Česká zemědělská univerzita v Praze

Provozně ekonomická fakulta

Katedra systémového inženýrství

Bakalářská práce

Analýza provozu infocentra

Petr Svoboda

© 2023 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Provozně ekonomická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Petr Svoboda

Informatika

Název práce

Analýza provozu infocentra

Název anglicky

Analysis of service in information center

Cíle práce

Cílem bakalářské práce je provést analýzu provozu konkrétního vybraného infocentra, zjistit jeho vytíženost v běžném a kritickém období a obě tato období porovnat.

Metodika

-nastudování odborné literatury

-sběr potřebných dat v daném infocentru

-zpracování dat

-analýza současného provozu pomocí metod teorie hromadné obsluhy

-interpretace výsledků analýzy

-návrh možného efektivnějšího řešení provozu

Doporučený rozsah práce

30-40 stran

Klíčová slova

Infocentrum, teorie front, obslužné místo, intenzita provozu

Doporučené zdroje informací

GROS, I. *Kvantitativní metody v manažerském rozhodování.* Praha: Grada, 2003. ISBN 80-247-0421-8.

JABLONSKÝ, J. *Operační výzkum : kvantitativní modely pro ekonomické rozhodování.* Praha: Professional Publishing, 2004. ISBN 80-86419-42-8.

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

Předběžný termín obhajoby

2022/23 LS – PEF

Vedoucí práce

doc. Ing. Igor Krejčí, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra systémového inženýrství

Elektronicky schváleno dne 16. 11. 2022

doc. Ing. Tomáš Šubrt, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 30. 11. 2022

doc. Ing. Tomáš Šubrt, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 12. 03. 2023

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci Analýza provozu infocentra jsem vypracoval(a) 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 autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 15.3.2023 _____

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Igoru Krejčímu, Ph.D., za odborné vedení a konzultace při zpracování práce.

Analýza provozu infocentra

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá teorií front a využitím jejích modelů při analýze provozu infocentra. Cílem této práce je zjistit vytíženost daného infocentra ve dvou různých obdobích s odlišnou vytížeností, tato období porovnat, identifikovat slabá místa v současném provozu infocentra a navrhnout dílčí opatření, která by měla vést ke zefektivnění provozu.

Práce je rozdělena na dvě části. V první části je obsažen stručný popis infocentra, popis systémů hromadné obsluhy a charakterizace modelu hromadné obsluhy, který je využit v druhé části této práce.

Druhá část této práce obsahuje porovnání provozních charakteristik obou porovnávaných obdobích, dále tato část práce obsahuje návrh několika opatření pro zvýšení efektivity provozu infocentra a vyhodnocení potenciálních přínosů těchto opatření.

Klíčová slova

infocentrum, teorie front, obslužné místo, intenzita provozu

Analysis of service in information center

Abstract

This bachelor's thesis deals with queueing theory and the use of its models in the analysis of visitor centres operation. The aim of this thesis is to determine the utilization of a given visitor centre's servers in two different time periods and compare them. The thesis' next aim is to identify operation weaknesses and propose measures that should lead to more efficient operation of the visitor centre.

This thesis consists of two sections. The first part contains a brief description of the info centre, a description of the mass service systems and a characterisation of the mass service model used in the second part of this thesis.

The second section of this thesis consists of a comparison of the visitor centres operational characteristics of the two time periods and the operation efficiency improving proposals. These proposals are also evaluated by gains of their potential implementation in this section.

Keywords: info center, queuing theory, server, utilization factor

Obsah

1 Úvod **11**

2 Cíle práce **12**

3 Metodika **12**

4 Teoretická část **13**

4.1 Systém hromadné obsluhy 13

4.1.1 Definice a cíle 13

4.2 Základní pojmy systémů hromadné obsluhy 13

4.2.1 Zákazník 13

4.2.2 Obslužný kanál 14

4.2.3 Obsluha 14

4.2.4 Zdroj požadavků 14

4.2.5 Vstupní a výstupní proud požadavků 14

4.2.6 Fronta 15

4.2.7 Přehled základních proměnných v modelech hromadné obsluhy 16

4.3 Klasifikace systémů hromadné obsluhy 17

4.4 Exponenciální model s paralelně uspořádanými obslužnými kanály (M/M/c) 18

5 Praktická část **21**

5.1 Služby poskytované infocentrem 21

5.2 Infocentrum Anděl 21

5.3 Potřebná data 22

5.4 Vyhodnocení výstupů 23

5.5 Varianty úprav provozu infocentra 23

5.6 Porovnání počtu transakcí v obou měsících 25

5.7 Vyhodnocení měsíce března 27

5.7.1 Vyhodnocení provozu v pracovní dnech 28

5.7.2 Vyhodnocení víkendového provozu 30

5.8 Vyhodnocení měsíce září 32

5.8.1 Vyhodnocení provozu v pracovní dnech 33

5.8.2 Vyhodnocení víkendového provozu 38

6 Závěr **44**

7 Seznam použitých zdrojů **46**

8 Seznam obrázků, tabulek, grafů a zkratek 47
8.1 Seznam tabulek 47
8.2 Seznam grafů 48

1 Úvod

Dopravní podnik hlavního města Prahy patří mezi nejvýznamnější dopravce provozující městskou hromadnou dopravu v České republice, zajišťuje přepravu osob na celém území našeho hlavního města a v menší míře i v přilehlých regionech. Dopravní podnik je akciovou společností a jeho jediným vlastníkem se 100 % podílem je hlavní město Praha. Je tak jednou z největších městských společností v České republice. Tento městský podnik měl k 31. 12. 2021 10 996 zaměstnanců, a v jeho současné formě byl založen v roce 1991. (Dopravní podnik hl. m. Prahy, 2022)

Dopravní podnik provozuje metro, tramvaje, autobusy, trolejbusy a lanovou dráhu. Na rozdíl od řady jiných dopravců se dopravní podnik kromě samotného provozování dopravy zabývá i správou a rozvojem infrastruktury, potřebné k provozu metra, tramvají, trolejbusů a lanové dráhy na Petříně. Dále se dopravní podnik věnuje opravárenství a poskytování souvisejících služeb cestujícím. (Dopravní podnik hl. m. Prahy, 2022)

Informační centra dopravního podniku nabízí poměrně široký rozsah služeb. Mezi nabízené služby patří komplexní poradenství v oblasti provozu a tarifu Pražské integrované dopravy, distribuce informačních materiálů, týkajících se dopravy a turismu v Praze, příjem podnětů cestujících, prodej jednotlivých i dlouhodobých jízdních dokladů, příjem žádostí o čipové karty Lítačka a prodej upomínkových předmětů, zejména s tématikou pražské hromadné dopravy. (Dopravní podnik hl. m. Prahy, 2022)

Aby nedocházelo k tomu, že zákazníci budou odcházet nespokojeni kvůli dlouhému čekání na obsluhu si tato práce dává za cíl zjistit vytíženost infocentra ve dvou obdobích a tato období porovnat. Jedná se o období s nižší návštěvností a hektické období. Dalšími cíli práce jsou zjištění dopadu přechodu celého systému integrované dopravy pouze k elektronickému dlouhodobému jízdnému na vytíženost infocentra a návrh úpravy provozu a služeb infocentra tak, aby došlo k omezení tvorby front v hektických obdobích.

2 Cíle práce

Cílem této práce je analyzovat, zhodnotit a porovnat míru vytížení infocentra ve dvou obdobích, v období se zvýšeným vytížením a v málo vytíženém období.

Mezi dílčí cíle této práce patří vyhodnotit, zda je možné v současných prostorách infocentra dosáhnout v období s nejvyšší úrovní vytížení takové intenzity provozu, která nevede k tvorbě dlouhých front. Současné prostory infocentra neumožňují otevřít více než dvě přepážky, a proto se bude tato práce zabývat pouze dílčími opatřeními vedoucími ke zvýšení intenzity obsluhy, bez nutnosti otevírat více než dvě přepážky zároveň.

Specifickým cílem této práce je vyhodnotit dopady potenciálního úplného přechodu na elektronické dlouhodobé jízdné a zrušení papírových jízdních dokladů v celém systému Pražské integrované dopravy na vytíženost infocentra.

3 Metodika

K naplněních těchto cílů bylo zapotřebí se seznámit s metodami, které jsou využity v praktické části této práce. Potřebné vědomosti o těchto metodách byly získány nastudováním odborné literatury.

Pro výpočty v této práci a analýzu provozu bylo potřeba získat nezbytná data. Část dat byla poskytnuta dopravním podnikem z pokladního systému, zbývající část potřebných dat byla získána vlastním opakovaným měřením.

K analýze získaných dat bylo využito metod teorie hromadné obsluhy, v této práci bylo využito modelu M/M/c. Provedením výpočtů nad získanými daty byly získány nezbytné charakteristiky pro provedení analýzy současného provozu v obou sledovaných obdobích. Následovala interpretace výsledků analýzy, identifikace slabých míst systému, návrh řešení, která by mohla přinést zlepšení fungování celého systému, a vyhodnocení jejich přínosnosti.

Celá tato práce je rozdělena na dvě hlavní části. První, teoretická část popisuje získané poznatky z literární rešerše a druhá, praktická část, využívá získané poznatky v modelové situaci.

4 Teoretická část

4.1 Systém hromadné obsluhy

4.1.1 Definice a cíle

Systém hromadné obsluhy můžeme popsat jako situaci, kdy zákazník přichází do obchodu a ve frontě u pokladny čeká na obsloužení. Následně je obsloužen a odchází. (Gross, 2008)

Termín zákazník je třeba chápat v širším slova smyslu. Zákazník nemusí být pouze člověk, může se jednat o letadlo čekající na vzletové dráze, automobily čekající na výrobní lince na dokončení, nebo pacient čekající na operaci. Pojem zákazník, lze také nahradit slovy jednotka nebo požadavek. (Gross, 2008)

Dále jsou součástí systému hromadné obsluhy také obslužné kanály, které obsluhují požadavky vstupující v průběhu času do systému (Lukáš, 2005). V předcházejícím případě by šlo o pokladny v obchodě.

Teorie front vznikla s cílem vytvořit modely, které by předvídaly chování systémů, které se pokouší obsloužit náhodně příchozí požadavky. Její základy položil dánský matematik A. K. Erlang, podnětem byl rozvoj telefonních ústředen. (Gross, 2008)

Cílem teorie front je analýza systému hromadné obsluhy a jejich optimalizace. Mezi další cíle teorie hromadné obsluhy patří maximalizace zisku prostřednictvím minimalizace prostojů, či minimalizace ztrát, způsobených čekáním zákazníků ve frontě. (Brožová, Houška, 2003)

4.2 Základní pojmy systémů hromadné obsluhy

4.2.1 Zákazník

Zákazník je pasivním prvkem systému, který vyžaduje vyřízení svého požadavku. Dále bývá nazýván jako jednotka nebo požadavek. Důležitou vlastností zákazníka je jeho trpělivost, která rozhoduje o jeho ochotě čekat ve frontě. V situaci, kdy by doba čekání ve frontě přesahovala zákazníkovu míru trpělivosti, zákazník systém opouští bez obsloužení. Jeho požadavky tak zůstávají neobslouženy. (Šubrt, 2011)

4.2.2 **Obslužný kanál**

Obslužný kanál je aktivní prvek v systému hromadné obsluhy. Z pravidla se jedná o osobu, nebo zařízení, které zpracovává požadavky zákazníků. V případě, že může být zákazník obsloužen jakýmkoliv obslužným kanálem, považujeme obslužné kanály systému za homogenní. V opačném případě označujeme obslužné kanály jako nehomogenní. (Šubrt, 2011)

Kanály v systému hromadné obsluhy mohou být uspořádány paralelně, nebo sériově. Při sériovém uspořádání musí požadavek projít více kanálů obsluhy. (Jablonský, 2007)

Přepážky, v této práci sledovaného infocentra, představují homogenní paralelně uspořádané obslužné kanály.

4.2.3 **Obsluha**

Obsluha je činnost, která vede k uspokojení požadavku zákazníka. Pro modelování systémů hromadné obsluhy je nejdůležitějším parametrem obsluhy její intenzita. Intenzita obsluhy je nepřímo úměrná střední době obsluhy. Střední doba obsluhy je označením průměrného času potřebného k vyřízení jednoho požadavku. (Šubrt, 2011)

4.2.4 **Zdroj požadavků**

Zdroj požadavků je množina nositelů požadavků, jejíchž součástí je potenciální zákazník, který vstupuje do systému a chce být obsloužen. Zdroj požadavků může být konečný nebo nekonečný. V případě, že počet obsluhovaných zákazníků a počet zákazníků ve frontě nemá vliv na počet potenciálních zákazníků, je zdroj požadavků označován jako nekonečný. (Šubrt, 2011)

Zdroj požadavků infocentra je považován za nekonečný.

4.2.5 **Vstupní a výstupní proud požadavků**

Vstupní proud je posloupnost okamžiků příchodů zákazníků do systému. Pokud jsou okamžiky vstupu zákazníků do systému deterministické, tak hovoříme o proudu regulárním. V případě že jsou okamžiky vstupu náhodné, se vstupní proud nazývá podle typu rozdělení

pravděpodobností, například Poissonovský, Když nemohou být příchozí požadavky neprodleně obslouženy, řadí se do fronty. (Šubrt, 2011)

Výstupní proud je posloupnost okamžiků výstupu zákazníku ze systému. V systémech se sériovým uspořádáním obslužných kanálů může výstupní proud tvořit vstupní proud pro další obslužný kanál. Vlastnosti výstupního proudu jsou závislé na vlastnostech vstupní proudu a době obsluhy. (Jablonský, 2007)

V infocentru je vstupní proud náhodný.

4.2.6 **Fronta**

Fronta je sled zákazníků v systému čekajících na obsloužení. Zákazníci z fronty přecházejí k obsluze různými způsoby. Způsob, jakým zákazníci přechází z fronty k obsluze udává režim fronty. (Gros, 2003)

Mezi základní režimy fronty patří:

FIFO (first in, first out) je režim fronty při kterém je první obsloužen ten, který jako první vstoupil do systému. Tento režim fronty lze v reálném světě považovat za nejrozšířenější. S tímto režimem fronty se můžeme setkat například v supermarketech nebo v dopravní kongesci. FIFO je i režimem fronty v této práci sledovaném infocentru. (Gros, 2003)

PRI (Priority) je režim fronty, při němž mají některé jednotky prioritu. V praxi bývá tento systém využíván například leteckými společnostmi při nástupu cestujících do letadel, kdy někteří cestující mají předností právo nástupu. (Dömeová, Beránková, 2004)

SIRO (selection in random order) při tomto režimu fronty je přechod jednotek k obsluze v náhodném pořadí (Jablonský, 2007).

LIFO (last in, first out) je režimem fronty, při němž je jako první obsloužena jednotka, která do systému vstoupila poslední (Jablonský, 2007). V tomto režimu fronty tak vzniká jakýsi zásobník požadavků. V praxi se s frontou v tomto režimu můžete setkat například v informatice, při programování.

4.2.7 **Přehled základních proměnných v modelech hromadné obsluhy**

Tabulka 1 - Přehled vybraných proměnných v modelech systémů hromadné obsluhy.

Značka	Název veličiny
μ	Intenzita obsluhy
λ	Intenzita vstupu
c	Počet kanálů obsluhy
ρ	Intenzita provozu celého systému hromadné obsluhy
p_0	Pravděpodobnost, že v systému není žádná jednotka
T	Střední hodnota jednotkou stráveného času v systému
T_q	Střední hodnota jednotkou stráveného času ve frontě
T_s	Střední doba obsluhy
L	Střední počet jednotek v systému
L_q	Střední počet jednotek ve frontě
L_s	Střední počet jednotek ve v kanálech obsluhy

Zdroj: Dömeová, Beránková, 2004, s. 10

Intenzita obsluhy μ udává, kolik požadavků je obslužný kanál schopný vyřídit za jednotku času (Jablonský, 2007). V této práci je vždy počítáno s počtem požadavků za hodinu.

Intenzita obsluhy může být stanovena i pro celý systém. V modelu M/M/c, který je použit v této práci, roste intenzita provozu celého systému s počtem obslužných kanálů lineárně. Jinými slovy, pokud jeden obslužný kanál obslouží 10 požadavků za hodinu, tak tři obslužné kanály obslouží požadavků 30. (Gros, 2003)

Intenzita vstupu λ udává, kolik požadavků vstupuje do systému hromadné obsluhy za určitý časový úsek (Jablonský, 2007). V této práci je určitý časový úsek stanoven vždy jako jedna hodina.

Počet kanálů obsluhy c označuje počet obslužných míst v systému. V každém systému hromadné obsluhy musí být alespoň jeden kanál obsluhy, maximální počet obslužných kanálů není teoreticky nijak omezen. (Šubrt, 2011)

Intenzita provozu celého systému hromadné obsluhy ρ udává průměrné využití všech obslužných kanálů systému. Aby tato veličina neomezeně nerostla je nutné, aby intenzita vstupu λ byla nižší než intenzita obsluhy μ celého systému. (Jablonský, 2007)

Intenzita provozu by se měla pohybovat v intervalu od nuly do jedné. Záporných hodnot nemůže dosahovat, protože v reálném provozu není možné vyřídit záporný počet požadavků. Hodnoty vyšší, než jedna by znamenali, že vytíženost systému přesáhla 100 %. Takové

hodnoty vytíženosti v reálném provozu ani není možné dosáhnout, vedly by k přetížení systému a jeho nevyhnutelnému kolapsu. (Jablonský, 2007)

Pravděpodobnost, že v systému není žádná jednotka p_0 říká, jaká je pravděpodobnost toho, že je systém prázdný a nenachází se v něm žádný požadavek (Jablonský, 2007). V takovém případě je případný příchozí požadavek obsloužen ihned, bez čekání ve frontě.

Střední hodnota jednotkou stráveného času ve frontě T_q udává, jak průměrně dlouhou dobu po vstupu do systému stráví jednotka čekáním ve frontě na to, že bude obsloužena. (Šubrt, 2011)

Střední doba obsluhy T_S vyjadřuje čas, který je obvykle potřeba k vyřízení jednoho požadavku. Tento parametr má přímý vliv na intenzitu obsluhy. (Šubrt, 2011)

4.3 Klasifikace systémů hromadné obsluhy

Systémy hromadné obsluhy lze klasifikovat na bázi specifikace prvků, kterými jsou tvořeny. Jednotná klasifikace systému hromadné obsluhy prvků vytvořil D. G. Kendall. Jeho klasifikace označuje systému pomocí třímístného kódu. Tento kód je tvořen dvěma písmeny a jedním číslem. Je zapisován ve formátu A/B/C, A označuje pravděpodobnostní rozdělení intervalů mezi příchody požadavků do systému, B označuje rozdělení dob obsluhy a C nabývá číselné hodnoty, která udává počet paralelně uspořádaných obslužných kanálů systému (Kořenář, 2010).

Později byla Kendallova stupnice rozšířena o další parametry, čímž vznikla v současnosti obecně používána klasifikace tvořená šesti znaky, které jsou zapisovány ve formátu A/B/C/D/E/F (Dömeová, Beránková, 2004).

A označuje pravděpodobnostní rozdělení intervalů mezi příchody požadavků do systému. Pravděpodobnostní rozdělení může nabývat jednu z následujících hodnot:

- M – Poissonův proces vstupu
- E_k – Erlangovo rozdělení
- D – deterministický vstup
- G –obecný příklad, libovolný typ rozdělení.

B vyjadřuje pravděpodobnostní rozdělení doby obsluhy a může nabývat následující hodnot:

- M – exponenciální rozdělení doby obsluhy
- E_k – Erlangovo rozdělení doby obsluhy
- D – pevná doba obsluhy
- G – jakékoliv rozdělení doby trvání obsluhy

C nabývá číselné hodnoty, která udává počet paralelně uspořádaných obslužných kanálů systému.

D je číselnou hodnotou označující maximální kapacitu systému hromadné obsluhy. Kapacita systému v teorii front označuje maximální počet požadavků přítomných v systému. V případě, že je kapacita systému neomezená, se označuje symbolem ∞, nebo se D vůbec neudává.

E vyjadřuje počet jednotek požadavků v jejich zdroji. Nekonečné zdroje požadavků jsou označovány symbolem ∞, nebo se v takovém případě E vůbec neudává.

F označuje režim fronty, jak je již v této práci popsáno, tak režim fronty může být FIFO, LIFO, PŘI nebo PRI. V případě, že F není udáno, tak se jedná o systém s režimem fronty FIFO. (Jablonský, 2007)

„Někdy se používají pouze první tři symboly a pak to znamená, že režim fronty je FIFO, kapacity systému a zdroj požadavků jsou neomezené.“ (Šubrt, 2011, s. 325)

4.4 Exponenciální model s paralelně uspořádanými obslužnými kanály (M/M/c)

Provoz v infocentru nejlépe odpovídá exponenciálnímu modelu s paralelně uspořádanými obslužnými kanály.

V tomto modelu musí mít systém hromadné obsluhy c paralelních homogenních kanálů obsluhy, musí se jednat o otevřený systém, maximální velikost fronty nesmí být nijak omezena a všechny jednotky ve frontě musí trpělivě čekat na obsloužení. Dále musí být možné popsat jednotlivé intervaly vstupů jednotek do systému exponenciálním rozdělením a fronta musí fungovat v režimu FIFO. (Lukáš, 2005)

Podle Jablonského (2007) je pro výpočet intenzity provozu celého systému jsou potřeba tři parametry. Jedná se o počet paralelních homogenních obslužných kanálů c, který odpovídá

počtu otevřených přepážek v infocentru. Dále jde o intenzitu příchodu jednotek do sytému, data potřebná k výpočtu tohoto parametru byla poskytnut dopravním podnikem a v infocentru představuje průměrný počet příchozích zákazníků v jednotlivých hodinách. Posledním potřebným parametrem je intenzita obsluhy každého z obslužných kanálů systému, tento údaj byl v infocentru získán opakovaným vlastním měřením.

Z těchto tří parametrů je pak potřeba vypočítat následující veličiny:

- Poměr intenzity příchodů jednotek do systému a intenzity obsluhy *r*

$$r = \frac{\lambda}{\mu} \tag{1}$$

$$\rho = \frac{\lambda}{c * \mu} \tag{2}$$

Dle Jablonského (2007) v systémech M/M/C představuje intenzita provozu celého systému ρ průměrné využití všech obslužných kanálů systému hromadné obsluhy. Aby byla zajištěna stabilita systému hromadné obsluhy musí tato veličina nabývat hodnot menších než jedna. Z toho plyne, že intenzita obsluhy celého systému musí být vyšší než intenzita příchodu jednotek do systému, v opačném případě by neomezeně vzrůstala délka fronty a systém by nezvládal obsluhovat příchozí požadavky. V praktickém nasazení musí mít systém rezervu, protože při intenzitě provozu jedna by každý obslužný kanál musel být neustále vytížen minimálně jedním požadavkem (Šubrt, 2011). To by znamenalo, že by u každé přepážky musel být nepřetržitě přítomný alespoň jeden klient a obsluha by pracovala neustále po celou pracovní dobu. To je však v praxi nereálné kvůli nepravidelnosti v příchodu klientů. Proto se pro reálné systémy hromadné obsluhy nedoporučuje, aby intenzita provozu celého systému přesahovala hodnotu 0,8 (Šubrt, 2011).

Intenzita provozu může být vyjádřena i v procentech. V takovém případě je hodnota intenzity obsluhy vynásobena stem a bývá označována jako vytíženost. Například intenzita provozu 0,5 by odpovídala vytíženosti 50 %.

Další nezbytné veličiny a vzorce použité v této práci (Jablonský, 2007, s. 253–254):

$$p_0 = \left[\left(\sum_{k=0}^{c-1} \frac{r^k}{k!}\right) + \frac{c * r^c}{(c-r) * c!}\right]^{-1} \tag{3}$$

- Pravděpodobnost prázdného sytému. Jedná se o stav, při kterém se v systému nenachází žádná jednotka, všechny obslužné kanály čekají na další požadavek a případná příchozí jednotka je bez čekání ihned obsloužena.

$$T_q = \frac{r^c * \mu}{(c-1)! * (c * \mu - \lambda)^2} * p_0 \tag{4}$$

- Průměrná doba strávená jednotkou ve frontě

$$T = \frac{1}{\mu} * T_q \tag{5}$$

- Průměrná doba strávená jednotkou v celém systému.

$$N_q = T_q * \lambda \tag{6}$$

- Střední počet jednotek ve frontě

5 Praktická část

5.1 Služby poskytované infocentrem

V současnosti infocentrum poskytuje poměrně široké spektrum služeb, hlavní a nejvyužívanější službou infocentra je prodej jízdného Pražské integrované dopravy. Infocentrum nabízí kompletní sortiment dlouhodobého, předplatného jízdného a vybrané druhy krátkodobých, jednotlivých jízdenek.

Dlouhodobé jízdní doklady se v současnosti nabízí ve formě papírových kuponů a elektronických záznamů v odbavovacím systému. V infocentrum jsou v současnosti k dostání dlouhodobé jízdní doklady v obou nabízených formách.

Další poskytovanou službou, která je spojena s prodejem jízdného je vystavování průkazů PID a sběr žádostí o čipové karty Lítačka. Mezi další nabízené služby patří poskytování informací o veřejné hromadné dopravě a tarifu PID, distribuce propagačních a informačních materiálů, vystavování zpožděnek či tisk jízdních řádů. Mezi doplňkové služby, které nejsou nutně přímo spojeny s dopravou a zajištěním souvisejících služeb, patří poskytování turistických informací nebo prodej upomínkových a propagačních předmětů, zejména s tématikou pražské hromadné dopravy.

5.2 Infocentrum Anděl

Tato práce se zabývá provozem v infocentru Anděl, které se nachází ve vestibulu stanice metra v Nádražní ulici na Praze 5. Prostory infocentra jsou velmi stísněné, takže jsou pro klienty k dispozici pouze dvě přepážky. Právě z tohoto důvodu se tato práce zabývá zejména tím, jak zvýšit kapacitu obsluhy infocentra, bez nutnosti těžko realizovatelného rozšíření prostor infocentra, které by nutné ke zvýšení počtu přepážek. Kromě přepážek, jsou ve veřejných prostorách infocentra pro klienty k dispozici stojany s informačními materiály a vitrína s omezeným sortimentem upomínkových předmětů.

Provozní doba infocentra je denně od 7 do 21 hodin, v pracovní dny jsou otevřeny obě přepážky po celý čas otevírací doby, o víkendech a státních svátcích je v prvních a posledních dvou hodinách otevírací doby v provozu pouze jedna přepážka.

Ve sledovaném infocentru je zaměstnáno šest přepážkových pracovníků a jeden vedoucí, který se stará o chod infocentra a v případě potřeby může i obsluhovat klienty na přepážce.

V infocentru není instalovaný vyvolávací systém a všichni klienti čekají na obsluhu v jedné společné frontě pro obě přepážky. Obě přepážky nabízí stejný rozsah služeb a nezáleží tak na jaké přepážce je klient obsloužen. Infocentrum lze tedy označit jako systém hromadné obsluhy s homogenními obslužnými kanály.

5.3 Potřebná data

Pro vypracování této práce bylo potřeba získat potřebná data, konkrétně bylo potřeba získat data o počtu a typu provedených transakcí, o časové náročnosti jednotlivých druhů transakcí a počtu přepážek v provozu.

Data o počtu a typu provedených transakcí byla získána z reportů pokladního systému. Reporty za sledovaná období byla poskytnuta dopravním podnikem. Tyto reporty obsahují všechny provedené transakce a velké množství pro tuto práci nepotřebných dat, bylo tak nutné vytěžit pouze podstatné údaje. Konkrétně byla z těchto reportů získána data o počtu klientů v jednotlivé hodiny v pracovní dnech a zvlášť o víkendech a svátcích. Z těchto dat bylo možné určit intenzitu příchodu požadavků λ.

Data o časové náročnosti jednotlivých transakcí musela být, vzhledem k absenci vyvolávacího systému získána vlastní měřením. Data byla získána přímo od přepážkových pracovníků, bylo tak potřeba aby měření nezdržovalo provoz, a proto muselo být co nejjednodušší. Předem byly vytipovány druhy požadavků, u kterých byl předpoklad, že se dobou potřebnou k jejich vyřízení vymykají, a mohou tak mít negativní vliv na provoz infocentra a délku front. Každý pracovník tak zaznamenával pouze čas potřebný k vyřízení požadavku a u některých druhů transakcí i jejich typ. Měření bylo provedeno opakovaně, nepokrylo však celá sledovaná období. V čase potřebném pro provedení transakce je, kromě provedení samotné transakce, zahrnut i příchod a odchod klienta. Ze získaných dat byly vypočítány průměrné hodnoty pro všechny požadavky a zvlášť ještě pro vybrané druhy transakcí. Ze získaných průměrných hodnot byla určena intenzita obsluhy μ.

Posledním potřebným parametrem pro výpočty v této práci je počet obslužných linek, které v tomto případě představuje počet otevřených přepážek. Počty otevřených přepážek jsou pro obě srovnávaná období shodné.

Tabulka 2 - Počet otevřených obslužných míst během otevírací doby.

pracovní dny													
7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
víkendy a státní svátky													
7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21
1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1

Zdroj: vlastní zpracování

5.4 Vyhodnocení výstupů

V této práci je vyhodnocen současný stav provozu infocentra ve dvou, měsíc dlouhých obdobích. Záměrně byly vybrány dva rozdílné měsíce, březen jako období s nižší vytížeností a září jako období s vysokou vytížeností. Vyhodnocen bude také vliv možných úprav provozu infocentra a rozsahu nabízených služeb. Každá z možných variant je vyhodnocena zvlášť pro provoz v pracovní dny a pro víkendový provoz.

5.5 Varianty úprav provozu infocentra

Vzhledem k tomu, že zvýšení počtu obslužných míst v daném infocentru je prakticky vyloučeno, se tato práce zabývá možnostmi, jak lze upravit rozsah služeb, tak aby nedocházelo k přetěžování infocentra a tvorbě dlouhých front.

Ze získaných dat vyplynulo, že mezi časově nejnáročnější služby patří vystavování papírových průkazů PID a sběr žádostí o čipové karty Lítačka. V případě žádostí o čipovou kartu, se navíc ukázalo, že četnost využití této služby je velice nízká. Průměrný čas potřebný pro vystavení průkazu byl 4,94 minuty a pro podání žádosti dokonce rovných 7 minut.

Již před vlastním měřením byl předpoklad, že výroba papírových kuponů a dobití předplatného jízdného do mobilní aplikace, trvá déle než prodej předplatného elektronického kuponu na čipovou kartu. Tyto předpoklady byly nasbíranými daty potvrzeny, rozdíly však nejsou zásadní. Dobití kuponu na čipovou kartu trvá průměrně 1,41 minuty, prodej papírového kuponu 1,61 minuty a prodej elektronického kuponu do mobilní aplikace 2,22 minuty. Prodej papírového kuponu tak trvá průměrně pouze o 12 sekund déle než prodej kuponu elektronického na čipovou kartu. Každý prodej jízdného do mobilní aplikace je průměrně časově náročnější téměř o 50 sekund, četnost tohoto druhu transakce je však oproti přechozím dvěma druhům méně než čtvrtinová.

Tabulka 3 - Tabulka průměrné doby potřebné k vyřízení různých druhů požadavků. (v minutách)

Celkový průměr	Vystavení průkazu PID	vyřízení žádosti o čipovou kartu	prodej kuponu na čipovou kartu	prodej papírového kuponu	prodej kuponu do mobilní aplikace
2,16	4,94	7,00	1,41	1,61	2,22

Zdroj: vlastní zpracování

V této práci bude vyhodnoceno, zda by úprava, či zrušení některých nabízených služeb přineslo zlepšení provozu infocentra. K vyhodnocení byli vybráno hned několik variant, které by měli zvýšit intenzitu obsluhy a tím zvýšit kapacitu infocentra. V současnosti intenzita obsluhy jednoho obslužného místa dosahuje hodnoty 29,20 požadavku za hodinu.

První z variant, která se nabízí je nevystavování průkazů PID. Vystavení průkazu zabere v průměru téměř pět minut a patří tak k časově nejnáročnějším službám. Jedná se o často využívanou službu a dopad na délku front by tak mohl být výrazný. Na druhou stranu by se jednalo o omezení hojně využívané služby, které by klienti určitě nevnímali pozitivně. Jedná se tak spíše o teoretickou variantu. Tato varianta by zvýšila intenzitu obsluhy na 32,01 požadavku za hodinu, to by v praxi znamenalo, že každá otevřená přepážka by mohla obsloužit o tři klienty za hodinu více než v současnosti.

Druhou variantou je zrušení přijmu papírových žádostí o čipové karty Lítačka. Tato služba je časově vůbec nejnáročnější, četnost jejího využití je minimální a její dopad na délku front je tak otázkou. V současnosti jsou k této službě pro klienty k dispozici lepší alternativy, o čemž vypovídá právě nízká četnost jejího využití. Toto opatření by zvýšilo intenzitu obsluhy jen mírně na hodnotu 29,49 požadavku za hodinu.

Třetí varianta by již vyžadovala investici do úpravy software nebo hardware, na druhou stranu by však neomezovala nabídku služeb klientům. Jejím cílem by mělo být zkrácení potřebné doby na prodej elektronického kuponu do mobilní aplikace. V současnosti je takový prodej výrazně pomalejší než prodej kuponů na čipové karty. Tato varianta bude ukazovat jaký dopad na provoz by měl stav, ve kterém by se podařilo dosáhnout toho, že by

průměrná doba potřebná pro prodej kuponu do aplikace byla stejná jako pro prodej na čipovou kartu. Intenzita obsluhy by dosáhla hodnoty 29,84 požadavku za hodinu.

Ve čtvrté variantě se práce zabývá do budoucna pravděpodobným scénářem vývoje prodeje jízdného pro Pražskou integrovanou dopravu — zrušením papírového dlouhodobého jízdného. Tato varianta nenabízí řešení, ale hodnotí dopady v budoucnu pravděpodobné změny v prodeji jízdného v celém systému integrované dopravy na provoz infocentra. Tato změna by znamenala zrušení vystavování papírových průkazů PID a prodeje papírových kuponů. V této práci se pracuje s předpokladem, že klienti, kteří by byli nuceni přejít z papírového jízdného na elektronické, by přešli na čipové karty a mobilní aplikace, a to ve stejném poměru, jako je klienti využívají dnes. Intenzita obsluhy by v tomto případě dosáhla hodnoty 30,44 požadavku za hodinu.

Tabulka 4 - Intenzita obsluhy při různé nabídce služeb.

současný stav	**varianta 1**	**varianta 2**	**varianta 3**	**varianta 4**
29,2014	32,0060	29,4935	29,8423	30,4366
Varianta 1 - nevystavování papírových průkazů PID. Varianta 2 - nepřijímání žádostí o čipové karty. Varianta 3 - optimalizace prodeje kuponů do mobilní aplikace. Varianta 4 - zrušení papírového jízdného.				

Zdroj: vlastní zpracování

Dále bude ještě vyhodnocena možnost rozšíření provozu o jednu přepážku v okrajových hodinách během víkendu. V současnosti je v ranních a večerních hodinách v provozu pouze jedna přepážka. V této variantě tak bude zhodnoceno, zda by bylo přínosné, aby byly i o víkendech v provozu obě přepážky po celou otevírací dobu infocentra.

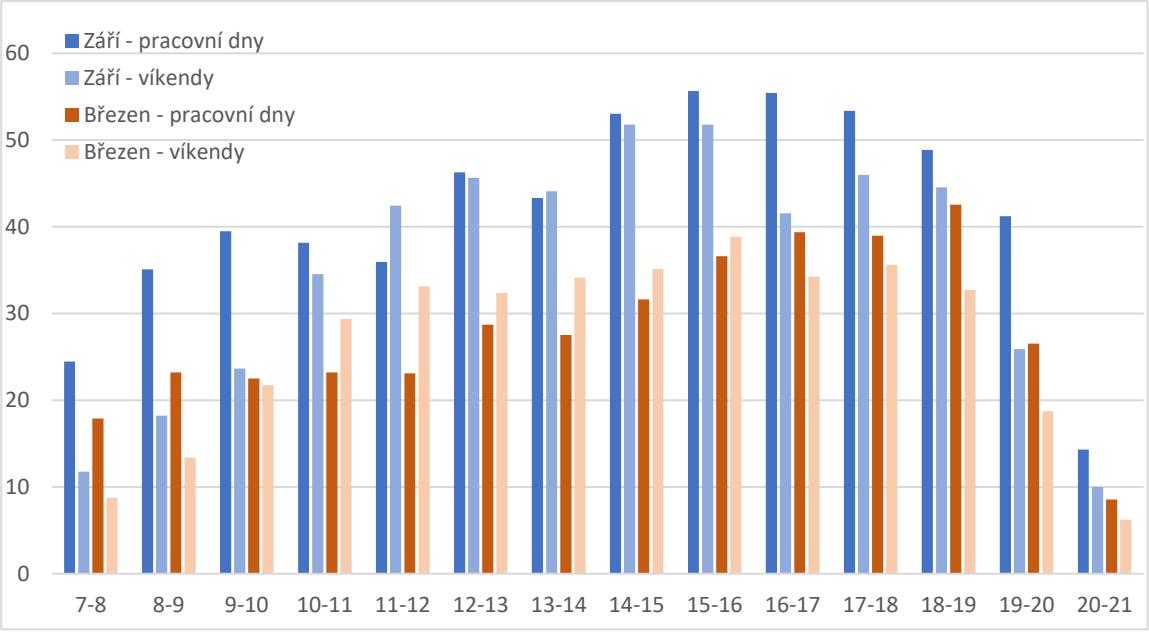
5.6 Porovnání počtu transakcí v obou měsících

Volba měsíce s nižší vytížeností nebyla jednoduchá, protože návštěvnost v prvních měsících roku 2022 byla stále silně ovlivněna různými opatřeními proti šíření nemoci covid-19. Nakonec byl zvolen březen, který i v letech před vypuknutím pandemie, byl měsícem s nižší návštěvností. V březnu neprobíhá hlavní turistická sezóna, ani nejsou žádné významné

svátky a v roce 2022 již byla zrušena většina protiepidemických opatření, která měla přímý vliv na provoz infocentra. Neznamená to však, že by březnová návštěvnost již nebyla vůbec ovlivněna pandemií. Návrat cestujících do veřejné hromadné dopravy i návrat zejména zahraničních turistů byl v letošním roce pozvolný.

Jako rušný měsíc bylo vybráno září. Září je obávaným měsícem, protože v září dobíhá turistická sezona, a navíc bývá infocentrum zatíženo zejména do Prahy nově příchozími studenty. Kromě nově příchozích studentů v průběhu září služeb infocentra hojně využívají i studenti, kteří si pouze chtějí zařídit slevu na jízdné pro nový akademický rok. V letošním roce se navíc, v porovnání s březnem, projevuje i postupný návrat klientů po pandemii covid-19.

Graf 1 – počet provedených transakcí v pokladním systému.



Zdroj: vlastní zpracování

V grafu číslo jedna lze sledovat počet provedených transakcí v jednotlivých hodinách, v obou sledovaných měsících. V tomto grafu jsou započítáni pouze platící klienti, ti klienti, kteří si pouze přijdou pro bezplatné informační materiály, případně přijdou pouze s dotazem a nic si nezakoupí, nejsou v tomto grafu zahrnuti. Z pravidelného sledování návštěvnosti prováděného managementem vyplívá, že takoví klienti navyšují návštěvnost průměrně zhruba o 15 %, oproti datům z pokladního systému. Tato skutečnost byla zohledněna při provádění výpočtů v této práci.

V březnu se počet provedených transakcí za hodinu v pracovní dny pohybuje mezi 7 a 43 transakcemi za hodinu, o víkendech mezi 6 a 39 provedenými transakcemi za hodinu. Mezi 10. a 16. hodinou byla v březnu víkendová návštěvnost vyšší než v pracovní dny. To lze vysvětlit zejména tím, že v březnu bylo v Praze stále málo zahraničních turistů, kteří do Prahy nepřijíždí pouze na víkend. V pracovních dnech se tak výrazněji projevil úbytek turistů. O víkendech služeb infocentra hojně využívají víkendoví návštěvníci Prahy a zahraniční pracovníci žijící v Praze. V pracovních dnech i o víkendech bylo infocentrum nejvytíženější mezi 15. a 18. hodinou, naopak v okrajových hodinách pracovní doby, zejména večer po 20. hodině, byla návštěvnost nízká.

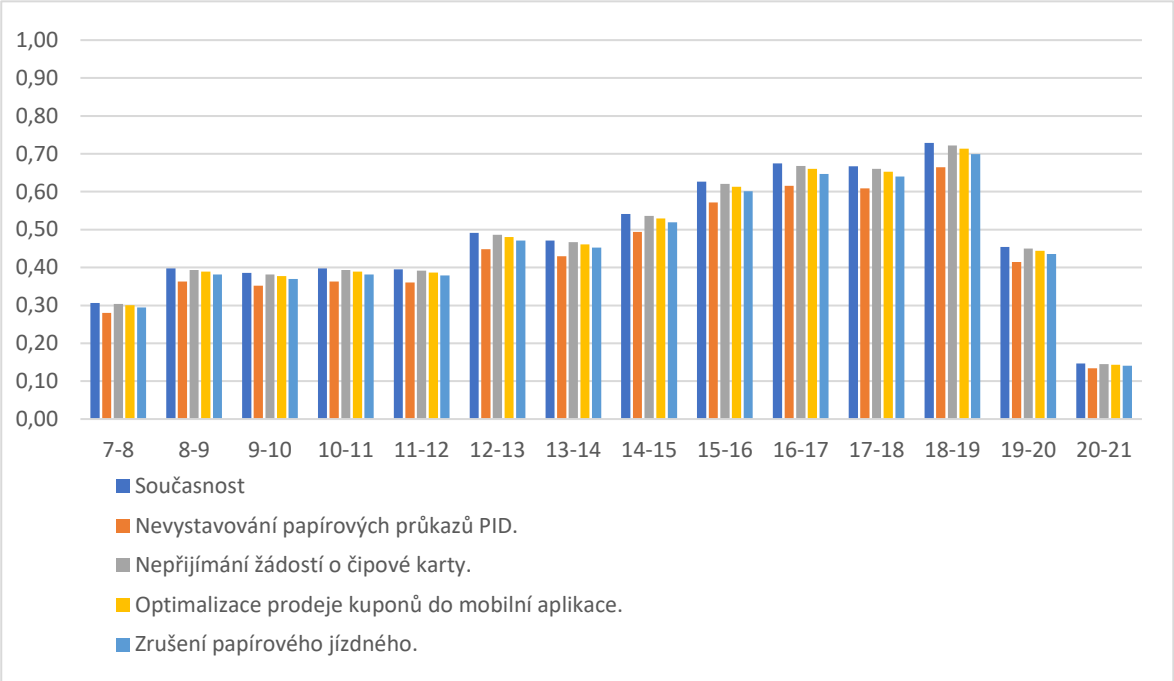
V září je ve srovnání s březnem z grafu patrný výrazný nárůst návštěvnosti. O víkendech byla ve srovnání s březnem denní průměrná návštěvnost o 31,4 % vyšší, v pracovní dny dokonce o 49,8 %. Počet transakcí v jednotlivých hodinách se zvýšil během celého dne, nejméně však večer po 20. hodině, a to jak v pracovních dnech, tak o víkendech. Nejvyšší absolutní transakční rozdíl byl zjištěn mezi 15. a 16. hodinou, kdy došlo k navýšení průměrného počtu transakcí ve srovnání s březnem o 21 v pracovních dnech a o 17 transakcí o víkendech.

5.7 Vyhodnocení měsíce března

Již z počtu provedených transakcí za hodinu lze usuzovat, že vytíženost infocentra nebyla v březnu vysoká. V tomto období by tak žádné úpravy provozu infocentra vedoucí ke zvýšení intenzity obsluhy neměly valný přínos. Vypočtené hodnoty pro navrhované varianty, tak budou sloužit zejména k porovnání přínosů zvýšení intenzity obsluhy v přetíženém systému a v jen lehce zatíženém systému.

5.7.1 Vyhodnocení provozu v pracovní dnech

Graf 2 – Intenzita provozu celého systému pracovních dnech měsíce března.



Zdroj: vlastní zpracování

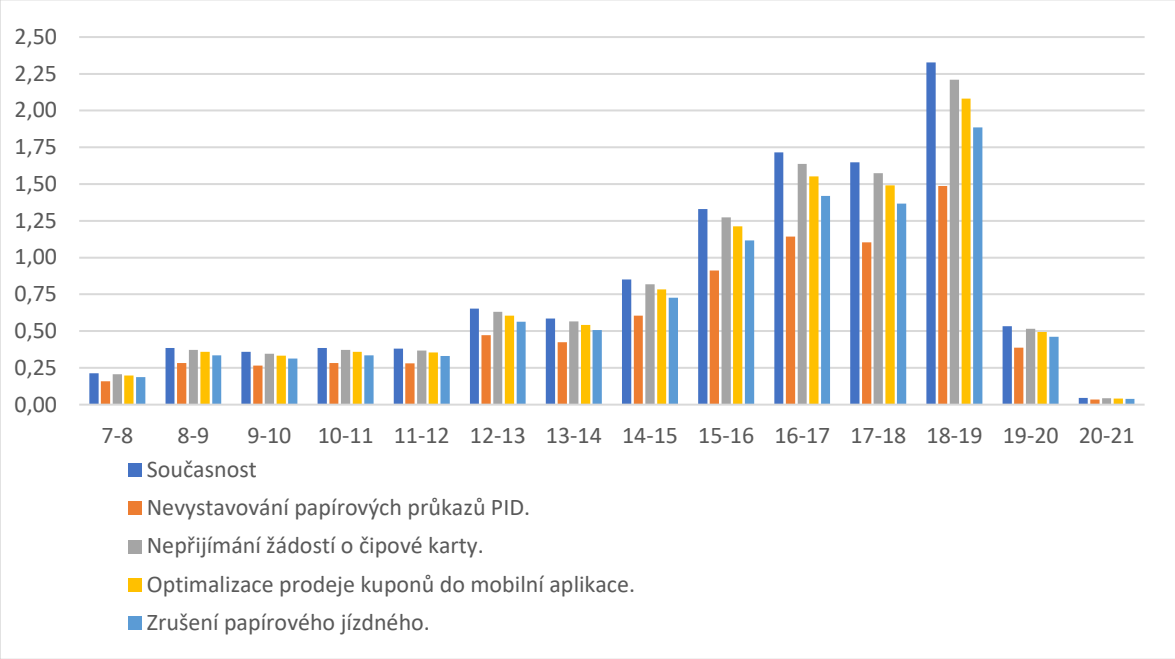
Intenzita provozu celého systému byla v souladu s předpokladem po většinu dne nízká. Poměrně nízká vytíženost systému je patrná zejména ráno a v dopoledních hodinách. Pohybuje se v intervalu od 30 % do 40 %. Při takových hodnotách sice nevznikají téměř žádné fronty a klient tak má vysokou pravděpodobnost, že bude odbaven bez čekání, ale zároveň lze označit takový systém za neefektivní, protože obsluhující zaměstnanci tráví velkou část své pracovní doby čekáním na další požadavek. Při takto nízké návštěvnosti by systém v dopoledních hodinách fungoval i s pouze jednou otevřenou přepážkou. S jednou otevřenou přepážkou by se vytíženost systému ráno a dopoledne pohybovala v rozmezí od 60 do 80 %. Maximální doporučovanou hodnotu intenzity provozu by systém přesáhl až mezi 12. a 13. hodinou. Z toho vyplívá, že v případě, že by se hodnoty návštěvnosti po odeznění pandemie nezvýšily, by bylo možné doporučit uzavřít v ranních a dopoledních hodinách jednu přepážku, což by vedlo ke snížení mzdových nákladů.

Od 12 hodin vytíženost postupně rostla a nejvyšší hodnoty dosáhla mezi 18. a 19. hodinou. Během celého dne však nedošlo k překročení maximální doporučované hodnoty intenzity provozu 0,8.

Z grafu číslo 2 je patrné, že ze čtyř variant úprav provozu má největší dopad na intenzitu provozu celého systému varianta jedna. K největšímu snížení intenzity provozu by došlo mezi 16. a 19. hodinou, v každé hodině v tomto rozmezí by intenzita provozu klesla o 0,6. Ostatní varianty by v březnu přinesly pouze minimální snížení intenzity provozu.

Praktický dopad snížení intenzity provozu lze sledovat na průměrné době, jakou stráví každý klient ve frontě nebo na průměrném počtu klientů ve frontě.

Graf 3 - průměrná doba strávená klientem ve frontě, v pracovních dnech. (min)



Zdroj: vlastní zpracování

Z grafu číslo tři lze vyčíst, že k tvorbě front docházelo pouze v odpoledních hodinách. Průměrná doba čekání klienta ve frontě přesáhla jednu minutu pouze od 15 do 19 hodin. Nejvíce času ve frontě klienti strávili mezi 18. a 19. hodinou, každý průměrně 2,33 minuty. Z těchto hodnot vyplívá, že jakékoliv zvyšování intenzity obsluhy s cílem zkrátit čas strávený klienty ve frontě, by díky ne příliš vysokému vytížení systému nemělo znatelnější přínosy. Pouze varianta jedna by měla zásadnější vliv na průměrný čas strávený klienty ve frontě, a to pouze mezi 15. a 19. hodinou. Od 18 do 19 hodin by varianta jedna přinesla zkrácení průměrné doby strávené klientem ve frontě o 50 sekund, průměrná doba strávená ve frontě by tak byla pouze 1,49 minuty. V březnu by přínos ve formě zkrácení čekací doby ve frontě určitě nepřevážil negativa přinášející zrušení této služby.

Přínos všech ostatních variant by díky nízké vytíženosti infocentra v březnu byl během celého dne zanedbatelný.

5.7.2 Vyhodnocení víkendového provozu

Celková průměrná návštěvnost za celý den byla o víkendech velmi podobná té v pracovních dnech. Z grafu číslo jedna je však patrné, že se výrazně lišil průběh příchodu požadavků do systému během dne. O víkendu není tak výrazná špička návštěvnosti odpoledne a příchod klientů tak byl o víkendech mnohem rovnoměrněji rozdělen v čase, než tomu bylo v pracovních dnech.

O víkendech byla velmi nízká návštěvnost v ranních hodinách do 9 hodin a večer po 19 hodině. Po zbytek dne se pohybovala kolem 35 klientů za hodinu. V pracovních dnech byla návštěvnost v dopoledních hodinách dokonce nižší než ve stejnou dobu o víkendech, odpoledne však následuje nárůst intenzity příchodu požadavků s výraznou špičkou v pozdních odpoledních hodinách.

Z grafu číslo čtyři lze vyčíst, že i přes nerovnoměrnost intenzity vstupu požadavků do systému během dne je intenzita provozu o víkendech vyrovnaná. Vytíženost se téměř během celé pracovní doby pohybovala od 45 % do 67 %, pouze v ranních hodinách a večer po 20. hodině byla nižší.

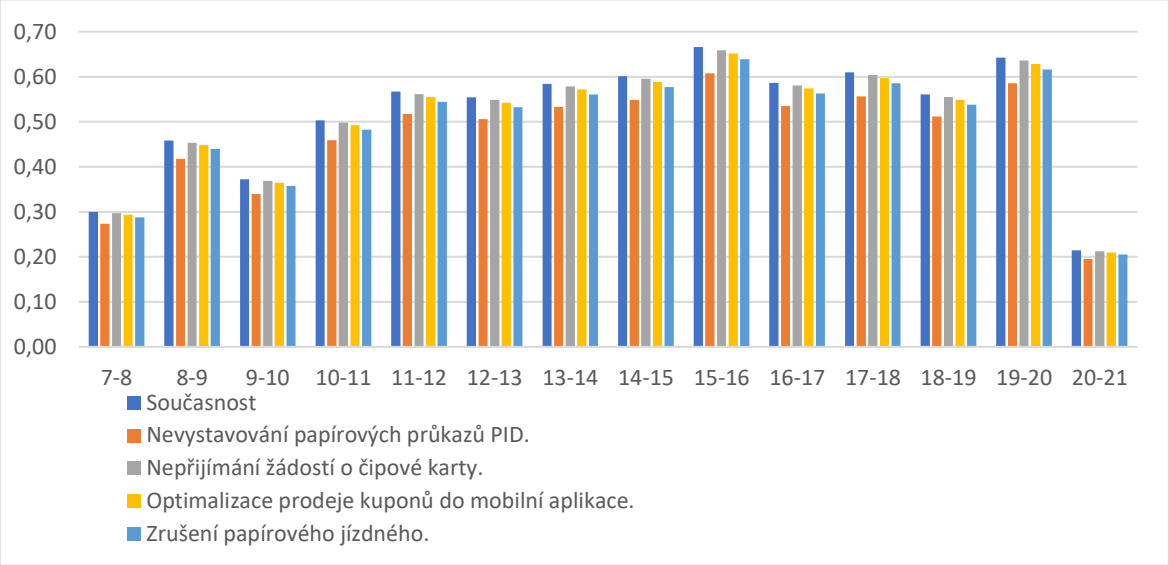
To je způsobeno faktem že ráno, když je intenzita příchodu požadavků nízká, je v provozu pouze jedna přepážka, po 9. hodině ranní, kdy se intenzita vstupu požadavků zvyšuje se otevírá druhá přepážka a vytíženost tak nenabývá příliš vysokých hodnot. Naopak po 19. hodině dochází k poklesu intenzity vstupu požadavků a zároveň k uzavření jedné z přepážek, čímž se snižuje intenzita obsluhy celého systému, následkem čehož se vytíženost systému daří držet v přijatelných mezích.

Otevření druhé přepážky v okrajových hodinách otevírací doby by vedlo k velmi nízké vytíženosti systému a učinilo by systém neefektivním. Naopak provoz pouze jedné přepážky po celý den by ani nebyl možný a vedl by k přetížení systému. Mezi 10. a 20. hodinou by vytížení přesahovalo 100 %, což značí že by došlo k přetížení systému. Ve skutečném provozu ani není možné dosáhnout hodnoty vytížení vyšší než 100 %, pracovník na jedné přepážce by nezvládl odbavit všechny přicházející požadavky a vznikala by tak teoreticky

až nekonečná fronta, systém by tak směřoval ke kolapsu. V praktickém provozu by dlouhá fronta odradila část klientů od vstupu do systému a část požadavků by zůstala neuspokojena.

Z faktů že se úroveň vytíženosti během dne příliš nemění a nenabývá příliš nízkých, či naopak příliš vysokých hodnot lze vyvodit, že počet otevřených přepážek během dne odpovídá vývoji intenzity vstupu požadavků během dne a žádné úpravy počtu otevřených přepážek o víkendech v klidném období nejsou na místě.

Graf 4 – intenzita provozu celého systému o víkendech v březnu.

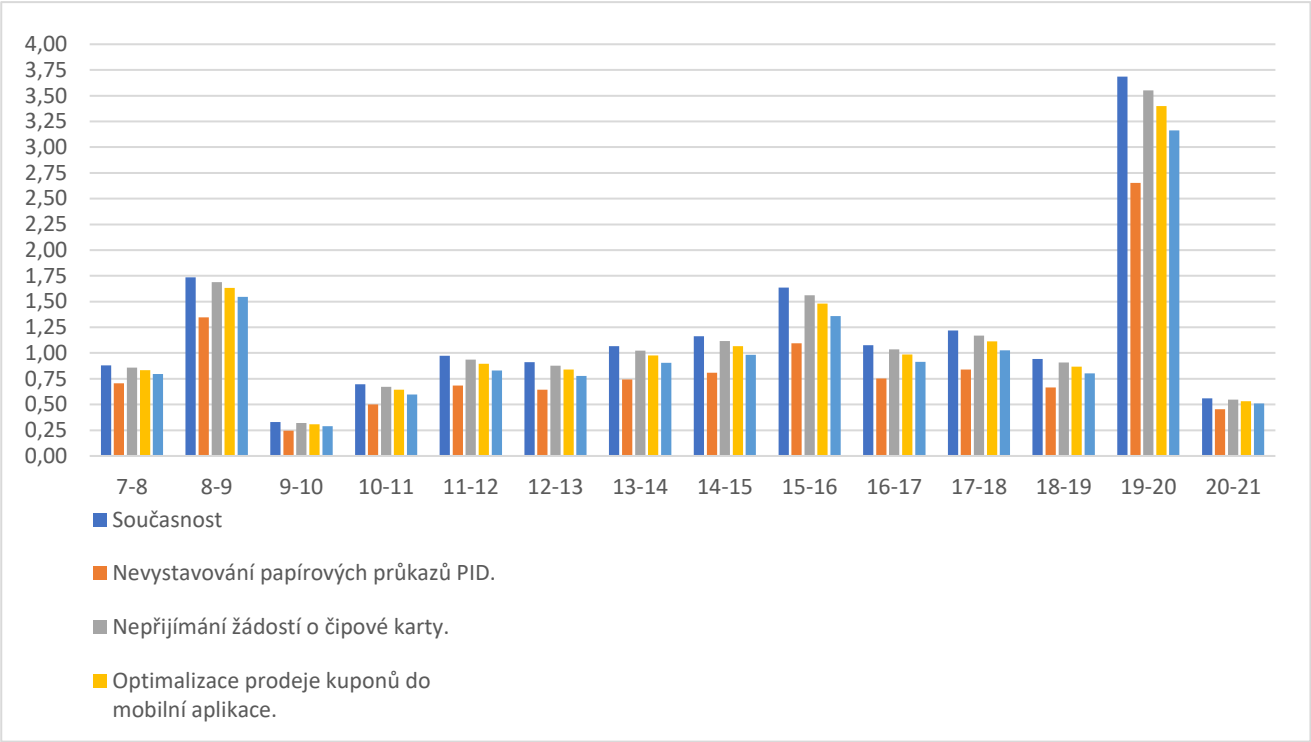


Zdroj: vlastní zpracování

Z grafu číslo pět je zřejmé, že se průměrná délka času stráveném klientem ve frontě po většinu dne pohybovala kolem jedné minuty. Výjimkou bylo období od 19 do 20 hodin, ve kterém průměrná čekací doba ve frontě činila 3,69 minuty. Jednalo se tak o jediný časový úsek během dne, kdy mohla mít opatření zásadnější vliv na délku fronty.

Jedinou variantou, z celkem čtyř posuzovaných variant úprav nabízených služeb, by přinesla ne úplně zanedbatelné zkrácení průměrné čekací doby pouze varianta jedna. Mezi 19. a 20. hodinou by průměrnou čekací dobu ve frontě zkrátila o minutu a dvě sekundy, po zbytek dne by zkrácení fronty bylo zanedbatelné. Lze tak říci, že ani o víkendu by přínosy varianty jedna nepřevážili z ní plynoucí negativum ve formě omezení služeb pro zákazníky.

Graf 5 - průměrná doba strávená klientem ve frontě v březnu o víkendech.



Zdroj: vlastní zpracování

V grafu číslo 5 lze pozorovat, že systém s jedním obslužným místem, je při stejné intenzitě provozu výrazně náchylnější ke tvorbě front než systém s dvěma obslužnými místy. Nejlépe je to možné pozorovat při porovnání období mezi 15. a 16. hodinou s obdobím od 19 do 20 hodin, kdy je intenzita provozu velmi podobná, 0,67, respektive 0,64, ale průměrný čas strávený klientem ve frontě je po 19. hodině více než dvounásobný. Tento jev lze sledovat i v praxi, kdy fronta vzniká zejména ve chvíli, kdy je jediná otevřená přepážka zaneprázdněna požadavkem, jehož vyřízení trvá delší dobu.

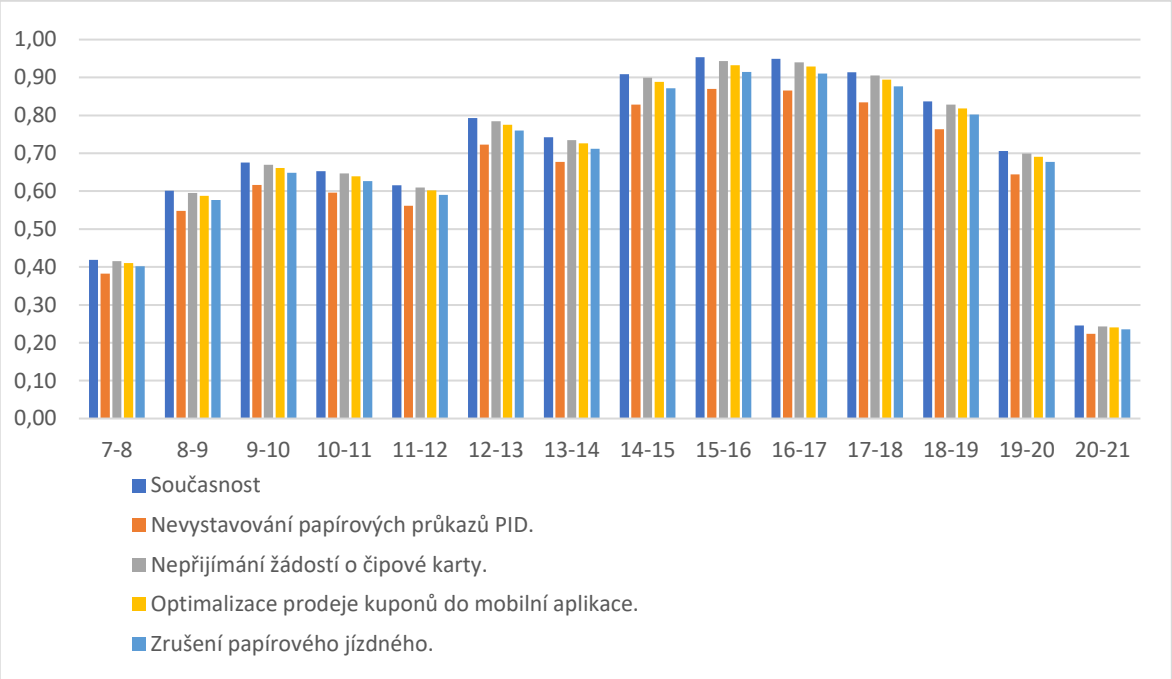
5.8 Vyhodnocení měsíce září

Září patří dlouhodobě k měsícům s nejvyšší návštěvností. Na rozdíl března docházelo k většímu zatížen infocentra a důsledkem toho i ke tvorbě front. V tomto období, tak mají opatření mírně zvyšující intenzitu obsluhy mnohem výraznější efekt. Počet otevřených přepážek během dne je stejný jako v předcházejícím sledovaném období. V infocentru jsou k dispozici pouze dvě přepážky, zvýšením počtu obslužných míst tak lze systém posílit

pouze v okrajové hodiny víkendového provozu, kdy v současnosti bývá jedna z přepážek zavřená.

5.8.1 Vyhodnocení provozu v pracovní dnech

Graf 6 - intenzita provozu celého systému v pracovních dnech v září



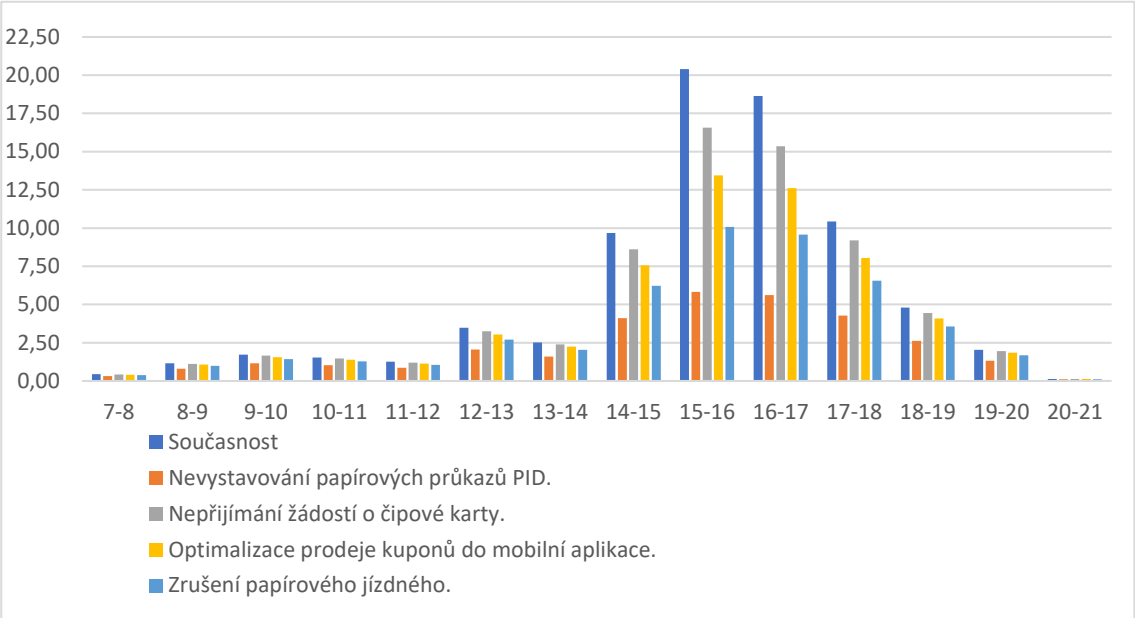
Zdroj: vlastní zpracování

Z grafu číslo 6 je na první pohled patrná vyšší intenzita provozu než v březnu. Pro skutečný provoz je v literární rešerši doporučovaná maximální hodnota intenzity provozu 0,8. Tato hodnota byla překračována soustavně od 14 do 19 hodin. Vůbec nejvyšších byla vytíženost mezi 15. a 17. hodinou, kdy dosahovala dokonce 95 %. Takto vysoká vytíženost znamená, že zaměstnanci na přepážce pracují téměř nepřetržitě. Nevýhodou takové vytíženosti systému je tvorba dlouhých front. V hektickém období, jakým září je, se běžně fronta čekajících klientů nevejde do prostor infocentra a klienti tak čekají i venku před infocentrem. Průměrná vytíženost byla poměrně nízká pouze během první hodiny po otevření infocentra a večer, během poslední hodiny před jeho uzavřením.

Z grafu je možné vyčíst, že nezanedbatelné snížení intenzity provozu přináší pouze první varianta a do budoucna pravděpodobný scénář zrušení papírového jízdného. I když se mohou rozdíly intenzity provozu jednotlivých variant zdát malé, je potřeba brát v potaz to, že i velmi

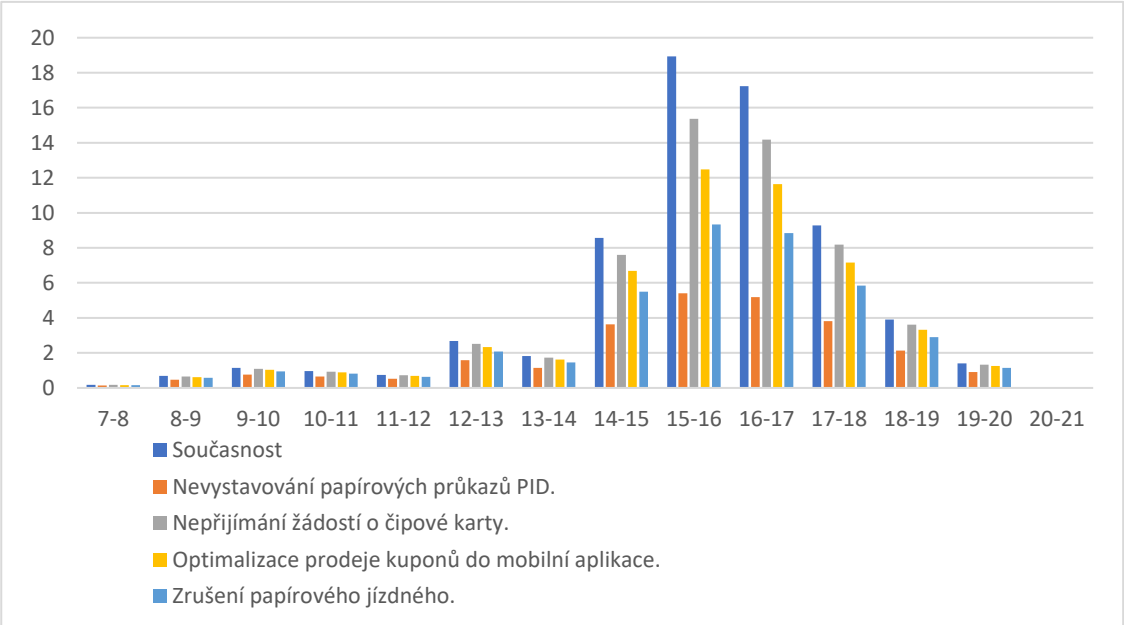
malé snížení intenzity provozu může mít v silně zatíženém systému zásadní vliv na počet klientů ve frontě a na průměrný čas, který musí každý zákazník strávit čekáním předtím, než bude obsloužen.

Graf 7 - průměrná doba strávená jednotkou ve frontě v pracovní dny v září. (v min)



Zdroj: vlastní zpracování

Graf 8 - střední počet klientů ve frontě v pracovní dny v září.



Zdroj: vlastní zpracování

Na rozdíl od března, během kterého téměř nedocházelo k tvorbě front, je v září zajímavým parametrem i průměrný počet jednotek ve frontě. Při porovnání grafů sedm a osm je zřejmé, že počet jednotek ve frontě je přímo úměrný průměrné době strávené jednotkou ve frontě.

Z grafů sedm a osm je možné vyčíst, že v průběhu vytíženého měsíce docházelo k tvorbě front zejména v odpoledních hodinách. V dopoledních hodinách se průměrný čas strávený klientem ve frontě držel v přijatelných mezích. Pohyboval se kolem 1,5 minuty. Dlouhé fronty se tvořili až od 14 do 18 hodin, vůbec nejdelší průměrná doba strávená čekáním ve frontě byla mezi 15. a 16. hodinou. Právě v této hodině zákazníci strávili čekáním ve frontě průměrně 20 minut, střední počet čekajících klientů ve frontě byl 19. To už jsou velmi vysoké hodnoty a bylo by vhodné je snížit.

Dále je z grafů sedm a osm patrné, že průměrná doba strávená čekání jednotkou ve frontě se přímo odvíjí od středního počtu jednotek ve frontě. Díky čemuž se v systémech s neomezenou délkou fronty, jakým infocentrum je, stačí při vyhodnocování variant opatření zabývat pouze jedním z těchto ukazatelů. Grafy s průměrným počtem zákazníků ve frontě by vykazovali obdobný průběh vývoje, jako grafy s průměrnou dobou čekání zákazníka ve frontě. Průměrná doba čekání ve frontě je názornější a pro zákazníka důležitější parametr fronty, a proto jsou v této práci jednotlivé varianty opatření pro zvýšení intenzity obsluhy hodnoceny podle průměrné doby strávené jednotkou ve frontě.

Dále je možné v grafech sedm a osm pozorovat, že právě v hodinách, kdy je systém nejvytíženější přináší i mírné zvýšení intenzity obsluhy zásadní snížení středního počtu klientů ve frontě i doby, kterou stráví klient čekáním na obsluhu.

Varianta jedna, která počítá s ukončením vystavování papírových průkazů PID, by se průměrná doba strávená klienty v dopoledních hodinách příliš nezměnila. Například mezi 11. a 12. hodinou byla průměrná doba strávená klientem ve frontě 1,25 minuty. Pokud by se v infocentru nevydávaly papírové průkazy, zkrátil by se průměrný čas strávený frontě o 23 sekund na 0,86 minuty.

Naopak v hodinách s vysokou vytížeností by tato varianta vedla k zásadnímu zkrácení průměrného času čekání ve frontě. V nejvytíženějším období od 15 do 16 hodin by se průměrná doba čekání na obsluhu zkrátila z 20,4 minuty o téměř 15 minut na 5,62 minuty.

Pokud by docházelo k tvorbě takto dlouhých front dlouhodobě, a ne v pouze v hektických obdobích, tak by toto opatření mohlo být doporučeno. V praxi je však takto vysoká vytíženost pouze během několika měsíců v roce a po většinu roku by tak omezení služeb pro zákazníky neopodstatněné. Nabízí se varianta vystavování průkazů pouze v obdobích s nižším vytížením. To by však bylo jen těžko komunikovatelné s veřejností a docházelo by ke vzniku zbytečných konfliktních situací.

Varianta 2, která spočívá v ukončení příjmu žádostí o čipové karty, by měla v dopoledních hodinách téměř nulový dopad na průměrný čas trávený klienty čekáním ve frontě, a to i přes to, že se jedná o požadavek s vůbec nejdelší průměrnou dobou obsluhy. To je způsobeno velmi nízkou četností příchodu tohoto požadavku do systému. Například mezi 11. a 12. hodinou byla průměrná doba strávená klientem ve frontě 1,25 minuty, pokud by infocentrum nepřijímalo žádosti o čipové karty, tak by se tato hodnota snížila na 1,20 minuty. Průměrná doba čekání se tak zkrátila pouze o 2,5 sekundy.

V odpoledních hodinách, ve kterých byla vytíženost v září vyšší, jsou přínosy varianty dvě nezanedbatelné. Vůbec největší zkrácení doby, kterou klienti tráví čekáním ve frontě by přinesla v období od 15 do 16 hodin, kdy došlo ke zkrácení o téměř čtyři minuty a průměrná doba strávená čekáním ve frontě by tak klesla z 20,4 minuty na 16,56 minuty.

Vzhledem k mizivému zájmu o podání žádosti o elektronickou kartu ze strany zákazníků a faktu, že k této službě již v současné době nabízí infocentrum využívanější alternativy, je možné tuto variantu doporučit k realizaci. Tato služba má negativní dopady na délku front v obdobích s vysokou vytížeností a negativní dopady jejího zrušení na klienty budu minimální.

Varianta tři zkoumá, jaký dopad by mělo zkrácení doby potřebné k prodeji předplatného do mobilní aplikace na úroveň prodeje dlouhodobých jízdních dokladů na čipovou kartu. Samotný proces prodeje kuponu je stejný a probíhá ve stejném software jako prodej jízdného na čipové karty. Největší příležitost pro zrychlení procesu prodeje kuponu do mobilní aplikace tak nabízí nespolehlivé a zdlouhavé načítání QR kódu z mobilní aplikace. Právě nespolehlivost současného řešení způsobuje, že se načítání často musí i několikrát opakovat, následkem čehož se zvyšuje průměrná doba obsluhy.

V dopoledních hodinách by i přínosy této varianty byly minimální. K zásadnějšímu zkrácení průměrné doby strávené klientem ve frontě by tato varianta vedla pouze v odpoledních

hodinách. V nejvytíženějším období dne od 15 do 16 hodin, by se průměrná doba čekání zkrátila z 20,4 minuty o téměř sedm minut na 13,44 minuty. Tato varianta nijak neomezuje rozsah nabízených služeb a navíc, kromě průměrné doby čekání ve frontě by zkrátila i průměrnou dobu obsluhy, čímž by se dále zkrátil čas strávený klientem v systému. Efekt této varianty by se mohl posílit i očekávaným zrušením papírového jízdného, které pravděpodobně povede ke zvýšení podílu prodeje jízdného do mobilní aplikace na celkovém počtu transakcí. Nevýhodou varianty tři jsou nezbytné investice spojené se snahou snížit průměrný čas potřebný k prodeji jízdného do mobilní aplikace.

Varianta čtyři, která zkoumá, jaký dopad bude mít v budoucnu pravděpodobné zrušení prodeje papírových dlouhodobých jízdních dokladů a s tím souvisejících papírových Průkazů PID. Tato celo systémová změna v prodeji jízdného Pražské integrované dopravy v reálném provozu infocentra určitě přinese snížení počtu klientů, kteří si přijdou pouze zakoupit jízdné. V případě klientů, kteří i v dnešní době zůstávají u papírového dlouhodobého jízdného, je však těžké odhadnout, jak velká část těchto klientů si začne kupovat jízdné online prostřednictvím e-shopu. Stanovení kvalifikovaného odhadu by bylo příliš náročné, a proto se v rámci této práce uvažuje s tím, že by všichni tito klienti po zrušení papírového dlouhodobého jízdného přešli k jízdnému v mobilní aplikaci a na čipové kartě ve stejném poměru, jako je využívají klienti infocentra v současné době. Není tak zohledněn případný pokles návštěvnosti. Z toho vyplívá, že změna intenzity provozu vypočítaná v této práci, je způsobena pouze změnou průměrné doby obsluhy a následkem toho změnou intenzity obsluhy.

Z grafu sedm lze vyčíst, že stejně jako u všech předchozích variant jsou v méně vytížených obdobích dne dopady na čas trávený klienty ve frontě minimální. Zajímavější dopady na délku front by měla tato varianta ve vytíženějších odpoledních hodinách. V nejvytíženějším období od 15 do 16 hodin by se průměrná doba čekání klienta ve frontě snížila z více než 20 minut na 10 minut. Došlo by tak ke zkrácení doby trávené klienty čekáním ve frontě o 50 %.

I tato změna by tak přinesla nárůst intenzity obsluhy a zkrácení průměrné doby, kterou klienti stráví čekáním ve frontě. Zvýšil by se podíl prodeje jízdného do mobilní aplikace na všech prodejích, čímž by se ještě posílil pozitivní efekt potenciální optimalizace prodeje elektronického jízdného do mobilní aplikace. Například v nejvytíženějším období by se

průměrný čas strávený čekáním ve frontě klientem snížil o 87 sekund na 8,62 minuty. Přínos by tak byl i v této situaci poměrně výrazný.

Lze tak říci, že v případě zrušení prodeje dlouhodobého jízdného a přechodu všech klientů na jízdné elektronické, by nedošlo k přetížení systému, a naopak by tato změna vedla ke zvýšení intenzity obsluhy a důsledkem toho k omezení tvorby front.

5.8.2 **Vyhodnocení víkendového provozu**

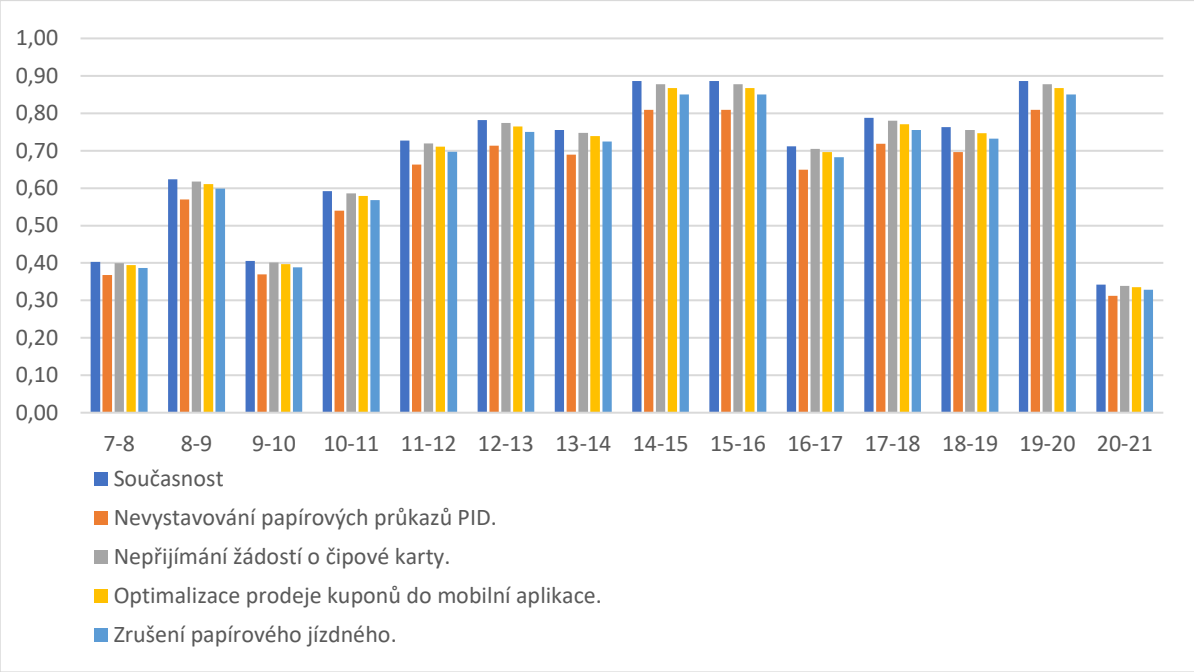
Průměrná víkendová návštěvnost v září byla vyšší než návštěvnost o březnových víkendech, překonala dokonce i návštěvnost březnových pracovních dnů. Vzhledem k tomu, že se ve srovnání s klidným obdobím nenavyšuje počet obslužných míst, se zvýšení intenzity vstupu jednotek do systému projevilo na zvýšení intenzity provozu systému.

Z grafu devět je zřejmé, že vytíženost infocentra byla po většinu dne poměrně vysoká, nižších hodnot nabývala pouze v ranních hodinách a večer během poslední hodiny otevírací doby. V průběhu velké části dne se intenzita provozu systému pohybuje v téměř ideálním rozmezí od 0,6 do 0,8. Takové vytížení nevede k tvorbě dlouhých front a zároveň lze říci, že je pracovní čas zaměstnanců na přepážkách využit efektivně.

V obdobích od 14 do 16 hodin a od 19 do 20 hodin však docházelo k překračování maximální doporučené hodnoty intenzity provozu systému pro skutečné systémy. Nejvyšší hodnou jaké, intenzita provozu dosáhla byla 0,89. Zvýšené hodnoty ve druhém jmenovaném období nejsou způsobeny enormně vysokou intenzitou vstupu zákazníků do systému. Ke zvýšení intenzity provozu přispívají dva faktory, prvním je uzavření jedné ze dvou přepážek v 19 hodin, čímž se snižuje intenzita obsluhy celého systému o polovinu. Druhým faktorem je fakt, že mezi 18. a 20. hodinou nedochází k výraznějšímu poklesu průměrné intenzity vstupu. Díky tomu se zvyšuje poměr intenzity vstupu vůči intenzitě obsluhy, což vede k razantnímu zvýšení intenzity provozu celého systému.

Dá se očekávat, že v rámci obou období s vysokou intenzitou provozu celého systému vznikaly v infocentru fronty. Již z vysokých hodnot intenzity provozu v nejvytíženějším obdobích dne a večer, při provozu pouze jedné přepážky, lze usuzovat že by bylo vhodné zvýšit intenzitu obsluhy systému.

Graf 9 - Intenzita provozu systému o víkendech v září.



Zdroj: vlastní zpracování

Při pohledu na graf deset je zřejmé, že po většinu otevírací doby infocentra průměrná doba čekání ve frontě nepřekračovala 3,5 minuty. K tvorbě delších front docházelo pouze v nejvytíženějších obdobích otevírací doby od 14 do 16 hodin a večer po uzavření jedné ze dvou přepážek v 19 hodin. V odpolední špičce docházelo k tvorbě front, ve kterých klienti průměrně čekali 7,55 minuty. Večer po 19. hodině byla však situace ještě výrazně horší, docházelo k tvorbě dlouhých front, ve kterých průměrná doba čekání přesáhla 16 minut. Vzhledem ke tvorbě takto dlouhých front po uzavření jedné přepážky večer bude v této práci vyhodnoceno, zda by nebylo vhodné provoz o víkendu v hektickém období posílit celodenně na dvě přepážky.

Právě v obdobích, ve kterých se tvoří nejdelší fronty, jsou přínosy opatření, která přinesou i drobné zvýšení intenzity obsluhy, vůbec nejvýraznější.

Varianta jedna přináší, stejně jako ve všech předchozích případech, vůbec největší zkrácení průměrné doby strávené jednotkou čekáním ve frontě. V obou obdobích s nejvyšší intenzitou provozu by se fronty zkrátili přibližně na polovinu. V čase od 14 do 16 hodin by tak průměrná doba čekání ve frontě činila 3,55 minuty, večer po 19. hodině 7,93 minuty. Tato

varianta tak znovu přináší zásadní omezení tvorby front zejména v nejvytíženějších obdobích, ale její přínosy opět jen těžko převáží její negativa ve formě omezení rozsahu služeb pro zákazníky.

Varianta dvě by ve srovnání s předchozí variantou přispěla ke zkrácení průměrné doby čekání klienta ve frontě výrazně méně. V odpoledních hodinách by došlo k redukci doby čekání ve frontě o přibližně 40 sekund. V čase od 19 do 20 hodin, kdy se tvořily nejdelší fronty, by klientům ušetřila průměrně 87 sekund čekání ve frontě.

Tato varianta má tak sice malý, ale ne úplně zanedbatelný vliv na průměrnou dobu strávenou klienty ve frontě. Negativa zrušení této služby jsou vzhledem k nízkému zájmu klientů o ni minimální. Zrušení služby, s vůbec nejdelší průměrnou dobou obsluhy ze všech nabízených služeb, prospěje plynulosti provozu v obdobích dne s vysokou vytížeností. Ukončení příjmu papírových žádostí o čipové karty by tak dávalo smysl i o víkendech.

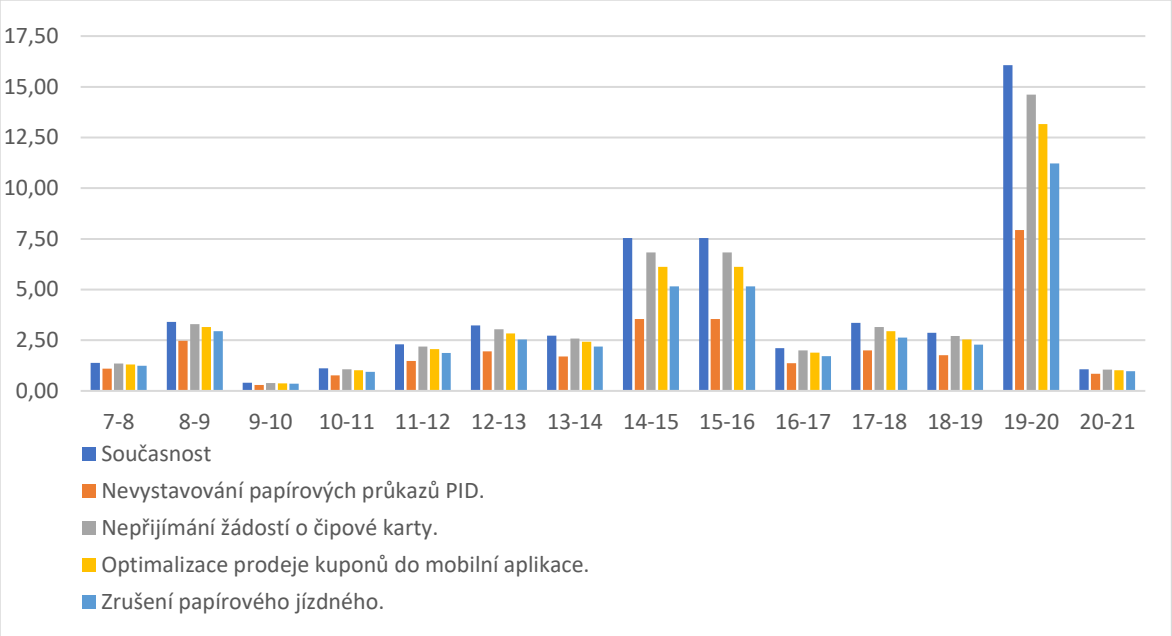
Varianta tři, spočívající v optimalizaci prodeje elektronického jízdného do mobilní aplikace, by přinesla během víkendů hektického období znatelnou redukci tvorby front opět pouze v nejvytíženějších částech dne v odpoledních hodinách a po 19. hodině, kdy je jedna ze dvou přepážek uzavřena.

V období od 14 do 16 hodin, které je obdobím dne s vůbec nejvyšší průměrnou intenzitou vstupu požadavků do systému, by tato varianta přinesla zkrácení střední doby trávené klienty ve frontě o 1,43 minuty. Průměrná doba čekání by tak činila 6,12 minuty. Večer, po uzavření jedné z přepážek v 19 hodin, by se průměrný čas trávený klienty ve frontě po optimalizaci prodeje jízdného do mobilní aplikace zkrátil téměř o tři minuty na 13,17 minuty. Takové zkrácení již není zanedbatelné a lze tak říci, že varianta tři by měla nezanedbatelný kladný přínos i o víkendech rušného období.

Varianta čtyři, která se zabývá dopady případného zrušení papírového dlouhodobého jízdného v celém systému integrované dopravy a přechodu klientů pouze na elektronické dlouhodobé jízdné, přináší ještě výraznější zkrácení front než předchozí dvě varianty. V období s nejvyšší intenzitou příchodu klientů od 14 do 15 hodin by se průměrná doba čekání ve frontě zkrátila o 2,4 minuty na 5,16 minuty. Večer od 19 do 20 hodin je přínos ještě výraznější, průměrná doba čekání se snížila o téměř 5 minut na 11,22 minuty.

Varianta čtyři by tak v žádném případě nezpůsobila přetížení systému, naopak by vedla k výraznému omezení tvorby front a výraznému zkrácení průměrného času tráveného klienty čekáním ve frontách.

Graf 10 - Průměrný čas strávený jednotkou ve frontě o víkendech, v září.



Zdroj: vlastní zpracování

Otevření druhé přepážky v okrajových hodinách víkendové otevírací doby by jistě snížilo intenzitu provozu systému. Vzhledem k tomu, že by došlo ke zvýšení mzdových nákladů je však potřeba zvážit v jakých hodinách by bylo takové posílení provozu efektivní.

V tabulce pět je možné vidět hodnoty intenzity provozu ve sledovaných hodinách, po zbytek provozní doby jsou již v provozu obě přepážky a není tak možné provoz dále posílit. V prvním řádku je zachycen současný stav. Ve druhém řádku jsou vypočteny hodnoty intenzity provozu při obou otevřených přepážkách a ve třetím hodnoty při jedné otevřené přepážce. Hodnoty překračující maximální doporučenou hodnotu intenzity provozu 0,8 jsou označeny červeně.

Prázdné buňky značí, že by intenzita provozu nabyla hodnot větších než 1. Takové hodnoty jsou však nepřípustné a znamenají, že by systém nebyl ani teoreticky schopný obsloužit všechny příchozí požadavky. Docházelo by tak ke tvorbě teoreticky nekonečné fronty, proto byly tyto hodnoty z tabulky vypuštěny.

Celodenní provoz obou přepážek by vedl ke snížení intenzity provozu celého systému v ranních hodinách na velmi nízké hodnoty. Během první hodiny otevírací doby by intenzita provozu celého systému byla pouze 0,20, v následující hodině jen 0,31. To jsou velmi nízké hodnoty a systém by byl v tomto období neefektivní.

Večer od 19 do 20 hodin by otevření druhé přepážky přineslo vítané snížení intenzity provozu z 0,89 na 0,45, čímž by se intenzita provozu snížila hluboko pod maximální doporučovanou úroveň. Od 20 do 21 hodin by už posílení provozu o druhou přepážku bylo nadbytečné a intenzita obsluhy by nabývala velmi nízkých hodnot.

Celodenní provoz obou přepážek po celý den by tedy o víkendech určitě nebyl efektivním řešením. Nedocházelo by sice k přetěžování systému ve večerních hodinách, ale ráno a večer po 20 hodině by byla intenzita provozu velmi nízká.

Při pohledu do tabulky číslo pět je zřejmé, že dřívější uzavření druhé přepážky nepřipadá v úvahu, protože by mezi 18. a 19. došlo k přetížení systému. Naopak otevřením druhé přepážky o hodinu později by se sice intenzita provozu zvýšila v období od 9 do 10 hodin mírně nad doporučovanou maximální hodnotu, ale tato hodnota je stále výrazně nižší než současná hodnota v období od 19 do 20 hodin. Nabízí se tak dvě efektivní řešení situace. Možné je rozšíření provozu druhé přepážky o jednu hodinu, nebo pouhé odsunutí otevření i uzavření druhé přepážky o jednu hodinu později.

Tabulka 5 - Intenzita provozu při různém počtu otevřených přepážek.

	7-8	**8-9**	**9-10**	**18-19**	**19-20**	**20-21**
počet otevřených přepážek	1	1	2	2	1	1
intenzita provozu	0,40	0,62	0,41	0,76	**0,89**	0,34
počet otevřených přepážek	2	2	2	2	2	2
intenzita provozu	0,20	0,31	0,41	0,76	0,44	0,17
počet otevřených přepážek	1	1	1	1	1	1
intenzita provozu	0,40	0,62	**0,82**	**-**	**0,89**	0,34

Zdroj: vlastní zpracování

V případě rozšíření provozu druhé přepážky o hodinu by byla tato přepážka v provozu od 9 do 20 hodin. Intenzita provozu systému by tak ve sledovaném období nepřekračovala maximální doporučovanou hodnotu. V tabulce šest je možné vyčíst průměrnou dobu čekání klientů v jednotlivých hodinách, tato varianta se nachází v prvních dvou řádcích. Zákazníci by v tomto případě nemuseli čekat v dlouhých frontách, průměrná doba strávená jednotkou

ve frontě by během celého období nepřekročila 3,5 minuty. Nevýhodou rozšíření provozu druhé přepážky by byla nutnost zvýšení počtu odpracovaných hodin zaměstnanci. I rozšíření pracovní doby o jednu hodinu může být z hlediska organizace práce problematické a zcela jistě povede ke zvýšení mzdových nákladů.

Při otevíraní druhé přepážky o hodinu později by došlo k posílení provozu mezi 19. a 20. hodinou, kdy se v současném stavu tvoří dlouhé fronty. Na druhou stranu by mezi 9. a 10. hodinou došlo naopak k uzavření jedné přepážky a podle výpočtů by se fronty začali tvořit v tomto období. Vypočtené hodnoty průměrné doby čekání jednotkou ve frontě pro tuto variantu se nachází ve druhém řádku tabulky šest. V této tabulce dá vyčíst, že mezi 9. a 10. hodinou by střední doba čekání ve frontě činila 11,83 minuty. Jedná se o vysokou hodnotu, ale stále jde o poměrně výrazné zlepšení oproti současnému stavu. Tato varianta by problém nevyřešila, ale vedla by k jeho zmírnění. Proto lze v případě, že by nebylo možné rozšířit provoz druhé přepážky o hodinu a zvýšit mzdové náklady, toto opatření doporučit.

Tabulka 6 - průměrná doba strávená jednotkou čekáním ve frontě

	7-8	**8-9**	**9-10**	**18-19**	**19-20**	**20-21**
počet otevřených přepážek	1	1	2	2	2	1
průměrný čas ve frontě v minutách	1,39	3,41	0,61	2,86	0,50	1,07
počet otevřených přepážek	1	1	1	2	2	1
průměrný čas ve frontě v minutách	1,39	3,41	11,83	2,86	0,50	1,07

Zdroj: vlastní zpracování

6 Závěr

Práce měla za cíl zjistit vytíženost infocentra ve dvou různých obdobích a navzájem tato období porovnat. Jako klidné období pro srovnání byl vybrán březen a měsíc září byl zvolen jako období se zvýšenou intenzitou provozu.

Dílčím cílem bylo vyhodnotit dopady potenciálního scénáře spočívajícího ve zrušení dlouhodobých papírových jízdních dokladů a jejich úplného nahrazení jízdným elektronickým na provoz infocentra.

Posledním cílem bylo navrhnout úpravy provozu infocentra vedoucí k omezení tvorby front v období s rušným provozem.

V této práci bylo zjištěno, že se vytíženost infocentra během klidného měsíce pohybovala po většinu dne v intervalu od 40 % do 70 % a nedocházelo k překročení maximální doporučované hodnoty 80 %. Během hektického období v září se vytíženost infocentra během většiny dne pohybovala v rozmezí od 60 % do 90 %. V odpoledních hodinách docházelo k výraznému překračování maximální doporučované vytíženosti systému, nejvyšší zjištěnou hodnotou bylo 95 % v období od 15 do 17 hodin pracovních dní. V období s zvýšenou intenzitou provozu docházelo k překračování 80% vytíženosti i o víkendech.

Dále byl vyhodnocen dopad úplného přechodu na elektronické dlouhodobé jízdné na provoz infocentra. Opakovaným měřením a výpočty bylo zjištěno, že zrušení papírového jízdného by vedlo ke snížení průměrné doby obsluhy, což vede ke zvýšení intenzity obsluhy a důsledkem toho k mírnému snížení vytíženosti systému při stejném počtu příchozích požadavků a obslužných kanálů. Tato změna by tak rozhodně nevedla k přetížení systému.

Dále byly vyhodnoceny čtyři návrhy zlepšení provozu infocentra. První spočíval v ukončení vystavování papírových průkazů v infocentru. Tento návrh by sice přinesl výrazné omezení tvorby front v nejvytíženějších obdobích, jedná se však o četně využívanou službu, kterou není vhodné zrušit bez náhrady. A právě z tohoto důvodu nebyl návrh posouzen jako vhodný k realizaci.

Druhým návrhem bylo ukončení příjmu papírových žádostí o čipové karty Lítačka. Podle měření se jedná o úkon s vůbec nejdelší průměrnou dobou obsluhy ze všech nabízených služeb. Dopad této změny by však nebyl velký a byl by znatelný pouze v nejvytíženějších obdobích, což je způsobeno nízkou četností využití této služby. Právě vzhledem k nízkému

zájmu o tuto službu a faktu, že infocentrum v současnosti nabízí oblíbenější alternativy lze tento návrh považovat za vhodný k realizaci.

Třetí návrh spočívá v provedení optimalizace prodeje dlouhodobého jízdného do mobilní aplikace. Měřením vyšlo najevo, že prodej jízdného do aplikace trvá podstatně déle než prodej stejného jízdného na čipovou kartu. To je způsobeno zejména zdlouhavým a nespolehlivým načítáním QR kódu obsluhou z aplikace. Pokud by se podařilo dosáhnout stejné průměrné doby obsluhy, jako v případě prodeje elektronického jízdného na čipovou kartu, tak by tento návrh vedl k nezanedbatelnému zvýšení intenzity obsluhy a důsledkem toho k nižší intenzitě provozu celého systému. Navíc by se přínos toho návrhu mohl ještě zvýšit v případě, že by se po zrušení papírového jízdného zvýšil zájem o nákup jízdného do aplikace na přepážce. Tento návrh byl tak označen za přínosný.

Poslední návrh by se dotknul pouze víkendového provozu. V současnosti bývá v okrajových hodinách provozní doby v provozu pouze jedna přepážka ze dvou. Zejména večer po uzavření jedné přepážky v 19 hodin dochází k tvorbě front. Výpočty bylo zjištěno, že celodenní provoz obou přepážek o víkendu by byl neefektivní, protože by zejména v ranních hodinách byla vytíženost systému velmi nízká.

Nabízí se tak dvě varianty řešení této situace, prvním řešením je prodloužení provozu druhé přepážky o jednu hodinu do 20 hodin, čímž by se však zvýšili mzdové náklady. Druhou variantou je posunutí času otevření i zavření druhé přepážky vždy o jednu hodinu později, čímž by se nezvýšil počet odpracovaných hodin zaměstnanci. Razantně by se zvýšila vytíženost systému mezi 9. a 10. hodinou, stále by však nabývala přijatelnějších hodnot, než nabývá od 19 do 20 hodin v současnosti. Z toho plyne, že by bylo vhodnější prodloužit provoz druhé přepážky o hodinu, pokud by to nebylo možné tak i druhá varianta přináší jisté zlepšení.

Tato práce dochází k závěru, že změnami v provozu infocentra vedoucími ke snížení doby obsluhy během pracovních dní období se zvýšenou intenzitou provozu nelze dosáhnout snížení vytíženosti na požadovanou úroveň. K dostatečnému snížení vytíženosti pod doporučované maximum v pracovních dnech by bylo potřeba otevřít další přepážku.

O víkendech je vhodné upravit provozní dobu druhé přepážky tak aby lépe odpovídala průběhu vývoje průměrné intenzity příchodu klientů do systému v jednotlivých hodinách.

7 Seznam použitých zdrojů

BROŽOVÁ, Helena a Milan HOUŠKA, 2003. *Základní metody operační analýzy.* Vyd. 1. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, Provozně ekonomická fakulta ve vydavatelství Credit, 244 s. ISBN 80-213-0951-2

DÖMEOVÁ, Ludmila a Martina BERÁNKOVÁ, 2004. *Systémy hromadné obsluhy*. I. Vyd. 1. Praha: Česká zemědělská univerzita, Provozně ekonomická fakulta, 57 s. ISBN 80-213-1193-2

Dopravní podnik hl. m. Prahy, 2022. *Výroční zpráva 2021* [online]. [cit. 28. 11. 2022]. Dostupné z: https://www.dpp.cz/cs/data/V%C3%BDro%C4%8Dn%C3%AD%20zpr%C3%A1vy/DPP_VYROCNI_ZPRAVA_2021.pdf

GROS, Ivan, 2003. *Kvantitativní metody v manažerském rozhodování*. 1.vyd. Praha: Grada Publishing, 432 s. ISBN 978-80-7431-036-2.

GROSS, Donald, 2008. *Fundamentals of queueing theory*. 4th ed. Hoboken: John Wiley,. ISBN 978-0471791270

JABLONSKÝ, Josef, 2007. *Operační výzkum: Kvantitativní modely pro ekonomické rozhodování*. 3.vyd. Praha: Professional Publishing, 323 s. ISBN 978-80-86946-44-3

KOŘENÁŘ, Václav, 2010. *Stochastické procesy*. 2. přeprac. vyd. Praha: Vysoká škola ekonomická v Praze, 227 s. ISBN 978-80-245-1646-2

LUKÁŠ, Ladislav, 2005. *Pravděpodobnostní modely*, Plzeň: Typos – Digital Print, 210 s. ISBN 80-7043-388-4

ŠUBRT, Tomáš, a kol., 2011. *Ekonomicko-matematické metody*. Plzeň: Aleš Čeněk, 351 s. ISBN 978-80-7380-345-2

8 Seznam obrázků, tabulek, grafů a zkratek

8.1 Seznam tabulek

Tabulka 1 - Přehled vybraných proměnných v modelech systémů hromadné obsluhy.....16

Tabulka 2 - Počet otevřených obslužných míst během otevírací doby.....23

Tabulka 3 - Tabulka průměrné doby potřebné k vyřízení různých druhů požadavků. (v minutách) 24

Tabulka 4 - Intenzita obsluhy při různé nabídce služeb. 25

Tabulka 5 - Intenzita provozu při různém počtu otevřených přepážek. 42

Tabulka 6 - průměrná doba strávená jednotkou čekáním ve frontě.....43

8.2 Seznam grafů

Graf 1 – počet provedených transakcí v pokladním systému. 26

Graf 2 – Intenzita provozu celého systému pracovních dnech měsíce března.....28

Graf 3 - průměrná doba strávená klientem ve frontě, v pracovních dnech. (min).....29

Graf 4 – intenzita provozu celého systému o víkendech v březnu.....31

Graf 5 - průměrná doba strávená klientem ve frontě v březnu o víkendech. 32

Graf 6 - intenzita provozu celého systému v pracovních dnech v září 33

Graf 7 - průměrná doba strávená jednotkou ve frontě v pracovní dny v září. (v min) 34

Graf 8 - střední počet klientů ve frontě v pracovní dny v září. 34

Graf 9 - Intenzita provozu systému o víkendech v září. 39

Graf 10 - Průměrný čas strávený jednotkou ve frontě o víkendech, v září. 41