



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ**

**FAKULTA DOPRAVNÍ**

Bc. Iva Zderadičková

**NÁVRH ROZVOZOVÝCH TRAS PRO FIRMU**

**SALESIANER MIETTEX**

**Diplomová práce**

**2019**

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

děkan

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



**K617..... Ústav logistiky a managementu dopravy**

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE** (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**Bc. Iva Zderadičková**

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

**N 3710 – LA – Logistika a řízení dopravních procesů**

Název tématu (česky): **Návrh rozvozových tras pro firmu Salesianer  
Miettex**

Název tématu (anglicky): Distribution Route Planning for Company Salesianer  
Miettex

### **Zásady pro vypracování**

Při zpracování diplomové práce se řiďte následujícími pokyny:

- představení společnosti
- analýza distribuce zvoleného období
- teoretická východiska řešení - úvod do matematického programování
- formulace úlohy pro potřeby zvolené metody
- návrh matematického modelu pro potřeby distribuce
- výpočetní experimenty s navrženým modelem
- zhodnocení dosažených výsledků



- Rozsah grafických prací: podle pokynů vedoucích diplomové práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: LAGOVÁ, M., JABLONSKÝ, J.: Lineární modely. Vyd. 3. Praha: Oeconomica, 2014. ISBN 978-80-245-2020-9.  
PELIKÁN, J.: Diskrétní modely v operačním výzkumu. Praha: Professional Publishing, c2001. ISBN 80-86419-17-7.
- Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Denisa Mocková, Ph.D.**  
**doc. Ing. Dušan Teichmann, Ph.D.**

Datum zadání diplomové práce: **30. června 2018**  
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání diplomové práce: **2. prosince 2019**  
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia  
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

  
doc. Ing. Tomáš Horák, Ph.D.  
vedoucí  
Ústavu logistiky a managementu dopravy

  
  
doc. Ing. Pavel Hrubeš, Ph.D.  
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

  
Bc. Iva Zderadičková  
jméno a podpis studenta

V Praze dne .....6. června 2019

### Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala doc. Denise Mockové a doc. Dušanovi Teichmannovi za odborné vedení a konzultování diplomové práce a za rady, které mi poskytovali po celou dobu mého studia. Dále bych chtěla poděkovat společnosti Salesianer Miettex za umožnění přístupu k mnoha důležitým informacím a materiálům. V neposlední řadě je mou milou povinností poděkovat mým rodičům a blízkým za morální a materiální podporu, které se mi dostávalo po celou dobu mého studia.

### Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užívání tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 2. prosince 2019



podpis

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ V PRAZE

Fakulta dopravní

NÁVRH ROZVOZOVÝCH TRAS PRO FIRMU SALESIANER MIETTEX

diplomová práce

prosinec 2019

Bc. Iva Zderadičková

ABSTRAKT

Předmětem diplomové práce je návrh rozvozových tras pro společnost Salesianer Miettex s cílem dosáhnout minimálních nákladů společnosti Salesianer Miettex na dopravu textilu k zákazníkům. V práci jsou shrnuty poznatky z oblasti operačního výzkumu a matematického programování a na jejich základě je navržen model pro určení tras obsluhy zákazníků společnosti Salesianer Miettex se sídlem v Čechách. Funkčnost modelu je ukázána na návrhu obsluhy vybrané části zákazníků z území Prahy a okolí.

ABSTRACT

The subject of this thesis is Distribution Route Planning for the company Salesianer Miettex with purpose of minimalization of costs of the company Salesianer Miettex for distribution of textil to customers. The thesis summarizes the findings from the field of Operations research and Mathematical programming. Based on these findings the distribution route plan for service of customers located in Bohemia is designed. The functionality of the model is proved at the plan of service of selected customers located in Prague and surroundings.

KLÍČOVÁ SLOVA

Operační výzkum, Matematické programování, Lineární programování, Obchodní cestující, VRP, Salesianer Miettex

KEY WORDS

Operations research, Mathematical programming, Linear programming, Travel Salesman Problem, Vehicle Routing Problem, Salesianer Miettex

## Obsah

Úvod.....	6
1. Společnost Salesianer Miettex.....	9
1.1 Historie společnosti .....	9
1.2 Představení společnosti .....	10
1.3 Proces servisu textilu .....	12
1.4 Nabízené produkty .....	13
1.5 Přeprava textilu .....	14
2. Analýza distribuce .....	15
2.1 Zákazníci společnosti Salesianer Miettex.....	15
2.2 Současný stav obsluhy .....	16
2.3 Analýza distribuce zvoleného období .....	23
3. Teoretická východiska řešení – úvod do matematického programování.....	27
3.1 Operační výzkum .....	27
3.2 Matematické programování .....	28
3.3 Travel Salesman Problem (TSP) .....	29
3.4 Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows (CVRPTW).....	30
4. Formulace úlohy pro potřeby zvolené metody .....	33
4.1 Návrh pořadí průjezdu jednotlivých měst v rámci jednotlivých tras .....	33
4.2 Návrh obsluhy jednotlivých měst .....	34
5. Návrh matematického modelu pro potřeby distribuce .....	35
5.1 Matematický model pro určení pořadí obsluhy měst.....	35
5.2 Matematický model pro návrh obsluhy jednotlivých měst .....	37
6. Využití navrženého modelu.....	39
6.1 Vstupy do úlohy .....	39
6.2 Původní řešení .....	43
6.3 Finální návrh pořadí obsluhy měst.....	46
6.4 Finální návrh průjezdu jednotlivých měst .....	47
6.5 Finální obslužné trasy .....	55

6.6	Porovnání dosažených výsledků s původním řešením .....	57
6.7	Diskuze řešení.....	58
	Závěr.....	61
	Použité zdroje .....	63
	Seznam obrázků.....	64
	Seznam tabulek.....	65
	Seznam grafů .....	66
	Seznam příloh.....	67

## Úvod

Společnost Salesianer Miettex je společnost s více než staletou tradicí. Jejím posláním je provádět servis textilu, tedy zajistit rozvoz čistého textilu, svoz špinavého textilu, praní a údržbu jednotlivých kusů textilu. Doprava je jedním z nezbytných článků logistického řetězce. Je nutné zajistit dodání správného zboží, na správné místo, ve správný čas, ve správném množství, ve správné kvalitě a se správnými náklady. Právě náklady spojené s dopravou jsou pro společnost Salesianer Miettex klíčové, jelikož doprava na rozdíl od praní či údržby není v režii samotné společnosti, ale je zajišťována společností VAKO-Logistic. Náklady společnosti Salesianer Miettex jsou v nemalé míře závislé na položce, kterou vyplatí dopravci za rozvoz a svoz textilu. Vyplácená částka je závislá na počtu najetých kilometrů a zároveň na počtu vozidel (resp. řidičů), které jsou k obsluze zákazníků využity.

V současné době jsou distribuční trasy pro obsluhu zákazníků navrhovány pouze manuálně. Cílem diplomové práce je analyzovat stávající řešení distribučních tras a pomocí poznatků z oblasti operačního výzkumu navrhnout model pro určení distribučních tras minimalizující finanční prostředky vyplácené dopravci za obsluhu zákazníků.

Úvodní kapitola je věnována společnosti Salesianer Miettex. Úvod kapitoly zachycuje historii společnosti a její současný provoz v České republice i ve světě. Dále je v kapitole popsán celý proces servisu textilu i produkty, které společnost nabízí. V závěru kapitoly je popsán vozidlový park využívaný k rozvozu textilu. Vozidlový park není ve vlastnictví společnosti Salesianer Miettex. Doprava je outsoursována od společností VAKO-Logistic.

Druhá kapitola se zabývá analýzou současného stavu distribuce ve společnosti. K provedení analýzy byla využita aplikace Ecofleet, která zaznamenává všechny cesty uskutečněné řidiči. Z aplikace je možné vyčíst trasu, kterou řidič v konkrétní den projel a zároveň všechny zastávky, které učinil. Součástí kapitoly je vysvětlení informací, kterými je definován každý zákazník a zároveň osvětlení způsobu vytváření distančních matic. Druhá podkapitola se věnuje původnímu rozvržení distribučních tras. Analyzuje základní charakteristiky tras, tj. především průměrnou délku a průměrnou dobu trvání průjezdu trasy. Poslední podkapitola analyzuje charakteristiky reálného provozu v jednom vybraném měsíci, konkrétně v květnu 2018. Reálný provoz není zcela totožný s plánovaným rozvržením tras. Za obměnami stojí především státní svátky, dovolené či nemoci řidičů, případně zahraniční výjezdy. V této části jsou uvedeny reálné charakteristiky provozu ve vybraném měsíci. V závěru kapitoly je uvedeno porovnání charakteristik reálného provozu v měsíci květnu 2018 a charakteristik distribučních tras určených průměrem.

Třetí kapitola je věnována teoretickým znalostem z oblasti operačního výzkumu, které jsou podkladem pro návrh distribučních tras. Úvodní část je věnována obecně operačnímu



výzkumu. Následující podkapitola popisuje nástroj operačního výzkumu matematické programování. Zbytek kapitoly se zabývá konkrétním typem úloh lineárního programování, které jsou v diplomové práci využity pro návrh řešení distribučních tras. Nejprve je popsána úloha obchodního cestujícího, která je v práci využita pro obsluhu jednotlivých zákazníků ve městech. V poslední části kapitoly je popsána CVRPTW úloha, tzv. rozvozní úloha s kapacitním omezením a časovými okny obsluhy zákazníka. Tato úloha je v práci využita pro rozřazení jednotlivých měst do jednotlivých tras a určení pořadí průjezdu měst v rámci trasy.

Obsahem čtvrté kapitoly je slovní formulace vstupních podmínek úlohy, které vyplývají z potřeb či zavedených pořádků ve společnosti. První část kapitoly se vztahuje k návrhu pořadí průjezdu měst v rámci jednotlivých tras. V této části jsou popsány způsoby přepravy jednotlivých druhů zboží. Zároveň jsou v kapitole určeny konkrétní hodnoty, které byly v modelu určeny pouze obecně, např. délka pracovní doby řidičů či objem jednotlivých přepravních nádob a samotného zboží. Druhá podkapitola popisuje pravidla tvorby vstupních matic do úlohy obchodního cestujícího, aby výpočet odpovídal požadavkům vyplývajících z potřeb pro návrh průjezdu měst.

Pátá kapitola je převedením předchozí kapitoly ze slovní podoby do konkrétního modelu. Obsahem kapitoly je model CVRPTW úlohy, který je upraven dle podmínek a požadavků pro provoz servisu textilu. Dále je v kapitole uveden upravený model TSP dle požadavků úlohy. Pro výpočty na základě modelů bylo využito softwaru Xpress IVE.

Poslední kapitola uvádí využití modelu v praxi. Vzhledem k velikosti úlohy v plném rozsahu byla pro dokázání funkčnosti modelu vybrána pouze část zákazníků. Návrh distribučních tras v poslední kapitole je proveden pro zákazníky, obsluhované během jednoho dne, v rámci Prahy a jejího okolí. Součástí kapitoly je seznam všech zákazníků, pro které bude navržena obsluha a původní návrh distribučních tras. Dále je v kapitole vypočítáno pomocí softwaru Xpress IVE pořadí průjezdu měst (městských částí) a pořadí obsluhy jednotlivých zákazníků v rámci měst či městských částí. Finální návrh obslužných tras všech zákazníků je sjednocením předešlých dvou výpočtů, tj. pořadí obsluhy měst a pořadí obsluhy zákazníků v rámci měst. Závěr kapitoly porovnává původní distribuční trasy s trasou nově navrženou a také uvádí nedostatky modelu a jejich vliv na výsledné řešení.

Součástí práce je 5 příloh. První příloha obsahuje soupis všech obsluhovaných zákazníků a charakteristiky, které je definují, např. adresu, periodu obsluhy, počet dovážených textilií a dobu obsluhy. Druhá příloha obsahuje distanční matice vzdáleností mezi jednotlivými obsluhovanými městy. Třetí příloha zobrazuje časovou vzdálenost mezi jednotlivými obsluhovanými městy. Obsahem čtvrté přílohy je zdrojový kód využívaný k výpočtu

v softwaru Xpress IVE pro návrh pořadí obsluhy jednotlivých měst. V Příloze 5 je také uveden zdrojový kód. V této příloze je uveden zdrojový kód pro návrh pořadí obsluhy jednotlivých zákazníků ve městech. Všechny přílohy jsou uloženy na přiloženém CD nosiči.

## 1. Společnost Salesianer Miettex

### 1.1 Historie společnosti

Začátky společnosti Salesianer Miettex jsou datovány do roku 1916. V tomto roce Magdalena Wittmann přebrala prádelnu ve Vídni ve třetím okrsku po jejím nemocném majiteli. Po velmi krátké době přišla Magdalena s myšlenkou, že pokud by společnost prádlo nejen prala, ale i zajišťovala jeho svoz a rozvoz, mohla by oslovit více zákazníků. V následujících letech společnost prosperovala. V roce 1924 odkoupila použité pračky do své prádelny pro zefektivnění práce. Zároveň také v tomto roce Magdalena Wittmann uzavřela sňatek s Josefem Krauschneiderem, se kterým nadále vedla společnost. Dalším významným mezníkem pro společnost Salesianer Miettex byl rok 1928. V tomto roce již kapacita prádelny byla zcela nedostačující, a proto se společnost přestěhovala do větší prádelny ve čtvrtém okrsku. S přestěhováním společnosti vznikl i její název Salesianer, který je dodnes používán a odkazuje na ulici v Salesianergasse, ve které měla společnost své první sídlo. V roce 1929 koupila společnost Salesianer Miettex první vozidlo pro distribuci textilu.

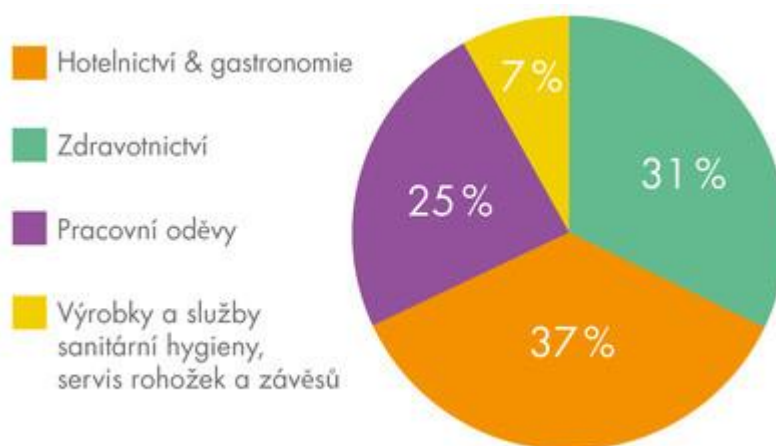
Během druhé světové války společnost Salesianer Miettex ve své prádelně prala především pro armádu. Objemy, které se během války zvyšovaly, donutily majitele k nákupu budovy sousedící s prádelnou, aby se provoz mohl rozšířit. Druhá světová válka ovšem měla neblahé důsledky na rakouský trh, a proto byl s koncem války růst společnosti na krátkou dobu pozastaven. Docházelo k postupné rekonstrukci budov, které byly vybombardovány. V následujících letech byla také zprovozněna první chemická čistírna. Postupně se společnost opět začínala rozvíjet a stala se první společností zajišťující servis textilu, jež pro svou činnost využívala částečně automatizované pračky, specializované žehlicí stroje či tunelové pračky.

V šedesátých letech celá Vídeň vzkvétala a s ní i společnost Salesianer Miettex, která otevřela nové pobočky a mechanizovala jednotlivé úkony v prádelnách. Velké změny se udály ve společnosti v roce 1962, kdy se do čela společnosti dostal Hans Krausechneider, syn Magdaleny a Josefa Krausechneiderových. Hans aplikoval poznatky, které nabyl během dvouletého pracovního pobytu v USA. Převedel společnost z maloobchodní strategie na velkoobchodní a přiblížil fungování společnosti k tomu současnému. V sedmdesátých letech společnost expandovala do dalších rakouských měst. S pádem železné opony se společnost Salesianer Miettex rozšiřovala i do okolních států. V současné době má společnost pobočky v 11 zemích střední a východní Evropy. Do vedení společnosti se dostala již třetí generace rodu Krausechneiderových a to konkrétně syn Hanse, Thomas Krautschneider. [1]

## 1.2 Představení společnosti

Společnost Salesianer Miettex je rodinnou firmou s více jak stoletou tradicí, která zajišťuje servis textilu. V současné době atakuje společnost Salesianer Miettex přední příčky mezi poskytovateli servisu textilu na trzích v zemích střední a východní Evropy. Společnost zaměstnává 2350 zaměstnanců v 11 zemích. V České republice má společnost pobočky ve třech městech – Praze, Kralupech nad Vltavou a Českých Budějovicích.

Hlavní činností společnosti je provozovat servis textilu v odvětví gastronomie, zdravotnictví, pracovních oděvů a rohožek. Do pojmu servis textilu je zahrnuto jeho vyzvednutí na konkrétním pracovišti, dovezení na pobočku, kde je provedena jeho údržba a vyprání, a následné dodání textilu zpět na pracoviště. Společnost kromě servisu textilu zajišťuje i prodej a rozvoz hygienických a čisticích prostředků. Hlavní roli při plánování rozvozu dodávek ovšem hraje servis textilu a rohožek a ten je také předmětem diplomové práce. Rozvoz hygienických a čisticích prostředků je v práci vzhledem k jeho minimálnímu podílu zanedbán. Procentuální rozdělení výnosů společnosti dle jednotlivých činností je znázorněno na Grafu 1. [2]

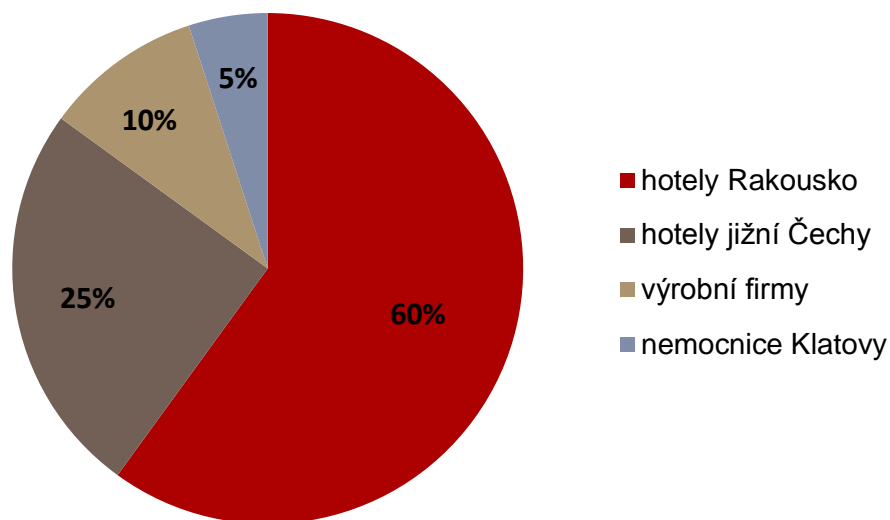


Graf 1. Výnosy podle obchodních odvětví [2]

První pobočku v České republice otevřela společnost Salesianer Miettex v Kralupech nad Vltavou v únoru roku 1995. Prádelna provozuje servis textilu pro celou Českou republiku. Zákazníci na území Čech jsou obsluhováni přímo z kralupské prádelny. Distribuce mimo Čechy probíhá vždy přes překladiště v Olomouci.

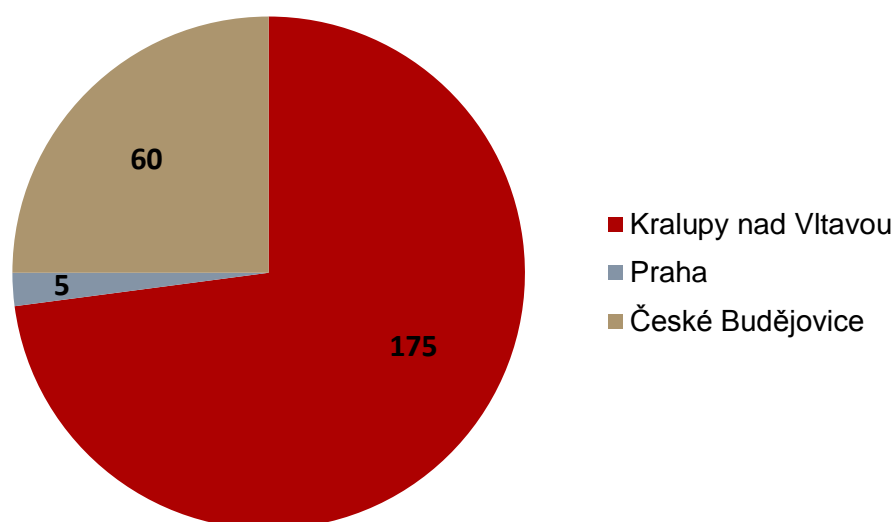
Nejmenší prádelnu v České republice má společnost Salesianer Miettex v hlavním městě. Pražská pobočka byla založena v roce 2009. Pobočka je umístěna v areálu Thomayerovy nemocnice. Z jejího umístění také vyplývá obsluha především zdravotnických zařízení, která tvoří 40 % zákazníků pražské pobočky. Zbýlých 60 % tvoří hotely a restaurační zařízení.

Dosud nejmladší pobočka byla založena v Českých Budějovicích (1. 9. 2018). Tato pobočka obsluhuje pouhých 33 zákazníků, z nichž nadpoloviční většinu tvoří zákazníci z Rakouska. Graf 2 zobrazuje procentuální zastoupení jednotlivých typů zákazníků budějovické prádelny.



Graf 2. Zákazníci pobočky v Českých Budějovicích [vlastní zpracování, zdroj: Pražská pobočka Salesianer Miettex]

Celkový plánovaný roční obrat společnosti pro rok 2019 je 240 milionů korun. Podíly jednotlivých poboček na plánovaném ročním obratu jsou znázorněny na Grafu 3. Z grafu je zřejmé výsostné postavení kralupské pobočky, které zajistí téměř tři čtvrtiny plánovaného ročního obratu.



Graf 3. Podíly jednotlivých poboček na plánovaném ročním obrátu pro rok 2019 v milionech Kč [vlastní zpracování, zdroj: Pražská pobočka Salesianer Miettex]

### 1.3 Proces servisu textilu

Pojem pronájem textilu zahrnuje několik činností. Prvním krokem při navázání spolupráce mezi zákazníkem a společností je přesná specifikace požadavků zákazníka. Na jejich základě společnost zajistí požadované druhy textilu v dostatečném množství, aby mohl být zajištěn koloběh textilu, a zákazník ho měl vždy dostatek. Proces servisu textilu poté zahrnuje přepravu textilií do prádelny společnosti Salesianer Miettex. V prádelně jsou v první řadě provedeny opravy a údržba textilu a až poté je provedeno jeho praní. Textil je zpracováván dle standardizovaných dezinfekčních procesů praní. Dezinfekce je zabezpečována termicky při teplotě 90 °C nebo chemotermicky při teplotě 70 °C. Teploty jsou při dezinfekci textilu sledovány a v případě, že není dosaženo požadované teploty, systém thermostatů zabrání, aby se prádlo, jež neprošlo řádnou dezinfekcí, dostalo do dalších částí systému s vydezinfikovaným textilem. Po vyprání textilu následuje jeho zabalení do odpovídajícího obalu, skladování a expedice tak, aby bylo doručeno zákazníkovi v požadovaný čas. Společnost Salesianer Miettex každý kus elektronicky eviduje a sleduje, a díky tomu má dokonalou kontrolu nad tím, kde se právě jednotlivé zákaznickovy textilie nachází. Doprava společnosti Salesianer Miettex je outsourcována společností VAKO-Logistic. [2]

## 1.4 Nabízené produkty

Společnost Salesianer Miettex zajišťuje servis několika druhů textilií. Nejžádanější je servis pracovních oděvů, ložního prádla, utěrek a rohoží. Tyto textilie jsou brány v potaz v diplomové práci. Dále společnost nabízí rozvoz hygienických potřeb, tyto předměty ovšem při přepravě zabírají zanedbatelnou část prostoru ve vozidlech, proto s nimi není v diplomové práci kalkulováno.

Společnost nabízí 9 druhů pracovních oděvů, ze kterých si může zákazník vybrat tu, která je pro jeho podnik nejvhodnější. Každý druh má svá specifika. Některé jsou navrženy pro automobilový průmysl, další jsou bílé a navrženy pro gastronomické odvětví, v nabídce jsou také obyčejné svetry, trika, či bundy. Zákazník si může objednat vlastní úpravu či design tak, aby odpovídal jeho potřebám. Všechny oděvy jsou zároveň s ložním prádlem či ubrusy převáženy v klecích, které jsou umístěné ve vozidlech. Počet klecí umístěných ve vozidlech lze operativně měnit.

Dalším produktem jsou čisticí bavlněné utěrky o rozměrech 40x40 cm. Tyto utěrky jsou využívány především v průmyslových podnicích či autoservisech. Utěrky jsou shromažďovány v rollkontejnerech (Obrázek 1), ve kterých jsou i následně přepravovány od zákazníka do prádelny a zpět.



Obrázek 1. Rollkontejner [2]

Posledním produktem jsou rohože. Společnost nabízí univerzální rohože ve dvou základních barvách (šedá, červená) a také rohože reklamní, které jsou vyhotoveny dle přání zákazníka. Rohožky jsou vyhotoveny ze 100% High-Twist-Nylon vláken a na spodní straně rohože je nitrol-gumová vrstva zajišťující protiskluznost rohože. Výměna rohoží je prováděna v pravidelných intervalech kus za kus, tudíž u zákazníka nezůstává nikdy prázdné místo bez rohože. [2]

## 1.5 Přeprava textilu

Přepravu textilu zajišťuje společnost VAKO-Logistic. Ta má pro distribuci textilu vyčleněny tři typy vozidel: Sprinter (Mercedes-Benz), Ducato (Fiat) a Daily (Iveco). Základní charakteristiky vozidel jsou uvedeny v Tabulce 1. Pro zpracování diplomové práce je nejpodstatnější ložný objem, jelikož je nutné zajistit, aby kapacita skříně vozidla byla dostatečná pro naplánovaný objem přepravovaného textilu.

Tabulka 1. Charakteristika vozidel [vlastní zpracování, zdroj: Pražská pobočka Salesianer Miettex]

	<b>Vozidlo I</b>	<b>Vozidlo II</b>	<b>Vozidlo III</b>
<b>Značka</b>	Mercedes-Benz	Fiat	Iveco
<b>Typ</b>	Sprinter	Ducato	Daily
<b>Počet vozidel</b>	1	1	5
<b>Ložný objem</b>	14,3 m <sup>3</sup>	13,2 m <sup>3</sup>	26,4 m <sup>3</sup>

Každý vůz je opatřen GPS lokátorem, díky němuž je jeho pohyb monitorován a zaznamenáván. Pomocí aplikace Ecofleet je možné sledovat pohyb vozidel a jejich řidičů online. Zároveň aplikace umožňuje zobrazit historii jednotlivých vozidel v uplynulých měsících v každém konkrétním dni. Tudíž je možné zjistit i kde strávil řidič přestávku a jak dlouho trvala. Zároveň také lze z aplikace vyčíst, které zákazníky na své trase řidič navštívil. Tato aplikace byla využita při analyzování distribuce ve zvoleném období.



## **2. Analýza distribuce**

Společnost Salesianer Miettex zajišťuje distribuci textilu po celé České republice. Prádelny společnosti Salesianer Miettex jsou umístěny ve třech městech – Praha, Kralupy nad Vltavou a České Budějovice. Prádelny v Praze a Českých Budějovicích obsluhují pouze své okolí. Prádelna v Kralupech nad Vltavou je největší a zajišťuje distribuci po celé České republice. Z prádelny je přímo rozvážen textil v rámci Čech. Území Moravy je obsluhováno přes překladiště umístěné v Olomouci. V praxi je tedy textil od zákazníků na území Moravy svážen do Olomouce a odtud je třikrát v týdnu textil převezen na servis do Kralup nad Vltavou. Z Kralup nad Vltavou je po servisu textil opět převezen do Olomouce a odtud je provedena distribuce k zákazníkům. Přeprava textilu mezi Kralupy nad Vltavou a Olomoucí je prováděna pomocí nákladních vozidel vyčleněných pro tuto činnost, tudíž neovlivňuje distribuci textilu v rámci Čech. Předmětem diplomové práce jsou pouze distribuční trasy začínající i končící v Kralupech (bez využití překladiště). Přidělení zákazníků k jednotlivým prádelnám je stanoveno napevno. Existují i zákazníci, jejichž sídlo je v Praze či Českých Budějovicích a jsou obsluhováni kralupskou prádelnou. Tito zákazníci jsou také zahrnuti do řešení diplomové práce. [2]

### **2.1 Zákazníci společnosti Salesianer Miettex**

Zákazníci obsluhovaní kralupskou prádelnou jsou uvedeni v Příloze 1. V Příloze 1 se nachází tabulka měst, která jsou obsluhována kralupskou prádelnou. U každého města je uveden zákazník či zákazníci, kteří jsou v daném městě obsluhováni. V tabulce je dále uvedena adresa místa obsluhy zákazníka, jeho GSP souřadnice, frekvence s jakou je zákazník obsluhován, požadavky zákazníka (kolik rohoží, pracovních oděvů a utěrek požaduje zákazník dovézt v sudém a lichém týdnu), obvyklá délka trvání obsluhy zákazníka a jeho provozní doba. V případě, že zákazník společnosti Salesianer Miettex neurčil dobu, kdy chce být obsluhován, je při výpočtu dosazena doba 6:00 – 16:00. Čas 6:00 byl určen jako nejdříve možná doba obsluhy a čas 16:00 jako nejpozději možná doba obsluhy zákazníka řidičem. Poslední řádek u každého města, jež má více než jednoho zákazníka, je využit pro součet. Z tohoto řádku je možné vyčíst celkový požadavek města na jednotlivé druhy textilu, celkovou dobu obsluhy města a časové rozmezí, ve kterém může být město obsluženo. Tyto údaje jsou rozdělené na sudý a lichý týden. Do řešení diplomové práce byli zahrnuti pouze zákazníci, jejichž perioda obsluhy je maximálně 2 týdny. Celkově je společností Salesianer Miettex z Kralup obsluhováno 799 zákazníků z 243 různých měst. V lichém týdnu společnosti obsluhuje 572 zákazníků z 204 měst a v sudém týdnu obsluhuje 606 zákazníků z 218 měst.

Pro navržení tras je nutné znát vzdálenosti mezi jednotlivými městy a zákazníky. V Příloze 2 jsou uvedeny distanční matice vzdáleností mezi jednotlivými městy. Distanční matice jsou uvedeny ve dvou variantách pro sudý a lichý týden. Pro každé město bylo zvoleno těžiště, ke kterému se výpočet distanční matice vztahuje. V případě, že ve městě je obsluhován pouze jeden zákazník, jeho adresa je zvolena jako těžiště. V případě, že jsou ve městě dva a více zákazníků jako těžiště byl zvolen zákazník s nejčetnější obsluhou, tj. zákazník, u kterého obsluha probíhá nejčastěji (ideálně týdně). Druhotným faktorem pro volbu těžiště byla jeho poloha ve městě. V Příloze 3 jsou uvedeny distanční matice uvádějící dobu přejezdu mezi jednotlivými městy v minutách. Matice jsou opět uvedeny ve dvou variantách pro sudý i lichý týden a zákazníci jsou taktéž zastupováni totožným těžištěm jako v maticích v Příloze 2

Všechny distanční matice uvedené v Přílohách 2 a 3 byly vytvořeny pomocí programu Microsoft Excel za pomoci doplňků CDX Zip Stream a Bing Maps.

## **2.2 Současný stav obsluhy**

V současné době je obsluha prováděna dle naplánovaných distribučních tras (Tabulky 2 – 6). Označení tras a přiřazení řidičů vychází z informací získaných od společnosti. Jednotlivé trasy mají přiřazené zákazníky, které je nutné během dne obsloužit. Obrázky 2 – 6 znázorňují polohy zákazníků, kteří dle současného rozdělení spadají pod jednotlivé dny. Každá trasa má přiřazeného řidiče, kterým je obvykle obsluhována v den případně ve dvou dnech, ve kterých je obsluha uskutečňována. Na základě údajů z aplikace Ecofleet byl ke každé trase dopočítán celkový počet zákazníků náležících k trase (počet skutečně obslužených zákazníků se v jednotlivých týdnech liší dle periody obsluhy zákazníků). Ostatní hodnoty charakteristik uvedené v tabulce jsou hodnotami průměrnými. Pro jejich vypočtení byly zprůměrovány hodnoty charakteristik z jednotlivých dní týdne dle dat z aplikace Ecofleet. Průměrná délka trasy vyjadřuje, kolik kilometrů průměrně na trase řidič ujede. Průměrná doba jízdy odpovídá času, který řidič průměrně stráví jízdou na dané trase. Průměrná doba čekání vypovídá o délce doby, kdy řidič neřídí vozidlo. Do této doby je tedy zahrnuta obsluha zákazníků, ale zároveň i doba přestávek či tankování. Průměrná doba nakládky/vykládky vozidla odpovídá době, kterou řidič stráví v prádelně před výjezdem na danou trasu, tj. odpoledne den před tím, než danou trasu obsluhuje. Zahrnuje tedy zároveň vykládku špinavého textilu z předchozí trasy a nakládku textilu pro trasu odpovídajícího označení. Tato doba nemusí odpovídat době samotné nakládky a vykládky, ale může zahrnovat například čekání, až bude prádlo k nakládce připravené, či jakékoliv zdržení v prádelně. Doba odpovídá pouze času, který jakýmkoliv způsobem strávil řidič v prádelně den před tím, než obsluhoval danou trasu.

Distribuční trasy jsou v některých případech navrženy na dva dny. V takovémto případě řidič v prádelně naloží textil na oba dva dny. První den projede část trasy a přespí mimo domov. Druhý den obslouží zbytek zákazníků a přijíždí do prádelny. Počet zákazníků je pro tyto trasy přiřazen v tabulce k prvnímu dni, jelikož nelze přesně rozhodnout, kteří zákazníci přísluší kterému dni. Ostatní charakteristiky jsou dopočítány stejně jako u jednodenních tras.

Všechny vypočtené hodnoty v Tabulkách 2 – 6 vypovídají o průměrném týdnu, což znamená, že nezohledňují, zda se jedná o týden lichý či sudý.

Tabulka 2. Charakteristika původních distribučních tras pro pondělí [vlastní zpracování na základě dat z aplikace Ecofleet]

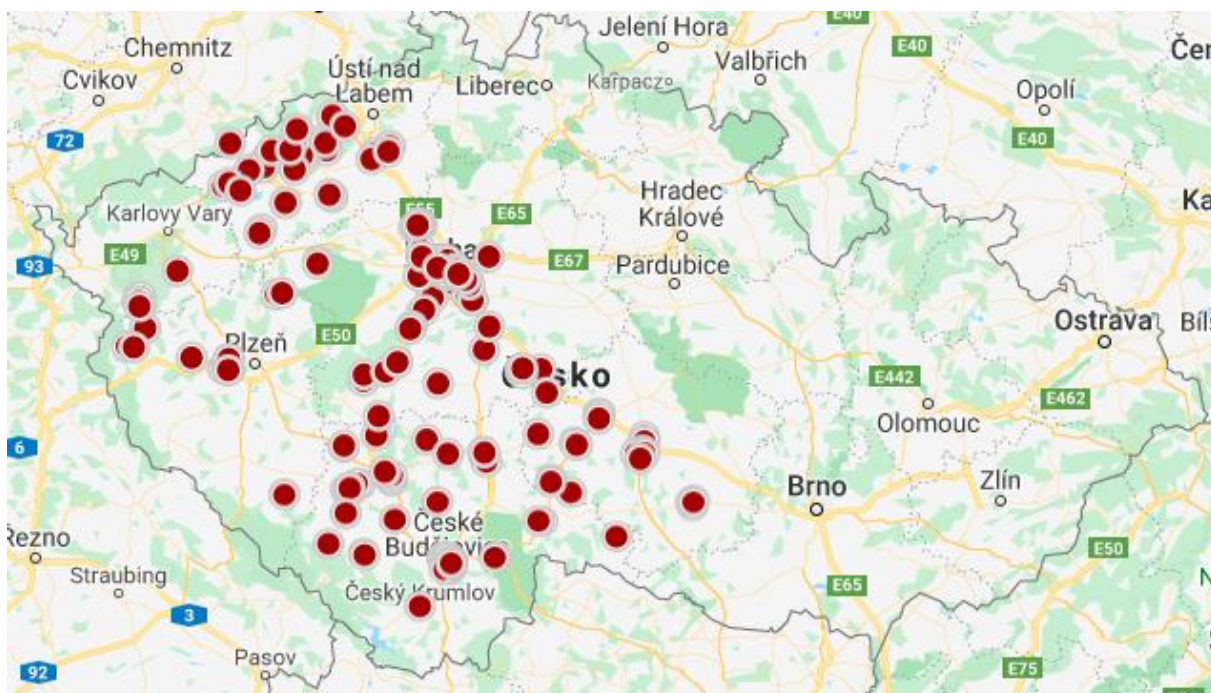
Označení trasy	Název trasy	Řidič	Doba obsluhy	Počet zákazníků	Průměrná délka trasy [km]	Průměrná doba jízdy na trase [hh:mm]	Průměrná doba čekání na trase [hh:mm]	Průměrná doba vykládky/nakládky [hh:mm]
A2	Kostelec	Horáček	1 den	6	419	5:32	1:50	1:44
A3	E. Junker Mělník	Kovář V.	1 den	6	166	5:03	2:46	0:56
A4	Praha	Richter	1 den	62	163	5:03	3:42	1:34
A7	Hradec Králové	Hájek	2 dny	69	332	6:02	4:02	1:25
A8	Plzeň	Idzczak	1 den	41	405	7:44	6:34	1:10
A9	Praha	Nekuda	1 den	51	159	4:27	3:44	1:04
	<b>Celkem</b>	<b>6</b>		<b>235</b>	<b>1644</b>	<b>33:51</b>	<b>22:38</b>	<b>7:53</b>



Obrázek 2. Zákazníci obsluhovaní na území Čech v pondělí [z aplikace Ecofleet]

Tabulka 3. Charakteristika původních distribučních tras pro úterý [vlastní zpracování na základě dat z aplikace Ecofleet]

Označení trasy	Název trasy	Řidič	Doba obsluhy	Počet zákazníků	Průměrná délka trasy [km]	Průměrná doba jízdy na trase [hh:mm]	Průměrná doba čekání na trase [hh:mm]	Průměrná doba vykládky/nakládky [hh:mm]
B2	Praha	Richter	1 den	62	154	4:36	3:36	1:08
B3	Chomutov	Horáček	1 den	43	350	6:29	2:10	0:59
B4	Plzeň	Idzczak	1 den	23	569	9:03	3:57	0:42
B5	Humpolec	Šulc	2 dny	51	394	7:02	3:56	2:07
B7	České Budějovice	Nekuda	2 dny	58	380	6:38	2:28	1:32
A7	Hradec Králové	Hájek	2 dny	-	233	4:57	3:40	0:00
	<b>Celkem</b>	<b>6</b>		<b>237</b>	<b>2079</b>	<b>38:45</b>	<b>19:47</b>	<b>6:28</b>



Obrázek 3. Zákazníci obsluhovaní na území Čech v úterý [z aplikace Ecofleet]

Tabulka 4. Charakteristika původních distribučních tras pro středů [vlastní zpracování na základě dat z aplikace Ecofleet]

Označení trasy	Název trasy	Řidič	Doba obsluhy	Počet zákazníků	Průměrná délka trasy [km]	Průměrná doba jízdy na trase [hh:mm]	Průměrná doba čekání na trase [hh:mm]	Průměrná doba vykládky/nakládky [hh:mm]
C1	Ústí nad Labem	Horáček	1 den	33	271	4:37	4:25	1:11
C3	Praha	Richter	1 den	45	198	5:13	3:09	1:00
C4	Plzeň	Idzczak	1 den	21	432	6:41	4:20	1:00
C7	Trutnov	Hájek	1 den	41	468	8:29	2:21	1:22
B5	Humpolec	Šulc	2 dny	-	247	4:23	2:36	0:00
B7	České Budějovice	Nekuda	2 dny	-	290	4:19	1:20	0:00
	<b>Celkem</b>	<b>6</b>		<b>140</b>	<b>1906</b>	<b>33:42</b>	<b>18:11</b>	<b>4:33</b>



Obrázek 4. Zákazníci obsluhovaní na území Čech ve středů [z aplikace Ecofleet]

Tabulka 5. Charakteristika původních distribučních tras pro čtvrtek [vlastní zpracování na základě dat z aplikace Ecofleet]

Označení trasy	Název trasy	Řidič	Doba obsluhy	Počet zákazníků	Průměrná délka trasy [km]	Průměrná doba jízdy na trase [hh:mm]	Průměrná doba čekání na trase [hh:mm]	Průměrná doba vykládky/nakládky [hh:mm]
D1	Kostelec	Šulc	1 den	15	408	6:53	2:04	1:34
D2	Mladá Boleslav	Kovář V.	2 dny	81	177	4:53	2:01	1:24
D3	Plzeň	Idzczak	1 den	19	370	6:41	4:20	0:42
D4	Praha	Richter	1 den	58	175	5:03	2:56	0:57
D5	Karlovy Vary	Hájek	1 den	30	516	7:53	2:00	0:57
D7	Praha	Nekuda	1 den	48	240	5:32	3:17	1:04
D8	Praha	Horáček	1 den	44	103	4:07	2:55	1:37
	<b>Celkem</b>	<b>7</b>		<b>295</b>	<b>1989</b>	<b>41:02</b>	<b>19:33</b>	<b>8:15</b>



Obrázek 5. Zákazníci obsluhovaní na území Čech ve čtvrtek [z aplikace Ecofleet]

Tabulka 6. Charakteristika původních distribučních tras pro pátek [vlastní zpracování na základě dat z aplikace Ecofleet]

Označení trasy	Název trasy	Řidič	Doba obsluhy	Počet zákazníků	Průměrná délka trasy [km]	Průměrná doba jízdy na trase [hh:mm]	Průměrná doba čekání na trase [hh:mm]	Průměrná doba vykládky/nakládky [hh:mm]
E2	Praha	Richter	1 den	64	129	4:19	3:17	0:57
E3	Lanškroun	Horáček	1 den	22	513	7:03	3:06	1:46
E4	Říčany	Šulc	1 den	42	225	6:09	4:37	1:30
E5	Praha	Nekuda	1 den	52	181	4:22	2:49	0:55
E6	Kladno	Hájek	1 den	42	253	5:13	3:04	0:40
E7	Žebrák + FXM	Idczak	1 den	8	214	3:45	10:11	1:42
D2	Mladá Boleslav	Kovář V.	2 dny	-	225	6:06	2:32	0:00
	<b>Celkem</b>	<b>7</b>		<b>232</b>	<b>2140</b>	<b>41:57</b>	<b>29:36</b>	<b>7:30</b>



Obrázek 6. Zákazníci obsluhovaní na území Čech v pátek [z aplikace Ecofleet]

Z Tabulek 2 – 6 je zřejmý pravidelný výkyv hodnot doby čekání u řidiče Idczaka. Vzhledem k faktu, že do této hodnoty spadá obsluha zákazníků či jakékoliv pauzy na trase, řidič do značné míry může tuto charakteristiku ovlivnit sám svými chováními. Tento vliv u výše uvedeného řidiče potvrdila i sama společnost Salesianer Miettex. Ostatní charakteristiky u tohoto řidiče se nijak výrazně neodlišují od ostatních řidičů.

Tabulka 7 uvádí celkové shrnutí jednotlivých charakteristik pro každého řidiče v jednom pracovním týdnu a v posledním řádku tabulky je uveden součet jednotlivých charakteristik pro jeden týden, v případě obsluhy dle naplánovaných tras. Celkové hodnoty odpovídají hodnotám určeným z průměrných hodnot charakteristik v jednotlivých dnech v Tabulkách 2 až 6.

Tabulka 7. Charakteristika jednoho týdne provozu – průměr [vlastní zpracování na základě dat z aplikace Ecofleet]

	Najeté kilometry [km]	Doba jízdy [hh:mm]	Doba čekání [hh:mm]	Doba vykládky/nakládky [hh:mm]	Celkem odpracovaných hodin [hh:mm]
Hájek	1802	32:34	15:07	4:24	52:05
Horáček	1655	27:48	14:26	7:17	49:31
Idczak	1990	33:54	29:22	5:16	68:32
Kovář V.	568	16:02	7:19	2:20	25:41
Nekuda	1250	25:18	13:38	4:35	43:31
Richter	819	24:14	16:40	5:36	46:30
Šulc	1274	24:27	13:13	5:11	42:51
<b>Celkem</b>	<b>9758</b>	<b>189:17</b>	<b>109:45</b>	<b>34:39</b>	<b>333:41</b>

Řidiči si závoz na další den připravují již den dopředu, kdy naloží všechny textilie, které budou následující den rozvážet do svého vozidla a s naloženým vozidlem opouští prádelnu. V den rozvozu vyjíždí ráno k zákazníkům rovnou z domova. Odpolední cesta z prádelny domů a ranní cesta z domova k napojení na trasu jsou zdrojem neproduktivních kilometrů, které jsou zahrnuty do celkového počtu kilometrů. Tato položka ovlivňuje náklady společnosti na ujeté kilometry. Náklady na ujeté kilometry ovlivňuje i fakt, že si trasu obsluhy může každý řidič upravit sám, pouze s podmínkou, že musí obsloužit každého zákazníka. Během obsluhy je zákazníkovi předáno čisté zboží a špinavé textilie jsou naloženy do vozidla. Po obslužení všech zákazníků jede řidič do kralupské prádelny, kde vyloží prádlo, které je nutné opravit a vyčistit, a zároveň si naloží vozidlo na další den. Prádelna otevírá pro příjem textilií až v 13:00. Řidiči tak mohou upravit svůj denní harmonogram a směřovat svůj příjezd nejdříve na 13:00.



### 2.3 Analýza distribuce zvoleného období

Pro analýzu stávajícího provozu byl vybrán květen 2018. V tomto měsíci bylo 21 pracovních dní, během nichž bylo z kralupské prádelny předáno 3789 zakázek. Počet zakázek je zkreslený vzhledem k tomu, že aplikace Ecofleet odlišuje zakázky dle jejich kódu, který je odlišný pro každý druh zboží. Pokud tedy byly dovezeny dva druhy zboží zákazníkovi v jednu chvíli, aplikace započítá dvě dodávky. Distribuci textilu z kralupské prádelny během celého měsíce zajišťovalo 7 řidičů, kteří celkově najezdili 39 792 km.

Na distribuci textilu ve vybraném měsíci mělo vliv několik faktorů: státní svátky, dovolená řidičů či výjezdy řidičů do zahraničních poboček společnosti. Důsledkem bylo odlišné naplánování tras či záměna řidiče obvykle obsluhujícího trasy. Za předpokladu, že byli všichni zákazníci obslouženi, lze porovnat celkové charakteristiky (ujeté kilometry a odpracovanou dobu) reálného provozu v květnu 2018 s hodnotami celkových charakteristik vycházejících z průměrného týdne. Výpočet odpovídá sumě celkových charakteristik za jednotlivé dny, kdy každý den je započítán dle počtu jeho výskytů v měsíci květnu 2018. Cílem následujících odstavců je poskytnout důkaz, že charakteristiky distribučních tras pro jednotlivé dny a jednotlivé řidiče byly pomocí výpočtu průměrně dosažených hodnot charakteristik z dat správně určeny a odpovídají reálnému provozu.

Tabulka 8 zobrazuje základní charakteristiky pro jednotlivé řidiče za celý měsíc květen 2018 dopočítané z charakteristik pro jednotlivé trasy. Vychází z Tabulek 2 – 6 a počítá s 21 pracovními dny (4x pondělí, 3x úterý, 5x středa, 5x čtvrtek, 4x pátek). Jednotlivé charakteristiky uvedené v Tabulce 8 lze porovnat s Tabulkou 9, která zobrazuje totožné charakteristiky pro jednotlivé řidiče v měsíci květnu 2018 dle skutečně uskutečněných jízd.

Tabulka 8. Charakteristika provozu květen 2018 – průměr [vlastní zpracování na základě dat z aplikace Ecofleet]

	Najeté kilometry [km]	Doba jízdy [hh:mm]	Doba čekání [hh:mm]	Doba vykládky/nakládky [hh:mm]	Celkem odpracovaných hodin [hh:mm]
Hájek	7957	141:41	61:09	19:55	222:45
Horáček	6645	113:27	62:54	30:57	207:18
Idzczak	8195	139:55	122:11	22:04	284:10
Kovář V.	2448	69:01	31:17	10:44	111:02
Nekuda	5150	104:25	56:41	17:52	178:58
Richter	3496	102:36	69:09	23:13	194:58
Šulc	5357	102:02	53:36	20:11	175:49
<b>Celkem</b>	<b>39248</b>	<b>773:07</b>	<b>456:57</b>	<b>144:56</b>	<b>1375:00</b>

Tabulka 9. Charakteristika provozu květen 2018 – reálný provoz [vlastní zpracování na základě dat z aplikace Ecofleet]

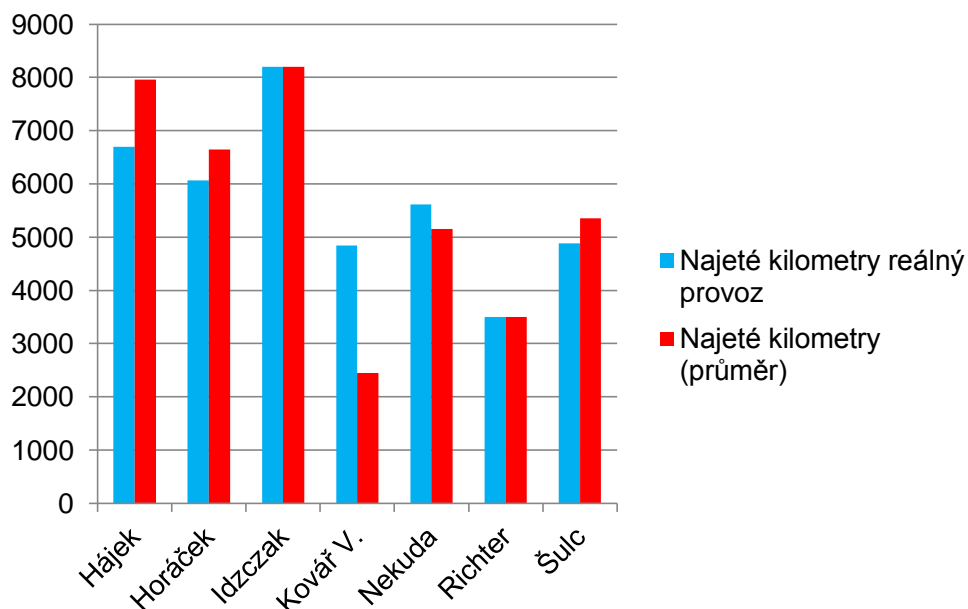
	Najeté kilometry [km]	Doba jízdy [hh:mm]	Doba čekání [hh:mm]	Doba vykládky/nakládky [hh:mm]	Celkem odpracovaných hodin [hh:mm]
Hájek	6700	128:34	56:08	18:26	203:08
Horáček	6066	97:55	52:32	29:37	180:04
Idzczak	8195	145:19	135:32	23:45	304:36
Kovář V.	4838	110:57	57:29	20:45	189:11
Nekuda	5618	108:28	52:21	17:34	178:23
Richter	3496	102:38	69:08	23:07	194:53
Šulc	4879	87:39	41:51	13:14	142:44
<b>Celkem</b>	<b>39792</b>	<b>781:30</b>	<b>465:01</b>	<b>146:28</b>	<b>1392:59</b>

Odchyly základních charakteristik provozu určených na základě průměrných hodnot charakteristik v jednotlivých dnech od reálného provozu jsou vypočteny v Tabulce 10. Tabulka 10 zobrazuje odchyly průměrných charakteristik od hodnoty reálného provozu pro každého řidiče jednotlivě. V posledním řádku je uvedena odchylka celkových charakteristik za měsíc květen 2018.

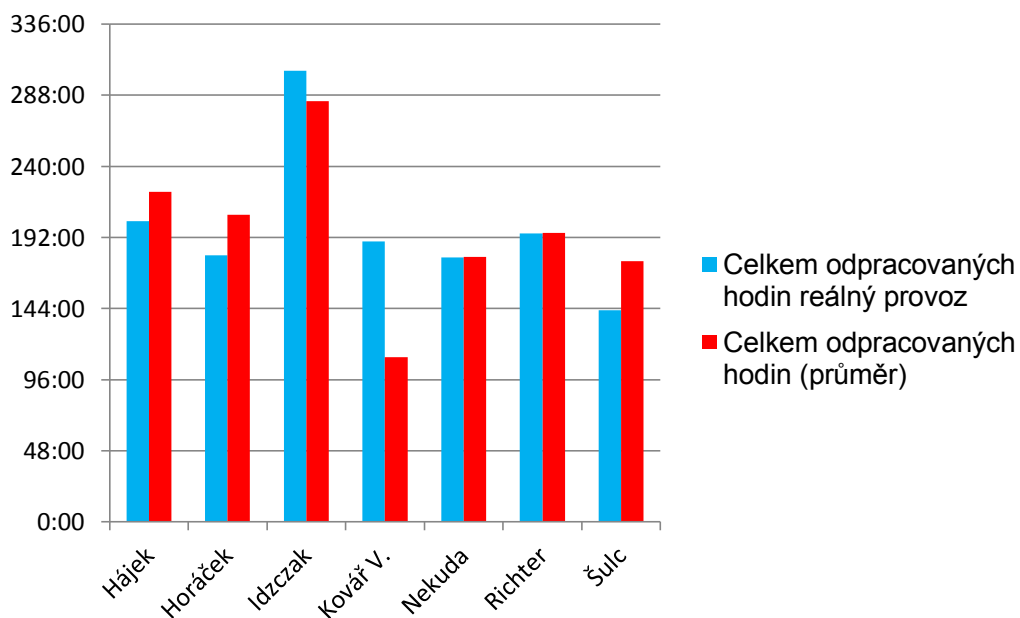
Tabulka 10. Odchylka základních charakteristik výpočtu od reálného provozu v měsíci květen 2018 [vlastní zpracování na základě dat z aplikace Ecofleet]

	Najeté kilometry [%]	Doba jízdy [%]	Doba čekání [%]	Doba vykládky/nakládky [%]	Celkem odpracovaných hodin [%]
Hájek	+18,8	+10,2	+8,9	+8,0	+9,7
Horáček	+9,5	+15,9	+19,7	+4,5	+15,1
Idzczak	0,0	-3,7	-9,8	-7,1	-6,7
Kovář V.	-49,4	-37,8	-45,6	-48,3	-41,3
Nekuda	-8,3	-3,7	+8,2	+1,7	+0,3
Richter	0,0	-0,0	+0,0	+0,4	+0,0
Šulc	+9,8	+16,4	+28,1	+52,5	+23,2
<b>Celkem</b>	<b>-1,4</b>	<b>-1,0</b>	<b>+1,7</b>	<b>-1,0</b>	<b>-1,3</b>

Pro názornost je v následujících grafech zobrazeno porovnání základních charakteristik pro jednotlivé řidiče. Graf 4 znázorňuje ujetou vzdálenost jednotlivých řidičů za měsíc vycházející z průměrných hodnot a při reálném provozu. Graf 5 porovnává celkovou odpracovanou dobu (součet doby jízdy, doby čekání a doby nakládky a vykládky) jednotlivých řidičů za měsíc.



Graf 4. Porovnání najetých kilometrů reálného provozu a určených průměrem [vlastní zpracování na základě dat z aplikace Ecofleet]



Graf 5. Porovnání odpracovaných hodin reálného provozu a určených výpočtem [vlastní zpracování na základě dat z aplikace Ecofleet]

Z grafů i hodnot odchylek je zřejmé, že se jednotlivé charakteristiky dle reálného provozu a určené z průměrných hodnot charakteristik u některých řidičů odlišují. Vzhledem k tomu, že došlo k obsluze všech zákazníků a celkové hodnoty charakteristik reálného provozu se od

celkových hodnot charakteristik určených na základě průměrů příliš neliší (konkrétně se odchylka celkových hodnot určených z průměrných hodnot jednotlivých charakteristik v jednotlivých dnech pohybuje v rozmezí 1 – 2 % od hodnoty reálného provozu), jde pouze o potvrzení faktu, že v měsíci květen 2018 došlo k úpravám při přidělování jednotlivých tras mezi řidiče.

Porovnání hodnot určených z průměrných hodnot charakteristik jednotlivých dní a reálného provozu bylo provedeno i na kalkulaci celkových nákladů vynaložených na přepravu za měsíc květen 2018 (Tabulka 11). Výpočet vychází ze znalosti ceny za 1 ujetý kilometr. Společnost dopravci zaplatí 8 Kč za každý ujetý km a zároveň za každého řidiče uhradí paušál 2100 Kč za každý den v práci. Celkové náklady při teoretickém výpočtu se od celkových nákladů při reálném provozu odlišují o 8 249,6 Kč, což činí přibližně 1 % z celkových nákladů. Na základě výše uvedených faktů lze označit charakteristiky jednotlivých tras v jednotlivých dnech za odpovídající reálnému provozu. Tyto charakteristiky tras budou využity při závěrečném porovnání návrhu tras.

Tabulka 11. Srovnání celkových nákladů pro průměrné hodnoty charakteristik a reálný provoz [vlastní zpracování]

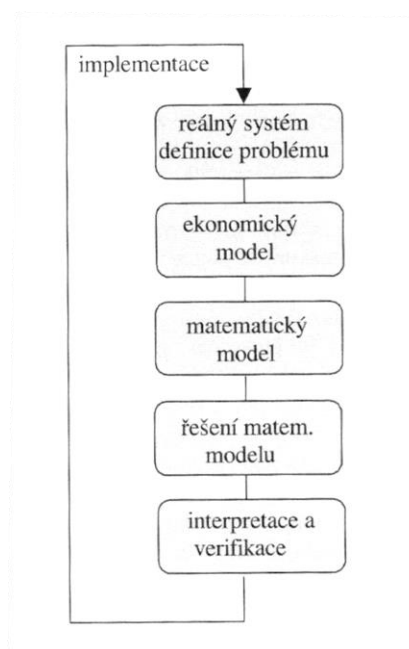
	<b>Výpočet</b>	<b>Reálný provoz</b>
Ujeté km	39 248	39 792
Náklady na ujeté km [Kč]	313 985,6	318 336
Počet cest	139	133
Náklady za řidiče [Kč]	291 900	279 300
<b>Celkové náklady [Kč]</b>	<b>605 885,6</b>	<b>597 636</b>

### 3. Teoretická východiska řešení – úvod do matematického programování

#### 3.1 Operační výzkum

Operační výzkum je disciplínou, která se zabývá analýzou různých typů rozhodovacích problémů. Vzhledem k faktu, že jde spíše o soubor několika poddisciplín, je velmi obtížné stanovit přesné datum vzniku operačního výzkumu. První úlohy, které lze řadit pod pojem operační výzkum, se datují do 30. a 40. let 20. století. Největší rozvoj obor zažil během druhé světové války.

Operační výzkum nachází využití při analýze a koordinaci provádění operací v rámci systému se záměrem určit úroveň provádění operací či jejich vzájemný vztah při co nejlepším fungování systému. Fungování systému je obvykle limitováno řadou omezení, např. zdroji, prováděním jiných operací či vnějšími vlivy. Cílem operačního výzkumu je najít efektivní řešení zvoleného problému při dodržení všech omezení. Nejvýhodnější řešení je určeno kritérii zvolenými před začátkem samotného řešení problému.



Obrázek 7. Fáze při aplikaci operačního výzkumu [3]

Aplikace operačního výzkumu sestává z šesti po sobě následujících fází, které jsou znázorněny na Obrázku 7. První fází je samotné rozpoznání problému v rámci reálného systému a jeho definice. Ve druhé fázi je nutné formulovat ekonomický model, který je popisem reálného systému, jenž je obvykle příliš složitý pro další modelování. Ekonomický model musí obsahovat jednoznačně určený cíl analýzy, popis procesů a činitelů, které mají

znatelný vliv na výsledek modelování, a vztahy mezi cílem analýzy, procesy a činiteli. Ve třetí fázi je ekonomický model převeden do matematického modelu, což spočívá ve formalizování zápisu původně slovně a numericky utvořeného ekonomického modelu. Následně je provedeno vlastní řešení matematického modelu. Předposlední fází je interpretace dosažených výsledků a jejich verifikace, tedy ověření správnosti návrhu ekonomického a matematického modelu pro daný problém. Poslední fází je implementace v rámci reálného systému. Ideálním výstupem všech fází je zdokonalení funkce systému z hlediska definovaného cíle. [3]

### 3.2 Matematické programování

Operační výzkum je souborem několika disciplín. Mezi tyto disciplíny se řadí i matematické programování, které bylo zvoleno jako nástroj pro řešení této diplomové práce. Využívá se pro řešení optimalizačních úloh, jejichž úkolem je najít optimum kritéria a omezení. V těchto úlohách je kritérium zadané pomocí kritériální funkce, které dává do souvislosti  $n$  proměnných. Množina přípustných řešení každé úlohy vychází ze soustavy omezujících podmínek. Úlohy matematického programování lze rozdělit do dvou skupin – lineární a nelineární. Lineární programování se využívá pro takové úlohy, ve kterých je zápis kritériální funkce i omezujících podmínek tvořen výhradně lineárními rovnicemi a nerovnicemi. V případě, že je jen jediná z rovnic funkcí nelineární, jedná se o nelineární programování. Nelineární programování je oproti lineárnímu velmi málo využívané, vzhledem k náročnosti jeho řešení a výpočtu.

Obecně lze zapsat úlohu matematického programování ve formě matematického modelu následovně:

$$z = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow \max(\min) \quad (1)$$

za podmínek

$$g_1 = (x_1, x_2, \dots, x_n) \geq 0, \quad (2)$$

$$g_2 = (x_1, x_2, \dots, x_n) \geq 0, \quad (3)$$

:

$$g_m = (x_1, x_2, \dots, x_n) \geq 0, \quad (4)$$

$$x_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n, \quad (5)$$

kde

$n$  počet proměnných modelu

$m$  počet omezujících podmínek

$f(x)$	účelová funkce
$g_i(x)$	funkce omezujících podmínek
$x_j$	hodnoty proměnných modelu [4].

### 3.3 Travel Salesman Problem (TSP)

Jedním z příkladů možného využití lineárního programování při řešení problému je úloha Travel Salesman Problem neboli problém obchodního cestujícího. Cílem úlohy TSP je navrhnout obsluhu konečného počtu všech vrcholů (zákazníků) v síti tak, aby byl každý vrchol navštíven právě jednou a obslužné vozidlo ujelo během obsluhy nejkratší možnou vzdálenost. První cesta vždy vede z depa k prvnímu obslouženému zákazníkovi a poslední cesta vede od posledního obslouženého zákazníka zpět do depa. Vstupem do úlohy je matice vzdáleností vrcholů (včetně depa). V úloze TSP platí, že celkový součet požadavků všech vrcholů je nižší než kapacita obslužného vozidla. Výstupem úlohy je tedy nejkratší možná okružní jízda, která zahrnuje všechny vrcholy.

Matematický model úlohy TSP lze zapsat následovně:

$$\min f(x) = \sum_{i \in N_0} \sum_{j \in N_0} c_{ij} x_{ij} \quad (6)$$

za podmínek

$$\sum_{i \in N_0} x_{ij} = 1 \quad \text{pro } j \in N_0, \quad (7)$$

$$\sum_{j \in N_0} x_{ij} = 1 \quad \text{pro } i \in N_0, \quad (8)$$

$$u_i - u_j + nx_{ij} \leq n - 1 \quad \text{pro } i \in N \text{ a } j \in N \text{ a } i \neq j, \quad (9)$$

$$x_{ij} \in \{0; 1\} \quad \text{pro } i \in N_0 \text{ a } j \in N_0, \quad (10)$$

kde

$N$  množina obsluhovaných vrcholů,

$N_0$  množina obsluhovaných vrcholů včetně depa

$u_{i,j}$  proměnné přiřazené k jednotlivým vrcholům vyjadřující pořadí obsluhy vrcholu

$x_{ij}$  bivalentní proměnná, které modeluje rozhodnutí, zda bude proveden přejezd od vrcholu  $i \in N_0$  k vrcholu  $j \in N_0$

Účelová funkce (6) minimalizuje neproduktivně ujetou vzdálenost při obsluze jednotlivých vrcholů. Podmínka (7) zajišťuje, že do každého vrcholu vstoupí obsluha právě jedenkrát. Podmínka (8) naopak, že z každého vrcholu vystoupí obsluha pouze jedenkrát. Cílem podmínky (9) je zajištění spojitosti obsluhy. Při absenci podmínky (9) by mohlo dojít k oddělení tras obsluhy do dílčích okruhů, což není žádoucí. Podmínka (10) určuje definiční obor hodnot proměnných. [5]

### 3.4 Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows (CVRPTW)

Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows (CVRPTW) neboli VRP úloha s kapacitním omezením vozidlového parku a časovými okny je konkrétním typem úlohy lineárního programování. CVRPTW je úlohou, která zobecňuje úlohu Travel Salesman Problem (TSP). V úloze CVRPTW je na rozdíl od úlohy TSP součet požadavků vrcholů vyšší než kapacita největšího obslužného vozidla. Zároveň je řešení úlohy omezené časovými okny, ve kterých je možné daného zákazníka obsloužit. Výsledkem úlohy CVRPTW je návrh tras, kterými projedou jednotlivá obslužná vozidla při splnění podmínky, že každý vrchol je obslužen právě jedním vozidlem v časovém okně dle jeho možností. Snahou je, stejně jako u úlohy TSP, dosáhnout minimální ujeté vzdálenosti resp. součtu vzdáleností, které ujedou jednotlivá vozidla. Vstupem úlohy CVRPTW je distanční matice (včetně depa), požadavky jednotlivých vrcholů (příčemž platí, že žádný požadavek zákazníka nepřevyšuje kapacitu největšího obslužného vozidla), kapacita jednotlivých vozidel, matice časové náročnosti přesunů mezi jednotlivými vrcholy (včetně depa) a časové požadavky na obsluhu jednotlivých vrcholů.

Matematický model úlohy CVRPTW lze zapsat následovně:

$$\min f(x, y, z) = \sum_{\substack{i \in N_0 \\ i \neq j}} \sum_{j \in N_0} \sum_{k \in V} c_{ij} x_{ijk} \quad (11)$$

za podmínek

$$\sum_{\substack{i \in N_0 \\ i \neq j}} \sum_{k \in V} x_{ijk} = 1 \quad \text{pro } j \in N, \quad (12)$$

$$\sum_{\substack{i \in N_0 \\ i \neq j}} x_{ijk} = \sum_{\substack{i \in N_0 \\ i \neq j}} x_{jik} \quad \text{pro } j \in N \text{ a } k \in V, \quad (13)$$

$$\sum_{j \in N} x_{0jk} \leq 1 \quad \text{pro } k \in V, \quad (14)$$



$$\sum_{i \in N} x_{i0k} \leq 1 \quad \text{pro } k \in V, \quad (15)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N_0} b_i x_{ijk} \leq q_k \quad \text{pro } k \in V, \quad (16)$$

$$y_{ik} - y_{jk} + |N| x_{ijk} \leq |N| - 1 \quad \text{pro } i \in N, j \in N \text{ a } k \in V, \quad (17)$$

$$z_{jk} \geq f_j \sum_{i \in N_0} x_{ijk} \quad \text{pro } j \in N \text{ a } k \in V, \quad (18)$$

$$z_{jk} + s_j \sum_{\substack{i \in N_0 \\ i \neq j}} x_{ijk} \leq h_j \sum_{\substack{i \in N_0 \\ i \neq j}} x_{ijk} \quad \text{pro } j \in N \text{ a } k \in V, \quad (19)$$

$$z_{ik} + (s_i + t_{ij}) x_{ijk} \leq z_{jk} + M(1 - x_{ijk}) \quad \text{pro } i \in N, j \in N \text{ a } k \in V, \quad (20)$$

$$x_{ijk} \in \{0; 1\} \quad \text{pro } i \in N_0, j \in N_0 \text{ a } k \in V, \quad (21)$$

$$y_{ik} \geq 0 \quad \text{pro } i \in N \text{ a } k \in V, \quad (22)$$

$$z_{ik} \geq 0 \quad \text{pro } i \in N \text{ a } k \in V, \quad (23)$$

$$z_{0k} = 0 \quad \text{pro } k \in V, \quad (24)$$

kde

$N$  množina obsluhovaných vrcholů,

$N_0$  množina obsluhovaných vrcholů včetně depa,

$|N|$  počet obsluhovaných vrcholů,

$V$  množina vozidel zajišťujících obsluhu vrcholů,

$c_{ij}$  vzdálenost ujetá při neproduktivní jízdě od vrcholu  $i \in N_0$  k vrcholu  $j \in N_0$ ,

$t_{ij}$  doba jízdy odpovídající neproduktivní jízdě od vrcholu  $i \in N_0$  k vrcholu  $j \in N_0$ ,

$b_i$  požadavek vrcholu  $i \in N$ ,

$q_k$  kapacita vozidla  $k \in V$

$f_i$  začátek provozní doby vrcholu  $i \in N$ ,

$h_i$  konec provozní doby vrcholu  $i \in N$ ,

$s_i$  doba nezbytná k obsluze vrcholu  $i \in N$ ,

$x_{ijk}$  bivalentní proměnná, které modeluje rozhodnutí, zda bude proveden přejezd od vrcholu  $i \in N_0$  k vrcholu  $j \in N_0$  vozidlem  $k \in V$ ,

$y_{ik}$       nezáporná pomocná proměnná, která znemožňuje návrh trasy bez průchodu depa,

$z_{ik}$       nezáporná proměnná, která modeluje čas zahájení obsluhy vrcholu  $i \in N$ .

Optimalizační kritérium představuje funkce (11), jenž minimalizuje neproduktivně ujetou vzdálenost při zajištění obsluhy jednotlivých vrcholů. Podmínka (12) zajistí, že každý vrchol bude obslužen právě jedním vozidlem a je vytvářena pro každý vrchol. Podmínka (13) je nezbytná pro zajištění spojitosti provozu. Zabezpečuje, že vozidlo, které přijede do vrcholu a obslouží jej, z něj následně pokračuje do dalšího vrcholu či do depa. Podmínka (13) je tvořena pro kombinaci každého vozidla a každého jednotlivého obsluhovaného vrcholu. Podmínkou (14) resp. (15) je zajištěno, že každé vozidlo maximálně jedenkrát vyjede, resp. vjede, z/do depa. Tyto podmínky jsou vytvářeny pro každé vozidlo. Podmínkou (16) je zajištěno, že objem přepravovaného zboží nepřesáhne kapacitu vozidla. Podmínka (16) je vytvářena pro každé vozidlo. Podmínka (17) je vytvářena pro kombinace jednotlivých vrcholů a vozidel a slouží k zamezení tvorby okružních jízd, ve kterých by součástí jízdy nebylo depo. Podmínky (18) a (19) zajišťují, aby doba obsluhy vrcholu proběhla v jeho provozní době. Konkrétně podmínka (18) zajišťuje obsluhu po začátku provozní doby a podmínka (19) zajišťuje obsluhu před koncem provozní doby. Obě podmínky jsou tvořeny pro kombinaci obsluhovaného vrcholu a jednotlivého vozidla. Podmínka (20) zajišťuje časovou posloupnost obsluhy jednotlivých vrcholů (mezi začátky obsluhy po sobě následujících vrcholů zajišťuje dobu nutnou pro obsluhu prvního z vrcholů a přejezd do druhého vrcholu) v případě, že byly oba vrcholy obsluženy stejným vozidlem. Tato podmínka se vytváří pro kombinaci jednotlivých vrcholů (včetně depa) a jednotlivých vozidel. Podmínky (21 – 23) vymezují definiční obory hodnot, kterých mohou proměnné nabývat. Pro správné fungování modelu je nutné nastavit vstupní podmínku  $s_0 = 0$ . [6]

#### **4. Formulace úlohy pro potřeby zvolené metody**

Řešení problému návrhu rozvozových tras bude rozděleno do dvou částí. V první části řešení bude navržen plán obsluhy měst jako celků. Výsledkem první části bude navržení tras, přičemž každá trasa bude pouze vypovídat o navštívených městech a pořadí, v jakém budou tato města navštívena. V druhé části řešení bude vyřešen návrh trasy obsluhy zákazníků v jednotlivých městech. Sjednocením obou částí řešení bude návrh distribučních tras pro obsluhu všech zákazníků společnosti Salesianer Miettex.

##### **4.1 Návrh pořadí průjezdu jednotlivých měst v rámci jednotlivých tras**

Pro rozřazení jednotlivých měst jakožto celků do jednotlivých tras a návrh pořadí obsluhy měst v rámci konkrétní trasy bude využito VRP úlohy s kapacitním omezením vozidlového parku a časovými okny. Obsluhované vrcholy v úloze představují jednotlivá města, pro která plánujeme obsluhu. Každý vrchol je určen adresou některého ze zákazníků v daném městě. V případě, že je ve městě pouze jeden zákazník, adresa vrcholu odpovídá adrese tohoto zákazníka. Pokud je ve městě obsluhovaných zákazníků více, prioritně je zvolena adresa zákazníka, jehož obsluha je prováděna každý týden. Pokud takových zákazníků je více ve městě, je zvolena adresa zákazníka s nejhodnější polohou.

Kapacitní omezení vychází z velikosti ložného objemu jednotlivých vozidel. Pro rozvoz jsou využívána heterogenní vozidla z vozidlového parku dopravce, v němž největší zastoupení mají vozidla typu značky Iveco s ložným objemem skříně  $26,4 \text{ m}^3$ . Dále jsou součástí vozidlového parku dopravce vozidla značky Mercedes-Benz a Fiat, jejichž ložný objem je  $14,3 \text{ m}^3$  resp.  $13,2 \text{ m}^3$ . Oba typy vozidel jsou zastoupeny pouze jedním kusem. Při návrhu tras je počítáno pouze se 70 % využitím ložného objemu. Důvodem tohoto omezení je snazší manipulace se zbožím během nakládky a vykládky. Při úplném zaplnění nákladního prostoru by se doba nakládky a vykládky výrazně prodloužila. Další omezení vyplývá ze způsobu uložení jednotlivých druhů zboží během přepravy. Jakýkoliv druh oděvu musí být přepravován v klecích k tomuto určených. Klece na přepravu prádla mají rozměry  $80 \times 100 \times 150 \text{ cm}$ , což činí celkový objem klece  $1,2 \text{ m}^3$ . V takovéto kleci může být uloženo maximálně 100 kusů prádla. Přeprava utěrek má také svá pravidla pro uložení během přepravy. Utěrky jsou během přepravy umístěny v barelech. Barely mají rozměry  $60 \times 60 \times 80 \text{ cm}$ , což odpovídá objemu  $0,288 \text{ m}^3$  (v diplomové práci je dále toto číslo zaokrouhleno na  $0,3 \text{ m}^3$ ). Požadavky zákazníků jsou vždy na celé barely, nikoliv na jednotlivé kusy utěrek. Klece i barely jsou jednoduše manipulovatelné a jejich počet v jednotlivých vozidlech je možné měnit každý den. Rohože jsou v nákladním prostoru přepravovány volně ložené. Každá rohož v nákladovém prostoru zaujímá objem  $0,45 \text{ m}^3$ .

Při plánování tras je nezbytné kalkulovat i s časovými možnostmi zákazníků i řidičů. Každý zákazník má danou dobu, kdy může probíhat jeho obsluha. Pro určení času, kdy může být obsluženo město, je určen průnik všech časů provozních dob zákazníků obsluhovaných v daném městě. Pro potřeby diplomové práce je provozní doba obsluhy převedena na minuty a čas 6:00 je považován za nejdříve možnou dobu obsluhy, tj. v minutách odpovídá času 0. Nejpozději možný čas obsluhy je zvolen v čase 16:00, tj. v minutách čas 600. Kromě zajištění obsluhy v provozní době zákazníka je nezbytné dodržovat pracovní dobu řidičů. Při návrhu modelu byla určena pracovní doba řidiče na 8 hodin jízdy.

Vzhledem k odlišným požadavkům zákazníků v jednotlivých týdnech měsíce bude návrh tras proveden pro sudý a lichý týden zvlášť. Pro každý týden bude proveden návrh obsluhy měst, ve kterých se nachází zákazníci, kteří požadují být v daném týdnu obsluženi.

## 4.2 Návrh obsluhy jednotlivých měst

K řešení návrhu průjezdů jednotlivými městy bude využito problému obchodního cestujícího. Návrh průjezdu města je nezbytné vytvořit pro každé město, v němž je dva a více zákazníků. Průjezd městem ovšem musí být zasazen i do trasy jakožto celku. Na základě znalosti posloupnosti měst v jednotlivých trasách lze určit bod, kterým bude vstupovat obslužné vozidlo do města a zároveň bod, kterým bude z města vystupovat. Tyto body budou zahrnuty v distanční matici vzdáleností, která bude vstupem do úlohy. V matici budou zahrnuti i jednotliví zákazníci v konkrétním městě.

Vstupem do úlohy bude matice o rozměrech  $n+2 \times n+2$ , kde  $n$  představuje počet zákazníků. Číslo dvě odpovídá bodu vstupu (označeno A) a bodu výstupu (označeno B). Pro zajištění posloupnosti průjezdu nejprve bodem A, následně obsluhou všech zákazníků a v poslední řadě bodem B je nutné dodržovat několik pravidel při tvorbě vstupní matice. Za prvé vstupní matice musí obsahovat hodnotu 0 na diagonále, tzn.  $c_{ij} = 0$  pro  $i = j$ . Druhým pravidlem je umístění hodnoty 0 na poslední řádek v prvním sloupci matice. Důvodem je předpoklad existence pouze jednoho depa vycházející z definice úlohy obchodního cestujícího. Řešením TSP je okruh začínající a končící právě tímto depem. Pro potřeby výpočtu je nutné tedy považovat trasu průjezdu městem za okruh, který začíná a končí ve stejném bodě. Pro zajištění průjezdu bodu B jakožto posledním bodem před návratem do bodu A je nutné do modelu zahrnout podmínku, která bude tuto posloupnost bodů B a A zajišťovat. Úpravou distanční matice vložením hodnoty 0 na poslední řádek prvního sloupce dojde k pomyslnému propojení bodu B a A aniž by vzdálenost mezi body B a A ovlivnila výpočet.

## 5. Návrh matematického modelu pro potřeby distribuce

Pro dosažení optimálního řešení návrhu rozvozných tras je nutné vycházet ze vstupních podmínek či provozních podmínek uvedených v kapitole 5. Následující kapitola tak bude věnována zakomponování těchto podmínek do obecných matematických modelů. Pro nalezení optimálního trasování bude použit software Xpress IVE.

### 5.1 Matematický model pro určení pořadí obsluhy měst

Pro určení pořadí obsluhy jednotlivých měst bude využito VRP úlohy s kapacitním omezením parku časovými okny, jak již bylo dříve uvedeno. V následujících řádcích je uveden upravený matematický model úlohy CVRPTW dle okolností vycházejících z reálného provozu:

$$\min f(x, y, z) = \sum_{\substack{i \in N_0 \\ i \neq j}} \sum_{j \in N_0} \sum_{k \in V} d_{ij} x_{ijk} \quad (11)$$

za podmínek

$$\sum_{\substack{i \in N_0 \\ i \neq j}} \sum_{k \in V} x_{ijk} = 1 \quad \text{pro } j \in N, \quad (12)$$

$$\sum_{\substack{i \in N_0 \\ i \neq j}} x_{ijk} = \sum_{\substack{i \in N_0 \\ i \neq j}} x_{jik} \quad \text{pro } j \in N \text{ a } k \in V, \quad (13)$$

$$\sum_{j \in N} x_{0jk} \leq 1 \quad \text{pro } k \in V, \quad (14)$$

$$\sum_{i \in N} x_{i0k} \leq 1 \quad \text{pro } k \in V, \quad (15)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N_0} \frac{a_i x_{ijk}}{\text{pradlo}} \leq l_k \quad \text{pro } k \in V, \quad (25)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N_0} \frac{a_i x_{ijk}}{\text{pradlo}} \geq l_k - 0,999 \quad \text{pro } k \in V, \quad (26)$$

$$l_k * \text{klec} + \sum_{i \in N} \sum_{j \in N_0} (c_i x_{ijk} * \text{rohoz} + b_i x_{ijk} * \text{barel}) \leq q_k * \text{obs} \quad \text{pro } k \in V, \quad (27)$$

$$y_{ik} - y_{jk} + |N| x_{ijk} \leq |N| - 1 \quad \text{pro } i \in N, j \in N \text{ a } k \in V, \quad (17)$$

$$z_{jk} \geq f_j \sum_{i \in N_0} x_{ijk} \quad \text{pro } j \in N \text{ a } k \in V, \quad (18)$$

$$z_{jk} + s_j \sum_{\substack{i \in N_0 \\ i \neq j}} x_{ijk} \leq h_j \sum_{\substack{i \in N_0 \\ i \neq j}} x_{ijk} \quad \text{pro } j \in N \text{ a } k \in V, \quad (19)$$

$$z_{ik} + (s_i + t_{ij})x_{ijk} \leq z_{jk} + M(1 - x_{ijk}) \quad \text{pro } i \in N, j \in N \text{ a } k \in V, \quad (20)$$

$$\sum_{\substack{i \in N_0 \\ i \neq j}} \sum_{j \in N_0} t_{ij} x_{ijk} + \sum_{\substack{i \in N_0 \\ i \neq j}} \sum_{j \in N_0} s_j x_{ijk} \leq \text{pracd} * 60 \quad \text{pro } k \in V, \quad (28)$$

$$x_{ijk} \in \{0; 1\} \quad \text{pro } i \in N_0, j \in N_0 \text{ a } k \in V, \quad (21)$$

$$y_{ik} \geq 0 \quad \text{pro } i \in N \text{ a } k \in V, \quad (22)$$

$$z_{ik} \geq 0 \quad \text{pro } i \in N_0 \text{ a } k \in V, \quad (23)$$

$$l_k \in Z \quad \text{pro } k \in V, \quad (29)$$

$$z_{0k} = 0 \quad \text{pro } k \in V, \quad (24)$$

kde

$N$  množina obsluhovaných vrcholů,

$N_0$  množina obsluhovaných vrcholů včetně depa,

$|N|$  počet obsluhovaných vrcholů,

$V$  množina vozidel zajišťujících obsluhu vrcholů,

$d_{ij}$  vzdálenost ujetá při neproduktivní jízdě od vrcholu  $i \in N_0$  k vrcholu  $j \in N_0$ ,

$t_{ij}$  doba jízdy odpovídající neproduktivní jízdě od vrcholu  $i \in N_0$  k vrcholu  $j \in N_0$ ,

$a_i$  počet požadovaných kusů prádla ve vrcholu  $i \in N$ ,

$b_i$  počet požadovaných barelů s utěrkami ve vrcholu  $i \in N$ ,

$c_i$  počet požadovaných kusů rohoží ve vrcholu  $i \in N$ ,

$l_k$  počet klecí nezbytných pro dopravu prádla v jednotlivých vozidlech  $k \in V$

$q_k$  kapacita vozidla  $k \in V$

$f_i$  začátek provozní doby vrcholu  $i \in N$ ,

$h_i$  konec provozní doby vrcholu  $i \in N$ ,

$s_i$  doba nezbytná k obsluze vrcholu  $i \in N$ ,

$x_{ijk}$  bivalentní proměnná, které modeluje rozhodnutí, zda bude proveden přejezd od vrcholu  $i \in N_0$  k vrcholu  $j \in N_0$  vozidlem  $k \in V$ ,

$y_{ik}$	nezáporná pomocná proměnná, která znemožňuje návrh trasy bez průchodu depa,
$z_{ik}$	nezáporná proměnná, která modeluje čas zahájení obsluhy vrcholu $i \in N$ ,
$pracd$	pracovní dobu řidiče v hodinách,
$obs$	maximální využití kapacity vozidla,
$klec$	objem jedné klece určené pro přepravu prádla,
$barel$	objem jednoho barelu určeného pro přepravu utěrek,
$rohoz$	objem jedné rohože,
$pradlo$	maximální počet kusů prádla přepravovaných v jedné kleci,

Odchýlení od obecného modelu CVRPTW je uvedeno v podmínkách 25 – 29. Podmínkami 25 a 26 je omezeno množství klecí. Konkrétně podmínka 25 slouží k zajištění dostatečného množství klecí pro odvezení veškerého prádla požadovaného na trase. Podmínka 26 naopak zajišťuje, aby ve vozidlech nebylo větší, než nezbytně nutné množství klecí, tedy že všechno prádlo bude umístěno v kleci pro přepravu, ale zároveň bude maximálně jedna klec zcela nenaplněna. I podmínka (27) ovlivňuje náklad jednotlivých vozidel. Jejím cílem je zaručit, že celkový náklad ve vozidle nepřesáhne využitelnou kapacitu vozidla. Podmínka (28) zaručí, že součet doby jízdy a doby strávené nakládkou a vykládkou nepřesáhne danou pracovní dobu řidiče. Podmínka (29) slouží k vymezení definičních oborů hodnot, kterých mohou proměnné nabývat.

## 5.2 Matematický model pro návrh obsluhy jednotlivých měst

Pro výpočet návrhu obsluhy jednotlivých měst bude využit model založený na úloze TSP. Upravený model je uveden na následujících řádcích. Pro zajištění správného výsledku výpočtu je nutné dodržet podmínky pro vytváření vstupních maticí popsané v podkapitole 4.2

Matematický model úlohy pro návrh obsluhy jednotlivých měst lze zapsat následovně:

$$\min f(x) = \sum_{i \in N_0} \sum_{j \in N_0} c_{ij} x_{ij} \quad (6)$$

za podmínek

$$\sum_{i \in N_0} x_{ij} = 1 \quad \text{pro } j \in N_0, \quad (7)$$

$$\sum_{j \in N_0} x_{ij} = 1 \quad \text{pro } i \in N_0, \quad (8)$$

$$u_i - u_j + nx_{ij} \leq n - 1 \quad \text{pro } i \in N \text{ a } j \in N \text{ a } i \neq j, \quad (9)$$

$$x_{ij} \in \{0; 1\} \quad \text{pro } i \in N_0 \text{ a } j \in N_0, \quad (10)$$

$$x_{n0} = 1 \quad (30)$$

kde

$N$  množina obsluhovaných vrcholů,

$N_0$  množina obsluhovaných vrcholů včetně depa,

$u_{i,j}$  proměnné přiřazené k jednotlivým vrcholům vyjadřující pořadí obsluhy vrcholu,

$x_{ij}$  bivalentní proměnná, které modeluje rozhodnutí, zda bude proveden přejezd od vrcholu  $i \in N_0$  k vrcholu  $j \in N_0$ .

Model oproti úloze TSP se odlišuje pouze v jediné podmínce. Konkrétně v podmínce 30, které zajišťuje posloupnost bodů B a A při tvorbě pořadí obsluhovaných vrcholů



## 6. Využití navrženého modelu

Následující kapitola ukáže funkčnost navrženého modelu na menší úloze. Důvodem pro výpočet pouze na vzorku zákazníků je rozsáhlost úlohy a její velmi dlouhou dobu výpočtu. Model při výpočtu všech zákazníků v rámci celých Čech operuje s více než 1,5 milionu proměnnými. Pro potřeby důkazu funkčnosti modelu bylo vybráno pouze 44 zákazníků, kteří jsou rozmístěni v 16 městech. Konkrétně byly pro výpočet vybrány tři trasy, které řidiči standardně obsluhují během čtvrtěční obsluhy zákazníků v lichém týdnu. Jedná se o zákazníky se sídlem v Praze a přilehlém okolí.

### 6.1 Vstupy do úlohy

Do úlohy vstupuje celkem 44 zákazníků rozmístěných v 16 městech. Tabulky 13 a 14 obsahují jednotlivé charakteristiky zákazníků. V Tabulce 13 označení IDM odpovídá identifikačnímu číslu města, označení IDZ je označením pro identifikační číslo zákazníka, adresa odpovídá sídlu zákazníka, sloupec nakládka/vykládka odpovídá době, kterou řidič stráví obsluhou zákazníka, poslední dva sloupce uvádí časové rozmezí, ve kterém je možné zákazníka obsluhovat. V Tabulce 14 jsou uvedeny obvyklé požadavky zákazníků na jednotlivé druhy textilu (počet kusů prádla, počet barelů na utěrky, počet rohoží). V případě, že ve městě nebo městské části je více než jeden zákazník, je zvoleno těžiště, které město či městskou část reprezentuje ve výpočtu při určování pořadí obsluhy měst. Těžiště je označeno v Tabulkách 13 a 14 kurzívou.

Tabulka 13. Charakteristiky zákazníků obsluhovaných na vybrané trase (1. část) [vlastní zpracování na základě dat z aplikace Ecofleet]

IDM	Město	IDZ	Adresa	Nakládka/ Vykládka	Obsluha od	Obsluha do
M1	Klecany	Z1	Zdíbsko 495	5	8:00	16:00
M2	Klíčany	Z2	Břežanská 90	5	9:00	19:00
M3	Líbeznice	Z3	Mělnická 1	5	6:00	14:00
M4	Ořech	Z4	Severní 321	10	7:00	19:00
M5	Praha 1	Z5	Řetězová 225/9	5	8:30	20:00
M6	Praha 2	Z6	Legerova 757/62	5	0:00	0:00
		Z7	Legerova 802/64	5	10:00	23:00
M7	Praha 4	Z8	5. května 1640/65	5	8:00	18:00
		Z9	Na Hřebenech II 1718/8	5	8:30	17:00
		Z10	Na Strži 1660/32	5	0:00	0:00
		Z11	Novodvorská 994/138	5	6:00	18:00
		Z12	Pod Pekařkou 224/46	5	11:00	24:00
		Z13	Vídeňská 1083	5	8:00	16:00
		Z14	Vídeňská 800	5	7:00	16:00
M8	Praha 5	Z15	Hostinského 1078/8	5	9:00	21:00
		Z16	Mezi Rolemi 47/6	5	8:00	15:30
		Z17	Nádražní 58/110	10	8:00	22:00
		Z18	Radlická 3179/1E	5	11:00	24:00
		Z19	Radlická 3276/46	5	0:00	0:00
		Z20	Radlická 373/12	5	7:00	22:00
		Z21	Reinerova 710/21	5	7:30	16:00
		Z22	Smíchovská 102/10	5	6:00	18:00
		Z23	U Kavalírky 514/3	5	9:00	18:00
M9	Praha 7	Z24	Jateční 540/4	5	7:00	16:00
		Z25	Na Manínách 35a	5	8:00	17:00
		Z26	Osadní 774/35	5	8:00	18:00
		Z27	Partyzánská 1/7	5	7:00	15:00
		Z28	Tusarova 1271/60	5	0:00	0:00
		Z29	Za Elektrárnou 19	5	7:00	18:00
M10	Praha 8	Z30	Budínova 67/2	5	6:00	18:00
		Z31	Františka Kadlece 2441	5	7:00	15:30
M11	Praha 11	Z32	Mírového hnutí 2385/3	5	6:30	21:00
		Z33	Prašná 190/16	5	8:30	19:00
		Z34	Roztylské nám. 619/14	5	11:00	23:00
		Z35	Šalounova 2025/7	5	6:00	21:00
M12	Praha 12	Z36	Lhotecká 232/2c	5	9:00	18:00
		Z37	Klostermannova 1563/4	5	9:00	18:00
		Z38	K Vltavě 1911/33	5	7:00	18:00
		Z39	Vzpoury 3	5	7:00	19:00
M13	Praha 13	Z40	Pižeňská 296/233	5	8:00	18:00
M14	Praha 14	Z41	Kučerova 767/16	5	9:00	16:00
M15	Praha 17	Z42	Bavorská 12b	5	7:00	19:00
	Praha 17	Z43	Bavorská 856/14	5	7:00	15:30
M16	Praha 18	Z44	Cínovecká 796	5	0:00	0:00

Tabulka 14. Charakteristiky zákazníků obsluhovaných na vybrané trase (2. část) [vlastní zpracování na základě dat z aplikace Ecofleet]

IDZ	Adresa	Prádlo	Utěrka	Rohož
Z1	Zdíbsko 495	10	0	0
Z2	Břežanská 90	0	0	4
Z3	Mělnická 1	30	0	1
Z4	Severní 321	17	0	2
Z5	Řetězová 225/9	0	0	2
Z6	Legerova 757/62	0	0	1
Z7	Legerova 802/64	0	0	1
Z8	5. května 1640/65	3	0	0
Z9	Na Hřebenech II 1718/8	0	0	5
Z10	Na Strži 1660/32	0	0	1
Z11	Novodvorská 994/138	0	0	1
Z12	Pod Pekařkou 224/46	0	0	1
Z13	Vídeňská 1083	0	0	2
Z14	Vídeňská 800	1	0	12
Z15	Hostinského 1078/8	0	0	2
Z16	Mezi Rolemi 47/6	0	0	2
Z17	Nádražní 58/110	25	0	0
Z18	Radlická 3179/1E	0	0	1
Z19	Radlická 3276/46	0	0	1
Z20	Radlická 373/12	0	0	1
Z21	Reinerova 710/21	0	0	4
Z22	Smíchovská 102/10	0	0	1
Z23	U Kavalírky 514/3	0	0	1
Z24	Jateční 540/4	0	0	1
Z25	Na Maninách 35a	0	0	1
Z26	Osadní 774/35	0	0	1
Z27	Partyzánská 1/7	15	0	0
Z28	Tusarova 1271/60	0	0	4
Z29	Za Elektrárnou 19	7	1	1
Z30	Budínova 67/2	3	0	2
Z31	Františka Kadlece 2441	8	0	0
Z32	Mírového hnutí 2385/3	0	0	3
Z33	Prašná 190/16	0	0	1
Z34	Roztylské nám. 619/14	0	0	2
Z35	Šalounova 2025/7	0	0	1
Z36	Lhotecká 232/2c	2	0	0
Z37	Klostermannova 1563/4	0	0	1
Z38	K Vltavě 1911/33	5	0	2
Z39	Vzpoury 3	10	0	0
Z40	Plzeňská 296/233	0	0	1
Z41	Kučerova 767/16	0	0	1
Z42	Bavorská 12b	5	0	1
Z43	Bavorská 856/14	2	0	2
Z44	Cínovecká 796	0	0	1

V Tabulkách 15 a 16 jsou uvedeny vzdálenosti mezi jednotlivými těžišti měst a městských částí. Tabulka 15 se vztahuje ke kilometrické vzdálenosti a Tabulka 16 vypovídá době jízdy mezi jednotlivými těžišti.

Tabulka 15. Distanční matice vzdáleností těžišť měst [km] [Microsoft Excel a doplňky Bing Maps a CDX Zip Stream]

	M0	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
M0	0	17	12	20	37	29	28	38	27	24	22	32	35	28	28	30	23
M1	17	0	4	5	34	16	15	25	22	12	12	19	30	22	16	24	11
M2	12	5	0	5	37	19	18	28	25	15	15	22	33	24	19	27	13
M3	19	5	5	0	36	18	17	27	24	13	14	20	32	23	15	26	10
M4	37	36	38	38	0	13	14	15	14	17	25	16	15	7	26	6	24
M5	26	15	17	16	13	0	3	12	3	4	7	9	10	8	14	10	11
M6	27	15	18	16	13	2	0	10	3	4	7	6	10	9	13	10	11
M7	37	25	28	27	16	12	9	0	9	13	14	6	6	18	18	18	20
M8	27	22	25	24	14	3	3	9	0	7	11	8	8	6	16	8	14
M9	24	12	14	13	17	6	5	14	7	0	3	10	14	12	12	14	7
M10	22	12	14	14	23	9	8	19	11	4	0	10	19	14	10	16	5
M11	33	21	23	21	17	8	6	6	8	10	11	0	8	14	14	16	15
M12	35	32	35	34	15	10	10	8	8	13	19	8	0	14	21	14	20
M13	28	22	25	24	7	8	9	17	6	12	14	14	14	0	21	3	18
M14	28	16	18	15	26	15	13	18	15	12	10	13	21	22	0	23	9
M15	28	24	27	26	6	10	11	17	8	13	17	16	14	3	23	0	21
M16	19	7	9	6	24	13	12	21	14	8	6	16	21	19	10	21	0

Tabulka 16. Distanční matice doby jízdy mezi těžišti měst [min] [Microsoft Excel a doplňky Bing Maps a CDX Zip Stream]

	M0	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16
M0	0	16	14	18	42	36	32	35	31	25	21	35	43	39	30	41	23
M1	18	0	7	7	36	27	23	27	24	16	13	26	36	31	21	33	15
M2	17	8	0	7	41	30	27	32	28	20	18	29	40	33	24	35	18
M3	19	7	8	0	38	28	25	28	25	18	15	27	37	30	22	33	15
M4	42	38	41	39	0	23	22	16	16	27	29	19	21	12	34	11	29
M5	33	23	26	7	25	0	11	19	10	9	15	18	20	17	27	21	17
M6	30	20	23	21	24	8	0	11	9	7	7	9	20	18	24	22	13
M7	35	26	30	27	19	17	10	0	12	17	23	6	13	24	19	24	20
M8	33	24	28	25	16	12	10	11	0	15	15	13	16	6	28	16	16
M9	26	16	19	15	28	15	11	20	15	0	7	19	26	21	20	24	9
M10	23	14	18	15	28	19	15	23	16	8	0	22	28	20	18	22	7
M11	40	29	31	29	19	16	8	6	12	15	20	0	14	22	20	23	21
M12	43	35	38	35	20	20	19	12	14	25	27	13	0	25	28	26	27
M13	41	30	33	31	12	17	21	18	10	21	21	19	22	0	34	7	23
M14	31	21	23	21	31	30	22	19	25	20	17	17	27	34	0	36	13
M15	41	34	37	34	10	20	24	21	14	25	25	22	25	5	37	0	26
M16	18	8	11	8	31	23	19	23	18	12	9	21	29	25	16	27	0

Posledním vstupem do úlohy je objem ložných skříní vozidel, která jsou pro obsluhu k dispozici. Vzhledem k tomu, že nyní jsou pro obsluhu těchto zákazníků využívány všechny tři typy vozidel, které má společnost k dispozici, vstupem do úlohy budou všechny tři tyto typy vozidel. Objemy ložných skříní, které jsou vstupem do úlohy, jsou hodnoty  $13,2 \text{ m}^3$ ,  $14,3 \text{ m}^3$ , a  $26,4 \text{ m}^3$ .

## 6.2 Původní řešení

V současné době jsou vybraní zákazníci obsluhováni v rámci tří tras, jejichž souhrnná délka činí 405 km. K vybraným zákazníkům je celkově přepravováno 143 kusů prádla, 72 rohoží a 1 barel s utěrkami. Pro rozvoz a svoz textilu je využíváno třech typů aut: Mercedes-Benz Sprinter, Fiat Ducato a Iveco Daily. Pořadí obsluhy zákazníků v rámci jednotlivých tras a základní charakteristiky popisující trasy jsou uvedené na následujících řádcích. Vypsání tras uvádí pouze zákazníci, které společnost obsluhuje pravidelně s periodou maximálně 14 dní. Ostatní zákazníci jsou obsluhováni s periodou delší než 2 týdny či dokonce nepravidelnou a jsou k trasám přiřazováni náhodně až ve chvíli, kdy požadují být obslouženi. Obrázky 8 – 10 znázorňují průjezdy jednotlivých tras na mapě.

### Trasa č. 1

Vodárenská 1161 (Kralupy nad Vltavou) → Legerova 802/64 (Praha 2) → Legerova 757/62 (Praha 2) → Řetězová 225/9 (Praha 1) → Mírového hnutí 2385/3 (Praha 11) → Na Strži 1660/32 (Praha 4) → 5. května 1640/65 (Praha 4) → Pod Pekařkou 224/46 (Praha 4) → Roztylské nám. 619/14 (Praha 11) → Prašná 190/16 (Praha 11) → Šalounova 2025/7 (Praha 11) → Vídeňská 1083 (Praha 4) → Novodvorská 994/138 (Praha 4) → Lhotecká 232/2c (Praha 12) → K Vltavě 1911/33 (Praha 12) → Klostermannova 1563/4 (Praha 12) → Vzpouří 3 (Praha 12) → Vodárenská 1161 (Kralupy nad Vltavou)

Délka trasy: 146 km

Doba jízdy: 3:26

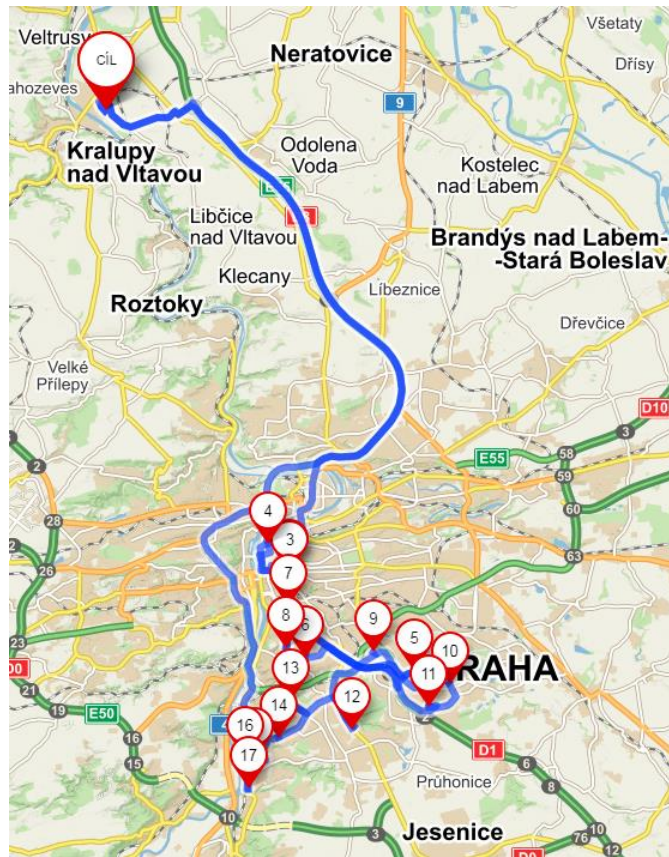
Počet kusů prádla: 20

Počet klecí na prádlo: 1

Počet rohoží: 19

Počet barelů s utěrkami: 0

Objem přepravovaného zboží:  $3,48 \text{ m}^3$



Obrázek 8. Trasa č. 1 [7]

## Trasa č. 2

Vodárenská 1161 (Kralupy nad Vltavou) → Vídeňská 800 (Praha 4) → Severní 321 (Ořech) → Smíchovská 102/10 (Praha 5) → Bavorská 12b (Praha 17) → Bavorská 856/14 (Praha 17) → Reinerova 710/21 (Praha 5) → Hostinského 1078/8 (Praha 5) → Mezi Rolemi 47/6 (Praha 5) → Radlická 3179/1E (Praha 5) → Radlická 3276/46 (Praha 5) → Radlická 373/12 (Praha 5) → Plzeňská 296/233 (Praha 13) → Nádražní 58/110 (Praha 5) → U Kavalírky 514/3 (Praha 5) → Kučerova 767/16 (Praha 14) → Cínovecká 796 (Praha 18) → Vodárenská 1161 (Kralupy nad Vltavou)

Délka trasy: 152 km

Doba jízdy: 3:24

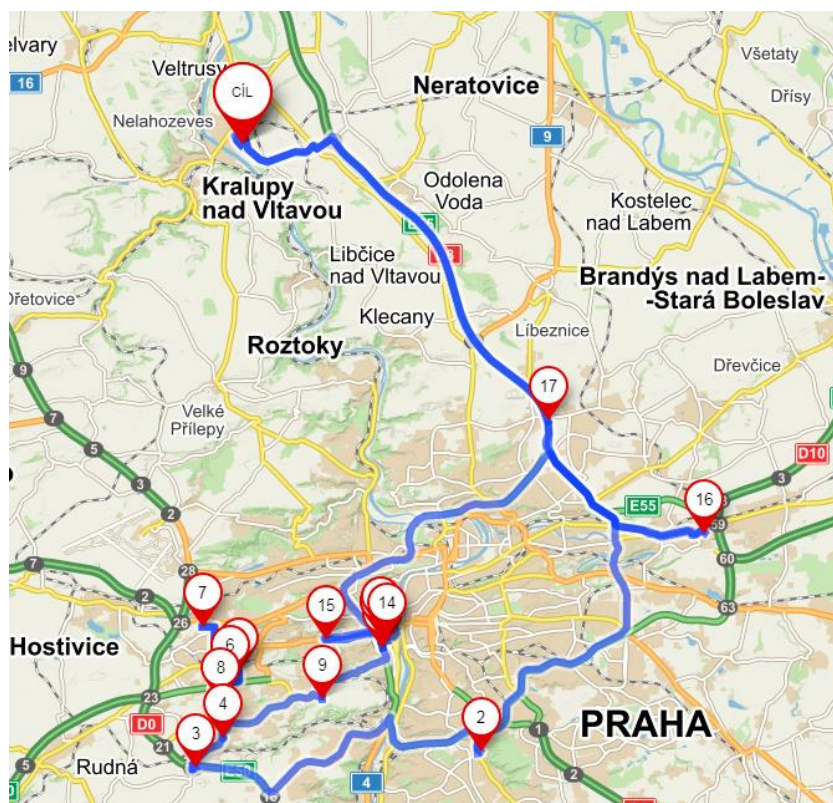
Počet kusů prádla: 50

Počet klecí na prádlo: 1

Počet rohoží: 33

Počet barelů s utěrkami: 0

Objem přepravovaného zboží: 5,16 m<sup>3</sup>



Obrázek 9. Trasa č. 2 [7]

### Trasa č. 3

Vodárenská 1161 (Kralupy nad Vltavou) → Mělnická 1 (Líbeznice) → Budínova 67/2 (Praha 8) → Františka Kadlece 2441 (Praha 8) → Jateční 540/4 (Praha 7) → Tusarova 1271/60 (Praha 7) → Osadní 774/35 (Praha 7) → Partyzánská 1/7 (Praha 7) → Na Maninách 35a (Praha 7) → Za Elektrárnou 19 (Praha 7) Na Hřebenech II 1718/8 (Praha 4) → Zdibsko 495 (Klecany) → Břežanská 90 (Klíčany) → Vodárenská 1161 (Kralupy nad Vltavou)

Délka trasy: 107 km

Doba jízdy: 2:28

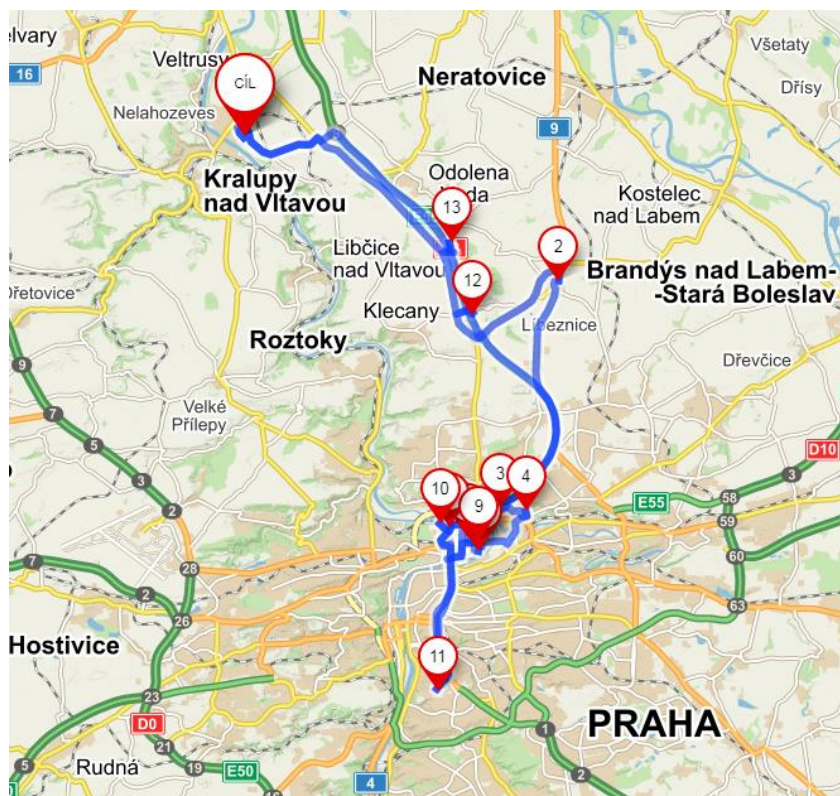
Počet kusů prádla: 73

Počet klecí na prádlo: 1

Počet rohoží: 20

Počet barelů s utěrkami: 1

Objem přepravovaného zboží: 3,6 m<sup>3</sup>



Obrázek 10. Trasa č. 3 [7]

### 6.3 Finální návrh pořadí obsluhy měst

Pro finální návrh pořadí obsluhy jednotlivých měst či městských částí byl využit model CVRPTW uvedený v podkapitole 5.1. Tento model byl spuštěn v softwaru Xpress IVE. Zápis zdrojového kódu využitého pro výpočet pořadí obsluhy jednotlivých měst je součástí Přílohy 4.

Výsledné řešení navržené programem odpovídá trase s označením A. Software navrhl obsluhu měst či městských částí pouze v rámci jedné trasy. Navržená trasa A má délku 134 km a doba jízdy na této trase činí 190 minut. Tyto hodnoty ovšem vycházejí pouze z distančních matic a zahrnují pouze obsluhu těžišť měst či městských částí. Celková délka trasy i doba jízdy nezbytná k její obsluze se bude ještě navyšovat se zakomponováním obsluhy jednotlivých zákazníků.



## Trasa A

Kralupy nad Vltavou → Klíčany → Líbeznice → Klecany → Praha 8 → Praha 7 → Praha 2 → Praha 1 → Praha 5 → Praha 13 → Praha 17 → Ořech → Praha 12 → Praha 4 → Praha 11 → Praha 14 → Praha 18 → Kralupy nad Vltavou

Délka trasy: 134 km

Doba jízdy: 3:10

Počet kusů prádla: 143

Počet klecí na prádlo: 2

Počet rohoží: 72

Počet barelů s utěrkami: 1

Objem přepravovaného zboží: 11,34 m<sup>3</sup>

### 6.4 Finální návrh průjezdu jednotlivých měst

Na základě určení pořadí průjezdu městy byly vytvořeny distanční matice pro města či městské části, ve kterých se nacházejí dva či více zákazníků. Každá matice uvádí vzdálenosti mezi konkrétními adresami zákazníků a dále zahrnuje místo vstupu (A) do městské části a místo výstupu (B) z městské části. Adresy bodů A a B byly určeny s přihlédnutím k městské části či městu, která dle pořadí obsluhovaných měst či městských částí předchází resp. následuje městu či městské části pro kterou distanční matici tvoříme.

Samotné určení pořadí průjezdu jednotlivých měst či městských částí bylo vypočteno na základě modelu uvedeného v podkapitole 5.2. Výpočet byl opět proveden za pomoci softwaru Xpress IVE. Zdrojový kód pro výpočet pořadí průjezdu městskou částí Praha 2 je uveden v Příloze 5.

Zdrojové kódy pro výpočet průjezdu ostatních městských částí nejsou v práci uvedeny. Vychází ze zdrojového kódu uvedeného v Příloze 5. Odlišují se pouze ve vstupech. Pro každý výpočet je nutné upravit hodnotu  $n$  dle počtu obsluhovaných bodů a distanční matici vzdáleností jednotlivých zákazníků. Distanční matice uvádějící vzdálenosti mezi jednotlivými zákazníky v rámci měst či městských částí, ve kterých je obsluhován více než jeden zákazník, jsou uvedeny v Tabulkách 17 – 24.

Výsledné řešení průjezdů jednotlivých měst či městských částí navržené programem Xpress IVE je zapsané pod jednotlivými distančními maticemi. Průjezd odpovídá nejkratší možné cestě začínající bodem A, následně obsluhuje všechny zákazníky ve vybrané oblasti a končící v bodě B. Vzdálenost označená jako délka trasy zahrnuje i cestu od bodu A

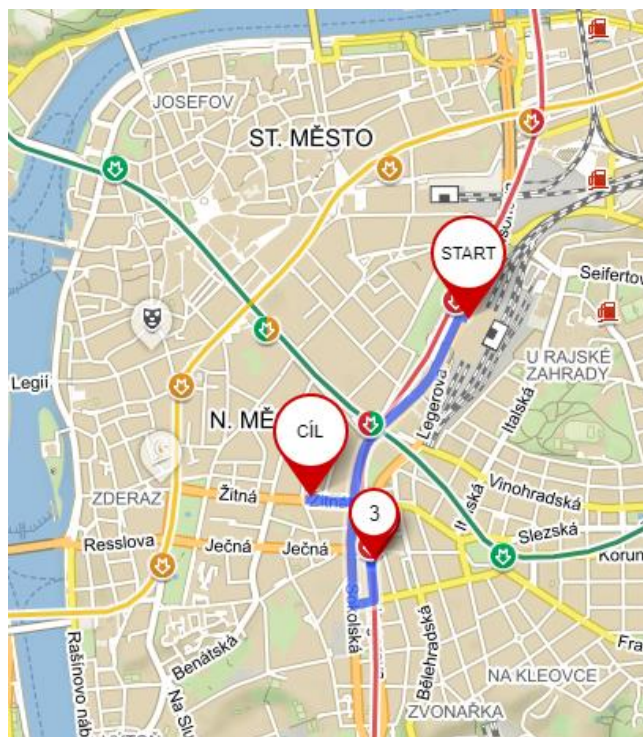
k prvnímu zákazníkovi a od posledního zákazníka k bodu B. Znázornění průjezdů jednotlivých městských částí v mapě je zobrazeno na Obrázcích 11 – 18.

Tabulka 17. Distanční matice vzdáleností zákazníků – Praha 2 [km] [Microsoft Excel a doplňky Bing Maps a CDX Zip Stream]

	A	1	2	B	
A	300/8, Wilsonova, Praha, 120 00	0,0	2,1	2,1	1,6
1	802/64, Legerova, Praha, 120 00	1,0	0,0	0,5	0,6
2	757/62, Legerova, Praha, 120 00	1,1	0,0	0,0	0,5
B	1319/33, Žitná, Praha, 120 00	0,0	1,5	1,5	0,0

Průjezd městskou částí Praha 2: Wilsonova 300/8 → Legerova 757/62 → Legerova 802/64 → Žitná 1319/33

Délka trasy: 2,7 km



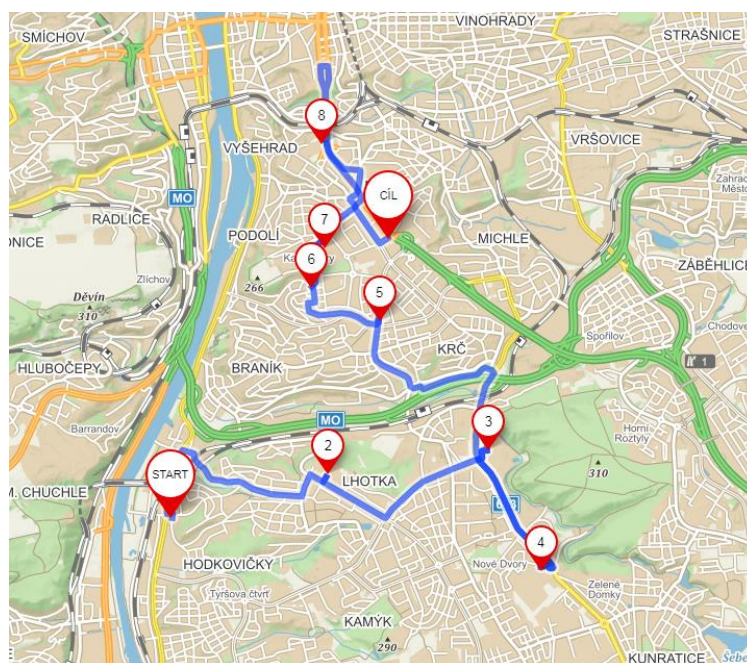
Obrázek 11. Obsluha zákazníků v Praze 2 [7]

Tabulka 18. Distanční matice vzdáleností zákazníků – Praha 4 [km] [Microsoft Excel a doplňky Bing Maps a CDX Zip Stream]

	A	1	2	3	4	5	6	7	B
<b>A 12/92, Modřanská, Praha, 147 00</b>	0,0	6,5	5,4	5,2	2,5	4,8	7,1	5,9	6,1
<b>1 1640/65, 5. května, Praha 140 00</b>	5,7	0,0	1,9	2,6	6,6	2,1	7,8	6,6	1,2
<b>2 1718/8, Na Hřebenech II, Praha 140 00</b>	5,1	1,6	0,0	1,7	5,8	0,7	7,0	5,8	1,0
<b>3 1660/32, Na Strži, Praha, 140 00</b>	5,3	2,5	1,7	0,0	4,4	1,3	5,6	4,4	1,3
<b>4 994/138, Novodvorská, Praha, 142 00</b>	2,5	6,3	5,5	3,9	0,0	4,9	4,8	3,6	5,2
<b>5 224/46, Pod Pekařkou, Praha, 140 00</b>	4,4	2,2	0,6	1,6	5,2	0,0	7,0	5,7	1,6
<b>6 800, Vídeňská, Praha, 148 00</b>	7,1	7,6	7,0	5,5	4,8	6,6	0,0	1,6	6,5
<b>7 1083, Vídeňská, Praha, 142 00</b>	5,9	6,4	5,8	4,3	3,5	5,4	1,6	0,0	5,3
<b>B 409/1a, Na Pankráci, Praha, 140 00</b>	0,0	2,3	1,8	1,4	5,4	1,7	6,6	5,4	0,0

Průjezd městskou částí Praha 4: Modřanská 12/92 → Novodvorská 994/138 → Vídeňská 800 → Vídeňská 1083 → Na Strži 1660/32 → Pod Pekařkou 224/46 → Na Hřebenech II 1718/8 → 5. května 1640/65 → Na Pankráci 409/1a

Délka trasy: 17,9 km



Obrázek 12. Obsluha zákazníků v Praze 4 [7]

Tabulka 19. Distanční matice vzdáleností zákazníků – Praha 5 [km] [Microsoft Excel a doplňky Bing Maps a CDX Zip Stream]

	A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	B
<b>A Most Legií, Praha, 110 00</b>	0,0	10,6	6,0	1,6	1,6	2,1	1,6	9,6	14,2	4,5	6,3
<b>1 1078/8, Hostinského, Praha, 155 00</b>	10,8	0,0	5,2	8,9	8,7	8,5	8,7	4,0	1,7	7,0	3,7
<b>2 47/6, Mezi Rolemi, Praha, 158 00</b>	6,6	5,2	0,0	4,6	4,4	3,9	4,4	7,1	4,7	5,1	5,3
<b>3 58/110, Nádražní, Praha, 150 00</b>	1,9	9,1	4,5	0,0	0,5	0,6	0,5	9,1	8,8	3,8	6,6
<b>4 3179/1E, Radlická, Praha, 150 00</b>	2,2	8,7	4,4	0,7	0,0	0,5	0,0	8,6	8,4	3,3	6,1
<b>5 3276/46, Radlická, Praha, 150 00</b>	2,2	8,5	3,9	0,7	0,5	0,0	0,5	9,1	8,2	3,7	6,6
<b>6 373/12, Radlická, Praha, 150 00</b>	2,2	8,7	4,4	0,7	0,0	0,5	0,0	8,6	8,4	3,3	6,1
<b>7 710/21, Reinerova, Praha, 163 00</b>	9,8	4,0	7,3	9,0	8,2	8,7	8,3	0,0	5,5	6,7	3,4
<b>8 102/10, Smíchovská, Praha, 155 00</b>	10,7	1,7	4,7	8,6	8,6	8,1	8,6	5,5	0,0	8,0	5,2
<b>9 514/3, U Kavalírky, Praha, 150 00</b>	3,3	7,1	4,1	3,0	2,3	2,7	2,3	6,9	7,6	0,0	4,3
<b>B 9/229, Plzeňská, Praha, 150 00</b>	0,0	4,7	4,6	5,9	5,2	5,7	5,3	4,5	5,7	3,5	0,0

Průjezd městskou částí Praha 5: Most Legií → Nádražní 58/110 → Radlická 3276/46 → Radlická 373/12 → Radlická 3179/1E → U Kavalírky 514/3 → Mezi Rolemi 47/6 → Smíchovská 102/10 → Hostinského 1078/8 → Reinerova 710/21 → Plzeňská 9/229

Délka trasy: 23,9 km



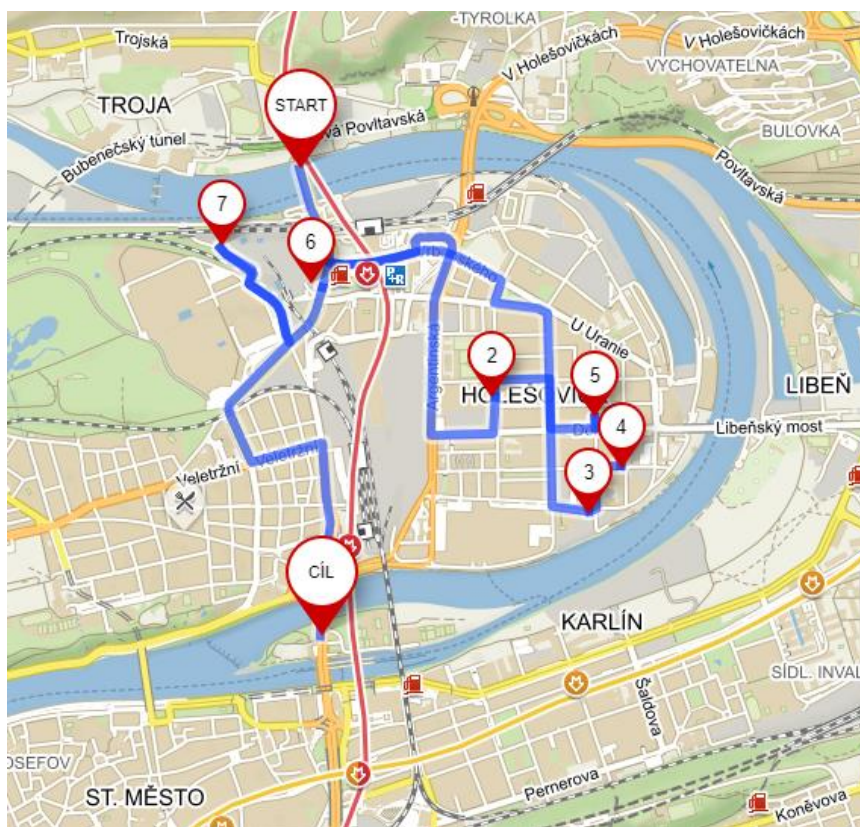
Obrázek 13. Obsluha zákazníků v Praze 5 [7]

Tabulka 20. Distanční matice vzdáleností zákazníků – Praha 7 [km] [Microsoft Excel a doplňky Bing Maps a CDX Zip Stream]

	A	1	2	3	4	5	6	B
A Trojský most, Praha, 170 00	0,0	2,0	1,3	1,4	0,9	2,0	1,9	4,1
1 540/4, Jateční, Praha, 170 00	3,3	0,0	0,7	0,9	2,0	0,3	2,6	3,7
2 35a, Na Maninách, Praha, 170 00	2,8	1,0	0,0	0,7	1,3	0,6	2,1	3,8
3 774/35, Osadní, Praha, 170 00	2,4	0,9	0,6	0,0	1,3	0,9	1,8	4,0
4 1/7, Partyzánská, Praha, 170 00	1,9	2,1	1,4	1,8	0,0	2,0	0,8	3,6
5 1271/60, Tusarova, Praha, 170 00	3,2	0,6	0,6	0,8	1,9	0,0	2,6	4,3
6 19, Za Elektrárnou, Praha, 170 00	2,6	2,6	2,1	2,2	1,4	2,6	0,0	3,9
B Hlávkův most	0,0	1,4	1,6	1,5	2,1	1,7	1,7	0,0

Průjezd městskou částí Praha 7: Trojský most → Osadní 774/35 → Jateční 540/4 → Tusarova 1271/60 → Na Maninách 35 → Partyzánská 1/7 → Za elektrárnou 19 → Hlávkův most

Délka trasy: 9,2 km



Obrázek 14. Obsluha zákazníků v Praze 7 [7]

Tabulka 21. Distanční matice vzdáleností zákazníků – Praha 8 [km] [Microsoft Excel a doplňky Bing Maps a CDX Zip Stream]

	A	1	2	B
<b>1, Nám. Na Stráži, Praha, 180 00</b>	0,0	0,5	0,7	0,6
<b>67/2, Budínova, Praha 180 00</b>	0,5	0,0	1,2	0,8
<b>2441, Františka Kadlece, Praha, 180 00</b>	0,9	1,2	0,0	1,4
<b>99/4, Bulovka, Praha, 180 00</b>	0,0	0,8	1,3	0,0

Průjezd městskou částí Praha 8: Nám. Na Stráži 1 → Františka Kadlece 2441 → Budínova 67/2 → Bulovka 99/4

Délka trasy: 2,7 km



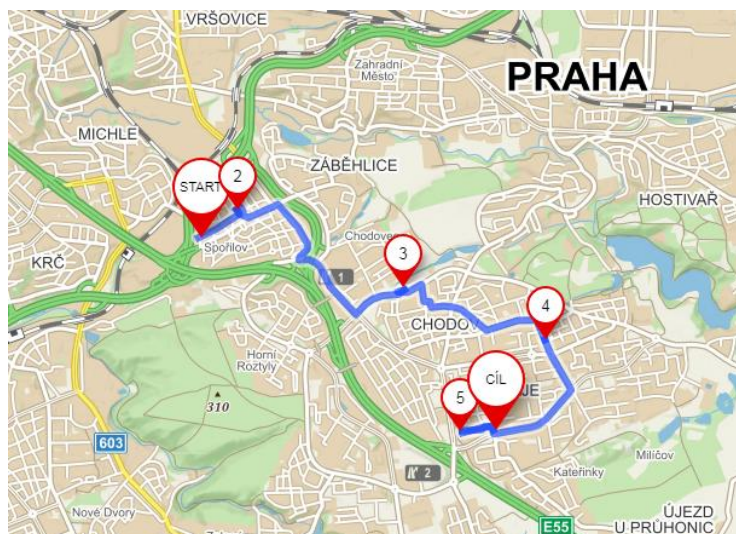
Obrázek 15. Obsluha zákazníků v Praze 8 [7]

Tabulka 22. Distanční matice vzdáleností zákazníků – Praha 11 [km] [Microsoft Excel a doplňky Bing Maps a CDX Zip Stream]

	A	1	2	3	4	B
<b>A 456/6, Severní XI, Praha, 141 00</b>	0,0	3,1	4,8	0,5	5,2	4,9
<b>1 2385/3, Mírového hnutí, Praha, 149 00</b>	3,0	0,0	2,0	2,5	2,8	2,5
<b>2 190/16, Prašná, Praha, 149 00</b>	4,8	2,0	0,0	4,3	1,9	1,6
<b>3 619/14, Roztylské nám., Praha, 149 00</b>	0,5	2,7	4,4	0,0	4,8	4,5
<b>4 2025/7, Šalounova, Praha, 149 00</b>	5,3	2,9	2,0	4,8	0,0	0,4
<b>B 1752/2, Křejského, Praha, 149 00</b>	0,0	2,6	1,7	4,5	0,4	0,0

Průjezd městskou částí Praha 11: Severní XI 456/6 → Rožtylské nám. 619/14 → Mírového hnutí 2385/3 → Prašná 190/16 → Šalounova 2025/7 → Křejského 1752/2

Délka trasy: 7,5 km



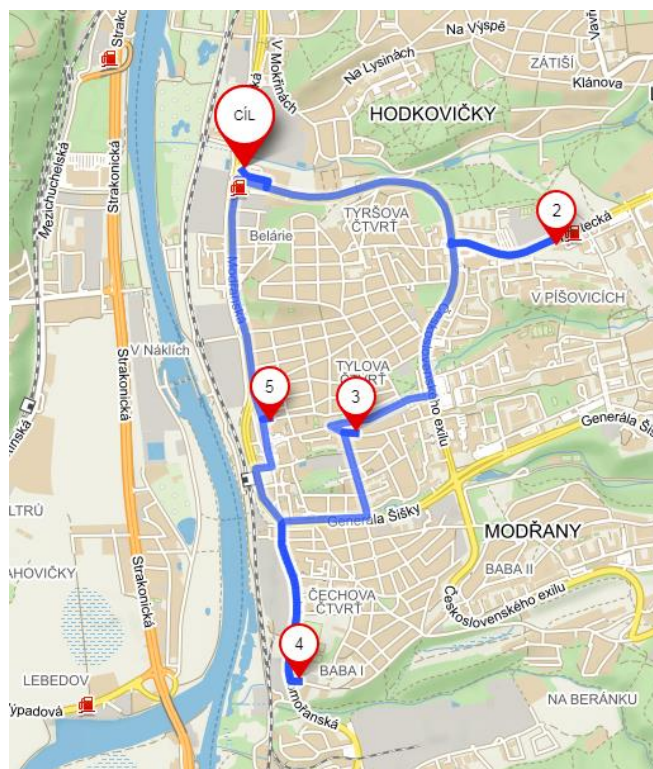
Obrázek 16. Obsluha zákazníků v Praze 11 [7]

Tabulka 23. Distanční matice vzdáleností zákazníků – Praha 12 [km] [Microsoft Excel a doplňky Bing Maps a CDX Zip Stream]

	A	1	2	3	4	B
A 543/76, Modřanská, Praha, 147 00	0,0	2,1	1,8	2,0	3,0	0,0
1 1911/33, K Vltavě, Praha, 143 00	2,1	0,0	0,5	2,1	1,7	2,1
2 1563/4, Klostermannova, Praha, 143 00	1,5	0,5	0,0	2,2	1,5	1,5
3 232/2c, Lhotecká, Praha, 143 00	2,3	2,5	2,7	0,0	3,9	2,3
4 3, Vzpouy, Praha, 143 00	2,9	1,7	1,5	3,5	0,0	2,9
B 543/76, Modřanská, Praha, 147 00	0,0	2,1	1,8	2,0	3,0	0,0

Průjezd městskou částí Praha 12: Modřanská 543/76 → Lhotecká 232/2c → K Vltavě 1911/33 → Vzpouy 3 → Klostermannova 1563/4 → Modřanská 543/76

Délka trasy: 9,2 km



Obrázek 17. Obsluha zákazníků v Praze 12 [7]

Tabulka 24. Distanční matice vzdáleností zákazníků – Praha 17 [km] [Microsoft Excel a doplňky Bing Maps a CDX Zip Stream]

		A	1	2	B
A	<b>12, K Hájům, Praha, 155 00</b>	0,0	0,2	1,0	1,3
1	<b>12b, Bavorská, Praha, 155 00</b>	0,2	0,0	0,6	1,2
2	<b>856/14, Bavorská, Praha, 155 00</b>	1,0	0,6	0,0	0,6
B	<b>1041/20, Bavorská, Praha, 155 00</b>	0,0	1,2	0,6	0,0

Průjezd městskou částí Praha 17: K Hájům 12 → Bavorská 12b → Bavorská 856/14 → Bavorská 1041/20

Délka trasy: 1,4 km





Obrázek 18. Obsluha zákazníků v Praze 17[7]

## 6.5 Finální obslužné trasy

Finální obslužné trasy byly vytvořeny sjednocením pořadí průjezdu měst či městských částí z podkapitoly 6.3 a pořadí průjezdu zákazníků v jednotlivých městech či městských částech z podkapitoly 6.4.

Výsledkem výpočtu je pouze jediná trasa, na které jsou obslouženi všichni zákazníci. Průběh této trasy je uveden na následujících řádcích a její znázornění je na Obrázku 20.

### Trasa A

Vodárenská 1161 (Kralupy nad Vltavou) → Břežanská 90 (Klíčany) → Mělnická 1 (Líbeznice) → Zdibsko 495 (Klecany) → Františka Kadlece 2441 (Praha 8) → Budínova 67/2 (Praha 8) → Osadní 774/35 (Praha 7) → Jateční 540/4 (Praha 7) → Tusarova 1271/60 (Praha 7) → Na Maninách 35 (Praha 7) → Partyzánská 1/7 (Praha 7) → Za elektrárnou 19 (Praha 7) → Legerova 757/62 → Legerova 802/64 (Praha 2) → Řetězová 225/9 (Praha 1) → Nádražní 58/110 (Praha 5) → Radlická 3276/46 (Praha 5) → Radlická 373/12 (Praha 5) → Radlická 3179/1E (Praha 5) → U Kavalírky 514/3 (Praha 5) → Mezi rolemi 47/6 (Praha 5) → Smíchovská 102/10 (Praha 5) → Hostinského 1076/8 (Praha 5) → Reinerova 710/21 (Praha 5) → Plzeňská 196/233 (Praha 13) → Bavorská 12b (Praha 17) → Bavorská 856/14 (Praha 17) → Severní 321 (Ořech) → Lhotecká 232/2c (Praha 12) → K Vltavě 1911/33 (Praha 12) → Vzpoury 3 (Praha 12) → Klostermannova 1563/4 (Praha 12) → Novodvorská 994/138 (Praha 4) → Vídeňská 800 (Praha 4) → Vídeňská 1083 (Praha 4) → Na Strži 1660/32 (Praha 4) → Pod Pekařkou 224/46 (Praha 4) → Na Hřebenech II 1718/8

(Praha 4) → 5. května 1640/65 (Praha 4) → Roztylské nám. 619/14 (Praha 11) → Mírového hnutí 2385/3 (Praha 11) → Prašná 190/16 (Praha 11) → Šalounova 2025/7 (Praha 11) → Kučerova 767/16 (Praha 14) → Cínovecká 796 (Praha 18) → Vodárenská 1161 (Kralupy nad Vltavou)

Délka trasy: 197 km

Doba jízdy: 4:38

Počet kusů prádla: 143

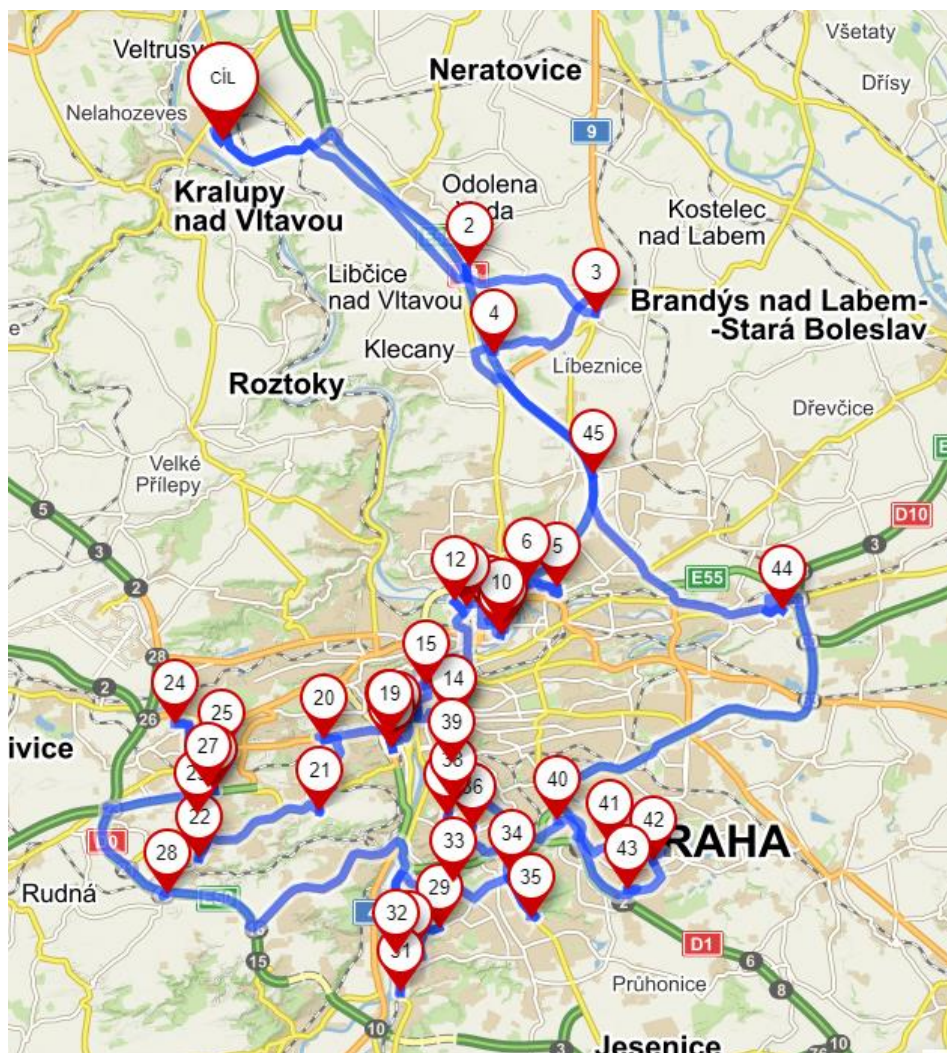
Počet klecí na prádlo: 2

Počet rohoží: 72

Počet barelů s utěrkami: 1

Objem přepravovaného zboží: 11,34 m<sup>3</sup>

Z výpočtu objemu přepravovaného zboží vyplývá, že je nutné pro obsluhu zákazníků vybrat vozidlo s největším objemem ložné skříňe. Konkrétně se jedná o vozidlo Daily Iveco s objemem ložné skříňe 26,4 m<sup>3</sup>. U ostatní typů vozidel by objem přepravovaného zboží přesáhl 70 % využitelnosti ložného objemu.



Obrázek 19. Finální návrh obsluhy zákazníků [7]

### 6.6 Porovnání dosažených výsledků s původním řešením

Nově navržené distribuční trasy pro obsluhu zákazníků v Praze a jejím okolí s pravidelnou obsluhou v liché čtvrtky je v mnoha ohledech výhodnější. Nejvýznamnější úspora vychází ze snížení počtu vozidel resp. řidičů potřebných k obslužení zákazníků. Snížení se promítne hned dvakrát do celkové kalkulace. V první řadě ovlivní samotnou položku vyplácenou za každého řidiče, který vyjede na trasu. Dále snížení počtu řidičů ovlivní i celkové najeté kilometry, které se sníží vzhledem k tomu, že cestu mezi depem a Prahou ujede pouze jeden řidič tam a zpět nikoliv více řidičů.

Kalkulace nákladů za nově navrženou trasu obsluhy je uvedena v Tabulce 25, kde je zároveň uvedeno i porovnání nákladů vynaložených na původní trasování s novým návrhem. Z tabulky vyplývá, že se celkové náklady vynaložené na dopravu snížily o více než 60 % původní hodnoty.

Tabulka 25. Porovnání nákladů na původní řešení s novým návrhem tras [vlastní zpracování]

	<b>Původní hodnoty</b>	<b>Nový návrh</b>
Ujeté km	405	197
Náklady na ujeté km [Kč]	3240	1576
Počet vykonaných cest	3	1
Náklady na řidiče [Kč]	6300	2100
<b>Celkové náklady [Kč]</b>	<b>9540</b>	<b>3676</b>

Nový návrh se lépe vypořádal i s využitím kapacity vozidel. Zatímco v původní variantě byla vozidla obsazena na trase č. 1 24 %, trase č. 2 39 % a trase č. 3 pouhých 13%, nový návrh využívá ložný objem největšího vozu na 43 %.

Doba jízdy na trasách se také snížila. V původní variantě řidiči souhrnně strávili jízdou 9 hodin a 18 minut. V novém návrhu je doba jízdy snížena na 4 hodin a 38 minut. Do snížené doby jízdy se obdobně jako do snížení počtu nejetych kilometrů promítlo, že není nutné, aby více řidičů muselo dojet z depa do Prahy, kde teprve provádí obsluhu. Nevýhodou oproti původnímu návrhu je, že celá doba jízdy je přidělena na jednoho řidiče, na rozdíl od původního distribučního plánu, kde se doba jízdy rozprostřela mezi 3 řidiče.

## 6.7 Diskuze řešení

Z porovnání charakteristik distribučních tras využívaných v současnosti s trasou navrženou pomocí modelu je zřejmé, že model vede k řešení s nižšími náklady na dopravu, což bylo cílem diplomové práce. I přes dosažení řešení finančně výhodnějšího, není model zcela dokonalý a některé okolnosti zanedbává či nezohledňuje v plné míře.

První odchylky vychází z množiny zákazníků zařazených do řešení úlohy. Pro řešení úlohy byli vybráni pouze zákazníci s pravidelnou periodou obsluhy nepřekračující dva týdny. V reálném provozu do tras a jejich plánování vstupují požadavky zákazníků, u kterých není přeprava zcela pravidelná nebo má natolik dlouhou periodu obsluhy, že je není možné standardně do obslužné trasy zařadit. Jedná se zejména o zákazníky, jejichž periody obsluhy narušuje dělení na sudý a lichý týden (např. 3 – týdenní periody) nebo zákazníky s periodou 26 týdnů a i delší. Tito zákazníci nebyli do návrhu tras započítáni, jelikož nelze přesně předvídat, do kterého týdne je zařadit. V současné době jsou tito zákazníci přidělováni v den, kdy mají být obslouženi, k řidiči, který má k danému zákazníkovi v rámci své trasy nejbližší. Zakomponování takového zákazníka do trasy je v režii řidiče samotného.

Model zanedbává i některé okolnosti provozu. Jednou ze změn oproti běžnému provozu je návrh pouze jednodenních tras. Dále jsou v modelu zanedbány přestávky řidičů. Model

zanedbává i dobu průjezdu městem, počítá pouze s cestou mezi těžišti měst či městských částí, nikoliv obsluhou jednotlivých zákazníků. Zanedbání doby průjezdu městem se projevuje v případech, kdy k trase je přiřazeno výrazně více zákazníků než obsluhovaných měst, tj. je přiřazeno město s velkým počtem zákazníků nebo několik měst s vyšším počtem zákazníků. Dále se doba průjezdu městem při obsluze zákazníků v menší míře projevuje při větších vzdálenostech měst od sebe a od depa, jelikož průjezd městem je z hlediska celkových najetých kilometrů i celkové doby jízdy nižší. Naopak větší vliv má, pokud jsou města či dokonce pouze městské části blíže u sebe a u depa. Tento vliv se v plné míře projevuje na ukázkové úloze týkající se Prahy a okolí. Úloha se odehrává v mnohem menším měřítku než je území Čech a tím pádem má doba průjezdu městem či městskou částí velký vliv na výslednou dobu jízdy. Návrh modelu byl určen především pro výpočet v rámci obsluhy celého území Čech. Důvodem vybrání pouze Prahy a okolí pro ukázání funkčnosti modelu byla potenciální možnost změny trasování. V rámci jednoho dne obvykle řidiči neobsluhují území, která by byla blízko sebe, tím pádem by možnost změny přiřazení zákazníkům k jednotlivým trasám byla minimální.

Nově navržené vedení trasy obsluhy území Prahy a okolí pro jeden vybraný den týdne se na první pohled jeví velmi výhodně. Z hlediska najetých kilometrů došlo k výraznému zkrácení trasy, stejně tak jako byl snížen počet řidičů potřebných k obsluze zákazníků. Z uvedených pozitiv vyplývá i snížení nákladů společnosti na obsluhu zákazníků. Nevýhodou ovšem je fakt, že v současné době není do tras započítán žádný ze zákazníků s delší periodou obsluhy. V případě zařazení těchto zákazníků do trasy by pravděpodobně doba jízdy dohromady s obsluhou přesáhla akceptovatelnou pracovní dobu pro řidiče. Řešením by bylo navrhnout trasu pro každý den až dle konkrétních požadavků zákazníků, nicméně toto řešení není zcela efektivní vzhledem k délce doby výpočtu. Dalším řešením by mohla být úprava délky pracovní doby. Zde ovšem nastává otázka kolik času je nutné na obsluhu nepravidelných zákazníků či zákazníků s dlouhou periodou obsluhy vyčlenit. U každé trasy je počet zákazníků „navíc“ odlišný. Zároveň by také byla narušena platnost časových oken, pokud by zákazníci nebyli do trasy zařazeni na konkrétní místo. Nejvýhodnějším řešením by bylo snížit počty zákazníků, kteří jsou do tras zařazováni až na poslední chvíli. Pokud by společnost vyžadovala od všech zákazníků přesné požadavky a pravidelnou periodu obsluhy, bylo by možné naplánovat distribuční trasy. Vzhledem k délkám periody by nebylo možné navrhnout pouze trasy pro lichý a sudý týden, ale těchto tras by muselo vzniknout více variant pro různé týdny. Nabízí se ovšem omezit zákazníkům nejdelší možnou periodu obsluhy. Zákazníci, jejichž perioda obsluhy není pravidelná, či je velmi dlouhá, přináší společnosti pouze komplikace při plánování obsluhy a jejich přínos pro společnost je minimální, jelikož požadavky těchto zákazníků se obvykle pohybují v řádech jednotek kusů.

Snahou společnosti by mělo být přimět právě tyto zákazníky k pravidelnosti obsluhy, jinak nastává otázka, zda je pro společnost Salesianer Miettex přínosné takovéto zákazníky obsluhovat.

V úloze týkající se Prahy a okolí se nedostatky modelu taktéž projevily. Návrh je především ovlivněn nezapočítáním doby průjezdu městem (městskými částmi) a zanedbání zákazníků s delší periodou než 2 týdny. Díky těmto omezením bylo na základě modelu navrženo sloučení obsluhy všech zákazníků do jedné trasy. Toto řešení je za podmínek určených v modelu přípustné, ale je možné, že by nebylo v praxi realizovatelné, jelikož by jeden řidič nezvládl trasu obsloužit. Nicméně zákazníci, kteří nebyli započítáni, zdaleka netvoří většinu obsluhovaných zákazníků. Lze očekávat, že by jejich zařazení vedlo k navýšení počtu tras na dvě a s tím by se navýšil i počet řidičů a zároveň počet najetých kilometrů, nicméně i tak by řešení bylo stále výhodnější než původní distribuční trasy.

I přes nedostatky, které model obsahuje, je z výsledného řešení návrhu tras pro část obsluhovaných zákazníků zřejmé, že model vede ke zlepšení situace v oblasti obsluhy zákazníků a jeho použití na návrh distribuční tras společnosti by pravděpodobně vedlo k nemalému snížení nákladů, které za dopravu společnost Salesianer Miettex vyplácí dopravci VA-KO Logistic.

## Závěr

Hlavním cílem diplomové práce bylo analyzovat současný stav distribuce textilu společnosti Salesianer Miettex a na základě poznatků z oblasti operačního výzkumu vytvořit model, který navrhne trasy pro distribuci textilu s cílem minimalizace nákladů vynaložených na dopravu textilu k zákazníkům.

První kapitola diplomové práce je věnována společnosti Salesianer Miettex její historii i současnému stavu provozu. Dále popisuje způsob servisu textilu, produkty, které společnost nabízí a udává informace o vozidlovém parku, který má společnost pro rozvoz a svoz textilu k dispozici.

Druhá kapitola analyzuje současný stav distribuce. V kapitole jsou uvedeny charakteristiky pro původní plánování tras a analýza distribuce textilu na základě měsíce května 2018.

Třetí – teoretická část se věnuje obecně operačnímu výzkumu a matematickému programování. Nedílnou součástí kapitoly je i popis úloh CVRPTW a TSP a jejich obecné matematické modely, které jsou využity pro určení pořadí průjezdu měst a pořadí obsluhy jednotlivých zákazníků v rámci měst.

Čtvrtá a pátá kapitola se věnují samotným modelům využívaným pro návrh trasování. Ve čtvrté kapitole jsou slovně formulována všechna omezení a podmínky přepravy textilu k zákazníkům. Pátá kapitola následně tyto podmínky a omezení vkládá do obecných matematických modelů pro úlohy CVRPTW a TSP.

Poslední kapitola je kapitolou praktickou. V rámci této kapitoly je ukázána funkčnost navrženého modelu. Vzhledem k rozsáhlosti úlohy zahrnující všechny zákazníky, množství proměnných přesahujících 1,5 milionu a době výpočtu byl výpočet proveden pouze na omezeném množství zákazníků. Pomocí navržených modelů byl proveden návrh obsluhy 44 zákazníků, jejichž sídlo je v Praze a okolí a jejichž perioda obsluhy nepřesahuje 2 týdny. Tito zákazníci jsou dle původního plánu distribuční tras obsluhováni pravidelně ve čtvrtek v lichý týden. Původní rozvržení tras vyžaduje k obsluze 3 vozidla potažmo řidiče a celková délka trasy, kterou řidiči během obsluhy zákazníků ujedou, činí 405 km. Nově navržené řešení obsluhy zákazníků snižuje počet vozidel nezbytných pro obsluhu zákazníků na pouhé jedno vozidlo. Z čehož vyplývá i úspora v počtu řidičů potřebných pro obsluhu zákazníků na pouze jednoho řidiče. Zároveň došlo ke snížení počtu kilometrů, které řidič při obsluze ujede na 197 km. Důsledkem snížení počtu řidičů a snížení počtu ujetých kilometrů je i snížení celkových nákladů na dopravu. Celková částka za dopravu byla díky novému návrhu obsluhy snížena z původních 9540 Kč na 3676 Kč, což znamená, že byly náklady sníženy o více než 60 %.

Na první pohled velká úspora peněz vyplácených za dopravu byla částečně ovlivněna vstupem do úlohy. Do řešení práce nebyli zahrnuti zákazníci, jejichž doba obsluhy přesahuje 2 týdny, případně není zcela pravidelná. Nelze vyloučit, že zařazení těchto zákazníků do obsluhy by vedlo k navýšení doby strávené na trase na tak dlouhou, že by obsluha nemohla být provedena pouze jediným řidičem. Vzhledem k tomu, že tito zákazníci zdaleka netvoří majoritní část zákazníků, lze předpokládat, že pokud by byl model navržen i se zákazníky, jejichž obsluha je v této chvíli zanedbána, došlo by k navýšení počtu tras na dvě a tím by se zvýšila cena za řidiče obsluhujícího trasu „navíc“ a zároveň by došlo k navýšení ujetých kilometrů. I tak by ovšem řešení bylo cenově výhodnější než původní návrh.

Řešením tohoto problému by mohlo být vytváření tras pro každý den až při znalosti požadavků zákazníků, nicméně vzhledem k délce doby výpočtu není toto řešení příliš reálné. Efektivnějším řešením by bylo přinutit zákazníky k pravidelné obsluze tak, aby mohly být trasy pevně naplánované a nemusely být upravované až podle požadavků na poslední chvíli.

Pro zpracování praktické části úlohy bylo použito několik podpůrných aplikací a softwarů. Analýza původního stavu byla sestavena za pomoci aplikace EcoFleet, která zaznamenává pohyb řidičů. Pro tvorbu matic bylo využito programu Microsoft Excel a doplňků Bing Maps a CDX Zip Stream. Samotné výpočty modelů byly provedeny v softwaru Xpress IVE.



## Použité zdroje

- [1] BERGER, Manfred F. a Karl HOHENLOHE. *It began with an aristocratic napkin: 1910 - 2016 100 years Salessianer Miettex*. Vídeň, 2016.
- [2] *Salesianer Miettex* [online]. [cit. 2019-10-08]. Dostupné z: [www.salesianer.cz/](http://www.salesianer.cz/)
- [3] LAGOVÁ, Milada a Josef JABLONSKÝ. *Lineární modely*. Vyd. 3. Praha: Oeconomica, 2014. ISBN 978-80-245-2020-9.
- [4] JABLONSKÝ, Josef. *Operační výzkum: kvantitativní modely pro ekonomické rozhodování*. 3. vyd. Praha: Professional Publishing, 2007. ISBN 978-80-86946-44-3.
- [5] PELIKÁN, Jan. *Diskrétní modely v operačním výzkumu*. Praha: Professional Publishing, 2001. ISBN 80-86419-17-7.
- [6] TEICHMANN, Dušan. *Vehicle Routing Problem (VRP)*. 2018.
- [7] *Mapy.cz* [online]. [cit. 2019-11-22]. Dostupné z: [www.mapy.cz](http://www.mapy.cz)

## **Seznam obrázků**

- Obrázek 1. Rollkontejner
- Obrázek 2. Zákazníci obsluhovaní na území Čech v pondělí
- Obrázek 3. Zákazníci obsluhovaní na území Čech v úterý
- Obrázek 4. Zákazníci obsluhovaní na území Čech ve středu
- Obrázek 5. Zákazníci obsluhovaní na území Čech ve čtvrtek
- Obrázek 6. Zákazníci obsluhovaní na území Čech v pátek
- Obrázek 7. Fáze při aplikaci operačního výzkumu
- Obrázek 8. Trasa č. 1
- Obrázek 9. Trasa č. 2
- Obrázek 10. Trasa č. 3
- Obrázek 11. Obsluha zákazníků v Praze 2
- Obrázek 12. Obsluha zákazníků v Praze 4
- Obrázek 13. Obsluha zákazníků v Praze 5
- Obrázek 14. Obsluha zákazníků v Praze 7
- Obrázek 15. Obsluha zákazníků v Praze 8
- Obrázek 16. Obsluha zákazníků v Praze 11
- Obrázek 17. Obsluha zákazníků v Praze 12
- Obrázek 18. Obsluha zákazníků v Praze 17
- Obrázek 19. Finální návrh obsluhy zákazníků

## Seznam tabulek

- Tabulka 1. Charakteristika vozidel
- Tabulka 2. Charakteristika původních distribučních tras pro pondělí
- Tabulka 3. Charakteristika původních distribučních tras pro úterý
- Tabulka 4. Charakteristika původních distribučních tras pro středu
- Tabulka 5. Charakteristika původních distribučních tras pro čtvrtek
- Tabulka 6. Charakteristika původních distribučních tras pro pátek
- Tabulka 7. Charakteristika jednoho týdne provozu – průměr
- Tabulka 8. Charakteristika provozu květen 2018 – průměr
- Tabulka 9. Charakteristika provozu květen 2018 – reálný provoz
- Tabulka 10. Odchylka základních charakteristik výpočtu od reálného provozu v měsíci květen 2018
- Tabulka 11. Srovnání celkových nákladů pro průměrné hodnoty charakteristik a reálný provoz
- Tabulka 12. Celkové charakteristiky pro „modelový“ měsíc
- Tabulka 13. Charakteristiky zákazníků obsluhovaných na vybrané trase (1. část)
- Tabulka 14. Charakteristiky zákazníků obsluhovaných na vybrané trase (2. část)
- Tabulka 15. Distanční matice vzdáleností těžišť měst [km]
- Tabulka 16. Distanční matice doby jízdy mezi těžišti měst [min]
- Tabulka 17. Distanční matice vzdáleností zákazníků – Praha 2 [km]
- Tabulka 18. Distanční matice vzdáleností zákazníků – Praha 4 [km]
- Tabulka 19. Distanční matice vzdáleností zákazníků – Praha 5 [km]
- Tabulka 20. Distanční matice vzdáleností zákazníků – Praha 7 [km]
- Tabulka 21. Distanční matice vzdáleností zákazníků – Praha 8 [km]
- Tabulka 22. Distanční matice vzdáleností zákazníků – Praha 11 [km]
- Tabulka 23. Distanční matice vzdáleností zákazníků – Praha 12 [km]
- Tabulka 24. Distanční matice vzdáleností zákazníků – Praha 17 [km]
- Tabulka 25. Porovnání nákladů na původní řešení s novým návrhem tras

## **Seznam grafů**

- Graf 1. Výnosy podle obchodních odvětví
- Graf 2. Zákazníci pobočky v Českých Budějovicích
- Graf 3. Podíly jednotlivých poboček na plánovaném ročním obratu pro rok 2019 v milionech Kč
- Graf 4. Porovnání najetých kilometrů reálného provozu a určených výpočtem
- Graf 5. Porovnání odpracovaných hodin dle reálného a určených výpočtem

## **Seznam příloh**

- Příloha 1. Seznam zákazníků a kompletní informace o zákaznících
- Příloha 2. Distanční matice – vzdálenost těžišť
- Příloha 3. Distanční matice – doba jízdy mezi těžišti
- Příloha 4. Zdrojový kód CVRPTW
- Příloha 5. Zdrojový kód TSP