  reprezentuje čas potrebný na prestup cestujúcich z vlaku  $r_i$  na vlak  $r_j$  a čas  $T_w$  je čakací čas.

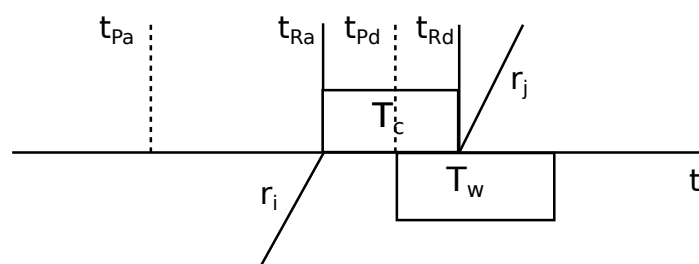
Na obrázku 7 je potom vyobrazený prípad, kedy je vlak  $r_i$  zmeškaný a prichádza do stanice v čase  $t_{Ra}$ , následne dochádza k prestupu cestujúcich po dobu  $T_c$  a odjazdu prípojného vlaku v čase  $t_{Rd}$ . Ak by čas príchodu  $t_{Ra}$  vlaku  $r_i$  bol v takom okamžiku, že doba  $T_c$  zasahuje až za koniec čakacej doby  $T_w$ , prípojný vlak  $r_j$  čaká aj v takomto prípade.

Činnosť algoritmu pre stanovenie čakacieho času je teda nasledovná:





Obr. 6: Vzťah medzi prichádzajúcim a prípojným vlakom bez meškania



Obr. 7: Vzťah medzi zmeškaným prichádzajúcim vlakom a prípojným vlakom

- ak vlak nie je prípojný, stanov dobu čakania na základe doby odjazdu, ale minimálne na dobu danú minimálnym časom potrebným pre odbavenie, inak pokračuj,
- ak vlak je prípojný a vlak, na ktorý čaká už prišiel do stanice, stanov dobu čakania rovnako ako v prechádzajúcom bode, inak pokračuj,
- zisti, či vlak, na ktorý vlak čaká príde ešte pred uplynutím čakacej doby, ak áno, stanov dobu čakania vlaku v stanici s ohľadom na príchod tohoto vlaku a času potrebného na prestup cestujúcich.

## Pridelovanie koľaje

Algoritmus nahradzujúci činnosť dispečera zároveň stanovuje koľaj, ktorú má vlak pri príjazde obsadiť.

Najjednoduchšia situácia nastáva v prípade, kedy je koľaj, ktorú má prichádzajúci vlak pridelenú podľa plánu obsadenia koľají, voľná a dôjde k prideleniu práve tejto koľaje.

V prípade, že je táto koľaj obsadená, snaží sa algoritmus o pridelenie inej koľaje na základe výpočtu hodnotiacej funkcie pre každú koľaj. Hodnotiaca funkcia zohľadňuje aktuálne obsadenie koľají, plánované obsadenie koľají v ďalšom časovom období a taktiež smer jazdy, pre ktorý je koľaj primárne určená (nie je príliš dôležité) a v neposlednom rade, či je koľaj pri nástupišti, ak vlak zastavuje v stanici.

Pri pridelovaní koľaje teda algoritmus postupuje nasledujúcim postupom:

- ak je koľaj daná Plánom pridelenia koľají voľná, pridel prichádzajúcemu vlaku túto koľaj a skonči,

- ak takto určená koľaj nie je voľná, vypočítaj hodnotiacu funkciu podľa kritérii vyššie pre všetky koľaje a pridel koľaj s najlepším výsledkom.

## 4 Architektúra simulačného modelu/simulátoru

Kapitola popisuje implementáciu konceptuálneho modelu v jazyku C++ s využitím knižnice SIMLIB.

### 4.1 Mapovanie abstraktného modelu do simulačného modelu

Koľaje v stanici sú reprezentované triedou **Track**, odjazdové a príjazdové koľaje triedou **InOutTrack**, dispečer v stanici triedou **Dispatcher**. Všetky tieto triedy dedia od triedy **Facility**, ktorá definuje obslužnú linku s výlučným prístupom.

Vlaky reprezentuje trieda **Train**. Generovanie vlakov zabezpečuje trieda **Generator** a nastavuje im rôzne parametre, ktoré sú načítavané zo súboru vo formáte CSV. Popis týchto parametrov sa nachádza v ďalšej kapitole. **Generator** vygeneruje vlaky zodpovedajúce jednému dňu (resp. časti dňa, ak simulujeme kratší časový úsek) a následne sa aktivuje až o čas, ktorý reprezentuje tento úsek. Pri generovaní zároveň ukladá informácie o vygenerovaných vlakoch a ich časoch do objektu triedy **MyCalendar**, ktorý v zjednodušenej podobe slúži ako kalendár udalostí, ako ho poznáme z knižnice SIMLIB.

**Dispatcher**, ktorý zabezpečuje pridelovanie koľají a nastavovanie časov čakania procesom **Train** využíva práve spomínaný kalendár na získanie skutočných príjazdov vlakov v budúcnosti, ktoré potrebuje pre jeho činnosť.

#### 4.1.1 Formát vstupného súboru

Väčšina údajov, ktoré sú potrebné pri behu simulácie je načítavaných zo súboru vo formáte CSV. Sú v ňom obsiahnuté údaje získané z GVD a plánu obsadenia koľají. Konkrétne nasledovné:

- kategória vlaku - Os, R, Ex, IC,
- číslo vlaku,
- plánovaný príchod zadany v minútach od začiatku dňa (00:00 = 0, 01:00 - 60 atď.),
- plánovaný odchod,
- minimálna doba potrebná na zaistenie odbavenia vlaku v stanici,
- koľaj pridelená na základe plánu pridelenia koľají,
- smer, z ktorého vlak prišiel,
- číslo, pod ktorým vlak odchádza, ak vyráža zo stanice v rámci iného spoja,
- prípoj, na ktorý vlak čaká (ak nie je uvedený, vlak nečaká),
- doba čakania na tento prípoj.

## 5 Podstata simulačného experimentu a ich priebeh

Experimentovaním sa snažíme dokázať správnosť návrhu pomôcky plán pridelenia koľají, ktorá zabezpečuje jednoduchšie rozhodovanie dispečera pri pridelení koľaje prichádzajúcemu vlaku. Jej správnosť dokážeme, resp. vyvrátíme na základe analýzy počtu zmien, ku ktorým pri experimente dochádza.

### 5.1 Postup experimentovania

Zmenou parametrov, ktoré majú vplyv na simulačný model, sa v jednotlivých experimentoch ukázalo správanie železničnej stanice Púchov. Všetky experimenty prebehli v časovom intervale 100 dní pri bežnej prevádzke, čiže v pracovných dňoch. Sledovali sme vyťaženie jednotlivých koľají v prípadoch, že vlaky nemeškajú, majú priemerné meškanie, alebo majú mimoriadne meškanie.

### 5.2 Dokumentácia jednotlivých experimentov

#### 5.2.1 Experiment č.1

Prvý, tzv. referenčný experiment sa zaoberal situáciou, kedy doba meškania bola nulová. Z tabuľky 1 môžeme vidieť, že najviac bola využívaná koľaj č. 8, najmenej koľaj č. 1. Priemerné využitie koľají bolo 11,78 %.

Číslo koľaje	Využitie koľaje
1	0,17%
2	0,21%
3	7,29%
4	7,78%
7	14,31%
8	40,90%
<b>V priemere</b>	<b>11,78%</b>

Tabuľka 1: Využitie koľají

#### 5.2.2 Experiment č.2

Pri tomto experimente sa generujú vlaky s priemernou hodnotou meškania 11,96 minút, pričom k oneskoreniu dochádzalo s pravdepodobnosťou 20,23 %. Z údajov v tabuľke 2 vidíme, že najviac bola opäť využívaná koľaj č. 8 a najmenej koľaj č. 1. Priemerné využitie koľají bolo 11,69 %. Pri tomto experimente dochádzalo k zmene koľají dôsledkom meškania vlakov. Z tabuľky 3 je zrejmé, že najčastejšie bola zmenená koľaj č.4. Priemerne dochádzalo k zmene koľají 0,91 krát za deň. Príčinou tejto zmeny boli najmä vlaky Ex 142, R 601, R 602, R 606, R 608 a R 609. Väčšina týchto vlakov jazdí v čase dopravnej špičky od 14:00 do 17:00, preto sme náš ďalší experiment zamerali práve na toto časové obdobie.

Číslo koľaje	Využitie koľaje
1	0,18%
2	0,23%
3	7,38%
4	7,81%
7	14,12%
8	40,40%
<b>V priemere</b>	<b>11,69%</b>

Tabuľka 2: Využitie koľají

Číslo koľaje	Počet zmien
3	25
4	44
7	22

Tabuľka 3: Zmeny koľají dôsledkom meškania vlakov

### 5.2.3 Experiment č.3

Ako sme už uviedli v predchádzajúcom odstavci, tento experiment bol zameraný na správanie sa železničnej stanice Púchov v čase dopravnej špičky. Vlaky boli generované v dobe od 14:00 do 17:00 s priemernou hodnotou meškania 11.96 minút, kde pravdepodobnosť meškania vlaku je 20,23 %. Z tabuľky 4 vidíme, že v tomto časovom období bola najviac využívaná koľaj č. 3 a najmenej koľaj č. 1, pričom priemerné využitie koľají bolo 1.32 %. Najčastejši bola podľa tabuľky č. 5 zmenená koľaj č. 8. K zmene koľají dochádzalo v čase dopravnej špičky priemerne 0,34 krát za deň.

Číslo koľaje	Využitie koľaje
1	0,02%
2	0,06%
3	2,53%
4	1,29%
7	2,06%
8	1,96%
<b>V priemere</b>	<b>1,32%</b>

Tabuľka 4: Využitie koľají

### 5.2.4 Experiment č.4

Posledný experiment zobrazuje správanie železničnej stanice Púchov pri mimoriadnom oneskorení vlakov. Hodnota priemerného meškania generovaných vlakov bola nastavená na 45 minút, pričom k meškaniu dochádzalo s pravdepodobnosťou 50 %. V tomto prípade, ako vyplýva z tabuľky 6, bola najviac využívaná koľaj č. 8 a najmenej koľaj č. 1. Priemerné využitie koľají bolo 10,64 %. Z tabuľky 7 je zrejmé, že najčastejšie bola zmenená koľaj č.4. Najviac krát bola zmenená koľaj dôsledkom

Číslo koľaje	Počet zmien
3	10
4	8
7	16

Tabuľka 5: Zmeny koľají dôsledkom meškania vlakov

vlakov Ex 120, Ex 122, R 609, R 611, R 701, R 706, Os 3269 a Os 3323. Pri takýchto hodnotách meškania a pravdepodobni jeho vzniku došlo k zmene koľají priemerne 3.43 krát za deň.

Číslo koľaje	Využitie koľaje
1	0,18%
2	0,25%
3	6,71%
4	7,51%
7	13,00%
8	36,21%
<b>V priemere</b>	<b>10,64%</b>

Tabuľka 6: Využitie koľají

Číslo koľaje	Počet zmien
3	124
4	139
7	62
8	18

Tabuľka 7: Zmeny koľají dôsledkom meškania vlakov

### 5.3 Závery experimentov

Boli vykonané štyri experimenty, ktorými bola dokázaná odolnosť plánu obsadenia koľají, pretože aj v prípade veľkého meškania, ktoré zodpovedalo mimoriadnej situácii na trati, nedochádzalo k častým zmenám koľají.

Meškanie bolo možné navyšovať ešte markantnejšie, avšak záver po tomto experimentovaní by už nebol veľmi dôležitý, pretože s takýmito situáciami návrh plánu pridelenia koľají nepočíta.

## 6 Zhrnutie simulačného experimentu a záver

V rámci projektu bol navrhnutý a implementovaný model železničnej stanice Púchov, ktorý simuluje pohyb vlakov v tejto stanici za účelom overenia správnosti návrhu grafikonu vlakovej dopravy a plánu pridelenia koľají pre túto stanicu.

Experimentovaním s týmto modelom bolo zistené, že plán pridelenia koľají je odolný voči bežným meškaniam vznikajúcich v tomto úseku trati, nakoľko dochádzalo k zmene koľaje priemerne len k 0.93 krát denne, čo nemá výrazný vplyv na plynulosť dopravy v tejto stanici.

S navyšovaním meškania bolo taktiež zistené, že pri vyšších časoch meškania, ktoré môžu byť spôsobené nejakou mimoriadnou udalosťou, stále nedochádza k výraznému navýšeniu zmien koľají (priemerne 3.43 krát denne) a dispečeri v stanici ju dokážu bez problémov zvládnuť.

# Literatúra

- [1] Bažant; Žarnay: Modelování situací vznikajících při zpoždění vlaků v osobních železničních stanicích. In *Dopravní systémy 2005*, Univerzita Pardubice, 2005, ISBN 80-7194-805-5, s. 248–256.
- [2] Binko; Zaťko: Simulační podpora prověřování variantního uspořádání kolejíšť v rámci železničních stanic. 2013.  
URL <http://www.upce.cz/fei/railsim/materialy/studie-mas-nadr.pdf>
- [3] Peringer, P.: Simulačná knižnica SIMLIB.  
URL <http://www.fit.vutbr.cz/~peringer/SIMLIB/>
- [4] Peringer, P.: Modelování a simulace. studijní opora, december 2012.
- [5] SŽDC: Předpis pro tvorbu a zpracování technologických pomůcek ke grafikonu vlakové dopravy. 2013.  
URL <http://provoz.szdc.cz/Portal/Show.aspx?oid=919869>
- [6] Wikipedia: Grafikon dopravy. 2015, [Online], [cit. 6.12.2015].  
URL [https://cs.wikipedia.org/wiki/Grafikon\\_dopravy](https://cs.wikipedia.org/wiki/Grafikon_dopravy)
- [7] ZSSK: Čakacie časy a opatrenia pri meškaní vlakov osobnej dopravy. 2014.  
URL <http://fpedas.uniza.sk/~gasparik/cc.pdf>
- [8] ŽSR: GVD 2015/2016 ŽST Púchov – Plán obsadenia dopravných koľají, [Príloha *Plan\_obsadenia\_kolaji\_PU.xlsx*].
- [9] ŽSR: Schéma koľajiska ŽST Púchov, [Príloha *Schema\_kolajiska\_PU.xlsx*].
- [10] ŽSR: Pravidlá železničnej prevádzky. 2005.  
URL [http://www.zsr.sk/buxus/docs//RegisterInfrastruktury/Z1\\_web.pdf](http://www.zsr.sk/buxus/docs//RegisterInfrastruktury/Z1_web.pdf)
- [11] ŽSR: GVD 2015/2016, trať Bratislava – Púchov. 2015.  
URL [http://gvd.cz/data/gvd2016\\_zsr.zip](http://gvd.cz/data/gvd2016_zsr.zip)
- [12] ŽSR: GVD 2015/2016, trať Kralovany – Horní Lideč. 2015.  
URL [http://gvd.cz/data/gvd2016\\_zsr.zip](http://gvd.cz/data/gvd2016_zsr.zip)
- [13] ŽSR: Plnenie GVD pre dopravný bod Púchov, 2015, [Príloha *Statistika\_meskania\_PU.xlsx*].