Mendelova univerzita v Brně
Provozně ekonomická fakulta

Uplatnění metod lineárního programování při řešení dopravních úloh

Diplomová práce

Vedoucí práce:

doc. Ing. Josef Holoubek, CSc.

Bc. Kateřina Charousová

Brno 2016

Poděkování

Touto cestou bych velice ráda poděkovala vedoucímu mé diplomové práce doc. Ing. Josefu Holoubkovi, CSc. za ochotu, odborné vedení, připomínky a cenné rady, které mi při vypracování této práce poskytnul.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci: **Uplatnění metod lineárního programování při řešení dopravních úloh**
vypracoval/a samostatně a veškeré použité prameny a informace jsou uvedeny v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů, a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.*

Jsem si vědom/a, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 Autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity o tom, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne 25. dubna 2016

Abstract

Charousová, K. Application of linear programming in solving the transport problem. Diploma thesis. Brno: Mendel University in Brno, Faculty of Business and Economics, 2016.

The goal of this diploma thesis is to produce new optimized distribution routes for a concrete company while trying to minimize costs for distribution of products. The theoretical part of the paper describes basic terms and methods related to the topic. The practical part deals with optimisation of distribution route itself, mainly through Mayer's method and STORM program, while keeping in mind the optimal location of a new warehouse in the territory of Bohemia. Obtained results are always compared with the original or other optimized solution.

Keywords

Travelling salesman problem, Mayer's method, Little's method, STORM, LINGO, OpenRefine

Abstrakt

Charousová, K. Uplatnění metod lineárního programování při řešení dopravních úloh. Diplomová práce. Brno: Mendelova univerzita v Brně, Provozně ekonomická fakulta, 2016.

Cílem diplomové práce je vytvoření nových optimalizovaných distribučních tras konkrétního podniku se snahou o minimalizaci nákladů na distribuci zboží. V teoretické části práce jsou popsány základní pojmy a metody vztahující se k této problematice. V praktické části práce je řešena samotná optimalizace distribuční sítě, převážně pomoci Mayerovy metody a programu STORM, a taktéž je věnována pozornost optimálnímu umístění nového skladu na území Čech. Získané výsledky jsou vždy porovnány s původním, případně s jiným optimalizovaným řešením.

Klíčová slova

Okružní dopravní problém, Mayerova metoda, Littlova metoda, STORM, LINGO, OpenRefine

Obsah

1 Úvod práce 11

2 Cíl a metodika práce 12

2.1 Cíl práce 12

2.2 Metodika práce 13

3 Literární přehled 14

3.1 Logistika 14

3.1.1 Význam slova a vývoj logistiky 14

3.1.2 Definice logistiky 15

3.1.3 Vývojové trendy ovlivňující rozvoj logistiky 15

3.1.4 Členění logistiky 16

3.1.5 Dopravní logistika 17

3.2 Operační výzkum 19

3.3 Lineární programování 21

3.4 Distribuční úlohy lineárního programování 23

3.4.1 Dopravní problém 24

3.4.2 Okružní dopravní úlohy 26

3.5 Metody řešení okružního dopravního problému 29

3.5.1 Mayerova metoda 29

3.5.2 Habrova metoda 30

3.5.3 Metoda větvení a mezí 31

3.5.4 Vogelova aproximační metoda 31

3.5.5 Metoda nejbližšího souseda 32

3.5.6 Littlova metoda 33

3.6 Počítačové programy pro zpracování úloh lineárního programování 34

3.6.1 STORM 35

3.6.2 LINDO 37

3.6.3 LINGO 38

3.7 Optimální umístění nového objektu 38
3.7.1 Umístění jediného bodového objektu 39
3.7.2 Umístění více bodových objektů 40
3.8 Omezení na umístění nového objektu 41
3.9 Datové vstupy 42
3.9.1 Příprava v Excelu 43
3.9.2 OpenRefine 43
3.9.3 Ukázka konkrétní práce v OpenRefinu 44
3.9.4 Vytvoření kontingenční tabulky v Excelu 47
3.9.5 Výběr submatice z výchozí matice 47

4 Vlastní práce 49

4.1 Charakteristika společnosti 49
4.1.1 Základní informace o společnosti 49
4.1.2 Současné řešení distribuční sítě 49
4.2 Zpracování získaných dat 52
4.3 Vytvoření nových rozvozových tras – verze I 52
4.3.1 Rozvozová trasa č. 1 – verze I 54
4.3.2 Rozvozová trasa č. 2 – verze I 55
4.3.3 Rozvozová trasa č. 3 – verze I 55
4.3.4 Rozvozová trasa č. 4 – verze I 55
4.3.5 Rozvozová trasa č. 5 – verze I 55
4.3.6 Rozvozová trasa č. 6 – verze I 56
4.3.7 Rozvozová trasa č. 7 – verze I 56
4.4 Porovnání původního řešení a nových optimalizovaných tras verze I 57
4.5 Vytvoření nových rozvozových tras – verze II 58
4.5.1 Rozvozová trasa č. 1 – verze II 59
4.5.2 Rozvozová trasa č. 2 – verze II 59
4.5.3 Rozvozová trasa č. 3 – verze II 59
4.5.4 Rozvozová trasa č. 4 – verze II 60
4.5.5 Rozvozová trasa č. 5 – verze II 60
4.5.6 Rozvozová trasa č. 6 – verze II 60

4.5.7 Rozvozová trasa č. 7 – verze II ... 60
4.6 Porovnání tras ... 61
4.6.1 Porovnání tras verze I a verze II ... 61
4.6.2 Porovnání původních tras a optimalizovaných tras verze II ... 62
4.7 Optimalizace rozvozových tras ... 63
4.7.1 Práce v programu STORM ... 63
4.7.2 Práce v programu LINGO ... 63
4.7.3 Optimalizace rozvozových tras verze II pomocí softwaru STORM a LINGO 65
4.7.4 Littlova metoda ... 67
4.8 Optimální umístění nového skladu ... 73
4.9 Vytvoření nových rozvozových tras – 2 okruhy ... 75
4.9.1 Okruh č. 1 ... 75
4.9.2 Okruh č. 2 ... 76
4.10 Porovnání tras ... 78

5 Diskuze 80

6 Závěr 84

7 Literatura 86

A Intenzita dopravy na dálnicích a silnicích I. třídy v ČR v roce 2010 91

B Rozmístění sítě zmrzlinových stánků v ČR 92

C Rozmístění sítě zmrzlinových stánků na Slovensku 93

D Seznam prodejních stánků + sklad 94

E Města zásobovaná 2x týdně (kg směsí) 96

F Města zásobovaná 3x týdně (kg směsí) 97

G Rozdělení sítě zmrzlinových stánků na 2 okruhy 99

H Souřadnice k městům z okruhu č. 1 100

I Výpočet optimálního umístění nového skladu 101

Seznam obrázků

Obr. 1 Členění logistiky dle Sixty 17

Obr. 2 Struktura dat pro práci s OpenRefinem 43

Obr. 3 OpenRefine – přidání nového sloupce, jenž je založen na konkrétní URL adrese 44

Obr. 4 OpenRefine – sloupec Json 45

Obr. 5 OpenRefine – přidání nového sloupce, jenž je založen na sloupci Json 45

Obr. 6 OpenRefine – vygenerování hodnot o dojezdovém čase a dojezdové vzdálenosti 46

Obr. 7 Řešení úlohy v programu STORM 63

Obr. 8 Řešení úlohy v programu LINGO 65

Obr. 9 Místo pro umístění nového distribučního skladu na území Čech 74

Obr. 10 Skladové prostory v Mělníku 75

Seznam tabulek

Tab. 1 Skladba logistických nákladů 18

Tab. 2 Model dopravního problému zapsaný v tabulce 25

Tab. 3 Vstupní hodnoty zapsané v tabulce 48

Tab. 4 Charakteristika jednotlivých tras 51

Tab. 5 Ukázka části matice vzdáleností 54

Tab. 6 Komplexní charakteristika optimalizovaných tras (verze I) 56

Tab. 7 Porovnání původní a nově vytvořené trasy číslo 1 (verze I) 57

Tab. 8 Kilometrová náročnost původních a nově vytvořených tras (verze I) 57

Tab. 9 Komplexní charakteristika optimalizovaných tras (verze II) 61

Tab. 10 Kilometrová náročnost původních a nově vytvořených tras (verze II) 62

Tab. 11 Porovnání optimalizace rozvozových tras verze II ze softwaru STORM a LINGO 65

Tab. 12 Littlova metoda – matice vzdáleností v km 68

Tab. 13 První krok Littlovy metody 69

Tab. 14 Druhý krok Littlovy metody 70

Tab. 15 Třetí krok Littlovy metody 71

Tab. 16 Komplexní charakteristika rozvozových tras (okruh č. 1 a okruh č. 2) 77

Tab. 17 Kilometrová náročnost optimalizovaných tras verze II a optimalizovaných tras okruhu č. 1 a 2 78

Seznam příloh

A	**Intenzita dopravy na dálnicích a silnicích I. třídy v ČR v roce 2010**	**91**
B	**Rozmístění sítě zmrzlinových stánků v ČR**	**92**
C	**Rozmístění sítě zmrzlinových stánků na Slovensku**	**93**
D	**Seznam prodejních stánků + sklad**	**94**
E	**Města zásobovaná 2x týdně (kg směsí)**	**96**
F	**Města zásobovaná 3x týdně (kg směsí)**	**97**
G	**Rozdělení sítě zmrzlinových stánků na 2 okruhy**	**99**
H	**Souřadnice k městům z okruhu č. 1**	**100**
I	**Výpočet optimálního umístění nového skladu**	**101**

Volná příloha na CD - matice vzdáleností a matice časová pro sklad v Brně, matice vzdáleností a matice časová pro sklad v Mělníku

1 Úvod práce

Snahou každého podniku je být na trhu úspěšný, být krok před konkurencí a stát se tak jedničkou na trhu. Tato vize je velice pěkná a motivující, ovšem v praxi nepřichází jen tak z ničeho nic. Pro to, aby byl podnik úspěšný, musí učinit řadu rozhodnutí, přičemž každé rozhodnutí je spojeno s určitým rizikem, které podnik musí brát v potaz. Podnik by se měl v co nejvyšší míře zaměřit na uspokojování potřeb svých zákazníků, které se neustále mění a které jsou čím dál náročnější. Měl by také dbát na vhodné personální obsazení důležitých pozic ve firmě a v neposlední řadě by se měl snažit o minimalizaci celkových nákladů.

Do celkových nákladů společnosti se mimo jiné zařazují také náklady související s logistickými procesy. Kubíčková (2006) uvádí, že je potřeba se postarat o to, aby požadované zboží bylo k dispozici ve správném množství, na správném místě a současně také ve správném okamžiku, přičemž je třeba brát v potaz, aby bylo vynaloženo přiměřené množství nákladů.

Distribuce zboží, jakožto jedna z hlavních složek logistických procesů, je finančně poměrně nákladná část logistiky. Je to zapříčiněno tím, že cena pohonných hmot se v České republice neustále mění a její vývoj je velice těžko předvídatelný. Pokud má podnik nesprávně zvolenou distribuční síť, mohou mu velice snadno a rychle vzrůst celkové náklady, což se potom negativně odrazí ve výši zisku.

Mnoho podniků vychází při sestavení distribuční sítě z vlastní intuice, kdy jednotlivé trasy volí na základě vlastního uvážení a zkušeností vedení nebo řidičů, či za pomoci GPS navigace. Tato distribuční síť je v mnoha případech neoptimální a může přinášet podniku zbytečně vysoké náklady. Je tedy třeba dbát na její efektivní sestavení a na pravidelnou aktualizaci, díky které se podniku minimalizují náklady a on tak může dosáhnout vyššího zisku či větší konkurenceschopnosti.

Problematika distribuce zboží velice úzce souvisí s dopravními úlohami, k jejichž řešení se používají metody lineárního programování spadající do problematiky operačního výzkumu. Tyto metody s přesně daným algoritmem jsou velice jednoduché a snadné na pochopení. Problém přichází tehdy, když má být dopravní úloha řešena pro více odběratelských míst. Ruční výpočet by v tomto případě byl velice časově náročný a vyskytovala by se zde vyšší pravděpodobnost vzniku chyby, která by mohla následně celé optimalizační řešení negativně ovlivnit. Právě z tohoto důvodu jsou ruční metody lineárního programování vhodné pro řešení úloh s menším počtem odběratelských míst. V případě rozsáhlejších úloh se nabízí možnost použít software pro optimalizaci dopravy, díky kterému se celý proces urychlí a je zde také vyloučena nebo alespoň snížena množnost vzniku chyby.

Problematika distribuce zboží a s tím spojené vytvoření optimalizační distribuční sítě se jeví jako snadný úkol, ale ve skutečnosti tomu tak zcela není. V tomto případě je třeba sloučit dva protichůdné jevy, je třeba se zaměřit na minimalizaci nákladů a současně je třeba zajistit co nejvyšší přepravní výkon. Proto by se problematika distribučních sítí neměla v podnicích zanedbávat a měla by jí být věnována určitá pozornost, neboť kvalitní distribuční síť může jednak podniku minimalizovat jeho náklady a dále může posílit jeho konkurenceschopnost.

2 Cíl a metodika práce

2.1 Cíl práce

Tato diplomová práce, jež řeší problém v oblasti logistiky, se zabývá využitím vhodných metod lineárního programování a využitím vhodných počítačových programů pro účely vypracování návrhu na efektivní způsob řešení víceokruhového dopravního problému ve společnosti ICE invest spol. s r.o.. Tato společnost se především zaměřuje na provozování sítě zmrzlinových stánků ICY SMILE po České republice a Slovensku (více informací o společnosti je uvedeno v kapitole 4.1), přičemž v této diplomové práci se zaměříme pouze na optimalizaci distribučních tras na území České republiky.

Hlavním cílem práce je sestavení optimálních distribučních tras v souvislosti se snahou o minimalizaci nákladů na distribuci zboží, zde se jedná především o náklady na PHM[1]. Hlavním kritériem optimalizace je tedy počet najetých kilometrů, přičemž se musí respektovat maximální možná doba trvání jízdy, jež nesmí být překročena. Pro tyto účely je potřeba vytvořit jak matici vzdáleností, tak také časovou matici.

Aby bylo možné dosáhnout hlavního cíle, je třeba splnit několik různorodých úkolů. Některé z nich patří mezi dílčí cíle. Kompletní souhrn dílčích cílů práce je následující:

- Sestavení matice vzdáleností a časové matice
- Rozdělení odběratelských míst do jednotlivých tras včetně jejich optimalizace – optimalizace nových rozvozových tras = optimalizace 1
- Navržení optimálního umístění dalšího distribučního centra na území Čech
- Rozdělení odběratelských míst do dvou okruhů (jeden okruh zásobován ze skladu v Brně a druhý okruh zásobován z nového skladu na území Čech) a v návaznosti na to rozdělení odběratelských míst do nových tras včetně provedení optimalizace těchto nových tras – optimalizace nových rozvozových tras okruhu č. 1 a 2 = optimalizace 2
- Porovnání optimalizované distribuční sítě s původním řešením, případně s jiným optimalizovaným řešením (předpokladem jsou dvě různá řešení optimalizovaných tras – již zmíněná optimalizace 1 a 2) a vyčíslení úspory nákladů
- Výčet okolností, které musí být řešeny a brány v potaz při vybudování nového distribučního centra

[1] PHM – zkratka označující pohonné hmoty

2.2 Metodika práce

Práce je rozdělena na dvě části, na teoretickou a praktickou. V teoretické části jsou v rámci literárního přehledu vymezeny základní pojmy ke zkoumané oblasti, jako např. logistika, operační výzkum, lineární programování apod. Výrazná část teoretické práce se zabývá výčtem a popisem metod a počítačových programů, pomocí kterých lze řešit právě okružní problém, jenž je jádrem této práce. Další část práce je věnována problematice optimálního umístění nového objektu. Závěr teoretické části pojednává o programu OpenRefine, pomocí kterého je v praktické části práce vytvořena matice vzdáleností a matice časová.

V úvodu praktické části je uvedena stručná charakteristika podniku a současné řešení distribuční sítě. Dále je popsáno zpracování získaných dat, v této části jde o to převést si data do matice vzdáleností a do časové matice.

Následně se již přechází k samotné optimalizaci distribuční sítě. Pomocí Mayerovy metody jsou odběratelská místa rozdělena do jednotlivých tras. K finálnímu uspořádání odběratelských míst v rámci jednotlivých tras se dospívá pomocí vhodně zvolené metody lineárního programování nebo za pomoci vhodného počítačového programu.

Vzhledem k dosavadnímu rozmístění prodejních stánků po celé České republice a vzhledem k sídlu distribučního skladu v Brně, které se jeví jako neefektivní pro rozvoz zboží do Čech, se v další části práce navrhuje optimální umístění dalšího (tj. nového) distribučního skladu na území Čech, který by zajišťoval právě rozvoz zboží na tomto území. Po výpočtu souřadnic definující umístění nového distribučního skladu se přechází na rozdělení prodejních stánků do dvou okruhů, přičemž jeden okruh je zásobován z dosavadního distribučního skladu v Brně a druhý okruh je zásobován z nového distribučního skladu. Pomocí Mayerovy metody jsou prodejní místa opět rozdělena do jednotlivých tras a následně je provedena jejich optimalizace pomocí počítačového programu.

V praktické části se využívá taktéž metoda komparace, která spočívá v porovnání optimalizovaných tras buďto s původním řešením nebo s jinými optimalizovanými trasami, neboť se v práci předpokládá dospění ke dvěma různým řešením, tedy k vytvoření dvou různých optimalizovaných tras. Jedna optimalizovaná podoba tras bude obsluhována pouze z distribučního skladu v Brně a druhá optimalizovaná podoba tras bude obsluhována jednak z již zmíněného distribučního skladu v Brně, ale také z nově určeného distribučního skladu na území Čech.

Součástí práce je rovněž vyčíslení úspor nákladů na dopravu, tedy nákladů na PHM, související vždy s navrženou optimalizací distribučních tras vůči původnímu řešení či jinému optimalizovanému řešení.

3 Literární přehled

3.1 Logistika

3.1.1 Význam slova a vývoj logistiky

Původ samotného výrazu logistika není dle nejrůznějších autorů zcela jasný a jednoznačný. Kubíčková (2006, s. 4) uvádí, že je tento pojem zřejmě odvozen z řeckého logistikon, což znamená důmysl či rozum. Podle Sixty a Mačáta (2005, s. 16) lze původ slova logistiky odvodit z řeckého logos, což představuje slovo, řeč, rozum či počítání.

Sixta a Mačát (2005, s. 15) taktéž uvádějí, že logistika je velmi staré slovo, které v průběhu doby nabývalo různých významů. V naučných slovnících se můžeme dočíst, že pod pojmem logistika si lze představit např. praktické počítání číslicemi či matematickou a symbolickou logiku. V současné době již však není toto pojetí logistiky tak běžné.

Sixta a Mačát (2005, s. 16 - 17) se shodují s Kubíčkovou (2006, s. 4) v tom, že logistika našla velké uplatnění ve vojenství, a to již od 9. století, nejvíce potom během druhé světové války. Náplň logistiky podle těchto autorů spočívala v pohybech vojsk a materiálu a taktéž v ubytování vojsk a jednalo se především o to, aby se daný objekt, ať už vojsko nebo materiál, nacházelo na potřebném místě v potřebném čase.

Dle výše zmíněných autorů se uplatnění logistiky ve vojenství po druhé světové válce taktéž rozšířilo do civilní sféry, ve které se řešily analogické problémy jako ve vojenství. Došlo tak ke zrodu hospodářské logistiky s řadou účelových aplikací. Nejčastěji se v současné době setkáváme s podnikovou logistikou.

Příčin k uplatnění logistiky v hospodářské sféře byla dle Drahotského a Řezníčka (2003, s. 2) celá řada. Týkaly se především problematiky spojené s optimálním množstvím produkce a rozmístěním skladů. Vyskytovaly se stále složitější výrobní a distribuční procesy, kterým musela být věnována patřičná pozornost a bylo potřeba zajistit plynulou a efektivní návaznost těchto jednotlivých procesů. Stále náročnější požadavky na dopravu a s tím související náklady na dopravu jsou také jedním z důvodu, proč bylo potřeba začít řešit logistiku v hospodářské sféře.

Ve svém vývoji podle Sixty a Mačáta (2005, s. 29) prošla logistika v hospodářské sféře čtyřmi následujícími fázemi:

- První fáze vývoje – tato fáze se orientovala pouze na distribuci.
- Druhá fáze vývoje – tato fáze se rozšířila již také na zásobování. Byl zde řešen především problém nadbytečných zásob, a to pomocí matematických optimalizačních metod, matematicko-statistických metod a metod predikcí.
- Třetí fáze vývoje – tato fáze se zaměřovala na tzv. integrovanou logistiku, ve které šlo především o prosazování ucelených logistických řetězců a o systémy propojení mezi jednotlivými dodavateli a koncovými zákazníky.

- Čtvrtá fáze vývoje – tato fáze vývoje představuje zatím neukončenou fázi, ve které se klade za cíl optimalizovat integrované logistické systémy.

3.1.2 Definice logistiky

Šířka a pojetí pojmu logistika se liší v různých oblastech a u různých autorů. Neexistuje jednoznačně daná a jednotně vymezená definice logistiky, ba naopak jich existuje celá řada. (Kubíčková, 2006, s. 3)

Dle Evropské logistické asociace logistika představuje *„Organizace, plánování, řízení a výkon toků zboží vývojem a nákupem počínaje, výrobou a distribucí podle objednávky finálního zákazníka konče tak, aby byly splněny požadavky trhu při minimálních nákladech a minimálních kapitálových výdajích.“* (Sixta a Mačát, 2005, s. 23)

Získal a Havlíček (1999, s. 58) definují logistiku jako *„systémovou vědeckou disciplínu zabývající se řešením, koordinací a synchronizací řetězů hmotných a nehmotných (tj. informačních, peněžních) operací, jež vznikají jako důsledek dělby práce a jež jsou spojeny s výrobou a s oběhem určité finální produkce.“*

Zjednodušeně a stručně by se dalo říci, že hlavním úkolem logistiky je *„zajistit správné materiály na správném místě, ve správném čase, v požadované kvalitě, s příslušnými informacemi a s odpovídajícím finančním* dopadem*.“* (Kubíčková, 2006, s. 4)

Autorka práce se nejvíce ztotožňuje s poslední uvedenou definicí podle Kubíčkové, protože ta podle ní komplexně, jednoduše a jasně vymezuje problém logistiky.

3.1.3 Vývojové trendy ovlivňující rozvoj logistiky

Sixta a Mačát (2005, s. 25 – 26) uvádějí dva světově významné vývojové trendy, které ovlivňují rozvoj logistiky:

Prudký nárůst světové populace a prohlubující se demografická nerovnováha mezi bohatými a chudými zeměmi

Tento trend souvisí s hospodářským růstem, který bývá často ztotožňován s ukazatelem pokroku. Ukazatel hospodářského růstu je označován za obecný ukazatel síly, s jehož pomocí se posuzuje výkonnost národa a jeho bohatství. Jako hlavní problém se zde jeví právě růst světové populace, kdy k největšímu růstu dochází v nejchudších zemích světa a naopak v rozvinutých zemích dochází k menšímu růstu populace či dokonce ke klesání. Výsledkem je poté zvyšující se disproporce mezi chudšími zeměmi s rychle se rozrůstajícími novými generacemi, kde se bohatství nenalézá a mezi bohatšími zeměmi se stárnoucím obyvatelstvem, kde se bohatství naopak nalézá.

Moderní technologie snižující počet tradičních pracovních míst

Tento trend do značné míry souvisí s předcházejícím trendem v tom smyslu, že stamiliony lidí budou shánět pracovní příležitosti. Do tohoto působení vstoupí nadnárodní společnosti, které se budou snažit o zvýšení podílu na celosvětovém trhu. Pokud bude fungování globálního trhu pro rozvinuté země nevýhodné, tyto země budou tento trh jen obtížně přijímat. Je třeba, aby nová struktura populace změnila režim ekonomické strategie, aby změnila staré, resp. vytvořila nové spotřebitelské trhy.

Sixta a Mačát (2005, s. 26) uvádějí, že pokud chce jakákoliv firma přežít a rozvíjet se v této nové nastupující éře, která je typická výše popsanými trendy, je třeba, aby byla vysoce adaptabilní a aby byla schopna změnit své staré struktury na struktury nové. Staré struktury fungovaly ve většině případů na principu direktivně řízeného hospodářství. Je potřeba, aby nové struktury fungovaly na principu tržního hospodářství, a zároveň je třeba přeskočit tržní ekonomiku starého průmyslového věku a zaměřit se na novou informační éru, která je typická právě pro stávající 21. století.

K vývojovým trendům ovlivňující rozvoj logistiky se vyjadřuje také Kubíčková (2006, s. 7 - 8), která k dané problematice přistupuje z trošku jiného úhlu než Sixta a Mačát. Kubíčková uvádí, že současná logistika představuje největší trend především v podobě zaměření se na individualizaci vztahu k zákazníkovi. Tradiční logistický trojúhelník, který se zaměřuje na tři oblasti, a to na zvýšení kvality, snížení nákladů a zvýšení pružnosti, se díky současnému trendu v oblasti logistiky přeměňuje na logistický čtyřúhelník. Pro logistický čtyřúhelník je kromě tří výše zmíněných oblastí typická také právě individualizace vztahu k zákazníkovi. V důsledku toho se logistika stává tvůrčím procesem, u kterého je třeba jednotlivá logistická řešení přizpůsobovat individuálním zákazníkům.

Pro oblast, kterou se zabývá společnost ICE invest spol. s r. o., je jednak důležité akceptovat logistický trojúhelník, ale taktéž se nesmí opomínat na individualizaci vztahu k zákazníkovi, která nabývá stále větší důležitosti. Je třeba uspokojovat potřeby zákazníků a věnovat se každému zákazníkovi zvlášť, tedy zaměřovat se právě na individualizaci vztahu k zákazníkovi. V důsledku toho by se firma měla zaměřovat na již výše zmíněný logistický čtyřúhelník.

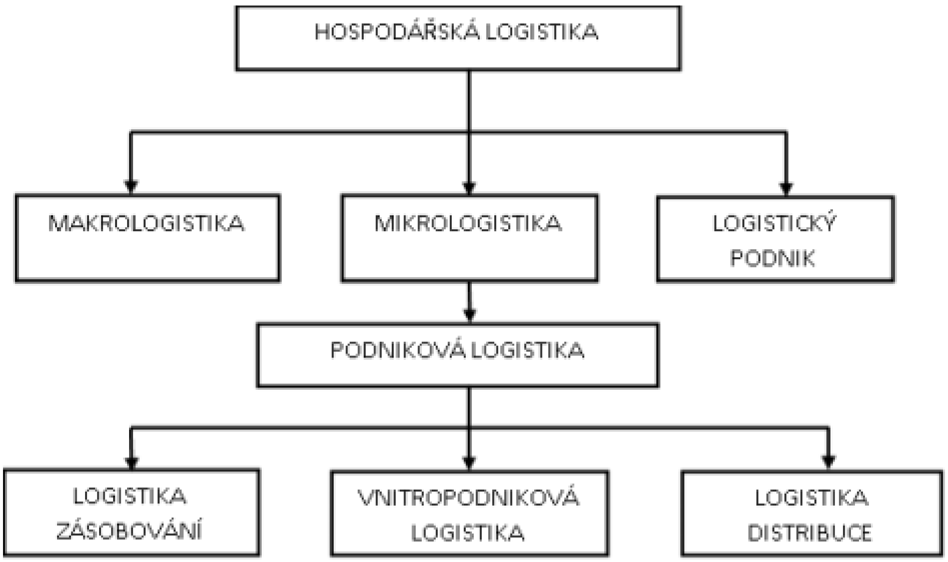
3.1.4 Členění logistiky

Podle oblasti působení dělí Získal a Havlíček (1999, s. 59 – 60) logistiku následovně:

- Makrologistika – orientuje se na řešení ucelených souborů logistických řetězců na území rozsáhlejšího celku, např. státu.
- Mikrologistika - zaměřuje se na jednotlivé logistické řetězce pouze uvnitř jednotlivých podniků.
- Obchodní logistika – zabývá se logistickými řetězci, které jsou pro podnik důležité z hlediska jeho obchodní činnosti.

- Dopravní a zasilatelská logistika – orientuje se na koordinování, synchronizování a optimalizování pohybů zásilek po dopravní síti od místa vstupu až po místo výstupu, tedy až k příjemci.

Logistika se dle Sixty a Mačáta (2005, s. 46 a 50) rozkládá na makrologistiku, mikrologistiku a logistický podnik. Logistický podnik, dříve označován jako metalogistika, je označení pro logistiku zabývající se oblastí dodavatelsko-odběratelských řetězců. Mikrologistika je chápána jako podniková logistika a dělí se na logistiku zásobování, vnitropodnikovou logistiku a logistiku distribuce. Logistika zásobování se zaměřuje na nákup nejen základního a pomocného materiálu, ale také na nákup polotovarů a dílčích výrobků od subdodavatelů. Vnitropodniková logistika se orientuje na řízení toku materiálu uvnitř podniku a logistika distribuce se zabývá dodávkami výrobků konečným zákazníkům. Výše zmíněné členění logistiky si můžeme souhrnně prohlédnout níže na obrázku č. 1.



Obr. 1 Členění logistiky dle Sixty
Zdroj: Sixta a Mačát (2005, s. 46)

3.1.5 Dopravní logistika

Pro účely této práce je důležitá právě dopravní logistika, kterou si v této kapitole více specifikujeme a přiblížíme.

Dopravní logistika se podle Ziskala a Havlíčka (1999, s. 60) *„zabývá koordinací, synchronizací a celkovou optimalizací všech hmotných i nehmotných procesů při pohybu zásilek v dopravní síti,"* přičemž velice důležitým a klíčovým článkem v celém dopravním řetězci je zákazník.

Dle Svobody (2006, s. 9) lze dopravu nejobecněji definovat jako specifickou lidskou činnost, která spočívá v jakémkoliv cílevědomém přemístění osob či hmotných statků a která je provedena za pomoci vlastní síly či síly zprostředkované. Sixta a Mačát (2005, s. 161) dále doplňují, že doprava je záměrná pohybová činnost, jejímž cílem je přemístit právě již zmiňované osoby a hmotné statky za pomoci dopravních prostředků, které se pohybují po dopravních cestách. Sixta a Mačát se také dále shodují se Získalem a Havlíčkem (1999, s. 59) v tom ohledu, že zákazník je klíčovým článkem, neboť podle Sixty a Mačáta (2005, s. 159) hraje včasné a kvalitní dodání výrobků u zákazníků velice důležitou roli a zvyšuje se tak přidaná hodnota pro zákazníka a tím i úroveň zákaznického servisu. Jestliže chce být daná firma na trhu úspěšná, je třeba, aby se orientovala právě na logistické potřeby svých zákazníků, pro které je významná jednak pružnost v poskytování přepravních služeb, ale také problematika související s řešením ztrát či poškozením přepravovaného zboží.

Náklady související s přepravou výrobků tvoří dle Sixty a Mačáta (2005, s. 159) druhou nejdůležitější část ve skladbě logistických nákladů (viz tabulka č. 1) a tím se významně promítají i do ceny výrobků. Je tedy důležité se dopravou a jejími náklady v podniku zabývat a snažit se je určitým způsobem optimalizovat či minimalizovat. Skladbu jednotlivých logistických nákladů máme k dispozici níže v tabulce č. 1.

Tab. 1 Skladba logistických nákladů

Činnosti	**Podíl nákladů v %**
Doprava	29
Balení	12
Administrativa	11
Převzetí a odeslání	8
Zpracování objednávky	6
Skladování, manipulace, správa a údržba	34

Zdroj: Sixta a Mačát (2005, s. 162)

Dopravu můžeme rozdělit na pět základních druhů, kterými jsou doprava silniční, železniční, vodní, letecká a potrubní. Vzhledem k zaměření práce se budeme dále věnovat pouze silniční dopravě včetně jejich předností a nedostatků.

Dle Stodoly aj. (2007, s. 78) je u nás silniční doprava nejrozšířenějším druhem dopravy, a to hlavně díky její flexibilitě a hustotě silniční sítě. Je charakterizována tzv. door to door, neboli z domu do domu, což znamená, že umožňuje přepravovat zboží téměř z jakéhokoliv místa původu do jakéhokoliv místa určení. Sixta a Mačát (2005, s. 167) uvádějí jako přednosti silniční dopravy hlavně její rychlost, spolehlivost a schopnost zabezpečit přímou přepravu. Hlavní nedostatky vidí ve značné závislosti na počasí, v dopravních kongescích a velké nehodovosti a také v negativním vlivu na životní prostředí.

K negativům se vyjadřují také Stodola aj. (2007, s. 78), kteří uvádějí, že v ČR a vůbec po celém světě dochází k enormnímu nárůstu kamionové přepravy a tím i k nárůstu nehodovosti na silnicích a dálnicích. To má poté za následek mnohahodinová zablokování provozu a uváznutí vozidel v kolonách, čímž dochází ke kolapsu v dopravě. Zmínění autoři se také vyjadřují k nutnosti dobudovávat, rekonstruovat a modernizovat vlastní kapacitní dálniční sítě a doplňovat je o sítě rychlostních silnic tak, aby kapacitně vyhovovaly i potřebám v budoucnu, s čímž do jisté míry souvisí také intenzita silniční dopravy[2]. Tito autoři se také dále zaměřují na problematiku výstavby obchvatů a tunelů v územích, které prochází zastavěnými plochami za účelem zlepšení životního prostředí obyvatel.

3.2 Operační výzkum

Vedle logistiky, kterou jsme se zabývali v kapitole 3.1, našly metody operačního výzkumu rovněž uplatnění ve vojenství, především se jednalo o využití v řízení vojenských operací během druhé světové války. Metody operačního výzkumu byly kromě ryze vojenských problémů používány též pro řešení problémů s ekonomickým a organizačním charakterem, zde máme na mysli např. dopravní úlohy. Úspěšné využívání a uplatnění metod ve výše zmíněných oblastech během řízení vojenských operací mělo za následek to, že se metody operačního výzkumu začaly v poválečném období prosazovat také v civilní sféře. V roce 1957 došlo k založení IFORS[3], jejímiž členy je většina existujících národních společností. (Dudorkin, 1997, s. 5)

Dudorkin (1997, s. 5) pod pojmem operační výzkum rozumí vědeckou disciplínu, která se orientuje nejen na zkoumání operací v organizačních jednotkách, ale která je rovněž charakterizována systémovým přístupem, konstrukcí a analýzou matematických modelů, týmovou prací při studiu operací, orientací na procesy rozhodování a využíváním výpočetní techniky. Jejím cílem je stanovit závěry a doporučení sloužící jako podklad pro co nejlepší řízení zkoumaných operací, přičemž operací rozumí posloupnost vzájemně závislých a provázaných akcí, které spějí ke konkrétnímu cíli.

Jablonský (2002, s. 9 - 10) obecně operační výzkum definuje jako prostředek pro nalezení nejlepšího, resp. optimálního řešení daného problému, přičemž je třeba respektovat a brát v potaz celou řadu omezení a kritérií, která mají vliv na fungování celého systému. Operační výzkum je dle něho vědní disciplína, resp. soubor relativně samostatných vědních disciplín, které upínají svou pozornost na analyzování nejrůznějších typů rozhodovacích problémů.

Podstatou operačního výzkumu je řešení reálných rozhodovacích procesů, které dle Jablonského (2002, s. 10 – 13) prochází několika na sebe navazujícími fázemi. V prvotní fázi je důležité rozeznat problém uvnitř reálného systému

---

[2] Intenzitou silniční dopravy se zabývá Centrum dopravního výzkumu v Brně, které v horizontu každých pěti let provádí celostátní sčítání dopravy (CSD). Poslední CSD proběhlo v roce 2010 a poskytuje informace o intenzitách automobilové dopravy na dálniční a silniční síti v ČR v roce 2010 a navazuje na výsledky z předchozích CSD. (Celostátní sčítání dopravy, ©2011) Intenzita dopravy je podle Stodoly aj. (2007, s. 78) vyjádřena počtem automobilů, které daným úsekem projedou v horizontu 24 hodin. Na základě zjištěných hodnot jsou plánovány nové úseky komunikací a zkapacitňovány stávající komunikace. Intenzita dopravy na dálnicích a silnicích I. třídy v ČR v roce 2010 je k dispozici v příloze A.

[3] IFORS – zkratka pro Mezinárodní federace společností operačního výzkumu

a definovat ho. Tuto činnost mívají na starosti vedoucí pracovníci, kteří by měli být schopni právě daný problém rozpoznat a začít se jím zabývat. Následuje verbální formulace ekonomického modelu, na základě které je vytvořen model matematický. Poté se přechází k samotnému řešení matematického modelu za pomoci vhodně zvolené metody. Poslední, avšak velice důležitý krok, spočívá v interpretaci získaných výsledků a v jejich verifikaci, neboť právě verifikace ověří, zda byl ekonomický a matematický model sestaven vhodně a správně.

Jak je tedy patrné z předešlého odstavce, základním nástrojem operačního výzkumu je matematické modelování, kterým Holoubek (2010, s. 8) rozumí nepřímý způsob poznání. Důvodem a výsledkem provádění modelování je získání modelu, který je abstrakcí reality a účelově a zjednodušeně má vyobrazit významné znaky a vlastnosti zkoumaného objektu a na něm definovaného systému. Plevný a Žižka (2007, s. 13) dále uvádějí, že pojem model vyznačuje určité zobrazení, resp. napodobení reálného systému a je vždy nedokonalým obrazem skutečnosti.

Pro účely operačního výzkumu rozlišujeme již zmíněný model ekonomický a matematický. Ekonomický model Jablonský (2002, s. 11) charakterizuje jako *„zjednodušený popis reálného systému, který obsahuje s ohledem na analyzovaný problém pouze nejpodstatnější prvky a vazby mezi nimi."* Ekonomický model je pouze slovním a numerickým popisem problému, k jehož vyřešení je důležité ekonomický model určitým způsobem formalizovat, tedy ho převést na matematický model. Ten lze následně vyřešit za pomoci jednotlivých standardních postupů. Rais (2007, str. 11) dále doplňuje, že matematický model je pouze obdobnou podobou modelu ekonomického. To lze podle něj chápat tak, že každý prvek, který je obsažen v ekonomickém modelu zcela explicitně navazuje na určitý prvek modelu matematického a naopak.

Jablonský (2002, s. 13 – 17) uvádí, že modely operačního výzkumu jsou velice různorodé a každý z nich je používán k řešení určitého typu problému. V souvislosti s tímto faktem je operační výzkum dělen do následujících samostatných disciplín či odvětví:

- Matematické programování
- Vícekriteriální rozhodování
- Teorie grafů
- Teorie zásob
- Teorie hromadné obsluhy
- Modely obnovy
- Markovovy rozhodovací procesy
- Teorie her
- Simulace

Do matematického programování spadají úlohy lineárního a nelineárního programování. Jelikož se v této práci budeme zabývat uplatněním metod právě lineárního programování, tak si tuto problematiku více přiblížíme v následující kapitole.

3.3 Lineární programování

Jak bylo uvedeno výše, lineární programování spadá do matematického programování, které je jednou z hlavních disciplín operačního výzkumu. Termín lineární programování je složen ze dvou slov, přičemž slovo lineární symbolizuje skutečnost, že všechny vazby v modelu mají lineární podobu, tzn., že všechny matematické funkce představují v modelu funkce lineární. Slovo programování je zde chápáno jako plánování či vytváření programů budoucího vývoje. Souhrnně lze tedy říci, že lineární programování je *„prostředkem pro plánování realizace určitých procesů (činností), který zabezpečuje dosažení optimálního výsledku ve vztahu k definovanému cíli."* (Jablonský, 2002, s. 19)

Dle Raise (2007, str. 9) lze lineární programování obecně chápat jako matematickou techniku, jejímž cílem je řešit složité problémy, které mají velkou řadu zajímavých ekonomických a technických aplikací. Dolejšová (2011, str. 59) dále zmiňuje, že lineární programování je založeno na technice modelování (což je uvedeno již v předchozí kapitole 3.2), pro kterou je důležité vyjádřit si jednotlivé ekonomické jevy a procesy. Tato autorka dále uvádí, že lineární programování obsahuje zvláštní pravidla týkající se toho, jak jednak snížit velké množství možností, ale také toho, jak se dostat z méně příznivého řešení na řešení lepší, resp. optimální.

Plevný a Žižka (2007, s. 28 – 29) uvádějí, že pro matematický model je důležité definovat a formulovat určité proměnné, omezení a kritéria.

- Definování rozhodovacích proměnných – Proměnné představují v modelu číselné hodnoty, které chceme vyřešením úlohy získat. Je důležité si uvědomit, jaké všechny číselné hodnoty budeme potřebovat znát, abychom mohli danou úlohu označit za vyřešenou. Následně bude každá z těchto požadovaných, avšak doposud neznámých číselných hodnot zastoupena právě jednou proměnnou.
- Formulování všech omezení úlohy – Při formulování jednotlivých omezení úlohy je důležité si uvědomit čím a jak jsme při hledání našeho optimálního řešení v dané úloze omezeni a tato omezení je potřeba akceptovat.
- Formulování kriteriální funkce – Formulování kriteriální neboli účelové funkce odráží cíl celé úlohy. Účelová funkce může být maximalizační (např. u zisku, produktivity, objemu výroby), ale také minimalizační (např. u nákladů, spotřeby materiálu) a je měřítkem kvality, resp. efektivnosti daného řešení.

Luenberger a Ye (2015, str. 11) uvádějí, že v úlohách lineárního programování jsou cílové funkce lineární v neznámých a omezení úlohy jsou ve formě lineárních rovnic či nerovnic. Přesná forma a počet omezení se samozřejmě v jednotlivých úlohách liší, nicméně každou úlohu lineárního programování lze zapsat obecně ve stejném tvaru.

Obecný tvar lineárního matematického modelu má dle Holoubka (2010, s. 11) v rozepsané formě následující podobu:

$$z_{extr} = c_1x_1 + c_2x_2 + \ldots + c_nx_n \tag{3.1}$$

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{1n}x_n &\geq\leq b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{2n}x_n &\geq\leq b_2 \\ \ldots \quad \ldots & \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + a_{mn}x_n &\geq\leq b_m \end{aligned} \tag{3.2}$$

$$x_{1,}x_2, \ldots, x_n \geq 0 \tag{3.3}$$

V sumační formě zápisu vypadá lineární matematický model dle Holoubka (2010, s. 12) následovně:

$$z_{extr} = \sum_{j=1}^{n} c_j x_j \tag{3.4}$$

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j \geq\leq b_i \qquad (i = 1,2,\ldots,m) \tag{3.5}$$

$$x_j \geq 0 \qquad (j = 1,2,\ldots,n) \tag{3.6}$$

Vztahy 3.1 a 3.4 představují lineární polynom a označují se jako kriteriální či účelová funkce. Vztahy 3.2 a 3.5 značí soustavu lineárních rovnic a nerovnic a je pro ně používáno označení vlastní omezující podmínky či omezení úlohy. Vztahy 3.3 a 3.5 vyjadřují tzv. podmínky nezápornosti.

Použité symboly Holoubek (2010, s. 12) označuje následovně a Gros (2003, s. 124 – 125) k nim přikládá přiložené příklady:

- c_j - koeficient účelové funkce, jedná se např. o ceny výrobků, pracnost, produkce, variabilní náklady na jednotku produkce apod.
- x_j – strukturní proměnná, jedná se např. o objemy produkce jednotlivých výrobků, přepravovaná množství zboží, trvání činností optimalizovaného projektu apod.
- a_{ij} – strukturní koeficient, jehož hodnota se obvykle při získání jednotlivých řešení nemění, představuje např. měrné spotřeby materiálových a energetických vstupů, výkon strojů, investiční náklady apod.
- b_i – pravá strana vlastní omezující podmínky, vyjadřuje např. kapacitní omezení z hlediska maximálního dosažitelného objemu produkce, omezení disponibilního množství surovin či obalů, požadavky týkající se minimálního objemu produkce apod.
- Hodnoty c_j, a_{ij} a b_i jsou v daném modelu konstantní.

Prostřednictvím lineárního programování se řeší obrovské množství různých úloh. Jablonský (2002, s 26 – 28) tyto úlohy rozděluje do několika níže uvedených kategorií:

- Úlohy výrobního plánování (problém alokace zdrojů)
- Úlohy finančního plánování (optimalizace portfolia)

- Plánování reklamy
- Nutriční problém
- Směšovací problém
- Úloha o dělení materiálu
- Rozvrhování pracovníků
- Distribuční úlohy lineárního programování

V další kapitole se budeme zabývat distribučními úlohami, neboť tato práce se zabývá víceokruhovým dopravním problémem a ten spadá právě do této problematiky.

3.4 Distribuční úlohy lineárního programování

Distribuční úlohy jsou podle Jablonského (2002, s. 91) jednou z nejtypičtějších úloh lineárního programování. Gros (2003, s. 171) dále uvádí, že distribuční úlohy představují jednu z prvních aplikací exaktních metod řízení, které spočívají v relativně snadném řešení a aplikace těchto metod přináší zřetelné úspory nákladů.

Holoubek (2010, s. 16) distribuční úlohu chápe jako problematiku spočívající v zabezpečení přepravy určitého zboží z jednoho místa do druhého místa, přičemž je kladen důraz na minimalizaci dopravní náročnosti, tedy např. minimalizaci počtu najetých km. Musí se brát opět v potaz omezení úlohy, která se v těchto případech rozpadají na dvě skupiny, a to na kapacitní možnosti (např. skladů) a uspokojení požadavků (např. odběratelů).

Mezi hlavní typy distribučních úloh patří dle Jablonského (2002, s. 91) následující úlohy:

- Dopravní problém
- Kontejnerový dopravní problém
- Přiřazovací problém
- Okružní dopravní problém
- Obecný distribuční problém

Stevenson a Ozgur (2007, s. 276) uvádějí, že jisté typy úloh lineárního programování, jako je např. právě dopravní, přiřazovací nebo okružní problém, mohou být místo univerzální simplexové metody, řešeny použitím speciálních a účinných algoritmů. Výhodou je, že tyto algoritmy umožňují získat řešení, jež nejsou tak výpočetně těžká a komplikovaná jako v případě použití simplexové metody. Rais (2007, str. 44) tyto autory dále doplňuje v tom, že velká a jednoznačně nezanedbatelná výhoda těchto algoritmů spočívá právě především v jejich relativně jednoduchých výpočetních postupech.

3.4.1 Dopravní problém

Cílem dopravního problému je dle Holoubka (2010, s. 80) co nejúsporněji přepravit určité množství a druh výrobku od dodavatele až přímo k odběrateli.

Rašovský a Šišláková (1999, s. 109) a Holoubek (2010, s. 80) u tohoto typu úlohy předpokládají dodržení následujících podmínek:

- Přepravovaný výrobek má stejnorodý charakter, neboli je stejného druhu
- K přepravě výrobku je používán jeden druh dopravního prostředku
- Mezi každým dodavatelem a odběratelem je uvažována pouze jedna dopravní cesta
- Kapacity jednotlivých dopravních cest jsou neomezené, a proto po každé dopravní cestě lze převážet libovolné množství výrobku
- Náklady spojené s přepravou přímo úměrně vzrůstají s množstvím přepravovaného výrobku

V dopravní úloze je dáno *m* dodavatelů $D_1, D_2, \ldots, D_m$ a *n* odběratelů $O_1, O_2, \ldots, O_n$. S dodavateli se pojí pojem kapacity dodavatelů, jež se odvíjí např. od kapacity výroby nebo skladů. Výše kapacit jsou předem známy a označují se jako $a_1, a_2, \ldots, a_m$. U odběratelů se řeší jejich požadavky na potřebná množství zboží, která jsou taktéž předem známa a jsou vyjádřena ve stejných měrných jednotkách jako kapacity. Požadavky odběratelů jsou vyjádřeny jako $b_1, b_2, \ldots, b_n$. Náročnost dopravy jedné jednotky zboží, která může být zastupována např. vzdáleností dvou míst či jejich náklady na dopravu, je dopředu taktéž známa a je označována $c_{i,j}$. (Holoubek, 2010, s. 80)

Matematický model v sumační formě dle Holoubka (2010, s. 80 - 81) vypadá následovně:

$$z_{\min} = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} c_{i,j} x_{i,j} \tag{3.7}$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{i,j} \le a_i \qquad (i = 1,2,\ldots,m) \tag{3.8}$$

$$\sum_{i=1}^{m} x_{i,j} = b_j \qquad (j = 1,2,\ldots,n) \tag{3.9}$$

$$x_{i,j} \ge 0 \tag{3.10}$$

Vztah 3.7 představuje účelovou funkci, která má v dopravních úlohách minimalizační charakter. Vztah 3.8 značí omezení na straně dodavatele, tedy že od žádného dodavatele nebude odvezeno více, než činí jeho kapacita. Vztah 3.9 signalizuje omezení na straně odběratele, resp. požadavky odběratele, kde jde o bezezbytkoové naplnění požadavků všech odběratelů. Vztah 3.10 představuje podmínky nezápornosti. (Holoubek, 2010, s. 81)

Jak již bylo uvedeno, cílem daného modelu má být zjištění, kolik zboží má být přepraveno od jednotlivých dodavatelů k jednotlivým odběratelům s důrazem na to, aby náročnost přepravy byla minimální. Zajímá nás velikost proměnných $x_{i,j}$, které značí právě množství přepravovaného zboží mezi určitým dodavatelem a odběratelem. (Holoubek, 2010, s. 80)

Jablonský (2002, s. 93) rozlišuje vyrovnané a nevyrovnané dopravní problémy. Vyrovnaný dopravní problém je charakterizován skutečností, že všechny požadavky odběratelů budou přesně uspokojeny a zároveň všechny kapacity dodavatelů budou vyčerpány. Tento vztah lze zapsat následující rovnicí 3.11:

$$\sum_{i=1}^{m} a_i = \sum_{j=1}^{n} b_j \tag{3.11}$$

Pokud bude ve vztahu 3.11 nerovnost, dostaneme následující nerovnici 3.12:

$$\sum_{i=1}^{m} a_i \neq \sum_{j=1}^{n} b_j \tag{3.12}$$

Nerovnice 3.12 značí nevyrovnaný dopravní problém. Případ, ve kterém jsou kapacity dodavatelů větší než požadavky odběratelů, označujeme jako převis na straně nabídky. Aby se tato úloha stala vyrovnanou, je třeba do modelu doplnit fiktivního odběratele, tzv. fiktivní cílové místo označené jako O_F.

Holoubek (2010, s. 81) uvádí, že matematická forma zápisu se u úloh s velkým počtem dodavatelů a odběratelů nejeví jako příliš vhodná. Proto bývají veškeré informace týkající se dopravního problému často přehledněji zapisovány do tabulky, a to i u úloh s menším počtem dodavatelů a odběratelů. Tento zmíněný model můžeme vidět níže v tabulce č. 2.

Tab. 2 Model dopravního problému zapsaný v tabulce

Odběratelé Dodavatelé	**O_1**	**O_2**	**. . .**	**O_n**	**Kapacity dodavatelů**
D_1	$c_{1,1}$ $x_{1,1}$	$c_{1,2}$ $x_{1,2}$	. . .	$c_{1,n}$ $x_{1,n}$	a_1
D_2	$c_{2,1}$ $x_{2,1}$	$c_{2,2}$ $x_{2,2}$	. . .	$c_{2,n}$ $x_{2,n}$	a_2
. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
D_m	$c_{m,1}$ $x_{m,1}$	$c_{m,1}$ $x_{m,1}$	. . .	$c_{m,n}$ $x_{m,n}$	a_m
Požadavky odběratelů	b_1	b_2	. . .	b_n	$\sum a_i$ $\sum b_j$

Zdroj: Holoubek (2010, s. 81)

3.4.2 Okružní dopravní úlohy

Okružní dopravní problém (TSP[4]) bývá dle mnoha autorů označován také jako problém obchodního cestujícího. Gutin a Punnen (2007, s. 2) zmiňují, že TSP byl v minulosti mezi matematiky a statistiky znám pod různými označeními, např. Karl Menger TSP nazýval jako „messenger problem“, Morton a Land ho označovaly jako „minimum distance problem“. Panuš (2008, str. 16) dále podotýká, že problém obchodního cestujícího představuje jeden z nejslavnějších problémů kombinatorické optimalizace.

Dle Gutina a Punnena (2007, s. 2) je cílem obchodního cestujícího najít takovou cestu, která začíná a končí ve stejném místě a při níž jsou navštívena předepsaná místa právě jednou ve spojitosti s minimální ujetou vzdáleností mezi těmito místy. Stevenson a Ozgur (2007, s. 344) dále uvádějí, že úkolem při řešení úlohy obchodního cestujícího je snažit se nejen o minimalizaci vzdálenosti nebo času mezi jednotlivými navštěvovanými místy, ale také o minimalizaci celkových nákladů souvisejících s dopravou.

Šubrt aj. (2001, s. 37) uvádějí, že *„cílem úlohy je propojit všechna místa okružním spojením, tj. najít takovou posloupnost těchto míst, ve které se každé z nich vyskytuje právě jednou s výjimkou počátečního, které se objeví opět na jejím konci, aby součet sazeb pro jednotlivá spojení v této posloupnosti byl minimální“.*

Dle Panuše (2008, str. 16) je problém obchodního cestujícího definován na *N* městech, přičemž výsledná cesta je reprezentována jako cyklická permutace vycházející právě z těchto *N* měst. Tentýž autor dále zmiňuje, že k vyřešení daného problému je potřeba mít matici vzdáleností, která může být symetrická či asymetrická. V souvislosti s tím rozlišují Stevenson a Ozgur (2007, s. 346) dva typy okružního dopravního problému, a to právě symetrický a asymetrický. Symetrický dopravní problém (STSP[5]) je charakteristický skutečností, že trasa z bodu A do bodu B je stejně dlouhá jako trasa z bodu B do bodu A. Pokud jsou trasy různě dlouhé, jedná se o asymetrický typ okružního dopravního problému (ATSP[6]). Gutin a Punnen (2002, s. 29) zmiňují, že STSP je pouze konkrétním případem ATSP. Tito autoři na s. 117 – 118 dále uvádějí, že existuje mnoho dobrých důvodů k řešení ATSP, neboť mnoho reálných problémů je modelováno právě jako ATSP. Jedná se např. o určení optimálního pořadí práce na strojích či obecně o optimální uspořádání jakéhokoliv souboru úkolů nebo operací. ATSP může být také upraven na STSP, takto upravená matice STSP má však speciální a zvláštní strukturu.

Rašovský a Šišláková (1999, s. 154) formulují matematický model pro okružní dopravní úlohu následovně:

[4] TSP – zkratka odvozena z anglického pojmu traveling salesman problem

[5] STSP – zkratka odvozena z anglického pojmu symmetric traveling salesman problem

[6] ATSP – zkratka odvozena z anglického pojmu asymmetric traveling salesman problem

$$z_{\min} = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} \sum_{k=1}^{n} c_{ij} x_{ijk} \qquad 3.13$$

$$\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} x_{ijk} = 1 \qquad (k = 1,2,\dots,n) \qquad 3.14$$

$$\sum_{j=1}^{n} \sum_{k=1}^{n} x_{ijk} = 1 \qquad (i = 1,2,\dots,n) \qquad 3.15$$

$$\sum_{i=1}^{n} \sum_{k=1}^{n} x_{ijk} = 1 \qquad (j = 1,2,\dots,n) \qquad 3.16$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ijk} = \sum_{j=1}^{n} x_{ijk+1} \qquad (i, j, k = 1,2,\dots,n) \qquad 3.17$$

při k = n je k+1 = 1

$$x_{ijk} = 1(0) \qquad (i, j, k = 1,2,\dots,n) \qquad 3.18$$

Vztah 3.13 představuje účelovou funkci a vztahy 3.14 – 3.18 symbolizují omezení úlohy.

Použité symboly Rašovský a Šišláková (1999, s. 153 – 154) označují následovně, existuje:

- n návštěvních míst
- n kroků trasy, $k = 1, 2, \dots, n$
- c_{ij} představuje vzdálenost mezi návštěvními místy
- x_{ijk} představuje uskutečněnou či neuskutečněnou cestu mezi návštěvními místy i a j v *k-tém* kroku x_{ijk}

Rozhodující proměnná v tomto modelu je podle Stevensona a Ozgura (2007, s. 344) proměnná x_{ijk}, která je bivalentní a může nabývat hodnot 1 a 0. Hodnota 1 značí, že se cesta z místa i do místa j uskuteční. Pokud se naopak cesta z místa i do místa j neuskuteční, bude hodnota proměnné x_{ijk} rovna 0.

Gros (2003, s. 119) zastává názor, že formulovaný matematický model má jen omezené využití, neboť v praxi je třeba respektovat i další omezující podmínky představující např.:

- skutečnost, že v určitém období je třeba s ohledem na omezenou kapacitu přepravních prostředků plánovat více přepravních tras pro větší počet vozidel
- respektování mnohdy striktních požadavků zákazníků týkající se časových intervalů příjezdu vozidel
- omezenou pracovní dobu, jak u zákazníků, tak také u dodavatelů
- akceptování omezeného přístupu určitých typů vozidel k určitým zákazníkům, např. zákaz používání velkokapacitních vozidel v centrech měst

Okružní dopravní problém lze podle Rašovského a Šišlákové (1999, s. 153) aplikovat všude, kde jde třeba řešit rozvoz a svoz určitých produktů. Může jít např. o zásobování prodejen zbožím či o rozvoz materiálu ze skladu na jednotlivé pobočky apod. Tito autoři také dále zmiňují, že se může jednat o okružní jízdy obchodních zástupců, o nejrůznější kontrolní činnosti či o rozvoz pracovníků na pracoviště.

Podle Získala a Havlíčka (1999, s. 67) se okružní problémy objevují v různých modifikacích, a to jako jednookruhové, víceokruhové, s různými kapacitními či časovými a jinými omezeními.

Šubrt aj. (2001, s. 37) uvádějí, že okružní dopravní problém se řadí mezi tzv. NP-úplné problémy, pro které neexistuje žádný efektivní algoritmus nalézající přesné matematické optimum. S rostoucím počtem míst rostou velmi rychle (až exponenciálně) počty omezujících podmínek. U takto rozsáhlých úloh se komplikují výpočty a rostou také doby potřebné pro tyto výpočty. Také Stevenson a Ozgur (2007, s. 346) zmiňují, že problém obchodního cestujícího může být velmi výpočetně zatěžující. V symetrické matici typu *nxn* existuje *(n-1)!* možných cest, které se s přidáním dalšího místa neúměrně rychle zvyšují. Na tento problém se ve své knize taktéž zaměřuje Devlin (2005, str. 131 – 133), který uvádí, že v případě čtyř měst existuje šest různých možností (3!), jak daná města projet. V případě jedenácti měst jsme již na 3628800 různých možnostech, jak daná města projet. Přidání dvanáctého města výsledný počet tras zjedenáctinásobí, třinácté město konečný počet zdvánáctinásobí atd. Vidíme tedy, že přidáním dalšího města se výsledný počet tras opravdu velice rychle zvyšuje. Zde se Devlin (2005, str. 134 – 135) pozastavuje nad návrhem, zda by k výslednému řešení nestačil pouze nějaký přibližný výsledek, neboť kromě přibližných odpovědí a částečných výsledků pro určité konkrétní skupiny měst není známo žádné jiné praktické řešení daného problému. V dnešní době není známa žádná lepší metoda, než je metoda spočívající v ohodnocení všech možných tras a jejich následném porovnání. V případě malého počtu měst je tato metoda možná, ale v případě většího počtu měst se jeví zmíněná metoda již také jako značně neefektivní. Ruční výpočty zde podle Devlina (2005, str. 133) nepřipadají v úvahu, neboť by zabraly až příliš mnoho času, a proto jsou v těchto případech k výpočtům využívány počítače. Problém je ale v tom, že faktoriály narůstají velice rychle. Stačí přidat pár měst navíc a i ten nejvýkonnější počítač bude mít se zpracováním takového množství dat problém.

Jak již bylo zmíněno výše, okružní dopravní problém spadá do NP-úplných úloh, které představují ty nejtěžší a nejnáročnější úlohy z NP. Naproti NP úlohám stojí P úlohy. Problém P vs. NP patří mezi jednu ze sedmi nevyřešených otázek matematiky a je označován jako jeden z problémů tisíciletí či milénia. Tímto problémem se zabývají Carlson aj., (2006, str. 87), kteří uvádějí, že problém P vs. NP spočívá v určení toho, zda každý problém přijatý nedeterministickým algoritmem v polynomiálním čase je také zároveň přijatelný nějakým deterministickým algoritmem v polynomiálním čase. Jak uvádějí Carlson aj. (2006, str. 93), v případě, pokud by se prokázalo, že je nějaký NP problém řešitelný pomocí polynomiálního deterministického algoritmu, znamenalo by to, že všechny nedeterministické polynomiální problémy jsou řešitelné v polynomiálním čase pomocí určitého algoritmu. V takovém případě by se P rovnalo NP. Nicméně dokázat rovnost P a NP, či jejich nerovnost není ve skutečnosti tak jednoduché, jak by se na první pohled mohlo zdát, a právě proto je problém P vs. NP řazen mezi tzv. problémy milénia. (Devlin, 2005, str. 150)

3.5 Metody řešení okružního dopravního problému

V této kapitole se zaměříme na metody řešení okružního dopravního problému. V rámci víceokruhového problému se zaměříme na Mayerovu metodu a na Habrovu metodu. U jednookruhového dopravního problému si představíme metodu větvení a mezí, Vogelovu aproximační metodu, metodu nejbližšího souseda a Littlovu metodu.

3.5.1 Mayerova metoda

Mayerova metoda, označována také jako metoda sestavení okružních jízd výběrem minimálních prvků, se dle Získala a Havlíčka (1999, s. 68) využívá u víceokruhových úloh s úplnou sítí cest a s omezenou kapacitou. K řešení úlohy pomocí Mayerovy metody je třeba mít k dispozici symetrickou matici vzdáleností. Uvnitř matice jsou jednotlivá místa seřazena podle vzdáleností tak, že jako poslední je uvedeno centrální místo, tedy např. sklad a výše od tohoto daného centrálního místa jsou podle vzdáleností řazena ostatní místa. V matici je tedy na prvním místě uvedeno nejvzdálenější místo, následují místa méně vzdálená k centrálnímu skladu a poslední místo v matici patří již zmiňovanému centrálnímu místu.

Získal a Havlíček (1999, s. 38) uvádějí, že řešení pomocí Mayerovy metody spočívá ve dvou krocích. V prvním kroku se vyberou místa pro jednotlivé okružní trasy tak, že do první okružní trasy bude vybráno a zařazeno to místo, které je nejdále od centrálního místa. Nebude-li překročena kapacita vozidla, lze do dané okružní trasy přidat další místo. Další místo bude takové, které má od prvního místa nejmenší vzdálenost. Poté se opět zkontroluje kapacita vozidla, pokud bude kapacita stále nevyužita, přecházíme k výběru dalšího místa, které je opět od daných míst nejméně vzdálené. Následně opět zkontrolujeme kapacitu vozidla a v případě, že kapacita ještě nebude stále naplněna, vybereme do okruhu stejným způsobem jako v předešlých situacích další místo. Takto postupujeme až do té doby, dokud nebude naplněna kapacita celého vozidla. Při vytváření dalších okružních tras postupujeme stejným způsobem jako při tvorbě první okružní trasy.

Druhý krok této metody je zaměřen na řazení míst v jednotlivých okružních trasách na základě intuitivního rozhodování a znalostí člověka. Šubrt aj. (2001, s. 38) uvádějí, že k seřazení míst v jednotlivých okruzích lze použít některou z metod pro řešení jednookruhové úlohy. Taktéž Antošová a Holoubek (2010, s. 9) zdůrazňují, že Mayerova metoda se obvykle používá společně s některou z metod pro řešení jednookruhového dopravního problému.

Mayerovu metodu Antošová a Holoubek (2010, s. 9) vyzdvihují pro její snadnou aplikaci a nenáročné výpočty, její nedostatky naopak vidí v tom, že úlohu nelze vyřešit najednou, nýbrž ve dvou výše zmíněných krocích, a nelze ji využít, pokud máme nesymetrickou matici vzdáleností. Výše uvedené nedostatky lze podle těchto autorů odstranit např. použitím Habrovy frekvenční metody.

3.5.2 Habrova metoda

Pomocí Habrovy metody absolutních výhodností se řeší okružní dopravní problém, přičemž výsledný okruh se vytváří tak, že jsou vypočítány frekvence a do okruhu jsou zařazena taková dvě místa, která odpovídají právě nejvýhodnější frekvenci. Poté se vyhledává nejvýhodnější frekvence pro navazující spojení a tento postup je aplikován do té doby, dokud se celkový okruh neuzavře. (Získal a Havlíček, 1999, s. 70 – 71)

U frekvenční metody jsou podle Získala a Havlíčka (1999, s. 71) základem elementární frekvence, které jsou vyjádřeny jako frekvence pro čtveřici sazeb na základě rozdílu křížového součtu sazeb. Elementární frekvenci lze vypočítat pomocí vztahu 3.19 nebo 3.20:

$$f_{ij} = (c_{ij} + c_{kl}) - (c_{il} + c_{kj}) \tag{3.19}$$

$$f_{ij} = (c_{ij} - c_{kj}) - (c_{il} - c_{kl}) \tag{3.20}$$

Dvojice ve vztahu 3.20 představují řádkové rozdíly sazeb. Z toho plyne, že vzájemné výhodnosti jednotlivých políček lze vyjádřit buď pomocí rozdílu sazeb mezi jednotlivými řádky, nebo pomocí rozdílu sazeb mezi jednotlivými sloupci, přičemž výhodná jsou taková spojení, u kterých je výsledná hodnota frekvencí záporná.

Algoritmus Habrovy metody má podle Získala a Havlíčka (1999, s. 71 – 72) následující kroky:

1. Sestavíme analytické dílčí tabulky řádkových rozdílů sazeb ze základní tabulky vzdáleností.
2. V dílčích tabulkách zjistíme řádková minima a ta zakroužkujeme.
3. Pro tvorbu okruhu vybereme ta spojení, pro která se řádková minima koncentrují do některého sloupce dílčích tabulek.
4. Pokud v dopravní síti neexistují absolutně výhodná spojení, zjistíme všechna absolutně nevýhodná spojení, což jsou ta, která mají maximální počet minim ve sloupci.
5. Z absolutně výhodných spojení vytváříme první úseky okružních tras.
6. Zredukujeme původní dílčí tabulky, a to tak, že z tabulky vyřadíme hodnoty, které jsou již zařazené v okruhu, a vypustíme všechna spojení, jež by mohla způsobit předčasné uzavření okruhu.
7. Ve zbývajících dílčích tabulkách opět vyhledáváme absolutně výhodná a nevýhodná spojení a výše zmíněný postup aplikujeme tak dlouho, dokud není okruh uzavřen.

3.5.3 Metoda větvení a mezí

Metoda větvení a mezí patří mezi tzv. exaktní neboli přesné metody. Podle Raise (2003, s. 63) se jedná o optimalizační metodu, která slouží k nalezení bodu absolutního minima dané účelové funkce na dané konečné množině přípustných řešení. Rais (2003, s. 63) se shoduje s Dudorkinem (1997, s. 48) v tom, že podstata metody větvení a mezí spočívá v principu větvení a v principu odhadu mezí. V případě větvení jde o postupný rozklad množiny přípustných řešení úlohy na řadu vzájemně zpravidla disjunktních podmnožin. Princip odhadu mezí spočívá ve stanovení dolní meze účelové funkce na množině přípustných řešení či na některé její podmnožině.

Při postupném rozkládání množiny mohou podle Raise (2003, s. 63) nastat dva případy. Pokud hodnota účelové funkce nebude větší než dolní mez účelové funkce na ostatních podmnožinách, bude se jednat o optimální řešení úlohy. V opačném případě je potřeba dále rozložit podmnožinu, která má dosud nejmenší nalezenou dolní mez účelové funkce. Postupným rozkladem se může dospět až do situace, ve které bude výsledkem jednoprvková podmnožina obsahující právě jedno přípustné řešení.

V případě maximalizačních úloh by byl postup řešení obdobný, odlišoval by se pouze v tom, že by byly používány místo dolních mezí účelových funkcí meze horní. Postup řešení metodou větvení a mezí se graficky znázorňuje pomocí stromů, jejichž větve představují jednotlivé vytvářené podmnožiny. (Rais, 2003, s. 63)

3.5.4 Vogelova aproximační metoda

Aproximační metody mají dle Rašovského a Šišlákové (1999, s. 120) výhodu v tom, že berou v potaz také velikost koeficientů účelové funkce, resp. vzdálenosti. Proto bývá řešení získané pomocí aproximačních metod velice blízké optimálnímu řešení a takto získané řešení bývá mnohdy považováno za přijatelné a již ho není nutné dále zlepšovat.

Holoubek (2010, s. 86 – 87) uvádí postup této metody v následujících krocích:

1. V každé řadě, tedy v každém řádku a sloupci, vypočítáme diferenci mezi dvěma nejmenšími hodnotami účelové funkce.
2. Vybereme řadu s maximální diferencí a v této řadě najdeme políčko s minimálním koeficientem účelové funkce, které následně obsadíme maximální možnou hodnotou přepravovaného zboží.
3. Pokud obsazené políčko vedlo k vyčerpání kapacity určitého dodavatele, proškrtáme zbývající políčka v příslušném řádku. Vedlo-li obsazené políčko k uspokojení požadavku určitého zákazníka, proškrtáme naopak zbývající políčka v příslušném sloupci. Nastane-li případ, že obsazené políčko vedlo k vyčerpání, jak kapacity, tak požadavku, je třeba proškrtat jak příslušný řádek, tak také sloupec.
4. V takto upravené tabulce vypočítáme znovu diference, přičemž při výpočtu vycházíme pouze z neobsazených a neproškrtaných políček. Následně aplikujeme kroky 2 a 3.

5. Po konečném počtu kroků dospějeme do situace, ve které již nelze počítat diference. Zbývající políčka obsadíme tak, že si postupně nalezneme políčka s nejmenšími hodnotami účelové funkce a ty obsadíme maximálně možnými hodnotami přepravovaného zboží s ohledem na kapacity dodavatelů a požadavky odběratelů.

Holoubek (2010, s. 87) uvádí, že při výpočtu můžeme narazit na situaci, ve které je největší diference stejná u více řad. V takovém případě přednostně obsadíme tu řadu, ve které je políčko s minimální hodnotou účelové funkce. Kdyby bylo ovšem políček se stejnou minimální hodnotou účelové funkce více, poté podle Holoubka obsadíme libovolné z nich. Podle Raise (2003, s. 54) se v takovém případě rozhodneme pro takové políčko, u kterého je součet řádkové a sloupkové diference největší.

Vogelova aproximační metoda představuje podle Raise (2003, s. 54) v praxi zcela postačující a nejčastěji používanou metodu, a to především díky její jednoduchosti, přesnosti a rychlosti nalezeného řešení. Šubrt aj. (2001, s. 37) konstatují, že tato metoda je vhodná nejen pro okružní úlohy, ale taktéž pro jiné distribuční úlohy.

3.5.5 Metoda nejbližšího souseda

Podle Šubrta aj. (2001, s. 38) se jedná o vůbec nejjednodušší metodu používanou pro řešení okružního problému. Princip této metody začíná zvolením výchozího místa, ze kterého následně nalézáme nejvýhodnější spojení do dalšího místa a tento postup aplikujeme až do té doby, dokud neprojedeme všechna místa. Po projetí všech míst se opět vracíme do místa výchozího.

Algoritmus metody nejbližšího souseda by se dal podle Šubrta aj. (2001, s. 38) shrnout do následujících kroků:

1. Zvolíme si výchozí místo a v matici sazeb proškrtáme sloupec, který odpovídá danému místu.
2. Najdeme si řádek, který odpovídá danému místu, a v tomto řádku nalezneme políčko s minimální sazbou. Takto získáme další místo, které máme navštívit.
3. Nalezneme si sloupec s tímto novým místem a proškrtáme jej.
4. Poté opět nalezneme řádek s příslušným místem a v něm najdeme políčko s minimální sazbou. Aplikujeme tedy bod 2 a 3 a to až do té doby, dokud nebudou všechny sloupce proškrtány.
5. V řádku, ve kterém jsme se ocitli naposledy, obsadíme políčko ve sloupci, které odpovídá výchozímu místu. Tak vlastně uzavřeme celý okruh.
6. Následně si zvolíme jiné místo jako výchozí a pomocí kroků 2-5 stanovíme okružní trasu pro toto výchozí místo.
7. V matici sazeb s *n* městy dospějeme do situace, kde budeme mít vytvořených *n* okružních tras. Z těchto tras zvolíme tu nejvýhodnější, tedy tu s nejmenším součtem sazeb.

V případě, pokud má úloha nesymetrickou matici sazeb, je nutné dle Šubrta aj. (2001, s. 38) nalézt pro každé místo také ještě trasu „pozpátku“, která spočívá v tom, že buď proškrtáme řádky a následně hledáme minimální sazby v příslušných sloupcích nebo si převedeme původní matici na transponovanou a aplikujeme na ni původní postup.

3.5.6 Littlova metoda

Littlova metoda je dle Holoubka (2010, s. 106) postavena na využití metody větvení a mezí, ve které se množina všech přípustných řešení stále zmenšuje na dílčí podmnožiny a to až do okamžiku, dokud není nalezeno optimální řešení.

Úlohu je dle Holoubka (2010, s. 106) potřeba mít zapsanou ve čtvercové matici, kde jsou v jednotlivých políčkách zapsány koeficienty účelové funkce, tedy např. délky tras mezi jednotlivými odběrateli. V této matici je možné vyloučit určité druhy tras. V první řadě je nutné zakázat ty trasy, které by z místa *i* vedly zpět přímo do místa *i*. Tato políčka jsou na hlavní diagonále matice a jsou označována symbolem „ – “. Dále je taktéž potřebné vyřadit ty trasy, které by předčasně uzavřely okruh. Tyto trasy jsou označovány symbolem „∞ “.

Algoritmus Littlovy metody podle Rašovského a Šišlákové (1999, s. 154 – 155) vypadá následovně:

1. Ve výchozí matici, ve které máme na hlavní diagonále proškrtaná políčka, provedeme redukci sazeb, resp. koeficientů účelové funkce pomocí transformačních konstant. V každém řádku a sloupci odečteme nejnižší sazbu, resp. transformační konstantu, která se v tom řádku/sloupci nachází tak, abychom v každém řádku a sloupci měli k dispozici alespoň jednu nulovou sazbu.
2. Vypočítáme hodnotu Z_0, o kterou se při odpočtu příslušných transformačních konstant sníží hodnota účelové funkce.

$$Z_0 = \sum_{i=1}^{n} a_i + \sum_{j=1}^{n} b_j \tag{3.21}$$

   kde a_i představuje transformační konstantu pro *i*-tý řádek *(i = 1, 2, …, n)*

   b_j představuje transformační konstantu pro *j*-tý sloupec *(j = 1, 2, …, n)*

3. U všech redukovaných vzdáleností, které jsou rovny nule (c_{ij} = 0), vypočteme hodnoty

$$\phi_{\mathrm{ij}} = c_{i,\min} + c_{j,\min} \tag{3.22}$$

   kde $c_{i,min}$ představuje nejmenší redukovanou vzdálenost pro *i*-tý řádek

   $c_{j,min}$ představuje nejmenší redukovanou vzdálenost pro *j*-tý sloupec

4. Ze všech takto vypočtených *Φ* vyhledáme tu s maximální hodnotou. Platí-li, že $\max \phi_{ij} = \phi_{\max}$ signalizuje to, že cesta z *i*-tého do *j*-tého místa bude zařazena do okruhu. V případě, pokud existuje více maximálních hodnot *Φ*, je lhostejné, která z těchto cest bude do okruhu zařazena dříve.

5. Vypočítáme hodnotu účelové funkce $Z_{\overline{ij}}$ v případě nezařazení cesty do okruhu z *i*-tého do *j*-tého místa

$$Z_{\overline{ij}} = Z_0 + \phi_{\max} \tag{3.23}$$

6. V redukované matici vzdáleností vynecháme *i*-tý řádek a *j*-tý sloupec. Zároveň také vyloučíme vratnou cestu, která by předčasně uzavřela okruh, tedy jízdu z *j*-tého do *i*-tého místa. Jak bylo uvedeno výše, toto pole označíme symbolem „∞ “.
7. Pokud po aplikaci bodu 6 není v každém řádku či sloupci redukované matice vzdáleností alespoň jedna nula, je potřeba provést další redukci matice, a to na základě postupu uvedeného v bodě 1.
8. Byla-li cesta z *i*-tého do *j*-tého místa do okruhu správně zařazena, musí platit

$$Z_{ij} \leq Z_{\overline{ij}} \tag{3.24}$$

   kde Z_{ij} představuje hodnotu předcházející účelové funkce zvětšenou o sumu transformačních konstant a_i a b_j. Velikost transformačních konstant vychází z bodu 7.
9. Celý postup počínaje bodem 3 opakujeme až do té doby, dokud nezískáme redukovanou matici typu 2x2. V takto získané matici jsou dvě ze čtyř cest zakázané, zbývající dvě cesty uzavřou celý okruh a výpočet je ukončen.

Získal a Havlíček (1999, s. 68) u Littlovy metody zmiňují, že je tato metoda vhodná pro vytvoření okružních tras, u kterých se neřeší kapacita vozidel, resp. kapacita vozidel je neomezená.

3.6 Počítačové programy pro zpracování úloh lineárního programování

Všechny metody uvedené v kapitole 3.5 slouží k ručním výpočtům. V dnešní době se dají výpočty samozřejmě provést i za pomoci počítačových programů, které jsou v případě složitých a rozsáhlých úloh nepostradatelné. Holoubek (2010, s. 145) zmiňuje, že praktické problémy mohou obsahovat stovky až tisíce proměnných a vlastních omezení. Právě v tomto případě nepřichází ruční výpočty v úvahu a přichází vhod použití počítačových programů, neboť ty význačně šetří čas a zamezují vzniku numerických chyb.

Podle Holoubka (2010, s. 145) je paleta počítačových programů dosti široká. Existují jednoduché a levné programy, jako např. STORM, který je vhodný pro řešení menších úloh zpravidla s několika desítkami proměnných a omezeními. Za zmínku dále stojí např. programy LINDO a LINGO, které umožňují řešit úlohy s tisíci proměnnými a omezeními, ovšem tyto profesionální programy jsou již výrazně dražší. Jablonský (2002, s. 135) uvádí, že v případě menších úloh lineárního programování může být výpočet proveden taktéž v tabulkovém kalkulátoru MS

Excel. Holoubek (2010, s. 145) ho v tomto doplňuje a konstatuje, že je to možné za pomoci nainstalovaného modulu Solver, neboli řešitel, který je schopen vyřešit úlohy až s 200 proměnnými a 200 omezeními.

3.6.1 STORM

Program STORM je produktem americké firmy Storm Software, Inc. (Holoubek, 2010, s. 145). Podle Laubera a Jablonského (1997a, s. 27) se jedná o programový prostředek, který slouží pro řešení a analýzu úloh z oblasti operačního výzkumu a statistiky.

Lauber a Jablonský (1997a, s. 27) se shodují s Holoubkem (2010, s. 145) v tom, že program je pro uživatele z hlediska ovládání velmi přívětivý a poměrně jednoduchý. Program obsahuje celkem 18 modulů pro řešení konkrétních typů úloh. Úplný přehled modulů s originálním označením včetně překladu uvedeného v závorce je následující:

- Linear & Integer Programming; (Lineární a celočíselné programování)
- Assignment; (Přiřazovací problém)
- Transportation; (Dopravní problém)
- Distance Networks (Paths, Tours, Trees); (Optimalizační úlohy v grafech)
- Flow Networks (Max Flow, Trabshipment); (Toky v síti)
- Project Management (CPM / Pert); (Řízení projektů, CPM / PERT)
- Queueing Analysis; (Teorie front)
- Inventory Management; (Teorie zásob)
- Facility Layout; (Optimální rozmisťování)
- Assembly Line Balancing; (Optimalizace využití výrobních linek)
- Investment Analysis; (Analýza investic)
- Forecasting; (Prognózování)
- Production Scheduling; (Plánování výroby)
- Material Requirements Planning; (Plánování potřeby materiálu)
- Statistical Process Control; (Statistické řízení procesů)
- Statistics; (Statistika)
- Decision Analysis (Single Level); (Rozhodovací analýza)
- Decision Trees (Multiple Level); (Rozhodovací stromy)

Práci uživatele s programem STORM lze podle Laubera a Jablonského (1997a, s. 28 – 33) a podle Holoubka (2010, s. 146) rozdělit do následujících kroků:

1. Spuštění programu
2. MAIN MENU – v hlavním menu zvolíme jeden z výše uvedených osmnácti modulů, se kterým budeme chtít dále pracovat.
3. INPUT – vstupní režim nabízí dvě možnosti získání vstupních dat.
   - Read an existing data file – načíst již existující datový soubor z disku či diskety, přičemž je nutné zadat přesný název souboru a adresáře, ve kterém je uložen. Data musí korespondovat se zvoleným modulem.

- Create a new data set – vytvořit nový datový soubor s vlastními údaji.

4. EDIT – v editačním režimu můžeme vytvářet potřebná data nebo je v existujícím souboru upravovat. Obrazovku editačního režimu lze rozdělit do následujících 4 částí:
   - Oblast pro určení základních parametrů – jedná se o prvních pět řádků na obrazovce, které kromě titulu obsahují také základní parametry pro konkrétní úlohu, např. počet proměnných a omezujících podmínek, typ účelové funkce, počet cílových míst, požadavky cílových míst, charakter matice vzdáleností, počet uzlů a hran sítě, počet obslužných linek, intenzita příchodů požadavků atd.
   - Oblast pro editaci dat – tato část zabírá na obrazovce největší prostor. Po zadání základních parametrů se v této části vytvoří tabulka, která je pro každý modul odlišná. Společné pro všechny moduly jsou pouze skutečnosti, že každý řádek a sloupec má svoji identifikaci, kterou lze měnit a také jsou společné možnosti a způsoby, kterými se lze pohybovat v tabulce. Např. pomocí směrových šipek lze pohybovat s kurzorem ve zvoleném směru; klávesa End posune kurzor na začátek dalšího sloupce atd.
   - Řádek pro vstup dat – představuje předposlední řádek na obrazovce a skládá se ze dvou částí. První část zobrazuje text, který informuje uživatele o tom, jaký údaj je vyžadován na pozici kurzoru v editační tabulce a druhá část je určena pro vlastní vstup požadovaného údaje.
   - Informační řádek – představuje poslední řádek obrazovky, jejímž úkolem je zobrazovat informační a chybová hlášení. Např. zobrazování vypnutí či zapnutí klávesnice CapsLock či NumLock.
5. PROCESS – do režimu zpracování přechází program automaticky, a to v okamžiku, ve kterém má k dispozici všechny potřebné údaje v načteném datovém souboru nebo v nově vytvořeném datovém souboru. V režimu zpracování uživatel může podstoupit čtyři možnosti:
   - Edit the current data set – editace datového souboru spočívá v možnosti návratu do režimu EDIT, ve kterém můžeme upravovat aktuální datový soubor.
   - Save the current data set – uložení aktuálního datového souboru do paměti.
   - Print the current data set – tisk aktuálního datového souboru.
   - Execute the module with the current data set – zpracování aktuálního datového souboru.
6. Zobrazení a interpretace získaných výsledků
7. Ukončení programu

Modul 4 – optimalizační úlohy v grafech

Pro účely této práce se jeví jako vhodný využít modul 4, tedy optimalizační úlohy v grafech. Graf Lauber a Jablonský (1997a, s. 53) chápou jako množinu uzlů a hran, jež spojují tyto uzly, přičemž uzly představují konkrétní reálná místa a hrany jsou spojnicemi mezi těmito uzly. Každá hrana je ohodnocena určitým číslem, které může zastupovat např. vzdálenost v km mezi dvěma uzly.

Příslušný modul umožňuje podle Laubera a Jablonského (1997a, s. 54 – 55) nalézt nejkratší či nejdelší cestu v grafu, řešit úlohy optimálního spojení míst a také řešit úlohy obchodního cestujícího, což odpovídá přesně našemu problému.

Lauber a Jablonský (1997a, s. 55 – 57) uvádějí, že v režimu EDIT v oblasti pro určení základních parametrů úlohy se u úloh v tomto modulu kromě titulku zadává také počet uzlů grafu, maximálně však 40, a charakter matice vzdáleností. Pokud je matice vzdáleností symetrická, lze v tomto případě zadávat pouze prvky z pravé horní trojúhelníkové matice. V případě nesymetrické matice je umožněno zadávat všechny prvky matice s výjimkou prvků hlavní diagonály. Bude-li v určitém políčku zapsána tečka (.), tento fakt signalizuje skutečnost, že mezi dvěma místy neexistuje žádné spojení. Následně můžeme po zadání těchto základních parametrů přejít ke zpracování úlohy. V případě úlohy obchodního cestujícího nám vyskočí tabulka, ze které přesně určíme pořadí míst v okruhu a délku takto získaného okruhu.

3.6.2 LINDO

LINDO je dle Laubera a Jablonského (1997a, s. 149) jeden z nejpoužívanějších a výpočetně nejspolehlivějších optimalizačních systémů. Na stránkách společnosti Lindo Systems, Inc. je uvedeno, že daný systém byl využit již tisíci firmami na celém světě pro účely maximalizace zisku či minimalizace nákladů týkající se rozhodnutí v oblasti plánování výroby, dopravy, financí, kapitálového rozpočtu a dalších. (Lindo Systems Inc., ©2015)

Podle Jablonského (2002, s. 153 – 154) je LINDO profesionální systém, který v maximální verzi umožňuje řešit velice rozsáhlé úlohy až s několika desítkami tisíc proměnných a omezujících podmínek. Daný systém slouží především pro řešení úloh lineárního programování, které mohou být doplněny podmínkami celočíselnosti či bivalentními proměnnými.

Systém LINDO se odlišuje od STORMU svým ovládáním. Jak již bylo uvedeno v kapitole 3.6.2, ovládání systému STORM se provádí pomocí menu. V případě systému LINDO je ovládání systému prováděno využitím příkazů, které se zapisují po znaku „ : “. To také současně uživateli signalizuje skutečnost, že systém očekává nějaký další příkaz. V případě pokud se jako reakce systému objeví znak „ ? “ znamená to, že systém neočekává příkaz, nýbrž data či odpověď yes / no na určitou otázku týkající se toho, zda má být určitá operace provedena či nikoliv. (Lauber a Jablonský, 1997a, s. 149)

3.6.3 LINGO

LINGO je dle Laubera a Jablonského (1997b, s. 71) obdobně jako LINDO produktem firmy Lindo Systems, Inc. Tento systém spadá do systémů na podporu modelování a řeší především lineární a nelineární úlohy a také soustavy lineárních a nelineárních simultánních rovnic. Podobně jako u systému LINDO, tak i zde je možné do úloh doplnit podmínky celočíselnosti či bivalentní proměnné.

Hlavní rozdíl mezi systémy LINDO a LINGO a jinými optimalizačními produkty spočívá v tom, že systém LINGO je charakteristický skutečností, že obsahuje speciální jazyk pro matematické modelování. Uživatel v systému LINGO nejprve zapíše navržený model pomocí tohoto speciálního jazyka, přičemž tento zápis je velice podobný běžnému matematickému zápisu. Uživatel tak dostane obecný model, který se následně spojí s připraveným datovým souborem. V důsledku tohoto spojení vzniká konkrétní model pro zpracování dat v systému LINGO, jehož obecná část se může samozřejmě opakovaně používat pro různé úlohy daného typu. (Lauber a Jablonský, 1997b, s. 72)

3.7 Optimální umístění nového objektu

Problémem optimálního umístění jednoho či více objektů v prostoru vzhledem k jiným objektům se dle Dudorkina (1997, s. 191) zabývají lokalizační úlohy. Volek (2002, s. 68) zmiňuje, že do skupiny lokalizačních úloh řadíme např. rozmístění stanovišť vozidel hasičské či záchranné služby, rozmístění pekáren, skladů apod. a dále třeba rozmístění poštovních úřadů, bankomatů apod.

Získal a Havlíček (1999, s. 78) dále konstatují, že cíl těchto úloh spočívá v tom, aby celkový součet všech vážených vzdáleností mezi jednotlivými dodavateli a sklady měřený na cestách byl minimální, tedy aby byly minimální přepravní náklady.

Úlohami tohoto typu se již roku 1629 zabýval Fermat, který bral v potaz pouze 3 dodavatele, tedy n = 3. Tuto úlohu se třemi body později v roce 1746 graficky vyřešil Torricelli za pomoci tzv. Torricelliho bodu. Úlohu dále v roce 1837 zobecnil Steiner na řešení úlohy pro n bodů, ke které roku 1909 přispěl také Weber, jenž danou úlohu vyřešil pro případ různých „vah" zadaných bodů a zaměřil se také již na ekonomickou interpretaci daného problému. (Dudorkin, 1997, s. 191)

Získal a Havlíček (1999, s. 78) uvádějí matematický model pro Steiner-Weberovu úlohu, která podle nich vychází z klasického dopravního modelu. Jediným rozdílem je zde fakt, že je rozšířena o výpočet a minimalizaci vzdálenosti skladů a dodavatelů. Model úlohy vypadá následovně:

$$z_{\min} = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} z_{i,j} x_{i,j} \tag{3.25}$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{i,j} = a_i \qquad (i = 1,2,\ldots,m) \tag{3.26}$$

$$\sum_{i=1}^{m} x_{i,j} \le b_j \qquad (j = 1,2,\ldots,n) \tag{3.27}$$

$$x_{i,j} \ge 0 \qquad (i = 1,\ldots,m), (j = 1,\ldots,n) \tag{3.28}$$

$$z_{i,j} = \sqrt{(s_{j1} - d_{i1})^2 + (s_{j2} - d_{i2})^2} \; (i = 1,\ldots,m), (j = 1,\ldots,n) \tag{3.29}$$

$$s_{j1} \ge 0, s_{j2} \ge 0 \qquad (i = 1,\ldots,m), (j = 1,\ldots,n) \tag{3.30}$$

Vztah 3.25 představuje účelovou funkci, která je v případě této úlohy minimalizační. Vztahy 3.26 – 3.30 vyjadřují jednotlivé omezující podmínky.

Použité symboly dle Získala a Havlíčka (1999, s. 79) vyjadřují následující:

- x_{ij} – hledané přepravované množství mezi i-tým dodavatelem a j-tým skladem
- a_i – kapacity dodavatelů
- b_j – kapacity skladů
- z_{ij} – vzdušná vzdálenost mezi dodavatelem (d_{i1}, d_{i2}) a skladem (s_{j1}, s_{j2}), tzv. euklidovská vzdálenost

Výše uvedený model je možno řešit pomocí dynamického programování nebo pomocí duální úlohy, která vede na úlohu konvexního programování. Obě dvě zmíněné metody jsou ale dosti výpočetně obtížné. U rozsáhlých úloh jsou tyto výpočetní obtíže tak výrazné, že se obvykle při výpočtech přechází na jiné metody, které jsou jednodušší a zároveň také méně efektivní. Jednou možností je řešení úlohy topologickou metodou, která spočívá ve vyhledávání minimálního stromu v grafu, přičemž výsledné umístění skladu je takové, aby platil níže uvedený vztah 3.31.

$$\sum_{i=1}^{m} a_i \ge \sum_{j=1}^{n} b_j \tag{3.31}$$

Nevýhoda topologické metody se však jeví ve skutečnosti, že sklady lze umístit pouze do jednotlivých uzlů grafu nebo na jednotlivé hrany minimálního stromu, případně pouze do jejich blízkého okolí. (Získal a Havlíček, 1999, s. 79 – 81)

Dudorkin (1997) se ve své knize Operačního výzkumu zabývá také optimálním umístěním. V následujících podkapitolách se zaměříme na umístění jediného a více bodových objektů právě podle tohoto autora.

3.7.1 Umístění jediného bodového objektu

Umístění jediného bodového objektu spočívá v tom, aby do sítě stávajících objektů (např. odběratelů) byl vhodně umístěn jeden objekt (např. sklad).

Existuje *m* stávajících objektů, které představují body $P_1, \ldots, P_m$ o souřadnicích $(a_1, b_1), \ldots, (a_m, b_m)$. Cílem je nalézt umístění nového objektu v bodě *x* o souřadnicích *(x, y)* tak, aby platilo, že celkové dopravní náklady mezi stávajícími objekty a novým objektem budou dosahovat minimální výše. Dále jsou známy měrné náklady w_i *(i = 1, …, m)* od bodu P_i *(i = 1, …, m)* do bodu *x*, které bývají často chápány jako relativní váhy stávajících objektů $P_1, \ldots, P_m$. Nový objekt lze poté umístit do libovolného bodu. (Dudorkin, 1997, s. 191)

Dle Dudorkina (1997, s. 192) vede výše formulovaná úloha na minimalizaci kriteriální funkce

$$f(x) = \sum_{i=1}^{m} w_i \quad d(x, P_i) \qquad ! \text{ MIN} \tag{3.32}$$

kde $d(x, P_i)$ pro *i = 1, …, m* představuje vzdálenost nového objektu *x* od *i*-tého stávajícího objektu P_i.

Při řešení těchto úloh definuje tentýž autor na s. 192 tzv. euklidovské vzdálenosti, které představují délky úseček, jež spojují body *x* a P_i vzdušnou čarou. V případě libovolného umístění nového objektu směřuje lokalizační úloha na určení volného minima následující kriteriální funkce

$$f(x, y) = \sum_{i=1}^{m} w_i \sqrt{(x - a_i)^2 + (y - b_i)^2} \qquad ! \text{ MIN} \tag{3.33}$$

kde výraz uvedený za w_i představuje právě výpočet euklidovské vzdálenosti.

Optimální umístění lze poté podle Dudorkina (1999, s. 194) odvodit v místě těžiště s následujícími souřadnicemi *x, y*:

$$x = \frac{\sum_{i=1}^{m} w_i a_i}{\sum_{i=1}^{m} w_i} \tag{3.34}$$

$$y = \frac{\sum_{i=1}^{m} w_i b_i}{\sum_{i=1}^{m} w_i} \tag{3.35}$$

3.7.2 Umístění více bodových objektů

Formulace této úlohy oproti úloze s umístěním jediného bodového objektu se liší v tom ohledu, že místo umístění jednoho nového objektu je nutno najít nejvhodnější umístění *n* nových objektů v bodech $x_1, x_2, \ldots, x_n$. Vzdálenost $d(x_j, P_i)$ vyjadřuje vzdálenost *j*-tého nového objektu x_j od *i*-tého stávajícího objektu P_i. Měrné náklady $w_{j.i}$ odpovídají nákladům vzniklých mezi body x_j a P_i. V úloze se dále objevují vzdálenosti $d(x_j, x_k)$, které značí vzdálenost mezi *j*-tým a *k*-tým novým objektem s příslušnými odpovídajícími měrnými náklady v_{jk}, *kde j = 1, …, k; k = 1, …, n* a *j < k.* (Dudorkin, 1997, s. 201)

Tentýž autor na s. 202 konstatuje, že v případě pokud mezi novými objekty neexistují žádné vazby, v_{jk} jsou rovny nule a daná úloha se rozpadá na *n* nezávislých úloh týkající se lokalizace jediného objektu.

Ten samý autor na s. 202 zmiňuje, že v případě uvažování euklidovské vzdálenosti je kriteriální funkce pro úlohu s umístěním více bodových objektů v následujícím tvaru:

$$f(x_1,\dots,x_n) = \sum_{1\le j<k\le n} v_{jk}\sqrt{(x_j - x_k)^2 + (y_j - y_k)^2} +$$

$$\sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{m} w_{ji}\sqrt{(x_j - a_i)^2 + (y_j - b_i)^2} \quad \text{! MIN} \qquad (3.36)$$

kde tedy první část rovnice na pravé straně se týká vždy vztahu dvou nových objektů a druhá část rovnice na pravé straně se týká vždy vztahu jednoho nového objektu vůči stávajícímu objektu.

Dudorkin (1999, s. 203) uvádí, že souřadnice pro optimální umístění nových objektů je možno odvodit z nutných podmínek pro existenci extrému a to tak, že první parciální derivace položíme rovny nule. Dostaneme tak soustavu lineárních rovnic, jejichž řešením budou hodnoty x_j (vztah 3.37) a y_j (vztah 3.38). Soustava lineárních rovnic má následující podobu:

$$x_j\left(\sum_{k=1}^{n} v_{jk} + \sum_{i=1}^{m} w_{ji}\right) - \sum_{k=1}^{n} v_{jk}x_k = \sum_{i=1}^{m} w_{ji}a_i \qquad (j = 1,2,\dots,n) \qquad (3.37)$$

$$y_j\left(\sum_{k=1}^{n} v_{jk} + \sum_{i=1}^{m} w_{ji}\right) - \sum_{k=1}^{n} v_{jk}x_k = \sum_{i=1}^{m} w_{ji}b_i \qquad (j = 1,2,\dots,n) \qquad (3.38)$$

kde $v_{jk} \quad pro \ k > j$

$v_{jk} \quad pro \ k \le j \qquad (j,k = 1,\dots n)$

3.8 Omezení na umístění nového objektu

Přechozí kapitola 3.7 se věnovala optimálnímu umístění nového objektu. V praxi ovšem nový objekt nemůžeme umístit kamkoliv, je pochopitelné, že v určitých místech, jako např. národní parky, je zakázáno stavět. Dále je také pochopitelné, že určité stavby můžeme umístit pouze do určitých míst. V souvislosti s touto skutečností musíme při výstavbě nového objektu brát na zřetel tzv. územní plán dané obce.

Územní plán představuje mapu, ve které jsou barevně odlišena jednotlivá území, přičemž tato území plní různou funkci. Může se jednat např. o území pro bydlení, občanské vybavení, výrobní aktivity, veřejnou zeleň apod. Z této mapy poté jednoznačně vyčteme, která místa jsou určena pro jaké stavby, a také je z mapy patrné, která místa jsou již zastavěná a která nikoliv. Územní plán tak představuje velice důležitý dokument pro člověka, jenž zamýšlí na území příslušné obce stavět, neboť z územního plánu plyne, jakou stavební činnost lze na území dané obce realizovat. Územní plán také do jisté míry ovlivňuje ceny pozemků v dané obci a je samozřejmé, že každá stavba, ať už vybudovaná či zamýšlená, musí být v souladu s územním plánem. Územní plány schvalují příslušná zastupitelstva obcí či zastupitelstva krajů a jsou veřejně přístupná na příslušném obecním či krajském úřadě, u příslušného stavebního úřadu, u orgánu územního plánování a případně také na internetových stránkách dané obce či kraje. (Městys Drnholec, ©2011)

Terminologicky územní plánování podle Marka a Průchy (2011, str. 33) představuje *„souhrn opatření směřujících k vytváření předpokladů pro udržitelný rozvoj území, s ohledem na možnosti a meze nakládání s územím a jeho účelného využívání, a v tomto smyslu potom směřující k cílené regulaci takového nakládání a využívání.“* Stávající právní úprava územního plánování je podle již zmíněného autora obsažena především v samotném stavebním zákoně, Zákon č. 183/2006 Sb. (část třetí) a dále také v navazujících prováděcích předpisech.

Zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon) vstoupil dle Lalíka (2011, str. 10) v platnost dne 1. 1. 2007. Tento stavební zákon změnil podstatným způsobem dosavadní řád týkající se povolování staveb.

Stavební zákon má celkem 198 ustanovení, která jsou rozdělena do sedmi částí, přičemž nejdůležitější a nejpodstatnější je část čtvrtá, která se vztahuje ke stavebnímu řádu. V této části nalezneme např. paragraf vztahující se ke stavbám, jež vyžadují ohlášení stavebnímu úřadu, dále paragraf, který uvádí výčet staveb, které nevyžadují ohlášení stavebnímu úřadu ani stavební povolení. Dále zde nalezneme paragrafy týkající se ohlášení staveb, změny stavby před jejím dokončením, předčasného užívání stavby, povinnosti stavebníka a mnoho dalších, které je třeba samozřejmě znát a dodržovat je. (Portál veřejné správy, © 2016)

Lalík (2011, str. 19 - 22) uvádí, že ještě před tím, než půjdeme na stavební úřad pro vyžádání povolení ke stavbě, je třeba přesně vědět, o jakou stavbu se bude jednat a jaké bude mít parametry. Musíme např. jednoznačně vědět, k jakému účelu stavba poslouží, zda bude jednopodlažní či vícepodlažní, z jakého materiálu bude vybudována, jaká bude její půdorysná plocha v m^2, na jakém pozemku bude stavba umístěna apod. V těchto záležitostech je třeba mít jasno a je třeba je sdělit stavebnímu úřadu, který na základě těchto informací a za pomoci stavebního zákona rozhodne, v jakém režimu bude pro danou stavbu vydáno povolení a také posoudí, zda stavba splňuje veškeré zákonem stanovené požadavky.

3.9 Datové vstupy

V praktické části je k vytváření jednotlivých okružních tras potřeba vždy dvou matic, a to matice vzdáleností a matice časová. Matice obecně dle Luenbergera a Yeho (2015, str. 496) představuje obdélníkové pole s čísly, jež jsou označovány jako prvky matice. Matice je charakteristická svými m řádky a n sloupci. V případě, když se m a n rovnají, mluvíme o matici čtvercové, která je tedy speciálním případem matice obdélníkové. Právě se čtvercovými maticemi budeme dále v praktické části pracovat, nicméně nejdříve je ovšem zapotřebí si zmíněné matice vytvořit. Vzhledem k velikosti obou dvou matic, které jsou typu 80 x 80, by bylo ruční hledání a zadávání hodnot velice zdlouhavé a časově náročné. V našem případě je k vytvoření těchto dvou matic využit Excel, OpenRefine a Google Maps Distance Matrix API.

3.9.1 Příprava v Excelu

Nejprve je potřeba si v Excelu připravit vstupní data pro OpenRefine. Pracujeme celkem se 79 prodejními místy + 1 skladem, celkem máme tedy 80 míst. Ke každému místu je třeba identifikovat ulici, město a stát, ve kterém se nachází. Poté jsou pomocí makra pro permutace vytvořeny všechny možné kombinace spojující vždy dvě místa. Z původních 80 míst, tak pomocí makra získáme celkem 6320 (80 x 79) kombinací míst, se kterými budeme nadále pracovat v OpenRefinu. Ukázku struktury vytvořených dat pro práci s OpenRefinem si můžeme prohlédnout níže na obrázku č. 2.

	A	B	C	D	E	F
1	Ulice1	Mesto1	Stat1	Ulice2	Mesto2	Stat2
2	cervene_vrsky	benesov	ceska_republika	na_radech	blansko	ceska_republika
3	cervene_vrsky	benesov	ceska_republika	rovna	boskovice	ceska_republika
4	cervene_vrsky	benesov	ceska_republika	prazska	brno	ceska_republika
5	cervene_vrsky	benesov	ceska_republika	hradecka	brno	ceska_republika
6	cervene_vrsky	benesov	ceska_republika	ripska	brno	ceska_republika
7	cervene_vrsky	benesov	ceska_republika	kamenice	brno	ceska_republika
8	cervene_vrsky	benesov	ceska_republika	tr._prace	bruntal	ceska_republika
9	cervene_vrsky	benesov	ceska_republika	jenikovska	caslav	ceska_republika
10	cervene_vrsky	benesov	ceska_republika	mimonska	ceska_lipa	ceska_republika

Obr. 2 Struktura dat pro práci s OpenRefinem

3.9.2 OpenRefine

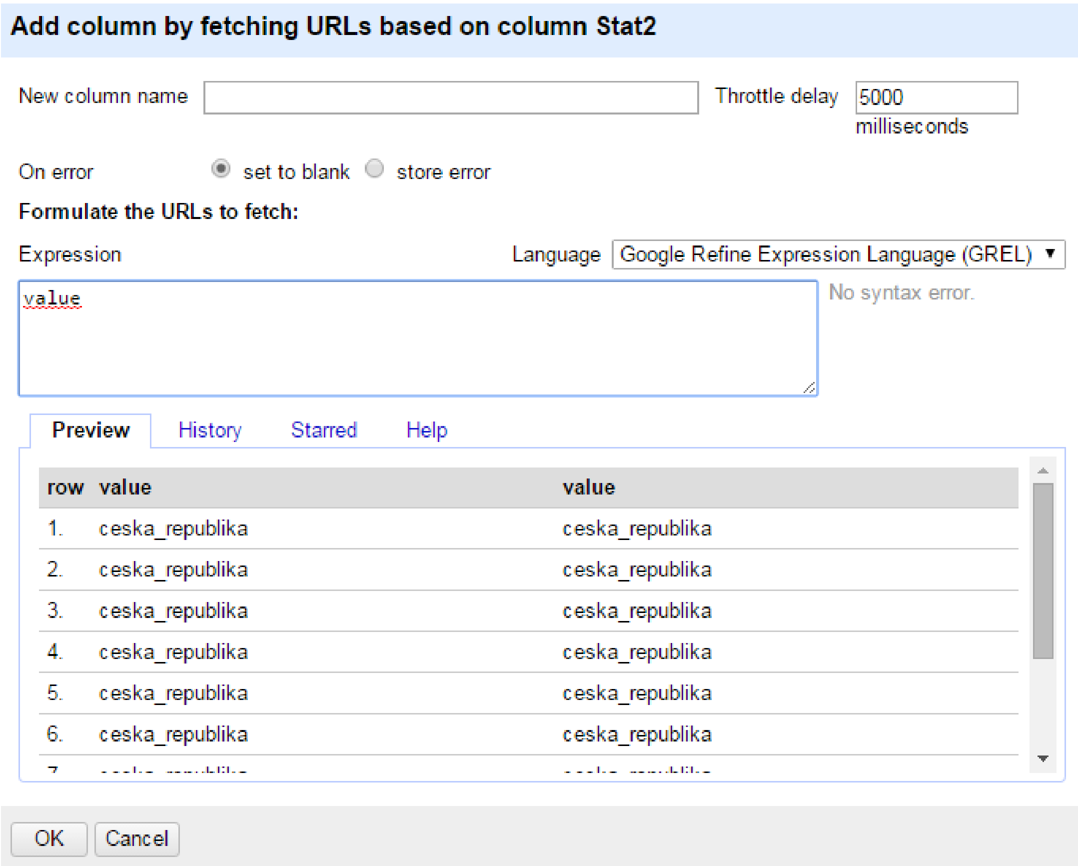
OpenRefine je nástroj, který je bezplatně k dispozici a který slouží k získávání, čištění a úpravě dat. Pomocí tohoto nástroje jsou prováděny hromadné operace na datasetu. (OpenRefine, ©2013)

Jak již bylo zmíněno výše, máme celkem 6320 kombinací míst, přičemž pro každou takovouto kombinaci chceme zjistit dojezdovou vzdálenost a čas mezi těmito dvěma místy. Z obrázku č. 2 je patrné, že pro řádek 2 chceme zjistit dojezdovou vzdálenost a čas mezi ulicí Červené Vršky v Benešově a ulicí Na Řádech v Blansku. Pro řádek 3 je naším cílem zjistit tytéž informace, ale nyní mezi ulicí Červené Vršky v Benešově a ulicí Rovnou v Boskovicích atd.

Při práci v OpenRefinu se pro zjištění dojezdové vzdálenosti a času odkazujeme na Google Maps Distance Matrix API, při které je potřeba mít aktivovaný svůj vlastní klíč. Práce s Google Maps Distance Matrix API pomocí klíče je pro bezplatnou verzi limitována na maximálně 2500 příkazů denně. Vzhledem k tomu, že máme celkem 6320 kombinací míst, tedy 6320 příkazů, je třeba si rozdělit původní soubor do třech menších souborů, přičemž v žádném souboru nesmí být více než již zmíněných 2500 řádků. Každý z těchto 3 souborů denně zpracujeme v OpenRefinu, kompletní zpracování nám tedy zabere 3 dny.

3.9.3 Ukázka konkrétní práce v OpenRefinu

Otevřeme si OpenRefine a v něm vlevo nahoře klikneme na možnost Create Project. Zvolíme si požadovaný soubor se vstupními daty a klineme na Next. Na následující stránce nic neměníme a klikáme na Create Project. Následně na další stránce klikneme na šipečku ve sloupci s názvem Stat2, zvolíme možnost Edit column a dále Add column by fetching URLs. Vyskočí nám okénko, které máme k dispozici níže na obrázku č. 3.



Obr. 3 OpenRefine – přidání nového sloupce, jenž je založen na konkrétní URL adrese

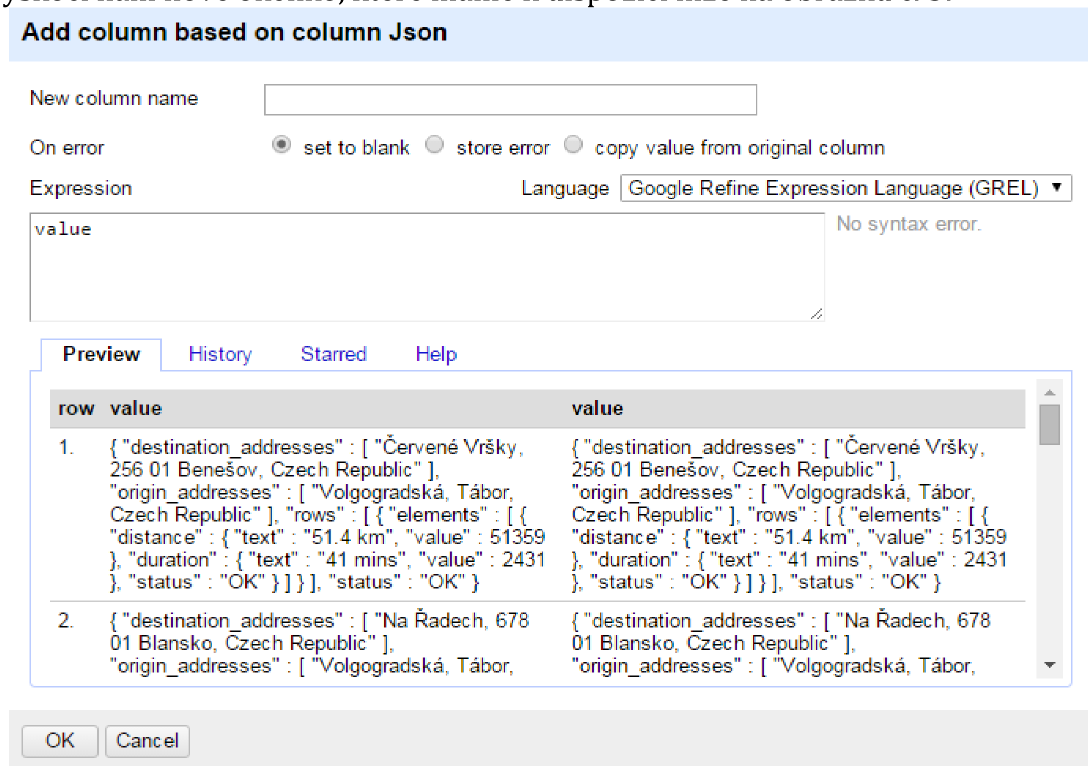
V tomto okénku je třeba vytvořit název pro nový sloupec (v našem případě Json) a změnit hodnotu u Throttle delay, např. na hodnotu 300. To zapříčiní kratší dobu pro zpracování dat. Dále je zapotřebí uvést URL adresu, ze které se budou načítat data. Tato adresa je v následujícím tvaru:
"https://maps.googleapis.com/maps/api/distancematrix/json?origins=" + cells["Ulice1"].value + "," + cells["Mesto1"].value + "," + cells["Stat1"].value + "&destinations=" + cells["Ulice2"].value + "," + cells["Mesto2"].value + "," + cells["Stat2"].value +"&key=AIzaSyD5SEUNHRYU2wg6_E6abvO5hcBn36wnVsQ"

Následně klikneme na OK a přecházíme na další stránku, kde je vygenerován nový sloupec, sloupec Json, který obsahuje mimo jiných údajů také údaje o dojezdové vzdálenosti a času mezi dvěma určitými místy. Ukázku části této stránky máme k dispozici níže na obrázku č. 4.

Ulice2	Mesto2	Stat2	Json
cervene_vrsky	benesov	ceska_republika	{ "destination_addresses" : ["Červené Vršky, 256 01 Benešov, Czech Republic"], "origin_addresses" : ["Volgogradská, Tábor, Czech Republic"], "rows" : [{ "elements" : [{ "distance" : { "text" : "51.4 km", "value" : 51359 }, "duration" : { "text" : "41 mins", "value" : 2431 }, "status" : "OK" }] }], "status" : "OK" }
na_radech	blansko	ceska_republika	{ "destination_addresses" : ["Na Řadech, 678 01 Blansko, Czech Republic"], "origin_addresses" : ["Volgogradská, Tábor, Czech Republic"], "rows" : [{ "elements" : [{ "distance" : { "text" : "190 km", "value" : 190294 }, "duration" : { "text" : "2 hours 18 mins", "value" : 8302 }, "status" : "OK" }] }], "status" : "OK" }
rovna	boskovice	ceska_republika	{ "destination_addresses" : ["Rovná, 680 01 Boskovice, Czech Republic"], "origin_addresses" : ["Volgogradská, Tábor, Czech Republic"], "rows" : [{ "elements" : [{ "distance" : { "text" : "178 km", "value" : 178247 }, "duration" : { "text" : "2 hours 24 mins", "value" : 8614 }, "status" : "OK" }] }], "status" : "OK" }
hradecka	brno	ceska_republika	{ "destination_addresses" : ["Hradecká, Brno, Czech Republic"], "origin_addresses" : ["Volgogradská, Tábor, Czech Republic"], "rows" : [{ "elements" : [{ "distance" : { "text" : "170 km", "value" : 169739 }, "duration" : { "text" : "1 hour 56 mins", "value" : 6983 }, "status" : "OK" }] }], "status" : "OK" }
ripska	brno	ceska_republika	{ "destination_addresses" : ["Řípská, 627 00 Brno-Brno-Slatina, Czech Republic"], "origin_addresses" : ["Volgogradská, Tábor, Czech Republic"], "rows" : [{ "elements" : [{ "distance" : { "text" : "169 km", "value" : 169318 }, "duration" : { "text" : "1 hour 54 mins", "value" : 6847 }, "status" : "OK" }] }], "status" : "OK" }

Obr. 4 OpenRefine – sloupec Json

Poté je třeba si do dalších dvou sloupců vygenerovat zvlášť hodnotu o dojezdové vzdálenosti a hodnotu o dojezdovém čase. To uděláme tak, že ve sloupci Json opět klikneme na šipečku a zvolíme Edit column a Add column based on this column. Vyskočí nám nové okénko, které máme k dispozici níže na obrázku č. 5.



Obr. 5 OpenRefine – přidání nového sloupce, jenž je založen na sloupci Json

Opět je třeba si zvolit název pro nově vzniklý sloupec. V případě, když budeme chtít vygenerovat dojezdovou vzdálenost, tak do pole Expression vložíme následující příkaz:
value.parseJson()["rows"][0]["elements"][0]["distance"]["value"]

Pokud budeme chtít vygenerovat dojezdový čas, tak do pole Expression vložíme tento příkaz:
value.parseJson()["rows"][0]["elements"][0]["duration"]["value"]

Klikneme na OK a přecházíme na další stránku, kde jsou již pro každý řádek vygenerovány hodnoty o dojezdové vzdálenosti (v metrech) a čase (v sekundách). Ukázku části stránky s těmito hodnotami máme níže na obrázku č. 6.

Json	cas	vzdalenost
{ "destination_addresses" : ["Červené Vršky, 256 01 Benešov, Czech Republic"], "origin_addresses" : ["Volgogradská, Tábor, Czech Republic"], "rows" : [{ "elements" : [{ "distance" : { "text" : "51.4 km", "value" : 51359 }, "duration" : { "text" : "41 mins", "value" : 2431 }, "status" : "OK" }] }], "status" : "OK" }	2431	51359
{ "destination_addresses" : ["Na Řadech, 678 01 Blansko, Czech Republic"], "origin_addresses" : ["Volgogradská, Tábor, Czech Republic"], "rows" : [{ "elements" : [{ "distance" : { "text" : "190 km", "value" : 190294 }, "duration" : { "text" : "2 hours 18 mins", "value" : 8302 }, "status" : "OK" }] }], "status" : "OK" }	8302	190294
{ "destination_addresses" : ["Rovná, 680 01 Boskovice, Czech Republic"], "origin_addresses" : ["Volgogradská, Tábor, Czech Republic"], "rows" : [{ "elements" : [{ "distance" : { "text" : "178 km", "value" : 178247 }, "duration" : { "text" : "2 hours 24 mins", "value" : 8614 }, "status" : "OK" }] }], "status" : "OK" }	8614	178247
{ "destination_addresses" : ["Hradecká, Brno, Czech Republic"], "origin_addresses" : ["Volgogradská, Tábor, Czech Republic"], "rows" : [{ "elements" : [{ "distance" : { "text" : "170 km", "value" : 169739 }, "duration" : { "text" : "1 hour 56 mins", "value" : 6983 }, "status" : "OK" }] }], "status" : "OK" }	6983	169739
{ "destination_addresses" : ["Řípská, 627 00 Brno-Brno-Slatina, Czech Republic"], "origin_addresses" : ["Volgogradská, Tábor, Czech Republic"], "rows" : [{ "elements" : [{ "distance" : { "text" : "169 km", "value" : 169318 }, "duration" : { "text" : "1 hour 54 mins", "value" : 6847 }, "status" : "OK" }] }], "status" : "OK" }	6847	169318

Obr. 6 OpenRefine – vygenerování hodnot o dojezdovém čase a dojezdové vzdálenosti

Hodnoty v metrech a v sekundách je třeba si dále v Excelu převést na vhodnější jednotky, konkrétně na km a na čas ve formátu hh:mm. Z těchto údajů je možné také vypočítat průměrnou rychlost. Při tomto výpočtu jsme dospěli k závěru, že průměrná rychlost není konstantní, nýbrž je u každé dvojice měst odlišná. Můžeme tedy říci, že čas potřebný k přejezdu z jednoho místa do druhého je ovlivněn tím, po kterých kategoriích pozemních komunikací[7] se jezdí a také tím, kolika městy či vesnicemi se projíždí. Jízda po příslušných kategoriích pozemních komunikací a jízda ve městech či vesnicích je omezena určitou rychlostí, která poté zajisté ovlivní konečnou průměrnou rychlost. V našem případě je v celém souboru průměr ze všech vypočtených rychlostí zhruba 84 km/h.

[7] Zde máme na mysli především dálnice a silnice I., II. a III. třídy

Export dat do Excelu provedeme tak, že v pravém horním rohu rozklikneme možnost Export a zvolíme Excel. Po převedení jednotek konečnou matici v Excelu vytvoříme pomocí kontingenční tabulky.

3.9.4 Vytvoření kontingenční tabulky v Excelu

V programu Excel si v horní liště zvolíme kartu Vložení a klikneme na možnost Kontingenční tabulka. Vybereme oblast, se kterou bude kontingenční tabulka pracovat, dále zvolíme, zda chceme mít kontingenční tabulku na novém listě či na stávajícím listě a klikneme na OK.

V samotné kontingenční tabulce si do oblasti popisku řádků vložíme výchozí místa a do oblasti popisku sloupců cílová místa. Do oblasti hodnoty následně vložíme hodnoty o dojezdové vzdálenosti či o dojezdovém čase a to v závislosti na tom, zda budeme chtít vytvořit matici vzdáleností či matici časovou.

Takto nám vznikne výchozí kontingenční tabulka, kterou si ovšem pro naši práci budeme muset nepatrně upravit a to tak, aby na posledním místě byl uveden sklad v Brně. Výše od tohoto místa budou sestupně řazena ostatní města a to buď podle dojezdové vzdálenosti mezi skladem v Brně a příslušným městem nebo podle časové vzdálenosti mezi skladem v Brně a příslušným městem. Toto seřazení provedeme tak, že v kontingenční tabulce klikneme na šipečku u popisku řádků a zvolíme možnost Další možnosti řazení. Dále zvolíme sestupně a klikneme na další možnosti, kde si nastavíme, že chceme data seřadit podle hodnoty ve vybraném sloupci. Tímto rozhodujícím sloupcem, podle kterého budeme data řadit, bude právě sloupec Brno sklad. Totéž stejným způsobem provedeme u popisku sloupců pouze s tím rozdílem, že hodnoty seřadíme podle hodnoty ve vybraném řádku. Tímto rozhodujícím řádkem, podle kterého se budou hodnoty řadit, bude opět řádek Brno sklad.

3.9.5 Výběr submatice z výchozí matice

Vzhledem k tomu, že v praktické části práce budeme v mnoha případech pracovat pouze s určitou částí matice, je třeba se také podívat, jak by se dala z výchozí matice vybrat určitá submatice.

První možný způsob, který přichází v úvahu, vychází ze samotné kontingenční tabulky, pomocí které lze právě zvolit určitou submatici. Tato volba se v kontingenční tabulce provede tak, že klikneme na šipečku v řádku, kde pod políčkem Hledání máme vypsaná všechna města, která jsou součástí kontingenční tabulky. V případě pokud budeme chtít vytvořit submatici např. pouze z měst Brno (S), Brno (1), Vyškov, Prostějov, Boskovice a Blansko, tak zaškrtneme pouze tato zmíněná města. Poté si rozklikneme šipečku u sloupce a tam opět zaškrtneme výše zmíněná města. Tímto nám vznikne nová submatice typu 6 x 6.

V úvahu přichází, také další dvě možnosti, o kterých se zmiňují Holoubek se Zachem (2012, str. 111 – 113). Obě dvě možnosti jsou založeny na využití makra v Excelu, ovšem každá z metod vychází z jiné struktury vstupních dat.

První varianta předpokládá, že máme vstupní hodnoty zaznamenány již v matici typu *m* x *m*. Požadovaná submatice poté podle Holoubka a Zacha (2012, str. 111) vznikne pomocí makra pro submatice.

Druhá možnost vychází z předpokladu, že vstupní hodnoty máme v tabulce, jejíž strukturu můžeme vidět níže v tabulce č. 3.

Tab. 3 Vstupní hodnoty zapsané v tabulce

Výchozí město	**Km**	**Cílové město**
Bernartice	0,0 km	Bernartice
Bernartice	384,5 km	Bohumín
Bernartice	194,0 km	Brno – Židenice
Bernartice	320,8 km	Bruntál

Zdroj: Holoubek a Zach (2012, str. 112)

V tomto případě je třeba nejdříve napsat makro pro vytvoření matice. Toto makro bude aplikováno na výše uvedenou tabulku č. 3, která obsahuje všechny možné kombinace dvou měst včetně jejich dojezdové vzdálenosti. Pomocí tohoto makra získáme výchozí matici typu *m* x *m*, na kterou následně aplikujeme makro pro vytvoření submatice a tím získáme požadovanou submatici. (Holoubek a Zach, 2012, str. 112 – 113)

4 Vlastní práce

4.1 Charakteristika společnosti

4.1.1 Základní informace o společnosti

Společnost ICE invest spol. s r.o. byla dle informací z obchodního rejstříku založena ke konci roku 2009. V jejím čele stojí jednatel Ing. Daniel Vincens společně se svým otcem Ing. Jiřím Vincensem.

Společnost se zaměřuje na provozování sítě zmrzlinových stánků ICY SMILE, kterých je k roku 2015 celkem 79 v České republice a 17 na Slovensku. Stánky s točenou zmrzlinou jsou umísťovány výhradně před obchodními domy Kaufland a GLOBUS. Svou činnost společnost směřuje také k provozování kaváren Café Ignác s pobočkami v Jihlavě a ve Vyškově.

Jedná se o mladou společnost, která se v průběhu prvních let své existence rychle a dynamicky rozvíjela a své působení rozšiřovala do stále více měst. Dokazuje to fakt, že v prvním roce činnosti, tedy v roce 2010, disponovala společnost pouze 4 prodejními stánky, rok na to se počet prodejních míst rozšířil na 20 a o rok později se toto číslo blížilo již 50 prodejním místům. V následujících letech již nebyl růst tak výrazný, ale společnost i nadále rozšiřovala své působení, které k roku 2015 čítá již výše zmíněných 79 zmrzlinových stánků rozmístěných po České republice.

Rozmístění sítě zmrzlinových stánků v České republice a na Slovensku můžeme vidět v příloze B a C.

Jak již bylo zmíněno, společnost vedou dva jednatelé. Daniel řeší provoz společnosti a Jiří se stará především o ekonomiku a smluvní vztahy s partnery. Ve společnosti jsou dále zaměstnáni pracovníci, kteří mají na starost účetnictví, personální oblast a práci ve skladu. Co se týče samotného provozování sítě zmrzlinových stánků, ve společnosti působí několik vedoucí zmrzlinových stánků. Tito vedoucí mají ve své kompetenci odpovědnost za bezproblémový chod stánku. Komunikují s brigádnicemi na stánku, kontrolují je a řeší s nimi veškeré problémy. Společnost dále zaměstnává 5 řidičů, kteří obstarávají rozvoz zboží na jednotlivé stánky a také má k dispozici vlastní servisní tým, který se stará o údržbu a opravu strojů.

4.1.2 Současné řešení distribuční sítě

K rozvozu zboží na jednotlivé zmrzlinové stánky po České republice je k dispozici celkem pět řidičů a čtyři vozy Volkswagen Crafter. Jedná se o vozy s nosností do 3,5 t, nevztahuje se na ně tedy placení mýtného na českých dálnicích a silnicích pro motorová vozidla.

V prvních letech působení společnosti probíhalo zásobování jednotlivých stánků zcela nahodile bez existence rozvozových tras. Řidiči si vždy ráno vozy plně naložili a začali objíždět stánky, přičemž se vždy zaměřili na ty stánky, které disponovaly nejmenšími zásobami a které tudíž potřebovaly zásobování nejvíce. Je zřejmé, že tato varianta byla zcela neefektivní, protože v objíždění stánků nebyl žádný systém a v případě této varianty byly příliš vysoké náklady na PHM. Právě proto, aby byly sníženy náklady na PHM, tak se společnost rozhodla vytvořit jednotlivé rozvozové trasy. Původní trasy, které nebyly vytvořeny pomocí žádného optimalizačního softwaru nýbrž pomocí osobní intuice řidičů společně s vedením společnosti, nebyly ale optimální, a proto byly v průběhu provozu společnosti neustále upravovány a pozměňovány, až nabyly poslední podoby, která je popsána níže, přičemž každá trasa začíná a končí ve skladu v Brně v Bosonohách.

Trasa č. 1 – 2 řidiči – rozvoz 2x týdně (ÚT, ČT)
Brno (S) – Mariánské Lázně – Cheb – Kadaň – Klášterec nad Ohří – Chomutov (2x) – Otvice – Žatec – Louny – Litoměřice – Teplice – Litvínov – Most – Brno (S)

Trasa č. 2 – 2 řidiči – rozvoz 2x týdně (ÚT, ČT)
Brno (S) – Benešov – Praha (5x) – Mělník – Česká Lípa – Jablonec nad Nisou - Liberec (2x) – Nový Bor – Děčín – Ústí nad Labem (2x) – Trmice – Brno (S)

Trasa č. 3 – 1 řidič – rozvoz 2x týdně (ÚT, ČT)
Brno (S) – Velké Meziříčí – Pelhřimov – Tábor – Písek – Strakonice – Jindřichův Hradec – Brno (S)

Trasa č. 4 – 2 řidiči – rozvoz 3x týdně (PO, ST, PÁ)
Brno (S) – Chrudim – Pardubice (2x) – Hradec Králové – Dvůr Králové nad Labem – Jičín – Nymburk – Kutná Hora – Čáslav – Havlíčkův Brod – Jihlava – Třebíč - Znojmo (2x) – Brno (S)

Trasa č. 5 – 1 řidič – rozvoz 3x týdně (PO, ST, PÁ)
Brno (S) – Ostrava (2x) – Opava – Bruntál – Krnov – Jeseník – Zábřeh – Boskovice – Blansko – Brno (1) – Brno (S)

Trasa č. 6 – 1 řidič – rozvoz 3x týdně (PO, ST, PÁ)
Brno (S) – Brno (3)[8] – Vyškov – Prostějov – Olomouc (2x) – Hranice – Nový Jičín – Kopřivnice – Havířov – Orlová – Brno (S)

Trasa č. 7 – 1 řidič – rozvoz 3x týdně (PO, ST, PÁ)
Brno (S) – Brno (2)[9] – Hodonín – Kyjov – Veselí nad Moravou – Uherské Hradiště – Otrokovice – Zlín – Vsetín – Přerov – Kroměříž – Brno (S)

[8] Brno (3) – toto označení neznamená, že se v Brně navštíví tři stánky, jedná se o návštěvu jednoho stánku, který je v příloze D pod označením Brno (3)

[9] Brno (2) – toto označení opět neznamená navštívení dvou stánků v Brně, nýbrž se jedná o návštěvu jednoho stánku, který je v příloze D pod označením Brno (2)

Tab. 4 Charakteristika jednotlivých tras

Číslo trasy	**Počet řidičů**	**Počet odběrat. míst**	**Rozvozové dny**	**Vzdálenost**	**Časová náročnost**
1	2	13	ÚT, ČT	975,0 km	13:32
2	2	16	ÚT, ČT	816,1 km	13:13
3	1	6	ÚT, ČT	500,4 km	7:30
4	2	14	PO, ST, PÁ	573,3 km	11:05
5	1	10	PO, ST, PÁ	517,6 km	9:18
6	1	10	PO, ST, PÁ	432,8 km	7:04
7	1	10	PO, ST, PÁ	378,6 km	7:39

Komplexní charakteristika jednotlivých tras včetně vzdáleností a časových náročností týkající se obsluhy příslušných tras je uvedena výše v tabulce č. 4. V časových náročnostech obsluhy jednotlivých tras je mimo doby potřebné k objezdu příslušných míst zahrnuta také doba, kterou řidič stráví vykládkou zboží v daném místě. Tato doba se obvykle pohybuje kolem 7 – 10 minut v závislosti na tom, kolik zboží je v daném místě vyloženo. Při našich výpočtech budeme brát záměrně v potaz vyšší hranici tohoto limitu, tedy 10 minut. V případě první trasy činí tedy celková doba vykládky 130 minut z celkového času 13 hodin a 32 minut. Obdobně je tomu také u dalších tras.

Jak můžeme vidět v tabulce č. 4, některé trasy jsou obsluhovány dvěma řidiči. Zprvu se tato skutečnost může zdát jako nepochopitelná a zcela zbytečná, neboť společnost musí platit dva řidiče, ale pro společnost je tato varianta lepší. Trasy obsluhované dvěma řidiči zahrnují města středních, severních a východních Čech, které jsou od centrálního skladu v Brně v Bosonohách vzdáleny několik hodin. Nejvzdálenější je město Cheb, a to 3 hodiny a 46 minut od Brna, města jako Chomutov, Most, Liberec atd. jsou od Brna vzdáleny necelé 3 hodiny, což také není málo. V případě, když by trasu obsluhoval jeden řidič, jen touto přejížďkou z Brna do Čech a z Čech nazpátek by ztratil až zbytečně moc času (např. 6 hodin) a na objíždění jednotlivých míst z rozvozové trasy by mu pak zbyly už jen zhruba 3 hodiny z 9 možných hodin, které může být jeden řidič na cestě, což není mnoho. Za tento čas by byl schopen objet jen několik málo stánků. Taktéž kapacita vozidla by zdaleka nebyla plně využita, proto se trasy v těchto lokalitách obsluhují dvěma řidiči, kteří zvládnout navštívit větší množství míst.

Společnost se domnívá a je si vědoma toho, že jednotlivé trasy nejsou ještě optimální. Vzhledem k tomu, že společnost do dalších let nehodlá nijak velkým způsobem rozšiřovat svou působnost do dalších měst, je nyní vhodná doba k zaměření se na optimalizaci rozvozových tras za tím účelem, aby se firmě minimalizovaly náklady a aby byl celý rozvozový systém efektivnější.

V další části práce se proto zaměříme na optimalizaci rozvozového systému, přičemž nejdříve bude nutné si města rozdělit do nových rozvozových skupin pomocí Mayerovy metody a následně bude provedena optimalizace v rámci každé rozvozové skupiny pomocí optimalizačních metod či počítačových softwarů. Abychom však této optimalizace mohli dosáhnout, musíme mít příslušná data ve vhodné a požadované podobě. Na tuto problematiku se více zaměříme v následující kapitole 4.2.

4.2 Zpracování získaných dat

Od společnosti byla získána data, která byla upravena do tabulek a která jsou k dispozici v přílohách D, E a F této práce.

V příloze D nalezneme seznam prodejních stánků včetně skladu. U každého stánku, příp. skladu je uvedena adresa a označení, kterého bude užíváno v této práci.

Přílohy E a F znázorňují zásobování zmrzlinovými směsi v jednotlivých stáncích v období od 29. 6. 2015 do 19. 7. 2015, přičemž příloha E je zaměřena na města, ve kterých se zásobování provádí 2x do týdne a příloha F na města, ve kterých je zásobování 3x do týdne. Období od 29. 6. 2015 do 19. 7. 2015 bylo zvoleno kvůli tomu, že právě v tomto období byly nejvyšší tržby a tudíž i stánky musely být zásobovány nejvíce. Přílohy E a F budeme dále v práci využívat právě k vytvoření nových rozvozových skupin vytvořených pomocí Mayerovy metody, kde hodnoty z těchto příloh týkající se odebíraného množství zmrzlinových směsí (budeme brát vždy nejvyšší hodnotu u příslušného města) budou využity jako požadavky jednotlivých stánků na odebíraná množství. Dále budeme tyto přílohy potřebovat také v části práce týkající se volby o umístění nového skladu.

Jak bylo uvedeno na konci předcházející subkapitoly 4.1.2, abychom mohli vůbec začít s procesem optimalizace, je potřeba mít příslušná data ve vhodné a požadované podobě. Zde jde především o vytvoření matice vzdáleností a matice časové, které jsou třeba k vytvoření nových rozvozových skupin pomocí Mayerovy metody a k jejich následné optimalizaci. O tom, jak se matice vzdáleností a matice časová tvoří, bylo pojednáno v teoretické části této práce, konkrétně v kapitole 3.9 Datové vstupy. Vzhledem ke svému velkému rozsahu jsou matice k dispozici v elektronické podobě na CD, které je součástí této práce.

Teprve, když máme připravena všechna data, můžeme přistoupit k tvorbě nových rozvozových tras a k jejich optimalizaci.

4.3 Vytvoření nových rozvozových tras – verze I

K vytvoření nových rozvozových tras použijeme Mayerovu metodu, která byla již zmíněna v teoretické části této práce, konkrétně v podkapitole 3.5.1.

Tak jak tomu bylo u původních tras, tak i v tomto případě společnost požaduje, aby byly tři trasy obsluhovány dvěma řidiči. Společnost striktně požaduje, aby dva řidiči vždy objížděli města v Čechách, zde se jedná konkrétně o dvě trasy. Zbylou trasu se dvěma řidiči máme zvolit na našem uvážení a ke zbylým trasám se má přiřadit vždy již jen jeden řidič. Společnost dále také požaduje, aby města, která mají vysoké požadavky na dodávané množství zboží, byla zahrnuta do tras, které se obsluhují 3x týdně. Konkrétně se jedná např. o město Jihlavu, Zlín apod.

U nově vytvořených rozvozových tras musíme akceptovat dvě omezení. První z nich se týká maximální doby, kterou může řidič po dobu své směny řídit. Společnost zde v souladu se zákoníkem práce a s nařízením vlády č. 168/2002 Sb. požaduje, aby v případě, pokud bude trasu obstarávat jeden řidič, nebyla celková doba trasy delší než 9 hodin. Pokud budou na trase v jednom voze dva řidiči, tak v tomto případě nesmí být celková doba trasy delší než 13,5 hodiny. Jedná se zde o zjednodušení problematiky, neboť řidiči by mohli být na cestě i déle, ale museli by mít častější přestávky a po ukončení jízdy by opět mohli začít řídit až po uplynutí určité doby, což v našem případě nepřipadá v úvahu, neboť řidiči musí být k dispozici k rozvozu opět druhý den. Druhé omezení se týká toho, že u žádné z rozvozových tras nemůže být překročena kapacita (nosnost) vozidla, která je v případě vozů Volkswagen Crafter 1,5 tuny. V našem případě pro nás ovšem nebude limitující hodnota 1,5 tuny, nýbrž hodnota přibližně 1,1 tuny a to kvůli tomu, že při rozvozu zboží na jednotlivé stánky řidiči rozváží jednak zmrzlinové směsi, ale dále také kornoutky, termo misky na zmrzlinu, papírové role, savo apod., přičemž největší váhový podíl zaujímají zmrzlinové směsi. Právě proto budeme při vytváření nových rozvozových tras brát v úvahu zmrzlinové směsi. Při zcela plném naložení vozu s ohledem na nosnost 1,5 tuny lze podle zkušeností řidičů do vozu naložit maximálně, 1,1 tuny zmrzlinových směsí.

Při vytváření rozvozových tras pomocí Mayerovy metody budeme muset tedy akceptovat dvě výše zmíněná omezení týkající se času a nákladu. Budeme se tedy muset ohlížet na hodnoty v příloze E a F a na hodnoty časové matice, která je k dispozici v elektronické podobě na CD, které je součástí této práce.

Jak již bylo uvedeno v předchozí kapitole 4.2, příloha E a F obsahuje údaje o zásobování zmrzlinovými směsi v období, ve kterém stánky vykazovaly nejvyšší tržby a tudíž i požadavky na zásobování byly větší než obvykle. Jedná se o období od 29. 6. 2015 do 19. 7. 2015. Přičemž u každého města budeme vždy brát v potaz nejvyšší hodnotu (vyznačena tučně), aby se v budoucnu eliminovalo riziko, že v případě vysokých tržeb, tedy i velkých nároků na zásobování, by nebyl vůz schopen obsloužit příslušnou rozvozovou trasu kvůli překročení nosnosti vozu.

Jak již bylo zmíněno, při tvorbě rozvozových tras budeme postupovat podle algoritmu Mayerovy metody, který byl popsán v teoretické části této práce.

Je třeba mít k dispozici matici vzdáleností, ve které je na posledním místě umístěn sklad v Brně. Výše od tohoto skladu jsou seřazena ostatní města a to tak, že jako první je uvedeno nejvzdálenější město a následují města méně vzdálená. Část matice vzdáleností vidíme níže v tabulce č. 5.

Tab. 5 Ukázka části matice vzdáleností

Město	Cheb	Mariánské Lázně	Klášterec n. Ohří	Kadaň	Nový Bor	..	Brno (1)	Brno (3)	Brno (S)
Cheb	-	30,6	78,4	85,1	213,1	...	381,4	372,6	369,5
Mariánské Lázně	30,6	-	88,8	95,5	223,5	...	377,5	368,7	365,5
Klášterec n. Ohří	78,4	88,8	-	6,7	134,7	...	325,0	316,2	313,0
Kadaň	85,1	95,5	6,7	-	133,1	...	321,6	312,8	309,7
Nový Bor	213,1	223,5	134,7	133,1	-	...	320,1	311,3	308,1
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Brno (1)	381,4	377,5	325,0	325,0	320,1	...	-	10,6	12,4
Brno (3)	372,6	368,7	316,2	316,2	311,3	...	10,6	-	3,2
Brno (S)	369,5	365,5	313,0	309,7	308,1	...	12,4	3,2	-

Jako první je do trasy vybráno nejvzdálenější město od skladu v Brně. Tímto městem je Cheb, který je od skladu v Brně vzdálen 369,5 km. Následně hledáme nejméně vzdálené město od Chebu, hledáme tedy minimální hodnotu v řádku Cheb. Jako další je tedy do trasy zařazeno město Mariánské Lázně, které je od Chebu vzdáleno 30,6 km. Nyní hledáme opět nejméně vzdálené město, tentokrát hledáme minimální hodnotu v řádcích Cheb a Mariánské Lázně, ovšem pouze u těch měst, které ještě nebyly zařazeny do okruhu. Tato nejmenší hodnota je u Klášterce nad Ohří, toto město bude tedy nyní zařazeno do výsledného okruhu. Tento postup aplikujeme dál, musíme ovšem brát v potaz omezení týkající se času a nosnosti vozidla. Do výsledné trasy tedy zařazujeme města do té doby, dokud nebude naplněna nosnost vozidla či maximální možná doba řízení vozidla. V případě, pokud bude jedno z omezení překročeno, je nutno rozvozovou trasu uzavřít.

4.3.1 Rozvozová trasa č. 1 – verze I

Do rozvozové trasy č. 1 byla postupně zařazena města v tomto pořadí: Cheb, Mariánské Lázně, Klášterec nad Ohří, Kadaň, Chomutov (2), Chomutov (1), Otvice, Most, Litvínov, Žatec, Teplice, Ústí nad Labem (1), Ústí nad Labem (2) a Trmice.

Optimalizovaná rozvozová trasa č. 1 pomocí softwaru STORM má následující podobu: Brno (S) – Trmice – Ústí nad Labem (2) – Ústí nad Labem (1) – Teplice – Litvínov – Most – Otvice – Chomutov (1) – Chomutov (2) – Kadaň – Klášterec nad Ohří – Cheb – Mariánské Lázně – Žatec – Brno (S).

Časová náročnost této trasy je společně se 150 minutami potřebných pro vyložení zboží 13 hodin a 1 minuta. Požadované množství zboží dle přílohy E činí celkem 1080 kg.

4.3.2 Rozvozová trasa č. 2 – verze I

V případě rozvozové trasy č. 2 byla města zařazena do okruhu v následujícím pořadí: Nový Bor, Děčín, Česká Lípa, Litoměřice, Liberec (2), Liberec (1), Jablonec nad Nisou, Louny, Mělník, Praha (5), Praha (2), Praha (4), Praha (1), Praha (3) a Benešov.

Optimalizovaná podoba rozvozové trasy pomocí softwaru STORM je následující: Brno (S) – Benešov – Praha (4) – Praha (2) – Praha (5) – Mělník – Jablonec nad Nisou – Liberec (1) – Liberec (2) – Nový Bor – Česká Lípa – Děčín – Litoměřice – Louny – Praha (3) – Praha (1) – Brno (S).

V tomto případě je celková časová náročnost trasy v délce 12 hodin a 59 minut a požadované množství zboží je ve velikosti 1040 kg.

4.3.3 Rozvozová trasa č. 3 – verze I

Do rozvozové trasy č. 3 byla města zařazena v následujícím pořadí: Strakonice, Písek, Tábor, Pelhřimov, Havlíčkův Brod, Čáslav a Kutná Hora.

V tomto případě je optimalizovaná verze této trasy následující: Brno (S) – Havlíčkův Brod – Čáslav – Kutná Hora – Tábor – Písek – Strakonice – Pelhřimov – Brno (S).

Celková časová náročnost rozvozové trasy č. 3 činí 8 hodin a 40 minut. Požadované množství zboží dosahuje hodnoty 550 kg.

4.3.4 Rozvozová trasa č. 4 – verze I

Do rozvozové trasy č. 4 byla postupně zařazena tato města: Jičín, Dvůr Králové nad Labem, Hradec Králové, Pardubice (2), Pardubice (1), Chrudim, Nymburk, Jihlava a Velké Meziříčí.

Optimalizovaná verze této trasy má následující podobu: Brno (S) – Jihlava – Nymburk – Jičín – Dvůr Králové nad Labem – Hradec Králové – Pardubice (2) – Pardubice (1) – Chrudim – Velké Meziříčí – Brno (S).

V tomto případě dosahuje celková časová náročnost trasy 8 hodin a 30 minut a požadované množství zboží je ve výši 550 kg.

4.3.5 Rozvozová trasa č. 5 – verze I

Do této rozvozové trasy byla zařazena města v tomto pořadí: Krnov, Opava, Bruntál, Ostrava (2), Ostrava (1), Havířov, Orlová, Kopřivnice, Nový Jičín, Hranice a Přerov.

Optimalizovaná rozvozová trasa č. 5 má následující podobu: Brno (S) – Přerov – Hranice – Nový Jičín – Kopřivnice – Havířov – Orlová – Ostrava (1) – Ostrava (2) – Opava – Krnov – Bruntál – Brno (S).

Časová náročnost této trasy dosahuje 8 hodin a 35 minut a požadované množství zboží je ve výši 670 kg.

4.3.6 Rozvozová trasa č. 6 – verze I

Do rozvozové trasy č. 6 byla postupně zařazena města v tomto pořadí: Jeseník, Zábřeh, Olomouc (1), Olomouc (2), Prostějov, Vyškov, Brno (2), Brno (3), Brno (1), Blansko, Boskovice a Kroměříž.

V tomto případě je optimalizovaná verze této trasy následující: Brno (S) – Brno (1) – Blansko – Boskovice – Zábřeh – Jeseník – Olomouc (2) – Olomouc (1) – Prostějov – Kroměříž – Vyškov – Brno (2) – Brno (3) – Brno (S).

Celková časová náročnost rozvozové trasy č. 6 činí 8 hodin a 47 minut a požadované množství zboží dosahuje celkem 770 kg.

4.3.7 Rozvozová trasa č. 7 – verze I

V případě této trasy byla města do okruhu zařazena v následujícím pořadí: Jindřichův Hradec, Třebíč, Znojmo (1), Znojmo (2), Kyjov, Hodonín, Veselí nad Moravou, Uherské Hradiště, Otrokovice, Zlín, Vsetín.

Optimalizovaná verze této trasy má následující podobu: Brno (S) – Kyjov – Otrokovice – Vsetín – Zlín – Uherské Hradiště – Veselí nad Moravou - Hodonín – Znojmo (2) – Znojmo (1) – Jindřichův Hradec – Třebíč – Brno (S).

V tomto případě dosahuje celková časová náročnost trasy 11 hodin a 39 minut a požadované množství zboží činí 890 kg.

Tab. 6 Komplexní charakteristika optimalizovaných tras (verze I)

Číslo trasy	**Počet řidičů**	**Počet odběrat. míst**	**Rozvozové dny**	**Vzdálenost**	**Časová náročnost**
1	2	14	ÚT, ČT	878,8 km	13:01
2	2	15	ÚT, ČT	809,4 km	12:59
3	1	7	ÚT, ČT	563,8 km	8:40
4	1	9	PO, ST, PÁ	469,2 km	8:30
5	1	11	PO, ST, PÁ	466,0 km	8:35
6	1	12	PO, ST, PÁ	419,9 km	8:47
7	2	11	PO, ST, PÁ	607,4 km	11:39

4.4 Porovnání původního řešení a nových optimalizovaných tras verze I

Podíváme-li se na původní řešení distribuční sítě a na nově vytvořené optimalizované trasy verze I, zjistíme, že žádná z tras nemá stejnou podobu. Některé trasy se od sebe odchylují méně, např. původní trasa č. 1 má téměř stejné složení měst jako nově vytvořená trasa č. 1. Můžeme si ale povšimnout, že i když v obou dvou trasách je většina měst shodných, pořadí měst se v jednotlivých trasách značně liší, viz tabulka č. 7.

Tab. 7 Porovnání původní a nově vytvořené trasy číslo 1 (verze I)

Původní trasa č. 1	Brno (S) – Mariánské Lázně – Cheb – Kadaň – Klášterec nad Ohří – Chomutov (2x) – Otvice – Žatec – Louny – Litoměřice – Teplice – Litvínov – Most – Brno (S)
Nově vytvořená a optimalizovaná trasa č. 1	Brno (S) – Trmice – Ústí nad Labem (2) – Ústí nad Labem (1) – Teplice – Litvínov – Most – Otvice – Chomutov (1) – Chomutov (2) – Kadaň – Klášterec nad Ohří – Cheb – Mariánské Lázně – Žatec – Brno (S)

Podobné složení měst můžeme vypozorovat nejen u trasy č. 1, ale i v některých dalších trasách. Ovšem i pro tyto trasy je charakteristické, že pořadí měst v těchto jednotlivých trasách se relativně hodně liší. Vedle těchto tras ale také existují trasy, jejichž složení se od původního řešení liší značně. Podrobným porovnáváním tras se ale zabývat nebudeme a přistoupíme k oblasti, která je pro nás více důležitá, a tou je porovnání km náročnosti tras.

V tabulce č. 8 můžeme vidět porovnání kilometrové náročnosti původních tras a nově vytvořených tras.

Tab. 8 Kilometrová náročnost původních a nově vytvořených tras (verze I)

Trasa	Rozvoz	Původní trasy	Nové trasy
Trasa č. 1	2 x týdně	975,0 km	878,8 km
Trasa č. 2		816,1 km	809,4 km
Trasa č. 3		500,4 km	563,8 km
Trasa č. 4	3 x týdně	573,3 km	469,2 km
Trasa č. 5		517,6 km	466,0 km
Trasa č. 6		432,8 km	419,9 km
Trasa č. 7		378,6 km	607,4 km

Z tabulky číslo 8 si můžeme dopočítat, kolik km se týdně najezdí v případě původních tras a kolik km v případě nově vytvořených tras.

Původní trasy:

$$2x(975{,}0 + 816{,}1 + 500{,}4) + 3x(573{,}3 + 517{,}6 + 432{,}8 + 378{,}6) = 10289{,}9\ \text{km}$$

Nové trasy:
$$2x(878{,}8+809{,}4+563{,}8)+3x(469{,}2+466{,}0+419{,}9+607{,}4)=10391{,}5\,\text{km}$$

Z výše uvedených výpočtů je patrné, že v případě nových tras verze I se týdně najezdí o 101,6 km více, než tomu bylo doposud. Můžeme tedy konstatovat, že vytvoření nových tras nepřineslo lepší řešení, a tudíž lze nově vytvořené trasy označit za neefektivní.

Tato skutečnost má ovšem své opodstatnění. Města byla do jednotlivých tras zařazována přesně pomocí algoritmu Mayerovy metody, tudíž bylo vždy do okruhu zařazeno město, které mělo k ostatním městům v okruhu nejmenší vzdálenost. V určitých případech je ale třeba nedělat věci mechanicky pomocí určitého algoritmu, ale zapojit také přirozenou intuici a logiku. V některých případech se může zdát jako vhodnější zařadit do okruhu město, které nemá nejmenší vzdálenost, ale má např. druhou nejmenší vzdálenost. Nyní proto opět zkusíme vytvořit nové rozvozové trasy, nicméně ne ve všech případech budeme striktně dodržovat algoritmus Mayerovy metody. Na porušení tohoto algoritmu bude ale vždy dopředu upozorněno a bude také vysvětleno, proč jsme tak učinili.

4.5 Vytvoření nových rozvozových tras – verze II

První dvě trasy, tedy trasa č. 1 a trasa č. 2 budou mít stejné složení jako ve verzi I. Změna nastane až v trase č. 3, ve které postupně do okruhu zařadíme města Strakonice, Písek, Tábor a Pelhřimov. Za Pelhřimovem by poté měl následovat Havlíčkův Brod, který má od měst v okruhu nejmenší vzdálenost, a to 36,6 km. Podíváme-li se ovšem do mapy, zjistíme, že by nám v jižních Čechách zůstalo osamoceno město Jindřichův Hradec, který by musel být tedy součástí trasy jiné. Z tohoto důvodu do trasy č. 3 místo Havlíčkova Brodu zařadíme Jindřichův Hradec, který má po již zmíněném Havlíčkovu Brodu druhou nejmenší vzdálenost, a to 43 km. Následně bude do okruhu zařazen Havlíčkův Brod a tímto bude rozvozová trasa č. 3 uzavřena. U rozvozových tras č. 4, 5, 6, 7 aplikujeme již běžný postup Mayerovy metody.

Rozvozové trasy verze I byly tvořeny pomocí Mayerovy metody tak, že okruh byl uzavřen až v tom okamžiku, ve kterém přidání dalšího města do okruhu mělo za následek zvýšení času či hmotnosti zboží nad dané omezení. U tras ve verzi II se od tohoto pravidla nepatrně odchýlíme a u jednotlivých tras budeme patřičně zvažovat, kterým městem již trasu uzavřeme a kterým ještě nikoliv. V některých případech by bylo možné z hlediska nevyčerpaného disponibilního času zařadit ještě další město, ale v konečném důsledku by to mohlo znamenat zbytečné prodloužení dané trasy a jako lepší možnost se jeví ta, aby bylo město raději zařazeno do trasy jiné. Pro příklad zde mohu uvést situaci, ve které bylo zvažováno a propočítáváno, zda se vyplatí zařadit město Otrokovice do trasy č. 6 nebo ho raději zařadit až do poslední trasy, tedy trasy č. 7. Takovýchto případů bylo více a samozřejmě byla vždy zvolena ta možnost, která přinesla co nejmenší počet najetých km.

Složení rozvozových tras, jejich optimalizaci, časovou náročnost a požadované množství zboží máme k dispozici níže v příslušných podkapitolách vztahujících se k jednotlivým rozvozovým trasám.

4.5.1 Rozvozová trasa č. 1 – verze II

Města zařazena do okruhu: Cheb, Mariánské Lázně, Klášterec nad Ohří, Kadaň, Chomutov (2), Chomutov (1), Otvice, Most, Litvínov, Žatec, Teplice, Ústí nad Labem (1), Ústí nad Labem (2) a Trmice

Optimalizovaná podoba trasy: Brno (S) – Trmice – Ústí nad Labem (2) – Ústí nad Labem (1) – Teplice – Litvínov – Most – Otvice – Chomutov (1) – Chomutov (2) – Kadaň – Klášterec nad Ohří – Cheb – Mariánské Lázně – Žatec – Brno (S)

Časová náročnost: 13 hodin a 1 minuta
Požadované množství zboží: 1080 kg

4.5.2 Rozvozová trasa č. 2 – verze II

Města zařazena do okruhu: Nový Bor, Děčín, Česká Lípa, Litoměřice, Liberec (2), Liberec (1), Jablonec nad Nisou, Louny, Mělník, Praha (5), Praha (2), Praha (4), Praha (1), Praha (3) a Benešov

Optimalizovaná podoba trasy: Brno (S) – Benešov – Praha (4) – Praha (2) – Praha (5) – Mělník – Jablonec nad Nisou – Liberec (1) – Liberec (2) – Nový Bor – Česká Lípa – Děčín – Litoměřice – Louny – Praha (3) – Praha (1) – Brno (S)

Časová náročnost: 12 hodin a 59 minut
Požadované množství zboží: 1040 kg

4.5.3 Rozvozová trasa č. 3 – verze II

Města zařazena do okruhu: Strakonice, Písek, Tábor, Pelhřimov, Jindřichův Hradec, Havlíčkův Brod

Optimalizovaná podoba trasy: Brno (S) – Havlíčkův Brod – Jindřichův Hradec – Strakonice – Písek – Tábor – Pelhřimov – Brno (S)

Časová náročnost: 7 hodin a 48 minut
Požadované množství zboží: 550 kg

4.5.4 Rozvozová trasa č. 4 – verze II

Města zařazena do okruhu: Jičín, Dvůr Králové nad Labem, Hradec Králové, Pardubice (2), Pardubice (1), Chrudim, Čáslav, Kutná Hora, Nymburk, Jihlava, Velké Meziříčí, Třebíč, Brno (3), Brno (1), Brno (2)

Optimalizovaná podoba trasy: Brno (S) – Brno (3) – Brno (2) – Brno (1) – Chrudim – Pardubice (1) – Pardubice (2) – Hradec Králové – Dvůr Králové nad Labem – Jičín – Nymburk – Kutná Hora – Čáslav – Jihlava – Třebíč – Velké Meziříčí – Brno (S)

Časová náročnost: 10 hodin a 48 minut
Požadované množství zboží: 860 kg

4.5.5 Rozvozová trasa č. 5 – verze II

Města zařazena do okruhu: Krnov, Opava, Bruntál, Ostrava (2), Ostrava (1), Havířov, Orlová, Kopřivnice, Nový Jičín, Hranice, Přerov

Optimalizovaná podoba trasy: Brno (S) – Přerov – Hranice – Nový Jičín – Kopřivnice – Havířov – Orlová – Ostrava (1) – Ostrava (2) – Opava – Krnov – Bruntál – Brno (S)

Časová náročnost: 8 hodin a 35 minut
Požadované množství zboží: 670 kg

4.5.6 Rozvozová trasa č. 6 – verze II

Města zařazena do okruhu: Jeseník, Zábřeh, Olomouc (1), Olomouc (2), Prostějov, Vyškov, Blansko, Boskovice, Kroměříž

Optimalizovaná podoba trasy: Brno (S) – Blansko – Boskovice – Zábřeh – Jeseník – Olomouc (2) – Olomouc (1) – Prostějov – Kroměříž – Vyškov – Brno (S)

Časová náročnost: 8 hodin a 6 minut
Požadované množství zboží: 590 kg

4.5.7 Rozvozová trasa č. 7 – verze II

Města zařazena do okruhu: Vsetín, Zlín, Otrokovice, Uherské Hradiště, Veselí nad Moravou, Kyjov, Hodonín, Znojmo (2), Znojmo (1)

Optimalizovaná podoba trasy: Brno (S) – Kyjov – Otrokovice – Vsetín – Zlín - Uherské Hradiště – Veselí nad Moravou – Hodonín – Znojmo (2) – Znojmo (1) – Brno (S)

Časová náročnost: 8 hodin a 41 minut
Požadované množství zboží: 760 kg

Tab. 9 Komplexní charakteristika optimalizovaných tras (verze II)

Číslo trasy	Počet řidičů	Počet odběrat. míst	Rozvozové dny	Vzdálenost	Časová náročnost
1	2	14	ÚT, ČT	878,8 km	13:01
2	2	15	ÚT, ČT	809,4 km	12:59
3	1	6	ÚT, ČT	513,4 km	7:48
4	2	15	PO, ST, PÁ	542,5 km	10:48
5	1	11	PO, ST, PÁ	466,0 km	8:35
6	1	9	PO, ST, PÁ	415,1 km	8:06
7	1	9	PO, ST, PÁ	439,4 km	8:41

Poznámka: Při zjišťování požadovaného množství zmrzlinových směsí na jednotlivých stáncích jsme občas jak ve verzi I, tak také ve verzi II narazili na problém. Tento problém spočíval v tom, že jsme v určitých případech potřebovali získat tzv. opačnou informaci. Měli jsme např. město Velké Meziříčí, které bylo v původní rozvozové trase obsluhováno 2x týdně, jenže v nově vytvořených trasách toto město spadalo do trasy, jež je obsluhována 3x týdně. Vyskytl se zde problém, jakým způsobem určit, jaké je požadované množství tohoto města, když se změní intenzita rozvozu. Konkrétně v případě Velkého Meziříčí jsme postupovali tak, že jsme se podívali do přílohy E, tam jsme si vyhledali dané město a podívali se na celkovou hodnotu dovezeného zboží. Poté jsme si otevřeli přílohu F a v ní jsme hledali město se stejnou nebo podobnou celkovou hodnotou dovezeného zboží. Když jsme toto město určili, tak jsme si u něj následně vyhledali nejvyšší hodnotu (tučně zvýrazněná) a to byl náš nový požadavek pro dané město, se kterým jsme následně počítali. Obdobně jsme postupovali také u jiných měst. Vyhledávání této opačné informace jsme ve verzi I použili u trasy č. 3 (v případě města Havlíčkův Brod, Čáslav a Kutná Hora), u trasy č. 4 (v případě města Velké Meziříčí) a u trasy č. 7 (v případě města Jindřichův Hradec). Ve verzi II bylo vyhledávání této opačné informace aplikováno na trasu č. 3 (v případě města Havlíčkův Brod) a na trasu č. 4 (v případě města Velké Meziříčí).

4.6 Porovnání tras

4.6.1 Porovnání tras verze I a verze II

Podíváme-li se na trasy verze I a verze II, celkem tři ze sedmi tras jsou naprosto totožné. Jedná se přesně o trasy č. 1, 2 a 5. Jsou u nich tedy totožné časové náročnosti a také požadované množství zboží.

Zbylé čtyři trasy verze II jsou od verze I odlišné, nicméně odlišnosti zde nejsou nijak extrémní. Složení jednotlivých tras se liší např. v rozdílu dvou či tří měst zařazených, resp. nezařazených do příslušné trasy. Největší rozdíl mezi těmito dvěma optimalizacemi zaznamenáváme v tom, že ve verzi I byla trasa č. 7 obsluhována dvěma řidiči, jednalo se o trasu zahrnující převážně města jižní Moravy. V případě verze II je trasa č. 4 obsluhována dvěma řidiči, přičemž tato trasa zahrnuje převážně města východních Čech a Vysočiny. Již tato skutečnost naznačuje rozdílné složení jednotlivých tras a předpokládá se zde také odlišná kilometrová náročnost, na kterou se více zaměříme v následující podkapitole.

4.6.2 Porovnání původních tras a optimalizovaných tras verze II

V tomto případě již nebudeme porovnávat jednotlivé trasy, ale přejdeme rovnou ke zjištění kilometrové náročnosti jednotlivých tras.

Tab. 10 Kilometrová náročnost původních a nově vytvořených tras (verze II)

Trasa	Rozvoz	Původní trasy	Nové trasy
Trasa č. 1	2 x týdně	975,0 km	878,8 km
Trasa č. 2		816,1 km	809,4 km
Trasa č. 3		500,4 km	513,4 km
Trasa č. 4	3 x týdně	573,3 km	542,5 km
Trasa č. 5		517,6 km	466,0 km
Trasa č. 6		432,8 km	415,1 km
Trasa č. 7		378,6 km	439,4 km

V tabulce č. 10 máme k dispozici kilometrové náročnosti původních a nově vytvořených tras verze II. Z této tabulky můžeme také opět dopočítat, kolik km se týdně najezdí v případě původních tras a kolik km v případě nově vytvořených tras.

Původní trasy:

$$2x(975{,}0+816{,}1+500{,}4)+3x(573{,}3+517{,}6+432{,}8+378{,}6)=10289{,}9\,\text{km}$$

Nové trasy:

$$2x(878{,}8+809{,}4+513{,}4)+3x(542{,}5+466{,}0+415{,}1+439{,}4)=9992{,}2\,\text{km}$$

Z výše provedených výpočtů vyplývá, že v případě nových tras verze II se týdně najezdí o 297,7 km méně než v případě původních tras. Tyto trasy tedy můžeme označit za optimální a můžeme je doporučit společnosti, neboť by pomocí nich mohla snížit své náklady.

Zmrzlinová sezóna trvá od měsíce dubna do měsíce září, tedy půl roku, což odpovídá 26 týdnům. Během tohoto období by společnost díky novým trasám verze II mohla najezdit o zhruba 7 740 km méně. Vozy společnosti, kterými se uskutečňuje rozvoz zboží, mají průměrnou spotřebu 9,9 l/100 km. Budeme-li uvažovat cenu nafty 30 Kč/l, tak by v tomto případě mohla společnost za zmrzlinovou sezónu ušetřit celkem 22 988 Kč, což v případě celkové sumy 794 586 Kč za PHM (uvažujeme-li opět konstantní cenu nafty 30 Kč/l) představuje úsporu ve výši 2,89 %.

4.7 Optimalizace rozvozových tras

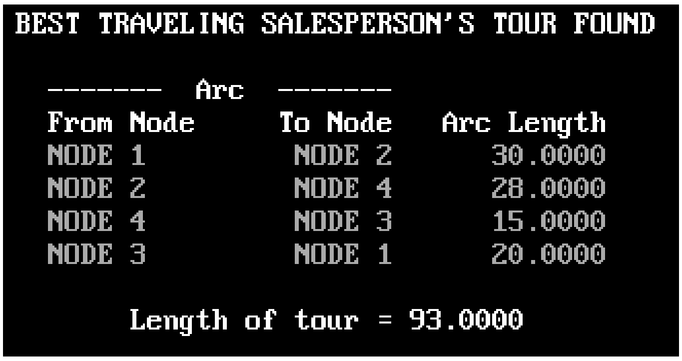
Doposud byla optimalizace jednotlivých tras prováděna pouze pomocí softwaru STORM. V následující kapitole a jejích podkapitolách se zaměříme čistě na optimalizaci rozvozových tras verze II, přičemž k této optimalizaci použijeme jednak již zmíněný software STORM, ale také software LINGO. Cílem této kapitoly bude porovnat výsledky z těchto dvou optimalizačních programů. Na některé konkrétní trase si taktéž ukážeme aplikaci Littlovy metody.

Ještě před tím, než přejdeme k samotným výsledkům z programu STORM a LINGO, tak si ukážeme, jak se v daných programech pracuje, jakým způsobem se zadávají data a jak se výsledky interpretují.

4.7.1 Práce v programu STORM

O programu STORM bylo pojednáno již v kapitole 3.6.1. Jak již bylo zmíněno, pro účely této práce se jeví jako vhodný použít modul 4, tedy optimalizační úlohy v grafech, který si zvolíme v hlavním menu a potvrdíme ho klávesou enter. Následně je třeba načíst data. Buď můžeme data načíst z existujícího souboru, nebo vytvořit nový datový soubor, přičemž požadovanou možnost opět potvrdíme klávesou enter. V případě vytvoření nového datového souboru je třeba zadat počet míst a typ matice (symetrická, nesymetrická). Poté již stačí vepsat hodnoty do matice a přejít k řešení úlohy stisknutím klávesy F7. Po tomto kroku je ještě zapotřebí zadat, že chceme řešit úlohu obchodního cestujícího.

Výsledné řešení úlohy můžeme vidět níže na obrázku č. 7.



Obr. 7 Řešení úlohy v programu STORM

Z obrázku č. 7 je patrné, že daná ukázková okružní trasa bude v celkové délce 93 km. Z výchozího města 1 se pojede do města 2, následně do města 4, poté do města 3, ze kterého se opět vrátíme do výchozího města 1.

4.7.2 Práce v programu LINGO

O programu LINGO bylo také již pojednáno v teoretické části této práce, konkrétně v podkapitole 3.6.3. Tento program využívá speciální jazyk pro matematické modelování. Algoritmus pro úlohu obchodního cestujícího (v daném případě se 4 městy) je následující:

```
MODEL:
! Traveling Salesman Problem;
SETS:
 CITY / 1.. 4/: U; ! U(I) = sequence no. of city;
 LINK(CITY, CITY):
 DIST, ! The distance matrix;
 X; ! X(I, J) = 1 if we use link I, J;
ENDSETS
DATA: !Distance matrix, it need not be symmetric;
 DIST = 0 30 20 50
30 0 35 28
20 35 0 15
50 28 15 0;
ENDDATA
!The model:Ref. Desrochers & Laporte, OR Letters,
 Feb. 91;
 N = @SIZE(CITY);
 MIN = @SUM(LINK: DIST * X);
 @FOR(CITY(K):
 ! It must be entered;
 @SUM(CITY(I)| I #NE# K: X(I, K)) = 1;
 ! It must be departed;
 @SUM(CITY(J)| J #NE# K: X(K, J)) = 1;
 !Weak form of the subtour breaking constraints;
 !These are not very powerful for large problems;
 @FOR(CITY(J)| J #GT# 1 #AND# J #NE# K:
 U(J) >= U(K) + X (K, J) -
 (N - 2) * (1 - X(K, J)) +
 (N - 3) * X(J, K)
 );
 );
 ! Make the X's 0/1;
 @FOR(LINK: @BIN(X));
! For the first and last stop we know...;
 @FOR(CITY(K)| K #GT# 1:
 U(K) <= N - 1 - (N - 2) * X(1, K);
 U(K) >= 1 + (N - 2) * X(K, 1)
 );
END
```

Po napsání algoritmu do programu již stačí kliknout na symbol určený pro vyřešení úlohy. Řešení úlohy určíme z následujícího obrázku č. 8.

```
X( 1, 1)        1.000000        0.000000
X( 1, 2)        0.000000        30.00000
X( 1, 3)        1.000000        20.00000
X( 1, 4)        0.000000        50.00000
X( 2, 1)        1.000000        30.00000
X( 2, 2)        0.000000        0.000000
X( 2, 3)        0.000000        35.00000
X( 2, 4)        0.000000        28.00000
X( 3, 1)        0.000000        20.00000
X( 3, 2)        0.000000        35.00000
X( 3, 3)        0.000000        0.000000
X( 3, 4)        1.000000        15.00000
X( 4, 1)        0.000000        50.00000
X( 4, 2)        1.000000        28.00000
X( 4, 3)        0.000000        15.00000
X( 4, 4)        0.000000        0.000000
```

Obr. 8 Řešení úlohy v programu LINGO

Z obrázku č. 8 je patrné, že z výchozího města 1 se pojede do města 3, následně do města 4, poté do města 2, ze kterého se vrátíme do výchozího města 1. Výsledný okruh je dlouhý 93 km.

Srovnáme-li výsledky z programu STORM a LINGO, můžeme vidět, že v daném případě se trasy neliší, pouze jsou projety v opačném směru. Výsledná délka okruhu je tedy totožná. Programy STORM a LINGO pracují na bázi různých algoritmů, a proto se v určitých případech, hlavně v případech obsahujících větší množství měst, mohou výsledné trasy odlišovat. V následující kapitole se proto zaměříme na porovnání výsledků optimalizace z těchto dvou programů.

4.7.3 Optimalizace rozvozových tras verze II pomocí softwaru STORM a LINGO

Tab. 11 Porovnání optimalizace rozvozových tras verze II ze softwaru STORM a LINGO

Číslo trasy	**Program**	**Optimalizované pořadí měst**	**Vzdálenost**	**Pozn.**
1	STORM	Brno (S) – Trmice – Ústní nad Labem (1) – Ústí nad Labem (2) – Teplice – Litvínov – Most – Otvice – Chomutov (1) – Chomutov (2) – Kadaň – Klášterec nad Ohří – Cheb – Mariánské Lázně – Žatec – Brno (S)	878,8 km	S[10]

[10] S – města projeta ve stejné pořadí

	LINGO	Brno (S) – Trmice – Ústní nad Labem (1) – Ústí nad Labem (2) – Teplice – Litvínov – Most – Otvice – Chomutov (1) – Chomutov (2) – Kadaň – Klášterec nad Ohří – Cheb – Mariánské Lázně – Žatec – Brno (S)		
2	STORM	Brno (S) – Benešov – Praha (4) – Praha (2) – Praha (5) – Mělník – Jablonec nad Nisou – Liberec (1) – Liberec (2) – Nový Bor – Česká Lípa – Děčín – Litoměřice – Louny – Praha (3) – Praha (1) – Brno (S)	809,4 km	S
	LINGO	Brno (S) – Benešov – Praha (4) – Praha (2) – Praha (5) – Mělník – Jablonec nad Nisou – Liberec (1) – Liberec (2) – Nový Bor – Česká Lípa – Děčín – Litoměřice – Louny – Praha (3) – Praha (1) – Brno (S)		
3	STORM	Brno (S) – Havlíčkův Brod – Jindřichův Hradec – Strakonice – Písek – Tábor – Pelhřimov – Brno (S)	513,4 km	P[11]
	LINGO	Brno (S) – Pelhřimov – Tábor – Písek – Strakonice – Jindřichův Hradec – Havlíčkův Brod – Brno (S)		
4	STORM	Brno (S) – Brno (3) – Brno (2) – Brno (1) – Chrudim – Pardubice (1) – Pardubice (2) – Hradec Králové – Dvůr Králové nad Labem – Jičín – Nymburk – Kutná Hora – Čáslav – Jihlava – Třebíč – Velké Meziříčí – Brno (S)	542,5 km	S
	LINGO	Brno (S) – Brno (3) – Brno (2) – Brno (1) – Chrudim – Pardubice (1) – Pardubice (2) – Hradec Králové – Dvůr Králové nad Labem – Jičín – Nymburk – Kutná Hora – Čáslav – Jihlava – Třebíč – Velké Meziříčí – Brno (S)		
5	STORM	Brno (S) – Přerov – Hranice – Nový Jičín – Kopřivnice – Havířov – Orlová – Ostrava (1) – Ostrava (2) – Opava – Krnov – Bruntál – Brno (S)	466 km	S
	LINGO	Brno (S) – Přerov – Hranice – Nový Jičín – Kopřivnice – Havířov – Orlová – Ostrava (1) – Ostrava (2) – Opava – Krnov – Bruntál – Brno (S)		
6	STORM	Brno (S) – Blansko – Boskovice – Zábřeh – Jeseník – Olomouc (2) – Olomouc (1) – Prostějov – Kroměříž – Vyškov – Brno (S)	415,1 km	P

[11] P – města projeta v protisměru

	LINGO	Brno (S) – Vyškov – Kroměříž – Prostějov – Olomouc (1) – Olomouc (2) – Jeseník – Zábřeh – Boskovice – Blansko – Brno (S)		
7	STORM	Brno (S) – Kyjov – Otrokovice – Vsetín – Zlín - Uherské Hradiště – Veselí nad Moravou – Hodonín – Znojmo (2) – Znojmo (1) – Brno (S)	439,4 km	S
	LINGO	Brno (S) – Kyjov – Otrokovice – Vsetín – Zlín - Uherské Hradiště – Veselí nad Moravou – Hodonín – Znojmo (2) – Znojmo (1) – Brno (S)		

V tabulce č. 11 je k dispozici přehled optimalizovaných rozvozových tras pomocí softwaru STORM a LINGO. U tras disponujících větším množstvím měst bylo předpokládáno, že se výsledky z programu STORM a LINGO budou lišit, nicméně výsledky dokazují opak. Ani u jedné z výše uvedených tras nenastala změna v uspořádání měst, pouze dvě trasy, a to trasa č. 3 a č. 6, jsou projety v opačném směru, tedy v protisměru. Je tedy zřejmé, že v našem případě kilometrová náročnost z obou dvou programů dosahuje stejně vysokých hodnot.

4.7.4 Littlova metoda

Jak již bylo zmíněno v teoretické části práce, kromě počítačových programů existuje také celá řada metod sloužících k řešení okružního dopravního problému. S těmito metodami jsme se seznámili v kapitole 3.5. Nyní přejdeme ke konkrétní aplikaci jedné z metod na náš problém. Ukážeme si aplikaci Littlovy metody na trasu č. 3, která obsahuje celkem 7 míst, jež si označíme čísly od 1 do 7:

1 – Brno (S)
2 – Havlíčkův Brod
3 – Jindřichův Hradec
4 – Pelhřimov
5 – Písek
6 – Strakonice
7 – Tábor

Při řešení úlohy pomocí Littlovy metody vycházíme z matice vzdáleností, kterou máme k dispozici níže v tabulce č. 12.

Tab. 12 Littlova metoda – matice vzdáleností v km

	1	2	3	4	5	6	7
1	–	95,1	155,2	114,9	203,6	233,7	156,4
2	95,1	–	76,8	36,6	125,2	155,3	78,0
3	155,2	76,8	–	43,0	82,4	105,1	46,7
4	114,9	36,6	43,0	–	90,8	121,0	43,6
5	203,6	125,2	82,4	90,8	–	26,3	51,6
6	233,7	155,3	105,1	121,0	26,3	–	81,8
7	156,4	78,0	46,7	43,6	51,6	81,8	–

Na tuto výchozí matici aplikujeme algoritmus Littlovy metody, jenž byl již podrobně popsán v teoretické části této práce, konkrétně v podkapitole 3.5.6.

V prvním kroku řešení je třeba si upravit matici vzdáleností tak, aby se v každém řádku a sloupci vyskytovala alespoň jedna nulová sazba. Tyto nulové sazby získáme tak, že v každém řádku a sloupci odečteme od příslušných hodnot nejnižší sazbu, tzv. transformační konstantu, která se pro sloupec značí a_i a pro řádek b_j. Následně je potřeba vypočítat hodnotu Z_0, o kterou se sníží hodnota účelové funkce. Poté jsou pro všechna políčka s nulovou sazbou vypočítány hodnoty Φ_{ij} jako součet $c_{i,min}$ a $c_{j.min.}$ Poté se vybere maximální hodnota Φ_{ij}, která určí první etapu okruhu v podobě cesty z místa i do místa j. Následující tabulka č. 13 demonstruje první krok Littlovy metody.

Tab. 13 První krok Littlovy metody

	1	2	3	4	5	6	7	TK
1	–	95,1 0 **19,8**	155,2 60,1 57	114,9 19,8	203,6 108,5	233,7 138,6	156,4 61,3 57,6	95,1
2	95,1 58,5 0 **19,8**	–	76,8 40,2 37,1	36,6 0 **0**	125,2 88,6	155,3 118,7	78 41,4 37,7	36,6
3	155,2 112,2 53,7	76,8 33,8	–	43 0 **0**	82,4 39,4	105,1 62,1	46,7 3,7 0 **3,3**	43
4	114,9 78,3 19,8	36,6 0 **3,3**	43,0 6,4 3,3	–	90,8 54,2	121 84,4	43,6 7,0 3,3	36,6
5	203,6 177,3 118,8	125,2 98,9	82,4 56,1 53,0	90,8 64,5	–	26,3 0 **59,8**	51,6 25,3 21,6	26,3
6	233,7 207,4 148,9	155,3 129,0	105,1 78,8 75,7	121,0 94,7	26,3 0 **59,8**	–	81,8 55,5 51,8	26,3
7	156,4 112,8 54,3	78 34,4	46,7 3,1 0 **3,3**	43,6 0 **0**	51,6 8		–	43,6
TK	58,5		3,1				3,7	

Po odečtení transformačních konstant a vypočítání hodnot Φ_{ij} vidíme, že největší hodnota nabývá velikosti 59,8 a přísluší řádku č. 5 a sloupci č. 6. To znamená, že do výsledného okruhu se jako první zařadí trasa z města 5 do města 6. Poté se vypočítá hodnota Z_0 a $Z_{\overline{56}}$.

$$Z_0 = 307{,}5 + 65{,}3 = 372{,}8$$

$$Z_{\overline{56}} = 372{,}8 + 59{,}8 = 432{,}6$$

Než přejdeme ke druhému kroku Littlovy metody, je zapotřebí si matici zredukovat a to tak, že vynecháme pátý řádek a šestý sloupec. Zároveň je také nutné zakázat vratnou cestu z města 6 do města 5, která by předčasně uzavřela okruh a označit ji symbolem ∞. Druhý krok Littlovy metody je uveden níže v tabulce č. 14.

Tab. 14 Druhý krok Littlovy metody

	1	2	3	4	5	7	TK
1	–	0 **19,8**	57	19,8	108,5 100,5	57,6	
2	0 **19,8**	–	37,1	0 **0**	88,6 80,6	37,7	
3	53,7	33,8	–	0 **0**	39,4 31,4	0 **0**	
4	19,8	0 **3,3**	3,3	–	54,2 46,2	3,3	
6	148,9 97,1	129,0 77,2	75,7 23,9	94,7 42,9	∞	51,8 0 **23,9**	51,8
7	54,3	34,4	0 **3,3**	0 **0**	8 0 **31,4**	–	
TK					8		

Z druhého kroku Littlovy metody je zřejmé, že nejvyšší hodnota Φ nabývá 31,4. Do výsledného okruhu se tedy zařadí cesta z města 7 do města 5. Následně je třeba vypočítat hodnotu Z_{56} a porovnat ji s hodnotou $Z_{\overline{56}}$.

$$Z_{56} = 372{,}8 + 51{,}8 + 8 = 432{,}6$$

$$Z_{56} \leq Z_{\overline{56}} \qquad 432{,}6 \leq 432{,}6$$

Výše uvedené porovnání je pravdivé a to znamená, že cesta z města 5 do města 6 byla do okruhu zařazena správně. Před přechodem ke třetí etapě je zapotřebí vypočítat $Z_{\overline{75}}$.

$$Z_{\overline{75}} = 432{,}6 + 31{,}4 = 464{,}0$$

Dále je také nutné si matici opět zredukovat, tentokrát vynecháním sedmého řádku a pátého sloupce a opět symbolem ∞ označit vratnou cestu, v tomto případě cestu z města 6 do města 7. Třetí krok Littlovy metody je uveden níže v tabulce č. 15.

Tab. 15 Třetí krok Littlovy metody

	1	2	3	4	7	TK
1	–	0 **19,8**	57	19,8	57,6	
2	0 **19,8**	–	37,1	0 **0**	37,7	
3	53,7	33,8	–	0 **0**	0 **3,3**	
4	19,8	0 **3,3**	3,3	–	3,3	
6	97,1 73,2	77,2 53,3	23,9 0 **22,3**	42,9 19	∞	23,9
TK						

U třetího kroku Littlovy metody nabývá Φ nejvyšší hodnoty v šestém řádku a třetím sloupci. Znamená to tedy, že jako další bude do okruhu zařazena trasa z města 6 do města 3. Poté je zapotřebí vypočítat hodnotu Z_{75} a porovnat ji s hodnotou $Z_{\overline{63}}$.

$$Z_{75} = 432{,}6 + 23{,}9 = 456{,}5$$

$$Z_{75} \le Z_{\overline{75}} \qquad 456{,}5 \le 464{,}0$$

Vzhledem k tomu, že výše uvedená nerovnost je pravdivá, cesta z města 7 do města 5 byla do okruhu zařazena správě. Před započetím třetí etapy je nutné vypočítat hodnotu $Z_{\overline{63}}$.

$$Z_{\overline{63}} = 456{,}0 + 22{,}3 = 478{,}3$$

V dalším kroku se matice opět zredukuje, a to vynecháním šestého řádku a třetího sloupce. Zakázaná vratná cesta označená symbolem ∞, která by předčasně uzavřela okruh, bude v tomto případě z města 3 do města 7.

Pro získání kompletního řešení je třeba projít ještě dalšími třemi kroky. Nebudeme zde ukazovat již celý postup, nýbrž se zaměříme pouze na klíčové faktory.

4. krok

- $\phi_{max} = 34{,}4$ nacházející se ve čtvrtém řádku a sedmém sloupci, do okruhu bude zařazena trasa z města 4 do města 7
- $Z_{63} = 456{,}5 + 3{,}3 = 459{,}8$, podmínka $Z_{63} \le Z_{\overline{63}}$ splněna, $459{,}8 \le 478{,}3$
- $Z_{\overline{47}} = 459{,}8 + 34{,}4 = 494{,}2$

5. Krok

- $\phi_{max} = 19{,}9$ nacházející se ve druhém řádku a prvním sloupci, do okruhu bude zařazena trasa z města 2 do města 1
- $Z_{47} = 459{,}8 + 33{,}8 = 493{,}6$, podmínka $Z_{47} \leq Z_{\overline{47}}$ splněna, $493{,}6 \leq 494{,}2$
- $Z_{\overline{21}} = 493{,}6 + 19{,}9 = 513{,}5$

6. Krok

- $Z_{21} = 493{,}6 + 19{,}8 = 513{,}4$, podmínka $Z_{21} \leq Z_{\overline{21}}$ splněna, $513{,}4 \leq 513{,}5$
- Zbyla matice typu 2x2, ve které jsou dvě ze čtyř cest zakázány
- Zbývající trasy určují poslední dvě cesty v okruhu, kterými je cesta z města 1 do města 4 a cesta z města 3 do města 2
- Vzdálenost okružní trasy je dle Z_{21}, okružní trasa je tedy dlouhá 513,4 km

Pořadí míst výsledné okružní trasy pomocí Littlovy metody je následující: 1 – 4 – 7 – 5 – 6 – 3 – 2 – 1, tedy Brno (S) – Pelhřimov – Tábor – Písek – Strakonice – Jindřichův Hradec – Havlíčkův Brod – Brno (S) v celkové délce 513,4 km.

Můžeme si povšimnout, že v tomto případě jsme pomocí Littlovy metody dospěli ke stejně náročnému řešení jako v případě použití softwaru STORM a LINGO (viz tabulka č. 11).

Obecně se pomocí Littlovy metody, v porovnání s optimalizačními softwary, dospívá k horším řešením. Výše uvedená trasa toto tvrzení ovšem nepotvrdila, proto nyní zkusíme Littlovu metodu aplikovat na další trasu. Zvolena byla trasa č. 1, která obsahuje celkem 15 měst. K tomuto výpočtu byl využit program z předmětu Ekonomicko matematické metody pro řešení úloh Littlovou metodou.

Pořadí míst výsledné okružní trasy pomocí Littlovy metody je následující: Brno (S) – Žatec – Mariánské Lázně – Cheb – Klášterec nad Ohří – Kadaň – Chomutov (2) – Chomutov (1) – Otvice – Trmice – Ústí nad Labem (1) – Ústí nad Labem (2) – Most – Litvínov – Teplice – Brno (S) v celkové délce 933,7 km. Porovnáme-li toto řešení s řešením z programu STORM a LINGO, narazíme již na určité odlišnosti, neboť optimalizovaná trasa z těchto dvou programů byla v následující podobě: Brno (S) – Trmice – Ústní nad Labem (1) – Ústí nad Labem (2) – Teplice – Litvínov – Most – Otvice – Chomutov (1) – Chomutov (2) – Kadaň – Klášterec nad Ohří – Cheb – Mariánské Lázně – Žatec – Brno (S) s celkovou délkou 878,8 km. Vidíme zde tedy rozdíl v 54,9 km v neprospěch Littlovy metody, což poukazuje na skutečnost, že v případě většího množství měst vykazuje Littlova metoda horší výsledky a je výhodnější využít optimalizační program, který jednak přinese lepší řešení, je časově rychlejší a také eliminuje riziko vzniku případné chyby.

4.8 Optimální umístění nového skladu

Vzhledem k dosavadnímu rozmístění prodejních stánků po celé České republice a vzhledem k sídlu distribučního skladu v Brně, které se jeví jako neefektivní pro rozvoz zboží do Čech, se nyní zaměříme na navrhnutí optimálního umístění nového distribučního skladu na území Čech, které by zajišťovalo právě rozvoz zboží po tomto území.

V teoretické části práce, konkrétně v podkapitolách 3.7.1 a 3.7.2, jsme se zabývali teorií k umístění jediného bodového objektu a k umístění více bodových objektů. V této práci se budeme zabývat umístěním nového skladu na území Čech, budeme tedy aplikovat teorii z podkapitoly 3.7.1, která byla věnována právě umístění jediného bodového objektu.

Nejprve je ovšem nutné si síť zmrzlinových stánků rozdělit na dvě části, na okruh č. 1 a okruh č. 2. Okruh č. 1 bude zásobován z nového distribučního skladu na území Čech, pro který v další části práce nalezneme vhodné umístění tak, aby byla minimalizována kilometrová náročnost pro rozvoz zboží. Okruh č. 1 bude zahrnovat města středních, západních, severních a východních Čech. Okruh č. 2 bude zásobován z distribučního skladu v Brně v Bosonohách a bude zahrnovat zbylá města ze sítě zmrzlinových stánků, konkrétně města Moravy, Slezska, Vysočiny a jižních Čech. Rozdělení sítě zmrzlinových stánků na 2 okruhy máme k dispozici v příloze G.

Nyní tedy můžeme přejít k problematice optimálního umístění nového skladu, která se týká okruhu č. 1. Pro všechna města spadající do tohoto okruhu bude zapotřebí si zjistit jejich zeměpisné souřadnice, ke kterým jednoduše dospějeme pomocí internetových stránek mapy.cz. Města spadající do okruhu č. 1 společně s jejich souřadnicemi jsou k dispozici v příloze H, přičemž formát těchto zeměpisných souřadnic je pro usnadnění výpočtu rovnou převeden ze stupňů, minut a sekund na desetinné číslo.

Místo optimálního umístění skladu bude mít souřadnice vycházející ze vzorců 3.34 a 3.35 uvedených v podkapitole 3.7.1. Výpočet těchto souřadnic je následující:

$$x = \frac{\sum_{i=1}^{m} w_i a_i}{\sum_{i=1}^{m} w_i} = \frac{91145{,}0362588}{1809} = 50{,}3842102$$ [12]

$$y = \frac{\sum_{i=1}^{m} w_i b_i}{\sum_{i=1}^{m} w_i} = \frac{26093{,}8591522}{1809} = 14{,}4244661$$ [13]

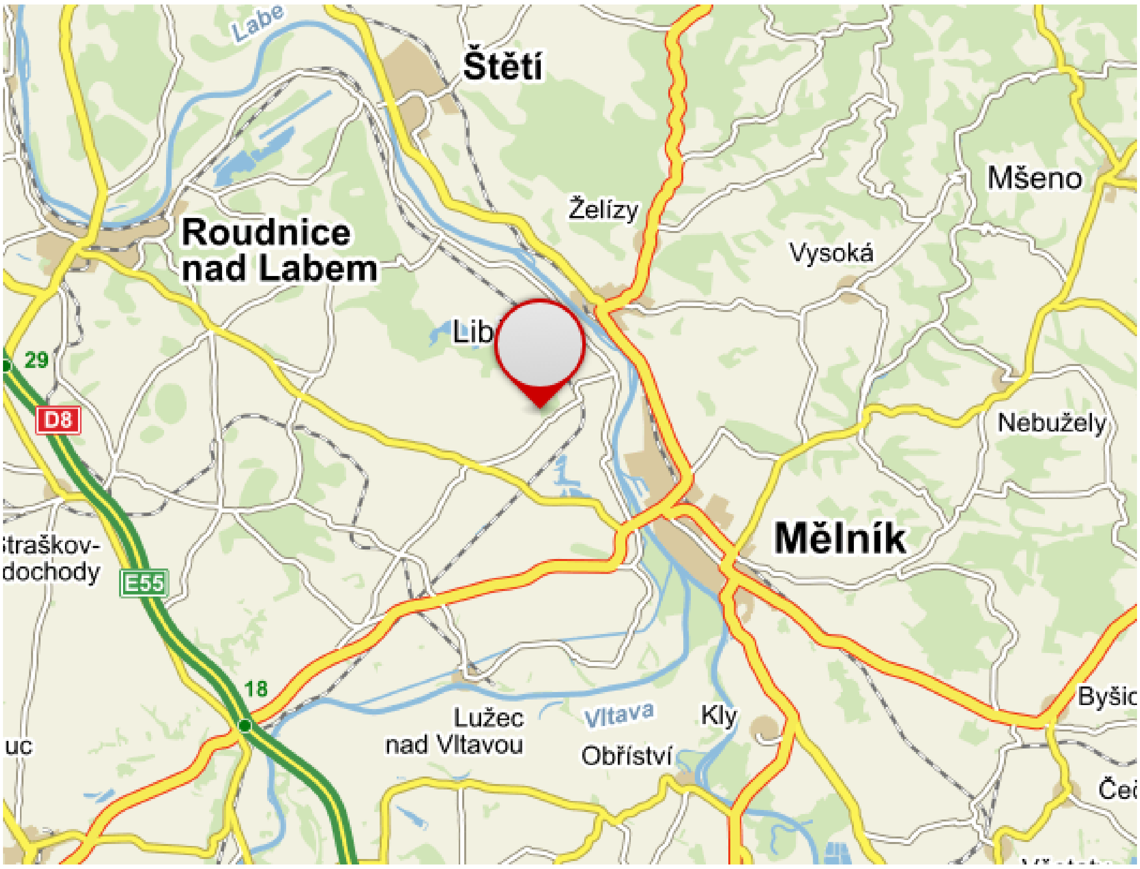
Ve výše uvedených vzorcích představují a_i a b_i konkrétní souřadnice měst a w_i znázorňují měrné náklady od bodu P se souřadnicemi a_i a b_i do bodu x se souřadni-

[12] Desetinné číslo 50,3842102 představuje 50°23'3.157" severní šířky

[13] Desetinné číslo 14,4244661 představuje 14°25'28,078" východní délky

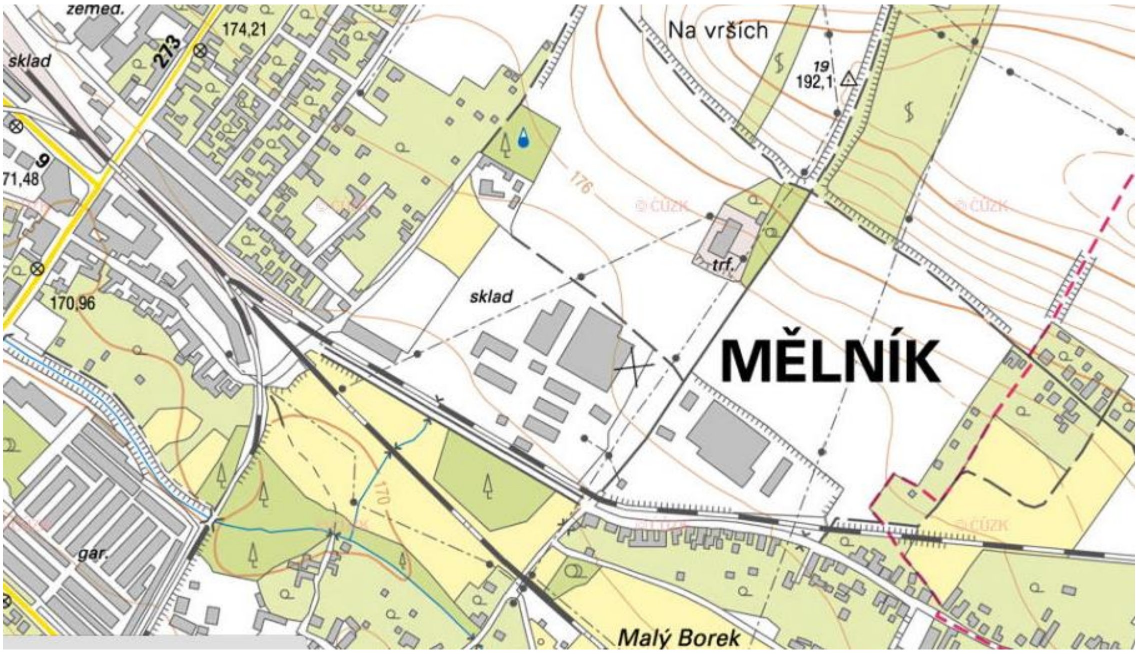
cemi *x, y*. V našem případě jsou těmito měrnými náklady myšleny průměrné dodávky zmrzlinových směsí na jednotlivá prodejní místa v období od 29. 6. 2015 do 19. 7. 2015. V příloze I nalezneme tabulku potřebnou k provedení výpočtu souřadnic pro optimální umístění nového skladu.

Nyní tedy víme, že souřadnice pro umístění nového skladu jsou [50,3563736; 14,4164968] neboli po převedení na stupně, minuty a sekundy [50°23'3.157"; 14°25'28,078"]. Stačí tedy do mapy.cz do pole pro vyhledávání zadat tato dvě čísla a stisknout enter. Prohlížeč nám poté toto místo s danými souřadnicemi vyhledá. Na obrázku č. 9 máme k dispozici výsledek tohoto vyhledávání.



Obr. 9 Místo pro umístění nového distribučního skladu na území Čech
Zdroj: Mapy.cz, ©2016

Z obrázku č. 9 je patrné, že toto místo se nachází tam, kde je červeno-šedé označení. V tomto místě není žádná vesnice či město, proto si tedy lokalizaci optimálního umístění skladu budeme muset nepatrně přizpůsobit, neboť je velice nepravděpodobné, že by se nový distribuční sklad nacházel uprostřed polí, kde nic není. Optimální umístění skladu přesuneme do nedalekého města Mělník, který je od červeno-šedého označení vzdáleno zhruba 7 km. Prostřednictvím webových stránek ikatastr.cz jsme si našli plochu se sklady v Mělníku. (viz obrázek č. 10)



Obr. 10 Skladové prostory v Mělníku
Zdroj: Katastr nemovitostí a katastrální mapa, ©2016

Pro účely této práce budeme předpokládat, že by si firma mohla pronajmout nebo vybudovat sklad právě v těchto místech. Adresa pro nový distribuční sklad v Mělníku, ze kterého by mohla být zásobována města z okruhu č. 1, bude proto tedy Blatecká 3344.

4.9 Vytvoření nových rozvozových tras – 2 okruhy

Tato kapitola bude věnována vytvoření nových rozvozových tras v rámci okruhu č. 1 a okruhu č. 2 a jejich následné optimalizaci, přičemž města z okruhu č. 1 budou zásobována z nového skladu v Mělníku na adrese Blatecká 3344 a města z okruhu č. 2 budou zásobována ze skladu v Bosonohách na adrese Pražská 156.

Města, která budou zařazena do okruhu, zjistíme pomocí Mayerovy metody. Výsledná optimalizace tras bude provedena pomocí programu STORM.

4.9.1 Okruh č. 1

Rozvozová trasa č. 1

Města zařazena do okruhu: Cheb, Mariánské Lázně, Klášterec nad Ohří, Kadaň, Chomutov (2), Chomutov (1), Otvice, Most, Litvínov, Žatec, Teplice, Ústí nad Labem (1), Ústí nad Labem (2) a Trmice

Optimalizovaná podoba trasy: Mělník (S) – Žatec – Mariánské Lázně – Cheb - Klášterec nad Ohří – Kadaň – Chomutov (2) – Chomutov (1) – Otvice – Most – Litvínov – Teplice – Ústí nad Labem (1) – Ústí nad Labem (2) – Trmice – Mělník (S)

Časová náročnost: 8 hodin a 57 minut
Požadované množství zboží: 1080 kg

Rozvozová trasa č. 2
Města zařazena do okruhu: Chrudim, Pardubice (1), Pardubice (2), Hradec Králové, Dvůr Králové nad Labem, Čáslav, Kutná Hora, Nymburk, Jičín a Benešov

Optimalizovaná podoba trasy: Mělník (S) – Nymburk – Jičín – Dvůr Králové nad Labem – Hradec Králové – Pardubice (2) – Pardubice (1) – Chrudim – Čáslav - Kutná Hora – Benešov – Mělník (S)

Časová náročnost: 8 hodin a 22 minut
Požadované množství zboží: 840 kg

Rozvozová trasa č. 3
Města zařazena do okruhu: Liberec (2), Liberec (1), Jablonec nad Nisou, Nový Bor, Česká Lípa, Děčín, Litoměřice, Louny, Mělník, Praha (5), Praha (2), Praha (4), Praha (1) a Praha (3)

Optimalizovaná podoba trasy: Mělník (S) – Mělník – Praha (5) – Praha (4) – Praha (2) – Praha (1) – Praha (3) – Louny – Litoměřice – Děčín – Česká Lípa – Nový Bor – Liberec (2) – Liberec (1) – Jablonec nad Nisou – Mělník (S)

Časová náročnost: 8 hodin a 57 minut
Požadované množství zboží: 930 kg

4.9.2 Okruh č. 2

Rozvozová trasa č. 1
Města zařazena do okruhu: Strakonice, Písek, Tábor, Pelhřimov, Havlíčkův Brod, Jihlava, Velké Meziříčí, Třebíč a Jindřichův Hradec

Optimalizovaná podoba trasy: Brno (S) – Velké Meziříčí – Třebíč – Jindřichův Hradec – Strakonice – Písek – Tábor – Pelhřimov – Havlíčkův Brod – Jihlava – Brno (S)

Časová náročnost: 8 hodin a 51 minut
Požadované množství zboží: 550 kg

Rozvozová trasa č. 2
Města zařazena do okruhu: Krnov, Opava, Bruntál, Ostrava (2), Ostrava (1), Havířov, Orlová, Kopřivnice, Nový Jičín, Hranice a Přerov

Optimalizovaná podoba trasy: Brno (S) – Přerov – Hranice – Nový Jičín – Kopřivnice – Havířov – Orlová – Ostrava (1) – Ostrava (2) – Opava – Krnov – Bruntál – Brno (S)

Časová náročnost: 8 hodin a 35 minut
Požadované množství zboží: 670 kg

Rozvozová trasa č. 3
Města zařazena do okruhu: Jeseník, Zábřeh, Olomouc (1), Olomouc (2), Prostějov, Vyškov, Brno (2), Brno (3), Brno (1), Blansko, Boskovice a Kroměříž

Optimalizovaná podoba trasy: Brno (S) – Brno (1) – Blansko – Boskovice – Zábřeh – Jeseník – Olomouc (2) – Olomouc (1) – Prostějov – Kroměříž – Vyškov – Brno (2) – Brno (3) – Brno (S)

Časová náročnost: 8 hodin a 47 minut
Požadované množství zboží: 770 kg

Rozvozová trasa č. 4
Města zařazena do okruhu: Vsetín, Zlín, Otrokovice, Uherské Hradiště, Veselí nad Moravou, Kyjov, Hodonín, Znojmo (2) a Znojmo (1)

Optimalizovaná podoba trasy: Brno (S) – Kyjov – Otrokovice – Vsetín – Zlín - Uherské Hradiště – Veselí nad Moravou – Hodonín – Znojmo (2) – Znojmo (1) – Brno (S)

Časová náročnost: 8 hodin a 41 minut
Požadované množství zboží: 760 kg

Tab. 16 Komplexní charakteristika rozvozových tras (okruh č. 1 a okruh č. 2)

Označení okruhu	Číslo trasy	Počet řidičů	Počet odběrat. míst	Rozvozové dny	Vzdálenost	Časová náročnost
Okruh č. 1	1 (1.1)	1	14	ÚT, ČT	465,3 km	8:57
	2 (1.2)	1	10	ÚT, ČT	411,9 km	6:55
	3 (1.3)	1	14	ÚT, ČT	412,5 km	8:57
Okruh č. 2	1 (2.1)	1	9	PO, ST, PÁ	512,6 km	8:51
	2 (2.2)	1	11	PO, ST, PÁ	466,0 km	8:35
	3 (2.3)	1	12	PO, ST, PÁ	419,9 km	8:47
	4 (2.4)	1	9	PO, ST, PÁ	439,4 km	8:41

Stejně jako u tras verze I a verze II, tak i zde jsme v určitých případech potřebovali získat tzv. opačnou informaci (vysvětleno na str. 61). Vyhledávání této opačné informace bylo aplikováno u trasy č. 2 okruhu č. 1 (v případě všech měst zařazených do této trasy) a u trasy č. 1 okruhu č. 2 (v případě měst Velké Meziříčí, Jindřichův Hradec, Strakonice, Písek, Tábor a Pelhřimov).

4.10 Porovnání tras

Porovnáme-li optimalizované trasy verze II a optimalizované trasy okruhu č. 1 a 2 zjistíme, že dvě ze sedmi tras jsou naprosto totožné. Tuto shodu můžeme vypozorovat u trasy č. 5 verze II, která je stejná jako trasa č. 2.2 a dále u trasy č. 7 verze II, která je totožná s trasou č. 2.4. Města v trase č. 1 verze II jsou taktéž totožná, ale liší se v tom, že tento okruh je v případě trasy č. 1 obsluhován z distribučního skladu v Brně a v případě trasy 1.1 je obsluhován z nového skladu v Mělníku. Zbylé 4 trasy vykazují již odlišné složení, ale každá z tras verze II je vždy do jisté míry podobná nějaké trase okruhu č. 1 nebo 2 lišící se vždy pouze jen např. u tří či čtyř města zařazených do okruhu.

Podrobným zkoumáním podobností a odlišností jednotlivých tras se ale více zabývat nebudeme a raději přistoupíme k porovnání kilometrové náročnosti.

V tabulce č. 17 můžeme vidět porovnání kilometrové náročnosti optimalizovaných tras verze II a optimalizovaných tras okruhu č. 1 a 2, přičemž je jasné, že kilometrové náročnosti u tras okruhu č. 1 a 2 budou menší, neboť města jsou obsluhována jednak z distribučního skladu v Brně, ale také z nového skladu v Mělníku.

Tab. 17 Kilometrová náročnost optimalizovaných tras verze II a optimalizovaných tras okruhu č. 1 a 2

Trasa	Trasy verze II		Trasy okruhu č. 1 a 2	
	Počet km	**Četnost rozvozu**	**Počet km**	**Četnost rozvozu**
Trasa č. 1 ~ 1.1[14]	878,8 km	2 x týdně	465,3 km	2 x týdně
Trasa č. 2 ~ 1.3	809,4 km	2 x týdně	412,5 km	2 x týdně
Trasa č. 3 ~ 2.1	513,4 km	2 x týdně	512,6 km	3 x týdně
Trasa č. 4 ~ 1.2	542,5 km	3 x týdně	411,9 km	2 x týdně
Trasa č. 5 = 2.2[15]	466,0 km	3 x týdně	466,0 km	3 x týdně
Trasa č. 6 ~ 2.3	415,1 km	3 x týdně	419,9 km	3 x týdně
Trasa č. 7 = 2.4	439,4 km	3 x týdně	439,4 km	3 x týdně

Z tabulky č. 17 si opět můžeme dopočítat, kolik km se týdně najezdí v případě nových tras verze II a kolik km v případě nových tras okruhu č. 1 a 2.

[14] Trasa č. 1 ~ 1.1 znamená, že trasa č. 1 je podobná trase č. 1 okruhu č. 1, obdobná interpretace také u dalších tras

[15] Trasa č. 5 = 2.2 znamená, že trasa č. 5 je totožná s trasou č. 2 okruhu č. 2, obdobná interpretace také u dalších tras

Nové trasy verze II:
$$2x(878{,}8+809{,}4+513{,}4)+3x(542{,}5+466{,}0+415{,}1+439{,}4)=9992{,}2\,\mathrm{km}$$

Nové trasy okruhu č. 1 a 2:
$$2x(465{,}3+412{,}5+411{,}9)+3x(512{,}6+466{,}0+419{,}9+439{,}4)=8093{,}1\,\mathrm{km}$$

Z výše uvedených výpočtů je patrné, že v případě nových tras okruhu č. 1 a 2 se týdně najezdí o 1 899,1 km méně než v případě nových tras verze II, což v případě zmrzlinové sezóny trvající 26 týdnů činí celkem 49 376,6 km. Budeme-li opět uvažovat průměrnou spotřebu vozu 9,9 l/100 km a cenu nafty 30 Kč/l, tak dospějeme k úspoře ve výši 146 648,5 Kč za zmrzlinovou sezónu. K této částce je třeba také ještě přičíst náklady vztahující se k amortizaci vozidla, opotřebení pneumatik atd., které byly stanoveny na 2,5 Kč za každý ujetý km. Celkově se nám tedy úspora navýší o dalších 123 441,5 Kč na sumu ve výši zhruba 270 000 Kč. Vytvořením nových tras okruhu č. 1 a 2 by společnost mohla také uspořit určité mzdové náklady, neboť k obsluze tras by již nebylo zapotřebí tolik řidičů jako dříve. Úspora těchto mzdových nákladů by se mohla bez problémů za zmrzlinovou sezónu vyšplhat až k 150 000 Kč, což by opět navýšilo úsporu na celkovou sumu zhruba ve výši 420 000 Kč za zmrzlinovou sezónu. Nyní by bylo již jen otázkou, kolik by stál pronájem skladových prostor, tak aby se společnosti tento pronájem vyplatil a byl v požadovaném místě, v našem případě tedy někde v blízkosti města Mělník.

5 Diskuze

Tato diplomová práce se zabývala uplatněním metod lineárního programování při řešení dopravních úloh. Hlavní téma práce spočívalo ve využití těchto metod k následné tvorbě a sestavení okružních tras a ve stanovení vhodného umístění nového skladu na území Čech.

Vše bylo aplikováno na společnost ICE invest spol. s r. o., která svou činnost mimo jiné zaměřuje také na provozování sítě zmrzlinových stánků ICY SMILE. Společnost má prodejní stánky s točenou zmrzlinou rozmístěné po České republice a Slovensku, přičemž předmětem této práce byl rozvoz zboží pouze po České republice.

K rozvozu zboží má společnost k dispozici celkem čtyři vozy značky Volkswagen Crafter a pět řidičů starající se o tuto činnost. Dosavadní distribuční síť podniku se skládá celkem ze sedmi tras, přičemž u tří z těchto sedmi tras je nutné, aby ve voze byli dva řidiči, neboť časová náročnost příslušných tras je vysoká a ze zákona by ji jeden řidič nemohl absolvovat. Proto je v těchto případech nutné, aby ve voze byli právě řidiči dva. Pro mnoho lidí může být fakt, že trasu obsluhují dva řidiči, nepochopitelný a mohou si říkat, proč nejsou jednotlivé trasy sestaveny tak, aby každou trasu obsluhoval pouze jeden řidič. Vzhledem k rozmístění distribuční sítě zmrzlinových stánků po celé České republice a vzhledem k umístění skladu v Brně je zde vysvětlení ale relativně jednoduché a srozumitelné. Samotným přejezdem ze skladu v Brně do měst v Čechách, týkající se hlavně západních a severních Čech, by řidič ztratil spoustu času a poté by mu zbylo již málo času na objíždění jednotlivých prodejních míst. Výsledkem by byla skutečnost, že by řidič obsloužil jen velice málo prodejních míst a v důsledku toho by také nebyla zajisté zcela zaplněna kapacita vozidla, což by bylo neefektivní. Při takto vytvořené distribuční síti, ve které by na každé trase byl vždy jen jeden řidič, by společnost najezdila až zbytečně mnoho km a měla by tedy vysoké náklady na PHM a další náklady s dopravou spojené. Kdežto v případě, když by na těchto trasách byli řidiči dva, tak by již stačili objet více prodejních míst a nemuseli by se do dané oblasti vracet na jiné trase, čímž by společnost zase určité náklady na PHM ušetřila. A toto je právě odůvodnění toho, proč jsou vzdálenější místa obsluhována vždy dvěma řidiči.

Dosavadní distribuční síť není ve společnosti nijak zvláště dlouho zavedená a v minulosti neustále podléhala změnám. Vedení společnosti je přesvědčeno o tom, že distribuční síť ještě není zcela v optimální podobě, a proto se tato práce zabývala tím, jak by se daná síť mohla vylepšit, a to z hlediska minimalizace počtu najetých kilometrů.

V práci byly vytvořeny celkem tři zoptimalizované verze distribuční sítě. Dvě z nich byly obsluhovány pouze z dosavadního skladu v Brně a v práci jsou označeny jako nové rozvozové trasy verze I a verze II. Poslední, tedy třetí distribuční síť, je částečně obsluhována z dosavadního skladu v Brně a částečně z navrženého skladu na území Čech, jehož optimálnímu umístění je také věnována část této práce. Tuto poslední distribuční síť nalezneme v práci pod pojmenováním nové rozvozové trasy okruhu č. 1 a 2.

Hned u první optimalizované distribuční sítě, tedy u nových rozvozových tras verze I, se ovšem paradoxně ukázalo, že z hlediska počtu najetých kilometrů je toto řešení horší než to původní. Proto byly vytvořeny nové rozvozové trasy verze II, u jejichž vytváření se nepostupovalo přesně pomocí algoritmu Mayerovy metody, neboť v případě verze I se kvůli jeho přesnému dodržení nedospělo k lepšímu řešení, než bylo to původní. Bylo zapotřebí tedy do Mayerovy metody zakomponovat selský lidský rozum a intuici a také bylo potřeba vždy patřičně zvážit, kterým městem již okruh uzavřít a kterým ještě nikoliv. Tato problematika byla detailně rozebrána na konci podkapitoly 4.4 a v úvodu kapitoly 4.5.

V rámci vytvoření nových rozvozových tras jsme museli vždy akceptovat dvě omezení, a to časové a kapacitní. V případě, kdy byla trasa obsluhována jedním řidičem, tak celková doba jízdy nesměla přesáhnout více než 9 hodin a v případě obsluhy trasy dvěma řidiči nesměla být tato doba delší než 13,5 hodiny. Taktéž nesměla být na žádné z tras překročena maximální kapacita (nosnost) vozidla, kde byla brána v potaz hodnota přibližně 1,1 tuny vztahující se ke zmrzlinovým směsím.

Samotná optimalizace jednotlivých tras se dala provést pomocí ruční Littlovy metody nebo za pomoci specializovaných počítačových softwarů. Littlova metoda byla v práci aplikována pouze na 2 trasy, a to kvůli tomu, že ruční výpočet je časově náročný a taktéž hrozí možnost vzniku numerických chyb, čímž by mohlo být ovlivněno konečné řešení. Optimalizace jedné kratší trasy pomocí Littlovy metody vykázala stejné výsledky jako specializované počítačové softwary, proto se přešlo k aplikaci této metody na další trasu, u které jsme již rozdíl v optimalizaci mezi Littlovou metodou a specializovanými počítačovými softwary zaznamenali. Můžeme tedy konstatovat, že Littlova metoda se nejeví jako efektivní nástroj pro konečnou optimalizaci, neboť je její postup časově náročný, při jejím výpočtu může člověk snadno udělat chybu a taktéž v případě většího počtu míst v okruhu dospívá k horším výsledkům než specializované optimalizační programy.

Kvůli výše zmíněným nedostatkům byla optimalizace v práci prováděna specializovanými optimalizačními programy, a to především programem STORM. K optimalizaci nových rozvozových tras verze II byl taktéž využit program LINGO, aby se mohly srovnat výsledky plynoucí ze STORMU a LINGA, neboť tyto dva programy pracují s jinými algoritmy a předpokládaly se určité odchylky v rámci jednotlivých tras. Výsledek byl ovšem jiný. Optimalizované podoby tras ze STORMU a LINGA byly ve stejné podobě, maximálně se lišily v tom, že některé trasy byly pouze projety v protisměru, ale jinak byla kilometrová náročnost jednotlivých tras shodná. Proto byla další optimalizace prováděna již pouze za pomoci programu STORM, neboť k tomuto programu měla autorka přístup z domu. K programu LINGO měla autorka taktéž přístup z domu, ale pouze k jeho zkušební verzi, která byla pro potřeby této práce nedostačující. Plná verze tohoto programu byla autorce k dispozici v prostorách univerzity.

Oba dva programy, STORM a LINGO, pracují na jiné bázi. Program STROM je starší program pracující v linuxovém prostředí, ale v dnešní době není problém tento program nainstalovat taktéž na počítače s operačním systémem Windows. STORM je určený pro řešení menších úloh. Úlohu např. se 4 místy vyřeší STORM takřka ihned, ale vyřešení úlohy např. se 16 místy mu zabere už kolem 30 sekund. Oproti tomu program LINGO je vhodný i pro řešení velkých úloh až s několika tisíci proměnnými a omezeními. Řešení našich úloh, kde nejvyšší počet míst byl 16, trvalo LINGU maximálně 5 sekund. U LINGA stojí taktéž za zmínku skutečnost, že tento program obsahuje speciální jazyk pro matematické modelování. Mnoho lidí by se tohoto faktu mohlo zaleknout, ale není se vůbec čeho bát. Algoritmy pro jednotlivé typy úloh jsou snadno dohledatelné na stránkách společnosti LINDO a poté si již stačí jen algoritmus upravit pro konkrétní velikost příslušné úlohy. Když bychom měli porovnání těchto dvou programů shrnout, práce v LINGU je rychlejší a pohodlnější, ale na druhou stranu STORM zase vygeneruje řešení úlohy v přehlednější podobě. Nedá se tedy jednoznačně říci, který z programů je lepší, neboť vidíme, že každý program má určité přednosti a nedostatky.

Jak již bylo zmíněno výše, část práce se taktéž zabývala optimálním umístěním nového skladu na území Čech. V práci jsme dospěli k výsledku, že při stávající distribuční síti a při navrženém rozdělení měst do okruhu č. 1 a 2 by měl být sklad umístěn v blízkosti města Mělník. V tomto případě, když by si společnost vybudovala nový sklad v těchto končinách nebo pronajala sklad v Mělníku, tak by mohla minimalizovat množství najetých kilometrů.

V práci byly tedy navrženy dvě použitelné optimalizace tras, a to optimalizované nové trasy verze II (obsluhované ze skladu v Brně) a optimalizované nové trasy okruhu č. 1 a 2 (obsluhované ze skladu v Brně a v Mělníku). První optimalizací jsme dospěli k závěru, že v porovnání s původním řešením by společnost mohla za zmrzlinovou sezónu najezdit zhruba o 7 740 km méně, což by při průměrné spotřebě 9,9 l/100 km a při ceně nafty 30 Kč/l mohlo znamenat celkovou úsporu nákladů ve výši necelých 23 000 Kč. Druhou optimalizací jsme dospěli k závěru, že v porovnání s optimalizací první by společnost mohla za zmrzlinovou sezónu najezdit zhruba o 49 380 km méně, což opět při průměrné spotřebě 9,9 l/100 km a při ceně nafty 30 Kč/l představuje úsporu ve výši necelých 147 000 Kč. K oběma výše zmíněným sumám je třeba ještě připočíst náklady na amortizaci vozidla, opotřebení pneumatik atd. V případě druhé optimalizace je zapotřebí ještě připočíst úsporu mzdových nákladů vztahující se k tomu, že by v tomto případě společnost nepotřebovala tolik řidičů jako dříve. Celková úspora nákladů by se v případě druhé optimalizace mohla vyšplhat až k sumě ve výši zhruba 420 000 Kč za zmrzlinovou sezónu. Nad vybudováním nového skladu v oblasti města Mělník asi nemá smysl uvažovat, neboť by stačila pouze malá změna v distribuční síti a umístění skladu v Mělníku by již opět nemuselo být optimální. Jako případná možnost se zde jeví pronajmutí skladových prostor v tomto městě, otázkou ovšem je, zda by společnost byla schopna najít potřebné skladové prostory v této lokalitě. Taktéž je zde problém, že společnost by potřebovala skladové prostory vždy jen půl roku, neboť zmrzlinová sezóna trvá 6 měsíců, ale pronájem by musela zajisté platit celoročně.

Zde se tedy objevuje otázka, zda by se společnosti tento pronájem vyplatil. Kdyby byl roční pronájem menší než 420 000 Kč, společnost by nad touto možností mohla uvažovat, ale v případě, když by pronájem převyšoval sumu 420 000 Kč, tak by nemělo smysl nad touto variantou uvažovat.

V souvislosti s pronajmutím skladových prostor by musela brát společnost také v potaz to, že by se určití zaměstnanci buď museli přesunout ze stávajícího skladu v Brně do skladu nového, nebo by společnost musela zaměstnat nové lidi a některé stávající propustit. Zde máme na mysli především skladníky a případně také administrativní zaměstnance. Vidíme tedy, že společnost by v tomto případě musela zvážit ještě další okolnosti a teprve až tehdy by se mohla rozhodnout, zda by se jí pronájem nových skladových prostor vyplatil nebo ne.

V závěru diskuze můžeme taktéž podotknout, že všechny cíle práce byly naplněny. Při definování cílů práce jsme ovšem předpokládali vytvoření pouze dvou optimalizovaných podob, ale ve skutečnosti byly v práci vytvořeny tři optimalizované podoby tras, přičemž tedy použitelné byly pouze dvě, neboť jedna ze tří vykazovala horší výsledky než původní řešení. O této problematice bylo již v diskuzi pojednáno, a proto se jí již nebudeme dále podrobněji zabývat.

6 Závěr

Tato diplomová práce se zabývala vytvořením nových rozvozových tras a jejich následnou optimalizací a také vhodným umístěním nového skladu na území Čech.

V první části práce týkající se literárního přehledu byly vysvětleny základní pojmy a teoretické poznatky týkající se logistiky, operačního výzkumu a lineárního programování. Nechyběl zde také přehled a popis vybraných metod a specializovaných počítačových programů sloužící k řešení dané problematiky práce. V této části práce bylo také pojednáno o problematice optimálního umístění nového objektu a o omezení na umístění tohoto objektu. Dále zde byl také představen a přiblížen program OpenRefine, který byl v další části práce využit k tvorbě matice vzdáleností a matice časové.

Druhá část práce byla již praktického charakteru. Nejdříve byla představena společnost ICE invest spol. s r. o. a její stávající distribuční síť. Poté byla navržena nová optimalizovaná distribuční síť. Verze I této optimalizace byla však horší než původní řešení, proto musela být vytvořena verze II, která již vykazovala lepší výsledky. Vytvoření těchto nových distribučních sítí bylo provedeno pomocí Mayerovy metody a samotná optimalizace byla provedena pomocí programu STORM, případně pomocí programu LINGO.

Vzhledem k dosavadnímu rozmístění prodejních stánků po celé České republice a vzhledem k sídlu distribučního centra v Brně, které se jeví jako neefektivní pro rozvoz zboží do Čech, byla vytvořena v souvislosti s optimálním umístěním nového skladu na území Čech další optimalizovaná distribuční síť. Východiskem této sítě byl návrh, že by prodejní místa byla obsluhována z části z distribučního skladu v Brně a z části z nového skladu v Mělníku. Tato distribuční síť byla vytvořena opět pomocí Mayerovy metody, avšak samotná optimalizace již proběhla pouze za pomoci programu STORM.

V práci jsme tedy dospěli ke dvěma návrhům ohledně optimalizace. V případě, když by společnost zásobovala prodejní místa pouze z dosavadního skladu v Brně, tak by díky optimalizaci verze II mohla za zmrzlinovou sezónu uspořit náklady ve výši zhruba 23 000 Kč. Ovšem v úvahu přichází i možnost, že by společnost zásobovala svá prodejní místa jednak ze skladu v Brně, ale jednak také z nového skladu na území Čech. Tímto optimálním umístěním jsme se v práci také zabývali a zjistili jsme, že v případě rozdělení měst do okruhů č. 1 a 2 je optimální poloha nového skladu v blízkosti města Mělník. Na základě této optimalizace, kde by tedy část prodejních míst byla zásobována ze skladu v Brně a část ze skladu v Mělníku, by společnost mohla za zmrzlinovou sezónu vůči optimalizaci verze I ušetřit částku ve výši zhruba 420 000 Kč. V této sumě jsou započítány jednak náklady na PHM, ale také náklady související s amortizací vozidla, opotřebením pneumatik atd. a také ušetřené mzdové náklady vztahující se ke skutečnosti, že by společnost v případě této optimalizace nepotřebovala tolik řidičů jako dříve. V tomto případě by si společnost ovšem musela vybudovat vlastní sklad v Mělníku nebo pronajmout skladové prostory. Autorka práce by společnosti doporučovala pronajmutí prostor, a to jen tehdy, pokud by roční pronájem byl menší než již zmíněných 420 000 Kč.

V práci byly tedy navrhnuty dvě nově vytvořené distribuční sítě, díky kterým by společnost mohla zefektivnit svůj rozvoz zboží a ušetřit tak určité náklady. Získané výsledky by mohla společnost využít tedy jako základ při procesu plánování a řízení dopravy.

Využití operačního výzkumu, v našem případě optimalizačních metod vztahující se k problematice obchodního cestujícího, by mělo být zajisté nedílnou součástí každého podniku, neboť jak již bylo zmíněno v úvodu práce, tak kvalitní a dobře vytvořená distribuční síť může jednak podniku minimalizovat jeho náklady a dále může posílit jeho konkurenceschopnost. Je důležité také dbát na pravidelnou aktualizaci distribuční sítě, neboť to, co je optimální nyní, ještě neznamená, že bude optimální také za rok nebo za pět let. Stačí malá změna v odběratelských místech a stávající distribuční síť již nemusí být pro danou společnost vhodná.

7 Literatura

Knižní publikace:

ANTOŠOVÁ, Romana a Josef HOLOUBEK. Využití Mayerovy metody při řešení více-okruhového okružního dopravního problému. In *Sborník příspěvků z mezinárodního vědeckého semináře "Kvantitativní metody v ekonomii 2010".* 1. vyd. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2010, s. 9-12. ISBN 978-80-7375-438-9.

CARLSON, James A, Arthur JAFFE a Andrew WILES. *The Millennium prize problems*. Cambridge, MA: For The Clay Mathematics Institute, c2006, viii, 165 p. ISBN 082183679x.

DEVLIN, Keith J. *Problémy pro třetí tisíciletí: sedm největších nevyřešených otázek matematiky.* 1. vyd. v českém jazyce. Praha: Argo, 2005, 269 s. Aliter, sv. 24. ISBN 8072037390.

DOLEJŠOVÁ, Miroslava. *System modelling, methods and optimization.* Ed. 1st. Zlín: CEED, 2011, 111 s. Scientific manuscripts. ISBN 978-80-87301-06-7.

DRAHOTSKÝ, Ivo a Bohumil ŘEZNÍČEK. *Logistika: procesy a jejich řízení*. Vyd. 1. Brno: Computer Press, 2003, ix, 334 s. ISBN 80-7226-521-0.

DUDORKIN, Jiří. *Operační výzkum*. Vyd. 3. Praha: České vysoké učení technické, 1997, 296 s. ISBN 80-01-01571-8.

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

GUTIN, Gregory a Abraham PUNNEN. *The traveling salesman problem and its variations*. New York: Springer, c2007, 830 p. ISBN 0-306-48213-4.

HOLOUBEK, Josef. *Ekonomicko-matematické metody*. 2., nezměn. vyd. V Brně: Mendelova univerzita, 2010, 153 s. ISBN 978-80-7375-411-2.

HOLOUBEK, Josef a Petr ZACH. Using Excel to reduce a Square Matrix. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis.* 2012. sv. 60, č. 4, s. 109-114. ISSN 1211-8516.

KUBÍČKOVÁ, Lea. Obchodní *logistika*. Vyd. 1. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2006, 91 s. ISBN 978-80-7157-952-6.

JABLONSKÝ, Josef. Operační *výzkum: kvantitativní modely pro ekonomické rozhodování*. 1. vyd. Praha: Professional Publishing, 2002, 323 s. ISBN 80-86419-42-8.

LALÍK, Michal. *Jak jednat se stavebním úřadem*. 1. vyd. Praha: Grada, 2011, 112 s. Profi & hobby, 148. ISBN 978-80-247-3970-0.

LAUBER, Josef a Josef JABLONSKÝ. *Programy pro matematické modelování I*. Přeprac. 1. vyd. Praha: Vysoká škola ekonomická, 1997a, 233 s. ISBN 80-7079-296-5.

LAUBER, Josef a Josef JABLONSKÝ. *Programy pro matematické modelování II*. Vyd. 1. V Praze: Vysoká škola ekonomická, 1997b, 251 s. ISBN 80-7079-213-2.

LUENBERGER, David a Yinyu Ye. *Linear and nonlinear programming*. New York, NY: Springer Science+Business Media, LLC, 2015, 547 s. ISBN 9783319188416.

MAREK, Karel a Petr PRŮCHA. *Stavební právo v teorii a praxi.* Vyd. 1. Praha: Leges, 2011, 400 s. Praktik (Leges). ISBN 978-80-87576-00-7.

PANUŠ, Jan. *Evolutionary algorithms in optimization's problems of public administration: theses of the dissertation*. Ed. 2nd. Pardubice: University of Pardubice, 2008, 31 s. ISBN 978-80-7395-122-1.

PLEVNÝ, Miroslav a Miroslav ŽIŽKA. *Modelování a optimalizace v manažerském rozhodování*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2007, 296 s. ISBN 978-80-7043-435-2.

RAIS, Karel. *Základy optimalizace a rozhodování*. Vyd. 8., upr. Brno: Zdeněk Novotný, 2003, 134 s. Studijní text pro studium BA Hons. ISBN 80-86510-89-1.

RAIS, Karel a Petr DOSTÁL. *Operational research*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007, 84 s. ISBN 978-80-214-3437-0.

RAŠOVSKÝ, Miroslav a Hana ŠIŠLÁKOVÁ. *Ekonomicko-matematické metody*. Vyd. 1. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 1999, 195 s. ISBN 80-7157-412-0.

SIXTA, Josef a Václav MAČÁT. *Logistika: teorie a praxe*. Vyd. 1. Brno: CP Books, 2005, 315 s. Business books (CP Books). ISBN 80-251-0573-3.

STEVENSON, William J a Ceyhun OZGUR. *Introduction to management science* with *spreadsheets*. Boston: McGraw-Hill/Irwin, 2007, 812 p. ISBN 978-0-07-299066-9.

STODOLA, Josef, Josef MAREK a Jan FURCH. *Logistika*. Vyd. 1. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2007, 337 s. ISBN 978-80-7375-071-8.

SVOBODA, Vladimír. *Doprava jako* součást *logistických systémů*. Vyd. 1. Praha: Radix, 2006, 148 s. ISBN 80-86031-68-3.

ŠUBRT, Tomáš. *Ekonomicko matematické metody II:* aplikace *a cvičení*. Vyd. 2. Praha: ČZU PEF Praha ve vydavatelství Credit, 2001, 148 s. ISBN 978-80-213-0721-6.

VOLEK, Josef. *Operační výzkum*. 1. vyd. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2002, 111 s. ISBN 80-7194-410-6.

ZÍSKAL, Jan a Jaroslav HAVLÍČEK. *Ekonomicko matematické metody II: studijní texty pro distanční studium*. 1. vyd. Praha: Česká zemědělská univerzita, 1999, 191 s. ISBN 80-213-0510-x.

Elektronické zdroje:

Google Maps Distance Matrix API. *Google Developers* [online]. 2016 [cit. 2016-02-02]. Dostupné z: https://developers.google.com/maps/documentation/distance-matrix/

Katastr nemovitostí a katastrální mapa [online]. 2016 [cit. 2016-03-11]. Dostupné z: http://www.ikatastr.cz/

LINDO Systems Inc. [online]. 2015 [cit. 2015-11-09]. Dostupné z: http://www.lindo.com/

Mapy.cz [online]. 2016 [cit. 2016-03-11]. Dostupné z: http://www.mapy.cz/

Územní plán. *Městys Drnholec* [online]. 2011 [cit. 2015-12-09]. Dostupné z: http://www.drnholec.eu/urad/stavebni-uad/uzemni-plan-

O OpenRefine. *OpenRefine* [online]. 2013 [cit. 2016-02-02]. Dostupné z: http://www.openrefine.cz/o-openrefine/

Síť zmrzlinových stánků ICY SMILE. *ICY SMILE* [online]. 2016 [cit. 2016-02-11]. Dostupné z: http://www.iceinvest.cz/sit-zmrzlinovych-stanku-icy-smile

Základní informace k celostátnímu sčítání dopravy 2010. *Celostátní sčítání dopravy* [online]. 2011 [cit. 2015-11-09]. Dostupné z: http://scitani2010.rsd.cz/pages/informations/default.aspx

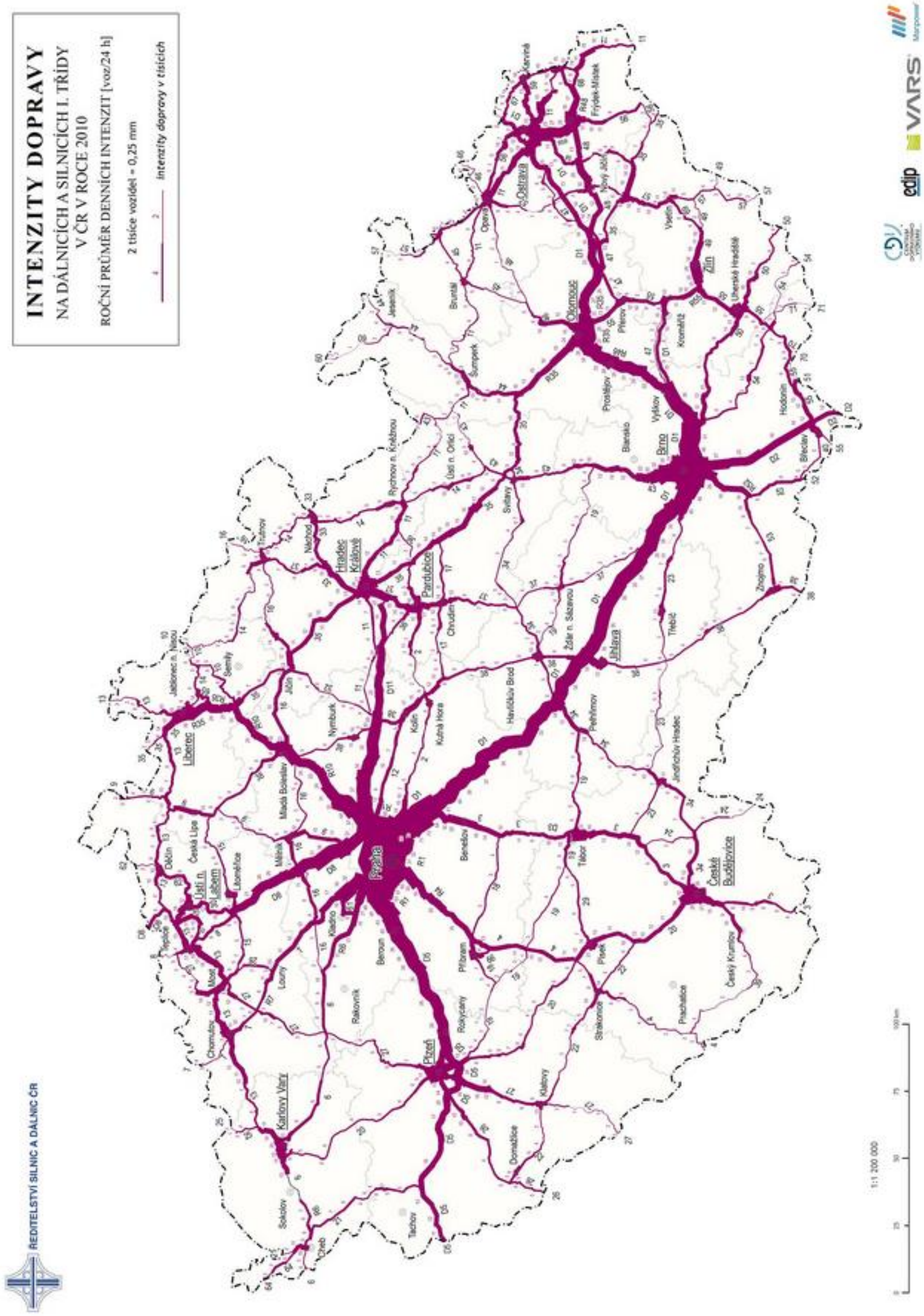
Zákoník práce: Zákon č. 262/2006 Sb. [online]. 2016 [cit. 2016-02-11]. Dostupné z: http://zakonik-prace.cz/

Zákony: Nařízení vlády č. 168/2002 Sb. *Portál veřejné správy* [online]. 2016 [cit. 2016-02-11]. Dostupné z: https://portal.gov.cz/app/zakony/zakon.jsp?page=0&nr=168~2F2002&rpp=15#seznam

Zákony: Zákon č. 183/2006 Sb. *Portál veřejné správy* [online]. 2016 [cit. 2016-02-11]. Dostupné z: https://portal.gov.cz/app/zakony/zakon.jsp?page=0&nr=183~2F2006&rpp=15#seznam

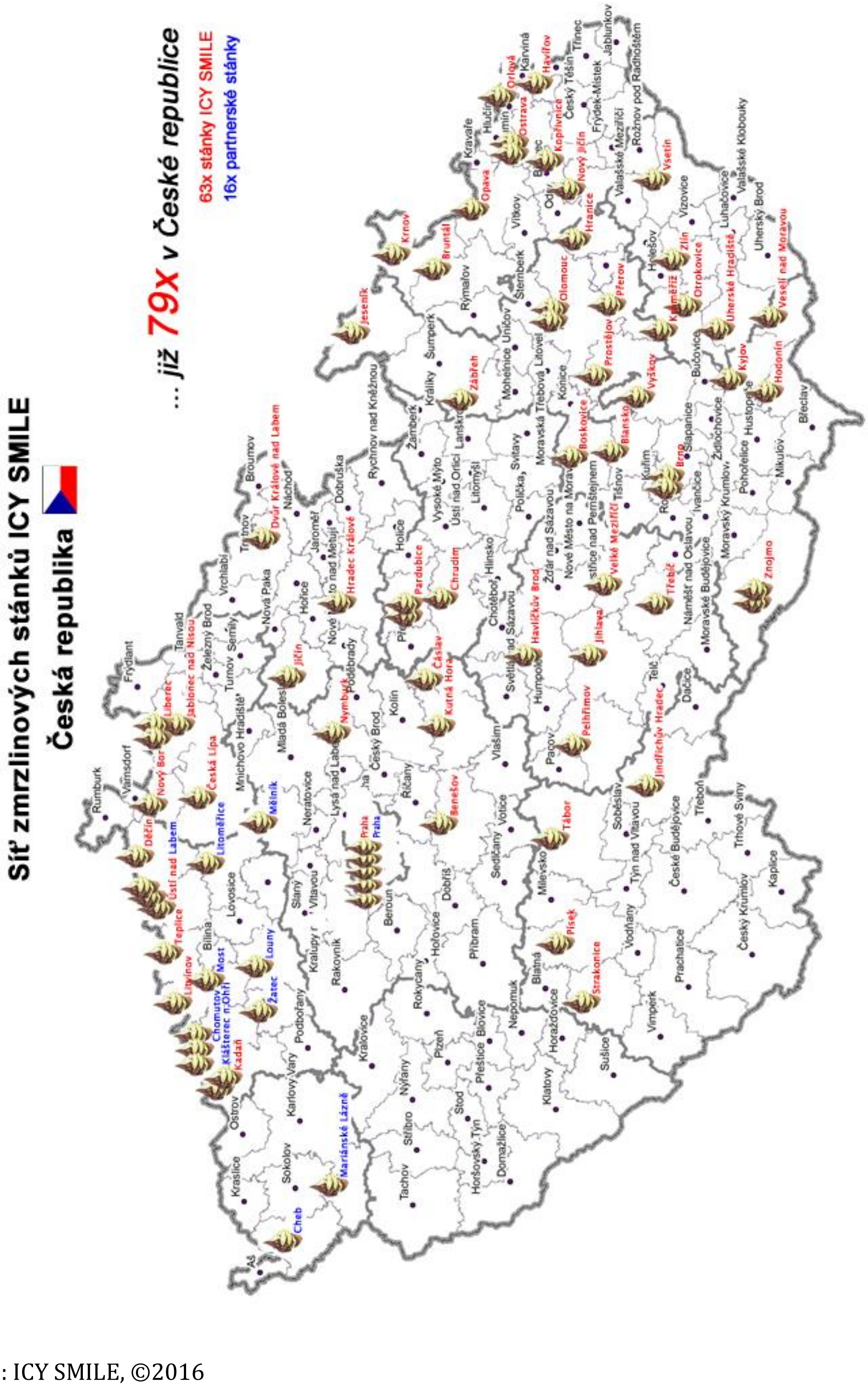
Přílohy

A Intenzita dopravy na dálnicích a silnicích I. třídy v ČR v roce 2010



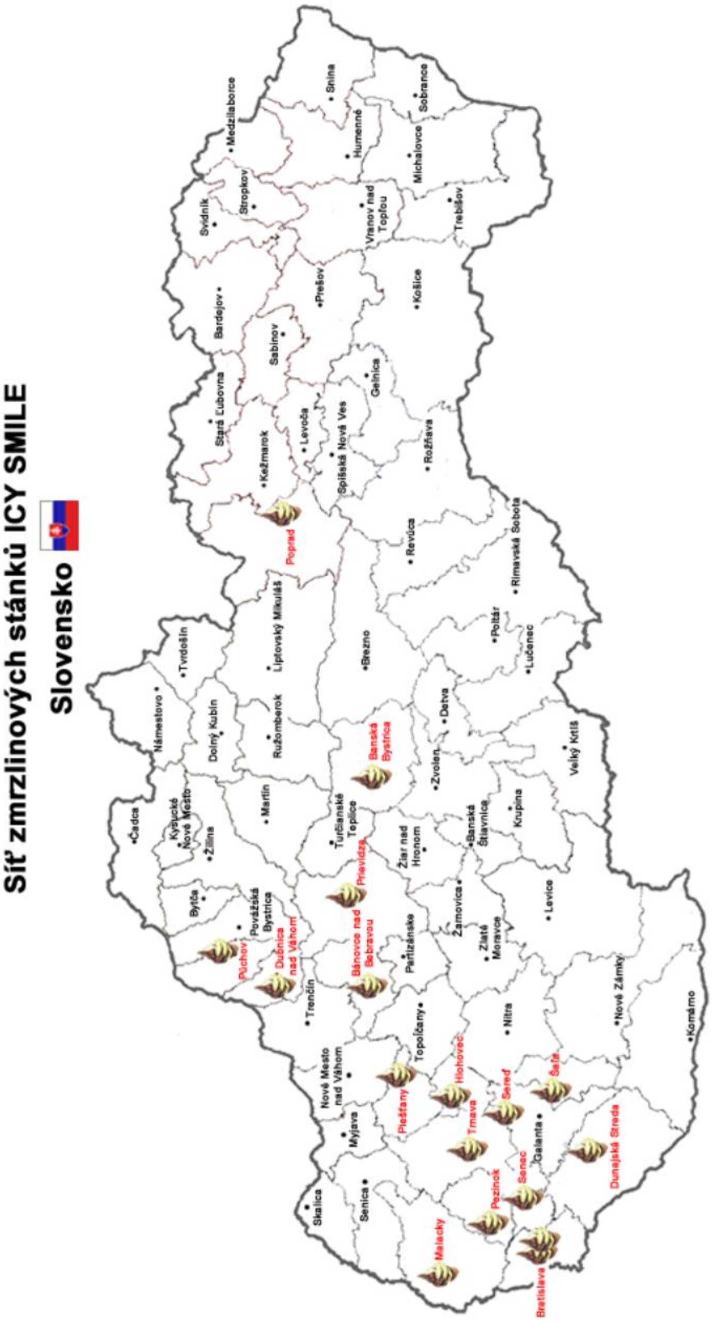
Zdroj: Celostátní sčítání dopravy, ©2011

B Rozmístění sítě zmrzlinových stánků v ČR



Zdroj: ICY SMILE, ©2016

C Rozmístění sítě zmrzlinových stánků na Slovensku



Zdroj: ICY SMILE, ©2016

D Seznam prodejních stánků + sklad

Město	Adresa	Označení v práci
Benešov	Červené Vršky 2217	Benešov
Blansko	Na Řádech 2347/1	Blansko
Boskovice	Rovná 2460/4	Boskovice
Brno	Hradecká 408/40	Brno (1)
Brno	Kamenice 745/1	Brno (2)
Brno	Řípská 1476/27	Brno (3)
Bruntál	tř. Práce 1960/1	Bruntál
Čáslav	Jeníkovská 1983	Čáslav
Česká Lípa	Mimoňská 3090	Česká Lípa
Děčín	Oblouková 1395/4	Děčín
Dvůr Králové nad Labem	17. listopadu 3111	Dvůr Králové nad Labem
Havířov	Před Tratí 891/2	Havířov
Havlíčkův Brod	Bělohradská 3855	Havlíčkův Brod
Hodonín	Dvořákova 4115/6	Hodonín
Hradec Králové	Pilnáčkova 436/11	Hradec Králové
Hranice	Družstevní 2034	Hranice
Cheb	Pivovarská 2396/21	Cheb
Chomutov	Černovická 5430	Chomutov (1)
Chomutov	Mostecká 2	Chomutov (2)
Chrudim	Slovenského národního povstání 1081	Chrudim
Jablonec nad Nisou	Jateční 5156/4	Jablonec nad Nisou
Jeseník	Fučíkova 1342/3	Jeseník
Jičín	Riegrova 1148	Jičín
Jihlava	Romana Havelky 4842/1a	Jihlava
Jindřichův Hradec	Jáchymova 903	Jindřichův Hradec
Kadaň	Na průtahu 1960	Kadaň
Klášterec nad Ohří	Osvobozená 695	Klášterec nad Ohří
Kopřivnice	Štefánikova 1410/18d	Kopřivnice
Krnov	Opavská 1132/14	Krnov
Kroměříž	Obvodová 3310/13a	Kroměříž
Kutná Hora	Ortenova 188	Kutná Hora
Kyjov	Svatoborská 1379/104	Kyjov
Liberec	Dr.Milady Horákové 586/90	Liberec (1)
Liberec	Sousedská 600	Liberec (2)
Litoměřice	Na Kocandě 2201/35	Litoměřice
Litvínov	Jiráskova 2181	Litvínov
Louny	Václava Mayera 2898	Louny
Mariánské Lázně	Chebská 713/16a	Mariánské Lázně

Mělník	Klášterní 3630	Mělník
Most	Kabátnická 1701	Most
Nový Bor	B. Egermanna 881	Nový Bor
Nový Jičín	B. Martinů 2097/30	Nový Jičín
Nymburk	Kolínská 2507	Nymburk
Olomouc	Pražská 248/39	Olomouc (1)
Olomouc	Štursova 1124/3	Olomouc (2)
Opava	Olomoucká 2995/121	Opava
Orlová	Okružní 1430	Orlová
Ostrava	Polská 6191/21	Ostrava (1)
Ostrava	Vítkovická 3278/3	Ostrava (2)
Otrokovice	Dr. E. Beneše 1914	Otrokovice
Otvice	Obchodní zóna 260	Otvice
Pardubice	Poděbradská 293	Pardubice (1)
Pardubice	S. K. Neumanna 2819	Pardubice (2)
Pelhřimov	Pražská 2276	Pelhřimov
Písek	U Nádraží 2565/1	Písek
Praha	Bělohorská 2426/205	Praha (1)
Praha	Toužimská 588/70	Praha (2)
Praha	Pod Paťankou 2743/1b	Praha (3)
Praha	U Plynárny 1432/64	Praha (4)
Praha	Voctářova 2401/8	Praha (5)
Prostějov	Okružní 4262/10	Prostějov
Přerov	Lipnická 2936/4	Přerov
Strakonice	Katovická 1306	Strakonice
Tábor	Volgogradská 2972	Tábor
Teplice	Bohosudovská 1882	Teplice
Trmice	Tyršova 869	Trmice
Třebíč	Brněnská 360	Třebíč
Uherské Hradiště	Města Mayen 1496	Uherské Hradiště
Ústí nad Labem	Okružní 3368/7	Ústí nad Labem (1)
Ústí nad Labem	Všebořická 389/53	Ústí nad Labem (2)
Velké Meziříčí	U Tržiště 2204	Velké Meziříčí
Veselí nad Moravou	Stolařská 1758	Veselí nad Moravou
Vsetín	Jasenická 311	Vsetín
Vyškov	Cukrovarská 492/4	Vyškov
Zábřeh	Leštinská 2336/2	Zábřeh
Zlín	Sokolská	Zlín
Znojmo	Dukelských Bojovníků 3632/156	Znojmo (1)
Znojmo	Jarošova 1234/2	Znojmo (2)
Žatec	Kadaňská 3034	Žatec
Brno (sklad)	Pražská 156	Brno (S)

E Města zásobovaná 2x týdně (kg směsí)

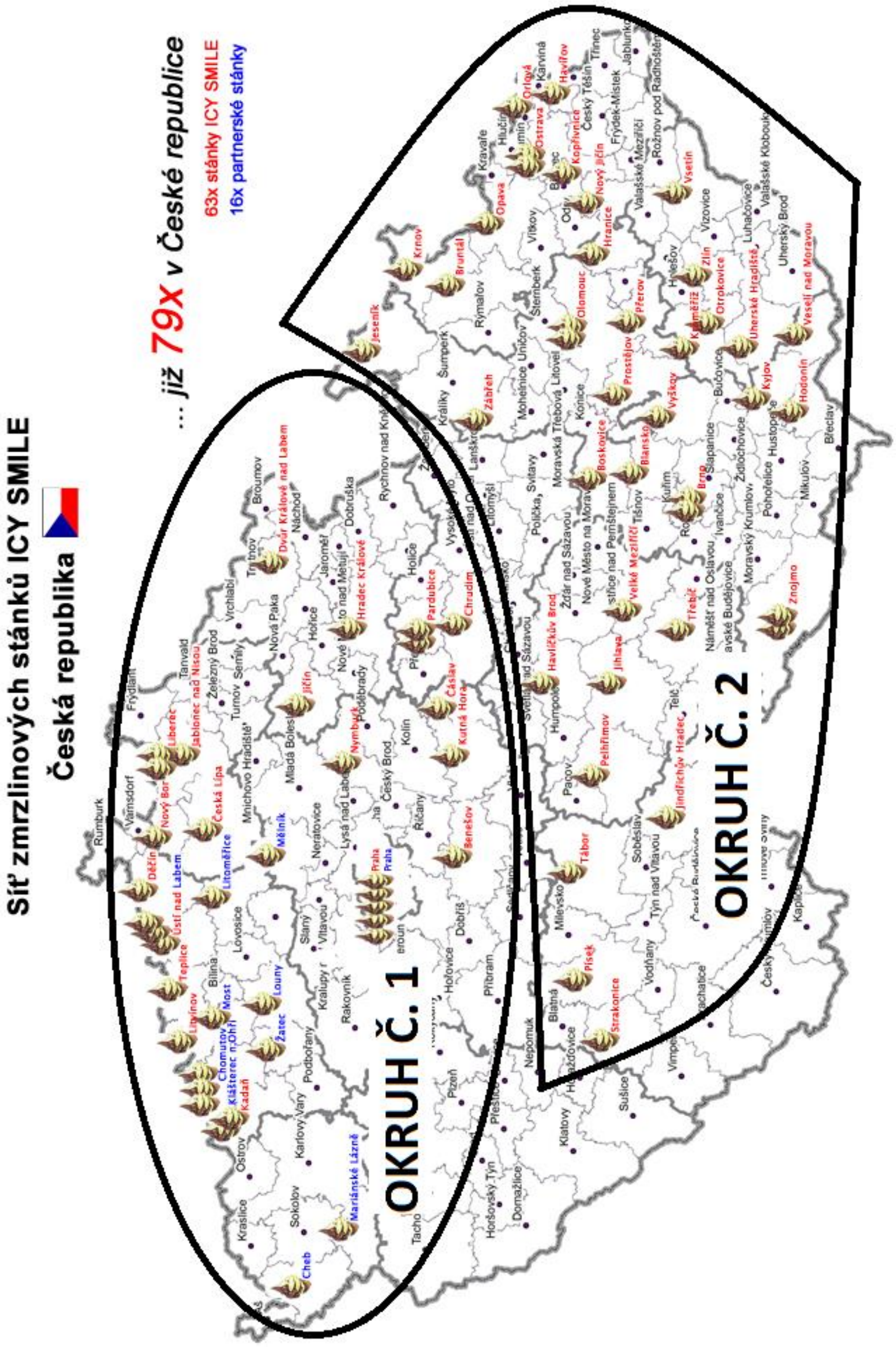
Město	30. 6. 15	2. 7. 15	7. 7. 15	9. 7. 15	14. 7. 15	16. 7. 15	Celkem
Benešov	60	**110**	70	100	50	**110**	500
Česká Lípa	30	**60**	30	**60**	30	50	260
Děčín	30	**50**	30	**50**	20	40	220
Cheb	30	50	30	50	20	**60**	240
Chomutov (1)	30	**120**	40	80	40	90	400
Chomutov (2)	30	70	40	**80**	30	50	300
Jablonec n. Nisou	30	**70**	40	50	20	50	260
Jindřichův Hradec	30	**120**	40	70	40	80	380
Kadaň	30	**70**	40	50	20	50	260
Klášterec n. Ohří	30	50	30	30	20	**60**	220
Liberec (1)	30	50	30	**60**	20	**60**	250
Liberec (2)	30	**70**	30	50	20	60	260
Litoměřice	30	**80**	30	70	30	**80**	320
Litvínov	30	60	30	**70**	20	50	260
Louny	30	70	30	60	30	**90**	310
Mariánské Lázně	30	**70**	20	50	20	50	240
Mělník	30	70	30	**80**	20	60	290
Most	30	**100**	30	80	20	70	330
Nový Bor	30	**50**	30	40	10	**50**	210
Otvice	30	60	30	**70**	20	**70**	280
Pelhřimov	40	**140**	50	90	40	100	460
Písek	40	**80**	40	60	30	**80**	330
Praha (1)	**60**	30	30	30	20	40	210
Praha (2)	30	**60**	20	50	20	**60**	240
Praha (3)	20	40	20	**60**	10	30	180
Praha (4)	30	60	40	**70**	20	60	280
Praha (5)	20	**70**	30	40	20	40	220
Strakonice	40	60	30	**70**	30	**70**	300
Tábor	30	**60**	30	40	20	40	220
Teplice	40	**80**	40	60	30	**80**	330
Trmice	50	**100**	60	90	40	**100**	440
Ústí n. Labem (1)	50	**80**	40	70	30	**80**	350
Ústí n. Labem (2)	**50**	**50**	20	40	40	**50**	250
Velké Meziříčí	40	70	40	**100**	40	70	360
Žatec	40	60	30	40	20	**70**	260

F Města zásobovaná 3x týdně (kg směsí)

Město	**29. 6. 15**	**1. 7. 15**	**3. 7. 15**	**6. 7. 15**	**8. 7. 15**	**10. 7. 15**	**13. 7. 15**	**15. 7. 15**	**17. 7. 15**	**Celkem**
Blansko	40	50	**90**	60	50	70	50	40	50	500
Boskovice	50	70	**100**	80	50	80	50	60	80	620
Brno (1)	**30**	**30**	**30**	20	0	**30**	20	20	20	200
Brno (2)	50	70	70	60	40	80	50	60	**90**	570
Brno (3)	30	50	**60**	50	30	**60**	40	40	50	410
Bruntál	40	40	**60**	40	30	50	20	20	50	350
Čáslav	20	20	**30**	20	**30**	20	10	10	**30**	190
Dvůr Králové	40	**90**	70	50	50	50	40	40	70	500
Havířov	40	**70**	60	40	30	50	40	50	**70**	450
Havlíčkův Brod	40	40	40	30	20	30	20	20	**50**	290
Hodonín	40	50	60	60	40	**70**	40	40	60	460
Hradec Králové	40	50	**60**	50	30	40	30	30	50	380
Hranice	40	50	**70**	60	40	40	30	30	**70**	430
Chrudim	20	**40**	30	**40**	10	20	20	20	**40**	240
Jeseník	30	**40**	**40**	20	20	20	20	20	**40**	250
Jičín	30	30	**40**	20	20	20	10	20	**40**	230
Jihlava	60	80	**120**	90	60	90	70	60	80	710
Kopřivnice	30	20	20	30	20	**40**	20	20	**40**	240
Krnov	40	50	**70**	50	30	50	40	40	**70**	440
Kroměříž	40	30	30	40	20	30	20	20	**50**	280
Kutná Hora	20	20	20	**30**	20	20	10	10	20	170
Kyjov	50	60	**90**	50	40	70	40	50	**90**	540
Nový Jičín	50	50	60	60	40	**70**	40	40	50	460
Nymburk	20	**30**	**30**	**30**	20	20	10	10	20	190
Olomouc (1)	40	40	**60**	30	30	40	40	30	40	350
Olomouc (2)	40	**50**	40	30	30	40	30	30	40	330
Opava	40	40	**50**	**50**	30	40	30	30	40	350
Orlová	40	30	**50**	**50**	30	**50**	30	30	**50**	360
Ostrava (1)	50	**60**	40	30	20	40	40	30	40	350
Ostrava (2)	50	60	**80**	50	30	**80**	60	60	**80**	550
Otrokovice	70	70	**120**	70	60	60	70	60	**120**	700
Pardubice (1)	50	60	60	**80**	40	40	50	40	70	490
Pardubice (2)	**40**	**40**	30	**40**	20	**40**	30	20	**40**	300
Prostějov	40	50	60	**70**	40	60	40	50	**70**	480
Přerov	40	40	**50**	30	20	30	20	20	30	280
Třebíč	40	50	**70**	50	40	**70**	40	40	60	460

Uherské Hradiště	40	50	**70**	50	30	**70**	40	30	60	440
Veselí n. Moravou	60	60	60	40	30	60	40	50	**70**	470
Vsetín	40	40	**60**	40	30	**60**	30	30	**60**	390
Vyškov	60	60	**90**	70	50	80	50	50	**90**	600
Zábřeh	30	**40**	30	30	20	30	20	20	30	250
Zlín	60	80	**130**	90	70	120	50	70	90	760
Znojmo (1)	60	50	**70**	60	50	**70**	40	40	**70**	510
Znojmo (2)	60	70	70	60	40	**80**	50	60	**80**	570

G Rozdělení sítě zmrzlinových stánků na 2 okruhy



H Souřadnice k městům z okruhu č. 1

Město	a_i	b_i
Benešov	49,7938117	14,6828278
Čáslav	49,9026722	15,4035214
Česká Lípa	50,6807433	14,5409558
Děčín	50,7748911	14,2165636
Dvůr Králové nad Labem	50,4274069	15,8176433
Hradec Králové	50,2175000	15,8391903
Cheb	50,0779608	12,3803039
Chomutov (1)	50,4568672	13,3924181
Chomutov (2)	50,4663436	13,4240061
Chrudim	49,9476397	15,8105914
Jablonec nad Nisou	50,7157694	15,1575978
Jičín	50,4320506	15,3554886
Kadaň	50,3834850	13,2754433
Klášterec nad Ohří	50,3891042	13,1939039
Kutná Hora	49,9609175	15,2837389
Liberec (1)	50,7518389	15,0556289
Liberec (2)	50,7773069	15,0289458
Litoměřice	50,5364519	14,1459986
Litvínov	50,5988469	13,6176442
Louny	50,3532203	13,8158992
Mariánské Lázně	49,9655211	12,6975750
Mělník	50,3582167	14,4748194
Most	50,5120028	13,6468217
Nový Bor	50,7664628	14,5443806
Nymburk	50,1773647	15,0443831
Otvice	50,4845875	13,4444394
Pardubice (1)	50,0582847	15,7518247
Pardubice (2)	50,0256436	15,7795494
Praha (1)	50,0773325	14,3395719
Praha (2)	50,1350825	14,5554906
Praha (3)	50,1116939	14,3931147
Praha (4)	50,0558433	14,4703903
Praha (5)	50,1020503	14,4683381
Teplice	50,6559206	13,8472928
Trmice	50,6510917	14,0012861
Ústí nad Labem (1)	50,6629311	14,0218014
Ústí nad Labem (2)	50,6841419	13,9946019
Žatec	50,3235317	13,5290692

I Výpočet optimálního umístění nového skladu

Město	Celkové množství dodaných zmrzlinových směsí v období 29. 6. 2015 – 19. 7. 2015	Průměr (*P*) z celkového množství	Souřadnice (a_i)	Souřadnice (b_i)	$P \times a_i$	$P \times b_i$
Benešov	500	83	49,7938117	14,6828278	4149,4843083	1223,5689833
Čáslav	190	32	49,9026722	15,4035214	1580,2512863	487,7781777
Česká Lípa	260	43	50,6807433	14,5409558	2196,1655430	630,1080847
Děčín	220	37	50,7748911	14,2165636	1861,7460070	521,2739987
Dvůr Králové nad Labem	500	83	50,4274069	15,8176433	4202,2839083	1318,1369417
Hradec Králové	380	63	50,2175000	15,8391903	3180,4416667	1003,1487190
Cheb	240	40	50,0779608	12,3803039	2003,1184320	495,2121560
Chomutov (1)	400	67	50,4568672	13,3924181	3363,7911467	892,8278733
Chomutov (2)	300	50	50,4663436	13,4240061	2523,3171800	671,2003050
Chrudim	240	40	49,9476397	15,8105914	1997,9055880	632,4236560
Jablonec nad Nisou	260	43	50,7157694	15,1575978	2197,6833407	656,8292380
Jičín	230	38	50,4320506	15,3554886	1933,2286063	588,6270630
Kadaň	260	43	50,3834850	13,2754433	2183,2843500	575,2692097
Klášterec nad Ohří	220	37	50,3891042	13,1939039	1847,6004873	483,7764763
Kutná Hora	170	28	49,9609175	15,2837389	1415,5593292	433,0392688
Liberec (1)	250	42	50,7518389	15,0556289	2114,6599542	627,3178708
Liberec (2)	260	43	50,7773069	15,0289458	2200,3499657	651,2543180
Litoměřice	320	53	50,5364519	14,1459986	2695,2774347	754,4532587
Litvínov	260	43	50,5988469	13,6176442	2192,6166990	590,0979153
Louny	310	52	50,3532203	13,8158992	2601,5830488	713,8214587
Mariánské Lázně	240	40	49,9655211	12,6975750	1998,6208440	507,9030000
Mělník	290	48	50,3582167	14,4748194	2433,9804738	699,6162710
Most	330	55	50,5120028	13,6468217	2778,1601540	750,5751935
Nový Bor	210	35	50,7664628	14,5443806	1776,8261980	509,0533210
Nymburk	190	32	50,1773647	15,0443831	1588,9498822	476,4054648
Otvice	280	47	50,4845875	13,4444394	2355,9474167	627,4071720
Pardubice (1)	490	82	50,0582847	15,7518247	4088,0932505	1286,3990172

Pardubice (2)	300	50	50,0256436	15,7795494	2501,2821800	788,9774700
Praha (1)	210	35	50,0773325	14,3395719	1752,7066375	501,8850165
Praha (2)	240	40	50,1350825	14,5554906	2005,4033000	582,2196240
Praha (3)	180	30	50,1116939	14,3931147	1503,3508170	431,7934410
Praha (4)	280	47	50,0558433	14,4703903	2335,9393540	675,2848807
Praha (5)	220	37	50,1020503	14,4683381	1837,0751777	530,5057303
Teplice	330	55	50,6559206	13,8472928	2786,0756330	761,6011040
Trmice	440	73	50,6510917	14,0012861	3714,4133913	1026,7609807
Ústí nad Labem (1)	350	58	50,6629311	14,0218014	2955,3376475	817,9384150
Ústí nad Labem (2)	250	42	50,6841419	13,9946019	2111,8392458	583,1084125
Žatec	260	43	50,3235317	13,5290692	2180,6863737	586,2596653
CELKEM		1809			91145,0362588	26093,8591522

$$x = \frac{\sum_{i=1}^{m} w_i a_i}{\sum_{i=1}^{m} w_i} = \frac{91145,0362588}{1809} = 50,3842102$$

$$y = \frac{\sum_{i=1}^{m} w_i b_i}{\sum_{i=1}^{m} w_i} = \frac{26093,8591522}{1809} = 14,4244661$$