

Česká zemědělská univerzita v Praze

Provozně ekonomická fakulta

Katedra systémového inženýrství



Diplomová práce

**Optimalizace tras pro firmy zabývající se zásilkovou
službou**

Iva Pavlíčková

© 2015 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra systémového inženýrství

Provozně ekonomická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Iva Pavlíčková

Ekonomika a management

Název práce

Optimalizace tras pro firmy zabývající se zásilkovou službou

Anglický název

Optimization of Routes for Delivery Services Firms

Cíle práce

Cílem této práce je zhodnotit stávající dopravní trasy dané zásilkové firmy a poté provést jejich optimalizaci pomocí dopravních modelů. Optimalizace tras zvýší produktivitu práce a spotřeba paliva každého vozidla se výrazně sníží.

Metodika

- studium odborných literárních zdrojů
- shromáždění informací získané z praxe v zásilkové firmě
- výběr vhodných dopravních modelů
- nalezení optimálních tras na základě získaných dat
- analýza výsledného řešení

Rozsah textové části

60-80 stran

Klíčová slova

kapacita, okružní dopravní problém, optimální řešení, Plánování tras, vozidlo, vzdálenost, zásilka

Doporučené zdroje informací

další literatura dle potřeby

LAMBERT, Douglas M. Logistika: [příkladové studie, řízení zásob, přeprava a skladování, balení zboží]. Vyd. 2. Brno: CP Books, 2005. 589 s. ISBN 80-251-0504-0.

NOVÁK, R.; ZELENÝ, L.; PERNICA, P.; KOLÁŘ, P. Přepravní, zasilatelské a logistické služby. Vyd. 1. Praha: WoltersKluwer Česká republika, 2011. 391 s. ISBN 978-80-7357-735-3.

SIXTA, J.; MACÁT, V. Logistika: teorie a praxe. Vyd. 1. Brno: CP Books, 2005. 315 s. ISBN 80-251-0573-3.

ŠUBRT, T. a kol. Ekonomicko-matematické metody. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2011. 351 s. ISBN 978-80-7380-345-2.

Vedoucí práce

RNDr. Petr Kučera, Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 21. 10. 2014**doc. Ing. Tomáš Šubrt, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 10. 11. 2014**Ing. Martin Pelikán, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 05. 02. 2015

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Optimalizace tras pro firmy zabývající se zásilkovou službou" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího práce, s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 30. 3. 2015

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala mému vedoucímu diplomové práce panu RNDr. Petru Kučerovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné připomínky a rady při zpracování této práce.

Optimalizace tras pro firmy zabývající se zásilkovou službou

Optimization of Routes for Delivery Services Firms

Souhrn

V této diplomové práci jsou navrženy optimální trasy a zhodnoceny stávající trasy firmy United Parcel Service. Práce je rozdělena do dvou částí. První část obsahuje teoretické podklady, které vysvětlují význam logistické dopravy a následně představují jednotlivé disciplíny operačního výzkumu. Druhá část představuje vlastní zpracování, ve kterém dochází k samotnému řešení okružního dopravního problému. Při výpočtech jsou použity následující metody: metoda nejbližšího souseda, Vogelova aproximační metoda a metoda výhodnostních čísel. Nejlepších výsledků dosahuje metoda výhodnostních čísel, která ve všech trasách představuje nejnižší hodnotu ujetých kilometrů. Z dosažených výsledků lze vypozařovat, že žádná stávající trasa firmy není optimální, a proto je firmě doporučeno, aby přehodnotila dosavadní způsob plánování tras.

Klíčová slova: Okružní dopravní problém, optimální řešení, plánování tras, vozidlo, vzdálenost, zásilka

Summary

This diploma thesis proposes optimum routes and evaluates existing routes of United Parcel Service. The thesis is divided into two sections. The first section includes theoretical details, explaining the importance of logistics and subsequently representing individual disciplines of the operation research. The second section represents the actual processing, which the travelling salesman problem is resolved in. Following methods are used in calculations: the nearest neighbour method, the Vogel approximation method and the savings method. Best results were reached by savings method, which represents the lowest mileage in all routes. The results show that no existing route is optimal, therefore the company is suggested to reevaluate its present method of route planning.

Keywords: Travelling salesman problem, optimum solution, routes planning, vehicle, distance, shipment

Obsah

1	Úvod	10
2	Cíl práce a metodika	12
3	Literární rešerše	13
3.1	Logistická doprava	13
3.1.1	Plánování dopravy.....	13
3.1.2	Logistická obsluha území.....	14
3.1.2.1	Obsluha regionu	14
3.1.3	Proces přepravy	15
3.2	Poskytování dopravních služeb.....	15
3.2.1	Dodavatelské služby.....	17
3.2.2	Kurýrní služby.....	17
3.3	Trh logistických služeb	18
3.4	Operační výzkum	19
3.5	Matematické programování	19
3.6	Lineární programování.....	21
3.7	Distribuční úlohy.....	22
3.7.1	Okružní dopravní problém (TSP).....	23
3.7.1.1	Jednookružní dopravní problém.....	24
3.7.1.2	Víceokružní dopravní problém.....	25
3.7.1.3	Metody řešení	25
3.7.2	Program TSPKOSA pro MS Excel	28
4	Vlastní zpracování	29
4.1	Společnost UPS	29
4.2	Charakteristika problému	31
4.2.1	Postup řešení	31
4.2.2	Pražská oblast.....	31
4.2.2.1	Okruh Praha – Chodov	31
4.2.2.2	Okruh Nymburk	35
4.2.2.3	Okruh Rakovník	37
4.2.3	Oblast České Budějovice	40

4.2.3.1	Okruh 1.....	40
4.2.3.2	Okruh 2.....	42
4.2.4	Oblast Chomutov.....	45
4.2.4.1	Okruh 1.....	45
4.2.4.2	Okruh 2.....	47
5	Zhodnocení výsledků.....	49
5.1	Optimální trasa Praha – Chodov	49
5.2	Optimální trasa Nymburk.....	51
5.3	Optimální trasa Rakovník	52
5.4	Optimální trasy České Budějovice.....	53
5.4.1	Okruh 1.....	53
5.4.2	Okruh 2.....	55
5.5	Optimální trasy Chomutov	56
5.5.1	Okruh 1.....	56
5.5.2	Okruh 2.....	58
5.6	Souhrnná analýza	59
6	Závěr.....	62
	Seznam literatury	63
	Seznam tabulek	65
	Seznam obrázků	66
	Seznam grafů.....	67

1 Úvod

Největší výhodou dnešní doby je především neomezená možnost při koupi zboží. Je to hlavně díky moderním technologiím, které jsou součástí našeho každodenního života. Tyto moderní komunikace umožňují vyšší flexibilitu a také lepší komunikaci ve vztahu firma a zákazník. Na ústupu je doba, kdy veškeré zboží bylo k dispozici v kamenných obchodech a telekomunikační prostředky byly využívány pouze minimálně. Aktuálně převládá on-line přístup, a to především elektronické obchody, tzv. e-shopy.

Internet je jeden z největších nástrojů, který zajišťuje obchodovatelnost po celém světě. Zákazník se především zaměřuje při výběru zboží na dobré jméno firmy, cenu a dodací podmínky. Z tohoto důvodu je v zájmu firem zajistit co nejlepší servis nejenom v přepravě ke konečnému spotřebiteli, ale i v poskytovaném zákaznickém servisu.

V současné době není problém dopravit jakékoliv zboží do kteréhokoli místa na světě díky těmto možnostem. Každý si může zvolit, co je pro něj prioritou, a jaká oblast při koupi je tou nejdůležitější. V případě volby, kdy chceme mít zboží co nejrychleji u sebe, je důležité si zvolit vhodnou zásilkovou firmu, která zprostředkuje přepravu zboží spolu s ostatními logistickými činnostmi. Z důvodu globálního rozvoje musí firmy sledovat trh a požadavky zákazníka, aby neztratily svoji konkurenční výhodu. I v tomto zaměření platí, že ten kdo není připraven, nemůže na dané novinky pružně reagovat a uspokojit potřeby spotřebitele v požadovaném čase a kvalitě.

Na dnešním zasílatelském trhu se velmi zřídka vyskytují čistě zasílatelské podniky zaměřené pouze na obstarávání přepravy. Převážná většina společností má charakter obchodně-zasílatelský či dopravně-zasílatelský. Zasílatelství představuje velmi podstatný článek ve vnitrostátním, ale především zahraničním obchodě. S tímto souvisí také význam logistiky, který ovlivňuje životní úroveň společnosti. Pro firmu není nic důležitějšího než vše správně naplánovat tak, aby vše mělo své místo a svůj smysl. Důležitým faktorem je také poměr nákladů a výnosů. Proto je důležité mít vše doloženo potřebnými propočty. Jedině tak může být ziskovost dle očekávání.

Silniční nákladní přeprava patří celosvětově k nejprogresivněji se rozvíjejícím dopravním oborům. Jejimi přednostmi je především relativní rychlost, dostupnost, operativnost, rychlá přizpůsobivost změnám poptávky a schopnost bezproblémově realizovat systém přeprav. Má však i své nevýhody, které představují zejména negativní

vliv na krajinu a životní prostředí. Přesto její význam a podíl na přepravním trhu stále roste, např. v České republice se silniční přeprava řadí mezi nejvíce využívanou dopravní soustavu a dosahuje nejvyšších přepravních výkonů v tunových kilometrech.

2 Cíl práce a metodika

Cílem této práce je naplánovat optimální trasy pro danou zásilkovou firmu. Optimalizace tras firmě zajistí snížení nákladů vynaložených na spotřebované palivo během rozvozu zásilek.

Řešení daného problému vychází z aplikování teoretických poznatků získaných studiem odborné literatury a dalších zdrojů informací na podkladová data. Podkladová data pro vypracování diplomové práce mi poskytla firma United Parcel Service Czech Republic s.r.o., pro kterou již čtvrtým rokem pracuji na pozici brigádníka.

Společnost působí na českém trhu několik let, a proto má již trasy podle svých potřeb rozdělené do jednotlivých oblastí. Hlavní obslužnost představuje pražská oblast, která je rozdělena do čtyřiceti okruhů. Mimopražskou oblast tvoří čtrnáct okruhů a obsluhují je dvě externí firmy. Z těchto oblastí jsem vybrala tři okruhy pražské oblasti a čtyři okruhy mimopražské oblasti. Jednotlivé trasy zvolených okruhů budou řešeny pomocí dopravních okružních metod, tj. metoda nejbližšího souseda, Vogelova aproximační metoda a metoda výhodnostních čísel. Nástrojem pro řešení těchto metod bude program TSPKOSA doplněk pro MS Excel. Z vypočtených tras bude vybrána vždy ta s nejmenším počtem najetých kilometrů. Tímto způsobem dojde k požadované minimalizaci nákladů na přepravu.

Vzdálenosti mezi jednotlivými navštívenými místy budou vyhledány pomocí serveru mapy.cz, kde počet kilometrů bude stanoven v rámci nástroje plánování tras s kritériem nejkratší cesta akceptující placené úseky. Skutečné vzdálenosti budou zapsány v matici nejkratších vzdáleností, která vždy obsahuje výchozí data pro konkrétní oblast.

Členění práce do kapitol vypadá následovně: V kapitole 3 je čtenář seznámen s teoretickými podklady, které vysvětlují význam logistické dopravy spolu s dalšími souvisejícími termíny a následně představují jednotlivé disciplíny operačního výzkumu. Další kapitola obsahuje praktickou část, ve které dochází k samotnému řešení okružního dopravního problému. Nakonec jsou zhodnoceny výsledky a shrnuty závěry práce.

3 Literární rešerše

3.1 Logistická doprava

Doprava je specifická lidská činnost, která vede k cílevědomému a ekonomicky zdůvodněnému přemístování osob a věcí za účelem uspokojování potřeb přemístění.

V logistice je doprava nositelem hmotného toku. Doprava na přepravním řetězci logistického systému má určité specifické rysy. Předně plní potřeby přemístění v logistickém systému tak, aby byl v nákladové oblasti vytvářen synergický efekt, tzn., že se doprava nechová jako ryze komerční činnost, ale jako činnost organicky včleněná do integrovaného systému. Za druhé sebe sama optimalizuje především vytvářením funkčních modelů obsluhy na základě využitelných exaktních i heuristických optimalizačních metod.

Dopravou lze optimalizovat řadu činností na logistickém řetězci navázaných a také celkové náklady logistického systému v synergetickém efektu. [16]

3.1.1 Plánování dopravy

V posledních letech je výrazně kladen důraz na plánování dopravy z důvodu narůstající konkurence a vzhledem k řadě ekonomických faktorů (např. ceny pohonných hmot, práce, zařízení). Hlavní význam plánování dopravy spočívá v dosahování zisku a zákaznického servisu.

Díky efektivnímu plánování dopravy získávají dopravci výrazné přínosy. Např. pokud se předem stanoví časový plán dodávek a zároveň se sníží počet dodávek, dojde k navýšení vytíženosti vozidel. Snížení četnosti dodávek se může projevit i ve snížené hladině přepravy, která je nutná pro dodávku stejného množství zboží. Tím se snižují přepravní náklady a roste produktivita.

Dalším příkladem může být použití pevných přepravních tras namísto variabilních a změna dodacích dob zákazníkům. Jestliže je zákazník ochoten přijmout dodávky v době mimo špičku, bude mít dopravce pro dodání k dispozici větší časové rozmezí, a tudíž může zlepšit využití vozidel a snížit náklady dopravního prostředku v přepočtu na jednu dodávku.

V oblasti plánování dopravy je tedy nutná vyšší vytiženost vozidel, vyšší úroveň zákaznického servisu, nižší přepravní náklady, snížení kapitálových investic do dopravních prostředků a kvalitnější rozhodování managementu. [9]

3.1.2 Logistická obsluha území

Obsluhu území lze chápat jako integrovaný logistický systém, do něhož náležejí doprava zboží a materiálů, třídění zásilek a provozování vnitřního systému dopravy, obsluha skladů a obchodní sítě, dopravní obsluha malých a středních podniků jak na straně vstupu materiálů a surovin, tak na straně výstupu produkce, systém základní dopravní obslužnosti, rozšířený o zajištění přepravních potřeb za nákupy zboží kategorizované podle dostupnosti sortimentu. [16]

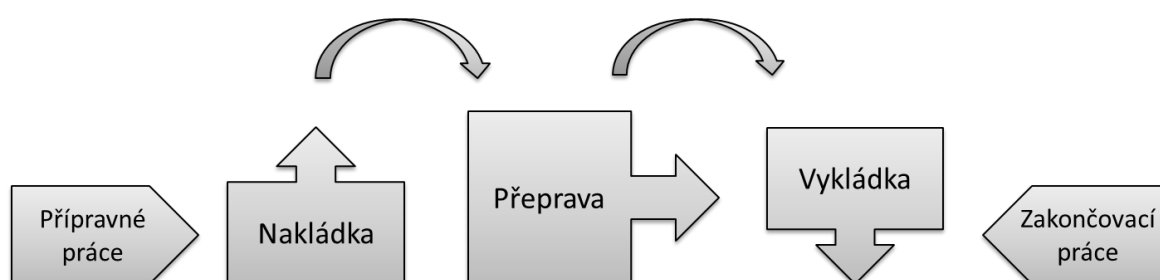
3.1.2.1 Obsluha regionu

Region představuje spádové území, které je nějakým způsobem vázáno určitými vazbami k centru, které je schopno zabezpečit požadovaný druh logistické obsluhy. Region na základní úrovni se značí anglickým názvem „Hub and Spoke“. Podstatou je existence jednoho centra (Hub), které přijímá nebo vypravuje velké zásilky, které kompletuje resp. dekompletuje a paprskovitě (Spoke) obsluhuje spádovou oblast. Těžiště regionu, ve kterém se provádějí operace definovaných logistických služeb, tvoří logistická centra.

Logistická centra přijímají konsolidované zásilky určité velikosti. Dekompletují zásilky velkoobjemové uspořádané ze směrů podle cílových příjemců a zabezpečují jejich přípravu pro přepravu z centra k odběrateli, včetně potřebného přepravního balení. Shromažďují zásilky exportované z regionu a vytvářejí z nich směrové komplety. Vypravují směrové zásilky určené buď přímým odběratelům, nebo jiným logistickým centrům. Logistické centrum nevytváří skladové zásoby a uskladnění zboží na přechodnou dobu vyplývá z technologie kompletace a dekompletace (může však sloužit jako veřejný sklad a poskytovat pro uživatele dodatečné dopravní služby). V rozsahu svých nadstandartních služeb obvykle zabezpečují zprostředkování celního odbavení zásilek, zejména pokud jde o region nadnárodního typu. [14]

3.1.3 Proces přepravy

Převravní proces na horizontální úrovni je definován jako sled činností nezbytných pro realizaci dopravních služeb. Velmi zjednodušeně je možno vyčlenit 5 různých etap převravního procesu, který je znázorněn na následujícím obrázku 1.



OBRÁZEK 1: HORIZONTÁLNÍ STRUKTURA PROCESU PŘEPRAVY, ZDROJ: [12]

V horizontální struktuře procesu přepravy se vyskytuje několik úrovní, které jsou stanoveny na základě kritéria funkčnosti. Na každé z etap převravního procesu je možno stanovit jednu nebo několik úrovní realizace. Mezi základní úrovně převravního procesu patří:

- technická (technologická) zahrnující aktivní a pasivní dopravní prostředky, manipulační jednotky a zařízení pro překládku;
- organizační – plánování a organizování činností nezbytných pro realizaci přepravy;
- finanční, která je odpovědná za cenovou strukturu a integraci finančního toku s toky předmětu přepravy;
- ustanovující odpovědnost přepravce. [12]

3.2 Poskytování dopravních služeb

Sektor služeb se řadí mezi nejdynamičtější oblasti ekonomiky. V budoucím období se předpokládá jejich další nárůst, a to zejména vlivem integračních a globalizačních procesů. Definovat pojem „služba“ se pokusila řada ekonomů i marketérů. Nejčastěji se používá definice podle Kotlera¹: „Služba je jakákoliv činnost nebo schopnost, kterou může

¹ Kotler, P.: Marketing management. Grada Publishing, Praha 1998, str. 411

jedna strana nabídnout druhé. Služba je svou podstatou nehmotná a nevytváří žádné hmotné vlastnictví. Poskytování služby může (ale nemusí) být spojeno s hmotným produktem.“ Při poskytování služeb je zákazník často v přímém kontaktu s poskytovatelem, avšak výsledek služby ovlivňují také všechny procesy, které poskytování služby podporují.

Skupina dopravních služeb je podle klasifikace OSN, tzv. Central Product Classification (CPC) členěna následně:

- námořní dopravní služby včetně osobní a nákladní dopravy, pronájmu lodí s posádkou, údržba a opravy lodí, tažné a tlačné služby a podpůrné služby v námořní dopravě,
- vnitrozemská vodní doprava a k ní se vztahují služby obdobné jako u námořní dopravy,
- letecká doprava a k ní se vztahující podpůrné služby,
- kosmická doprava,
- železniční doprava a k ní se vztahující podpůrné služby,
- silniční doprava a k ní se vztahující podpůrné služby,
- potrubní doprava včetně dopravy paliv a ostatního zboží,
- služby doprovázející všechny způsoby dopravy včetně manipulace s nákladem, skladové služby atd.,
- ostatní dopravní služby.

Poskytovatelem dopravní služby může být právnická nebo fyzická osoba (dopravce, zasílatel – speditér nebo jiný zprostředkovatel), která poskytuje dopravní službu zákazníkovi. Zákazníkem je zpravidla odesílatel zásilky či objednavatel přepravy.

Realizace dopravní služby se děje prostřednictvím dopravních, přepravních a manipulačních prostředků. Poskytování dopravní služby neznamena provést pouze přepravu, ale uskutečnit všechny nebo alespoň většinu úkolů s ní spojených (tj. před provedením, v průběhu a po skončení přepravy). [3]

3.2.1 Dodavatelské služby

Dodavatelské služby představují strategický faktor konkurenceschopnosti podniku. V prostředí vyspělého a globalizujícího se trhu, kde působí mnoho výrobců nabízející obdobné výrobky srovnatelné kvality, nabývají často podstatného významu.

V minulosti na trhu existovaly pouze výrobky jedinečného charakteru, zákazníci neměli žádnou možnost volby, a proto služba zákazníkům nebyla příliš důležitým činitelem ovlivňující jejich rozhodování. S postupným rozvojem výroby a nárůstu konkurence se výrobky stejného druhu od různých výrobců staly zastupitelnými a v souvislosti s tím začala důležitost služeb poskytovaných zákazníkům narůstat. [3]

Dodavatelské služby dnes tvoří již klíčovou součást služeb zákazníkům. Složky dodavatelských služeb, a zároveň kritéria kvality těchto služeb, představují:

- spolehlivost dodání,
- úplnost dodávek,
- krátké dodací lhůty,
- poskytované předprodejní a poprodejní služby
- kvalita distribuce,
- poskytování informací. [13]

Požadavky na dodavatele jsou vzhledem ke strategickému charakteru poskytované služby relativně vysoké. Mezi další kritéria výběru poskytovatele řadí zadavatelé jeho velikost, finanční stabilitu, zkušenosti poskytovatele se zadavatelským oborem, geografické pokrytí a schopnost sledovat zásilky, technické vybavení poskytovatele, jeho flexibilitu či firemní kulturu. [8]

3.2.2 Kurýrní služby

Mezi přepravní služby se řadí i kurýrní služby. Jsou to takové služby, které se zabývají přepravou, sběrem, zasíláním a doručováním malých kusových zásilek. Fungují na bázi tzv. „z domu do domu“ a doba dodání je často určena maximální časovou hranicí. Přeprava kusových zásilek je však omezena hmotností, velikostí a v některých případech i obsahem (nemohou obsahovat nebezpečné zboží). Kurýrní služby mohou zákazníkům nabídnout i jiné doplňkové služby jako je např. pojištění apod.

Dle ČAMEP² se o kurýrní službu jedná, jestliže splňuje alespoň čtyři činnosti z následujících služeb:

- převzetí zásilky v místě určeném odesílatelem,
- osobní doručení zásilky adresátovi,
- potvrzení odesílateli o doručení zásilky,
- monitorování zásilky během přepravy a umožnění jejího sledování jak odesílatelem, tak i příjemcem (adresátem),
- možnost změny adresy doručení během přepravy zásilky nebo
- služby uzpůsobená individuálním a osobním požadavkům týkající se převzetí, přepravy a doručení zásilky.

Postavení na trhu těchto služeb je dáno dlouhodobým zmenšováním velikosti zakázek, zvyšováním nároků na rychlost dodání a dále růstem mezinárodní přepravy zásilek.

Mezi nejvýznamnější celosvětové firmy zabývající se kurýrními službami patří TNT, DHL, United Parcel Service, FedEx apod. [13]

3.3 Trh logistických služeb

Evropský trh těchto služeb je charakterizován dlouhodobými vývojovými tendencemi. Důležitou roli sehrály původně poštovní společnosti, které svou agresivní strategií pronikly do oblasti logistických služeb, v níž dříve nepodnikaly, a získaly v ní významné postavení. Nyní na trhu působí několik velkých poskytovatelů, většinu však tvoří malí a střední poskytovatelé. Malí a střední poskytovatelé sužeb reagují na konkurenci v oboru uzavíráním a upevňováním strategických a kapitálových aliancí, které by jim měly zajistit konkurenční schopnost vůči velkým koncernům a holdingům. Velikost poskytovatele dává lepší naději na jeho dlouhodobé přežití. Velká konkurence, zvyšující se náročnost klientů na kvalitu služeb při silném tlaku na ceny služeb (u kurýrních, expresních a balíkových služeb navíc věrnost klientů) vedou na straně poskytovatelů ke zvyšování úrovně služeb a k vyvíjení nových druhů služeb, podložených novými technologiemi. Naději na úspěch má z dlouhodobého hlediska primární zaměření na

² ČAMEP – Česká asociace mezinárodních expresních přepravců

zvyšování výkonnosti a kvality služeb před úsporami nákladů. Nejperspektivnější jsou segmenty služeb s největší přidanou hodnotou. [13]

3.4 Operační výzkum

Vědní disciplína operační výzkum se zabývá formulováním, modelováním a řešením rozmanitých rozhodovacích situací, ve kterých rozhodovací subjekt vybírá řešení z mnoha možných řešení, které jsou k dispozici. [17]

Tato oblast je souborem víceméně samostatných vědeckých disciplín, které umožňují vyřešit rozhodovací problém většinou ve smyslu nalezení nejlepšího, tzv. optimálního řešení. [4]

Operační výzkum má své kořeny v plánování vojenských operací z poloviny 20. století, odkud se vzalo slovo „operační“ v názvu disciplíny. V současné době jsou pracoviště se specializací na operační výzkum v mnoha zemích po celém světě. Operační výzkum je disciplína, která aplikuje pokročilé analytické metody s cílem nacházet lepší řešení problémů. Operační výzkum se týká mnoho průmyslových oborů, od zdravotní péče k dopravě, od financí k lesnímu hospodářství. Operační výzkum v sobě spojuje optimalizační nástroje jako např. lineární a celočíselné programování, a modelovací techniky s kořeny v teorii pravděpodobnosti, teorii her a dalších. [1]

Principy operačního výzkumu se uplatňují při řešení řady manažerských problémů. V systémovém pojetí je možno brát firmu za otevřený produkční systém, který vstupy ze svého okolí transformuje na výstupy, které předává zpět svému okolí. Okolí poskytuje zpětnou vazbu produkčnímu systému. [5]

3.5 Matematické programování

Matematické programování lze zařadit mezi poměrně mladé obory. Od doby svého vzniku vyřešilo celou řadu problémů spojených s efektivním rozdělováním omezených prostředků. Aplikace matematického programování se uplatňuje téměř ve všech odvětvích, kde dochází k formulování a realizaci rozhodovacích procesů.

Předmětem matematického programování je sestava a řešení matematických modelů reálných situací vyskytujících se v běžném životě.

Každý matematický model je obecně složen ze dvou základních částí. Ze soustavy omezujících podmínek, které vymezují množinu přípustných řešení a z účelové funkce, která umožňuje posoudit kvalitu jednotlivých přípustných řešení z pohledu optimalizačního kritéria.

Na matematický model jsou obecně kladeny následující požadavky:

- musí co nejpřesněji vystihnout reálnou situaci, kterou modelujeme,
- musí být co nejjednodušší (tj. např. musí obsahovat co nejmenší počet proměnných apod.)

Některé z požadavků se mohou vzájemně vylučovat a zdůraznění některého z kritérií může vést k oslabení kritéria jiného. Proto se je důležité nalézt vyváženost mezi jednotlivými prvky. [2]

Matematické programování se zabývá řešením optimalizačních úloh, ve kterých se hledá extrém daného kritéria, definovaného ve tvaru kriteriální funkce n proměnných, na množině variant určených sestavou omezujících podmínek, které jsou zadány ve tvaru lineárních nebo nelineárních rovnic či nerovnic.

maximalizovat (minimalizovat)

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

za podmínek

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

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

:

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

$$x_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n,$$

kde n je počet proměnných modelu, m je počet jeho omezujících podmínek a $f(x)$, $g_i(x)$, $i = 1, 2, \dots, m$ jsou obecné funkce n proměnných. Z matematického hlediska jde o určení hodnot proměnných modelu x_j tak, aby byly respektovány všechny omezující podmínky úlohy, a aby byl dosažen extrém dané kriteriální funkce. [7]

3.6 Lineární programování

Při řešení celé řady ekonomických problémů lze využít modely a metody vědní disciplíny nazývané lineární programování, která je považována za základ operačního výzkumu. Svým zaměřením je lineární programování součástí širšího okruhu disciplín, souhrnně označovaného jako matematické programování. [4]

Vznik lineárního programování se datuje od přelomu 30. a 40. dvacátého století. V roce 1939 sovětský vědec L. V. Kantorovič v článku Matematické metody v organizaci a plánování výroby formulovat některé optimalizační problémy řízení výroby ve tvaru úloh lineárního programování a navrhl i metodu jejich řešení. V roce 1941 se anglický vědec F. L. Hirschcock zabýval optimalizačními problémy vedoucími na dopravní úlohu. Největší zásluhy o rozvoj teorie lineárního programování měl Američan G. B. Dantzig, který v letech 1947 – 1949 spolu s R. Hurwintzem a T. S. Koopmansem zformuloval všeobecnou úlohu lineárního programování a vyvinul simplexový algoritmus na její řešení. [11]

Lineární programování je nejlépe propracovanou částí matematického programování. Zabývá se teorií a numerickými metodami určování extrémů lineárních funkcí mnoha proměnných s lineárními omezujícími podmínkami.

V lineárním programování jsou definovány tři základní typy oboru hodnot proměnných a to:

- obor nezáporných reálných čísel,
- obor nezáporných celých čísel,
- obor bivalentních hodnot. [2]

Úlohy lineárního programování jsou optimalizační a nabízejí jedno nebo někdy i více nejlepších řešení daného problému. Optimální řešení je takové řešení, které je přípustné podle všech omezujících podmínek (i podmínek nezápornosti) a zároveň představuje minimum či maximum účelové funkce. [18]

O model lineárního programování se jedná, jestliže v jeho matematické formulaci se využívají pouze lineární funkce rovnic a nerovnic. Tento model má však jistou míru nepřesnosti, která vyplývá z předpokladu linearity zobrazovaných procesů a deterministického charakteru parametrů modelu, ale i přesto poskytují důležité informace v rámci rozhodování.

Lineární programování se pro svoji jednoduchost a širokou použitelnost stalo jednou z nejrozšířenějších metod využívaných při rozhodování. [19]

3.7 Distribuční úlohy

Oblast dopravy je svým charakterem velmi vhodná pro použití lineárního programování. Charakteristickým znakem pro většinu dopravních úloh je možnost variantního řešení na základě vzájemné zastupitelnosti volených cest nebo dopravních prostředků při jasných omezujících podmínkách (přepravovaná množství, kapacita dopravních prostředků apod.) a při ekonomickém účelu řešeného úkolu (např. minimální celkové přepravní náklady, minimalizace tunokilometrů na určitý rozsah přepravy apod.). [9]

Jedním ze základních distribučních problémů je tzv. okružní dopravní problém, označován jako úloha obchodního cestujícího. Cílem je obsloužit předem danou množinu zákazníků, vrátit se do výchozího místa a ujet přitom minimální vzdálenost. V této úloze není třeba uvažovat kapacitu obsluhujícího vozidla, protože požadavky všech zákazníků mají nulovou či zanedbatelnou velikost. V praktických úlohách není reálné všechny zákazníky obsloužit během dne jedním vozidlem, ale je nutné využít několik vozidel, která mohou vyjíždět ze stejného místa nebo z několika nezávislých míst. Více vozidel je nutné využít také v situacích, kde zákazníci mají nenulové požadavky a vozidla mají omezenou kapacitu dle nosnosti či objemu. Jedná se o tzv. rozvozní úlohy, jejichž cílem je uspokojit požadavky zákazníků a minimalizovat celkovou délku všech tras.

V distribučních úlohách představuje významnou úlohu kromě vzdálenosti, kterou vozidlo či vozidla ujedou, také čas. A to nejen z hlediska celkové doby potřebné k obslužení všech požadavků, ale také z hlediska časového intervalu, v němž může být určitý požadavek obsloužen. Tyto intervaly, které se nazývají časová okna, mnohdy zásadně ovlivňují strategii a náklady firem, neboť jejich důsledné dodržování v některých případech zcela mění trasy vozidel oproti případům, v nichž by žádná časová okna dodržena být nemusela. Je zřejmé, že po změně tras dochází nejen k prodloužení celkové ujeté vzdálenosti, ale velice často je nutné také navýšit počet vozidel tak, aby bylo dané požadavky možné vůbec uspokojit.

Posledním klasifikačním hlediskem je cíl, kterého chce firma dosáhnout. Je jasné, že každá firma poskytující distribuční služby chce minimalizovat náklady. Náklady se především odvíjejí od celkové délky tras, ale mohou také zahrnovat náklady na pronájem vozidel, nejrůznější penalizace, např. za nedodržení časových oken zákazníků, mýtné pro kamiony pohybující se po dálnicích apod.

Současná doba klade vysoké nároky na flexibilní reakci firem i na požadavky zákazníků. Z tohoto hlediska je podstatné rozlišovat statické a dynamické úlohy. Distribuční úlohy, které jsou řešeny pomocí standardních modelů a metod operačního výzkumu, využívají tzv. statický přístup. Informace o všech zákaznických a jejich požadavcích jsou známy předem, tj. před tím, než je úloha předána analytikům k nalezení optimálního řešení. V reálných situacích musí firma reagovat i na požadavky, které přicházejí až po nalezení optimálního řešení. Předmětem tzv. dynamického přístupu se stává rozhodnutí, jakým způsobem nově vzniklý požadavek obsloužit. [5]

3.7.1 Okružní dopravní problém (TSP³)

V praxi se okružní dopravní problém využívá tehdy, pokud je nutné přepravit určitý materiál od jednoho dodavatele k více spotřebitelům nebo od více dodavatelů k jednomu spotřebiteli. Okružní spojení jsou výhodnější oproti realizování každé trasy zvlášť. Hlavní přínos spočívá v tom, že se šetří náklady vynaložené na každý jednotlivý výjezd.

Z matematického hlediska se okružní dopravní problém řadí mezi tzv. NP-úplné problémy, pro které neexistuje žádný efektivní algoritmus, který by našel přesné matematické optimum. Důvod je takový, že počet omezujících podmínek v matematickém modelu úlohy roste velmi rychle (exponenciálně) s rostoucím počtem míst, a tak doba výpočtu jakoukoliv metodou roste stejně rychle a pro větší úlohy by byla nesrovnatelně větší než např. délka lidského života i než doba existence vesmíru.

Ovšem existuje řada aproximačních metod, jejichž řešení lze považovat za ekonomické optimum. [19]

³ Travelling Salesman Problem

3.7.1.1 Jednookružní dopravní problém

Mezi nejméně náročné okružní úlohy se řadí právě jednookružní dopravní problém. Představuje obsluhu jednotlivých míst pouze jedním okruhem. Bývá často označován jako okružní dopravní problém či problém obchodního cestujícího. [19]

Obecná formulace

Je dáno n míst (měst, uzlů) a sazba c_{ij} pro každou dvojici těchto měst (i, j) představující např. vzdálenost, spotřebu času nebo náklady pro přímé (či nejuvhodnější) spojení z místa i do místa j . Cílem úlohy je propojit všechna místa okružním spojením, tj. najít takovou posloupnost těchto míst, ve které se každé z nich vyskytuje právě jednou s výjimkou počátečního, které se objeví opět na jejím konci, aby součet sazeb pro jednotlivá spojení v této posloupnosti byl minimální. [19]

Matematický model

Má se najít minimum lineární funkce

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

za podmínek

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

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

$$u_i - u_j + nx_{ij} \leq n - 1, \quad i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, n; i \neq j \quad (4)$$

$$x_{ij} \in \{0; 1\}, \quad i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, n; i \neq j \quad (5)$$

Okružní trasa se sestaví tak, že každému projetému místu se přiřadí takové místo, které ho na okružní trase následuje. Aby se vyloučila možnost, kdy se jednotlivá místa objedou několika samostatnými okruhy, jsou k modelu přidány tzv. Tuckerovy podmínky (4). Obtížnost úlohy (NP-úplnost) ovšem nezapřičiňují Tuckerovy podmínky, ale

podmínky bivalentnosti proměnných (5). Pokud by se podmínka (5) nahradila podmínkami nezápornosti proměnných, optimální hodnoty proměnných by mohly vyjít v desetinných číslech.

Je-li tedy $x_{ij} = 1$, znamená to, že při průjezdu okruhem z i -tého místa se pokračuje do j -tého, v opačném případě $x_{ij} = 0$. [19]

3.7.1.2 Víceokružní dopravní problém

Víceokružní dopravní problém, nebo také trasovací problém, se využívá tehdy, pokud není možné realizovat přepravu jedním okruhem. Nastává to v případě, že se objeví různá omezení např. kapacitní, časová a další. Tyto okružní úlohy lze rozdělit na problémy s úplnou sítí cest, kde existuje spojení mezi libovolnými dvěma obsluhovými místy, a dále na problémy s neúplnou sítí cest, kde přímé spojení mezi některými dvojicemi míst nelze v průběhu přepravy realizovat.

Kapacitní omezení jsou nejčastější příčinou, proč je třeba okružní přepravu rozdělit do více okruhů. Kapacita vozidla často neumožní pokrýt požadavky všech míst na množství materiálu, které je nutné rozvést. Nejjednodušší situace nastává v případě, že všechna vozidla jsou stejná, mají stejnou kapacitu, která je menší než celkový objem požadavků. Je tedy třeba naplánovat několik okruhů (každý pro jedno vozidlo) tak, aby každý začínal a končil v centrálním místě, suma kapacit (požadavků) všech necentrálních míst, která se na něm nacházejí, přitom nesmí být větší než kapacita vozidla a každé necentrální místo musí ležet právě na jednom kruhu (do každého necentrálního místa musí některé vozidlo zajet, ale je zbytečné, aby tam jezdilo více vozidel. [19]

3.7.1.3 Metody řešení

Metoda nejbližšího souseda

Je to nejjednodušší metoda pro řešení okružního dopravního problému. Rosenkrantz, Stearns a Lewis [15] zkoumali tuto metodu a zjistili, že na rozdíl od jiných studovaných metod pro ni neexistuje žádný odhad přesnosti jejich řešení.

Řešení spočívá v určení výchozího místa, z něho se pokračuje do místa, do kterého vede nejvýhodnější spojení z výchozího místa, odkud pak do dalšího z těch míst, která

nebyla ještě navštívena a mají nejvýhodnější spojení z aktuálního místa. Tento způsob se opakuje do té doby, než dojde k propojení všech míst. Poté je důležité se vrátit zpět do výchozího místa.

Výpočet lze provést také v tabulce (matici) sazeb. Především se vyškrtne sloupec odpovídající výchozímu místu. V řádku odpovídajícím výchozímu místu se nalezne buňka s minimální sazbou a označí se, tzn. příslušné spojení je součástí výsledné okružní trasy. Tímto spojením došlo k přesunu do místa, jemuž odpovídá sloupec, v němž se tato buňka nachází. Tento sloupec se vyškrtne a znamená to, že se do tohoto místa již nevrací. V řádku odpovídajícím tomuto místu se vybere z buněk v dosud nevyškrtnutých sloupcích opět tu s nejvýhodnější (minimální) sazbou a celý postup se opakuje do té doby, dokud nejsou všechny sloupce vyškrtány (tj. nejsou navštívena všechna místa). Nakonec se obsadí buňka ve sloupci odpovídajícím výchozímu místu.

Postupně se zvolí všechna místa jako výchozí a pro každé se tímto postupem najde okružní trasa. Ze všech takto nalezených tras se vybere ta nejvýhodnější (s nejmenším součtem sazeb). [18]

Vogelova aproximační metoda

Vogelova aproximační metoda využívá rozdílů mezi dvěma nejvýhodnějšími sazbami v řádcích a sloupcích matice sazeb. Tím zajišťuje v průběhu celého výpočtu rovnoměrné obsazování výhodných spojů.

V každém řádku i sloupci matice sazeb se vypočítá diference mezi dvěma nejvýhodnějšími (minimálními) sazbami. V řádku nebo sloupci s největší diferencí se obsadí buňka a vyškrtne se jak řádek, tak i sloupec, ve kterých se obsazovaná buňka nachází, a kromě toho je třeba vyškrtnout ještě jednu další buňku, která s právě obsazenou buňkou a případně ještě několika již dříve obsazenými uzavírá kruh, který neprochází všemi místy. Po tomto vyškrtávání je třeba přepočítat řádkové i sloupcové diference. Postup se opakuje do úplného vyškrtání řádků a sloupců a poté se z označených buněk sestaví výsledná trasa. Sečtením sazeb buněk dojde k určení délky této trasy. [18]

Metoda výhodnostních čísel

Jedná se o jednu z nejstarších, ale přitom často využívaných metod pro řešení okružní dopravní úlohy, kterou studovali např. Frieze, Galbiati a Maffioli [6]. Algoritmus metody je následující: Nejprve se zvolí libovolně jeden z uzlů (dále značen číslicí 0). Pro každou dvojici ostatních uzlů i, j se spočte pro přímou trasu mezi nimi (se sazbou c_{ij}) výhodnostní číslo $s_{ij} = c_{i0} + c_{0j} - c_{ij}$. Trasy se řadí podle výhodnostních čísel od největšího po nejmenší. Postupně se v tomto pořadí zpracovávají a přidávají do okruhu, pokud mohou s dosud zařazenými tvořit okruh. Tímto způsobem nakonec vznikne cesta procházející všemi uzly kromě uzlu 0, který již jen zbývá k řešení připojit.

Uvedený postup je vhodné provést pro všechny možné volby uzlu 0 a jako řešení vybrat nejlepší takto získané. [14]

Metoda větví a mezí

Metoda větví a mezí představuje přímý přístup k řešení okružních dopravních úloh. Její princip spočívá v tom, že z množiny všech přípustných řešení se vybírají určité podmnožiny a pro každou z nich se stanoví dolní hranice hodnoty účelové funkce (součet sazeb). Postupným zmenšováním podmnožin s minimální dolní hranicí se nakonec dospěje k optimálnímu řešení. Řešení spočívá v nalezení přípustného řešení s minimální hodnotou účelové funkce. [20]

Mayerova metoda

V tabulce sazeb víceokružové úlohy se seřadí místa (v řádcích i sloupcích) podle vzdálenosti od místa centrálního svozu, které samotné se může v tabulce vynechat, a přidá se sloupec obsahující požadavky jednotlivých míst. Nyní se označí první sloupec této tabulky (tj. první místo je zvoleno do první okružní trasy) a požadavek v prvním řádku a vyškrtne se první řádek. Pro každé z ostatních míst se sečte jeho přepravní požadavek s označeným a u všech míst, kde tento součet bude větší než kapacita vozidla, vyškrtne se v prvním sloupci buňka v příslušném řádku (zpravidla, pokud nejsou přepravní požadavky vzhledem ke kapacitě vozidla neúměrně velké, takový případ nenastane). Z nevyškrtnutých prvků v prvním sloupci se vybere minimální, není-li výběr jednoznačný, pak se zvolí první takový prvek v pořadí (nejhořejší). Ten označuje místo, které jako další se přiřadí do právě

konstruované okružní trasy. Odpovídající sloupec a požadavek v odpovídajícím řádku se označí (zvýrazní) a řádek se vyškrtne. Sečtou se vyznačené požadavky a pro ta místa, kde přičtením jejich požadavku k uvedenému součtu je překročena kapacita vozidla, opět se vyškrtnou v označených sloupcích buňky v odpovídajících řádcích. Z nevyškrtnutých prvků v označených sloupcích stejným způsobem se vybere minimální prvek a tím další místo okružní trasy. Celý postup se opakuje, dokud při porovnávání kapacit se nevyškrtají všechny sazby v označených sloupcích. Tím se vybrala místa pro první okružní trasu. Ta je nutné si poznačit, dále se vyškrtnou příslušné sloupce a požadavky a ve zbylé části tabulky se hledají stejným způsobem místa do dalších okružních tras.

Zbývá ještě místa v jednotlivých okruzích seřadit. K tomu lze použít např. některou z uvedených metod pro řešení jednookruhové úlohy. [18]

3.7.2 Program TSPKOSA pro MS Excel

Program TSPKOSA vytvořili členové katedry systémového inženýrství (Ing. Igor Krejčí, RNDr. Petr Kučera Ph.D.) a statistiky (Ing. Hana Vostrá Vydrová) s podporou Fondu rozvoje vysokých škol (projekt 2678/2010). Program je určen pro řešení okružního dopravního problému pomocí čtyř metod. Dokáže řešit úlohy, které obsahují až 250 uzlů. Po provedení výpočtů TSPKOSA vygeneruje výstup, který lze reportovat v novém listu MS Excel. Program je vytvořen v programovacím jazyku Microsoft Visual Basic 6.5.

Metody:

- Aproximační
 - Metoda nejbližšího souseda (sekvenčně)
 - Vogelova aproximační metoda
 - Metoda výhodnostních čísel (paralelně)
- Optimalizační
 - Metoda větví a mezí

4 Vlastní zpracování

4.1 Společnost UPS

Vznik původně malé zásilkové firmy pod názvem United Parcel Service se datuje k 28. srpnu roku 1907, kdy byl první provoz zahájen v americkém Seattlu. V současné době je světovým sídlem Atlanta. Postupem času se tato malá společnost rozrostla a díky tomu následně expandovala i do dalších zemí světa. V Evropě začala firma působit v roce 1976 a nejdůležitějším evropským centrem je Brusel.

V současné době společnost United Parcel Service zajišťuje v Evropě export zásilek do šedesáti zemí a teritorií a zákazníci mají možnost podat své zásilky na přibližně 2000 místech. Celosvětově je možné využít služby až ve 250 zemích. United Parcel Service zaměstnává celosvětově 398 300 lidí – z toho ve Spojených státech amerických 324 000, u nás v Evropě toto číslo dosahuje téměř 43 000 zaměstnanců.

Denně je přepraveno až šestnáct miliónů balíků a dokumentů, které mohou být poslány různou službou – od doručení do druhého dne až po doručení za několik dnů. Zákazníci si mohou vybrat ze služeb jako je UPS Express Plus (ranní dodávky následujícího dne), UPS Express (doručení následující den dopoledne do zemí Evropy a doručení po celém světě v určený čas), UPS Express Saver (doručení během následujícího pracovního dne v Evropě a rychlé doručení po celém světě), UPS Standard (doručení ve stanovený den po celé Evropě), UPS Expedited (doručení v předem stanovený den do mimoevropských míst určení), UPS Worldwide Express Freight (rychlé doručení paletových zásilek po celém světě). Cenu zásilky UPS určuje typ přepravy, zóna místa určení, hmotnost a případné příplatky.

Firma se díky svým službám zařadila na žebříček nejvíce využívaných zásilkových služeb na světě a má mnoho stálých, spokojených zákazníků – někteří z nich využívají služby firmy už celé roky. Proto není divu, že obrat United Parcel Service přesahuje několik miliard dolarů ročně.

V současné době se UPS neustále rozrůstá a rozšiřuje své působení do většiny zemí světa. Udržuje si také prvenství jak v doručování obchodních balíků, tak v poskytování specializovaných služeb a logistice. Díky neustálé snaze o zlepšování svých služeb firma

v Evropě využívá téměř devět tisíc transportérů – jako jsou vozidla, dodávky, tahače a motocykly. V Evropě je denně využíváno celkem 55 letišť, mezikontinentálních 13.

Pražská pobočka je hlavním UPS centrem v České republice a pracuje zde celkem 120 zaměstnanců. Velký podíl na exportu zásilek do zahraničí mají brigádníci. Firma zaměstnává celkem 27 brigádníků – z toho 20 chlapců, kteří se starají o správné rozřazení zásilek, zachycení nebezpečného zboží a mnoho dalšího. Dívek je zaměstnáno podstatně méně a to 7 – mají na starosti administrativu, zapisování informací z objednávek do systému, spolupráce s celním oddělením, odeslání dokumentů k zásilkám do příslušných zemí a mnoho dalšího. [21]



OBRÁZEK 2: DORUČOVÁNÍ ZÁSILEK, ZDROJ: [HTTP://WWW.WEAREUNITI.COM/WP-CONTENT/UPLOADS/2014/12/UPS_HEVNEW001.JPG](http://www.weareuniti.com/wp-content/uploads/2014/12/UPS_HEVNEW001.JPG)

4.2 Charakteristika problému

V této kapitole jsou optimalizovány jednotlivé trasy aplikací vybraných dopravních okružních metod. Podkladová data zahrnují tři okruhy pražské oblasti (Praha – Chodov, Nymburk, Rakovník), dva okruhy mimopražské oblasti České Budějovice (Okruh 1, Okruh 2) a dva okruhy mimopražské oblasti Chomutov (Okruh 1, Okruh 2). Každý okruh se skládá z příslušných míst a sám kurýr si trasu naplánuje podle zásilek, které je potřeba doručit eventuálně vyzvednout od dané firmy či fyzické osoby. Jednotlivé okruhy se často mění vlivem objednávek zákazníků, a proto jsou neustále upravovány a aktualizovány. Z tohoto důvodu jsou vybrány takové okruhy, ve kterých dochází především k obslužnosti stálých zákazníků.

4.2.1 Postup řešení

Vzdálenosti mezi jednotlivými místy se zapíší do matice nejkratších vzdáleností. Hodnoty v matici jsou uvedeny v kilometrech. Dále k provedení výpočtu jsou vybrány metody, tj. metoda nejbližšího souseda, Vogelova aproximační a metoda výhodnostních čísel. V literární rešerši je podrobně vysvětlen princip jejich algoritmů. Následně program TSPKOSA vygeneruje počet nalezených cyklů. Cyklus s minimální hodnotou účelové funkce splňuje podmínky pro nalezení optimální trasy. V posledním kroku jsou porovnány výsledky všech metod a vybrány trasy s minimálním počtem kilometrů.

4.2.2 Pražská oblast

Ve firemním plánu rozvážek představuje pražská oblast každodenní obslužnost. Pražským okruhům věnuje společnost velkou pozornost vzhledem k jejich značné vytíženosti a obslužnosti velkého počtu stálých zákazníků.

4.2.2.1 Okruh Praha – Chodov

Okruh Praha – Chodov představuje obslužnost části Praha 4. V následující tabulce 1 jsou uvedena jednotlivá pořadí míst stávající trasy firmy a dále tabulka 2 obsahuje nejkratší vzdálenosti mezi navštívenými místy.

Pořadí	Místo	Počet km
1	K letišti	-
2	Daimlerova	31,1
3	Klapálkova	1,1
4	Klíčova	0,76
5	V Lomech	2
6	Medkova	0,38
7	Turkova	2
8	V Parku	1,9
9	Tomíčková	2,1
10	Kloknerova	1,6
11	Hráského	1,5
12	Roztylská	1
13	Líbalova	3,1
14	Radimovická	1,8
15	Proutěná	1,1
16	Štítova	1,2
17	Studánková	0,72
18	Bellova	4,7
19	Jakobiho	1
20	Rašova	2,7
21	Leopoldova	3,1
22	Brandlova	1,6
23	U rybářství	1,6
24	Staňkova	0,74
25	Štichova	1,3
26	Mendelova	0,46
27	Kosmická	0,22
28	Ovesná	4,7
29	Parmská	0,57
30	Janovská	0,32
31	Milánská	1,7
32	Nad přehradou	0,49
33	Budapeštská	5,3
34	K Čestlicům	5,5
35	U Císařské cesty	5,5
36	V listnáčích	2,5
37	Za podjezdem	2,6
38	Břízova	3,3
39	Přátelství	4,9
40	Křešínská	0,77
41	Kutnohorská	2,3
42	K letišti	39,4
Celkem		150,63

TABULKA 1: STÁVAJÍCÍ TRASA FIRMY, OKRUH PRAHA - CHODOV

	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	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	
1	x	31,1	30,4	31,2	32,2	32,2	30,8	36	30,6	31,3	31,3	30,3	33,1	33,3	33,8	33,9	33,7	37,2	37,3	35	32	34,2	33,1	35	34,8	34,4	34,6	40	39,6	39,7	39,9	40,4	32,9	47,7	45,3	44,1	47,6	48	48,7	48,1	39	
2	30,7	x	1,1	0,83	2,7	2,6	0,94	2,7	1,9	2,5	2,6	1,7	2,5	4	4,5	4,7	4,4	5,7	6,5	4,8	1,9	3,4	3,3	3,6	4,5	4,3	4,5	7,6	7,6	7,7	7,5	7,5	2,9	6,5	11,3	13,2	11,8	14,3	9,8	9,1	9,1	
3	30,5	1,1	x	0,76	2,7	2,6	1,3	2,7	1,7	2,6	2,6	1,7	2,5	4	4,5	4,7	4,4	5,6	6,4	4,7	1,9	3,4	3,2	3,5	4,4	4,2	4,4	7,5	7,5	7,6	7,3	7,5	2,8	6,5	11,2	13,1	11,7	14,3	9,7	9	8,9	
4	31	0,74	0,76	x	2	2	0,92	2	2,1	1,9	1,9	1,1	1,8	3,3	3,8	4	3,7	5	5,7	4	1,2	2,7	2,5	2,9	3,7	3,5	3,7	6,8	6,8	6,9	6,8	6,8	2,1	5,8	10,5	12,5	11	13,6	9	8,3	8,3	
5	33,6	1,9	2,6	2	x	0,38	2,1	3,1	3,3	3	3	2,2	0,92	2,4	3	3,1	2,8	5,6	6,4	4,1	2,5	2,8	3,2	3,7	3,9	3,6	3,8	7,5	7,5	7,6	7,6	7,5	3,6	6,4	11,1	13	11,7	14,3	9,7	9	9,2	
6	33,7	1,8	2,6	2	0,38	x	2	3,1	3,3	3	3	2,1	0,97	2,5	3	3,2	2,9	5,7	6,5	4,2	2,5	2,9	3,1	3,8	4	3,6	3,8	7,5	7,5	7,7	7,7	7,5	3,5	6,5	11,1	13	11,7	14,3	9,8	9	9,2	
7	30,9	0,8	1,3	0,89	2	1,9	x	1,9	1,8	1,8	1,8	1	1	1,8	3,3	3,8	4	3,7	5,5	6,3	4,4	1,7	2,6	2,8	3,4	4,2	3,8	4,1	7,4	7,3	7,5	7,3	7,3	2,6	6,3	11,1	13	11,6	14,1	9,6	8,8	8,9
8	35,3	1,7	2,5	1,8	2,9	2,8	1,5	x	2,1	1,7	0,57	1,1	2,7	3,1	3,6	3,8	3,4	6,2	7	4,7	2,6	3,5	3,7	4,3	4,5	4,2	4,4	8,1	8,1	8,2	8,2	8,1	3,5	7	11	12,9	12,3	14,9	10,3	9,6	9,8	
9	29,6	2,1	1,7	2	3,3	3,3	1,8	2,1	x	1,6	2	1,8	3,1	4,6	5,1	5,3	5	6,8	7,6	5,7	3,1	4	4,1	4,7	5,5	5,2	5,4	8,7	8,6	8,8	8,1	8,6	4	7,6	12,4	14,3	12,9	15,5	10,9	10,2	9,7	
10	31,8	1,9	2,7	2	3,1	3	1,7	1,6	1,6	x	1,5	1,3	2,8	4,4	4,9	5,1	4,8	6,6	7,4	5,5	2,8	3,7	3,9	4,5	5,3	4,9	5,2	8,5	8,4	8,6	8,4	8,4	3,7	7,4	12,2	14,1	12,7	15,2	10,7	9,9	10	
11	35,5	1,6	2,4	1,7	2,8	2,7	1,4	0,57	2	1,6	x	1	2,6	3,4	3,9	4,1	3,7	6,3	7,1	5	2,5	3,4	3,6	4,2	4,8	4,5	4,7	8,2	8,2	8,3	8,1	8,1	3,4	7,1	11,3	13,2	12,4	14,9	10,4	9,7	9,7	
12	34,7	4,7	5,4	4,7	4,3	4,3	4,6	3,8	5,8	5,4	4,1	x	3,1	3,3	3,9	4	3,7	6,5	7,3	5	4,1	4,3	4,8	5	4,8	4,5	4,7	8,4	8,4	8,5	8,5	8,4	5,2	7,3	11,1	13	12,6	15,2	10,6	9,9	10,1	
13	33	1,7	2,5	1,8	1,4	1,4	1,9	2,8	3,2	2,9	2,9	2	x	1,8	2,3	2,5	2,2	4,3	5,1	3,1	1,2	1,3	1,9	2,2	2,9	2,5	2,8	6,2	6,2	6,3	6,4	6,2	2,3	5,1	9,9	11,8	10,4	13	8,4	7,7	7,9	
14	33,3	3,2	4	3,3	2,9	2,9	3,2	3	4,7	4,2	3,3	3,4	1,7	x	1,1	1,3	1	4,3	5,1	2,8	2,7	2,3	2,7	2,8	2,6	2,2	2,5	6,2	6,1	6,3	6,3	6,1	3,8	5,1	9,6	11,5	10,4	12,9	8,4	7,6	7,9	
15	33,8	3,8	4,5	3,8	3,4	3,4	3,8	3,6	5,2	4,8	3,9	3,9	2,2	1,1	x	1,2	0,93	4,8	5,6	3,3	3,2	2,9	3,2	3,3	3,1	2,8	3	6,7	6,7	6,8	6,8	6,7	4,3	5,3	9,5	11,5	10,9	13,4	8,9	8,2	8,4	
16	33,9	3,9	4,6	4	3,5	3,6	3,9	3,7	5,3	4,9	4	4,1	2,3	1,3	1,2	x	0,72	4,9	5,7	3,4	3,3	3	3,3	3,4	3,2	2,9	3,1	6,8	6,8	6,9	7	6,8	4,4	4,2	8,5	10,4	10,8	13,3	8,8	8,1	8,5	
17	33,7	3,6	4,4	3,7	3,3	3,3	3,6	3,4	5,1	4,6	3,7	3,8	2,1	1	0,93	0,79	x	4,7	5,5	3,2	2,1	2,7	3,1	3,2	3	2,6	2,9	6,6	6,5	6,7	6,7	6,5	4,1	4,8	9,1	11	10,8	13,3	8,8	8	8,3	
18	37,2	5,4	5,7	5	5,1	5,2	5,5	6,3	6,8	6,5	6,5	5,7	4,5	4,4	4,9	5,1	4,8	x	1	1,9	4	3,3	2,9	2,2	2,2	2,2	2,4	2	1,9	2,1	2,1	1,9	4,7	2,9	5,8	7,8	6,3	8,9	4,3	3,6	3,6	
19	37,5	6,1	6,4	5,8	5,9	6	6,3	7	7,6	7,3	7,3	6,5	5,3	5,1	5,7	5,8	5,5	1	x	2,7	4,8	4,1	3,6	3	3	3	3,2	3,2	3,2	2,4	2,5	2,3	5,3	3	5,9	7,8	6,4	8,9	4,4	3,7	4	
20	34,9	4,2	4,7	4	3,8	3,9	4,4	4,7	5,6	5,3	5	4,5	3,2	2,8	3,3	3,5	3,2	1,9	2,7	x	3,1	2	1,9	1,2	0,28	0,65	0,87	3,8	3,8	3,9	4	3,8	3,8	2,7	7,5	9,4	8	10,6	6	5,3	5,5	
21	34	1,6	1,9	1,2	1,9	1,9	1,7	2,8	3	2,7	2,7	1,9	1,3	2,8	3,3	3,5	3,2	4,1	4,9	3,1	x	1,6	1,4	2	2,9	2,7	2,8	6	5,9	6,1	5,9	5,9	1,2	4,9	9,7	11,6	10,2	12,7	8,2	7,4	7,5	
22	34	2,2	3	2,3	1,9	1,9	2,4	3,5	3,7	3,3	3,4	2,5	1,3	2,8	3,3	3,5	3,2	4,1	4,9	2,8	1,7	x	1,6	2	2,7	2,3	2,5	6	5,9	6,1	6,1	5,9	2,7	4,9	9,7	11,6	10,2	12,7	8,2	7,4	7,7	
23	34,7	2,7	3,2	2,5	2,5	2,6	2,9	3,9	4,1	3,8	3,8	3	1,9	2,5	3	3,2	2,8	2,9	3,6	1,9	1,4	0,78	x	0,74	1,6	1,4	1,6	4,7	4,7	4,8	4,9	4,7	2,3	3,7	8,4	10,3	8,9	11,5	6,9	6,2	6,4	
24	35,3	3,3	3,6	2,9	3,2	3,2	3,5	4,5	4,7	4,4	4,4	3,6	2,6	3,2	3,7	3,9	3,6	2,5	3,3	1,6	2	1,5	0,79	x	1,3	1,1	1,2	4,4	4,3	4,5	4,5	4,3	2,7	3,3	8,1	10	8,6	11,1	6,6	5,8	6,1	
25	34,7	4	4,4	3,7	3,6	3,7	4,2	4,5	5,5	5,1	4,8	4,3	3	2,6	3,1	3,3	3	2,2	3	0,28	2,8	1,8	1,6	0,96	x	0,46	0,67	4,1	4,1	4,2	4,2	4,1	3,5	3	7,8	9,7	8,3	10,8	6,3	5,6	5,8	
26	34,4	3,6	4	3,4	3,3	3,3	3,8	4,1	5,1	4,7	4,4	3,9	2,7	2,2	2,8	2,9	2,6	2,2	3	0,65	2,4	1,4	1,2	0,57	0,46	x	0,22	4	4	4,1	4,2	4	3,1	3	7,7	9,7	8,2	10,8	6,2	5,4	5,7	
27	35	3,4	4,1	3,5	3	3,1	3,6	4,7	4,9	4,5	4,5	3,7	2,5	2,9	3,4	3,6	3,3	2,9	3,7	1,9	2,4	1,2	1,3	0,76	1,7	1,4	x	4,7	4,7	4,9	4,9	4,7	3,2	3,7	8,4	10,4	8,9	11,5	7	6,2	6	
28	39,6	7,2	7,5	6,8	7	7	7,4	8,1	8,7	8,3	8,3	7,5	6,4	6,2	6,7	6,9	6,6	1,9	2,3	3,8	5,9	5,1	4,7	4	4,1	4,1	4,3	x	0,57	0,7	0,82	1,3	5,5	4,1	6,3	8,2	6,8	9,3	4,8	4	2,4	
29	40,2	6,8	7,1	6,4	6,6	6,6	7	7,7	8,3	8	8	7,1	6	5,8	6,4	6,5	6,2	1,6	1,9	3,4	5,5	4,7	4,3	3,7	3,7	3,7	3,9	0,76	x	0,32	1,1	1,6	5,8	3,8	6	7,9	6,5	9	4,5	3,7	2,5	
30	37,8	6,5	6,8	6,1	6,3	6,3	6,7	7,4	8	7,6	7,6	6,8	5,7	5,5	6	6,2	5,9	1,2	1,6	3,1	5,2	4,4	4	3,3	3,4	3,4	3,6	1,2	1,2	x	1,7	2,1	5,9	3,4	5,6	7,5	6,1	8,7	4,1	3,4	2,9	
31	40,2	6,6	6,9	6,3	7,1	7,1	6,8	7,9	8,1	7,8	7,8	7	6,5	6,4	6,9	7,1	6,8	2,1	2,5	4	5,4	5,3	4,9	4,2	4,2	4,2	4,4	1,1	0,64	0,96	x	0,49	4,9	4,3	6,6	8,5	7,1	9,6	5,1	4,4	2,6	
32	38,4	7	7,3	6,7	6,9	6,9	7,2	8	8,5	8,2	8,2	7,4	6,3	6,1	6,6	6,8	6,5	1,8	2,2	3,7	5,8	5	4,6	3,9	4	4	4,2	1,5	1	1,3	0,41	x	5,3	4,1	6,8	8,7	7,3	9,8	5,3	4,5	3	
33	32,7	2,4	2,7	2	2,9	2,9	2,6	3,7	3,9	3,5	3,6	2,7	2,3	3,8	4,3	4,5	4,2	4,7	5,4	3,7	1,2	2,6	2,2	2,5	3,4	3,2	3,4	6	5,6	5,9	5,1	5,6	x	5,5	10,2	12,2	10,7	13,3	8,7	8	6,7	
34	40,4	6,2	6,5	5,8	6	6	6,4	7,1	7,6	7,3	7,3	6,5	5,4	5,2	5,3	4,2	4,8	2,9	3	2,8	4,9	4,1	3,7	3	3,1	3	3,3	4,1	4,1	4,2	4,3	4,2	5,6	x	5,5	7,4	6,6	9,2	4,6	4	5,9	
35	44,8	10,9	11,2	10,5	10,7	10,7	11	10,9	12,3	12	11,3	11,1	9,5	9,6	9,5	8,5	9,1	5,8	5,9	7,5	9,6	8,8	8,4	7,7	7,8	7,7	8	6,2	6,2	6,3	6,7	6,8	10,3	5,5	x	2,5	4,3	6,9	2,3	2,3	4,6	
36	44,4	12,8	13,1	12,4	12,6	12,9	12,9	14,3	13,9	13,2	13,1	11,5	11,5	11,5	10,4	11	7,7	7,8	9,4	11,5	10,7	10,																				

Výpočet Vogelovou aproximační metodou

Výpočet touto metodou zahrnoval testování 105 cyklů. Počet minimálních cyklů splňuje pouze jedna trasa s hodnotou účelové funkce 126,13. Výslednou trasu s minimálním počtem kilometrů tvoří následující místa:

K letišti - Klapálkova - Klíčova - Kloknerova - Hráského - V Parku - Roztylská - Radimovická - Proutěná - Štítová - Studánková - Leopoldova - Budapešťská - Parmská - Janovská - Ovesná - Milánská - Nad přehradou - Kutnohorská - Křešínská - Přátelství - Břízova - Za podjezdem - V listnácích - U Císařské cesty - K Čestlicům - Jakobiho - Bellova - Štichova - Rašova - Mendelova - Kosmická - Staňkova - U rybářství - Brandlova - Medkova - V Lomech - Líbalova - Turkova - Daimlerova - Tomíčková - K letišti

Výpočet metodou výhodnostních čísel

Tato metoda testovala celkem 1997 cyklů. Počet minimálních cyklů tvoří dvě trasy s hodnotou účelové funkce 122,56. Výslednou trasu s minimálním počtem kilometrů tvoří následující místa:

Trasa A K letišti - Roztylská - Radimovická - Proutěná - Studánková - Štítová - K Čestlicům - U Císařské cesty - V listnácích - Za podjezdem - Břízova - Přátelství - Křešínská - Kutnohorská - Ovesná - Nad přehradou - Milánská - Parmská - Janovská - Jakobiho - Bellova - Rašova - Štichova - Mendelova - Kosmická - Staňkova - U rybářství - Brandlova - Líbalova - V Lomech - Medkova - Turkova - Daimlerova - Klapálkova - Klíčova - Budapešťská - Leopoldova - Hráského - V Parku - Kloknerova - Tomíčková - K letišti

Trasa B K letišti - Roztylská - Radimovická - Proutěná - Studánková - Štítová - K Čestlicům - U Císařské cesty - V listnácích - Za podjezdem - Břízova - Přátelství - Křešínská - Kutnohorská - Ovesná - Nad přehradou - Milánská - Parmská - Janovská - Jakobiho - Bellova - Rašova - Štichova - Mendelova - Kosmická - Staňkova - U rybářství - Brandlova - Líbalova - V Lomech - Medkova - Turkova - Daimlerova - Klapálkova - Klíčova -

*Budapešťská - Leopoldova - V Parku - Hráského - Kloknerova - Tomíčková -
K letišti*

4.2.2.2 Okruh Nymburk

Okruh Nymburk se nachází východně od Prahy. V tabulce 3 jsou zapsána jednotlivá pořadí míst stávající trasy firmy. Následně tabulka 2 obsahuje nejkratší vzdálenosti mezi navštívenými místy.

Pořadí	Místo	Počet km
1	K letišti	-
2	Horoušany	55
3	Ovčáry	45
4	Tuklaty	39,4
5	Český Brod	7,9
6	Sadská	13
7	Pečky	8,4
8	Velim	9,2
9	Libice	12,4
10	Úvaly	37,8
11	Písková Lhota	29,4
12	Poděbrady	4,6
13	Kovanice	6,2
14	Nymburk	5,1
15	K letišti	88
Celkem		361,4

TABULKA 3: STÁVAJÍCÍ TRASA FIRMY, OKRUH NYMBURK

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	x	55	95	52	60	71	85	88	86	49,9	80	83	84	87
2	56	x	45	6,5	13,3	21,9	25,2	33,6	37	6	28,7	33,3	32,1	31,9
3	96	44,8	x	39,4	33,9	25,7	23,3	14,3	10,7	43	18,7	17,7	21,9	23,4
4	52	6,5	39,6	x	7,9	18,9	21,6	28,2	34	3,9	25,8	30,4	29,2	29
5	60	13,3	34,1	7,9	x	13	15,6	22,8	28,1	11,6	19,8	24,5	23,3	23,1
6	72	21,9	26,3	18,9	13	x	8,4	16,8	17	22,5	7	11,6	10,5	10,3
7	87	25,2	23,5	21,5	15,6	8,4	x	9,2	16,7	25,2	10,1	12,9	14,3	17,5
8	89	33,6	15	28,2	22,8	16,8	9,2	x	12,4	31,8	11,4	11,7	13,9	17,2
9	87	37,1	10,7	34,1	28,3	16,6	17,1	12,5	x	37,8	9,6	7,3	12,1	13
10	50	6	43,2	3,9	11,6	22,6	25,2	31,8	37,7	x	29,4	34	32,8	32,7
11	80	28,7	19,3	25,7	19,8	7	10,1	11,4	10	29,4	x	4,6	5,9	9,1
12	83	33,3	17,7	30,3	24,5	11,6	12,9	11,7	7,3	34	4,6	x	6,2	6,1
13	85	32,1	21,9	29,1	23,3	10,5	14,3	13,9	12,6	32,8	5,9	6,2	x	5,1
14	88	32,1	23,2	29,1	23,3	10,5	17,5	17,2	12,8	32,8	9,1	6,1	5,4	x

TABULKA 4: MATICE NEJKRATŠÍCH VZDÁLENOSTÍ, OKRUH NYMBURK

Výpočet metodou nejbližšího souseda

Tato metoda zahrnovala testování 14 cyklů. Počet minimálních cyklů splňuje pouze jedna trasa s hodnotou účelové funkce 230,3. Výslednou trasu s minimálním počtem kilometrů tvoří následující místa:

K letišti - Sadská - Písková Lhota - Poděbrady - Nymburk - Kovanice - Libice - Ovčáry - Velim - Pečky - Český Brod - Tuklaty - Úvaly - Horoušany - K letišti

Výpočet Vogelovou aproximační metodou

Při výpočtu došlo k testování 2 cyklů. Počet minimálních cyklů splňuje pouze jedna trasa s hodnotou účelové funkce 222,6. Výslednou trasu s minimálním počtem kilometrů tvoří následující místa:

K letišti - Sadská - Písková Lhota - Kovanice - Nymburk - Poděbrady - Libice - Ovčáry - Velim - Pečky - Český Brod - Tuklaty - Horoušany - Úvaly - K letišti

Výpočet metodou výhodnostních čísel

Zde metoda testovala 27 cyklů. Počet minimálních cyklů splňuje pouze jedna trasa, která se shoduje s 4 nalezenými okruhy, a její hodnota účelové funkce je 218,9. Výslednou trasu s minimálním počtem kilometrů tvoří následující místa:

K letišti - Úvaly - Horoušany - Sadská - Písková Lhota - Kovanice - Nymburk - Poděbrady - Libice - Ovčáry - Velim - Pečky - Český Brod - Tuklaty - K letišti

4.2.2.3 Okruh Rakovník

Okruh Rakovník se nachází západně od Prahy. Tabulka 5 obsahuje jednotlivá pořadí míst stávající trasy firmy a poté v tabulce 2 jsou uvedeny nejkratší vzdálenosti mezi navštívenými místy.

Pořadí	Místo	Počet km
1	K letišti	-
2	Horoměřice	8,3
3	Černý Vůl	3,9
4	Velké Přílepy	3,1
5	Stehelčevy	11,8
6	Brandýsek	4,5
7	Pchery	5
8	Vinařice	5
9	Libušín	3,2
10	Čistá	45,2
11	Slaný	50
12	Želevčice	3,4
13	Stochov	17,9
14	Tuchlovice	2,7
15	Lány	4,2
16	Tuřany	16,4
17	Pozdeň	8,8
18	Malíkovice	6,8
19	Senomaty	31,5
20	Rakovník	7,8
21	Roztoky	19,4
22	K letišti	53
Celkem		311,9

TABULKA 5: STÁVAJÍCÍ TRASA FIRMY, OKRUH RAKOVNÍK

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	x	8,3	9,3	9,6	14	14,1	21,1	20,2	29,4	70	22,5	25,7	33,7	35,4	36,4	27,1	38,1	30,9	60	55	53
2	8,1	x	3,9	6	15,5	17,3	22,3	23	26,2	69	26	29,2	32,1	29,7	33,6	30,1	38,7	33,9	59	54	47,3
3	9,2	3,9	x	3,1	14	15,7	20,7	21,7	24,8	67	24,3	26,9	30,9	28,5	32,4	28,5	37,1	32,3	58	53	46,6
4	9,5	6	3,1	x	11,8	13,5	18,5	19,5	22,7	65	21,3	23,9	28,8	26,4	30,3	25,5	34,1	29,3	55	50	46,5
5	13	15,6	14	11,8	x	4,5	9,5	11,6	14,7	58	15,1	18,4	21,8	19,4	23,3	19,3	27,9	23,1	48,4	43,6	41,8
6	13,1	17,2	15,7	13,5	4,5	x	5	7,1	10,3	55	10,7	13,9	19,2	17,4	21,2	14,8	23,4	18,7	44,9	40	39,8
7	20,3	22,2	20,7	18,5	9,5	5	x	5	8	51	6,8	10	15	15,7	17,5	10,9	19,5	14,8	40,7	35,8	36
8	19,6	23,1	21,7	19,5	11,5	7,1	5	x	3,2	47,9	10,3	13,7	12,2	11,7	14,7	12,6	20,6	15,2	37,9	33	33,2
9	28,9	26,3	24,8	22,7	14,7	10,2	8	3,2	x	45,2	10,3	13,6	9,6	9,1	12,1	11,1	18,9	13,5	35,3	30,4	30,6
10	70	69	68	65	59	55	51	47,9	45,3	x	50	54	38,8	39,4	35,8	45,7	45,4	41,4	13,4	16,5	29
11	22,4	26,5	24,4	21,4	15,2	10,7	6,8	10,4	10,3	50	x	3,4	14,6	16,3	17,1	4,8	13,3	8,6	40,1	35,2	35,6
12	25,6	29,7	26,9	23,9	18,4	14	10,1	13,7	13,6	53	3,4	x	17,9	19,6	20,4	8,1	15,8	11,9	43,4	38,6	38,9
13	33,7	32,1	30,8	28,7	21,9	19,2	15	12,2	9,6	38,6	14,6	17,9	x	2,7	3,5	14,2	18	12,1	28,6	23,7	22
14	35,4	29,6	28,4	26,2	19,5	17,4	15,7	11,7	9,1	39,3	16,2	19,6	2,7	x	4,2	15,8	19,7	13,7	29,3	24,4	22,7
15	36,1	33,3	32	29,9	23,1	21	17,2	14,5	11,8	36	16,8	20,2	3,3	3,9	x	16,4	20,3	14,3	26,3	21,2	19,2
16	26,3	30,5	28,5	25,5	19,3	14,9	11	12,3	11,1	45,8	5	8,3	14,2	15,9	16,6	x	8,8	4,4	35,9	31	35,2
17	37,7	39	37,1	34,1	27,9	23,4	19,5	20,6	18,9	45,4	13,6	15,8	18	19,7	20,5	8,8	x	6,8	35,4	30,5	19,4
18	30,1	34,3	32,3	29,3	23,2	18,7	14,8	15,2	13,5	41,5	8,8	12,2	12	13,7	14,5	4,4	6,8	x	31,5	26,6	33
19	60	59	57	55	48,5	44,8	40,6	37,8	35,2	13,4	40,1	43,5	28,7	29,3	26	35,7	35,3	31,3	x	7,8	24,4
20	55	54	53	51	43,7	40	35,8	33,1	30,4	16,5	35,3	38,7	23,9	24,6	21	30,9	30,5	26,5	7,9	x	19,4
21	53	47,4	46,6	46,5	41,8	39,8	36,1	33,3	30,7	29	35,7	39	22,1	22,8	19	35,2	19,4	33,1	24,6	19,4	x

TABULKA 6: MATICE NEJKRATŠÍCH VZDÁLENOSTÍ, OKRUH RAKOVNÍK

Výpočet metodou nejbližšího souseda

Tato metoda testovala celkem 27 cyklů. Počet minimálních cyklů splňuje pouze jedna trasa s hodnotou účelové funkce 200,8. Výslednou trasu s minimálním počtem kilometrů tvoří následující místa:

K letišti - Slaný - Želevčice - Tuřany - Malíkovice - Pozdeň - Roztoky - Rakovník - Senomaty - Čistá - Lány - Stochov - Tuchlovice - Libušín - Vinařice - Pchery - Brandýsek - Stehelčevy - Velké Přílepy - Černý Vůl - Horoméřice - K letišti

Výpočet Vogelovou aproximační metodou

Testování proběhlo u 24 cyklů. Počet minimálních cyklů splňuje pouze jedna trasa s hodnotou účelové funkce 212,6. Výslednou trasu s minimálním počtem kilometrů tvoří následující místa:

K letišti - Horoméřice - Černý Vůl - Velké Přílepy - Stehelčevy - Brandýsek - Pchery - Slaný - Želevčice - Tuřany - Pozdeň - Malíkovice - Roztoky - Čistá - Senomaty - Rakovník - Lány - Stochov - Tuchlovice - Libušín - Vinařice - K letišti

Výpočet metodou výhodnostních čísel

Při výpočtu došlo k testování 73 cyklů. Počet minimálních cyklů splňuje pouze jedna trasa s hodnotou účelové funkce 195. Výslednou trasu s minimálním počtem kilometrů tvoří následující místa:

K letišti - Horomeřice - Černý Vůl - Velké Přílepy - Želevčice - Slaný - Tuřany - Malíkovice - Pozdeň - Roztoky - Čistá - Senomaty - Rakovník - Lány - Stochov - Tuchlovice - Libušín - Vinařice - Pchery - Brandýsek - Stehelčevy - K letišti

4.2.3 Oblast České Budějovice

V této oblasti dojde k optimalizaci dvou vybraných okruhů. Doručení a vyzvednutí zásilek zde zprostředkovává externí firma z jižních Čech, která má pobočku v Českých Budějovicích (dále jen ČB) v ulici Pekárenská, a obsluhuje celkem sedm okruhů. Kurýři vyjíždějí denně z centrály a po absolvování trasy se vracejí zpět. Následně dochází k naložení jednoho či více vozidel (dle objemu), která zásilky dovezou na svozové místo v Praze.

4.2.3.1 Okruh 1

V tabulce 7 jsou zapsána jednotlivá navštívená místa stávající trasy firmy a následně tabulka 8 obsahuje nejkratší vzdálenosti mezi navštívenými místy.

Pořadí	Místo	Počet km
1	Pekárenská	-
2	U Sirkárny	1,2
3	Dubičné	4,1
4	České Vrbné	8,6
5	Planá	7,3
6	Dobrá Voda	8,4
7	Branišov	10,1
8	Brloh	20,5
9	Lhenice	14,8
10	Prachatice	16,3
11	Strunkovice	10,9
12	Nišovice	16,2
13	Čkyně	8,5
14	Vimperk	9,5
15	Hracholusky	28,5
16	Netolice	7,2
17	Pekárenská	24,9
Celkem		197

TABULKA 7: STÁVAJÍCÍ TRASA EXTERNÍ FIRMY, OKRUH 1 ČB

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	x	1,2	4,5	4,2	6	3,7	7,1	24	27,7	42	37,3	53	58	58	31,4	24,8
2	1,2	x	4,1	5,4	7,2	4,2	8,2	25,2	28,9	43,2	38,5	55	59	59	32,6	26
3	4,5	4,1	x	8,6	9,7	2,5	11,1	27,7	31,7	46,4	41,8	58	62	62	35,9	29,3
4	4,3	5,5	8,7	x	7,3	8	6,7	25,3	26,9	38,5	33,9	50	54	54	28	21,4
5	5,8	6,9	9,3	7,4	x	8,4	8,5	18,2	28,5	41,2	40,2	56	61	61	34,1	27,8
6	3,7	4,1	2,5	7,9	8,7	x	10,1	26,8	30,8	45,7	41	57	61	61	35,1	28,5
7	7,1	8,2	11,1	6,7	8,5	10,1	x	20,5	20,7	35,9	32,1	48,3	52	53	26,2	19,7
8	23,9	25	27,4	25,5	18,2	26,5	20,5	x	14,8	24,4	29,6	45,5	46,4	44	21,2	22,3
9	27,8	28,9	31,7	26,9	28,5	30,8	20,7	14,8	x	16,3	15,5	31,7	35,2	34,6	7,2	9,9
10	41,9	43,2	46,4	38,4	41,2	45,7	35,9	24,4	16,3	x	10,9	23,1	23,9	21,7	12,7	17,7
11	37,3	38,5	41,8	33,8	40,2	41,1	32,1	29,6	15,6	10,8	x	16,2	20,4	22,6	9,5	13,1
12	53	55	58	49,9	56	57	48,2	45,4	31,7	23	16,2	x	8,5	16,5	25,6	29,2
13	58	59	62	54	60	61	52	46,3	35,2	23,9	20,5	8,5	x	9,5	29,1	33,4
14	58	59	62	54	61	61	52	43,8	34,6	21,6	22,6	16,5	9,5	x	28,5	33,4
15	31,4	32,6	35,9	27,9	34,1	35,1	26,1	21,2	7,2	12,7	9,5	25,6	29,1	28,5	x	7,2
16	24,9	26,1	29,4	21,4	27,8	28,6	19,7	22,3	9,8	17,7	13,1	29,2	33,4	33,4	7,2	x

TABULKA 8: MATICE NEJKRATŠÍCH VZDÁLENOSTÍ, OKRUH 1 ČB

Výpočet metodou nejbližšího souseda

Výpočet touto metodou obsahoval testování 20 cyklů. Počet minimálních cyklů splňuje pouze jedna trasa, která se shoduje s 3 nalezenými okruhy, a její hodnota účelové funkce je 179,5. Výslednou trasu s minimálním počtem kilometrů tvoří následující místa:

Pekárenská - U Sirkárny - Dubičné - Dobrá Voda - České Vrbné - Branišov - Prachatice - Vimperk - Čkyně - Nišovice - Strunkovice - Hracholusky - Netolice - Lhenice - Brloh - Planá - Pekárenská

Výpočet Vogelovou aproximační metodou

Tato metoda testovala 8 cyklů. Počet minimálních cyklů splňuje pouze jedna trasa s hodnotou účelové funkce 172,8. Výslednou trasu s minimálním počtem kilometrů tvoří následující místa:

Pekárenská - České Vrbné - Branišov - Lhenice - Netolice - Hracholusky - Strunkovice - Nišovice - Čkyně - Vimperk - Prachatice - Brloh - Planá - Dobrá Voda - Dubičné - U Sirkárny - Pekárenská

Výpočet metodou výhodnostních čísel

Testování proběhlo u 60 cyklů. Počet minimálních cyklů splňují dvě trasy s hodnotou účelové funkce 168,6. Trasa A je shodná s 5 nalezenými okruhy. Výsledné trasy s minimálním počtem kilometrů tvoří následující místa:

Trasa A Pekárenská - České Vrbné - Branišov - Netolice - Strunkovice - Nišovice - Čkyně - Vimperk - Prachatice - Hracholusky - Lhenice - Brloh - Planá - Dobrá Voda - Dubičné - U Sirkárny - Pekárenská

Trasa B Pekárenská - České Vrbné - Branišov - Netolice - Hracholusky - Strunkovice - Nišovice - Čkyně - Vimperk - Prachatice - Lhenice - Brloh - Planá - Dobrá Voda - Dubičné - U Sirkárny - Pekárenská

4.2.3.2 Okruh 2

Tabulka 9 obsahuje jednotlivá pořadí stávající trasy firmy a v následující tabulce 10 jsou uvedeny nejkratší vzdálenosti mezi navštívenými místy.

Pořadí	Místo	Počet km
1	Pekárenská	-
2	České Budějovice	3,6
3	Malšice	52
4	Tábor	6,9
5	Čekanice	7
6	Mladá Vožice	16
7	Milevsko	41,6
8	Hluboká nad Vltavou	53
9	Týn nad Vltavou	22,3
10	Bechyně	13,2
11	Bernartice	12
12	Zliv	40,6
13	Hosín	11,3
14	Pekárenská	11,2
Celkem		290,7

TABULKA 9: STÁVAJÍCÍ TRASA FIRMY, OKRUH 2 ČB

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	x	3,6	53	56	60	75	61	9,6	31	43,1	52	15,8	11,1
2	3,7	x	52	55	58	74	59	7,1	28,6	40,7	48,9	14,2	8,6
3	53	52	x	6,9	13	28,8	23,7	45,8	26	15	20,1	45,1	44,7
4	56	55	6,9	x	7	22,9	27,9	52	32	21	26,1	51	51
5	60	58	12,4	6,5	x	16	26,2	57	37,5	26,5	25,1	57	54
6	75	74	28,3	22,4	16	x	41,6	72	53	42,4	40,5	73	70
7	61	59	23,7	28	26,3	41,7	x	53	31,5	22,3	11,3	51	55
8	9,6	7,1	45,5	51	57	72	53	x	22,3	34,4	42,6	7,8	4
9	32,4	29,9	25,9	31,9	38	54	31,5	23,5	x	13,2	21,4	21,5	27
10	43,2	40,7	15	21	27	42,9	22,3	34,4	13,3	x	12	32,3	35,5
11	52	48,9	20,1	26,1	25	40,4	11,4	42,6	21,5	12	x	40,6	45,3
12	15,9	14,2	45,1	51	57	73	51	7,8	20,2	32,3	40,6	x	11,3
13	11,2	8,6	44,7	51	55	70	55	4,3	25,8	35,5	45,3	11,3	x

TABULKA 10: MATICE NEJKRATŠÍCH VZDÁLENOSTÍ, OKRUH 2 ČB

Výpočet metodou nejbližšího souseda

Testování proběhlo u 13 cyklů. Počet minimálních cyklů splňuje pouze jedna trasa s hodnotou účelové funkce 206,7. Výslednou trasu s minimálním počtem kilometrů tvoří následující místa:

Pekárenská - Malšice - Tábor - Čekanice - Mladá Vožice - Milevsko - Bernartice - Bechyně - Týn nad Vltavou - Zliv - Hluboká nad Vltavou - Hosín - České Budějovice - Pekárenská

Výpočet Vogelovou aproximační metodou

Tato metoda testovala 2 cykly. Počet minimálních cyklů splňuje pouze jedna trasa s hodnotou účelové funkce 216,3. Výslednou trasu s minimálním počtem kilometrů tvoří následující místa:

Pekárenská - České Budějovice - Hosín - Hluboká nad Vltavou - Zliv - Týn nad Vltavou - Bechyně - Milevsko - Bernartice - Malšice - Tábor - Čekanice - Mladá Vožice - Pekárenská

Výpočet metodou výhodnostních čísel

Při výpočtu došlo k testování 51 cyklů. Počet minimálních cyklů splňuje pouze jedna trasa s hodnotou účelové funkce 202,3. Výslednou trasu s minimálním počtem kilometrů tvoří následující místa:

Pekárenská - České Budějovice - Hluboká nad Vltavou - Zliv - Týn nad Vltavou - Bechyně - Bernartice - Milevsko - Mladá Vožice - Čekanice - Tábor - Malšice - Hosín - Pekárenská

4.2.4 Oblast Chomutov

Z této oblasti jsou pro optimalizaci vybrány dva okruhy. Doručení a vyzvednutí zásilek má na starosti externí firma ze Severních Čech s pobočkou v Jirkově, která zde obsluhuje celkem sedm okruhů. Kurýři vyjíždějí denně z centrály a po absolvování trasy se vracejí zpět. Následně dochází k naložení jednoho či více vozidel (dle objemu), která zásilky dovezou na svozové místo v Praze.

4.2.4.1 Okruh 1

V tabulce 11 jsou uvedena jednotlivá pořadí míst stávajících tras firmy. Následně tabulka 12 obsahuje nejkratší vzdálenosti mezi navštívenými místy.

Pořadí	Místo	Počet km
1	Jirkov	-
2	Ostrov	48,9
3	Chodov	18,7
4	Nejdek	10,5
5	Kláštorec nad Ohří	45
6	Vojkovice	25,3
7	Nové Sedlo	27,2
8	Sokolov	11,2
9	Dolní Rychnov	0,71
10	Dasnice	8,9
11	Oloví	16
12	Kraslice	10,1
13	Jirkov	97
Celkem		319,51

TABULKA 11: STÁVAJÍCÍ TRASA EXTERNÍ FIRMY, OKRUH 1 CHOMUTOV

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	x	48,9	70	67	22	45,9	71	82	79	90	89	96
2	49,9	x	18,7	17,9	27,9	10,2	21,2	30,7	30	39	37,6	38,5
3	71	18,8	x	10,5	45,9	26,1	4,7	15,6	14,9	23,9	19,2	25,2
4	69	17,9	10,5	x	45	28,1	15,2	25,5	25,5	33,5	21,8	20,7
5	23,1	28,2	45,9	45	x	25,3	49,2	59	58	67	65	66
6	46,5	10,2	26,2	28,2	25	x	27,2	36,8	36,1	45	43,6	48,7
7	73	21,5	4,6	15,2	48,9	27,1	x	11,2	10,5	19,4	20,1	27,5
8	84	31,1	15,9	25,5	59	36,4	11,5	x	0,71	8,3	13,3	23,4
9	81	30,8	15,6	26,1	58	36,1	11,1	0,71	x	8,9	13,9	24
10	92	39,5	23,9	33,5	67	44,8	19,8	8,3	8,9	x	16	26,1
11	90	37,8	19,2	21,9	65	43,5	20,1	13,4	13,7	16,1	x	10,1
12	97	38,5	25,2	20,8	66	48,7	27,5	23,4	23,7	26,1	10,1	x

TABULKA 12: MATICE NEJKRATŠÍCH VZDÁLENOSTÍ, OKRUH 1 CHOMUTOV

Výpočet metodou nejbližšího souseda

Tato metoda testovala 12 cyklů. Počet minimálních cyklů splňuje pouze jedna trasa s hodnotou účelové funkce 217,31. Výslednou trasu s minimálním počtem kilometrů tvoří následující místa:

Jirkov - Chodov - Nové Sedlo - Dolní Rychnov - Sokolov - Dasnice - Oloví - Kraslice - Nejdek - Ostrov - Vojkovice - Klášterec nad Ohří - Jirkov

Výpočet Vogelovou aproximační metodou

Zde metoda testovala 2 cykly. Počet minimálních cyklů splňuje pouze jedna trasa s hodnotou účelové funkce 226,41. Výslednou trasu s minimálním počtem kilometrů tvoří následující místa:

Jirkov - Klášterec nad Ohří - Vojkovice - Ostrov - Kraslice - Oloví - Dasnice - Sokolov - Dolní Rychnov - Nové Sedlo - Chodov - Nejdek - Jirkov

Výpočet metodou výhodnostních čísel

Při výpočtu touto metodou došlo k testování 19 cyklů. Počet minimálních cyklů splňuje pouze jedna trasa, která se shoduje s 2 nalezenými okruhy, a její hodnota účelové funkce je 212,11. Výslednou trasu s minimálním počtem kilometrů tvoří následující místa:

Jirkov - Vojkovice - Chodov - Nové Sedlo - Dolní Rychnov - Sokolov - Dasnice - Oloví - Kraslice - Nejdek - Ostrov - Klášterec nad Ohří - Jirkov

4.2.4.2 Okruh 2

Tabulka 13 obsahuje jednotlivá pořadí stávající trasy firmy a v další tabulce 14 jsou zapsány nejkratší vzdálenosti mezi navštívenými místy.

Pořadí	Místo	Počet km
1	Jirkov	-
2	Aš	124
3	Mariánské Lázně	54
4	Kynšperk nad Ohří	28,9
5	Krásná	34
6	Hranice	9,9
7	Františkovy Lázně	28,5
8	Cheb	6
9	Martinov	39,7
10	Zádub - Závšíšín	5
11	Jirkov	103
Celkem		433

TABULKA 13: STÁVAJÍCÍ TRASA FIRMY, OKRUH 2 CHOMUTOV

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	x	124	115	93	127	137	107	105	108	103
2	125	x	54	31,6	4	11,9	18,1	22	60	58
3	116	54	x	28,9	56	64	37,7	33,7	7,5	5,7
4	95	31,6	28,9	x	34	42	15	15,2	35	32,3
5	128	4	57	34	x	9,9	20,5	24,5	63	60
6	139	12	65	42	9,9	x	28,5	32,5	71	68
7	109	18	37,7	15	20,4	28,4	x	6	43,8	41,1
8	106	22,3	33,7	15,3	24,7	32,7	6,2	x	39,7	37,1
9	108	60	7,7	34,9	62	70	43,7	39,6	x	5
10	103	57	5,9	32,3	60	68	41,1	37,1	5	x

TABULKA 14: MATICE NEJKRATŠÍCH VZDÁLENOSTÍ, OKRUH 2 CHOMUTOV

Výpočet metodou nejbližšího souseda

Při výpočtu došlo k testování 9 cyklů. Počet minimálních cyklů splňuje pouze jedna trasa s hodnotou účelové funkce 333,9. Výslednou trasu s minimálním počtem kilometrů tvoří následující místa:

Jirkov - Kynšperk nad Ohří - Františkovy Lázně - Cheb - Aš - Krásná - Hranice - Mariánské Lázně - Zádub, Závěšín - Martinov - Jirkov

Výpočet Vogelovou aproximační metodou

Tato metoda testovala 2 cykly. Počet minimálních cyklů splňuje pouze jedna trasa s hodnotou účelové funkce 326,2. Výslednou trasu s minimálním počtem kilometrů tvoří následující místa:

Jirkov - Kynšperk nad Ohří - Cheb - Františkovy Lázně - Hranice - Krásná - Aš - Mariánské Lázně - Martinov - Zádub, Závěšín - Jirkov

Výpočet metodou výhodnostních čísel

Metoda testovala celkem 24 cyklů. Počet minimálních cyklů tvoří dvě trasy s hodnotou účelové funkce 321,5. Výslednou trasu s minimálním počtem kilometrů tvoří následující místa:

Trasa A Jirkov - Kynšperk nad Ohří - Františkovy Lázně - Hranice - Krásná - Aš - Cheb - Mariánské Lázně - Martinov - Zádub, Závěšín - Jirkov

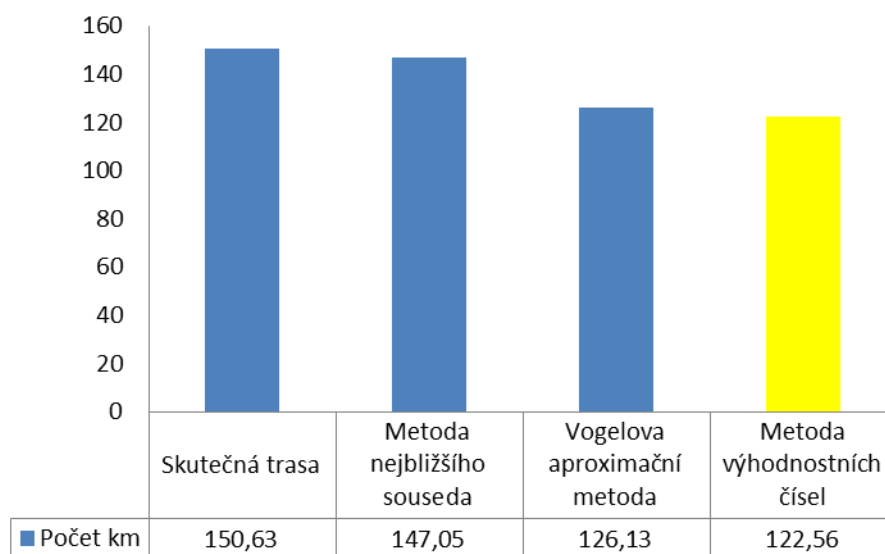
Trasa B Jirkov - Kynšperk nad Ohří - Františkovy Lázně - Aš - Hranice - Krásná - Cheb - Mariánské Lázně - Martinov - Zádub, Závěšín - Jirkov

5 Zhodnocení výsledků

V této kapitole jsou analyzována řešení dosažených výpočtů. Analýza spočívá v porovnání stávajících tras firmy s trasami vypočtenými pomocí vybraných okružních dopravních metod. Podkapitoly jsou rozděleny dle jednotlivých okruhů, ve kterých dochází k výběru optimální trasy, tj. s nejnižším počtem ujetých kilometrů. Výsledky jsou pro lepší přehlednost zobrazeny v grafické podobě.

5.1 Optimální trasa Praha – Chodov

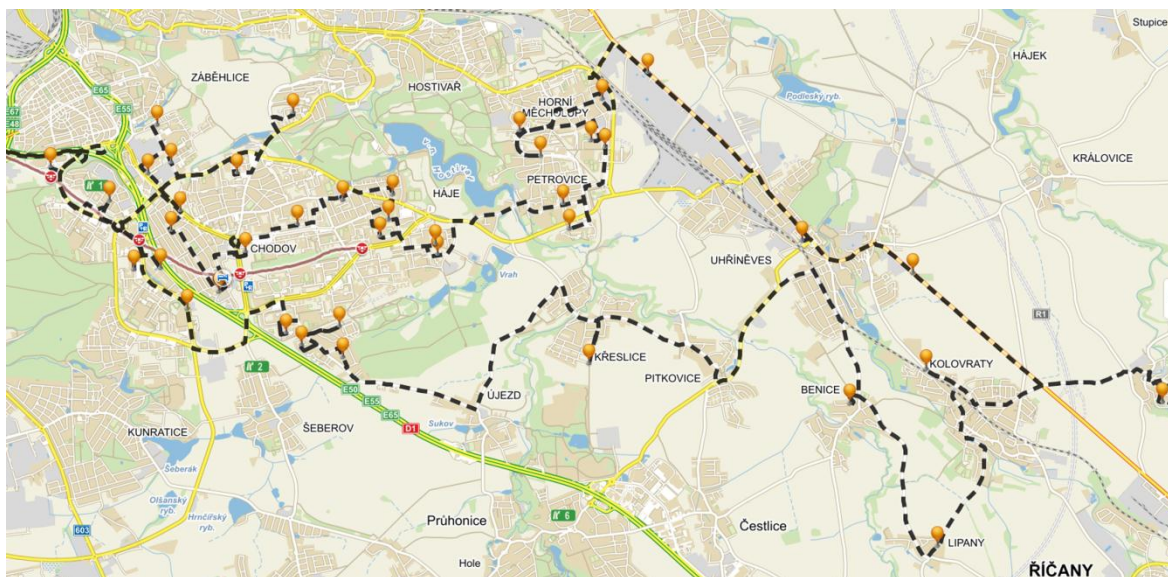
Výsledky všech metod jsou uvedeny v grafu 1. Z grafu lze snadno vyčíst, která metoda z uvedených přináší nejlepší řešení. Nejkratší trasu představuje výpočet metody výhodnostních čísel s délkou trasy 122,56 km a lze obsloužit dvěma možnými způsoby.



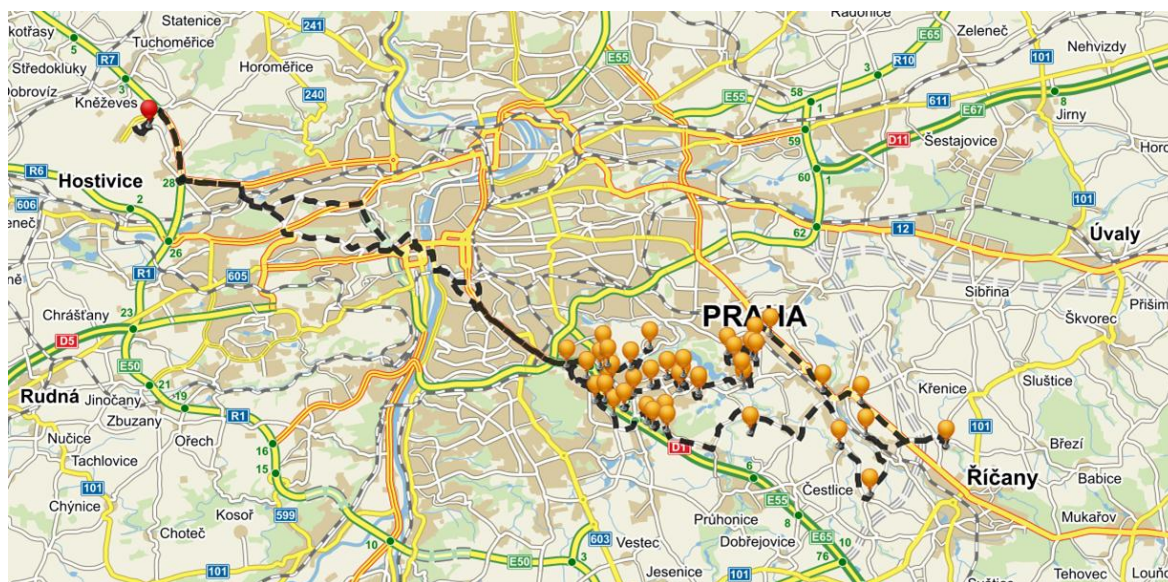
GRAF 1: VÝSLEDNÉ DÉLKY TRAS, OKRUH PRAHA - CHODOV

Z dosažených výsledků je patrné, že stávající trasa firmy není optimální. Všechny metody uspořily najeté kilometry oproti stávající trase. Metodou nejbližšího souseda došlo k úspoře pouhých 3,58 km, a tudíž je vzdálenost téměř shodná se skutečnou trasou. Výpočet Vogelovy aproximační metody zkrátil ujetou vzdálenost o 24,5 km a výsledek se liší o pár kilometrů od Metody výhodnostních čísel, která představuje největší úsporu 28,07 km.

Optimální trasa tohoto okruhu lze obsloužit dvěma způsoby, které se liší pouze ve dvou sousedních místech, což nepředstavuje zásadní změnu v obsluze trasy. Jedna z možných variant (trasa A) okruhu Praha – Chodov je zakreslena na obrázku 3 (podrobné zobrazení) a také na obrázku 4 (zobrazení celé trasy). Navštívená místa trasy A a B jsou podrobně vypsána v podkapitole 4.2.2.1.



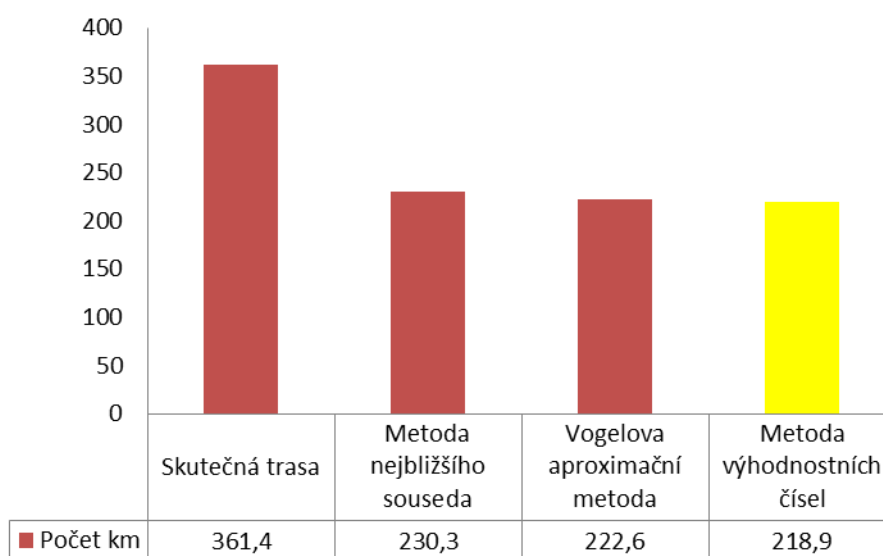
OBRAZEK 3: PODROBNÉ ZOBRAZENÍ TRASY PRAHA - CHODOV



OBRAZEK 4: OPTIMÁLNÍ TRASA PRAHA - CHODOV

5.2 Optimální trasa Nymburk

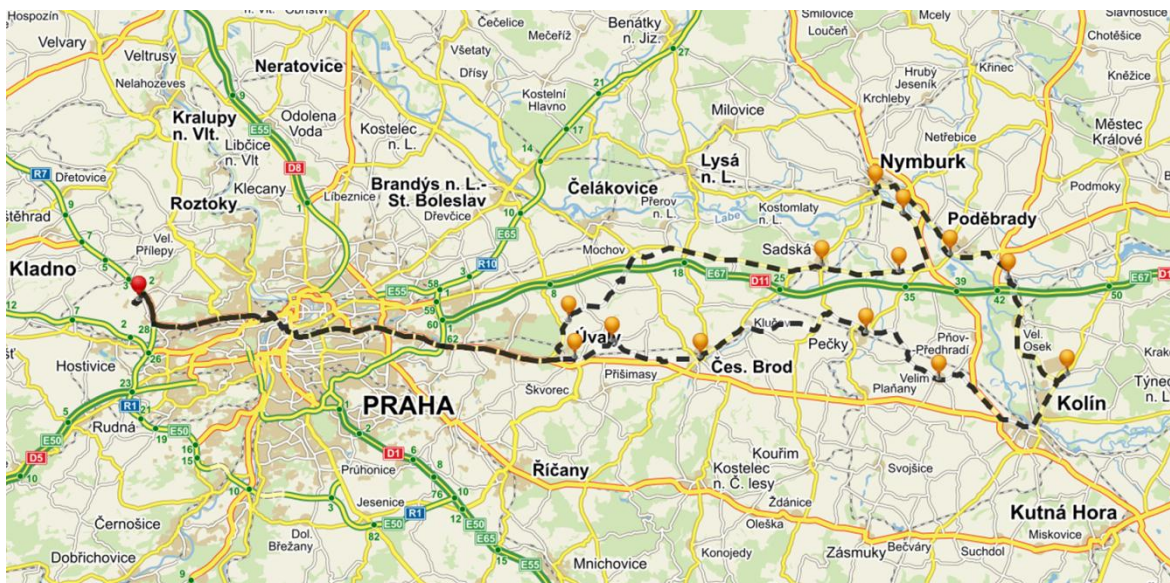
Výsledky všech metod jsou uvedeny v grafu 2. Z grafu je vidět, že výpočty uvedených metod jsou bezmála vyrovnané. Maximální rozdíl mezi nimi představuje řád desítek kilometrů. Nejkratší trasu znázorňuje řešení metody výhodnostních čísel s délkou trasy 218,9 km.



GRAF 2: VÝSLEDNÉ DÉLKY TRAS, OKRUH NYMBURK

Konečné výsledky dokazují, že stávající trasa firmy není optimální. Všechny metody značně uspořily najeté kilometry oproti stávající trase. Metodou nejbližšího souseda došlo k úspoře 131,1 km a Vogelovou aproximační metodou k 138,8 km. Metoda výhodnostních čísel představuje největší úsporu 142,5 km.

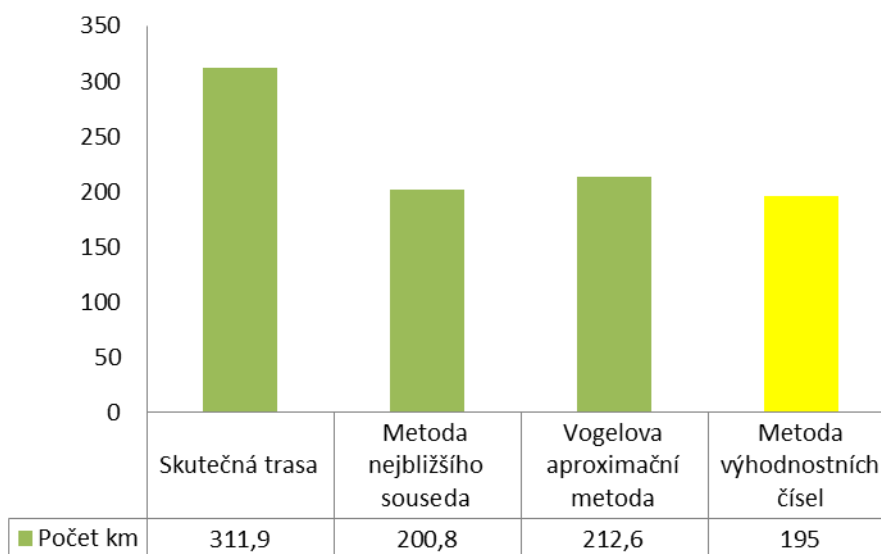
Optimální trasa okruhu Nymburk je zakreslena na následujícím obrázku 5 a skládá se z míst, která jsou podrobně vypsána v podkapitole 4.2.2.2.



OBRÁZEK 5: OPTIMÁLNÍ TRASA NYMBURK

5.3 Optimální trasa Rakovník

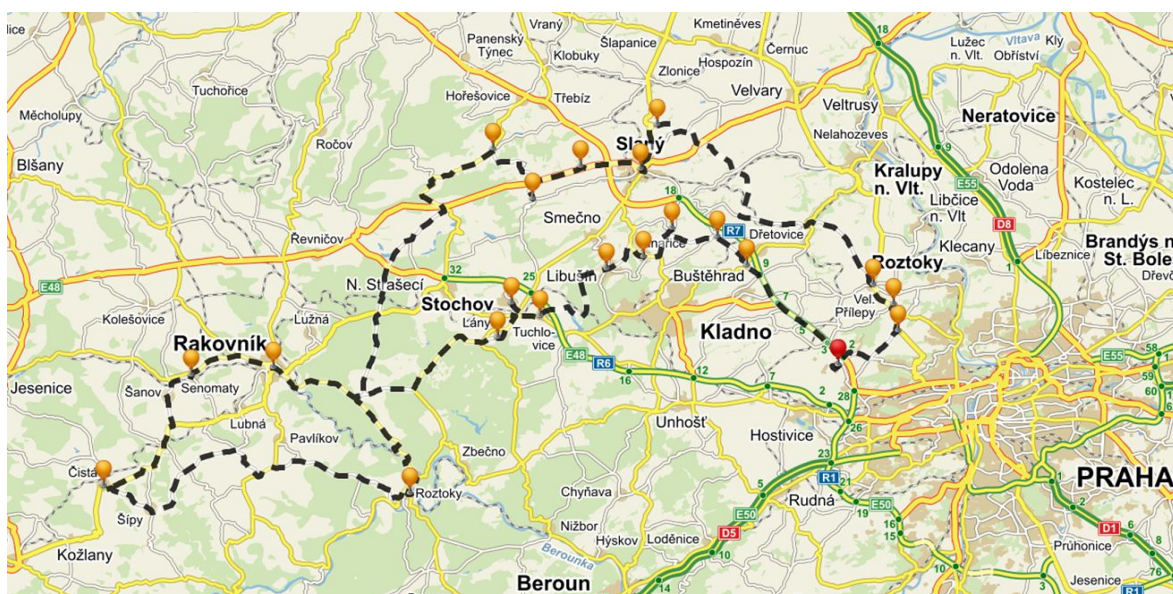
Výsledná řešení všech metod jsou uvedena v grafu 3, z kterého je možno vypočítat téměř rovnoměrné výsledky uvedených metod. Rozdíly se pohybují pouze v řádech desítek kilometrů. Nejkratší trasu představuje výpočet metody výhodnostních čísel s délkou trasy 195 km.



GRAF 3: VÝSLEDNÉ DÉLKY TRAS, OKRUH RAKOVNÍK

Dosažené výsledky prokazují, že stávající trasa firmy není optimální. Všechny metody výrazně uspořily najeté kilometry oproti stávající trase. Vogelovou aproximační metodou došlo k úspoře 99,3 km. Více kilometrů uspořila metoda nejbližšího souseda s výsledkem 111,1 km a také metoda výhodnostních čísel, která představuje největší úsporu 116,9 km.

Optimální trasa okruhu Rakovník je zakreslena na následujícím obrázku 6 a skládá se z míst, která jsou podrobně vypsána v podkapitole 4.2.2.3.

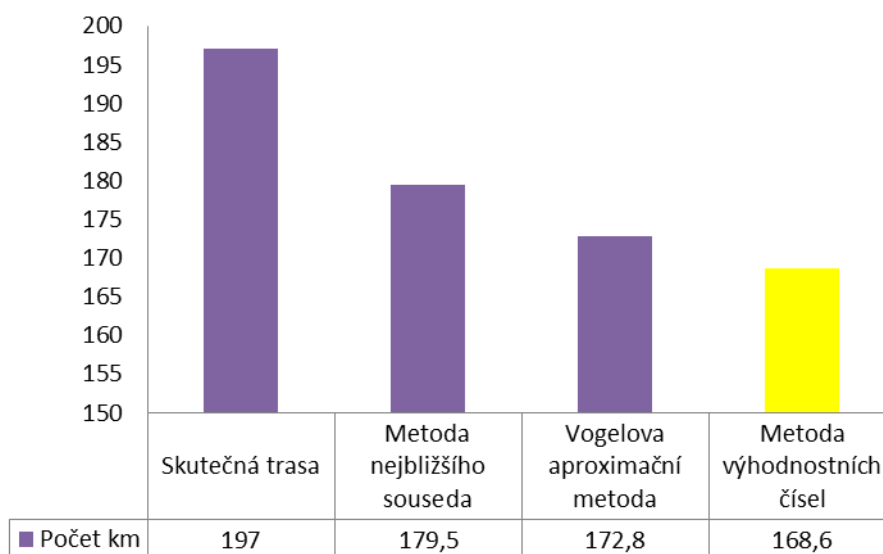


OBRÁZEK 6: OPTIMÁLNÍ TRASA RAKOVNÍK

5.4 Optimální trasy České Budějovice

5.4.1 Okruh 1

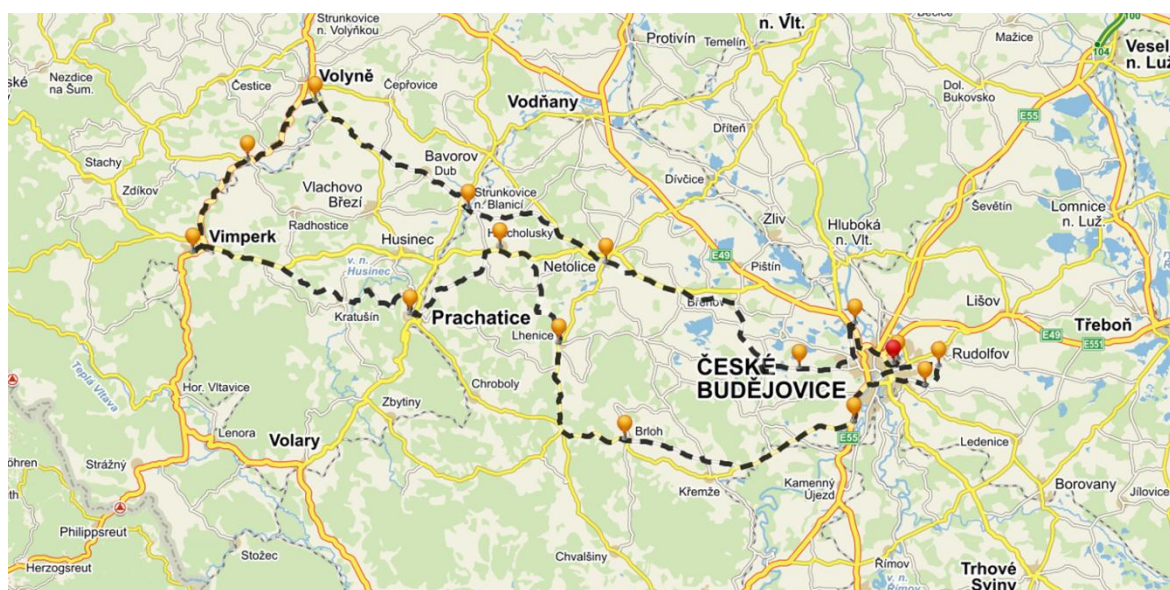
Konečné výpočty všech metod jsou uvedeny v grafu 4. Z grafu je patrné, která metoda z uvedených přináší nejlepší řešení. Výsledky uvedených metod se liší v řádu desítek kilometrů. Nejkratší trasu znázorňuje výpočet metody výhodnostních čísel s délkou trasy 168,6 km.



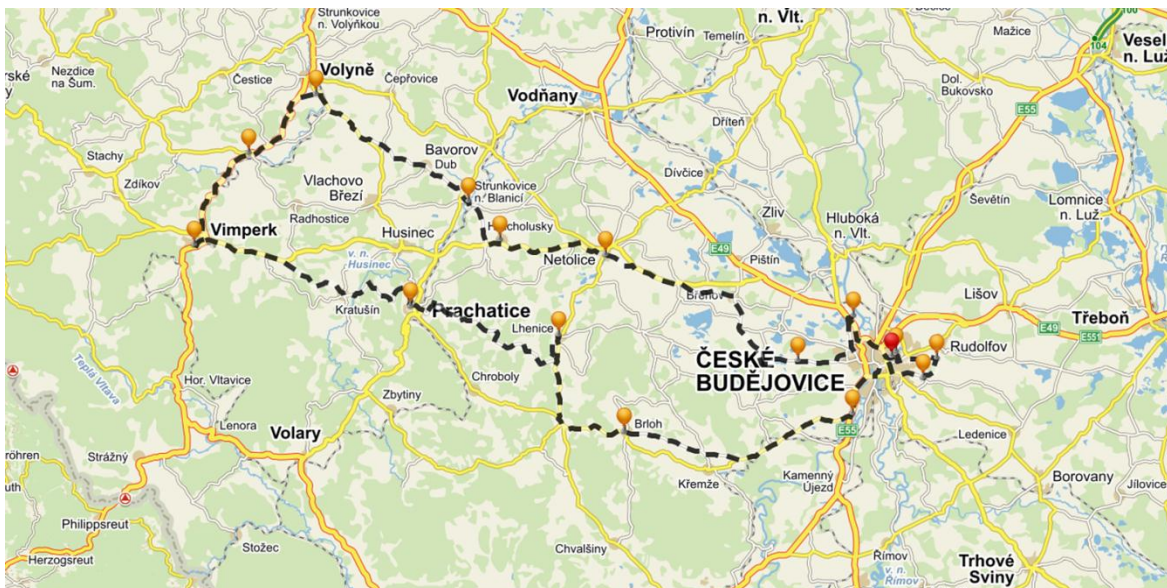
GRAF 4: VÝSLEDNÉ DÉLKY TRAS, OKRUH 1 ČB

Z výsledků metod lze vypočítat, že stávající trasa firmy není optimální. Všechny metody uspořily najeté kilometry oproti stávající trase. Metodou nejbližšího souseda došlo k úspoře 17,5 km. Vogelova aproximační metoda uspořila ještě více kilometrů, a to 24,2 km. Metoda výhodnostních čísel představuje největší úsporu 28,4 km.

Optimální trasa okruhu 1 ČB lze obsloužit dvěma způsoby. První varianta (trasa A) je zakreslena na obrázku 7 a druhá (trasa B) na obrázku 8. Navštívená místa obou tras jsou podrobně vypsána v podkapitole 4.2.3.1.



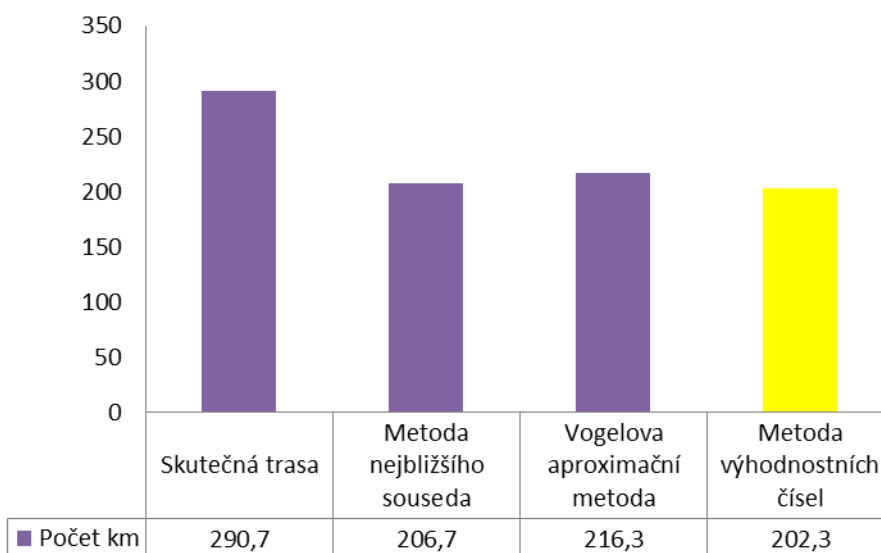
OBRAZEK 7: OPTIMÁLNÍ TRASA A OKRUH 1 ČB



OBRAZEK 8: OPTIMÁLNÍ TRASA B OKRUH 1 ČB

5.4.2 Okruh 2

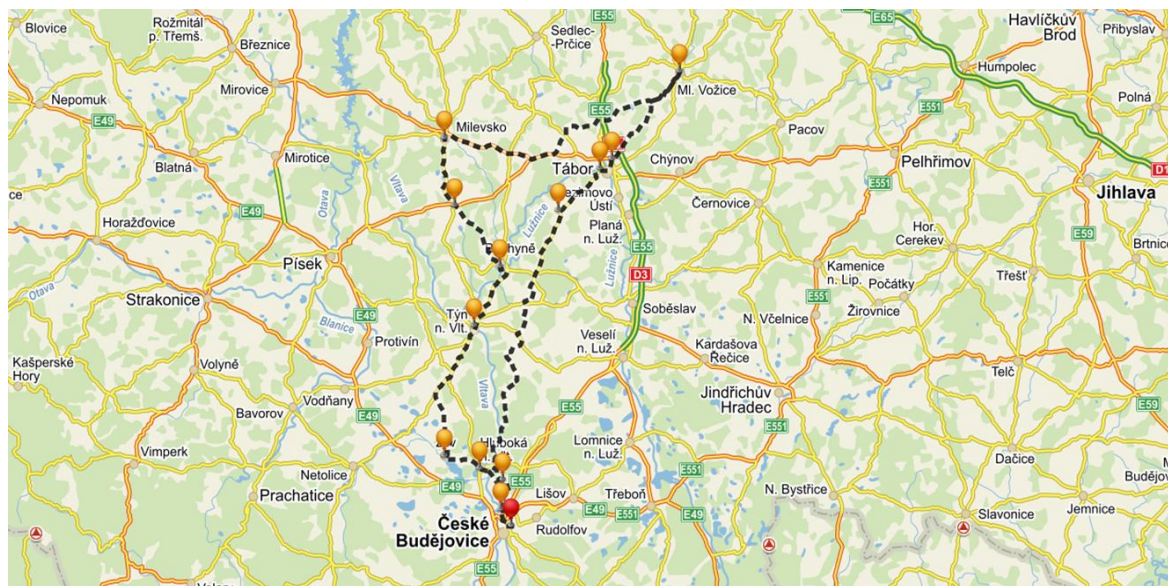
Výsledky všech metod jsou uvedeny v grafu 5. Z grafu lze vyčíst, že výpočty uvedených metod vyšly podobně a jejich rozdíl představuje maximální odchylku 15 km. Nejkratší trasu představuje řešení metody výhodnostních čísel s délkou trasy 202,3 km.



GRAF 5: VÝSLEDNÉ DÉLKY TRAS, OKRUH 2 ČB

Výsledné hodnoty ukazují, že stávající trasa firmy není optimální. Všechny metody uspořily najeté kilometry oproti stávající trase. Vogelovou aproximační metodou došlo k úspoře 74,4 km a metodou nejbližšího souseda k 84 km. Metoda výhodnostních čísel představuje největší úsporu 88,4 km.

Optimální trasa okruhu 2 ČB je zakreslena na následujícím obrázku 9 a skládá se z míst, která jsou podrobně vysána v podkapitole 4.2.3.2.

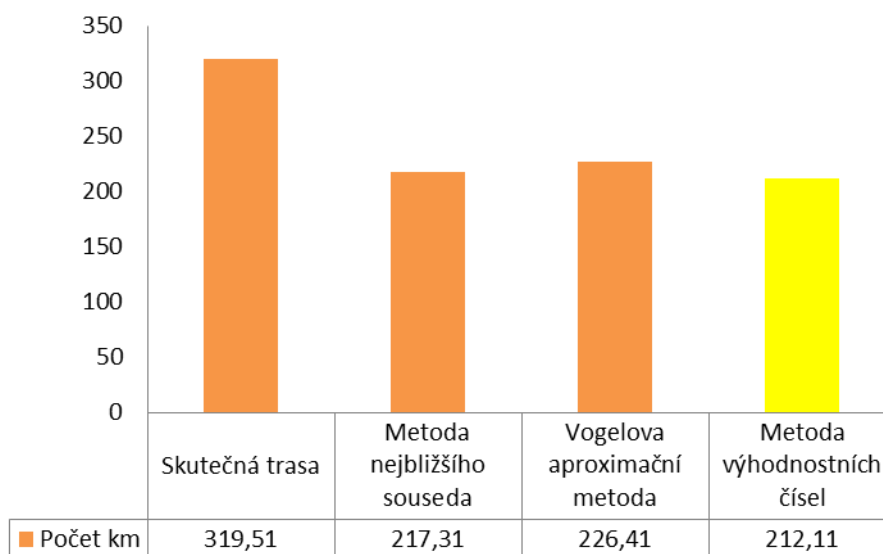


OBRÁZEK 9: OPTIMÁLNÍ TRASA OKRUH 2 ČB

5.5 Optimální trasy Chomutov

5.5.1 Okruh 1

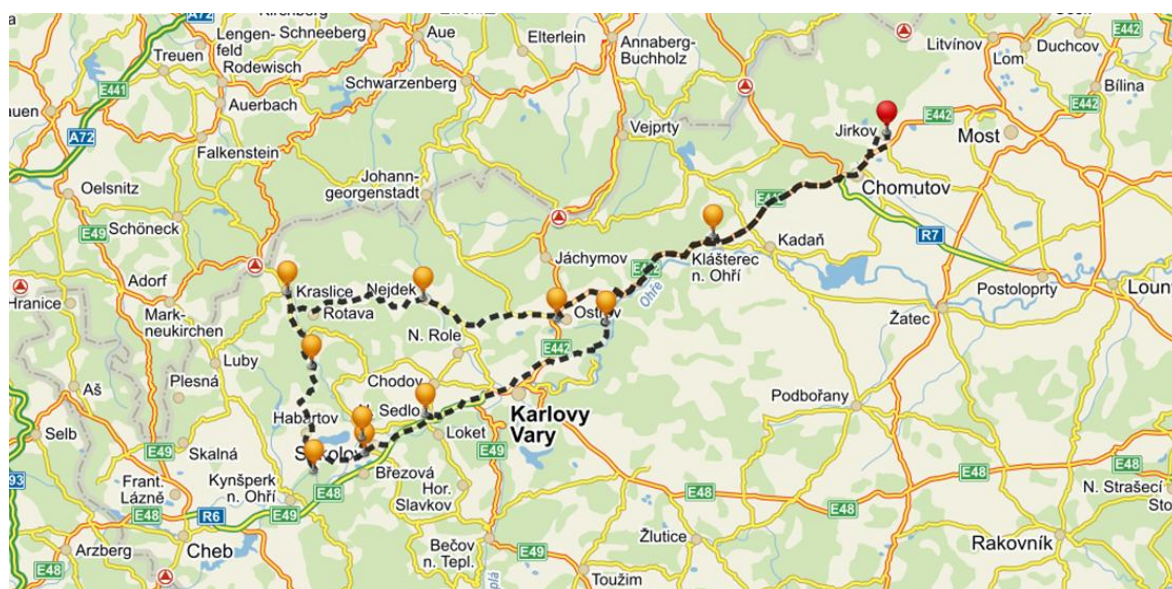
Výsledná řešení všech metod jsou uvedeny v grafu 6. Z grafu je vidět, že výpočty uvedených metod jsou vyrovnané, přičemž největší rozdíl mezi nimi představuje řád desítek km. Nejkratší trasu představuje výpočet metody výhodnostních čísel s délkou trasy 212,11 km.



GRAF 6: VÝSLEDNÉ DÉLKY TRAS, OKRUH 1 CHOMUTOV

Z výsledků metod lze vyvodit závěr, že stávající trasa firmy není optimální. Všechny metody značně uspořily najeté kilometry oproti stávající trase. Vogelova aproximační metoda uspořila 93,1 km a metoda nejbližšího souseda 102,2 km. Metoda výhodnostních čísel představuje největší úsporu 107,4 km.

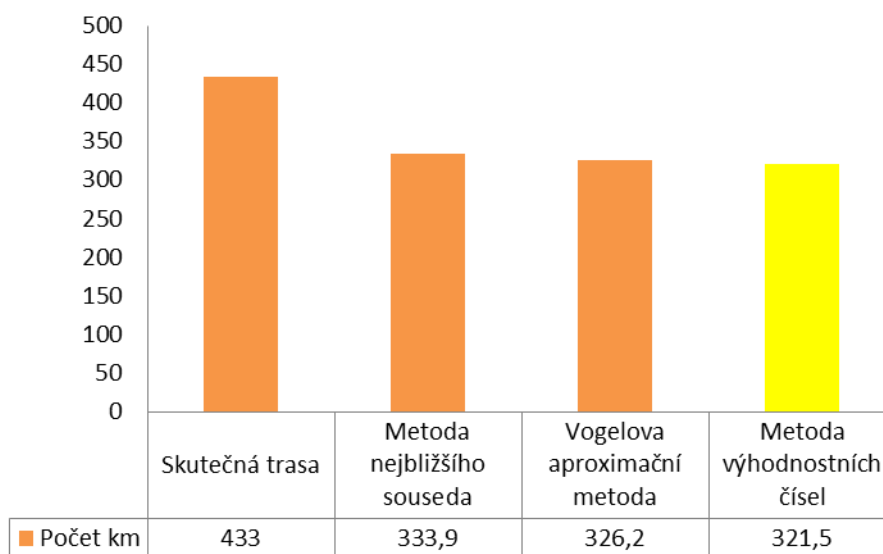
Optimální trasa okruhu 1 Chomutov je zakreslena na následujícím obrázku 10 a skládá se z míst, která jsou podrobně vypsána v podkapitole 4.2.4.1.



OBRAZEK 10: OPTIMÁLNÍ TRASA OKRUH 1 CHOMUTOV

5.5.2 Okruh 2

Výsledky všech metod jsou uvedeny v grafu 7, z kterého lze vypočítat, že výpočty uvedených metod jsou vyrovnané. Odchyly rozdílů jsou nejvýše desítky kilometrů. Nejkratší trasu znázorňuje řešení metody výhodnostních čísel s délkou trasy 321,5 km.

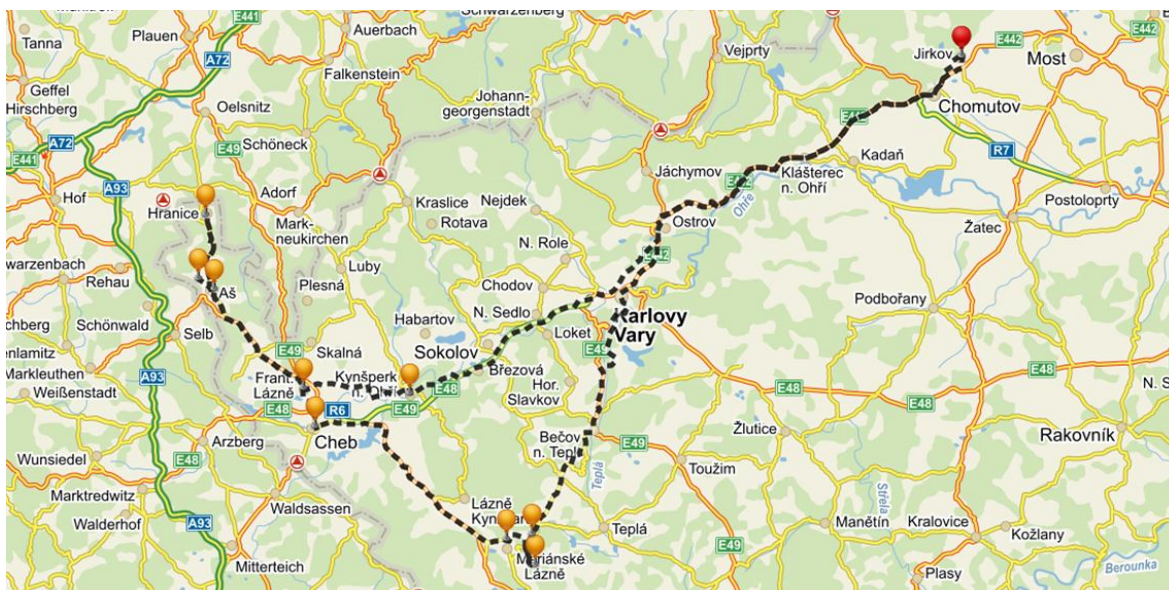


GRAF 7: VÝSLEDNÉ DÉLKY TRAS, OKRUH 2 CHOMUTOV

Dosažené výsledky ukazují, že stávající trasa firmy není optimální. Všechny metody výrazně uspořily najeté kilometry oproti stávající trase. Metodou nejbližšího souseda došlo k úspoře 99,1 km. Vogelovou aproximační metoda uspořila 106,8 km. Metoda výhodnostních čísel představuje největší úsporu 111,5 km.

Optimální trasa tohoto okruhu lze obsloužit dvěma způsoby, které se liší pouze ve třech sousedních místech, což nepředstavuje podstatnou změnu v obsluze trasy.

Jedna z možných variant (trasa A) okruhu 2 Chomutov je zakreslena na následujícím obrázku 11. Navštívená místa trasy A a B jsou podrobně vypsána v podkapitole 4.2.4.2.



OBRÁZEK 11: OPTIMÁLNÍ TRASA OKRUH 2 CHOMUTOV

5.6 Souhrnná analýza

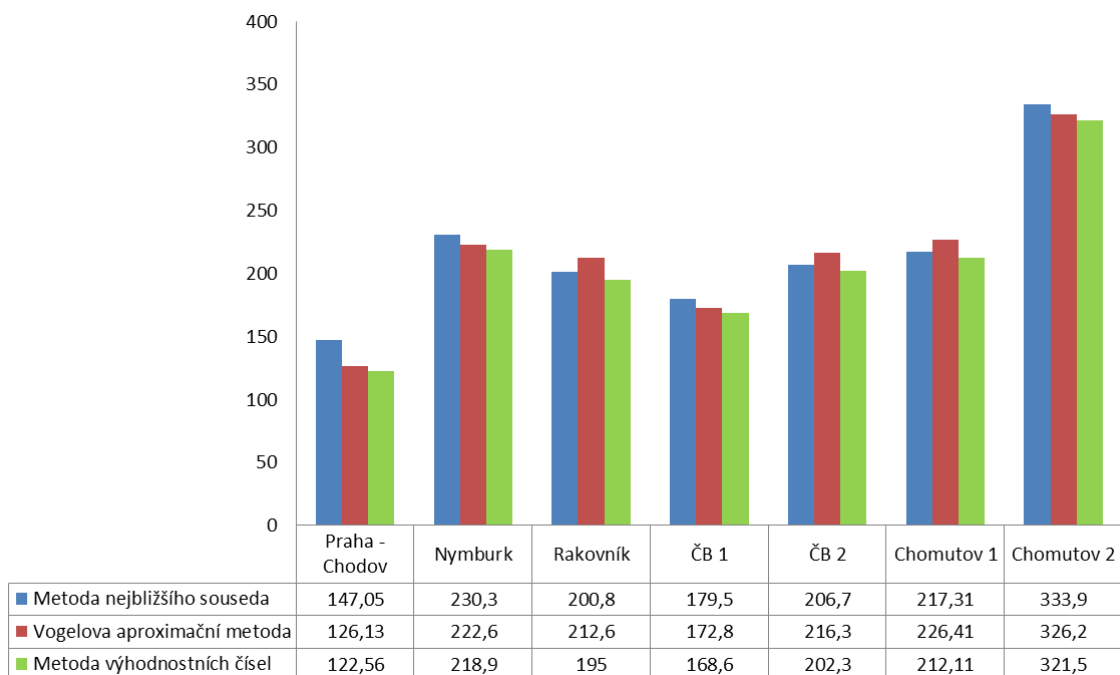
V této podkapitole jsou shrnuty všechny dosažené výsledky, které jsou řešeny v praktické části diplomové práce, a dále je zde zhodnocena efektivita použitých metod.

Z výsledků pražské oblasti lze vypožorovat, že žádná stávající trasa firmy nepředstavuje optimální řešení. Nejlépe naplánovanou trasou firmy je Praha – Chodov, jejíž rozdíl oproti optimální trase činí 28,07 km. Za nejhůře naplánovanou trasu lze označit Nymburk s významným rozdílem oproti optimální trase 142,5 km.

V oblasti mimopražské, kterou obsluhují externí firmy, také není žádná stávající trasa optimální. Nejlepších výsledků dosahuje trasa okruhu 1 ČB se ztrátou 28,4 km na vzdálenost optimální trasy. Nejhorší výsledky této oblasti představuje trasa okruhu 2 Chomutov s rozdílem oproti optimální trase 111,5 km.

Nyní lze z dosažených výsledků určit, která ze tří firem má nejlépe naplánované trasy. Z celkového pohledu na výsledná řešení jednotlivých oblastí je nejlepší v plánování tras firma z Českých Budějovic.

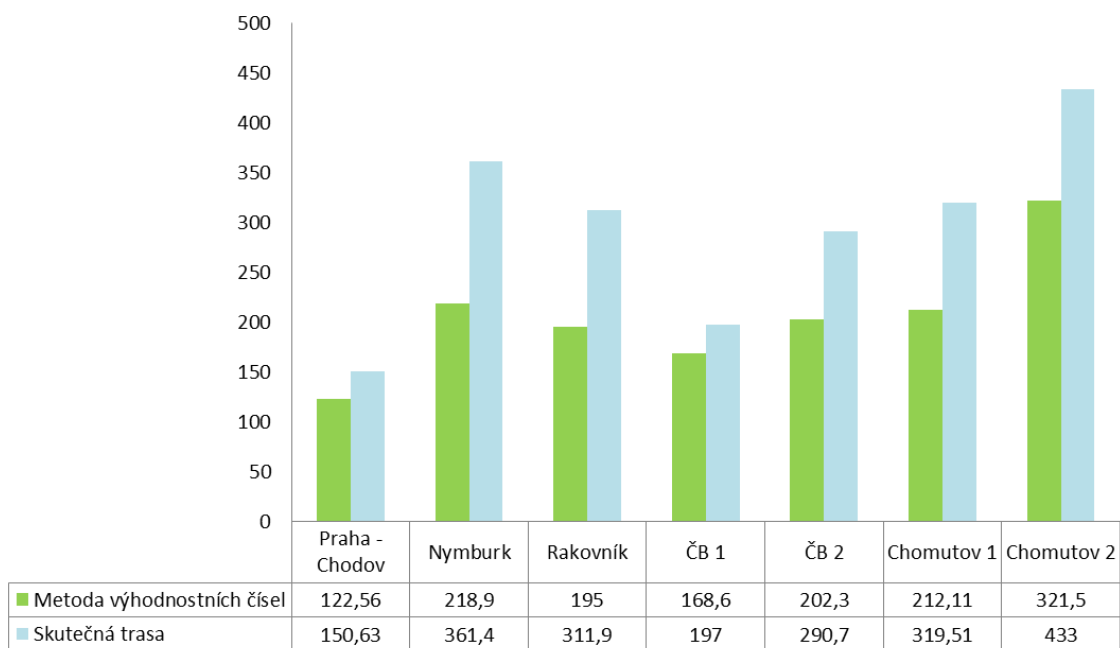
Následující graf 8 znázorňuje efektivitu použitých okružních dopravních metod, kterými jsou: metoda nejbližšího souseda, Vogelova aproximační metoda a metoda výhodnostních čísel.



GRAF 8: EFEKTIVITA POUŽITÝCH METOD

Z grafu lze jednoznačně určit, že nejlepších výsledků dosahuje metoda výhodnostních čísel, která ve všech trasách představuje nejnižší hodnotu ujetých kilometrů. Výsledky Vogelovy aproximační metody jsou na druhém místě ve čtyřech okruzích (Praha – Chodov, Nymburk, ČB 1, Chomutov 2) a na posledním třetím místě ve třech okruzích (Rakovník, ČB 2, Chomutov 1). Opačných výsledků dosahuje metoda nejblížešho souseda, která je druhá v pořadí ve třech okruzích (Rakovník, ČB 2, Chomutov 1) a třetí ve čtyřech okruzích (Praha – Chodov, Nymburk, ČB 1, Chomutov 2).

Z těchto tvrzení vyplývá, že největší spolehlivost garantuje metoda výhodnostních čísel. Poté následuje Vogelova aproximační metoda a metodu nejblížešho souseda lze hodnotit jako nejméně spolehlivou a potvrdilo se tak tvrzení vědců (Rosenkrantz, Stearns, Lewis, [15]), kteří se zabývali studii této metody.



GRAF 9: SKUTEČNÁ TRASA VS. VÝSLEDKY METODY VÝHODNOSTNÍCH ČÍSEL

Na předchozím grafu 9 jsou zobrazeny vzdálenosti skutečných tras firmy v porovnání s výsledky metody výhodnostních čísel. Z grafu jsou vidět významné úspory ve všech obsluhovaných okruzích.

6 Závěr

V této diplomové práci jsem zpracovávala téma Optimalizace tras pro firmy zabývající se zásilkovou službou. Řešení problému vycházelo z aplikace tří okružních dopravních metod na stávající okruhy firmy UPS. Jednalo se o tři okruhy pražské oblasti a dva okruhy mimopražské, které obsluhují dvě externí firmy. Výsledky použitých metod byly porovnány mezi sebou, ale především se současnými trasami firmy.

První část práce obsahovala teoretické podklady, které vysvětlovaly význam logistické dopravy, jednotlivé disciplíny operačního výzkumu a také zde byly uvedeny jednotlivé metody řešení okružního dopravního problému. Druhá část byla zaměřena na vlastní zpracování, kde v úvodu byla představena firma UPS, ale především zde byl řešen daný problém.

Vybranými metodami byly pro všechny okruhy nalezeny různé trasy, přičemž ta s nejkratší vzdáleností splňovala kritérium výběru. Následně došlo ke zhodnocení výsledků a pro každý okruh byla vybrána optimální trasa (v některých případech i dvě trasy). Nejlepších výsledků dosahovala metoda výhodnostních čísel, která ve všech trasách představovala nejnižší hodnotu ujetých kilometrů. Po srovnání konečných výsledků se stávajícími trasami firmy bylo zjištěno, že žádná z nich nepředstavovala optimální řešení.

Obsluhované oblasti byly rozděleny na oblast pražskou (obsluhuje sama firma UPS) a mimopražskou (obsluhují dvě externí firmy). Pražská oblast představovala obslužnost okruhu Praha – Chodov, Nymburk, Rakovník a nejlépe naplánovanou trasou byla Praha – Chodov se ztrátou na vzdálenost optimální trasy 28,07 km. V Mimopražské oblasti se jednalo o obsluhu dvou okruhů ČB a dvou okruhů Chomutova a nejlepších výsledků dosahovala trasa okruhu 1 ČB s rozdílem oproti optimální trase 28,4 km. Ze souhrnné analýzy těchto oblastí vyplynulo, že ze tří firem měla nejlépe naplánované trasy firma z Českých Budějovic.

Ve vlastním zájmu firmy by bylo vhodné přehodnotit dosavadní způsob plánování tras, protože samotné plánování kurýřů během doručování nepředstavuje optimální řešení.

Seznam literatury

- [1] COOK, William a Radek HONZÍK. *Po stopách obchodního cestujícího: matematika na hranicích možností*. 1. vyd. v českém jazyce. Překlad Veronika Douchová. Praha: Dokořán, 2012, 255 s. Zip, sv. 28. ISBN 978-802-5707-067.
- [2] DANĚK, J.; TEICHMANN, D. *Optimalizace dopravních procesů*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2005. 191 s. ISBN 80-248-0996-6.
- [3] DAVID, Petr a František ORAVA. *Zasílatelství*. Vyd. 1. V Praze: České vysoké učení technické, 2008, 115 s. ISBN 978-80-01-04035-5.
- [4] FÁBRY, Jan a Radek HONZÍK. *Matematické modelování*. 1. vyd. Překlad Veronika Douchová. Praha: Professional Publishing, 2011, 180 s. Zip, sv. 28. ISBN 978-80-7431-066-9.
- [5] FIALA, Petr. *Operační výzkum: nové trendy*. 1. vyd. Praha: Professional Publishing, 2010, 239 s. ISBN 978-80-7431-036-2.
- [6] FRIEZE, A. M., G. GALBIATI a F. MAFFIOLI. On the worst-case performance of some algorithms for the asymmetric traveling salesman problem. *Networks*. 1982, vol. 12, issue 1, s. 23-39. DOI: 10.1002/net.3230120103.
- [7] JABLONSKÝ, J. *Operační výzkum: kvantitativní modely pro ekonomické rozhodování*. 2. vyd. Praha: Professional Publishing, 2002. 323 s. ISBN 80-864-1942-8.
- [8] JIRSÁK, Petr, Michal MERVART a Marek VINŠ. *Logistika pro ekonomy - vstupní logistika*. Vyd. 1. Praha: Wolters Kluwer Česká republika, 2012, 263 s. ISBN 978-80-7357-958-6.
- [9] KADLEC, Vladimír a Leo VODÁČEK. *Matematické metody řešení dopravních problémů: lineární programování*. [Vyd. 1.]. Praha: Nakl. dopravy a spojů, 1963, 270 p.
- [10] LAMBERT, Douglas M. *Logistika: [příkladové studie, řízení zásob, přeprava a skladování, balení zboží]*. Vyd. 2. Brno: CP Books, 2005. 589 s. ISBN 80-251-0504-0.
- [11] LINDA, B.; VOLEK J. *Lineární programování*. Vyd. 3. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2009, 139 s. ISBN 978-80-7395-207-5.
- [12] LUKOSZOVÁ, Xenie. *Logistické technologie v dodavatelském řetězci*. 1. vyd. Praha: Ekopress, 2012, 121 s. ISBN 978-80-86929-89-7.
- [13] NOVÁK, R.; ZELENÝ, L.; PERNICA, P.; KOLÁŘ, P. *Přepravní, zasílatelské a logistické služby*. Vyd. 1. Praha: WoltersKluwer Česká republika, 2011. 391 s. ISBN 978-80-7357-735-3.

- [14] PELIKÁN, Jan. *Diskrétní modely v operačním výzkumu*. 1.vyd. Praha: Professional Publishing, 2001, 163 s. ISBN 80-864-1917-7.
- [15] ROSENKRANTZ, Daniel J., Richard E. STEARNS, Philip M. LEWIS a II. An Analysis of Several Heuristics for the Traveling Salesman Problem. *SIAM Journal on Computing*. 1977, vol. 6, issue 3, s. 563-581. DOI: 10.1137/0206041.
- [16] SVOBODA, Vladimír. *Dopravní logistika*. 1 vyd. Praha: ČVUT, 2004, 115 s. ISBN 80-010-2914-X.
- [17] ŠMEREK, RNDr. Michal, Doc. RNDr. Jiří MOUČKA, Ph.D. *Ekonomicko-matematické metody*. Univerzita obrany: Vydavatelská skupina UO Brno, 2008. ISBN 978-80-7231-526-0.
- [18] ŠUBRT, T.; BROŽOVÁ, H.; DÖMEOVÁ, L.; KUČERA, P. *Ekonomicko matematické metody II: aplikace a cvičení*. Vyd. 2. Praha: ČZU PEF Praha ve vydavatelství Credit, 2001. 148 s. ISBN 978-80-213-0721-62007.
- [19] ŠUBRT, T. a kol. *Ekonomicko-matematické metody*. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2011. 351 s. ISBN 978-80-7380-345-2.
- [20] WALTEROVÁ, L. *Dopravní modely*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství Praha, 1986. 253 s.
- [21] UPS. *UPS* [online]. [cit. 2015-20-03]. Dostupné z: <http://www.ups.com/content/cz/cs/about/index.html?WT.svl=Footer>

Seznam tabulek

Tabulka 1: Stávající trasa firmy, okruh Praha - Chodov	32
Tabulka 2: Matice nejkratších vzdáleností, okruh Praha - Chodov	33
Tabulka 3: Stávající trasa firmy, okruh Nymburk	35
Tabulka 4: Matice nejkratších vzdáleností, okruh Nymburk.....	36
Tabulka 5: Stávající trasa firmy, okruh Rakovník	37
Tabulka 6: Matice nejkratších vzdáleností, okruh Rakovník	38
Tabulka 7: Stávající trasa externí firmy, okruh 1 ČB	40
Tabulka 8: Matice nejkratších vzdáleností, okruh 1 ČB.....	41
Tabulka 9: Stávající trasa firmy, okruh 2 ČB	42
Tabulka 10: Matice nejkratších vzdáleností, okruh 2 ČB.....	43
Tabulka 11: Stávající trasa externí firmy, okruh 1 Chomutov	45
Tabulka 12: Matice nejkratších vzdáleností, okruh 1 Chomutov	46
Tabulka 13: Stávající trasa firmy, okruh 2 Chomutov.....	47
Tabulka 14: Matice nejkratších vzdáleností, okruh 2 Chomutov	47

Seznam obrázků

Obrázek 1: Horizontální struktura procesu přepravy.....	15
Obrázek 2: Doručování zásilek.....	30
Obrázek 3: Podrobné zobrazení trasy Praha - Chodov	50
Obrázek 4: Optimální trasa Praha - Chodov	50
Obrázek 5: Optimální trasa Nymburk.....	52
Obrázek 6: Optimální trasa Rakovník	53
Obrázek 7: Optimální trasa A okruh 1 ČB	54
Obrázek 8: Optimální trasa B okruh 1 ČB.....	55
Obrázek 9: Optimální trasa okruh 2 ČB	56
Obrázek 10: Optimální trasa okruh 1 Chomutov	57
Obrázek 11: Optimální trasa okruh 2 Chomutov	59

Seznam grafů

Graf 1: Výsledné délky tras, okruh Praha - Chodov	49
Graf 2: Výsledné délky tras, okruh Nymburk.....	51
Graf 3: Výsledné délky tras, okruh Rakovník	52
Graf 4: Výsledné délky tras, okruh 1 ČB.....	54
Graf 5: Výsledné délky tras, okruh 2 ČB.....	55
Graf 6: Výsledné délky tras, okruh 1 Chomutov	57
Graf 7: Výsledné délky tras, okruh 2 Chomutov	58
Graf 8: Efektivita použitých metod	60
Graf 9: Skutečná trasa vs. výsledky metody výhodnostních čísel	61