

Česká zemědělská univerzita v Praze

Provozně ekonomická fakulta

Katedra systémového inženýrství



Bakalářská práce

Okružní dopravní problém ve vybrané logistické firmě

Tereza Kožená

© 2018 ČZU v Praze

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Tereza Kožená

Provoz a ekonomika

Název práce

Okružní dopravní problém ve vybrané logistické firmě

Název anglicky

Travelling salesman problem in a selected logistic company

Cíle práce

Cílem bakalářské práce je pomocí modelu okružního dopravního problému analyzovat realizované trasy mezi vybranou logistickou firmou a jejími zákazníky a na základě analýzy navrhnout možnosti na zlepšení z nákladového hlediska, které by firma mohla využívat v praxi.

Metodika

1. Literární rešerše vybrané literatury nezbytné k vypracování praktické části
2. Výběr vhodné metody k dosažení cíle
3. Sběr a zpracování potřebných dat
4. Analýza dat pomocí vybrané metody
5. Interpretace výsledku
6. Ekonomická analýza řešení

Doporučený rozsah práce

30-40 stran

Klíčová slova

Logistika, okružní dopravní úloha, plánování tras, metoda nejbližšího souseda, Vogelova aproximační metoda, Mayerova metoda, model, ekonomická analýza

Doporučené zdroje informací

- ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. PROVOZNĚ EKONOMICKÁ FAKULTA, – HAVLÍČEK, J. – ZÍSKAL, J. *Ekonomicko matematické metody II : studijní texty pro distanční studium*. Praha: ČZU PEF Praha ve vyd. Credit, 2000. ISBN 80-213-0664-5.
- HAVLÍČEK, J. – ZÍSKAL, J. – ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. PROVOZNĚ EKONOMICKÁ FAKULTA. *Ekonomicko matematické metody I : studijní texty pro distanční studium*. Praha: ČZU PEF Praha ve vydavatelství Credit, 2001. ISBN 978-80-213-0761-2.
- HOUŠKA, M. – BROŽOVÁ, H. – ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. PROVOZNĚ EKONOMICKÁ FAKULTA. *Základní metody operační analýzy*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, Provozně ekonomická fakulta ve vydavatelství Credit, 2002. ISBN 80-213-0951-2.
- JABLONSKÝ, J. *Operační výzkum : kvantitativní modely pro ekonomické rozhodování*. Praha: Professional Publishing, 2007. ISBN 978-80-86946-44-3.
- MAČÁT, V. – SIXTA, J. *Logistika : teorie a praxe*. Brno: CP Books, 2005. ISBN 80-251-0573-3.
- PERNICA, P. *Logistika : vymezení a teoretické základy : určeno pro stud. Podnikohospodářské fak. VŠE Praha*. Praha: Vysoká škola ekonomická, 1994. ISBN 80-7079-820-3.
- ŘEZNÍČEK, B. – DRAHOTSKÝ, I. *Logistika : procesy a jejich řízení*. Brno: Computer Press, 2003. ISBN 80-7226-521-0.
- ŠUBRT, T. *Ekonomicko-matematické metody*. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2011. ISBN 978-80-7380-345-2.
-

Předběžný termín obhajoby

2017/18 LS – PEF

Vedoucí práce

Ing. Igor Krejčí, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra systémového inženýrství

Elektronicky schváleno dne 21. 2. 2018

doc. Ing. Tomáš Šubrt, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 22. 2. 2018

Ing. Martin Pelikán, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 03. 03. 2018

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Okružní dopravní problém ve vybrané logistické firmě" jsem vypracovala 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 autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 13.3.2018

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala Ing. Igoru Krejčímu, Ph.D. za odborné vedení bakalářské práce, hodnotné rady, a hlavně za jeho ochotu a věnovaný čas. Dále mé poděkování patří vybrané logistické firmě, která byla ochotna poskytnout všechny potřebné informace a data.

Okružní dopravní problém ve vybrané logistické firmě

Abstrakt

Předmětem této bakalářské práce je pomocí aproximačních metod řešících okružní dopravní problémy nalézt takové okružní spojení všech míst v trasách logistické firmy, aby byla jejich celková délka co nejkratší a trasy tedy co nejméně nákladné. Práce je dělena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části jsou popsána teoretická východiska logistiky, dopravy, lineárního programování a distribučních úloh. Podrobněji je pak vyličeena problematika okružních dopravních problémů a metod, pomocí kterých se okružní problémy řeší. V praktické části je popsána stručná charakteristika vybrané firmy a její dopravy. Dále jsou vysvětleny charakteristiky vybraného okružního problému a představeny podkladové údaje k řešení. Původní trasy realizované kurýrem firmy jsou následně analyzovány z nákladového hlediska. Řešení vybraných okružních cyklů probíhalo s pomocí aproximačních metod ze vzdálenostního hlediska. Cílem řešení tedy bylo nalézt pomocí aproximačních metod co nejkratší možnou trasu, protože snížení délky tras zapříčiní i snížení firemních nákladů na spotřebu pohonných hmot. Výpočet probíhal konkrétně pomocí metody nejbližšího souseda a Vogelovy aproximační metody. Výsledky řešení jsou na závěr shrnuty, mezi sebou porovnány a zhodnoceny z hlediska délky tras a nákladových úspor.

Klíčová slova: Logistika, doprava, dopravní náklady, distribuční úlohy, okružní dopravní problém, plánování tras, aproximační metody.

Travelling salesman problem in a selected logistic company

Abstract

The subject of this bachelor thesis is to find a circular connection of all points in the logistics company's routes that their overall length is as short as possible and the routes are less costly. The thesis is divided into a theoretical and practical part. In the theoretical part are described the theoretical bases of logistics, transport, linear programming and distribution tasks. More detailed description is about travelling salesman problems and approximation methods which helps with solving these kinds of problems. In the practical part is described a brief characteristic of the selected logistic company and the transport uses by the company. As next is explained the chosen circular problem. For later comparison there is created the cost analysis of the original company's routes. Circular routes were solved using approximation methods from a distance perspective, the goal was to find the shortest possible route. Reduction of the length of the routes also led to a reduction of the company's fuel consumption costs. The traveling salesman problem was solved by using the nearest neighbour method and the Vogel's approximation method. The results are summarized, compared and assessed in terms of route length and cost savings in the end of the thesis.

Keywords: Logistics, transport, transport costs, distribution tasks, travelling salesman problem, route planning, approximation methods.

Obsah

1. Úvod.....	12
2. Cíl práce a metodika	13
3. Teoretická východiska	15
3.1. Logistika.....	15
3.1.1. Logistický systém	16
3.1.2. Logistický řetězec	16
3.1.3. Logistické náklady	17
3.1.4. Členění logistiky	18
3.2. Dopravní logistika.....	18
3.3. Doprava	19
3.3.1. Druhy dopravy	19
3.3.2. Kurýrní služby	21
3.4. Lineární programování.....	22
3.5. Distribuční úlohy.....	23
3.6. Okružní dopravní problém	24
3.6.1. Dělení.....	24
3.6.2. Matematický model	26
3.6.3. Řešení.....	27
3.6.4. Aproximační metody	28
3.6.5. Metoda nejbližšího souseda	28
3.6.6. Vogelova aproximační metoda pro okružní dopravní problémy	29
3.6.7. Metoda výhodnostních čísel	30
3.6.8. Mayerova metoda	31
3.6.9. Program TSPKOSA.....	32
4. Vlastní práce	33
4.1. Charakteristika logistické firmy	33
4.2. Firemní doprava v České republice.....	33
4.2.1. Doprava v okolí hlavního města Prahy.....	34
4.3. Vybraný okružní dopravní problém	36
4.4. Podkladové údaje k řešení okružního dopravního problému.....	37
4.5. Analýza původní okružní trasy prvního dne trasy PGAC.....	40
4.6. Řešení okružního dopravního problému prvního dne trasy PGAC	41
4.6.1. Metoda nejbližšího souseda	41
4.6.2. Vogelova aproximační metoda	43
4.7. Analýza a řešení okružních dopravních problémů u ostatních vybraných dnů na trase PGAC.....	46
4.7.1. Druhý den trasy PGAC	46

4.7.2.	Třetí den trasy PGAC.....	47
4.7.3.	Čtvrtý den trasy PGAC	47
4.7.4.	Pátý den trasy PGAC	48
5.	Zhodnocení výsledků.....	49
6.	Závěr.....	51
7.	Seznam použitých zdrojů.....	53
8.	Přílohy	55

Seznam obrázků

Obrázek 1: Příklad logistického řetězce	16
Obrázek 2: Problém s úplnou sítí cest	25
Obrázek 3: Problém s neúplnou sítí cest.....	25
Obrázek 4: Zařazení jednoho úseku oběma směry	27
Obrázek 5: Zpětná vazba uzlu	27
Obrázek 6: Výhodné spojení míst.....	30
Obrázek 7: Nevýhodné spojení míst.....	30
Obrázek 8: Rozdělení loopu pro vnitřní Prahu	34
Obrázek 9: Rozdělení loopu pro vnější okruh Prahy PGA-PGD.....	34
Obrázek 10: Rozdělení loopu pro vnější okruh Prahy PGD-PGI.....	35
Obrázek 11: 1. den trasy PGAC.....	40
Obrázek 12: 1.den trasy PGAC.....	40
Obrázek 13: 1.den trasy PGAC při použití metody nejbližšího souseda.....	43
Obrázek 14: 1.den trasy PGAC při použití Vogelovy aproximační metody	45

Seznam tabulek

Tabulka 1: Struktura logistických nákladů	17
Tabulka 2: 1. den trasy PGAC	37
Tabulka 3: Vzdálenostní matice 1. dne trasy PGAC	39
Tabulka 4: Analýza 1. dne trasy PGAC.....	40
Tabulka 5: Řešení okruhu z 1.dne získané metodou nejbližšího souseda	41
Tabulka 6: Nejvýhodnější okruh z 1.dne získaný metodou nejbližšího souseda.....	42
Tabulka 7: Řešení okruhu z 1.dne získaná Vogelovou aproximační metodou.....	44
Tabulka 8: Nejvýhodnější okruhy získané Vogelovou aproximační metodou.....	44
Tabulka 9: Celkový přehled původních tras a nejvýhodnějších nalezených řešení.....	49

1. Úvod

V souvislosti s rostoucí mírou globalizace světa a internetového pokrytí narůstá zájem o nakupování prostřednictvím internetu, které se stalo pro zákazníky jednodušší, rychlejší a pohodlnější oproti nákupu v kamenných obchodech. Firmy jsou nuceny se tomuto trendu přizpůsobit. Konkrétně v České republice se provozuje přibližně okolo 40 000 e-shopů. Je to například více než ve Velké Británii a Česká republika je tak nazývaná e-shopovou velmocí. (Šálková, 2018)

S prodejem produktů prostřednictvím internetu souvisí doprava zakoupeného zboží k zákazníkovi. Společnosti zajišťují přepravu zboží vlastními prostředky nebo pomocí externích logistických společností. Přeprava vlastními prostředky je většinou pro firmu výhodná pouze na krátké vzdálenosti. Pro přepravu zboží do vzdálenějších lokalit, například i za hranice státu či více států, jsou ve většině případů využívány logistické společnosti. V současnosti také roste trend vyzvedávání zboží v odběrových místech. Firma zboží doručí na předem dohodnuté odběrové místo a zákazník si zásilku vyzvedne a odnese domů sám. Dopravní logistika je tedy v současné době pro firmy i jejich zákazníky velmi důležitá. Společnosti se snaží zboží doručovat kvalitně, efektivně a s minimálními náklady.

Předmětem této bakalářské práce bude pomocí aproximačních metod nalézt nejvýhodnější okružní spojení všech míst v trasách, které byly realizovány kurýrem ve vybrané logistické společnosti po dobu pěti dnů. Trasy byly realizovány za účelem doručení zásilek klientům, či naopak jejich vyzvednutí od klientů. Okružní trasy využívají zpravidla odvětví, ve kterých je nutné vyjízdet a vracet se do stejného skladu. Mohou to být například pekárny, mlékárny, či firmy, které provozují kurýrní nebo poštovní služby.

Téma bakalářské práce bylo zvoleno z důvodu pracovní pozice autorky, při které se setkává s problematikou okružních dopravních úloh a díky tomu vzrostl její zájem o hlubší porozumění dané problematice.

2. Cíl práce a metodika

Cílem bakalářské práce je pomocí modelu okružního dopravního problému nalézt takové pořadí všech míst v trasách realizovaných logistickou společností, aby celková ujetá vzdálenost byla co nejkratší, a trasy tedy co nejméně nákladné. Výpočet okružních tras bude probíhat pomocí aproximačních metod ze vzdálenostního hlediska. V případě úspěšného snížení délky řešených okruhů, které zapříčiní pokles firemních nákladů na spotřebu pohonných hmot v daných okruzích, bude možné firmě navrhnout zlepšení, které by mohla využívat v praxi.

Práce je rozdělena na dvě části. Nejprve bude podrobně provedeno studium vhodné literatury z oblasti logistiky, dopravy, lineárního programování a distribučních úloh. Na základě studia literatury pak bude provedena v teoretické části práce deskripce pojmů logistiky, dopravní logistiky, logistických nákladů, dopravy a kurýrních služeb. Dále budou popsána teoretická východiska lineárního programování a distribučních úloh. Nejvíce se teoretická část bude zaměřovat na jeden druh distribučních úloh, konkrétně na okružní dopravní problémy. Podrobně budou vysvětleny a popsány metody, kterými se okružní problémy řeší. Metody se poté použijí v druhé části práce. Získané poznatky ze studované literatury budou tvořit základ pro splnění cíle bakalářské práce.

Ve druhé části bakalářské práce, části praktické, bude nejprve představena vybraná logistická firma a její doprava v České republice. Firma bude představena pouze obecně z důvodu použití důležitých interních dat v práci a silného konkurenčního boje firmy na trhu. Na přání firmy bude proto zachována její anonymita. Všechna firemní data a informace, která budou potřeba k pochopení firemních procesů, k analýze a řešení okružního problému, bude autorka získávat od vedoucího pracovníka na hlavním firemním terminálu v Praze. Analyzovaná trasa bude absolvována autorkou práce společně s kurýrem z důvodu prohloubení znalostí o řešeném problému. V praktické části bude poté podrobně popsán vybraný okružní problém. Dále budou uvedeny získané podkladové údaje k řešení problému. Řešení okružního problému pomocí aproximačních metod bude probíhat v pěti pracovních dnech z října 2017 na firemní trase PGAC a ke každému dni bude nutné vytvořit rozsáhlou vzdálenostní matici. Tyto matice budou vytvořeny v tabulkovém procesoru Microsoft Excel a budou vycházet z poskytnutých GPS souřadnic všech firemních zákazníků, které kurýr navštívil v daných okruzích. Vzdálenosti mezi jednotlivými místy budou vyhledávány

s pomocí internetové aplikace <http://mapy.cz>. Z důvodu řešení problému ze vzdálenostního hlediska budou vyhledávány nejkratší možné trasy mezi jednotlivými zákazníky a bude možné využít veškeré typy komunikací (komunikace placené a neplacené). Přesné GPS polohy firemních zákazníků nebudou v práci zveřejněny z důvodu ochrany dat zákazníků. Vybraná trasa PGAC vede z hlavního města Prahy přes okres Mělník a zpět. Důvody pro výběr této trasy jsou delší vzdálenosti mezi uzly nežli ve městě a dostatečný počet uzlů pro analýzu okruhů. Dalším důvodem je menší dopravní špička v porovnání s trasami ve městě. Po zpracování podkladových údajů k problému bude problém analyzován z nákladového hlediska. Na základě firemních informací budou vyhodnoceny náklady na celkové spotřebované palivo každého okruhu. Analýza původních okruhů se na závěr použije k porovnání s výsledky nalezenými pomocí vybraných metod. Okružní problém bude řešen pomocí Vogelovy aproximační metody a metody nejbližšího souseda, které vycházejí z vytvořených vzdálenostních matic. K efektivnímu výpočtu pomocí těchto metod bude využit program TSPKOSA. Po výpočtech bude následovat zpracování výsledků. Na závěr bude provedena komparace výsledků použitých metod s původními trasami, které byly vybrány zkušenostmi řidiče bez použití aproximačních metod či optimalizačních softwarů. V případě úspěšného snížení délky původních tras a nákladů na pohonné hmoty, bude na základě výsledku řešení vyhodnoceno možné průměrné roční snížení nákladů firmy na spotřebu pohonných hmot.

3. Teoretická východiska

3.1. Logistika

Pojem logistika byl nejdříve používán řeckými filosofy. V průběhu let nabývala logistika různorodých významů, byla například okolo 16. století chápána jako praktické počítání s čísly. Nejvíce byla ale logistika rozšířena již od 9. století ve vojenství. Její význam značně vzrostl během druhé světové války, kdy bylo třeba přepravit obrovské množství materiálu. Logistika v hospodářské praxi má počátky v USA. Po roce 1970 byla s velkým úspěchem zaváděna i v Evropě. (Stodola, Marek, Furch, 2007, s. 9)

Dnes hraje logistika stále rostoucí významnou roli i ve společnosti. Její role roste společně s globalizací a vylepšováním informačních a komunikačních technologií. Firmy jsou v současné době vystavovány silné konkurenci a logistika, která je zaměřena hlavně na uspokojování potřeb všech zákazníků, je v konkurenceschopnosti velmi významná. Kvalita poskytovaných logistických služeb je momentálně stejně důležitá, jako kvalita dodávané služby či výrobku. (Hýblová, 2006, s. 6)

Existuje mnoho definic logistiky, které se liší podle různých oblastí její aplikace a podle autorů definic (Kubíčková, 2006, s. 3). Na základě zkušeností z praxe a ostatních definic odborníků vytvořili autoři Sixta a Mačát vlastní uvedenou definici:

„Logistika je řízení materiálového, informačního i finančního toku s ohledem na včasné splnění požadavků finálního zákazníka a s ohledem na nutnou tvorbu zisku v celém toku materiálu. Při plnění potřeb finálního zákazníka napomáhá již při vývoji výrobku, výběru vhodného dodavatele, odpovídajícím způsobem řízení vlastní realizace potřeby zákazníka (při výrobě výrobku), vhodným přemístěním požadovaného výrobku k zákazníkovi a v neposlední řadě i zajištěním likvidace morálně i fyzicky zastaralého výrobku.“ (Sixta, Mačát, 2005, s. 25)

Zkráceně je možné říci, že se logistika při uspokojování potřeb zákazníků zabývá pohybem materiálu a zboží z místa vzniku do místa spotřeby v potřebném čase. Týká se jak výrobní sféry, tak i sféry služeb. (Hýblová, 2006, s. 5) Mezi hlavní logistické činnosti patří zákaznický servis, prognóza poptávky, řízení stavu zásob, vyřizování objednávek, balení, distribuce, skladování a manipulace s materiálem (Stodola, Marek, Furch, 2007, s. 12).

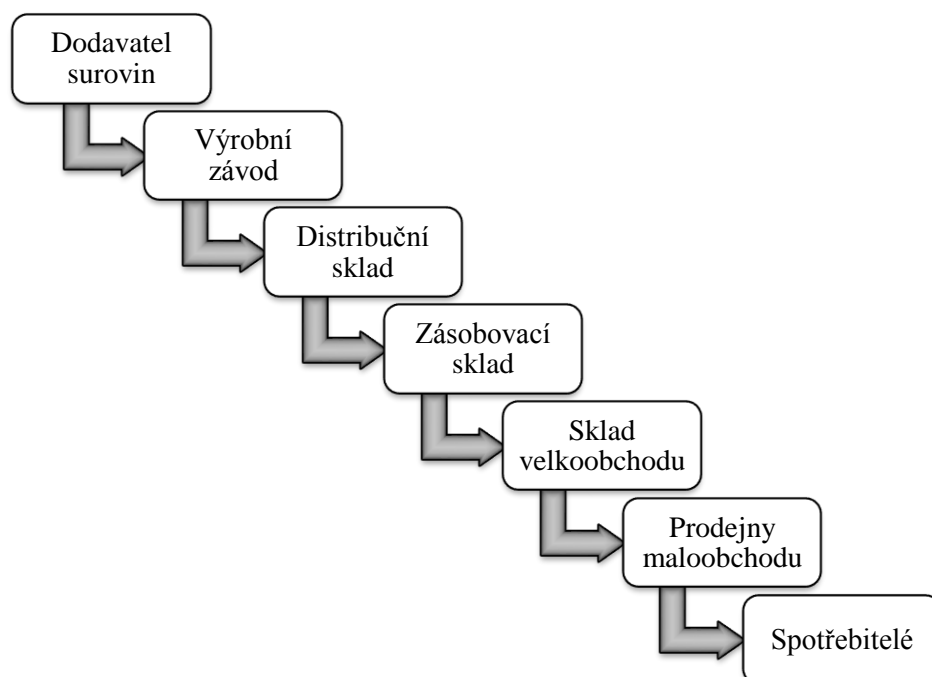
3.1.1. Logistický systém

Logistický systém je účelně uspořádaná množina všech zařízení, budov, technických prostředků, cest a pracovníků, kteří se podílejí na realizaci logistických řetězců. Systémový cíl je maximalizovat efektivnost výrobních procesů, oběhových procesů a posílit podnikovou pozici na trhu. (Získal, Havlíček, 2010, s. 59)

3.1.2. Logistický řetězec

Logistický řetězec je soubor hmotných, peněžních, informačních a dalších toků probíhajících mezi subsystemy v podnikové výrobě, dopravě a obchodě, které plní potřeby zákazníků (Získal, Havlíček, 2010, s. 59). Ekonomickými subjekty jsou v řetězci výrobci, dodavatelé, zprostředkovatelé a finální spotřebitelé (Kubíčková, 2006, s. 10). Příklad logistického řetězce je zobrazen na obrázku níže (Obrázek 1).

Obrázek 1: Příklad logistického řetězce



Zdroj: Získal, Havlíček, 2010, s. 59

V logistickém řetězci existují aktivní a pasivní prvky. Za pasivní prvky se v řetězci považují suroviny, výrobky, materiál, odpad a podobně. Aktivními prvky jsou lidé, technické prostředky a zařízení. Tyto prvky mají poslání v řetězci realizovat logistické operace s pasivními prvky a obstarávat jejich pohyb. Operace mohou být například balení, uskladnění, doprava nebo manipulace s pasivními prvky. (Získal, Havlíček, 2010, s. 59)

3.1.3. Logistické náklady

Je nutné, aby logistika podniku vycházela z jeho podnikové strategie a pomáhala plnit podnikové cíle. Ekonomickým cílem podnikové logistiky je poskytování kvalitních služeb s přiměřenými náklady, které se dají považovat vzhledem k vysoké kvalitě služeb za minimální. (Sixta, Mačát, 2005, s. 44) Minimalizovat celkové logistické náklady je nutné pomocí aproximačních a optimalizačních metod, a proto je potřeba vytvářet koncepci celkových nákladů. Pro podnik je důležité snižovat celkové logistické náklady, ne pouze náklady dílčích logistických činností, protože snížení nákladů u jedné činnosti může vyvolat zvýšení u druhé. (Sixta, Mačát, 2005, s. 88)

Na hrubém národním produktu se v současné době neustále zvyšuje podíl logistických nákladů v oblasti zásobování, balení, skladování a dopravě materiálu. Struktura logistických nákladů v procentech je zobrazena v následující tabulce (Tabulka 1).

Tabulka 1: Struktura logistických nákladů

Činnosti	Podíl nákladů (%)
Doprava	29
Balení	12
Administrativa	11
Převzetí a odeslání	8
Zpracování objednávky	6
Manipulace, skladování, správa a údržba	34

Zdroj: Sixta, Mačát, 2005, s. 162

Doprava a její kvalita ovlivňuje výši nákladů na obíhající procesy. Čím kvalitnější doprava se poskytne, tím více je možné omezit skladování. Když se omezí skladování, omezí se také manipulace s materiálem. (Sixta, Mačát, 2005, s. 172) Dopravní náklady společně s náklady na skladování jsou v podnicích tedy často velmi vysoké. Nevznikají pouze při přepravě zboží zákazníkům, ale i v rámci výrobních hal a výrobních závodů, tedy uvnitř podniku. Mění se v závislosti na hmotnosti a objemu dodávky, místě určení, a hlavně na výběru druhu přepravy. Druhy přepravy mohou být letecká, silniční, vodní, železniční nebo kombinovaná. (Sixta, Mačát, 2005, s. 91) Náklady na balení zásilek hrají také velmi významnou roli z pohledu logistiky. Dobře zabalená a označená zásilka poskytuje ochranu zboží jak během uskladnění, tak i během přepravy. Tím je možné předejít případným reklamacím při

poškození či ztrátě zásilky. Kvalitní a označený obal funguje také jako reklama. (Sixta, Mačát, 2005, s. 92) V podnikovém marketingu se klade velký důraz na kvalitní zákaznický servis, který se stará o spokojenost zákazníků a řeší jejich případné nespokojenosti. Náklady na zákaznický servis patří také mezi nejvyšší logistické náklady. K přijímání a vyřizování objednávek, kontrole jejich průběžných stavů, kontrole stavů zásob, kontrole stavů pohledávek a k fakturaci se běžně v podnicích používá informační systém. Jeho kvalita a správné fungování je pro společnosti velmi důležitá a nákladná. (Sixta, Mačát, 2005, s. 90)

3.1.4. Členění logistiky

Logistiku je možné rozdělit podle hospodářsko-organizačního místa uplatnění (Sixta, Mačát, 2005, s. 50):

- **Logistika výrobní**
Výrobní logistika se také nazývá průmyslová nebo podniková logistika a řeší usměrňování logistických procesů ve výrobním podniku. Zabývá se tedy nákupem materiálu a polotovarů k výrobě, následně řízením toku materiálu v podniku a dodávkou výrobku až k zákazníkům.
- **Logistika obchodní**
Logistika obchodní neboli oběhová se zabývá řízením pohybu podnikového zboží od jeho výroby až po dostání k zákazníkovi.
- **Logistika dopravní**
Tato logistika patří k nejrozšířenějším logistikám. Bude jí věnována následující subkapitola.

3.2. Dopravní logistika

Úkolem dopravní logistiky je koordinovat, synchronizovat a optimalizovat pohyby všech zásilek od místa jejího vstupu až po doručení zákazníkovi (Získal, Havlíček, 2010, s. 60). Vstupem zásilky je myšleno její převzetí přepravním od odesílatele. Pohyby se v dopravní logistice uskutečňují jedním nebo několika druhy dopravy s pomocí dopravce a dopravních či manipulačních prostředků a zařízení. (Kubíčková, 2006, s. 48) Logistika se tedy také zabývá koordinací, optimalizací a synchronizací těchto zařízení a prostředků a snaží se vést ke snížení celkové dopravní náročnosti při uspokojování potřeb zákazníků (Stodola, Marek, Furch, 2007, s. 88).

3.3.Doprava

Dopravu je možné charakterizovat jako specifickou lidskou činnost, která vede cílevědomě a ekonomicky zdůvodněně k přemístování věcí a osob, a tím uspokojuje potřeby přemístění ve sféře výroby, oběhu i spotřeby. V logistice se doprava považuje za nositele hmotného toku a je klíčovou částí přepravního řetězce logistického systému. (Svoboda, 2004, s. 7) Výsledkem dopravy je přeprava. Přeprava vyjadřuje proces přemístění osob nebo zboží pomocí dopravních zařízení či prostředků (Hýblová, 2006, s. 46).

Technická základna skládající se z dopravních prostředků a dopravních cest je základní složkou dopravy. Dopravní prostředky jsou technické prostředky, které se pohybují. Pomocí nich se uskutečňuje požadovaná přeprava. Ukládají se do nich přepravní prostředky, které zjednodušují manipulaci s převáženým zbožím. Existují tři druhy přepravních prostředků a to palety, přepravky nebo kontejnery. Palety jsou základem přepravních zařízení, jsou nejvhodnější pro manipulaci kusových zásilek. Za dopravní cestu se považuje hmotně vymezené a technicky upravené místo pro dopravu. (Kubíčková, 2006, s. 49)

3.3.1. Druhy dopravy

Dopravu lze rozdělit podle několika následujících hledisek:

1) Podle přepravovaných objektů (Stodola, Marek, Furch, 2007, s. 74):

- Doprava osobní
Osobní doprava je určena pouze pro osoby.
- Doprava nákladní
Nákladní doprava je druh dopravy, který se používá pro zboží nebo nedokončené výrobky.

2) Podle přístupnosti (Stodola, Marek, Furch, 2007, s. 74):

- Doprava veřejná
Veřejná doprava je přístupná všem a je používána za určitých předem stanovených podmínek. Používá se jak u osobní, tak u nákladní dopravy.
- Doprava neveřejná
Za dopravu neveřejnou je považován individuální motorismus a podniková doprava. Příkladem mohou být soukromé automobily, letadla, služební vozidla.

3) Podle charakteru dopravních cest:

- Silniční doprava

Silniční doprava patří k nejpoužívanějším druhům dopravy, je dostupná, flexibilní a nabízí rychlé služby, které se považují za spolehlivé. Touto dopravou lze v porovnání s ostatními druhy dopravy přepravovat zboží různých velikostí a hmotností poměrně snadno a spolehlivě. Mezi výhody silniční dopravy patří také možnosti přizpůsobení se měnícím se požadavkům klientů. Nákladní automobilová doprava je tedy pro většinu podniků a jejich logistických sítí klíčová. (Kubíčková, 2006, s. 55) Nevýhodou silniční dopravy je její závislost na počasí a přetíženost silničních cest v okolí větších měst, které zapříčiní snížení její rychlosti a spolehlivosti (Sixta, Mačát, 2005, s. 168).

- Železniční doprava

Kolejová neboli železniční doprava patří společně se silniční dopravou k nejpoužívanějším druhům dopravy. Není ale tak rychlá, univerzální a pružná jako doprava silniční, protože je omezená na pevné dané cesty a zastávkové terminály. Nelze s přesností sdělit dobu dodání zásilek pomocí této dopravy. Další její nevýhoda je riziko ztrát a poškození přepravovaného objektu a s tím souvisí větší náklady na balení zboží. Její výhodou je v ceně, je obvykle levnější ve srovnání s ostatními druhy dopravy. (Kubíčková, 2006, s. 55) Železniční doprava je minimálně závislá na počasí, to se považuje za další její kladnou stránku. Popisovaná doprava je tedy vhodná na přepravu vysoko hmotnostních a rozměrných zásilek na středně dlouhé a dlouhé vzdálenosti. (Sixta, Mačát, 2005, s. 168)

- Letecká doprava

Letecká doprava je v současné době stále brána za nadstandartní druh přepravy, i když se v posledních letech velmi rozvinula. Je schopná zajistit rychlou přepravu na dlouhé vzdálenosti téměř odkudkoliv kamkoliv, a to se považuje za její hlavní přednost. K další výhodě letecké dopravy patří bezpečnost zásilek před poškozením a krádežemi. Za její hlavní nevýhodu se považuje velmi vysoká cena. Použití letecké dopravy je vhodné v případě lehkých a malých zásilek, které mají velkou cenu a jsou potřeba doručit rychle. (Sixta, Mačát, 2005, s. 169)

- Vodní doprava

Tento druh dopravy se dále rozděluje na dopravu říční a námořní. Její velkou výhodou je nízká cena, minimální dopad na životní prostředí a vysoká kapacita vodních dopravních prostředků. Za nevýhody vodní dopravy se považuje velká závislost na vodních stavech a počasí a nízká rychlost. (Sixta, Mačát, 2005, s. 168) Často se vodní dopravou převáží materiály a suroviny, tedy hromadné těžké substráty většího množství. Převáží se například ruda, dřevo, uhlí, obilí, vápenec nebo ropa. (Kubíčková, 2006, s. 57)

- Kombinovaná doprava

Pro přepravu osob či zboží je možné použít intermodální kombinace dvou nebo více druhů doprav. Za kombinovanou dopravu je tedy považována doprava v kombinacích, která probíhá v jedné přepravní jednotce nebo v jednom silničním vozidle, které se překládá při změnách druhu doprav. Náklad v nich ale zůstává při přeložení nezměněn. Kombinace doprav mohou být například silniční a lodní doprava, letecká a silniční doprava apod. (Kubíčková, 2006, s. 58) Kombinovaná přeprava se v současné době velmi rozvíjí a dá se nazvat základem dopravní logistiky. Při dobrém řízení a organizaci přepravy totiž přispívá ke snížení nákladů při současném zvýšení kvality. (Sixta, Mačát, 2005, s. 169)

Konkrétně v České Republice se nejvíce využívá doprava silniční a železniční. Vodní doprava není tolik používaná v našich podmínkách oproti velkému využití v jiných státech, které leží poblíž moře či oceánu. (Sixta, Mačát, 2005, s. 168)

3.3.2. Kurýrní služby

Kurýrní služby se zabývají zasíláním a doručováním zásilek od domu k domu. Zásilky mohou být vyzvedávány, stejně tak doručovány, od společností i soukromých osob. Zároveň se s těmito službami ve většině případů garantuje celní odbavení, pokud je nutné. Největší expresní a kurýrní společnosti v současnosti pracují s pravidelným obrovským tokem zásilek, které doručují s vybranými dodacími lhůtami tam, kam si klient přeje. (Stodola, Marek, Furch, 2007, s. 86)

3.4. Lineární programování

„Lineární programování je disciplína operačního výzkumu, která se zabývá řešením rozhodovacích problémů, ve kterých jde o určení intenzit realizace procesů, které probíhají nebo mohou probíhat v daném systému.“ (Jablonský, 2007, s. 19) Slovo lineární v názvu vyjadřuje použití pouze matematických lineárních funkcí. Programování pak lze chápat jako vytváření scénářů budoucího vývoje. (Jablonský, 2007, s. 19)

Metody lineárního programování patří mezi nejpoužívanější optimalizační metody při rozhodování z důvodu své jednoduchosti a široké škále užití (Brožová, Houška, 2003, s. 56). Model lineárního programování je složen ze čtyř komponent, a to z proměnných, omezujících podmínek, účelové funkce a podmínek nezápornosti (Šubrt, 2011, s. 15). Nalezené řešení je optimální, pokud vyjadřuje minimum nebo maximum účelové funkce za předpokladu přípustnosti podle všech omezujících podmínek a podmínek nezápornosti. Existují dvě skupiny, do kterých lze úlohy lineárního programování začlenit. Do první skupiny patří úlohy řešitelné simplexovou metodou. Do druhé pak ty, na jejichž řešení se používají speciální postupy, kam patří například distribuční úlohy. (Šubrt, Brožová, Domeová, Kučera, 2007, s. 7)

Pomocí lineárního programování lze řešit tyto typické problémy:

- Optimalizaci výrobní struktury
Úloha má za cíl nalézt optimální rozsah výrobních procesů při daných výrobních kapacitách (Brožová, Houška, 2003, s. 58).
- Alokační problémy
Hlavním cílem těchto problémů je rozdělit zdroje na pořízení specifických objektů. Problémem může být optimalizace portfolia, volba technologií, přiřazení zdrojů apod. (Brožová, Houška, 2003, s. 58) Přiřazením zdrojů je chápáno například rozvrhování určitých pracovníků na směny (Jablonský, 2007, s. 28).
- Směšovací problémy
Tento druh problému se zabývá hledáním optimálního množství složek směsi tak, aby vznikla výsledná směs se všemi potřebnými vlastnostmi (Brožová, Houška, 2003, s. 58). Cílem úlohy může být minimalizace nákladů na vytvoření směsi s potřebnými vlastnostmi (Jablonský, 2007, s. 27).

- **Problémy dělení materiálů**

Těmto úlohám se také často říká úlohy o řezných plánech. Jejich hlavní cíl je optimálně zvolit způsob dělení materiálu tak, aby byl co nejvíce minimalizován odpad. (Brožová, Houška, 2003, s. 58) Zároveň musí být při dělení brány v potaz požadavky na poměr, v jakém mají zmenšené části být, a kolik jich má vzniknout (Jablonský, 2007, s. 28).

- **Distribuční úlohy**

Úlohy budou podrobněji vysvětleny v následující subkapitole.

3.5.Distribuční úlohy

Distribuční úlohy jsou speciální skupinou úloh lineárního programování a dají se formulovat pomocí lineárních optimalizačních modelů (Šubrt, 2011, s.79). Jedná se o lineární modely s jednoduchou strukturou matice koeficientů v omezujících podmínkách. Úlohy řeší rozmísťovací logistické problémy, jako jsou přemísťování materiálu, zboží, informací, lidí apod. (Brožová, Houška, 2003, s. 128)

Klasickou distribuční úlohou je například dopravní úloha, která řeší přepravu materiálu či zboží od dodavatelů k odběratelům co nejvýhodnějším způsobem, tedy s minimálními náklady (Jablonský, 2007, s. 91). Dopravní úlohy se rozlišují počtem stupňů přepravy, které vyjadřují počet meziskladů, přes které je trasa realizována. Jednostupňová dopravní úloha řeší přepravu jednoho produktu pouze od dodavatele k odběrateli, zatímco dvoustupňová obsahuje i mezisklady a její řešení je logicky složitější. (Brožová, Houška, 2003, s. 128)

Mezi další distribuční úlohy patří úlohy trasovací, přiřazovací, okružní a mnoho dalších (Šubrt, 2011, s. 97). Přiřazovací úloha je speciální případ jednostupňové dopravní úlohy a patří k nejjednodušším dopravním úlohám (Šubrt, 2011, s. 112). Úloha se snaží nalézt efektivní přiřazení dvojice jednotek ze dvou skupin, příkladem je přiřazování výrobků ke strojům (Jablonský, 2007, s. 107). Okružní dopravní problémy budou podrobně popsány v následující subkapitole.

3.6. Okružní dopravní problém

Okružní dopravní problém neboli úloha obchodního cestujícího je distribuční úloha, která se v běžném životě používá velmi často (Šubrt, 2011, str. 102). Úloha řeší problém, jak nejefektivněji realizovat přepravu produktů okružním spojením, přičemž počáteční i konečné místo je totožné (Získal, Havlíček, 2010, s. 66).

Používá se tedy hlavně v odvětvích, kde se rozváží či sváží různorodé produkty – pekárny, zásobování prodejen, kurýrní a poštovní služby či mlékárny. Dále se využívá při rozvozu pracovníků na pracoviště, rozvozu tiskovin apod. (Jablonský, 2007, s. 112)

Komponenty úloh okružních dopravních problémů jsou všechna místa (uzly), trasy mezi místy a ocenění tras (sazby). Trasy jsou nejčastěji „oceněny“ vzdálenostmi mezi místy, tedy počtem kilometrů. (Houška, 2014, s. 8)

3.6.1. Dělení

Okružní dopravní problém je možné dělit podle tří kritérií:

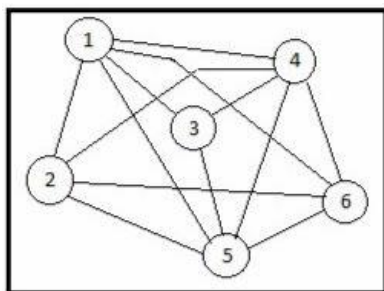
- Symetričnost

Jako **symetrický** se okružní dopravní problém označuje v případě, kdy mají trasy každé dvojice míst identickou sazbu i v protějším směru. Pokud mají trasy odlišnou sazbu v protějším směru, označuje se problém za **asymetrický**. (Šubrt, Brožová, Domeová, Kučera, 2007, s. 37)

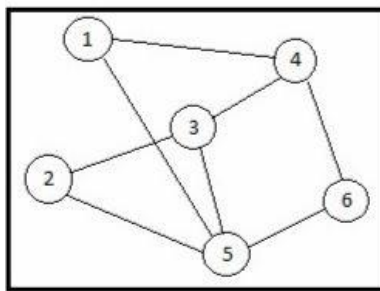
- Charakter celní sítě

Pokud existují vzájemná přímá spojení mezi všemi místy, označují se případy za problém s **úplnou sítí cest**. V případě problému s **neúplnou sítí cest** nelze realizovat přímá spojení mezi všemi místy v libovolném směru – bez potřebného projetí místem dalším. (Získal, Havlíček, 2010, s. 67) Rozdíl mezi popisovanými charaktery je zobrazen v obrázcích níže (Obrázek 2 a Obrázek 3).

Obrázek 2: Problém s úplnou sítí cest



Obrázek 3: Problém s neúplnou sítí cest



Zdroj (Obrázek 2 a Obrázek 3): Ziskal, Havlíček, 2010, s. 67.

- Počet okruhů

Jednookruhový okružní dopravní problém neboli klasický problém obchodního cestujícího vzniká v případech, kdy je možné realizovat přepravu pouze jedním okruhem. Cílem popisované úlohy je nalezení co nejvýhodnějšího okružního spojení všech míst (uzlů) tak, aby byl realizovaný okruh co nejkratší, tedy aby se minimalizovaly celkové náklady na rozvoz či přepravu. Místa se v okruhu navštěvují pouze jednou, s výjimkou počátečního (výchozího) místa, které je současně i místem cílovým. (Šubrt, 2011, s. 103)

Víceokruhový okružní dopravní problém se také nazývá vícenásobný problém obchodního cestujícího nebo trasovací problém. Používá se v případech, kdy nelze přepravu realizovat jen jedním okruhem kvůli časovému, kapacitnímu nebo jinému omezení. Nejčastěji se tak stává kvůli kapacitnímu omezení vozidla, kdy je nutné použít více dopravních prostředků na přepravu produktů. Proto se realizovaná přeprava rozdělí na více okruhů, které začínají i končí ve výchozím místě. Každé místo, které není výchozí, se nachází v jednotlivých okruzích pouze jednou. (Šubrt, 2011, s. 108)

Cílem víceokruhového problému je rovněž minimalizace nákladů na rozvoz či přepravu, tedy nalezení co nejvýhodnějšího počtu okruhů a pořadí navštěvovaných míst v jednotlivých okruzích tak, aby byly realizované okruhy co nejkratší (Houška, 2014, s. 15).

3.6.2. Matematický model

V okružním dopravním problému je n míst (uzlů) a sazby c_{ij} pro všechny dvojice těchto míst (i, j) . Sazba c_{ij} představuje například spotřebu času, vzdálenost nebo nákladnost spojení z místa i do místa j . Cílem je najít takové okružní spojení všech míst, aby součet sazeb pro každou dvojici byl minimální. (Šubrt, 2011, s. 103)

Okružní dopravní úlohu je možné vyjádřit jako problém lineárního programování (kapitola 3.4):

Hledá se minimum lineární funkce

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

Za podmínek:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$u_i - u_j + nx_{ij} \leq n - 1 \quad i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, n; i \neq j$$

$$x_{ij} \in \{0; 1\} \quad i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, n$$

(Šubrt, 2011, s.103)

První dvě podmínky se týkají skutečnosti, že každé místo je navštívené pouze jednou (Získal, Havlíček, 2010, s. 66). Třetí podmínka se nazývá Tuckerova podmínka, kde u_i je neznámé reálné číslo přiřazené k místu i a u_j je neznámé reálné číslo k místu j . Podmínka slouží u jednodokruhového okružního dopravního problémů k tomu, aby se jednotlivá místa neobjela po více samostatných okruzích. (Získal, Havlíček, 2010, s. 66)

Je-li v okružním modelu $x_{ij} = 1$, znamená to, že se spojení z místa i do místa j uskutečňuje, v opačném případě je $x_{ij} = 0$ (Šubrt, 2011, s. 104).

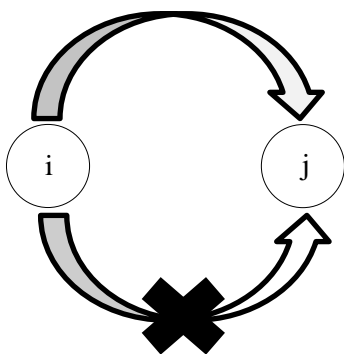
3.6.3. Řešení

Pro řešení okružních dopravních problémů neexistuje efektivní algoritmus použitelný v praxi, který by našel jejich matematické optimum (Šubrt, 2011, s. 103). Nalezení přesného matematického optima je výpočetně velice náročné. Počet omezujících podmínek v matematickém modelu okružní úlohy totiž značně exponenciálně roste společně s rostoucím počtem navštěvovaných míst. Roste tedy i doba výpočtu, která by u větších okružních úloh byla neporovnatelně větší než například délka lidského života. V úloze, ve které je počet navštěvovaných míst $n=50$, je více než 2500 omezujících podmínek a proměnných. (Jablonský, 2007, s. 113) Proto jsou z matematického hlediska okružní dopravní problémy řazeny do tzv. NP-úplných problémů, které specifikuje jejich obtížná řešitelnost (Šubrt, 2011, s. 103). Úloh řadících se pod NP-úplné úlohy existuje velké množství a velká část z nich patří ke grafovým úlohám (Demel, 2002, s. 188).

K řešení se nejčastěji používají aproximační metody, jejichž výsledek lze pokládat za ekonomické optimum (Šubrt, 2011, s. 103).

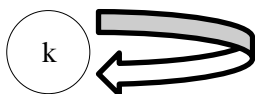
Před řešením je nutné vyřadit všechny trasy, které by mohly uzavřít okruh předčasně, vyloučit zahrnutí jednoho úseku oběma směry a vyloučit zpětnou vazbu všech uzlů (Získal, Havlíček, 2010, s. 67). Potřebné úkony jsou zobrazeny v následujících obrázcích (Obrázek 4 a Obrázek 5).

Obrázek 4: Zařazení jednoho úseku oběma směry



Zdroj: Získal, Havlíček, 2010, s. 67.

Obrázek 5: Zpětná vazba uzlu



Zdroj: Získal, Havlíček, 2010, s. 67.

3.6.4. Aproximační metody

Aproximační metody se také nazývají heuristické metody. Jsou to metody polynomiální, jejichž řešení není optimální, ale pokládá se za uspokojivé. Většinou lze dosáhnout řešení pomocí heuristických metod rychle a bez obtíží. (Pelikán, 1993, s. 39)

Metody se rozdělují následujícím způsobem:

- Metody vytvářející řešení
Řešení vytvářejí buď paralelním nebo sekvenčním postupem. Pokud vytvářejí řešení sekvenčním postupem, začínají výchozím místem a poté postupně nalézají další místa na trase. Postup je jednoduchý a rychlý, ale nemusí být přesný. Při paralelním postupu se místa propojují navzájem do částečných tras a později se spojí v jeden okruh. Vytváření řešení paralelním postupem je obtížnější, ale přesnější. (Pelikán, 1993, s. 39)
- Metody zlepšující řešení
Výchozí řešení je získané metodami vytvářejícími řešení. Metody zlepšující řešení následně výsledek vylepšují postupnými iteracemi. (Kučera, 2009, s. 19)

Při volbě nejvhodnější aproximací metody je nutné si uvědomit typ okružního problému. Je třeba rozlišit, zda se jedná o jednookruhový či víceokruhový okružní problém, jestli jde o problém symetrický či asymetrický nebo o problém s úplnou sítí cest či naopak s neúplnou sítí cest. (Brožová, Houška, 2003, s. 156)

3.6.5. Metoda nejbližšího souseda

Pomocí aproximační metody nejbližšího souseda je možné řešit jednookruhové okružní dopravní problémy symetrické i asymetrické. Jedná se o nejjednodušší metodu pro řešení okružního problému. Metoda se řadí do metod vytvářejících řešení. (Šubrt, 2011, s. 104)

Principem je zvolit si v matici sazeb výchozí místo pro tvorbu okruhu a postupovat k dalšímu místu, ke kterému je z výchozího místa nejvýhodnější spojení (zpravidla nejkratší vzdálenost). Místo se zařadí do výsledné trasy a poté se z něj postupuje k dalšímu místu s nejvýhodnějším spojením, které ještě nebylo navštíveno. Postup se opakuje do té doby, dokud se nepostoupí opět do výchozího místa. (Šubrt, Brožová, Domeová, Kučera, 2007, s. 38) Tímto způsobem se nalezne více okružních tras, protože se postupně prověří všechna místa v okružním problému jako výchozí (Brožová, Houška, 2003, s. 158). Nakonec se

porovnají všechny nalezené okružní trasy a vybere se ta nejvýhodnější, tedy trasa s nejmenším součtem všech sazeb. Trasa s nejmenším součtem sazeb je řešením úlohy. (Šubrt, 2011, s. 105)

Pokud se jedná o asymetrickou matici sazeb, je zapotřebí najít okružní trasy i pozpátku. Můžou se vyškrtat řádky a hledat místa stejným způsobem ve sloupcích, nebo lze aplikovat stejný postup na transponovanou matici. (Šubrt, 2011, s. 105)

Za nevýhodu metody se považuje zařazení nejvýhodnějších tras již na začátku. Proto se dá metoda zahrnout do takzvaných hladových metod. V postupném řazení zůstanou na závěr méně výhodné trasy, u kterých je riziko, že často převáží počáteční výhodu. (Brožová, Houška, 2003, s. 158)

3.6.6. Vogelova aproximační metoda pro okružní dopravní problémy

Pomocí Vogelovy metody, která se řadí do metod vytvářejících řešení, se hledá řešení v jednookružovém okružním dopravním problému. Řešení nalezené Vogelovou aproximační metodou se velmi blíží matematickému optimu, proto je metoda oblíbená a používá se v praxi velmi často. (Kosková, 2007, s. 10)

Hledání řešení okružního problému pomocí této metody spočívá ve výpočtu diferencí (rozdílů) mezi dvěma nejvýhodnějšími sazbami v každém sloupci i řádku matice sazeb. Vypočítané difference je třeba zapsat k příslušnému řádku či sloupci do vzdálenostní matice. Poté je nutné vybrat tu nejvyšší diferenci a v jejím řádku či sloupci obsadit pole s nejnižší sazbou, které se zařadí do výsledné trasy. Při hledání řešení okružního problému je u této metody dále nutné přepočítat nové difference ve zbylých řádcích a opakovat postup. Nalezené spoje se poté spojí dohromady a vznikne výsledný okruh. Tímto principem se zajistí rovnoměrné obsazování výhodných spojů ve výpočtu. Při minimalizaci jsou za nejvýhodnější sazby považovány ty nejnižší a při maximalizaci naopak. Rozdíly mezi nejvýhodnější a druhou nejvýhodnější sazbou v matici je možné interpretovat jako minimální velikost možné ztráty, která by mohla vzniknout, kdyby se do okruhu zahrnula ne nejvýhodnější, ale až druhá nejvýhodnější sazba. Metoda se tedy také nazývá jako metoda ztrát. (Brožová, Houška, 2003, s. 134)

Pokud se současně vyskytne více nejvyšších vypočítaných diferencí, přednostně se obsazuje pole s nejvýhodnější sazbou – sedlové pole. V případě stejných nejvýhodnějších sazeb

v řádku nebo sloupci, není diference 0, ale počítá se opět rozdíl mezi nejvýhodnější a druhou nejvýhodnější sazbou. (Kosková, 2007, s. 10)

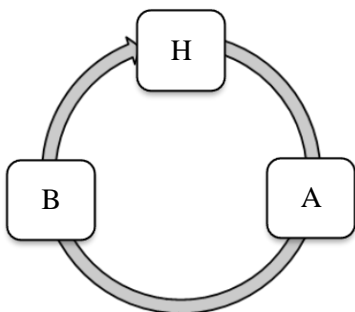
Pravidlo této metody, které je nutné dodržovat, je zakázání všech tras, které už nelze použít. Je potřeba vyškrtat řádek i sloupec buňky, která již byla obsazena a také vyškrtnout stejnou buňku v opačném směru. V případě nedodržování pravidla by mohlo by dojít k předčasnému uzavření okruhu. (Šubrt, 2011, s. 106)

3.6.7. Metoda výhodnostních čísel

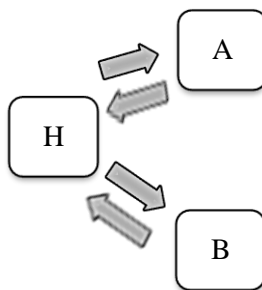
Metoda výhodnostních čísel je další aproximační metoda, která se používá k hledání řešení jednodukuhových okružních dopravních problému v praxi poměrně často. Nazývá se také Clarke-Wrightova metoda. Řešení se pomocí této metody nalezne rychle a bez obtíží, ale není tak kvalitní jako u předchozích popisovaných metod. (Slivoně, Rathouský, Císařová, Široký, 2010, s. 307)

Při hledání výsledku okružního problému touto metodou je nutné pro všechny dvojice míst vypočítat výhodnostní koeficienty. Koeficienty vyjadřují výhodnost propojení mezi dvěma místy. Tato výhodnost je zobrazena na obrázku níže (Obrázek 6). Spojení míst, které je nevýhodné, je ukázáno také na obrázku níže (Obrázek 7). Uzel H vyjadřuje hlavní sklad a uzly A, B jsou místa, která jsou zásobována z hlavního skladu. Uzel A je zásobován trasou H-A-H a uzel B trasou H-B-H. Pokud se uzly v trase propojí, vznikne trasa H-A-B-H, která bude kratší a tedy výhodnější. Rozdíl mezi délkou nové a původní trasy vyjadřuje výhodnostní koeficient. (Pelikán, 1993, s. 46)

Obrázek 6: Výhodné spojení míst



Obrázek 7: Nevýhodné spojení míst



Zdroj (Obrázek 6 a Obrázek 7): Vlastní zpracování

Z vypočítaných výhodnostních čísel je nutné vytvořit matici. V ní se poté hledá buňka s nejvyšším výhodnostním číslem a zařadí se do okruhu. Řádek i sloupec vybrané buňky je

zapotřebí vyškrtnout jako tomu bylo u předchozích metod. Dále je třeba najít následné nejvyšší výhodnostní číslo, které lze k okruhu připojit bez jeho předčasného uzavření. Postup se opakuje. Tímto principem vznikne výsledný okruh, který je potřeba v posledním kroku spojit s výchozím bodem, tedy hlavním skladem. (Pelikán, 1993, s. 49)

3.6.8. Mayerova metoda

Pomocí Mayerovy metody se řeší víceokruhové okružní dopravní problémy s úplnou sítí cest a s centrálním místem, které je zároveň počátečním i konečným bodem trasy (Brožová, Houška, 2003, s. 161). Jedná se o přibližnou metodu, která rozdělí realizovanou přepravu, tedy všechna místa, do jednotlivých okruhů (Získal, Havlíček, 2010, s. 68).

Předpokladem metody je matice vzdáleností mezi všemi místy v realizované přepravě, která je symetrická a doplněná o sloupec přepravních požadavků míst (Brožová, Houška, 2003, s. 161). Místa jsou v matici seřazena podle vzdáleností od výchozího místa. Výchozí místo je v matici zařazeno na posledním místě a nejvzdálenější místo od něj je v matici zařazeno na místě prvním. (Získal, Havlíček, 2010, s. 68)

Postup výpočtu ve vzdálenostní matici

Řešení okružního problému je nalezeno ve dvou krocích.

1. krok

V prvním kroku je nutné vybrat místa pro jednotlivé okruhy z matice vzdáleností. Do první okružní trasy se přiřadí místo s nejvyšší sazbou (nejvyšším počtem kilometrů od výchozího místa). Dále se přiřadí další místo, které je vybranému místu nejbližší, má tedy nejnižší sazbu. Je za potřebí provést součet přepravních požadavků těchto dvou vybraných míst a porovnat ho s kapacitou vozidla používaného k přepravě. Pokud ještě není kapacita vytížena, přidá se další místo s nejnižší sazbou od druhého vybraného místa. Tímto způsobem je třeba pokračovat až do naplnění kapacity používaného vozidla. Postup pro další okružní trasu je identický, začíná místem nejvzdálenějším od výchozího místa, které nebylo doposud přiřazeno v předchozí okružní trase. (Získal, Havlíček, 2010, s. 68)

2. Krok

Po použití Mayerovy metody se seřadí jednotlivá místa v okruzích pomocí metod pro řešení jednookruhových okružních dopravních problémů. Místa se řadí například metodou nejbližšího souseda nebo Vogelovou aproximační metodou. (Šubrt, Brožová, Domeová, Kučera, 2007, s. 38)

3.6.9. Program TSPKOSA

Program TSPKOSA byl vytvořen v programovacím jazyku Microsoft Visual Basic 6.5. pro řešení okružních dopravních úloh v rozsahu až 250 uzlů. Autory programu jsou Ing. Hana Vydrová, Ing. Igor Krejčí Ph.D. a RNDr. Petr Kučera Ph.D. (Krejčí, Kučera, Vydrová, 2010, s. 1)

V TSPKOSE lze řešit okružní dopravní problémy pomocí čtyř následujících metod. Aproximační metody:

- Metoda nejbližšího souseda
- Vogelova aproximační metoda pro okružní dopravní problémy
- Metoda výhodnostních čísel

Optimalizační metody:

- Metoda větví a mezí pro okružní dopravní problémy

(Krejčí, Kučera, Vydrová, 2010, s. 1).

Program TSPKOSA je nutné spustit v programu Microsoft Excel jako zásuvný modul. Před vybráním metody k řešení, je potřeba zadat název řešeného modelu, matici sazeb a názvy všech uzlů. Poté je možné vybrat vhodnou metodu řešení ze čtyř nabízených metod. Po provedení výpočtu okružní úlohy TSPKOSA vygeneruje řešení. (Krejčí, Kučera, Vydrová, 2010, s. 2)

4. Vlastní práce

Náplní následující části bakalářské práce je zpracování, zanalyzování a řešení již nastíněného okružního problému ve vybrané firmě. Na začátku je popsána charakteristika vybrané firmy a její dopravy, se kterou byla autorka detailně seznámena. Dále jsou podrobně rozebírány podkladové údaje k řešení problému a poté následuje zpracování a řešení celé problematiky pomocí popsaných metod v kapitolách 3.6.5. a 3.6.6. Na závěr budou výsledky použitých metod porovnány a zhodnoceny.

4.1. Charakteristika logistické firmy

Vybraná firma patří v současné době mezi nejrozšířenější logistické firmy na celém světě. Své pobočky a zaměstnance má téměř ve všech zemích světa a jejich teritoriích. Firma byla založena v USA na konci 20. století za účelem předem domluveného osobního doručení důležitých dokladů. V současnosti nabízí různorodé doručovací, skladovací a balicí služby po celém světě. Hlavní celosvětový úspěch firmy je v doručování jakkoliv těžkých a velkých zásilek klientům v jejich časovém požadavku. Firma například nabízí službu doručení urgentní zásilky ať už odkudkoliv kamkoliv v ten samý den. K přepravě využívá leteckou, železniční, silniční i vodní dopravu.

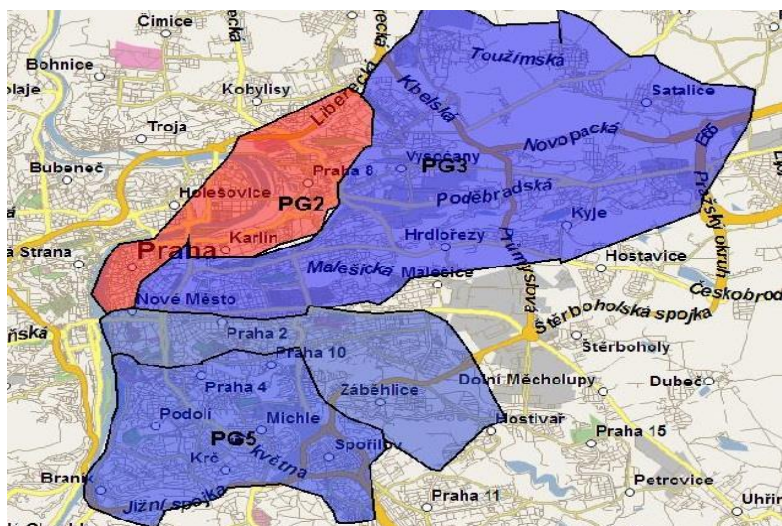
4.2. Firemní doprava v České republice

V České republice má firma stejně jako ve světě významné postavení. Celá republika je rozdělena do několika oblastí, které mají vždy své centrální místo v podobě skladu. Sklady jsou celkem tři a nacházejí se poblíž největších měst České republiky – Prahy, Brna a Ostravy. Do těchto takzvaných „gateways“ jsou zásilky přepravovány letecky či pozemní nákladní přepravou přímo z centrálního evropského překladiště. Praha je největší gatewayí, má nejvíce kurýrních tras a je nutné největší plošné pokrytí. Také kvůli tomu je na území Čech zřízeno ještě pět dalších překladišť, která mají za úkol snížit časové a finanční náklady na přepravu a usnadnit přepravu zásilky konečnému zákazníkovi. Jedná se o sklady ve městech Karlovy Vary, Liberec, Plzeň, České Budějovice a Hradec Králové. Z Prahy do těchto měst jezdí každé ráno vozy se zásilkami, které jsou v překladištích přerozděleny jednotlivým místním kurýrům. Republika je tak všude dostatečně pokryta kurýrními službami.

4.2.1. Doprava v okolí hlavního města Prahy

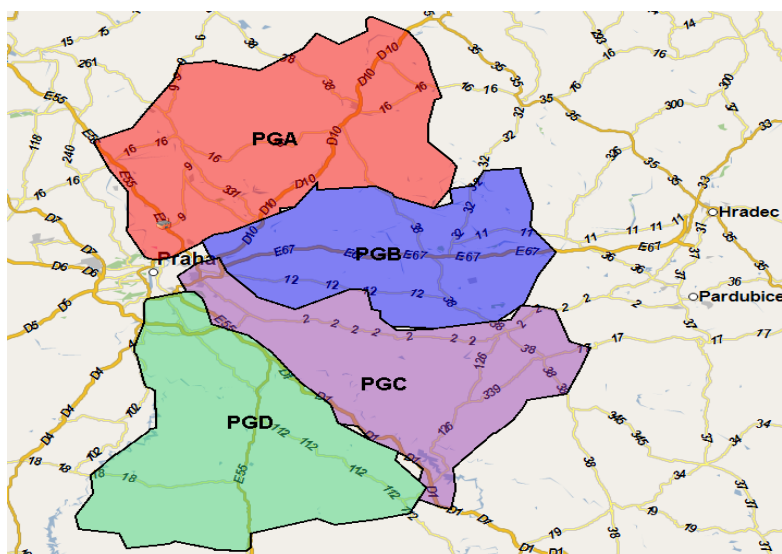
Tato část bakalářské práce se zaměřuje na trasy kurýra v okolí hlavního města Prahy. V Praze se terminál neboli sklad nachází v okrese Praha-Východ, přibližně 10 kilometrů od centra hlavního města. Obsluhovaná oblast pobočky je vždy rozdělena do takzvaných loopů, které se pak dělí na jednotlivé trasy neboli routy. V Praze se jedná o 13 loopů – loopy pro vnitřní Prahu PG2 až PG5 (Obrázek 8) a loopy pro vnější okruh Prahy PGA až PGI (Obrázek 9 a Obrázek 10). Tyto loopy jsou dále rozděleny na celkem 48 pravidelných routů, které se pojmenovávají přidáním abecední koncovky. Pro příklad v loopu PGA mají routy název PGAA, PGAB, PGAC a PGAD.

Obrázek 8: Rozdělení loopu pro vnitřní Prahu



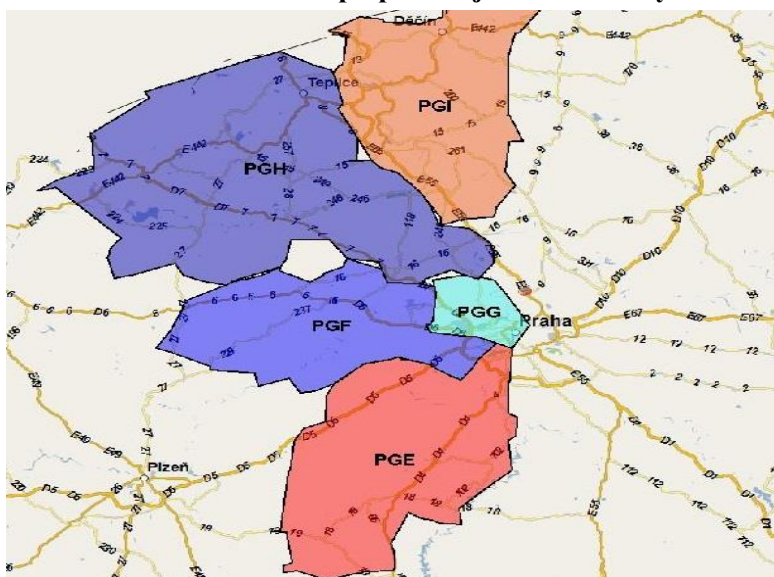
Zdroj: Firemní podklady

Obrázek 9: Rozdělení loopu pro vnější okruh Prahy PGA-PGD



Zdroj: Firemní podklady

Obrázek 10: Rozdělení loopy pro vnější okruh Prahy PGD-PGI



Zdroj: Firemní podklady

Každé ráno kromě neděle vyjíždějí kurýři vozidlem z hlavního skladu pravidelně v 9 hodin. Zásilky k doručení si sami odebírají z dopravníkového pásu. Svůj přidělený route znají, jezdí ho denně, adresy zákazníků jsou jim tedy ve většině případů známé, proto si zásilky do vozidla bezpečně ukládají postupně podle trasy rozvozu. Již ráno tedy ví, kam mají zásilky doručit a kde nové zásilky k odeslání vyzvednout. K rozvozu i vyzvednutí zásilek používají ruční skener, kterým načítají kód zásilky do systému. V systému mohou zákazníci zásilku sledovat a kurýři se všemi zaměstnanci firmy mají k dispozici kompletní podrobný přehled o zákazníkovi i zásilce. Když řidiči zásilku doručují, vidí, pokud má zákazník doplatit například skladovací poplatek, poplatek za dřívější doručení, celní poplatek a DPH, nebo jestli se zásilka doručuje bez doplatku. Skener obsahuje i navigaci, kterou řidiči často využívají. Někteří používají své navigace s aktuální dopravní situací. Většinou je ale výběr trasy na jejich zkušenostech. Když kurýr zásilku zákazníkům doručuje, označuje se úkon mezinárodně jako delivery. Pokud naopak zásilku k odeslání přijímá od zákazníků, označuje se úkon jako pickup. V okamžiku doručení nebo přijetí zásilky se po načtení kódu zásilky skenerem automaticky ukládají aktuální GPS souřadnice, které jsou výchozím podkladem pro analýzu okružních tras v této části bakalářské práce. Řidiči se vrací zpět do hlavního skladu okolo 5 či 6 hodiny odpoledne. Nemají pevnou pracovní dobu, vracejí se až tehdy, kdy mají všechny zásilky rozvezené i vyzvednuté.

4.3. Vybraný okružní dopravní problém

Na základě subkapitoly 4.2.1, ve které byla popsána firemní doprava v okolí hlavního města, byla vybrána k řešení okružního dopravního problému trasa PGAC. Trasa vede z hlavního města Prahy přes okres Mělník a zpět. Důvody pro výběr této trasy jsou delší vzdálenosti mezi uzly nežli ve městě a dostatečný počet uzlů pro analýzu okruhů. Dalším důvodem je menší dopravní špička v porovnání s trasami ve městě. Pokud by uzly byly ve velké blízkosti a trasy kurýrů by se měnily podle dopravní špičky, nemělo by smysl dopravní problém řešit a navrhnout firmě případné zlepšení.

Analýza okružních tras bude probíhat v 5 pracovních dnech z října 2017. Trasa PGAC je každý den realizována stejným řidičem i vozem. Řidič vyjíždí z hlavního skladu v 9 hodin ráno a vrací se zpět na stejné místo přibližně v 5 či 6 hodin odpoledne.

Z důvodu přání firmy budou přesné souřadnice i adresy jejich zákazníků v této práci anonymizovány. Firma doručuje a přijímá zásilky na trase PGAC od korporací i soukromých osob v následujících obcích: Bořanovice, Klíčany, Měšice, Hovorčovice, Kostelec nad Labem, Mělník, Kozomín, Lužec nad Vltavou, Vodochody, Velen, Přezletice, Všetaty, Dolínka, Postřížín, Husinec, Neratovice, Byšice, Veltrusy, Kralupy nad Vltavou, Libiř, Chorušice, Chvatěruby, Bašť, Předboj, Záruby, Nová Ves, Úžice a Ledce. Pokud má kurýr doručit či přijmout zásilku v širším okolí, které ještě patří pod trasu PGAC, jezdí výjimečně i do dalších obcí.

Řešení okružního dopravního problému bude probíhat ze vzdálenostního hlediska pomocí metody nejbližšího souseda a Vogelovy aproximační metody. Výsledky nalezené použitím metod budou porovnány s původními trasami, které byly vybrány zkušenostmi řidiče bez použití aproximačních metod či optimalizačních softwarů. Porovnávacím hlediskem bude délka tras a náklady na spotřebu pohonných hmot používaného vozidla. Výsledky budou porovnány jak v rámci jednotlivých dnů, tak i v celkovém souhrnu. V případě snížení délky okruhů na trase PGAC ve vybraných dnech, které zapříčiní snížení nákladů na rozvoz, je možné spočítat průměrné roční snížení nákladů a firmě navrhnout zlepšení, které by mohla využívat v praxi.

4.4. Podkladové údaje k řešení okružního dopravního problému

K řešení problému je nutné znát na trase PGAC počátek okruhu a následné zastávky kurýra s přesnými souřadnicemi a adresami zákazníků v pěti vybraných dnech. Dále je také potřeba znát druh používaného vozidla, jeho průměrnou spotřebu a průměrnou cenu tankovaného paliva. Analyzovaná trasa byla absolvována autorkou práce společně s kurýrem v říjnu 2017 a firemní data a informace byly získány od vedoucího pracovníka na terminálu ve Praze.

V následující tabulce (Tabulka 2) jsou uvedena data z prvního sledovaného dne na trase PGAC. Z důvodu ochrany dat zákazníků jsou adresy označeny čísly. Místo 1 je počátek i konec okruhu, tedy hlavní sklad. Tabulka zobrazuje počet kilometrů mezi jednotlivými místy, jak je řidič postupně navštěvoval, a celkový počet kilometrů daného okruhu. Řidič realizoval trasu bez využití aproximačních metod, tedy pouze na základě svých zkušeností.

Tabulka 2: 1. den trasy PGAC

Místo	Vzdálenost (km)
1	0
2	3,6
3	3,2
4	2,8
5	1,8
6	10,1
7	10,2
8	9,0
9	14,6
10	10,6
11	9,9
12	1,2
13	0,6
14	2,7
15	2,1
16	1,1
17	3,4
18	2,0
19	2,8
20	14,2
21	7,9
22	17,5
23	7,8
24	5,9
1	5,5
Celkem	150,5

Zdroj: Vlastní zpracování na základě firemních informací s pomocí webové stránky Mapy.cz

Na základě poskytnutých firemních informací je třeba sestavit matici sazeb v kilometrech pro každý vybraný den. Vytvořená vzdálenostní matice, zobrazena v tabulce níže (Tabulka 3), obsahuje data z prvního vybraného dne. Matice představuje podklad pro řešení problému pomocí metody nejbližšího souseda a Vogelovy aproximační metody. Jedná se o matici symetrickou, všechny dvojice míst mají identickou sazbu i v protějším směru. Místa (uzly) jsou označena čísly. Sazby ve zpracované matici jsou udány v kilometrech, zaokrouhlené na jedno desetinné místo a představují vzdálenosti mezi jednotlivými místy na trase PGAC v prvním analyzovaném dnu. Kurýr s vozem vyjíždí z místa 1 a z poslední zastávky 24 se do něj vrací. Podkladové údaje k ostatním vybraným dnům pro řešení problému okružních tras jsou přiloženy v přílohách (Příloha A, Příloha B, Příloha C a Příloha D).

Trasu PGAC jezdí kurýr se středně velkou dodávkou Mercedes-Benz Sprinter 313 s dlouhodobou průměrnou spotřebou 11,78 litrů na 100 kilometrů. Průměrné náklady na palivo v říjnu 2017 byly pro tuto trasu 2,7 Kč na 1 kilometr.

Tabulka 3: Vzdálenostní matice 1. dne trasy PGAC

1	3,6	5,6	6,3	5,5	13,2	12,9	6,3	18,5	16,8	22,5	23,6	23,5	23,0	24,2	24,9	27,6	28,6	31,4	26,3	24,3	26,6	9,8	7,8	4,1	5,6	3,4	5,5
2	-	-	3,2	5,9	5,8	14,4	12,5	7,2	18,1	14,8	20,7	21,8	21,7	21,2	22,4	24,6	26,8	29,6	26,3	24,3	26,6	9,8	7,8	4,1	5,6	3,4	5,5
3	3,6	-	-	2,8	2,7	11,5	9,4	4,1	15,0	13,5	18,9	20,1	20,0	20,6	24,6	26,8	29,6	26,3	24,3	26,6	9,8	7,8	4,1	5,6	3,4	5,5	
4	6,3	5,9	2,8	-	1,8	9,2	6,8	3,1	12,4	13,4	18,8	19,9	19,4	20,2	24,6	26,8	29,6	26,3	24,3	26,6	9,8	7,8	4,1	5,6	3,4	5,5	
5	5,5	5,8	2,7	1,8	-	10,1	7,7	3,0	13,3	13,7	19,1	20,2	20,2	20,2	24,6	26,8	29,6	26,3	24,3	26,6	9,8	7,8	4,1	5,6	3,4	5,5	
6	13,2	14,4	11,5	9,2	10,1	-	10,2	7,7	15,8	21,0	26,4	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5
7	12,9	12,5	9,4	6,8	7,7	10,2	-	9,0	6,0	12,7	17,1	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2
8	6,3	7,2	4,1	3,1	3,0	7,7	9,0	-	14,6	15,6	21,1	22,2	22,1	22,2	22,2	22,2	22,2	22,2	22,2	22,2	22,2	22,2	22,2	22,2	22,2	22,2	22,2
9	18,5	18,1	15,0	12,4	13,3	15,8	6,0	14,6	-	10,6	11,4	12,6	12,5	12,0	13,1	13,9	16,5	17,6	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0
10	16,8	14,8	13,5	13,4	13,7	21,0	12,7	15,6	10,6	-	9,9	11,0	11,0	10,5	11,6	12,3	15,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0
11	22,5	20,7	18,9	18,8	19,1	26,4	17,1	21,1	11,4	9,9	-	1,2	1,1	2,2	2,6	5,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2
12	23,6	21,8	20,1	19,9	20,2	27,5	18,2	22,2	12,6	11,0	1,2	-	0,6	2,6	2,3	4,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9
13	23,5	21,7	20,0	19,9	20,2	27,5	18,2	22,1	12,5	11,0	1,1	0,6	-	2,7	2,3	4,9	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
14	23,0	21,2	19,5	19,4	19,6	27,0	17,7	21,6	12,0	10,5	2,2	2,6	2,7	-	2,1	2,9	6,1	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1
15	24,2	22,4	20,6	20,5	20,8	28,1	18,8	22,8	13,1	11,6	1,8	1,5	1,6	2,1	-	1,1	4,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
16	24,9	23,1	21,4	21,3	21,5	28,8	19,6	23,5	13,9	12,3	2,6	2,3	2,3	2,9	1,1	-	3,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4
17	27,6	25,8	24,0	23,9	24,2	31,5	22,2	26,2	16,5	15,0	5,2	4,9	4,9	6,1	3,4	-	2,0	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8
18	28,6	26,8	25,1	25,0	25,2	32,5	23,3	27,2	17,6	16,0	6,2	5,9	6,0	7,1	4,4	2,0	-	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8
19	31,4	29,6	27,9	27,8	28,0	35,3	26,1	30,0	20,4	18,8	9,0	8,7	8,8	9,9	7,2	4,8	2,8	-	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
20	26,3	24,3	27,2	29,0	29,2	36,5	27,3	31,2	21,6	20,0	10,2	9,9	10,0	11,1	10,1	10,4	11,4	14,2	-	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9
21	26,6	24,6	27,3	30,0	29,9	37,4	29,4	31,3	23,7	22,2	12,3	12,0	12,1	13,2	11,1	12,2	12,5	13,5	16,3	7,9	-	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5
22	9,8	7,8	10,7	13,2	13,1	22,0	19,8	14,5	22,0	11,5	21,4	22,5	22,5	22,0	23,1	23,8	25,3	26,4	29,2	17,2	17,5	-	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8
23	5,6	4,1	6,8	9,5	9,5	18,1	16,2	10,8	21,7	16,9	24,2	24,9	25,0	24,8	25,9	26,7	29,3	30,4	33,2	24,0	24,3	24,3	-	7,8	7,8	7,8	7,8
24	5,5	3,4	6,2	8,7	8,7	17,7	15,4	10,1	21,0	11,5	21,4	22,4	22,4	22,0	23,1	23,8	26,5	27,5	30,3	21,2	21,5	21,5	4,6	5,9	5,9	5,9	5,9

Zdroj: Vlastní zpracování na základě firemních informací s pomocí webové stránky Mapy.cz

4.5. Analýza původní okružní trasy prvního dne trasy PGAC

V tabulce níže (Tabulka 4) je zachycen celkový počet kilometrů na trase PGAC v prvním dni, průměrná a celková spotřeba firemního vozidla na tento okruh, průměrné náklady na palivo v říjnu roku 2017 a náklady firmy na celkově spotřebované palivo na daný okruh. Analýza původní trasy je potřeba k pozdějšímu porovnání původní trasy s novým řešením.

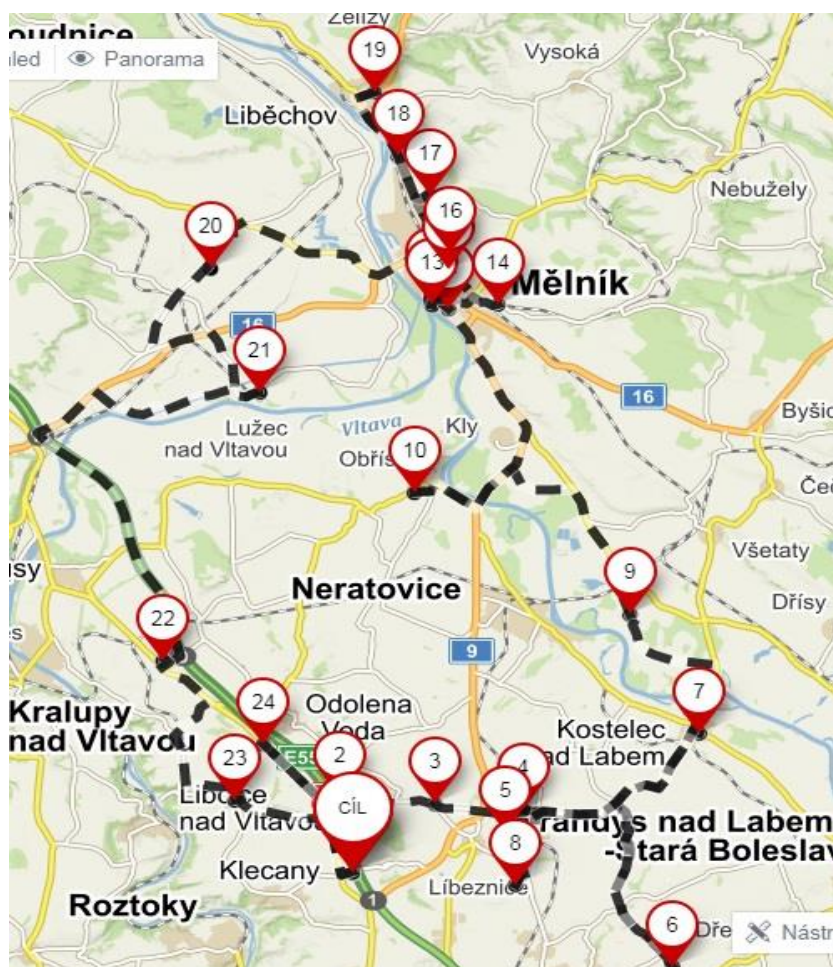
Tabulka 4: Analýza 1. dne trasy PGAC

Celková délka (km)	Průměrná spotřeba vozidla (l/100 km)	Celková spotřeba vozidla na řešený okruh (l)	Průměrné náklady na palivo v říjnu 2017 na 1 km (Kč)	Náklady na pohonné hmoty celého okruhu (Kč)
150,5	11,78	17,73	2,7	406,35

Zdroj: Vlastní zpracování na základě firemních informací

Na následujícím obrázku (Obrázek 11) je zobrazena přibližná původní trasa na mapě.

Obrázek 11: 1. den trasy PGAC



Zdroj: Vlastní zpracování na základě firemních informací s pomocí webové stránky Mapy.cz

4.6.Řešení okružního dopravního problému prvního dne trasy PGAC

K řešení problému budou použity dvě aproximační metody – metoda nejbližšího souseda a Vogelova aproximační metoda. K efektivnímu výpočtu pomocí těchto metod bude využit program TSPKOSA, popsáný v subkapitole 3.6.9. Centrální místo okruhu, tedy jeho začátek i konec, je hlavní sklad v Praze.

4.6.1. Metoda nejbližšího souseda

Výpočet pomocí metody nejbližšího souseda vychází ze symetrické matice sazeb, která je zobrazena v tabulce výše (Tabulka 3). Každé místo v okruhu je nutné prověřit jako výchozí a ze všech nalezených okružních tras je potřeba vybrat tu nejvýhodnější, tedy trasu s nejmenším součtem všech sazeb. V následující tabulce (Tabulka 5) je zobrazena nalezená nejvýhodnější trasa z prvního dne, která byla získána aproximační metodou nejbližšího souseda. Popis výpočtu pomocí této metody je popsán v subkapitole 3.6.5. Pokud by okruh vyšel nejvýhodněji z jiného výchozího místa, než je hlavní sklad v Praze, posloupnost míst by se v okruhu upravila tak, aby okruh začínal hlavním skladem v Praze.

Tabulka 5: Řešení okruhu z 1.dne získané metodou nejbližšího souseda

Výchozí bod	Trasa	Délka trasy (km)
1	(1) - (2) - (3) - (5) - (4) - (8) - (6) - (7) - (9) - (10) - (11) - (13) - (12) - (15) - (16) - (14) - (17) - (18) - (19) - (20) - (21) - (22) - (24) - (23) - (1)	132,6

Zdroj: Vlastní zpracování dle nalezeného řešení pomocí programu TSPKOSA

Z tabulky výše (Tabulka 5) je zřejmé, že výpočtem metodou nejbližšího souseda byl nalezen nejvýhodnější okruh z výchozího bodu 1 s celkovým počtem kilometrů 132,6. Posloupnost projetých míst v okruhu a vzdálenosti mezi nimi jsou zobrazeny v následující tabulce (Tabulka 6).

Tabulka 6: Nejvýhodnější okruh z 1.dne získaný metodou nejbližšího souseda

Místo	Vzdálenost (km)
1	0
2	3,6
3	3,2
5	2,7
4	1,8
8	3,1
6	7,7
7	10,2
9	6,0
10	10,6
11	9,9
13	1,1
12	0,6
15	1,5
16	1,1
14	2,9
17	6,1
18	2,0
19	2,8
20	14,2
21	7,9
22	17,5
24	4,6
23	5,9
1	5,6
Celkem	132,6

Zdroj: Vlastní zpracování na základě nalezeného řešení s pomocí webové stránky Mapy.cz

Okruh s výchozím bodem 1 je řešením problému nalezeným pomocí metody nejbližšího souseda. Vypočítaná trasa je oproti původní trase, která byla vybrána kurýrem, o 17,9 kilometru kratší. Kdyby se firma rozhodla využívat tuto aproximační metodu, činily by celkové finanční náklady na spotřebované palivo vozidla v daném okruhu přibližně 358,02 Kč. Rozdíl oproti skutečným vynaloženým nákladům, které byly 406,35, je 48,33 Kč. Na obrázku níže (Obrázek 13) je zobrazena na mapě nejvýhodnější trasa z prvního dne vypočítaná pomocí metody nejbližšího souseda.

Obrázek 13: 1.den trasy PGAC při použití metody nejbližšího souseda



Zdroj: Vlastní zpracování na základě nalezeného řešení s pomocí webové stránky Mapy.cz

4.6.2. Vogelova aproximační metoda

Řešení daného okruhu Vogelovou metodou vychází z totožné symetrické matice sazeb, jako u metody nejbližšího souseda. Matice je zobrazena v tabulce výše (Tabulka 3). Při řešení je potřeba přidat k matici sloupec a řádek pro výpočet diferencí, které se spočítají jako rozdíl dvou nejvýhodnějších sazeb v každé řadě. Matice je symetrická, sloupcové a řádkové difference se proto rovnají. Po výpočtu všech diferencí se z řady s nejvyšší diferencí vybere nejvýhodnější sazba a zařadí se do okruhu. Difference je nutné přepočítávat až do té doby, než je nalezená celá okružní trasa. Při výpočtu Vogelovou metodou je nutné dávat pozor na předčasné uzavření okruhu. Přesnější princip výpočtu pomocí této metody je popsán v subkapitole 3.6.6.

Vogelovou aproximační metodou byly nalezeny dva minimální cykly s délkou 147 kilometrů. Oba okruhy začínají v místě 11 a jsou zobrazeny v tabulce níže (Tabulka 7).

Tabulka 7: Řešení okruhu z 1.dne získaná Vogelovou aproximační metodou

Výchozí bod	Trasa	Délka trasy (km)
11	(11) - (10) - (5) - (4) - (3) - (23) - (22) - (24) - (2) - (1) - (8) - (6) - (7) - (9) - (14) - (12) - (13) - (17) - (18) - (19) - (16) - (15) - (20) - (21) - (11)	147
11	(11) - (10) - (5) - (4) - (3) - (23) - (22) - (24) - (2) - (1) - (8) - (6) - (7) - (9) - (14) - (12) - (13) - (17) - (19) - (18) - (16) - (15) - (20) - (21) - (11)	147

Zdroj: Vlastní zpracování dle nalezeného řešení pomocí programu TSPKOSA

Okruhy se liší pouze tím, že z místa 17 se postupuje v prvním vypočítaném okruhu do místa 18 a poté 19, v druhém okruhu se z místa 17 postupuje nejdříve do místa 19 a až poté do místa 18. Trasy začínající místem 1 (centrální sklad v Praze) a vzdálenosti mezi jednotlivými uzly jsou zobrazeny v následující tabulce (Tabulka 8).

Tabulka 8: Nejvýhodnější okruhy získané Vogelovou aproximační metodou

Místo v okruhu 1	Vzdálenost (km)	Místo v okruhu 2	Vzdálenost (km)
1	0	1	0
8	6,3	8	6,3
6	7,7	6	7,7
7	10,2	7	10,2
9	6,0	9	6,0
14	12,0	14	12,0
12	2,6	12	2,6
13	0,6	13	0,6
17	4,9	17	4,9
18	2,0	19	4,8
19	2,8	18	2,8
16	7,2	16	4,4
15	1,1	15	1,1
20	9,0	20	9,0
21	7,9	21	7,9
11	12,3	11	12,3
10	9,9	10	9,9
5	13,7	5	13,7
4	1,8	4	1,8
3	2,8	3	2,8
23	6,8	23	6,8
22	7,8	22	7,8
24	4,6	24	4,6
2	3,4	2	3,4
1	3,6	1	3,6
Celkem	147	Celkem	147

Zdroj: Vlastní zpracování na základě nalezeného řešení s pomocí webové stránky Mapy.cz

Okruhy s výše uvedenou posloupností projetých míst jsou výsledkem problému řešeného pomocí Vogelovy aproximační metody. Obě okružní trasy mají délku 147 kilometrů, což je

o 14,4 kilometru delší než okruh vypočítaný pomocí metody nejbližšího souseda. Vogelova metoda tedy v porovnání s metodou nejbližšího souseda přinesla značně horší výsledek. I navzdory tomu jsou okruhy nalezené Vogelovou metodou výhodnější než okruh vybraný na základě zkušeností kurýra. Délka původní trasy vybraná kurýrem byla 150,5 kilometrů. Nově navržené trasy jsou tedy s délkou 147 kilometrů o 3,5 kilometru kratší. Dopravní náklady na pohonné hmoty daného okruhu proto klesnou při použití této metody oproti původnímu okruhu přibližně o 9,45 Kč na 396,9 Kč. Obě nalezené trasy Vogelovou metodou se ale nedají považovat za nejvýhodnější, protože metodou nejbližšího souseda vyšel okruh značně kratší.

Obrázek níže (Obrázek 14) zobrazuje trasu z prvního výsledného okruhu po použití Vogelovy aproximační metody.

Obrázek 14: 1.den trasy PGAC při použití Vogelovy aproximační metody



Zdroj: Vlastní zpracování na základě nalezeného řešení s pomocí webové stránky Mapy.cz

4.7. Analýza a řešení okružních dopravních problémů u ostatních vybraných dnů na trase PGAC

Celkově bylo vybráno na trase PGAC pět dnů z října roku 2017, jak již bylo v bakalářské práci zmíněno. První den trasy PGAC byl podrobně popsán, zanalyzován a řešen v předchozích subkapitolách. Ostatní dny, jejich podkladové údaje, analýza a vypočítané řešení, budou z důvodu velkého počtu rozsáhlých tabulek a kapacity bakalářské práce uvedeny v přílohách. V této subkapitole budou porovnány a zhodnoceny původní trasy zbývajících vybraných dnů s trasami vypočítanými pomocí metody nejbližšího souseda a Vogelovy aproximační metody. Postupy pomocí těchto metod jsou podrobně popsány v subkapitolách 3.6.5 a 3.6.6. K výpočtu byla stejně jako předtím využita TSPKOSA, která je popsána v subkapitole 3.6.9. Centrální místo každého okruhu je opět hlavní sklad v Praze.

4.7.1. Druhý den trasy PGAC

Data, analýza a výsledky výpočtu k druhému dni jsou uvedeny v příloze A. Ve druhém dni ujel kurýr při rozvozu a vyzvedávání zásilek na trase PGAC 167,3 kilometrů. Uzlů, tedy navštívených míst, bylo v okruhu celkem 29. Celý realizovaný okruh a vzdálenosti mezi uzly jsou zobrazeny v první tabulce přílohy A. Ve druhé tabulce přílohy A je zanalyzován původní realizovaný okruh. Analýza okruhu je potřeba k pozdějšímu porovnání s novým řešením. Při délce trasy 167,3 kilometrů a průměrných nákladech na pohonné hmoty 2,7 Kč na jeden kilometr byly celkové skutečně vynaložené náklady na pohonné hmoty daného okruhu přibližně 451,71 Kč. Po použití metody nejbližšího souseda, která vychází ze symetrické vzdálenostní matice (třetí tabulka přílohy A), vyšel nejvýhodnější cyklus s výchozím bodem 23 o délce 186,4 kilometrů. Trasa je tedy delší o 19,1 kilometru oproti původní trase a je zobrazena ve čtvrté tabulce přílohy A. Okruh s výchozím bodem 1, tedy hlavním skladem v Praze, a se vzdálenostmi mezi jednotlivými uzly je zobrazen v šesté tabulce přílohy A. Náklady na pohonné hmoty celého okruhu by se v případě použití metody nejbližšího souseda zvýšily o 51,57 Kč na 503,28 Kč. Vogelovou aproximační metodou byl nalezen nejvýhodnější okruh s počátečním bodem 27 o délce 173,2 kilometrů. Okruh je tedy značně delší a to o 5,9 kilometru. Je zobrazen v páté tabulce přílohy A. Výsledná trasa s výchozím bodem 1 a vzdálenostmi mezi uzly jsou uvedeny v šesté tabulce přílohy A. Náklady na pohonné hmoty používaného vozidla by se v tomto případě zvýšily přibližně na 467,64 Kč, tedy o 15,93 Kč. Ve druhém vybraném dni na trase PGAC se za nejméně

nákladný považuje okruh, který vybral kurýr na základě svých zkušeností s délkou 167,3 kilometrů.

4.7.2. Třetí den trasy PGAC

Vypočítané okruhy a všechna data k třetímu dni na trase PGAC jsou uvedeny v příloze B. Celková délka okruhu s 26 uzly realizovaná řidičem byla 146,8 kilometrů. Posloupnost míst v okruhu a vzdálenosti mezi místy uvádí první tabulka přílohy B. Ve druhé tabulce přílohy B, kde je vytvořena analýza okruhu, je vidět, že celkové náklady na pohonné hmoty daného vozidla při délce okruhu 146,8 kilometrů byly přibližně 396,36 Kč. Trasa byla opět řešena dvěma vybranými metodami, které vychází z matice sazeb. Tuto matici zobrazuje třetí tabulka přílohy B. Nejvýhodnější okruh získaný metodou nejbližšího souseda je okruh s výchozím bodem 3 o délce 151 kilometrů. Cyklus je zobrazen ve čtvrté tabulce přílohy B a v porovnání s původním cyklem se nedá považovat za výhodnější, protože byl o 4,2 kilometru delší. Byl tedy pro firmu více nákladný. Náklady na pohonné hmoty nově vypočítaného okruhu by byly pro firmu 407,7 Kč, což je o 11,34 Kč více než při realizaci původní trasy. Výsledný cyklus s výchozím místem 1, posloupnosti míst a vzdálenosti mezi nimi jsou uvedeny v šesté tabulce přílohy B. Řešení nalezené Vogelovou aproximační metodou bylo úspěšnější. Jak je vidět v páté tabulce přílohy B, nejvýhodnější okruh vypočítaný touto metodou s výchozím místem 25 byl dlouhý 146,9 kilometrů. Vyšel tedy okruh delší o 100 metrů. Z důvodu zaokrouhlování vzdáleností mezi jednotlivými místy v matici sazeb na jedno desetinné místo je možné tvrdit, že se Vogelova aproximační metoda shodla s mírným výkyvem se zkušenostmi řidiče. Upravený okruh s počátečním místem 1 je uveden v šesté tabulce přílohy B společně s výsledkem vyřešeným metodou nejbližšího souseda.

4.7.3. Čtvrtý den trasy PGAC

Příloha C obsahuje potřebná data a výsledky řešení problému z čtvrtého dne na trase PGAC. Původní realizovaný okruh, jeho délka a vzdálenosti mezi zastávky jsou zobrazeny v první tabulce přílohy C. Skutečně realizovaný okruh kurýrem začínající v hlavním terminálu v Praze měl s 31 zastávkami délku 171 kilometrů. Při délce 171 kilometrů a nákladech na pohonné hmoty 2,7 Kč na 1 kilometr byly firemní náklady na pohonné hmoty realizovaného okruhu 461,7 Kč, jak je uvedeno v druhé tabulce přílohy C. Třetí tabulka přílohy C obsahuje vytvořenou obsáhlou vzdálenostní matici, která je opět podkladem pro výpočet vybranými

metodami. Metodou nejbližšího souseda vznikl nejvýhodnější okruh s počátečním místem 14 a délkou 170,8 kilometrů. Ve čtvrté tabulce přílohy C je nalezený okruh zobrazen. Tabulka šestá v příloze C zobrazuje vypočítanou nejvýhodnější posloupnost všech uzlů s počátečním bodem 1 a jejich vzájemné vzdálenosti. Okruh vyšel kratší pomocí této metody o 0,2 kilometru. Na celkových nákladech při spotřebě pohonných hmot používaného vozidla v řešeném okruhu by firma v případě použití metody nejbližšího souseda ušetřila 0,54 Kč. Při firemní průměrné ceně paliva by totiž celkové náklady dosahovaly 461,16 Kč. Tabulka pátá v příloze C uvádí nejvýhodnější okruh vypočítaný Vogelovou metodou s výchozím bodem 23. Jeho délka vyšla 173,4 kilometrů, což je o 2,4 kilometru delší než původní skutečně realizovaný okruh vybraný na základě zkušeností řidiče. Náklady by se použitím této metody firmě zvýšily o 6,48 Kč. Okruh s výchozím bodem 1 je uveden v šesté tabulce přílohy C.

4.7.4. Pátý den trasy PGAC

Příloha D uvádí podkladové údaje k pátému vybranému dnu, dále také jeho analýzu a vypočítané výsledky pomocí dvou vybraných metod. Doručení a vyzvednutí zásilek probíhalo v pátém dnu na trase PGAC u 28 firem či soukromých osob. Celkově kurýr ujel v tomto dni 184,5 kilometrů. První tabulka přílohy D obsahuje posloupnost projetých zastávek a skutečné vzdálenosti mezi nimi. Analýza tohoto okruhu je pak vytvořena v druhé tabulce přílohy D. S danou průměrnou spotřebou vozidla byly celkové náklady firmy na realizovaný okruh 498,15 Kč. Metodou nejbližšího souseda se nepodařilo vypočítat méně nákladný okruh. Za nejvýhodnější výchozí místo bylo zjištěno místo 14 a délka okruhu vyšla 186,6 kilometrů, jak zobrazuje čtvrtá tabulka přílohy D. Upravený cyklus s výchozím bodem 1 a vzdálenosti mezi místy v cyklu zobrazuje tabulka šestá v příloze D. Náklady na spotřebu pohonných hmot by se při použití dané metody zvýšily na 503,82 Kč, spotřeba by tedy byla při této délce okruhu o 5,67 Kč nákladnější. Vogelova metoda vyšla výhodněji. Výsledky řešení zobrazuje pátá tabulka přílohy D. Nejvýhodnější okruhy vyšly dva s počátečním i konečným místem 14 a délkou 177,2 kilometrů. Liší se pouze v pořadí projetých míst 25 a 26, celková délka trasy se tím ale nezmění. Okruhy vychází z hlavního terminálu v Praze, proto jsou opět výsledné trasy a vzdálenosti zobrazeny v šesté tabulce přílohy D. Pokud by firma v tomto případě využila Vogelovu metodu ke snížení délky tras a následně snížení nákladů, ušetřila by na daném okruhu 19,71 Kč při snížení délky trasy o 7,3 kilometru.

5. Zhodnocení výsledků

Ve čtvrté části bakalářské práce byly podrobně popsány a srovnány jednotlivé výsledky metod v každém vybraném dni. Byly také porovnány s původními trasami. Tabulka níže (Tabulka 9) uvádí jejich celkové shrnutí. U každého dne jsou v tabulce světle modře zvýrazněny buňky, které vyjadřují, který okruh se považuje za nejvýhodnější, tedy jestli okruh původní nebo okruh vypočítaný použitím aproximačních metod. Modře zvýrazněna je i buňka s nejvýhodnějším celkovým součtem délek tras a výše nákladů na pohonné hmoty ve všech vybraných dnech.

Tabulka 9: Celkový přehled původních tras a nejvýhodnějších nalezených řešení

	Délka realizovaných okruhů (km)	Vynaložené náklady na pohonné hmoty (Kč)	Délka nejvýhodnějších okruhů po řešení aproximačními metodami (km)	Nově vypočítané náklady po řešení aproximačními metodami (Kč)
1.den	150,5	406,35	132,6	358,02
2.den	167,3	451,71	173,2	467,64
3.den	146,8	396,36	146,9	396,63
4.den	171	461,7	170,8	461,16
5.den	184,5	498,15	177,2	478,44
Celkem	820,1	2214,27	800,7	2161,89

Zdroj: Vlastní zpracování

V prvním dni by firma mohla při využití metody nejbližšího souseda ušetřit na nákladech na spotřebu pohonných hmot jednoho používaného vozidla 48,33 Kč. Druhý a třetí den se pomocí vybraných aproximačních metod okružní trasy nepodařilo vzdálenostně a nákladově zvýhodnit. Kurýr v těchto dnech trasu vybíral podle svých zkušeností výhodně a firmě by se nákladově vyplatila varianta výběru trasy bez použití aproximačních metod. Ve třetím dni vyšel cyklus vypočítaný Vogelovou aproximační metodou pouze o 0,1 kilometru delší nežli původní trasa, dá se tedy v důsledku zaokrouhlování vzdáleností mezi jednotlivými uzly v okruhu považovat za shodný s cyklem vybraným zkušenostmi řidiče. Ve čtvrtém dni by firma při použití metody nejbližšího souseda ušetřila na spotřebě pohonných hmot 0,54 Kč. Trasa vybraná kurýrem bez použití aproximačních metod v pátém dni byla zbytečně dlouhá a nákladná, jak nás přesvědčila Vogelova aproximační metoda. Firma by při použití této metody ušetřila v pátém dni 19,71 Kč.

V souhrnu pěti vybraných dnů by firma při použití vybraných aproximačních metod zkrátila původní realizované cykly o 19,4 kilometru, jak je uvedeno v posledním řádku tabulky 9, a to i přes skutečnost, že se nepodařilo okruhy ve dvou vybraných dnech pomocí metod zvýhodnit. Náklady na pohonné hmoty používaného vozidla by se při použití metod snížily celkově o 52,38 Kč oproti trasám původním. Trasy vypočítané pomocí aproximačních metod vyšly tedy v celkovém shrnutí nákladově levněji než trasy realizované kurýrem, které vybral bez použití metod či softwaru.

Kdyby použití aproximačních metod přineslo firmě průměrné snížení nákladů na pohonné hmoty jednoho vozidla o 52,38 Kč v pěti dnech, pak by na jeden den vycházelo průměrné snížení nákladů o 10,5 Kč. Možné průměrné roční ušetření těchto firemních nákladů na jedno vozidlo by při použití metod mohlo být přibližně 3 286,5 Kč, pokud by se vzal v úvahu výsledek řešení v této práci a předpoklady, že rok trvá 365 dní a výpočet metodami by probíhal přibližně 313 dní v roce, jelikož kurýři firmy pracují šest dní v týdnu včetně soboty. Pouze v okolí hlavního města Prahy využívá firma na rozvoz a vyzvednutí zásilek pravidelně 48 firemních vozidel a po celé České republice ještě mnohem více. Možná roční úspora nákladů na spotřebu pohonných hmot všech používaných vozidel by při použití aproximačních metod mohla být po celé České republice několikanásobně větší.

6. Závěr

Logistika, která se soustřeďuje hlavně na uspokojování potřeb zákazníků, hraje v současnosti stále rostoucí významnou roli. Momentálně je kvalita poskytovaných logistických služeb stejně důležitá, jako kvalita dodávaného výrobku či služby. Současným ekonomickým cílem podnikové logistiky je poskytování kvalitních služeb s přiměřenými náklady, které se mohou považovat vzhledem k vysoké kvalitě služeb za minimální. Snižovat logistické náklady není tedy možné na úkor kvality poskytovaných logistických služeb, ale je například možné zkrátit délku realizovaných tras, což zapříčiní i snížení logistických nákladů na spotřebu pohonných hmot používaných vozidel. Zkrácení délky tras je možné pomocí aproximačních či optimalizačních metod a s tím souvisí cíl bakalářské práce.

Bakalářská práce se zabírala především problematikou okružních dopravních problémů a jejím cílem bylo nalezení takového pořadí všech míst v okružních trasách společnosti, aby celková ujetá vzdálenost byla co nejkratší, a tím se snížily i náklady firmy na spotřebu pohonných hmot. V případě úspěšného dosažení cíle je možné firmě navrhnout zlepšení, které by mohla využívat v praxi. Pro výpočet byly použity aproximační metody řešící okružní dopravní problémy, konkrétně metoda nejbližšího souseda a Vogelova aproximační metoda. Kurýr trasy vybíral pouze na základě svých zkušeností, bez použití aproximačních metod či optimalizačního softwaru. Výpočet pomocí aproximačních metod probíhal v pěti vybraných dnech na firemní trase PGAC. Výchozím místem, tedy místem kde cykly začínají i končí, byl terminál v Praze.

V prvním vybraném dni by firma mohla při využití aproximační metody nejbližšího souseda ušetřit na nákladech na spotřebu pohonných hmot 48 Kč. Druhý a třetí den se pomocí vybraných aproximačních metod okružní trasy nepodařilo vzdálenostně a nákladově zvýhodnit. Kurýr v těchto dnech trasu vybíral dle svých zkušeností efektivněji a firmě by se vyplatila varianta výběru trasy bez použití aproximačních metod. Ve třetím dni vyšel ale okruh vypočítaný Vogelovou aproximační metodou pouze o 100 metrů delší. V důsledku zaokrouhlování vzdáleností mezi jednotlivými uzly v okruhu se tedy dá výsledek považovat za shodný s okruhem vybraným zkušenostmi řidiče. Kdyby kurýr ve čtvrtém dni při výběru trasy použil metodu nejbližšího souseda, ušetřila by firma na spotřebě pohonných hmot v tento den 0,5 Kč. Trasa vybraná kurýrem bez použití aproximačních metod v pátém dni

byla zbytečně dlouhá a nákladná, jak nás přesvědčila Vogelova aproximační metoda. Firma by při použití této metody ušetřila v pátém dni 19,7 Kč.

V celkovém shrnutí pěti vybraných dnů by firma při využití vybraných aproximačních metod zkrátila původní realizované okruhy o 19,4 kilometru, a to i přes skutečnost, že se nepodařilo okruhy ve dvou vybraných dnech pomocí metod zvýhodnit. Náklady na pohonné hmoty používaného vozidla by se při použití metod snížily celkově o 52,4 Kč oproti trasám původním. Trasy vypočítané pomocí aproximačních metod vyšly tedy v celkovém souhrnu nákladově levněji než trasy realizované kurýrem bez použití metod či softwaru. Ve dvou vybraných dnech ale byly trasy vybrané kurýrem výhodnější, proto se dá konstatovat, že kurýři ve firmě vybírají trasy kvalitně i bez použití metod.

Kdyby použití aproximačních metod přineslo firmě průměrné snížení nákladů na pohonné hmoty jednoho vozidla o 52,4 Kč v pěti dnech, pak by na jeden den vycházelo průměrné snížení nákladů přibližně o 10,5 Kč. Možné průměrné roční ušetření těchto firemních nákladů na jedno vozidlo by při použití metod mohlo být přibližně 3 287 Kč, pokud by se vzal v úvahu výsledek řešení v této práci a předpoklady, že rok trvá 365 dní a výpočet metodami by probíhal přibližně 313 dní v roce, jelikož kurýři firmy pracují šest dní v týdnu včetně soboty. Pouze v okolí hlavního města Prahy využívá firma na rozvoz a vyzvednutí zásilek pravidelně 48 firemních vozidel a po celé České republice ještě mnohem více. Možná roční úspora nákladů na spotřebu pohonných hmot všech využívaných vozidel by při použití aproximačních metod mohla být po celé České republice několikanásobně větší.

Ve vybrané logistické firmě by bylo vhodné implementovat nový software, který by v praxi trasy úspěšně optimalizoval, protože i na základě aproximačních metod, jejichž výsledek se nedá považovat za matematické optimum, byla zjištěna uvedená možná úspora nákladů. Díky optimalizačnímu softwaru by firma získala větší úsporu nákladů, než je úspora vypočítaná pomocí aproximačních metod, protože kurýr by vždy jel nejkratší možný okruh. Implementace nového softwaru by byla pro firmu výhodná v případě návratnosti investice. Na závěr lze konstatovat, že vytyčený cíl byl v bakalářské práci dosažen.

7. Seznam použitých zdrojů

BROŽOVÁ, Helena, HOUŠKA Milan, 2003. *Základní metody operační analýzy*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze. ISBN 80-213-0951-2.

DEMEL, Jiří, 2002. *Grafy a jejich aplikace*. Praha: Academia. ISBN 80-200-0990-6.

HOUŠKA, Milan, 2014. *Ekonomicko-matematické metody I: další dopravní modely*. (přednáška) Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze.

HÝBLOVÁ, Petra, 2006. *Logistika: pro kombinovanou formu studia*. Pardubice: Univerzita Pardubice. ISBN 80-7194-914-0.

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

KOSKOVÁ, Ivanka, 2007. *Distribuční úlohy I*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze. ISBN 978-80-213-1156-5.

KREJČÍ, Igor, KUČERA, Petr, VYDROVÁ, Hana, 2010. *TSPKOSA*. [Projekt] Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze.

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

KUČERA, Petr, 2009. *Metodologie řešení okružního dopravního problému*. Disertační práce (Ph.D) Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze.

PELIKÁN, Jan, 1993. *Praktikum z operačního výzkumu*. Praha: Vysoká škola ekonomická. ISBN 80-7079-135-7.

SEZNAM, Mapy.cz. *Plánování trasy* [online]. [cit. 2018-01-09]. Dostupné z WWW: <https://mapy.cz/zakladni?planovani-trasy&x=15.8815000&y=49.2106020&z=11>

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

SLIVONĚ, Miroslav, RATHOUSKÝ, Bedřich, CÍSAŘOVÁ, Hana, 2010. *GA-GED VR: Software pro sestavu okružních jízd*. Perner's Contacts. [Online] Univerzita Pardubice. http://pernerscontacts.upce.cz/19_2010/Slivone.pdf. ISSN1801 – 674X.

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

SVOBODA, Vladimír, 2004. *Dopravní logistika*. V Praze: Vydavatelství ČVUT. ISBN 80-01-02914-X.

ŠÁLKOVÁ, Daniela, 2018. *Trh a obchod, obchod jako systém, tržní subjekty, obchodní subjekty*. (přednáška) Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze.

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

ŠUBRT, Tomáš, BROŽOVÁ, Helena, DOMEOVÁ, Ludmila, KUČERA, Petr, 2007. *Ekonomicko matematické metody II: aplikace a cvičení*. Vyd. 2. V Praze: Česká zemědělská univerzita. ISBN 978-80-213-0721-6.

ZÍSKAL, Jan, HAVLÍČEK, Jaroslav, 2010. *Ekonomicko matematické metody II: studijní texty pro distanční studium*. Vyd. 2. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze. ISBN 978-80-213-0664-6.

8. Přílohy

Příloha A: Druhý den trasy PGAC	II
Příloha B: Třetí den trasy PGAC	V
Příloha C: Čtvrtý den trasy PGAC.....	VIII
Příloha D: Pátý den trasy PGAC.....	XII

Příloha A: Druhý den trasy PGAC

1) Tabulka: 2.den trasy PGAC

Místo	Vzdálenost (km)
1	0
2	4,0
3	0,9
4	1,5
5	6,8
6	3,9
7	9,7
8	0,4
9	3,1
10	0,5
11	6,5
12	10,3
13	1,7
14	20,9
15	20,6
16	2,4
17	1,1
18	2,5
19	2,1
20	1,6
21	4,1
22	2,3
23	4,1
24	21,8
25	7,4
26	2,1
27	4,1
28	10,7
29	2,0
1	8,2
Celkem	167,3

2) Tabulka: Analýza 2.dne trasy PGAC

Celková délka (km)	Průměrná spotřeba vozidla (l/100 km)	Celková spotřeba vozidla na řešený okruh (l)	Průměrné náklady na palivo v říjnu 2017 na 1 km (Kč)	Náklady na pohonné hmoty celého okruhu (Kč)
167,3	11,78	17,73	2,7	451,71

3) Tabulka: Vzdálenostní matice 2. dne trasy PGAC

km	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
1	-	4,0	4,1	4,8	10,7	13,9	6,3	6,5	9,1	9,5	15,8	19,5	20,7	41,3	23,3	25,1	26,2	27,5	25,6	25,6	22,0	23,2	27,3	14,0	7,9	5,9	5,1	6,3	8,2
2	4,0	-	0,9	1,6	8,4	11,8	4,3	4,4	7,0	7,5	13,7	17,5	18,6	39,2	21,6	23,4	24,5	25,8	23,9	23,9	20,3	21,5	25,6	17,1	11,9	9,9	7,7	10,3	12,2
3	4,1	0,9	-	1,5	8,3	11,0	4,2	4,3	6,9	7,4	13,6	17,4	18,6	39,1	21,5	23,3	24,4	25,7	23,8	23,8	20,2	21,4	25,5	17,0	12,0	10,0	7,6	10,4	12,3
4	4,8	1,6	1,5	-	6,8	10,2	3,5	3,6	6,2	6,7	12,9	16,7	17,9	38,4	20,9	22,6	23,7	25,0	23,1	23,2	19,6	20,8	24,9	16,3	11,5	9,5	6,9	11,1	13,0
5	10,7	8,4	8,3	6,8	-	3,9	7,3	7,6	4,6	5,1	9,2	15,1	16,3	36,8	23,5	27,2	28,3	29,6	27,8	27,8	24,2	25,4	29,5	21,7	16,9	14,9	12,3	17,0	18,9
6	13,9	11,8	11,0	10,2	3,9	-	9,7	10,0	7,0	7,5	11,6	17,5	18,7	39,2	27,9	29,6	30,7	32,0	30,1	30,2	26,6	27,8	31,9	24,8	20,8	18,8	15,8	19,5	21,4
7	6,3	4,3	4,2	3,5	7,3	9,7	-	0,4	2,8	3,3	9,5	13,3	14,5	35,0	19,7	21,5	22,6	23,9	22,0	22,0	18,4	19,6	23,7	15,2	11,3	9,3	6,7	12,6	14,5
8	6,5	4,4	4,3	3,6	7,6	10,0	0,4	-	3,1	3,6	9,8	13,6	14,8	35,3	19,9	21,6	22,7	24,0	22,1	22,2	18,6	19,8	23,9	15,3	11,5	9,5	6,9	12,8	14,7
9	9,1	7,0	6,9	6,2	4,6	7,0	2,8	3,1	-	0,5	6,7	10,5	11,7	32,2	21,4	23,2	24,3	25,6	23,7	23,7	20,1	21,3	25,4	17,9	14,0	12,0	9,4	15,3	17,3
10	9,5	7,5	7,4	6,7	5,1	7,5	3,3	3,6	0,5	-	6,5	10,3	11,5	32,1	21,3	23,0	24,1	25,4	23,5	23,6	20,0	21,2	25,3	18,4	14,5	12,5	9,9	15,8	17,7
11	15,8	13,7	13,6	12,9	9,2	11,6	9,5	9,8	6,7	6,5	-	10,3	11,5	32,0	21,2	23,0	24,1	25,4	23,5	23,5	19,9	21,1	25,2	23,1	20,7	18,7	16,1	22,0	24,0
12	19,5	17,5	17,4	16,7	15,1	17,5	13,3	13,6	10,5	10,3	10,3	-	1,7	22,6	13,7	15,4	16,5	17,8	16,0	16,0	12,4	13,6	17,7	19,1	24,1	22,5	19,1	25,8	27,7
13	20,7	18,6	18,6	17,9	16,3	18,7	14,5	14,8	11,7	11,5	11,5	1,7	-	20,9	12,4	14,1	15,2	16,5	14,6	14,7	11,1	12,3	16,4	17,7	22,7	22,0	19,8	27,0	28,9
14	41,3	39,2	39,1	38,4	36,8	39,2	35,0	35,3	32,2	32,1	32,0	22,6	20,9	-	20,6	22,3	22,5	23,1	23,6	24,1	22,4	22,6	25,8	38,5	43,5	42,8	40,5	47,4	49,4
15	23,3	21,6	21,5	20,9	25,5	27,9	19,7	19,9	21,4	21,3	21,2	13,7	12,4	20,6	-	2,4	3,5	4,8	3,4	3,5	1,8	2,0	5,2	17,9	22,9	22,2	19,9	29,6	31,5
16	25,1	23,4	23,3	22,6	27,2	29,6	21,5	21,6	23,2	23,0	23,0	15,4	14,1	22,3	2,4	-	1,1	2,4	1,3	1,9	3,6	1,9	3,5	19,7	24,7	23,9	21,7	31,4	33,3
17	26,2	24,5	24,4	23,7	28,3	30,7	22,6	22,7	24,3	24,1	24,1	16,5	15,2	22,5	3,5	1,1	-	2,5	1,9	2,4	4,7	3,0	4,0	20,8	25,8	25,0	22,8	32,5	34,4
18	27,5	25,8	25,7	25,0	29,6	32,0	23,9	24,0	25,6	25,4	25,4	17,8	16,5	23,1	4,8	2,4	2,5	-	2,1	3,5	6,0	4,3	5,1	22,1	27,1	26,3	24,1	33,8	35,7
19	25,6	23,9	23,8	23,1	27,8	30,1	22,0	22,1	23,7	23,5	23,5	16,0	14,6	23,6	3,4	1,3	1,9	2,1	-	1,6	4,1	2,5	3,2	20,3	25,2	24,5	22,3	31,9	33,8
20	25,6	23,9	23,8	23,2	27,8	30,2	22,0	22,2	23,7	23,6	23,5	16,0	14,7	24,1	3,5	1,9	2,4	3,5	1,6	-	4,1	2,4	2,9	20,2	25,2	24,4	22,2	31,9	33,8
21	22,0	20,3	20,2	19,6	24,2	26,6	18,4	18,6	20,1	20,0	19,9	12,4	11,1	22,4	1,8	3,6	4,7	6,0	4,1	4,1	-	2,3	5,8	17,4	22,4	21,6	19,4	28,3	30,2
22	23,2	21,5	21,4	20,8	25,4	27,8	19,6	19,8	21,3	21,2	21,1	13,6	12,3	22,6	2,0	1,9	3,0	4,3	2,5	2,4	2,3	-	4,1	18,1	23,1	22,4	20,1	29,5	31,4
23	27,3	25,6	25,5	24,9	29,5	31,9	23,7	23,9	25,4	25,3	25,2	17,7	16,4	25,8	5,2	3,5	4,0	5,1	3,2	2,9	5,8	4,1	-	21,8	23,3	24,7	23,8	33,5	35,5
24	14,0	17,1	17,0	16,3	21,7	24,8	15,2	15,3	17,9	18,4	23,1	19,1	17,7	38,5	17,9	19,7	20,8	22,1	20,3	20,2	17,4	18,1	21,8	-	7,4	8,2	10,5	19,2	21,1
25	7,9	11,9	12,0	11,5	16,9	20,8	11,3	11,5	14,0	14,5	20,7	24,1	22,7	43,5	22,9	24,7	25,8	27,1	25,2	25,2	22,4	23,1	23,3	7,4	-	2,1	6,1	11,8	13,7
26	5,9	9,9	10,0	9,5	14,9	18,8	9,3	9,5	12,0	12,5	18,7	22,5	22,0	42,8	22,9	23,9	25,0	26,3	24,5	24,4	21,6	22,4	24,7	8,2	2,1	-	4,1	11,5	13,4
27	5,1	7,7	7,6	6,9	12,3	15,8	6,7	6,9	9,4	9,9	16,1	19,1	19,8	40,5	19,9	21,7	22,8	24,1	22,3	22,2	19,4	20,1	23,8	10,5	6,1	4,1	-	10,7	12,7
28	6,3	10,3	10,4	11,1	17,0	19,5	12,6	12,8	15,3	15,8	22,0	25,8	27,0	47,4	29,6	31,4	32,5	33,8	31,9	31,9	28,3	29,5	33,5	19,2	11,8	11,5	10,7	-	2,0
29	8,2	12,2	12,3	13,0	18,9	21,4	14,5	14,7	17,3	17,7	24,0	27,7	28,9	49,4	31,5	33,3	34,4	35,7	33,8	33,8	30,2	31,4	35,5	21,1	13,7	13,4	12,7	2,0	-

4) Tabulka: Řešení okruhu z 2.dne získané metodou nejbližšího souseda

Výchozí bod	Trasa	Délka trasy (km)
23	(23) - (20) - (19) - (16) - (17) - (18) - (22) - (15) - (21) - (13) - (12) - (10) - (9) - (7) - (8) - (4) - (3) - (2) - (1) - (27) - (26) - (25) - (24) - (28) - (29) - (5) - (6) - (11) - (14) - (23)	186,4

5) Tabulka: Řešení okruhu z 2.dne získané Vogelovou aproximační metodou

Výchozí bod	Trasa	Délka trasy (km)
27	(27) - (24) - (25) - (26) - (1) - (29) - (28) - (2) - (3) - (4) - (5) - (6) - (7) - (8) - (9) - (10) - (11) - (12) - (13) - (14) - (15) - (21) - (22) - (16) - (17) - (18) - (19) - (20) - (23) - (27)	173,2

6) Tabulka: Nejvýhodnější okruhy z 2.dne získané vybranými metodami

Metoda nejbližšího souseda		Vogelova aproximační metoda	
Místo	Vzdálenost (km)	Místo	Vzdálenost (km)
1	0	1	0
27	5,1	29	8,2
26	4,1	28	2,0
25	2,1	2	10,3
24	7,4	3	0,9
28	19,2	4	1,5
29	2,0	5	6,8
5	18,9	6	3,9
6	3,9	7	9,7
11	11,6	8	0,4
14	32,0	9	3,1
23	25,8	10	0,5
20	2,9	11	6,5
19	1,6	12	10,3
16	1,3	13	1,7
17	1,1	14	20,9
18	2,5	15	20,6
22	4,3	21	1,8
15	2,0	22	2,3
21	1,8	16	1,9
13	11,1	17	1,1
12	1,7	18	2,5
10	10,3	19	2,1
9	0,5	20	1,6
7	2,8	23	2,9
8	0,4	27	23,8
4	3,6	24	10,5
3	1,5	25	7,4
2	0,9	26	2,1
1	4,0	1	5,9
Celkem	186,4	Celkem	173,2

Příloha B: Třetí den trasy PGAC

1) Tabulka: 3. den tras PGAC

Místo	Vzdálenost (km)
1	0
2	6,5
3	3,4
4	5,0
5	13,8
6	3,1
7	5,9
8	5,3
9	3,1
10	2,9
11	3,4
12	12,1
13	6,5
14	9,0
15	2,6
16	0,3
17	3,8
18	9,1
19	2,9
20	23,8
21	5,0
22	0,5
23	1,6
24	0,4
25	3,4
26	8,0
1	5,4
Celkem	146,8

2) Tabulka: Analýza 3.dne trasy PGAC

Celková délka (km)	Průměrná spotřeba vozidla (l/100 km)	Celková spotřeba vozidla na řešený okruh (l)	Průměrné náklady na palivo v říjnu 2017 na 1 km (Kč)	Náklady na pohonné hmoty celého okruhu (Kč)
146,8	11,78	17,73	2,7	396,36

3) Tabulka: Vzdálenostní matice 3. dne trasy PGAC

km	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
1	-	6,5	6,4	10,7	13,3	14,1	16,5	17,1	19,7	19,1	19,2	30,4	24,3	23,1	25,0	25,2	27,5	31,5	34,3	13,7	14,5	14,0	12,7	12,3	9,9	5,4
2	6,5	-	3,4	7,6	9,8	10,6	14,4	13,6	15,7	13,1	13,3	24,5	18,4	19,6	21,5	21,8	24,1	28,0	30,9	17,1	18,0	17,5	16,1	15,8	13,4	9,9
3	6,4	3,4	-	5,0	11,9	12,7	16,5	15,7	17,8	15,2	15,3	26,5	20,4	21,7	23,6	23,9	26,2	30,1	33,0	18,3	19,1	18,6	17,3	16,9	15,8	13,4
4	10,7	7,6	5,0	-	13,8	15,4	20,0	19,2	17,2	14,6	14,7	25,9	19,8	25,2	27,1	27,4	29,7	33,6	36,5	22,6	23,4	22,9	21,6	21,2	18,8	14,5
5	13,3	9,8	11,9	13,8	-	3,1	7,7	6,9	9,5	12,4	13,2	23,1	16,6	12,9	14,8	15,0	17,3	21,3	24,2	19,1	21,2	20,7	19,4	19,0	15,7	9,9
6	14,1	10,6	12,7	15,4	3,1	-	5,9	5,1	7,7	10,6	13,3	21,3	14,8	11,1	13,1	13,3	15,6	19,5	22,4	17,4	20,9	20,4	19,1	18,7	15,7	10,7
7	16,5	14,4	16,5	20,0	7,7	5,9	-	5,3	7,9	10,8	13,5	21,5	15,0	11,3	13,2	13,5	15,7	19,7	22,6	11,5	16,2	15,7	14,4	14,0	11,0	12,9
8	17,1	13,6	15,7	19,2	6,9	5,1	5,3	-	3,1	6,0	8,7	16,7	10,2	7,1	9,0	9,2	11,5	15,5	18,4	16,8	21,5	21,0	19,7	19,3	16,3	13,7
9	19,7	15,7	17,8	17,2	9,5	7,7	7,9	3,1	-	2,9	5,6	13,6	7,1	8,6	10,5	10,7	13,0	17,0	19,8	19,4	24,1	23,6	22,3	21,9	18,9	16,3
10	19,1	13,1	15,2	14,6	12,4	10,6	10,8	6,0	2,9	-	3,4	14,8	8,3	11,5	13,4	13,6	15,9	19,9	22,7	22,3	27,0	26,5	25,2	24,8	21,8	19,2
11	19,2	13,3	15,3	14,7	13,2	13,3	13,5	8,7	5,6	3,4	-	12,1	5,7	14,2	16,1	16,3	18,6	22,6	25,4	25,0	29,7	29,2	27,9	27,5	24,5	18,8
12	30,4	24,5	26,5	25,9	23,1	21,3	21,5	16,7	13,6	14,8	12,1	-	6,5	15,4	17,9	18,2	20,5	24,4	27,3	32,8	37,6	37,1	35,7	35,4	32,3	29,9
13	24,3	18,4	20,4	19,8	16,6	14,8	15,0	10,2	7,1	8,3	5,7	6,5	-	9,0	11,5	11,7	14,0	17,9	20,8	26,5	31,2	30,7	29,4	29,0	26,0	23,4
14	23,1	19,6	21,7	25,2	12,9	11,1	11,3	7,1	8,6	11,5	14,2	15,4	9,0	-	2,6	2,9	5,7	9,7	12,5	22,2	24,5	24,1	25,0	24,9	22,3	19,8
15	25,0	21,5	23,6	27,1	14,8	13,1	13,2	9,0	10,5	13,4	16,1	17,9	11,5	2,6	-	0,3	3,5	7,5	10,3	20,0	22,3	21,9	22,8	22,7	23,6	21,7
16	25,2	21,8	23,9	27,4	15,0	13,3	13,5	9,2	10,7	13,6	16,3	18,2	11,7	2,9	0,3	-	3,8	7,7	10,6	20,3	22,6	22,1	23,0	22,9	23,8	21,9
17	27,5	24,1	26,2	29,7	17,3	15,6	15,7	11,5	13,0	15,9	18,6	20,5	14,0	5,7	3,5	3,8	-	9,1	12,0	21,7	24,0	23,6	24,5	24,4	25,3	24,2
18	31,5	28,0	30,1	33,6	21,3	19,5	19,7	15,5	17,0	19,9	22,6	24,4	17,9	9,7	7,5	7,7	9,1	-	2,9	20,9	23,2	22,8	23,7	23,6	24,5	28,0
19	34,3	30,9	33,0	36,5	24,2	22,4	22,6	18,4	19,8	22,7	25,4	27,3	20,8	12,5	10,3	10,6	12,0	2,9	-	23,8	26,1	25,7	26,5	26,4	27,4	30,8
20	13,7	17,1	18,3	22,6	19,1	17,4	11,5	16,8	19,4	22,3	25,0	32,8	26,5	22,2	20,0	20,3	21,7	20,9	23,8	-	5,0	4,6	5,4	5,3	4,8	11,9
21	14,5	18,0	19,1	23,4	21,2	20,9	16,2	21,5	24,1	27,0	29,7	37,6	31,2	24,5	22,3	22,6	24,0	23,2	26,1	5,0	-	0,5	2,1	2,2	5,6	12,6
22	14,0	17,5	18,6	22,9	20,7	20,4	15,7	21,0	23,6	26,5	29,2	37,1	30,7	24,1	21,9	22,1	23,6	22,8	25,7	22,8	22,8	23,7	26,5	26,4	27,4	30,8
23	12,7	16,1	17,3	21,6	19,4	19,1	14,4	19,7	22,3	25,2	27,9	35,7	29,4	25,0	22,8	23,0	24,5	23,7	26,5	23,7	22,8	23,7	26,5	26,4	27,4	30,8
24	12,3	15,8	16,9	21,2	19,0	18,7	14,0	19,3	21,9	24,8	27,5	35,4	29,0	24,9	22,7	22,9	24,4	23,6	26,4	23,6	23,7	26,5	26,4	27,4	30,8	10,4
25	9,9	13,4	14,5	18,8	15,7	15,7	11,0	16,3	18,9	21,8	24,5	32,3	26,0	22,3	23,6	23,8	25,3	24,5	27,4	24,5	24,5	27,4	27,4	28,0	30,8	8,0
26	5,4	6,9	8,1	12,4	9,9	10,7	12,9	13,7	16,3	19,2	18,8	29,9	23,4	19,8	21,7	21,9	24,2	28,0	30,8	11,9	12,6	12,1	10,8	10,4	8,0	-

4) Tabulka: Řešení okruhu z 3.dne získané metodou nejbližšího souseda

Výchozí bod	Trasa	Délka trasy (km)
3	(3) - (2) - (1) - (26) - (25) - (24) - (23) - (22) - (21) - (20) - (7) - (8) - (9) - (10) - (11) - (13) - (12) - (14) - (15) - (16) - (17) - (18) - (19) - (6) - (5) - (4) - (3)	151

5) Tabulka: Řešení okruhu z 3.dne získané Vogelovou aproximační metodou

Výchozí bod	Trasa	Délka trasy (km)
25	(25) - (26) - (1) - (2) - (3) - (4) - (5) - (6) - (7) - (8) - (9) - (10) - (11) - (13) - (12) - (14) - (15) - (16) - (17) - (18) - (19) - (20) - (22) - (21) - (23) - (24) - (25)	146,9

6) Tabulka: Nejvýhodnější okruhy z 3.dne získané vybranými metodami

Metoda nejbližšího souseda		Vogelova aproximační metoda	
Místo	Vzdálenost (km)	Místo	Vzdálenost (km)
1	0	1	0
26	5,4	2	6,5
25	8,0	3	3,4
24	3,4	4	5,0
23	0,4	5	13,8
22	1,6	6	3,1
21	0,5	7	5,9
20	5,0	8	5,3
7	11,5	9	3,1
8	5,3	10	2,9
9	3,1	11	3,4
10	2,9	13	5,7
11	3,4	12	6,5
13	5,7	14	15,4
12	6,5	15	2,6
14	15,4	16	0,3
15	2,6	17	3,8
16	0,3	18	9,1
17	3,8	19	2,9
18	9,1	20	23,8
19	2,9	22	4,6
6	22,4	21	0,5
5	3,1	23	2,1
4	13,8	24	0,4
3	5,0	25	3,4
2	3,4	26	8,0
1	6,5	1	5,4
Celkem	151	Celkem	146,9

Příloha C: Čtvrtý den trasy PGAC

1) Tabulka: 4.den trasy PGAC

Místo	Vzdálenost (km)
1	0
2	1,7
3	6,8
4	0,9
5	5,5
6	7,0
7	1,5
8	1,4
9	1,1
10	1,6
11	6,6
12	2,9
13	3,5
14	9,6
15	21,4
16	13,6
17	5,8
18	3,7
19	8,6
20	8,9
21	0,6
22	0,4
23	1,7
24	1,5
25	0,6
26	1,8
27	11,7
28	15,6
29	2,6
30	5,7
31	10,9
1	5,8
Celkem	171

2) Tabulka: Analýza 4.dne trasy PGAC

Celková délka (km)	Průměrná spotřeba vozidla (l/100 km)	Celková spotřeba vozidla na řešený okruh (l)	Průměrné náklady na palivo v říjnu 2017 na 1 km (Kč)	Náklady na pohonné hmoty celého okruhu (Kč)
171	11,78	17,73	2,7	461,70

3) Tabulka: Vzdálenostní matice 4. dne trasy PGAC

km	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
1	-	1,7	6,1	6,9	9,0	13,0	12,5	12,6	13,7	13,2	19,6	19,1	19,2	23,3	37,4	24,4	25,5	23,1	30,9	23,2	23,3	23,2	24,8	24,6	25,2	25,6	24,7	9,6	11,5	5,9	5,8
2	1,7	-	6,8	7,5	9,7	13,7	13,1	13,3	14,3	13,9	20,3	19,7	19,8	23,9	38,0	25,0	26,1	23,7	31,6	23,8	24,0	23,9	25,5	25,3	25,9	26,2	25,7	10,5	12,4	6,8	6,7
3	6,1	6,8	-	0,9	4,9	11,4	10,9	11,1	12,1	11,6	17,6	15,0	15,1	19,2	33,3	20,2	23,9	21,5	29,4	21,6	21,7	21,6	23,3	23,0	23,6	24,0	29,2	14,1	16,0	10,4	11,9
4	6,9	7,5	0,9	-	5,5	12,2	11,7	11,8	12,8	12,4	18,2	15,6	15,7	19,7	33,9	20,8	24,7	22,2	30,1	22,3	22,5	22,4	24,0	23,8	24,4	24,7	30,0	14,8	16,8	11,1	12,7
5	9,0	9,7	4,9	5,5	-	7,0	6,5	7,5	8,3	8,3	13,9	11,3	11,4	15,5	29,6	16,6	20,6	18,2	26,0	18,2	18,4	18,3	19,9	19,7	20,3	20,6	29,2	15,7	17,6	12,0	14,8
6	13,0	13,7	11,4	12,2	7,0	-	1,5	1,5	2,3	3,0	9,2	12,1	13,0	17,1	29,8	16,4	15,1	12,7	20,6	12,8	12,9	12,8	14,5	14,3	14,9	15,2	23,5	16,2	18,1	12,9	18,8
7	12,5	13,1	10,9	11,7	6,5	1,5	-	1,4	2,2	2,9	9,2	12,1	12,9	17,0	29,8	16,4	15,0	12,6	20,5	12,7	12,9	12,8	14,4	14,2	14,8	15,1	23,4	15,7	17,6	12,3	18,2
8	12,6	13,3	11,1	11,8	7,5	1,5	1,4	-	1,1	1,8	8,1	11,0	13,5	17,6	28,7	15,3	14,0	11,5	19,4	11,6	11,8	11,7	13,3	13,1	13,7	14,0	24,3	14,7	17,1	12,5	18,4
9	13,7	14,3	12,1	12,8	8,3	2,3	2,2	1,1	-	1,6	7,9	10,8	13,6	18,4	28,5	15,1	13,7	11,3	19,2	11,4	11,6	11,5	13,1	12,9	13,5	13,8	24,1	15,7	18,1	13,5	19,4
10	13,2	13,9	11,6	12,4	8,3	3,0	2,9	1,8	1,6	-	6,6	9,5	12,3	18,7	27,2	13,8	12,5	10,1	18,0	10,2	10,4	10,3	11,9	11,7	12,3	12,6	22,9	15,3	17,6	13,1	19,0
11	19,6	20,3	17,6	18,2	13,9	9,2	9,2	8,1	7,9	6,6	-	2,9	5,7	12,1	20,6	7,2	11,0	8,5	16,4	8,6	8,8	8,7	10,3	10,1	10,7	11,0	21,4	19,3	21,7	18,4	25,4
12	19,1	19,7	15,0	15,6	11,3	12,1	12,1	11,0	10,8	9,5	2,9	-	3,5	9,8	21,8	8,4	13,3	11,4	19,3	11,5	11,7	11,6	13,2	13,0	13,6	13,9	24,3	22,2	24,6	21,3	24,9
13	19,2	19,8	15,1	15,7	11,4	13,0	12,9	13,5	13,6	12,3	5,7	3,5	-	9,6	19,2	5,8	10,7	14,2	22,1	14,3	14,5	14,4	16,0	15,8	16,4	16,7	27,1	25,0	27,4	22,2	24,9
14	23,3	23,9	19,2	19,7	15,5	17,1	17,0	17,6	18,4	18,7	12,1	9,8	9,6	-	21,4	8,9	14,5	17,7	26,2	18,4	19,0	19,1	20,1	19,9	20,5	20,8	31,1	30,0	31,9	26,3	29,0
15	37,4	38,0	33,3	33,9	29,6	29,8	29,8	28,7	28,5	27,2	20,6	21,8	19,2	21,4	-	13,6	16,6	18,2	18,6	18,5	19,1	19,2	18,7	19,1	19,7	20,6	30,9	39,9	42,3	39,0	43,0
16	24,4	25,0	20,2	20,8	16,6	16,4	16,4	15,3	15,1	13,8	7,2	8,4	5,8	8,9	13,6	-	5,8	9,1	17,5	9,7	10,3	10,4	11,4	11,2	11,8	12,1	22,5	26,5	28,9	25,6	30,1
17	25,5	26,1	23,9	24,7	20,6	15,1	15,0	14,0	13,7	12,5	11,0	13,3	10,7	14,5	16,6	5,8	-	3,7	12,1	4,3	4,9	5,0	6,0	5,8	6,4	6,7	17,1	25,2	27,6	24,4	31,3
18	23,1	23,7	21,5	22,2	18,2	12,7	12,6	11,5	11,3	10,1	8,5	11,4	14,2	17,7	18,2	9,1	3,7	-	8,6	1,5	2,1	2,2	2,5	2,3	2,9	3,8	14,1	22,8	25,2	21,9	28,9
19	30,9	31,6	29,4	30,1	26,0	20,6	20,5	19,4	19,2	18,0	16,4	19,3	22,1	26,2	18,6	17,5	12,1	8,6	-	8,9	9,5	9,6	9,1	9,6	10,2	11,0	21,4	30,7	33,3	29,8	36,7
20	23,2	23,8	21,6	22,3	18,2	12,8	12,7	11,6	11,4	10,2	8,6	11,5	14,3	18,4	18,5	9,7	4,3	1,5	8,9	-	0,6	0,7	1,9	1,6	2,2	2,5	12,9	22,8	25,0	22,0	28,9
21	23,3	24,0	21,7	22,5	18,4	12,9	12,9	11,8	11,6	10,4	8,8	11,7	14,5	19,0	19,1	10,3	4,9	2,1	9,5	0,6	-	0,4	1,9	1,7	2,3	2,6	12,9	23,1	25,1	22,2	29,1
22	23,2	23,9	21,6	22,4	18,3	12,8	12,8	11,7	11,5	10,3	8,7	11,6	14,4	19,1	19,2	10,4	5,0	2,2	9,6	0,7	0,4	-	1,7	1,5	2,1	2,4	12,7	23,2	24,9	22,3	29,0
23	24,8	25,5	23,3	24,0	19,9	14,5	14,4	13,3	13,1	11,9	10,3	13,2	16,0	20,1	18,7	11,4	6,0	2,5	9,1	1,9	1,9	1,7	-	1,5	2,1	2,2	13,3	24,7	25,4	23,7	30,6
24	24,6	25,3	23,0	23,8	19,7	14,3	14,2	13,1	12,9	11,7	10,1	13,0	15,8	19,9	19,1	11,2	5,8	2,3	9,6	1,6	1,7	1,5	1,5	-	0,6	1,5	11,8	23,5	23,9	23,5	30,4
25	25,2	25,9	23,6	24,4	20,3	14,8	14,8	13,7	13,5	12,3	10,7	13,6	16,4	20,5	19,7	11,8	6,4	2,9	10,2	2,2	2,3	2,1	2,1	0,6	-	1,8	12,2	23,9	24,3	24,1	31,0
26	25,6	26,2	24,0	24,7	20,6	15,2	15,1	14,0	13,8	12,6	11,0	13,9	16,7	20,8	20,6	12,1	6,7	3,8	11,0	2,5	2,6	2,4	2,2	1,5	1,8	-	11,7	23,4	23,8	24,5	31,4
27	24,7	25,7	29,2	30,0	29,2	25,5	25,4	24,3	24,1	22,9	21,4	24,3	27,1	31,1	30,9	22,5	17,1	14,1	21,4	12,9	12,9	12,9	13,3	11,8	12,2	11,7	-	15,6	16,1	19,2	28,3
28	9,6	10,5	14,1	14,8	15,7	16,2	15,7	14,7	15,7	15,3	19,3	22,2	25,0	30,0	39,9	26,5	25,2	22,8	30,7	22,8	23,1	23,2	24,7	23,5	23,9	23,4	15,6	-	2,6	3,9	13,6
29	11,5	12,4	16,0	16,8	17,6	18,1	17,6	17,1	18,1	17,6	21,7	24,6	27,4	31,9	42,3	28,9	27,6	25,2	33,3	25,0	25,1	24,9	25,4	23,9	24,3	23,8	16,1	2,6	-	5,7	12,3
30	5,9	6,8	10,4	11,1	12,0	12,9	12,3	12,5	13,5	13,1	18,4	21,3	22,2	26,3	39,0	25,6	24,4	21,9	29,8	22,0	22,2	22,3	23,7	23,5	24,1	24,5	19,2	3,9	5,7	-	10,9
31	5,8	6,7	11,9	12,7	14,8	18,8	18,2	18,4	19,4	19,0	25,4	24,9	29,0	43,0	30,1	31,3	28,9	36,7	28,9	29,1	29,0	29,0	30,6	30,4	31,0	31,4	28,3	13,6	12,3	10,9	-

4) Tabulka: Řešení okruhu z 4.dne získané metodou nejbližšího souseda

Výchozí bod	Trasa	Délka trasy (km)
14	(14) - (16) - (13) - (12) - (11) - (10) - (9) - (8) - (7) - (6) - (5) - (3) - (4) - (1) - (2) - (31) - (30) - (28) - (29) - (27) - (26) - (24) - (25) - (23) - (22) - (21) - (20) - (18) - (17) - (19) - (15) - (14)	170,8

5) Tabulka: Řešení okruhu z 4.dne získané Vogelovou aproximační metodou

Výchozí bod	Trasa	Délka trasy (km)
23	(23) - (25) - (24) - (26) - (27) - (30) - (28) - (29) - (31) - (1) - (2) - (3) - (4) - (5) - (7) - (6) - (8) - (9) - (10) - (11) - (12) - (13) - (14) - (16) - (15) - (17) - (18) - (20) - (21) - (22) - (19) - (23)	173,4

6) Tabulka: Nejvýhodnější okruhy z 4.dne získané vybranými metodami

Metoda nejbližšího souseda		Vogelova aproximační metoda	
Místo	Vzdálenost (km)	Místo	Vzdálenost (km)
1	0	1	0
2	1,7	2	1,7
31	6,7	3	6,8
30	10,9	4	0,9
28	3,9	5	5,5
29	2,6	7	6,5
27	16,1	6	1,5
26	11,7	8	1,5
24	1,5	9	1,1
25	0,6	10	1,6
23	2,1	11	6,6
22	1,7	12	2,9
21	0,4	13	3,5
20	0,6	14	9,6
18	1,5	16	8,9
17	3,7	15	13,6
19	12,1	17	16,6
15	18,6	18	3,7
14	21,4	20	1,5
16	8,9	21	0,6
13	5,8	22	0,4
12	3,5	19	9,6
11	2,9	23	9,1
10	6,6	25	2,1
9	1,6	24	0,6
8	1,1	26	1,5
7	1,4	27	11,7
6	1,5	30	19,2
5	7,0	28	3,9
3	4,9	29	2,6
4	0,9	31	12,3
1	6,9	1	5,8
Celkem	170,8	Celkem	173,4

Příloha D: Pátý den trasy PGAC

1) Tabulka: 5.den trasy PGAC

Místo	Vzdálenost (km)
1	0
2	2,7
3	3,8
4	0,9
5	3,1
6	7,4
7	9,7
8	3,5
9	0,7
10	11,3
11	2,1
12	7,0
13	12,8
14	23,1
15	12,5
16	27,8
17	3,2
18	0,7
19	3,4
20	10,7
21	8,8
22	5,6
23	3,4
24	0,9
25	6,5
26	0,6
27	4,5
28	2,4
1	5,4
Celkem	184,5

2) Tabulka: Analýza 5.dne trasy PGAC

Celková délka (km)	Průměrná spotřeba vozidla (l/100 km)	Celková spotřeba vozidla na řešený okruh (l)	Průměrné náklady na palivo v říjnu 2017 na 1 km (Kč)	Náklady na pohonné hmoty celého okruhu (Kč)
184,5	11,78	17,73	2,7	498,15

3) Tabulka: Vzdálenostní matice 5. dne trasy PGAC

km	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
1	-	2,7	5,7	6,4	8,3	6,8	13,4	15,9	16,5	11,9	13,4	16,8	19,2	41,3	49,1	23,9	22,0	22,0	24,9	26,6	18,8	13,3	13,7	13,3	11,1	11,1	7,6	5,4
2	2,7	-	3,8	4,1	7,1	4,8	11,5	13,9	14,5	9,9	11,4	15,1	17,3	39,4	47,2	21,9	20,0	20,1	23,0	28,5	21,5	16,0	16,4	16,0	13,8	10,3	8,1	2,4
3	5,7	3,8	-	0,9	3,3	4,6	9,8	12,2	12,9	8,2	9,7	13,4	15,6	37,7	45,5	20,2	18,3	18,4	21,3	27,7	19,9	14,4	14,8	14,3	11,2	8,7	6,4	6,4
4	6,4	4,1	0,9	-	3,1	5,0	10,4	12,8	13,5	8,3	9,8	13,5	16,2	38,3	45,5	20,3	18,4	18,5	21,4	27,5	19,7	14,2	14,6	14,3	11,0	8,5	6,2	6,2
5	8,3	7,1	3,3	3,1	-	7,4	10,1	13,0	13,6	5,2	6,7	10,4	15,5	37,3	42,4	17,2	15,3	15,4	18,3	26,2	19,4	14,4	14,8	14,4	10,2	8,5	6,5	6,5
6	6,8	4,8	4,6	5,0	7,4	-	9,7	12,1	12,7	10,9	12,4	16,1	15,4	37,5	47,6	22,9	21,0	21,1	24,0	31,7	24,0	18,5	18,9	18,4	15,3	12,1	12,8	10,5
7	13,4	11,5	9,8	10,4	10,1	9,7	-	3,5	4,2	7,8	7,9	13,2	7,2	29,3	39,3	19,0	17,1	17,2	20,1	29,9	29,4	23,9	24,3	23,8	19,4	19,3	18,2	15,9
8	15,9	13,9	12,2	12,8	13,0	12,1	3,5	-	0,7	10,7	10,8	16,1	10,1	32,2	42,2	21,9	20,0	20,0	22,9	32,8	31,8	26,3	26,7	26,2	22,3	22,2	20,6	18,3
9	16,5	14,5	12,9	13,5	13,6	12,7	4,2	0,7	-	11,3	11,5	16,7	10,7	32,8	42,8	22,5	20,6	20,7	23,6	33,4	32,5	26,9	27,3	26,9	22,9	22,9	21,3	19,0
10	11,9	9,9	8,2	8,3	5,2	10,9	7,8	10,7	11,3	-	2,1	7,0	13,2	33,9	39,1	13,9	12,0	12,0	14,9	24,7	22,9	18,0	19,2	18,6	12,1	12,2	13,1	11,2
11	13,4	11,4	9,7	9,8	6,7	12,4	7,9	10,8	11,5	2,1	-	7,0	13,3	33,9	39,1	13,8	11,9	12,0	14,9	24,7	24,7	19,7	20,7	20,2	13,8	14,0	14,6	12,7
12	16,8	15,1	13,4	13,5	10,4	16,1	13,2	16,1	16,7	7,0	7,0	-	12,8	31,4	36,6	11,3	9,4	9,5	12,4	22,2	17,9	13,0	15,8	15,6	9,5	9,7	11,5	11,6
13	19,2	17,3	15,6	16,2	15,5	15,4	7,2	10,1	10,7	13,2	13,3	12,8	-	23,1	33,1	15,0	13,1	13,2	16,1	25,9	30,0	25,8	28,6	28,4	22,3	22,5	24,0	21,7
14	41,3	39,4	37,7	38,3	37,3	37,5	29,3	32,2	32,8	33,9	33,9	31,4	23,1	-	12,5	22,6	22,9	22,4	22,8	33,2	37,3	42,1	43,5	44,3	40,9	41,1	42,9	43,0
15	49,1	47,2	45,5	45,5	42,4	47,6	39,3	42,2	42,8	39,1	39,1	36,6	33,1	12,5	-	27,8	28,1	27,6	28,0	38,4	42,5	47,3	48,7	49,5	46,1	46,3	48,1	48,2
16	23,9	21,9	20,2	20,3	17,2	22,9	19,0	21,9	22,5	13,9	13,8	11,3	15,0	22,6	27,8	-	3,2	2,8	1,6	11,2	15,3	20,1	21,5	22,3	20,8	21,0	22,8	22,9
17	22,0	20,0	18,3	18,4	15,3	21,0	17,1	20,0	20,6	12,0	11,9	9,4	13,1	22,9	28,1	3,2	-	0,7	3,7	13,5	17,6	22,4	23,8	24,6	18,9	19,1	20,9	21,0
18	22,0	20,1	18,4	18,5	15,4	21,1	17,2	20,0	20,7	12,0	12,0	9,5	13,2	22,4	27,6	2,8	0,7	-	3,4	13,2	17,3	22,1	23,5	24,3	19,0	19,2	21,0	21,1
19	24,9	23,0	21,3	21,4	18,3	24,0	20,1	22,9	23,6	14,9	14,9	12,4	16,1	22,8	28,0	1,6	3,7	3,4	-	10,7	14,8	19,6	21,0	21,8	21,9	22,1	23,9	24,0
20	26,6	28,5	27,7	27,5	26,2	31,7	29,9	32,8	33,4	24,7	24,7	22,2	25,9	33,2	38,4	11,2	13,5	13,2	10,7	-	8,8	13,6	15,0	15,8	18,7	18,7	19,6	21,6
21	18,8	21,5	19,9	19,7	19,4	24,0	29,4	31,8	32,5	22,9	24,7	17,9	30,0	37,3	42,5	15,3	17,6	17,3	14,8	8,8	-	5,6	7,0	7,8	11,5	11,5	11,6	13,6
22	13,3	16,0	14,4	14,2	14,4	18,5	23,9	26,3	26,9	18,0	19,7	13,0	25,8	42,1	47,3	20,1	22,4	22,1	19,6	13,6	5,6	-	3,4	4,2	5,9	6,5	6,1	8,1
23	13,7	16,4	14,8	14,6	14,8	18,9	24,3	26,7	27,3	19,2	20,7	15,8	28,6	43,5	48,7	21,5	23,8	23,5	21,0	15,0	7,0	3,4	-	0,9	7,4	7,4	6,9	8,9
24	13,3	16,0	14,3	14,2	14,4	18,4	23,8	26,2	26,9	18,6	20,2	15,6	28,4	44,3	49,5	22,3	24,6	24,3	21,8	15,8	7,8	4,2	0,9	-	6,5	6,5	6,0	8,0
25	11,1	13,8	11,2	11,0	10,2	15,3	19,4	22,3	22,9	12,1	13,8	9,5	22,3	40,9	46,1	20,8	18,9	19,0	21,9	18,7	11,5	5,9	7,4	6,5	-	0,6	4,5	5,9
26	11,1	13,8	11,1	10,9	10,1	15,2	19,3	22,2	22,9	12,2	14,0	9,7	22,5	41,1	46,3	21,0	19,1	19,2	22,1	18,7	11,5	6,5	7,4	6,5	0,6	-	4,5	5,8
27	7,6	10,3	8,7	8,5	8,8	12,8	18,2	20,6	21,3	13,1	14,6	11,5	24,0	42,9	48,1	22,8	20,9	21,0	23,9	19,6	11,6	6,1	6,9	6,0	4,5	4,5	-	2,4
28	5,4	8,1	6,4	6,2	6,5	10,5	15,9	18,3	19,0	11,2	12,7	11,6	21,7	43,0	48,2	22,9	21,0	21,1	24,0	21,6	13,6	8,1	8,9	8,0	5,9	5,8	2,4	-

4) Tabulka: Řešení okruhu z 5.dne získané metodou nejbližšího souseda

Výchozí bod	Trasa	Délka trasy (km)
14	(14) - (15) - (18) - (17) - (16) - (19) - (20) - (21) - (22) - (23) - (24) - (27) - (28) - (1) - (2) - (3) - (4) - (5) - (10) - (11) - (12) - (25) - (26) - (6) - (7) - (8) - (9) - (13) - (14)	186,6

5) Tabulka: Řešení okruhu z 5.dne získané Vogelovou aproximační metodou

Výchozí bod	Trasa	Délka trasy (km)
14	(14) - (15) - (17) - (18) - (19) - (16) - (20) - (21) - (22) - (23) - (24) - (25) - (26) - (27) - (28) - (1) - (2) - (6) - (3) - (4) - (5) - (10) - (11) - (12) - (9) - (8) - (7) - (13) - (14)	177,2
14	(14) - (15) - (17) - (18) - (19) - (16) - (20) - (21) - (22) - (23) - (24) - (26) - (25) - (27) - (28) - (1) - (2) - (6) - (3) - (4) - (5) - (10) - (11) - (12) - (9) - (8) - (7) - (13) - (14)	177,2

6) Tabulka: Nejvýhodnější okruhy z 5.dne získané vybranými metodami

Metoda nejbližšího souseda		Vogelova aproximační metoda 1		Vogelova aproximační metoda 2	
Místo	Vzdálenost (km)	Místo	Vzdálenost (km)	Místo	Vzdálenosti (km)
1	0	1	0	1	0
2	2,7	2	2,7	2	2,7
3	3,8	6	4,8	6	4,8
4	0,9	3	4,6	3	4,6
5	3,1	4	0,9	4	0,9
10	5,2	5	3,1	5	3,1
11	2,1	10	5,2	10	5,2
12	7,0	11	2,1	11	2,1
25	9,5	12	7,0	12	7,0
26	0,6	9	16,7	9	16,7
6	15,2	8	0,7	8	0,7
7	9,7	7	3,5	7	3,5
8	3,5	13	7,2	13	7,2
9	0,7	14	23,1	14	23,1
13	10,7	15	12,5	15	12,5
14	23,1	17	28,1	17	28,1
15	12,5	18	0,7	18	0,7
18	27,6	19	3,4	19	3,4
17	0,7	16	1,6	16	1,6
16	3,2	20	11,2	20	11,2
19	1,6	21	8,8	21	8,8
20	10,7	22	5,6	22	5,6
21	8,8	23	3,4	23	3,4
22	5,6	24	0,9	24	0,9
23	3,4	25	6,5	26	6,5
24	0,9	26	0,6	25	0,6
27	6,0	27	4,5	27	4,5
28	2,4	28	2,4	28	2,4
1	5,4	1	5,4	1	5,4
Celkem	186,6	Celkem	177,2	Celkem	177,2