Česká zemědělská univerzita v Praze

Provozně ekonomická fakulta

Katedra systémového inženýrství

Diplomová práce

Vícekriteriální okružní dopravní problém

Bc. Tomáš Hofírek

! ! !

Místo této strany vložíte zadání diplomové práce.

(Do jedné vazby originál a do druhé kopii)

! ! !

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Vícekriteriální okružní dopravní problém" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 6. 4. 2012 ______________________________

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval RNDr. Petru Kučerovi Ph.D. za jeho ochotu, konstruktivní připomínky a odborné rady, kterými přispěl k vypracování této diplomové práce.

Vícekriteriální okružní dopravní problém

Multiple-criteria traveling salesman problem

Souhrn

Diplomová práce se zabývá okružním dopravním problém, konkrétně problémem obchodního cestujícího. Jedná se o NP-úplný problém a pro tyto úlohy dosud nebyl nalezen algoritmus, proto řešení nevede k jednomu optimálnímu řešení. Cílem diplomové práce je optimalizace dopravních tras obchodních zástupců společnosti Ammeraal Beltech a zjištění efektivnosti těchto tras za období patnácti dní, během kterých byli navštěvováni zákazníci. Při optimalizaci tras bereme v úvahu kritérium vzdálenost a kritérium čas. Kritérium vzdálenost určuje nejkratší cestu mezi zákazníky a kritérium čas značí nejrychlejší cestu mezi zákazníky. Samotná optimalizace dopravních tras je provedena pomocí metody větví a mezí a metod Vogelovy aproximační a nejbližšího souseda. Výsledky metod jsou porovnány mezi sebou a se skutečností. Z tohoto porovnání je patrné kolik kilometrů, času a finančních prostředků je možné ušetřit projetí trasy trasou optimální. V každé trase a u všech použitých metod kritérium čas silně dominuje kritérium vzdálenost ve finančním vyjádření nákladů na mzdu a pohonné hmoty.

Klíčová slova: Ammeraal Beltech, problém obchodního cestujícího, metoda nejbližšího souseda, Vogelova aproximační metoda, metoda větví a mezí, NP-úplné problémy.

Summary

This thesis deals with circular transport problem, specifically the traveling salesman problem. This is an NP-complete problem for these tasks and have not found an algorithm, so a single solution does not result in optimal solutions. The aim of the thesis is to optimize the routes sales representatives Ammeraal Beltech and finding effectiveness of these routes during the period fifteen days, which there were frequented customers. During the optimization routes we take into account the criterion distance and criterion time. Criterion distance determines the shortest route between customers and criterion time indicates fastest route between customers. The actual optimization of transport routes is performed using the branch and bound method and methods Vogel approximation and nearest neighbor. The methods are compared with reality and with each other. From this comparison is evident how many kilometers, time and financial resources they can save the optimized route. In each route and all of the used methods criterion time strongly dominated criterion the distance expressed in financial terms the cost of wages and fuel.

Keywords: Ammeraal Beltech, traveling salesman problem, the nearest neighbor method, Vogel approximation method, branch and bound, NP-complete problems.

Obsah

1 Úvod

Vícekriteriální okružní dopravní problém se zabývá problémem, jak ujet určitou trasu při volbě více kritérií a jejich možné kombinace. Pokud se podíváme do minulosti, tento problém řešili lidé od počátku své historie. Již kočovníci – lovci a sběrači byli nuceni přesouvat se mezi jednotlivými loveckými revíry a destinacemi, aby si zajistili dostatek potravy. Na jejich rozhodování kdy a kudy se přesouvat mělo vliv roční období a klimatické podmínky. Se zvyšující se znalostí, se vyvinula kočovná pastevecká společnost, která při určení směru cesty byla omezena svou velikostí. Pro jejich trasy byla důležitá velikost pastvin, politická a vojenská situace v zemi, a zda jsou na cestě spřátelené kmeny (národy) či nikoliv. S rostoucí specializací vzniká potřeba výměny zboží a tak vzniká skupina – potulní obchodníci. Což byla mobilní populace, která nabízela řemeslo nebo obchod a pohybovala se mezi obyvateli trvale žijícími na jednom místě.

V současnosti okružní dopravní problém používá ve svém podnikání velké množství společností pro mj. zásilkové služby, zásobování, servis, rozvoz zboží a pohyb lidí. Klasickým příkladem okružního dopravního problému je problém obchodního cestujícího, který řeší jak projet všechny místa a vrátit se do výchozího s minimálním ohodnocením, za které můžou být dosazeny náklady, čas nebo vzdálenost. Při svém rozhodování společnosti používají kritéria: čas, náklady, jazykové dovednosti, vzdělání, kultura, vzdálenost, technologický pokrok, demografie a mnohé další.

Pro určité skupiny lidí či společnosti je kombinace a množství použitých kritérií různé, protože každý jedinec přikládá jinou důležitost jednotlivým kritériím. S postupujícím časem přicházejí nové možnosti a roste množství kritérií, mezi kterými si může jedinec zvolit. V drtivé většině společností vede množství použitých kritérií k ekonomickým cílům, jež jsou především maximalizace hodnoty podniku a maximalizace zisku. Ta je dosahována minimalizací nákladů a maximalizací výnosů. Dosahováním těchto cílů si mohou společnosti udržet svoji konkurenceschopnost, obstát na trhu a být úspěšné v dlouhodobém měřítku.

Přes tyto skutečnosti se mnoho společností dostatečně nezabývá okružním dopravním problémem a chová se velice neefektivně.

2 Cíl práce a metodika

Cílem diplomové práce bude optimalizace dopravních tras obchodních zástupců společnosti Ammeraal Beltech a zjištění efektivnosti těchto tras za období patnácti dní, během kterých byli navštěvováni zákazníci. Při optimalizaci tras bude bráno v úvahu kritérium vzdálenost a kritérium čas.

Práce bude rozdělena na tři části. V první části budou popsána teoretická východiska distribučních úloh, především dopravní úlohy, okružní problém, problém obchodního cestujícího, rozvozní problém a problém čínského pošťáka. Dále teorie grafů, výpočetní složitosti a problémy třetího tisíciletí. Teoretická východiska budou čerpány z odborných knih, skript a webových stránek, které budou uvedeny v seznamu literatury. Ve druhé části bude představena společnost Ammeraal Beltech, její historie a činnost podnikání. Ve třetí části bude samotná optimalizace dopravních tras, která bude provedena pomocí exaktní metody větví a mezí a přibližných metod Vogelovy aproximační a nejbližšího souseda. V této části budou tyto metody porovnány mezi sebou a se skutečností. Z tohoto porovnání bude patrné kolik kilometrů, času a finančních prostředků by bylo možné ušetřit projetí trasy trasou optimální.

Z týdenních plánů obchodních zástupců nejsou patrné přesné adresy jednotlivých zákazníků, proto budou zjištěny v internetové aplikaci http://mapy.cz GPS polohy zákazníka a dále bude pracováno pouze s GPS polohou. Přesné adresy má společnost ve své databázi IS. GPS poloha nebude zveřejněna a názvy jednotlivých zákazníků budou změněny na přání společnosti Ammeraal Beltech z důvodu tvrdého konkurenčního boje. U každého zákazníka bude zveřejněno město či obec, ve kterém působí. V internetové aplikaci http://mapy.cz budou zjištěny i jednotlivé trasy mezi zákazníky. Pro kritérium vzdálenost bude brána nejkratší možná cesta mezi zákazníky a pro kritérium čas bude použita nejrychlejší cesta. Bude možné použít všechny typy komunikací, placené i neplacené. V případě dvou stejně rychlých cest k zákazníkovi bude vybrána trasa, která je kratší. Kvalita zákazníka se ve společnosti Ammeraal Beltech rozděluje do pěti skupin: K, A, B, C, T a jejich dalších podskupin, které v tomto případě nebudou brány v úvahu. Skupina K je klíčová, A je nejkvalitnější, C dosahuje nejmenšího objemu zakázek a T je potencionální zákazník. Dle těchto skupin určíme i kolik času stráví obchodní zástupce na jednání u zákazníka. U skupiny A i K bude čas jeho návštěvy 40 minut, u skupiny B

30 minut a u skupin C a T je to 20 minut. Tento údaj je pro obě kritéria shodný. K výpočtu jednotlivých tras použijeme doplněk TSP KOSA pro MS-EXCEL. Ukážeme si postup výpočtu u metod Vogelovy aproximační a metody nejbližšího souseda. Při optimalizaci vzdálenosti bude u každé trasy napsán počet ujetých kilometrů a čas, který stráví obchodní zástupce na cestě. Výsledkem optimalizace času je doba strávená na trase a u každé trasy bude také napsána délka trasy.

Ve společnosti Ammeraal Beltech mají spočteno, že náklady na jednu hodinu obchodního zástupce jsou 2000 Kč. Tuto částku využijeme k výpočtu, kolik uspoříme finančních prostředků při ušetřeném čase. Pro zjištění nákladů na vozidlo jsou potřeba údaje: spotřeba vozidla – 8l/100km, cena pohonných hmot 36 Kč/l a amortizace 4,1 Kč/km. Celkové náklady na vozidlo se vypočtou vztahem: vzdálenost * spotřeba * cena pohonných hmot / 100 + vzdálenost * amortizace.

3 Teoretická východiska

3.1 Distribuční úlohy

Distribuční úlohy lineárního programování představují díky svým vlastnostem takový typ úloh, které je vhodné řešit specifickými metodami, které jsou, ve srovnání s univerzální simplexovou metodou, efektivnější. (7)

Obecně se, jak je zřejmé i z názvu, zabývají nikoliv výrobou, ale rozdělením (distribucí) určitých komodit, kterými může být např. zboží homogenního charakteru, stroje, pracovní síly apod. (12)

Do této skupiny distribučních úloh zařazujeme modely stejného typu, kterými jsou:

- dopravní problém,
- zobecněný distribuční problém,
- přiřazovací problém,
- okružní problém,
- alokační (rozmísťovací) problém.

Cílem dopravního problému je nalézt optimální způsob přepravy materiálu nebo zboží od dodavatelů ke spotřebitelům. Dopravní problém můžeme rozdělit do tří úloh: jednostupňová dopravní úloha bude popsána v kapitole 3.2 Dopravní úloha, dále vícestupňová dopravní úloha, která obsahuje nejenom dodavatele a spotřebitele, ale navíc i mezisklady a vícerozměrná dopravní úloha, která určuje způsob (jak nebo čím) přepravy zboží či materiálu.

Zobecněný distribuční problém nabízí řešení takových úloh, ve kterých kapacity dodavatelů a požadavky odběratelů nejsou uváděny ve stejných měrných jednotkách. Z toho důvodu je pro zajištění možnosti jejich sčítání nutno zavést do takovýchto modelů přepočítací koeficient *k*. Matematický model zobecněného distribučního problému je velmi podobný modelu nevyvážené dopravní úlohy. Rozdíl mezi oběma modely je pouze v tom, že v omezujících podmínkách je použit koeficient *k*. (7)

Přiřazovací úloha patří ve skupině distribučních úloh mezi nejjednodušší případy. Zabývá se přiřazováním určitých prvků ke stejnému počtu jiných prvků tak, aby byl výsledný efekt přiřazení optimální. (9)

Okružní problém bude popsán v kapitole 3.4 Okružní problém.

Rozmísťovací problém můžeme rozdělit na dvě úlohy – lokalizační a alokační. Lokalizační úlohy řeší problém optimálního umístění zařízení či objektu. Umístění je optimalizováno z hlediska optimalizačního kritéria, které závisí na charakteru úlohy a funkci zařízení. Kritérium může zahrnovat náklady na umístění zařízení (cena pozemku, výstavby a vybavení), tak především maximalizaci poskytovaných funkcí. Alokační úlohy se zaměřují na problém optimálního zásobování. Existující zařízení je třeba optimálně „vybavit“, aby dobře plnila své funkce. (8)

3.2 Dopravní úloha

Podstatou dopravního problému je nalezení co nejúspornější přepravy materiálu nebo zboží od dodavatelů ke spotřebitelům.

Úkolem dopravního problému je určit, kolik zboží dodá každý dodavatel kterému spotřebiteli tak, aby byly uspokojeny požadavky spotřebitelů a aby hodnota stanoveného cíle (většinou náklady na přepravu) byla minimální. (12)

Dopravní modely lze rozdělit mimo jiné podle dvou hledisek (20):
Počet stupňů udává počet dopravních uzlů, kterými musí materiál projít na cestě od primárního dodavatele k finálnímu spotřebiteli. Je-li přeprava realizována přímo, jedná se o úlohy jednostupňové, je-li nutno realizovat transport přes jeden mezisklad, jde o úlohu dvoustupňovou atd. Dvou a vícestupňové modely bývají též nazývány dopravními modely s tranzitem. Pod pojmem mezisklad si lze představit rovněž místo zpracování materiálu.

Počet rozměrů udává míru složitosti přepravy. Nesledujeme-li nic jiného než dodavatele a spotřebitele, jedná se o úlohu dvourozměrnou (odkud, kam). Sledujeme-li navíc technologii přepravy, jedná se o úlohu třírozměrnou (odkud, kam, čím). Vícerozměrné úlohy bývají nazývány též úlohami víceindexními.

Hlavními předpoklady dopravních úloh jsou:

- zboží dopravované mezi všemi dodavateli a odběrateli je stejného druhu,
- doprava je prováděna jedním druhem dopravního prostředku,
- kapacity dopravních cest nejsou omezené,
- pro dopravu od dodavatele k odběrateli je uvažována pouze jedna cesta,
- náročnost (náklady) dopravy vzrůstá úměrně přepravovanému množství zboží. (7)

3.2.1 Formulace dopravní úlohy

Je dáno m dodavatelů $D_1, D_2, \ldots, D_m$ a n spotřebitelů $S_1, S_2, \ldots, S_n$. Dodavatelé D_i mají kapacity zboží $a_1, a_2, \ldots, a_m$, spotřebitelé mají požadavky na zboží velikosti $b_1, b_2, \ldots, b_n$. Cena přepravy jednotky zboží mezi dodavatelem D_i a spotřebitelem S_j je rovna c_{ij}. Cílem úlohy je najít takový plán přepravy, při kterém budou celkové přepravní náklady minimální. Neznámá, hledaná přepravovaná množství zboží mezi i-tým dodavatelem a j-tým spotřebitelem označíme x_{ij}. V praxi se místo ceny za přepravu jednotky zboží používá vzdálenost mezi dodavatelem a spotřebitelem. (24)

Všechny informace o dopravním problému zapisujeme do dopravní tabulky, ve které provádíme i samotný výpočet. Dopravní tabulka má následující tvar:

Tab. 1: Dopravní tabulka

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

Zdroj: (9). Zpracováno autorem

V literatuře se uvádějí různé formy zápisu informací v buňkách, proto budeme používat stejnou formu zápisu, kterou uvádí autorka (9). Řádky jsou zpravidla vyhrazeny dodavatelům a sloupce spotřebitelům. V každém políčku jsou v pravém horním rohu zapsány sazby c_{ij}. Do středu políčka píšeme množství přepravovaného produktu, tj. hodnoty $x_{ij} > 0$ (obsazené políčko). Je-li $x_{ij} = 0$, hodnotu do políčka nezapisujeme z důvodu přehlednosti a říkáme, že políčko je prázdné (spoj se nerealizuje). První index u proměnné x_{ij} značí číslo dodavatele, druhý index číslo spotřebitele. V pravém sloupci jsou uvedeny kapacity dodavatelů a_i a v dolním řádku požadavky jednotlivých spotřebitelů b_j.

Matematický model

Úlohou je nalézt minimum lineární funkce

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

za podmínek

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

$$\sum_{i=1}^{m} x_{ij} = b_j \qquad j = 1,2,\dots,n \tag{2.}$$

$$x_{ij} \geq 0 \qquad j = 1,2,\dots,n; i = 1,2,\dots,m \tag{3.}$$

$$\sum_{i=1}^{m} a_i = \sum_{j=1}^{n} b_j \tag{4.}$$

Matematický model dopravní úlohy se skládá ze tří částí (9):

1. Soustava omezujících podmínek **(2.)** je zadaná jako soustava rovnic. Prvních *m* rovnic určuje, že každý dodavatel dodává jednotlivým spotřebitelům pouze tolik produktu, kolik je jeho kapacita. Dalších *n* rovnic určuje, že každý spotřebitel přijme od jednotlivých dodavatelů právě tolik produktu, kolik požaduje.
2. Podmínka nezápornosti **(3.)** všech proměnných x_{ij} (nemůžeme přepravovat záporné množství produktu).
3. Účelová funkce **(1.)** vyjadřuje závislost mezi strukturou přepravy a celkovými přepravními náklady

3.2.2 Algoritmus řešení dopravní úlohy

Postup při řešení dopravní úlohy je typu krok za krokem a skládá se z těchto kroků:

1. kontrola vyváženosti úlohy,
2. nalezení výchozího bazického řešení,
3. ověření nedegenerovanosti bazického řešení,
4. test optimality výchozího řešení,
5. přechod na lepší řešení.

Kontrola vyváženosti úlohy

Podmínka řešitelnosti dopravní úlohy je taková, že se objem kapacit dodavatelů rovná objemu požadavků spotřebitelů. Když je tento předpoklad splněn jedná se o tzv. vyváženou dopravní úlohu. Pokud není podmínka řešitelnosti splněna, jedná se o tzv. nevyváženou dopravní úlohu a je nutné přidat fiktivního dodavatele (spotřebitele), který odebere takové množství, o které nemají skuteční dodavatelé (spotřebitelé) zájem.

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

Nalezení výchozího bazického řešení

Toto řešení poskytuje základ pro nalezení optimálního řešení. Požadavky, aby bylo přípustné řešení bazické, jsou podle autora (7) následující:

a) počet bazických proměnných nesmí být větší než $m + n - 1$,
b) součet hodnot proměnných v každém z řádků tabulky je roven kapacitě příslušného dodavatele,
c) součet hodnot proměnných v každém ze sloupců tabulky je roven požadavku příslušného odběratele,
d) bazické proměnné nesmí v tabulce vytvářet uzavřený obvod (cyklus).

Mezi nejznámější metody na určení výchozího bazického řešení patří tyto metody:

a) metoda severozápadního rohu,
b) metoda indexová,
c) Vogelova aproximační metoda,
d) Habrova frekvenční metoda.

Ověření nedegenerovanosti bazického řešení

Základní řešení dopravní úlohy obsahuje právě $m + n - 1$ kladných hodnot x_{ij} (tj. počet obsazených spojů), které spolu netvoří uzavřený obvod. K degeneraci řešení dochází, když je počet obsazených polí menší než $m + n - 1$. K takové situaci dojde, když je některý dílčí součet kapacit dodavatelů roven požadavku spotřebitelů. Degenerace řešení působí problémy při dalších výpočtech. Proto je nutné ji odstranit a mít počet obsazených polí právě $m + n - 1$. K silné degeneraci dochází v případě, že je počet kladných hodnot x_{ij} relativně mnohem menší. Pro obsazení polí na právě $m + n - 1$ přidáme symbolickou hodnotu ϵ, $\epsilon > 0$, číslo ϵ je tak malé, že z hlediska praxe nemá význam. Do volného pole přidáme ϵ tak, aby bylo řešení základní, nedegenerované.

K degeneraci může docházet ve 2 případech:

a) degeneraci při sestavování výchozího řešení,
b) degenerace při přesunech po Danzigových uzavřených obvodech.

Test optimality výchozího řešení

Pro test optimality výchozího řešení použijeme modifikovanou distribuční metodu (MODI). Tato metoda vychází z teorie duality úloh lineárního programování. Vztah mezi primárním a duálním modelem dopravní úlohy nalezneme v Tab. 2. Metoda MODI určí, zda nalezené řešení je optimální a jediné, optimální ale není jediné (existuje další se stejnou hodnotou účelové funkce) či nesplňuje test optimality. Pokud nesplňuje podmínky optimality **(5.)** a **(6.)** je možné řešení ještě zlepšit a přejdeme k dalšímu kroku.

Pro optimální řešení pro minimalizaci platí vztah $z_j - c_j \leq 0$ **(5.)**

Pro optimální řešení pro maximalizaci platí vztah $z_j - c_j \geq 0$ **(6.)**

Tab. 2: Vztah mezi primárním a duálním modelem dopravní úlohy

Primární úloha		Duální úloha	
$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = a_i$	$i = 1,2,\dots,m$	u_i – libovolná	$i = 1,2,\dots,m$
$\sum_{i=1}^{m} x_{ij} = b_j$	$j = 1,2,\dots,n$	v_j - libovolná	$j = 1,2,\dots,n$
$x_{ij} \geq 0$	$j = 1,2,\dots,n$ $i = 1,2,\dots,m$	$u_i + v_j \leq c_{ij}$	$j = 1,2,\dots,n$ $i = 1,2,\dots,m$
$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} c_{ij}x_{ij} = z_{min}$		$\sum_{i=1}^{m} a_i u_i + \sum_{j=1}^{n} b_j v_j = f_{MAX}$	

Zdroj: (9). Zpracováno autorem

Přechod na lepší řešení

Změnu báze provádíme v dopravní úloze pomocí grafického schématu v dopravní tabulce, které naznačuje, jak provést přesuny zboží po jednotlivých trasách, aby se vytížila trasa s nižšími přepravními náklady a přitom se nenarušily požadavky a kapacity spotřebitelů a dodavatelů. (24)

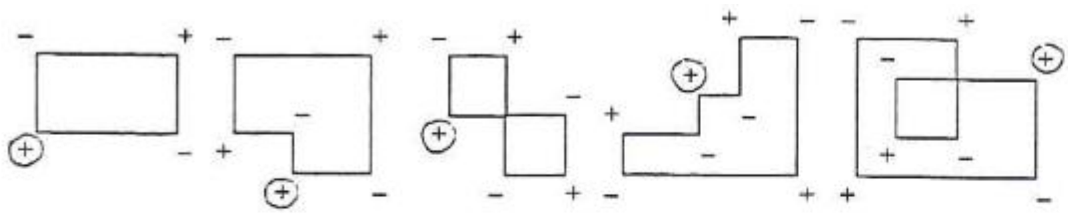
Přechod na lepší řešení se provede pomocí Dantzigova uzavřeného obvodu, pomocí kterého určíme vstupující a vystupující proměnné a transformaci řešení.

Dantzigův uzavřený obvod je lomená čára vycházející z neobsazeného pole, lomí se v obsazených polích a končí v původním volném poli. Po obvodu označíme obsazená pole znaménky plus a mínus, podle toho, zda hodnotu x_{ij} k trase přidáváme nebo ji odebíráme. Nově obsazené pole (proměnná zařazovaná do báze) bude mít znaménko +. (9)

Postup řešení (12):

1) najdeme vstupující proměnnou podle největšího kladného koeficientu z_{ij},
2) utvoříme uzavřený obvod políčka vstupující proměnné a obsazených políček,
3) rohy obvodu označíme střídavě znaménky + a −, počínaje + na volném políčku,
4) najdeme minimální hodnotu označenou znaménkem −. Tím jsme určili hodnotu vstupující proměnné a současně i pole vystupující proměnné,
5) transformace řešení dopravní tabulky je jednoduchá, v uzavřeném obvodu v tabulce podle znamének přičteme a odečteme hodnotu t (nejmenší hodnota proměnných označených znaménkem −).
6) u nového řešení postupujeme od kroku 1). Když jsou všechny hodnoty z_{ij} nekladné řešení je optimální.

Obr. 1: Útvary Dantzigova uzavřeného obvodu



Zdroj: (24)

3.3 Teorie grafů

Teorie grafů je matematická disciplína pomocí níž můžeme řešit mnoho problémů z různých oblastí. V této kapitole je popsána terminologie, která bude dále používána. Základní pojmy teorie grafů jsou mj. popsány těmito autory: Získal a Havlíček (24), Novotný (15) a Kučera (10).

3.3.1 Základní pojmy

Graf je uspořádaná dvojice $G = (V, E)$, kde V je množina vrcholů a E je množina hran – množina vybraných dvouprvkových podmnožin množiny vrcholů. Vrcholy se značí body nebo kroužky a hrany jsou čáry spojující vrcholy.

Hrana je čára, která nesmí sebe samu protínat.

Graf je **orientovaný**, jestliže každé hraně je přiřazen určitý směr. Šipkou určujeme počáteční a koncový uzel hrany. V opačném případě je graf **neorientovaný**. **Smíšený** graf obsahuje oba druhy hran.

Graf, jehož hrany a (nebo) vrcholy jsou opatřeny číselnými (nebo jinými) hodnotami, nazýváme **ohodnoceným grafem. Hranově ohodnocený graf** je takový graf, kdy každé hraně grafu je přiřazeno alespoň jedno číslo. **Uzlově ohodnocený graf** je takový graf, jsou-li určité hodnoty přiřazeny uzlům.

Smyčka je hrana, která má oba krajní vrcholy sloučené do jednoho.

Cestou v grafu je takový jeho tah, ve kterém se neopakují žádné uzly. Každý uzel tedy inciduje nejvýše se dvěma hranami tohoto tahu.

Cyklus (kružnice u neorientovaného grafu) je taková cesta, která začíná a končí v témže uzlu.

Stupeň vrcholu udává počet hran, které s daným vrcholem incidují.

Stromem se nazývají souvislé grafy, které neobsahují kružnice. Odebráním jedné hrany je porušena souvislost, přidáním jedné hrany vznikne kružnice. Strom je minimální souvislý graf na daných vrcholech. Pro stromy platí vztah, který udává, že počet hran je o jedna menší než počtu uzlů. Graf, jehož komponenty jsou stromy, nazýváme les.

Souvislý graf je graf, mezi jehož všemi dvojicemi uzlů existuje alespoň jedna cesta.

Síť je graf, který je konečný, souvislý, orientovaný, acyklický, ohodnocený, v němž existuje pouze jeden uzel počáteční a pouze jeden uzel koncový. Jsou-li hrany grafu ohodnoceny časovými údaji, hovoříme o síťovém diagramu.

Multigraf je graf, v němž násobnost alespoň jedné hrany je větší než jedna (obsahují násobné hrany).

Kompletní (úplný) graf je graf, ve kterém jsou všechny dvojice vrcholů spojeny hranou

Incidenční matice umožňuje některé vlastnosti grafů studovat pomocí matic a naopak, protože mezi teorií matic a teorií grafů existuje souvislost. Incidenční matice grafu je čtvercová matice $A = (a_{ij})$ sestrojená takto: existuje-li v grafu hrana (i, j), položíme prvek matice $a_{ij} = 1$, jestliže taková hrana neexistuje, položíme $a_{ij} = 0$.

Sled je uspořádaná posloupnost uzlů a hran (uzly a hrany se mohou opakovat). Pokud je počáteční uzel shodný s koncovým uzlem, nazývá se sled uzavřeným.

Tah grafu je takový jeho sled, ve kterém se neopakují žádné hrany. Tah má i orientovanou variantu, která respektuje orientaci hran.

Eulerovým tahem v souvislém grafu *G* se nazývá tah obsahující všechny hrany grafu *G*. Z definice vyplývá, že budou všechny hrany grafu navštíveny právě jednou. Souvislý graf obsahuje orientovaný Eulerův tah právě tehdy, když tento graf obsahuje jeden uzel, jehož výstupní stupeň je o jedna vyšší než jeho vstupní stupeň, dále jeden uzel, jehož výstupní stupeň je o jedna nižší než jeho vstupní stupeň a zbývající uzly mají svůj vstupní a výstupní stupeň shodný.

Eulerův okruh je uzavřený Eulerův tah, který skončí v uzlu, ve kterém začal.

Hamiltonova cesta v grafu *G* je cesta obsahující každý uzel grafu *G*.

Hamiltonovská kružnice v grafu je taková kružnice**,** která projde všemi jeho uzly právě jednou. Graf, který obsahuje Hamiltonskou kružnici, se nazývá Hamiltonovský graf**.**

3.4 Okružní problém

Na rozdíl od dopravního problému zde nejde o jednorázovou přepravu zboží, ale o okruh, po kterém doprava probíhá. Nejznámější úlohou tohoto typu je tzv. problém obchodního cestujícího. (12)

Ten bude popsán v kapitole 3.4.1 Problém obchodního cestujícího.

Formulace okružního dopravního problému je následující: Je dáno n míst (nebo měst) a sazba c_{ij} pro každou dvojici těchto měst (i, j) představující např. vzdálenost, spotřebu času nebo náklady na přímé nebo nejvýhodnější spojení z místa i do místa j. (20)

Cílem je vyjít z nějakého výchozího stanoviště A_1, navštívit postupně místa $A_2, A_3, \ldots, A_n$ v libovolném pořadí, každé právě jednou a vrátit se zpět do výchozího stanoviště A_1 tak, aby délka trasy byla co nejkratší. Jde tedy o nalezení nejkratšího okruhu zahrnující všechna místa právě jednou. (15)

Je zřejmé, že u úloh tohoto typu nehraje podstatnou roli kapacita dopravního prostředku. Okružní problém je v zásadě lineární úlohou, za určitých předpokladů je možné ji řešit simplexovou metodou, ale je to nevýhodné. (7)

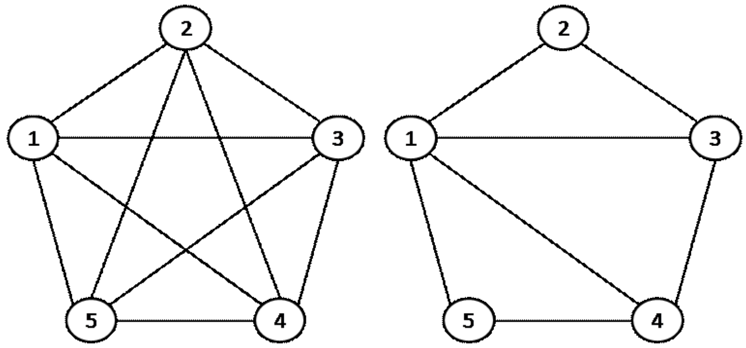
Okružní problém lze velmi přehledně zobrazit pomocí grafu, jehož vrcholy představují místa, která mají být obsloužena, a hrany představují možná spojení jednotlivých míst. (3)

Úlohu si lze zapsat do čtvercové matice. V jednotlivých polích jsou uvedeny koeficienty účelové funkce (např. vzdálenosti). Matice vzdáleností může být symetrická i nesymetrická, podle toho, zda předpokládáme či nepředpokládáme, že vzdálenost mezi místem *i* a *j* je v obou směrech shodná. Z podstaty problému vyplývá, že v matici vylučujeme 2 druhy tras:

- trasu z místa *i* zpět do místa *i* – tj. políčka na hlavní diagonále matice (tyto zakázané trasy si v matici označíme symbolem „ – “),
- trasy, které by předčasně uzavřely okruh, tj. dříve než jdou do okruhu zapojena všechna plánovaná místa. Cesty zakázané z tohoto důvodu označíme např. symbolem ∞. (7)

Základní dva typy okružních dopravních problémů se liší právě charakterem sítě spojující sledovaná místa. Obr. 2 znázorňuje okružní problém s úplnou sítí cest, ve které existuje mezi libovolnými dvěma místy přímé spojení, a problém s neúplnou sítí cest, ve které neexistuje přímé spojení každé dvojice míst. Neúplnost cestní sítě znamená, že některé spojení není či nesmí být realizováno, nikoliv nutnost ve skutečnosti projet nějakým místem na cestě mezi dvěma jinými místy. (3)

Obr. 2: Okružní problém s úplnou nebo neúplnou cestní sítí (zpracováno autorem)



Okružní problémy se vyskytují v různých modifikacích. Cílem může být nalezení jednoho okruhu nebo více okruhů, které musí splňovat různá kapacitní, časová nebo jiná omezení. (3)

Proto můžeme okružní dopravní problém klasifikovat z několika hledisek:

Znalost zákazníků – všichni zákazníci jsou známi předem (statická úloha) nebo po výjezdu vozidel na trasy přicházejí další požadavky (dynamická úloha).

Velikost požadavků a kapacita vozidel – jestliže neuvažujeme o velikosti požadavků spotřebitelů, jedná se o problém obchodního cestujícího nebo úlohu čínského listonoše, v případě kdy je zadána velikost požadavků a kapacita vozidla je důležitá, jde o rozvozní úlohu.
Počet a umístění vozidel – zda máme jedno či několik výchozích míst.

3.4.1 Problém obchodního cestujícího

Problém obchodního cestujícího je klasická optimalizační úloha, kdy se snažíme najít nejkratší cyklickou cestu mezi skupinou M měst. Řečeno slovy teorie grafů hledáme nejlevnější Hamiltonovský cyklus v úplném ohodnoceném grafu s M uzly. (13)

Problém obchodního cestujícího je v teorii grafů popsán jako úloha, kde grafickou interpretací je nezáporně ohodnocený neorientovaný (nebo orientovaný) graf $G= \{V, E, C\}$. V této úloze hledáme v grafu takovou cestu, která obsahuje všechny uzly a zároveň má minimální ohodnocení hran. Uzly (V) grafu reprezentují jednotlivá města a hrany (E) značí cesty mezi jednotlivými městy. Ohodnocení (vzdálenost) cesty mezi městy označují váhy (C) těchto hran, kde C je matice sazeb, $C = \{c_{ij}, (i, j) \in E\}$. Cesta je posloupnost vrcholů a hran a pro každou hranu $(i, j) \in E$ je stanovena sazba c_{ij}. Poté se hledá Hamiltonův cyklus v grafu G takový, aby součet ohodnocení byl co nejmenší.

Úloha hledání nejkratší Hamiltonovské cesty je NP-úplným problémem. Pro obecné souvislé, ale nikoliv úplné grafy je NP-úplný dokonce již problém pouhého zjištění, zda v daném grafu existuje vůbec nějaká Hamiltonovká cesta (tedy cesta, která prochází každým jeho vrcholem), či zda taková cesta neexistuje. To znamená, že algoritmus pro řešení těchto problémů v polynomiálním čase neznáme. Je velmi pravděpodobné, že takový algoritmus neexistuje a tudíž, že prakticky použitelné řešení problému hledání nejkratší Hamiltonovské cesty není možné. Pokud chceme alespoň nějaké řešení problému nejkratší Hamiltonovské cesty získat, máme v zásadě dvě možnosti: jednou možností je nepožadovat řešení optimální, ale pouze řešení suboptimální nebo druhou možností je použití různých heuristik. (22)

Problém obchodního cestujícího lze též řešit jako permutační problém. Hledáme takovou posloupnost měst $m = (m_1, m_2, \dots, m_n)$, která začíná a končí stejným městem a součet ohodnocení je minimální. Tuto posloupnost je možné popsat jako cyklickou permutaci

m_n měst, kde m_i, pro $i = 1, 2, \ldots, n$, je index města, které bylo navštíveno. Účelová funkce má tvar

$$C_{m_n m_1} + \sum_{i=1}^{n-1} C_{m_i m_{i+1}} \rightarrow min.$$

V Tab. 3 můžeme vidět jak s rostoucím počtem měst (míst) obsažených na trase roste exponenciálně i počet možných okružních cest. Vzorec pro cestu mezi každými dvěma městy (místy) je následující: $|S| = \frac{(n-1)!}{2}$

Tab. 3: Počet okružních cest při počtu míst

Počet míst	Počet okružních cest
3	1
4	3
5	12
6	60
7	360
8	2 520
9	20 160
10	181 440
11	1 814 400
12	19 958 400
13	239 500 800
14	3 113 510 400
15	43 589 145 600
16	653 837 184 000

3.4.1.1 Matematický model

Matematický model můžeme zapsat dle (16):

$$z = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} c_{ij} x_{ij} \rightarrow min \qquad \textbf{(7.)}$$

za podmínek

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = 1 \qquad i = 1, 2, \ldots, n, \qquad \textbf{(8.)}$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ij} = 1 \qquad j = 1, 2, \ldots, n, \qquad \textbf{(9.)}$$

$$u_i - u_j + nx_{ij} \leq n - 1 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad j = 2, 3, \dots, n, \quad i \neq j \tag{10.}$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad i, j = 1, 2, \dots, n, \tag{11.}$$

Účelovou funkci **(7.)** budeme minimalizovat. Podmínky **(8.)** a **(9.)** udávají, že právě jedna hrana z cyklu končí v místě i a právě jedna hrana z místa i vystupuje. Tím je zajištěno, že se místo i na trase nachází. K uvedeným podmínkám je třeba připojit další omezení, která vyloučí parciální cykly, tzv. smyčkové podmínky, kterých máme několik typů. Podmínka **(10.)** představuje Tuckerovu smyčkovou podmínku. Proměnné u_i nejsou vázány podmínkou nezápornosti, ani celočíselnosti. Podmínka **(11.)** značí, zdali hrana (i, j) leží na cyklu, tj. $x_{ij} = 1$, či nikoliv ($x_{ij} = 0$). (16)

3.4.1.2 Metody řešení

Metoda větví a mezí (Branch and Bound)

Principem je, že celkovou množinu přípustných řešení můžeme rozdělit na menší podmnožiny řešení. Menší podmnožiny mohou být systematicky vyhodnocovány, dokud není nalezeno nejlepší řešení.

Metoda větví a mezí používá strategii hledání do šířky v tzv. *stromu problému* (nebo také *stromu řešení*), který je postupně vytvářen. (19)

Je to iterační metoda pro hledání globálního extrému funkce f na množině přípustných řešení M, založená na opakování následujících dvou operací:
– větvení, při němž se nejprve množina M, později její vybraná podmnožina, rozkládá na dvě disjunktní podmnožiny. Postup rozkladu množiny M se dá znázornit stromem, jehož uzly odpovídají jednotlivým podmnožinám;
– omezování, při němž se pro každou podmnožinu získanou předchozí operací určuje dolní (při minimalizaci), resp. horní (při maximalizaci) mez hodnot funkce f na této podmnožině.

Pro další rozklad se volí podmnožina s nejnižší dolní, resp. nejvyšší horní mezí. Cílem je najít takové přípustné řešení, pro něž hodnota funkce f není větší než dolní meze, resp. není menší než horní meze dosud nerozložených podmnožin. Takové řešení je optimální. (15)

Genetický algoritmus

Genetické algoritmy jsou založeny na Darwinově evolučním principu vývoje populace živých organizmů přirozeným výběrem. V něm se genetická informace nové generace vytváří kombinováním (křížením) genetické informace úspěšných jedinců předchozí generace s připuštěním určitých samovolně vznikajících mutací.

V informatické formulaci jde o snahu maximalizovat danou funkci zvanou funkce úspěšnosti, na množině konečných řetězců (slov) nad danou abecedou, která charakterizují příslušná individua v populaci. V biologické analogii těmto řetězcům odpovídají řetězce chromozomů v buňce, tvořící genetickou informaci definující individuum.

Pro dva řetězce je binární operace křížení definována jako vytvoření řetězce převzetím některých částí z jednoho a jiných z druhého kříženého řetězce. Operace mutace je definována jako náhodná náhrada některého symbolu v řetězci (chromozomem) dané abecedy.

Genetické algoritmy negarantují nalezení řešení původního problému (maxima funkce úspěšnosti) ani rychlost. „Často“ se k němu však přibližují. Jde spíše o „experimentální přístup“ v praxi často úspěšný. (21)

Littlova metoda

Je založena na metodě Branch and bound (větví a mezí) a jedná se o její maticovou formu.
Littlův algoritmus nám nalezení řešení v polynomiálním čase nezaručuje. V mnoha případech nám však umožní řešení nalézt podstatně dříve než po prohledání všech *n!* Hamiltonovských cest v úplném grafu s *n* vrcholy. (22)

Algoritmus metody podle autora (18):

1) ve čtvercové matici s proškrtanými políčky na hlavní diagonále provést redukci koeficientů účelové funkce (sazeb) pomocí „transformačních konstant“ α a β tak, aby v každé řadě matice byla alespoň jedna nulová sazba ($c_{i,j} = 0$);
2) vypočítat hodnotu Z_0, o níž klesne hodnota účelové funkce po redukci matice:

$$Z_0 = \sum_{i=1}^{n} \alpha_i + \sum_{j=1}^{n} \beta_j$$

kde α_i i β_j jsou transformační konstanty pro i-tý řádek a j-tý sloupec čtvercové matice koeficientů účelové funkce ($i = j = 1, 2, \ldots, n$);

3) vypočítat pro všechna políčka s nulovou redukovanou sazbou (tj. políčka, kde $c_{i,j} = 0$) hodnotu $\Phi_{i,j}$

$$\Phi_{i,j} = min\, c_i^* + \min c_j^*$$

kde $min\, c_i^*$ a $\min c_j^*$ jsou nejmenší redukované sazby v i-tém řádku a j-tém sloupci matice;

4) ze všech vypočtených Φ vybrat tu, která má maximální hodnotu. Platí-li $\Phi_{max} = \Phi_{i,j}$, pak první etapa hledaného optimálního okruhu bude vést po cestě z i-tého do j-tého místa. (Je-li maximálních hodnot Φ v matici více, pak si lze pro zařazení do okruhu vybrat kteroukoliv z těchto cest.);

5) vypočítat hodnotu účelové funkce $Z_{\overline{i,j}}$ při nezařazení etapy z i-tého do j-tého místa do okruhu $Z_{\overline{i,j}} = Z_0 + \Phi_{max}$;

6) vynechat i-tý řádek a j-tý sloupec redukované matice sazeb;

7) zakázat protisměrnou jízdu mezi místy určujícími první etapu, tj. vyloučit průjezd mezi j-tým a i-tým místem – políčko odpovídající ve zmenšené matici „zakázané“cestě označit znakem ∞;

8) ověřit, zda zmenšená a redukovaná matice získaná v předcházejícím kroku obsahuje v každé řadě alespoň jednu nulovou sazbu. V případě, že v některé řadě není žádná nulová sazba, pak pomocí transformačních konstant je možno tento požadavek zajistit stejně jako v bodu 1;

9) ověřit správnost zařazení etapy z i-tého do j-tého místa pomocí vztahu $Z_{i,j} = Z_{\overline{i,j}}$ v němž $Z_{i,j}$ představuje hodnotu předcházející účelové funkce zvětšenou o

$$\sum_{i=1}^{n} \alpha_i + \sum_{j=1}^{n} \beta_j,$$

přičemž transformační konstanty α_i i β_j jsou převzaty z bodu 8. Pokud uvedený vztah neplatí, nebyl důsledně dodržen stanovený algoritmus a je třeba řešení začít znovu;

10) opakovat výše uvedený postup počínaje bodem 3 až do okamžiku, kdy redukovaná čtvercová matice sazeb bude mít rozměr 2×2, přičemž dvě ze čtyř cest v matici jsou zakázané. Dvě zbývající cesty uzavřou celý okruh.

Další metody řešení:

Mezi další metody řešení úlohy obchodního cestujícího můžeme mimo jiné uvést:

- horolezecký algoritmus,
- gradientní algoritmus,
- Fleuryho algoritmus,
- metoda zakázaného prohledávání,
- metoda simulovaného žíhání.

3.4.2 Rozvozní úloha

Rozvozní úloha (vehicle routing problem) byla navržena v roce 1959 Dantzigem a Ramserem. Jedná se o souhrnný problém logistiky, kde pomocí skupiny vozidel obsloužíme zákazníky a splníme jejich požadavky. Cílem úlohy je minimalizovat náklady na distribuci zboží. V tomto problému máme množinu zákazníků, dep, tras a vzdáleností. Jednotlivé úlohy se liší v podmínkách, které musí být splněny. Mezi nejznámější varianty rozvozní úlohy patří – nehomogenní vozový park, akceptování časových oken, více dep či spojení svozu a rozvozu.

3.4.3 Úloha čínského pošťáka

Tuto specifickou okružní úlohu formuloval čínský matematik Mei-Ko Kwan roku 1962.
Úlohu převedeme do souvislého grafu *G*, ve kterém jsou ulice reprezentovány hranami, přičemž tyto hrany jsou ohodnoceny vzdáleností ulic. Uzly jsou koncová místa ulic nebo křižovatky. Cílem úlohy čínského pošťáka je najít uzavřený sled, který obsahuje všechny hrany grafu a je z takovýchto sledů nejkratší. Přitom délka sledu je definována jako součet ohodnocení všech hran v něm. Nepochybně nejkratší možná trasa pro pošťáka je, když každou ulicí projde právě jednou. V grafové podobě to znamená, že by musel existovat uzavřený tah, který pokrývá celý graf (musí být Eulerovský). Graf je Eulerovský, jestliže všechny jeho uzly mají sudý stupeň. Uzlů s lichým stupněm je v grafu sudý počet, neboť součet stupňů všech uzlů grafu je sudé číslo. Problém, že každý uzel s lichým stupněm inciduje vždy s hranou, kterou je nutné projít dvakrát, vyřešíme tak, že uzly s lichými stupni rozdělíme do dvojic a po nejkratších cestách, jež spojují tyto dvojice uzlů, pošťák projde dvakrát. Takových rozdělení do dvojic je více. Zvolíme z nich to, u kterého je nejmenší součet vzdáleností mezi uzly v jednotlivých dvojicích, tedy kde je nejmenší součet délky nejkratší cesty mezi uzly. (23)
Úloha čínského pošťáka na orientovaném grafu má identickou formulaci s dopravním problémem. (16)

3.4.4 Metody řešení okružního problému

Vogelova aproximační metoda

Princip této aproximativní metody spočívá v tom, že jsou porovnávány druhé nejnižší a nejnižší sazby v řádku i sloupci. Rozdíl těchto dvou sazeb udává nárůst přepravních nákladů na jednotku v případě, že není obsazeno pole s nejnižší sazbou. Její řešení jsou blízká optimu.

Postup řešení lze shrnout do následujících pravidel:

- pro každý řádek a sloupec (obecně řadu) se stanoví diference mezi dvěma nejnižšími sazbami v této řadě (jsou-li stejné, diference je nula),
- vybereme pole v řadě nebo sloupci s nejvyšší diferencí, kde označíme pole s nejnižší sazbou,
- vyškrtneme řádek i sloupec, ve kterých se označené pole nachází,
- dále vyškrtneme pole, které s právě obsazeným polem nebo s již obsazenými poli uzavírá okruh, který neprochází všemi místy,
- pokračujeme od začátku ve zmenšené tabulce.

Metoda nejbližšího souseda

Je to nejjednodušší metoda pro okružní dopravní problém. Základ je v tom, že si zvolíme výchozí místo, z něhož se vydáme do místa, do kterého vede nejnižší sazba z výchozího místa, odtud pak do dalšího z těch míst, kde jsme ještě nebyli, které má nejnižší sazbu z místa, kde se právě nacházíme. Po projetí všech míst se vracíme zpět do výchozího.

Nevýhodou metody je krátkodobá strategie, kdy se zařazují nejlevnější trasy a tím se riskuje, že v pozdějších krocích zůstanou k dispozici jen trasy velmi nevýhodné, které mohou převážit počáteční výhodu. (3)

Postupně zvolíme všechna místa jako výchozí a pro každé najdeme tímto postupem okružní trasu. Má-li úloha nesymetrickou matici sazeb, provedeme pro každé místo takové hledání trasy pozpátku, tj. buď vyškrtáváme řádky a hledáme minimální sazby ve sloupcích nebo původní postup aplikujeme na transponovanou matici. Ze všech takto nalezených tras vybereme nejvýhodnější (s nejmenším součtem sazeb). (20)

Postup výpočtu v matici sazeb uvedený autorkou (3):

1) V řádku odpovídajícím výchozímu místu najdeme minimální sazbu a příslušné spojení zařadíme do výsledné okružní trasy.
2) Vyškrtneme sloupec odpovídající dosud koncovému místu.
3) V řádku odpovídajícím tomuto místu vybereme z dosud nevyškrtnutých sazeb nejvýhodnější sazbu.
4) Celý postup opakujeme, dokud nejsou všechny sloupce vyškrtány.
5) V posledním řádku vybereme trasu ve sloupci, který odpovídá výchozímu místu.

Mayerova metoda

Tato metoda se používá k řešení víceokruhového dopravního problému s úplnou sítí cest a s omezenou kapacitou. Rozdělí místa pouze do skupin, kde každá skupina bude tvořit samostatný okruh.

Problém může nastat při nevhodném rozdělení kapacit míst do skupin, kdy je v řešení okruhů zbytečně příliš mnoho, což způsobí nárůst počtu ujetých kilometrů. (11)

Celý postup začneme seřazením místa v řádcích i sloupcích podle vzdálenosti od místa centrálního svozu, které můžeme vynechat. K tabulce sazeb přidáme sloupec obsahující požadavky jednotlivých míst. Dále označíme první sloupec a požadavek v prvním řádku tabulky a vyškrtneme první řádek. U ostatních míst sečteme jeho požadavek s označeným a u všech míst, kde bude součet větší než kapacita vozidla, vyškrtneme v prvním sloupci pole v příslušném řádku. Z nevyškrtnutých prvků v prvním sloupci vybereme minimální (je-li více prvků se stejnou sazbou, vybereme první v pořadí), který zároveň označuje místo přiřazené do právě konstruované okružní trasy. Sloupec a vybraný prvek označíme a řádek vyškrtneme. Sečteme vyznačené požadavky a pro místa, kde je po součtu požadavků překročena kapacita vozidla, opět je třeba vyškrtnout odpovídající buňky a vybereme minimální prvek. Celý postup opakujeme, dokud při porovnávání kapacit nevyškrtáme všechny sazby v označených sloupcích. Tím jsme nalezli místa pro první okružní trasu. Stejným způsobem najdeme další okruhy. Posledním krokem je seřazení nalezených míst v jednotlivých okruzích. (20)

Dantzigova, Fulkersonova a Johnsonova metoda

Převádí řešení okružního problému na úlohu celočíselného programování řešenou simplexovou metodou. Postup je značně komplikovaný. V podstatě využívá přiřazovací problém s maximální degenerací. (3)

Croesova metoda

Řeší problém postupným zlepšováním počátečního řešení určitými změnami v pořadí vrcholů tak dlouho, dokud je to možné. Nalezené řešení ovšem obecně není optimální. K nalezení optima se používá dalšího značně složitého postupu. (3)

Další metody řešení

Řešení okružního dopravního problému lze řešit i následujícími metodami:

- metoda výhodnostních čísel,
- metoda vkládací,
- metoda minimální kostry,
- Christofidova metoda,
- metoda 2-opt,
- Habrova přibližná metoda.

3.5 Výpočetní složitost

Složitost algoritmu udává, jak je daný algoritmus rychlý (kolik provede elementárních operací) vzhledem k množině vstupních dat. Ke klasifikaci algoritmů se obvykle používá tzv. asymptotická složitost, což je rozdělení algoritmů do tříd složitostí, u kterých platí, že od určité velikosti dat je algoritmus dané třídy vždy pomalejší než algoritmus třídy předchozí, bez ohledu na to, jestli je některý z počítačů x-násobně výkonnější. (1)

Výpočetní složitost je složitost výpočtu pro stroj a souhrnně se skládá ze dvou částí:

- časová složitost (čas potřebný pro výpočet),
- prostorová složitost (požadavky na rozsah paměti potřebné pro výpočet). (22)

Odhady výpočetní složitosti:

O – asymptotické horní omezení funkce *f (n)*

o – asymptotické dolní omezení funkce *f (n)*

Θ – asymptotické oboustranné omezení funkce *f (n)*

Význam slov „asymptoticky srovnatelně rychlý růst“ znamená růst ohraničený pevným násobkem dané funkce. Názorně řečeno tedy:

***f* ∈ *O* (*g*)** znamená, že funkce *f* asymptoticky roste nejvýše srovnatelně rychle jako funkce *g*,

***f* ∈ *o* (*g*)** znamená, že funkce *f* asymptoticky roste pomaleji než funkce *g*,

***f* ∈ *Θ* (*g*)** znamená, že asymptotický růst funkcí *f* a *g* navzájem je srovnatelný. (22)

Třídy složitosti

Pro porovnání funkce složitosti (časové, prostorové) se známými funkcemi se nejčastěji užívají tyto třídy složitosti (21):

Θ(1) – růst nezáleží na rozměru vstupu,

Θ (log n) – logaritmický růst (základ logaritmu není podstatný),

Θ (n) – lineární růst (složitost je přímo úměrná rozměru dat),

Θ (n log n) – tento růst dosahují „chytré“ algoritmy řazení („třídění“),

$\Theta\ (n^2)$ – kvadratický růst, dosahují jednoduché algoritmy řazení,

$\Theta(n^3)$ – kubický růst typický pro některé operace s maticemi a algoritmy řešení soustav lineárních rovnic,

$\Theta\ (n^k)$ pro nějaké přirozené číslo $k \in N$ – polynomiální růst,

$\Theta\ (k^n)$, $k > 1$ – exponenciální růst $k > 1$ (nejčastěji $k = 2$, tedy $O\ (2^n)$),

Θ (n!) – faktoriální růst.

Samozřejmě, pokud je součástí algoritmu vstup dat, je minimální možná časová složitost algoritmu *Θ(n)*. Pokud nás však zajímá pouze časová složitost nějakého kroku algoritmu, může být složitost nižší. (22)

Mezi hlavní třídy výpočetní složitosti patří třída P a třída NP. Problémem je, zdali se třída P rovná třídě NP je problémem třetího tisíciletí, kterému je věnována kapitola 3.5.1 Problémy třetího tisíciletí.

P je třída obsahující všechny úlohy, jež jsou řešitelné za pomoci Turingova deterministického stroje v polynomiálním množství času a NP je množina problémů, které lze řešit v polynomiálně omezeném množství času na nedeterministickém Turingově stroji. Tyto pojmy jako první zavedl americký informatik Stephen Cook. (14)

Všechny problémy P jsou podmnožinou problémů skupiny NP (Obr. 3: Třídy výpočetní složitosti), což je možné dokázat.

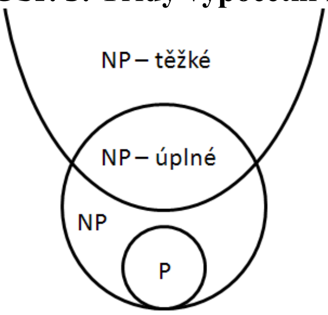
NP-těžké problémy zahrnují všechny problémy, které lze řešit pomocí nějakého nedeterministického stroje v konečném čase. (21) N nelze číst jako „not“ v tomto případě znamená nedeterministicky.

NP-úplné problémy jsou takové NP problémy, na které jsou polynomiálně redukovatelné všechny ostatní problémy z NP. Pro tyto problémy není znám žádný polynomiální algoritmus.

O NP-úplných problémech, se mluví jako o úlohách z praktického hlediska neřešitelných. Existuje několik set úloh z teorie grafů a operační analýzy, které jsou NP-úplné. Přesný a rychlý algoritmus neznáme dosud ani pro jednu NP-úplnou úlohu (neboť by to znamenalo nalezení rychlých algoritmů pro stovky problémů najednou), ani se nepodařilo dokázat, že takové algoritmy neexistují (čím by se prokázala najednou nezvládnutelnost všech NP-úplných problémů). Panuje všeobecné přesvědčení, že se dostatečně rychlé algoritmy pro řešení NP-úplných problémů nepodaří nalézt. (10)

Pokud se hovoří o třídách bez uvedení, zda jde o časovou nebo prostorovou složitost, míníme tím zpravidla složitost časovou. Ta totiž bývá pro praktické aplikace kritičtější než prostorová. (21)

Obr. 3: Třídy výpočetní složitosti (Zpracováno autorem)



Zdroj: http://en.wikipedia.org/wiki/File:P_np_np-complete_np-hard.svg

3.5.1 Problémy třetího tisíciletí

24. května 2000 se na Collège de France v Paříži konalo veřejné zasedání matematického kongresu za značného zájmu médií, kde její účastníci představili sedm matematických problémů a stanovili pravidla. Clayův matematický institut (CMI) označil tyto problémy jako nejdůležitější a nejtěžší otevřené problémy soudobé matematiky. Za vyřešení každého z nich vypsali odměnu jednoho milionu amerických dolarů. Problémy zasahují do mnoha moderních oborů současné čisté i aplikované matematiky, od topologie přes teorii čísel, kryptografii a výpočetní techniku až po letecký design.

CMI byl založen v roce 1998 Landonem T. Clayem jako nezisková nadace při Harvardově univerzitě. Hlavní cíle a účely CMI jsou zlepšit a šířit matematické znalosti, obohacovat samotné matematiky a jiné vědce o nové objevy v oblasti matematiky, podporovat nadané studenty k vybudování matematické kariéry a rozpoznat mimořádné úspěchy a pokroky v matematickém výzkumu. CMI podporuje krásu, sílu a všestrannost matematického myšlení. (4)

Profesor Alain Connes z Collège de France říká: Lidé se někdy mylně domnívají, že matematiku a myšlení převezmou počítače. Těchto sedm problémů vybraných špičkovými specialisty v jejich oborech je počítačům naprosto nedostupných. (6)

Problémy pro 3. tisíciletí:

1) Problém P versus NP
2) Hodgeova domněnka
3) Poincarého domněnka
4) Riemannova hypotéza
5) Yangova-Millsova teorie a hypotéza hmotnostních rozdílů
6) Navierovy-Stokesovy rovnice
7) Birchova a Swinnerton-Dyerova domněnka

Doposud je vyřešena pouze Poincarého domněnka, kterou jako první z problémů tisíciletí vyřešil Grigorij Perelman z Petrohradu z Ruska. Zbylé problémy nejsou dosud vyřešeny.

Problém P versus NP

Problém P vs. NP se týká vztahu mezi dvěma oblastmi výpočetní složitosti, mezi úlohami polynomiálními (P) a nedeterministicky polynomiálními (NP). Vesměs se předpokládá, že úlohy z NP, kam patří třeba problém obchodního cestujícího, nelze řešit stejně rychle jako úlohy z P a obě úlohy na sebe nejdou převést. Nikomu se ovšem nepodařilo rozdílnost ani shodu dokázat. (5)

Tento problém se jako jediný ze seznamu problémů tisíciletí týká počítačů. V teoretické informatice je formulován jako otázka zda platí P=NP. Potvrzení rovnosti P=NP by mělo nepředstavitelné důsledky na množství oborů lidské činnosti. K zásadnímu zlomu by proto došlo nejen v teoretické informatice, ale také v logice, filozofii a zejména v kryptografii. Řada dnešních šifer je totiž postavena právě na tom, že neplatí P=NP. (14)

4 Popis vybrané společnosti

Pro popis společnosti Ammeraal Beltech jsou použity zdroje (17) a (2). Společnost Ammeraal Beltech nabízí široký sortiment produktů v oblasti komponentů pro logistiku, manipulaci a transport do více než 150 zemí světa, se sedmi výrobními závody, 80 výrobními centry, 2 000 zaměstnanci a 25 000 zákazníky v 26 zemích.

Obr. 4: Znak Ammeraal Beltech

Zdroj: (2)

Ammeraal Beltech je přední, významnou mezinárodní a dynamicky se rozvíjející společností, která má za sebou nepřehlédnutelné úspěchy po celém světě. Přichází na trh se stále výkonnějšími komponenty, které jsou schopny plnit náročné požadavky kladené zákazníkem a trhem. Ammeraal Beltech poskytuje prvotřídní, technicky vyzrálé standardizované produkty, služby a řešení. Produkty společnosti se používají téměř ve všech průmyslových odvětvích. Nalezneme je v potravinářském a tabákovém průmyslu, na mezioperační dopravě ve strojírenských podnicích, gumárenství, na poštách a letištích a v mnoha dalších průmyslových oborech.
Cílem společnosti je poskytovat kompletní poradenství, které se snaží vyhovět specifickým požadavkům zákazníků. Jako vodítko poslouží zákazníkům webové stránky, které zákazníky informují o standardních produktech, technických řešení, novinkách a službách. V úzké spolupráci s odběrateli navrhuje a vypracovává Ammeraal Beltech technická řešení problémů. Poskytovaná řešení jsou plně v souladu s nejmodernějšími technologiemi.

Aby vyhověla společnost Ammeraal Beltech požadavkům zákazníků a trhu, klade velký důraz na flexibilní výrobu, služby a servis. Servisní centra zajišťují rychlý servis a provozují výrobu, díky které mohou optimálně reagovat na požadavky zákazníků ve vlastním regionu.

Budoucnost společnosti Ammeraal Beltech je zajištěna permanentním vývojem. Oblast logistiky a manipulace podléhá stálým změnám. Ammeraal Beltech nestojí na místě a neustále hledá nová řešení. Přichází na trh se stále výkonnějšími komponenty. Ukázky široké nabídky produktů, příklady nových řešení a vývoje prezentuje Ammeraal Beltech každoročně na prestižních výstavách a veletrzích po celém světě. Vynakládá značné úsilí na řízení a zajišťování kvality výrobků, které splňují tvrdé požadavky příslušných evropských norem a předpisů.

Hlavním cílem společnosti je spokojený zákazník a jeho opakující se spolupráce se společností Ammeraal Beltech. Proto je společnost náročná sama k sobě nejen v průběhu výroby, ale i v oblasti služeb poskytovaných zákazníkům.

Tým společnosti Ammeraal Beltech je vysoce orientovaný na požadavky zákazníka. Všechny aktivity jsou podřízeny společnému výsledku a cíli. Snaží se prohlubovat znalosti svých zaměstnanců a zvyšovat jejich kvalifikaci. Zaměstnanci se podílejí na formování společnosti, na způsobu, kterým podniká a svými názory formují firemní prostředí a postupy. V roce 2010 činil celkový obrat společnosti Ammeraal Beltech 279 milionů eur. Ve společnosti pracuje 2 155 zaměstnanců.

Vlastníkem Ammeraal Beltech je holandská společnost Gamma Holding, která má čtyři různé obchodní skupiny a jejímž hlavním produktem je textil.

4.1 Historie

V roce 1950 vynalezl Holanďan Thomas Ammeraal nekonečně tkaný dopravní pás. V roce 1964 byla založena první pobočka mimo území Holandska, v Německu. Zanedlouho následovalo založení dalších poboček a společností v mnoha dalších zemích.

Společnost Ammeraal začala jako rodinná firma a v roce 1990 se stala částí holandské veřejné obchodní společnosti Gamma Holding. Ve stejné době se německá společnost Verseidag AG rozhodla rozšířit svoji činnost o výrobu pásů a vytvořila novou pobočku – Verseidag Beltech.

V roce 2000 Gamma Holding získala Verseidag AG a v roce 2001 spojila obě společnosti zabývající se výrobou dopravních pásů do jedné organizace: Ammeraal Beltech. I když je Ammeraal Beltech relativně mladou společností, některé pobočky mají o hodně delší historii. Provoz v Keighley ve Velké Británii začal fungovat jako společnost Foulds už v roce 1837. Provoz ve Švýcarsku byl založen v roce 1964 pod názvem Leder. Některé z amerických poboček byly založeny v roce 1913 rodinou Burellových.

Dnes program mezinárodní expanze pokračuje. V lednu 2008 proběhla akvizice dánské společnosti uni-chains. Tato akvizice je důležitým strategickým krokem k posílení pozice společnosti Ammeraal Beltech na velmi dynamicky se rozvíjejícím trhu modulárních pásů.

4.2 Produkty

Ammeraal Beltech má osvědčený výrobek, který splní všechny požadavky, ať už potřebuje zákazník antimikrobiální provozy a dopravní pásy pro potravinářský průmysl, anebo nehořlavé produkty pro použití v letištních halách.

Ve skutečnosti je komplexní nabídka společnosti založena na sedmi klíčových skupinách:

- procesní a dopravní pásy,
- modulární pásy,
- vysokovýkonné ploché řemeny,
- ozubené řemeny,
- technologické pásy,
- nekonečné tkané pásy,
- pásy Ultrasync.

A navíc, pro sestavování a místní výrobu jsou pro všechny tyto produktové skupiny dostupné příslušné nástroje.

4.3 Výroba

Syntetické pásy může Ammeraal Beltech dodat s různými druhy spojů.

Technologické pásy a řemeny s otvory a frézovanými tvary a všechny produkty mohou být osazeny různým příslušenstvím jako např. podélná vedení, unášeče a vlnovce.

- **Moderní -** Kvalita a technická úroveň jednotlivých typů výrobků si vyžadují stálé investice do nových technologií a kvalitního strojového parku.
- **Ekonomická -** Zdokonalení výrobních a logistických kroků s sebou přineslo řízení dodacích termínů.
- **Kvalitní -** Současné stroje a moderní výrobní technologie zajišťují vysoké standardy jakosti, které jsou ověřovány výstupní kontrolou.

4.4 Ammeraal Beltech v ČR

Sídlo společnosti: Hruškové Dvory 80, Jihlava, PSČ 586 01

Právní forma: společnost s ručením omezeným

IČO: 25138138

Základní kapitál: 38 200 000,- Kč

Vlastníci společnosti:

Ammeraal Beltech International Beheer B. V. 37 818 000 Kč, tj. 99 %.

Ammeraal Beltech Nederland Beheer B. V. 382 000 Kč, tj. 1%.

Společnost se zabývá výrobou a prodejem následujících položek:

- transportní pásy,
- ozubené řemeny,
- ploché řemeny,
- modulární pásy,
- ostatní zboží související s logistikou a manipulací.

4.4.1 Organizační struktura

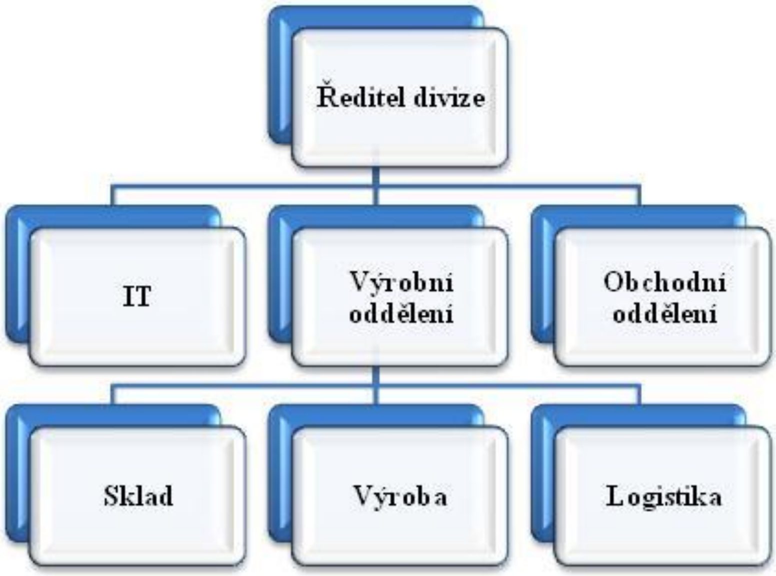
Společnost je rozdělena na dvě divize

- **Opco** (operation company for CZ Market and Eastern Europe)
- **EuroFAB** (výroba syntetických pásů pro podniky ve skupině)

Každý z jednatelů je odpovědný za jednu divizi jako její ředitel. Každý jednatel je oprávněn jednat za společnost samostatně. Podepisování za společnost se děje tak, že k obchodní firmě připojí jednatel svůj vlastnoruční podpis.

V diplomové práci se budeme zabývat pouze divizí EuroFAB.

Obr. 5: Organizační struktura divize EuroFAB



Zdroj: (17). Zpracováno autorem

Zaměstnanci:

Průměrný počet zaměstnanců společnosti je 143 a jejich roční osobní náklady jsou 75.679 tis. Kč. Z toho je 8 řídících pracovníků, kteří mají roční osobní náklady 15.374 tis Kč.

4.5 Servisní síť v České republice

Představit si prodej výrobků bez potřebného servisního zázemí lze dnes už jen velmi těžko. Proto společnost Ammeraal Beltech věnuje servisu velkou pozornost. Je přesvědčena, že užitnou hodnotu výrobku, jeho funkčnost a spokojenost zákazníků lze zásadním způsobem ovlivnit odbornou a profesionální montáží nebo servisem.

Obr. 6: Servisní síť v České republice

Zdroj: (2)

5 Optimalizace dopravních tras

Společnost Ammeraal Beltech má čtyři obchodní zástupce (OZ), přičemž každý z nich má několik stovek zákazníků. K zákazníkům skupin A i K by měli jezdit každý měsíc, k zákazníkům skupiny B jednou za kvartál, k zákazníkům skupiny C dvakrát do roka. Zákazníci označení skupinou T jsou potencionální. Meziroční nárůst je 7 % aktivně odebírajících zákazníků. V kalendářním roce ujede každý obchodní zástupce průměrně 50 tisíc kilometrů nejrychlejší trasou a nestihne navštívit všechny zákazníky. Obchodní zástupci podle svého plánu a požadavků a potřeb zákazníků jezdí každý den jiné trasy. K jejich plánování nevyužívají žádné metody. Pro optimalizaci byl vybrán jeden obchodní zástupce a jeho trasy v měsíci Březnu 2011, ve kterém jel v patnácti dnech k zákazníkům.

5.1 Trasa 1

Trasa 1 vedla do severních Čech, ve kterých byli navštíveni tito zákazníci ve městech: Mimoň (Medina), Nový Bor (Camas, Marlton, Adrian), Stráž pod Ralskem (Pearl) a Hrádek nad Nisou (Alamo, Ogden, Trumann). Tuto trasu projel obchodní zástupce za 312 minut, najel 432,6 km a jednání trvala 230 minut.

Optimalizace vzdálenosti

Projetí trasy č. 1 po nejkratších vzdálenostech by pro obchodního zástupce znamenalo 371,9 km a 430 minut strávených na cestě.

Tab. 4: Tabulka vzdáleností v km pro trasu 1

	Firma	Jince	Medina	Camas	Marlton	Adrian	Pearl	Ogden	Trumann	Alamo
	Jince	x	138	142	141	141	144	165	166	163
A3	Medina	138	x	21	20	20	6,5	27	29	26
B2	Camas	142	21	x	1	1	21	32	34	31
B1	Marlton	141	20	1	x	1	20	32	33	31
C3	Adrian	141	20	1	1	x	20	32	33	31
B3	Pearl	144	6,5	21	20	20	x	22	23	21
B3	Ogden	165	27	32	32	32	22	x	1,8	2,2
B3	Trumann	166	29	34	33	33	23	1,8	x	4,1
C3	Alamo	163	26	31	31	31	21	2,2	4,1	x

Metoda nejbližšího souseda - sekvenčně

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 2

Z_min = 359,5 km

(Jince) - (Alamo) - (Ogden) - (Trumann) - (Pearl) - (Medina) - (Adrian) - (Camas) - (Marlton) - (Jince) **403 min**

(Jince) - (Alamo) - (Ogden) - (Trumann) - (Pearl) - (Medina) - (Marlton) - (Camas) - (Adrian) - (Jince) **402 min**

U obou tras byl počet nalezených shodných okruhů roven 1

Postup výpočtu pomocí metody nejbližšího souseda

Tab. 5: Postup výpočtu MNS u trasy 1

	Firma	Jince	Medina	Camas	Marlton	Adrian	Pearl	Ogden	Trumann	Alamo
	Jince	x	138	142	141	141	144	165	166	163
A3	Medina	138	x	21	20	20	6,5	27	29	26
B2	Camas	142	21	x	1	1	21	32	34	31
B1	Marlton	141	20	1	x	1	20	32	33	31
C3	Adrian	141	20	1	1	x	20	32	33	31
B3	Pearl	144	6,5	21	20	20	x	22	23	21
B3	Ogden	165	27	32	32	32	22	x	1,8	2,2
B3	Trumann	166	29	34	33	33	23	1,8	x	4,1
C3	Alamo	163	26	31	31	31	21	2,2	4,1	x

Touto metodou musíme vyjít z každého místa a poté postupovat dle jednotlivých nejkratších kroků. V této ukázce si ukážeme postup s výchozím místem v Alamu. Vyškrtneme poslední sloupec, abychom se nevrátili zpátky do Alama, než chceme a v poslední řádce vybereme nejmenší sazbu (2,2), takže pojedeme z Alama do Ogdenu. Vyškrtneme sloupec Ogden. V 7. řádku je nejmenší sazba 1,8, což značí trasu Ogden – Trumann. Opět vyškrtneme sloupec, do kterého jsme jeli, Trumann. Od zákazníka Trumann pojedeme do Pearlu, protože v předposledním řádku je nejmenší sazba 23. Vyškrtneme sloupec Pearl. V řádce se zákazníkem Pearl vybereme buňku (6,2) se sazbou 6,5 a vyškrtneme tento sloupec. Z Mediny si můžeme vybrat, zdali pojedeme do Marltonu či Adrianu, protože mají oba shodnou minimální sazbu 20 v řádku. Vybereme Marlton a vyškrtneme sloupec, ve kterém leží. Z Marltonu máme opět na výběr mezi dvěma cílovými místy, znovu vybereme to první tedy Camas. Z Camasu pojedeme do Adriany, zde je minimální sazba rovná 1 a vyškrtneme tento sloupec. Z Adriany nám zbývá poslední místo a to Jince. Celou cestu musíme ještě uzavřít, proto vybereme ještě trasu Jince – Alamo. Trasa je následující: Alamo – Ogden – Trumann – Pearl – Medina – Marlton – Camas – Adrian – Jince – Alamo. Tato trasa je shodná s trasou, která vyšla v programu TSP KOSA její vzdálenost je 359,5 kilometru a čas strávený na této trase je 402 minut.

Vogelova aproximační metoda pro ODP

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 4

Z_min = 345,5 km

(Jince) - (Marlton) - (Camas) - (Adrian) - (Alamo) - (Ogden) - (Trumann) - (Pearl) - (Medina) - (Jince) **385 min**

(Jince) - (Medina) - (Pearl) - (Trumann) - (Ogden) - (Alamo) - (Camas) - (Marlton) - (Adrian) - (Jince) **385 min**

(Jince) - (Marlton) - (Adrian) - (Camas) - (Alamo) - (Ogden) - (Trumann) - (Pearl) - (Medina) - (Jince) **384 min**

(Jince) - (Adrian) - (Camas) - (Marlton) - (Alamo) - (Ogden) - (Trumann) - (Pearl) - (Medina) - (Jince) **383 min**

TSPKOSA nalezla pro všechny okruhy 24 shodných okruhů.

Metoda větví a mezí

TSP KOSA dala výsledek: Run-time error ‘6‘: Overflow – došlo k přetečení dat.

Optimalizace času

Tab. 6: Tabulka časových trvání v min. pro trasu 1

	Firma	Jince	Medina	Camas	Marlton	Adrian	Pearl	Ogden	Trumann	Alamo
	Jince	x	113	119	119	119	117	123	121	121
A3	Medina	113	x	22	21	21	6	27	30	25
B2	Camas	119	22	x	2	1	22	30	33	27
B1	Marlton	119	21	2	x	1	22	30	33	28
C3	Adrian	119	21	1	1	x	22	30	33	28
B3	Pearl	117	6	22	22	22	x	23	26	20
B3	Ogden	123	27	30	30	30	23	x	3	3
B3	Trumann	121	30	33	33	33	26	3	x	5
C3	Alamo	121	25	27	28	28	20	3	5	x

Metoda nejbližšího souseda - sekvenčně

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 1

Z_min = 295 min

(Jince) - (Camas) - (Adrian) - (Marlton) - (Medina) - (Pearl) - (Alamo) - (Ogden) - (Trumann) - (Jince) **404,5 km**

Počet nalezených shodných okruhů: 2

Vogelova aproximační metoda pro ODP

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 3

Z_min = 298 min

(Jince) - (Marlton) - (Adrian) - (Camas) - (Alamo) - (Trumann) - (Ogden) - (Pearl) - (Medina) - (Jince) **393,1 km**

Počet nalezených shodných okruhů: 6

(Jince) - (Camas) - (Adrian) - (Marlton) - (Ogden) - (Trumann) - (Alamo) - (Pearl) - (Medina) - (Jince) **393,1 km**

(Jince) - (Medina) - (Pearl) - (Alamo) - (Trumann) - (Ogden) - (Camas) - (Adrian) - (Marlton) - (Jince) **393,1 km**

U těchto dvou tras byly nalezeny 4 shodných okruhů.

Postup výpočtu pomocí Vogelovy aproximační metody:

V tabulce bude následující značení: Jince (1), Medina (2), Camas (3), Marlton (4), Adrian (5), Pearl (6), Ogden (7), Trumann (8), Alamo (9)

Tab. 7: Postup výpočtu VAM u trasy 1

										diference						
Firma	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
1	x	113	119	119	119	117	123	121	121	4	6					
2	113	x	22	21	21	6	27	30	25	15						
3	119	22	x	2	1	22	30	33	27	1	1	1	1	1	1	
4	119	21	2	x	1	22	30	33	28	1	1	1	1	1	1	117
5	119	21	1	1	x	22	30	33	28	0	0	0	0	0	0	118
6	117	6	22	22	22	x	23	26	20	14	2	2	2	0		
7	123	27	30	30	30	23	x	3	3	0	0	0				
8	121	30	33	33	33	26	3	x	5	2	2	2	28			
9	121	25	27	28	28	20	3	5	x	2	2	2	24	1	1	1
1.dif	4	15	1	1	0	14	0	2	2							
2. dif	2	0	1	1	0		0	2	2							
3. dif	0		1	1	0		0	2	2							
4. dif	0		1	1	0		20		15							
5. dif	0		1	1	0		7									
6. dif	0		1	1	0											
7. dif	0		25	27												

Pro každý řádek a sloupec určíme rozdíly (diference) mezi dvěma nejvýhodnějšími (nejmenšími) sazbami. Vybíráme největší diferenci (15), ta se nachází na 2. řádku a ve 2. sloupci. Vybereme 2. řádek. 1. diference je rozdíl hodnot 21 a 6. V tomto řádku vybereme nejmenší sazbu, která činí 6 a nachází se v 6. sloupci. Pojedeme tedy během jízdy z Medina do Pearlu. Vyškrtneme 2. řádek a 6. sloupec, protože nemůžeme jet z Mediny do dalšího místa a nemůžeme jet znovu do Pearlu. Dále vyškrtneme buňku (6,2), protože nemůžeme jet zpátky, čímž bychom uzavřeli okruh předčasně. Ve zmenšené tabulce přepočítáme diference. Největší diferenci už máme pouze jednu a to v prvním řádku. V tomto řádku vybereme nejmenší sazbu 113, která se nachází v buňce (1,2), takže pojedeme z Jinec do Mediny. Vyškrtneme 1. řádek a 2. sloupec. Vyškrtneme buňku (6,1), protože nemůžeme jet z Pearlu do Jinec, protože bychom si tím předčasně uzavřeli okruh. Přepočítáme diference ve zmenšené tabulce. Rozdílů s hodnotou 2 je několik, vybereme ten v 8. sloupci, kde je nejmenší hodnota – 3 v 7. řádku. Pojedeme z Ogdenu do Trumannu. Vyškrtneme 7. řádek a 8. sloupec a buňku (8, 7) abychom se nemohli hned vrátit zpátky do Ogdenu. Přepočítáme rozdíly ve zmenšené tabulce. 4. diference je největší (28) v 7. řádku, zde vybereme v 9. sloupci nejmenší hodnotu – 5. To značí, že pojedeme z Trumannu do Alama. Vyškrtneme 8. řádek a 9. sloupec a dále buňku (9,7), abychom si neuzavřeli okruh, cestou z Alama do Ogdenu. Přepočítáme rozdíly v tabulce. 5. diference je největší v 7. sloupci. Do trasy zařadíme cestu Pearl - Ogden v buňce (6,7) s hodnotou 23. Vyškrtneme buňku (9,1), abychom si neuzavřeli trasu předčasně, a přepočítáme diference. 6. diference je největší ve 3. řádku, kde je nejmenší sazba (1) v 5. sloupci, tj. trasa Camas - Adrian. Vyškrtneme tento řádek a sloupec. Dále buňku (5,3), z důvodu možného předčasného ukončení trasy. Přepočítáme diference. Poslední 7. diference se nachází v 5. řádku a má hodnotu 118. V tomto řádku vybereme nejmenší sazbu (1), která udává trasu Adrian - Marlton. Dále vyškrtneme buňku (4,3), abychom předčasně neukončili trasu. V tabulce nám již zbývají pouze dvě neobsazené buňky a to (4,1) – Marlton – Jince a buňka (9,3) Alamo – Camas, které udávají poslední dvojice, abychom mohli uzavřít okruh. Trasa 2 bude podle Vogelovy aproximační metody následující: Jince – Medina – Pearl – Ogden – Trumann – Alamo – Camas – Adrian – Marlton – Jince. Tato trasa bude mít časové trvání 298 minut a vzdálenost 393,1 km.

Metoda větví a mezí (Počet větví: 1912)

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 1

Z_min = 295 min

(Jince) - (Trumann) - (Ogden) - (Alamo) - (Pearl) - (Medina) - (Marlton) - (Adrian) - (Camas) - (Jince) **404,5 km**

Počet nalezených shodných okruhů byl 24.

Souhrn výsledků

Při optimalizaci času Vogelovou aproximační metodou a metodou větví a mezí můžeme uspořit 39,6 kilometru a 14 minut, tím by mohl ušetřit na pohonných hmotách 276 Kč a celkem 467 Kč. Při optimalizaci vzdálenosti ujede obchodní zástupce Vogelovou aproximační metodou o 87,1 km méně, tím by ušetřil 608 Kč, ale celková doba vzroste o 71 minut, což činí 2367 Kč. Výpočet metodou větví a mezí pro optimalizaci vzdálenosti se nepodařil, jelikož došlo k přetečení dat.

Tab. 8: Souhrn výsledků trasy 1

Optimalizace vzdálenosti	km	min	Optimalizace času	km	min
Nejkratší trasa	371,9	430	Nejrychlejší trasa	432,6	312
Metoda nejbližšího souseda	359,5	402	Metoda nejbližšího souseda	405,0	295
Vogelova aproximační metoda	345,5	383	Vogelova aproximační metoda	393,0	298
Branch and Bound	-	-	Branch and Bound	405,0	295

5.2 Trasa 2

V tomto okruhu jel obchodní zástupce do severních Čech a jednotlivá města pro zákazníky jsou Liberec (Meriden a Agoura Hills), Jablonec (Acton), Rádlo (Malden), Turnov (Orosi, Tustin, Ocala) a Kněžmost (Kirby). Délka této trasy byla 391,8 kilometru ujetých za 281 minut. Doba strávená u zákazníků činila 200 minut.

Optimalizace vzdálenosti

Nejkratší cestou by ujel obchodní zástupce 359,1 kilometru za 364 minut.

Tab. 9: Tabulka vzdáleností v km pro trasu 2

	Firma	Jince	Meriden	Acton	Agoura Hills	Malden	Orosi	Ocala	Tustin	Kirby
	Jince	x	159	159	152	152	139	138	136	123
A3	Meriden	159	x	12	5,8	13	26	27	26	41
C3	Acton	159	12	x	14	6,5	21	22	23	39
C3	Agoura Hills	152	5,8	14	x	12	23	24	23	38
C3	Malden	152	13	6,5	12	x	16	17	18	34
B2	Orosi	139	26	21	23	16	x	3,2	3	20
T	Ocala	138	27	22	24	17	3,2	x	1,9	19
T	Tustin	136	26	23	23	18	3	1,9	x	18
B3	Kirby	123	41	39	38	34	20	19	18	x

Metoda nejbližšího souseda - sekvenčně

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 1

Z_min = 338,4 km

(Jince) - (Kirby) - (Tustin) - (Ocala) - (Orosi) - (Malden) - (Acton) - (Meriden) - (Agoura Hills) - (Jince) **353 min**

Počet nalezených shodných okruhů: 2

Vogelova aproximační metoda pro ODP

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 1

Z_min = 342,4 km

(Jince) - (Tustin) - (Ocala) - (Orosi) - (Malden) - (Acton) - (Meriden) - (Agoura Hills) - (Kirby) - (Jince) **342 min**

Počet nalezených shodných okruhů: 4

Metoda větví a mezí (Počet větví: 508)

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 1

Z_min = 338,4 km

(Jince) - (Kirby) - (Tustin) - (Ocala) - (Orosi) - (Malden) - (Acton) - (Meriden) - (Agoura Hills) - (Jince) **339 min**

Počet nalezených shodných okruhů: 32

Optimalizace času

Tab. 10: Tabulka časů pro trasu 2

	Firma	Jince	Meriden	Acton	Agoura	Malden	Orosi	Ocala	Tustin	Kirby
	Jince	x	110	111	108	106	97	98	97	91
A3	Meriden	110	x	18	8	14	19	20	19	28
C3	Acton	111	18	x	17	8	19	21	19	29
C3	Agoura Hills	108	8	17	x	11	16	17	16	25
C3	Malden	106	14	8	11	x	14	15	14	24
B2	Orosi	97	19	19	16	14	x	4	3	14
T	Ocala	98	20	21	17	15	4	x	3	16
T	Tustin	97	19	19	16	14	3	3	x	15
B3	Kirby	91	28	29	25	24	14	16	15	x

Metoda nejbližšího souseda - sekvenčně

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 1

Z_min = 268 min

(Jince) - (Meriden) - (Agoura Hills) - (Malden) - (Acton) - (Tustin) - (Ocala) - (Orosi) - (Kirby) - (Jince) **384 km**

Počet nalezených shodných okruhů: 1

Vogelova aproximační metoda pro ODP

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 2

Z_min = 269 min

(Jince) - (Kirby) - (Agoura Hills) - (Meriden) - (Malden) - (Acton) - (Tustin) - (Ocala) - (Orosi) - (Jince) **386 km**

Počet nalezených shodných okruhů: 2

(Kirby) - (Jince) - (Ocala) - (Tustin) - (Orosi) - (Acton) - (Malden) - (Meriden) - (Agoura Hills) - (Kirby) **388,1 km**

Počet nalezených shodných okruhů: 6

Metoda větví a mezí (Počet větví: 7800)

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 9

Z_min = 268 min

(Jince) - (Meriden) - (Agoura Hills) - (Malden) - (Acton) - (Tustin) - (Ocala) - (Orosi) - (Kirby) - (Jince) **384 km**

Počet nalezených shodných okruhů: 96

(Jince) - (Kirby) - (Agoura Hills) - (Meriden) - (Acton) - (Malden) - (Tustin) - (Ocala) - (Orosi) - (Jince) **377 km**

(Jince) - (Tustin) - (Ocala) - (Orosi) - (Malden) - (Acton) - (Meriden) - (Agoura Hills) - (Kirby) - (Jince) **374 km**

(Jince) - (Kirby) - (Agoura Hills) - (Meriden) - (Acton) - (Malden) - (Ocala) - (Tustin) - (Orosi) - (Jince) **379,1 km**

Počet nalezených shodných okruhů byl 432 pro všechny tři trasy.

(Jince) - (Agoura Hills) - (Meriden) - (Acton) - (Malden) - (Tustin) - (Ocala) - (Orosi) - (Kirby) - (Jince) **376 km**

Počet nalezených shodných okruhů: 200

(Jince) - (Kirby) - (Orosi) - (Tustin) - (Ocala) - (Malden) - (Acton) - (Meriden) - (Agoura Hills) - (Jince) **378,1 km**

Počet nalezených shodných okruhů: 220

(Jince) - (Kirby) - (Orosi) - (Tustin) - (Ocala) - (Agoura Hills) - (Meriden) - (Acton) - (Malden) - (Jince) **377,1 km**

Počet nalezených shodných okruhů: 264

(Jince) - (Malden) - (Acton) - (Meriden) - (Agoura Hills) - (Tustin) - (Ocala) - (Orosi) - (Kirby) - (Jince) **375 km**

Počet nalezených shodných okruhů: 240

Souhrn výsledků

Nejrychlejší projetí trasy je pomocí metody větví a mezí, které je o 17,9 km a o 15 minut lepší než skutečné. Uspoříme 500 Kč na mzdě a 125 Kč na pohonných hmotách. Nejkratší projetí trasy je dvěma metodami. Metodou nejbližšího souseda uspoříme 53,5 km, ale pojedeme o 70 minut déle. Metodou větví a mezí pojedeme také o 53,5 km méně, ale projetí této trasy je rychlejší než metodou nejbližšího souseda, takže pojedeme o 56 minut déle, než ve skutečnosti.

Tab. 11: Souhrn výsledků trasy 2

Optimalizace vzdálenosti	km	min	Optimalizace času	km	min
Nejkratší trasa	359,1	364	Nejrychlejší trasa	391,9	283
Metoda nejbližšího souseda	338,4	353	Metoda nejbližšího souseda	384,0	268
Vogelova aproximační metoda	342,4	342	Vogelova aproximační metoda	388,1	269
Branch and Bound	338,4	339	Branch and Bound	374,0	268

5.3 Trasa 3

Třetí trasa vedla do Prahy a Středočeského kraje, kde byly navštíveni zákazníci v těchto městech: Praha (Matawan, Baker, Rio Linda, Katy, Cairo) a Český Brod (Rendon, Mauldin). Bylo ujeto 240,6 kilometru za 194 minut a jednání trvalo 220 minut.

Optimalizace vzdálenosti

Nejkratší cesta na této trase by byla dlouhá 194,9 kilometru a byla by ujeta za 233 minut.

Tab. 12: Tabulka vzdáleností v km pro trasu 3

	Firma	Jince	Matawan	Baker	Rio Linda	Cairo	Katy	Mauldin	Rendon
	Jince	x	52	53	59	67	61	84	84
A3	Matawan	52	x	1,5	9,2	18	14	35	34
B2	Baker	53	1,5	x	7,9	17	13	33	33
C3	Rio Linda	59	9,2	7,9	x	10	7,7	27	27
A1	Cairo	67	18	17	10	x	7,4	25	25
B2	Katy	61	14	13	7,7	7,4	x	31	31
C3	Mauldin	84	35	33	27	25	41,1	x	1,1
A2	Rendon	84	34	33	27	25	36,8	1,1	x

Metoda nejbližšího souseda - sekvenčně

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 2

Z_min = 186,6 km

(Jince) - (Matawan) - (Baker) - (Rio Linda) - (Katy) - (Cairo) - (Rendon) - (Mauldin) - (Jince) **223 min**

(Jince) - (Rendon) - (Mauldin) - (Cairo) - (Katy) - (Rio Linda) - (Baker) - (Matawan) - (Jince) **223 min**

U obou tras byl nalezen shodný počet 3 okruhů.

Vogelova aproximační metoda pro ODP

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 2

Z_min = 194,9 km

(Jince) - (Cairo) - (Katy) - (Mauldin) - (Rendon) - (Rio Linda) - (Baker) - (Matawan) - (Jince) **239 min**

(Jince) - (Cairo) - (Katy) - (Rendon) - (Mauldin) - (Rio Linda) - (Baker) - (Matawan) - (Jince) **239 min**

Počet nalezených shodných okruhů byl 2 u obou tras s délkou trvání 239 minut.

Metoda větví a mezí (Počet větví: 278)

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 2

Z_min = 182,9 km

(Jince) - (Matawan) - (Baker) - (Rio Linda) - (Rendon) - (Mauldin) - (Cairo) - (Katy) - (Jince) **226 min**

(Jince) - (Katy) - (Cairo) - (Rendon) - (Mauldin) - (Rio Linda) - (Baker) - (Matawan) - (Jince) **226 min**

Obě trasy měly shodný počet 12 nalezených okruhů.

Optimalizace času

Tab. 13: Tabulka časových trvání v min. pro trasu 3

	Firma	Jince	Matawan	Baker	Rio Linda	Cairo	Katy	Mauldin	Rendon
	Jince	x	50	51	55	63	61	78	78
A3	Matawan	50	x	2	11	20	20	34	34
B2	Baker	51	2	x	9	18	17	32	32
C3	Rio Linda	55	11	9	x	12	11	26	26
A1	Cairo	63	20	18	12	x	11	25	25
B2	Katy	61	20	17	11	11	x	30	29
C3	Mauldin	78	34	32	26	25	30	x	2
A2	Rendon	78	34	32	26	25	29	2	x

Metoda nejbližšího souseda - sekvenčně

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 2

Z_min = 188 min

(Jince) - (Matawan) - (Baker) - (Rio Linda) - (Katy) - (Cairo) - (Rendon) - (Mauldin) - (Jince) **225 km**

(Jince) - (Rendon) - (Mauldin) - (Cairo) - (Katy) - (Rio Linda) - (Baker) - (Matawan) - (Jince) **226 km**

Byly nalezeny tři shodné okruhy u obou tras.

Vogelova aproximační metoda pro ODP

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 1

Z_min = 195 min

(Jince) - (Baker) - (Matawan) - (Rio Linda) - (Mauldin) - (Rendon) - (Katy) - (Cairo) - (Jince) **245 km**

Počet nalezených shodných okruhů: 4

Metoda větví a mezí (Počet větví: 406)

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 2

Z_min = 186 min

(Jince) - (Katy) - (Cairo) - (Rendon) - (Mauldin) - (Rio Linda) - (Baker) - (Matawan) - (Jince) **220 km**

Počet nalezených shodných okruhů: 16

(Jince) - (Katy) - (Cairo) - (Mauldin) - (Rendon) - (Rio Linda) - (Baker) - (Matawan) - (Jince) **220 km**

Počet nalezených shodných okruhů: 12

Souhrn výsledků

Nejlepší výsledek při optimalizaci času nám dala metoda větví a mezí, kdy uspoříme 8 minut a 21 kilometrů, které znamenají úsporu 147 Kč na pohonné hmoty a celkem

267 Kč na mzdě. Optimalizací vzdálenosti je možné metodou větví a mezí zajet trasu o 32 minut déle, ale o 57,7 kilometru kratší cestou.

Tab. 14: Souhrn výsledků trasy 3

Optimalizace vzdálenosti	km	min	Optimalizace času	km	min
Nejkratší trasa	194,9	233	Nejrychlejší trasa	240,6	194
Metoda nejbližšího souseda	186,6	223	Metoda nejbližšího souseda	225,3	188
Vogelova aproximační metoda	194,9	239	Vogelova aproximační metoda	245,0	195
Branch and Bound	182,9	226	Branch and Bound	219,6	186

5.4 Trasa 4

Obchodního zástupce čekal na 4. trase Středočeský a Liberecký kraj a následující města: Brandýs nad Labem (Uvalde, Barre), Mochov (Rayne), Čelákovice (Terrel), Nehvizdy (Camano), Doksy (Farrell) a Bělá pod Bezdězem (Palatka). Obchodní zástupce strávil na cestě 305 minut, během kterých ujel 406,8 kilometru. Jednání trvala 200 minut.

Optimalizace vzdálenosti

Použitím nejkratších vzdáleností by byl čas strávený na trase 358 minut, při kterých by byla naměřena vzdálenost 322,4 kilometru.

Tab. 15: Tabulka vzdáleností v km pro trasu 4

	Firma	Jince	Uvalde	Rayne	Barre	Terrel	Camano	Farrell	Palatka
	Jince	x	74	80	74	79	73	121	122
K	Uvalde	74	x	13	0,1	9,2	7,9	59	49
A2	Rayne	80	13	x	13	3,7	6,6	60	50
C2	Barre	74	0,1	13	x	9,2	7,9	59	49
C2	Terrel	79	9,2	3,7	9,2	x	6,2	62	52
C3	Camano	73	7,9	6,6	7,9	6,2	x	65	55
B3	Farrell	121	59	60	59	62	65	x	20
B3	Palatka	122	49	50	49	52	55	20	x

Metoda nejbližšího souseda - sekvenčně

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 2

Z_min = 282,9 km

(Jince) - (Uvalde) - (Barre) - (Camano) - (Terrel) - (Rayne) - (Palatka) - (Farrell) - (Jince) **329 min**

(Jince) - (Barre) - (Uvalde) - (Camano) - (Terrel) - (Rayne) - (Palatka) - (Farrell) - (Jince) **329 min**

Délka trvání obou tras by byla 329 minut a byl nalezen jeden stejný okruh.

Vogelova aproximační metoda pro ODP

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 2

Z_min = 285,3 km

(Jince) - (Farrell) - (Palatka) - (Terrel) - (Rayne) - (Camano) - (Uvalde) - (Barre) - (Jince) **332 min**

(Jince) - (Uvalde) - (Barre) - (Camano) - (Rayne) - (Terrel) - (Palatka) - (Farrell) - (Jince) **332 min**

Byly nalezeny 4 stejné okruhy u obou tras, které měli délku trvání 332 minut.

Metoda větví a mezí (Počet větví: 79)

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 2

Z_min = 282,6 km

(Jince) - (Farrell) - (Palatka) - (Barre) - (Uvalde) - (Terrel) - (Rayne) - (Camano) - (Jince) **318 min**

(Jince) - (Camano) - (Rayne) - (Terrel) - (Barre) - (Uvalde) - (Palatka) - (Farrell) - (Jince) **318 min**

U obou tras byl počet nalezených shodných okruhů: 8

Optimalizace času

Tab. 16: Tabulka časových trvání v min. pro trasu 4

	Firma	Jince	Uvalde	Rayne	Barre	Terrel	Camano	Farrell	Palatka
	Jince	x	65	72	65	72	64	105	96
K	Uvalde	65	x	15	1	11	8	42	33
A2	Rayne	72	15	x	45	4	7	54	45
C2	Barre	65	1	45	x	11	8	42	33
C2	Terrel	72	11	4	11	x	8	51	42
C3	Camano	64	8	7	8	8	x	48	39
B3	Farrell	105	42	54	42	51	48	x	17
B3	Palatka	96	33	45	33	42	39	17	x

Metoda nejbližšího souseda - sekvenčně

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 2

Z_min = 242 min

(Jince) - (Camano) - (Rayne) - (Terrel) - (Barre) - (Uvalde) - (Palatka) - (Farrell) - (Jince) **339 km**

(Jince) - (Camano) - (Rayne) - (Terrel) - (Uvalde) - (Barre) - (Palatka) - (Farrell) - (Jince) **333,1 km**

Počet nalezených shodných okruhů byl 2 u obou tras.

Vogelova aproximační metoda pro ODP

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 2

Z_min = 242 min

(Jince) - (Barre) - (Uvalde) - (Palatka) - (Farrell) - (Terrel) - (Rayne) - (Camano) - (Jince) **334,6 km**

(Jince) - (Camano) - (Rayne) - (Terrel) - (Palatka) - (Farrell) - (Uvalde) - (Barre) - (Jince) **333,6 km**

Byly nalezeny 4 shodné okruhy u obou tras.

Metoda větví a mezí (Počet větví: 1530)

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 8

Z_min = 242 min

(Jince) - (Uvalde) - (Barre) - (Palatka) - (Farrell) - (Terrel) - (Rayne) - (Camano) - (Jince) **334,6 km**

(Jince) - (Uvalde) - (Barre) - (Farrell) - (Palatka) - (Terrel) - (Rayne) - (Camano) - (Jince) **333,6 km**

(Jince) - (Camano) - (Rayne) - (Terrel) - (Barre) - (Uvalde) - (Palatka) - (Farrell) - (Jince) **333,2 km**

(Jince) - (Camano) - (Rayne) - (Terrel) - (Barre) - (Uvalde) - (Farrell) - (Palatka) - (Jince) **333,2 km**

(Jince) - (Palatka) - (Farrell) - (Barre) - (Uvalde) - (Terrel) - (Rayne) - (Camano) - (Jince) **333,1 km**

(Jince) - (Farrell) - (Palatka) - (Barre) - (Uvalde) - (Terrel) - (Rayne) - (Camano) - (Jince) **333,1 km**

(Jince) - (Barre) - (Uvalde) - (Palatka) - (Farrell) - (Terrel) - (Rayne) - (Camano) - (Jince) **334,6 km**

(Jince) - (Barre) - (Uvalde) - (Farrell) - (Palatka) - (Terrel) - (Rayne) - (Camano) - (Jince) **333,6 km**

U všech osmi tras bylo nalezeno 108 shodných okruhů.

Souhrn výsledků

Optimalizací času dali všechny metody shodné zlepšení a to 63 minut. Tato úspora činí 21%. Metodou nejbližšího souseda spolu s metodou větví a mezí bychom měli trasu kratší o 73,7 kilometru a Vogelovou aproximační metodou o 73,2 kilometru. Ušetřili bychom tím 2100 Kč na mzdách a 514 Kč na pohonných hmotách. Optimalizací vzdálenosti použitím metody větví a mezí ušetříme 124,2 kilometru, ale pojedeme o 13 minut déle. 4. trasa je jediná, na které ušetříme při optimalizaci vzdálenosti i času, když pojedeme déle, než byl skutečně strávený čas na trase.

Tab. 17: Souhrn výsledků trasy 4

Optimalizace vzdálenosti	km	min	Optimalizace času	km	min
Nejkratší trasa	322,4	358	Nejrychlejší trasa	406,8	305
Metoda nejbližšího souseda	282,9	329	Metoda nejbližšího souseda	333,1	242
Vogelova aproximační metoda	285,3	332	Vogelova aproximační metoda	333,6	242
Branch and Bound	282,6	318	Branch and Bound	333,1	242

5.5 Trasa 5

Na trase č. 5 jel obchodní zástupce do těchto měst: Příbram (Palmer), Mníšek pod Brdy (Kissimmee), Poříčí nad Sázavou (Mantua, Marcy), Benešov (Dalton), Praha (Fargo, Kearny) a Dolní Jirčany (Tomah). Celkem najel 251,3 kilometru za 184 minut. U zákazníků strávil obchodní zástupce 270 minut.

Optimalizace vzdálenosti

Tato trasa by byla projeta za 247 minut a v délce 358 kilometrů.

Tab. 18: Tabulka vzdáleností v km pro trasu 5

	Firma	Jince	Palmer	Kissimmee	Mantua	Marcy	Dalton	Kearny	Tomah	Fargo
	Jince	x	13	30	64	64	60	49	55	51
C3	Palmer	13	x	29	62	62	58	51	58	54
A2	Kissimmee	30	29	x	41	41	40	24	30	26
K	Mantua	64	62	41	x	0,3	8,1	31	19	26
K	Marcy	64	62	41	0,3	x	8,2	30	19	26
A3	Dalton	60	58	40	8,1	8,2	x	38	27	34
C3	Kearny	49	51	24	31	30	38	x	14	4,9
A2	Tomah	55	58	30	19	19	27	14	x	9,1
B2	Fargo	51	54	26	26	26	34	4,9	9,1	x

Metoda nejbližšího souseda - sekvenčně

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 1

Z_min = 166,4 km

(Jince) - (Kissimmee) - (Kearny) - (Fargo) - (Tomah) - (Marcy) - (Mantua) - (Dalton) - (Palmer) - (Jince) **179 min**

Počet nalezených shodných okruhů: 2

Vogelova aproximační metoda pro ODP

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 1

Z_min = 167,4 km

(Jince) - (Dalton) - (Mantua) - (Marcy) - (Tomah) - (Fargo) - (Kearny) - (Kissimmee) - (Palmer) - (Jince) **187 min**

Počet nalezených shodných okruhů: 2

Metoda větví a mezí (Počet větví: 576)

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 1

Z_min = 166,4 km

(Jince) - (Palmer) - (Dalton) - (Mantua) - (Marcy) - (Tomah) - (Fargo) - (Kearny) - (Kissimmee) - (Jince) **179 min**

Počet nalezených shodných okruhů: 12

Optimalizace času

Tab. 19: Tabulka časových trvání v min. pro trasu 5

	Firma	Jince	Palmer	Kissimmee	Mantua	Marcy	Dalton	Kearny	Tomah	Fargo
	Jince	x	14	30	59	58	60	49	46	46
C3	Palmer	14	x	18	51	50	47	44	38	38
A2	Kissimmee	30	18	x	36	35	40	29	23	23
K	Mantua	59	51	36	x	1	7	30	21	24
K	Marcy	58	50	35	1	x	7	29	20	24
A3	Dalton	60	47	40	7	7	x	34	25	29
C3	Kearny	49	44	29	30	29	34	x	17	7
A2	Tomah	46	38	23	21	20	25	17	x	11
B2	Fargo	46	38	23	24	24	29	7	11	x

Metoda nejbližšího souseda - sekvenčně

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 1

Z_min = 166 min

(Jince) - (Kissimmee) - (Fargo) - (Kearny) - (Tomah) - (Marcy) - (Mantua) - (Dalton) - (Palmer) - (Jince) **195,5 km**

Počet nalezených shodných okruhů: 1

Vogelova aproximační metoda pro ODP

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 1

Z_min = 170 min

(Jince) - (Marcy) - (Mantua) - (Dalton) - (Tomah) - (Kearny) - (Fargo) - (Kissimmee) - (Palmer) - (Jince) **234,5 km**

Počet nalezených shodných okruhů: 4

Metoda větví a mezí (Počet větví: 4176)

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 2

Z_min = 166 min

(Jince) - (Palmer) - (Dalton) - (Mantua) - (Marcy) - (Tomah) - (Fargo) - (Kearny) - (Kissimmee) - (Jince) **190,5 km**

(Jince) - (Kissimmee) - (Fargo) - (Kearny) - (Tomah) - (Marcy) - (Mantua) - (Dalton) - (Palmer) - (Jince) **195,5 km**

TSPKOSA nalezla 64 shodných okruhů pro obě trasy.

Souhrn výsledků

Při optimalizaci vzdálenosti i času ušetříme a u obou optimalizací vychází nejlépe použití metody větví a mezí. Stejného výsledku dosahuje metoda nejbližšího souseda při optimalizaci vzdálenosti. V případě optimalizace času dojde k zrychlení trasy o 18 minut, při kterých ujede obchodní zástupce 60,8 kilometru. Takovýmto zkrácením trasy je možné uspořit 424 Kč na pohonné hmoty a 600 Kč na mzdu. U optimalizace vzdálenosti bude trasa kratší o 84,9 kilometru, které znamenají úsporu 5 minut proti skutečnosti. Tato úspora činí 593 Kč na pohonné hmoty a 167 Kč na mzdu.

Tab. 20: Souhrn výsledků trasy 5

Optimalizace vzdálenosti	km	min	Optimalizace času	km	min
Nejkratší trasa	203,6	247	Nejrychlejší trasa	251,3	184
Metoda nejbližšího souseda	166,4	179	Metoda nejbližšího souseda	195,5	166
Vogelova aproximační metoda	167,4	187	Vogelova aproximační metoda	234,5	170
Branch and Bound	166,4	179	Branch and Bound	190,5	166

5.6 Trasa 6

Trasa 6 zavedla obchodního zástupce do měst: Praha (Canton, Lantana, Ulster, Kenai a Olean), Stochov (Akron) a Chrustenice (Saco). Délka této trasy je 253,5 kilometru zvládnutých za 195 minut. Jednání u zákazníků trvala 230 minut.

Optimalizace vzdálenosti

Nejkratší cestou by byla ujeta vzdálenost 222,5 kilometru za 277 minut.

Tab. 21: Tabulka vzdáleností v km pro trasu 6

	Firma	Jince	Saco	Canton	Lantana	Akron	Ulster	Kenai	Olean
	Jince	x	35	53	54	55	48	57	69
K	Saco	35	x	21	22	30	18	32	43
B2	Canton	53	21	x	1,5	29	12	24	31
B3	Lantana	54	22	1,5	x	30	12	25	32
C3	Akron	55	30	29	30	x	34	48	56
K	Ulster	48	18	12	12	34	x	17	26
B3	Kenai	57	32	24	25	48	17	x	15
C3	Olean	69	43	31	32	56	26	15	x

Metoda nejbližšího souseda - sekvenčně

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 1

Z_min = 207,5 km

(Jince) - (Akron) - (Canton) - (Lantana) - (Ulster) - (Kenai) - (Olean) - (Saco) - (Jince) **269 min**

Počet nalezených shodných okruhů: 1

Vogelova aproximační metoda pro ODP

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 1

Z_min = 205,5 km

(Jince) - (Kenai) - (Olean) - (Ulster) - (Lantana) - (Canton) - (Akron) - (Saco) - (Jince) **261 min**

Počet nalezených shodných okruhů: 4

Metoda větví a mezí (Počet větví: 494)

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 2

Z_min = 202,5 km

(Jince) - (Akron) - (Canton) - (Lantana) - (Olean) - (Kenai) - (Ulster) - (Saco) - (Jince) **253 min**

(Jince) - (Saco) - (Ulster) - (Kenai) - (Olean) - (Canton) - (Lantana) - (Akron) - (Jince) **254 min**

Počet nalezených shodných okruhů se rovná 24 u obou tras.

Optimalizace času

Tab. 22: Tabulka časových trvání v min. pro trasu 6

	Firma	Jince	Saco	Canton	Lantana	Akron	Ulster	Kenai	Olean
	Jince	x	29	38	40	49	36	55	65
K	Saco	29	x	16	17	27	14	33	43
B2	Canton	38	16	x	2	22	14	33	42
B3	Lantana	40	17	2	x	22	14	33	43
C3	Akron	49	27	22	22	x	22	41	51
K	Ulster	36	14	14	14	22	x	23	33
B3	Kenai	55	33	33	33	41	23	x	16
C3	Olean	65	43	42	43	51	33	16	x

Metoda nejbližšího souseda - sekvenčně

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 4

Z_min = 203 min

(Jince) - (Saco) - (Ulster) - (Lantana) - (Canton) - (Akron) - (Kenai) - (Olean) - (Jince) **264,5 km**

(Jince) - (Saco) - (Ulster) - (Canton) - (Lantana) - (Akron) - (Kenai) - (Olean) - (Jince) **264,5 km**

Počet nalezených shodných okruhů: 2 (pro obě trasy)

(Jince) - (Kenai) - (Olean) - (Akron) - (Canton) - (Lantana) - (Ulster) - (Saco) - (Jince) **263,5 km**

(Jince) - (Kenai) - (Olean) - (Akron) - (Lantana) - (Canton) - (Ulster) - (Saco) - (Jince) **263,5 km**

TSPKOSA nalezla 1 shodný okruh u obou tras.

Vogelova aproximační metoda pro ODP

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 1

Z_min = 195 min

(Jince) - (Canton) - (Lantana) - (Akron) - (Ulster) - (Olean) - (Kenai) - (Saco) - (Jince) **252,5 km**

Počet nalezených shodných okruhů: 4

Metoda větví a mezí (Počet větví: 1336)

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 8

Z_min = 195 min

(Jince) - (Olean) - (Kenai) - (Ulster) - (Akron) - (Lantana) - (Canton) - (Saco) - (Jince) **253,5 km**

(Jince) - (Ulster) - (Olean) - (Kenai) - (Akron) - (Lantana) - (Canton) - (Saco) - (Jince) **252,5 km**

(Jince) - (Canton) - (Lantana) - (Akron) - (Kenai) - (Olean) - (Ulster) - (Saco) - (Jince) **251,5 km**

Pro první tři trasy byl počet nalezených shodných okruhů: 32

(Jince) - (Kenai) - (Olean) - (Ulster) - (Akron) - (Lantana) - (Canton) - (Saco) - (Jince) **252,5 km**

(Jince) - (Canton) - (Lantana) - (Akron) - (Olean) - (Kenai) - (Ulster) - (Saco) - (Jince) **251,5 km**

(Jince) - (Ulster) - (Kenai) - (Olean) - (Akron) - (Lantana) - (Canton) - (Saco) - (Jince) **252,5 km**

(Jince) - (Canton) - (Lantana) - (Akron) - (Ulster) - (Olean) - (Kenai) - (Saco) - (Jince) **252,5 km**

Počet nalezených shodných okruhů: 64 pro předchozí čtyři trasy.

(Jince) - (Canton) - (Lantana) - (Akron) - (Ulster) - (Kenai) - (Olean) - (Saco) - (Jince) **252,5 km**

Pro poslední trasu byl počet nalezených shodných okruhů: 48

Souhrn výsledků

Optimalizací času nebylo dosaženo zlepšení. Vogelova aproximační metoda i metoda větví a mezí dala stejný čas, jaký byl dosažen obchodním zástupcem, optimalizací trasu pouze zkrátila o 1 km (VAM) a o 2 km (BaB). Metoda nejbližšího souseda zhoršila čas i vzdálenost. Při optimalizaci vzdálenosti bylo zlepšení metodou větví a mezí oproti skutečnosti o 51 kilometrů, ale celkový čas se zvýšil o 58 minut.

Tab. 23: Souhrn výsledků trasy 6

Optimalizace vzdálenosti	km	min	Optimalizace času	km	min
Nejkratší trasa	222,5	277	Nejrychlejší trasa	253,5	195
Metoda nejbližšího souseda	207,5	269	Metoda nejbližšího souseda	263,5	203
Vogelova aproximační metoda	205,5	261	Vogelova aproximační metoda	252,5	195
Branch and Bound	202,5	253	Branch and Bound	251,5	195

5.7 Trasa 7

Obchodní zástupce projel v 7. trase tyto města: Praha (Selah, Matawan, Mebane, Norco), Stránčice (Perinton), Poříčí nad Sázavou (Mantua) a Dolní Jirčany (Tomah). Na trase strávil 204 minut, při kterých ujel 259,3 kilometru. Délka jednání byla 240 minut.

Optimalizace vzdálenosti

203,1 kilometru za 272 minut by bylo ujeto nejkratší vzdáleností na trase 7.

Tab. 24: Tabulka vzdáleností v km pro trasu 7

	Firma	Jince	Matawan	Selah	Mebane	Perinton	Mantua	Tomah	Norco
	Jince	x	52	51	55	66	64	55	59
A3	Matawan	52	x	0,4	5,3	25	31	14	9
B3	Selah	51	0,4	x	5,7	25	31	14	9,4
A2	Mebane	55	5,3	5,7	x	25	34	17	4,4
B3	Perinton	66	25	25	25	x	23	13	23
K	Mantua	64	31	31	34	23	x	19	35
A2	Tomah	55	14	14	17	13	19	x	19
C3	Norco	59	9	9,4	4,4	23	35	19	x

Metoda nejbližšího souseda - sekvenčně

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 2

Z_min = 180,1 km

(Jince) - (Selah) - (Matawan) - (Mebane) - (Norco) - (Tomah) - (Perinton) - (Mantua) - (Jince) **237 min**

Počet nalezených shodných okruhů: 2

(Jince) - (Mantua) - (Tomah) - (Perinton) - (Norco) - (Mebane) - (Matawan) - (Selah) - (Jince) **233 min**

Počet nalezených shodných okruhů: 1

Vogelova aproximační metoda pro ODP

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 1

Z_min = 181,5 km

(Jince) - (Matawan) - (Selah) - (Mebane) - (Norco) - (Perinton) - (Tomah) - (Mantua) - (Jince) **234 min**

Počet nalezených shodných okruhů: 2

Metoda větví a mezí (Počet větví: 150)

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 2

Z_min = 180,1 km

(Jince) - (Mantua) - (Tomah) - (Perinton) - (Norco) - (Mebane) - (Matawan) - (Selah) - (Jince) **233 min**

Počet nalezených shodných okruhů: 7

(Jince) - (Mantua) - (Perinton) - (Tomah) - (Norco) - (Mebane) - (Matawan) - (Selah) - (Jince) **237 min**

Počet nalezených shodných okruhů: 6

Optimalizace času

Tab. 25: Tabulka časových trvání v min. pro trasu 7

	Firma	Jince	Matawan	Selah	Mebane	Perinton	Mantua	Tomah	Norco
	Jince	x	50	50	52	56	59	46	56
A3	Matawan	50	x	1	9	20	24	17	12
B3	Selah	50	1	x	9	21	24	17	12
A2	Mebane	52	9	9	x	21	24	19	7
B3	Perinton	56	20	21	21	x	24	17	24
K	Mantua	59	24	24	24	24	x	21	27
A2	Tomah	46	17	17	19	17	21	x	22
C3	Norco	56	12	12	7	24	27	22	x

Metoda nejbližšího souseda - sekvenčně

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 1

Z_min = 186 min

(Jince) - (Tomah) - (Perinton) - (Matawan) - (Selah) - (Mebane) - (Norco) - (Mantua) - (Jince) **263,7 km**

Počet nalezených shodných okruhů: 2

Vogelova aproximační metoda pro ODP

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 4

Z_min = 181 min

(Jince) - (Matawan) - (Selah) - (Mebane) - (Norco) - (Mantua) - (Perinton) - (Tomah) - (Jince) **237,7 km**

(Jince) - (Selah) - (Matawan) - (Mebane) - (Norco) - (Mantua) - (Perinton) - (Tomah) - (Jince) **237,6 km**

(Jince) - (Matawan) - (Selah) - (Norco) - (Mebane) - (Mantua) - (Perinton) - (Tomah) - (Jince) **237,8 km**

(Jince) - (Tomah) - (Perinton) - (Mantua) - (Mebane) - (Norco) - (Matawan) - (Selah) - (Jince) **237,8 km**

U všech tras byl počet nalezených shodných okruhů roven 4.

Metoda větví a mezí (Počet větví: 940)

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 4

Z_min = 181 min

(Jince) - (Selah) - (Matawan) - (Mebane) - (Norco) - (Mantua) - (Perinton) - (Tomah) - (Jince) **237,6 km**

(Jince) - (Tomah) - (Perinton) - (Mantua) - (Norco) - (Mebane) - (Selah) - (Matawan) - (Jince) **237,7 km**

U prvních dvou tras byl počet nalezených shodných okruhů: 64

(Jince) - (Selah) - (Matawan) - (Norco) - (Mebane) - (Mantua) - (Perinton) - (Tomah) - (Jince) **237,8 km**

(Jince) - (Matawan) - (Selah) - (Norco) - (Mebane) - (Mantua) - (Perinton) - (Tomah) - (Jince) **237,8 km**

Počet nalezených shodných okruhů byl 24 u posledních dvou tras.

Souhrn výsledků

Optimalizací vzdálenosti metodou nejbližšího souseda i metodou větví a mezí by obchodní zástupce ušetřil 79,2 kilometru, při kterých by najel o 29 minut více. Tato úspora by se společnosti Ammeraal Beltech nevyplatila, protože na mzdě by dala o 967 Kč více a na pohonných hmotách by ušetřila pouze 553 Kč. Vogelova aproximační metoda i metoda větví a mezí zkrátí čas při jeho optimalizaci o 23 minut a zároveň o 21,7 kilometru. Úspora tedy činí 151 Kč na pohonné hmoty a 767 Kč na mzdu.

Tab. 26: Souhrn výsledků trasy 7

Optimalizace vzdálenosti	km	min	Optimalizace času	km	min
Nejkratší trasa	203,1	272	Nejrychlejší trasa	259,3	204
Metoda nejbližšího souseda	180,1	233	Metoda nejbližšího souseda	263,7	186
Vogelova aproximační metoda	181,5	234	Vogelova aproximační metoda	237,6	181
Branch and Bound	180,1	233	Branch and Bound	237,6	181

5.8 Trasa 8

Trasa 8 vedla po středočeském kraji ve městech: Kolín (Pea Ridge, Babylon, Totowa, Taylor Mill), Kostomlaty nad Labem (Dallas), Nymburk (Mesa), Český Brod (Mauldin) a Sadská (Palo Alto). Jednání se zákazníky trvala 220 minut a cesta mezi nimi 289 minut, při kterých najel obchodní zástupce 357,8 kilometru.

Optimalizace vzdálenosti

Nejkratší cestou na trase 8 by ujel obchodní zástupce 317,6 kilometru a 343 minut.

Tab. 27: Tabulka vzdáleností v km pro trasu 8

	Firma	Jince	Pea Ridge	Totowa	Dallas	Mesa	Taylor Mill	Babylon	Mauldin	Palo Alto
	Jince	x	108	114	96	102	114	109	84	93
T	Pea Ridge	108	x	6,7	30	23	7,5	2,2	27	24
C3	Totowa	114	6,7	x	31	24	2,4	7,1	33	26
A3	Dallas	96	30	31	x	7,7	32	32	23	15
A2	Mesa	102	23	24	7,7	x	25	25	18	8,5
C3	Taylor Mill	114	7,5	2,4	32	25	x	7,8	34	26
K	Babylon	109	2,2	7,1	32	25	7,8	x	29	26
C3	Mauldin	84	27	33	23	18	34	29	x	9,4
C3	Palo Alto	93	24	26	15	8,5	26	26	9,4	x

Metoda nejbližšího souseda - sekvenčně

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 1

Z_min = 260,8 km

(Jince) - (Pea Ridge) - (Babylon) - (Totowa) - (Taylor Mill) - (Mesa) - (Dallas) - (Palo Alto) - (Mauldin) - (Jince) **281 min**

Počet nalezených shodných okruhů: 1

Vogelova aproximační metoda pro ODP

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 1

Z_min = 260,8 km

(Jince) - (Pea Ridge) - (Babylon) - (Totowa) - (Taylor Mill) - (Mesa) - (Dallas) - (Palo Alto) - (Mauldin) - (Jince) **281 min**

Počet nalezených shodných okruhů: 2

Metoda větví a mezí (Počet větví: 852)

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 1

Z_min = 257,5 km

(Jince) - (Mauldin) - (Palo Alto) - (Pea Ridge) - (Babylon) - (Taylor Mill) - (Totowa) - (Mesa) - (Dallas) - (Jince) **302 min**

Počet nalezených shodných okruhů: 16

Optimalizace času

Tab. 28: Tabulka časových trvání v min. pro trasu 8

	Firma	Jince	Pea Ridge	Totowa	Dallas	Mesa	Taylor Mill	Babylon	Mauldin	Palo Alto
	Jince	x	93	92	82	86	92	93	78	76
T	Pea Ridge	93	x	9	30	21	10	3	23	24
C3	Totowa	92	9	x	32	23	3	9	28	25
A3	Dallas	82	30	32	x	9	32	32	23	17
A2	Mesa	86	21	23	9	x	24	23	20	10
C3	Taylor Mill	92	10	3	32	24	x	10	28	25
K	Babylon	93	3	9	32	23	10	x	25	26
C3	Mauldin	78	23	28	23	20	28	25	x	11
C3	Palo Alto	76	24	25	17	10	25	26	11	x

Metoda nejbližšího souseda - sekvenčně

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 1

Z_min = 242 min

(Jince) - (Dallas) - (Mesa) - (Palo Alto) - (Mauldin) - (Pea Ridge) - (Babylon) - (Totowa) - (Taylor Mill) - (Jince) **303,6 km**

Počet nalezených shodných okruhů: 1

Vogelova aproximační metoda pro ODP

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 1

Z_min = 243 min

(Jince) - (Mauldin) - (Palo Alto) - (Dallas) - (Mesa) - (Pea Ridge) - (Babylon) - (Totowa) - (Taylor Mill) - (Jince) **305 min**

Počet nalezených shodných okruhů: 2

Metoda větví a mezí (Počet větví: 5298)

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 2

Z_min = 240 min

(Jince) - (Dallas) - (Mesa) - (Totowa) - (Taylor Mill) - (Babylon) - (Pea Ridge) - (Mauldin) - (Palo Alto) - (Jince) **300,7 km**

(Jince) - (Dallas) - (Mesa) - (Taylor Mill) - (Totowa) - (Babylon) - (Pea Ridge) - (Mauldin) - (Palo Alto) - (Jince) **296 km**

TSPKOSA nalezla 50 shodných okruhů u obou tras.

Souhrn výsledků

Při optimalizaci času vyšla nejlépe metoda větví a mezí, která uspoří 61,8 km a 49 minut. Tato úspora činí v peněžních prostředcích 1633 Kč na mzdu a 431 Kč na pohonné hmoty. Při optimalizací vzdálenosti dávají metoda nejbližšího souseda i Vogelova aproximační metoda shodné výsledky a trasu je možné zkrátit o 97 kilometrů a 8 minut. Což představuje

667 Kč na pohonné hmoty a 267 Kč na mzdu. Metoda větví a mezí zkrátí trasu 100,3 kilometru, ale o 13 minut ji prodlouží.

Tab. 29: Souhrn výsledků trasy 8

Optimalizace vzdálenosti	km	min	Optimalizace času	km	min
Nejkratší trasa	317,6	343	Nejrychlejší trasa	357,8	289
Metoda nejbližšího souseda	260,8	281	Metoda nejbližšího souseda	303,6	242
Vogelova aproximační metoda	260,8	281	Vogelova aproximační metoda	305,0	243
Branch and Bound	257,5	302	Branch and Bound	296,0	240

5.9 Trasa 9

9. trasa byla v tomto měsíci nejkratší a vedla k sedmi zákazníkům ve dvou městech: Hořovice (Tavares, Tarrant, Seven Corners, Orem) a Žebrák (Kapaa, Slaton, Vidor). Trasa představovala vzdálenost pouze 39,8 kilometru a čas strávený na cestě byl 49 minut. Doba strávená u zákazníků trvala 180 minut.

Optimalizace vzdálenosti

Trasa číslo 9 jako jediná by měla stejnou vzdálenost tras a to 39,8 kilometru. Tato vzdálenost by byla ujeta za 51 minut.

Tab. 30: Tabulka vzdáleností v km pro trasu 9

	Firma	Jince	Tavares	Tarrant	Orem	Seven Corners	Vidor	Kapaa	Slaton
	Jince	x	11	9,9	9,6	11	14	14	14
C2	Tavares	11	x	1,6	2,1	2,5	4,3	4,8	4,2
C3	Tarrant	9,9	1,6	x	1,1	0,9	5,4	5,8	5,3
C3	Orem	9,6	2,1	1,1	x	2	4,6	5,1	4,5
C3	Seven Corners	11	2,5	0,9	2	x	6,3	6,8	6,2
A1	Vidor	14	4,3	5,4	4,6	6,3	x	2	1,3
K	Kapaa	14	4,8	5,8	5,1	6,8	2	x	1,8
C2	Slaton	14	4,2	5,3	4,5	6,2	1,3	1,8	x

Metoda nejbližšího souseda - sekvenčně

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 1

Z_min = 35,5 km

(Jince) - (Kapaa) - (Slaton) - (Vidor) - (Tavares) - (Tarrant) - (Seven Corners) - (Orem) - (Jince) **46 min**

Počet nalezených shodných okruhů: 1

Vogelova aproximační metoda pro ODP

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 1

Z_min = 35,5 km

(Jince) - (Kapaa) - (Slaton) - (Vidor) - (Tavares) - (Tarrant) - (Seven Corners) - (Orem) - (Jince) **46 min**

Počet nalezených shodných okruhů: 2

Metoda větví a mezí

Programem TSPKOSA není možné získat řešení zvolenou metodou.

Optimalizace času

Tab. 31: Tabulka časových trvání v min. pro trasu 9

	Firma	Jince	Tavares	Tarrant	Orem	Seven Corners	Vidor	Kapaa	Slaton
	Jince	x	13	12	12	13	17	16	16
C2	Tavares	13	x	2	3	3	6	6	6
C3	Tarrant	12	2	x	2	1	7	6	6
C3	Orem	12	3	2	x	3	6	5	5
C3	Seven Corners	13	3	1	3	x	8	7	7
A1	Vidor	17	6	7	6	8	x	2	2
K	Kapaa	16	6	6	5	7	2	x	3
C2	Slaton	16	6	6	5	7	2	3	x

Metoda nejbližšího souseda - sekvenčně

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 10

Z_min = 44 min

(Jince) - (Orem) - (Tarrant) - (Seven Corners) - (Tavares) - (Slaton) - (Vidor) - (Kapaa) - (Jince) **35,7 km**

(Jince) - (Orem) - (Tarrant) - (Seven Corners) - (Tavares) - (Kapaa) - (Vidor) - (Slaton) - (Jince) **36,3 km**

(Jince) - (Tarrant) - (Seven Corners) - (Tavares) - (Orem) - (Slaton) - (Vidor) - (Kapaa) - (Jince) **37,2 km**

(Jince) - (Tarrant) - (Seven Corners) - (Tavares) - (Orem) - (Kapaa) - (Vidor) - (Slaton) - (Jince) **37,8 km**

TSPKOSA nalezla u těchto čtyř tras shodný počet okruhů – 2. U zbývajících tras byl počet nalezených shodných okruhů roven 1.

(Jince) - (Tavares) - (Tarrant) - (Seven Corners) - (Orem) - (Slaton) - (Vidor) - (Kapaa) - (Jince) **37,3 km**

(Jince) - (Kapaa) - (Vidor) - (Slaton) - (Orem) - (Tarrant) - (Seven Corners) - (Tavares) - (Jince) **37,3 km**

(Jince) - (Slaton) - (Vidor) - (Kapaa) - (Orem) - (Tarrant) - (Seven Corners) - (Tavares) - (Jince) **37,9 km**

(Jince) - (Tavares) - (Tarrant) - (Seven Corners) - (Orem) - (Kapaa) - (Vidor) - (Slaton) - (Jince) **37,9 km**

(Jince) - (Seven Corners) - (Tarrant) - (Tavares) - (Orem) - (Slaton) - (Vidor) - (Kapaa) - (Jince) **37,4 km**

(Jince) - (Seven Corners) - (Tarrant) - (Tavares) - (Orem) - (Kapaa) - (Vidor) - (Slaton) - (Jince) **38 km**

Vogelova aproximační metoda pro ODP

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 4

Z_min = 43 min

(Jince) - (Orem) - (Kapaa) - (Vidor) - (Slaton) - (Tavares) - (Tarrant) - (Seven Corners) - (Jince) **35,8 km**

(Jince) - (Orem) - (Slaton) - (Vidor) - (Kapaa) - (Tavares) - (Tarrant) - (Seven Corners) - (Jince) **35,8 km**

(Jince) - (Tarrant) - (Seven Corners) - (Tavares) - (Kapaa) - (Vidor) - (Slaton) - (Orem) - (Jince) **35,6 km**

(Jince) - (Orem) - (Kapaa) - (Vidor) - (Slaton) - (Tavares) - (Seven Corners) - (Tarrant) - (Jince) **35,6 km**

U všech tras byl počet nalezených shodných okruhů roven 4.

Metoda větví a mezí

TSP KOSA dala výsledek: Run-time error ‘6‘: Overflow – došlo k přetečení dat.

Souhrn výsledků

Na tak krátké trase jako je tato se v podstatě nevyplatí dělat žádné zlepšení, protože při optimalizaci času se Vogelova aproximační metoda zkrátí čas o 6 minut (12,2%) a vzdálenost 4,2 kilometru (10,6%). U optimalizace vzdálenosti vyšly metoda nejbližšího souseda a Vogelova aproximační metoda shodně. Trasu zkrátili o 4,3 kilometru (10,8%) a 3 minuty (6,1%). Pro metodu větví a mezí není možné získat řešení.

Tab. 32: Souhrn výsledků trasy 9

Optimalizace vzdálenosti	km	min	Optimalizace času	km	min
Nejkratší trasa	39,8	51	Nejrychlejší trasa	39,8	49
Metoda nejbližšího souseda	35,5	46	Metoda nejbližšího souseda	35,7	44
Vogelova aproximační metoda	35,5	46	Vogelova aproximační metoda	35,6	43
Branch and Bound	-	-	Branch and Bound	-	-

5.10 Trasa 10

Cílem trasy č. 10 bylo Hlavní město Praha, ve kterém byli rozmístěni všichni zákazníci pro tento den, kde vzdálenost činila 188,1 kilometru a čas strávený na cestě 175 minut a 190 minut u zákazníků.

Optimalizace vzdálenosti

Nejkratší vzdáleností by bylo ujeto 161,2 kilometru za 208 minut.

Tab. 33: Tabulka vzdáleností v km pro trasu 10

	Firma	Jince	Ramona	Rio Linda	Campbell	Makaha	Mebane	Keizer	Cape Coral
	Jince	x	59	59	59	67	55	58	55
C3	Ramona	59	x	6,1	0	8,3	8,4	2,7	8,4
C3	Rio Linda	59	6,1	x	6,7	11	4,6	4,9	4,9
B3	Campbell	59	0	6,7	x	8,3	8,4	2,7	8,4
B3	Makaha	67	8,3	11	8,3	x	14	10	14
A2	Mebane	55	8,4	4,6	8,4	14	x	6	1,6
C3	Keizer	58	2,7	4,9	2,7	10	6	x	6,1
B2	Cape Coral	55	8,4	4,9	8,4	14	1,6	6,1	x

Metoda nejbližšího souseda - sekvenčně

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 2

Z_min = 144,1 km

(Jince) - (Cape Coral) - (Mebane) - (Rio Linda) - (Keizer) - (Campbell) - (Ramona) - (Makaha) - (Jince) **181 min**

(Jince) - (Makaha) - (Campbell) - (Ramona) - (Keizer) - (Rio Linda) - (Mebane) - (Cape Coral) - (Jince) **181 min**

U obou tras měl počet nalezených shodných okruhů hodnotu 3

Vogelova aproximační metoda pro ODP

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 2

Z_min = 145,5 km

(Jince) - (Mebane) - (Cape Coral) - (Makaha) - (Ramona) - (Campbell) - (Keizer) - (Rio Linda) - (Jince) **179 min**

(Jince) - (Rio Linda) - (Keizer) - (Campbell) - (Ramona) - (Makaha) - (Mebane) - (Cape Coral) - (Jince) **178 min**

Počet nalezených shodných okruhů se rovnal 4 pro oba okruhy.

Metoda větví a mezí (Počet větví: 342)

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 2

Z_min = 141,2 km

(Jince) - (Cape Coral) - (Mabane) - (Rio Linda) - (Makaha) - (Campbell) - (Ramona) - (Keizer) - (Jince) **176 min**

Počet nalezených shodných okruhů: 14

(Jince) - (Keizer) - (Campbell) - (Ramona) - (Makaha) - (Rio Linda) - (Mabane) - (Cape Coral) - (Jince) **176 min**

Počet nalezených shodných okruhů: 12

Optimalizace času

Tab. 34: Tabulka časových trvání v min. pro trasu 10

	Firma	Jince	Ramona	Rio Linda	Campbell	Makaha	Mebane	Keizer	Cape Coral
	Jince	x	58	55	58	63	52	57	51
C3	Ramona	58	x	9	0	13	13	4	11
C3	Rio Linda	55	9	x	10	11	7	7	6
B3	Campbell	58	0	10	x	13	13	4	11
B3	Makaha	63	13	11	13	x	15	15	14
A2	Mebane	52	13	7	13	15	x	9	2
C3	Keizer	57	4	7	4	15	9	x	10
B2	Cape Coral	51	11	6	11	14	2	10	x

Metoda nejbližšího souseda - sekvenčně

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 4

Z_min = 147 min

(Jince) - (Cape Coral) - (Mebane) - (Rio Linda) - (Keizer) - (Campbell) - (Ramona) - (Makaha) - (Jince) **172,8 km**

(Jince) - (Cape Coral) - (Mebane) - (Rio Linda) - (Keizer) - (Ramona) - (Campbell) - (Makaha) - (Jince) **172,8 km**

(Jince) - (Mebane) - (Cape Coral) - (Rio Linda) - (Keizer) - (Campbell) - (Ramona) - (Makaha) - (Jince) **175,4 km**

(Jince) - (Mebane) - (Cape Coral) - (Rio Linda) - (Keizer) - (Ramona) - (Campbell) - (Makaha) - (Jince) **175,4 km**

Pro první dvě trasy byl počet nalezených shodných okruhů roven 2 a pro zbylé 2 trasy roven počet nalezených shodných okruhů 1.

Vogelova aproximační metoda pro ODP

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 2

Z_min = 145 min

(Jince) - (Cape Coral) - (Mebane) - (Rio Linda) - (Makaha) - (Ramona) - (Campbell) - (Keizer) - (Jince) **164,9 km**

(Jince) - (Mebane) - (Cape Coral) - (Rio Linda) - (Makaha) - (Ramona) - (Campbell) - (Keizer) - (Jince) **167,5 km**

Počet nalezených shodných okruhů byl 4 pro obě trasy.

Metoda větví a mezí (Počet větví: 14044)

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 6

Z_min = 145 min

(Jince) - (Cape Coral) - (Mabane) - (Rio Linda) - (Makaha) - (Campbell) - (Ramona) - (Keizer) - (Jince) **164,9 km**

Počet nalezených shodných okruhů: 569

(Jince) - (Cape Coral) - (Mabane) - (Rio Linda) - (Makaha) - (Ramona) - (Campbell) - (Keizer) - (Jince) **164,9 km**

Počet nalezených shodných okruhů: 561

(Jince) - (Cape Coral) - (Mabane) - (Keizer) - (Campbell) - (Ramona) - (Makaha) - (Rio Linda) - (Jince) **172,5 km**

Počet nalezených shodných okruhů: 988

(Jince) - (Mabane) - (Cape Coral) - (Rio Linda) - (Makaha) - (Campbell) - (Ramona) - (Keizer) - (Jince) **167,5 km**

Počet nalezených shodných okruhů: 935

(Jince) - (Rio Linda) - (Makaha) - (Campbell) - (Ramona) - (Keizer) - (Mabane) - (Cape Coral) - (Jince) **172,5 km**

Počet nalezených shodných okruhů: 943

(Jince) - (Keizer) - (Campbell) - (Ramona) - (Makaha) - (Rio Linda) - (Cape Coral) - (Mabane) - (Jince) **167,5 km**

Počet nalezených shodných okruhů: 980

Souhrn výsledků

Při optimalizací vzdálenosti vyšla nejlépe metoda větví a mezí, která zkrátila trasu o 46,9 kilometru a prodloužila ji o 1 minutu. Při časové optimalizaci byl nejlepší výsledek dosažen Vogelovou aproximační metodou a metodou větví a mezí, kdy úspora činila 30 minut a 23,2 kilometru. Tyto hodnoty představují 1000 Kč na mzdu a 162 Kč na naftu.

Tab. 35: Souhrn výsledků trasy 10

Optimalizace vzdálenosti	km	čas	Optimalizace času	km	čas
Nejkratší trasa	161,2	208	Nejrychlejší trasa	188,1	175
Metoda nejbližšího souseda	144,1	181	Metoda nejbližšího souseda	172,8	147
Vogelova aproximační metoda	145,5	178	Vogelova aproximační metoda	164,9	145
Branch and Bound	141,2	176	Branch and Bound	164,9	145

5.11 Trasa 11

Na této trase navštívil OZ Středočeský kraj a Prahu, konkrétně tyto města: Sedlčany (Pecan Grove), Votice (Magna), Bystřice (Ada), Trhový Štěpánov (Ralston) a Prahu (Galion, Elgin, Olean). Doba jednání činila 200 minut. Cesta na 11. trase trvala 246 minut a byla dlouhá 289 kilometrů.

Optimalizace vzdálenosti

Vzdálenost na této trase by byla 265 kilometrů, které by byly ujety za 279 minut.

Tab. 36: Tabulka vzdáleností v km pro trasu 11

	Firma	Jince	Pecan Grove	Magna	Ada	Ralston	Galion	Elgin	Olean
	Jince	x	42	59	59	90	49	59	69
B3	Pecan Grove	42	x	18	21	54	54	65	70
A3	Magna	59	18	x	12	37	57	68	64
B3	Ada	59	21	12	x	35	47	58	54
A3	Ralston	90	54	37	35	x	62	70	64
C3	Galion	49	54	57	47	62	x	12	22
C3	Elgin	59	65	68	58	70	12	x	15
T	Olean	69	70	64	54	64	22	15	x

Metoda nejbližšího souseda - sekvenčně

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 1

Z_min = 247 km

(Jince) - (Galion) - (Elgin) - (Olean) - (Ralston) - (Ada) - (Magna) - (Pecan Grove) - (Jince) **280 min**

Počet nalezených shodných okruhů: 2

Vogelova aproximační metoda pro ODP

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 1

Z_min = 247 km

(Jince) - (Pecan Grove) - (Magna) - (Ada) - (Ralston) - (Olean) - (Elgin) - (Galion) - (Jince) **280 min**

Počet nalezených shodných okruhů: 2

Metoda větví a mezí (Počet větví: 152)

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 1

Z_min = 247 km

(Jince) - (Galion) - (Elgin) - (Olean) - (Ralston) - (Ada) - (Magna) - (Pecan Grove) - (Jince) **280 min**

Počet nalezených shodných okruhů: 4

Optimalizace času

Tab. 37: Tabulka časových trvání v min. pro trasu 11

	Firma	Jince	Pecan Grove	Magna	Ada	Ralston	Galion	Elgin	Olean
	Jince	x	39	56	57	73	48	56	65
B3	Pecan Grove	39	x	19	21	52	52	64	64
A3	Magna	56	19	x	12	41	43	55	55
B3	Ada	57	21	12	x	34	35	47	47
A3	Ralston	73	52	41	34	x	39	51	50
C3	Galion	48	52	43	35	39	x	18	22
C3	Elgin	56	64	55	47	51	18	x	20
T	Olean	65	64	55	47	50	22	20	x

Metoda nejbližšího souseda - sekvenčně

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 1

Z_min = 240 min

(Jince) - (Galion) - (Elgin) - (Olean) - (Ralston) - (Ada) - (Magna) - (Pecan Grove) - (Jince) **282 km**

Počet nalezených shodných okruhů: 2

Vogelova aproximační metoda pro ODP

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 1

Z_min = 246 min

(Jince) - (Pecan Grove) - (Magna) - (Ada) - (Ralston) - (Galion) - (Elgin) - (Olean) - (Jince) **289 km**

Počet nalezených shodných okruhů: 4

Metoda větví a mezí (Počet větví: 54)

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 1

Z_min = 240 min

(Jince) - (Pecan Grove) - (Magna) - (Ada) - (Ralston) - (Olean) - (Elgin) - (Galion) - (Jince) **282 km**

Počet nalezených shodných okruhů: 4

Souhrn výsledků

Při optimalizaci času zlepšení metodou větví a mezí i metodou nejbližšího souseda činilo 6 minut a 7 kilometrů. Vzdálenost i čas trasy by byla pomocí Vogelovy aproximační metody stejná, jakou obchodní zástupce skutečně ujel. Optimalizace času přinesla shodné výsledky pro všechny metody. Vzdálenost by se zkrátila o 42 kilometrů a čas strávený na cestě by se prodloužil o 34 minut.

Tab. 38: Souhrn výsledků trasy 11

Optimalizace vzdálenosti	km	min	Optimalizace času	km	min
Nejkratší trasa	265,0	279	Nejrychlejší trasa	289,0	246
Metoda nejbližšího souseda	247,0	280	Metoda nejbližšího souseda	282,0	240
Vogelova aproximační metoda	247,0	280	Vogelova aproximační metoda	289,0	246
Branch and Bound	247,0	280	Branch and Bound	282,0	240

5.12 Trasa 12

Cílem trasy č. 12 byly okresy Beroun a Příbram, ve kterých směřoval obchodní zástupce k 9 zákazníkům do měst a obcí: Lochovice (Kent), Žebrák (Kapaa), Králův Dvůr (Quincy), Loděnice (Madison), Vráž u Berouna (Adams), Chrustenice (Saco), Beroun (Danbury, Cabot) a posledním navštíveným městem byla Příbram (Theodore). Trasa byla dlouhá

140,2 kilometru a čas na ni strávený činil 129 minut. Doba jednání obchodního zástupce se zákazníky trvala 270 minut.

Optimalizace vzdálenosti

Projetí trasy nejkratšími cestami by trvalo 152 minut a vzdálenost by byla 130,9 kilometru.

Tab. 39: Tabulka vzdáleností v km pro trasu 12

	Firma	Jince	Kent	Kapaa	Quincy	Madison	Adams	Saco	Cabot	Danbury	Theodore
	Jince	x	4,9	14	22	34	31	35	28	25	16
A3	Kent	4,9	x	12	17	29	26	30	24	21	21
K	Kapaa	14	12	x	25	37	34	38	31	29	38
C3	Quincy	22	17	25	x	12	8,9	13	6,2	4,8	39
B3	Madison	34	29	37	12	x	3,3	1,1	8,2	10	48
C3	Adams	31	26	34	8,9	3,3	x	4,4	5,5	7,4	45
K	Saco	35	30	38	13	1,1	4,4	x	9,4	11	49
A2	Cabot	28	24	31	6,2	8,2	5,5	9,4	x	4,9	43
C3	Danbury	25	21	29	4,8	10	7,4	11	4,9	x	39
C3	Theodore	16	21	38	39	48	45	49	43	39	x

Metoda nejbližšího souseda - sekvenčně

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 1

Z_min = 126,5 km

(Jince) - (Kent) - (Kapaa) - (Quincy) - (Danbury) - (Cabot) - (Adams) - (Madison) - (Saco) - (Theodore) - (Jince) **146 min**

Počet nalezených shodných okruhů: 2

Vogelova aproximační metoda pro ODP

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 1

Z_min = 124,2 km

(Jince) - (Kent) - (Kapaa) - (Quincy) - (Cabot) - (Madison) - (Saco) - (Adams) - (Danbury) - (Theodore) - (Jince) **143 min**

Počet nalezených shodných okruhů: 2

Metoda větví a mezí (Počet větví: 2251)

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 1

Z_min = 124 km

(Jince) - (Kent) - (Kapaa) - (Quincy) - (Cabot) - (Adams) - (Madison) - (Saco) - (Danbury) - (Theodore) - (Jince) **142 min**

Počet nalezených shodných okruhů: 12

Optimalizace času

Tab. 40: Tabulka časových trvání v min. pro trasu 12

	Firma	Jince	Kent	Kapaa	Quincy	Madison	Adams	Saco	Cabot	Danbury	Theodore
	Jince	x	5	16	21	27	26	29	27	24	19
A3	Kent	5	x	14	16	22	21	24	22	18	24
K	Kapaa	16	14	x	15	20	19	22	20	17	41
C3	Quincy	21	16	15	x	9	8	11	8	6	40
B3	Madison	27	22	20	9	x	4	2	7	7	47
C3	Adams	26	21	19	8	4	x	5	6	6	45
K	Saco	29	24	22	11	2	5	x	9	9	49
A2	Cabot	27	22	20	8	7	6	9	x	6	45
C3	Danbury	24	18	17	6	7	6	9	6	x	43
C3	Theodore	19	24	41	40	47	45	49	45	43	x

Metoda nejbližšího souseda - sekvenčně

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 1

Z_min = 124 min

(Jince) - (Theodore) - (Quincy) - (Danbury) - (Cabot) - (Adams) - (Madison) - (Saco) - (Kapaa) - (Kent) - (Jince) **133,5 km**

Počet nalezených shodných okruhů: 2

Vogelova aproximační metoda pro ODP

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 5

Z_min = 123 min

(Jince) - (Theodore) - (Quincy) - (Danbury) - (Cabot) - (Madison) - (Saco) - (Adams) - (Kapaa) - (Kent) - (Jince) **133,7 km**

(Jince) - (Kent) - (Kapaa) - (Madison) - (Saco) - (Adams) - (Cabot) - (Danbury) - (Quincy) - (Theodore) - (Jince) **133,6 km**

(Jince) - (Theodore) - (Quincy) - (Madison) - (Saco) - (Adams) - (Cabot) - (Danbury) - (Kapaa) - (Kent) - (Jince) **132,8 km**

(Jince) - (Kent) - (Kapaa) - (Danbury) - (Madison) - (Saco) - (Adams) - (Cabot) - (Quincy) - (Theodore) - (Jince) **130,1 km**

(Jince) - (Theodore) - (Quincy) - (Cabot) - (Madison) - (Saco) - (Adams) - (Danbury) - (Kapaa) - (Kent) - (Jince) **130,6 km**

TSP KOSA nalezla 4 shodné okruhy u první trasy. U ostatních byly nalezeny vždy 2 shodné okruhy.

Metoda větví a mezí (Počet větví: 7766)

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 10

Z_min = 120 min

(Jince) - (Kapaa) - (Adams) - (Saco) - (Madison) - (Cabot) - (Danbury) - (Quincy) - (Kent) - (Theodore) - (Jince) **129,8 km**

(Jince) - (Kapaa) - (Madison) - (Saco) - (Adams) - (Cabot) - (Danbury) - (Quincy) - (Kent) - (Theodore) - (Jince) **129,7 km**

Pro první dvě trasy byl počet nalezených shodných okruhů roven 140.

(Jince) - (Theodore) - (Kent) - (Danbury) - (Cabot) - (Adams) - (Saco) - (Madison) - (Quincy) - (Kapaa) - (Jince) **128,9 km**

(Jince) - (Theodore) - (Kent) - (Danbury) - (Cabot) - (Madison) - (Saco) - (Adams) - (Quincy) - (Kapaa) - (Jince) **130 km**

(Jince) - (Theodore) - (Kent) - (Danbury) - (Adams) - (Saco) - (Madison) - (Cabot) - (Quincy) - (Kapaa) - (Jince) **126,7 km**

(Jince) - (Theodore) - (Kent) - (Danbury) - (Madison) - (Saco) - (Adams) - (Cabot) - (Quincy) - (Kapaa) - (Jince) **126,2 km**

Počet nalezených shodných okruhů byl 180 u předcházejících čtyř tras.

(Jince) - (Theodore) - (Kent) - (Quincy) - (Adams) - (Saco) - (Madison) - (Cabot) - (Danbury) - (Kapaa) - (Jince) **130 km**

(Jince) - (Theodore) - (Kent) - (Quincy) - (Madison) - (Saco) - (Adams) - (Cabot) - (Danbury) - (Kapaa) - (Jince) **128,9 km**

(Jince) - (Theodore) - (Kent) - (Quincy) - (Cabot) - (Adams) - (Saco) - (Madison) - (Danbury) - (Kapaa) - (Jince) **126,2 km**

(Jince) - (Theodore) - (Kent) - (Quincy) - (Cabot) - (Madison) - (Saco) - (Adams) - (Danbury) - (Kapaa) - (Jince) **126,7 km**

Počet nalezených shodných okruhů se rovnal 630 u posledních čtyř tras.

Souhrn výsledků

Metoda větví a mezí dala nejlepší výsledek při optimalizaci vzdálenosti. Uspořila by 16,2 kilometru, během kterých by najel OZ o 13 minut navíc. Při optimalizaci času uspoříme na 12. trase metodou větví a mezí 9 minut a 14 kilometrů.

Tab. 41: Souhrn výsledků trasy 12

Optimalizace vzdálenosti	km	min	Optimalizace času	km	min
Nejkratší trasa	130,9	152	Nejrychlejší trasa	140,2	129
Metoda nejbližšího souseda	126,5	146	Metoda nejbližšího souseda	133,5	124
Vogelova aproximační metoda	124,2	143	Vogelova aproximační metoda	130,1	123
Branch and Bound	124,0	142	Branch and Bound	126,2	120

5.13 Trasa 13

Trasu č. 13 naplánoval obchodní zástupce do okresů Kladno a Mělník. V těchto okresech navštívil 3 města a to: Kladno (Lamar, Dana Point, Kelso a Napa), Nelahozeves (Urdana a Utica) a Mělník (Valrico). Délka této trasy byla 230,7 kilometru a její ujetí trvalo 194 minut. Tento den činila doba strávená u zákazníků 230 minut.

Optimalizace vzdálenosti

Projetí trasy nejkratšími cestami by trvalo 233 minut, při kterých by bylo najeto 195,4 kilometru.

Tab. 42: Tabulka vzdáleností v km pro trasu 13

	Firma	Jince	Dana Point	Kelso	Napa	Lamar	Urdana	Utica	Valrico
	Jince	x	50	50	53	49	74	74	88
K	Dana Point	50	x	1,7	3,8	2,9	24	24	43
A2	Kelso	50	1,7	x	3,5	3,1	25	25	44
C2	Napa	53	3,8	3,5	x	6,1	22	22	41
B2	Lamar	49	2,9	3,1	6,1	x	26	26	46
K	Urdana	74	24	25	22	26	x	0,1	20
K	Utica	74	24	25	22	26	0,1	x	20
C3	Valrico	88	43	44	41	46	20	20	x

Metoda nejbližšího souseda - sekvenčně

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 2

Z_min = 187,2 km

(Jince) - (Lamar) - (Dana Point) - (Kelso) - (Napa) - (Utica) - (Urdana) - (Valrico) - (Jince) **219 min**

(Jince) - (Valrico) - (Utica) - (Urdana) - (Napa) - (Kelso) - (Dana Point) - (Lamar) - (Jince) **219 min**

Pro obě trasy nalezla TSP KOSA 3 shodné okruhy.

Vogelova aproximační metoda pro ODP

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 2

Z_min = 190,8 km

(Jince) - (Kelso) - (Dana Point) - (Lamar) - (Napa) - (Urdana) - (Utica) - (Valrico) - (Jince) **224 min**

(Jince) - (Kelso) - (Dana Point) - (Lamar) - (Napa) - (Utica) - (Urdana) - (Valrico) - (Jince) **224 min**

Počet nalezených shodných okruhů se rovná 4 u obou tras.

Metoda větví a mezí

TSPKOSA nám hlásí, že není možné získat řešení zvolenou metodou.

Optimalizace času

Tab. 43: Tabulka časových trvání v min. pro trasu 13

	Firma	Jince	Dana Point	Kelso	Napa	Lamar	Urdana	Utica	Valrico
	Jince	x	46	47	50	43	65	65	77
K	Dana Point	46	x	3	6	4	31	31	45
A2	Kelso	47	3	x	6	5	32	32	45
C2	Napa	50	6	6	x	9	29	29	42
B2	Lamar	43	4	5	9	x	34	34	48
K	Urdana	65	31	32	29	34	x	1	18
K	Utica	65	31	32	29	34	1	x	18
C3	Valrico	77	45	45	42	48	18	18	x

Metoda nejbližšího souseda - sekvenčně

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 2

Z_min = 181 min

(Jince) - (Lamar) - (Dana Point) - (Kelso) - (Napa) - (Utica) - (Urdana) - (Valrico) - (Jince) **219,9 km**

(Jince) - (Valrico) - (Utica) - (Urdana) - (Napa) - (Kelso) - (Dana Point) - (Lamar) - (Jince) **219,9 km**

Byly nalezeny 3 stejné okruhy pro obě trasy.

Vogelova aproximační metoda pro ODP

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 2

Z_min = 181 min

(Jince) - (Lamar) - (Dana Point) - (Kelso) - (Napa) - (Urdana) - (Utica) - (Valrico) - (Jince) **219,9 km**

(Jince) - (Lamar) - (Dana Point) - (Kelso) - (Napa) - (Utica) - (Urdana) - (Valrico) - (Jince) **219,9 km**

4 je počet nalezených shodných okruhů pro obě trasy.

Metoda větví a mezí

Není možné získat řešení zvolenou metodou.

Souhrn výsledků

Metoda nejbližšího souseda a Vogelova aproximační metoda dali stejný výsledek při optimalizaci času, kdy shodně zkrátíme trasu o 13 minut a 10,8 kilometru. Tímto zlepšením uspoříme 433 Kč na mzdě a 75 Kč na pohonných hmotách. Optimalizací vzdálenosti metodou nejbližšího souseda uspoříme na trase 43,5 kilometru, ale pojedeme o 25 minut déle. Metodou větví a mezí není možné získat řešení.

Tab. 44: Souhrn výsledků trasy 13

Optimalizace vzdálenosti	km	min	Optimalizace času	km	min
Nejkratší trasa	195,4	233	Nejrychlejší trasa	230,7	194
Metoda nejbližšího souseda	187,2	219	Metoda nejbližšího souseda	219,9	181
Vogelova aproximační metoda	190,8	224	Vogelova aproximační metoda	219,9	181
Branch and Bound	-	-	Branch and Bound	-	-

5.14 Trasa 14

Obchodní zástupce jel ve 14. trase k zákazníkům do měst a obcí: Votice (Magna), Bystřice (Ada), Benešov (Dalton, Tulare), Poříčí nad Sázavou (Marcy a Mantua) a Praha (Kearny, Cairo). Trasa trvala 209 minut a byla dlouhá 237,8 kilometru. 280 minut byl obchodní zástupce na jednání u zákazníků v tento den.

Optimalizace vzdálenosti

Na této trase by ujel obchodní zástupce 209,2 kilometru za 239 minut.

Tab. 45: Tabulka vzdáleností v km pro trasu 14

	Firma	Jince	Magna	Ada	Dalton	Tulare	Marcy	Mantua	Kearny	Cairo
	Jince	x	59	59	60	61	64	64	49	67
A3	Magna	59	x	12	19	18	26	26	57	65
B3	Ada	59	12	x	8,5	7,9	16	16	46	55
A3	Dalton	60	19	8,5	x	0,9	8,1	8	38	47
B3	Tulare	61	18	7,9	0,9	x	8,5	8,4	39	47
K	Marcy	64	26	16	8,1	8,5	x	0,3	30	40
K	Mantua	64	26	16	8	8,4	0,3	x	31	40
C3	Kearny	49	57	46	38	39	30	31	x	22
A1	Cairo	67	65	55	47	47	40	40	22	x

Metoda nejbližšího souseda - sekvenčně

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 1

Z_min = 199,1 km

(Jince) - (Kearny) - (Cairo) - (Marcy) - (Mantua) - (Dalton) - (Tulare) - (Ada) - (Magna) - (Jince) **226 min**

Počet nalezených shodných okruhů: 2

Vogelova aproximační metoda pro ODP

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 1

Z_min = 199,1 km

(Jince) - (Magna) - (Ada) - (Tulare) - (Dalton) - (Mantua) - (Marcy) - (Cairo) - (Kearny) - (Jince) **227 min**

Počet nalezených shodných okruhů: 2

Metoda větví a mezí (Počet větví: 56)

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 1

Z_min = 199,1 km

(Jince) - (Magna) - (Ada) - (Tulare) - (Dalton) - (Mantu) - (Marcy) - (Cairo) - (Kearny) - (Jince) **226 min**

Počet nalezených shodných okruhů: 6

Optimalizace času

Tab. 46: Tabulka časových trvání v min. pro trasu 14

	Firma	Jince	Magna	Ada	Dalton	Tulare	Marcy	Mantua	Kearny	Cairo
	Jince	x	56	57	60	61	58	59	49	63
A3	Magna	56	x	12	15	16	21	21	48	53
B3	Ada	57	12	x	7	7	13	13	40	45
A3	Dalton	60	15	7	x	1	7	7	34	39
B3	Tulare	61	16	7	1	x	7	8	35	40
K	Marcy	58	21	13	7	7	x	1	36	50
K	Mantua	59	21	13	7	8	1	x	37	50
C3	Kearny	49	48	40	34	35	36	37	x	25
A1	Cairo	63	53	45	39	40	50	50	25	x

Metoda nejbližšího souseda - sekvenčně

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 1

Z_min = 203 min

(Jince) - (Kearny) - (Cairo) - (Dalton) - (Tulare) - (Marcy) - (Mantua) - (Ada) - (Magna) - (Jince) **253,1 km**

Počet nalezených shodných okruhů: 2

Vogelova aproximační metoda pro ODP

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 1

Z_min = 203 min

(Jince) - (Kearny) - (Cairo) - (Dalton) - (Tulare) - (Marcy) - (Mantua) - (Ada) - (Magna) - (Jince) **253,1 km**

Počet nalezených shodných okruhů: 12

Metoda větví a mezí (Počet větví: 357)

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 2

Z_min = 203 min

(Jince) - (Magna) - (Ada) - (Mantu) - (Marcy) - (Tulare) - (Dalton) - (Cairo) - (Kearny) - (Jince) **253,8 km**

(Jince) - (Kearny) - (Cairo) - (Dalton) - (Mantu) - (Marcy) - (Tulare) - (Ada) - (Magna) - (Jince) **252,6 km**

U obou tras byl počet nalezených shodných okruhů: 48

Souhrn výsledků

Při optimalizaci vzdálenosti vyšel počet kilometrů stejně, ale v případě metody nejbližšího souseda a metody větví a mezí byl čas kratší o 1 minut než Vogelovou aproximační metodou. Všemi metodami najedeme o 38,7 kilometru méně než ve skutečnosti, ale pojedeme o 17 minut, respektive 18 minut déle. Optimalizací času uspoříme metodou větví a mezí 6 minut, ale pojedeme o 14,8 kilometru delší trasou.

Tab. 47: Souhrn výsledků trasy 14

Optimalizace vzdálenosti	km	min	Optimalizace času	km	min
Nejkratší trasa	209,2	239	Nejrychlejší trasa	237,8	209
Metoda nejbližšího souseda	199,1	226	Metoda nejbližšího souseda	253,1	203
Vogelova aproximační metoda	199,1	227	Vogelova aproximační metoda	253,1	203
Branch and Bound	199,1	226	Branch and Bound	252,6	203

5.15 Trasa 15

Trasa 15, která je posledním den v měsíci jel obchodní zástupce do okresů Příbram, Beroun a Hlavní město Praha. Jednání měl ve městech a obcích: Hořovice (Seven Corners), Lochovice (Kent), Čenkov (Kokomo), Loděnice (Gantt a Madison) a Praha (Galion a Olean). Cesta na této trase byla dlouhá 208,5 kilometru a 178 minut. Tento den byl obchodní zástupce u zákazníků 180 minut.

Optimalizace vzdálenosti

Nejkratší cestou by trvala trasa 233 minut, při kterých by ujel OZ 182,5 kilometru.

Tab. 48: Tabulka vzdáleností v km pro trasu 15

	Firma	Jince	Seven Corners	Kent	Kokomo	Madison	Gantt	Galion	Olean
	Jince	x	11	4,9	3,6	34	34	49	69
C3	Seven Corners	11	x	11	14	30	30	54	72
A3	Kent	4,9	11	x	8,5	29	29	49	70
C2	Kokomo	3,6	14	8,5	x	37	37	53	73
B3	Madison	34	30	29	37	x	0	24	42
B3	Gantt	34	30	29	37	0	x	24	42
C3	Galion	49	54	49	53	24	24	x	22
C3	Olean	69	72	70	73	42	42	22	x

Metoda nejbližšího souseda - sekvenčně

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 2

Z_min = 168,1 km

(Jince) - (Kokomo) - (Kent) - (Seven Corners) - (Gantt) - (Madison) - (Galion) - (Olean) - (Jince) **209 min**

(Jince) - (Kokomo) - (Kent) - (Seven Corners) - (Madison) - (Gantt) - (Galion) - (Olean) - (Jince) **209 min**

Počet nalezených shodných okruhů byl roven 2 pro obě trasy.

Vogelova aproximační metoda pro ODP

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 2

Z_min = 165,5 km

(Jince) - (Kokomo) - (Seven Corners) - (Madison) - (Gantt) - (Olean) - (Galion) - (Kent) - (Jince) **207 min**

(Jince) - (Kent) - (Galion) - (Olean) - (Madison) - (Gantt) - (Seven Corners) - (Kokomo) - (Jince) **207 min**

8 je počet nalezených shodných okruhů u obou tras.

Metoda větví a mezí (Počet větví: 1022)

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 2

Z_min = 165,5 km

(Jince) - (Kokomo) - (Seven Corners) - (Madison) - (Gantt) - (Olean) - (Galion) - (Kent) - (Jince) **207 km**

(Jince) - (Kokomo) - (Seven Corners) - (Gantt) - (Madison) - (Olean) - (Galion) - (Kent) - (Jince) **207 km**

Počet nalezených shodných okruhů byl 144 u obou tras.

Optimalizace času

Tab. 49: Tabulka časových trvání v min. pro trasu 15

	Firma	Jince	Seven Corners	Kent	Kokomo	Madison	Gantt	Galion	Olean
	Jince	x	13	5	5	27	27	48	65
C3	Seven Corners	13	x	12	18	20	20	41	58
A3	Kent	5	12	x	10	22	22	43	60
C2	Kokomo	5	18	10	x	32	32	54	70
B3	Madison	27	20	22	32	x	0	24	41
B3	Gantt	27	20	22	32	0	x	24	41
C3	Galion	48	41	43	54	24	24	x	22
C3	Olean	65	58	60	70	41	41	22	x

Metoda nejbližšího souseda - sekvenčně

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 2

Z_min = 154 min

(Jince) - (Kokomo) - (Seven Corners) - (Gantt) - (Madison) - (Galion) - (Olean) - (Kent) - (Jince) **187,5 km**

(Jince) - (Kokomo) - (Seven Corners) - (Madison) - (Gantt) - (Galion) - (Olean) - (Kent) - (Jince) **187,5 km**

Byl nalezen pouze 1 stejný okruh pro obě trasy.

Vogelova aproximační metoda pro ODP

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 8

Z_min = 154 min

(Jince) - (Kokomo) - (Seven Corners) - (Galion) - (Olean) - (Madison) - (Gantt) - (Kent) - (Jince) **186,5 km**

(Jince) - (Kent) - (Madison) - (Gantt) - (Galion) - (Olean) - (Seven Corners) - (Kokomo) - (Jince) **187,5 km**

(Jince) - (Kokomo) - (Seven Corners) - (Galion) - (Olean) - (Gantt) - (Madison) - (Kent) - (Jince) **186,5 km**

(Jince) - (Kent) - (Gantt) - (Madison) - (Galion) - (Olean) - (Seven Corners) - (Kokomo) - (Jince) **192,5 km**

Počet nalezených shodných okruhů se rovná 8 pro první čtyři trasy.

(Jince) - (Kokomo) - (Kent) - (Gantt) - (Madison) - (Galion) - (Olean) - (Seven Corners) - (Jince) **188,1 km**

(Jince) - (Kokomo) - (Kent) - (Madison) - (Gantt) - (Olean) - (Galion) - (Seven Corners) - (Jince) **187,1 km**

(Jince) - (Seven Corners) - (Galion) - (Olean) - (Madison) - (Gantt) - (Kent) - (Kokomo) - (Jince) **187,1 km**

(Jince) - (Kokomo) - (Kent) - (Madison) - (Gantt) - (Galion) - (Olean) - (Seven Corners) - (Jince) **188,1 km**

Pro další čtyři trasy se počet nalezených shodných okruhů rovná 4.

Metoda větví a mezí (Počet větví: 20810)

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 16

Z_min = 154 min

(Jince) - (Seven Corners) - (Madison) - (Gantt) - (Olean) - (Galion) - (Kent) - (Kokomo) - (Jince) **187,1 km**

(Jince) - (Seven Corners) - (Madison) - (Gantt) - (Galion) - (Olean) - (Kent) - (Kokomo) - (Jince) **188,1 km**

(Jince) - (Kokomo) - (Kent) - (Madison) - (Gantt) - (Olean) - (Galion) - (Seven Corners) - (Jince) **187,1 km**

(Jince) - (Kokomo) - (Kent) - (Madison) - (Gantt) - (Galion) - (Olean) - (Seven Corners) - (Jince) **188,1 km**

(Jince) - (Kent) - (Madison) - (Gantt) - (Olean) - (Galion) - (Seven Corners) - (Kokomo) - (Jince) **186,5 km**

(Jince) - (Kent) - (Madison) - (Gantt) - (Galion) - (Olean) - (Seven Corners) - (Kokomo) - (Jince) **187,5 km**

(Jince) - (Kokomo) - (Seven Corners) - (Madison) - (Gantt) - (Olean) - (Galion) - (Kent) - (Jince) **186,5 km**

(Jince) - (Kokomo) - (Seven Corners) - (Madison) - (Gantt) - (Galion) - (Olean) - (Kent) - (Jince) **187,5 km**

(Jince) - (Seven Corners) - (Gantt) - (Madison) - (Olean) - (Galion) - (Kent) - (Kokomo) - (Jince) **187,1 km**

(Jince) - (Seven Corners) - (Gantt) - (Madison) - (Galion) - (Olean) - (Kent) - (Kokomo) - (Jince) **188,1 km**

(Jince) - (Kokomo) - (Kent) - (Gantt) - (Madison) - (Olean) - (Galion) - (Seven Corners) - (Jince) **187,1 km**

(Jince) - (Kokomo) - (Kent) - (Gantt) - (Madison) - (Galion) - (Olean) - (Seven Corners) - (Jince) **188,1 km**

(Jince) - (Kent) - (Gantt) - (Madison) - (Olean) - (Galion) - (Seven Corners) - (Kokomo) - (Jince) **186,5 km**

(Jince) - (Kent) - (Gantt) - (Madison) - (Galion) - (Olean) - (Seven Corners) - (Kokomo) - (Jince) **187,5 km**

(Jince) - (Kokomo) - (Seven Corners) - (Gantt) - (Madison) - (Olean) - (Galion) - (Kent) - (Jince) **186,5 km**

(Jince) - (Kokomo) - (Seven Corners) - (Gantt) - (Madison) - (Galion) - (Olean) - (Kent) - (Jince) **187,5 km**

Počet nalezených shodných okruhů: 576 pro všechny trasy

Souhrn výsledků

Poslední den bylo optimalizací času ušetřeno všemi metodami 24 minut a Vogelovou aproximační metodou spolu s metodou větví a mezí se zkrátila trasa o 22 kilometrů. Tímto zlepšením bychom ušetřili 800 Kč na mzdách a 154 Kč na pohonných hmotách. Metody Vogelova aproximační a větví a mezí vyšly nejlépe i u optimalizace vzdálenosti, kde zkrátí trasu o 43 kilometrů, ale zároveň ji prodlouží o 29 minut.

Tab. 50: Souhrn výsledků trasy 15

Optimalizace vzdálenosti	km	min	Optimalizace času	km	min
Nejkratší trasa	182,5	233	Nejrychlejší trasa	208,5	178
Metoda nejbližšího souseda	168,1	209	Metoda nejbližšího souseda	187,5	154
Vogelova aproximační metoda	165,5	207	Vogelova aproximační metoda	186,5	154
Branch and Bound	165,5	207	Branch and Bound	186,5	154

5.16 Rozdělení trasy 9 do tras 10 a 12

Všichni zákazníci na trase 9 mají působiště velmi blízko výchozímu místu obchodního zástupce. Jednání a doba cest mezi zákazníky trvala celkem 229 minut. To je velmi málo na celý den a proto tuto trasu přerozdělíme k jiným trasám. Pro přidání zákazníků byly vybrány trasy č. 10 a 12. Zákazníci Tavares, Tarrant, Orem, Seven Corners a Kapaa byli přidáni k trase 10, tím se jednání se zákazníky prodloužilo o 120 minut, na 310 minut. K trase č. 12 přibyli Vidor a Slaton, tím bylo jednání se zákazníky delší o 50 minut a celková doba činila 330 minut. TSPKOSA nemohla spočítat trasy metodou větví a mezí, protože došlo k přetečení dat.

Veškeré výpočty jsou uvedeny v přílohách 16 a 17. V upravené trase 10 ujede obchodní zástupce na trase metodou nejbližšího souseda 195,9 kilometru a délka pracovního dne bude 474 minut, z toho 164 minut strávených na cestě. Na upravené trase 12 metodou nejbližšího souseda ujede vzdálenost 118,5 kilometru za 120 minut. Celkový čas potřebný na projetí trasy a jednání se zákazníkem bude 450 minut. Po úpravě tras č. 10 a 12 dojde v součtu ke zlepšení metodou nejbližšího souseda o 31 minut a 27,6 kilometru a Vogelovou aproximační metodou o 21 minut a 8,8 kilometru než byl součet původních tras č. 9, 10 a 12.

Obchodní zástupce těmito změnami nepřekročí osmihodinovou pracovní dobu a navíc ušetří jeden den své práce. Trasa č. 9 je velmi krátká na celý den. Proto by si obchodní zástupci neměli plánovat trasy podobně jako trasu 9, kdy jsou všichni zákazníci v jedné trase do 20 kilometrů z výchozího místa. Zákazníci, kteří jsou takto blízko, by měli být přidáni k delším trasám, aby došlo k zvýšení efektivity práce.

Tab. 51: Upravená trasa 10

Optimalizace vzdálenosti	km	min	Optimalizace času	km	min
Metoda nejbližšího souseda	172,0	196	Metoda nejbližšího souseda	195,9	164
Vogelova aproximační metoda	173,3	198	Vogelova aproximační metoda	201,3	170

Tab. 52: Upravená trasa 12

Optimalizace vzdálenosti	km	min	Optimalizace času	km	min
Metoda nejbližšího souseda	117,7	142	Metoda nejbližšího souseda	118,5	120
Vogelova aproximační metoda	116,6	136	Vogelova aproximační metoda	120,5	120

5.17 Zhodnocení výsledků

Značení v této kapitole je následující: T – Najeto nejkratší vzdáleností, S – Najeto nejrychlejší trasou, MNS – Metoda nejbližšího souseda, VAM – Vogelova aproximační metoda a BaB – metoda větví a mezí.

Náklady před optimalizací vzdálenosti byly 130 633 Kč na mzdu a 23 586 Kč na pohonné hmoty. Náklady před optimalizací času činily 104 867 Kč na mzdu a 27 417 Kč na pohonné hmoty.

Při optimalizaci vzdálenosti bylo metodou větví a mezí spočteno pouze 12 tras. Spočítány nebyly trasy 1, 9 a 13. Celkové náklady se snížily u 5 tras metodou nejbližšího souseda a u 4 tras Vogelovou aproximační metodou a metodou větví a mezí. Náklady na celý měsíc se metodou nejbližšího souseda zvýšily o 8 483 Kč, Vogelovou aproximační metodou o 8 091 Kč a metodou větví a mezí o 4 518 Kč. Kritérium čas silně dominuje kritérium vzdálenost, viz Příloha 18. Při optimalizaci vzdálenosti uspoříme za měsíc metodou nejbližšího souseda i Vogelovou aproximační metodou shodně 21,3 % ujetých kilometrů, ale pojedeme delší dobu o 13,7 % metodou nejbližšího souseda a o 13,3 % Vogelovou aproximační metodou. Za 12 dnů metodou větví a mezí uspoříme 22,9 % kilometrů a pojedeme o 11,9 % déle. Denně v průměru ušetříme metodou nejbližšího souseda i Vogelovou aproximační metodou 56 kilometrů a metodou větví a mezí 61 kilometrů. Přes toto zlepšení bude déle na trase obchodní zástupce o 29 minut metodou nejbližšího souseda, o 28 minut Vogelovou aproximační metodou a o 24 minut metodou větví a mezí. Výsledky optimalizace vzdálenosti pro jednotlivé trasy jsou uvedeny v Tab. 53, Tab. 54 a Tab. 55.

Při optimalizaci času metodou větví a mezí je možné spočítat celkové náklady pouze pro 13 tras. Spočítány nebyly trasy č. 9 a 13. U optimalizace času se metodou nejbližšího souseda zdraží jedna trasa, Vogelovou aproximační metodou se jedna trasa zdraží a pro jednu trasu zůstanou náklady stejné a metodou větví a mezí ušetří celkové náklady na všech trasách. Metoda větví a mezí dominuje Vogelovu aproximační metodu a metodu nejbližšího souseda. Optimalizací času je možné zlepšit dobu trvání cesty metodou nejbližšího souseda o 8,4 %, Vogelovou aproximační metodou o 8,2 % a metodou větví a mezí o 9,2 %. Úspora se projeví i na počtu ujetých kilometrů. Za daný měsíc najedeme metodou nejbližšího souseda o 6,9 % méně, Vogelovou aproximační metodou o 6,6 % méně a metodou větví a mezí o 9,2 % méně. Výsledky optimalizace času pro jednotlivé trasy jsou uvedeny v Tab. 56, Tab. 57 a Tab. 58.

Průměrná denní úspora činí u optimalizace času metodou nejbližšího souseda 18 kilometrů a 18 minut, Vogelovou aproximační metodou 17 kilometrů a 17 minut a metodou větví a mezí 26 kilometrů a 21 minut. Celkové ušetřené náklady při optimalizaci času jsou 10 649 Kč metodou nejbližšího souseda, 10 411 Kč Vogelovou aproximační metodou a 11 292 Kč metodou větví a mezí. Přestože bylo možné počítat náklady pouze na 13 trasách, ušetřila metoda větví a mezí nejvíce finančních prostředků.

V Tab. 53 až Tab. 58 je žlutě označeno zlepšení a modře buňky, kde se hodnota nezmění.

Optimalizace vzdálenosti

Tab. 53: Souhrn výsledků - optimalizace vzdálenosti (km)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	∑
T	371,9	359,1	194,9	322,4	203,6	222,5	203,1	317,6	39,8	161,2	265	130,9	195,4	209,2	182,5	3379
S	432,6	391,9	240,6	406,8	251,3	253,5	259,3	357,8	39,8	188,1	289	140,2	230,7	237,8	208,5	3928
MNS	359,5	338,4	186,6	282,9	166,4	207,5	180,1	260,8	35,5	144,1	247	126,5	187,2	199,1	168,1	3090
VAM	345,5	342,4	194,9	285,3	167,4	205,5	181,5	260,8	35,5	145,5	247	124,2	190,8	199,1	165,5	3091
BaB		338,4	182,9	282,6	166,4	202,5	180,1	257,5		141,2	247	124		199,1	165,5	2487
Porovnání se skutečností (úspora +, zhoršení -)																
MNS	73,1	53,5	54	123,9	84,9	46	79,2	97	4,3	44	42	13,7	43,5	38,7	40,4	838,2
VAM	87,1	49,5	45,7	121,5	83,9	48	77,8	97	4,3	42,6	42	16	39,9	38,7	43	837,0
BaB		53,5	57,7	124,2	84,9	51	79,2	100,3		46,9	42	16,2		38,7	43	737,6
Procentuální vyjádření																
MNS	16,9	13,7	22,4	30,5	33,8	18,1	30,5	27,1	10,8	23,4	14,5	9,8	18,9	16,3	19,4	21,3
VAM	20,1	12,6	19,0	29,9	33,4	18,9	30,0	27,1	10,8	22,6	14,5	11,4	17,3	16,3	20,6	21,3
BaB		13,7	24,0	30,5	33,8	20,1	30,5	28,0		24,9	14,5	11,6		16,3	20,6	22,9
Finanční vyjádření pro vzdálenost (Kč)																
MNS	510	373	377	865	593	321	553	677	30	307	293	96	304	270	282	5851
VAM	608	346	319	848	586	335	543	677	30	297	293	112	279	270	300	5842
BaB		373	403	867	593	356	553	700		327	293	113		270	300	5148

Tab. 54: Souhrn výsledků - optimalizace vzdálenosti (min)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	∑
T	430	364	233	358	247	277	272	343	51	208	279	152	233	239	233	3919
S	312	283	194	305	184	195	204	289	49	175	246	129	194	209	178	3146
MNS	402	353	223	329	179	269	233	281	46	181	280	146	219	226	209	3576
VAM	383	342	239	332	187	261	234	281	46	178	280	143	224	227	207	3564
BaB		339	226	318	179	253	233	302		176	280	142		226	207	2881
Porovnání se skutečností (úspora +, zhoršení -)																
MNS	-90	-70	-29	-24	5	-74	-29	8	3	-6	-34	-17	-25	-17	-31	-430
VAM	-71	-59	-45	-27	-3	-66	-30	8	3	-3	-34	-14	-30	-18	-29	-418
BaB		-56	-32	-13	5	-58	-29	-13		-1	-34	-13		-17	-29	-290
Procentuální vyjádření																
MNS	-28,8	-24,7	-14,9	-7,9	2,7	-37,9	-14,2	2,8	6,1	-3,4	-13,8	-13,2	-12,9	-8,1	-17,4	-13,7
VAM	-22,8	-20,8	-23,2	-8,9	-1,6	-33,8	-14,7	2,8	6,1	-1,7	-13,8	-10,9	-15,5	-8,6	-16,3	-13,3
BaB		-19,8	-16,5	-4,3	2,7	-29,7	-14,2	-4,5		-0,6	-13,8	-10,1		-8,1	-16,3	-11,2
Finanční vyjádření pro čas																
MNS	-3000	-2333	-967	-800	167	-2467	-967	267	100	-200	-1133	-567	-833	-567	-1033	-14333
VAM	-2367	-1967	-1500	-900	-100	-2200	-1000	267	100	-100	-1133	-467	-1000	-600	-967	-13933
BaB		-1867	-1067	-433	167	-1933	-967	-433		-33	-1133	-433		-567	-967	-9667

Tab. 55: Finanční vyjádření celkem (náklady na vzdálenost + náklady na čas)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	∑
MNS	-2490	-1960	-590	65	759	-2146	-414	944	130	107	-840	-471	-530	-297	-751	-8483
VAM	-1759	-1621	-1181	-52	486	-1865	-457	944	130	197	-840	-355	-721	-330	-667	-8091
BaB		-1493	-664	434	759	-1577	-414	267		294	-840	-320		-297	-667	-4518

Optimalizace času

Tab. 56: Souhrn výsledků - optimalizace času (min)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	∑
S	312	283	194	305	184	195	204	289	49	175	246	129	194	209	178	3146
MNS	295	268	188	242	166	203	186	242	44	147	240	124	181	203	154	2883
VAM	298	269	195	242	170	195	181	243	43	145	246	123	181	203	154	2888
BaB	295	268	186	242	166	195	181	240		145	240	120		203	154	2635
Porovnání se skutečností (úspora +, zhoršení -)																
MNS	17	15	6	63	18	-8	18	47	5	28	6	5	13	6	24	263
VAM	14	14	-1	63	14	0	23	46	6	30	0	6	13	6	24	258
BaB	17	15	8	63	18	0	23	49		30	6	9		6	24	268
Procentuální vyjádření																
MNS	5,4	5,3	3,1	20,7	9,8	-4,1	8,8	16,3	10,2	16,0	2,4	3,9	6,7	2,9	13,5	8,4
VAM	4,5	4,9	-0,5	20,7	7,6	0,0	11,3	15,9	12,2	17,1	0,0	4,7	6,7	2,9	13,5	8,2
BaB	5,4	5,3	4,1	20,7	9,8	0,0	11,3	17,0		17,1	2,4	7,0		2,9	13,5	9,2
Finanční vyjádření pro čas																
MNS	567	500	200	2100	600	-267	600	1567	167	933	200	167	433	200	800	8767
VAM	467	467	-33	2100	467	0	767	1533	200	1000	0	200	433	200	800	8600
BaB	567	500	267	2100	600	0	767	1633		1000	200	300		200	800	8933

Tab. 57: Souhrn výsledků - optimalizace času (km)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	∑
S	432,6	391,9	240,6	406,8	251,3	253,5	259,3	357,8	39,8	188,1	289	140,2	230,7	237,8	208,5	3928
MNS	405	384	225,3	333,1	195,5	263,5	263,7	303,6	35,7	172,8	282	133,5	219,9	253,1	187,5	3658
VAM	393	388,1	245	333,6	234,5	252,5	237,6	305	35,6	164,9	289	130,1	219,9	253,1	186,5	3668
BaB	405,0	374	219,6	333,1	190,5	251,5	237,6	296		164,9	282	126,2		252,6	186,5	3320
Porovnání se skutečností (úspora +, zhoršení -)																
MNS	27,6	7,9	15,3	73,7	55,8	-10	-4,4	54,2	4,1	15,3	7	6,7	10,8	-15,3	21	269,7
VAM	39,6	3,8	-4,4	73,2	16,8	1	21,7	52,8	4,2	23,2	0	10,1	10,8	-15,3	22	259,5
BaB	27,6	17,9	21	73,7	60,8	2	21,7	61,8		23,2	7	14		-14,8	22	337,9
Procentuální vyjádření																
MNS	6,4	2,0	6,4	18,1	22,2	-3,9	-1,7	15,1	10,3	8,1	2,4	4,8	4,7	-6,4	10,1	6,9
VAM	9,2	1,0	-1,8	18,0	6,7	0,4	8,4	14,8	10,6	12,3	0,0	7,2	4,7	-6,4	10,6	6,6
BaB	6,4	4,6	8,7	18,1	24,2	0,8	8,4	17,3		12,3	2,4	10,0		-6,2	10,6	9,2
Finanční vyjádření pro vzdálenost																
MNS	193	55	107	514	389	-70	-31	378	29	107	49	47	75	-107	147	1883
VAM	276	27	-31	511	117	7	151	369	29	162	0	70	75	-107	154	1811
BaB	193	125	147	514	424	14	151	431		162	49	98		-103	154	2359

Tab. 58: Finanční vyjádření celkem (náklady na vzdálenost + náklady na čas)

MNS	759	555	307	2614	989	-336	569	1945	195	1040	249	213	509	93	947	10649
VAM	743	493	-64	2611	584	7	918	1902	229	1162	0	270	509	93	954	10411
BaB	759	625	413	2614	1024	14	918	2065		1162	249	398		97	954	11292

6 Závěr

Cílem diplomové práce byla optimalizace dopravních tras obchodních zástupců společnosti Ammeraal Beltech a zjištění efektivnosti těchto tras za období patnácti dní, během kterých byli navštěvováni zákazníci. Při optimalizaci tras bylo bráno v úvahu kritérium vzdálenost a kritérium čas. Z výsledků je patrné, že ve finančním vyjádření u každé trasy a u všech použitých metod, tedy metody nejbližšího souseda, Vogelovy aproximační metody a metody větví a mezí, kritérium čas silně dominuje kritérium vzdálenost.

Kritérium vzdálenost zkrátilo průměrně trasy všemi metodami, metodou nejbližšího souseda a Vogelovou aproximační metodou o 21,3 % a metodou větví a mezí o 22,9 %, ale čas strávený na trase se prodloužil metodou nejbližšího souseda o 13,7 %, Vogelovou aproximační metodou o 13,3 % a metodou větví a mezí o 11,2 %. Pro čtyři obchodní zástupce při 180 pracovních dnech za rok a celkem ujeté vzdálenosti 200 000 kilometrů se optimalizace vzdálenosti nevyplatí, protože metodou větví a mezí mající nejlepší výsledek společnost Ammeraal Beltech ušetří na pohonných hmotách 319 684 Kč, ale na mzdy obchodních zástupců dá o 580 320 Kč více. Metodami nejbližšího souseda i Vogelovou aproximační by se ztráta prohlubovala.

Kritérium čas průměrně zkrátilo a zrychlilo trasy během patnácti sledovaných dní všemi metodami. Nejlepší metodou byla opět exaktní metoda větví a mezí, přičemž průměrné zrychlení a zkrácení trasy činí shodně 9,2 %, což představuje každý den zlepšení o 26 kilometrů a 21 minut. Aplikováním této metody v praxi společnost Ammeraal Beltech ušetří za rok na pohonných hmotách 128 432 Kč a na mzdách obchodních zástupců 494 640 Kč. Metoda větví a mezí dominuje Vogelovu aproximační metodu a metodu nejbližšího souseda. Druhé nejlepší zlepšení představovala metoda nejbližšího souseda, jejímž použitím ušetříme průměrně za den 8,4 % doby strávené na cestě, tj. 18 minut a vzdálenost 6,9 %, tj. 18 kilometrů. Tím ušetříme ročně 96 324 Kč na pohonných hmotách a 420 480 Kč na mzdách obchodních zástupců. Vogelovou aproximační metodou se délka průměrně denně zkrátí o 6,6 %, tj. 17 kilometrů a čas strávený na cestě bude kratší o 8,2 %, tj. 17 minut každý den.

Společnosti Ammeraal Beltech by se vyplatilo koupit nebo si nechat naprogramovat systém pro podporu rozhodování (DSS) pro plánování jednotlivých tras obchodních zástupců. Subsystém dat by použil potřebná data (zákazníky a jejich adresy) ze současného informačního systému společnosti a dál by komunikoval s prostorovým subsystémem DSS (GIS, mapy) a pro zákazníky a jejich adresy by udělal tabulku s maticí sazeb. Matici sazeb by použil subsystém modelů, kde by byly metody pro řešení okružního problému, které by systém použil pro výpočet optimální trasy. Výstup s optimální trasou by byl k dispozici obchodním zástupcům v přívětivém uživatelském rozhraní.

V případě, kdyby společnost Ammeraal Beltech neměla zájem o pořízení systému pro podporu rozhodování pro plánování tras obchodních zástupců, by bylo vhodným řešením pro obchodní zástupce používat pro plánování dopravních tras metodu nejbližšího souseda, která má dostačující zlepšení a je možné ji používat bez jakéhokoliv softwaru.

Obchodní zástupci by si neměli plánovat trasy tak, aby všichni zákazníci v jedné trase byli do 20 kilometrů z výchozího místa. Zákazníci, kteří jsou takto blízko, by měli být přidáni k delším trasám, aby došlo k zvýšení efektivity práce.

7 Bibliografie

1. **Algoritmy.net.** *Asymptotická složitost.* [Online] 2008 - 2012. [Citace: 6. 2. 2012.] http://www.algoritmy.net/article/102/Asymptoticka-slozitost.

2. **Ammeraal_Beltech_Holding_BV.** Ammeraal Beltech. *Innovation and service in belting.* [Online] 2011. [Citace: 5. 7. 2011.] http://www.ammeraalbeltech.cz/.

3. **Brožová, H. Houška, M.** *Základní metody operační analýzy.* Praha : ČZU, 2002.

4. **Clay_Mathematics_Institute.** Clay Mathematics Institute. *Mission & Governance.* [Online] 2012. [Citace: 19. 1. 2012.] http://www.claymath.org/about/mission.php.

5. **Computerworld.cz.** Kryptografie v roce 2011: Bude vyřešen problém P vs. NP? [Online] 10. 1 2011. [Citace: 23. 1 2012.] http://computerworld.cz/technologie/kryptografie-v-roce-2011-bude-vyresen-problem-p-vs-np-8237.

6. **Časopis_Vesmír.** Clayův matematický ústav a matematické problémy příštího století. *Vesmir.cz.* [Online] 2012. [Citace: 19. 1. 2012.] http://www.vesmir.cz/clanek/clayuv-matematicky-ustav-a-matematicke-problemy-pristiho-stoleti.

7. **Holoubek, J.** *Ekonomicko - matematické metody.* Brno : Mendelova lesnická a zemědělská univerzita, 2009.

8. **Horák, J.** Prostorová analýza dat. *Lokalizační a alokační úlohy.* [Online] Vysoká škola báňská. [Citace: 12. 7. 2011.] http://gis.vsb.cz/pad/Kap_5/kap__5_5.htm.

9. **Kosková, I.** Distribuční úlohy I. Praha : ČZU, 2006.

10. **Kučera, L.** *Kombinatorické algoritmy.* Praha : SNTL, 1989.

11. **Kučera, P., Domeová, L.** Evida.cz. *Systémový přístup dnes.* [Online] 2002. [Citace: 18. 1. 2012.] www.evida.cz/syste/02/anotace.rtf.

12. **Lagová, M.** *Metody operačního výzkumu I.* Ústí nad Labem : FSE, Univerzita Jana Evangelisty Purkyně, 1999.

13. **Lažanský, J.** Evoluční výpočetní techniky. [autor knihy] V. Mařík. *Umělá inteligence.* díl 3. Praha : Academia, 2001.

14. **Michálek, T.** e-Matematika.eu - Problémy tisíciletí. [Online] 2011. [Citace: 17. 1. 2012.] http://www.e-matematika.eu/index.php?clanek=17&kategorie=5.

15. **Novotný, J.** *Základy operačního výzkumu.* Brno : VUT, 2006.

16. **Pelikán, J.** *Diskrétní modely v operačním výzkumu.* Praha : Professional Publishing, 2001.

17. **Plíva, M.** *Výroční zpráva společnosti Ammeraal Beltech s.r.o. za rok 2010.* Jihlava : Ammeraal Beltech s.r.o., 2011.

18. **Rašovský, M., Šišláková, H.** *Ekonomicko-matematické metody.* Brno : MZLU Brno, 1999.

19. **Šeda, M.** *Teorie grafů.* Brno : VUT FSI v Brně, 2003.

20. **Šubrt, T., a další.** *Ekonomicko matematické metody II Aplikace a cvičení.* Praha : ČZU, 2005.

21. **Vaníček, J.** Teorie ICT - Třídy výpočetní složitosti. *Přednáška.* Praha : ČZU, 2. 12 2010.

22. **Vaníček, J., Papík, M., Pergl, R. a Vaníček, T.** *Teoretické základy informatiky.* Praha : Kernberg Publishing, 2007. ISBN 978-80-903962-4-1.

23. **Večerka, A.** *Grafy a grafové algoritmy.* Olomouc : PF, Univerzita Palackého, 2007.

24. **Získal, J., Havlíček, J.** Ekonomicko matematické metody I. *Studijní texty pro distanční studium.* Praha : ČZU, 2009.

Seznam tabulek

Seznam obrázků

8 Přílohy

Seznam příloh:

Příloha 1: Trasa 1

Optimalizace vzdálenosti – časové trvání (min)

	Firma	Jince	Medina	Camas	Marlton	Adrian	Pearl	Ogden	Trumann	Alamo
	Jince	x	159	153	152	152	164	190	192	185
A3	Medina	159	x	22	21	22	6	32	33	27
B2	Camas	153	22	x	2	1	26	35	37	30
B1	Marlton	152	21	2	x	1	25	33	35	28
C3	Adrian	152	22	1	1	x	25	34	36	30
B3	Pearl	164	6	26	25	25	x	27	29	22
B3	Ogden	190	32	35	33	34	27	x	3	3
B3	Trumann	192	33	37	35	36	29	3	x	6
C3	Alamo	185	27	30	28	30	22	3	6	x

Optimalizace času – vzdálenosti (km)

	Firma	Jince	Medina	Camas	Marlton	Adrian	Pearl	Ogden	Trumann	Alamo
	Jince	x	163	161	160	160	169	190	190	188
A3	Medina	163	x	25	20	20	6,5	28	30	26
B2	Camas	161	25	x	1	1	26	34	36	32
B1	Marlton	160	20	1	x	1	25	33	35	31
C3	Adrian	160	20	1	1	x	25	33	35	31
B3	Pearl	169	6,5	26	25	25	x	23	25	21
B3	Ogden	190	28	34	33	33	23	x	1,8	2,2
B3	Trumann	190	30	36	35	35	25	1,8	x	4,8
C3	Alamo	188	26	32	31	31	21	2,2	4,8	x

Příloha 2: Trasa 2

Optimalizace vzdálenosti – časové trvání (min)

	Firma	Jince	Meriden	Acton	Agoura Hills	Malden	Orosi	Ocala	Tustin	Kirby
	Jince	x	138	151	135	133	124	131	129	118
A3	Meriden	138	x	19	9	19	24	27	19	31
C3	Acton	151	19	x	23	9	30	33	33	34
C3	Agoura Hills	135	9	23	x	17	23	26	18	30
C3	Malden	133	19	9	17	x	21	24	24	26
B2	Orosi	124	24	30	23	21	x	4	3	16
T	Ocala	131	27	33	26	24	4	x	3	24
T	Tustin	129	19	33	18	24	3	3	x	21
B3	Kirby	118	31	34	30	26	16	24	21	x

Optimalizace času – vzdálenosti (km)

	Firma	Jince	Meriden	Acton	Agoura Hills	Malden	Orosi	Ocala	Tustin	Kirby
	Jince	x	172	171	170	165	153	152	150	136
A3	Meriden	172	x	12	6,1	15	28	28	26	43
C3	Acton	171	12	x	15	7	27	27	25	42
C3	Agoura Hills	170	6,1	15	x	12	25	24	23	40
C3	Malden	165	15	7	12	x	19	20	19	36
B2	Orosi	153	28	27	25	19	x	2	3,1	22
T	Ocala	152	28	27	24	20	2	x	1,9	23
T	Tustin	150	26	25	23	19	3,1	1,9	x	22
B3	Kirby	136	43	42	40	36	22	23	22	x

Příloha 3: Trasa 3

Optimalizace vzdálenosti – časové trvání (min)

	Firma	Jince	Matawan	Baker	Rio Linda	Cairo	Katy	Mauldin	Rendon
	Jince	x	64	66	67	85	78	93	93
A3	Matawan	64	x	2	14	28	22	46	46
B2	Baker	66	2	x	10	26	19	35	36
C3	Rio Linda	67	14	10	x	15	11	29	29
A1	Cairo	85	28	26	15	x	11	30	30
B2	Katy	78	22	19	11	11	x	36	36
C3	Mauldin	93	46	35	29	30	41,1	x	2
A2	Rendon	93	46	36	29	30	36,8	2	x

Optimalizace času – vzdálenosti (km)

	Firma	Jince	Matawan	Baker	Rio Linda	Cairo	Katy	Mauldin	Rendon
	Jince	x	64	65	71	83	70	108	104
A3	Matawan	64		1,5	11	23	17	49	44
B2	Baker	65	1,5	x	8,6	21	15	46	42
C3	Rio Linda	71	11	8,6	x	14	7,7	40	35
A1	Cairo	83	23	21	14	x	7,4	32	27
B2	Katy	70	17	15	7,7	7,4	x	40	36
C3	Mauldin	108	49	46	40	32	40	x	1,1
A2	Rendon	104	44	42	35	27	36	1,1	x

Příloha 4: Trasa 4

Optimalizace vzdálenosti – časové trvání (min)

	Firma	Jince	Uvalde	Rayne	Barre	Terrel	Camano	Farrell	Palatka
	Jince	x	94	100	94	101	92	140	133
K	Uvalde	94	x	16	1	12	8	54	43
A2	Rayne	100	16	x	17	4	8	66	56
C2	Barre	94	1	17	x	12	8	54	43
C2	Terrel	101	12	4	12	x	8	69	59
C3	Camano	92	8	8	8	8	x	60	49
B3	Farrell	140	54	66	54	69	60	x	18
B3	Palatka	133	43	56	43	59	49	18	x

Optimalizace času – vzdálenosti (km)

	Firma	Jince	Uvalde	Rayne	Barre	Terrel	Camano	Farrell	Palatka
	Jince	x	89	93	89	92	86	152	140
K	Uvalde	89		13	0,1	9,5	7,9	66	54
A2	Rayne	93	13	x	56	3,7	6,8	68	56
C2	Barre	89	0,1	56	x	9,6	7,9	66	54
C2	Terrel	92	9,5	3,7	9,6	x	6,2	74	61
C3	Camano	86	7,9	6,8	7,9	6,2	x	72	60
B3	Farrell	152	66	68	66	74	72	x	21
B3	Palatka	140	54	56	54	61	60	21	x

Příloha 5: Trasa 5

Optimalizace vzdálenosti – časové trvání (min)

	Firma	Jince	Palmer	Kissimmee	Mantua	Marcy	Dalton	Kearny	Tomah	Fargo
	Jince	x	14	32	76	76	67	59	64	64
C3	Palmer	14	x	32	72	72	59	52	56	56
A2	Kissimmee	32	32	x	53	53	51	24	29	28
K	Mantua	76	72	53	x	1	8	37	24	29
K	Marcy	76	72	53	1	x	8	36	23	29
A3	Dalton	67	59	51	8	8	x	45	32	37
C3	Kearny	59	52	24	37	36	45	x	19	7
A2	Tomah	64	56	29	24	23	32	19	x	11
B2	Fargo	64	56	28	29	29	37	7	11	x

Optimalizace času – vzdálenosti (km)

	Firma	Jince	Palmer	Kissimmee	Mantua	Marcy	Dalton	Kearny	Tomah	Fargo
	Jince	x	13	31	94	94	75	62	70	68
C3	Palmer	13	x	31	84	83	62	57	60	58
A2	Kissimmee	31	31	x	55	55	62	29	31	29
K	Mantua	94	84	55	x	0,3	9,3	42	31	36
K	Marcy	94	83	55	0,3	x	9	41	30	36
A3	Dalton	75	62	62	9,3	9	x	48	37	42
C3	Kearny	62	57	29	42	41	48	x	16	4,9
A2	Tomah	70	60	31	31	30	37	16	x	11
B2	Fargo	68	58	29	36	36	42	4,9	11	x

Příloha 6: Trasa 6

Optimalizace vzdálenosti – časové trvání (min)

	Firma	Jince	Saco	Canton	Lantana	Akron	Ulster	Kenai	Olean
	Jince	x	41	47	51	66	62	68	88
K	Saco	41	x	17	22	37	15	41	57
B2	Canton	47	17	x	3	29	19	38	46
B3	Lantana	51	22	3	x	30	20	39	46
C3	Akron	66	37	29	30	x	45	52	62
K	Ulster	62	15	19	20	45	x	28	38
B3	Kenai	68	41	38	39	52	28	x	25
C3	Olean	88	57	46	46	62	38	25	x

Optimalizace času – vzdálenosti (km)

	Firma	Jince	Saco	Canton	Lantana	Akron	Ulster	Kenai	Olean
	Jince	x	35	53	54	76	50	69	85
K	Saco	35	x	22	23	45	18	38	53
B2	Canton	53	22	x	1,5	35	16	35	51
B3	Lantana	54	23	1,5	x	35	16	35	51
C3	Akron	76	45	35	35	x	37	56	71
K	Ulster	50	18	16	16	37	x	20	35
B3	Kenai	69	38	35	35	56	20	x	18
C3	Olean	85	53	51	51	71	35	18	x

Příloha 7: Trasa 7

Optimalizace vzdálenosti – časové trvání (min)

	Firma	Jince	Matawan	Selah	Mebane	Perinton	Mantua	Tomah	Norco
	Jince	x	64	64	67	77	76	64	76
A3	Matawan	64	x	1	9	22	37	19	14
B3	Selah	64	1	x	10	23	37	19	15
A2	Mebane	67	9	10	x	36	44	26	7
B3	Perinton	77	22	23	36	x	33	19	33
K	Mantua	76	37	37	44	33	x	24	32
A2	Tomah	64	19	19	26	19	24	x	28
C3	Norco	76	14	15	7	33	32	28	x

Optimalizace času – vzdálenosti (km)

	Firma	Jince	Matawan	Selah	Mebane	Perinton	Mantua	Tomah	Norco
	Jince	x	64	64	68	85	94	70	71
A3	Matawan	64	x	0,4	7,8	26	35	16	11
B3	Selah	64	0,4	x	7,9	26	36	16	11
A2	Mebane	68	7,8	7,9	x	27	37	25	4,4
B3	Perinton	85	26	26	27	x	30	21	30
K	Mantua	94	35	36	37	30	x	31	40
A2	Tomah	70	16	16	25	21	31	x	28
C3	Norco	71	11	11	4,4	30	40	28	x

Příloha 8: Trasa 8

Optimalizace vzdálenosti – časové trvání (min)

	Firma	Jince	Pea Ridge	Totowa	Dallas	Mesa	Taylor Mill	Babylon	Mauldin	Palo Alto
	Jince	x	109	117	116	124	117	110	93	113
T	Pea Ridge	109	x	9	30	21	10	4	23	31
C3	Totowa	117	9	x	32	24	3	9	32	27
A3	Dallas	116	30	32	x	9	32	32	23	18
A2	Mesa	124	21	24	9	x	24	23	21	10
C3	Taylor Mill	117	10	3	32	24	x	10	33	27
K	Babylon	110	4	9	32	23	10	x	25	33
C3	Mauldin	93	23	32	23	21	33	25	x	12
C3	Palo Alto	113	31	27	18	10	27	33	12	x

Optimalizace času – vzdálenosti (km)

	Firma	Jince	Pea Ridge	Totowa	Dallas	Mesa	Taylor Mill	Babylon	Mauldin	Palo Alto
	Jince	x	130	134	109	115	130	131	108	106
T	Pea Ridge	130	x	6,7	30	23	7,5	2,2	27	31
C3	Totowa	134	6,7	x	36	29	2,4	7,1	39	36
A3	Dallas	109	30	36	x	7,7	32	32	23	15
A2	Mesa	115	23	29	7,7	x	25	25	18	8,6
C3	Taylor Mill	130	7,5	2,4	32	25	x	7,8	34	31
K	Babylon	131	2,2	7,1	32	25	7,8	x	29	32
C3	Mauldin	108	27	39	23	18	34	29	x	9,6
C3	Palo Alto	106	31	36	15	8,6	31	32	9,6	x

Příloha 9: Trasa 9

Optimalizace vzdálenosti – časové trvání (min)

	Firma	Jince	Tavares	Tarrant	Orem	Seven Corners	Vidor	Kapaa	Slaton
	Jince	x	14	12	12	13	17	17	18
C2	Tavares	14	x	2	3	3	6	6	6
C3	Tarrant	12	2	x	2	1	7	6	6
C3	Orem	12	3	2	x	3	6	5	5
C3	Seven Corners	13	3	1	3	x	8	7	7
A1	Vidor	17	6	7	6	8	x	2	2
K	Kapaa	17	6	6	5	7	2	x	3
C2	Slaton	17	6	6	5	7	2	3	x

Optimalizace času – vzdálenosti (km)

	Firma	Jince	Tavares	Tarrant	Orem	Seven Corners	Vidor	Kapaa	Slaton
	Jince	x	11	9,9	9,6	11	14	14	14
C2	Tavares	11	x	1,6	2,1	2,5	4,4	4,9	4,3
C3	Tarrant	9,9	1,6	x	1,1	0,9	5,4	5,8	5,3
C3	Orem	9,6	2,1	1,1	x	2	4,6	5,1	4,5
C3	Seven Corners	11	2,5	0,9	2	x	6,3	6,8	6,2
A1	Vidor	14	4,4	5,4	4,6	6,3	x	2	1,3
K	Kapaa	14	4,9	5,8	5,1	6,8	2	x	1,8
C2	Slaton	14	4,3	5,3	4,5	6,2	1,3	1,8	x

Příloha 10: Trasa 10

Optimalizace vzdálenosti – časové trvání (min)

	Firma	Jince	Ramona	Rio Linda	Campbell	Makaha	Mebane	Keizer	Cape Coral
	Jince	x	73	67	73	85	67	72	63
C3	Ramona	73	x	9	0	12	13	4	13
C3	Rio Linda	67	9	x	10	15	7	7	7
B3	Campbell	73	0	10	x	12	13	4	13
B3	Makaha	85	12	15	12	x	22	15	19
A2	Mebane	67	13	7	13	22	x	9	3
C3	Keizer	72	4	7	4	15	9	x	10
B2	Cape Coral	63	13	7	13	19	3	10	x

Optimalizace času – vzdálenosti (km)

	Firma	Jince	Ramona	Rio Linda	Campbell	Makaha	Mebane	Keizer	Cape Coral
	Jince	x	66	71	66	82	68	65	66
C3	Ramona	66	x	6,1	0	11	11	2,7	9,3
C3	Rio Linda	71	6,1	x	7,1	14	4,6	4,9	5,2
B3	Campbell	66	0	7,1	x	11	11	2,7	9,3
B3	Makaha	82	11	14	11	x	19	11	17
A2	Mebane	68	11	4,6	11	19	x	6,2	1,6
C3	Keizer	65	2,7	4,9	2,7	11	6,2	x	6,7
B2	Cape Coral	66	9,3	5,2	9,3	17	1,6	6,7	x

Příloha 11: Trasa 11

Optimalizace vzdálenosti – časové trvání (min)

	Firma	Jince	Pecan Grove	Magna	Ada	Ralston	Galion	Elgin	Olean
	Jince	x	44	59	65	96	61	75	88
B3	Pecan Grove	44	x	22	25	60	67	83	86
A3	Magna	59	22	x	13	41	60	76	66
B3	Ada	65	25	13	x	34	51	66	56
A3	Ralston	96	60	41	34	x	39	58	67
C3	Galion	61	67	60	51	39	x	19	33
C3	Elgin	75	83	76	66	58	19	x	20
T	Olean	88	86	66	56	67	33	20	x

Optimalizace času – vzdálenosti (km)

	Firma	Jince	Pecan Grove	Magna	Ada	Ralston	Galion	Elgin	Olean
	Jince	x	45	62	69	121	61	66	85
B3	Pecan Grove	45	x	19	25	59	75	82	91
A3	Magna	62	19	x	14	37	63	70	80
B3	Ada	69	25	14	x	35	52	59	69
A3	Ralston	121	59	37	35	x	63	70	80
C3	Galion	61	75	63	52	63	x	12	26
C3	Elgin	66	82	70	59	70	12	x	16
T	Olean	85	91	80	69	80	26	16	x

Příloha 12: Trasa 12

Optimalizace vzdálenosti – časové trvání (min)

	Firma	Jince	Kent	Kapaa	Quincy	Madison	Adams	Saco	Cabot	Danbury	Theodore
	Jince	x	5	17	25	39	36	41	34	30	20
A3	Kent	5	x	14	20	34	31	35	28	25	25
K	Kapaa	17	14	x	25	38	36	40	33	24	42
C3	Quincy	25	20	25	x	13	11	15	8	7	45
B3	Madison	39	34	38	13	x	4	2	9	7	55
C3	Adams	36	31	36	11	4	x	5	6	6	54
K	Saco	41	35	40	15	2	5	x	11	9	57
A2	Cabot	34	28	33	8	9	6	11	x	6	54
C3	Danbury	30	25	24	7	7	6	9	6	x	49
C3	Theodore	20	25	42	45	55	54	57	54	49	x

Optimalizace času – vzdálenosti (km)

	Firma	Jince	Kent	Kapaa	Quincy	Madison	Adams	Saco	Cabot	Danbury	Theodore
	Jince	x	4,9	14	23	34	32	35	29	27	16
A3	Kent	4,9	x	13	18	29	27	31	24	22	21
K	Kapaa	14	13	x	26	38	35	39	32	30	38
C3	Quincy	23	18	26	x	14	12	16	6,2	6,8	39
B3	Madison	34	29	38	14	x	3,3	1,1	8,6	10	74
C3	Adams	32	27	35	12	3,3	x	4,4	5,5	7,4	48
K	Saco	35	31	39	16	1,1	4,4	x	9,7	11	75
A2	Cabot	29	24	32	6,2	8,6	5,5	9,7	x	4,9	46
C3	Danbury	27	22	30	6,8	10	7,4	11	4,9	x	44
C3	Theodore	16	21	38	39	74	48	75	46	44	x

Příloha 13: Trasa 13

Optimalizace vzdálenosti – časové trvání (min)

	Firma	Jince	Dana Point	Kelso	Napa	Lamar	Urdana	Utica	Valrico
	Jince	x	58	57	63	56	87	87	101
K	Dana Point	58	x	3	7	4	31	31	45
A2	Kelso	57	3	x	7	5	32	32	46
C2	Napa	63	7	7	x	11	29	29	43
B2	Lamar	56	4	5	11	x	34	34	48
K	Urdana	87	31	32	29	34	x	1	18
K	Utica	87	31	32	29	34	1	x	18
C3	Valrico	101	45	46	43	48	18	18	x

Optimalizace času – vzdálenosti (km)

	Firma	Jince	Dana Point	Kelso	Napa	Lamar	Urdana	Utica	Valrico
	Jince	x	65	65	70	62	77	77	107
K	Dana Point	65	x	1,9	4,4	2,9	24	24	44
A2	Kelso	65	1,9	x	4	3,1	25	25	48
C2	Napa	70	4,4	4	x	6,7	22	22	46
B2	Lamar	62	2,9	3,1	6,7	x	26	26	59
K	Urdana	77	24	25	22	26	x	0,1	20
K	Utica	77	24	25	22	26	0,1	x	20
C3	Valrico	107	44	48	46	59	20	20	x

Příloha 14: Trasa 14

Optimalizace vzdálenosti – časové trvání (min)

	Firma	Jince	Magna	Ada	Dalton	Tulare	Marcy	Mantua	Kearny	Cairo
	Jince	x	59	65	67	68	76	76	59	85
A3	Magna	59	x	13	17	17	23	23	59	67
B3	Ada	65	13	x	7	8	14	14	50	58
A3	Dalton	67	17	7	x	1	8	8	45	53
B3	Tulare	68	17	8	1	x	9	9	45	53
K	Marcy	76	23	14	8	9	x	1	36	50
K	Mantua	76	23	14	8	9	1	x	37	51
C3	Kearny	59	59	50	45	45	36	37	x	27
A1	Cairo	85	67	58	53	53	50	51	27	x

Optimalizace času – vzdálenosti (km)

	Firma	Jince	Magna	Ada	Dalton	Tulare	Marcy	Mantua	Kearny	Cairo
	Jince	x	62	69	75	74	94	94	62	83
A3	Magna	62	x	14	20	19	28	28	67	78
B3	Ada	69	14	x	9	8,5	17	18	56	67
A3	Dalton	75	20	9	x	0,9	8,9	9,2	48	59
B3	Tulare	74	19	8,5	0,9	x	9,6	9,9	49	59
K	Marcy	94	28	17	8,9	9,6	x	0,3	30	41
K	Mantua	94	28	18	9,2	9,9	0,3	x	31	41
C3	Kearny	62	67	56	48	49	30	31	x	28
A1	Cairo	83	78	67	59	59	41	41	28	

Příloha 15: Trasa 15

Optimalizace vzdálenosti – časové trvání (min)

	Firma	Jince	Seven Corners	Kent	Kokomo	Madison	Gantt	Galion	Olean
	Jince	x	13	5	5	39	39	61	88
C3	Seven Corners	13	x	12	18	28	28	68	72
A3	Kent	5	12	x	10	34	34	62	89
C2	Kokomo	5	18	10	x	44	44	66	93
B3	Madison	39	28	34	44	x	0	33	56
B3	Gantt	39	28	34	44	0	x	33	56
C3	Galion	61	68	62	66	33	33	x	33
C3	Olean	88	72	89	93	56	56	33	x

Optimalizace času – vzdálenosti (km)

	Firma	Jince	Seven Corners	Kent	Kokomo	Madison	Gantt	Galion	Olean
	Jince	x	11	4,9	3,6	34	34	61	85
C3	Seven Corners	11	x	11	14	30	30	57	81
A3	Kent	4,9	11	x	8,5	29	29	56	80
C2	Kokomo	3,6	14	8,5	x	38	38	67	90
B3	Madison	34	30	29	38	x	0	29	52
B3	Gantt	34	30	29	38	0	x	29	52
C3	Galion	61	57	56	67	29	29	x	26
C3	Olean	85	81	80	90	52	52	26	x

Příloha 16: Upravená trasa 10 o část trasy 9

Jince (1), Ramona (2), Rio Linda (3), Campbell (4), Makaha (5), Mabane (6), Keizer (7), Cape Coral (8), Tavares (9), Tarrant (10), Orem (11), Seven Corners (12), Kapaa (13)

Optimalizace vzdálenosti

Vzdálenost (km)

	Firma	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	1	x	59	59	59	67	55	58	55	11	9,9	9,6	11	22
C3	2	59	x	6,1	0	8,3	8,4	2,7	8,4	59	60	59	61	67
C3	3	59	6,1	x	6,7	11	4,6	4,9	4,9	60	61	60	62	68
B3	4	59	0	6,7	x	8,3	8,4	2,7	8,4	59	60	59	61	67
B3	5	67	8,3	11	8,3	x	14	10	14	67	68	67	69	76
A2	6	55	8,4	4,6	8,4	14	x	6	1,6	59	60	59	61	67
C3	7	58	2,7	4,9	2,7	10	6	x	6,1	58	59	58	60	66
B2	8	55	8,4	4,9	8,4	14	1,6	6,1	x	58	59	58	60	66
C2	9	11	59	60	59	67	59	58	58	x	1,6	2,1	2,5	4,8
C3	10	9,9	60	61	60	68	60	59	59	1,6	x	1,1	0,9	5,8
C3	11	9,6	59	60	59	67	59	58	58	2,1	1,1	x	2	5,1
C3	12	11	61	62	61	69	61	60	60	2,5	0,9	2	x	6,8
K	13	22	67	68	67	76	67	66	66	4,8	5,8	5,1	6,8	x

Časové trvání (min)

	Firma	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	1	x	73	67	73	85	67	72	63	13	12	12	13	22
C3	2	73	x	9	0	12	13	4	13	56	56	55	57	64
C3	3	67	9	x	10	15	7	7	7	58	58	57	59	66
B3	4	73	0	10	x	12	13	4	13	56	56	55	57	64
B3	5	85	12	15	12	x	22	15	19	68	68	67	69	76
A2	6	67	13	7	13	22	x	9	3	56	73	55	74	77
C3	7	72	4	7	4	15	9	x	10	54	55	54	56	63
B2	8	63	13	7	13	19	3	10	x	56	69	55	70	64
C2	9	13	56	58	56	68	56	54	56	x	2	3	3	6
C3	10	12	56	58	56	68	73	55	69	2	x	2	1	6
C3	11	12	55	57	55	67	55	54	55	3	2	x	3	5
C3	12	13	57	59	57	69	74	56	70	3	1	3	x	7
K	13	22	64	66	64	76	77	63	64	6	6	5	7	x

Metoda nejbližšího souseda - sekvenčně

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 4

Z_min = 172 km

(Jince) - (Orem) - (Tarrant) - (Seven Corners) - (Tavares) - (Kapaa) - (Makaha) - (Campbell) - (Ramona) - (Keizer) - (Rio Linda) - (Mabane) - (Cape Coral) - (Jince) **196 min**

(Jince) - (Cape Coral) - (Mabane) - (Rio Linda) - (Keizer) - (Campbell) - (Ramona) - (Makaha) - (Kapaa) - (Tavares) - (Tarrant) - (Seven Corners) - (Orem) - (Jince) **196 min**

(Jince) - (Orem) - (Tarrant) - (Seven Corners) - (Tavares) - (Kapaa) - (Makaha) - (Ramona) - (Campbell) - (Keizer) - (Rio Linda) - (Mabane) - (Cape Coral) - (Jince) **196 min**

(Jince) - (Cape Coral) - (Mabane) - (Rio Linda) - (Keizer) - (Ramona) - (Campbell) - (Makaha) - (Kapaa) - (Tavares) - (Tarrant) - (Seven Corners) - (Orem) - (Jince) **196 min**

Počet nalezených shodných okruhů byl 1 u všech tras.

Vogelova aproximační metoda pro ODP

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 1

Z_min = 173,3 km

(Jince) - (Rio Linda) - (Mabane) - (Cape Coral) - (Keizer) - (Campbell) - (Ramona) - (Makaha) - (Tavares) - (Tarrant) - (Seven Corners) - (Kapaa) - (Orem) - (Jince) **198 min**

Počet nalezených shodných okruhů: 4

Optimalizace času

Časové trvání (min)

	Firma	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	1	x	58	55	58	63	52	57	51	13	12	12	13	22
C3	2	58	x	9	0	13	13	4	11	49	50	49	51	51
C3	3	55	9	x	10	11	7	7	6	46	47	46	48	48
B3	4	58	0	10	x	13	13	4	11	49	50	49	51	51
B3	5	63	13	11	13	x	15	15	14	54	55	54	56	56
A2	6	52	13	7	13	15	x	9	2	44	44	43	45	46
C3	7	57	4	7	4	15	9	x	10	48	49	48	50	50
B2	8	51	11	6	11	14	2	10	x	42	43	42	44	44
C2	9	13	49	46	49	54	44	48	42	x	2	3	3	6
C3	10	12	50	47	50	55	44	49	43	2	x	2	1	6
C3	11	12	49	46	49	54	43	48	42	3	2	x	3	5
C3	12	13	51	48	51	56	45	50	44	3	1	3	x	7
K	13	22	51	48	51	56	46	50	44	6	6	5	7	x

Vzdálenost (km)

	Firma	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	1	x	66	71	66	82	68	65	66	11	9,9	9,7	11	22
C3	2	66	x	6,1	0	11	11	2,7	9,3	60	61	60	62	69
C3	3	71	6,1	x	7,1	14	4,6	4,9	5,2	65	66	65	67	74
B3	4	66	0	7,1	x	11	11	2,7	9,3	60	61	60	62	69
B3	5	82	11	14	11	x	19	11	17	76	77	77	78	86
A2	6	68	11	4,6	11	19	x	6,2	1,6	62	63	62	64	71
C3	7	65	2,7	4,9	2,7	11	6,2	x	6,7	59	60	59	61	68
B2	8	66	9,3	5,2	9,3	17	1,6	6,7	x	60	61	61	62	70
C2	9	11	60	65	60	76	62	59	60	x	1,6	2,1	2,5	4,9
C3	10	9,9	61	66	61	77	63	60	61	1,6	x	1,1	0,9	5,8
C3	11	9,7	60	65	60	77	62	59	61	2,1	1,1	x	2	5,1
C3	12	11	62	67	62	78	64	61	62	2,5	0,9	2	x	6,8
K	13	22	69	74	69	86	71	68	70	4,9	5,8	5,1	6,8	x

Metoda nejbližšího souseda - sekvenčně

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 6

Z_min = 164 min

(Jince) - (Orem) - (Tarrant) - (Seven Corners) - (Tavares) - (Kapaa) - (Cape Coral) - (Mabane) - (Rio Linda) - (Keizer) - (Campbell) - (Ramona) - (Makaha) - (Jince) **195,9 km**

(Jince) - (Cape Coral) - (Mabane) - (Rio Linda) - (Keizer) - (Campbell) - (Ramona) - (Makaha) - (Kapaa) - (Orem) - (Tarrant) - (Seven Corners) - (Tavares) - (Jince) **197,4 km**

(Jince) - (Orem) - (Tarrant) - (Seven Corners) - (Tavares) - (Kapaa) - (Cape Coral) - (Mabane) - (Rio Linda) - (Keizer) - (Ramona) - (Campbell) - (Makaha) - (Jince) **195,9 km**

(Jince) - (Cape Coral) - (Mabane) - (Rio Linda) - (Keizer) - (Ramona) - (Campbell) - (Makaha) - (Kapaa) - (Orem) - (Tarrant) - (Seven Corners) - (Tavares) - (Jince) **197,4 km**

(Jince) - (Tarrant) - (Seven Corners) - (Tavares) - (Orem) - (Kapaa) - (Cape Coral) - (Mabane) - (Rio Linda) - (Keizer) - (Campbell) - (Ramona) - (Makaha) - (Jince) **197,3 km**

(Jince) - (Tarrant) - (Seven Corners) - (Tavares) - (Orem) - (Kapaa) - (Cape Coral) - (Mabane) - (Rio Linda) - (Keizer) - (Ramona) - (Campbell) - (Makaha) - (Jince) **197,3 km**

Počet nalezených shodných okruhů byl 1 u všech tras.

Vogelova aproximační metoda pro ODP

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 8

Z_min = 170 min

(Jince) - (Tavares) - (Tarrant) - (Seven Corners) - (Orem) - (Kapaa) - (Makaha) - (Rio Linda) - (Cape Coral) - (Mabane) - (Keizer) - (Ramona) - (Campbell) - (Jince) **202,3 km**

(Jince) - (Makaha) - (Rio Linda) - (Cape Coral) - (Mabane) - (Keizer) - (Ramona) - (Campbell) - (Kapaa) - (Orem) - (Tarrant) - (Seven Corners) - (Tavares) - (Jince) **201,3 km**

(Jince) - (Makaha) - (Rio Linda) - (Cape Coral) - (Mabane) - (Keizer) - (Ramona) - (Campbell) - (Kapaa) - (Orem) - (Seven Corners) - (Tarrant) - (Tavares) - (Jince) **201,3 km**

(Jince) - (Tavares) - (Seven Corners) - (Tarrant) - (Orem) - (Kapaa) - (Makaha) - (Rio Linda) - (Cape Coral) - (Mabane) - (Keizer) - (Ramona) - (Campbell) - (Jince) **202,3 km**

U prvních čtyř tras byl počet nalezených shodných okruhů: 8

(Jince) - (Tavares) - (Tarrant) - (Seven Corners) - (Orem) - (Kapaa) - (Ramona) - (Campbell) - (Keizer) - (Mabane) - (Cape Coral) - (Rio Linda) - (Makaha) - (Jince) **201,3 km**

(Jince) - (Ramona) - (Campbell) - (Keizer) - (Mabane) - (Cape Coral) - (Rio Linda) - (Makaha) - (Kapaa) - (Orem) - (Tarrant) - (Seven Corners) - (Tavares) - (Jince) **202,3 km**

(Jince) - (Tavares) - (Tarrant) - (Seven Corners) - (Orem) - (Kapaa) - (Makaha) - (Rio Linda) - (Cape Coral) - (Mabane) - (Keizer) - (Campbell) - (Ramona) - (Jince) **202,3 km**

(Jince) - (Makaha) - (Rio Linda) - (Cape Coral) - (Mabane) - (Keizer) - (Campbell) - (Ramona) - (Kapaa) - (Orem) - (Tarrant) - (Seven Corners) - (Tavares) - (Jince) **201,3 km**

U těchto čtyř tras byl počet nalezených shodných okruhů: 18

Příloha 17: Upravená trasa 12 o část trasy 9

Jince (1), Kent (2), Kapaa (3), Quincy (4), Madison (5), Adams (6), Saco (7), Cabot (8), Danbury (9), Theodore (10), Vidor (11), Slaton (12)

Optimalizace vzdálenosti

Vzdálenost (km)

	Firma	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	1	x	4,9	14	22	34	31	35	28	25	16	14	14
A3	2	4,9	x	12	17	29	26	30	24	21	21	12	12
K	3	14	12	x	25	37	34	38	31	29	38	2	1,9
C3	4	22	17	25	x	12	8,9	13	6,2	4,8	39	14	13
B3	5	34	29	37	12	x	3,3	1,1	8,2	10	48	26	25
C3	6	31	26	34	8,9	3,3	x	4,4	5,5	7,4	45	23	22
K	7	35	30	38	13	1,1	4,4	x	9,4	11	49	27	26
A2	8	28	24	31	6,2	8,2	5,5	9,4	x	4,9	43	21	19
C3	9	25	21	29	4,8	10	7,4	11	4,9	x	39	18	17
C3	10	16	21	38	39	48	45	49	43	39	x	30	30
A1	11	14	12	2	14	26	23	27	21	18	30	x	1,3
C2	12	14	12	1,9	13	25	22	26	19	17	30	1,3	x

Časové trvání (min)

	Firma	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	1	x	5	17	25	39	36	41	34	30	20	18	17
A3	2	5	x	14	20	34	31	35	28	25	25	15	14
K	3	17	14	x	25	38	36	40	33	24	42	2	2
C3	4	25	20	25	x	13	11	15	8	7	45	18	15
B3	5	39	34	38	13	x	4	2	9	7	55	23	28
C3	6	36	31	36	11	4	x	5	6	6	54	20	26
K	7	41	35	40	15	2	5	x	11	9	57	25	30
A2	8	34	28	33	8	9	6	11	x	6	54	18	23
C3	9	30	25	24	7	7	6	9	6	x	49	12	14
C3	10	20	25	42	45	55	54	57	54	49	x	37	37
A1	11	18	15	2	18	23	20	25	18	12	37	x	2
C2	12	17	14	2	15	28	26	30	23	14	37	2	x

Metoda nejbližšího souseda - sekvenčně

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 1

Z_min = 117,7 km

(Jince) - (Theodore) - (Adams) - (Madison) - (Saco) - (Cabot) - (Danbury) - (Quincy) - (Slaton) - (Vidor) - (Kapaa) - (Kent) - (Jince) **142 min**

Počet nalezených shodných okruhů: 1

Vogelova aproximační metoda pro ODP

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 1

Z_min = 116,6 km

(Jince) - (Kent) - (Quincy) - (Danbury) - (Madison) - (Saco) - (Adams) - (Cabot) - (Slaton) - (Kapaa) - (Vidor) - (Theodore) - (Jince) **136 min**

Počet nalezených shodných okruhů: 2

Optimalizace času

Časové trvání (min)

	Firma	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	1	x	5	16	21	27	26	29	27	24	19	17	16
A3	2	5	x	14	16	22	21	24	22	18	24	15	15
K	3	16	14	x	15	20	19	22	20	17	41	2	2
C3	4	21	16	15	x	9	8	11	8	6	40	17	9
B3	5	27	22	20	9	x	4	2	7	7	47	15	15
C3	6	26	21	19	8	4	x	5	6	6	45	14	14
K	7	29	24	22	11	2	5	x	9	9	49	17	16
A2	8	27	22	20	8	7	6	9	x	6	45	15	14
C3	9	24	18	17	6	7	6	9	6	x	43	12	11
C3	10	19	24	41	40	47	45	49	45	43	x	36	35
A1	11	17	15	2	17	15	14	17	15	12	36	x	2
C2	12	16	15	2	9	15	14	16	14	11	35	2	x

Vzdálenost (km)

	Firma	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	1	x	4,9	14	23	34	32	35	29	27	16	14	14
A3	2	4,9	x	13	18	29	27	31	24	22	21	13	13
K	3	14	13	x	26	38	35	39	32	30	38	2	1,9
C3	4	23	18	26	x	14	12	16	6,2	6,8	39	14	14
B3	5	34	29	38	14	x	3,3	1,1	8,6	10	74	26	26
C3	6	32	27	35	12	3,3	x	4,4	5,5	7,4	48	23	23
K	7	35	31	39	16	1,1	4,4	x	9,7	11	75	27	27
A2	8	29	24	32	6,2	8,6	5,5	9,7	x	4,9	46	21	20
C3	9	27	22	30	6,8	10	7,4	11	4,9	x	44	18	18
C3	10	16	21	38	39	74	48	75	46	44	x	30	30
A1	11	14	13	2	14	26	23	27	21	18	30	x	1,3
C2	12	14	13	1,9	14	26	23	27	20	18	30	1,3	x

Metoda nejbližšího souseda - sekvenčně

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 2

Z_min = 120 min

(Jince) - (Theodore) - (Slaton) - (Kapaa) - (Vidor) - (Danbury) - (Cabot) - (Adams) - (Madison) - (Saco) - (Quincy) - (Kent) - (Jince) **121,6 km**

Počet nalezených shodných okruhů: 1

(Jince) - (Theodore) - (Slaton) - (Kapaa) - (Vidor) - (Danbury) - (Adams) - (Madison) - (Saco) - (Cabot) - (Quincy) - (Kent) - (Jince) **118,5 km**

Počet nalezených shodných okruhů: 1

Vogelova aproximační metoda pro ODP

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 1

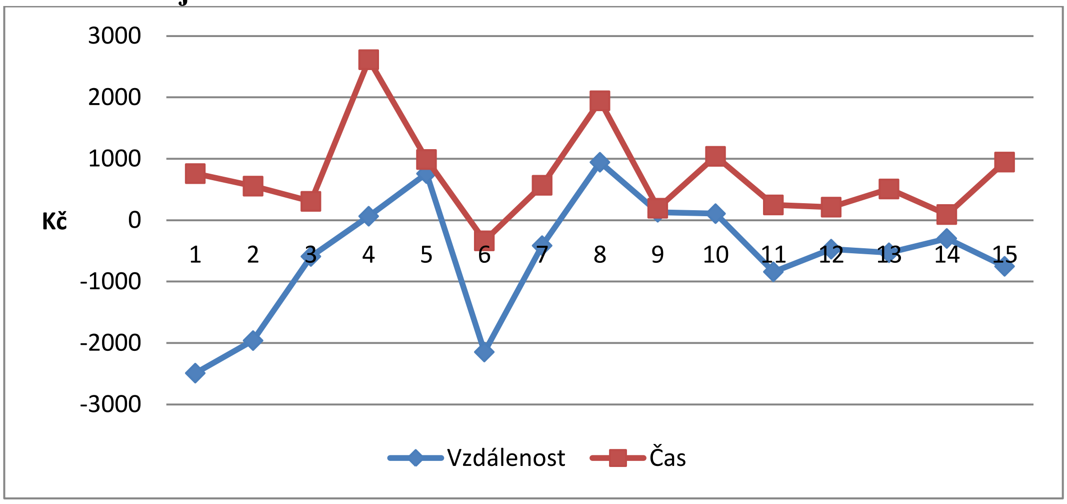
Z_min = 120 min

(Jince) - (Kent) - (Madison) - (Saco) - (Adams) - (Cabot) - (Danbury) - (Quincy) - (Slaton) - (Kapaa) - (Vidor) - (Theodore) - (Jince) **120,5 km**

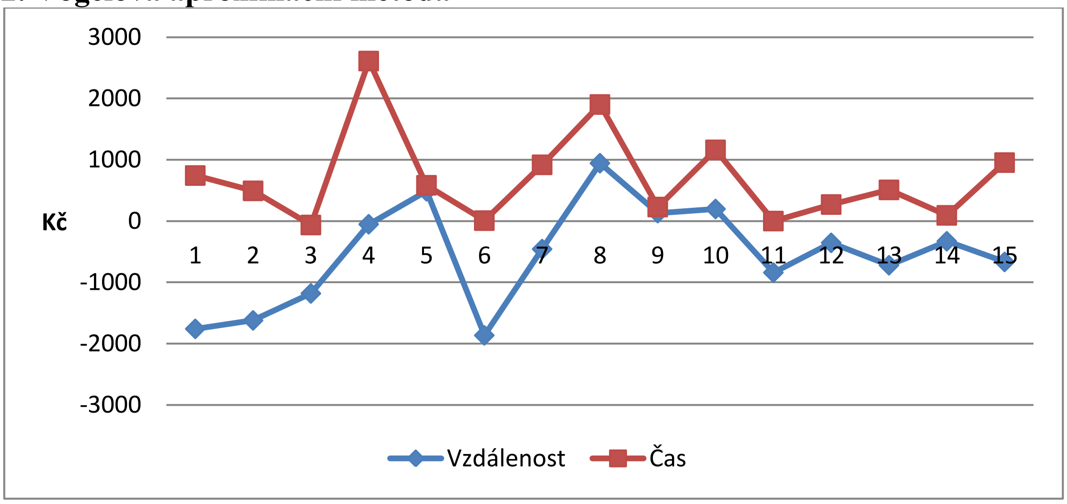
Počet nalezených shodných okruhů: 2

Příloha 18: Porovnání kritérií podle finančního vyjádření

1: Metoda nejbližšího souseda



2: Vogelova aproximační metoda



3: Metoda větví a mezí