

# Optimalizace odbavení cestujících v hale brněnského hlavního vlakového nádraží

T6 - SHO Model logistiky - hromadná osobní přeprava  
IMS - Modelování a simulace  
29. prosince 2023

Andrea Michlíková - xmichl11  
Kateřina Lojdová - xlojdo00

## Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>2</b>
1.1	Význačné zdroje	2
1.2	Získávání dat pro ověření validity modelu	2
<b>2</b>	<b>Rozbor tématu a použitých metod/technologií</b>	<b>3</b>
2.1	Způsob vytvoření modelu	3
2.2	Použité technologie	3
<b>3</b>	<b>Koncepce</b>	<b>4</b>
3.1	Model stávajícího režimu obsluhy	4
3.2	Model pro přidání druhé fronty	5
<b>4</b>	<b>Architektura simulačního modelu/simulátoru</b>	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>Podstata simulačních experimentů a jejich průběh</b>	<b>6</b>
5.1	Experimenty se základním modelem	6
5.2	Experimenty s modelem s více frontami	6
<b>6</b>	<b>Shrnutí simulačních experimentů a závěr</b>	<b>6</b>
6.1	Vyhodnocení modelu stávající situace	6
6.2	Vyhodnocení modelu pro rozdělení linek	7

# 1 Úvod

Nedílnou součástí cestování vlakem je i nákup potřebných jízdních dokladů. Na hlavním vlakovém nádraží v Brně je nyní k dispozici deset prodejných přepážek, ke kterým se cestující mohou dostat pouze dvěma přístupovými cestami, což přirozeně vede zvláště v čase špičky k tvorbě front. Zároveň je v určitou chvíli obsluhován jenom určitý počet přepážek, který nemusí být nutně optimální.

Rozhodli jsme se tedy se v této práci pokusit najít optimální počet přepážek, které by měly být otevřené, aby došlo k maximalizaci užítku z pohledu rychlosti odbavení cestujících a nákladů na provoz daných přepážek. Dále jsme se pokusili navrhnout alternativu ke stávajícímu uspořádání front k přepážkám, jejichž vhodnost jsme se rozhodli ověřit simulací [3].

## 1.1 Význačné zdroje

Velkým zdrojem inspirace pro nás byla diplomová práce Mgr. Jany Hradecké z univerzity Pardubice na téma Optimalizace pokladen pro odbavení cestujících v železniční přepravě [1]. Vzhledem k tomu, že jsou v její práci uvedena pouze anonymizovaná data, jsme se rozhodli vzít základ její práce a aplikovat ho na prostředí brněnského hlavního nádraží.

## 1.2 Získávání dat pro ověření validity modelu

Data pro ověření validity modelu [3] byla naměřena autory v páteční odpolední špičce - mezi 16:30 a 18:00.

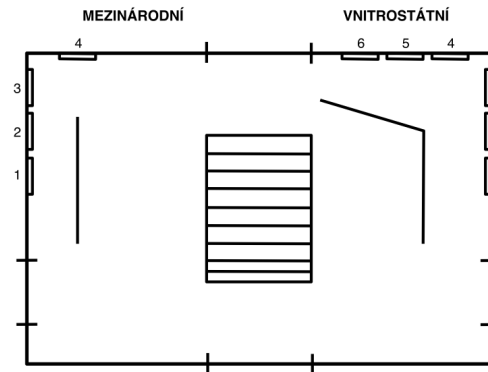
Průměrně podle provedených měření čekali zákazníci ve frontě 48,63s pro mezinárodní a 129,67s pro vnitrostátní přepážky. V době měření byly na každé straně haly otevřeny dvě přepážky.

Při spuštění vytvořeného modelu s konfigurací odpovídající dvěma a dvěma otevřeným přepážkám a stejnému počtu příchozích do systému čekali cestující po deseti spuštěních ve frontě průměrně 143,75s pro vnitrostátní a 43,92s pro mezinárodní.

## 2 Rozbor tématu a použitých metod/technologií

Odbavení je v hale hlavního brněnského nádraží rozděleno na dvě sekce - prodej mezinárodních a vnitrostátních jízdenek (vlevo pohledem při vstupu z ulice Nádražní) a prodej pouze vnitrostátních jízdenek (vpravo pohledem při vstupu z ulice Nádražní - viz obrázek 1). Každá sekce je momentálně odbavována jednou frontou, do které se zákazníci řadí podle příchodu. Momentální rozložení je naznačeno na plánu níže.

Nákup mezinárodních jízdenek je obsluhován v jednu chvíli až čtyřmi pokladnami, pro vnitrostátní je vyhrazeno pokladen až šest.



Obrázek 1: Plánek momentálního rozložení přepážek a případných front v hale brněnského hlavního nádraží

### 2.1 Způsob vytvoření modelu

Data, na základě kterých byl sestaven model, byla experimentálně nasbírána autory v páteční odpolední špičce - mezi 16:30 a 18:00.

Bylo provedeno měření počtu příchozích osob a toho, jak dlouho trvá tyto osoby obsloužit. Měření počtu příchozích osob do systému byla provedena zároveň pro obě fronty po dobu patnácti minut. Dle našeho měření celkem během patnácti minut vešlo do obou front celkem 112 osob - 42 do fronty levé a 70 do fronty pravé.

Doba obsluhy jednotlivých obslužných úkonů byla měřena mobilními stopkami od momentu prvního kontaktu s pokladníkem po moment odchodu zákazníka od přepážky. Vzhledem k velkému rozptylu naměřených časů obsluhy, byly tyto časy rozděleny do několika skupin a spočítány jejich procentuální zastoupení v celkovém počtu naměřených obsluh.

	Levá fronta - mezinárodní (t1)				Pravá fronta - vnitrostátní (t2)			
časový interval[s]	$\langle 0, 20 \rangle$	$\langle 20, 40 \rangle$	$\langle 40, 60 \rangle$	$\langle 60, \infty \rangle$	$\langle 0, 20 \rangle$	$\langle 20, 40 \rangle$	$\langle 40, 60 \rangle$	$\langle 60, \infty \rangle$
průměr[s]	13.57	27.89	45.7	109.1	18	28.25	46.57	83.38
procentuální zastoupení [%]	22.58	45.16	16.13	16.13	12.07	62.07	12.07	13.79

Tabulka 1: Rozložení doby obsluhy zákazníků u přepážky

### 2.2 Použité technologie

- Jazyk: C/C++
- Použité knihovny
  - Simlib [2]

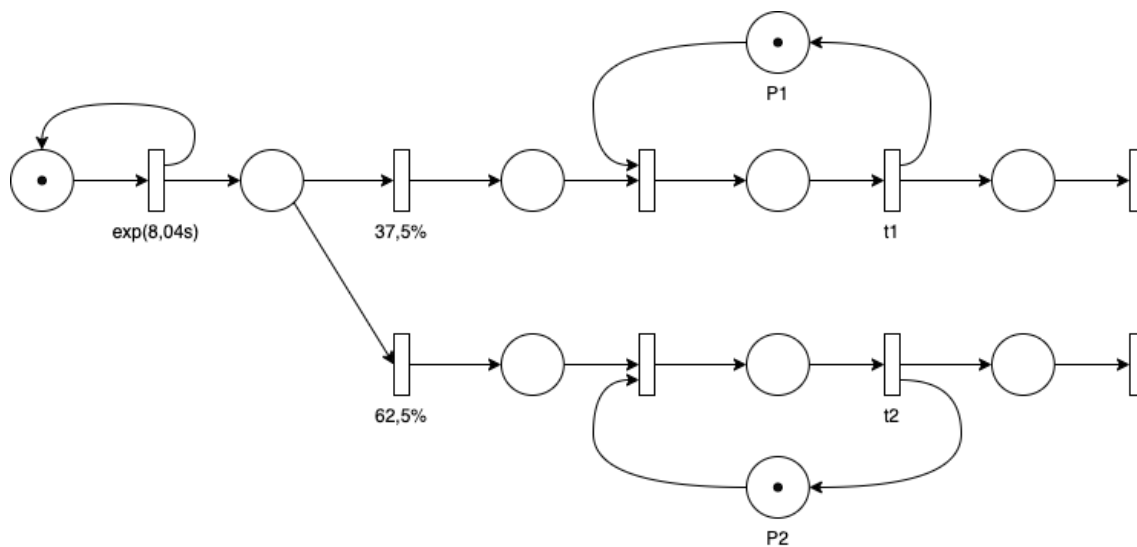
### 3 Koncepce

Jako první jsme se rozhodli najít optimální počet přepážek vůči počtu cestujících, které je potřeba odbavit. V druhé části projektu jsme se rozhodli zjistit, jak se do tohoto počtu promítne to, pokud by se fronta odbavující pokladny pro vnitrostátní lístky rozdělila na dvě.

#### 3.1 Model stávajícího režimu obsluhy

Místo [3] P1 značí přepážky v levé straně haly, které mohou být v jednu chvíli otevřeny až 4. Místo P2 pak značí přepážky na straně pravé, kterých může být v jednu chvíli otevřeno až 6. Ideální počet otevřených přepážek je předmětem zkoumání a simulace.

Odbavení každé přepážky trvá dobu  $t$  s rozložením odpovídajícím tabulce uvedené v podkapitole 2.1. Doba  $t_1$  odpovídá odbavení mezinárodní přepážky,  $t_2$  pak odbavení přepážky vnitrostátní.

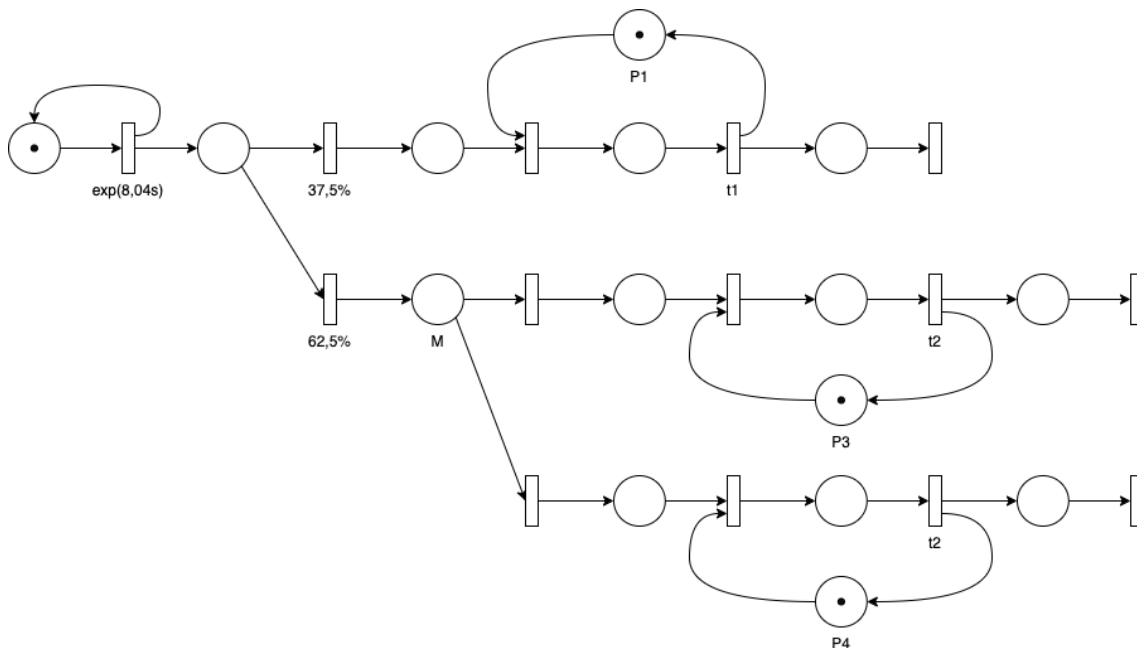


Obrázek 2: Petriho síť pro model stávajícího režimu obsluhy pokladen

### 3.2 Model pro přidání druhé fronty

Tento model je modifikovanou verzí modelu stávající situace. Rozhodli jsme se vyzkoušet, jak se do času odbavení promítne to, pokud by byly vytvořeny dvě fronty, kdy každá obsluhuje polovinu z dostupných vnitrostátních přepážek. Místo P1 opět značí přepážky v levé straně haly, které mohou být v jednu chvíli otevřeny až čtyři. Místo P3, stejně jako místo P4, nyní slouží pro odbavení až tří vnitrostátních přepážek.

Pokud se cestující rozhodne využít služeb vnitrostátních přepážek, je jeho rozhodování v tomto modelu při příchodu do místa M následující - pokud jsou obě fronty prázdné nebo stejně dlouhé, vybere si náhodně, pokud jsou ve frontách již nějací čekající, pak se zařadí do fronty kratší.



Obrázek 3: Petriho síť pro model rozdělení vnitrostátní fronty na dvě

## 4 Architektura simulačního modelu/simulátoru

Proces příchodu cestujících do systému je implementován pro každý model zvlášť generátorem typu "public Event". BaseGenerator slouží pro generování cestujících pro model stávajícího režimu, LineGenerator pak pro model rozdělení vnitrostátní fronty na dvě.

Chování každého cestujícího v základním modelu je implementováno ve třídách CustomerNational(pro vnitrostátní odbavení) a CustomerInter(pro mezinárodní odbavení). V modelu se dvěma frontami zůstává chování cestujícího v mezinárodním odbavení stejné a chování cestujícího u vnitrostátního odbavení je implementováno třídou CustomerNationalTwoLines.

Spuštění programu je možné následovně:

```
./main [-i] [-n] [-t] [-p] [-b] [-d] [-l] [-r] [-s]
  [-i] [--international]
    Pocet otevrenych mezinarodnich prepazek. Povinny argument.
    Hodnota povinna v intervalu<1,4>
  [-n] [--national]
    Pocet otevrenych vnitrostatnich prepazek. Povinny argument.
    Hodnota povinna v intervalu<1,6>
  [-t] [--time]
    Simulacni cas v minutach. Implicitne nastaveno na 15 minut.
  [-p] [--people]
    Pocet prichozich osob za simulacni cas. Implicitne nastaveno na 112 osob.
  [-b] [--base]
    Spusteni zakladniho modelu.
  [-d] [--line_divider]
    Model rozdeleni vnitrostatni fronty. Nutne spustit s [-l] a [-r].
```

```

[-l] [--left]
    Pocet prepazek vlevo. Hodnota v intervalu <1,3>
[-r] [--right]
    Pocet prepazek vpravo. Hodnota v intervalu <1,3>
[-s] [--skript]
    Vypise hodnoty pro skript k vyhodnoceni statistik

```

Make run program spustí v konfiguraci odpovídající experimentálně naměřeným hodnotám a základním modelem.

```
./main -i 2 -n 2 -b
```

Make line program spustí v konfiguraci odpovídající experimentálně naměřeným hodnotám a modelu se dvěma linkami.

```
./main -i 2 -n 4 -d -l 3 -r 1
```

## 5 Podstata simulačních experimentů a jejich průběh

### 5.1 Experimenty se základním modelem

Simulace byla u základního modelu pro každou možnou konfiguraci přepážek spouštěna desetkrát. Jiné vstupní údaje než počty otevřených přepážek se mezi jednotlivými simulacemi neměnily. Jako výstupy byly zaznamenávány údaje o vytížení přepážek a doba, kterou cestující čekali ve frontě.

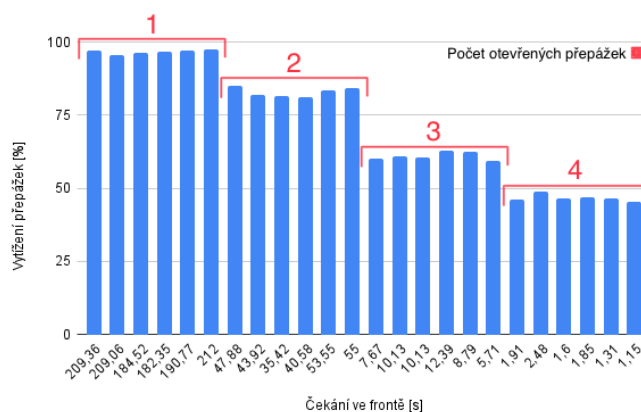
### 5.2 Experimenty s modelem s více frontami

U modelu se dvěma linkami bylo taktéž prováděno opakované spouštění se všemi možnými kombinacemi otevřených vnitrostátních přepážek a zaznamenávány údaje o vytížení přepážek a době strávené čekáním ve frontě. Počet mezinárodních přepážek se mezi jednotlivými běhy simulace neměnil a byl nastaven na hodnotu, která byla v předchozích experimentech se základním modelem vyhodnocena jako optimální, tedy dvě otevřené přepážky.

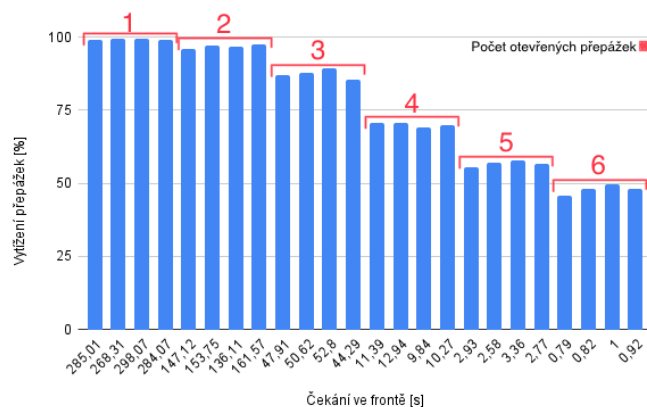
## 6 Shrnutí simulačních experimentů a závěr

### 6.1 Vyhodnocení modelu stávající situace

Optimální počty otevřených přepážek byly určeny podle dvou hlavních kritérií. Prvním z kritérií byla vytíženost přepážky, která jsme určili, že by neměla padnout pod 70%. Po určení této hranice jsme následně vybírali nejkratší možný čas čekání cestujících. Pro mezinárodní frontu jsme tedy jako optimální počet otevřených přepážek určili 2 přepážky (viz. obrázek 4) a pro vnitrostátní frontu přepážky 4. Otevření dalších dvou přepážek oproti situaci, za které jsme prováděli naše měření, povede u vnitrostátní fronty ke zkrácení času stráveném ve frontě o cca 2 minuty.



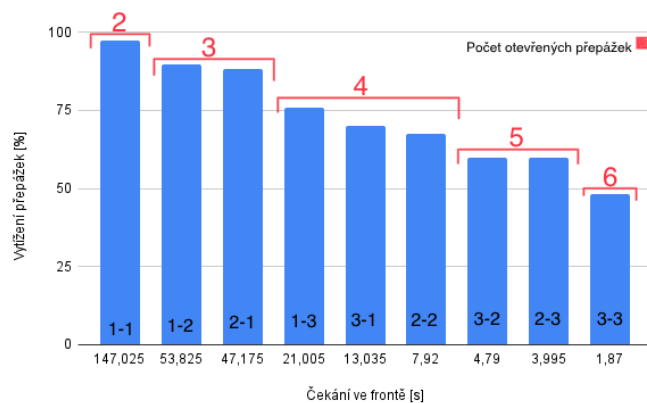
Obrázek 4: Graf vytíženosti mezinárodních přepážek



Obrázek 5: Graf vytíženosti vnitrostátních přepážek

## 6.2 Vyhodnocení modelu pro rozdělení linek

Naším předpokladem bylo, že rozdělení provozu u vnitrostátní fronty do dvou řad povede ke snížení doby čekání. Tato hypotéza se potvrdila pouze za předpokladu, že se otevře stejný počet přepážek pro obě fronty a provoz se tak rovnoměrněji rozprostře.



Obrázek 6: Graf vytíženosti vnitrostátních přepážek (čísla v jednotlivých sloupcích grafu představují počty otevřených přepážek pro jednotlivé fronty ve formátu L-R)

## Odkazy

1. HRADECKÁ, Jana. *Optimalizace pokladen pro odbavení cestujících v železniční přepravě*. Pardubice, 2018. Dostupné také z: <https://hdl.handle.net/10195/70480>. Dipl. pr. Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera. Vedoucí práce Josef BULÍČEK.
2. PERINGER Petr, Dr. *SIMLIB/C++*. Brno University of Technology, 2021. Ver. 3.08. Dostupné také z: <https://www.fit.vutbr.cz/~peringer/SIMLIB/>.
3. HRUBÝ Martin, Ph.D.; PERINGER Petr, Dr. *Modelování a simulace* [online]. [cit. 2023-12-08]. Dostupné z: <https://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>.