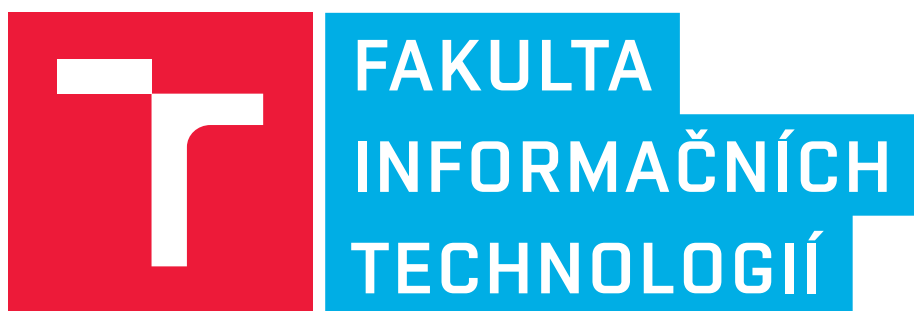


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ



Technická správa k projektu do predmetu IMS
6. Model dopravného uzlu - Brno Hlavní nádraží

8.12.2015

Autori:

Klára Mihalíková
Martin Kačmarčík

xmihal05@stud.fit.vutbr.cz
xkacma03@stud.fit.vutbr.cz

Obsah

1	Úvod	1
1.1	Autori a zdroje informácií	1
1.2	Zmysel experimentov	1
1.3	Overenie koncepcie	1
2	Rozbor témy a použitých metód/technológií	1
2.1	Použíte postupy pre vytváranie modelu	2
3	Koncepcia modelu	2
3.1	Návrh konceptuálneho modelu	3
3.2	Formy konceptuálneho modelu	3
4	Architektúra simulačného modelu/simulátoru	3
5	Podstata simulačných experimentov a ich priebeh	4
5.1	Postup experimentov	4
5.2	Popis jednotlivých experimentov	4
5.2.1	Experiment č.1	4
5.2.2	Experiment č.2	4
5.2.3	Experiment č.3	5
5.2.4	Experiment č.4	6
5.3	Záver experimentov	7
6	Zhrnutie simulačných experimentov a záver	7

1 Úvod

Tento dokument vznikol ako projekt do predmetu IMS. Rieši implementáciu modelu (viz [2], str. 7) dopravného uzlu, konkrétne železničný uzol Brno Hlavní nádraží, a simulácie (viz [2], str. 8) na ňom vykonané. Na základe modelu a simulačných experimentov bude ukázané chovanie systému (viz [2], str. 7) Hlavního nádraží pri bežnom a zvýšenom zaťažení. Ďalej budú pozorované zmeny po pridaní jednej koľaje a vplyv meškaní na ostatné vlaky vrámci stanice.

1.1 Autori a zdroje informácií

Autormi projektu sú Klára Mihalíková a Martin Kačmarčík. Pre dosiahnutie maximálnej podobnosti modelu s reálnym systémom bolo vychádzané z viacerých odborných zdrojov, znalostí autorov nadobudnutých v predmete IMS a odbornej konzultácie s pánom Pavlom Zedníkem, strojmistrom SOKV Ostrava - ČD Cargo.

V tejto práci je vychádzané zo schémy Hlavního nádraží podľa dokumentu na stránkach gvd[3], ktorá bola pre konkrétne potreby zjednodušená (viac kapitola 3).

Ďalej bolo potrebné naštudovať príjazdy[5] a odjazdy[4] vlakov. Tieto dokumenty boli prebrané z oficiálnej webovej stránky Správy železniční dopravní cesty¹.

K čo najpresnejším výsledkom experimentov je potrebné vychádzať z reálnych meškaní jednotlivých vlakov. Tieto informácie boli prebraté z webových stránok Babbitron², ktoré boli odporúčené odbornými zamestnancami Hlavního nádraží v Brne. Babbitron dokáže zobrazit' priemerné meškanie po zadaní čísla vlaku, a to za dobu 5 až 28 dní.

1.2 Zmysel experimentov

Zmyslom vykonaných experimentov je zistiť, ako stanica zvláda aktuálne vlakové zaťaženie, či meškania majú vplyv na toto zaťaženie, prípadne aký veľký, a aký efekt má pridanie nástupišť a na beh stanice. Je totiž zamýšľané rozšírenie, prípadne premiestnenie Hlavního nádraží a pridanie jedného nástupišť a je jedna z variant[6].

1.3 Overenie koncepcie

Validita (viz [2], str.37) modelu bola priebežne overovaná porovnávaním výstupov simulácie a nazbieraných dát z dostupných materiálov, pozorovaní a konzultácií.

2 Rozbor témy a použitých metód/technológií

K modelovaniu (viz [2], str. 8) bola vybraná iba časť vlakovej stanice, konkrétne nástupišta 1 – 4 (viac viz kapitola 3). Z vyššie uvedených zdrojov boli pozorované príjazdy a odjazdy vlakov do týchto nástupišť. Po prvom pozorovaní bola zistená podobnosť správania rôznych druhov vlakov v stanici, konkrétne ide o priemerný počet príjazdov/odjazdov vlakov, ich priemerné státie v nástupišti, preferované nástupišť a, počet vlakov prechádzajúcich a počet začínajúcich/končiacich vlakov. Na základe týchto podobností boli vlaky rozdelené do troch skupín:

- 1.skupina – Osobné (Os) a Spěšné vlaky (Sp)
- 2.skupina – Rychliky (R)
- 3.skupina – EuroCity (EC), rychliky vyšší kvality Rx (například RegioJet Rj), InterCity (IC), EuroNight (EN), Expres (Ex) a LEO Expres (LE)

¹<<http://provoz.szdc.cz/Portal/ViewArticle.aspx?oid=1181454>>

²<<http://kam.mff.cuni.cz/~babilon/zpmapa2>>

Po tomto rozdelení prebehlo opätovné pozorovanie. Prebehli tri pozorovania, konkrétne dni - nedeľa, pondelok a utorok. Tieto pozorovania prebehli vždy po dvadsať hodín, pri ktorých boli použité vyššie uvedené zdroje overované cez stránky jízdních řádů³ a údaje zo stránky Babilon. Zhrnutie týchto údajov obsahuje tabuľka 1.

Skupina vlakov	1.skupina	2.skupina	3.skupina
Počet vlakov za 60h	365	124	90
Priemerný príchod vlakov	každých 10 min	každých 30 min	každých 40 min
Počet prechádzajúcich vlakov	75%	0%	90%
Priemerná dĺžka státia pri prechádzaní	4.4 min	0 min	3.5 min
Počet začínajúcich/končiacich vlakov	25%	100%	10%
Priemerná dĺžka státia začínajúcich/končiacich vlakov	20 min	13 min	21 min
Priemerná dĺžka meškania	1 min	4 min	5 min
Priemerná maximálna dĺžka meškania	15 min	30 min	60 min

Tabuľka 1: Namerané hodnoty

Na odbornej konzultácii bolo zistené, že pokiaľ vlakom preferované nástupište nie je voľné, dostáva vlak pred príchodom do stanice informáciu o najbližšom voľnom a tiež o koľaji na ktorú ma prísť. Inak dostáva iba správu o koľaji.

Predpísaná rýchlosť pre vlaky vchádzajúce do nástupišťa je 30 km/h (zdroj: Zedník, odborná konzultácia). Priemerná dĺžka koľají je 319m[3], z ktorej bola vypočítaná priemerná doba prízjazdu do nástupišťa 38s, a tiež jeho odjazdu z nástupišťa, ktorá je rovnaká.

Prichádzajúce vlaky sú kvôli nebezpečenstvu zrážky smerované vždy len na prázdne koľaje a to aj napriek tomu, že sú niektoré nástupište rozdelené do viacerých sektorov (zdroj: Zedník, odborná konzultácia).

2.1 Použité postupy pre vytváranie modelu

K implementácii bol použitý jazyk C++, ktorý umožňuje objektový návrh a je vhodný pre implementáciu simulačného modelu (viz [2], str.44) a knižnica SIMLIB[1], pretože poskytuje triedy vhodné pre simuláciu daného zadania. Použitá konštrukcia a algoritmy je možné nájsť v slajdoch k predmetu IMS[2].

3 Konceptia modelu

Cieľom projektu je simulovať prichádzajúce a odchádzajúce vlaky a sledovať zaťaženie stanice. K simulácii netreba celý model vlakovej stanice, stačí modelovať oblasť s nástupišťami 1–4. Nástupište 5 a 6 boli zanedbané, pretože obsahujú len kusé koleje⁴ (viz [3]), ktoré majú svoju vlastnú prízjazdovú koľaj a nijak teda neovplyvňujú zaťaženie nástupišťa pred samotnou budovou stanice.

Ďalej sú zanedbané vlakmi preferované nástupište, pretože pri experimentovaní sledujeme celkové zaťaženie vlakovej stanice, nie len jednotlivých koľají.

Simulovanie prístupu na sektor s koľajami je vyriešený na strane dispečinku, ktorý nepustí vlak do sektoru, pokiaľ nie je koľaj voľná (zdroj: Zedník, konzultácia). Napríklad, pokiaľ je na stanici vlak na danej koľaji, dispečer vôbec nupustí na túto koľaj nový vlak. Pre náš model to znamená, že pokiaľ nie je voľná koľaj nástupišťa, vlak nie je pustený na túto koľaj a teda nemôže dôjsť k zrážke, či blokáde vlaku v stanici. Koľaj sa uvoľňuje až vo chvíli, kedy vlak opustí sektor koľají na stanici. Dispečink je v tomto modeli reprezentovaný frontou čakajúcich vlakov na pridelenie koľaje.

³<http://jizdnirady.idnes.cz/vlaky/spojeni/>

⁴Kusá, alebo slepá koľaj, je koľaj, ktorá má výhybkové pripojenie iba na jednom konci, na opačnom je obvykle zarážadlo. **Zdroj:** <https://cs.wikipedia.org/wiki/Kus%C3%A1_kolej>

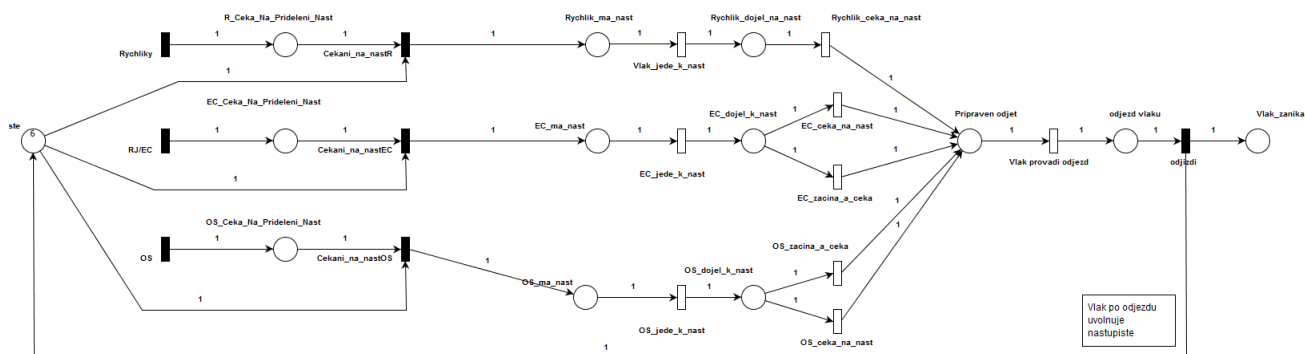
Keďže ešte nie sú dostupné žiadne informácie ohľadne posilnenia spojov pre tento rok, bolo prístupné k odhadu, ako moc budú jednotlivé spoje posilnené. Z našich meraní bol upravený počet vlakov 1.skupiny zo 146 za 24 hod na 160 za 24 hod, vlaky 2. skupiny boli posilnené o 10 strojov za 24 hod a vlaky 3.skupiny boli posilnené o 9 strojov za 24 hod. Všetky vyššie uvedené stroje sú pridané iba vo frekventovane využívaných časoch.

3.1 Návrh konceptuálneho modelu

Vstupom simulácie je jeden z troch typov vlakov, ktoré do systému prichádzajú v pravidelných intervaloch modelujúcich cestovný poriadok. Vlak následne pred sektorom koľají vlakovkej stanice čaká na pridelenie nástupišťa. Potom čo získa nástupišť, vstupuje do sektoru koľají daného nástupišťa po dobu 38 sekúnd (viz kapitola 2) prichádza do nástupišťa. Tam stojí a čaká po dobu stanovenú danou skupinou vlakov. Táto doba je rozličná pre vlaky iba prechádzajúce stanicou a vlaky tu končiace/začínajúce. Po uplynutí tejto doby vlak odchádza z nástupišťa, napojuje sa na vonkajšie koľaje a po uplynutí doby 38 sekúnd opúšťa sektor a v rámci modelu zaniká.

3.2 Formy konceptuálneho modelu

Na základe získaných údajov bola vytvorená Petriho sieť abstraktného modelu (viz [2], str.10) Hlavného nádraží.



4 Architektúra simulačného modelu/simulátoru

V implementácii sú využité tri generátory typu Event (viz [2], str.169). Jeden generátor vytvára 1.skupinu vlakov, druhý 2. a tretí 3.skupinu vlakov. Všetky tri generátory sú aktivované v čase spustenia situácie, potom sú znovu aktivované periodicky podľa toho, o ktorý typ vlaku sa jedná. Vlaky 2.skupiny sú priemerne dva za hodinu, vlakov 1.skupiny je priemerne 6 za hodinu a vlaky 3.skupiny sú generované každých 40 minút.

Pri každom generovaní vlaku daného typu sa aktivuje trieda pre tento typ, ktorá dedí z triedy Process (viz [2], str.171). Táto trieda simuluje celý proces vlaku, od jeho vstupu do systému až po jeho opustenie. Pre výber typu vlaku je použité rovnomerné rozloženie typu Uniform (viz [2], str.167). Toto rozloženie sa tiež používa pre generovanie väčších náhodných meškaní.

Koľaje sú implementované ako typ Store (viz [2], str.184) so šiestimi položkami, kedy každá položka predstavuje jednu z hlavných koľají Hlavného nádraží.

5 Podstata simulačných experimentov a ich priebeh

Podstatou simulačných experimentov je zistiť, či Hlavní nádraží v Brne zvláda aktuálne vyt'aženie, či má priestor pre rezervu (tj. pridanie vlakov napríklad cez sviatky), či má meškanie vplyv na vyt'aženie stanice a v neposlednom rade, či by pomohlo pridanie jednej koľaje pri väčšom vyt'ažení.

5.1 Postup experimentov

Postup experimentov prebiehal nasledovne:

- Nastavenie hodnôt na základe daného experimentu
- Spustenie simulácie
- Generovanie vlakov v časoch predstavujúcich príchody vlakov podľa cestovného poriadku
- Pozorovanie a spracovanie výsledkov simulácie

5.2 Popis jednotlivých experimentov

5.2.1 Experiment č.1

Prvý experiment prebieha pri východných hodnotách. Neuvažujeme veľké meškanie, tj. určíme percentu vlakov sú generované priemerné meškania. Rýchliky prichádzajú každých 30 minút plus náhodné číslo z intervalu $\langle -3,3 \rangle$, vlaky tretej skupiny prichádzajú každých 40 minút plus náhodné číslo z intervalu $\langle -5,5 \rangle$ a vlaky prvej skupiny prichádzajú každých 10 minút plus náhodné číslo z intervalu $\langle -1,1 \rangle$.

STORE Koleje
Capacity = 6 (3 used, 3 free)
Time interval = 0 - 72000
Number of Enter operations = 224
Minimal used capacity = 0
Maximal used capacity = 5
Average used capacity = 1.91536

Tabulka 2: Výstup 1. experimentu

V tomto experimente prebiehajúcom 20 hodín a simulujúcom jeden pracovný deň od 4 ráno do polnoci, prešlo stanicou 224 vlakov. Najviac bolo využívaných 5 koľají zároveň a priemerné vyt'aženie koľají bolo 1.91536. Z experimentu môžeme usúdiť, že stanica bežné vyt'aženie zvláda a že žiadny vlak nemusel na svoju koľaj čakať.

5.2.2 Experiment č.2

Tento experiment testuje Hlavní nádraží pri vyšších meškaniach. Meškania sú generované ako náhodné čísla z intervalu $\langle 0, \text{max-meškanie} \rangle$, kedy max-meškanie je priemer maximálnych meškaní danej skupiny vlakov. Experiment sleduje, ako stanica meškania zvláda, či sa meškania už oneskorených vlakov predlžujú a či vznikajú nové meškania pri vlakoch ktoré predtým nemeškali. Okrem meškaní vychádza experiment z rovnakých hodnôt ako predchádzajúcy.

V tomto experimente prešlo stanicou za 20 hodín 220 vlakov (4 nestihli prísť na stanicu kvôli ich meškaniu). Najviac bolo využitých všetkých šesť koľají naraz a priemerná záťaž koľají bola 1.70354. Vďaka meškaniam vlaky neprichádzali pravidelne ako v predchádzajúcom experimente, ale prichádzali nepravidelne, prípadne nárazovo a stanica bola použitá v určitých časových okamihoch v plnej kapacite. Nápor ale aj tak zvládla a žiadny vlak nemusel čakať pred stanicou na pridelenie koľaje nástupišťa.

STORE Koleje
Capacity = 6 (2 used, 4 free)
Time interval = 0 - 72000
Number of Enter operations = 220
Minimal used capacity = 0
Maximal used capacity = 6
Average used capacity = 1.70354

Tabulka 3: Výstup 2. experimentu

5.2.3 Experiment č.3

Počas sviatkov České dráhy posilujú spoje aby uspokojili nárazovo zvýšený záujem o ich služby. Tento experiment pozoruje, ako pri posilnení spojov stanica zvláda zvýšený počet vlakov a či nevznikajú nové meškania. Experiment prebieha dvakrát. Prvý krát idú vlaky bez veľkých meškaní, druhý krát už aj s nimi (rovnaký princíp ako pri experimentoch 1 a 2).

Vlaky druhej skupiny prichádzajú každých 20 minút plus náhodné číslo z intervalu $\langle -3,3 \rangle$, vlaky tretej skupiny prichádzajú každých 30 minút plus náhodné číslo z intervalu $\langle -5,5 \rangle$ a vlaky prvej skupiny prichádzajú každých 7 minút plus náhodné číslo z intervalu $\langle -1,1 \rangle$.

STORE Koleje
Capacity = 6 (3 used, 3 free)
Time interval = 0 - 72000
Number of Enter operations = 304
Minimal used capacity = 0
Maximal used capacity = 6
Average used capacity = 2.61169

Tabulka 4: Výstup 3. experimentu, prvý prípad

Výsledky simulácie experimentu bez väčších meškaní ukazujú, že stanica zvláda pridané spoje bez problémov, keďže žiadny vlak nemusel čakať na priradenie nástupišťa. Priemerne zaťaženie koľají bolo 2,61169 a maximálne bolo využitých 6 koľají naraz. Za dobu simulácie stanica obslúžila 304 vlakov. Dá sa usúdiť, že Hlavní nádraží má rozloženie spojov vyriešené tak, aby zvládalo aj pridané ďalších spojov.

Pre druhý prípad rovnakého experimentu sú pridané väčšie meškania.

STORE Koleje
Capacity = 6 (2 used, 4 free)
Time interval = 0 - 72000
Number of Enter operations = 239
Minimal used capacity = 0
Maximal used capacity = 6
Average used capacity = 2.42824

Tabulka 5: Výstup 3. experimentu, druhý prípad - tabulka STORE

QUEUE Q
Time interval = 0 - 72000
Incoming 2
Outcoming 2
Current length = 0
Maximal length = 1
Average length = 0.00455665
Minimal time = 151.993
Maximal time = 176.085
Average time = 164.039

Tabulka 6: Výstup 3. experimentu, druhý prípad - tabulka QUEUE

Pri rovnakom experimente s generovaním väčších meškaní prešlo stanicou 293 vlakov, pričom ostatné vlaky nestihli v meranom časovom úseku prísť na stanicu kvôli meškaniu. V tomto prípade už museli 2 vlaky čakať na priradenie nástupišť a, kedy jeden vlak čakal 150s a druhý čakal 176s. Stále sa ale nejedná o drastické časy a ďalšie meškanie v tomto prípade môže vzniknúť skutočne malé až žiadne. Kapacita bola využitá na maximum a priemerné vytíženie koľají bolo 2,42824.

5.2.4 Experiment č.4

Posledný experiment je takmer identický s predchádzajúcim experimentom. Rozdiel je v tom, že počíta s pridaním jedného nástupišť a.

STORE Koleje
Capacity = 6 (2 used, 5 free)
Time interval = 0 - 72000
Number of Enter operations = 299
Minimal used capacity = 0
Maximal used capacity = 7
Average used capacity = 2.48999

Tabulka 7: Výstup 4. experimentu, tabulka STORE

QUEUE Q
Time interval = 0 - 72000
Incoming 1
Outcoming 1
Current length = 0
Maximal length = 1
Average length = 0.000277124
Minimal time = 19.9529
Maximal time = 19.9529
Average time = 19.9529

Tabulka 8: Výstup 4. experimentu, tabulka QUEUE

Výsledky tohto experimentu ukazujú, že stanica sa lepšie vysporiadala s posilnenými spojmi. Bolo využitých všetkých 7 koľají a čakať zostane iba jeden jediný vlak a to na dobu 20 sekúnd. Doba čakania sa teda znížila, ako aj počet čakajúcich vlakov. Pridanie nástupišť a by teda v prípade zvýšenia počtu spojov prospelo. Čakanie 20 sekúnd pravdepodobne nespôsobí žiadne ďalšie meškanie.

5.3 Záver experimentov

Bolo vykonaných 9 experimentov v situáciách kombinujúcich meškanie, posilnenie spojov a pridanie koľaje. Z experimentov je možné odvodiť chovanie systému s dostatočnou vierohodnosťou. Experimentálne vykonanie týchto experimentov ukázalo, že Hlavní nádraží zvláda vlaky pri meškaniach aj posilnených spojoch v poriadku. Napriek tomu pridanie ďalšej koľaje by prinieslo viac možností rozšírenia dopravy. Výsledky všetkých experimentov je možné pozorovať v súboroch experiment*.out, ktoré sú vytvorené po spustení príkazu `make run`.

6 Zhrnutie simulačných experimentov a záver

Autori došli k záveru, že model Hlavního nádraží v Brne je, aj napriek niektorým skúsenostiam, dostatočne vierohodný. Model simuloval chod Hlavního nádraží v rôznych podmienkach a zo záverov experimentov vyplýva, že stanica je navrhnutá pri súčasnom zaťažení vcelku dostatočne. Meškania sú teda pravdepodobne spôsobené nepredvídateľnými javmi ako prekážky na trati, poruchy lokomotív a podobne. Stanica je tiež schopná odolávať pridaným posilňujúcim spojom, prípadne väčším meškaniam bez toho, aby sa výrazne zväčšovali čakacie doby ostatných vlakov. Pridaním ďalšieho nástupišť a podľa experimentov prinieslo určitú rezervu v prípade pridanie viacerých vlakov aj s veľkými meškaniami.

Reference

- [1] PERINGER, Petr. SIMulation LIBrary for C++. [Online]. Dostupné z WWW: <<http://www.fit.vutbr.cz/~peringer/SIMLIB/>>.
- [2] PERINGER, Petr. Modelování a simulace. [Online], 2015. Dostupné z WWW: <<https://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>>.
- [3] SENA. Brno hlavní nádraží. [Online], VIII./2011. Dostupné z WWW: <gvd.cz/cz/data/planky/3xx/320/332957.xls>.
- [4] SŽDC. BRNO HL.N. ODJEZD. [Online], 2014. Dostupné z WWW: <provoz.szdc.cz/Portal/Show.aspx?oid=1180843>.
- [5] SŽDC. BRNO HL.N. PŘÍJEZD. [Online], 2014. Dostupné z WWW: <provoz.szdc.cz/Portal/Show.aspx?oid=1180842>.
- [6] WIKIPEDIA. Brno hlavní nádraží. [Online]. Dostupné z WWW: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Brno_hlavn%C3%AD_n%C3%A1dra%C5%BE%C3%AD#Popis_n.C3.A1dra.C5.BE.C3.AD>.