

# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV POČÍTAČOVÝCH SYSTÉMŮ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY  
DEPARTMENT OF COMPUTER SYSTEMS

NÁZEV PRÁCE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JMÉNO PŘÍJMENÍ

BRNO 2008



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**  
**ÚSTAV POČÍTAČOVÝCH SYSTÉMŮ**

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY  
DEPARTMENT OF COMPUTER SYSTEMS

**NÁZEV PRÁCE**

THESIS TITLE

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**JMÉNO PŘÍJMENÍ**

**VEDOUcí PRÁCE**

SUPERVISOR

Ing. JMÉNO PŘÍJMENÍ, Ph.D.

BRNO 2008

## **Abstrakt**

Výtah (abstrakt) práce v českém jazyce.

## **Abstract**

Výtah (abstrakt) práce v anglickém jazyce.

## **Klíčová slova**

Klíčová slova v českém jazyce.

## **Keywords**

Klíčová slova v anglickém jazyce.

## **Citace**

Jméno Příjmení: Název práce, bakalářská práce, Brno, FIT VUT v Brně, 2008

# Název práce

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením pana ...

.....

Jméno Příjmení

8. prosince 2015

## Poděkování

Zde je možné uvést poděkování vedoucímu práce a těm, kteří poskytli odbornou pomoc.

© Jméno Příjmení, 2008.

*Tato práce vznikla jako školní dílo na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě informačních technologií. Práce je chráněna autorským zákonem a její užití bez udělení oprávnění autorem je nezákonné, s výjimkou zákonem definovaných případů.*

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>2</b>
1.1	Autori projektu . . . . .	2
1.1.1	Hlavní autori . . . . .	2
1.1.2	Odborní konzultanti . . . . .	2
1.2	Validita modelu . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Rozbor témy a použitých metod/technologií</b>	<b>3</b>
2.1	Implementačné nástroje . . . . .	3
2.2	Železničná stanica Žilina . . . . .	3
2.3	Grafikon vlakovej dopravy . . . . .	4
2.4	Plán vlakotvorby nákladnej dopravy . . . . .	5
2.5	Poruchy vozňov a hnacích dráhových vozidiel . . . . .	5
2.6	Plán obsadenia koľají . . . . .	5
2.7	Obraty rušňov, rušnovodičov, súprav a vlakových čiat . . . . .	6
<b>3</b>	<b>Koncepcia modelu</b>	<b>7</b>
3.1	Základná štruktúra modelu . . . . .	7
3.2	Model grafikonu vlakovej dopravy . . . . .	7
3.3	Pohyb vlakov . . . . .	8
3.4	Obsadzovanie koľají železničnej stanice Žilina . . . . .	8
3.5	Model porúch . . . . .	9
3.6	Model nákladnej dopravy . . . . .	9
3.7	Obraty . . . . .	10
<b>4</b>	<b>Architektúra simulačného modelu</b>	<b>11</b>
4.1	Základné entity . . . . .	11
4.2	Obsluha porúch . . . . .	11
4.3	Sledovanie polohy vlaku . . . . .	12
<b>5</b>	<b>Podstata simulačných experimentov a ich priebeh</b>	<b>13</b>
5.1	Postup experimentovania a okolnosti štúdie . . . . .	13
5.2	Dokumentácia jednotlivých experimentov . . . . .	13
5.2.1	Meškanie vlakov osobnej dopravy . . . . .	13
5.2.2	Vplyv porúch na meškanie vlakov osobnej dopravy . . . . .	14
5.2.3	Navyšovanie množstva spojov v GVD . . . . .	14
5.3	Záver experimentov . . . . .	15
<b>6</b>	<b>Záver</b>	<b>16</b>

# Kapitola 1

## Úvod

V tejto práci je riešená implementácia modelu systému hromadnej obsluhy (ďalej len SHO) [6] dopravného uzlu, pre implementáciu bol autormi zvolený model železničnej stanice (ďalej ako ŽST) Žilina na území Slovenskej Republiky. Na základe modelu a simulačných experimentov bude znázornené chovanie systému založené na podkladoch pre správu a riadenie ŽST.

### 1.1 Autori projektu

#### 1.1.1 Hlavní autori

- Pavel Richtarik - xricht21@stud.fit.vutbr.cz
- Ján Profant - xprofa00@stud.fit.vutbr.cz

#### 1.1.2 Odborní konzultanti

- Dušan Kelo - údržbár rušňov
- Bc. Jozef Gulík - redaktor vlaky.net [23]
- Vladimír Šnidl - redaktor DenníkN [19]

Všetkým zmieneným konzultantom ďakujeme za pomoc pri vypracovávaní práce a za veľmi prínosné odborné rady a usmernenia. Poďakovanie taktiež patrí členom klubu vlaky.net [23].

### 1.2 Validita modelu

Validita modelu SHO bola overená experimentovaním s modelom, výsledky experimentov odpovedali skutočnému zaťaženiu Železničnej stanice Žilina podľa grafikonov vlakovej dopravy (ďalej len GVD) [16] pre rok 2015 [17] a plánov vlakotvorby nákladnej dopravy (ďalej len ND) [3].

## Kapitola 2

# Rozbor témy a použitých metód/technológií

### 2.1 Implementačné nástroje

Pre samotnú implementáciu modelu ŽST Žilina bol použitý jazyk C++[\[10\]](#) a simulačná knižnica SIMLIB3[\[21\]](#), čím bolo dodržané zadanie projektu.

### 2.2 Železničná stanica Žilina

ŽST Žilina slúži ako dôležitý dopravný uzol nielen v rámci Slovenska, ale takisto slúži ako hlavný spoj s Českou Republikou v rámci stredného Slovenska. Stanica leží na vetve paneurópskeho dopravného koridoru Bratislava - Užhorod. Stanica bola otvorená v roku 1871 v rámci výstavby Košicko-Bohumínskej železnice. ŽST Žilina leží v km 337,632 elektrifikovanej dvojkoľajnej trate Kraľovany-Púchov s rozchodom 1435 mm.

Ide o železničnú stanicu podľa povahy práce[\[24\]](#):

- zmiešanú,
- zriaďovaciu,
- osobnú,
- odbočnú pre trate:
  - Žilina - Čadca, ktorá je elektrifikovaná a dvojkoľajná.
  - Žilina - Rajec, ktorá je bez trakčného vedenia a je jednokľajná.
- dispozičnú pre trate:
  - Žilina - Spišská Nová Ves pre všetky vlaky. Pre vlaky, ktoré nezastavujú v ŽST Spišská Nová Ves je dispozičnou stanicou pre celý úsek po ŽST Košice.
  - Žilina - Čadca pre všetky vlaky.
  - Žilina - Trenčianska Teplá pre všetky vlaky a pre nákladné vlaky, ktoré v ŽST Žilina zriaďovacia stanica a Trenčianska Teplá prechodia úsek až po Leopoldov. Pre vlaky, ktoré nezastavujú v ŽST Trenčianska Teplá, ani v ŽST Leopoldov je dispozičnou stanicou pre celý úsek po ŽST Bratislava hlavná stanica, Bratislava východ a Bratislava predmestie.

– Žilina - Rajec pre všetky vlaky.

Na stanici sa nachádza sedem nástupísk, s podchodovým viac úrovňovým prístupom[24]:

- Vyvýšené kryté nástupište pri výpravnej budove je dlhé 200 m. Slúži pre vlaky pristavené na koľajach č. 9, 7, 5. Medzi koľajami č. 9 a č. 7 a č. 7 a č. 5 sa nachádzajú 2 vyvýšené nekryté nástupišťa .
- Vyvýšené kryté nástupište je dlhé 300 m. Slúži pre vlaky pristavené na koľajach č. 2 a č. 3.
- Vyvýšené kryté nástupište je dlhé 150 m. Slúži pre vlaky pristavené na koľajach č. 4 a č. 10,
- Nekryté nástupište dlhé 200 m je pri slepej koľaji č. 13.
- Nekryté nástupište dlhé 200 m je pri slepej koľaji č. 15.
- Nekryté nástupište dlhé 160 m je pri slepej koľaji č. 17.
- Nekryté nástupište dlhé 160 m je pri slepej koľaji č. 19.

## 2.3 Grafikon vlakovej dopravy

Vrámcami modelovania systému boli použité GVD pre rok 2015[17] obsahujúce vlakové trate[20] prechádzajúce cez ŽST Žilina, konkrétne:

- ŽSR 126: Žilina - Čadca[14]
- ŽSR 120: Bratislava - Žilina[11]
- ŽSR 180: Žilina - Košice[12]
- ŽSR 127: Žilina - Rajec[13]

Na daných tratiach sa vyskytujú nasledujúce kategórie vlakov osobnej dopravy[22]:

- SuperCity (SC) - vlaky s najvyšším štandardom a poskytovanými službami, najvyššou prioritou, ktorý nezastavuje na viac ako päť minút, vyznačuje sa vysokou prevádzkovou rýchlosťou (v Česku vlakové súpravy Pendolino ČD r. 680).
- EuroCity (EC) - medzištátny vlak najvyššej kvality, ktorý sa svojimi parametrami (cestovná rýchlosť, počet zastavení, úroveň poskytovaných služieb a pod.) odlišuje od ostatných vlakov - slúži na rýchle spojenie významných miest alebo centier jednotlivých štátov.
- EuroNight (EN) - obdoba EC pre nočné spojenie.
- InterCity (IC) - medzištátny alebo vnútroštátny vlak vyššej kvality, ktorý sa svojimi parametrami (cestovná rýchlosť, počet zastavení, úroveň poskytovaných služieb a pod.) odlišuje od ostatných vlakov nižších kategórií - slúži na rýchle spojenie významných miest, (centier) jednotlivých štátov alebo vo vnútroštátnej preprave.



- Expresný vlak (Ex) - dôležitý vlak, spájajúci významné miesta krajín a štátov na veľké vzdialenosti.
- Rýchlik (R) - vlak na rýchlu prepravu na väčšie vzdialenosti, zastavuje spravidla len v dôležitých staniciach.
- Osobný vlak (Os) - vlak, ktorý zabezpečuje prepravu spravidla do všetkých staníc a zastávok prechádzanej trate.

## 2.4 Plán vlakotvorby nákladnej dopravy

Pre zistenie skutočného vyťaženia ŽST Žilina a jej prístupových tratí bolo nevyhnutné do modelu zaradiť okrem osobnej vlakovej dopravy aj dopravu nákladnú. Aj napriek tomu, že nákladné vlaky chodia väčšinou podľa potreby a zavádzajú sa operatívne. Takisto pravidelnosť nákladných vlakov je v tomto prípade otázna, existujú vlaky, ktoré chodia pravidelne a vlaky, ktoré nejdu napríklad aj rok[2]. Je potrebné zobrať do úvahy fakt, že ŽST Žilina nie je vlakotvorná stanica a všetka záťaž ND sa sústreďuje do neďalekej vlakotvornej stanice Žilina-Teplica[3].

Na základe plánu vlakotvorby ND[3] môžeme nákladné vlaky rozdeliť do nasledujúcich kategórií:

- Nákladný express (Nex) - vlak vyššej kvality určený predovšetkým na dopravu dôležitej záťaže vrátane kombinovanej dopravy.
- Priebežný nákladný vlak (Pn) - vlak určený na dopravu záťaže medzi vlakotvornými stanicami, resp. medzi miestami nákladky a výkladky.
- Manipulačný vlak (Mn) - vlak určený na obsluhu manipulačných miest v medziľahých staniciach, nákladiskách a vlečkách.
- Vlečkový vlak (Vleč) - vlak určený na obsluhu vlečiek.

## 2.5 Poruchy vozňov a hnacích dráhových vozidiel

Poruchy sú častým zdrojom oneskorenia vlakov, či už osobných alebo nákladných. Udalosť poruchy vozňa alebo hnacích dráhových vozidiel (ďalej len HDV) dokáže narušiť chod celej stanice, predovšetkým vďaka ostrým obratom a časom vyhroteným na doraz[2]. Ako zdroj štatistík o výskyte porúch nám poslužil web [www.vlaky.net](http://www.vlaky.net)[23], a ich databáza porúch HDV a vozňov vedená od 14.6.2014[18].

## 2.6 Plán obsadenia koľají

Priradovanie konkrétnych koľají a nástupišť je vopred dané. Každý rok sa pre konkrétnu ŽST vypracováva plán obsadenia koľají, kde sa pri každej koľaji eviduje, odkedy - dokedy má byť obsadená a ktorým vlakom, toto opatrenie zamedzuje prípadnému nedostatku nástupišť. Plán obsadenia koľají má podobu grafu s štvorcovými hodinovými okienkami v ktorých sú úsečkami znázornené pobyty súprav vrámci ŽST. Zmeny sa však častokrát riešia aj operatívne. [2]

Koľaje sú rozdelené najmä na[3]:

- Dopravné - slúžia pre vlaky na osobnú dopravu. ŽST Žilina má k dispozícii 36 dopravných koľají[24].
- Manipulačné - slúžia na nákladku, výkladku, odstraňovanie súprav a iné. ŽS využíva 24 manipulačných koľají[24].
- Koľaje bez nástupišť - slúžia pre nákladnú dopravu. V ŽST Žilina sa nachádzajú 4[24].

Trať je v reále delená na úseky, pričom sa v každom úseku môže nachádzať maximálne jeden vlak. V prípade jednokoľajovej trate sú tieto úseky spravidla od jednej stanice po druhú. V prípade ŽST ide o úsek Bytčica - Žilina, ktorý osobný vlak prejde v priemere za 10 minút a nákladný v priemere za 15 minút (ide len o teoretický čas, v skutočnosti záleží od hmotnosti vlaku, aký silný rušeň ho ťahá a podobne). Na dvojkkoľajových tratiach sú úseky medzi dvoma stanicami delené na menšie úseky, aby mohli ísť vlaky za sebou hustejšie. Na zabezpečenie dostatočného rozostupu vlakov sa používa automatický blok, ktorý delí trať na úseky dlhé približne 1 km alebo sa medzi stanicami používajú hlásnice, hradlá resp. automatické hradlá.

V ŽST môžu byť limitujúcim faktorom taktiež vchody a odchody vlakov z rôznych tratí. Trate sa môžu krížiť a preto musia vlaky v niektorých prípadoch vzájomne čakať[1].

## 2.7 Obraty rušňov, rušnovodičov, súprav a vlakových čiat

Ďalším dôležitým faktorom, ktorý má veľmi často vplyv na plynulosť vlakovej dopravy, hlavne cez väčšie uzly, ktorým ŽS Žilina nepochybne je, je systém výmien a obratov medzi rušňami, rušnovodičmi, súpravami a vlakovými čatami. Všetky výmeny a obraty majú predpísané turnusy na celý rok. Keď sa totiž jeden vlak výrazne omešká, môže mať druhý vlak problém odísť z dôvodu, že mu chýba rušeň, rušnovodič alebo vlaková čata (vlakvedúci). Ak čokoľvek zo spomenutého v čase odchodu vlaku nie je k dispozícii, musí jednoducho čakať, kým bude mať dostatočné kapacity. Pre túto pozíciu sa na ŽS nachádza dispečer, ktorý sa v prípade chýbajúcich kapacít snaží nájsť najvhodnejšiu alternatívu.

Obraty (alebo aj obeh, poprípade turnus) rušňov a rušnovodičov sú rozdelené do dvoch kategórií - na osobnú dopravu[4] a nákladnú dopravu[5], vychádzali sme z obehov pre rok 2015. Obehy vlakových čiat si vypracúva každá stanica samostatne, tie k dispozícii nemáme[1].

## Kapitola 3

# Koncepcia modelu

### 3.1 Základná štruktúra modelu

Navrhnutý model je abstrakciou zvolenej železničnej stanice zasadenej do pevne danej siete staníc a železničných tratí medzi nimi. Zvolená stanica je označená ako hlavná stanica modelu (Main Station) a tvorí jadro modelu. V rámci tejto stanice je skúmaný postupný príchod/odchod vlakov, priebežné meškania vlakov a obsadzovanie jednotlivých staničných koľají. Okolité stanice slúžia na identifikáciu koncových bodov jednotlivých vlakových liniek a tvoria hraničné body systému.

### 3.2 Model grafikonu vlakovej dopravy

Model grafikonu vychádza z GVD 2015[17] pre trate uvedené v kapitole 2.3. Pre účely modelu ŽST Žilina sme GVD zjednodušili a vždy uviedli len stanicu, s ktorou je konkrétna linka osobnej vlakovej dopravy prepojená (zastávky vlakov osobnej dopravy závisia od kategórie vlaku).

Zastávky na tratiach sú nasledujúce:

- ŽSR 126: Brodno, Rudina, Kysucké Nové Mesto, Čadca, Český Těšín, Bohumín[14]
- ŽSR 120: Horný Hričov, Bytča, Považská Bystrica, Trenčín[11]
- ŽSR 180: Vrútky, Kraľovany, Ružomberok[12]
- ŽSR 127: Žilina - Zárečie, Žilina - Solinky[13]

Veľmi dôležitým faktorom pri modelovaní GVD je meškanie linky. Štatistiky o meškaniach si vedie dopravca (Železničná spoločnosť Slovensko (ďalej ako ZSSK), RegioJet) a tieto informácie už nie sú verejne dostupné. Jediný zdroj, ktorý sa tejto tematike venoval bol Vladimír Šnidl z Denníku N v článku z 23.6.2015[9], ktorý nám následne sprístupnil údaje, ktoré mu boli spoločnosťami poskytnuté[8].

Tabulka 3.1: Meškanie vlakov InterCity

Číslo vlaku	Dopravca	Zmeškané minúty február / Počet vlakov	Zmeškané minúty marec / Počet vlakov	Zmeškané minúty apríl / Počet vlakov	Zmeškané minúty máj / Počet vlakov	Zmeškané minúty spolu / Počet vlakov spolu
IC 502	ZSSK	47/28	274/31	258/26	296/21	8.25
IC 504	ZSSK	25/24	179/31	60/28	235/26	4.58
IC 505	ZSSK	44/19	240/31	74/28	103/26	4.43
IC 1500	ZSSK	6/4	0/5	156/4	29/5	10.61
IC 1502	ZSSK	16/4	236/5	8/4	35/5	16.39
IC 1503	ZSSK	14/4	0/5	79/5	0/5	4.89
IC 400	RegioJet	358/28	270/31	228/30	96/31	7.93
IC 401	RegioJet	151/28	543/31	240/30	221/31	9.63
IC 402	RegioJet	240/28	733/31	404/30	331/31	14.23
IC 403	RegioJet	537/28	156/31	419/30	235/31	11.23
IC 404	RegioJet	225/28	528/31	397/30	220/31	11.42
IC 405	RegioJet	95/28	417/31	130/30	178/31	6.83

Dostupné údaje sa však týkajú len vlakov kategórie InterCity za obdobie február - máj 2015 prechádzajúce cez ŽST Bratislava, preto sme pre ostatné kategórie vlakov určili priemerné exponenciálne oneskorenie so stredom pať minút.

Model GVD zanedbáva mimoriadnosti v osobnej vlakovej doprave, tieto udalosti nastávajú častokrát náhodne a nie je pevne dané, kedy táto udalosť nastane.[15]

### 3.3 Pohyb vlakov

Jednotlivé vlaky sú modelované ako procesy. Sú plánované podľa modelového grafikonu, v prípade nákladných vlakov a vlakov doplnených pre testovanie zvýšenej záťaže je čas ich odchodu/príchodu daný exponenciálnym rozložením s pevne daným stredom.

Pre účely sledovania meškaní vlakov nie je nutné sledovať presnú polohu vlaku na trati v reálnom čase a vzhľadom na komplexnosť problematiky (zrýchlenie vlaku, maximálna povolená rýchlosť na danom úseku, možnosť predchádzania vlakov na staniciach, čakanie na výhybkách a pod.) by to bolo značne náročné. Poloha vlaku je teda vo všeobecnosti zanedbaná, a v modeli nie je zaručené poradie príchodov jednotlivých vlakov.

### 3.4 Obsadzovanie koľají železničnej stanice Žilina

Pri modelovaní obsadzovania koľají vlakmi prichádzajúcimi alebo začínajúcimi v ŽS Žilina sme sa riadili sekciou 2.2 a 2.6. Samotné koľaje sú implementované pomocou triedy `simlib3::Store`[21] s kapacitou sedem koľají 2.2 pre osobnú dopravu, z dôvodu, že na ŽST Žilina sa nachádza sedem nástupišť. Pre ND sme určili počet koľají na 4 2.6. Fronta prichádzajúcich vlakov je v prípade plného obsadenia zaradená do fronty `simlib3::Queue Q1`[21]. Model ŽS Žilina nepočíta s plánom obsadenia koľají 2.6, z dôvodu, že ŽSR nám ho neboli ochotné sprístupniť ani v rámci edukatívnych účelov.

Skutočnosť, že vlaky používajú pre príchod na stanicu resp. odchod zo stanice vždy jednu spoločnú koľaj je implementovaná zariadením s výlučným prístupom, triedou `simlib3::Facility`[21], pričom zariadenia sa nachádzajú na všetkých tratiach 2.3 v oboch smeroch.

### 3.5 Model porúch

Hoci presná poloha vlaku v konkrétnom čase nie je z pohľadu tohto modelu podstatná, ak uvažujeme poruchy vlakov/nehody na trati, je potrebné určiť rozsah dopadu tejto udalosti. Ak by totiž nehody na začiatku trate spôsobovali blokovanie vlakov odchádzajúcich až z nasledujúcej stanice, výsledky experimentov by mohli byť skreslené. V tomto prípade je teda poloha vlaku aproximovaná na základe plánovanej doby trvania trasy a uplynutého času od začiatku trasy. Týmto spôsobom je možné približne určiť miesto poruchovej/nehodovej udalosti a ovplyvňovať len vlaky smerujúce k nemu.

Pri zavedení výskytu porúch sme vychádzali z kapitoly 2.7. Esenciálna pre nás bola dĺžka oneskorenia vlaku a počet záznamov počas tohto časového obdobia. Poruchy sme rozdelili do troch kategórií - malé (menšie ako 10 min), stredné (10 min - 30 min) a vážne (väčšie ako 30 min).

Pre každú kategóriu porúch sme použili nasledujúci vzorec a určili frekvenciu výskytu poruchy:

$$frequency = \frac{number\ of\ days}{number\ of\ defects}$$

Taktiež sme pre každú kategóriu poruchy vypočítali jej priemerné trvanie:

$$average = \frac{sum\ of\ time\ needed\ for\ repair}{number\ of\ defects}$$

Priemerný výskyt chýb a ich trvanie sme uviedli do nasledujúcej tabuľky:

Tabuľka 3.2: Poruchy vozňov a HDV

Závažnosť	Frekvencia výskytu	Dĺžka opravy
malá	24 dní	2 min
stredná	41 dní	19 min
vážna	11 dní	80 min

Doba odstránenia poruchy s najnižšou závažnosťou je značne ovplyvnená faktom, že v databáze nebola pri všetkých poruchách uvedená.

### 3.6 Model nákladnej dopravy

Ako podklad pre modelovanie ND nám poslužil plán vlakotvorby ND[3]. S ohľadom na fakt, že prevažná väčšina vlakov ND sa zavádza operatívne[2] a informácia, že bude vypravený vlak ND sa často zadáva len hodinu pred odchodom vlaku, resp. hodinu pred odchodom môže byť bez problémov odvolaná, sme sa rozhodli ND modelovať poissonovým procesom príchodov[7]. Na určenie času príchodov do systému sme použili plán vlakotvorby ND[3], kde sme vyhledali všetky vlaky všetkých kategórií ND prechádzajúcich cez ŽS Žilina počas jedného dňa.

Z dôvodu nepravidelnosti vlakov ND nemá veľký význam sledovať ich meškanie, avšak ich prítomnosť v systéme ovplyvňuje vyťaženosť vstupného/výstupného úseku trate z hlavnej stanice, ktorý je zdieľaný osobnou aj nákladnou dopravou a stanica musí s týmto zaťažením zo strany ND počítať.

### 3.7 Obraty

Obraty rušňov, rušnovodičov, súprav a vlakových čiat vychádzajú z kapitoly 2.7. S ohľadom na skutočnosť, že by bolo potrebné spracovávať všetky obraty osobnej aj nákladnej dopravy a následne ich spájať s konkrétnymi linkami, sme sa rozhodli faktor obratov zanedbať. Model teda počíta so skutočnosťou, že všetky vlaky, ktoré budú začínať zo ŽST Žilina, budú v potrebnom čase k dispozícii a preto budú mať nulové oneskorenie. Model takisto predpokladá plnú dostupnosť všetkých vlakov v ŽST Žilina. To okrem iného znamená, že v modeli zanedbávame situácie, ak sú jednotlivé linky na seba nejakým spôsobom naviazané (vlak prichádza do cieľovej stanice, kde má za istý čas vyštartovať ako iná linka, avšak má meškanie a nie je možné, aby vyštartoval včas a podobne).

## Kapitola 4

# Architektúra simulačného modelu

Model je implementovaný v jazyku C++ a navrhnutý objektovo. Jadrom modelu je objekt triedy CMainStation, implementovaný ako singleton, ktorý reprezentuje hlavnú stanicu modelu a obsahuje väčšinu globálnych štatistík.

### 4.1 Základné entity

Architektúra modelu vychádza z použitej simulačnej knižnice simlib. Procesy sú implmentované ako triedy odvodené od triedy simlib::Process a udalosti od triedy simlib::Event. Základným typom procesu v systéme je CTrain, ktorý je špecializovaný ako CPublicTrain pre vlaky osobnej dopravy a CCargoTrain pre vlaky ND. Tieto procesy sú periodicky vytvárané generátormi typu CTrainGenerator. Generátor obsahuje dáta spoločné pre všetky vlaky danej linky, konkrétny vlak potom obsahuje svoj reálny čas odchodu/príchodu, meškanie a pod.

Topológia systému je definovaná stanicami (objekty typu CStation) a traťami medzi nimi (CTrack). Dynamicky sa vytvára pridávaním susedných staníc do hlavnej stanice.

V prípade viacerých staníc v jednom smere je model trati hierarchický (trať môže obsahovať vnorený segment). Toto usporiadanie umožňuje identifikáciu miesta poruchovej udalosti a spropagovanie tejto udalosti medzi vlaky, ktoré sú ňou ovplyvnené (na základe približnej polohy a smeru).

Správanie porúch je v systéme implementované v rámci procesov triedy CDefect, ktoré sú generované udalosťami typu CDefectGenerator. Porucha obsahuje informácie o polohe a smere v ktorom vznikla (koľaj v opačnom smere je priechodná).

### 4.2 Obsluha porúch

Poruchy vznikajú ako nahodné procesy so strednou dobou výskytu. Pri vzniknutí poruchy sa vyberie trať a na nej náhodným spôsobom vlak, ktorý sa považuje za zdroj poruchy. Následne sa informácia o poruche distribuuje medzi všetky vlaky, ktoré sa blížia k miestu poruchy. Tieto vlaky zastavujú a čakajú na informáciu o odstránení poruchy. Proces vlaku teda musí počas prechodu medzi stanicami očakávať poruchu (predčasné aktivovanie procesu) a pri poruche čakať na jej odstránenie.

### 4.3 Sledovanie polohy vlaku

Proces vlaku pri presune medzi stanicami očakáva prerušenia od periodickej kontrolnej udalosti `CProgressUpdateEvent`, na základe ktorého aktualizuje svoj stav (počet prejdenných minút od začiatku trasy). Z údajov o dĺžke a plánovanej dobe trvania trasy je potom možné aproximovať polohu vlaku.



## Kapitola 5

# Podstata simulačných experimentov a ich priebeh

Podstatou simulačných experimentov bolo dokázať validitu nášho modelu ŽST Žilina, otestovať správanie ŽST Žilina pri štandardnom ako aj zvýšenom zaťažení a prípadne poslúžiť k vypracovaniu metodológií, ktoré by mohli pomôcť zvýšiť efektivitu vlakovej dopravy.

### 5.1 Postup experimentovania a okolnosti štúdie

Prvý experiment poslúži na overenie validnosti modelu - demonštruje správanie systému pri štandardnom plánovanom zaťažení. Ďalšie experimenty zobrazujú systém pri neštandardnej zvýšenej záťaži a poukazujú na limity ŽST Žilina.

### 5.2 Dokumentácia jednotlivých experimentov

#### 5.2.1 Meškanie vlakov osobnej dopravy

Plán osobnej vlakovej dopravy vychádza z GVD pre rok 2015[17] a dostupných štatistík popísaných v sekcii 3.2. Zmyslom tohto experimentu bolo dokázať, že chovanie nášho modelu sa približuje reálnemu systému, teda, že vlaky dorazia do cieľa a že meškania vlakov nebudú presahovať hodnoty niekoľkých hodín. Z výsledkov môžeme usudzovať podobnosť s reálnou situáciou, kde niekoľko minútové meškanai sú spravidla bežné, a naopak, čím dlhšie je meškanie, tým je jeho výskyt menej častý.

Graf 1 zobrazuje výsledky experimentu - počet meškajúcich vlakov podľa doby meškania za obdobie jedného roka.

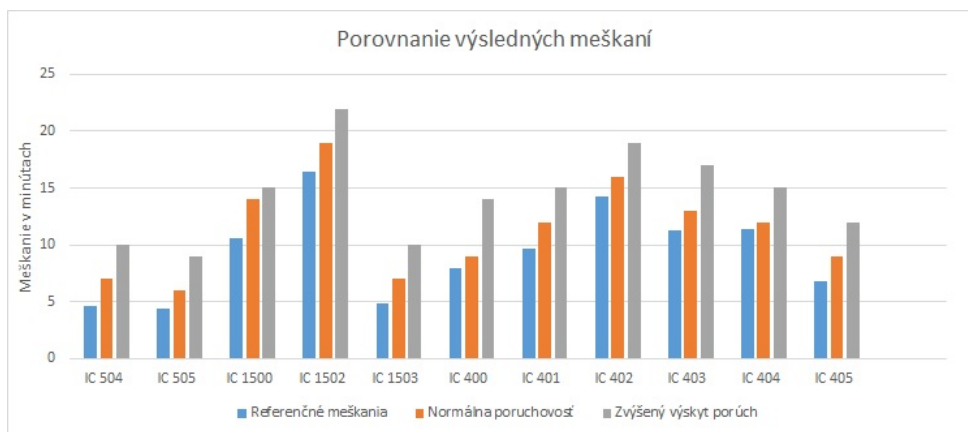


### 5.2.2 Vplyv porúch na meškanie vlakov osobnej dopravy

V nasledujúcom experimente sme sa pokúšali zistiť vplyv výskytu porúch na trati na meškanie vlakov osobnej dopravy. V experimente sme zvyšovali počet výskytov všetkých troch druhov porúch priemerne 2x. Sledovali sme konkrétne osobné vlaky InterCity, pre ktoré máme k dispozícii reálne štatistiky popísané v kapitole 3.2. V grafe vidíme porovnanie získaných štatistík s výsledkami nášho systému pri štandardnej poruchovosti a systému s dvojnásobným výskytom porúch.

Modrý stĺpec ukazuje priemerné meškanie vlaku zaznamenané v Bratislave. Túto hodnotu sme použili ako strednú hodnotu počiatočného meškania, s ktorým daný vlak prichádza do systému. V rámci systému je ovplyvňovaný poruchami, ktoré môžu na trati do/z hlavnej stanice nastať a spôsobiť dodatočné meškanie. Toto meškanie sa prejaví ako rozdiel modrého a červeného stĺpca. Posledný stĺpec znázorňuje celkové meškanie vlaku pri zdvojnásobení výskytu porúch.

Z grafu je vidieť vzťah medzi počiatočným a celkovým meškaním vlaku po prechode systémom. Vplyv výskytu porúch na celkové meškanie vlaku je zjavný, pričom ale vidieť do určitej miery stále hodnotu dodatočného meškania spôsobeného poruchami (podobný rozdiel medzi hodnotami stĺpcov pre jeden vlak). To je dané stálymi strednými hodnotami výskytov jednotlivých generovných typov porúch.



### 5.2.3 Navyšovanie množstva spojov v GVD

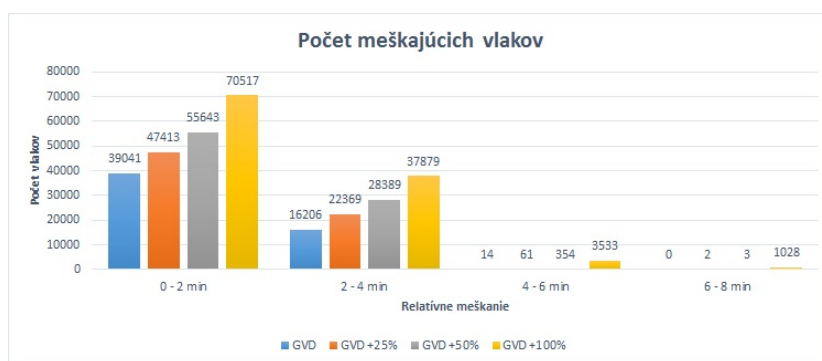
V tomto experimente sme sa pokúsili zistiť vyťaženosť koľají osobnej dopravy ŽST Žilina a simulovať situáciu, keď prichádzajúci vlak osobnej dopravy nebude mať možnosť hneď

zabrať voľné nástupište a bude musieť čakať vo fronte na uvoľnenie nástupišta. Zároveň sme sledovali dodatočné meškanie vlakov získané v systéme.

Experiment prebiehal v 4 krokoch, kde bol postupne umelo zvyšovaný počet vlakov v grafikone. V prvom kroku sme použili GVD pre rok 2015[17] a nasledovne sme zvýšili počet vlakov vložení nových liniek do existujúceho GVD o 25%, 50% a následne 100%.

Hoci frekvenciu výskytu a dobu opráv porúch sme ponechali rovnakú vo všetkých prípadoch, nárast počtu vlakov s meškaním je aj tak výrazný. Toto meškanie je spôsobené predovšetkým nutnosťou postupného príchodu vlakov na stanicu. Prejavilo sa čakanie vlaku na voľnú koľaj (nástupište), rovnako ako čakanie na uvoľnenie spoločného úseku trate pri príchode alebo odchode zo stanice. Zároveň je možné pozorovať, že zvýšenie počtu meškajúcich vlakov nie je lineárne ale blíži sa exponenciálne. Z toho sa dá usúdiť, že čím viac vlakov je v systéme, tým rýchlejšie sa systém blíži k zrúteniu (neakceptovateľné doby meškaní, fronty vlakov pred stanicami apod.).

Čo sa týka vyťaženia koľají, pri použití reálneho GVD, bol maximálny počet súčasne obsadených dopravných koľají 6, teda vždy bola apoň jedna koľaj voľná. V prípade zvýšenia vznikla počtu vlakov o 25% sa počet zvýšil na 7, ale kapacita bola stále dostatočujúca (nikdy nevznikla fronta). Pri zvýšení o 50% vznikla fronta vlakov čakajúcich na voľnú koľaj o maximálnej dĺžke 2 vlakov a pri zvýšení o 100% bola maximálne fornta dlhá 4 vlaky, s čakaním priemerne 3 a maximálne 11 minút, čo môžeme považovať za neprijateľný stav.



### 5.3 Záver experimentov

Boli vykonané 3 experimenty. Prvým sme overili funkčnosť a validnosť modelu v bežnej prevádzke. Overili sme, že vlaky dorazia do cieľa, systém sa nezasekne a rozloženie počtu vlakov podľa celkového meškania je podobné reálnym železničným systémom.

V druhom experimente sme porovnávali meškania konkrétnych vlakov s referenčnými údajmi, ktoré slúžili ako stredné hodnoty počiatočných meškaní a sledovali sme vplyv porúch v systéme na výsledné meškanie.

Posledný experiment ukázal meškania vlakov získané v rámci systému a vplyv počtu vlakov v systéme na chod stanice.

## Kapitola 6

### Záver

V rámci vykonaných experimentov sme demonštrovali validnosť navrhnutého modelu a ukázali sme vplyv poruchovosti a počtu vlakov na správanie systému. Využili sme existujúci GVD a dostupné štatistické dáta o meškanií vlakov. V experimentoch figurovali vlaky nákladnej dopravy len ako dplnkový faktor, ktorý mal vplyv na obsadzovanie spoločných prístupových úsekov tratí a tým aj na meškanie vlakov. Samotné správanie sa nákladnej dopravy sme nesledovali z dôvodu veľkej nepravidelnosti a nepredvídateľnosti.

Získané informácie o meškaniach vlakov na konkrétnych tratiach sme nemohli porovnať s reálnymi dátami, pretože nám neboli sprístupnené, preto sme sledovali len rozloženie počtov vlakov podľa meškania.

V závere sme ukázali, že ŽST Žilina je pripravená na obsluhu vlakov podľa GVD pre rok 2015[17] a dokáže pracovať aj vo zvýšenej prevádzke bez nutnosti riešenia kolíznych situácií, kedy by nebola dostupná žiadna voľná koľaj. Takéto situácie by sa začali vyskytovať v prípade zvýšenia počtu vlakov o viac ako cca 50%.

# Literatura

- [1] Gulík, Jozef: Simulácia dopravného uzlu [emailová komunikácia]. 7.12.2015 22:34 [cit. 2015-12-8].
- [2] Kelo, Dušan: modelovanie systemu železnice [emailová komunikácia]. 28.11.2015 07:18 [cit. 2015-12-6].
- [3] Kolektív autorov: Plán vlakotvorby nákladnej dopravy. 2014.
- [4] Kolektív autorov: Správa riadenia a realizácie prevádzky. 2014.
- [5] Kolektív autorov: Správa riadenia a realizácie prevádzky HDV. 2014.
- [6] Peringer, P.: Modelování a simulace, slajd č. 136 [online].  
<http://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>,  
2015-17-09 [cit. 2015-11-7].
- [7] Peringer, P.: Modelování a simulace, slajd č. 88 [online].  
<http://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>,  
2015-17-09 [cit. 2015-11-7].
- [8] Snídl, Vladimír: Fwd: Dennik N: Meskanie vlakov [emailová komunikácia]. 03.12.2015 10:58 [cit. 2015-12-6].
- [9] Šnidl Vladimír: Rekordérom v meškaní IC vlakov je expres RegioJetu z Košíc do Bratislavy [online].  
<http://dennikn.sk/164892/vieme-ktore-ic-vlaky-najviac-meskaju-rekorderom-je-expres-regiojetu-z-kosic/>, 2015-06-23 [cit. 2015-11-7].
- [10] WWW stránky: C++ Programming Language. <http://www.cplusplus.com>.
- [11] WWW stránky: Detaily železničnej trate Bratislava - Žilina.  
<http://vlaky.net/servis/trat.asp?id=9>.
- [12] WWW stránky: Detaily železničnej trate Žilina - Košice.  
<http://vlaky.net/servis/trat.asp?id=53>.
- [13] WWW stránky: Detaily železničnej trate Žilina - Rajec.  
<http://vlaky.net/servis/trat.asp?id=15>.
- [14] WWW stránky: Detaily železničnej trate Žilina - Čadca.  
<http://vlaky.net/servis/trat.asp?id=16>.
- [15] WWW stránky: Diskusná téma o vlakoch a železniciach.  
<http://vlaky.net/online/diskusnia/tema.asp?id=230437>.

- [16] WWW stránky: Grafikon dopravy.  
[http://cs.wikipedia.org/wiki/Grafikon.dopravy](http://cs.wikipedia.org/wiki/Grafikon_dopravy).
- [17] WWW stránky: Grafikon dopravy 2014-2015.  
[http://www.slovakrail.sk/sk/preprava-osob/tratove-poriadky/  
/gvd-2014-2015.html](http://www.slovakrail.sk/sk/preprava-osob/tratove-poriadky/gvd-2014-2015.html).
- [18] WWW stránky: Kniha porúch rušňov a vozňov.  
<http://www.vlaky.net/online/poruchy>.
- [19] WWW stránky: Nezávislé noviny. <http://www.dennikn.sk>.
- [20] WWW stránky: Prehľad železničných tratí na Slovensku.  
<http://vlaky.net/servis/trate.asp>.
- [21] WWW stránky: Simulation Library for C++.  
[http://www.fit.vutbr.cz/ peringer/SIMLIB](http://www.fit.vutbr.cz/peringer/SIMLIB).
- [22] WWW stránky: Vlák. <http://sk.wikipedia.org/wiki/Vlak>.
- [23] WWW stránky: Vlaky, vláčiky, železnice, trate, modely, simulátory.  
<http://www.vlaky.net>.
- [24] WWW stránky: Železničné objekty - Železničná stanica Žilina.  
<http://vlaky.net/servis/objekt.asp?id=617>.