

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

7. 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

1	Úvod	2
1.1	Autori projektu	2
1.1.1	Hlavní autori	2
1.1.2	Odborní konzultanti	2
1.2	Validita modelu	2
2	Rozbor témy a použitých metod/technológií	3
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	6
3	Koncepcia modelu	7
3.1	Obsadzovanie koľají železničnej stanice Žilina	7
3.2	Model grafikonu vlakovej dopravy	7
3.3	Model nákladnej dopravy	8
4	Architektúra simulačného modelu	9
5	Podstata simulačných experimentov a ich priebeh	10
5.1	Postup experimentovania a okolnosti štúdie	10
5.2	Dokumentácia jednotlivých experimentov	10
5.2.1	Meškanie vlakov osobnej dopravy	10
5.2.2	Vplyv porúch na meškanie vlakov osobnej dopravy	10
5.2.3	Vyťaženie koľají osobnej dopravy	10
5.3	Záver experimentov	11
6	Záver	12

Kapitola 1

Úvod

V tejto práci je riešená implementácia modelu systému hromadnej obsluhy (ďalej len SHO) [3] dopravného uzlu, pre implementáciu bol autormi zvolený model železničnej stanice (ďalej ako ŽS) Žilina na území Slovenskej Republiky. Na základe modelu a simulačných experimentov bude znázornené chovanie systému založené na podkladoch pre správu a riadenie ŽS.

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 [19]
- Vladimír Šnidl - redaktor DenníkN [15]

Všetkým zmieneným konzultantom ďakujeme za pomoc pri vypracovávaní práce a za veľmi prínosné odborné rady a usmernenia. Poďakovanie taktiež patrí členom klubu vlaky.net [19].

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) [12] pre rok 2015 [13] a plánov vlakotvorby nákladnej dopravy (ďalej len ND) [2].

Kapitola 2

Rozbor témy a použitých metód/technológií

2.1 Implementačné nástroje

Pre samotnú implementáciu modelu ŽS Žilina bol použitý jazyk C++^[7] a simulačná knižnica SIMLIB3^[17], čím bolo dodržané zadanie projektu.

2.2 Železničná stanica Žilina

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

Ide o železničnú stanicu podľa povahy práce^[20]:

- 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 ŽS Spišská Nová Ves je dispozičnou stanicou pre celý úsek po ŽS Košice.
 - Žilina - Čadca pre všetky vlaky.
 - Žilina - Trenčianska Teplá pre všetky vlaky a pre nákladné vlaky, ktoré v ŽS Žilina zriaďovacia stanica a Trenčianska Teplá prechodia úsek až po Leopoldov. Pre vlaky, ktoré nezastavujú v ŽS Trenčianska Teplá, ani v ŽS Leopoldov je dispozičnou stanicou pre celý úsek po ŽS Bratislava hlavná stanica, Bratislava východ a Bratislava predmestie.

– Žilina - Rajec pre všetky vlaky.

Na stanici sa nachádzajú sedem nástupísk, s podchodovým viac úrovňovým prístupom[20]:

- 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 nástupišťia typu SUDOP.
- 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 typu SUDOP dlhé 200 m je pri slepej koľaji č.13.
- Nekryté nástupište typu SUDOP dlhé 200 m je pri slepej koľaji č.15.
- Nekryté nástupište typu SUDOP dlhé 160 m je pri slepej koľaji č.17.
- Nekryté nástupište typu SUDOP dlhé 160 m je pri slepej koľaji č.19.

2.3 Grafikon vlakovej dopravy

Vrámcami modelovania systému boli použité GVD pre rok 2015[13] obsahujúce vlakové trate[16] prechádzajúce cez ŽS Žilina, konkrétne:

- ŽSR 126: Žilina - Čadca[11]
- ŽSR 120: Bratislava - Žilina[8]
- ŽSR 180: Žilina - Košice[9]
- ŽSR 127: Žilina - Rajec[10]

Na daných tratiach sa vyskytujú nasledujúce kategórie vlakov osobnej dopravy[18]:

- 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 účely validity modelu 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 nejdú napríklad aj rok[1]. Je potrebné zobrať do úvahy fakt, že ŽS Žilina nie je vlakotvorná stanica a všetka záťaž ND sa sústreďuje do neďalekej vlakotvornej stanice Žilina-Teplica[2].

Na základe plánu vlakotvorby ND[2] 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 medziľahlých 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[1]. Ako zdroj štatistík o výskyte porúch nám poslúžil web www.vlaky.net[19], a ich databáza porúch HDV a vozňov vedená od 14.6.2014[14]. 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:

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

2.6 Plán obsadenia koľají

Priradovanie konkrétnych koľají a nástupišť je vopred dané. Každý rok sa pre konkrétnu ŽS 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 24 štvorcovými hodinovými okienkami v ktorých sú úsečkami znázornené pobyty súprav vrámci ŽS. Zmeny sa však častokrát riešia aj operatívne. [1]

Koľaje sú rozdelené najmä na[2]:

- Dopravné - slúžia pre vlaky na osobnú dopravu. ŽS Žilina má k dispozícii 36 dopravných koľají[20].
- Manipulačné - slúžia na nákladku, výkladku, odstraňovanie súprav a iné. ŽS využíva 24 manipulačných koľají[20].
- Koľaje bez nástupišť - slúžia pre nákladnú dopravu. v ŽS Žilina sa nachádzajú 4[20].

Kapitola 3

Koncepcia modelu

3.1 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`[17] s kapacitou sedem koľají 2.2. Fronta prichádzajúcich vlakov je v prípade plného obsadenia zaradená do fronty `simlib3::Queue Q1`[17]. 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`[17], pričom zariadenia sa nachádzajú na všetkých tratiach 2.3 v oboch smeroch.

3.2 Model grafikonu vlakovej dopravy

Model grafikonu vychádza z GVD 2015[13] pre trate uvedené v kapitole 2.3. Pre účely modelu ŽS 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[11]
- ŽSR 120: Horný Hričov, Bytča, Považská Bystrica, Trenčín[8]
- ŽSR 180: Vrútky, Kraľovany, Ružomberok[9]
- ŽSR 127: Žilina - Zárečie, Žilina - Solinky[10]

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[6], ktorý nám následne sprístupnil údaje, ktoré mu boli spoločnosťami poskytnuté[5].

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 ŽS Bratislava, preto sme pre ostatné kategórie vlakov určili priemerné exponenciálne oneskorenie so stredom pať minút. Model počíta so skutočnosťou, že všetky vlaky, ktoré budú začínať zo ŽS Žilina, budú v potrebnom čase k dispozícii a preto budú mať nulové oneskorenie. Model takisto predpokladá plnú dostupnosť všetkých vlakov v ŽS 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).

3.3 Model nákladnej dopravy

Ako podklad pre modelovanie ND nám poslužil plán vlakotvorby ND[2]. S ohľadom na fakt, že prevažná väčšina vlakov ND sa zavádza operatívne[1] 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[4]. Na určenie času príchodov do systému sme použili plán vlakotvorby ND[2], kde sme vyhledali všetky vlaky všetkých kategórií ND prechádzajúcich cez ŽS Žilina počas jedného dňa.

Kapitola 4

Architektúra simulačného modelu

Pali dačo napíše čo kázali pán farár dneska u luteránoch

Kapitola 5

Podstata simulačných experimentov a ich priebeh

Podstatou simulačných experimentov bolo dokázať validitu nášho modelu ŽS Žilina a potvrdiť resp. vyvrátiť fakt, že časy a vyťaženosť ŽS Žilina je nastavená na maximálnu možnú úroveň a prípadne vypracovať metodológie, ktoré by mohli pomôcť zvýšiť efektivitu vlakovej dopravy.

5.1 Postup experimentovania a okolnosti štúdie

Overenie validity modelu sa bude skladať z viacerých krokov, ktorými sa budeme snažiť čo najviac priblížiť reálnemu vyťaženiu ŽS Žilina a dokumentovať postupy a experimenty, ktorými by bolo možné zefektívniť chod ŽS Žilina.

5.2 Dokumentácia jednotlivých experimentov

5.2.1 Meškanie vlakov osobnej dopravy

Plán osobnej vlakovej dopravy vychádza z GVD pre rok 2015[13] a dostupných štatistík popísaných v sekcii 3.2. Zmyslom tohto experimentu bolo dokázať, že chovanie nášho modelu sa s ohľadom na meškania približuje reálnemu systému ŽS Žilina.

V nasledujúcom experimente sme sledovali osobné vlaky InterCity, pre ktoré máme k dispozícii reálne štatistiky popísané v kapitole 3.2.

5.2.2 Vplyv porúch na meškanie vlakov osobnej dopravy

V nasledujúcom experimente sa pokúsime zistiť vplyv výskytu porúch na trati na meškanie vlakov osobnej dopravy. V experimente budeme postupne zvyšovať počet výskytu všetkých troch druhov porúch 2x a následne až 5x.

5.2.3 Vyťaženie koľají osobnej dopravy

V nasledujúcom experimente sa pokúsime zistiť vyťaženosť koľají osobnej dopravy ŽS Žilina a simulovať situáciu, že prichádzajúci vlak osobnej dopravy nebude mať možnosť hneď zabráť voľné nástupište a bude musieť čakať vo fronte na uvoľnenie nástupišťa.

5.3 Záver experimentov

Kapitola 6

Záver

Literatura

- [1] Kelo, Dušan: modelovanie systemu železnice [emailová komunikácia]. 28.11.2015 07:18 [cit. 2015-11-6].
- [2] Kolektív autorov: Plán vlakotvorby nákladnej dopravy. 2014.
- [3] 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].
- [4] 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].
- [5] Snídl, Vladimír: Fwd: Dennik N: Meskanie vlakov [emailová komunikácia]. 03.12.2015 10:58 [cit. 2015-11-6].
- [6] 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].
- [7] WWW stránky: C++ Programming Language. <http://www.cplusplus.com>.
- [8] WWW stránky: Detaily železničnej trate Bratislava - Žilina.
<http://vlaky.net/servis/trat.asp?id=9>.
- [9] WWW stránky: Detaily železničnej trate Žilina - Košice.
<http://vlaky.net/servis/trat.asp?id=53>.
- [10] WWW stránky: Detaily železničnej trate Žilina - Rajec.
<http://vlaky.net/servis/trat.asp?id=15>.
- [11] WWW stránky: Detaily železničnej trate Žilina - Čadca.
<http://vlaky.net/servis/trat.asp?id=16>.
- [12] WWW stránky: Grafikon dopravy.
http://cs.wikipedia.org/wiki/Grafikon_dopravy.
- [13] WWW stránky: Grafikon dopravy 2014-2015.
<http://www.slovakrail.sk/sk/preprava-osob/tratove-poriadky/gvd-2014-2015.html>.

- [14] WWW stránky: Kniha porúch rušňov a vozňov.
<http://www.vlaky.net/online/poruchy>.
- [15] WWW stránky: Nezávislé noviny. <http://www.dennikn.sk>.
- [16] WWW stránky: Prehľad železničných tratí na Slovensku.
<http://vlaky.net/servis/trate.asp>.
- [17] WWW stránky: Simulation Library for C++.
<http://www.fit.vutbr.cz/peringer/SIMLIB>.
- [18] WWW stránky: Vlak. <http://sk.wikipedia.org/wiki/Vlak>.
- [19] WWW stránky: Vlaky, vláčiky, železnice, trate, modely, simulátory.
<http://www.vlaky.net>.
- [20] WWW stránky: Železničné objekty - Železničná stanica Žilina.
<http://vlaky.net/servis/objekt.asp?id=617>.