

Česká zemědělská univerzita v Praze

Provozně ekonomická fakulta

Katedra systémového inženýrství



Bakalářská práce

**Optimalizace dopravních tras mezi firmou a jejími
zákazníky**

Viacheslav Spitsyn

© 2020 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Provozně ekonomická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Viacheslav Spitsyn

Systemové inženýrství a informatika

Systemové inženýrství

Název práce

Optimalizace dopravních tras mezi firmou a jejími zákazníky

Název anglicky

Optimization of Transportation Routes between a Chosen Company and Its Clients

Cíle práce

Cílem této bakalářské práce je optimalizovat pravidelnou dopravní trasu pro firmu Leroy Merlin zabývající se velkoobchodním a maloobchodním prodejem stavebnin a potřeb pro domácnost se sídlem v Moskvě, tzn. najít nejkratší a z časového hlediska nejvhodnější trasu mezi firmou a jejími zákazníky.

Metodika

Teoretická část bude věnována popisu metod použitých pro optimalizaci dané trasy. Praktická část bude založená na hledání optimální cesty a následující analýze na základě vybraných metod, pak bude následovat porovnání se současnou trasou. V závěrečné části budou shrnuty výsledky a navržena nová optimální trasa, kterou bude moct společnost využívat.

Doporučený rozsah práce

30-40 stran

Klíčová slova

Optimalizace, okružní dopravní problém, logistika.

Doporučené zdroje informací

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

KOSKOVÁ, I. – ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. KATEDRA OPERAČNÍ A SYSTÉMOVÉ ANALÝZY. *Distribuční úlohy I*. Praha: ČZU-PEF, 2004. ISBN 80-213-1156-8.

ŠUBRT, T. *Ekonomicko-matematické metody*. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, s.r.o., 2015. ISBN 978-80-7380-563-0.

Předběžný termín obhajoby

2018/19 LS – PEF

Vedoucí práce

RNDr. Petr Kučera, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra systémového inženýrství

Elektronicky schváleno dne 19. 10. 2018

doc. Ing. Tomáš Šubrt, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 19. 10. 2018

Ing. Martin Pelikán, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 26. 02. 2020

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci „Optimalizace dopravních tras mezi firmou a jejími zákazníky“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 21. 3. 2020

Viacheslav Spitsyn

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval RNDr. Petru Kučerovi Ph.D. za odborné vedení, podnětné a cenné rady a trpělivost při vedení této bakalářské práce.

Optimalizace dopravních tras mezi firmou a jejími zákazníky

Abstrakt

Tato bakalářská práce si klade za cíl optimalizaci pravidelné dopravní trasy mezi společností Leroy Merlin a jejími zákazníky, konkrétně pobočky sídlící na jihozápadě Moskvy, do které byl přidán nový odběratel.

Práce je členěna do dvou částí. První, teoretická, popisuje základy logistiky, operačního výzkumu a distribučních úloh, do kterých také patří popis okružního dopravního problému a metod umožňujících jeho optimalizaci. Druhá část, praktická, obsahuje uplatnění metod neboli výpočty popsané v části teoretické. Následně dosažené výsledky budou porovnány s výchozí trasou z hlediska ujeté vzdálenosti a nákladů spojených s provozem, a bude navržena nová trasa, kterou bude moct společnost využívat.

Klíčová slova: logistika, optimalizace, operační výzkum, okružní dopravní problém, trasa, aproximační metody, zákazník, TSPKOSA.

Optimization of Transportation Routes between a Chosen Company and Its Clients

Abstract

The aim of this bachelor thesis is to optimize the regular transport route between company Leroy Merlin and its customers, namely a branch located in the southwest of Moscow, to which a new customer was added.

The thesis is divided into two parts. The first, theoretical, describes the basics of logistics, operational research and distribution tasks, which also includes a description of the travelling salesman problem and methods for its optimization. The second part, practical, contains the application, or calculations, of the methods described in the theoretical part. Subsequently, the achieved results will be compared with the initial route, in terms of distance travelled and the costs associated with the operation, and proposed a new route that the company will be able to use.

Keywords: logistics, optimization, operational research, travelling salesman problem, route, approximation methods, customer, TSPKOSA.

Obsah

1 Úvod.....	12
2 Cíl práce a metodika	13
3 Teoretická část.....	14
3.1 Logistika.....	14
3.1.1 Logistický řetězec	15
3.2 Operační výzkum	16
3.2.1 Disciplíny operačního výzkumu	17
3.3 Distribuční úlohy.....	19
3.3.1 Jednostupňová dopravní úloha	19
3.3.1.1 Obecná formulace dopravní úlohy	19
3.3.1.2 Matematický model jednostupňové dopravní úlohy	21
3.3.1.3 Postup řešení jednostupňové dopravní úlohy	21
3.3.2 Jednookruhový okružní dopravní problém	22
3.3.2.1 Matematický model okružního dopravního problému	23
3.3.2.2 Metoda nejbližšího souseda.....	23
3.3.2.3 Vogelova aproximační metoda.....	24
3.3.2.4 Metoda výhodnostních čísel	24
4 Praktická část	25
4.1 Popis vybrané firmy	25
4.2 Charakteristika výchozí trasy.....	25
4.3 Základní soubor.....	26
4.4 Optimalizace pomocí metody nejbližšího souseda	27
4.4.1 Výsledné řešení.....	29
4.5 Optimalizace pomocí Vogelovy aproximační metody.....	30
4.5.1 Výsledné řešení.....	32
4.6 Optimalizace pomocí metody výhodnostních čísel.....	33
4.6.1 Výsledné řešení.....	33
5 Výsledky a diskuse	34

6 Závěr	35
7 Seznam použitých zdrojů	36
8 Seznam příloh	38
9 Přílohy	39

Seznam obrázků

Obrázek 1 Kategorie logistiky podniku	15
Obrázek 2 Ukázka jednoduchého grafu.....	18

Seznam tabulek

Tabulka 1 Vzorová dopravní tabulka.....	20
Tabulka 2 Současná distribuční trasa, výpis z trasové zprávy.....	26
Tabulka 3 Základní soubor	26
Tabulka 4 První krok řešení metody nejbližšího souseda s výchozím bodem v místě 1.....	27
Tabulka 5 Druhý krok řešení metody nejbližšího souseda s výchozím bodem v místě 1 ..	28
Tabulka 6 Třetí krok řešení metody nejbližšího souseda s výchozím bodem v místě 1.....	28
Tabulka 7 Výsledné řešení metody nejbližšího souseda s výchozím bodem v místě 1.....	29
Tabulka 8 Výsledné řešení metody nejbližšího souseda	30
Tabulka 9 První krok řešení Vogelovou aproximační metodou	31
Tabulka 10 Druhý krok řešení Vogelovou aproximační metodou	31
Tabulka 11 Třetí krok řešení Vogelovou aproximační metodou.....	32
Tabulka 12 Výsledné řešení nalezené Vogelovou aproximační metodou.....	33
Tabulka 13 Výsledky výpočtů úspory	34

1 Úvod

Daná bakalářská práce na téma „Optimalizace dopravních tras mezi firmou a jejími zákazníky“ se zabývá problematikou optimalizace pravidelné dopravní trasy společnosti Leroy Merlin se sídlem v Moskvě, konkrétně v její jihozápadní části, do které se přidal nový zákazník. Jelikož podnikatelský subjekt Leroy Merlin je dlouhodobě globálně operujícím výrobcem a distributorem stavebnin pro domácí a zahradní aplikace, který kromě prodeje zboží v kamenných obchodech nabízí také doručení prostřednictvím distributorské sítě přímo k zákazníkovi, musí mít dobře fungující logistiku pro snížení svých nákladů a zachování nebo zlepšení své obchodní značky.

Distribuční úlohy představují důležitou součást strategického plánování logistiky, jelikož umožňují optimalizovat trasy distribučních sítí tak, aby došlo k minimalizaci nákladové složky vstupující do celkových nákladů produkce a prodeje.

Práce bude rozdělena do dvou částí. První část, teoretická, bude obsahovat stručný popis logistiky, operačního výzkumu a distribučních úloh. Vzhledem k tomu, že firma nevyužívá přímé spojení k zákazníkovi, ale okružní trasu, budou v této části popsány právě metody sloužící k jejímu řešení.

Klíčovou částí práce bude část druhá, praktická, ve které budou popsány metody aplikovány na výchozí trasu. Následovat bude porovnání dosažených výsledků, nejen z hlediska vzdálenosti, ale také z hlediska nákladů, a z nalezených variant bude zvolena nejlepší, která pak bude předložena firmě k využití.

2 Cíl práce a metodika

Cílem bakalářské práce je optimalizace pravidelné dopravní trasy mezi jednou z moskevských poboček společnosti Leroy Merlin a jejími zákazníky, do které se přidal nový odběratel.

Práce bude rozdělena do dvou částí, teoretické a praktické. Teoretická část bude věnovaná popisu pojmů a aproximačních metod důležitých pro část praktickou, ve které tyto metody budou aplikovány na výchozí trasu.

Výsledky nalezené v praktické části budou shrnuty a porovnány nejen s trasou předloženou firmou, ale také mezi sebou. Z výsledků bude vybrán nejlepší, který dále bude nabídnut společnosti k využití.

3 Teoretická část

3.1 Logistika

Jako druh působnosti je logistika známá už velmi dávno, její vznik se dá spojovat s počátečními formami organizovaného obchodu. Pojem logistika se původně spojoval s vojenskou oblastí a zahrnoval proces zásobování vojska. Velké pozornosti se logistice dostalo po druhé světové válce, kdy výraznou měrou přispěla k vítězství spojeneckých vojsk (Lambert, Stock, Ellram, 2000). V civilní sféře se důraz na logistiku začíná klást v 60. letech 20. století nejprve v USA a později i v Evropě. Logistika v armádní sféře byla podřízena splnění daného cíle, kterým je co nejlépe podpořit bojovou jednotku, náklady byly v tomto případě až druhořadé. V civilní logistice je však důležité najít optimum mezi náklady a výkonností logistiky. Logistika dnešní doby se v postkomunistických zemích objevuje až po roce 1989, tedy po transformaci centrálně plánované ekonomiky na ekonomiku tržní (Pernica, 1998).

Pojem logistiky lze charakterizovat jako „*strategické řízení funkčnosti, účinnosti a efektivity hmotného toku surovin, polotovarů a zboží s cílem dodržet časové, místní, kvalitativní a hodnotové parametry vymezené zákazníkem*“ (Štůsek, 2007, s. 4). Obecně je logistika vnímána jako celkový „*tok zboží, od dopravy surovin k výrobci, až po odevzdání zboží konečnému spotřebiteli*“ (Svatoš, 2009, s. 246).

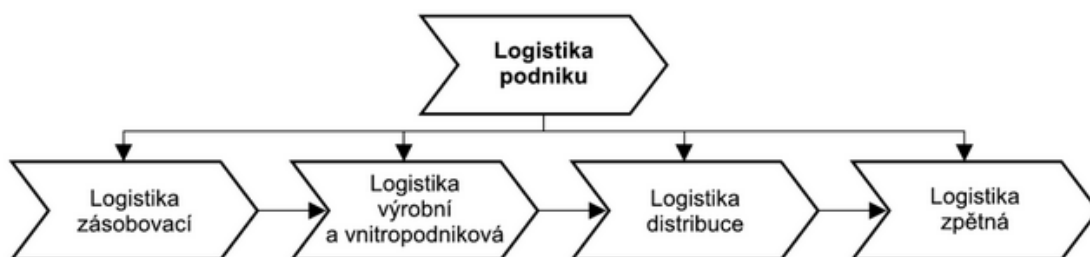
Logistika jednotlivého podniku je členěna do několika kategorií zahrnujících (Jurová, 2016, s. 191):

- logistiku zásobování – jedná se o procesy spojené s každou zakázkou, resp. obchodním případem v návaznosti na poptávku. Cílem zásobovací logistiky je pozitivní zakončení obchodního případu a dále marketingové a logistické řízení obchodního vztahu se zákazníkem;
- logistiku výrobní a vnitropodnikovou – je orientována především na řízení logistických toků v rámci výrobního a doprovodných procesů. Jejím záměrem je optimalizovaný materiálový tok, tvorba manipulačních systémů pro vhodné využití prostoru (ať už výrobního, skladového nebo přidruženého);
- logistiku distribuce – je zahájena přijetím produktu na sklad. Na tento úkon pak navazuje jeho balení, expedice a doprava k zákazníkovi. V tomto směru lze tedy logistiku distribuce považovat za procesní řešení finální dopravy produktu;

- zpětnou logistiku – je součástí poprodejních služeb zákazníkovi. Jedná se o zajištění dopravy reklamovaných nebo použitých produktů, obalů a odpadu vznikajícího na konci životního cyklu produktu. Zpětná logistika se zabývá také vlastním vnitropodnikovým hospodařením s odpady a jejich likvidací.

Uvedené kategorie logistiky jsou graficky znázorněny na následujícím obrázku (Obrázek 1). Jednotlivé kategorie spolu souvisí a komplexně tvoří logistický řetězec zajišťující veškeré logistické toky spojené s provozem podniku.

Obrázek 1 Kategorie logistiky podniku



Zdroj: Jurová, 2016, s. 191

3.1.1 Logistický řetězec

Logistický řetězec představuje uspořádanou množinu prvků, která vytváří tok materiálů a informací tak, aby byl dosažen určitý cíl. Tento pojem lze označit jako nejdůležitější pojem logistiky vůbec. Logistický řetězec zajišťuje propojení trhu spotřeby s trhy materiálů a surovin z hlediska hmotné i nehmotné stránky, která účelně vychází od kupujícího a váže se na konkrétní zakázku nebo výrobek. Hmotná stránka v rámci řetězce představuje uchovávání a přemísťování věcí, které uspokojují potřebu zákazníka, případně toto uspokojení podmiňují. Nehmotná stránka spočívá v přenosu a uschovávání informací potřebných pro realizaci přesunu z hlediska hmotné stránky a také k přesunu finančních prostředků (Schulte, 1994).

V rámci logistického řetězce se rozeznávají pasivní a aktivní prvky. Pasivní prvky jsou věci, které probíhají logistickým řetězcem jako například suroviny, materiál, díly a výrobky v nedokončeném nebo hotovém stavu. Pasivní prvky procházejí různými operacemi, jako jsou přeprava, skladování, avšak tyto operace nemění podstatu ani množství surovin, materiálů, dílů či výrobků a mají čistě netechnický charakter. Jako obecný název pro pasivní prvky se používá zboží, protože postup prvků mezi jednotlivými články řetězce probíhá pomocí obchodu. Aktivní prvky zajišťují svým působením realizaci

logistických funkcí na pasivních prvcích. Může se jednat o balení, přepravu, vykládání, zpracování, přenos, atd. Patří sem i lidská složka včetně řídicích pracovníků. Toky pasivních prvků probíhají mezi jednotlivými články logistického řetězce, které se označují jako podsystémy a jedná se o areály, budovy, komunikace, případně jednotlivá místa, kde aktivní prvky působí na pasivní (Pernica, 1998).

3.2 Operační výzkum

Operační výzkum je důkladně vypracovaný nástroj a používá se pro řešení sady standardních reálných problémů ekonomické praxe, je tradičním mezinárodně usazeným oborem (Fiala, 2010). Operační výzkum se používá v rámci libovolného systému, ve kterém se jedná o koordinaci a analýzu provádění operací. Tuto disciplínu lze určit i jako nástroj pro vyhledání optimálního řešení problémů, při zachování omezení, majících vliv na fungování systémů (Jablonský, 2007).

Vznik operačního výzkumu jako samostatného oboru v podstatě nejde definovat. Zrod disciplíny sahá do 30. a 40. let 20. století a jsou s ním spjati nositelé Nobelovy ceny za ekonomii. Pokrok tohoto oboru pokračuje v období 2. světové války, kdy byly založeny speciální skupiny pracovníků v USA a Velké Británii, aby analyzovaly obtížné taktické a strategické vojenské operace a problémy, a dále pak během 50. let 20. století v souvislosti s poválečným ekonomickým růstem. V tomto období vycházel vývoj operačního výzkumu z praktických potřeb (Jablonský, 2007).

Matematické modelování u operačního výzkumu je primárním instrumentem. Pokud pomocí operačního výzkumu je zkoumán nějaký systém, pak při analýze se využívá model daného systému. Model představuje jen zjednodušený obraz systému, přesto modelování má spoustu výhod, mezi hlavní klady patří (Jablonský, 2007, s. 10):

- procesy, které zabírají v reálném systému hodně času (dny, měsíce či roky) pomocí počítačů se simulují velmi rychle (sekundy), tedy model poskytuje zkoumání fungování systémů ve zkráceném čase;
- pomocí modelu lze upřesnit všechny možné varianty stavu systému, kterých je velmi často neomezené množství, a systém strukturalizovat;
- náklady na provedení matematického modelu jsou rozhodně nižší než při testování systému reálného;

- modely se jednoduše manipulují a pomocí změn jejich parametrů se provádějí časté pokusy.

3.2.1 Disciplíny operačního výzkumu

Modely operačního výzkumu jsou velmi odlišné a uplatňují se v rozdílných odvětvích ekonomického života. Díky tomuto faktu vznikly relativně samostatné disciplíny, které jsou uvedeny níže (Jablonský, 2007):

1. **Matematické programování** se zabývá řešením optimalizačních úloh, ve kterých je potřeba nalézt extrém daného kritéria, určeného ve tvaru kriteriální funkce n proměnných, na množině variant určených soustavou omezujících podmínek, které jsou dány ve formě nelineárních nebo lineárních rovnic či nerovnic. Matematický je model této úlohy uveden níže:

Maximalizovat (minimalizovat)

$$z = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

za podmínek

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

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

·

·

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

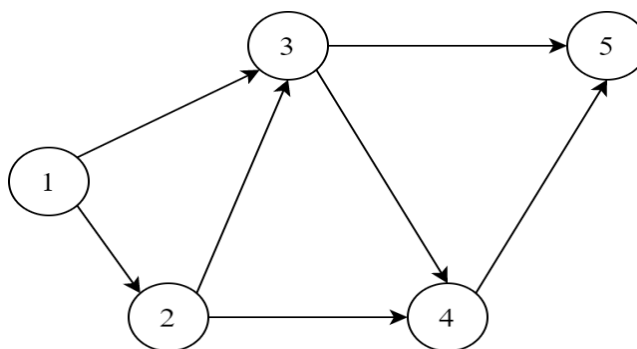
$$x_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n. \quad (1)$$

kde n je počet proměnných modelu, m je počet jeho omezujících podmínek a $f(x)$, $g_i(x)$, $i = 1, 2, \dots, m$ jsou obecné funkce n proměnných.

Z hlediska matematiky jde o stanovení hodnot proměnných modelu x_j tak, aby extrém kriteriální funkce byl dosažen a všechny omezující podmínky byly dodržovány. Jde o úlohu lineárního programování, pokud kriteriální funkce spolu se všemi rovnicemi a nerovnicemi použitými v modelu jsou lineární, ale pokud je alespoň jedna funkce nelineární, znamená to, že úloha je nelineárního programování. Uplatnění úloh lineárního programování je velmi široké, oproti nelineárnímu, vzhledem k problému s jejich řešením. Mezi odvětví použití lineárního programování patří např. optimalizace rozvozu zboží od výrobců přes sklady k zákazníkům.

2. **Vícekritériální rozhodování** se věnuje analýze úloh o rozhodování, ve kterých se varianty dostupné pro rozhodování zvažují podle několika hodnotících kritérií. Hodnotící kritéria nemusí spolu souviset a řešení konfliktů mezi rozpornými kritérii je právě cílem analýzy.
3. **Teorie grafů** je také součástí často používaných metod operačního výzkumu. Grafy se rozumí objekty tvořené uzly a spojnicemi mezi nimi – hranami, díky kterým jsou zobrazeny reálné systémy. Jednoduchý graf je uveden na následujícím obrázku:

Obrázek 2 Ukázka jednoduchého grafu



Zdroj: Jablonský, 2007, s. 15

Graf může tvořit reálnou komunikační síť se spojnicemi mezi konkrétními místy. Nejčastěji se teorie grafů využívá v oblasti analýzy a řízení projektů.

4. Strategii řízení zásobovacího procesu spolu s optimalizací míry skladovaných zásob orientovaných především na minimalizace celkových skladovacích nákladů řeší **teorie zásob**.
5. **Teorie hromadné obsluhy** nebo také **teorie front** se zabývá systémy se dvěma základními typy jednotek, jmenovitě požadavky, vstupující a vyžadující obsluhu a obslužné linky, které uskutečňují tuto obsluhu. Hlavním cílem analýzy je zpravidla zlepšení běhu celého systému. V tomto případě je analýza vlastně řešením rozporu mezi úrovní využití obslužných linek a časem čekání požadavků na obsluhu ve frontě.
6. **Modely obnovy** studují systémy, ve kterých je potřeba případně nahradit nebo opravit jednotky, které po určité době provozu selžou. Přitom doba provozu bez závad je náhodná veličina. Predikovat počty jednotek, které selžou a je třeba je nahradit spolu s odhadem věkové struktury jednotek, je cílem zkoumání v těchto modelech.

7. Způsob pro popis jednání dynamických systémů je představen **markovskými rozhodovacími procesy**. Jde o systémy, ve kterých změna stavu podléhá náhodnému chování v po sobě jdoucích časových intervalech a ve sledovaných obdobích se mohou nacházet v nějakém konečném počtu stavů., to je základním cílem při prognózování budoucího fungování systému.
8. **Teorie her** se zabývá analýzou optimální strategie v konfliktních situacích, které lze popsat jako hru.
9. **Simulace** je spíše nástroj analýzy systémů než samostatná disciplína operačního výzkumu. Je založena na počítačovém zkoušení matematického modelu daného systému. Simulace, vzhledem k reálnému systému, probíhá mnohem rychleji, a to povoluje snadno pozorovat stav systému při změnách proměnných ovlivňujících běh systému.

3.3 Distribuční úlohy

„Distribuční úlohy tvoří speciální skupinu úloh lineárního programování. Mezi ně zařazujeme jednostupňové, dvoustupňové, přiřazovací, zobecněné a další problémy, které mají modely stejného typu“ (Kosková, 2004, s. 3).

3.3.1 Jednostupňová dopravní úloha

Jednostupňová dopravní úloha se zabývá uspořádáním přepravy stejnorodého produktu od dodavatelů ke spotřebitelům tak, aby náklady byly minimální. Při řešení se předpokládá, že se k přepravě používá stejný druh dopravních prostředků a mezi každým dodavatelem a spotřebitelem existuje jen jedna dopravní cesta, pomocí které lze dovézt kterékoliv množství zboží, a náklady na přepravu jsou přímo úměrné množství přepravovaného produktu (Kosková, 2004).

3.3.1.1 Obecná formulace dopravní úlohy

Úkolem je sestavit dopravní program, aby celkové náklady na přepravu byly minimální a byly zabezpečeny požadavky spotřebitelů. Je dáno m dodavatelů D_1, D_2, \dots, D_m a každý z nich má přesně danou kapacitu produktu a_1, a_2, \dots, a_m . Od dodavatelů musí být zboží doručeno k n spotřebitelům S_1, S_2, \dots, S_n , jejichž požadavky na množství produktu jsou b_1, b_2, \dots, b_n . Dále jsou ceny za přepravu jednotky produktu, mezi

spotřebitelem S_j a dodavatelem D_i , určeny sazbami c_{ij} , avšak častěji to bývá vzdáleností mezi dodavatelem a spotřebitelem. Množství produktu, které má být mezi jednotlivými dodavateli a spotřebiteli převezeno se označuje x_{ij} (Kosková, 2004).

Všechny údaje o dopravním problému musí být zapsány do dopravní tabulky (Tabulka 1) a v ní je proveden následující výpočet.

Tabulka 1 Vzorová dopravní tabulka

	Spotřebitelé				
Dodavatelé	S_1	S_2	...	S_n	Kapacity dodavatelů a_i
D_1	c_{11} x_{11}	c_{12} x_{12}	...	c_{1n} x_{1n}	a_1
D_2	c_{21} x_{21}	c_{22} x_{22}	...	c_{2n} x_{2n}	a_2
...		
D_m	c_{m1} x_{m1}	c_{m2} x_{m2}	...	c_{mn} x_{mn}	a_m
Požadavky spotřebitelů b_j	b_1	b_2	...	b_n	$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j$

Zdroj: Kosková, 2004, s. 3

Obvykle sloupce jsou přiděleny spotřebitelům a řádky dodavatelům. V každé buňce do středu se zapisuje množství přepravovaného zboží, tj. hodnoty $x_{ij} > 0$ a v pravém horním rohu jsou dané sazby c_{ij} . Hodnota do buňky se nezapisuje a políčko zůstává prázdné pokud $x_{ij} = 0$. U proměnné x_{ij} první index udává číslo dodavatele, druhý číslo spotřebitele. V dolním řádku jsou zapsány požadavky spotřebitelů b_j a v pravém sloupci kapacity dodavatelů a_i (Kosková, 2004).

Takzvaná vyváženost úlohy je podmínkou řešitelnosti dopravních úloh, která vychází z předpokladu, že součet požadavků všech spotřebitelů se rovná celkové kapacitě dodavatelů (Kosková, 2004).

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j \quad (2)$$

V praktických úlohách, ve kterých objem požadavků spotřebitelů se nerovná objemu kapacit dodavatelů, je daná podmínka často porušovaná. Proto je potřeba takovou úlohu vyvážit. Děje se tak způsobem zavedení fiktivního spotřebitele, pokud je objem kapacit dodavatelů větší než objem požadavků spotřebitelů s požadavkem, který se rovná

přebytečnému množství zboží, trasy, které vedou k fiktivnímu spotřebiteli, budou mít nulové sazby, jelikož ve skutečnosti se nebudou realizovat. Další variantou je zavedení fiktivního dodavatele, pokud je objem požadavků spotřebitelů větší než objem kapacit dodavatelů s kapacitou rovnou objemu požadavků, které nemohou být uspokojeny, trasy taktéž budou mít nulové sazby, protože nebudou realizované (Šubrt, 2015).

3.3.1.2 Matematický model jednostupňové dopravní úlohy

Najít minimum lineární funkce

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} = Z_{MIN}$$

za podmínek

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n x_{ij} &= a_i & i &= 1, 2, \dots, m \\ \sum_{i=1}^m x_{ij} &= b_j & j &= 1, 2, \dots, n \\ x_{ij} &\geq 0 & j &= 1, 2, \dots, n; i = 1, 2, \dots, m \end{aligned}$$

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j \quad (3)$$

Matematický model jednostupňové dopravní úlohy je tvořen ze tří částí (Kosková, 2004):

1. Zadaná jako soustava rovnic soustava omezujících podmínek. Prvních m rovnic vymezuje, že každý dodavatel dodá jednotlivým spotřebitelům pouze počet produktu rovnající se jeho kapacitě. Dalších n rovnic ukazuje, že každý spotřebitel přijme od jednotlivých dodavatelů přesně požadované množství produktu.
2. Podmínka nezápornosti všech proměnných x_{ij} .
3. Účelová funkce, která ukazuje závislost mezi celkovými přepravními náklady a strukturou přepravy.

3.3.1.3 Postup řešení jednostupňové dopravní úlohy

Algoritmus řešení dopravní úlohy je podobný řešení simplexového algoritmu, kdy postupně se zlepšuje výchozí řešení, zlepšením hodnoty účelové funkce, až bude nalezeno řešení optimální. Postup se dá rozdělit do tří etap (Kosková, 2004):

1. Nalezení výchozího řešení.

Pro stanovení bazického řešení se dá použít několik metod, mezi ně patří:

- a) Vogelova aproximační metoda.
- b) Indexová metoda.
- c) Metoda severozápadního rohu.

Všechny metody jsou založeny na tom, že se různým způsobem obsazuje právě $m + n - 1$ buněk (tj. počet bazických proměnných) a ostatní buňky budou prázdné ($x_{ij} = 0$).

2. Test optimality.

Pro test optimality se aplikuje metoda MODI (modifikovaná distribuční metoda), která vychází z vlastnosti duálně sdužených úloh, které určují, jestli je možné nalézt řešení s lepší hodnotou účelové funkce nebo jestli nalezené řešení už optimální. To se dělá pomocí rozdílu $z_{ij} - c_{ij}$. Při minimalizaci pro optimální řešení platí, že $z_{ij} - c_{ij} \leq 0$. Při maximalizaci platí, že $z_{ij} - c_{ij} \geq 0$. Pokud dané podmínky nejsou splněny, dá se řešení zlepšit.

3. Přejít na lepší řešení.

Pomocí Dantzigových uzavřených obvodu se přímo v dopravní tabulce probíhá změna báze. Dantzigův uzavřený obvod představuje lomenou čáru, která vychází z neobsazeného pole, pak se lomí v obsazených polích a končí v původním volném poli. Po obvodu obsazená pole se označují znaménky plus a minus, na základě toho, zda hodnota x_{ij} bude do trasy zařazena nebo odebrána. Proměnná vstupující do báze bude mít znaménko plus (Kosková, 2004). Nově zařazovaná proměnná se určuje podle maximálního rozdílu $|z_{ij} - c_{ij}|$, který nebude vyhovovat testu optima, pro maximalizace $z_{ij} - c_{ij} > 0$ nebo $z_{ij} - c_{ij} < 0$ pro minimalizace. Nová tabulka bude mít zlepšené bazické řešení a celý postup (kroky 2 a 3) bude opakovat, pokud nebude nalezeno řešení optimální.

3.3.2 Jednookruhový okružní dopravní problém

Okružní dopravní problémy se často vyskytují v dnešní době. Slouží např. kdy je potřeba doručit zboží od několika nebo jen jednoho dodavatele k většímu množství spotřebitelů nebo naopak. Díky okružnímu spojení se ušetří v porovnání se situací, kdyby byla provedena každá trasa od dodavatele ke spotřebiteli zvlášť.

Jednookruhový okružní dopravní problém, který se také označuje buď okružní dopravní problém, nebo problém obchodního cestujícího, patří mezi nejjednodušší typy

okružních úloh a jednookruhový znamená, že distribuce mezi všemi místy musí být realizovaná v rámci jednoho okruhu.

Problém obchodního cestujícího patří mezi NP-úplné problémy, což znamená, že pro něj neexistuje žádný efektivní postup, který by mohl najít matematické optimum. Avšak lze považovat za ekonomické optimum řešení nalezené radou aproximačních metod (Šubrt, 2015).

3.3.2.1 Matematický model okružního dopravního problému

Nalézt minimum lineární funkce

$$z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \rightarrow MIN$$

za podmínek

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n x_{ij} &= 1 & i = 1, 2, \dots, n \\ \sum_{i=1}^n x_{ij} &= 1 & j = 1, 2, \dots, n \\ u_i - u_j + nx_{ij} &\leq n - 1 & i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, n; i \neq j \\ x_{ij} &\in \{0; 1\} & i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \tag{4}$$

Pokud $x_{ij} = 1$, znamená to, že trasa bude zařazena do okruhu, naopak v případě, že $x_{ij} = 0$, se tato trasa odmítá (Šubrt, 2015).

3.3.2.2 Metoda nejbližšího souseda

Představuje nejjednodušší aproximační metodu pro řešení okružního dopravního problému. Pro výpočet metodou nejbližšího souseda se zvolí výchozí uzel a do řešení se nejdříve zařadí hrana s nejnižší sazbou, která z něj vede. Po ní se „uskuteční přesun“ do jejího koncového uzlu a opět se hledá hrana s nejnižší sazbou vedoucí z tohoto uzlu do některého z dosud nenavštívených uzlů. To se opakuje, dokud se neprojde všemi uzly, a nakonec se zařadí hrana z posledního navštíveného uzlu do výchozího.

Při řešení je vhodné vyzkoušet volbu každého uzlu jako výchozího a z takto nalezených řešení vybrat to s nejmenší vzdáleností (hodnotou účelové funkce) (Rosenkrantz, Stearns, Lewis, 1977).

3.3.2.3 Vogelova aproximační metoda

Tato metoda se používá i pro výpočet jednostupňové dopravní úlohy, ale pro potřeby dané bakalářské práce je nutno uvést její postup pouze pro okružní dopravní problém.

Pro řešení okružního dopravního problému Vogelovou aproximační metodou není nutné uvádět přepravované množství produktu a do tabulky se zapisují pouze sazby, označující vzdálenosti. V průběhu výpočtu se obsazovaná místa jen označují, což znamená, že tato spojení jsou přidělena výslednému řešení nebo trase.

Pro každou řadu (tj. všechny řádky i sloupce) matice sazeb se spočtou difference (rozdíly) mezi nejmenší a druhou nejmenší sazbou. V řadě s největší diferencí se vybere nejmenší sazba, necht' je to sazba c_{ij} , a příslušná hrana (z uzlu i do uzlu j) se přidá do řešení. Z dalších úvah se vypouští (definitivně pro celý zbytek výpočtu) i -tý řádek a j -tý sloupec matice sazeb (z nich už žádná další sazba nemůže být vybrána, protože z/do každého uzlu se jede jen jednou), a dále ještě jedna sazba, jejíž hrana by vytvořila s částí řešení obsahující právě přidanou hranu cyklus (kratší než n). V matici bez vypuštěných sazeb se znovu spočtou difference a celý postup se opakuje tak dlouho, dokud je difference z čeho počítat (nakonec v matici zbydou poslední dvě sazby patřící posledním dvěma hranám, které se zařadí do řešení) (Van der Cruyssen, Rijckaert, 1978; Webb, 1971).

3.3.2.4 Metoda výhodnostních čísel

Uvedená metoda patří do jedné z nejstarších metod pro okružní úlohy, také známá jako Clarkeova-Wrightova metoda, kterou se dá použít i pro okružní dopravní problém. Algoritmus je založený na výpočtu výhodnostních čísel. Nejprve se vybere (libovolně) jeden z uzlů, který dále bude značen indexem 0. Pro každou dvojici ostatních uzlů i, j se spočte pro přímou trasu mezi nimi (se sazbou c_{ij}) výhodnostní číslo $s_{ij} = c_{i0} + c_{0j} - c_{ij}$, pro které platí, že $i, j = 2, 3, \dots, n, i \neq j$. Nalezené cesty se uspořádají podle nalezených výhodnostních čísel sestupně. Postupně se v tomto pořadí zpracovávají a přidávají do řešení (okruhu), pokud mohou s dosud zařazenými tvořit okruh. Takto nakonec vznikne cesta procházející všemi uzly kromě uzlu 0, který již jen zbývá k řešení připojit. Pro nalezení nejlepšího řešení je dobré daný algoritmus realizovat pro všechny možné varianty počátečního uzlu a pak, jako výsledné, vybrat to s nejmenší vzdáleností (Clarke, Wright, 1964; Frieze, Galbiati, Maffioli, 1982).

4 Praktická část

4.1 Popis vybrané firmy

Společnost Leroy Merlin byla založena v roce 1923 ve Francii, kde je také její sídlo. Jedná se o dlouhodobě globálně operujícího výrobce a distributora stavebnin pro domácí a zahradní aplikace. V současné době má podnik řadu poboček po celém světě, přičemž největší zastoupení má v Evropě, Asii, Africe a Jižní Americe. Základní strategií společnosti je budování obchodních řetězců v jednotlivých cílových zemích, jež nabízí jednak nákup zboží v kamenných obchodech, jednak dodávku prostřednictvím distributorské sítě přímo k zákazníkovi.

4.2 Charakteristika výchozí trasy

Pro optimalizaci byla zvolena dopravní trasa jedné z poboček sídlících v Moskvě, odpovídající za dodání zboží v jihozápadní části města a nejbližším okolí, do které se přidal nový zákazník ve městě Balashikha (Ulitsa Nekrasova 13A, Balashikha). Firma rozváží produkty danou trasou čtyřikrát měsíčně.

Současná dopravní trasa začíná od adresy pobočky (Svyatoozorskaya Ulitsa, 1A, Moskva) a dále pokračuje přes místa odběratelů a končí opět ve výchozím bodě. Firma dodává řidiči „trasovou zprávu“, která obsahuje místa umístěná podle odhadu dopravní situace v čase rozvozu, tj. od 12 do 18, a předchozí optimalizaci dané trasy, druh a počet zboží, které má být doručeno zákazníkovi, celkovou hmotnost nákladu a dopravní prostředek vhodný pro danou cestu. Trasa, v pořadí uvedeném v trasové zprávě, je znázorněná v nesledující tabulce, názvy ulic byly převedeny do latinky (Tabulka 2).

Pro dopravu zboží společnost využívá dodávku GAZelle Next s celkovou nosností 2,2 t a střední spotřebou 11 l/100 km nafty. Firma uvádí, že celková hmotnost zaváženého zboží na dané trase se pohybuje mezi 1,5 t až 2 t, což znamená, že prostřednictvím tohoto dopravního prostředku bude možno rozvést veškerý náklad v rámci jedné okružní trasy.

Tabulka 2 Současná distribuční trasa, výpis z trasové zprávy

1	Svyatoozorskaya Ulitsa 1A, Moskva, 111675, Rusko
2	Ulitsa Lenina 15, Reutov, 143964, Rusko
3	Ulitsa Kalinina 10, Reutov, 143964, Rusko
4	Chelyabinskaya St 27–2, Moskva, 105568, Rusko
5	15 – Ya Parkovaya Ulitsa 1/123–2, Moskva, 105203, Rusko
6	Vol'naya Ulitsa 19, Moskva, 105118, Rusko
7	Ulitsa Shcherbakovskaya 40, Moskva, 105187, Rusko
8	1 – Ya Vladimirskaya Ulitsa 12A, Moskva, 111123, Rusko
9	Ulitsa Nekrasova 13A, Balashikha, 143982, Rusko
10	Ulitsa Alekseya Dikogo 16A, Moskva, 111396, Rusko
11	Ulitsa Ketcherskaya 6–1, Moskva, 111402, Rusko
12	Ulitsa Veshnyakovskaya 9–2, Moskva, 111539, Rusko
13	Ulitsa Gorodetskaya 13/19–1, Moskva, 111672, Rusko
14	Ulitsa Gorodetskaya 12/17–2, Moskva, 111672, Rusko
15	Ulitsa Suzdal'skaya 12–4, Moskva, 111673, Rusko

Zdroj: vlastní zpracování

4.3 Základní soubor

Základní soubor je nutný pro výpočty a představuje tabulku obsahující vzdálenosti mezi každými dvěma místy na zvolené trase. Distance byly stanoveny na základě těchto stránek: <https://www.maps.google.com> (Google.com, 2020) a <https://yandex.ru/maps> (Yandex.ru, 2020).

Tabulka 3 Základní soubor

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		9,3	9,5	12,6	15,5	14,6	17,9	16,5	19,4	11,8	9	6,8	4,2	3,9	4,4
2	9,3		0,4	5,7	8,5	13,1	13,6	9,8	12,8	6,6	6,7	8,2	8	8,1	7,6
3	9,5	0,4		5,9	8,7	13,3	13,8	10	12,7	6,8	6,9	8,4	8,2	8,3	7,8
4	12,6	5,7	5,9		3,4	9,4	9,9	6,2	12,5	5,2	6,5	6,6	9,6	9,7	9,3
5	15,5	8,5	8,7	3,4		9,6	7,7	6,4	13,5	6,3	8,4	6,7	9,7	9,8	9,4
6	14,6	13,1	13,3	9,4	9,6		1	6	19,6	9,2	10,6	10,7	15,9	15,6	15
7	17,9	13,6	13,8	9,9	7,7	1		5,2	18,9	10,7	12,1	12,2	17,4	17,2	16,5
8	16,5	9,8	10	6,2	6,4	6	5,2		14,8	4	5,3	5,32	11,4	11,5	11,1
9	19,4	12,8	12,7	12,5	13,5	19,6	18,9	14,8		13,8	14,4	15,9	15,6	15,7	15,3
10	11,8	6,6	6,8	5,2	6,3	9,2	10,7	4	13,8		2,2	2,3	5,6	5,7	5,3
11	9	6,7	6,9	6,5	8,4	10,6	12,1	5,3	14,4	2,2		1,9	3,8	3,89	3,5
12	6,8	8,2	8,4	6,6	6,7	10,7	12,2	5,32	15,9	2,3	1,9		3,5	3,7	3,3
13	4,2	8	8,2	9,6	9,7	15,9	17,4	11,4	15,6	5,6	3,8	3,5		0,24	1,85
14	3,9	8,1	8,3	9,7	9,8	15,6	17,2	11,5	15,7	5,7	3,89	3,7	0,24		1,9
15	4,4	7,6	7,8	9,3	9,4	15	16,5	11,1	15,3	5,3	3,5	3,3	1,85	1,9	

Zdroj: vlastní zpracování

Pro sestavení tabulky byly zvoleny z časového hlediska nejrychlejší spojení, což znamená, že doba rozvozu je od 9 do 15 hodin, přednost mají cesty vedoucí přes dálnice nebo silnice pro motorová vozidla s malým počtem semaforů anebo bez náročných manévrů.

Trasa, sestavená firmou, předpokládá návštěvu míst ve stejném pořadí, jak je uvedeno v tabulce, tj. $1 > 2 > 3 > 4 > 5 > 6 > 7 > 8 > 9 > 10 > 11 > 12 > 13 > 14 > 15$. Celková vzdálenost této trasy činí 77,54 km.

4.4 Optimalizace pomocí metody nejbližšího souseda

Prvním výchozím bodem bude pobočka Leroy Merlin, jmenovitě Svyatoozorskaya Ulitsa 1A, Moskva. Počátečním krokem je najít nejbližší místo k výchozímu bodu, tj. místo číslo 14, s adresou Ulitsa Gorodetskaya 12/17–2, Moskva ve vzdálenosti od prvního bodu 3,9 km, což znamená, že tento bod bude součástí výsledné trasy, následně se vymaže v 1. a 14. sloupci (Tabulka 4).

Tabulka 4 První krok řešení metody nejbližšího souseda s výchozím bodem v místě 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		9,3	9,5	12,6	15,5	14,6	17,9	16,5	19,4	11,8	9	6,8	4,2	3,9	4,4
2	9,3		0,4	5,7	8,5	13,1	13,6	9,8	12,8	6,6	6,7	8,2	8	8,1	7,6
3	9,5	0,4		5,9	8,7	13,3	13,8	10	12,7	6,8	6,9	8,4	8,2	8,3	7,8
4	12,6	5,7	5,9		3,4	9,4	9,9	6,2	12,5	5,2	6,5	6,6	9,6	9,7	9,3
5	15,5	8,5	8,7	3,4		9,6	7,7	6,4	13,5	6,3	8,4	6,7	9,7	9,8	9,4
6	14,6	13,1	13,3	9,4	9,6		1	6	19,6	9,2	10,6	10,7	15,9	15,6	15
7	17,9	13,6	13,8	9,9	7,7	1		5,2	18,9	10,7	12,1	12,2	17,4	17,2	16,5
8	16,5	9,8	10	6,2	6,4	6	5,2		14,8	4	5,3	5,32	11,4	11,5	11,1
9	19,4	12,8	12,7	12,5	13,5	19,6	18,9	14,8		13,8	14,4	15,9	15,6	15,7	15,3
10	11,8	6,6	6,8	5,2	6,3	9,2	10,7	4	13,8		2,2	2,3	5,6	5,7	5,3
11	9	6,7	6,9	6,5	8,4	10,6	12,1	5,3	14,4	2,2		1,9	3,8	3,89	3,5
12	6,8	8,2	8,4	6,6	6,7	10,7	12,2	5,32	15,9	2,3	1,9		3,5	3,7	3,3
13	4,2	8	8,2	9,6	9,7	15,9	17,4	11,4	15,6	5,6	3,8	3,5		0,24	1,85
14	3,9	8,1	8,3	9,7	9,8	15,6	17,2	11,5	15,7	5,7	3,89	3,7	0,24		1,9
15	4,4	7,6	7,8	9,3	9,4	15	16,5	11,1	15,3	5,3	3,5	3,3	1,85	1,9	

Zdroj: vlastní zpracování

Dále musí být zvolen dostupný zákazník s délkou cesty nejkratší od bodu číslo 14, tj. místo 13, nacházející na adrese Ulitsa Gorodetskaya 13/19–1, Moskva, a sloupec 13 bude smazán (Tabulka 5).

Tabulka 5 Druhý krok řešení metody nejbližšího souseda s výchozím bodem v místě 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		9,3	9,5	12,6	15,5	14,6	17,9	16,5	19,4	11,8	9	6,8	4,2	3,9	4,4
2	9,3		0,4	5,7	8,5	13,1	13,6	9,8	12,8	6,6	6,7	8,2	8	8,1	7,6
3	9,5	0,4		5,9	8,7	13,3	13,8	10	12,7	6,8	6,9	8,4	8,2	8,3	7,8
4	12,6	5,7	5,9		3,4	9,4	9,9	6,2	12,5	5,2	6,5	6,6	9,6	9,7	9,3
5	15,5	8,5	8,7	3,4		9,6	7,7	6,4	13,5	6,3	8,4	6,7	9,7	9,8	9,4
6	14,6	13,1	13,3	9,4	9,6		1	6	19,6	9,2	10,6	10,7	15,9	15,6	15
7	17,9	13,6	13,8	9,9	7,7	1		5,2	18,9	10,7	12,1	12,2	17,4	17,2	16,5
8	16,5	9,8	10	6,2	6,4	6	5,2		14,8	4	5,3	5,32	11,4	11,5	11,1
9	19,4	12,8	12,7	12,5	13,5	19,6	18,9	14,8		13,8	14,4	15,9	15,6	15,7	15,3
10	11,8	6,6	6,8	5,2	6,3	9,2	10,7	4	13,8		2,2	2,3	5,6	5,7	5,3
11	9	6,7	6,9	6,5	8,4	10,6	12,1	5,3	14,4	2,2		1,9	3,8	3,89	3,5
12	6,8	8,2	8,4	6,6	6,7	10,7	12,2	5,32	15,9	2,3	1,9		3,5	3,7	3,3
13	4,2	8	8,2	9,6	9,7	15,9	17,4	11,4	15,6	5,6	3,8	3,5		0,24	1,85
14	3,9	8,1	8,3	9,7	9,8	15,6	17,2	11,5	15,7	5,7	3,89	3,7	0,24		1,9
15	4,4	7,6	7,8	9,3	9,4	15	16,5	11,1	15,3	5,3	3,5	3,3	1,85	1,9	

Zdroj: vlastní zpracování

Příštím krokem je najít nejbližší spojení pro bod č. 13, tímto místem je č. 15 (Ulitsa Suzdal'skaya 12–4, Moskva), vymaže se 15. sloupec.

Tabulka 6 Třetí krok řešení metody nejbližšího souseda s výchozím bodem v místě 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		9,3	9,5	12,6	15,5	14,6	17,9	16,5	19,4	11,8	9	6,8	4,2	3,9	4,4
2	9,3		0,4	5,7	8,5	13,1	13,6	9,8	12,8	6,6	6,7	8,2	8	8,1	7,6
3	9,5	0,4		5,9	8,7	13,3	13,8	10	12,7	6,8	6,9	8,4	8,2	8,3	7,8
4	12,6	5,7	5,9		3,4	9,4	9,9	6,2	12,5	5,2	6,5	6,6	9,6	9,7	9,3
5	15,5	8,5	8,7	3,4		9,6	7,7	6,4	13,5	6,3	8,4	6,7	9,7	9,8	9,4
6	14,6	13,1	13,3	9,4	9,6		1	6	19,6	9,2	10,6	10,7	15,9	15,6	15
7	17,9	13,6	13,8	9,9	7,7	1		5,2	18,9	10,7	12,1	12,2	17,4	17,2	16,5
8	16,5	9,8	10	6,2	6,4	6	5,2		14,8	4	5,3	5,32	11,4	11,5	11,1
9	19,4	12,8	12,7	12,5	13,5	19,6	18,9	14,8		13,8	14,4	15,9	15,6	15,7	15,3
10	11,8	6,6	6,8	5,2	6,3	9,2	10,7	4	13,8		2,2	2,3	5,6	5,7	5,3
11	9	6,7	6,9	6,5	8,4	10,6	12,1	5,3	14,4	2,2		1,9	3,8	3,89	3,5
12	6,8	8,2	8,4	6,6	6,7	10,7	12,2	5,32	15,9	2,3	1,9		3,5	3,7	3,3
13	4,2	8	8,2	9,6	9,7	15,9	17,4	11,4	15,6	5,6	3,8	3,5		0,24	1,85
14	3,9	8,1	8,3	9,7	9,8	15,6	17,2	11,5	15,7	5,7	3,89	3,7	0,24		1,9
15	4,4	7,6	7,8	9,3	9,4	15	16,5	11,1	15,3	5,3	3,5	3,3	1,85	1,9	

Zdroj: vlastní zpracování

Tímto způsobem výpočet pokračuje dál až do okamžiku, ve kterém všechna místa trasy budou navštívena (Tabulky s ostatními kroky jsou obsaženy v přílohách). Výsledná tabulka je představena níže (Tabulka 7).

Tabulka 7 Výsledné řešení metody nejbližšího souseda s výchozím bodem v místě 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		9,3	9,5	12,6	15,5	14,6	17,9	16,5	19,4	11,8	9	6,8	4,2	3,9	4,4
2	9,3		0,4	5,7	8,5	13,1	13,6	9,8	12,8	6,6	6,7	8,2	8	8,1	7,6
3	9,5	0,4		5,9	8,7	13,3	13,8	10	12,7	6,8	6,9	8,4	8,2	8,3	7,8
4	12,6	5,7	5,9		3,4	9,4	9,9	6,2	12,5	5,2	6,5	6,6	9,6	9,7	9,3
5	15,5	8,5	8,7	3,4		9,6	7,7	6,4	13,5	6,3	8,4	6,7	9,7	9,8	9,4
6	14,6	13,1	13,3	9,4	9,6		1	6	19,6	9,2	10,6	10,7	15,9	15,6	15
7	17,9	13,6	13,8	9,9	7,7	1		5,2	18,9	10,7	12,1	12,2	17,4	17,2	16,5
8	16,5	9,8	10	6,2	6,4	6	5,2		14,8	4	5,3	5,32	11,4	11,5	11,1
9	19,4	12,8	12,7	12,5	13,5	19,6	18,9	14,8		13,8	14,4	15,9	15,6	15,7	15,3
10	11,8	6,6	6,8	5,2	6,3	9,2	10,7	4	13,8		2,2	2,3	5,6	5,7	5,3
11	9	6,7	6,9	6,5	8,4	10,6	12,1	5,3	14,4	2,2		1,9	3,8	3,89	3,5
12	6,8	8,2	8,4	6,6	6,7	10,7	12,2	5,32	15,9	2,3	1,9		3,5	3,7	3,3
13	4,2	8	8,2	9,6	9,7	15,9	17,4	11,4	15,6	5,6	3,8	3,5		0,24	1,85
14	3,9	8,1	8,3	9,7	9,8	15,6	17,2	11,5	15,7	5,7	3,89	3,7	0,24		1,9
15	4,4	7,6	7,8	9,3	9,4	15	16,5	11,1	15,3	5,3	3,5	3,3	1,85	1,9	

Zdroj: vlastní zpracování

Výsledná trasa vypadá takto $1 > 14 > 13 > 15 > 12 > 11 > 10 > 8 > 7 > 6 > 4 > 5 > 2 > 3 > 9 > 1$ a celková vzdálenost činí 77,39 km.

Nehledě na to, že trasa nalezená pomocí metody nejbližšího souseda s výchozím bodem v místě č. 1 vyšla kratší než trasa předložená firmou, musí být ještě vypočítány trasy pro zbývající body.

4.4.1 Výsledné řešení

Pro zjednodušení dále bude uvedena tabulka (Tabulka 8) se všemi cestami a jejichmi vzdálenostmi v kilometrech spolu s úsporou vzhledem k výchozí trase.

Tabulka 8 Výsledné řešení metody nejbližšího souseda

Trasa	Vzdálenost v km	Úspora oproti výchozí trase v %
1 > 14 > 13 > 15 > 12 > 11 > 10 > 8 > 7 > 6 > 4 > 5 > 2 > 3 > 9 > 1	77,39	0,19
2 > 3 > 4 > 5 > 10 > 11 > 12 > 15 > 13 > 14 > 1 > 6 > 7 > 8 > 9 > 2	77,79	-0,32
3 > 2 > 4 > 5 > 10 > 9 > 12 > 15 > 13 > 14 > 1 > 6 > 7 > 8 > 9 > 3	77,49	0,06
4 > 5 > 10 > 11 > 12 > 15 > 13 > 14 > 1 > 2 > 3 > 8 > 7 > 6 > 9 > 4	81,09	-4,58
5 > 4 > 10 > 11 > 12 > 15 > 13 > 14 > 1 > 2 > 3 > 8 > 7 > 6 > 9 > 5	80,99	-4,45
6 > 7 > 8 > 10 > 11 > 12 > 15 > 13 > 14 > 1 > 2 > 3 > 4 > 5 > 9 > 6	75,69	2,39
7 > 6 > 8 > 10 > 11 > 12 > 15 > 13 > 14 > 1 > 2 > 3 > 4 > 5 > 9 > 7	75,79	2,26
8 > 10 > 11 > 12 > 15 > 13 > 14 > 1 > 2 > 3 > 4 > 5 > 7 > 6 > 9 > 8	79,49	-2,51
9 > 4 > 5 > 10 > 11 > 12 > 15 > 13 > 14 > 1 > 2 > 3 > 8 > 7 > 6 > 9	81,09	-4,58
10 > 11 > 12 > 15 > 13 > 14 > 1 > 2 > 3 > 4 > 5 > 8 > 7 > 6 > 9 > 10	78,39	-1,10
11 > 12 > 10 > 8 > 7 > 6 > 4 > 5 > 2 > 3 > 15 > 13 > 14 > 1 > 9 > 11	83,69	-7,93
12 > 11 > 10 > 8 > 7 > 6 > 4 > 5 > 2 > 3 > 15 > 13 > 14 > 1 > 9 > 12	85,09	-9,74
13 > 14 > 12 > 11 > 10 > 8 > 7 > 6 > 4 > 5 > 2 > 3 > 15 > 1 > 9 > 13	87,14	-12,38
14 > 13 > 15 > 12 > 11 > 10 > 8 > 7 > 6 > 4 > 5 > 2 > 3 > 1 > 9 > 14	85,99	-10,90
15 > 13 > 14 > 12 > 11 > 10 > 8 > 7 > 6 > 4 > 5 > 2 > 3 > 1 > 9 > 15	85,99	-10,90

Zdroj: vlastní zpracování

Z výsledné tabulky je vidět ze, nejkratší trasa nalezená pomocí metody nejbližšího souseda začíná v bodě číslo 6. Trasa musí být přepracována tak, aby začínala a končila v bodě 1. Řidič by měl jet trasou v tomto pořadí **1 > 2 > 3 > 4 > 5 > 9 > 6 > 7 > 8 > 10 > 11 > 12 > 15 > 13 > 14 > 1**. Celková vzdálenost je 75,69 km.

4.5 Optimalizace pomocí Vogelovy aproximační metody

První krok výpočtu pro zvolenou trasu je znázorněn v následující tabulce (Tabulka 9), žlutě jsou označeny největší diference.

Tabulka 9 První krok řešení Vogelovou aproximační metodou

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	dif 1
1		9,3	9,5	12,6	15,5	14,6	17,9	16,5	19,4	11,8	9	6,8	4,2	3,9	4,4	0,3
2	9,3		0,4	5,7	8,5	13,1	13,6	9,8	12,8	6,6	6,7	8,2	8	8,1	7,6	5,3
3	9,5	0,4		5,9	8,7	13,3	13,8	10	12,7	6,8	6,9	8,4	8,2	8,3	7,8	5,5
4	12,6	5,7	5,9		3,4	9,4	9,9	6,2	12,5	5,2	6,5	6,6	9,6	9,7	9,3	1,8
5	15,5	8,5	8,7	3,4		9,6	7,7	6,4	13,5	6,3	8,4	6,7	9,7	9,8	9,4	2,9
6	14,6	13,1	13,3	9,4	9,6		1	6	19,6	9,2	10,6	10,7	15,9	15,6	15	5
7	17,9	13,6	13,8	9,9	7,7	1		5,2	18,9	10,7	12,1	12,2	17,4	17,2	16,5	4,2
8	16,5	9,8	10	6,2	6,4	6	5,2		14,8	4	5,3	5,32	11,4	11,5	11,1	1,2
9	19,4	12,8	12,7	12,5	13,5	19,6	18,9	14,8		13,8	14,4	15,9	15,6	15,7	15,3	0,2
10	11,8	6,6	6,8	5,2	6,3	9,2	10,7	4	13,8		2,2	2,3	5,6	5,7	5,3	0,1
11	9	6,7	6,9	6,5	8,4	10,6	12,1	5,3	14,4	2,2		1,9	3,8	3,89	3,5	0,3
12	6,8	8,2	8,4	6,6	6,7	10,7	12,2	5,32	15,9	2,3	1,9		3,5	3,7	3,3	0,4
13	4,2	8	8,2	9,6	9,7	15,9	17,4	11,4	15,6	5,6	3,8	3,5		0,24	1,85	1,61
14	3,9	8,1	8,3	9,7	9,8	15,6	17,2	11,5	15,7	5,7	3,89	3,7	0,24		1,9	1,66
15	4,4	7,6	7,8	9,3	9,4	15	16,5	11,1	15,3	5,3	3,5	3,3	1,85	1,9		0,05
dif 1	0,3	5,3	5,5	1,8	2,9	5	4,2	1,2	0,2	0,1	0,3	0,4	1,61	1,66	0,05	

Zdroj: vlastní zpracování

Do výsledné trasy bude zařazeno spojení z bodu č. 3 do bodu č. 2, vzhledem k tomu, že řádkové a sloupcové difference u prvního kroku jsou stejné, bylo rozhodnuto hledat spoj v řádku, aby cesta nevedla opačným směrem. Vymaže se 3. řádek a 2. sloupec spolu s bodem (2, 3).

V následujícím kroku se musí všechny difference spočítat znovu s ohledem na vymazané buňky. Druhý krok výpočtu je zobrazen dále (Tabulka 10).

Tabulka 10 Druhý krok řešení Vogelovou aproximační metodou

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	dif 2
1		9,3	9,5	12,6	15,5	14,6	17,9	16,5	19,4	11,8	9	6,8	4,2	3,9	4,4	0,3
2	9,3		0,4	5,7	8,5	13,1	13,6	9,8	12,8	6,6	6,7	8,2	8	8,1	7,6	0,9
3	9,5	0,4		5,9	8,7	13,3	13,8	10	12,7	6,8	6,9	8,4	8,2	8,3	7,8	
4	12,6	5,7	5,9		3,4	9,4	9,9	6,2	12,5	5,2	6,5	6,6	9,6	9,7	9,3	1,8
5	15,5	8,5	8,7	3,4		9,6	7,7	6,4	13,5	6,3	8,4	6,7	9,7	9,8	9,4	2,9
6	14,6	13,1	13,3	9,4	9,6		1	6	19,6	9,2	10,6	10,7	15,9	15,6	15	5
7	17,9	13,6	13,8	9,9	7,7	1		5,2	18,9	10,7	12,1	12,2	17,4	17,2	16,5	4,2
8	16,5	9,8	10	6,2	6,4	6	5,2		14,8	4	5,3	5,32	11,4	11,5	11,1	1,2
9	19,4	12,8	12,7	12,5	13,5	19,6	18,9	14,8		13,8	14,4	15,9	15,6	15,7	15,3	0,2
10	11,8	6,6	6,8	5,2	6,3	9,2	10,7	4	13,8		2,2	2,3	5,6	5,7	5,3	0,1
11	9	6,7	6,9	6,5	8,4	10,6	12,1	5,3	14,4	2,2		1,9	3,8	3,89	3,5	0,3
12	6,8	8,2	8,4	6,6	6,7	10,7	12,2	5,32	15,9	2,3	1,9		3,5	3,7	3,3	0,4
13	4,2	8	8,2	9,6	9,7	15,9	17,4	11,4	15,6	5,6	3,8	3,5		0,24	1,85	1,61
14	3,9	8,1	8,3	9,7	9,8	15,6	17,2	11,5	15,7	5,7	3,89	3,7	0,24		1,9	1,66
15	4,4	7,6	7,8	9,3	9,4	15	16,5	11,1	15,3	5,3	3,5	3,3	1,85	1,9		0,05
dif 2	0,3		0,9	1,8	2,9	5	4,2	1,2	0,3	0,1	0,3	0,4	1,61	1,66	0,05	

Zdroj: vlastní zpracování

Největší diferenci nyní mají 6. sloupec a 6. řádek. Do řešení byla zahrnuta buňka (6, 7), 6. řádek a 7. sloupec spolu s buňkou (7, 6) byly smazány. Výpočet pokračuje třetím krokem (Tabulka 11).

Tabulka 11 Třetí krok řešení Vogelovou aproximační metodou

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	dif 3
1		9,3	9,5	12,6	15,5	14,6	17,9	16,5	19,4	11,8	9	6,8	4,2	3,9	4,4	0,3
2	9,3		0,4	5,7	8,5	13,1	13,6	9,8	12,8	6,6	6,7	8,2	8	8,1	7,6	0,9
3	9,5	0,4		5,9	8,7	13,3	13,8	10	12,7	6,8	6,9	8,4	8,2	8,3	7,8	
4	12,6	5,7	5,9		3,4	9,4	9,9	6,2	12,5	5,2	6,5	6,6	9,6	9,7	9,3	1,8
5	15,5	8,5	8,7	3,4		9,6	7,7	6,4	13,5	6,3	8,4	6,7	9,7	9,8	9,4	2,9
6	14,6	13,1	13,3	9,4	9,6		1	6	19,6	9,2	10,6	10,7	15,9	15,6	15	
7	17,9	13,6	13,8	9,9	7,7	1		5,2	18,9	10,7	12,1	12,2	17,4	17,2	16,5	2,5
8	16,5	9,8	10	6,2	6,4	6	5,2		14,8	4	5,3	5,32	11,4	11,5	11,1	1,3
9	19,4	12,8	12,7	12,5	13,5	19,6	18,9	14,8		13,8	14,4	15,9	15,6	15,7	15,3	0,2
10	11,8	6,6	6,8	5,2	6,3	9,2	10,7	4	13,8		2,2	2,3	5,6	5,7	5,3	0,1
11	9	6,7	6,9	6,5	8,4	10,6	12,1	5,3	14,4	2,2		1,9	3,8	3,89	3,5	0,3
12	6,8	8,2	8,4	6,6	6,7	10,7	12,2	5,32	15,9	2,3	1,9		3,5	3,7	3,3	0,4
13	4,2	8	8,2	9,6	9,7	15,9	17,4	11,4	15,6	5,6	3,8	3,5		0,24	1,85	1,61
14	3,9	8,1	8,3	9,7	9,8	15,6	17,2	11,5	15,7	5,7	3,89	3,7	0,24		1,9	1,66
15	4,4	7,6	7,8	9,3	9,4	15	16,5	11,1	15,3	5,3	3,5	3,3	1,85	1,9		0,05
dif 3	0,3		0,9	1,8	2,9	3,2		1,2	0,3	0,1	0,3	0,4	1,61	1,66	0,05	

Zdroj: vlastní zpracování

Teď má největší diference 6. sloupec a buňka s nejmenší hodnotou, kterou tento sloupec má je (8, 6), bude součástí výsledné trasy. Vymaže se 8. řádek, 6. sloupec a buňka (7, 8).

Podobným způsobem bude výpočet pokračovat (tabulky s následujícími kroky jsou uvedeny v přílohách), dokud nezůstane žádné nenavštívené místo.

4.5.1 Výsledné řešení

Výsledná tabulka s řešením Vogelovou aproximační metodou je uvedena níže (Tabulka 12).

Tabulka 12 Výsledné řešení nalezené Vogelovou aproximační metodou

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		9,3	9,5	12,6	15,5	14,6	17,9	16,5	19,4	11,8	9	6,8	4,2	3,9	4,4
2	9,3		0,4	5,7	8,5	13,1	13,6	9,8	12,8	6,6	6,7	8,2	8	8,1	7,6
3	9,5	0,4		5,9	8,7	13,3	13,8	10	12,7	6,8	6,9	8,4	8,2	8,3	7,8
4	12,6	5,7	5,9		3,4	9,4	9,9	6,2	12,5	5,2	6,5	6,6	9,6	9,7	9,3
5	15,5	8,5	8,7	3,4		9,6	7,7	6,4	13,5	6,3	8,4	6,7	9,7	9,8	9,4
6	14,6	13,1	13,3	9,4	9,6		1	6	19,6	9,2	10,6	10,7	15,9	15,6	15
7	17,9	13,6	13,8	9,9	7,7	1		5,2	18,9	10,7	12,1	12,2	17,4	17,2	16,5
8	16,5	9,8	10	6,2	6,4	6	5,2		14,8	4	5,3	5,32	11,4	11,5	11,1
9	19,4	12,8	12,7	12,5	13,5	19,6	18,9	14,8		13,8	14,4	15,9	15,6	15,7	15,3
10	11,8	6,6	6,8	5,2	6,3	9,2	10,7	4	13,8		2,2	2,3	5,6	5,7	5,3
11	9	6,7	6,9	6,5	8,4	10,6	12,1	5,3	14,4	2,2		1,9	3,8	3,89	3,5
12	6,8	8,2	8,4	6,6	6,7	10,7	12,2	5,32	15,9	2,3	1,9		3,5	3,7	3,3
13	4,2	8	8,2	9,6	9,7	15,9	17,4	11,4	15,6	5,6	3,8	3,5		0,24	1,85
14	3,9	8,1	8,3	9,7	9,8	15,6	17,2	11,5	15,7	5,7	3,89	3,7	0,24		1,9
15	4,4	7,6	7,8	9,3	9,4	15	16,5	11,1	15,3	5,3	3,5	3,3	1,85	1,9	

Zdroj: vlastní zpracování

Nyní musí být na základě výsledného řešení sestavena trasa, která by vedla z prvního místa. Ta bude vypadat následovně $1 > 12 > 8 > 6 > 7 > 5 > 4 > 9 > 3 > 2 > 10 > 11 > 15 > 14 > 13 > 1$. Celková délka této trasy činí 74,46 km.

4.6 Optimalizace pomocí metody výhodnostních čísel

Pro optimalizaci metodou výhodnostních čísel bylo rozhodnuto využít program TSPKOSA.xla, vzhledem k tomu, že ruční výpočet je poměrně složitý a dlouhý. Tabulky se všemi okruhy nalezenými pomocí programu jsou k dispozici v přílohách.

4.6.1 Výsledné řešení

Za pomoci řešení metodou výhodnostních čísel v programu TSPKOSA byly nalezeny celkem 4 stejné nejvýhodnější cykly vypadající následovně: $6 > 7 > 5 > 4 > 9 > 3 > 2 > 1 > 14 > 13 > 15 > 12 > 11 > 10 > 8 > 6$ s celkovou délkou 70,39 km, které je ještě potřeba upravit tak, aby začínaly a končily na adrese pobočky Leroy Merlin. Výsledná upravená trasa prochází místy okruhu v tomto pořadí: $1 > 14 > 13 > 15 > 12 > 11 > 10 > 8 > 6 > 7 > 5 > 4 > 9 > 3 > 2 > 1$.

5 Výsledky a diskuse

Na základě řešení metodami použitými v praktické části byly nalezeny nové trasy, které jsou kratší než trasa výchozí. Nutno uvést, že toto platí jen pro nejrychlejší spojení, což znamená, že firma bude muset na dané trase změnit čas doručení, aby začínal v ranních hodinách. Pro kompletní představu ekonomického přínosu, který bude mít společnost, jestliže změní svoji výchozí trasu, nutno porovnávat i náklady spojené s provozem na dané cestě. Podle informací uvedených firmou činí průměrné náklady 8 Kč/km, z toho vyplývá, vzhledem k tomu, že firma využívá trasu čtyřikrát měsíčně, že roční náklady na danou trasu z výchozí vzdálenosti činí 29 775,36 Kč. Na základě nově zjištěných tras a nákladů byla sestavena tabulka zobrazující výsledky výpočtů úspory vzdáleností v kilometrech a procentech, a také ročních nákladů v korunách (Tabulka 13).

Tabulka 13 Výsledky výpočtů úspory

	Vzdálenost v km	Úspora najetých km v %	Roční náklady v Kč	Úspora nákladů v Kč
Výchozí trasa	77,54	-	29 775,36	-
Metoda nejbližšího souseda	75,69	2,39	29 064,96	710,40
Vogelova aproximační metoda	74,46	3,97	28 592,64	1 182,72
Metoda výhodnostních čísel	70,39	9,22	27 029,76	2 745,60

Zdroj: vlastní zpracování

Nejlepším řešením, jak z hlediska vzdálenosti, tak i z hlediska nákladů vychází řešení získané pomocí metody výhodnostních čísel. Ročně, pokud bude firma tuto trasu využívat, uspoří na nákladech 2 745,60 Kč.

Manažer logistického oddělení Leroy Merlin z vybrané pobočky, který poskytoval údaje pro danou bakalářskou práci, uvedl, že o změně neboli zlepšení výchozí trasy, spolu se změnou doručovacích hodin, se bude jednat na některém ze setkání, týkajících se rozvozu zboží zákazníkům.

6 Závěr

Tato bakalářská práce měla za cíl optimalizaci pravidelné dopravní trasy mezi jednou z moskevských poboček firmy Leroy Merlin a jejími zákazníky, do které se přidal nový odběratel.

Teoretická část obsahovala stručný popis logistiky, operačního výzkumu a distribučních úloh, obsahujících definici okružního dopravního problému, rovněž známého jako problém obchodního cestujícího, a metod použitých v části praktické. I přesto, že tyto aproximační metody neudávají optimální výsledky z hlediska matematického, jejich rezultáty se považují za ekonomické optimum.

Praktická část se věnovala charakteristice vybrané společnosti a následně využití metod popsanych v části teoretické. Kromě ručního výpočtu pro nalezení výsledku byl použit program TSPKOSA, konkrétně pro výpočet metodou výhodnostních čísel.

Po výpočtech uskutečněných v části praktické byla provedena komparace výsledků včetně výchozí trasy. Zatím byla firmě nabídnuta k využití nejlepší trasa z vypočtených, která byla nalezena pomocí metody výhodnostních čísel. Tuto okružní trasu by mohla ve skutečnosti společnost využívat za předpokladu, že změní doručovací hodiny, za účelem zamezení rozvozu v těžké dopravní situaci.

7 Seznam použitých zdrojů

CLARKE, G., WRIGHT, J. W., 1964. Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points, *Oper. Res.*, 12, s.568–581.

FIALA, Petr, 2010. *Operační výzkum: nové trendy*. Praha: Professional Publishing. 239 s. ISBN 978-80-7431-036-2.

FRIEZE, A. M, GALBIATI, G., MAFFIOLI, F., 1982. Of the Worst-Case Performance of Some Algorithms for Asymmetric Traveling Salesman Problem. *Networks*, s.23–39.

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

JUROVÁ, Marie, 2016. *Výrobní a logistické procesy v podnikání*. Praha: Grada. 264 s. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-5717-9.

KOSKOVÁ, Ivanka, 2004. *Distribuční úlohy I*. Praha: Credit. 48 s. ISBN 80-213-1156-8.

LAMBERT, Douglas M., STOCK, James R., ELLRAM, Lisa, 2000. *Logistika: příkladové studie, řízení zásob, přeprava a skladování, balení zboží*. Praha: Computer Press. 589 s. ISBN 80-7226-221-1.

PERNICA, Petr, 1998. *Logistický management: teorie a podniková praxe*. Praha: Radix. 660 s. ISBN 80-86031-13-6.

ROSENKRANTZ, D. J., STEARNS, R. E., LEWIS, P. M. II., 1977. An Analysis of Several Heuristics for the Traveling Salesman Problem. *SIAM J. Comput.*, 6, s.563–581.

SCHULTE, Christof, 1994. *Logistika*. Praha: Victoria Publishing. 301 s. ISBN 80-85605-87-2.

SVATOŠ, Miroslav, 2009. *Zahraniční obchod: teorie a praxe*. Praha: Grada. 367 s. Expert. ISBN 978-80-247-2708-0.

ŠTŮSEK, Jaromír, 2007. *Řízení provozu v logistických řetězcích*. Praha: C.H. Beck. 227 s. C.H. Beck pro praxi. ISBN 978-80-7179-534-6.

ŠUBRT, Tomáš, 2015. *Ekonomicko-matematické metody*. 2. upravené vydání. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk. ISBN 978-80-7380-563-0.

VAN DER CRUYSSSEN, P., RIJCKAERT, M., 1978. Heuristic for the Asymmetric Traveling Salesman Problem. *J. Op. Res. Soc.*, 30, s.697–701.

WEBB, J., 1971. An effective heuristic algorithm for the traveling salesman problem. *Ops Res.*, 21, s.498–516.

Elektronické zdroje

Google.cz [online]. © 2020 [cit. 2020-02-19]. Dostupné z: <https://www.google.cz/maps>.

Yandex.ru [online]. © 2020 [cit. 2020-02-19]. Dostupné z: <https://yandex.ru/maps>.

Ostatní zdroje

KREJČÍ, Igor, KUČERA, Petr, VYDROVÁ, Hana, 2010. *Program TSPKOSA*. Praha: ČZU. Vytvořeno s podporou Fondu rozvoje vysokých škol, projekt 2678/2010.

8 Seznam příloh

Příloha A Kroky 4–15 řešení metody nejbližšího souseda s výchozím bodem v místě 1 ...	39
Příloha B Kroky 4–13 řešení Vogelovou aproximační metodou.....	45
Příloha C Výsledné okruhy včetně vzdáleností nalezené pomocí programu TSPKOSA....	50

9 Přílohy

Příloha A Kroky 4–15 řešení metody nejbližšího souseda s výchozím bodem v místě 1

Krok 4:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		9.3	9.5	12.6	15.5	14.6	17.9	16.5	19.4	11.8	9	6.8	4.2	3.9	4.4
2	9.3		0.4	5.7	8.5	13.1	13.6	9.8	12.8	6.6	6.7	8.2	8	8.1	7.6
3	9.5	0.4		5.9	8.7	13.3	13.8	10	12.7	6.8	6.9	8.4	8.2	8.3	7.8
4	12.6	5.7	5.9		3.4	9.4	9.9	6.2	12.5	5.2	6.5	6.6	9.6	9.7	9.3
5	15.5	8.5	8.7	3.4		9.6	7.7	6.4	13.5	6.3	8.4	6.7	9.7	9.8	9.4
6	14.6	13.1	13.3	9.4	9.6		1	6	19.6	9.2	10.6	10.7	15.9	15.6	15
7	17.9	13.6	13.8	9.9	7.7	1		5.2	18.9	10.7	12.1	12.2	17.4	17.2	16.5
8	16.5	9.8	10	6.2	6.4	6	5.2		14.8	4	5.3	5.32	11.4	11.5	11.1
9	19.4	12.8	12.7	12.5	13.5	19.6	18.9	14.8		13.8	14.4	15.9	15.6	15.7	15.3
10	11.8	6.6	6.8	5.2	6.3	9.2	10.7	4	13.8		2.2	2.3	5.6	5.7	5.3
11	9	6.7	6.9	6.5	8.4	10.6	12.1	5.3	14.4	2.2		1.9	3.8	3.89	3.5
12	6.8	8.2	8.4	6.6	6.7	10.7	12.2	5.32	15.9	2.3	1.9		3.5	3.7	3.3
13	4.2	8	8.2	9.6	9.7	15.9	17.4	11.4	15.6	5.6	3.8	3.5		0.24	1.85
14	3.9	8.1	8.3	9.7	9.8	15.6	17.2	11.5	15.7	5.7	3.89	3.7	0.24		1.9
15	4.4	7.6	7.8	9.3	9.4	15	16.5	11.1	15.3	5.3	3.5	3.3	1.85	1.9	

Krok 5:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		9.3	9.5	12.6	15.5	14.6	17.9	16.5	19.4	11.8	9	6.8	4.2	3.9	4.4
2	9.3		0.4	5.7	8.5	13.1	13.6	9.8	12.8	6.6	6.7	8.2	8	8.1	7.6
3	9.5	0.4		5.9	8.7	13.3	13.8	10	12.7	6.8	6.9	8.4	8.2	8.3	7.8
4	12.6	5.7	5.9		3.4	9.4	9.9	6.2	12.5	5.2	6.5	6.6	9.6	9.7	9.3
5	15.5	8.5	8.7	3.4		9.6	7.7	6.4	13.5	6.3	8.4	6.7	9.7	9.8	9.4
6	14.6	13.1	13.3	9.4	9.6		1	6	19.6	9.2	10.6	10.7	15.9	15.6	15
7	17.9	13.6	13.8	9.9	7.7	1		5.2	18.9	10.7	12.1	12.2	17.4	17.2	16.5
8	16.5	9.8	10	6.2	6.4	6	5.2		14.8	4	5.3	5.32	11.4	11.5	11.1
9	19.4	12.8	12.7	12.5	13.5	19.6	18.9	14.8		13.8	14.4	15.9	15.6	15.7	15.3
10	11.8	6.6	6.8	5.2	6.3	9.2	10.7	4	13.8		2.2	2.3	5.6	5.7	5.3
11	9	6.7	6.9	6.5	8.4	10.6	12.1	5.3	14.4	2.2		1.9	3.8	3.89	3.5
12	6.8	8.2	8.4	6.6	6.7	10.7	12.2	5.32	15.9	2.3	1.9		3.5	3.7	3.3
13	4.2	8	8.2	9.6	9.7	15.9	17.4	11.4	15.6	5.6	3.8	3.5		0.24	1.85
14	3.9	8.1	8.3	9.7	9.8	15.6	17.2	11.5	15.7	5.7	3.89	3.7	0.24		1.9
15	4.4	7.6	7.8	9.3	9.4	15	16.5	11.1	15.3	5.3	3.5	3.3	1.85	1.9	

Krok 6:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		9.3	9.5	12.6	15.5	14.6	17.9	16.5	19.4	11.8	9	6.8	4.2	3.9	4.4
2	9.3		0.4	5.7	8.5	13.1	13.6	9.8	12.8	6.6	6.7	8.2	8	8.1	7.6
3	9.5	0.4		5.9	8.7	13.3	13.8	10	12.7	6.8	6.9	8.4	8.2	8.3	7.8
4	12.6	5.7	5.9		3.4	9.4	9.9	6.2	12.5	5.2	6.5	6.6	9.6	9.7	9.3
5	15.5	8.5	8.7	3.4		9.6	7.7	6.4	13.5	6.3	8.4	6.7	9.7	9.8	9.4
6	14.6	13.1	13.3	9.4	9.6		1	6	19.6	9.2	10.6	10.7	15.9	15.6	15
7	17.9	13.6	13.8	9.9	7.7	1		5.2	18.9	10.7	12.1	12.2	17.4	17.2	16.5
8	16.5	9.8	10	6.2	6.4	6	5.2		14.8	4	5.3	5.32	11.4	11.5	11.1
9	19.4	12.8	12.7	12.5	13.5	19.6	18.9	14.8		13.8	14.4	15.9	15.6	15.7	15.3
10	11.8	6.6	6.8	5.2	6.3	9.2	10.7	4	13.8		2.2	2.3	5.6	5.7	5.3
11	9	6.7	6.9	6.5	8.4	10.6	12.1	5.3	14.4	2.2		1.9	3.8	3.89	3.5
12	6.8	8.2	8.4	6.6	6.7	10.7	12.2	5.32	15.9	2.3	1.9		3.5	3.7	3.3
13	4.2	8	8.2	9.6	9.7	15.9	17.4	11.4	15.6	5.6	3.8	3.5		0.24	1.85
14	3.9	8.1	8.3	9.7	9.8	15.6	17.2	11.5	15.7	5.7	3.89	3.7	0.24		1.9
15	4.4	7.6	7.8	9.3	9.4	15	16.5	11.1	15.3	5.3	3.5	3.3	1.85	1.9	

Krok 7:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		9.3	9.5	12.6	15.5	14.6	17.9	16.5	19.4	11.8	9	6.8	4.2	3.9	4.4
2	9.3		0.4	5.7	8.5	13.1	13.6	9.8	12.8	6.6	6.7	8.2	8	8.1	7.6
3	9.5	0.4		5.9	8.7	13.3	13.8	10	12.7	6.8	6.9	8.4	8.2	8.3	7.8
4	12.6	5.7	5.9		3.4	9.4	9.9	6.2	12.5	5.2	6.5	6.6	9.6	9.7	9.3
5	15.5	8.5	8.7	3.4		9.6	7.7	6.4	13.5	6.3	8.4	6.7	9.7	9.8	9.4
6	14.6	13.1	13.3	9.4	9.6		1	6	19.6	9.2	10.6	10.7	15.9	15.6	15
7	17.9	13.6	13.8	9.9	7.7	1		5.2	18.9	10.7	12.1	12.2	17.4	17.2	16.5
8	16.5	9.8	10	6.2	6.4	6	5.2		14.8	4	5.3	5.32	11.4	11.5	11.1
9	19.4	12.8	12.7	12.5	13.5	19.6	18.9	14.8		13.8	14.4	15.9	15.6	15.7	15.3
10	11.8	6.6	6.8	5.2	6.3	9.2	10.7	4	13.8		2.2	2.3	5.6	5.7	5.3
11	9	6.7	6.9	6.5	8.4	10.6	12.1	5.3	14.4	2.2		1.9	3.8	3.89	3.5
12	6.8	8.2	8.4	6.6	6.7	10.7	12.2	5.32	15.9	2.3	1.9		3.5	3.7	3.3
13	4.2	8	8.2	9.6	9.7	15.9	17.4	11.4	15.6	5.6	3.8	3.5		0.24	1.85
14	3.9	8.1	8.3	9.7	9.8	15.6	17.2	11.5	15.7	5.7	3.89	3.7	0.24		1.9
15	4.4	7.6	7.8	9.3	9.4	15	16.5	11.1	15.3	5.3	3.5	3.3	1.85	1.9	

:

Krok 8

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		9.3	9.5	12.6	15.5	14.6	17.9	16.5	19.4	11.8	9	6.8	4.2	3.9	4.4
2	9.3		0.4	5.7	8.5	13.1	13.6	9.8	12.8	6.6	6.7	8.2	8	8.1	7.6
3	9.5	0.4		5.9	8.7	13.3	13.8	10	12.7	6.8	6.9	8.4	8.2	8.3	7.8
4	12.6	5.7	5.9		3.4	9.4	9.9	6.2	12.5	5.2	6.5	6.6	9.6	9.7	9.3
5	15.5	8.5	8.7	3.4		9.6	7.7	6.4	13.5	6.3	8.4	6.7	9.7	9.8	9.4
6	14.6	13.1	13.3	9.4	9.6		1	6	19.6	9.2	10.6	10.7	15.9	15.6	15
7	17.9	13.6	13.8	9.9	7.7	1		5.2	18.9	10.7	12.1	12.2	17.4	17.2	16.5
8	16.5	9.8	10	6.2	6.4	6	5.2		14.8	4	5.3	5.32	11.4	11.5	11.1
9	19.4	12.8	12.7	12.5	13.5	19.6	18.9	14.8		13.8	14.4	15.9	15.6	15.7	15.3
10	11.8	6.6	6.8	5.2	6.3	9.2	10.7	4	13.8		2.2	2.3	5.6	5.7	5.3
11	9	6.7	6.9	6.5	8.4	10.6	12.1	5.3	14.4	2.2		1.9	3.8	3.89	3.5
12	6.8	8.2	8.4	6.6	6.7	10.7	12.2	5.32	15.9	2.3	1.9		3.5	3.7	3.3
13	4.2	8	8.2	9.6	9.7	15.9	17.4	11.4	15.6	5.6	3.8	3.5		0.24	1.85
14	3.9	8.1	8.3	9.7	9.8	15.6	17.2	11.5	15.7	5.7	3.89	3.7	0.24		1.9
15	4.4	7.6	7.8	9.3	9.4	15	16.5	11.1	15.3	5.3	3.5	3.3	1.85	1.9	

Krok 9:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		9.3	9.5	12.6	15.5	14.6	17.9	16.5	19.4	11.8	9	6.8	4.2	3.9	4.4
2	9.3		0.4	5.7	8.5	13.1	13.6	9.8	12.8	6.6	6.7	8.2	8	8.1	7.6
3	9.5	0.4		5.9	8.7	13.3	13.8	10	12.7	6.8	6.9	8.4	8.2	8.3	7.8
4	12.6	5.7	5.9		3.4	9.4	9.9	6.2	12.5	5.2	6.5	6.6	9.6	9.7	9.3
5	15.5	8.5	8.7	3.4		9.6	7.7	6.4	13.5	6.3	8.4	6.7	9.7	9.8	9.4
6	14.6	13.1	13.3	9.4	9.6		1	6	19.6	9.2	10.6	10.7	15.9	15.6	15
7	17.9	13.6	13.8	9.9	7.7	1		5.2	18.9	10.7	12.1	12.2	17.4	17.2	16.5
8	16.5	9.8	10	6.2	6.4	6	5.2		14.8	4	5.3	5.32	11.4	11.5	11.1
9	19.4	12.8	12.7	12.5	13.5	19.6	18.9	14.8		13.8	14.4	15.9	15.6	15.7	15.3
10	11.8	6.6	6.8	5.2	6.3	9.2	10.7	4	13.8		2.2	2.3	5.6	5.7	5.3
11	9	6.7	6.9	6.5	8.4	10.6	12.1	5.3	14.4	2.2		1.9	3.8	3.89	3.5
12	6.8	8.2	8.4	6.6	6.7	10.7	12.2	5.32	15.9	2.3	1.9		3.5	3.7	3.3
13	4.2	8	8.2	9.6	9.7	15.9	17.4	11.4	15.6	5.6	3.8	3.5		0.24	1.85
14	3.9	8.1	8.3	9.7	9.8	15.6	17.2	11.5	15.7	5.7	3.89	3.7	0.24		1.9
15	4.4	7.6	7.8	9.3	9.4	15	16.5	11.1	15.3	5.3	3.5	3.3	1.85	1.9	

Krok 10:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		9.3	9.5	12.6	15.5	14.6	17.9	16.5	19.4	11.8	9	6.8	4.2	3.9	4.4
2	9.3		0.4	5.7	8.5	13.1	13.6	9.8	12.8	6.6	6.7	8.2	8	8.1	7.6
3	9.5	0.4		5.9	8.7	13.3	13.8	10	12.7	6.8	6.9	8.4	8.2	8.3	7.8
4	12.6	5.7	5.9		3.4	9.4	9.9	6.2	12.5	5.2	6.5	6.6	9.6	9.7	9.3
5	15.5	8.5	8.7	3.4		9.6	7.7	6.4	13.5	6.3	8.4	6.7	9.7	9.8	9.4
6	14.6	13.1	13.3	9.4	9.6		1	6	19.6	9.2	10.6	10.7	15.9	15.6	15
7	17.9	13.6	13.8	9.9	7.7	1		5.2	18.9	10.7	12.1	12.2	17.4	17.2	16.5
8	16.5	9.8	10	6.2	6.4	6	5.2		14.8	4	5.3	5.32	11.4	11.5	11.1
9	19.4	12.8	12.7	12.5	13.5	19.6	18.9	14.8		13.8	14.4	15.9	15.6	15.7	15.3
10	11.8	6.6	6.8	5.2	6.3	9.2	10.7	4	13.8		2.2	2.3	5.6	5.7	5.3
11	9	6.7	6.9	6.5	8.4	10.6	12.1	5.3	14.4	2.2		1.9	3.8	3.89	3.5
12	6.8	8.2	8.4	6.6	6.7	10.7	12.2	5.32	15.9	2.3	1.9		3.5	3.7	3.3
13	4.2	8	8.2	9.6	9.7	15.9	17.4	11.4	15.6	5.6	3.8	3.5		0.24	1.85
14	3.9	8.1	8.3	9.7	9.8	15.6	17.2	11.5	15.7	5.7	3.89	3.7	0.24		1.9
15	4.4	7.6	7.8	9.3	9.4	15	16.5	11.1	15.3	5.3	3.5	3.3	1.85	1.9	

Krok 11:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		9.3	9.5	12.6	15.5	14.6	17.9	16.5	19.4	11.8	9	6.8	4.2	3.9	4.4
2	9.3		0.4	5.7	8.5	13.1	13.6	9.8	12.8	6.6	6.7	8.2	8	8.1	7.6
3	9.5	0.4		5.9	8.7	13.3	13.8	10	12.7	6.8	6.9	8.4	8.2	8.3	7.8
4	12.6	5.7	5.9		3.4	9.4	9.9	6.2	12.5	5.2	6.5	6.6	9.6	9.7	9.3
5	15.5	8.5	8.7	3.4		9.6	7.7	6.4	13.5	6.3	8.4	6.7	9.7	9.8	9.4
6	14.6	13.1	13.3	9.4	9.6		1	6	19.6	9.2	10.6	10.7	15.9	15.6	15
7	17.9	13.6	13.8	9.9	7.7	1		5.2	18.9	10.7	12.1	12.2	17.4	17.2	16.5
8	16.5	9.8	10	6.2	6.4	6	5.2		14.8	4	5.3	5.32	11.4	11.5	11.1
9	19.4	12.8	12.7	12.5	13.5	19.6	18.9	14.8		13.8	14.4	15.9	15.6	15.7	15.3
10	11.8	6.6	6.8	5.2	6.3	9.2	10.7	4	13.8		2.2	2.3	5.6	5.7	5.3
11	9	6.7	6.9	6.5	8.4	10.6	12.1	5.3	14.4	2.2		1.9	3.8	3.89	3.5
12	6.8	8.2	8.4	6.6	6.7	10.7	12.2	5.32	15.9	2.3	1.9		3.5	3.7	3.3
13	4.2	8	8.2	9.6	9.7	15.9	17.4	11.4	15.6	5.6	3.8	3.5		0.24	1.85
14	3.9	8.1	8.3	9.7	9.8	15.6	17.2	11.5	15.7	5.7	3.89	3.7	0.24		1.9
15	4.4	7.6	7.8	9.3	9.4	15	16.5	11.1	15.3	5.3	3.5	3.3	1.85	1.9	

Krok 12:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		9.3	9.5	12.6	15.5	14.6	17.9	16.5	19.4	11.8	9	6.8	4.2	3.9	4.4
2	9.3		0.4	5.7	8.5	13.1	13.6	9.8	12.8	6.6	6.7	8.2	8	8.1	7.6
3	9.5	0.4		5.9	8.7	13.3	13.8	10	12.7	6.8	6.9	8.4	8.2	8.3	7.8
4	12.6	5.7	5.9		3.4	9.4	9.9	6.2	12.5	5.2	6.5	6.6	9.6	9.7	9.3
5	15.5	8.5	8.7	3.4		9.6	7.7	6.4	13.5	6.3	8.4	6.7	9.7	9.8	9.4
6	14.6	13.1	13.3	9.4	9.6		1	6	19.6	9.2	10.6	10.7	15.9	15.6	15
7	17.9	13.6	13.8	9.9	7.7	1		5.2	18.9	10.7	12.1	12.2	17.4	17.2	16.5
8	16.5	9.8	10	6.2	6.4	6	5.2		14.8	4	5.3	5.32	11.4	11.5	11.1
9	19.4	12.8	12.7	12.5	13.5	19.6	18.9	14.8		13.8	14.4	15.9	15.6	15.7	15.3
10	11.8	6.6	6.8	5.2	6.3	9.2	10.7	4	13.8		2.2	2.3	5.6	5.7	5.3
11	9	6.7	6.9	6.5	8.4	10.6	12.1	5.3	14.4	2.2		1.9	3.8	3.89	3.5
12	6.8	8.2	8.4	6.6	6.7	10.7	12.2	5.32	15.9	2.3	1.9		3.5	3.7	3.3
13	4.2	8	8.2	9.6	9.7	15.9	17.4	11.4	15.6	5.6	3.8	3.5		0.24	1.85
14	3.9	8.1	8.3	9.7	9.8	15.6	17.2	11.5	15.7	5.7	3.89	3.7	0.24		1.9
15	4.4	7.6	7.8	9.3	9.4	15	16.5	11.1	15.3	5.3	3.5	3.3	1.85	1.9	

Krok 13:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		9.3	9.5	12.6	15.5	14.6	17.9	16.5	19.4	11.8	9	6.8	4.2	3.9	4.4
2	9.3		0.4	5.7	8.5	13.1	13.6	9.8	12.8	6.6	6.7	8.2	8	8.1	7.6
3	9.5	0.4		5.9	8.7	13.3	13.8	10	12.7	6.8	6.9	8.4	8.2	8.3	7.8
4	12.6	5.7	5.9		3.4	9.4	9.9	6.2	12.5	5.2	6.5	6.6	9.6	9.7	9.3
5	15.5	8.5	8.7	3.4		9.6	7.7	6.4	13.5	6.3	8.4	6.7	9.7	9.8	9.4
6	14.6	13.1	13.3	9.4	9.6		1	6	19.6	9.2	10.6	10.7	15.9	15.6	15
7	17.9	13.6	13.8	9.9	7.7	1		5.2	18.9	10.7	12.1	12.2	17.4	17.2	16.5
8	16.5	9.8	10	6.2	6.4	6	5.2		14.8	4	5.3	5.32	11.4	11.5	11.1
9	19.4	12.8	12.7	12.5	13.5	19.6	18.9	14.8		13.8	14.4	15.9	15.6	15.7	15.3
10	11.8	6.6	6.8	5.2	6.3	9.2	10.7	4	13.8		2.2	2.3	5.6	5.7	5.3
11	9	6.7	6.9	6.5	8.4	10.6	12.1	5.3	14.4	2.2		1.9	3.8	3.89	3.5
12	6.8	8.2	8.4	6.6	6.7	10.7	12.2	5.32	15.9	2.3	1.9		3.5	3.7	3.3
13	4.2	8	8.2	9.6	9.7	15.9	17.4	11.4	15.6	5.6	3.8	3.5		0.24	1.85
14	3.9	8.1	8.3	9.7	9.8	15.6	17.2	11.5	15.7	5.7	3.89	3.7	0.24		1.9
15	4.4	7.6	7.8	9.3	9.4	15	16.5	11.1	15.3	5.3	3.5	3.3	1.85	1.9	

Krok 14:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		9.3	9.5	12.6	15.5	14.6	17.9	16.5	19.4	11.8	9	6.8	4.2	3.9	4.4
2	9.3		0.4	5.7	8.5	13.1	13.6	9.8	12.8	6.6	6.7	8.2	8	8.1	7.6
3	9.5	0.4		5.9	8.7	13.3	13.8	10	12.7	6.8	6.9	8.4	8.2	8.3	7.8
4	12.6	5.7	5.9		3.4	9.4	9.9	6.2	12.5	5.2	6.5	6.6	9.6	9.7	9.3
5	15.5	8.5	8.7	3.4		9.6	7.7	6.4	13.5	6.3	8.4	6.7	9.7	9.8	9.4
6	14.6	13.1	13.3	9.4	9.6		1	6	19.6	9.2	10.6	10.7	15.9	15.6	15
7	17.9	13.6	13.8	9.9	7.7	1		5.2	18.9	10.7	12.1	12.2	17.4	17.2	16.5
8	16.5	9.8	10	6.2	6.4	6	5.2		14.8	4	5.3	5.32	11.4	11.5	11.1
9	19.4	12.8	12.7	12.5	13.5	19.6	18.9	14.8		13.8	14.4	15.9	15.6	15.7	15.3
10	11.8	6.6	6.8	5.2	6.3	9.2	10.7	4	13.8		2.2	2.3	5.6	5.7	5.3
11	9	6.7	6.9	6.5	8.4	10.6	12.1	5.3	14.4	2.2		1.9	3.8	3.89	3.5
12	6.8	8.2	8.4	6.6	6.7	10.7	12.2	5.32	15.9	2.3	1.9		3.5	3.7	3.3
13	4.2	8	8.2	9.6	9.7	15.9	17.4	11.4	15.6	5.6	3.8	3.5		0.24	1.85
14	3.9	8.1	8.3	9.7	9.8	15.6	17.2	11.5	15.7	5.7	3.89	3.7	0.24		1.9
15	4.4	7.6	7.8	9.3	9.4	15	16.5	11.1	15.3	5.3	3.5	3.3	1.85	1.9	

Krok 15:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		9.3	9.5	12.6	15.5	14.6	17.9	16.5	19.4	11.8	9	6.8	4.2	3.9	4.4
2	9.3		0.4	5.7	8.5	13.1	13.6	9.8	12.8	6.6	6.7	8.2	8	8.1	7.6
3	9.5	0.4		5.9	8.7	13.3	13.8	10	12.7	6.8	6.9	8.4	8.2	8.3	7.8
4	12.6	5.7	5.9		3.4	9.4	9.9	6.2	12.5	5.2	6.5	6.6	9.6	9.7	9.3
5	15.5	8.5	8.7	3.4		9.6	7.7	6.4	13.5	6.3	8.4	6.7	9.7	9.8	9.4
6	14.6	13.1	13.3	9.4	9.6		1	6	19.6	9.2	10.6	10.7	15.9	15.6	15
7	17.9	13.6	13.8	9.9	7.7	1		5.2	18.9	10.7	12.1	12.2	17.4	17.2	16.5
8	16.5	9.8	10	6.2	6.4	6	5.2		14.8	4	5.3	5.32	11.4	11.5	11.1
9	19.4	12.8	12.7	12.5	13.5	19.6	18.9	14.8		13.8	14.4	15.9	15.6	15.7	15.3
10	11.8	6.6	6.8	5.2	6.3	9.2	10.7	4	13.8		2.2	2.3	5.6	5.7	5.3
11	9	6.7	6.9	6.5	8.4	10.6	12.1	5.3	14.4	2.2		1.9	3.8	3.89	3.5
12	6.8	8.2	8.4	6.6	6.7	10.7	12.2	5.32	15.9	2.3	1.9		3.5	3.7	3.3
13	4.2	8	8.2	9.6	9.7	15.9	17.4	11.4	15.6	5.6	3.8	3.5		0.24	1.85
14	3.9	8.1	8.3	9.7	9.8	15.6	17.2	11.5	15.7	5.7	3.89	3.7	0.24		1.9
15	4.4	7.6	7.8	9.3	9.4	15	16.5	11.1	15.3	5.3	3.5	3.3	1.85	1.9	

Příloha B Kroky 4–13 řešení Vogelovou aproximační metodou

Krok 4:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	dif 4
1		9.3	9.5	12.6	15.5	14.6	17.9	16.5	19.4	11.8	9	6.8	4.2	3.9	4.4	0.3
2	9.3		0.4	5.7	8.5	13.1	13.6	9.8	12.8	6.6	6.7	8.2	8	8.1	7.6	0.9
3	9.5	0.4		5.9	8.7	13.3	13.8	10	12.7	6.8	6.9	8.4	8.2	8.3	7.8	
4	12.6	5.7	5.9		3.4	9.4	9.9	6.2	12.5	5.2	6.5	6.6	9.6	9.7	9.3	1.8
5	15.5	8.5	8.7	3.4		9.6	7.7	6.4	13.5	6.3	8.4	6.7	9.7	9.8	9.4	2.9
6	14.6	13.1	13.3	9.4	9.6		1	6	19.6	9.2	10.6	10.7	15.9	15.6	15	
7	17.9	13.6	13.8	9.9	7.7	1		5.2	18.9	10.7	12.1	12.2	17.4	17.2	16.5	2.2
8	16.5	9.8	10	6.2	6.4	6	5.2		14.8	4	5.3	5.32	11.4	11.5	11.1	
9	19.4	12.8	12.7	12.5	13.5	19.6	18.9	14.8		13.8	14.4	15.9	15.6	15.7	15.3	0.2
10	11.8	6.6	6.8	5.2	6.3	9.2	10.7	4	13.8		2.2	2.3	5.6	5.7	5.3	0.1
11	9	6.7	6.9	6.5	8.4	10.6	12.1	5.3	14.4	2.2		1.9	3.8	3.89	3.5	0.3
12	6.8	8.2	8.4	6.6	6.7	10.7	12.2	5.32	15.9	2.3	1.9		3.5	3.7	3.3	0.4
13	4.2	8	8.2	9.6	9.7	15.9	17.4	11.4	15.6	5.6	3.8	3.5		0.24	1.85	1.61
14	3.9	8.1	8.3	9.7	9.8	15.6	17.2	11.5	15.7	5.7	3.89	3.7	0.24		1.9	1.66
15	4.4	7.6	7.8	9.3	9.4	15	16.5	11.1	15.3	5.3	3.5	3.3	1.85	1.9		0.05
dif 4	0.3		0.9	1.8	2.9			1.3	0.3	0.1	0.3	0.4	1.61	1.66	0.05	

Krok 5:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	dif 5
1		9.3	9.5	12.6	15.5	14.6	17.9	16.5	19.4	11.8	9	6.8	4.2	3.9	4.4	0.3
2	9.3		0.4	5.7	8.5	13.1	13.6	9.8	12.8	6.6	6.7	8.2	8	8.1	7.6	0.1
3	9.5	0.4		5.9	8.7	13.3	13.8	10	12.7	6.8	6.9	8.4	8.2	8.3	7.8	
4	12.6	5.7	5.9		3.4	9.4	9.9	6.2	12.5	5.2	6.5	6.6	9.6	9.7	9.3	0.7
5	15.5	8.5	8.7	3.4		9.6	7.7	6.4	13.5	6.3	8.4	6.7	9.7	9.8	9.4	
6	14.6	13.1	13.3	9.4	9.6		1	6	19.6	9.2	10.6	10.7	15.9	15.6	15	
7	17.9	13.6	13.8	9.9	7.7	1		5.2	18.9	10.7	12.1	12.2	17.4	17.2	16.5	3
8	16.5	9.8	10	6.2	6.4	6	5.2		14.8	4	5.3	5.32	11.4	11.5	11.1	
9	19.4	12.8	12.7	12.5	13.5	19.6	18.9	14.8		13.8	14.4	15.9	15.6	15.7	15.3	0.8
10	11.8	6.6	6.8	5.2	6.3	9.2	10.7	4	13.8		2.2	2.3	5.6	5.7	5.3	0.1
11	9	6.7	6.9	6.5	8.4	10.6	12.1	5.3	14.4	2.2		1.9	3.8	3.89	3.5	0.3
12	6.8	8.2	8.4	6.6	6.7	10.7	12.2	5.32	15.9	2.3	1.9		3.5	3.7	3.3	0.4
13	4.2	8	8.2	9.6	9.7	15.9	17.4	11.4	15.6	5.6	3.8	3.5		0.24	1.85	1.61
14	3.9	8.1	8.3	9.7	9.8	15.6	17.2	11.5	15.7	5.7	3.89	3.7	0.24		1.9	1.66
15	4.4	7.6	7.8	9.3	9.4	15	16.5	11.1	15.3	5.3	3.5	3.3	1.85	1.9		0.05
dif 5	0.3		0.9		0.4			1.3	0.3	0.1	0.3	0.4	1.61	1.66	0.05	

Krok 6:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	dif 6
1		9.3	9.5	12.6	15.5	14.6	17.9	16.5	19.4	11.8	9	6.8	4.2	3.9	4.4	0.3
2	9.3		0.4	5.7	8.5	13.1	13.6	9.8	12.8	6.6	6.7	8.2	8	8.1	7.6	0.1
3	9.5	0.4		5.9	8.7	13.3	13.8	10	12.7	6.8	6.9	8.4	8.2	8.3	7.8	
4	12.6	5.7	5.9		3.4	9.4	9.9	6.2	12.5	5.2	6.5	6.6	9.6	9.7	9.3	0.7
5	15.5	8.5	8.7	3.4		9.6	7.7	6.4	13.5	6.3	8.4	6.7	9.7	9.8	9.4	
6	14.6	13.1	13.3	9.4	9.6		1	6	19.6	9.2	10.6	10.7	15.9	15.6	15	
7	17.9	13.6	13.8	9.9	7.7	1		5.2	18.9	10.7	12.1	12.2	17.4	17.2	16.5	
8	16.5	9.8	10	6.2	6.4	6	5.2		14.8	4	5.3	5.32	11.4	11.5	11.1	
9	19.4	12.8	12.7	12.5	13.5	19.6	18.9	14.8		13.8	14.4	15.9	15.6	15.7	15.3	1.1
10	11.8	6.6	6.8	5.2	6.3	9.2	10.7	4	13.8		2.2	2.3	5.6	5.7	5.3	0.1
11	9	6.7	6.9	6.5	8.4	10.6	12.1	5.3	14.4	2.2		1.9	3.8	3.89	3.5	0.3
12	6.8	8.2	8.4	6.6	6.7	10.7	12.2	5.32	15.9	2.3	1.9		3.5	3.7	3.3	0.4
13	4.2	8	8.2	9.6	9.7	15.9	17.4	11.4	15.6	5.6	3.8	3.5		0.24	1.85	1.61
14	3.9	8.1	8.3	9.7	9.8	15.6	17.2	11.5	15.7	5.7	3.89	3.7	0.24		1.9	1.66
15	4.4	7.6	7.8	9.3	9.4	15	16.5	11.1	15.3	5.3	3.5	3.3	1.85	1.9		0.05
dif 6	0.3		0.9					1.3	0.3	0.1	0.3	0.4	1.61	1.66	0.05	

Krok 7:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	dif 7
1		9.3	9.5	12.6	15.5	14.6	17.9	16.5	19.4	11.8	9	6.8	4.2	3.9	4.4	0.5
2	9.3		0.4	5.7	8.5	13.1	13.6	9.8	12.8	6.6	6.7	8.2	8	8.1	7.6	0.1
3	9.5	0.4		5.9	8.7	13.3	13.8	10	12.7	6.8	6.9	8.4	8.2	8.3	7.8	
4	12.6	5.7	5.9		3.4	9.4	9.9	6.2	12.5	5.2	6.5	6.6	9.6	9.7	9.3	0.7
5	15.5	8.5	8.7	3.4		9.6	7.7	6.4	13.5	6.3	8.4	6.7	9.7	9.8	9.4	
6	14.6	13.1	13.3	9.4	9.6		1	6	19.6	9.2	10.6	10.7	15.9	15.6	15	
7	17.9	13.6	13.8	9.9	7.7	1		5.2	18.9	10.7	12.1	12.2	17.4	17.2	16.5	
8	16.5	9.8	10	6.2	6.4	6	5.2		14.8	4	5.3	5.32	11.4	11.5	11.1	
9	19.4	12.8	12.7	12.5	13.5	19.6	18.9	14.8		13.8	14.4	15.9	15.6	15.7	15.3	1.1
10	11.8	6.6	6.8	5.2	6.3	9.2	10.7	4	13.8		2.2	2.3	5.6	5.7	5.3	0.1
11	9	6.7	6.9	6.5	8.4	10.6	12.1	5.3	14.4	2.2		1.9	3.8	3.89	3.5	0.3
12	6.8	8.2	8.4	6.6	6.7	10.7	12.2	5.32	15.9	2.3	1.9		3.5	3.7	3.3	0.4
13	4.2	8	8.2	9.6	9.7	15.9	17.4	11.4	15.6	5.6	3.8	3.5		0.24	1.85	1.65
14	3.9	8.1	8.3	9.7	9.8	15.6	17.2	11.5	15.7	5.7	3.89	3.7	0.24		1.9	
15	4.4	7.6	7.8	9.3	9.4	15	16.5	11.1	15.3	5.3	3.5	3.3	1.85	1.9		1.4
dif 7	0.2		0.9					1.3	0.3	0.1	0.3	0.4	-	1.8	1.45	

Krok 8:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	dif 8
1		9.3	9.5	12.6	15.5	14.6	17.9	16.5	19.4	11.8	9	6.8	4.2	3.9	4.4	2.4
2	9.3		0.4	5.7	8.5	13.1	13.6	9.8	12.8	6.6	6.7	8.2	8	8.1	7.6	0.1
3	9.5	0.4		5.9	8.7	13.3	13.8	10	12.7	6.8	6.9	8.4	8.2	8.3	7.8	
4	12.6	5.7	5.9		3.4	9.4	9.9	6.2	12.5	5.2	6.5	6.6	9.6	9.7	9.3	0.7
5	15.5	8.5	8.7	3.4		9.6	7.7	6.4	13.5	6.3	8.4	6.7	9.7	9.8	9.4	
6	14.6	13.1	13.3	9.4	9.6		1	6	19.6	9.2	10.6	10.7	15.9	15.6	15	
7	17.9	13.6	13.8	9.9	7.7	1		5.2	18.9	10.7	12.1	12.2	17.4	17.2	16.5	
8	16.5	9.8	10	6.2	6.4	6	5.2		14.8	4	5.3	5.32	11.4	11.5	11.1	
9	19.4	12.8	12.7	12.5	13.5	19.6	18.9	14.8		13.8	14.4	15.9	15.6	15.7	15.3	1.1
10	11.8	6.6	6.8	5.2	6.3	9.2	10.7	4	13.8		2.2	2.3	5.6	5.7	5.3	0.1
11	9	6.7	6.9	6.5	8.4	10.6	12.1	5.3	14.4	2.2		1.9	3.8	3.89	3.5	0.3
12	6.8	8.2	8.4	6.6	6.7	10.7	12.2	5.32	15.9	2.3	1.9		3.5	3.7	3.3	0.4
13	4.2	8	8.2	9.6	9.7	15.9	17.4	11.4	15.6	5.6	3.8	3.5		0.24	1.85	0.3
14	3.9	8.1	8.3	9.7	9.8	15.6	17.2	11.5	15.7	5.7	3.89	3.7	0.24		1.9	
15	4.4	7.6	7.8	9.3	9.4	15	16.5	11.1	15.3	5.3	3.5	3.3	1.85	1.9		
dif 8	2.6		0.9					1.3	0.3	0.1	0.3	0.4			0.2	

Krok 9:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	dif 9
1		9.3	9.5	12.6	15.5	14.6	17.9	16.5	19.4	11.8	9	6.8	4.2	3.9	4.4	2.2
2	9.3		0.4	5.7	8.5	13.1	13.6	9.8	12.8	6.6	6.7	8.2	8	8.1	7.6	0.1
3	9.5	0.4		5.9	8.7	13.3	13.8	10	12.7	6.8	6.9	8.4	8.2	8.3	7.8	
4	12.6	5.7	5.9		3.4	9.4	9.9	6.2	12.5	5.2	6.5	6.6	9.6	9.7	9.3	0.7
5	15.5	8.5	8.7	3.4		9.6	7.7	6.4	13.5	6.3	8.4	6.7	9.7	9.8	9.4	
6	14.6	13.1	13.3	9.4	9.6		1	6	19.6	9.2	10.6	10.7	15.9	15.6	15	
7	17.9	13.6	13.8	9.9	7.7	1		5.2	18.9	10.7	12.1	12.2	17.4	17.2	16.5	
8	16.5	9.8	10	6.2	6.4	6	5.2		14.8	4	5.3	5.32	11.4	11.5	11.1	
9	19.4	12.8	12.7	12.5	13.5	19.6	18.9	14.8		13.8	14.4	15.9	15.6	15.7	15.3	1.1
10	11.8	6.6	6.8	5.2	6.3	9.2	10.7	4	13.8		2.2	2.3	5.6	5.7	5.3	0.1
11	9	6.7	6.9	6.5	8.4	10.6	12.1	5.3	14.4	2.2		1.9	3.8	3.89	3.5	0.3
12	6.8	8.2	8.4	6.6	6.7	10.7	12.2	5.32	15.9	2.3	1.9		3.5	3.7	3.3	0.4
13	4.2	8	8.2	9.6	9.7	15.9	17.4	11.4	15.6	5.6	3.8	3.5		0.24	1.85	
14	3.9	8.1	8.3	9.7	9.8	15.6	17.2	11.5	15.7	5.7	3.89	3.7	0.24		1.9	
15	4.4	7.6	7.8	9.3	9.4	15	16.5	11.1	15.3	5.3	3.5	3.3	1.85	1.9		
dif 9			0.9					1.3	0.3	0.1	0.3	0.4			0.2	

Krok 10:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	dif 10
1		9.3	9.5	12.6	15.5	14.6	17.9	16.5	19.4	11.8	9	6.8	4.2	3.9	4.4	
2	9.3		0.4	5.7	8.5	13.1	13.6	9.8	12.8	6.6	6.7	8.2	8	8.1	7.6	0.1
3	9.5	0.4		5.9	8.7	13.3	13.8	10	12.7	6.8	6.9	8.4	8.2	8.3	7.8	
4	12.6	5.7	5.9		3.4	9.4	9.9	6.2	12.5	5.2	6.5	6.6	9.6	9.7	9.3	0.7
5	15.5	8.5	8.7	3.4		9.6	7.7	6.4	13.5	6.3	8.4	6.7	9.7	9.8	9.4	
6	14.6	13.1	13.3	9.4	9.6		1	6	19.6	9.2	10.6	10.7	15.9	15.6	15	
7	17.9	13.6	13.8	9.9	7.7	1		5.2	18.9	10.7	12.1	12.2	17.4	17.2	16.5	
8	16.5	9.8	10	6.2	6.4	6	5.2		14.8	4	5.3	5.32	11.4	11.5	11.1	
9	19.4	12.8	12.7	12.5	13.5	19.6	18.9	14.8		13.8	14.4	15.9	15.6	15.7	15.3	1.1
10	11.8	6.6	6.8	5.2	6.3	9.2	10.7	4	13.8		2.2	2.3	5.6	5.7	5.3	1.8
11	9	6.7	6.9	6.5	8.4	10.6	12.1	5.3	14.4	2.2		1.9	3.8	3.89	3.5	1.3
12	6.8	8.2	8.4	6.6	6.7	10.7	12.2	5.32	15.9	2.3	1.9		3.5	3.7	3.3	0.4
13	4.2	8	8.2	9.6	9.7	15.9	17.4	11.4	15.6	5.6	3.8	3.5		0.24	1.85	
14	3.9	8.1	8.3	9.7	9.8	15.6	17.2	11.5	15.7	5.7	3.89	3.7	0.24		1.9	
15	4.4	7.6	7.8	9.3	9.4	15	16.5	11.1	15.3	5.3	3.5	3.3	1.85	1.9		
dif 10			0.9					1.3	0.3	0.1	0.3				1.8	

Krok 11:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	dif 11
1		9.3	9.5	12.6	15.5	14.6	17.9	16.5	19.4	11.8	9	6.8	4.2	3.9	4.4	
2	9.3		0.4	5.7	8.5	13.1	13.6	9.8	12.8	6.6	6.7	8.2	8	8.1	7.6	1
3	9.5	0.4		5.9	8.7	13.3	13.8	10	12.7	6.8	6.9	8.4	8.2	8.3	7.8	
4	12.6	5.7	5.9		3.4	9.4	9.9	6.2	12.5	5.2	6.5	6.6	9.6	9.7	9.3	0.7
5	15.5	8.5	8.7	3.4		9.6	7.7	6.4	13.5	6.3	8.4	6.7	9.7	9.8	9.4	
6	14.6	13.1	13.3	9.4	9.6		1	6	19.6	9.2	10.6	10.7	15.9	15.6	15	
7	17.9	13.6	13.8	9.9	7.7	1		5.2	18.9	10.7	12.1	12.2	17.4	17.2	16.5	
8	16.5	9.8	10	6.2	6.4	6	5.2		14.8	4	5.3	5.32	11.4	11.5	11.1	
9	19.4	12.8	12.7	12.5	13.5	19.6	18.9	14.8		13.8	14.4	15.9	15.6	15.7	15.3	1.1
10	11.8	6.6	6.8	5.2	6.3	9.2	10.7	4	13.8		2.2	2.3	5.6	5.7	5.3	
11	9	6.7	6.9	6.5	8.4	10.6	12.1	5.3	14.4	2.2		1.9	3.8	3.89	3.5	1.8
12	6.8	8.2	8.4	6.6	6.7	10.7	12.2	5.32	15.9	2.3	1.9		3.5	3.7	3.3	3.02
13	4.2	8	8.2	9.6	9.7	15.9	17.4	11.4	15.6	5.6	3.8	3.5		0.24	1.85	
14	3.9	8.1	8.3	9.7	9.8	15.6	17.2	11.5	15.7	5.7	3.89	3.7	0.24		1.9	
15	4.4	7.6	7.8	9.3	9.4	15	16.5	11.1	15.3	5.3	3.5	3.3	1.85	1.9		
dif 11			1					0.02	0.3	2.9					4.1	

Krok 12:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	dif 12
1		9.3	9.5	12.6	15.5	14.6	17.9	16.5	19.4	11.8	9	6.8	4.2	3.9	4.4	
2	9.3		0.4	5.7	8.5	13.1	13.6	9.8	12.8	6.6	6.7	8.2	8	8.1	7.6	3.2
3	9.5	0.4		5.9	8.7	13.3	13.8	10	12.7	6.8	6.9	8.4	8.2	8.3	7.8	
4	12.6	5.7	5.9		3.4	9.4	9.9	6.2	12.5	5.2	6.5	6.6	9.6	9.7	9.3	0.7
5	15.5	8.5	8.7	3.4		9.6	7.7	6.4	13.5	6.3	8.4	6.7	9.7	9.8	9.4	
6	14.6	13.1	13.3	9.4	9.6		1	6	19.6	9.2	10.6	10.7	15.9	15.6	15	
7	17.9	13.6	13.8	9.9	7.7	1		5.2	18.9	10.7	12.1	12.2	17.4	17.2	16.5	
8	16.5	9.8	10	6.2	6.4	6	5.2		14.8	4	5.3	5.32	11.4	11.5	11.1	
9	19.4	12.8	12.7	12.5	13.5	19.6	18.9	14.8		13.8	14.4	15.9	15.6	15.7	15.3	1.1
10	11.8	6.6	6.8	5.2	6.3	9.2	10.7	4	13.8		2.2	2.3	5.6	5.7	5.3	
11	9	6.7	6.9	6.5	8.4	10.6	12.1	5.3	14.4	2.2		1.9	3.8	3.89	3.5	
12	6.8	8.2	8.4	6.6	6.7	10.7	12.2	5.32	15.9	2.3	1.9		3.5	3.7	3.3	3.08
13	4.2	8	8.2	9.6	9.7	15.9	17.4	11.4	15.6	5.6	3.8	3.5		0.24	1.85	
14	3.9	8.1	8.3	9.7	9.8	15.6	17.2	11.5	15.7	5.7	3.89	3.7	0.24		1.9	
15	4.4	7.6	7.8	9.3	9.4	15	16.5	11.1	15.3	5.3	3.5	3.3	1.85	1.9		
dif 12			2.5					4.48	0.3	1.4						

Krok 13:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	dif 13
1		9.3	9.5	12.6	15.5	14.6	17.9	16.5	19.4	11.8	9	6.8	4.2	3.9	4.4	
2	9.3		0.4	5.7	8.5	13.1	13.6	9.8	12.8	6.6	6.7	8.2	8	8.1	7.6	6.2
3	9.5	0.4		5.9	8.7	13.3	13.8	10	12.7	6.8	6.9	8.4	8.2	8.3	7.8	
4	12.6	5.7	5.9		3.4	9.4	9.9	6.2	12.5	5.2	6.5	6.6	9.6	9.7	9.3	6.6
5	15.5	8.5	8.7	3.4		9.6	7.7	6.4	13.5	6.3	8.4	6.7	9.7	9.8	9.4	
6	14.6	13.1	13.3	9.4	9.6		1	6	19.6	9.2	10.6	10.7	15.9	15.6	15	
7	17.9	13.6	13.8	9.9	7.7	1		5.2	18.9	10.7	12.1	12.2	17.4	17.2	16.5	
8	16.5	9.8	10	6.2	6.4	6	5.2		14.8	4	5.3	5.32	11.4	11.5	11.1	
9	19.4	12.8	12.7	12.5	13.5	19.6	18.9	14.8		13.8	14.4	15.9	15.6	15.7	15.3	1.1
10	11.8	6.6	6.8	5.2	6.3	9.2	10.7	4	13.8		2.2	2.3	5.6	5.7	5.3	
11	9	6.7	6.9	6.5	8.4	10.6	12.1	5.3	14.4	2.2		1.9	3.8	3.89	3.5	
12	6.8	8.2	8.4	6.6	6.7	10.7	12.2	5.32	15.9	2.3	1.9		3.5	3.7	3.3	
13	4.2	8	8.2	9.6	9.7	15.9	17.4	11.4	15.6	5.6	3.8	3.5		0.24	1.85	
14	3.9	8.1	8.3	9.7	9.8	15.6	17.2	11.5	15.7	5.7	3.89	3.7	0.24		1.9	
15	4.4	7.6	7.8	9.3	9.4	15	16.5	11.1	15.3	5.3	3.5	3.3	1.85	1.9		
dif 13			6.8						0.3	7.2						

Příloha C Výsledné okruhy včetně vzdáleností nalezené pomocí programu TSPKOSA

Vzdálenost v km	Okruh
78,69	(1) > (14) > (13) > (15) > (12) > (11) > (10) > (9) > (4) > (5) > (8) > (7) > (6) > (3) > (2) > (1)
79,34	(2) > (3) > (10) > (12) > (11) > (8) > (7) > (6) > (5) > (4) > (9) > (15) > (14) > (13) > (1) > (2)
79,34	(3) > (2) > (10) > (12) > (11) > (8) > (7) > (6) > (5) > (4) > (9) > (15) > (14) > (13) > (1) > (3)
73,34	(4) > (9) > (3) > (2) > (11) > (15) > (1) > (14) > (13) > (12) > (10) > (8) > (7) > (6) > (5) > (4)
76,8	(5) > (7) > (6) > (8) > (9) > (3) > (2) > (15) > (14) > (1) > (13) > (11) > (12) > (10) > (4) > (5)
74	(8) > (7) > (6) > (5) > (4) > (9) > (3) > (2) > (15) > (14) > (1) > (13) > (12) > (11) > (10) > (8)
72,74	(9) > (3) > (2) > (13) > (14) > (1) > (15) > (12) > (11) > (10) > (8) > (7) > (6) > (5) > (4) > (9)
74	(10) > (8) > (7) > (6) > (5) > (4) > (9) > (3) > (2) > (15) > (14) > (1) > (13) > (12) > (11) > (10)
73,9	(11) > (12) > (15) > (14) > (1) > (13) > (9) > (3) > (2) > (4) > (5) > (7) > (6) > (8) > (10) > (11)
72,54	(12) > (11) > (10) > (8) > (7) > (6) > (5) > (4) > (9) > (3) > (2) > (15) > (1) > (14) > (13) > (12)
72,29	(13) > (15) > (12) > (11) > (10) > (8) > (7) > (6) > (4) > (5) > (9) > (3) > (2) > (1) > (14) > (13)
71,49	(14) > (13) > (15) > (12) > (11) > (10) > (8) > (7) > (6) > (5) > (4) > (9) > (3) > (2) > (1) > (14)
71,49	(15) > (12) > (11) > (10) > (8) > (7) > (6) > (5) > (4) > (9) > (3) > (2) > (1) > (14) > (13) > (15)
73,49	(1) > (14) > (13) > (15) > (12) > (11) > (10) > (6) > (7) > (8) > (5) > (4) > (9) > (3) > (2) > (1)
74,14	(1) > (3) > (2) > (9) > (4) > (5) > (8) > (7) > (6) > (10) > (11) > (12) > (15) > (14) > (13) > (1)
78,69	(1) > (14) > (13) > (15) > (12) > (11) > (10) > (9) > (4) > (5) > (8) > (7) > (6) > (2) > (3) > (1)
79,04	(1) > (13) > (14) > (15) > (12) > (11) > (10) > (9) > (4) > (5) > (8) > (7) > (6) > (3) > (2) > (1)
75,16	(2) > (3) > (9) > (4) > (5) > (6) > (7) > (8) > (12) > (11) > (10) > (15) > (14) > (13) > (1) > (2)
71,84	(2) > (1) > (13) > (14) > (15) > (12) > (11) > (10) > (8) > (7) > (6) > (5) > (4) > (9) > (3) > (2)
79,26	(2) > (3) > (10) > (11) > (12) > (8) > (7) > (6) > (5) > (4) > (9) > (15) > (14) > (13) > (1) > (2)
79,34	(2) > (10) > (12) > (11) > (8) > (7) > (6) > (5) > (4) > (9) > (15) > (14) > (13) > (1) > (3) > (2)
75,16	(3) > (9) > (4) > (5) > (6) > (7) > (8) > (12) > (11) > (10) > (15) > (14) > (13) > (1) > (2) > (3)
71,84	(3) > (2) > (1) > (13) > (14) > (15) > (12) > (11) > (10) > (8) > (7) > (6) > (5) > (4) > (9) > (3)
79,26	(3) > (2) > (10) > (11) > (12) > (8) > (7) > (6) > (5) > (4) > (9) > (15) > (14) > (13) > (1) > (3)
79,34	(3) > (10) > (12) > (11) > (8) > (7) > (6) > (5) > (4) > (9) > (15) > (14) > (13) > (1) > (2) > (3)
74,74	(4) > (9) > (3) > (2) > (12) > (13) > (14) > (1) > (15) > (11) > (10) > (8) > (7) > (6) > (5) > (4)
74,94	(4) > (5) > (6) > (7) > (8) > (11) > (15) > (1) > (14) > (13) > (12) > (10) > (9) > (3) > (2) > (4)
74,24	(4) > (2) > (3) > (9) > (11) > (15) > (1) > (14) > (13) > (12) > (10) > (8) > (7) > (6) > (5) > (4)
74,46	(4) > (9) > (3) > (2) > (10) > (11) > (15) > (1) > (14) > (13) > (12) > (8) > (7) > (6) > (5) > (4)
76,9	(5) > (7) > (6) > (8) > (9) > (3) > (2) > (13) > (1) > (14) > (15) > (11) > (12) > (10) > (4) > (5)
77,1	(5) > (7) > (6) > (8) > (9) > (2) > (3) > (15) > (14) > (1) > (13) > (11) > (12) > (10) > (4) > (5)
73,3	(5) > (4) > (9) > (3) > (2) > (15) > (14) > (1) > (13) > (11) > (12) > (10) > (8) > (6) > (7) > (5)
73,7	(5) > (7) > (6) > (8) > (10) > (12) > (11) > (15) > (14) > (1) > (13) > (3) > (2) > (9) > (4) > (5)
78,09	(6) > (7) > (8) > (5) > (9) > (3) > (2) > (4) > (10) > (11) > (12) > (15) > (13) > (14) > (1) > (6)
78,09	(6) > (1) > (14) > (13) > (15) > (12) > (11) > (10) > (4) > (2) > (3) > (9) > (5) > (8) > (7) > (6)
70,69	(7) > (6) > (8) > (10) > (11) > (12) > (15) > (13) > (14) > (1) > (3) > (2) > (9) > (4) > (5) > (7)
70,69	(7) > (5) > (4) > (9) > (2) > (3) > (1) > (14) > (13) > (15) > (12) > (11) > (10) > (8) > (6) > (7)
76,4	(8) > (10) > (11) > (12) > (13) > (1) > (14) > (15) > (3) > (2) > (9) > (5) > (4) > (7) > (6) > (8)
74,3	(8) > (7) > (6) > (5) > (4) > (9) > (2) > (3) > (15) > (14) > (1) > (13) > (12) > (11) > (10) > (8)

