



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA DOPRAVNÍ

Diplomová práce

Návrh rozvozových tras pro textilní společnost

Bc. Anastasiia Zlatieva

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. Anastasiia Zlatieva

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

N 3710 – LA – Logistika a řízení dopravních procesů

Název tématu (česky): **Návrh rozvozových tras pro textilní společnost**

Název tématu (anglicky): Proposal of Distribution Routes for the Textile Company

Zásady pro vypracování

Při zpracování diplomové práce se řiďte následujícími pokyny:

- Analýza společnosti
- Současný stav rozvozových tras ve vybrané společnosti
- Teoretická východiska řešení - volba vhodných metod
- Formulace problému
- Návrh řešení vybranými metodami
- Zhodnocení dosažených výsledků





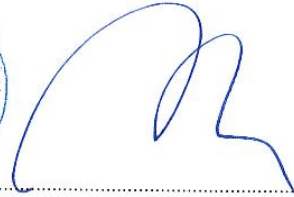
- Rozsah grafických prací: podle pokynů vedoucího diplomové práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: PELIKÁN, J.: Diskrétní modely v operačním výzkumu. Brno: Professional Publishing, 2001. ISBN 80-86419-17-7.
TOTH, P., VIGO, D.: The vehicle routing problem. Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics, c2002. ISBN 0-89871-498-2.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Denisa Mocková, 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. Anastasiia Zlatieva
jméno a podpis studenta

V Praze dne 6. června 2019

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala všem, kteří mi poskytli pomoc pro vypracování diplomové práci. V první radě bych chtěla poděkovat doc. Ing. Denise Mockové, Ph.D. za odborné vedení a konzultování diplomové práce.

Zvláště bych chtěla poděkovat svému kamarádovi Ing. Oleksiyovi Buračikovi za naprogramování navržené metody a za morální podporu.

Tady bych chtěla poděkovat svým spolužačkám a kolegům za morální podporu a poskytnutí cenných rad v průběhu mého studia.

Hlavně bych ale ráda poděkovala rodičům a všem svým blízkým, kteří mi poskytli podporu a byli mi ochotni kdykoliv pomoci po celou dobu mého studia.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl 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 29. 11. 2019

Bc. Anastasiia Zlatieva

ČESKÉ VYSOKÉ ÚČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

Návrh rozvozových tras pro textilní společnost

Diplomová práce

listopad 2019

Bc. Anastasiia Zlatieva

Abstrakt

Cílem diplomové práce je navrhnout efektivní distribuční trasy pro textilní společnost. Zkoumaný problém, který je řešen v diplomové práci je problém okružných jízd. Analytická část práce je věnovaná charakteristice aktuálního distribučního systému společnosti. V praktické části je uveden postup navržené heuristiky. V závěru práce jsou ukázány získané výsledky a jejich porovnání s aktuálním stavem a volba nejvhodnějšího řešení.

Klíčová slova

Úloha okružných jízd, návrh efektivních tras, heuristické metody, distanční matice, časová distanční matice, matice úspor, středisko obsluhy.

Abstract

The goal of the thesis is to propose an effective distribution route for textile company. The name of researched problem, which is solved in the thesis, is the Vehicle Routing Problem. The analytical part is devoted to the characteristics of the current distribution system of the company. In the practical part, there is the procedure of created heuristics shown. And at the end of the work, the obtained results and their comparison with the current state and choice of the most suitable solution are shown.

Key words

Vehicle Routing Problem, proposal of effective roads, heuristics methods, distance matrix, time distance matrix, saving matrix, depo.

Obsah

Seznam použitých zkratk.....	7
Úvod	8
1. Analýza společnosti.....	10
1.1 SALESAINER MIETTEX	10
1.2 Postavení Salesainer na českém trhu	11
1.3 Systém outsourcingu prádla	12
1.4 Produkty Salesainer	13
1.5 Systém zajištění dodávek.....	16
1.6 Software Ecofleet	17
2. Současný stav rozvozových tras pro textilní společnost	19
2.1 Distribuce.....	19
2.2 Stávající rozvozové trasy.....	19
2.3 Shrnutí provedené analýzy	29
3. Teoretická východiska – volba vhodné metody	32
3.1 Úloha obchodního cestujícího	32
3.2 Úloha okružných jízd	33
3.3 Způsoby řešení rozvozních úloh.....	36
3.4 Volba vhodné metody	39
4. Formulace problému pro potřeby zvolené metody	40
4.1 Návrh obsluhy zákazníků v průběhu měsíce.....	40
4.2 Návrh rozmístění produktů v jednotlivých typech vozidel.....	42
5. Návrh řešení vybranými metodami.....	45
5.1 Vstupní údaje pro řešení problému zvolenou metodou	46
5.2 Postup řešení navržené heuristiky	47
6. Zhodnocení dosažených výsledků	53
6.1 Navrhované rozvozové trasy	53
6.2 Porovnání aktuálního stavu a navrženého řešení	64
6.3 Návrh změn	65
Závěr	67
Použité zdroje.....	69
Seznam obrázků.....	70
Seznam tabulek.....	71

Obsah přiloženého CD

1. Příloha 1 – Týden 1
 - 1.1 Distanční matice týden 1
 - 1.2 Časová distanční matice týden 1
 - 1.3 Matice úspor týden 1
 - 1.4 Poptávka na textil týden 1
2. Příloha 2 – Týden 2
 - 2.1 Distanční matice týden 2
 - 2.2 Časová distanční matice týden 2
 - 2.3 Matice úspor týden 2
 - 2.4 Poptávka na textil týden 2
3. Příloha 3 – Týden 3
 - 3.1 Distanční matice týden 3
 - 3.2 Časová distanční matice týden 3
 - 3.3 Matice úspor týden 3
 - 3.4 Poptávka na textil týden 3
4. Příloha 4 – Týden 4
 - 4.1 Distanční matice týden 4
 - 4.2 Časová distanční matice týden 4
 - 4.3 Matice úspor týden 4
 - 4.4 Poptávka na textil týden 4

Seznam použitých zkratk

TSP	Travelling Salesman Problem – Úloha obchodního cestujícího
VRP	Vehicle Routing Problem – Úloha okružných jízd
VRPTW	Vehicle Routing Problem with Time Windows – Úloha okružných jízd s časovými okny
VRPB	Vehicle Routing Problem with Backhauls – Úloha okružných jízd se zpětným svozem
VRPBTW	Vehicle Routing Problem Backhauls and Time Windows – Úloha okružných jízd se zpětným svozem a časovými okny
VRPPD	Vehicle Routing Problem with Pick up and Delivery – Úloha okružných jízd se sběrem a doručením
VRPPDTW	Vehicle Routing Problem with Pick up and Delivery and Time Windows – Úloha okružných jízd se sběrem a doručením a časovými okny
MFVRP	Mixed fleet Vehicle Routing Problem – Úloha okružných jízd s heterogenními vozidly
ID	IDentification – identifikační číslo

Úvod

Z důvodu poskytnutí kvalitních služeb v distribučních systémech a pro efektivní fungování podniku či společnosti, které poskytují služby spojené s dopravou, vzrůstá poslední dobou neustále zájem o optimalizaci poskytovaných služeb.

Hlavním cílem fungování distribučního systému je doručení určitého produktu na určité místo, a to v požadovaném množství, v požadované kvalitě a s minimálními náklady. Efektivně pracující distribuční systém zvyšuje konkurenceschopnost celého podniku, zároveň snižuje náklady na dopravu a v neposlední řadě snižuje i dopad na životní prostředí.

Diplomová práce se zaměřuje na návrh nových distribučních tras pro textilní společnost Salesainer. Salesainer je nadnárodní textilní společnost, která působí na evropském trhu od roku 1916. Společnost má významné postavení i na českém trhu. Poskytuje komplexní nabídku služeb souvisejících s outsourcingem čištění prádla a každý pracovní den obsluhuje několik desítek zákazníků.

Cílem diplomové práce je navrhnout takové řešení, které splní hlavní požadavky kladené na logistiku, a tedy nalezení efektivních tras pro obsluhu všech zákazníků. Trasa by měla začít a končit v jednom místě (depu), spojovat existující vrcholy a zároveň uspokojit potřeby zákazníků, tedy poptávku na vybrané zboží. To vše při dodržení kapacitních možností nákladních vozidel a v neposlední řadě také při dodržení časové podmínky, tedy pracovní doby řidičů.

V první části práce je provedena analýza společnosti, seznámení s hlavními činnostmi společnosti a jejím postavením na českém a mezinárodním trhu. Dále je uveden popis produktů, které společnost nabízí svým zákazníkům. Následně je uveden popis vozidel, pomocí kterých se uskutečňuje distribuce textilu. Navíc je popsán software, který je používán společností pro sledování pohybu jednotlivých vozidel.

V druhé části je popsán existující distribuční systém, se kterým bude následně návrh porovnáván. V kapitole jsou popsány existující atrakční obvody, do kterých jsou aktuálně rozděleni zákazníci. Taktéž jsou zde uvedené náklady na dopravu společnosti Salesainer.

V následující kapitole je popsána teoretická stránka zkoumaného problému. Jedná se o úlohu VRP, jednu z rozvozních úloh. V této kapitole jsou uvedeny různé varianty VRP a následně způsoby jejich řešení.

Další kapitola se zaměřuje na problém, který v této diplomové práci bude řešen. Jsou zformulovány vstupní údaje, které následně budou použité pro implementaci navržené heuristiky.

V následující části je popsán postup metody a výsledky, které budou představeny v závěrečné části.

V závěrečné části budou představeny nově navržené trasy. Součástí poslední kapitoly je kalkulace možných úspor při implementaci návrhu do reálné situace a porovnání existujícího procesu a navrženého plánu distribuce.

Společnost obsluhuje příliš velký počet zákazníků a ruční/manuální řešení úlohy by bylo časově velmi náročné. Z těchto důvodů byla navržená heuristika naprogramována v jazyce JavaScript.

Hlavním zdrojem informací pro tuto práci byla interní data, která byla poskytnuta společností Salesainer.

1. Analýza společnosti

Pro svou diplomovou práci jsem si vybrala textilní společnost Salesainer, která byla založena v roce 1916 jako rodinný podnik a dodnes se nachází v rodinném vlastnictví.

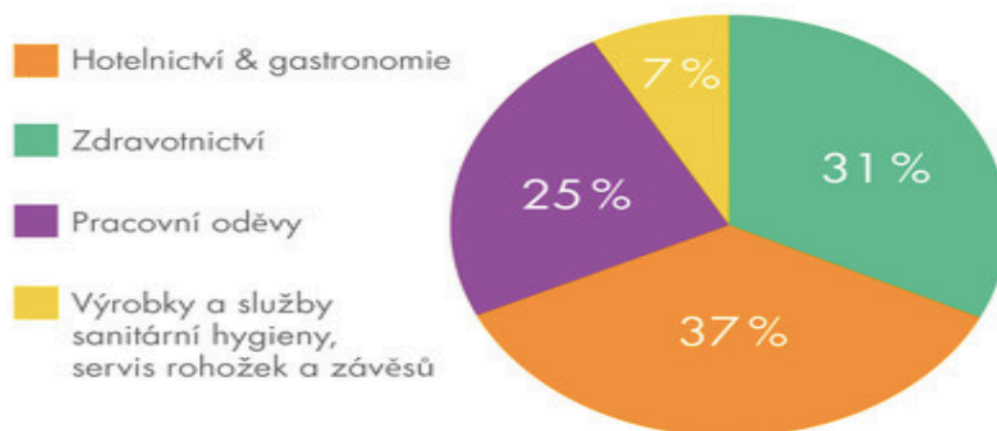
1.1 SALESAINER MIETTEX

SALESAINER MIETTEX je nadnárodní společnost v oblasti servisního pronájmu textilu. Společnost byla založena v roce 1916 babičkou dnešního majitele Mgr. Thomase Krautschneidera. Jeho matka, Christine Krautschneiderová, je předsedkyní představenstva. Označení firmy bylo odvozeno od původní adresy sídla, ulice Salesianergasse ve Vídni. "Rodinný duch" se i dnes stále ještě odráží v pracovním prostředí skupiny Salesianer.

Hlavní činností společnosti je pronájem textilu zákazníkům z různých odvětví. Jedná se o pronájem pracovních oděvů pro zdravotnictví, gastronomii, obchod a průmysl. Firma doručuje textil pro sanitární hygienu, rohože, utěrky, a další.

Skupina SALESIANER MIETTEX má vedoucí postavení na rakouském trhu a v Evropě patří k čelním poskytovatelům služeb pronájmu textilu. Zaměstnává celkem 2 350 zaměstnanců. Firma má vůdčí pozici na Slovenském trhu. Podíl uvedené pobočky činí 29 %. Co se týká podílu zástupce společnosti ve Slovinsku, tak ten činí 50 %. Na celkovém trhu Polska, České republiky, Slovenska, Maďarska a Slovinska je firma rovněž v čele s tržním podílem 13 % [1].

Celkový obrat společnosti je 154 milionů EUR, ze kterých 41,2 milionů patří pobočkám, které jsou umístěny mimo Rakousko. Jak je zobrazeno na obrázku 1, největší výnosy podle obchodních větví činí hotelnictví a gastronomie, následně zdravotnictví, pracovní oděvy a servis rohožek a závěsů.

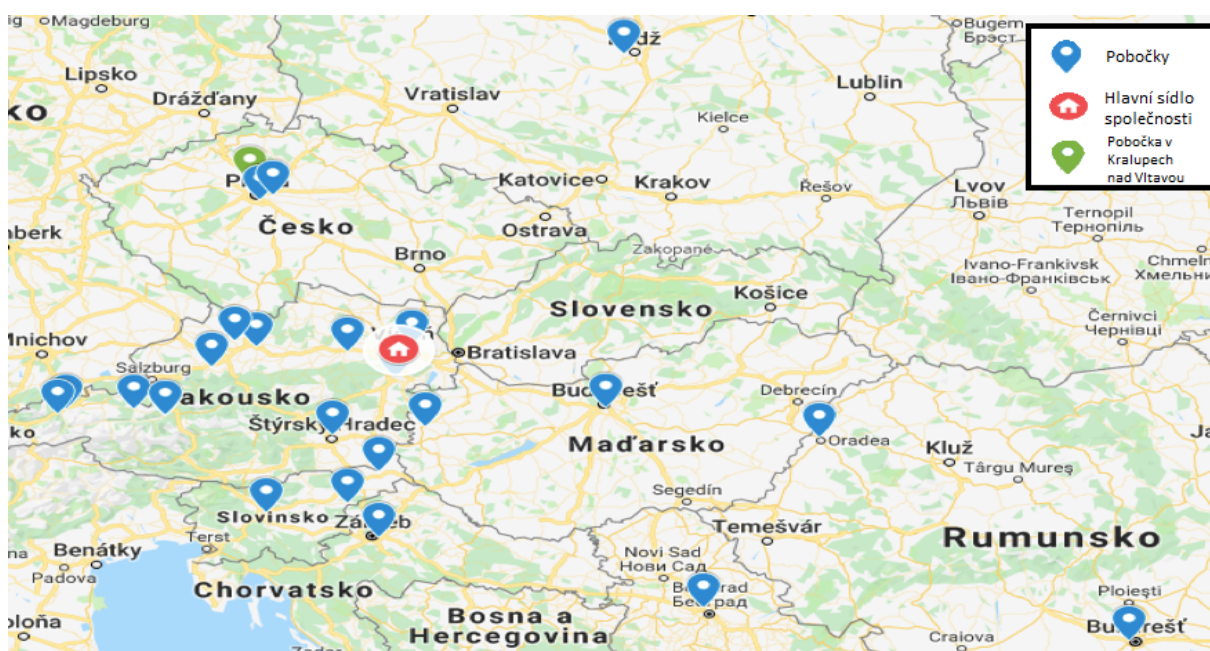


Obrázek 1 – Výnosy společnosti (Zdroj [2])

Společnost poskytuje komplexní nabídku služeb, související se spotřebou konečného produktu, tedy zajištění outsourcingu prádla, při dodržení garance kvality a hygieny.

Nedílnou součástí poskytování servisu je plánování doručení, což je předmětem mé diplomové práce. Firma zajišťuje bezproblémový koloběh prádla, což obsahuje vyzvednutí, doručování do pobočky, kde následně proběhne vyčištění, údržba, oprava a výměna, a pak se čisté prádlo doručuje zpět k zákazníkům.

Každá pobočka je zodpovědná za doručování správného množství produktu správnému zákazníkovi. Celkem firma vlastní dvacet pět poboček, které jsou umístěny v devíti zemích, a to: Rakousko, Maďarsko, Česká republika, Slovinsko, Slovensko, Rumunsko, Chorvatsko, Srbsko, Polsko. V Rakousku ve Vídni se nachází hlavní sídlo společnosti. Na obrázku 2 lze vidět rozmístění poboček.

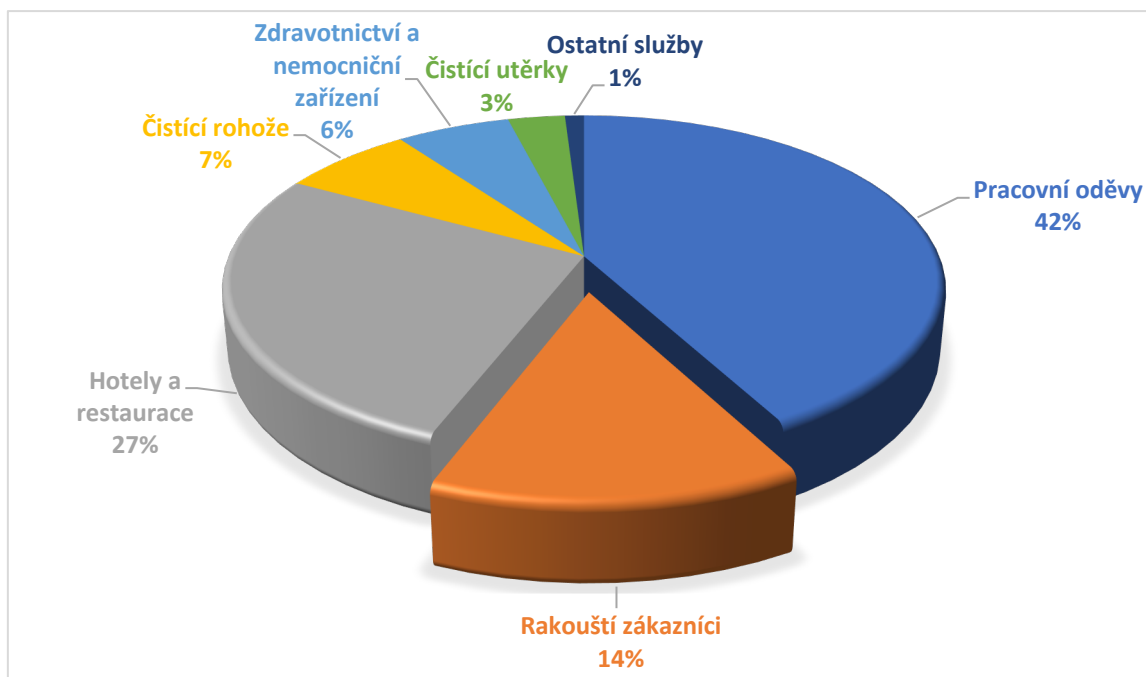


Obrázek 2 – Pobočky Salesainer Mietex (Zdroj [3], úpravy autor)

1.2 Postavení Salesainer na českém trhu

Společnost má významné postavení i na českém trhu. Tři české prádelny jsou umístěny tak, aby společnost mohla poskytnout služby celé České republice. Ve své diplomové práci se budu zabývat pobočkou, která se nachází ve městě Kralupy nad Vltavou, která byla založená v roce 1995 a dodnes poskytuje kvalitní služby zákazníkům. Na této pobočce pracuje 50 zaměstnanců, kteří denně zpracují kolem 16 tun prádla. V současné době má kralupská pobočka na starosti 420 zákazníků.

Kromě uvedené pobočky je v ČR umístěna prádelna v Českých Budějovicích, která byla založena v roce 2018. Filiálce je přiřazeno 40 zákazníků, z nichž významný podíl tvoří rakouští zákazníci. Na obrázku 3 je procentuální zobrazení služeb, které jsou poskytovány jihočeskou pobočkou Salesainer.



Obrázek 3 – Procentuální rozložení nabízených služeb (Zdroj [1])

Prádelna ve městě Praha je situována v areálu Thomayerovy nemocnice. Zde je třeba podotknout, že tedy většinový podíl zákazníků pro uvedenou pobočku je z oblasti zdravotnictví. Zbývající podíl tvoří oblast hotelnictví a gastronomie. Pobočce je přiřazen nejmenší podíl zákazníků z českých prádelen, a to 36.

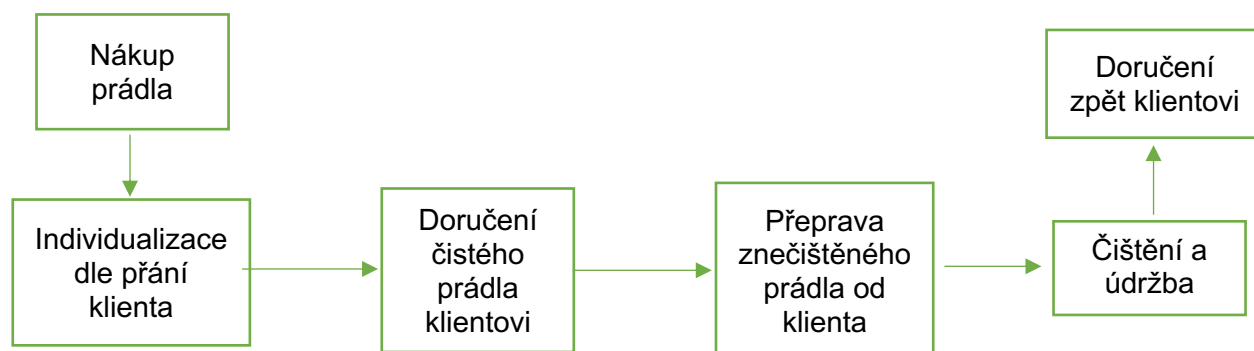
1.3 Systém outsourcingu prádla

Systém outsourcingu prádla se chápe jako komplex služeb, které usnadňují firmám práci spojenou s údržbou a správou prádla. Pro poskytnutí kvalitních služeb svým zákazníkům je nejlepší variantou tedy navázat spolupráci s odbornou firmou, která se o neklíčové (ale důležité) segmenty postará. Firma vytvořila systém, který zajišťuje rychlou reakci na každou poptávku od zákazníků. Salesainer poskytuje služby, spojené se zajištěním celého procesu zajištění prádla, které začínají kompletním poradenstvím, což zahrnuje individuální analýzu požadavků a vytvoření zásilky/dodávky. Kromě toho, každý klient může provést jakoukoliv změnu v dané dodávce v průběhu objednávky. Společnost také nabízí službu urgentní doobjednávky, tedy doobjednávka na poslední chvíli.

Společnosti, které používají tyto služby mají možnost ušetřit náklady, spojené s nakoupením pracovního oděvu. V důsledku toho se tyto náklady mění z fixních na variabilní. Použití outsourcingu přináší pro danou firmu celý seznam výhod:

- ušetření nákladu za pořízení,
- zajištěná údržba,
- neúčast v problému likvidace,
- transparentnost celého procesu,
- flexibilita a zajištění včasného dodání při případných úpravách požadavků,
- usnadnění organizace celého procesu spojeného s pracovními oděvy,
- úspory za uskladnění a logistiku, což je důležitou složkou pro uspokojení požadavků klientů.

Celý systém zajištění prádla se uskutečňuje v šesti krocích. Na obrázku 4 jsou vidět jednotlivé kroky.



Obrázek 4 – Jednotlivé kroky procesu zajištění prádla (Zdroj [2])

Při nákupu společnost pořizuje kvalitní textil, který má odpovídat všem hygienickým standardům. Poté dochází k jeho úpravě na základě požadavků zákazníka (například firemní logo). Při přepravě produktů společnost dbá na dodržování termínu doručení k zákazníkům. Individualizace je hlavní marketingovou strategií společnosti, což zaručuje osobní přístup pro každého zákazníka. Dále v tomto procesu probíhá údržba, která zahrnuje důkladné čištění a případné opravy zboží.

Společnost zaručuje dodání prádla ve správné velikosti, barvě, množství a provedení.

1.4 Produkty Salesainer

Jak už bylo uvedeno, společnost poskytuje široký výběr textilních výrobků pro různé oblasti. Ve své diplomové práci budu věnovat pozornost produktům, které jsou nabízeny a zajišťovány pobočkou v Kralupech nad Vltavou.

Společnost poskytuje široký výběr pracovních oděvů, jako jsou: bundy do pasu, kalhoty do pasu, kombinézy, vesty, trika, svetry a košile. Pro každý typ produktu si zákazník může vybrat individuální design nebo si může přidat firemní logo. Oděvy jsou přepravované v klecích, jejichž průměrná kapacita je 120 kusů. Při této plné kapacitě je hmotnost (včetně klece) 100 kg. Klec na přepravu prádla je na obrázku 5.



Obrázek 5 – Klec na přepravu prádla (Zdroj [autor])

Velký podíl nabízených produktů zde tvoří rohože. Společnost používá high-tech typ rohoží, které jsou schopny absorbovat cca 4 litry tekutiny. Každá rohož je designována podle

požadavků klientů včetně případného loga společnosti, což může být vhodným uvítacím vzkazem pro hosty zákazníka.

Jednou z nabídek jsou protiúnavové a víceúčelové rohože, které mají prokazatelný ergonomický efekt pro odlehčení svalů, kloubů, nohou a zad a napomáhají vyšší produktivitě zaměstnanců díky většímu komfortu při práci ve stoje.

Protiúnavové rohože jsou protiskluzové, a zajišťují ochranu před chladnou podlahou, tímto zaručují pozitivní vliv na zdraví zaměstnanců. Tato položka produktů je nabízena ve čtyřech variantách. Každý typ zmíněného produktu je držitelem certifikátu dle NSF1 101-C „High Traction“.

Posledním druhem nabízeného zboží jsou utěrky. Tento druh nabízeného produktu se přepravuje v barelech. Kapacita jednoho barelu je maximálně 700 kusů. Barel na přepravu úterek je na obrázku 6.



Obrázek 6 – Barel na přepravu utěrek (Zdroj [autor])

Na obrázku 7 lze vidět, jak se zmíněné produkty nakládají do vozidla.



Obrázek 7 – Nakládka vozidla (Zdroj [autor])

1.5 Systém zajištění dodávek

Pro zajištění kvalitního servisu se společnost stará o transparentnost při dodávkách. Každý produkt se eviduje pomocí čárového kódu, který se přiděluje každé zásilce. Tento systém umožňuje získat přehled o pohybu všeho zboží během celého procesu zpracování, což vede k lepšímu sledování zboží a informovanosti klientů.

Celou přepravu zboží zajišťuje společnost Vako-Logistic. Distribuční flotila společnosti se skládá ze sedmi aut.

V tabulce 1 jsou popsány charakteristiky jednotlivých vozidel, které jsou důležité pro vyplnění kapacitní podmínky, která je podstatná pro vyřešení zadání diplomové práce. V tabulce 1 je uvedena značka a model vozidla, objem ložného prostoru pro přepravu zboží a nosnost, která vyjadřuje, kolik kilogramů zboží zvládne toto vozidlo uvést.

Tabulka 1 – Přehled vozidlového parku (Zdroj [1])

Značka	Mercedes-Benz	Iveco	Fiat
Třída	Sprinter	Daily	Ducato
Počet vozidel [kus]	1	5	1
Objem ložného prostoru [m^3]	14,3	26,4	13,2
Nosnost [kg]	1 350	2 200	1 250

1.6 Software Ecofleet


Pro sledování pohybu jednotlivých vozidel v reálném čase používá společnost aplikaci Ecofleet, která poskytuje veškerou informaci ohledně dodání zakázek přímo k zákazníkům.

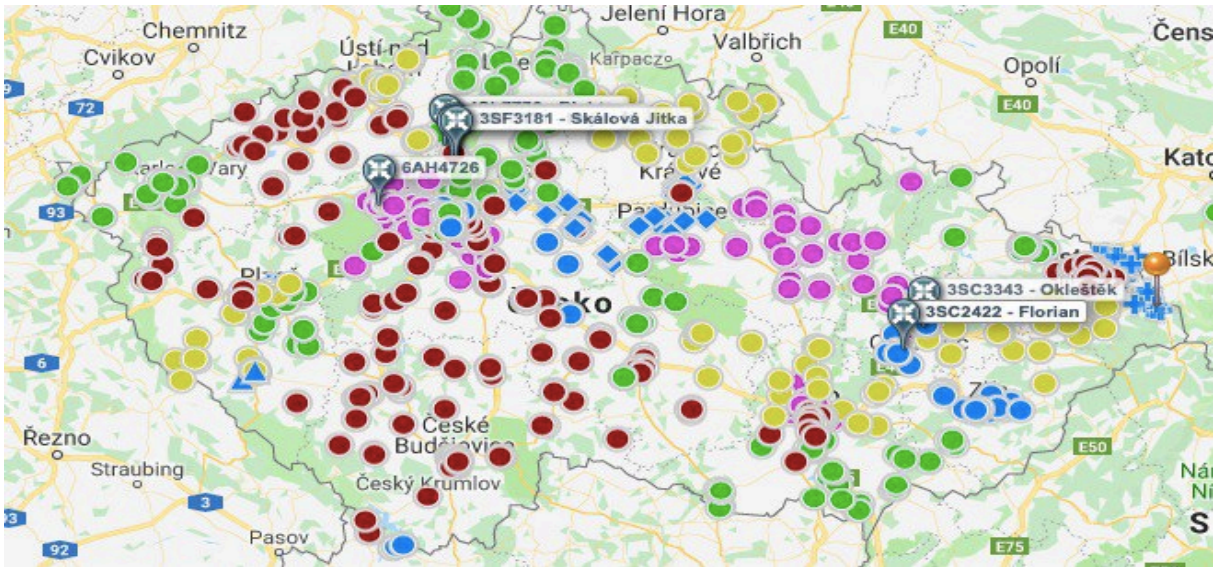
Ecofleet je mezinárodní software, který je používán v zemích Skandinávie, pobaltských státech a západní Evropě, pokrývající obsluhu více než 70 000 aut. Software se specializuje na sledování polohy vozidel pomocí GPS.

Software poskytuje širokou nabídku služeb, spojených se sledováním vozidel, zahrnující:

- „Mapy“, které ukazují aktuální polohu vybraného vozidla. Pomocí funkce mapy se dá najít nejbližší auto ve vybrané geografické poloze,
- „Automobily“. Zde se dá prohlédnout seznam všech vozidel, která jsou používána ve společnosti. Daná položka obsahuje údaje, týkající se řidiče, ujeté vzdálenosti, rychlosti vozidla, a také času, ve kterém se vozidlo vykonávalo jízdu. Důležitou součástí dané položky je také palivo, které se ve vozidle aktuálně nachází,
- funkce „Trasa“ umožňuje zobrazení trasy vozidla za určité zadané období. Kromě toho, pomocí této funkce je možné přehrát danou jízdu na mapě. Trasy je možné filtrovat podle vozidel, jejich rychlosti nebo ujeté vzdálenosti,
- položka „Reporty“ neboli kniha jízd, dovoluje získat přehled všech jízd pro zvolené období,

- „Události“. Tato funkce umožňuje informovat uživatele ohledně všech událostí, které je mohou zajímat (například překročení rychlosti) [4].

Na obrázku 8 je mapa, na které, pomocí označení , je zobrazena poloha vozidel. Každému řidiči je přiřazena barva, což dává možnost jednoduše sledovat, jaká místa a jakým řidičem byla navštívena.



Obrázek 8 – Pohyb jednotlivých vozidel (Zdroj [4])

2. Současný stav rozvozových tras pro textilní společnost

2.1 Distribuce

Pobočka, kterou budu řešit ve své diplomové práci, vlastní největší počet zákazníků ze všech poboček, které se nachází v České republice. Na základě tohoto faktu mohu tvrdit, že úroveň nastavení systému logistiky a jejích procesů při dodání nabízených produktů hraje vysokou roli v zajištění spokojenosti těchto zákazníků. Kralupská pobočka poskytuje služby zákazníkům v České republice včetně Prahy. Zboží je doručováno v pevně daných intervalech, a to v týdenních, dvoutýdenních, nebo měsíčních.

Region Morava je obsluhován třikrát týdně. Pro přepravu textilu na Moravu používá společnost překladiště v Olomouci, odkud je zboží dovezeno přímo k zákazníkům. Následně probíhá svoz zboží na uvedené překladiště, odkud je zboží později vráceno do Kralup, kde probíhá čištění a opravy prádla. Danou pobočku ve své diplomové práci nebudu řešit, zaměřím se pouze na region, který je obsluhován v Kralupech nad Vltavou.

2.2 Stávající rozvozové trasy


Trasy jsou obsluhovány sedmi řidiči a každému z nich je přiřazena pevná trasa. Společnost Salesainer nikdy nepoužívala žádný software pro zajištění efektivního rozvozu a svozu zboží. Každý řidič má přiřazené zákazníky, které má obsloužit a řidič si sám plánuje trasu, kterou pojede v konkrétní den.

Zboží je připraveno pro rozvoz den předem, což znamená, že řidič se po obsluze všech zákazníků vrátí zpátky do prádelny, kde složí špinavé prádlo a ihned náloží čisté pro následující den. Současný stav je takový, že po této nakládce čistého prádla pak řidiči tím samým služebním vozem jedou domů, odkud poté vyráží na cestu k zákazníkovi, čímž navyšují ujeté kilometry, a tak zvyšují provozní náklady na logistiku.

Na základě aplikace Ecofleet byla mnou provedena analýza za období červen 2018, na jejíž základě se ve své diplomové práci budu zabývat návrhem zlepšení rozvozových tras na období jednoho měsíce.

Trasy jsou rozdělené podle dnů v týdnu, a to pomocí písmen: A-pondělí, B-úterý, C-středa, D-čtvrtek, E-pátek, kromě toho je ke každému písmenu přiřazeno číslo, které označuje atrakční obvod. Obvody A 007, B 005 a B 007 jsou rozdělené do dvou pracovních dnů, což znamená, že po obsluze všech zákazníků se řidiči vracejí zpět do prádelny, kde následně vymění špinavé

zboží za čisté a následující den začnou svou obsluhu z domova, kam se řidiči každý den vracejí. Tím generují cca 20 neproduktivních kilometrů denně na každé trase. Tyto kilometry navíc budu dále uvádět jako „neproduktivní km“.

Na obrázcích č. 9-13 je grafické znázornění současných distribučních tras pro jeden pracovní týden. Pro lepší přehled je každá trasa označena vlastní barvou. Ikona  ukazuje na každém obrázku počáteční polohu auta před začátkem jízdy – tedy polohu domova řidiče.

Pondělí

Atrakční obvod A 002 je obsluhován v pondělí a zahrnuje zákazníky ze Středočeského kraje a z Vysočiny. Tomuto obvodu je přiřazen řidič Horáček. Řidiči Kovař, Richter a Nekuda mají rozdělené klienty z Prahy a obsluhují tím pádem obvody A 003, A 004 a A 009. Do atrakčního obvodu A 007 jsou přiřazeni zákazníci ze Středočeského, Královéhradeckého a Pardubického kraje. Obsluha zmíněné trasy je rozdělena na dva dny. V pondělí vyjelo celkem šest řidičů.

Úterý

V úterý celkem vyjíždí šest řidičů. Obvod B 002 se zaměřuje na zákazníky z Prahy. Trasu jezdí řidič Richter. Okruh B 003 zahrnuje klienty z Ústeckého kraje, kteří jsou obsluhováni řidičem Horáčkem. B 004 obvod, do kterého patří klienti z Plzeňského a Karlovarského kraje je obsluhován řidičem Idzcak. Zákazníci z Vysočiny, Středočeského a Jihočeského kraje spadají do okruhu B 005, u kterého je rozdělena obsluha na dva dny. Tomuto okruhu je přiřazen řidič Šulc. Území Jihočeského kraje se označuje jako B 007, který obsluhuje řidič Nekuda. V úterý vyjelo celkem šest řidičů.

Středa

Ve středu řidič Horáček obsluhuje obvod C 001, který pokrývá území Ústeckého kraje. Okruh C 003 zahrnuje zákazníky z Prahy a je obslužen řidičem Richterem. Do obvodu C 004 patří klienti z Plzeňského kraje. Nakonec trasa C 007 je obslužena řidičem Hájkem. Sídla společností, které patří do daného obvodu, se nacházejí na Vysočině, ve Středočeském a Jihočeském kraji. Ve středu vyjelo celkem šest řidičů.

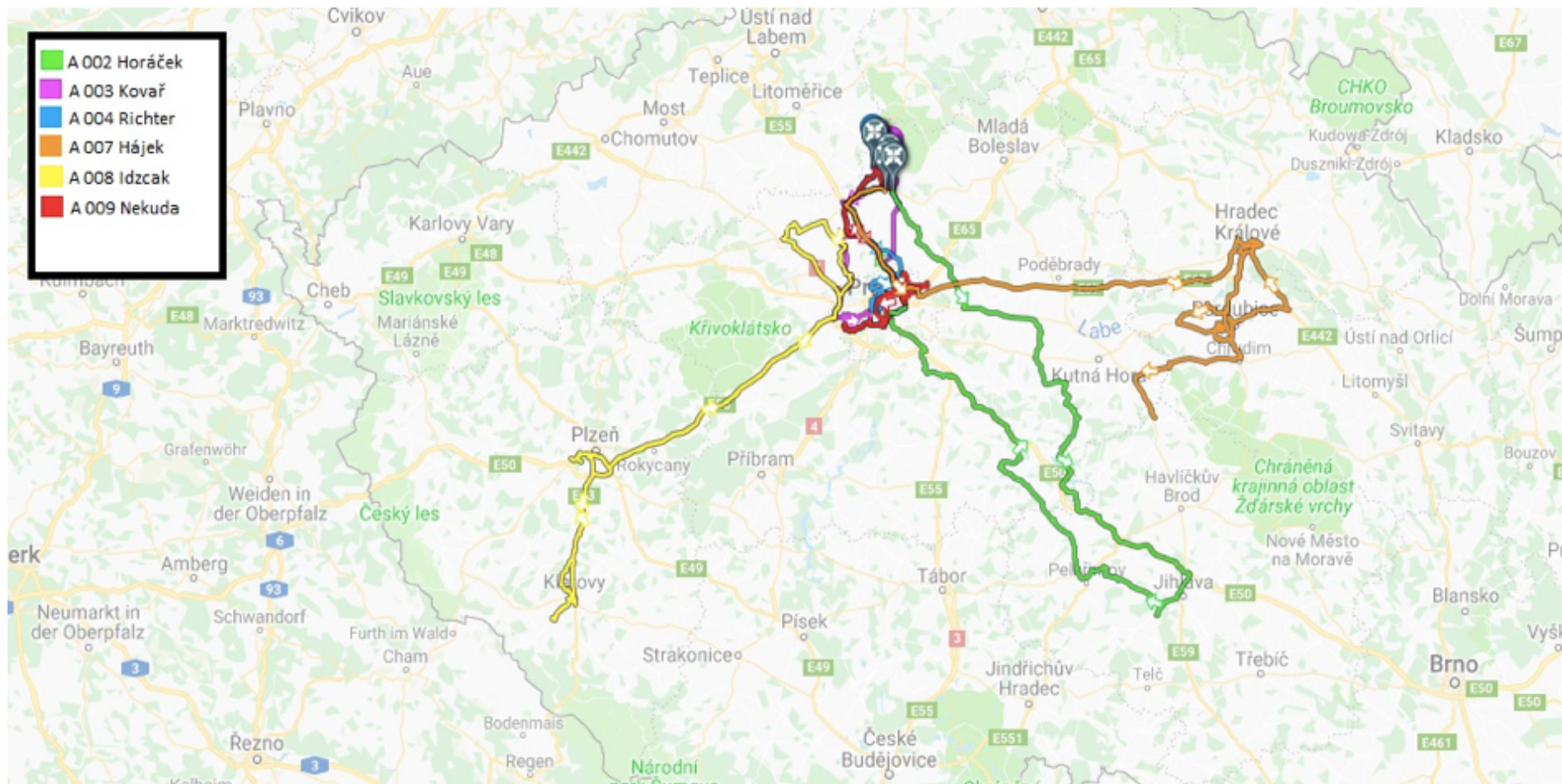
Čtvrtek

Ve čtvrtek je Praha přiřazena do obvodů D 004, D 007 a D 008. Skupinu zákazníků, kteří patří do příslušných tras, obsluhují řidiči Richter, Nekuda a Horáček. Klienti z Pardubického kraje patří do trasy D 001, kterou má na starosti řidič Šulc. Řidič Kovař obsluhuje území

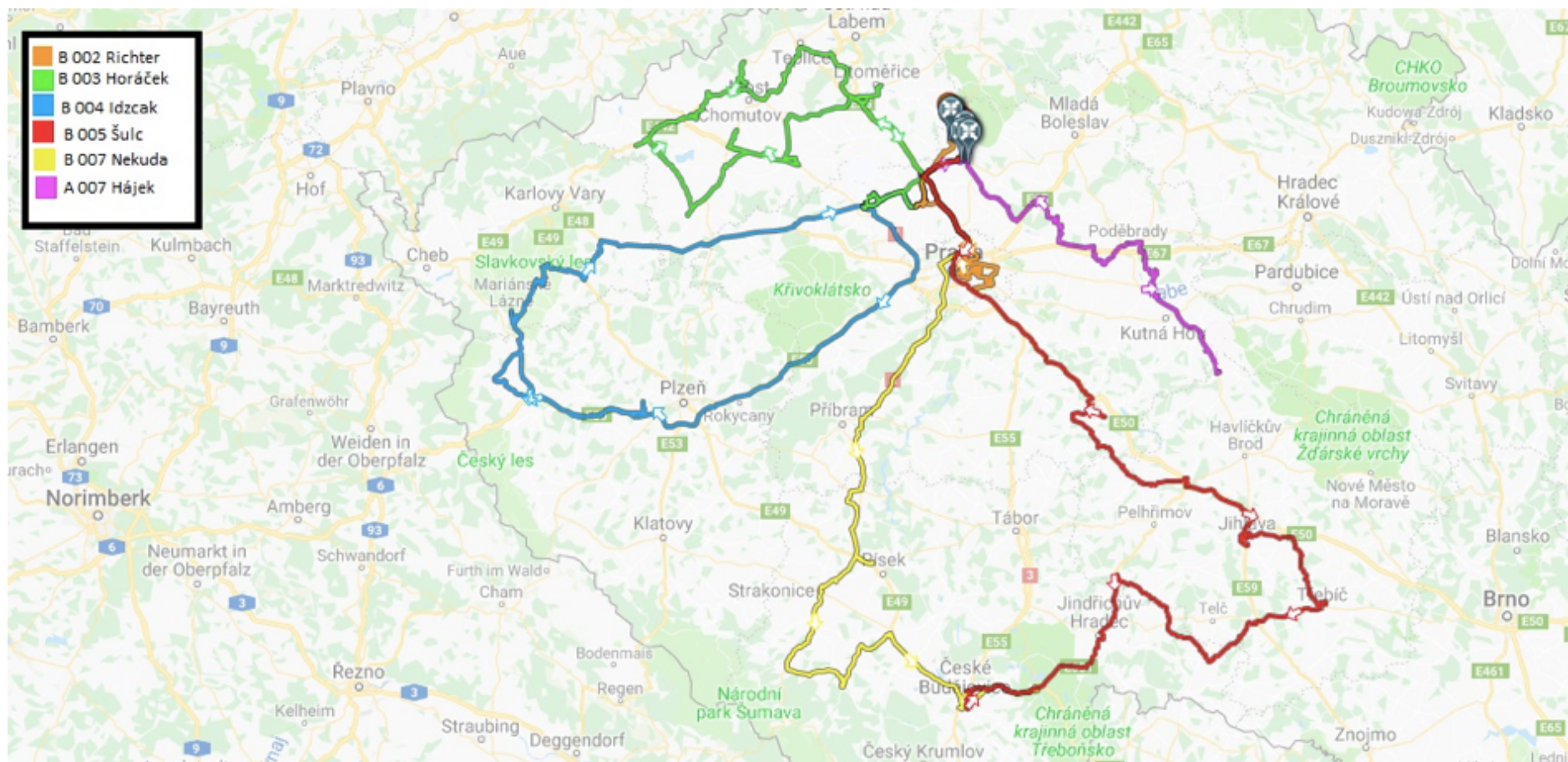
Středočeského kraje tedy D002, řidič Idzcak území Plzeňského kraje D 003, a řidič Hájek má na starosti obvod D 005, tím pádem obsluhuje klienty z Karlovarského kraje. Ve čtvrtek vyjelo celkem sedm řidičů.

Pátek

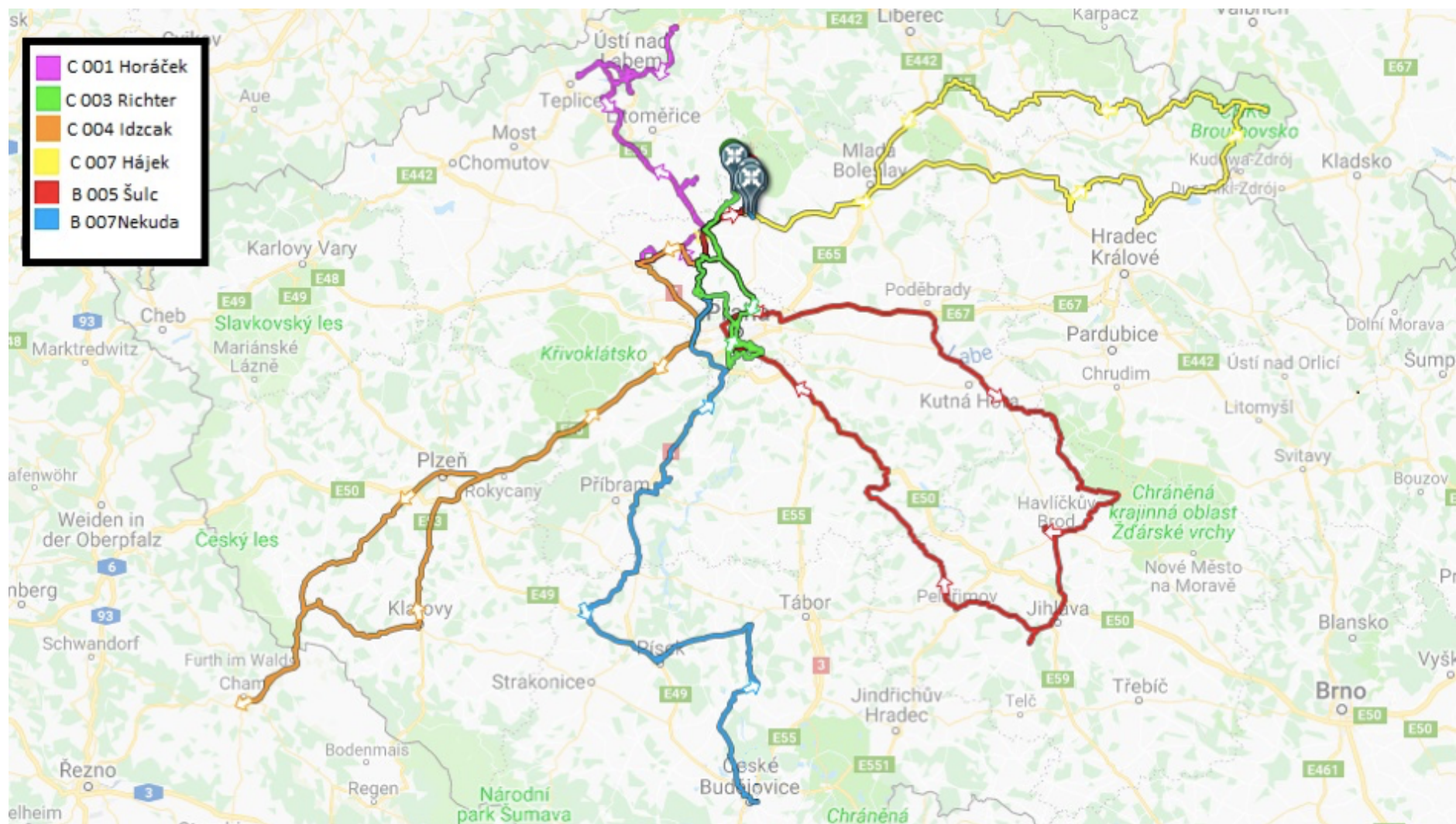
Pateční okruh E 003, který je obsluhován řidičem Horáčkem, je podobný jako okruh A 007, do něhož patří zákazníci z Královéhradeckého a Pardubického kraje. Území Středočeského kraje je rozděleno do třech okruhů, a to E 004, E 006 a E 007. V pátek řidiči Richter a Nekuda obsluhují zákazníky z Prahy, kteří patří do okruhů E 002 a E 005. V pátek vyjelo celkem šest řidičů.



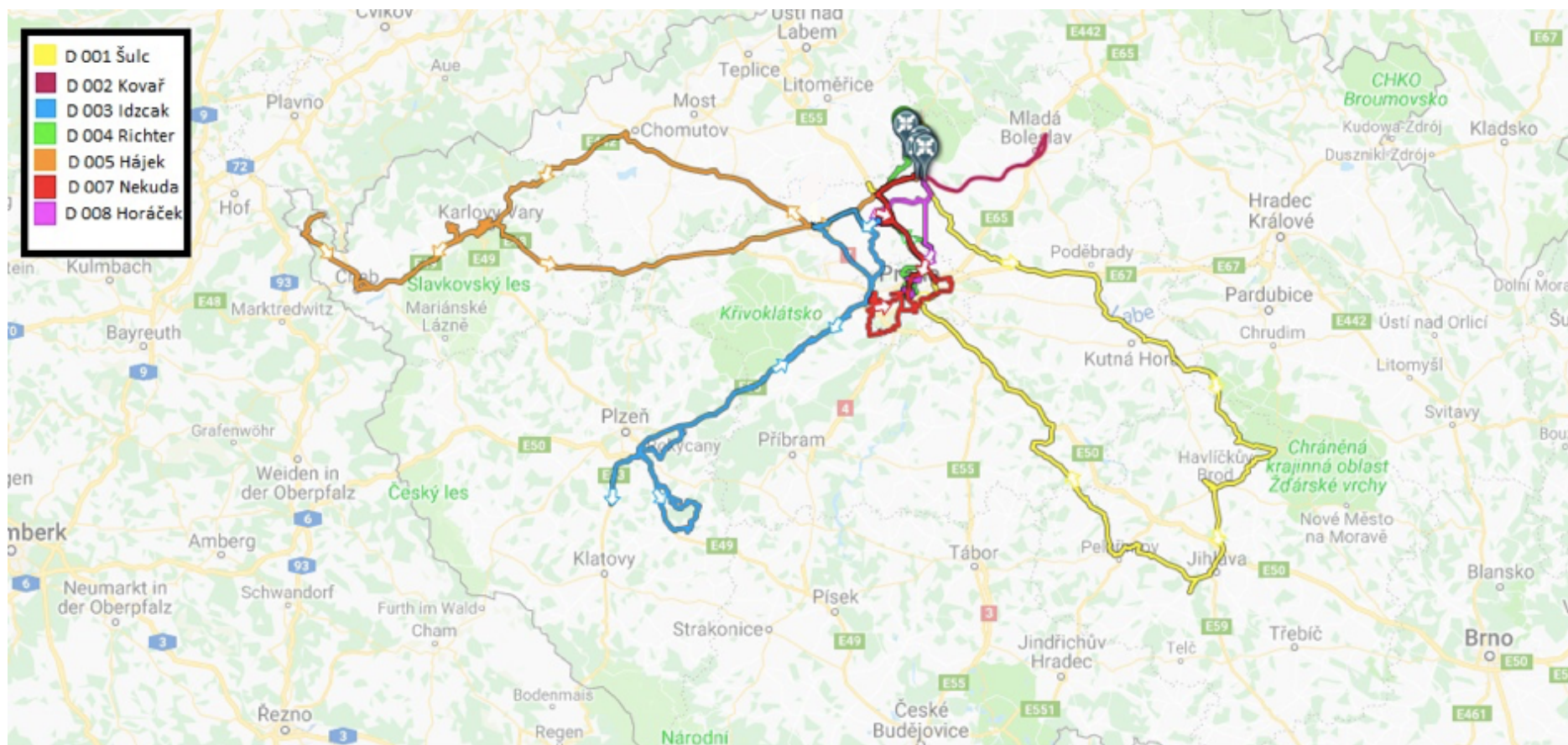
Obrázek 9 – Distribuční trasy pondělí (Zdroj [4], úpravy autor)



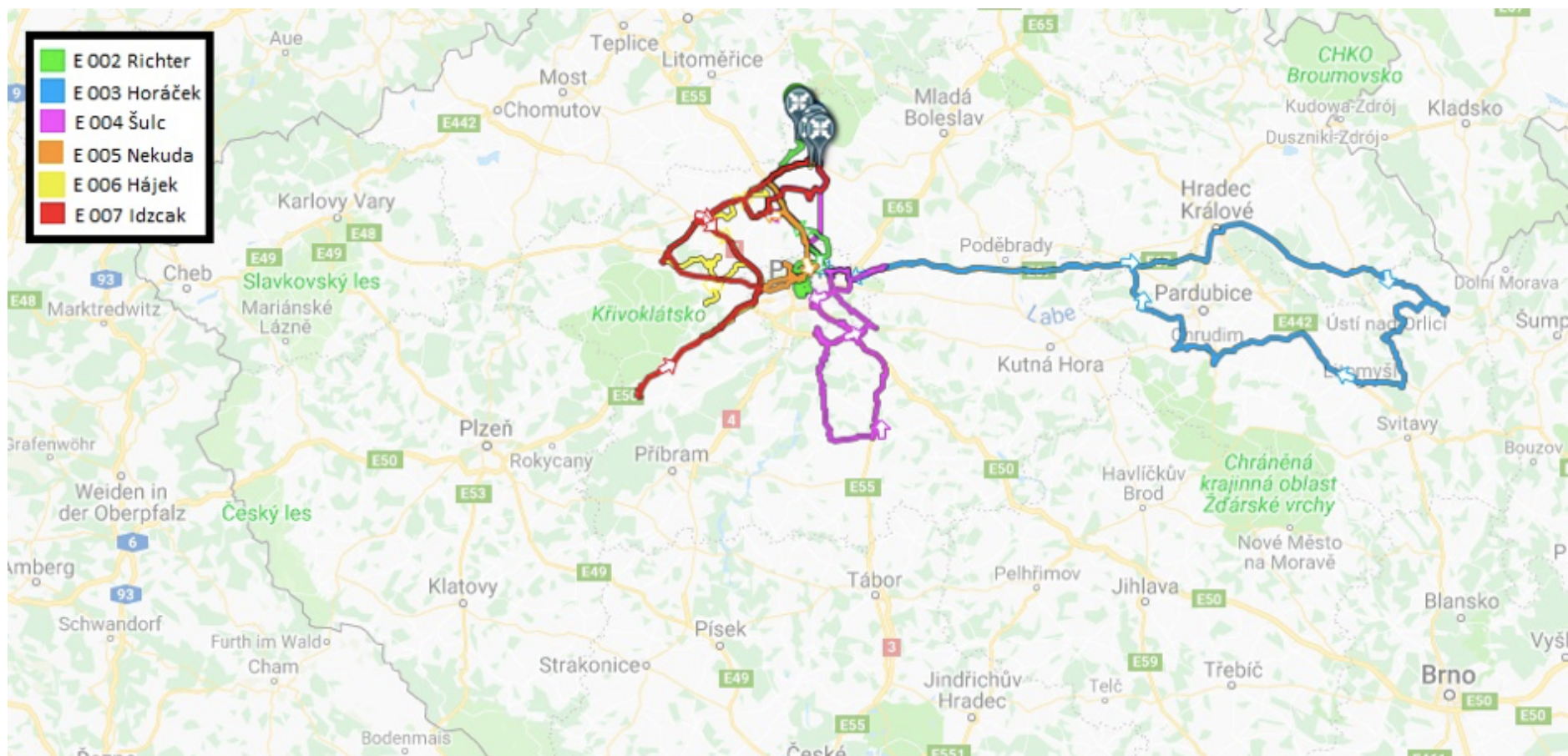
Obrázek 10 – Distribuční trasy úterý (Zdroj [4], úpravy autor)



Obrázek 11 – Distribuční trasy středa (Zdroj [4], úpravy autor)



Obrázek 12 – Distribuční trasy čtvrtek (Zdroj [4], úpravy autor)



Obrázek 13 – Distribuční trasy pátek (Zdroj [4], úpravy autor)

Jako ukázkou pro jeden pracovní týden jsem zpracovala níže uvedené tabulky 2-6. Výsledky se mohou nepatrně lišit v závislosti na frekvenci rozvozu v závislosti na požadavcích zákazníků. V tabulkách je uveden průměrný počet ujetých kilometrů včetně „neproduktivních km“, počet obslužených zákazníků a pracovní doba. Také, pro lepší přehlednost, jsou v tabulkách 2-6 zaznamenány časy nabládky a vykládky. Zmíněné tabulky jsou výsledkem pro období od 11.06.2018 do 15.06.2018.

Tabulka 2 – Distribuční trasy pro pondělí (Zdroj [4])

Název trasy	Řidič	Průměrná délka trasy [km]	Průměrná doba jízdy [hh:mm]	Průměrná doba nabládky/vykládky [hh:mm]	Počet zákazníků
A 002	Horáček	558	6:12	0:12	5
A 003	Kovař	224	5:08	0:15	6
A 004	Richter	274	5:13	0:17	62
A 007	Hájek	523	6:54	0:15	53
A 008	Idzcak	565	7:29	0:14	41
A 009	Nekuda	322	4:20	0:15	51

Tabulka 3 – Distribuční trasy pro úterý (Zdroj [4])

Název trasy	Řidič	Průměrná délka trasy [km]	Průměrná doba jízdy [hh:mm]	Průměrná doba nabládky/vykládky [hh:mm]	Počet zákazníků
B 002	Richter	355	4:22	0:13	62
B 003	Horáček	560	5:08	0:15	43
B 004	Idzcak	537	5:13	0:13	23
B 005	Šulc	520	6:54	0:15	41

B 007	Nekuda	509	6:29	0:14	45
A 007	Hájek	317	4:56	0:15	16

Tabulka 4 – Distribuční trasy pro středu (Zdroj [4])

Název trasy	Řidič	Průměrná délka trasy [km]	Průměrná doba jízdy [hh:mm]	Průměrná doba nakládky/vykládky [hh:mm]	Počet zákazníků
C 001	Horáček	326	4:13	0:16	33
C 003	Richter	367	6:08	0:16	45
C 004	Idzcak	569	6:25	0:15	21
C 007	Hájek	558	7:58	0:13	41
B 005	Šulc	329	4:13	0:13	10
B 007	Nekuda	410	4:49	0:14	13

Tabulka 5 – Distribuční trasy pro čtvrtek (Zdroj [4])

Název trasy	Řidič	Průměrná délka trasy [km]	Průměrná doba jízdy [hh:mm]	Průměrná doba nakládky/vykládky [hh:mm]	Počet zákazníků
D 001	Šulc	583	7:33	0:17	15
D 002	Kovař	364	5:08	0:14	79
D 003	Idzcak	574	7:48	0:13	19
D 004	Richter	298	5:38	0:15	58
D 005	Hájek	590	7:55	0:12	30
D 007	Nekuda	310	4:48	0:14	48

D 008	Horáček	365	5:32	0:15	44
-------	---------	-----	------	------	----

Tabulka 6 – Distribuční trasy pro pátek (Zdroj [4])

Název trasy	Řidič	Průměrná délka trasy [km]	Průměrná doba jízdy [hh:mm]	Průměrná doba nakládky/vykládky [hh:mm]	Počet zákazníků
E 002	Richter	315	4:47	0:13	64
E 003	Horáček	533	7:24	0:15	22
E 004	Šulc	298	5:57	0:14	42
E 005	Nekuda	212	4:12	0:15	52
E 006	Idzacak	308	4:05	0:15	42
E 007	Hájek	368	5:48	0:14	8

2.3 Shrnutí provedené analýzy

Každý řidič vyjede na příslušnou trasu přibližně v 5 hodin ráno s již naloženým zbožím, které je naplánováno pro distribuci pro příslušný den. Po obslužení všech klientů se řidič vrátí zpátky do prádelny, kde vyloží použitý textil určený k údržbě.

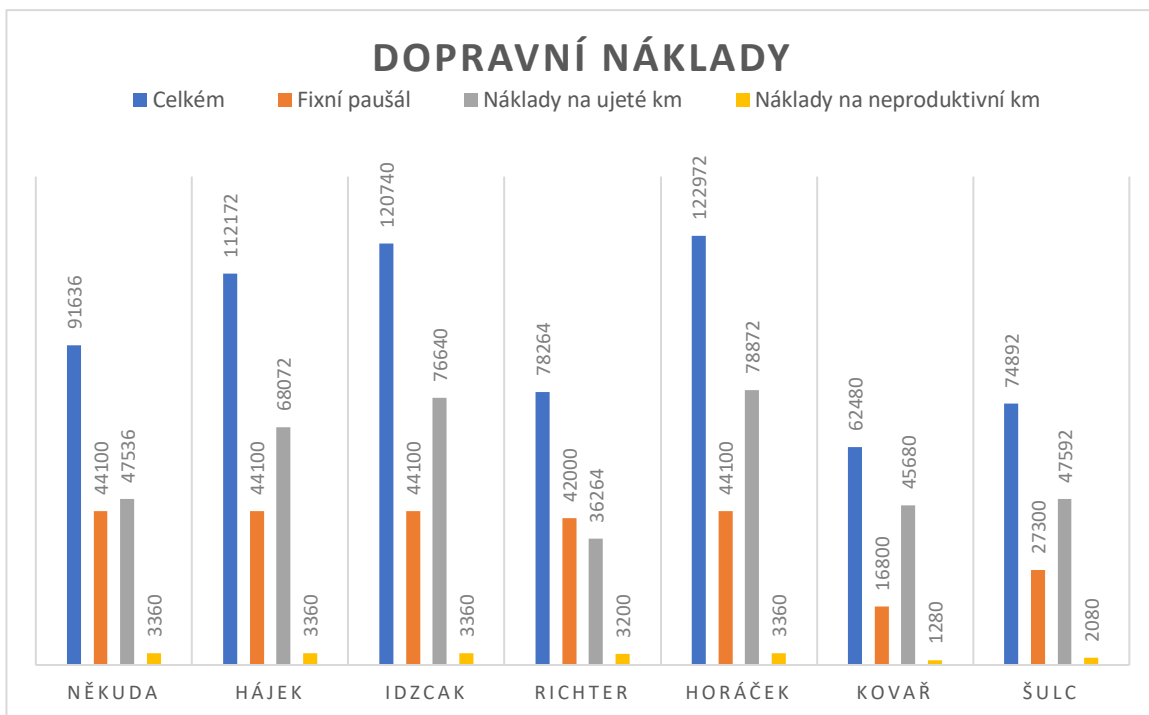
V průběhu pozorovaného měsíce bylo obsluženo přibližně 692 zákazníků. Klienti mají různé požadavky na frekvenci závozu zboží, nejčastěji se jedná o týdenní frekvenci.

Pro porovnání existujícího stavu distribuce s budoucím návrhem na zefektivnění tras je v tabulce 7 provedena analýza ujetých kilometrů za celý měsíc červen, včetně „neproduktivních km“, které řidiči každý den najedou navíc cestou domů.

Tabulka 7 – Ujeté kilometry červen 2018 (Zdroj [4], úpravy autor)

Řidič	Ujetá vzdálenost [km]	Průměrná vzdálenost „neproduktivních km“ [km]	Odpracováno [hh:mm]	Odpracováno dnů
Někuda	5942	420	114:29	21
Hájek	8509	420	127:58	21
Idzcak	9580	420	157:45	21
Richter	4533	400	114:24	20
Horáček	9859	420	135:33	21
Kovař	5710	140	120:20	8
Šulc	5949	260	87:29	13

V pozorovaném měsíci bylo celkem 21 pracovních dní, z nichž čtyřikrát řidiči vyplnili pondělní, úterní a středeční trasu, a pětkrát páteční. Obrázek 14 ilustruje celkové měsíční dopravní náklady, které zahrnují fixní paušál na řidiče 2 100 Kč/den, náklady za ujeté kilometry ve výši 8 Kč/km a náklady na „neproduktivní km“. Celkové měsíční náklady činí přibližně 663 156 Kč. Je nutno podotknout, že náklady na „neproduktivní km“ celkem činí přibližně 19 840 Kč měsíčně.



Obrázek 14 – Celkové měsíční dopravní náklady (Zdroj [1], úpravy autor)

3. Teoretická východiska – volba vhodné metody

Vzhledem k cíli mé práce je v rámci teoretické části potřeba uvést problém, kterým se budu zabývat v praktické části. Jedná se o rozvoz zboží zákazníkům při dodržení omezujících podmínek.

V následujících podkapitolách uvádím popis úlohy obchodního cestujícího (TSP) a úlohy okružných jízd (VRP). Následně pro stanovení správného typu rozvozní úlohy VRP uvádím podrobný rozpis možných variant VRP.

Následně uvádím známé způsoby řešení popsaných úloh.

3.1 Úloha obchodního cestujícího

Úloha obchodního cestujícího neboli anglicky řečeno Travelling Salesman Problem (TSP), je jeden z nejznámějších a nejjednodušších druhů dopravních úloh. Dopravní síť je reprezentovaná pomocí grafu $G = (V, H)$, kde V je množina uzlů reprezentující umístění zákazníků, a množina H zahrnuje hrany, které představují vzdálenosti mezi zákazníky.

Cílem je navštívit všechny uzly pouze jednou, a to pomocí jednoho vozidla (cestujícího). Obecně je metodu TSP složité implementovat pro účely řešení problémů, které se vyskytují v reálných situacích, a to z důvodu vzniku doplňujících požadavků obsluhy, které vše nejčastěji vyskytují.

Například:

- společnost provozující dopravu má více než jedno vozidlo pro obsluhu zákazníků,
- společnost provozující dopravu může mít k dispozici vozový park, který se skládá z vozidel s různou kapacitou, teda se jedná o heterogenní vozidlový park,
- zákazník požaduje obsluhu v pevně daném intervalu. Tedy se jedná o časová okna,
- zákazníci jsou obsluhováni z více než jednoho depa. Tedy se jedná o multidepovou úlohu,
- zákazník požaduje dodání a zároveň vyzvednutí produktů nebo materiálů, například vracení palet, na kterých se zboží bylo zákazníkovi dodáno. Jedná se o úlohu se sběrem a doručením,
- úloha může být deterministická, což znamená, že všechny údaje jsou předem známé. V opačném případě se jedná o úlohu stochastickou. Příkladem stochastické úlohy je příchod požadavku v režimu online.

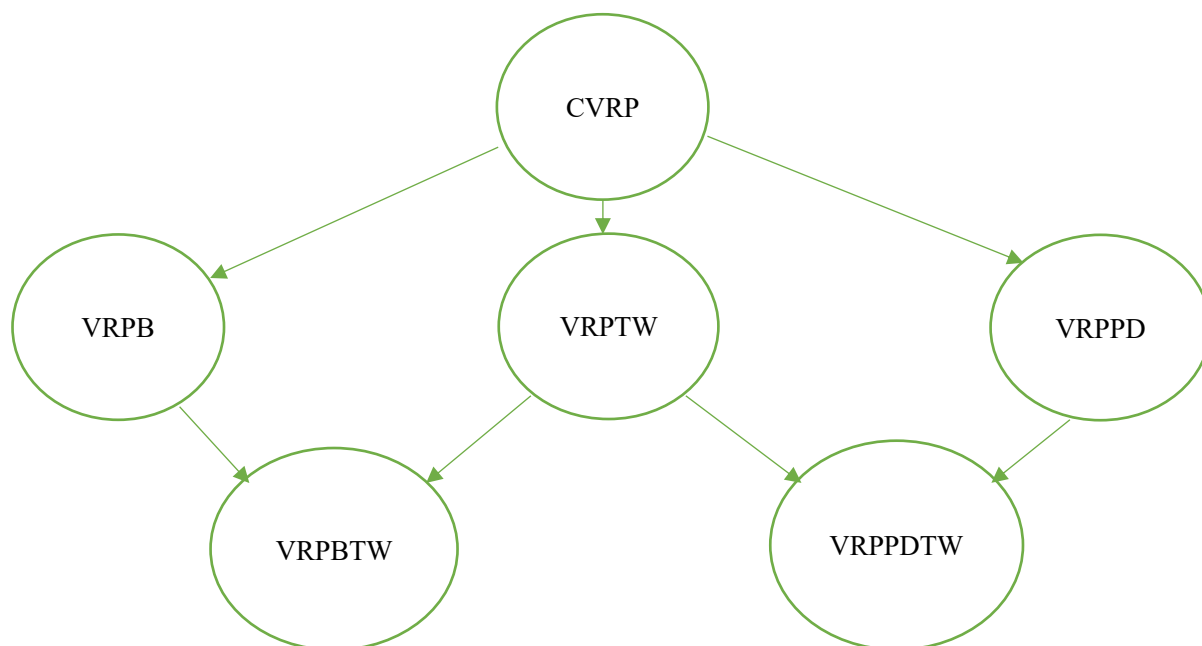
Úlohu TSP je možné rozšířit tak, aby mohla být používána v reálném životě, jedná se o úlohu okružných jízd neboli Vehicle Routing Problem, jehož řešení je úkolem mé diplomové práce.

3.2 Úloha okružných jízd

Vehicle routing problem neboli úloha okružných jízd nebo vícenásobný problém obchodního cestujícího m-TSP je velmi známý problém v operačním výzkumu. Na rozdíl od úlohy obchodního cestujícího mají vrcholy, které představují zákazníky, hodnotu ukazující na množství zboží, které má být dodáno z jiného vrcholu, který představuje depo [5]. Úlohu VRP lze popsat následujícím způsobem:

Je daná dopravní síť s jediným střediskem obsluhy, ve kterém je umístěno p dopravních prostředků, pro které je potřeba nalézt p okružných jízd. A to za podmínky, že dopravní prostředky začínají a končí své jízdy ve středisku obsluhy a procházejí právě jednou každým uzlem sítě, který střediskem není a to tak, aby součet ohodnocení hran byl minimální [6].

V této části uvádím vymezení základních typů VRP. Na obrázku 13 je grafické znázornění rozšíření nejjednodušší varianty VRP, a to kapacitní VRP, nebo CVRP. Většina informací je čerpána ze zdroje [7].



Obrázek 13 - Základní třídy VRP a jejich propojení (Zdroj [7])

CVRP je nejjednodušším rozšířením problému VRP. CVRP lze popsat následujícím způsobem: necht' $G = (V, H)$ je kompletní graf, kde V je množina vrcholů a H je množina hran.

Vrcholy reprezentují zákazníky, při tom že vrchol V_0 odpovídá depu. S každou hranou je spojená cena c_{ij} , která bude zaplacená za cestu od vrcholu i do vrcholu j . Tedy se může jednat o kilometrovou neboli časovou cenu.

Každý zákazník $i (i = 1, \dots, n)$ je spojen se známou nezápornou poptávkou q_i která má být doručena, přičemž depo má fiktivní poptávku, která je reprezentovaná jako q_0 a rovná se 0. Množina poptávek zákazníků se označuje pomocí písmena Q .

V depu je k dispozici množina identických vozidel K s kapacitou C . Tedy je důležité, aby poptávka jednotlivých zákazníků nepřekročila kapacitu vozidla. Daná podmínka se zobrazuje pomocí následujícího tvaru: $q_i \leq C$.

Cílem CVRP je sestavení množiny tras pro K vozidel, a to s minimálními náklady, při dodržení následujících podmínek:

- Vozidla se začínají a končí svou obsluhu ve vrcholu V_0 , který reprezentuje depo.
- Zákazník má být obsloužen pouze jednou.
- Suma poptávek q_i pro příslušnou trasu nesmí překročit kapacitu vozidla C .

Pokud zákazníci mají požadavek na obsluhu v pevně daném časovém intervalu, jedná se o VRP úlohu s časovými okny, anglicky Vehicle Routing Problem with Time Windows (**VRPTW**). Pokud vozidlo se zastaví u zákazníka dříve než ve stanoveném časovém okně, tak na provedení obsluhy bude muset čekat. Časová okna se dělí na tvrdá (hard) a měkká (soft). První typ okna je nutně bezpodmínečně dodržovat. Například, když kamion přijede na nakládku do továrny Škoda, v přesně zadané časové okno, bude mu přiděleno určité číslo. Pokud kamion časové okno nevyužije, tak bude čekat, pokud se neobjeví nové. Měkká okna se dá vynechat, ale bude potřeba zaplatit sankci. Například, pokud jídlo bude převezeno později, než se píše v objednávce, zákazník dostane objednávku zdarma.

Standardní VRPTW úloha je pro homogenní vozidlový park. Cílem je najít takovou množinu cest, aby výsledné náklady byly minimální, a to při dodržení následujících podmínek:

- Vozidla začínají a končí svou obsluhu ve vrcholu V_0 , který reprezentuje depo,
- Zákazník má být obsloužen právě jednou,
- Suma poptávek q_i pro příslušnou trasu nemůže překročit kapacitu vozidla C ,
- Každý zákazník má být obsloužen v určitém časovém období $[a_i, b_i]$.

Dalším rozšířením úlohy CVRP je úloha okružných jízd se zpětným svozem neboli VRP with Backhauls (**VRPB**). Zde je množina všech zákazníků rozdělena do dvou podmnožin L a B .

První podmnožina L zahrnuje zákazníky, kteří vyžadují dodání produktu, na druhou stranu je druhá podmnožina zákazníků B , kteří vyžadují svoz produktu. Kvůli tomu, že nejdříve má být uskutečněn rozvoz a teprve potom svoz, jsou zákazníci počítáni takto $L = [1, \dots, n]$, $B = [n + 1, \dots, n + m]$. Tato úloha spadá, jako ostatní VRP, pod NP-obtížnou úlohou.

Případ VRPB, ve kterém jsou přítomna i časová okna se nazývá VRP s Backhauls a Time Windows (**VRPBTW**).

Následujícím rozšířením je úloha se sběrem a doručením neboli anglicky řečeno VRP with Pick up and Delivery (**VRPPD**). Pokud zákazník i vyžaduje sběr, je mu přiřazen vrchol sběru P_i , opačně vrchol doručení D_i . Následně je každému vrcholu přiřazena poptávka na sběr zboží p_i , a poptávka na dodání d_i , proto při plánování kapacity, která bude použita zákazníkem, je potřeba zahrnout oba druhy poptávek.

Zmíněná úloha je charakterizovaná následujícími podmínkami:

- Vozidla začínají a končí svou obsluhu ve vrcholu V_0 , který reprezentuje depo,
- Zákazník má být obslužen pouze jednou,
- Aktuální náklad nesmí překročit kapacitu vozidla C ,
- Poptávka doručení d_i má být uspokojena před poptávkou sběru p_i ,
- Vrchol doručení D_i má být obslužen před vrcholem sběru P_i ,

Případ VRPPD, ve kterém jsou přítomna časová okna, v literatuře se nazývá se VRP se sběrem, doručením a časovými okny (**VRPPDTW**) [7].

Popsané typy VRP jsou zaměřené na homogenní vozidlový park, proto je nutné uvést rozšíření VRP problému pro heterogenní flotilu, který v literatuře nosí název VRP se smíšenými vozidly neboli anglicky Mixed fleet VRP nebo VRP s heterogenními vozidly (**MFVRP**). V současnosti je možné ve společnostech vidět použití heterogenního vozidlového parku. Kromě toho společnost Salisainer, jak už bylo popsáno v analytické části diplomové práce, také používá různá vozidla pro přepravu textilu k zákazníkům.

MFVRP, jako klasická VRP úloha předpokládá dodržení podmínek, týkající se obsluhy zákazníků a to tak, že každý zákazník má být obslužen jednou, a to příslušným vozidlem. Vozidla mají vyjždět z depa. Formulace modelu MFVRP může být popsána takovýmto způsobem:

Předpokládáme, že máme kompletní graf $G = (V, H)$, pro který $V = 0, 1, 2 \dots n$ je množina $n + 1$ vrcholů, H reprezentuje množinu hran. Jako v předchozích variantách VRP úlohy, vrchol V_0

reprezentuje depo, zbývající vrcholy tvoří množinu $V' = V - 0$, která zahrnuje zákazníky n . Pro každého zákazníka je předem známá poptávka na zboží q_i , pro $i \in V'$, a tím pádem, poptávka pro vrchol V_0 , je $q_0 = 0$.

Heterogenní flotila je umístěná v depu za účelem uspokojení potřeb zákazníků. Vozidlový park se skládá z k typů různých vozidel, a tvoří množinu $K = 1, \dots, k$. Pro každý typ vozidla je známá jeho kapacita Q_k , a je daná veličina m_k , která uvádí dostupnost daného auta.

Každé hraně $(i, j) \in H$, a vozidlu $k \in K$, odpovídá nezáporná veličina c_{ij}^k reprezentující náklady na ujetou vzdálenost.

Hlavní myšlenkou úlohy MFVRP je vytvoření množiny přípustných cest při minimalizaci celkové ujeté vzdálenosti, a to při dodržení podmínek:

- Každý zákazník má být obslužen jednou,
- Počet cest, které jsou obslužené vozidlem $k \in K$, nepřekročuje veličinu m_k , která reprezentuje dispozici vozidel [8].

3.3 Způsoby řešení rozvozních úloh

V dnešní době existuje celá řada metod, pomocí kterých se dají řešit různé VRP úlohy, jež byly popsány v předchozí kapitole. Tyto metody lze rozdělit na tři kategorie: exaktní, heuristické neboli aproximační a metaheuristické.

Exaktní metody jsou známé jako přesné metody řešení VRP úloh. Do této kategorie se zahrnují metody matematického programování. Přestože exaktní metody zaručují nalezení optimálního řešení, používají se pro řešení optimalizačních problémů, které zahrnují jen úzký okruh zákazníků. Důvodem je časová náročnost řešení úloh, která roste s počtem zákazníků.

Heuristické algoritmy jsou algoritmy, které nezaručují nalezení optimálního řešení, ale přípustného či suboptimálního. Heuristické metody poskytují řešení v reálním čase a jsou založené na zkušenostech, dřívějším odhadu nebo logice [9]. Heuristiky se dělí na primární a duální:

- Výchozí bod primárních heuristik je v přípustném řešení. Algoritmus umožní přechod do jiného řešení pouze v případě, že nové řešení je přípustné a jeho hodnota lokálního kritéria je menší než hodnota řešení předchozího. Výsledné řešení je postupně zlepšováno, a to při dodržení podmínek přípustnosti.

- Duální heuristika naopak začíná z nepřipustného řešení a přechází do řešení s menší mírou nepřipustnosti, a to, aby se lokální kritérium zvýšilo co nejméně [6].

Heuristické metody se dají rozdělit na dva typy. Do prvního typu spadají heuristické metody, které řešení vytvářejí, do druhého pak ty, které řešení zlepšují [5].

Jednou z nejznámějších heuristických metod vytvářejících řešení je metoda Clarke-Wright, která byla vyvinuta dvěma vědci G. Clark a J.V. Wright v roce 1963. Algoritmus řešení je následující:

Krok 1. Pro dopravní síť $G = (V, H)$, je potřeba sestavit distanční matici $D = d_{ij}$, kde $i, j = 0, 1, \dots, n$; $n = |V|$. Jednotlivé prvky d_{ij} , reprezentují vzdálenost mezi vrcholy. Dále jsou zadány následující hodnoty:

c – průměrná rychlost pohybu kompletu na síti;

t – doba, která je potřebná pro vykládku (případně nakládku) jednoho elementu z obsluhujícího kompletu;

T – maximální doba pohybu kompletu mimo výchozí uzel V_0 (depo);

K – kapacita kompletu. $K = q_i$ pro $i = 1, \dots, n$, kde q_i množství elementů (zboží), které se přepravuje z výchozího uzlu V_0 , reprezentující depo do uzlu V_i - zákazníkovi.

Krok 2. Nejdřív vytvoříme počáteční řešení pro všechny uzly $i = 1, \dots, n$, které reprezentuje soubor kyvadlových tras ($V_0 - V_i - V_0$) se zadaným množstvím přepravovaných elementů a dobami přeprav (viz. Tabulka č. 8).

Tabulka 8 – Soubor kyvadlových tras (Zdroj [10])

Trasa	Množství elementů	Doba přepravy
$V_0 - V_i - V_0$	q_i	$\frac{2d_{oi}}{c} + q_i t$
'''	'''	'''
$V_0 - V_n - V_0$	q_n	$\frac{2d_{on}}{c} + q_n t$

Krok 3. Z distanční matice D_{ij} , spočteme prvky matice úspor Z , a to pomocí vzorce (1).

$$z_{ij} = d_{oi} + d_{jo} - d_{ij} \quad (1)$$

Hodnota z_{ij} vyjadřuje rozdíl mezi součtem délek elementárních $V_0 - V_i - V_0$ a $V_0 - V_n - V_0$ a délkou sdružené trasy ($V_0 - V_i - V_n - V_0$).

Krok 4. V nově vytvořené matici Z najdeme největší kladný prvek z_{ij} , a sdružíme elementární trasy $V_o - V_i - V_o$ a $V_o - V_j - V_o$. Pokud takový prvek není, tak algoritmus skončí, v opačném případě pokračujeme krokem 5.

Krok 5 spočívá v kontrole, zda sdružením uzlů V_i a V_j vznikne přípustná trasa, pokud ano pokračujeme na krok 6, v opačném případě stanovíme $z_{ij} = 0$ a vrátíme se na krok 4.

Krok 6. Aktualizujeme množinu uzlů V . Pokud uzly i a j přestaly být po sdružení tras krajními, tak z aktualizované množiny tyto uzly vyjmeme. Dál je nutné aktualizovat množinu tras, a to vyndáním kyvadlových tras a přidáním nově vytvořených. Tyto kroky jsou prováděny za současné aktualizace elementů, jako jsou například: doba přepravy, množství elementů, délka trasy. Pokud kroky 4 a 5 nejsou možné, tak najdeme stejně velký nebo nejbližší menší prvek z_{st} , který spojuje uzly V_s a V_t , a poté tyto trasy sdružíme. Dál položíme $z_{st} = 0$. Pokud je matice Z vyčerpána, tak postup se opakuje, v opačném případě algoritmus tímto krokem končí [10].

Heuristický algoritmus Clark – Wreight je vhodné použít pro statické úlohy, u kterých jsou zákazníci a jejich požadavky předem známy a vozový park je homogenní. Pro dynamické úlohy, u nichž jsou požadavky známy až po odjezdu vozidel z depa, se nejčastěji používají heuristiky vkládací.

Jak už bylo uvedeno v předchozím odstavci, kromě heuristik vytvářejících řešení, existují i heuristiky zlepšovací. Příkladem heuristického algoritmu, který zlepšuje už nalezené řešení je metoda výměn Lina a Kernigena. Jedná se o heuristickou metodu, která dosahuje zlepšení již nalezeného řešení takovým způsobem, že vynechá dvě hrany, které jsou následně nahrazeny dvěma jinými. Jde o 2-2 výměny, ale může se vynechávat i více hran, například tří [5].

Nevýhodou heuristických metod je nemožnost ověření, zda nalezené řešení je blízké k optimálnímu. Vhodnost použití heuristické metody je schopen posoudit jedině koncový uživatel, který implementuje navržené řešení na reálnou situaci. Pokud uživatel bude spokojen s navrženým řešením, tak je možné považovat výsledek za efektivní řešení.

Metaheuristiky

Ve srovnání s klasickými heuristikami se u metaheuristiky provádí mnohým důkladnější prohledávání prostoru množiny řešení. Metaheuristiky mohou opustit lokální minimum a pohybovat se v oblasti všech přípustných a nepřípustných řešení. Metaheuristiky umožňují vracení do předchozích kroků iterací, ve kterých by se mohlo nacházet lepší řešení, než bychom měli bez této možnosti [6]. V posledních letech se metaheuristické metody používají čím dál tím častěji. Důvodem je nárůst výpočetního výkonu počítačů.

Ačkoliv metaheuristické algoritmy umožňují ve srovnání s heuristickými prohledání většího prostoru možných řešení, tak stejně jako heuristiky nezaručuje nalezení optimálního řešení.

3.4 Volba vhodné metody

Společnost, z jejíchž dat vycházím v této diplomové práci, zajišťuje distribuci textilního zboží pro velký počet zákazníků. Z důvodu rozdílných frekvencí rozvozu textilu jsem rozdělila distribuci do čtyř týdnů a pro každý z nich jsem zpracovala zvláštní řešení. Pro řešení tohoto problému použití exaktních metod, a jako výsledek nálezení optimálního řešení, je časově velice náročné.

Přesto, že heuristické metody nezaručují nalezení optimálního řešení, budu při tak vysokém počtu zákazníků, kterým společnost dané služby nabízí, spokojená s kvalitním výsledkem, který je možné vypočítat v polynomiálním čase.

Implementace klasických heuristik pro řešení VRP úloh s heterogenním vozidlovým parkem je velice složitá. Proto jsem k řešení mnou zkoumané rozvozní úlohy navrhla heuristikou metodu, která využívá tzv. sekvenční přístup. Hlavním smyslem tohoto přístupu je uspořádání heterogenních vozidel do posloupnosti, a to zpravidla sestupně tak, že trasy se budou vytvářet postupně zvlášť pro každé vozidlo. Výsledek tohoto algoritmu je přehled trasy pro každé vozidlo. Podrobnější popis použité heuristiky je uveden v kapitole 5. Jako i klasické heuristiky, navržená metoda nezaručuje nalezení optimálního řešení, ale pouze suboptimálního, a je dostačující pro ověření efektivnosti stávajícího stavu distribuce společnosti.

4. Formulace problému pro potřeby zvolené metody

Po provedení analýzy společnosti může být definován problém, který bude rozebírán v praktické části diplomové práce. Jedná se o rozvozní úlohu s kapacitním omezením CVRP s heterogenními vozidly, která zahrnuje následující kritéria:

- společnost poskytuje klientům rozvoz různých druhů zboží: oděv, rohože, utěrky a prádlo,
- každý zákazník má být obslužen pouze jednou v jednom pracovním týdnu. Důvodem je nastavení maximální frekvence, která je jednou týdně,
- poptávka zákazníků je omezena nosností a kapacitou vozidla,
- společnost disponuje heterogenním vozidlovým parkem, který obsahuje 7 vozidel denně, a tedy 35 vozidel týdně. Z toho 25 vozidel typu Iveco Daily, 5 vozidel typu Mercedes-Benz Sprinter a 5 vozidel Fiat Ducato,
- zákazníci mají být obsluženi v průběhu otevírací doby, která je 8,5 hodiny – konkrétně 5:30 - 14:00¹. Zákazník nemá vyhrazený čas pro tyto nakládky/vykládky, a proto není nutné řešit úlohu s časovými okny,
- přípustná doba mimo depo je daná pracovní dobou řidičů při dodržení bezpečnostních přestávek v souladu s nařízením vlády č. 168/2002 Sb.,
- průměrný čas vykládky je dle zkušenosti společnosti Salesainer 15 minut,
- jedná se o statickou úlohu, ve které jsou zákazníci a jejich požadavky předem známy.

Úkolem je navrhnout nové efektivní trasy, které jsou aktuálně obsluhované řidiči, a to bez ohledu na stávající atrakční obvody a s minimalizací ujetých kilometrů.

4.1 Návrh obsluhy zákazníků v průběhu měsíce

Programem, který eviduje jednotlivé obsluhy zákazníků, jsou zákazníkům přiřazována různá identifikační čísla na základě různě poptávaného druhu textilu. Ve výsledku bude tedy systémem ukazován větší počet zákazníků než ve skutečnosti existuje. Při řešení úlohy je použita distanční a časová distanční matice a pro odstranění zbytečných nul při zpracování matic je u každé adresy přidáno pouze jedno identifikační číslo (ID). Pokud má stejná adresa přiřazeno více ID, preferovala jsem takové ID, u kterého je frekvence týdenní.

¹ Informace je poskytnuta společností Salesainer.

Jak už bylo zmíněno, zákazníci mají různou požadovanou frekvenci rozvozů nabízených produktů, což ve výsledku dle počtu ID činí různý počet zákazníků týdně. Distribuce bude rozdělena na čtyři týdny. Dále pomocí doplňku Bing Maps a CDXStream, který je možné nainstalovat v programu Microsoft Excel, byly zpracovány distanční a časové distanční matice pro každý pracovní týden. Výsledkem toho je, že v prvním týdnu je 243 zákazníků, v druhém týdnu 289 zákazníků, ve třetím týdnu je 284 zákazníků a ve čtvrtém týdnu 290 zákazníků². Matice jsou přepracované do symetrické podoby. Z toho plyne jednoduchost pro spočítání matice úspor, která bude použita pro řešení zkoumané rozvozní úlohy.

Návrh efektivních rozvozových tras bude zpracován zvlášť pro každý pracovní týden. Výsledky v km budou následně přepočítané pro jeden měsíc a porovnané s aktuálními kilometry, které jsou znázorněné v tabulce 7.

Zákazníci budou obsluhováni v průběhu pracovní doby řidičů.

Při řešení úlohy je doba, kterou řidiči mohou strávit mimo depo, omezující podmínkou, proto stanovení této maximální doby je zásadní pro řešení zkoumaného problému.

Pracovní doba řidičů má být v souladu s nařízením vlády č. 168/2002 Sb., kterým jsou stanovena pravidla organizace práce pro vozidla o hmotnosti do 3,5 tuny. Tyto předpisy stanoví pracovní dobu a bezpečnostní přestávky, které mají být dodržované řidiči, a to jsou:

- nepřerušená doba řízení nesmí překročit 4,5 hodin,
- po uplynutí maximální doby řízení řidič má za povinnost udělat bezpečnostní přestávku v trvání 30 minut, která může být rozdělena do dvou částí v rvaní 15 minut minimálně,
- během bezpečnostní přestávky, řidič nesmí vykonávat žádnou jinou práci. Pod pojmem jiná práce se rozumí například nakládka nebo vykládka vozidla,
- denní doba řízení nesmí překročit 9, popř. 10 hodin (2 x týdně) [11].

Doba obsluhy zákazníků činí celkem 8,5 hodin, což je kratší než povolená doba řízení řidičů, tedy 9 hodin neboli 540 minut. Řidiči ještě potřebují čas na jízdu z depa a zpátky, proto 540 minut budu považovat za omezující čas jízdy.

² Frekvence závozu textilu byla zpracována na základě poskytnutých interních materiálů společnosti Salesainer.

4.2 Návrh rozmístění produktů v jednotlivých typech vozidel

Již v analytické části diplomové práce bylo uvedeno, že pro dodání produktu zákazníkům má společnost k dispozici sedm vozidel denně. Jedná se o tři různé typy vozidel s různou nosností a různým ložným prostorem pro umístění zboží.

Pro splnění kapacitní podmínky je nejdříve nutné stanovit hmotnostní anebo objemové kritérium, které bude, při řešení dané úlohy, použito pro kontrolu maximální využitelné kapacity v každém z daných typů vozidel.

Produkty, které jsou brány v úvahu v mé diplomové práci, jsou rozdělené do tří následujících skupin: oděv, utěrky a rohože.

Skupina „oděv“ zahrnuje všechny typy oděvů a prádla. Důvodem toho, proč jsem přidala zmíněné zboží do jedné skupiny, je přepravní jednotka, ve které se zmíněné produkty přepravuje. V tomto případě se jedná o klec. „Oděv“ zákazník dostane vždy v pytlích, do kterých společnost, pro lepší evidenci tento druh produktu zabalí zvlášť pro každého zákazníka. Každému pytli bude přidaná evidenční nálepka, odpovídající ID zákazníka. Klece mají otevřenou konstrukci, což usnadňuje manipulaci s pytlíkem na vykládce. Hmotnost pytlíku je zanedbatelná, proto nebude při výpočtech brána v úvahu. Společnost Salesainer poskytla informaci, že kapacita klece je průměrně 120 kusů zboží, což činí hmotnost 100 kg včetně klece. Samotná hmotnost klece je 25 kg, a tedy zůstává 75 kg samotného zboží. Je pochopitelné, že hmotnost jedné bundy je větší než hmotnost jednoho trička, proto nebude počítáno s konkrétními kusy. Na základě toho, pro ověření maximálně možného umístění „oděvu“ do klece, bude prováděna kontrola a výpočty podle hmotnosti, a to 75 kg pro jednu klec. Hmotnostní hodnota oděvu je následně převedena na procentuální hodnoty, které vyjadřují, kolik procent zabere požadovaný oděv v kleci.

Utěrky jsou přepravované v barelech, nikoliv volně ložené či v klecích. To znamená, že zákazník vždy dostane jeden barel či více, pokud počet požadovaných utěrek překročí 700 kusů, jakožto kapacitu jednoho barelu. V případě úplného naplnění barelu bude jeho hmotnost činit 70 kg.

Rohože jsou přepravované volně ve vozidle a jsou stohovatelné. Pro výpočet možného počtu rohoží (viz. tabulka č. 9), které mohou být přepravovány v jednom z používaných vozidel je ověřena maximální hmotnost a objem jedné rohože. Objem jedné rohože je $0,45 \text{ m}^3$ a hmotnost jednoho kusu činí 2,5 kg.

Klece mají rozměry 80x100x150 cm a nejsou stohovatelné, proto bylo pro umístění klece do vozidla spočítáno, kolik klecí se maximálně vejde do určitého typu vozidla. Následně se ověřuje, zda hmotnost maximálního počtu plně naložených klecí nepřekročí maximální nosnost vozidla. Dále jsou provedeny stejné kroky pro umístění barelů. Rozměry jednoho barelu jsou 60x60x80 cm. Je důležité zmínit, že barely také nejsou stohovatelné. Výsledky provedených výpočtů jsou znázorněny v tabulce 9.

Tabulka 9 – Maximální možný počet přepravních jednotek a kusů dle druhu nákladu ve vozidlech
(Zdroj [autor])

Značka	Mercedes-Benz	Iveco	Fiat
Třída	Sprinter	Daily	Ducato
Počet klecí [kus]	8	12	8
Hmotnost klecí [kg]	800	1 200	800
Počet barelů [kus]	14	30	12
Hmotnost barelů [kg]	980	2 100	840
Počet rohoží [kus]	31	58	29
Hmotnost rohoží [kg]	77,5	145	72,5

Podle výsledků znázorněných v tabulce 9, je možné říct, že nosnost vozidel, která je znázorněna v tabulce 1, je pro přepravu maximálně zatížených přepravních jednotek dostačující, a hmotnost přepravovaného zboží tím pádem omezující není. Proto v úloze bude počítáno s objemovým zatížením. Na základě toho je spočítáno kolik v procentech zabere jedna klec, jeden barel a jedna rohož pro určitý typ vozidla. Výsledky jsou v tabulce 10.

Tabulka 10 – Procentuální zatížení přepravních jednotek ve vozidlech (Zdroj [autor])

Značka	Mercedes-Benz	Iveco	Fiat
Třída	Sprinter	Daily	Ducato
Jedna klec [%]	12,5	8,5	12,5
Jeden barel [%]	7,5	3,5	8,5

Jedna rohož [%]	3,5	2	3,5
-----------------	-----	---	-----

„Oděv“ se bude nakládat do klece, která následně zabere určitou kapacitu podle druhu vozidla, do kterého bude klec naložena.

Poptávka položky „utěrky“ je převedena do tvaru poptávky na barely, která bude vyjádřena pomocí celých nezáporných čísel. Určitý počet barelů, zabere určitou část kapacity určitého vozidla.

Poptávka na „rohože“ bude také v kusech. Podle tabulky 9 je vidět jakou část kapacity zabere jedna rohož ve vozidlech.

Nosnost všech vozidel bude mít stejnou hodnotu vyjádřenou číslem 70. Toto číslo vyjadřuje maximální procentuální zatížení vozidla, se kterým budu pracovat při řešení úlohy. Taková procentuální hodnota je považována za optimální na základě toho, že maximální možný počet klecí, které zabírají nejvíce kapacity, průměrně zabere 70 % v jednotlivých typech vozidel, proto procentuální hodnota 70 bude považovaná za maximální možnou využitelnou kapacitu.

Kromě toho se při vytížení vozidel na 70 % dá snadno manipulovat s přepravními jednotkami. Klec má kolečka, což dává možnost rychle provést nakládku a vykládku. Barel má ucha, díky kterým je možné s barelem snadno manipulovat. Společnost nabízí služby urgentní doobjednávky, proto zbývajících 30 procent nechávám jako rezervu pro tyto případy.

5. Návrh řešení vybranými metodami

Pro řešení popsaného problému je v této kapitole uveden postup heuristické metody, pomocí které se dá ověřit, zda je současný stav distribuce efektivní. Pro toto ověření bude použita heuristická metoda, která navrhne nové trasy zvláště pro každé vozidlo, při dodržení omezujících podmínek (kapacitní a časové omezení). Pro návrh efektivních tras je v metodě použita matice úspor, která se používá ve známé heuristické metodě Clarke-Wright, a ta je popsána v kapitole 3.

Zákazníci jsou zařazeni do trasy výběrem maximální hodnoty prvku z_{ij} z matice úspor Z_{ij} , který reprezentuje výhodnost spojení uzlu i s uzlem j . Celá kontrola přípustného spojení uzlů je provedená pomocí zavedení ukazatele $S_{i/j}$, který se bude měnit v průběhu celého řešení. Tedy $S_{i/j}$ může nabývat následujících hodnot:

$S_{i/j} = 2$ – zákazník není přiřazen k trase (ještě není obslužen),

$S_{i/j} = 1$ – zákazník je na trase počátečním / konečným uzlem (v trase je situován za / před depem V_0),

$S_{i/j} = 0$ – zákazník je uprostřed trasy (vedle něho se nachází jiní zákazníci).

Na začátku vytvoření trasy pro vybrané vozidlo jsou k dispozici jenom ti zákazníci, kterým je přiřazen ukazatel $S_{i/j}$ v hodnotě 2. Pro tyto účely budou vytvořené dvě matice Z_{ij} : první bude základní, ve kterém hodnoty z_{ij} budou konstantní v průběhu celého řešení. Druhá matice Z_{ij} bude aktuální pro každé vozidlo. Hodnota z_{ij} v aktuálním seznamu se bude měnit podle stejného pravidla jako v algoritmu Clarke-Wright. Přípustnost spojení uzlů se bude kontrolovat podle následujícího pravidla:

- $S_i = 2; S_j = 2$
 - Pokud aktuální trasa má tvar $V_0 - V_0$, je řešení přípustné. V jiném případě řešení přípustné není.
- $S_i = 2; S_j = 1$ nebo $S_i = 1; S_j = 2$
 - Řešení je přípustné.
- $S_i = 2; S_j = 0$ nebo $S_i = 0; S_j = 2$
 - Řešení přípustné není.
- $S_i = 1; S_j = 1$
 - Řešení přípustné není.
- $S_i = 1; S_j = 0$ nebo $S_i = 0; S_j = 1$

- Řešení přípustné není.
- $S_i = 0; S_j = 0$
 - Řešení přípustné není.

Výsledkem jsou trasy pro každé vozidlo, pro které následně, pomocí distanční matice, vypočítám celkovou vzdálenost každé trasy.

Salesainer hradí společnosti Vako-Logistic stejnou sazbu pro použití různých typů vozidel, proto je pochopitelné nejdříve využít všechna vozidla typu Iveco Daily, následně Mercedes-Benz Sprinter, a nakonec typ Fiat Ducato. Do každého z těchto typů vozidel je možné naložit různý objem textilu, což znamená, že větším vozidlem může být obslužen větší počet zákazníků. Výsledkem může být snížení počtu vozidel, které je potřeba použít pro obsluhu, čímž se sníží náklady na dopravu.

5.1 Vstupní údaje pro řešení problému zvolenou metodou

1. Množina volných vozidel $R_R = \{R_i, R_m, R_d\}$
kde
 R_i – označení pro vozidlo Iveco Daily,
 R_m – označení pro vozidlo Mercedes-Benz Sprinter,
 R_d – označení pro vozidlo Fiat Ducato.
2. Nosnost Q_R , kde
 Q_i – označení nosnosti pro vozidlo Iveco Daily,
 Q_m – označení nosnosti pro vozidlo Mercedes-Benz Sprinter,
 Q_d – označení nosnosti pro vozidlo Fiat Ducato.
3. Čas mimo depo T_R , kde
 T_i – označení přípustného času mimo depo pro vozidlo Iveco Daily,
 T_m – označení přípustného času mimo depo pro vozidlo Mercedes-Benz Sprinter,
 T_d – označení přípustného času mimo depo pro vozidlo Fiat Ducato.
4. Čas vykládky t^v ,
5. Vytížení přepravními jednotkami a_R^k, a_R^b, a_R^r pro různé typy vozidel³, kde
 a_i^k – vytížení 1 kusem klece ve vozidle Iveco Daily, v hodnotě 8,5 %,
 a_i^b – vytížení 1 kusem barelu ve vozidle Iveco Daily, v hodnotě 3,5 %,
 a_i^r – vytížení 1 kusem rohože ve vozidle Iveco Daily, v hodnotě 2 %,
 a_m^k – vytížení 1 kusem klece ve vozidle Mercedes-Benz Sprinter, v hodnotě 12,5 %,

³ Hodnoty jsou vysvětlené v podkapitole 4.2.

- a_m^b – vytížení 1 kusem barelu ve vozidle Mercedes-Benz Sprinter, v hodnotě 7,5 %,
 a_m^r – vytížení 1 kusem rohože ve vozidle Mercedes-Benz Sprinter, v hodnotě 3,5 %,
 a_d^k – vytížení 1 kusem klece ve vozidle Fiat Ducato, v hodnotě 12,5 %,
 a_d^b – vytížení 1 kusem barelu ve vozidle Fiat Ducato, v hodnotě 8,5 %,
 a_d^r – vytížení 1 kusem rohože ve vozidle Fiat Ducato, v hodnotě 3,5 %.
6. Seznam poptávek zákazníků $B_{ij} = \{b_{i/j}^o, b_{i/j}^b, b_{i/j}^r\}$, kde
 - $b_{i/j}^o$ – poptávka zákazníka i/j na oděv, následně je naložena do klece a je spojena s hodnotou a_R^k (tato hodnota je různá pro každý typ vozidla),
 - $b_{i/j}^b$ – poptávka zákazníka i/j na barely, je spojena s hodnotou a_R^b (je různá pro každý typ vozidla),
 - $b_{i/j}^r$ – poptávka zákazníka i/j na rohože, je spojena s hodnotou a_R^r (je různá pro každý typ vozidla).
 7. Distanční matice D_{ij} , prezentovaná v km. Ukazuje vzdálenost mezi zákazníky i/j.
 8. Časová distanční matice T_{ij} , prezentovaná v minutách. Ukazuje dobu trvání jízdy mezi zákazníky i/j.
 9. Ukazatel spojení $S_{i/j}$ určí polohu zákazníka v trase, pokud:
 - $S_{i/j} = 2$ – zákazník k trase přiřazen není (ještě není obslužen),
 - $S_{i/j} = 1$ – zákazník je na trase počátečním / konečným uzlem (v trase je situován za / před depem V_o),
 - $S_{i/j} = 0$ – zákazník na trase je uprostřed trasy.

5.2 Postup řešení navržené heuristiky

1. Z distanční matice D_{ij} , je vytvořena matici úspor Z_{ij} , a to pomocí vzorce 1, poté postupujte krokem 2

$$z_{ij} = d_{oi} + d_{jo} - d_{ij} \quad (1)$$
2. Vytvořte základní seznam prvků⁴ z_{ij} , a následně je seřadte sestupně. Postupujte krokem 3
3. Přiřadte všem zákazníkům aktuální ukazatel $S_{i/j}$ ⁵, a postupujte krokem 4
4. Z množiny volných vozidel R_R vyberte vozidlo⁶, postupujte krokem 5
5. Vozidlo, které bylo vybráno v kroku 4, označte jako aktuální R_R^a a postupujte krokem 6

⁴ Tento seznam se nemění v průběhu celého řešení.

⁵ Na začátku řešení žádný zákazník k žádné trase přiřazen není, což znamená, že pro všechny zákazníky platí $S_{i/j} = 2$.

⁶ Nejdříve budou použita všechna vozidla typu R_i , jejichž kapacita je největší, následně R_m , a R_d .

6. Nastavte pro vybrané vozidlo hodnoty vytižení přepravními jednotkami a rohožemi a_R^k, a_R^b, a_R^r , poté postupujte krokem 7
7. Pro vybrané vozidlo nastavte aktuální hodnoty Q_R^a a T_R^a a postupujte krokem 8
8. Pro vybrané vozidlo nastavte aktuální trasu⁷ a postupujte krokem 9
9. Pro vybrané vozidlo nastavte aktuální seznam prvků⁸ z_{ij} a postupujte krokem 10
10. Proveďte kontrolu, zda existují zákazníci, kterým je přiřazeno $S_{i/j}$ v hodnotě 2. Pokud takoví zákazníci neexistují, řešení končí (zastavovací pravidlo heuristiky). V případě, že existují bude následovat krok 11
11. Z aktuálního seznamu prvků z_{ij} vyberte nejvyšší kladnou hodnotu. Tento prvek označte $\max z_{ij}$. Postupujte krokem 12
12. Přes ukazatel $S_{i/j}$, proveďte kontrolu možného spojení. Pokud $S_i = 2, S_j = 2$ – krok 13
pokud $S_i = 2, S_j = 1$ neboli $S_i = 1, S_j = 2$ – krok 15
pokud $S_i = 2, S_j = 0$ – krok 14,
pokud $S_i = 1, S_j = 1$ – krok 14,
pokud $S_i = 1, S_j = 0$ – krok 14,
pokud $S_i = 0, S_j = 0$ – krok 14,
13. Proveďte kontrolu, zda v aktuální trase již jsou zahrnuty nějaké uzly kromě V_0 , pokud ano – krok 14, pokud ne – krok 15,
14. V aktuálním seznamu prvků z_{ij} , nastavte $\max z_{ij} = 0$, a postupujte krokem 10,
15. Proveďte kontrolu kapacity podle vzorce 2.

$$Q_R^a - q_{i/j}^k - q_{i/j}^b - q_{i/j}^r \quad (2)$$

Tady se budou odečítat poptávky $q_{i/j}^k, q_{i/j}^b, q_{i/j}^r$ pouze těch zákazníků, jejichž hodnota $S_{i/j} = 2$.

- Pro výpočet hodnoty $q_{i/j}^k$, je potřeba provést kontrolu, zda $Q_R^a = 70\%$ (do vozidla ještě žádné zboží umístěno není).
- Pokud $Q_R^a = 70\%$, je potřeba převést poptávku na oděv $b_{i/j}^o$, na poptávku na klec, $b_{i/j}^k$ pomocí vzorce 3.

$$b_{i/j}^k = b_{i/j}^o + 1 \quad (3)$$

1 tady ukazuje nutnost použití na začátku aspoň jedné klece. Výsledek je hodnota v podobě desetinného čísla, kde celá část ukazuje na počet klecí, které je potřeba použít pro umístění požadovaného textilu. Následně, $b_i^k \in z$ bude

⁷ Na začátku řešení je každému vozidlu přiřazena trasa $V_0 - V_0$ (všechna vozidla začínají svou jízdu z depa V_0),

⁸ Je vytvořen ze základního seznamu prvků z_{ij} . Tento seznam se bude měnit v průběhu vytvoření trasy pro vybrané vozidlo.

vynásobená a_R^k (pro vybrané aktuální vozidlo), tím pádem vzorec 4 bude mít následující tvar:

$$q_{i/j}^k = b_{i/j}^k * a_R^k \quad (4)$$

Hodnotu $b_{i/j}^k$, je potřeba zapamatovat pro ověření počtu klece, které budou použité pro následující nakládku oděvu.

- Pokud, $Q_R^a \neq 70$, což znamená, že ve vozidle je již umístěna aspoň jedna klec (jelikož v každém požadavku všech zákazníků je vždy oděv = klec), je potřeba převést poptávku na oděv $b_{i/j}^o$, na poptávku na klec, $b_{i/j+1}^k$ pomocí vzorce 5.

$$b_{i/j+1}^k = b_{i/j}^o + b_{i/j}^k \quad (5)$$

Hodnota $b_{i/j+1}^k$ vyjadřuje poptávku na klec. Hodnota $b_{i/j}^k$ ukazuje, jaká část klece je již použita předchozím zákazníkem. Následně $b_{i/j+1}^k \in \mathbb{Z}$ ukazuje na počet klecí, které je potřeba použít pro uspokojení poptávky zákazníka na oděv. Zde je potřeba ověřit, zda nebude použita zbytečně klec navíc. Proto hodnota $q_{i/j}^k$ bude spočítána podle vzorce 6.

$$q_{i/j}^k = (b_{i/j+1}^k - b_{i/j}^k) * a_R^k \quad (6)$$

- Hodnota $q_{i/j}^b$ se spočítá podle vzorce 7.

$$q_{i/j}^b = b_{i/j}^b * a_R^k \quad (7)$$

- Hodnota $q_{i/j}^r$ se spočítá podle vzorce 8.

$$q_{i/j}^r = b_{i/j}^r * a_R^r \quad (8)$$

Pokud $Q_R^a \geq 0$, postupujte krokem 16. Pokud $Q_R^a < 0$, postupujte krokem 20.

16. Proveďte kontrolu přípustného času mimo depa T_R^a , a to pomocí vzorce 9,

$$T_R^a - t_{oi} - t^v - t_{ij} - t^v - t_{jo(\text{případně} + t_{jo}/t_{oi})} \quad (9)$$

kde:

t^v – čas vykládky. Jak už bylo zmíněno, zákazník, pro kterého platí $S_{i/j} = 2$, ještě obslužen není, tím pádem je potřeba, aby se ve vzorci odečítal čas, který bude stráven vozidlem na vykládce. Hodnota t^v se opakuje tolikrát, kolik je zákazníků s hodnotou $S_{i/j} = 2$.

Pokud má zákazník hodnotu $S_{i/j} = 2$, jeho doba jízdy do depa t_{jo}/t_{oi} (případně od depa k zákazníkovi) se bude odečítat.

Pokud zákazníkovi je přiřazen ukazatel $S_{i/j}$ v hodnotě 1, jeho doba jízdy do depa t_{j0}/t_{oi} (případně od depa do zákazníka) se bude přidávat. Důvodem je, že pokud zákazník má $S_{i/j} = 1$, tak už je „obsloužen“ a čas na jízdu do depa (případně od depa do zákazníka) už byl odečten.

Pokud $T_R^a \geq 0$, postupujte krokem 17. Pokud $T_R^a < 0$, postupujte krokem 20.

17. Aktualizujte údaje Q_R^a a T_R^a . Postupujte krokem 18.

18. Přidáním zákazníků do existující trasy, jímž je přiřazeno $S_{i/j} = 2$, aktualizujete trasu.

Následně postupujte krokem 19.

19. Pro všechny zákazníky aktualizujte ukazatele $S_{i/j}$ podle následujícího pravidla:

$S_{i/j} = 2$ – zákazník k trase přiřazen není (ještě není obsloužen),

$S_{i/j} = 1$ – zákazník na trase je počátečním / konečným uzlem (na trase je situován vedle depa V_o),

$S_{i/j} = 0$ – zákazník je uprostřed trasy.

Následně postupujte krokem 14.

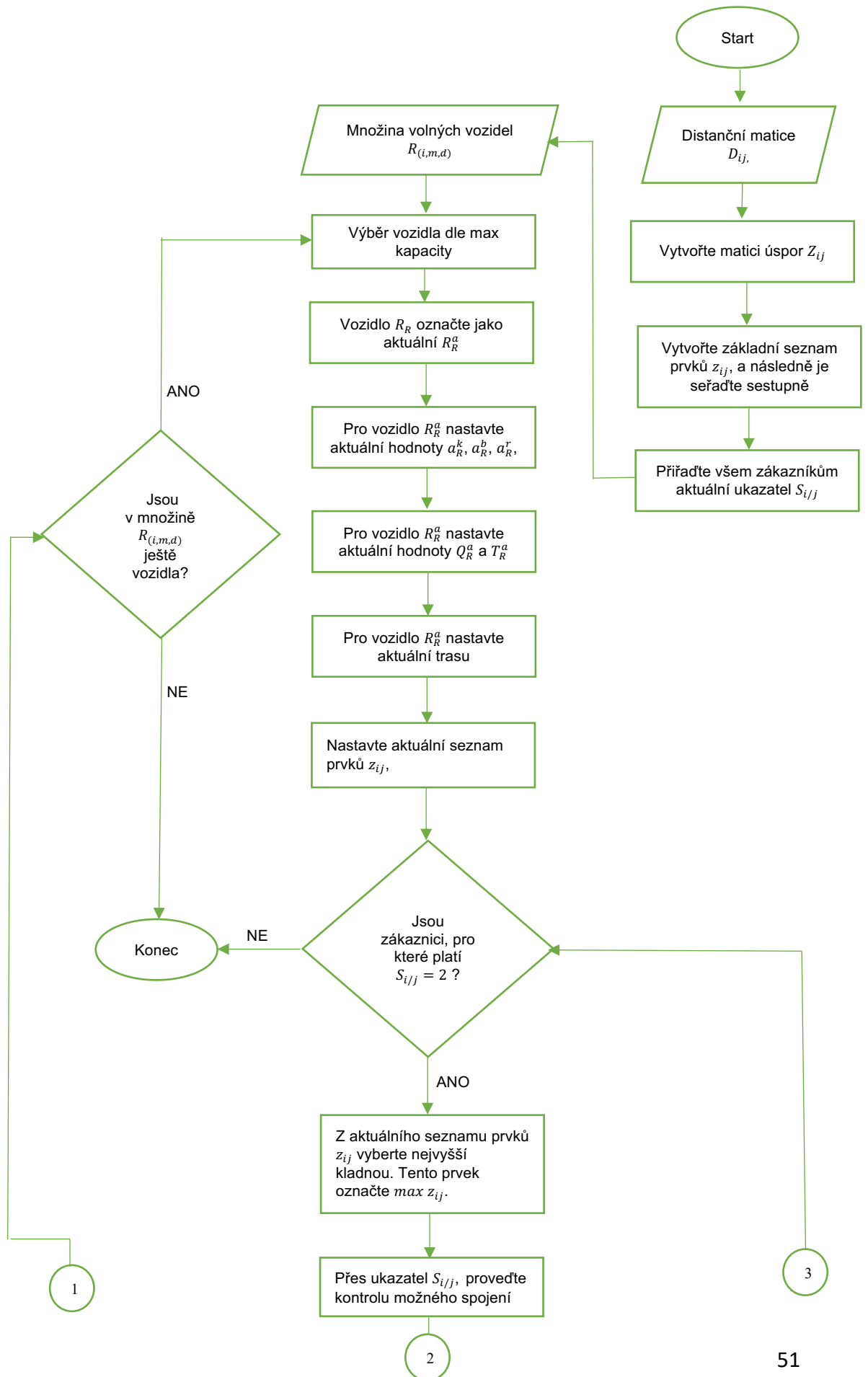
20. Označte vozidlo R_R^a jako vytížené R_R^v a postupujte krokem 21.

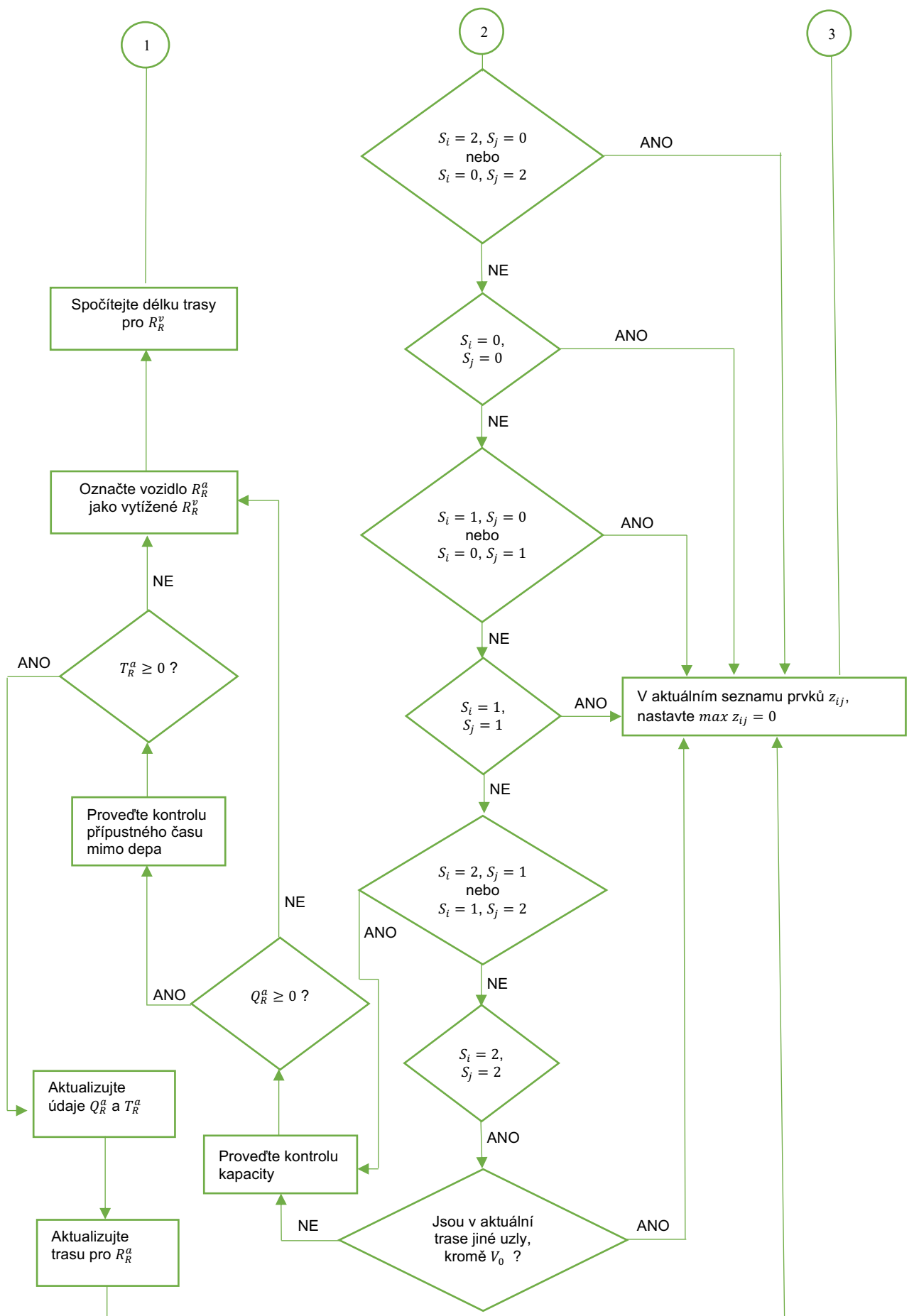
21. Pomocí matice D_{ij} , pro vozidlo R_R^v spočítejte celkovou délku trasy. Následně postupujte krokem 22.

22. Ze základního seznamu prvků z_{ij} (krok 2) vytvořte aktuální seznam prvků z_{ij} , tak, abyste ponechali jen ty prvky z_{ij} , pro které $S_i = 2$ a zároveň $S_j = 2$. Postupujte krokem 23.

23. Proveďte kontrolu, zda v množině volných vozidel R_R jsou ještě k dispozici volná vozidla. Pokud ano – krok 4, pokud ne – konec (zastavovací pravidlo heuristiky).

Pro snadnější pochopení lze na obrázku 16 vidět vývojový diagram navržené heuristiky.





Obrázek 16 – Vývojový diagram (Zdroj [autor])

6. Zhodnocení dosažených výsledků

V této kapitole bude znázorněn návrh tras, které byly vytvořeny cestou implementace navržené heuristiky. Postup jednotlivých kroků byl vysvětlen v předchozí kapitole. Následně bude provedeno porovnání aktuálního a navrženého stavu distribuce, a to za období červen 2018. Na základě jeho výsledků bude vybrán nejvhodnější návrh rozvozových tras, který může být použit společností Salesainer pro implementaci v reálním životě. Součástí této kapitoly je také ekonomické zhodnocení návrhu, tedy výpočet dopravních nákladů, které by mohly vzniknout při zavedení nových tras.

Použitá heuristika byla naprogramována Ing. Oleksiyem Buračikem, na platformě Node.js a to pomocí jazyku JavaScript. Důvodem, proč byla vybrána zmíněná platforma, je rychlost výpočtu, která činila přibližně 10 sekund pro jeden pracovní týden. Výpočty byly provedeny na počítači MacBook Pro (15inch, 2018) vybaveném procesorem 2.2 GHz Intel Core i7 pamětí o velikosti 16.00 GB 2400 MHz DDR4.

6.1 Navrhované rozvozové trasy

Trasy jsou rozdělené podle dnů týdne. Jak už se zmiňovalo v praktické části této diplomové práci, výpočty byly provedené zvlášť pro každý pracovní týden. Výsledky výpočtů jsou v tabulkách č. 11-14. V tabulkách jsou uvedeny trasy, které souvisí s určitým typem vozidla, jejich vzdálenost a den týdne kdyby mohly být zavedeny. Vstupní údaje jsou v přílohách č. 1-4.

Tabulka 11 – Navržené distribuční trasy pro týden 1 (Zdroj [autor])

Den týdne	Typ vozidla	Vzdálenost [km]	Trasa
Pondělí	Iveco Daily	491,4	$V_0 - V_{164} - V_{157} - V_{148} - V_{149} - V_{141} - V_{138} - V_{140} - V_{139} - V_{144} - V_{146} - V_{142} - V_{147} - V_{145} - V_{150} - V_{151} - V_{163} - V_{232} - V_{162} - V_{161} - V_{230} - V_0$
	Iveco Daily	313,7	$V_0 - V_{126} - V_{125} - V_{123} - V_{124} - V_{242} - V_{122} - V_{119} - V_{120} - V_{114} - V_{121} - V_0$
	Iveco Daily	450,6	$V_0 - V_{208} - V_{223} - V_{206} - V_{219} - V_{209} - V_{214} - V_{215} - V_{211} - V_{210} - V_{212} - V_{226} - V_{196} - V_{225} - V_{213} - V_0$

	Iveco Daily	395,4	$V_0 - V_{109} - V_{136} - V_{128} - V_{133} - V_{137} - V_{132} - V_{127} - V_{135} - V_{179} - V_{131} - V_{178} - V_{176} - V_0$
	Iveco Daily	453,2	$V_0 - V_{97} - V_{152} - V_{98} - V_{154} - V_{105} - V_{153} - V_0$
	Mercedes-Benz Sprinter	264,1	$V_0 - V_{39} - V_{187} - V_{74} - V_{76} - V_{67} - V_0$
Úterý	Iveco Daily	562,2	$V_0 - V_{113} - V_{160} - V_{112} - V_{111} - V_{104} - V_{134} - V_{103} - V_{62} - V_{106} - V_0$
	Iveco Daily	497,6	$V_0 - V_{96} - V_{186} - V_{108} - V_{63} - V_{107} - V_{55} - V_{99} - V_{61} - V_{100} - V_{58} - V_0$
	Iveco Daily	462,2	$V_0 - V_{51} - V_{220} - V_{190} - V_{218} - V_{50} - V_{34} - V_{49} - V_{86} - V_0$
	Iveco Daily	409,4	$V_0 - V_{52} - V_{57} - V_{37} - V_{53} - V_{90} - V_{54} - V_{203} - V_0$
	Iveco Daily	416	$V_0 - V_{87} - V_{29} - V_{33} - V_{236} - V_{31} - V_{30} - V_{235} - V_{32} - V_{227} - V_{234} - V_{229} - V_0$
	Mercedes-Benz Sprinter	417	$V_0 - V_{182} - V_{198} - V_{75} - V_{201} - V_{238} - V_{80} - V_0$
Středa	Iveco Daily	513,6	$V_0 - V_{89} - V_{195} - V_{168} - V_{189} - V_{165} - V_{130} - V_{169} - V_0$
	Iveco Daily	424	$V_0 - V_{93} - V_{88} - V_{92} - V_{85} - V_{94} - V_{221} - V_{91} - V_0$
	Iveco Daily	365,5	$V_0 - V_{188} - V_{228} - V_{192} - V_0$
	Iveco Daily	364	$V_0 - V_{48} - V_{36} - V_{16} - V_{38} - V_6 - V_{35} - V_{13} - V_{43} - V_{10} - V_{44} - V_{22} - V_{237} - V_5 - V_{11} - V_{17} - V_{116} - V_{70} - V_0$
	Iveco Daily	500,6	$V_0 - V_2 - V_9 - V_{45} - V_{217} - V_{155} - V_{207} - V_0$

	Mercedes-Benz Sprinter	522	$V_0 - V_{167} - V_{159} - V_{83} - V_{117} - V_{82} - V_{166} - V_{170} - V_0$
Čtvrtek	Iveco Daily	456,8	$V_0 - V_{200} - V_{171} - V_{199} - V_{28} - V_{222} - V_{25} - V_0$
	Iveco Daily	550	$V_0 - V_3 - V_{224} - V_{156} - V_{243} - V_0$
	Iveco Daily	347	$V_0 - V_{216} - V_8 - V_{59} - V_{239} - V_{69} - V_{64} - V_{66} - V_{65} - V_{72} - V_{42} - V_{84} - V_{23} - V_0$
	Iveco Daily	440	$V_0 - V_{27} - V_{41} - V_{205} - V_{173} - V_{71} - V_{241} - V_{129} - V_{12} - V_0$
	Iveco Daily	440,4	$V_0 - V_{172} - V_{194} - V_{24} - V_{193} - V_{77} - V_{202} - V_{20} - V_0$
	Mercedes-Benz Sprinter	274,5	$V_0 - V_{233} - V_{181} - V_{191} - V_0$
Pátek	Iveco Daily	620	$V_0 - V_{115} - V_{18} - V_{101} - V_{19} - V_{95} - V_1 - V_{60} - V_{240} - V_{68} - V_{110} - V_{47} - V_0$
	Iveco Daily	482	$V_0 - V_{26} - V_7 - V_{15} - V_{14} - V_{56} - V_4 - V_{21} - V_{158} - V_{180} - V_0$
	Iveco Daily	489	$V_0 - V_{118} - V_{197} - V_{40} - V_{185} - V_{174} - V_{177} - V_0$
	Iveco Daily	418	$V_0 - V_{183} - V_{79} - V_{175} - V_{204} - V_{46} - V_{73} - V_0$
	Iveco Daily	500	$V_0 - V_{81} - V_{102} - V_{78} - V_{184} - V_{231} - V_0$

První týden čítá 243 zákazníků. Pro jejich obsluhu je potřeba použít 29 vozidel, z nichž 25 vozidel bude typu Iveco Daily a 4 typu Mercedes-Benz Sprinter. Počet a typ použitých vozidel je určen takovým způsobem, že heuristika vytváří řešení, při kterém se nejdříve používají všechna vozidla typu Iveco Daily, následně Mercedes-Benz Sprinter, a nakonec typ Fiat Ducato. Celková vzdálenost navržených tras pro týden 1 činí 12 213,84 km.

Tabulka 12 – Navržené distribuční trasy pro týden 2 (Zdroj [autor])

Den týdně	Typ vozidla	Vzdálenost [km]	Trasa
Pondělí	Iveco Daily	447,4	$V_0 - V_{156} - V_{147} - V_{148} - V_{140} - V_{137} - V_{139} - V_{138} - V_{143} - V_{145} - V_{141} - V_{142} - V_{146} - V_{144} - V_{149} - V_{150} - V_{162} - V_{231} - V_{161} - V_{160} - V_{229} - V_0$
	Iveco Daily	382,6	$V_0 - V_{136} - V_{277} - V_{132} - V_{133} - V_{128} - V_{134} - V_{129} - V_{131} - V_{276} - V_{275} - V_{125} - V_{124} - V_{273} - V_{123} - V_{122} - V_{121} - V_{119} - V_{118} - V_{120} - V_{113} - V_{114} - V_{112} - V_0$
	Iveco Daily	432,7	$V_0 - V_{210} - V_{205} - V_{211} - V_{207} - V_{222} - V_{206} - V_{212} - V_{216} - V_{224} - V_{226} - V_0$
	Iveco Daily	319,4	$V_0 - V_{249} - V_{115} - V_{271} - V_{272} - V_{105} - V_{95} - V_{96} - V_{102} - V_{269} - V_{94} - V_{111} - V_{98} - V_{268} - V_{99} - V_{100} - V_{109} - V_{101} - V_{108} - V_{103} - V_{104} - V_{106} - V_{270} - V_{107} - V_{97} - V_{116} - V_{117} - V_0$
	Iveco Daily	368,4	$V_0 - V_{223} - V_{190} - V_{221} - V_{284} - V_0$
	Fiat Ducato	392,5	$V_0 - V_{280} - V_{246} - V_{234} - V_{228} - V_{232} - V_{240} - V_{265} - V_0$
Úterý	Iveco Daily	424,3	$V_0 - V_{188} - V_{199} - V_{213} - V_{84} - V_{215} - V_{198} - V_{218} - V_{53} - V_0$
	Iveco Daily	483,1	$V_0 - V_{187} - V_{200} - V_{191} - V_{203} - V_{189} - V_{201} - V_{197} - V_{230} - V_0$
	Iveco Daily	446	$V_0 - V_{193} - V_{225} - V_{89} - V_{214} - V_{88} - V_{208} - V_{52} - V_0$
	Iveco Daily	440,6	$V_0 - V_{135} - V_{183} - V_{130} - V_{180} - V_{181} - V_{175} - V_{182} - V_{177} - V_{110} - V_0$

	Iveco Daily	401,4	$V_0 - V_{184} - V_{283} - V_{178} - V_{174} - V_{176} - V_{167} - V_{171} - V_{169} - V_{186} - V_0$
	Mercedes-Benz Sprinter	245,4	$V_0 - V_{20} - V_{179} - V_{80} - V_{59} - V_{260} - V_{39} - V_{261} - V_0$
Středa	Iveco Daily	340,4	$V_0 - V_{28} - V_{36} - V_{217} - V_{248} - V_{219} - V_{43} - V_8 - V_{42} - V_0$
	Iveco Daily	377	$V_0 - V_{227} - V_{56} - V_{31} - V_{35} - V_{58} - V_{34} - V_{30} - V_{54} - V_{32} - V_0$
	Iveco Daily	338,7	$V_0 - V_{50} - V_{27} - V_{48} - V_1 - V_{49} - V_{61} - V_{41} - V_{62} - V_{38} - V_{57} - V_0$
	Iveco Daily	381	$V_0 - V_{40} - V_{29} - V_2 - V_{278} - V_7 - V_{51} - V_{202} - V_{33} - V_3 - V_0$
	Iveco Daily	428,3	$V_0 - V_{209} - V_9 - V_{85} - V_{37} - V_{86} - V_{10} - V_{87} - V_0$
	Mercedes-Benz Sprinter	454,3	$V_0 - V_{237} - V_{127} - V_{19} - V_{66} - V_{83} - V_{164} - V_0$
Čtvrtek	Iveco Daily	543,5	$V_0 - V_{12} - V_{155} - V_5 - V_{154} - V_{233} - V_{153} - V_{47} - V_{60} - V_{72} - V_0$
	Iveco Daily	397,4	$V_0 - V_{235} - V_{55} - V_{64} - V_{251} - V_{250} - V_{68} - V_{69} - V_{185} - V_{168} - V_{172} - V_{170} - V_{91} - V_0$
	Iveco Daily	425	$V_0 - V_{24} - V_{77} - V_{239} - V_{247} - V_{18} - V_{158} - V_{17} - V_4 - V_{13} - V_{21} - V_{238} - V_{279} - V_0$
	Iveco Daily	349	$V_0 - V_{90} - V_{135} - V_{92} - V_{244} - V_{267} - V_{257} - V_{266} - V_{75} - V_0$
	Iveco Daily	349,5	$V_0 - V_{159} - V_{253} - V_{25} - V_{252} - V_{256} - V_{74} - V_{254} - V_{73} - V_{70} - V_{225} - V_{264} - V_0$

	Mercedes-Benz Sprinter	423,8	$V_0 - V_{204} - V_{259} - V_{243} - V_{262} - V_{258} - V_{263} - V_{192} - V_{67} - V_{81} - V_0$
Pátek	Iveco Daily	427,3	$V_0 - V_{65} - V_{11} - V_{26} - V_{157} - V_{255} - V_{163} - V_0$
	Iveco Daily	342,5	$V_0 - V_{63} - V_6 - V_{78} - V_{166} - V_{286} - V_{242} - V_0$
	Iveco Daily	415,7	$V_0 - V_{93} - V_{15} - V_{241} - V_{194} - V_{22} - V_{71} - V_{195} - V_0$
	Iveco Daily	426,15	$V_0 - V_{274} - V_{282} - V_{126} - V_0$
	Iveco Daily	297,3	$V_0 - V_{281} - V_{196} - V_{46} - V_{236} - V_0$
	Mercedes-Benz Sprinter	123,4	$V_0 - V_{79} - V_{23} - V_{173} - V_{44} - V_0$
	Fiat Ducato	595,7	$V_0 - V_{152} - V_{82} - V_{45} - V_{14} - V_{16} - V_{76} - V_{151} - V_{220} - V_0$

Druhý týden zahrnuje 289 zákazníků. Pro jejichž obsluhu je potřeba použít 31 vozidlo, z nichž 25 typu Iveco Daily, 5 vozidel typu Mercedes-Benz Sprinter a 1 vozidlo Fiat Ducato. Počet použitých vozidel určitého typu je určeno tím, že heuristika vytváří řešení tak, že se nejdřív používají všechna vozidla typu Iveco Daily, následně Mercedes-Benz Sprinter, a nakonec typ Fiat Ducato. Celková vzdálenost, navržených tras pro týden 2 skládá 11 620,95 km.

Tabulka 13 – Navržené distribuční trasy pro týden 3 (Zdroj [autor])

Den týdně	Typ vozidla	Vzdálenost [km]	Trasa
Pondělí	Iveco Daily	387,02	$V_0 - V_{148} - V_{149} - V_{141} - V_{138} - V_{140} - V_{139} - V_{144} - V_{146} - V_{142} - V_{143} - V_{147} - V_{145} - V_{150} - V_{151} - V_{163} - V_{232} - V_0$
	Iveco Daily	350,3	$V_0 - V_{137} - V_{133} - V_{136} - V_{132} - V_{128} - V_{275} - V_{126} - V_{125} - V_{123} - V_{124} - V_{273} -$

			$V_{122} - V_{119} - V_{120} - V_{114} - V_{115} - V_{113} - V_{109} - V_0$
	Iveco Daily	424,3	$V_0 - V_{229} - V_{220} - V_{217} - V_{216} - V_{225} - V_{227} - V_{162} - V_{277} - V_{159} - V_0$
	Iveco Daily	433,3	$V_0 - V_{228} - V_{207} - V_{204} - V_{197} - V_{219} - V_{282} - V_{211} - V_{224} - V_0$
	Iveco Daily	289,3	$V_0 - V_{270} - V_{105} - V_{268} - V_{269} - V_{108} - V_{112} - V_{267} - V_{99} - V_{103} - V_{97} - V_{104} - V_{96} - V_{101} - V_{106} - V_{102} - V_{121} - V_{271} - V_0$
	Mercedes-Benz Sprinter	314,2	$V_0 - V_{84} - V_{171} - V_{78} - V_{27} - V_{20} - V_{244} - V_{239} - V_{73} - V_{173} - V_0$
Úterý	Iveco Daily	363,8	$V_0 - V_{203} - V_{208} - V_{221} - V_{214} - V_{223} - V_{209} - V_0$
	Iveco Daily	444	$V_0 - V_{210} - V_{222} - V_{215} - V_{231} - V_{206} - V_0$
	Iveco Daily	365,7	$V_0 - V_{274} - V_{107} - V_{276} - V_{95} - V_{116} - V_{98} - V_{118} - V_0$
	Iveco Daily	369,6	$V_0 - V_{196} - V_{205} - V_{187} - V_{194} - V_{284} - V_{193} - V_0$
	Iveco Daily	537,4	$V_0 - V_{135} - V_{272} - V_{129} - V_{176} - V_{134} - V_{100} - V_{131} - V_0$
	Mercedes-Benz Sprinter	321,3	$V_0 - V_{266} - V_{184} - V_{79} - V_{55} - V_{77} - V_{243} - V_0$
Středa	Iveco Daily	348,4	$V_0 - V_{283} - V_{90} - V_{85} - V_{89} - V_{218} - V_{86} - V_{88} - V_{200} - V_{93} - V_0$

	Iveco Daily	512,5	$V_0 - V_{158} - V_{111} - V_{157} - V_{63} - V_{154} - V_{52} - V_0$
	Iveco Daily	491,7	$V_0 - V_{226} - V_{94} - V_{265} - V_{92} - V_{199} - V_{91} - V_{201} - V_{230} - V_0$
	Iveco Daily	377	$V_0 - V_{278} - V_{169} - V_{183} - V_{186} - V_{117} - V_{57} - V_{62} - V_{160} - V_{34} - V_0$
	Iveco Daily	489	$V_0 - V_{185} - V_{175} - V_{130} - V_{153} - V_{59} - V_{155} - V_{36} - V_0$
	Mercedes-Benz Sprinter	200,1	$V_0 - V_{180} - V_{256} - V_{76} - V_{281} - V_0$
Čtvrtek	Iveco Daily	416,6	$V_0 - V_{51} - V_{212} - V_{49} - V_{30} - V_{33} - V_{31} - V_{32} - V_{53} - V_{247} - V_{54} - V_{246} - V_0$
	Iveco Daily	494	$V_0 - V_{263} - V_{161} - V_{261} - V_{188} - V_{264} - V_{192} - V_{279} - V_{280} - V_0$
	Iveco Daily	334	$V_0 - V_{16} - V_{15} - V_2 - V_{10} - V_3 - V_4 - V_1 - V_{233} - V_9 - V_{56} - V_{48} - V_{110} - V_{70} - V_0$
	Iveco Daily	447,5	$V_0 - V_{43} - V_{44} - V_{249} - V_{50} - V_{38} - V_{26} - V_{152} - V_{87} - V_{156} - V_0$
	Iveco Daily	365,4	$V_0 - V_{166} - V_{195} - V_{198} - V_{28} - V_{213} - V_{248} - V_{45} - V_{29} - V_{245} - V_0$
	Mercedes-Benz Sprinter	390	$V_0 - V_{167} - V_{61} - V_{168} - V_{65} - V_{250} - V_{64} - V_{170} - V_{25} - V_0$
Pátek	Iveco Daily	262,7	$V_0 - V_{242} - V_{25} - V_5 - V_{23} - V_{238} - V_{240} - V_8 - V_{19} - V_{12} - V_{18} - V_{22} - V_{58} - V_{21} - V_{262} - V_6 - V_{72} - V_{236} - V_0$
	Iveco Daily	320,7	$V_0 - V_{190} - V_{172} - V_{189} - V_{241} - V_7 - V_{24} - V_{234} - V_0$

	Iveco Daily	164	$V_0 - V_{11} - V_{60} - V_{13} - V_{39} - V_{17} - V_{40} - V_{35} - V_{237} - V_{14} - V_{42} - V_{235} - V_0$
	Iveco Daily	328,4	$V_0 - V_{71} - V_{68} - V_{47} - V_{67} - V_{41} - V_{252} - V_{178} - V_{191} - V_0$
	Iveco Daily	351,4	$V_0 - V_{66} - V_{37} - V_{251} - V_{181} - V_{164} - V_0$
	Mercedes-Benz Sprinter	419,8	$V_0 - V_{127} - V_{202} - V_{80} - V_{165} - V_{81} - V_{259} - V_{260} - V_0$
	Fiat Ducato	382	$V_0 - V_{255} - V_{74} - V_{182} - V_{82} - V_{177} - V_{258} - V_{46} - V_{83} - V_{179} - V_{69} - V_{253} - V_0$

Třetí týden čítá 284 zákazníků. Pro jejich obsluhu je potřeba použít vozidla, z nichž 25 vozidel bude typu Iveco Daily, 1 vozidlo typu Mercedes-Benz Sprinter a 1 Fiat Ducato. Počet a typ použitých vozidel je určen takovým způsobem, že heuristika vytváří řešení, při kterém se nejdříve používají všechna vozidla typu Iveco Daily, následně Mercedes-Benz Sprinter, a nakonec typ Fiat Ducato. Celková vzdálenost navržených tras pro týden 3 činí 11 179,94 km.

Tabulka 14 – Navržené distribuční trasy pro týden 4 (Zdroj [autor])

Den týdne	Typ vozidla	Vzdálenost [km]	Trasa
Pondělí	Iveco Daily	355,2	$V_0 - V_{148} - V_{149} - V_{141} - V_{138} - V_{140} - V_{139} - V_{144} - V_{146} - V_{142} - V_{143} - V_{147} - V_{145} - V_{150} - V_{151} - V_{163} - V_0$
	Iveco Daily	388,4	$V_0 - V_{131} - V_{137} - V_{281} - V_{133} - V_{134} - V_{129} - V_{135} - V_{130} - V_{132} - V_{280} - V_{279} - V_{126} - V_{125} - V_{278} - V_{124} - V_{123} - V_{277} - V_{122} - V_{119} - V_{120} - V_{114} - V_{115} - V_{113} - V_{109} - V_{110} - V_{100} - V_{101} - V_{102} - V_0$
	Iveco Daily	430,05	$V_0 - V_{227} - V_{219} - V_{224} - V_{212} - V_{288} - V_{10} - V_{197} - V_{215} - V_{289} - V_{213} - V_0$

	Iveco Daily	465	$V_0 - V_{211} - V_{229} - V_{161} - V_{228} - V_{206} - V_{221} - V_{217} - V_{223} - V_{216} - V_0$
	Iveco Daily	432,3	$V_0 - V_{97} - V_{127} - V_{107} - V_{116} - V_{270} - V_{118} - V_{272} - V_{56} - V_{160} - V_{54} - V_0$
	Mercedes-Benz Sprinter	330,7	$V_0 - V_{268} - V_{183} - V_{76} - V_{172} - V_{75} - V_{284} - V_{74} - V_0$
Úterý	Iveco Daily	426	$V_0 - V_{88} - V_{204} - V_{193} - V_{203} - V_{189} - V_{199} - V_{190} - V_{200} - V_0$
	Iveco Daily	529	$V_0 - V_{214} - V_{90} - V_{209} - V_{89} - V_{225} - V_{53} - V_{226} - V_0$
	Iveco Daily	420	$V_0 - V_{95} - V_{186} - V_{111} - V_{136} - V_{180} - V_{182} - V_{177} - V_{128} - V_{185} - V_0$
	Iveco Daily	457,15	$V_0 - V_{282} - V_{208} - V_{94} - V_{92} - V_{93} - V_{192} - V_{171} - V_{167} - V_0$
	Iveco Daily	380,8	$V_0 - V_{61} - V_{276} - V_{232} - V_{55} - V_{58} - V_0$
	Mercedes-Benz Sprinter	364	$V_0 - V_{254} - V_{170} - V_{275} - V_{169} - V_{71} - V_{174} - V_0$
Středa	Iveco Daily	435,15	$V_0 - V_{269} - V_{201} - V_{195} - V_{202} - V_{87} - V_{266} - V_{86} - V_{222} - V_0$
	Iveco Daily	386,2	$V_0 - V_{44} - V_{247} - V_{50} - V_{29} - V_{49} - V_{243} - V_{51} - V_{245} - V_{52} - V_{207} - V_0$
	Iveco Daily	348,8	$V_0 - V_{166} - V_{188} - V_{265} - V_{267} - V_{85} - V_{91} - V_0$

	Iveco Daily	385,16	$V_0 - V_{12} - V_{36} - V_{63} - V_{37} - V_{103} - V_{26} - V_{105} - V_{286} - V_0$
	Iveco Daily	539,6	$V_0 - V_{104} - V_{231} - V_{98} - V_{42} - V_{108} - V_{39} - V_0$
	Mercedes-Benz Sprinter	413,3	$V_0 - V_{84} - V_{285} - V_{218} - V_{181} - V_0$
Čtvrtek	Iveco Daily	509	$V_0 - V_{30} - V_4 - V_{248} - V_2 - V_{45} - V_3 - V_{34} - V_{28} - V_{162} - V_{41} - V_{96} - V_{244} - V_{117} - V_0$
	Iveco Daily	588,5	$V_0 - V_{112} - V_{478} - V_{106} - V_{73} - V_{99} - V_{15} - V_{271} - V_{40} - V_{62} - V_0$
	Iveco Daily	410,9	$V_0 - V_{274} - V_{69} - V_{70} - V_{121} - V_{31} - V_{22} - V_{32} - V_{24} - V_{33} - V_5 - V_0$
	Iveco Daily	399,4	$V_0 - V_{19} - V_{220} - V_{60} - V_{47} - V_{72} - V_{67} - V_{255} - V_{252} - V_{57} - V_{66} - V_{38} - V_{249} - V_{59} - V_0$
	Iveco Daily	402	$V_0 - V_{191} - V_{18} - V_{251} - V_9 - V_{64} - V_{11} - V_{65} - V_{43} - V_{253} - V_{175} - V_0$
	Mercedes-Benz Sprinter	429	$V_0 - V_{46} - V_{187} - V_{264} - V_{83} - V_{261} - V_{259} - V_{260} - V_{79} - V_{262} - V_{82} - V_{283} - V_0$
Pátek	Iveco Daily	650,06	$V_0 - V_{152} - V_{233} - V_{154} - V_6 - V_{157} - V_{13} - V_{158} - V_0$
	Iveco Daily	518,3	$V_0 - V_{16} - V_{159} - V_{234} - V_{156} - V_{290} - V_0$
	Iveco Daily	450	$V_0 - V_8 - V_{196} - V_{23} - V_{240} - V_{10} - V_{239} - V_{242} - V_{21} - V_{230} - V_{25} - V_{78} - V_0$
	Iveco Daily	420	$V_0 - V_7 - V_{27} - V_{246} - V_{241} - V_{198} - V_{14} - V_{237} - V_{273} - V_{168} - V_0$
	Iveco Daily	586	$V_0 - V_{155} - V_1 - V_{153} - V_{17} - V_{164} - V_{179} - V_0$

	Mercedes-Benz Sprinter	437,14	$V_0 - V_{205} - V_{257} - V_{194} - V_{80} - V_{165} - V_{81} - V_{236} - V_{263} - V_0$
	Fiat Ducato	419	$V_0 - V_{235} - V_{178} - V_{173} - V_{68} - V_{20} - V_{35} - V_{77} - V_{176} - V_{184} - V_{238} - V_0$
	Fiat Ducato	317,6	$V_0 - V_{258} - V_{250} - V_{256} - V_{287} - V_0$

Čtvrtý týden čítá 290 zákazníků. Pro jejich obsluhu je potřeba použít 32 vozidla, z nichž 25 vozidel bude typu Iveco Daily, 5 vozidlo typu Mercedes-Benz Sprinter a 2 Fiat Ducato. Počet a typ použitých vozidel je určen takovým způsobem, že heuristika vytváří řešení, při kterém se nejdříve používají všechna vozidla typu Iveco Daily, následně Mercedes-Benz Sprinter, a nakonec typ Fiat Ducato. Celková vzdálenost navržených tras pro týden 4 činí 13 358,95 km.

Dochází k takovým stavům, kdy jsou jednotlivé trasy nevyrovnané jak z hlediska délky trasy, tak i z hlediska počtu obslužených zákazníků v jedné rozvozové trase. Úkolem je především minimalizovat počet kilometrů, takže v diplomové práci se nebudu zabývat tím, kolik zákazníků bylo jednotlivě obsluženo jedním vozidlem.

6.2 Porovnání aktuálního stavu a navrženého řešení

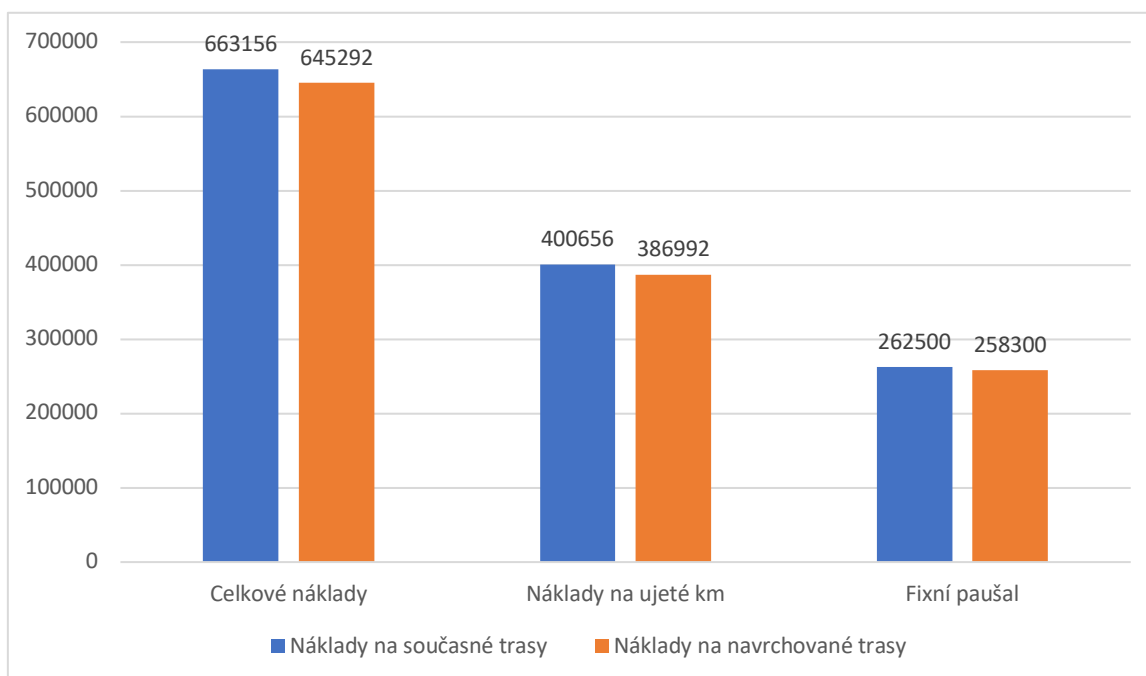
Jak již bylo zmíněno v praktické části, distribuce byla rozdělena do čtyř týdnů. Následně byly celkově ujeté km za čtyři týdny přepočítané na počet km za měsíc. V tabulce 15 jsou znázorněny výsledky výpočtů pro celý měsíc červen, které zahrnují počet vozidel a počet kilometrů, které řidiči aktuálně najeli. Zároveň je uveden počet vozidel a vzdálenost, kterou by řidiči ujeli při zavedení navržených tras. Součástí tabulky je také procentuální hodnota úspory, jaké by mohlo být dosaženo při zavedení nově navržených tras.

Tabulka 15 – Porovnání aktuálního stavu a navrženého řešení za červen 2018 (Zdroj [autor])

	Použito vozidel	Ujetá vzdálenost [km]
Aktuální stav	125	50 082
Návrh	123	48 374
Úspora [%]	1,6	3,4

Jak je vidět z výsledků v tabulce 15 při použití vybrané heuristiky by došlo ke zmenšení počtu vozidel, které je potřeba použít pro obsluhu všech zákazníků pro měsíc červen 2018, zároveň by došlo ke zmenšení počtu kilometrů, které ujedou vozidla.

Cílem této práce bylo navrhnout efektivní trasy pro textilní společnost Salesainer za účelem minimalizaci nákladů, které společnost hradí externímu dopravci na dopravu. Současně Salesainer hradí externímu dopravci měsíční dopravní náklady ve výši 663 156 Kč, z toho fixní náklady, při použití 125 vozidel, skládají 262 500 Kč ($125 \text{ vozidlo} \times 2 100 \text{ Kč/vozidlo}$), variabilní náklady na ujeté kilometry stanoví částku ve výši 400 656 Kč ($8 \text{ Kč/km} \times 50 082 \text{ Kč}$). Při zavedení nových tras, celkové náklady by stanovily 645 292 Kč, čímž by došlo ke úspoře o 2,7 % tedy o 17 864 Kč. Při použití 123 vozidel fixní náklady by činily 258 300 Kč ($123 \text{ vozidlo} \times 2 100 \text{ Kč/vozidlo}$), čímž by došlo ke úspoře o 1,6 % tedy o 4 200 Kč. Následně by došlo ke snížení variabilních nákladů na kilometry. Při implementaci navržených tras, společnost by hradila 386 992 Kč ($8 \text{ Kč/km} \times 48 374 \text{ Kč}$), tak by došlo ke úspoře o 3,4 % tedy o 13 664 Kč. Pro lepší přehled zmíněné náklady zobrazené na obrázku 17.



Obrázek 17 – Shrnutí celkových nákladů za období červen 2018 (Zdroj [autor])

6.3 Návrh změn

Z předchozí podkapitoly plyne, že zavedení nových tras by mohlo minimalizovat stávající dopravní náklady, které Salesainer hradí externímu dopravci.

Předtím než by společnost Salesainer mohla implementovat nové trasy do reálného procesu, doporučila bych zejména provádět přesnou evidenci poptávek zákazníků, což je základ pro zefektivnění stávajících rozvozních tras. Pro tyto účely by mohl být vyvinut software, do kterého by v reálném čase mohla být zadána nová objednávka. Následně by údaje byly předány

externímu dopravci, který by přidal zákazníka do již vytvořených tras pro následující den. Jinými slovy by obě společnosti mohly používat integrovaný systém, který by umožnil přístup s údaji týkajícími se jednotlivých zákazníků.

Dalším doporučením je stanovení přesné doby jízdy. Jak již bylo zmíněno, zákazníci nemají přesně danou dobu, kdy by mohli být obslouženi. Proto při zavedení přesné pracovní doby by došlo ke zmenšení počtu vozidel, které je třeba použít pro obsluhu zákazníků. Minimalizace kilometrů se dá nejjednodušeji dosáhnout vyloučením km, které řidiči každý den ujedou cestou domů. Při zavedení daného pravidla by řidiči vyjížděli každý den z daného depa, čímž by zjednodušili plánování tras pro dispečery.

Závěr

Cílem diplomové práce bylo zefektivnění současného systému distribuce, a to na základě analýzy současného stavu rozvozových tras pro textilní společnost Salesainer.

V analytické části byla uvedena informace o historii společnosti a její postavení na mezinárodním a českém trhu. Dále byl v úvodní části práce představen přehled produktů, které Salesainer poskytuje svým zákazníkům. Proces rozvozu textilu, na základě outsourcingové smlouvy, zajišťuje dopravní společnost Vako-Logistic, a to pomocí heterogenních nákladních vozidel. Pohyb jednotlivých vozidel se sleduje pomocí aplikace Ecofleet, jejíž možnosti jsou taktéž popsány v první části této práce. Současný stav distribuce byl demonstrován v časovém úseku jednoho týdne. Následně z této aplikace byla získána data za celý měsíc červen 2018, počet pracovních dnů všech řidičů, tedy počet použitých vozidel a vzdálenosti, které řidiči ujeli v pozorovaném období. Po provedení analýzy bylo stanoveno, že se řidiči vracejí zpět domů každý den, odkud každý následující den začínají obsluhu zákazníků, čímž generují cca 20 neproduktivních kilometrů denně na každé trase.

Na základě interních podkladů, získaných od společnosti Salesainer, byla ručně zpracována frekvence rozvozu textilu pro pobočku, která je situovaná v Kralupech nad Vltavou. Na základě této frekvence byla distribuce rozdělena do čtyř týdnů. K tomu byla přidělena poptávka na textil, která byla použita při výpočtech. Dále pomocí doplňku Bing Maps a CDXStream, který je možné nainstalovat v programu Microsoft Excel, byly zpracovány distanční a časové distanční matice pro každý pracovní týden. Výsledkem toho je, že v prvním týdnu je obsluhováno 243 zákazníků, v druhém týdnu 289 zákazníků, ve třetím týdnu je 284 zákazníků a ve čtvrtém týdnu 290 zákazníků.

Teoretická část práce je zaměřena na různé typy úloh okružných jízd, a na základě analytické a teoretické části byl vymezen problém, který se vyskytuje v společnosti Salesainer. Jedná se o CVRP s heterogenními vozidly. V další kapitole byly podrobně popsány jednotlivé kroky heuristiky, která byla navržena pro řešení zkoumaného problému.

V praktické části jsou přestaveny nově navržené rozvozové trasy, a to zvláště pro každý pracovní den. Heuristika byla naprogramovaná na platformě Node.js a to pomocí jazyka JavaScript. Výpočty byly provedeny na počítači MacBook Pro (15inch, 2018) vybaveném procesorem 2.2 GHz Intel Core i7 pamětí o velikosti 16.00 GB 2400 MHz DDR4.

Cílem navrhovaných tras byla minimalizace dopravních nákladů. Dopravní náklady zahrnují fixní náklady – náklady na vozidlo/den, ve výši 2 100 Kč/vozidlo a variabilní náklady – náklady na km, ve výši 8 Kč/km. Výsledky ukázaly, že při implementaci nově navržených tras by

společnost Salesainer ušetřila celkové měsíční náklady o 2,7 % tedy o 19 329 Kč, z původních 663 156 Kč na 645 292 Kč. Po použití navržené heuristiky by došlo ke snížení počtu vozidel a zároveň by došlo ke snížení ujetých kilometrů.

Použité zdroje

- [1] Interní materiály společnosti Salesainer Miettex Chemung s.r.o.
- [2] Salesainer Miettex [Online]. [Citace 10.06.2019]. Dostupné z: <https://www.salesianer.cz/>
- [3] *Google maps* [Online]. [Citace 12.06.2019]. Dostupné z: <https://www.google.cz/maps/@49.9326416,17.5776456,7z>
- [4] ECOFLEET CZ s.r.o., 2019. Interní materiály společnosti Ecofleet CZ s.r.o.
- [5] PELIKÁN, Jan. *Diskrétní modely v operačním výzkumu*. Brno: Professional Publishing, 2001. ISBN 80-86419-17-7.
- [6] JANÁČEK, Jaroslav. *Optimalizace na dopravních sítích*. V Žiline: Žilinská univerzita, 2002. ISBN 80-8070-031-1.
- [7] TOTH, Paolo a Daniele VIGO. *The vehicle routing problem*. Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics, 2002. ISBN 0-89871-498-2.
- [8] Baldacci R., Battarra M. and Vigo D. 2008 *The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges* ed B. L. Golden, S. Raghavan and E. A. Wasil (New York: Springer) Routing a heterogeneous fleet of vehicles, pp. 3-27
- [9] Pearl, Judea. *Heuristics: Intelligent Search Strategies for Computer Problem Solving*. New York, Addison-Wesley, 1984.
- [10] PASTOR, Otto a Antonín TUZAR. *Teorie dopravních systémů*. Praha: ASPI, 2007. ISBN 978-80-7357-285-3.
- [11] Nařízení vlády č. 168/2002 ze dne 25. března o způsobu organizaci práce a pracovních postupů, které zaměstnavatel povinen zajistit při provozování dopravy dopravními prostředky. In: Sbíрка zákonů České republiky.

Seznam obrázků

Obrázek 1 – Výnosy společnosti

Obrázek 2 – Pobočky Salesainer Mietex

Obrázek 3 – Procentuální rozložení nabízených služeb

Obrázek 4 – Jednotlivé kroky procesu zajištění prádla

Obrázek 5 – Klec na přepravu prádla

Obrázek 6 – Barel na přepravu utěrek

Obrázek 7 – Nakládka vozidla

Obrázek 8 – Pohyb jednotlivých vozidel

Obrázek 9 – Distribuční trasy pondělí

Obrázek 10 – Distribuční trasy úterý

Obrázek 11 – Distribuční trasy středa

Obrázek 12 – Distribuční trasy čtvrtek

Obrázek 13 – Distribuční trasy pátek

Obrázek 14 – Celkové měsíční dopravní náklady

Obrázek 15 – Základní třídy VRP a jejich propojení

Obrázek 16 – Vývojový diagram

Obrázek 17 – Shrnutí celkových nákladů za období červen 2018

Seznam tabulek

Tabulka 1 – Přehled vozového parku

Tabulka 2 – Distribuční trasy pro pondělí

Tabulka 3 – Distribuční trasy pro úterý

Tabulka 4 – Distribuční trasy pro středu

Tabulka 5 – Distribuční trasy pro čtvrtek

Tabulka 6 – Distribuční trasy pro pátek

Tabulka 7 – Ujeté kilometry červen 2018

Tabulka 8 – Soubor kyvadlových tras

Tabulka 9 – Maximální možný počet přepravních jednotek a kusů dle druhu nákladu ve vozidlech

Tabulka 10 – Procentuální zatížení přepravních jednotek ve vozidlech

Tabulka 11 – Navržené distribuční trasy pro týden 1

Tabulka 12 – Navržené distribuční trasy pro týden 2

Tabulka 13 – Navržené distribuční trasy pro týden 3

Tabulka 14 – Navržené distribuční trasy pro týden 4

Tabulka 15 – Porovnání aktuálního stavu a navrženého řešení za červen 2018