

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Provozně ekonomická fakulta**

**Katedra systémového inženýrství**



**Bakalářská práce**

**Aplikace systém hromadné obsluhy ve státní správě**

**Lenka Pazderová**

**© 2019 ČZU v Praze**

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Lenka Pazderová

Provoz a ekonomika

Název práce

**Aplikace systémů hromadné obsluhy ve státní správě**

Název anglicky

**Application of queuing system in the state administration**

---

### Cíle práce

Hlavním cílem práce je vytvořit model hromadné obsluhy, který by odpovídal reálné situaci na úřadu Registru vozidel. Dílčím cílem práce je zhodnotit pomocí analytických výpočtů a simulací, zda je model hromadné obsluhy vhodný.

### Metodika

Teoretická část byla rozdělena do tří částí. První část popisuje disciplíny operačního výzkumu a jejich řešení. Druhá část se zabývá systémem hromadné obsluhy. V poslední části je rozebrána charakteristika hromadné obsluhy.

Praktická část se zabývá samotným systémem hromadné obsluhy na pobočce Registru vozidel, je tvořena několika kroky nutnými k úspěšnému analyzování reálné situace na vybrané pobočce.

Práce je rozdělena do následujících postupných kroků:

- Charakteristika Registru vozidel
- uplatnění teorie front v Registru vozidel
- Vytvoření analytického modelu
- Charakteristika modelu M/M/c a požadavků systému
- Optimalizace nákladů
- Simulační model pro 7 a 8 přepážek registru vozidel

## Doporučený rozsah práce

30-40 s.

## Klíčová slova

operační výzkum, programování, modely hromadné obsluhy, teorie front, požadavky, vstupní tok, intenzita obsluhy

---

## Doporučené zdroje informací

BERÁNKOVÁ, M. – DŮMEOVÁ, L. – ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. KATEDRA OPERAČNÍ A SYSTÉMOVÉ ANALÝZY. *Systémy hromadné obsluhy I.* V Praze: Česká zemědělská univerzita, Provozně ekonomická fakulta, 2004. ISBN 80-213-1193-2.

DUDORKIN, J. *Operační výzkum.*

ŠUBRT, T. *Ekonomicko-matematické metody.* Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2011. ISBN 978-80-7380-345-2.

---

## Předběžný termín obhajoby

2018/19 LS – PEF

## Vedoucí práce

Ing. Roman Kvasnička, Ph.D.

## Garantující pracoviště

Katedra systémového inženýrství

---

Elektronicky schváleno dne 12. 3. 2019

**doc. Ing. Tomáš Šubrt, Ph.D.**

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 12. 3. 2019

**Ing. Martin Pelikán, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 12. 03. 2019

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Systém hromadné obsluhy ve státní správě" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 15.3.2019

---

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala Ing. Romanu Kvasničkoví, Ph.D. za vedení práce a cenné rady, kterými přispěl ke zpracování práce. Dále bych chtěla poděkovat všem, kteří se dalšími konzultacemi a jinými připomínkami podíleli na zpracování této práce. Také bych chtěla velice poděkovat Mgr. Petru Marečkovi vedoucímu oddělení evidence motorových a přípojných vozidel a odbavování občanů za poskytnutí dat pro úspěšné sepsání práce.

# Aplikace systém hromadné obsluhy ve státní správě

## Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá aplikací systému hromadné obsluhy ve státní správě. V teoretické části je vysvětleno, co je operační výzkum, jehož součástí je systém hromadné obsluhy, a také jsou zde zmiňovány i další disciplíny operačního výzkumu. Popisovány jsou charakteristiky systému hromadné obsluhy, využívaného ke klasifikaci.

Praktická část je zaměřena na vybraný problém, a to na obsluhu klientů na pobočce Registru vozidel. Tento problém je řešen pomocí modelu hromadné obsluhy. Byl vytvořen model označovaný podle Kendallovy stupnice M/M/c. Do něj byly vloženy údaje, získané informace. Také byl vytvořen simulační model, který znázorňuje situaci na pobočce. Simulační model je vytvořen v programu MS Excel pomocí generátoru náhodných čísel. Vytvořený model je spuštěn pro 182 klientů, toto množství odpovídá přibližnému množství klientů vstupujících do systému každý den.

Následné zhodnocení výsledků vypovídá o významu takového systému pro provoz pobočky. Simulační model je možné dále upravovat tak, aby zobrazoval přibližné následky průběžných změn v reálné situaci.

**Klíčová slova:** operační výzkum, programování, model hromadné obsluhy, teorie front, vstupní tok, obsluha, fronty, optimalizace, M/M/c model, klasifikace

# Application of queuing system in the state administration

## Abstract

The bachelor thesis deals with the application of the mass operation system in state administration. The theoretical part explains what is the operational research, which includes the mass service system, and also mentions the additional disciplines of operational research. The characteristics of the mass operations system used for the classification are described.

The practical part is focused on selected problem of the client service on the Vehicle Register office. This problem is solved using the mass operation service model. The model marked according to Kendall scale M/M/c was created. The gathered data was added to it. The simulation model was also created to illustrate the situation at the office. The simulation model is created in MS Excel application using the random number generator. The created model is run for 182 clients, this amount corresponds to the approximate number of clients entering the system every day.

Subsequent results evaluation indicates the importance of such system in the office service. The simulation model can be further modified to show approximate consequence of continuous changes in real situation.

**Keywords:** operational research, programming, mass operation model, queue theory, input flow, operation, queues, optimization, M/M/c model, classification

# Obsah

<b>1 Úvod.....</b>	<b>10</b>
<b>2 Cíl práce a metodika .....</b>	<b>12</b>
2.1 Cíl práce .....	12
2.2 Metodika .....	12
<b>3 Teoretická východiska .....</b>	<b>14</b>
3.1 Disciplíny operačního výzkumu .....	15
3.1.1 Matematické programování .....	15
3.1.2 Vícekriteriální rozhodování .....	16
3.1.3 Teorie grafů.....	16
3.1.4 Teorie zásob .....	17
3.1.5 Stochastické modely .....	17
3.1.6 Teorie her .....	18
3.1.7 Teorie hromadné obsluhy .....	18
3.2 Systém hromadné obsluhy .....	18
3.3 Charakteristika základních prvků systému.....	21
3.3.1 Klasifikace modelu hromadné obsluhy.....	23
3.3.2 Tvorba operačního výzkumu v obecném měřítku .....	24
<b>4 Vlastní práce .....</b>	<b>26</b>
4.1 Registr vozidel .....	26
4.1.1 Charakteristika Registru vozidel.....	26
4.1.2 Odbavování klientů na pobočce Registru vozidel .....	27
4.2 Uplatnění teorie front na pobočce registru vozidel .....	28
4.2.1 Zpracování analytického modelu.....	29
4.2.2 Základní charakteristiky modelu M/M/c .....	30
4.2.3 Charakteristika požadavků v systému.....	32
4.2.4 Optimalizace nákladů .....	33
4.2.5 Simulační model .....	35
4.2.6 Tvorba tabulky pro simulovaný model za použití pseudonáhodných čísel.....	35
<b>5 Výsledky a diskuse .....</b>	<b>40</b>
5.1 Porovnání simulací s reálným modelem .....	40
<b>6 Závěr.....</b>	<b>41</b>
<b>7 Seznam použitých zdrojů .....</b>	<b>42</b>
<b>8 Přílohy .....</b>	<b>43</b>



## Seznam obrázků

Obrázek 1 Grafické znázornění systému hromadné obsluhy.....	22
Obrázek 2 Grafické znázornění maximální kapacity pobočky.....	28

## Seznam tabulek

Tabulka 1 Seznam proměnných systému .....	20
Tabulka 2 Počáteční data pro zpracování modelu .....	29
Tabulka 3 Seznam vzorců pro modely M/M/c .....	30
Tabulka 4 Výpočet intenzity vstupu pro jednotlivé přepážky .....	31
Tabulka 5 Výsledky z doporučeného množství obslužných kanálů (M/M/7 a M/M8) .....	32
Tabulka 6 Souhrn nákladů systému .....	34
Tabulka 7 Celkové náklady na systém .....	34
Tabulka 8 Simulační model pro 7 přepážek .....	37
Tabulka 9 Průměrné výsledky jednotlivých simulací pro 7 přepážek .....	37
Tabulka 10 Simulační model pro 8 přepážek .....	38
Tabulka 11 Průměrné výsledky jednotlivých simulací pro 8 přepážek .....	38
Tabulka 12 Porovnání simulovaných modelů s reálným modelem .....	40

# 1 Úvod

V době, kdy se svět stává čím dál tím složitější a náročnější na veškeré aspekty našeho života, je na člověka kladen obrovský tlak. Již nestačí jednoduchá řešení. Nyní je nutné vše řešit ihned, bleskově, a ještě přidávat něco navíc. Požadavky na uspokojování klientů jsou tedy velmi náročné a svět se snaží tyto situace zjednodušovat a urychlit pro spokojenost všech. Bohužel i přílišná modernizace není tou správnou volbou, stále jsou skupiny lidí, kteří se pevně drží starých zásad, jejich ohebnost a schopnost tolerance klesá. Proto je potřeba rychlý pokrok malinko zpomalit a dát alespoň malou šanci na navyknutí všech zúčastněných.

Část problémů spojených s dnešní dobou je naštěstí možné vyřešit pomocí operačních výzkumů, které využívají matematických a statistických metod pro výpočty a analyzování jednotlivých modelů. Díky těmto výpočtům je možné upravit modely a reálné situace na neoptimalnější možný výsledek, nebo dokonce získat ten nejlepší možný výsledek. Aby bylo možné správně vyřešit každý systém, bylo nutné systém rozdělit do skupin podle jejich typu a potřebného přístupu, tím došlo k vytvoření několika oddělených disciplín.

Jednou z metod řešení takových modelů je systém hromadné obsluhy. Systém hromadné obsluhy je systém tvořený z jedné části ze vstupů v podobě požadavků na obsluhu a druhou část tvoří obsluha, která se snaží požadavky řešit. Pro představu, systémy, které je možné takto řešit jsou například nejružnější fronty v obchodech, u lékaře, při výdeji objednávek, ale také sem spadá výroba, kdy jeden produkt musí projít několika procesy, než je vhodný k distribuci. Pro správné řešení, a hlavně pro vhodný typ systému jsou vytvořeny jednotlivé přístupy řešení výpočtu.

Nejvíce využívaný model hromadné obsluhy, je model  $M/M/c$ . Tento model je tedy využit v této bakalářské práci. Tento model bude použit pro výpočty na systému hromadné obsluhy použitém na pobočce Registru vozidel. Registr vozidel je součástí Ministerstva dopravy, které díky němu zpracovává a vytváří databázi vozidel v ČR. Jako každý úřad využívající systém hromadné obsluhy, někdy též nazývaný jako „lístečkový systém“, ke snížení tlaku na rychlé a spolehlivé odbavování klientů. I přes aplikaci takového systému se na některých úřadech tvoří nepříjemné fronty, a to často z důvodu nevhodného postavení systému, podcenění náročnosti na obsluhu, a nebo nesprávné informovanosti klientů, kteří neznají, jak takovým systémem postupovat. To vše může vést k narušení

plynulého průchodu systémem. Je tedy více než nezbytné systém správně nastavit a před zavedením systému velmi důkladně formulovat požadavky, které má systém zohlednit. Druhou věcí je na systém a jeho správné fungování upozornit účastníky systému, aby jej mohli správně a vhodně využívat a nedocházelo k neprůchodnosti nebo prostožům v systému.

## 2 Cíl práce a metodika

### 2.1 Cíl práce

Hlavním cílem práce je vytvořit model hromadné obsluhy, který by odpovídal reálné situaci na úřadu Registru vozidel. Dílčím cílem práce je zhodnotit pomocí analytických výpočtů a simulací, zda je model hromadné obsluhy vhodný. Práce je rozdělena do dvou částí. První část je teoretická část, zabývající se problematikou systémů hromadné obsluhy, jejich charakteristikou a jednotlivými typy.

Druhá část práce se zabývá využitím teoretických znalostí a jejich užití na vytvoření modelu odpovídajícímu systému hromadné obsluhy v reálné situaci na úřadu Registru vozidel. Praktická část je zaměřena na systém hromadné obsluhy na Registru vozidel a zabývá se možnostmi jeho optimalizace. V praktické části budou také znázorněné možné varianty změn stávajícího modelu. V závěru práce budou hodnoceny jednotlivé systémy a doporučené změny pro zlepšení stávajícího systému.

### 2.2 Metodika

Teoretická část byla rozdělena do tří částí. První část popisuje disciplíny operačního výzkumu, a to jaké modely je možné pomocí operačního výzkumu modelovat a řešit. Druhá část se zabývá samotným systémem hromadné obsluhy. V poslední části je rozebírána podrobně charakteristika hromadné obsluhy.

Praktická část se již zabývá samotným systémem hromadné obsluhy na vybrané pobočce Registru vozidel, je tvořena několika kroky nutnými k úspěšnému analyzování reálné situace na vybrané pobočce.

Jednotlivé kroky práce:

- Charakteristika Registru vozidel
- uplatnění teorie front v Registru vozidel
- Vytvoření analytického modelu
- Charakteristika modelu M/M/c a požadavků systému
- Optimalizace nákladů
- Simulační model pro 7 a 8 přepážek registru vozidel

Veškeré výpočty práce vedly k získání výsledků, které budou interpretovány a analyzovány. Na jejich základě bude proveden návrh na možné změny nebo potvrzení o správném postupu tohoto systému.

### 3 Teoretická východiska

Operační výzkum je soubor vědních disciplín, které zkoumají operace v organizačních jednotkách. Charakterizované systémovým přístupem, konstrukcí a analýzou matematických modelů. Dalším důležitým prvkem je týmová práce při studiu operací, využití výpočetní techniky a zaměřením na procesy rozhodování. Operací se chápe pořadí vzájemně závislých akcí vedoucích k jasnému cíli. <sup>1</sup>

*„Operační výzkum představuje způsob týmové práce, při které skupina specialistů různého odborného zaměření komplexně řeší složité ekonomický, technický, organizační nebo vojenskostrategický problém.“<sup>2</sup>*

Systémový přístup je komplexní způsob chápání jevů a jejich vzájemné souvislosti. Je to určitý způsob myšlení a poznávání. Systémový přístup nevyužívá vlastní metody a předmět poznávání. Nesystémové přístupy jsou však ovlivněny subjektivními a živelnými faktory a také nedostatkem pevného řádu. Systémový přístup představuje rozdělení předmětů na své základní prvky, a ty jsou odděleně zkoumány. Systémový přístup se vyznačuje zkoumáním jednotlivých částí propojených souvislostmi, a ty analyzuje v daných souvislostech spojených s daným problémem. <sup>3</sup>

Operační výzkum potřebuje specifikovat základní prostředek, a to matematický model. Ten se pak stává předmětem modelování, což je účelová činnost. Model musí být konstruován za daným účelem a podle toho se liší prostředky modelování. Modelování je možné schematizovat. Na daný reálný systém se přiřadí model umělý. Umělý model je velmi blízký modelu reálnému, umělý model zobrazuje jen takové vlastnosti, které jsou požadovány zkoumat. Pro zavádění nového modelu se proto využívá různých zjednodušení, předpokladů, hypotéz a teorií, ty pak tvoří hypotézu o předmětu modelování. Matematické modely se dělí na stochastické, deterministické, dynamické, statické, rozhodovací a technologické. Práce se bude zabývat jen modely stochastickými. Stochastické matematické modely obsahují náhodné veličiny. <sup>4</sup>

---

<sup>1</sup> DUDORKIN, Jiří. *Operační výzkum*. str. 5

<sup>2</sup> GROS, I., *Kvantitativní metody v manažerském rozhodování*. str. 5

<sup>3</sup> DUDORKIN, Jiří. *Operační výzkum*. str. 5

<sup>4</sup> DUDORKIN, Jiří. *Operační výzkum*. str. 6-7

Konstrukce modelů není samoúčelná, je potřebná pro rozhodnutí vedoucích orgánů. Rozhodnutí je pak buď přijato nebo se stává podkladem pro rozhodování, při jeho tvorbě jsou využívány kritériální funkce. Pro pracovníky operačního výzkumu je nutným předpokladem znalost rozhodovacích procesů a jejich analýza.<sup>5</sup>

Proces rozhodování začíná výběrem vhodné alternativy, kdy subjekt rozhodování, rozhodovatel nebo účastník rozhodnutí (ten který alternativu vybírá) vybere jedno řešení. Dané rozhodnutí by mělo být zaměřené na cíl, za využití dostupných informací a s vědomím možných důsledků, zároveň by mělo být takové rozhodnutí uvědomělé. Takové rozhodnutí lze označit za racionální. Neracionální rozhodnutí je například svět nebo příroda, kdy jsou rozhodnutí volena náhodně, bez znalosti důsledku a dílčích informací. Takové rozhodnutí je voleno na základě náhodného mechanismu, který není nijak ovlivněn. Alternativy neracionálního rozhodnutí jsou nazývány stavy. Soubor vzájemně provázaných podmínek podílejících se na rozhodnutí. Výsledkem rozhodnutí je soubor alternativ, které zvolil rozhodovatel, u kterých předpokládá že jsou racionální a hodnotí důsledky a dopady jednotlivých variant v dané situaci.<sup>6</sup>

### **3.1 Disciplíny operačního výzkumu**

Operační výzkum se zabývá nejrůznějšími problémy, proto je důležité k jednotlivým problémům přistupovat odlišným způsobem pro jejich správné a řádné vyřešení. Operační výzkum se podle typu řešení dělí na jednotlivé disciplíny.

#### **3.1.1 Matematické programování**

Matematické programování se zabývá řešením optimalizačních úloh. U těchto úloh se snaží objevit extrém daného kritéria, které je definováno v kritériální funkci. Řešení vyhledává v množině určenou omezujícími podmínkami zadanými v lineárních nebo nelineárních rovnicích a nerovnicích.<sup>7</sup>

---

<sup>5</sup> DUDORKIN, Jiří. *Operační výzkum*. str. 6-7

<sup>6</sup> DUDORKIN, Jiří. *Operační výzkum*. str. 6-7

<sup>7</sup> JABLONSKÝ, J., *Operační výzkum*, s. 13-14

Modely je možné dělit na lineární, které mají kritériální funkci i omezující podmínky v lineárním tvaru, a na nelineární, které mají alespoň jednu kritériální funkci nebo omezující podmínku v nelineárním tvaru.<sup>8</sup>

V praxi se může jednat o optimalizaci výroby a maximalizaci výnosů. Z výnosů za jednotlivé výrobky se sestaví kritériální funkce, která jde až do maxima. Omezující podmínky mohou být sestaveny na základě minimální nebo maximální výroby jednoho produktu nebo jejich poměru.

### 3.1.2 Vícekritériální rozhodování

Vícekritériálního rozhodování se zaměřuje na analýzu a výběr variant. Ty jsou hodnoceny z hlediska více kritérií. Výsledek vícekritériálního rozhodování není jedno správné řešení, ale jde o několik řešení, z nichž je vybíráno to, které nejlépe odpovídá kritériím zadaným na začátku systému, zároveň se pomocí těchto výsledků snaží eliminovat zvolení nesprávné varianty, která je nevýhodná. Jelikož při řešení nedojde nikdy k jedné ideální variantě, ale nalezení nejideálnější varianty.<sup>9</sup>

Model vícekritériálního rozhodování nám přibližuje reálná situace, kdy volíme mezi několika řešeními, jako například lze uvést 2 misky na rýži, pokud do každé misky bude vloženo stejné množství rýže je to stav ideální, ale pokud se rozděluje lichý počet vždy bude jedna miska o zrnko chudší, a proto je nutné volit mezi variantami a rozhodnout, která z misek bude o zrnko chudší. Díky tomu se tedy nikdy nedostane k nejlepší variantě, ale také se dá vyvarovat použití neefektivních a nevýhodných variant.

V reálném světě se takto rozhodujeme téměř denně. Při obědě se zvažuje, které jídlo je nejlepší nebo v případě nákupu čokoliv. V takových případech dochází k rozhodování mezi jednotlivými variantami, které jsou ovlivněny: cenou, množstvím, velikostí, spotřebou, výkonem a dalšími kritérii, jichž může jich být nespočet.

### 3.1.3 Teorie grafů

Při hledání řešení pomocí teorie grafů je hledáno řešení pomocí síťových grafů. Součástí síťového grafu jsou uzly a hrany, ty umožní zobrazit většinu systémů. Například

---

<sup>8</sup> JABLONSKÝ, J., Operační výzkum, s. 13-14

<sup>9</sup> BROŽOVÁ, H., Modely pro vícekritériální rozhodování, s 3



uzly představují jednotlivé pobočky firmy a hrany znázorňují cesty mezi jednotlivými uzly. Jedná se tedy o velmi jednoduchý a přehledný systém.<sup>10</sup>

Teorie grafů se využívá v plánování tras a plánování výstavby, v takovém případě jednotlivé uzly představují cíl dané činnosti a hrany nám udávají jejich posloupnost a propustnost. Hranám je přiřazena hodnota, která udává například dobu trvání nebo hodnotu nákladů.<sup>11</sup>

### **3.1.4 Teorie zásob**

Teorie zásob se zabývá optimalizací, velikostí zásob a dodávek zásob. V teorii zásob dochází ke sporu dvou hlavních částí, a to množství skladových zásob, vzájemících na sebe peníze, a množstvím výroby, které je omezené množstvím zásob. V případě, že jsou skladové zásoby příliš malé a nová dodávka zboží dorazí až po úplném vyčerpání skladu, může dojít k pozastavení výroby do doby, než nám dorazí zboží potřebné pro výrobu. Z toho vyplývají následné problémy spojené s opožděním odbavení trhu a nedostatečnému příjmu z důsledku neprodaného zboží. Proto se vždy řeší to, kdy a kolik zboží je nutné objednat.<sup>12</sup>

### **3.1.5 Stochastické modely**

Stochastické modely řeší problémy, v nichž se nacházejí jednotky, které časem svou funkčnost ztrácí a je potřebná jejich obnova nebo oprava. K selhání jednotek dochází nečekaně, a tím dochází k ohrožení činnosti systémů. Aby riziko ohrožení činnosti bylo minimalizováno, je potřeba odhadnout životnost jednotek, schopnost, zda se jednotky dočkají konce své životnosti a neselezou ještě před koncem, a také to, zda budou dané jednotky po celou dobu k dispozici. Pro představu jako takové jednotky lze uvést součástky automobilu, kdy například olej se mění po určité době nebo množství najetých kilometrů, aby jeho funkčnost byla po tuto dobu odpovídající požadavkům.<sup>13</sup>

---

<sup>10</sup> JABLONSKÝ, J., Operační výzkum, s. 169

<sup>11</sup> JABLONSKÝ, J., Operační výzkum, s. 15

<sup>12</sup> JABLONSKÝ, J., Operační výzkum, s. 209

<sup>13</sup> HOLOUBEK, J., Ekonomicko-matematické metody, s. 7

### 3.1.6 Teorie her

Rozhodovací situace, zahrnující několik účastníků. Účastníci vstupují do konfliktu vedoucí k získání výhry. Každý účastník má vlastní strategii k dosažení cíle.<sup>14</sup>

Jedná se o řešení sporu několika účastníků, kdy alespoň jeden je schopen reagovat na kroky protistrany. Účastníky hry jsou jednotliví hráči, kteří chtějí dosáhnout svých zájmů a cílů, a tedy celou hru vyhrát.<sup>15</sup>

Z praxe se teorie her uplatňuje u konkurenčních bojů prodejců. Kdy si prodejci konkurují množstvím a kvalitou výroby a tím i množstvím získaných zákazníků. Pokud jeden výrobce zlepší kvalitu svých produktů a tím přetáhne zákazníky konkurence. Je velmi pravděpodobné, že se dočká odvety v podobě zlepšení kvality konkurence a posunutí prodeje o úroveň výš. Pak se stává jen otázkou, do jaké míry je prodejce schopen předhánět konkurenci a zda je to pro něj stále výhodné.

### 3.1.7 Teorie hromadné obsluhy

Jedná se o situace, které vznikají na místech kde se shlukuje větší množství jednotek čekajících na odbavení. Jednotky mají své požadavky na obsluhu daného problému. A obsluha daného stanoviště se snaží vykonávat svou práci co možná nejrychleji a nejpřesněji pro zrychlení odbavení všech jednotek.<sup>16</sup>

## 3.2 Systém hromadné obsluhy

Jedná se o odvětví aplikované matematiky, ve kterém se zkoumá činnost systémů, v nichž se požadavky opakovaně vyskytují na homogenních operacích. V praxi je systém hromadné obsluhy využíván například u balících linek, obchodů, státní správy při odbavování jednotlivých úkonů, vždy tam kde vzniká jakákoliv fronta čekajících jednotek. Pokud je nutné analyzovat takový systém, je nutné popsat nepravidelnosti, které se v něm nacházejí pomocí pravděpodobnostních charakteristik. Teorie hromadné obsluhy využívá teorii pravděpodobnosti, matematickou statistiku, teorii náhodných procesů a toků. Prvky

---

<sup>14</sup> MEYERSON, Roger B. *Game theory: analysis of conflict*. str. 2

<sup>15</sup> HOLOUBEK, J., *Ekonomicko-matematické metody*, s. 7

<sup>16</sup> HOLOUBEK, J., *Ekonomicko-matematické metody*, s. 7

těchto systému mají charakter zákazníka (požadavek) – obsluha, které je nutno brát velmi široce.<sup>17</sup>

Vstup zákazníka (požadavek) vytváří vstupní tok. Tyto vstupní požadavky po vstupu do systému jsou buď ochotny čekat potřebnou dobu (jejich trpělivost je neomezená), nebo jsou ochotni čekat jen určitou dobu (jejich trpělivost je omezená) a po uplynutí této doby odchází ze systému neobslouženi. Většinou se potřebná čekací doba odvíjí od ostatních zákazníků (ti vstoupili do systému dřív) a na zatíženosti systému (ideální zatíženost systému se pohybuje v intervalu  $\langle 0,6; 0,8 \rangle$ , pokud je intenzita pod tímto intervalem je systém nevytížený, předražený a má prostoje, pokud je intenzita nad touto hranicí je systém přetížený, dochází k příliš velkým frontám a ztrátě zákazníků. Počet zákazníků je v celých nezáporných číslech a časové údaje, jakožto okamžik vstupu do systému nebo doba obsluhy, mohou nabývat nezáporných reálných čísel. Jsou to tedy modely ve spojitém čase.<sup>18</sup>

Systémy obsluhy pracují nerovnoměrně z důvodu, že požadavky na obsluhu vstupují do systému nepravidelně nebo doba obsluhy má velkou variabilitu. Z daných důvodů se u jedné linky obsluhy často vyskytují více než jeden zákazník (požadavek). V systému se tvoří fronty na základě předpokladu, že schopnost jedné linky je obsloužit jen jednoho zákazníka a ostatní jsou nuceni čekat.<sup>19</sup>

Při tvorbě systému hromadné obsluhy jsou určovány jednotlivými parametry, které definují daný systém. Jedním z nich je intenzita vstupu jednotek, dále pak interval mezi vstupy, ten definuje, zda jednotky vstupují do systému pravidelně nebo se jedná o náhodný systém. Podle toho se dá se systémem pracovat, například pokud se interval zkracuje a jednotky se v systému hromadí a jejich trpělivost není neomezená, může se otevřít ještě jeden kanál obsluhy pro snížení vytíženosti systému a urychlení odbavování jednotek. A naopak, pokud jsou intervaly velké a jednotky vstupují do systému sporadicky je nákladné mít otevřené všechny kanály obsluhy, je tedy potřeba některé uzavřít a zaměstnance kanálu přesunout na jinou práci. Pokud by k takovému případu docházelo například na pobočce úřadu nebo v supermarketu, na danou dobu pokud je v dlouhodobém hledisku pravidelná,

---

<sup>17</sup> ŠUBRT, T. a kol., Ekonomicko-matematické metody, s. 320

<sup>18</sup> DŮMEOVÁ, L., BERÁNKOVÁ, M., Systémy hromadné obsluhy I., s. 10-11

<sup>19</sup> ŠUBRT, T. a kol., Ekonomicko-matematické metody, s. 320

například ve večerních hodinách nejsou v obchodech tak výrazné fronty a také je tomu tak například na úřadech, je pak možnost naplánovat směny zaměstnanců podle tohoto intervalu příchozích jednotek.<sup>20</sup>

**Tabulka 1 Seznam proměnných systému** <sup>21</sup>

Název proměnné	Symbol
Intenzita vstupu jednotek do systému	$\lambda$
Interval mezi vstupy po sobě následujících jednotek	X 1, X 2,..
Intenzita obsluhy	$\mu$
Počet kanálů obsluhy	m
Intenzita provozu systému hromadné obsluhy	$\rho$
Střední doba čekání ve frontě	T Q
Střední doba obsluhy	T S
Střední hodnota celkové doby v systému, tj. doba čekání plus doba obsluhy	T
Pravděpodobnost, že v systému není žádná jednotka	$\rho^0$
Pravděpodobnost, že v systému je n jednotek	$\rho^n$
Střední počet jednotek ve frontě	L Q
Střední počet jednotek v kanálech obsluhy	L S

Systém hromadné obsluhy je posuzován ze dvou hledisek, za prvé z pohledu zákazníka, a za druhé z pohledu obsluhy (provozovatele). Zákazníci usilují o to, aby v systému byli co nejkratší dobu. Vybírají si tedy období, kdy nevznikají velké fronty nebo si fronty vybírají (například zákazníci v supermarketech přebíhají mezi kasami v naději urychlit svůj odchod) v horším případě z front odcházejí v podobě neobsloužených jednotek. Jako svoji obranu volí změnu místa obsluhy nebo dokonce jiný konkurenční obchod, to je možné všude tam, kde se vyskytuje konkurenceschopnost prostředí. Obsluha se naopak snaží své zákazníky udržet v obchodě co nejdéle, a dokonce navýšit jejich počet při minimalizaci nákladů na provoz celého systému.<sup>22</sup>

<sup>20</sup> DŮMEOVÁ, L., BERÁNKOVÁ, M., Systémy hromadné obsluhy I., s. 10-11

<sup>21</sup> DŮMEOVÁ, L., BERÁNKOVÁ, M., Systémy hromadné obsluhy I., s. 10

<sup>22</sup> DUDORKIN, Jiří. *Operační výzkum*. str. 146-148

Také se na systém hromadné obsluhy musí nahlížet z pohledu nákladů, kdy vznikají dva typy nákladů, a to náklady spojené s rostoucí kapacitou obsluhy a náklady spojené s klesající kapacitou obsluhy. V případě rostoucích nákladů se uvažuje dále jen z pohledu na počet paralelních kanálů obsluhy. Nacházejí se zde ztráty z prostojů odbavení jednotek, ztráty za provoz jednotlivých kanálů obsluhy a střední hodnota celkových nákladů na časovou jednotku.<sup>23</sup>

Využití systémů hromadné obsluhy je vhodné jak pro nové systémy, tak pro zlepšení stávajících. Často není možné experimentálně zkoumat jednotlivé modifikace systému, ale je zapotřebí vytvořit matematický model celé situace.

### **3.3 Charakteristika základních prvků systému**

Vstupy jsou pro vytvoření systému jednou z hlavních složek, jedná se o jednotky, které vstupují do systému a zde čekají na odbavení, a nebo jsou ihned posunuty k odbavení jednotlivými kanály obsluhy. Kanál obsluhy je zároveň druhou fází systému hromadné obsluhy. Jsou kanály, které jsou schopny odbavit jen jednoho zákazníka od začátku jeho požadavků až do konce nebo jsou kanály obsluhy, kdy je odbavena jednotka jen částečně v rámci schopností daného kanálu<sup>24</sup> (viz. velké obchody s elektrem: pokud máme objednávku z internetu, která je připravena na prodejně postupujeme k prvnímu bodu obsluhy, a to k zaplacení objednávky, po zaplacení je objednávka zpracovaná a vydána ze skladu, kde na nás čekala a my přecházíme k dalšímu bodu obsluhy, a to převzetí (objednávky).

---

<sup>23</sup> ŠUBRT, T. A KOL., *Ekonomicko-matematické metody*, str. 335

<sup>24</sup> DŮMEOVÁ, L., BERÁNKOVÁ, M., *Systémy hromadné obsluhy I.*, s. 5



I přesto, že je režim fronty jasně vymezen, může být narušen tím, jak se jednotka chová. Chování jednotek je velmi specifické podle toho, v jakém typu zařízení se nachází a o jaký typ jednotky se vlastně jedná. Jednotky jsou děleny na trpělivé, jenž ve frontě vydrží potřebnou dobu a neodchází z ní (například stavební materiál, lidé, kteří potřebují danou věc ve frontě vyřešit) a jednotky netrpělivé, které mají omezenou trpělivost, potažmo čas na spotřebu nebo na to se zdržovat<sup>28</sup>, zde je dobrý příklad rychle se kazící zboží nebo lidé, kteří chvátají, a tak opustí frontu a přijdou až nebude taková přetíženost systému.

Jak již bylo zmíněno, dalším prvkem systému je intenzita vstupu jednotek. To, zda jednotky vstupují náhodně či v intervalech nebo v přesný čas.

### 3.3.1 Klasifikace modelu hromadné obsluhy

Systém hromadné obsluhy lze podle zmíněné charakteristiky klasifikovat. Dříve se klasifikace skládala jen ze tří znaků a to A/B/C, tuto klasifikaci zavedl D. G. Kendall. Později došlo k rozšíření klasifikace a nyní využívá šesti symbolů v podobě A/B/C/D/E/F. Pro rozšířenou klasifikaci se využívá označení Kendallova klasifikace.<sup>29</sup>

Jednotlivé symboly klasifikace označují určitou charakteristiku systému. První symbol A vyjadřuje typ pravděpodobnostního rozdělení intervalů vstupů. Určuje nám, jak často nám do systémů jednotky vchází a jaký je jejich časový odstup. Jednotlivé vstupy mají však své vlastní označení. Například Poissonův proces vstupů je označen písmenem M a vyjadřuje exponenciální rozdělení intervalů. Konstantní intervaly jsou označovány D a písmeno G označuje náhodné rozdělení. Pozice B určuje typ pravděpodobnosti rozdělení intenzity obsluhy. Zde se uplatňují stejné symboly jako v předchozím případě. Pod písmenem C se skrývá množství obsluhy rozdělené do paralelních kanálů. Pozice D v klasifikaci označuje kapacitu systémů, a to až do nekonečna ( $\infty$ ) v případě nekonečných kapacit systémů. Klasifikace E je velikost zdroje požadavků, u neomezených zdrojů požadavků se užívá symbolu nekonečna. Klasifikace F určuje režim fronty (LIFO, FIFO, PRI, SIRO)<sup>30</sup>

---

<sup>28</sup> DŮMEOVÁ, L., BERÁNKOVÁ, M., Systémy hromadné obsluhy I., s. 5-9

<sup>29</sup> ŠUBRT, T. A KOL., *Ekonomicko-matematické metody*, str. 324

<sup>30</sup> ŠUBRT, T. A KOL., *Ekonomicko-matematické metody*, str. 335

Pro představu si můžeme přeložit zápis klasifikace systému D/D/6/300/20/FIFO. Vychází nám tedy ze zápisu, že do systému vstupují jednotky konstantně, jsou i konstantně odbavovány u šesti obslužných míst. Celková kapacita systému je však omezená na 300 jednotek, a je omezena dvaceti požadavky, režim fronty je v podobě FIFO, tedy první do systému a první ze systému.

### 3.3.2 Tvorba operačního výzkumu v obecném měřítku

Problémy, které řeší operační výzkum jsou různorodé, a je tedy třeba k nim přistupovat odlišným způsobem. Toto nám zde zastávají jednotlivé metody řešení. Naštěstí pro nás mají tyto metody něco společného a díky tomu můžeme vytvořit postup řešení.<sup>31</sup>

1. Určení problému v reálném systému a vhodně ho definovat. Bez této fáze není co řešit. Určení problému je prací vedoucích pracovníků, kteří by měli problém identifikovat a rozhodnout, zda je nutné jej řešit přes simulaci.
2. Ekonomická formulace modelu vychází z reálného složitého problému zjednodušená jen o daný problém, čím méně vedlejších prvků systému, které se nedotýkají problému, tím lépe. Ekonomický model je tedy omezen jen na ty prvky, kterých se bezprostředně týká a jejich vazby. Postup jednotlivých kroků:
  - 2.1. Definice cíle analýzy, jaký cílový stav je požadován.
  - 2.2. Popis procesů, které v systému probíhají. Pod pojmem popis se skrývá reálná aktivita probíhající v systému. U těchto procesů je nutné brát zřetel na jejich intenzitu a vliv na stanovený cíl analýzy.
  - 2.3. Určení činitelů, které ovlivňují postupy systému. Mezi tyto činitele patří nejrůznější omezení v podobě malých zdrojů surovin, nebo také požadavky na minimální a maximální množství výroby.
  - 2.4. Konečnou fází je popis vztahů mezi procesy, činiteli a stanoveným cílem analýzy. Můžeme si to tedy představit tak, že se definuje cíl naší produkce, dále určení procesů, které naší produkci realizují. Poté zohledníme omezující podmínky výroby, jak množství, tak i hodnotu zisku a další podmínky s výrobou spojenými. A na závěr je nutný popis vztahů mezi jednotlivými složkami modelu.

---

<sup>31</sup> JABLONSKÝ, J., Operační výzkum, s. 10-13



3. Po ekonomickém modelu je formulován matematický model. V této fázi se z písemného nebo slovního ekonomického modelu stane model matematický, který je možné řešit pomocí operačního výzkumu.
4. Nyní se už přechází na samotné řešení matematického modelu pomocí metod a postupů příslušícím jednotlivým odvětvím matematického modelu. V dnešní době je možnost si práci ulehčit využitím programových systémů.
5. Nyní je čas interpretovat výsledky získané pomocí výpočtů. Správná interpretace výsledků je velmi důležitá, jelikož je nutné je správně a přesně interpretovat, pokud dojde ke zmýlení nebo bude interpretace nepřesná, může to ovlivnit celý výsledný stav. Avšak samotná interpretace není dostačující, je nutné i výsledky verifikovat. Při verifikaci dochází k ověření ekonomického a matematického modelu, zda byly sestaveny správně.
6. Poslední částí je implementace. Ta nastává, pokud verifikace proběhla dobře, pokud ano, může se přistoupit k implementaci na analyzovaném systému.

## 4 Vlastní práce

### 4.1 Registr vozidel

#### 4.1.1 Charakteristika Registru vozidel

Jedná se o oficiální databázi vozidel registrovaných na území České republiky, včetně vozidel zaniklých nebo těch, které byly vyvezeny do zahraničí. Evidenci vozidel upravuje zákon č. 56/2001 Sb., o podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích, ve znění pozdějších předpisů. Databáze dříve byla v kompetenci Policie České republiky, a to prostřednictvím Okresních dopravních inspektorátů. Od roku 2012, přesněji v červenci tohoto roku, došlo ke změně a databáze registru vozidel přešla do plné kompetence Ministerstva dopravy, zde je vykonávána za pomoci Obcí s rozšířenou působností. V současné době se v evidenci nachází cca 7,5 milionů vozidel schopných provozu, z toho v září 2017 přes 1 milion vozidel jen v Praze. Při registraci vozidla dochází také k zaregistrování vlastníka nebo provozovatele vozidla. Registrace vozidla není omezená místem bydliště majitele nebo provozovatele, ale je možno ji provést na kterémkoliv úřadě s rozšířenou působností. Pro registraci vozidla je však nutné předložit potvrzení o povinném ručení a mít úspěšně provedenou evidenční technickou prohlídku, tyto podmínky vymezuje §6 zákona č. 56/2001 Sb., o podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích, ve znění pozdějších předpisů a zákon 293/2017 Sb., o změně zákona o pojištění odpovědnosti z provozu vozidla, ve znění pozdějších předpisů. V roce 2017 bylo každý měsíc učiněno přes 60 000 úkonů, a to jen na území hlavního města Prahy.

Registr vozidel v rámci svých služeb spravuje velkou škálu úkonů spojených s evidencí vozidel a jejich správou. Služby jsou jednotlivě zpoplatněné, a to v rozmezí 120-3000 Kč podle typu úkonu a jeho specializace. Mezi služby poskytované registrem vozidel patří:

1. Registrace nového vozidla,
2. Převod ojetého vozidla,
3. Registrace dovezeného vozidla,
4. Duplikáty technických průkazů (malý, velký),
5. Vystavení registrační značky,

6. Ukončení leasingu,
7. Zápisy změn,
8. Výpis údajů,
9. Vývoz vozidel,
10. Vyřazení vozidla pomocí uložení značek do depozitu,
11. Ukončení vyřazení vozidla,
12. Registrace historických vozidel,
13. Nucený převod,
14. Registrační značky na přání, a 3. značka na nosič kol,
15. Trvalé vyřazení vozidla z databáze nyní pod pojmem zánik vozidla,
16. Dočasné vyřazení vozidla z databáze,
17. Ztráta nebo odcizení technického průkazu,
18. Registrace vozidla nabytého dědictvím.

Oprávněnou osobou dělat jednotlivé úkony s vozidlem v rámci registru vozidel je, buď fyzická osoba nebo právnická osoba na jejíž jméno bude vozidlo zapsáno. Nebo na základě společné žádosti může být vlastníkem a osobou, která zde figuruje jako provozovatel silničního vozidla. Potřebné formuláře registr vozidel vždy zveřejňuje na svých webových stránkách.

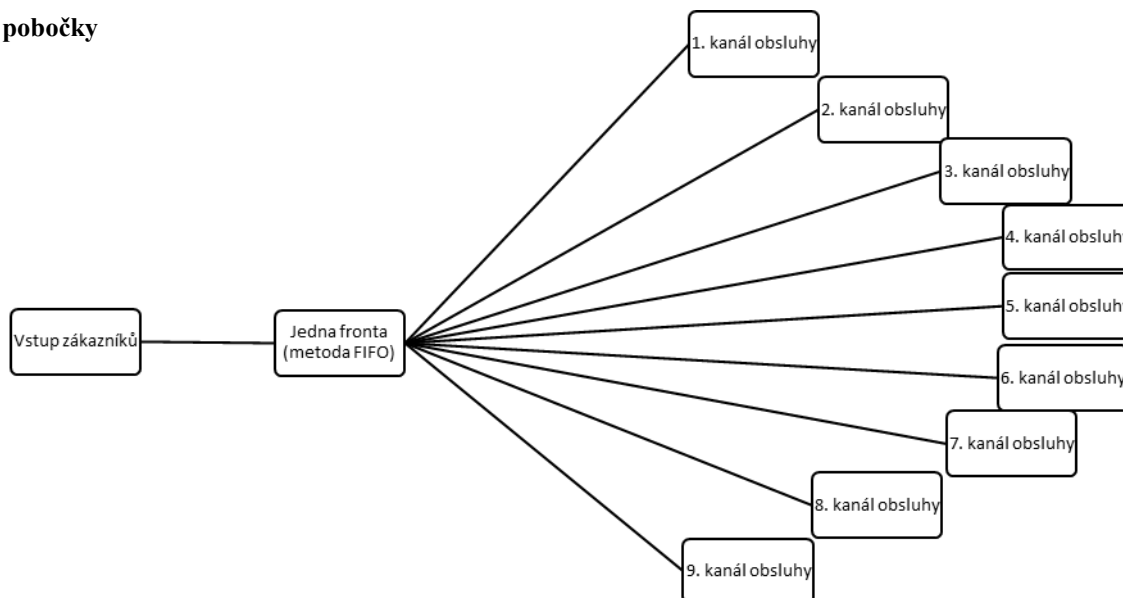
#### **4.1.2 Odbavování klientů na pobočce Registru vozidel**

Pro potřeby práce byl kontaktován úředník registru vozidel spravující statistické údaje. Na jeho doporučení byla zvolena pobočka registru vozidel Praha Jarov. Na této pobočce je devět obslužných přepážek, z nichž bylo využito ve sledovaném období jen sedm. Na těchto přepážkách jsou klienti v podobě vstupních jednotek odbavováni pomocí obslužného pořadového systému. Do systému vstupují klienti náhodně, a proto je jejich odbavování stejně nahodilé. Tento systém umožňuje zjednodušení a zrychlení obsluhy klientů. Klienti se tedy pohybují v systému metodou FIFO, klient vstupující do systému jako první z něj i jako první odchází, díky pořadovému číslu, které si bere nemusí další klienti hlídat kdy přijdou na řadu, a tak nedochází ke konfliktům. Zároveň systém umožňuje přesouvání klientů mezi kanály obsluhy například, když nastane nějaký problém, tak klienta jednoduše přesměrují na jinou obslužnou přepážku.

## 4.2 Uplatnění teorie front na pobočce registru vozidel

Na vybraném registru vozidel je následující systém odbavování klientů:

Obrázek 2 Grafické znázornění maximální kapacity pobočky



Pro vytvoření modelu bylo nutné získat data o vstupu zákazníků do systému a dále pak data popisující jakou dobu zákazníci strávili v systému. Po stažení poskytnutých dat ze systému bylo zjištěno, že jednotky do systému vstupují exponenciálně s parametry intenzity vstupů ( $\lambda$ ) a intenzity obsluhy ( $\mu$ ). Z výše popsaného v teoretické části je jasné, že pod intenzitou vstupů se skrývá průměrný počet vstupů požadavku vstupujících do systému za jednu časovou jednotku. A taktéž intenzita obsluhy představuje průměrnou dobu potřebnou k odbavení jednoho požadavku. V případě takového stupňového kanálu obsluhy je nutné znát jeho uspořádání. Jak vychází z grafického znázornění pobočky úřadu, kanály obsluhy jsou uspořádány paralelně se stejnou obsluhou. Za využití Kendallovy klasifikace, lze takovýto systém označit  $M/M/c$ : interval příchoďů je označen za exponenciální, obsluha je též exponenciální, systém má k dispozici stejný počet přepážek „c“, kapacita tohoto systému je neomezená a jednotky do systému vstupují metodou FIFO. Po splnění všech požadavků na model  $M/M/c$  se přistoupí k výpočtu.

#### 4.2.1 Zpracování analytického modelu

Ke správnému řešení analytického modelu je nutné vědět, jaká je hodnota intenzity vstupů ( $\lambda$ ), intenzita obsluhy ( $\mu$ ) a počet využívaných kanálů.<sup>32</sup> Počáteční data jsou uvedena v následující tabulce.

**Tabulka 2** Počáteční data pro zpracování modelu

Parametr	Význam	Vstupní hodnota
Intenzita vstupů $\lambda$	Interval mezi vstupy do systému (průměrný interval 2,5 min)	$\lambda=60/2,5=25$
Intenzita obsluhy $\mu$	Doba obsluhy (průměrná doba obsluhy 15 min) jedné přepážky	$\mu=60/15=4$
Počet kanálů	Celkový počet přepážek systému	1/2/3/4/5/6/7/8/9

Pokud se zpracovává analytický model je důležité uvažovat nad níže vypsány mi informacemi, ty popisují fungování daného systému:

- Intenzita provozu systému = vytíženost systému v procentech, jaká část systému je v provozu.
- Časové charakteristiky = průměrná doba jednotky strávená ve frontě a jak dlouho se jednotka celkově pohybuje v systému.
- Charakteristika počtu požadavků v systému – do této části patří průměrná délka fronty či průměrný počet požadavků na systém.
- Pravděpodobnostní charakteristiky – do této části se dají zařadit pravděpodobnosti, jako je pravděpodobnost čekání ve frontě nebo s jakou pravděpodobností nebude obslužný kanál provozu schopný.
- Optimalizace z hlediska nákladů = výpočty zohledňující veškeré náklady spojené s čekajícími jednotkami. Zde jsou například náklady na provoz obslužného kanálu a také náklady, které vznikají ve chvíli, kdy klient odchází z fronty bez obslužení.

---

<sup>32</sup> JABLONSKÝ, J., *Operační výzkum*, str. 246-247

#### 4.2.2 Základní charakteristiky modelu M/M/c

„V případě M/M/n/∞/∞/FIFO se jedná o systém s nezávislými a rovnocennými obslužnými linkami, kde požadavky čekají ve frontě jen tehdy, jsou-li všechny obslužné linky obsazeny. Fronta je jen jedna a je společná pro všechny obslužné linky.“<sup>33</sup>

Tabulka 3 Seznam vzorců pro modely M/M/c

Charakteristika	Vzorec
Intenzita provoz	$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$
Průměrný počet jednotek v systému	$L = p_0 \frac{c^c \rho^{c+1}}{c! (1 - \rho)^2} + \rho c$
Průměrný počet jednotek ve frontě	$L_Q = p_0 \frac{c^c \rho^{c+1}}{c! (1 - \rho)^2}$
Průměrný počet jednotek v obsluze	$L_S = \rho c$
Střední doba strávená jednotkou v systému	$T = p_0 \frac{c^c \rho^{c+1}}{c! \lambda (1 - \rho)^2} + \frac{1}{\mu}$
Střední doba strávená jednotkou ve frontě	$T_Q = p_0 \frac{c^c \rho^{c+1}}{c! \lambda (1 - \rho)^2}$
Pravděpodobnost systému bez jednotek	$p_0 = \left( \frac{c^c \rho^c}{c! (1 - \rho)} + \sum_{n=0}^{c-1} \frac{c^n \rho^n}{n!} \right)^{-1}$
Pravděpodobnost převýšení počtu jednotek nad počtem obslužných kanálů = pravděpodobnost čekání	$p\{n > m\} = p_0 \frac{c^c \rho^c}{c! (1 - \rho)}$

Zatížení systému, tedy doba práce obslužných kanálů k celkovému času využívaným systémem, nám představuje intenzita provozu. Intenzita provozu by měla nabírat hodnotu nižší než 1, aby byl systém reálný a nedocházelo k neustálým frontám, které by vedly k opouštění systému jednotkami, které nejsou netrpělivé. Číslo jedna odpovídá 100 % využití systému, více systém využít nelze. Aby systém měl hladký průběh

<sup>33</sup> ŠEDA, M., *Modely hromadné obsluhy*, online

je doporučená hodnota intenzity provozu mezi <0,6-0,8>. Pokud by byla hodnota vyšší docházelo by k zdržování systému. A v případě nižší hodnoty by nastávaly prostoje a celkové náklady by se zvyšovaly.

Intenzita provozu na pobočce Registru vozidel byla prověřena na postupném využití všech přepážek. Pro správné fungování systému je hledána hodnota v ideálním intervalu <0,6-0,8>, pokud by hodnota byla vyšší, systém by se pod nátlakem klientů hroutil a pokud by byla nižší, nebyl by takový systém efektivní. Hodnoty výpočtu pro jednotlivé počty přepážek jsou uvedeny níže v tabulce:

**Tabulka 4 Výpočet intenzity vstupu pro jednotlivé přepážky**

Počet přepážek	Vzorec výpočtu	Intenzita vstupu
1	$\frac{20}{3 \times 1}$	6,77
2	$\frac{20}{3 \times 2}$	3,387
3	$\frac{20}{3 \times 3}$	2,258
4	$\frac{20}{3 \times 4}$	1,694
5	$\frac{20}{3 \times 5}$	1,355
6	$\frac{20}{3 \times 6}$	1,129
7	$\frac{20}{3 \times 7}$	0,968
8	$\frac{20}{3 \times 8}$	0,847
9	$\frac{20}{3 \times 9}$	0,75

Z tabulky s výsledky je zřejmá neefektivnost systému při využití 1, 2, 3, 4, a dokonce 6 přepážek. Aby byl systém plynulý, je potřeba zapojit alespoň 7 přepážek, nejvíce však přepážek 9, jinak by docházelo naopak k prodlevám obsluhy. Při využití 1-6 přepážek hodnota intenzity provozu je nad hranicí 1 (100 %), při využití 7 přepážek je sice hodnota pod číslem 1, ale stále je příliš vysoká a to 0,952, tedy nad doporučenou horní hranicí, i přesto je možnost tento systém využít, ale s rizikem vzniku front. Pokud by bylo

v systému zapojeno 10 a více přepážek, systém by byl neefektivní ze strany obsluhy, a u obsluhy by vznikaly prostoje. Proto lze doporučit využití 8-9 přepážek pro pravidelné a efektivní vyžití systému.

Dále byly vypočítány další charakteristiky pro systém se sedmi a osmi obslužnými kanály. Byly využity následující data: intenzita vstupů, intenzita obsluhy a počet kanálů. Byly získány následující výsledky.

**Tabulka 5 Výsledky z doporučeného množství obslužných kanálů (M/M/7 a M/M8)**

<b>POČET OBSLUŽNÝCH KANÁLŮ (C)</b>	7	8
<b>Intenzita vstupů (<math>\lambda</math>)</b>	21	21
<b>Intenzita obsluhy (<math>\mu</math>)</b>	3	3
<b>Intenzita provoz (<math>\rho</math>)</b>	0,968	0,847
<b>Průměrný počet jednotek v obsluze (<math>L_s</math>)</b>	6,77	6,77
<b>Průměrný počet jednotek ve frontě (<math>L_Q</math>)</b>	29	4,14
<b>Průměrný počet jednotek v systému (L)</b>	35,8	10,9
<b>Střední doba strávená jednotkou v systému (T)</b>	1,38	00,197
<b>Střední doba strávená jednotkou ve frontě (<math>T_Q</math>)</b>	1,7	0,5
<b>Pravděpodobnost systému bez jednotek (<math>P_0</math>)</b>	0,00024	0,00104
<b>Pravděpodobnost převýšení počtu jednotek nad počtem obslužných kanálů = pravděpodobnost čekání</b>	0,969	0,749

#### 4.2.3 Charakteristika požadavků v systému

Průměrný počet jednotek v systému, ve frontě a v obsluze je definován požadavky na systém. Vhodné minimální množství obslužných kanálů určuje průměrný počet jednotek v obsluze. Dle našeho výpočtu se jedná o 7 přepážek pro zajištění dobrého průběhu systému, v případě 7 přepážek je intenzita provozu rovna 0,968, je tedy za doporučenou hranicí a velmi se blíží 1, ale lze ji použít a však s rizikem tvořících se front anebo ztrátou některých netrpělivých jednotek. Průměrný počet jednotek v systému je stabilní hodnotou pro celý systém.

Průměrné počty jednotek v systému a v obsluze pomáhají určit předpokládané požadavky na prostor klientů. Získané hodnoty udávají, že průměrný počet klientů čekajících na obsluhu je 29 z celkového počtu 36 klientů systému. Je tedy vhodné zajistit čekajícím klientům pohodlí, zvláště v případě delší doby a náročnosti na odbavování klientů před nimi. Pokud bude současně otevřeno 8 přepážek, počet čekajících klientů by se snížil na 4 z celkových 11 klientů v systému.



Při zjišťování, jak dlouho se klient zdrží na příslušném úřadě, se využívá pro tyto účely vzorec střední doby strávené jednotkou v systému. Z výpočtu je zřejmé, že pokud bude otevřeno 7 přepážek klient stráví přibližně 1 h a 42 minut v systému, ale pokud bude počet přepážek navýšen na 8 přepážek, doba strávená v systému se zkrátí na 30 min. Viz výpočty níže:

7 přepážek  $1,7 \cdot 60 = 1 \text{ h } 42 \text{ min}$

8 přepážek  $0,5 \cdot 60 = 30 \text{ min}$

Pro správné fungování systému je také dobré minimalizovat dobu, kterou stráví jednotky ve frontě, a proto je důležité určit střední dobu strávenou ve frontě. Ve zkoumaném případě byly zjištěny hodnoty pro jednotlivé přepážky následovně:

7 přepážek  $1,38 \cdot 60 = 1 \text{ h } 23 \text{ min}$

8 přepážek  $0,197 \cdot 60 = 12 \text{ min}$

Je zřejmé, že navýšení počtu jednotek sníží dobu čekání z přibližně z 1 h 23 min na 12 min a urychlí tak celý systém odbavování. Je však nutné brát na zřetel, že tyto výsledky jsou jen průměrné a reálná situace se může v častu měnit. Skutečná doba čekání se odvíjí od intenzity provozu, která je proměnlivá. Při vyšších hodnotách se budou tvořit fronty a klienti budou nuceni čekat. Naopak pokud intenzita provozu klesne, klienti budou odbavováni rychleji a plynuleji.

Z tabulky výpočtů vyplývá, že pokud bude zavedena jedna přepážka navíc, sníží se doba obsluhy i doba čekání klienty ve frontě a obsluha bude tedy schopná odbavit větší množství klientů. Celková intenzita provozu se sníží z původních 96,8 % na 85,7 %, původní intenzita obsluhy je za hranici doporučeného množství, což vede k frontám, po zavedení další přepážky se intenzita sníží, ale stále ne natolik, aby se dotkla spodní doporučené hranice. Počet jednotek v systému se sníží z původních 36 na 11, a tím se zrychlí celý posun jednotek systémem.

Nejdůležitější pravděpodobnost určuje, jestli příchozí klienti budou čekat. V případě 7 přepážek je pravděpodobnost čekání 96,9 %, pokud se zavede další přepážka pravděpodobnost čekání se sníží na 74,9 %.

#### **4.2.4 Optimalizace nákladů**

Pro zvolení vhodného systému je také nutné optimalizovat náklady daného systému. Cílem optimalizace nákladů je jejich minimalizování a určení správného počtu obslužných

kanálů. Je nutné vyčíslit náklady spojené s pobytem klientů v systému  $N_1$  (osvětlení, teplo, prostor na sezení atd.) a také náklady spojené s provozem jednoho obslužného kanálu  $N_2$  (mzda atd.), všechny náklady se vypočítávají na jednu časovou jednotku. Vybrané hodnoty jsou pak dosazovány do nákladové funkce:<sup>34</sup>

$$NF(c) = N_1L + N_2c$$

Hodnota  $L$  určuje průměrný počet jednotek v systému a hodnota  $c$  počet aktivních kanálů obsluhy. Jednotlivé druhy nákladů se musí přesně specifikovat. Náklady  $N_1$  jsou spojené tedy s chodem prostoru určeném pro klienty, jeho osvětlení, vytápění a funkčnosti těchto prostor. Náklady  $N_2$  jsou definovány jako náklady spojené s provozem obslužných kanálů a jedná se o hodinovou mzdu pracovníků obsluhy a další výdaje spojené s provozem kanálu. Cílem Registru vozidel je minimalizovat náklady co nejvíce, ale zároveň udržet nebo zvýšit kvalitu služeb.

**Tabulka 6 Souhrn nákladů systému**

<b>Vedlejší náklady</b>	$N_1$	110 Kč
<b>Náklady na provoz přepážky</b>	$N_2$	500 Kč
<b>Průměrný počet klientů v systému</b>	$L$	Viz Tabulka 5

Za použití nákladové funkce, jsou hodnoty nákladu využity k výpočtu celkových nákladů na daný počet kanálů.

**Tabulka 7 Celkové náklady na systém**

<b>c</b>	<b>L</b>	<b>N1</b>	<b>N2</b>	<b>Celkem</b>
7	35,8	3 938 Kč	3 500 Kč	7 438 Kč
8	10,9	1 199 Kč	4 000 Kč	5 199 Kč
9	8,3	913 Kč	4 500 Kč	5 413 Kč

Po přepočtení nákladů na tento systém bylo zjištěna i jeho nákladnost. Efektivní systémy se 7 nebo 8 přepážkami jsou velmi rozdílné. Systém s 9 přepážkami je naopak nevýhodný, z důvodu jeho nákladnosti a již dříve vypočtené hodnoty intenzity provozu, a pohybuje na hranici doporučené hodnoty.

<sup>34</sup> ŠUBRT, T. a kol., *Ekonomicko-matematické metody*, s. 335

#### 4.2.5 Simulační model

Pro vytvoření simulačního programu je nutné vytvořit vstupní data, která vycházejí ze zadání. Tedy interval vstupů se střední hodnotou 2,5 min a doba obsluhy se střední hodnotou 20 min. Pro sestavení modelu byl využit program MS Excel spolu s funkcí generování náhodných čísel.

Náhodná čísla byla upravena, aby odpovídala zadaným požadavkům, a to tak, aby byla ve formě časových údajů, se kterými se dále pracovalo.

Reálná náhodná čísla jsou popsána pouze výčtem celé posloupnosti. Reálná náhodná čísla nelze popsat vzorcem, ani je nelze komprimovat. Při generaci náhodných čísel počítači je využíváno deterministických algoritmů, takto generována čísla jsou považována za pseudonáhodná. Pseudonáhodná čísla musí splňovat následující podmínky:<sup>35</sup>

- dobré statistické vlastnosti výstupních čísel;
- vhodná a dostatečná perioda – vhodná perioda opakování je  $2^{128}$ ;
- opakovatelnost – musí být možnost opakování;
- nízká náročnost na paměť počítače – posloupnost by měla být dostatečně obsáhlá, ale i nenáročná na množství uložených dat;
- generátor čísel by měl být univerzální pro vytvoření stejných pseudonáhodných čísel na různých počítačích.

#### 4.2.6 Tvorba tabulky pro simulovaný model za použití pseudonáhodných čísel

Pro generování pseudonáhodných čísel byl použit program MS Excel. Náhodná čísla byla upravena na celá čísla se střední hodnotou odpovídající zadání, a také byla upravena pro maximální rozsah systému odpovídající jednomu pracovnímu dni úřadu.

Byla vytvořena tabulka pro simulaci systému, v které byly použity získané časové údaje. Zároveň byl v tabulce vytvořen následující seznam sloupců:

- Pořadové číslo zákazníka,
- Čas příchodu do systému – čas příchodu prvního, příchod dalšího klienta nastal v součtu času příchodu prvního klienta a vygenerovaného pseudonáhodného čísla,

---

<sup>35</sup> BOTCHKAREV, A., A sssessing Excel VBA Suitability for Monte Carlo Simulation

- Doba trvání obsluhy – vygenerované pseudonáhodné číslo se střední hodnotou vycházející ze zadání,
- Přiřazená přepážka – na základě podmínek funkce byly k jednotlivým klientům přerazena přepážka,
- Čas příchodu k přepážce a čas ukončení obsluhy,
- Doba čekání ve frontě.

Na základě vnoření funkcí (KDYŽ) byl vytvořen požadovaný simulovaný model pro 7 a 8 přepážek systému. Bylo nutné zajistit, aby klient po příchodu do systému buď ihned přistoupil k obsluze, nebo aby začal čekat na uvolnění přepážky, která se uvolní první. Také bylo nutné vytvořit funkci pro výpočet začátku a konce obsluhy simulovaného systému.

**Tabulka 8 Simulační model pro 7 přepážek**

PČ	IV	DO	VP	1Z	1K	2Z	2K	3Z	3K	4Z	4K	5Z	5K	DČ	NP
1	0:00:25	0:22:39	1	0:00:25	0:23:04									0:00:00	0:02:04
2	0:05:57	0:25:29	2			0:05:57	0:31:26							0:00:00	0:05:57
3	0:08:56	0:13:09	3					0:08:56	0:22:05					0:00:00	0:00:00
4	0:11:55	0:18:53	4							0:11:55	0:30:48			0:00:00	0:02:59
5	0:14:52	0:20:15	5									0:14:52	0:35:07	0:00:00	0:00:00
<b>Další kroky simulace viz externí příloha Simulace 7.1</b>															
PČ	IV	DO	VP	1Z	1K	2Z	2K	3Z	3K	4Z	4K	5Z	5K	DČ	NP
1	0:00:41	0:04:03	1	0:00:41	0:04:43									0:00:00	0:03:23
2	0:02:31	0:24:17	2			0:02:31	0:26:49							0:00:00	0:02:31
3	0:04:45	0:10:58	3					0:04:45	0:15:42					0:00:00	0:00:00
4	0:04:49	0:33:07	4							0:04:49	0:37:56			0:00:00	0:00:04
5	0:08:06	0:25:04	5									0:08:06	0:33:09	0:00:00	0:00:00
<b>Další kroky simulace viz externí příloha Simulace 7.2</b>															
PČ	IV	DO	VP	1Z	1K	2Z	2K	3Z	3K	4Z	4K	5Z	5K	DČ	NP
1	0:00:41	0:36:43	1	0:00:41	0:37:23									0:00:00	0:00:00
2	0:02:31	0:05:59	2			0:02:31	0:08:30							0:00:00	0:02:31
3	0:04:45	0:20:54	3					0:04:45	0:25:38					0:00:00	0:04:45
4	0:04:49	0:11:09	4							0:04:49	0:15:58			0:00:00	0:04:49
5	0:08:06	0:25:51	5									0:08:06	0:33:57	0:00:00	0:08:06
<b>Další kroky simulace viz externí příloha Simulace 7.3</b>															

**Tabulka 9 Průměrné výsledky jednotlivých simulací pro 7 přepážek**

Simulace	DO	DČ	NP
7.1	20:00	13:40	0:58
7.2	22:10	18:57	1:05
7.3	20:15	9:51	1:09
Celkový průměr	20:48	14:09	1:04

(IV-interval vstupu; DO-doba obsluhy; VP-volba přepážky; \*Z-začátek obsluhy přepážky; \*K-konec obsluhy přepážky; DČ-doba čekání; DS-doba v systému; NP-nevyužitá přepážka; č-čeká)

**Tabulka 10 Simulační model pro 8 přepážek**

PČ	IV	DO	VP	1Z	1K	2Z	2K	3Z	3K	4Z	4K	5Z	5K	DČ	NP
1	0:00:11	0:08:38	1	0:00:11	0:08:48									0:00:00	0:01:16
2	0:00:41	0:34:29	2			0:00:41	0:35:09							0:00:00	0:00:41
3	0:04:26	0:00:09	3					0:04:26	0:04:35					0:00:00	0:04:26
4	0:05:16	0:20:48	4							0:05:16	0:26:05			0:00:00	0:05:16
5	0:06:07	0:26:12	5									0:06:07	0:32:19	0:00:00	0:06:07
<b>Další kroky simulace viz externí příloha Simulace 8.1</b>															
PČ	IV	DO	VP	1Z	1K	2Z	2K	3Z	3K	4Z	4K	5Z	5K	DČ	NP
1	0:03:49	0:23:40	1	0:03:49	0:27:29									0:00:00	0:26:46
2	0:07:29	0:37:21	2			0:07:29	0:44:50							0:00:00	0:07:29
3	0:07:45	0:21:21	3					0:07:45	0:29:06					0:00:00	0:07:45
4	0:08:20	0:33:49	4							0:08:20	0:42:09			0:00:00	0:08:20
5	0:10:57	0:16:02	5									0:10:57	0:26:59	0:00:00	0:10:57
<b>Další kroky simulace viz externí příloha Simulace 8.2</b>															
PČ	IV	DO	VP	1Z	1K	2Z	2K	3Z	3K	4Z	4K	5Z	5K	DČ	NP
1	0:02:55	0:05:27	1	0:02:55	0:08:22									0:00:00	0:20:25
2	0:07:43	0:02:55	2			0:07:43	0:10:38							0:00:00	0:07:43
3	0:09:35	0:34:43	3					0:09:35	0:44:19					0:00:00	0:09:35
4	0:10:25	0:11:26	4							0:10:25	0:21:51			0:00:00	0:10:25
5	0:10:54	0:11:32	5									0:10:54	0:22:26	0:00:00	0:10:54
<b>Další kroky simulace viz externí příloha 8.6 Simulace 8.3</b>															

**Tabulka 11 Průměrné výsledky jednotlivých simulací pro 8 přepážek**

Simulace	DO	DČ	NP
8.1	22:26	8:31	4:35
8.2	19:36	1:17	6:31
8.3	20:05	4:25	4:39
Celkový průměr	20:42	4:44	5:15

(IV-interval vstupu; DO-doba obsluhy; VP-volba přepážky; \*Z-začátek obsluhy přepážky; \*K-konec obsluhy přepážky; DČ-doba čekání; DS-doba v systému; NP-nevyužitá přepážka; č-čeká)

System byl vytvořen pro stejný časový úsek a to na 1 den. Čas pro ukončení všech úkonů je pro oba simulované systémy stejný, a to pro možnost porovnání obou systémů. V tabulce 8 je částečně zobrazena simulace se 7 přepážkami, pro tuto simulaci byly vytvořeny 3 sady pseudonáhodných čísel, která simulují reálnou situaci na pobočce Registru vozidel. Tabulka 9 obsahuje průměry doby obsluhy, doby čekání a doby kdy nebyly přepážky obsazeny. Z těchto průměrů byl vytvořen konečný průměr pro simulaci 7 přepážek. Který bude porovnán s reálným modelem. Reálný model byl vytvořen ze vstupních dat v programu MS Excel. Tento systém je k nahlédnutí v externí příloze s názvem Reálný model. Tabulka 10 obsahuje stejné údaje jako tabulka 8, jen je upravena pro 8 přepážek. Tabulka 11 obsahuje průměry ze 3 simulací modelu s 8 přepážkami.

## 5 Výsledky a diskuse

### 5.1 Porovnání simulací s reálným modelem

Při porovnání obou simulovaných modelů pro pobočku Registru vozidel, tedy model se 7 přepážkami a model s 8 přepážkami, byly zjištěné výsledky viz tabulka 8 a 10. Do zvolených modelů byla spuštěna simulace náhodného vstupu pomocí pseudonáhodných čísel. V případě simulace 7 přepážek byla doba čekání klienta po vstupu do systému průměrně 18:36 min, při zkoumání simulace s 8 přepážkami klesla doba čekání na 5:22 min. Při simulaci 7 přepážek byla doba po kterou nebyly přepážky využity průměrně 1:40 min, při 8 přepážkách stoupla tato doba na 5:39 min. Doba obsluhy obou systému zůstává stejná. Obě simulace byly spuštěny každá na 182 vstupů odpovídajících jednomu dni v reálném modelu. Simulace byly opakovány 3krát po sobě.

**Tabulka 12 Porovnání simulovaných modelů s reálným modelem**

<b>systém</b>	<b>DO</b>	<b>DČ</b>	<b>NP</b>
Simulace pro 7 přepážek	20:47	18:36	1:40
Simulace pro 8 přepážek	20:46	5:22	5:39
Reálný systém	21:00	6:40	2:16

Z porovnání je patrná podobnost mezi reálným a simulovaným modelem pro 7 přepážek, a to dobou kdy jsou přepážky nevyužity. Je tedy na zvážení, zda snížit dobu čekání klientů na odbavení obsluhou a zároveň zvýšit dobu po kterou jsou přepážky nevyužity, nebo nechat klienty déle čekat a snížit dobu nečinnosti přepážek.

V tabulce 12 je znázorněné srovnání průměru obou simulací s reálným systémem. Porovnáním obou simulovaných systému je patrná výhodnost systému s 8 přepážkami, jelikož doba čekání je 3krát nižší než u systému ze 7 přepážkami. Nevýhoda systému s 8 přepážkami spočívá v delší době nevyužití přepážek, která je oproti systému se 7 přepážkami dvojnásobná. Pokud do porovnání zahrneme i vliv nákladů z kapitoly 4.2.4 je tedy jasná výhodnost systému s 8 přepážkami. Navýšení přepážek přinese do systému rychlejší odbavování a snížení doby, po kterou klienti čekají ve frontě. Zároveň se rapidně sníží náklady na provoz systému. Pro zrychlení systému je tedy doporučeno zvýšení počtu přepážek na 8.



## 6 Závěr

Hlavní cíl práce spočíval ve vytvoření modelu hromadné obsluhy odpovídající reálné situaci na Registru vozidel pro Prahu – Jarov. Pro vytvoření tohoto modelu byla využita data z Registru vozidel a za pomoci analytických výpočtů byl tento systém sestaven.

Pro správné zpracování modelu bylo nutno nastudovat potřebnou problematiku v odborné literatuře. Ta byla následně popsána v teoretické části práce.

Vytvořený systém byl sestaven na základě daných požadavků na množství kanálů, které jsou na vybrané pobočce paralelní a je na nich poskytována stejná obsluha pro všechny klienty. Také byly porovnány náklady na tento systém a jejich možná změna při navýšení počtu klientů.

Dalším krokem práce bylo vytvoření simulačních modelů, které představovali situaci na pobočce při 7 a 8 přepážkách. Na pobočce Registru vozidel je k dispozici 9 přepážek, a tak bylo nutné zvážit výběr mezi systémy s 1 až 9 přepážkami. Systém do 6 otevřených přepážek byl z důvodů nevýhodnosti zamítnut i systém s 9 přepážkami, jelikož nebyl dostatečně využíván, o tomto systému by bylo možné uvažovat v případě výrazného zvýšení počtu klientů.

V simulovaných systémech byl využit generátor náhodných čísel, díky kterému bylo možné několikrát spustit simulaci příchodu klientů do systému. Generátor náhodných čísel byl také využit pro určení doby obsluhy jednotlivých klientů. Takto upravené systémy byly spuštěny 3krát po sobě, aby získané výsledky byly co nejobjektivnější.

Pro porovnání obou systémů se vytvořené modely staly velmi užitečnými a na jejich základě byl systém s 8 přepážkami doporučen pro jeho rychlejší a hladší chod a zároveň byl méně nákladný. Systém se 7 přepážkami byl zamítnut pro jeho pomalejší a horší průchodnost, zároveň byl tento model nákladnější než model s 8 přepážkami.

## 7 Seznam použitých zdrojů

DUDORKIN, Jiří. *Operační výzkum*. Vyd. 3. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1997. ISBN 80-01-01571-8.

BROŽOVÁ, Helena, Milan HOUŠKA a Tomáš ŠUBRT. *Modely pro vícekriteriální rozhodování*. 1. vyd. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, Provozně ekonomická fakulta, 2014. ISBN 978-80-213-1019-3.

DÖMEOVÁ, Ludmila a Martina BERÁNKOVÁ. *Systémy hromadné obsluhy I*. Vyd. 1. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, Provozně ekonomická fakulta, 2004. ISBN 80-213-1193-2.

HOLOUBEK, Josef. *Ekonomicko-matematické metody*. Vyd. 1. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2006. ISBN 80-7157-970-X.

JABLONSKÝ, Josef. *Operační výzkum: kvantitativní modely pro ekonomické rozhodování*. 3. vyd. Praha: Professional Publishing, 2007. ISBN 978-80-86946-44-3.

ŠUBRT, Tomáš. *Ekonomicko-matematické metody*. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2011. ISBN 978-80-7380-345-2.

FÁBRY, Jan. *Matematické modelování*. 1. vyd., Praha: Oeconomica, 2007. 146 s. ISBN 978-80-245-1266-2

GROS, Ivan. *Kvantitativní metody v manažerském rozhodování*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 2003. 432 s. ISBN 80-247-0421-8.

MYERSON, Roger B. *Game theory: analysis of conflict*. Issue 2. London: Harvard University Press, 1997. 600 s. ISBN 0-674-34116-3.

ŠEDA, Miloš. *Modely hromadné obsluhy*. *Acta Logistica Moravica* [online]. 2011, 2011(2),18 [cit. 2019-03-11]. ISSN 1804- 8315. Dostupné z:

[http://web2.vslg.cz/fotogalerie/acta\\_logistica/2011/2\\_cislo/3\\_seda.pdf](http://web2.vslg.cz/fotogalerie/acta_logistica/2011/2_cislo/3_seda.pdf)

Ministerstvo dopravy ČR - Registr vozidel. Ministerstvo dopravy ČR – Domovská stránka [online]. Copyright © 2019 Ministerstvo dopravy ČR [cit. 1.03.2019]. Dostupné z: <https://www.mdcz.cz/Zivotni-situace/Registr-vozidel/Zapis-silnicniho-vozidla-do-registru-silnicnich-vo>

Statistika registru silničních vozidel v hl. m. Praze (Portál hlavního města Prahy). 301 Moved Permanently [online]. Copyright © 2017 [cit. 1.03.2019]. Dostupné z: [http://www.praha.eu/jnp/cz/doprava/automobilova/statistiky\\_ridicu\\_a\\_vozidel/statistika\\_registru\\_silnicnich\\_vozidel/index.html](http://www.praha.eu/jnp/cz/doprava/automobilova/statistiky_ridicu_a_vozidel/statistika_registru_silnicnich_vozidel/index.html)

## 8 Přílohy

Pro datovou obsáhlost byly přílohy umístěny na CD a vloženy na zadní straně práce.

Seznam příloh:

- Simulace 7.1
- Simulace 7.2
- Simulace 7.3
- Simulace 8.1
- Simulace 8.2
- Simulace 8.3
- Reálný model