Česká zemědělská univerzita v Praze

Provozně ekonomická fakulta

Katedra systémového inženýrství

Bakalářská práce

Optimalizace dopravních tras mezi firmou a jejími zákazníky

Jan Barák

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Provozně ekonomická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jan Barák

Systémové inženýrství a informatika
Systémové inženýrství

Název práce

Optimalizace dopravních tras mezi firmou a jejími zákazníky

Název anglicky

Optimalization of Transportation Routes between a Chosen Company and Its Clients

---

Cíle práce

Cílem práce je optimalizace dopravní trasy pro přepravu zboží zákazníkům pro firmu WOKNO Street Food, tj. navrhnout co nejkratší a nejúspornější dopravní trasu.

Metodika

V první, teoretické části bude uveden popis obecné problematiky a východisek, přehled a popis použitelných metod a principů. Druhá, praktická část bude obsahovat nejprve shrnutí současného stavu podniku. Poté bude pomocí metod z teoretické části navrženo nové řešení a porovnáno s trasou, kterou firma používala dosud.

Doporučený rozsah práce

30 – 40 stran

Klíčová slova

optimalizace, lineární programovaní, operační výzkum, dopravní logistika, okružní dopravní problém, trasa

---

Doporučené zdroje informací

BROŽOVÁ, H. – HOUŠKA, M. – ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. PROVOZNĚ EKONOMICKÁ FAKULTA. *Základní metody operační analýzy.* Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, Provozně ekonomická fakulta ve vydavatelství Credit, 2002. ISBN 80-213-0951-2.

SVOBODA, V. – ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE. DOPRAVNÍ FAKULTA. *Dopravní logistika.* Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN 80-01-02914-.

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

ZÍSKAL, J. – HAVLÍČEK, J. – ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. PROVOZNĚ EKONOMICKÁ FAKULTA. *Ekonomicko matematické metody II : studijní texty pro distanční studium.* Praha: ČZU PEF Praha ve vyd. Credit, 2000. ISBN 80-213-0664-5.

Předběžný termín obhajoby

2020/21 ZS – PEF (únor 2021)

Vedoucí práce

RNDr. Petr Kučera, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra systémového inženýrství

Elektronicky schváleno dne 29. 10. 2020	Elektronicky schváleno dne 5. 11. 2020
doc. Ing. Tomáš Šubrt, Ph.D.	**Ing. Martin Pelikán, Ph.D.**
Vedoucí katedry	Děkan

V Praze dne 29. 11. 2020

Čestné prohlášení

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

V Praze dne 30.11.2020 ______________________________

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval RNDr. Petru Kučerovi, Ph.D. za odborné vedení práce formou konzultací, které mi pomohli při zpracování mé bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat Lukáši Ricovi za poskytovaní všech informací o firmě Wokno Street Food, které mi pomohli se zpracováním této práce.

Optimalizace dopravních tras mezi firmou a jejími zákazníky

Abstrakt

Cílem práce je optimalizace dopravní trasy pro přepravu pokrmů zákazníkům pro firmu Wokno Street Food, tj. navrhnout co nejkratší a nejúspornější dopravní trasu, která sníží vzdálenost přepravy pokrmů a tím se docílí snížení všech firemních nákladů.

V této práci máme 2 části: teoretickou část, která je složena z odborných pojmů jako doprava, logistika, distribuční a dopravní modely a okružní dopravní problém. Praktická část, kde jsou popsány informace o firmě a problém optimalizace trasy, který řešíme třemi metodami: metoda nejbližšího souseda, Vogelova aproximační metoda a metoda výhodnostních čísel, spolu i s programem TSPKOSA, který pomáhal při kontrolních výpočtech. Na konci práce je vyobrazena původní trasa a nová optimalizovaná trasa za pomoci už zmíněných metod. Nejvýhodnější trasa se bude pro firmu volit.

Klíčová slova: optimalizace, lineární programování, operační výzkum, dopravní logistika, okružní dopravní problém, trasa, TSPKOSA

Optimization of transportation routes between a chosen company and its clients

Abstract

The aim of this bachelor thesis is to optimize traffic routes for food delivery company Wokno Street Food, i.e propose the shortest and most time-saving traffic route that shorten the distance of food delivery and thereby reduces all company costs.

In this thesis, we have two parts, the theoretical one is composed of terms as transport, logistics, distribution and transport models and circular transport problem.

Practical part describes information of a company and its problem of a route optimization that is being solved by three methods: the nearest neighbour method, Vogel approximation method and the saving method, together with the TSPKOSA program, which assisted in control calculations. At the end of thesis, there is indicated an original route and the new optimized route using methods already mentioned above. The most convenient route for the company will be selected.

Keywords: optimization, linear programming, operational research, transport logistics, travelling salesman problem, route, TSPKOSA

Obsah

Seznam obrázků

Seznam tabulek

1 Úvod

Předmětem této práce je optimalizování jedné z dopravní trasy pro novou firmu Wokno Street Food, která figuruje v oblasti gastronomie a s tím spojený rozvoz pokrmů po městě Příbrami a jeho okolí. Dnešní doba je hodně závislá na dopravě a konkurenci, která se v této oblasti vyskytuje, je obrovská a zákazníci si potrpí na co nejlepší dopravě, ať je to v jakémkoliv odvětví.

Firma má několik stálých tras pro rozvoz pokrmů, ovšem tato práce obsahuje konkrétní jednu trasu, kde se nachází 9 zastávek a tu budeme optimalizovat. Tato trasa byla vybrána na základě největšího využití. Cílem je zlepšení trasy pro podnik, aby firma dosáhla co největší finanční úlevy, jelikož je na trhu docela mladá a každé snížení nákladů může pomoci v jejím rozvoji.

Finance, které firma ušetří pomocí optimalizace trasy, může využít například v nakoupení dalších zařízení nebo o rozšíření dalšího dopravního prostředku pro rozvoz.

2 Cíl práce a metodika

Cílem práce je optimalizace dopravní trasy pro firmu Wokno Street Food. Tato firma působí ve městě Příbram a její náplní práce je vaření zdravých pokrmů pro veřejnost. S oblastí gastronomie je velice důležitou součástí rozvoz a tím i náš cíl optimalizace jedné z rozvozových tras pro tuto firmu. Všechny zastávky nacházející se na trase jsou jen ve městě Příbram. Tato trasa se bude optimalizovat z hlediska vzdálenosti a s tím spojené snižování nákladů pro firmu.

Práce je rozdělena na teoretickou část, kde se nacházejí informace o dopravě, dále je popsána logistika, distribuční a dopravní modely a v poslední části je nastíněn okružní dopravní problém a popis metod, kterými se tato práce zabývá.

Praktická část je popsána přímou aplikací tří aproximačních metod na naši zadanou trasu. Jsou to metody: metoda nejbližšího souseda, Vogelova aproximační metoda a metoda výhodnostních čísel. Na konci práce je zobrazena původní trasa a nová optimalizovaná spolu s finančním popisem a navržením nového řešení pro firmu.

3 Teoretická část

3.1 Doprava

Doprava začala s jejím rozvojem spolu s logistikou narůstat kolem 70. a 80. let dvacátého století. Můžeme vnímat veliký nárust konkurence v jednotlivých sférách dopravy, nakonec i konkurence mezi samotnými druhy dopravy. Postupem času se přeprava stala velice pružnou a tím i vznikala větší konkurence. Doprava nám poskytuje možnost přesunu výrobků, kde se výrobek vytvoří a dopraví do místa využití. [5]

3.1.1 Základní funkce dopravy

Dopravu můžeme pokládat za jednu z nejdůležitějších funkcí dodavatelského řetězce, myšleno dodání výrobků z místa výroby až ke konečným spotřebitelům. Funkce dopravy je zajištění přesunu zboží od výroby po konečnou spotřebu.
„*Doprava je záměrná pohybová činnost, která spočívá v přemístění věcí nebo osob prostřednictvím pohybu dopravních prostředků po dopravních cestách*.“ [5, str. 161]

Pomocí dopravy můžeme dostat hmotný statek z místa jeho výroby až do finálního místa, kde se bude využívat. Pokud v dopravě splníme všechna kritéria a ke spotřebiteli se dostane jeho požadovaný výrobek ve správný čas a nepoškozený, dochází ke zvyšování spokojenosti odběratele a následně i k navýšení jeho odběru. [7]

3.1.2 Silniční doprava

Silniční doprava je velmi vhodná pro přepravu zboží díky její funkčnosti a hlavně rychlosti. Podniky řeší dopravu nejvíce touto formou, kvůli odpovídajícím nárokům na logistické řízení ve firmě. Musíme si ale uvědomit i negativa vyplývající z této formy dopravy, tím zahrnujeme dopad na životní prostředí a zvýšení silniční dopravy, která vede k přetěžování dopravní komunikace.

Pomocí silniční dopravy nemusíme přepravovat pouze běžné výrobky. Dopravci mohou přepravovat i zboží, které potřebuje speciální úpravy přepravních strojů. Dopravci jsou velice přizpůsobiví a mohou přepravit všechno podle požadavků zákazníka. Nepřepravuje se jen od dodavatele k zákazníkovi, také se přepravuje z firmy do firmy a rovněž i od zákazníka k zákazníkovi. [7]

3.1.3 Automobilová doprava

Česká republika a formy dopravy jsou z hlavní části silniční automobilovou dopravou a na druhém místě železniční dopravou. Ostatní formy dopravy jsou v menším měřítku.

Silniční automobilová doprava je nejvíce rozsáhlou nákladní dopravou v ČR, v přepočtu na tunové kilometry je to nejpočetnější přepravované množství, a tak dopravci dosahují největších přepravních výkonů.

Výhody automobilové dopravy jsou na prvním místě rychlost a spolehlivost. Dalšími výhodami jsou: zajištění přímé přepravy, veliký výběr z přepravovacích strojů, nezávislost mezi jednotlivými přepravami a poslední z podstatných výhod je ochrana zboží při přepravě.

Nevýhody automobilové dopravy. Při veliké rostoucí vzdálenosti rychle rostou náklady, vysoká podmíněnost podle počasí, dalším negativem je přetěžování dopravní infrastruktury, špatný vliv na životní prostředí a poslední nevýhodou je vysoké procento nehodovosti. [5]

3.2 Logistika

Už z historie pojem logistika je staršího původu, která se nám postupem času měnila významově. Do 17. století se tento pojem bral jako počítání s číslicemi oproti aritmetice. Podle další publikace z 20. století byla logistika přiřazována k matematické logice a symbolické logice. Tyto dva obory byli označovány jako jeden společný. Postupem času se logistika rozlišovala významově. Jeden vysvětloval logistiku využívající matematických technik, druhý význam logistiky označoval skupinu institucí ve stěžejní části území, které využívala armáda. Vysvětlení prvních základů aplikované logistiky byla konečná dvě vymezení. [5]

Význam slova logistika můžeme vysvětlit jako *„proces plánování, realizace a kontroly účinného hmotného toku a skladování surovin, polotovarů a s tím souvisejících informací od místa odbytu (vzniku informace) až k místu příjmu (spotřeby)“*, na základě zadání od zákazníka. [7, str. 1]

3.2.1 Logistika v oblasti dopravy

Logistika představuje sjednocení známých předmětů za pomoci koordinace, propojení a zlepšení finančních a datových procesů přenesených za účelem výkonu činnosti, při výrobě a rozšiřování konečných výrobků. Výsledkem je co nejrychleji a s použitím nejméně nákladů, uspokojit cílového klienta. [9]

Dopravu můžeme chápat jako jednu ze speciálních lidských aktivit, která nám pomáhá dopravovat osoby a věci, aby vše proběhlo cílevědomě, úsporně a za účelem spokojenosti klienta. [6]

Lidé plánují různé trasy za zábavou nebo za pracovními cestami, ale nekouknou se na návody nejlepší přepravy mezi plánovanými místy. Většina lidí používá známé plánovací aplikace ve formě mapových balíčků. Přeprava dětí mezi zastávkami, je taky jeden z logistických problémů, který se snaží co nejoptimálněji vyzvednout děti ze zastávek a hodně lidí na těchto softwarech pracuje. Velkým historickým bodem, kdy Merill Flood vytvořil aplikaci na tento problém. Je mnoho dalších odvětví, která řeší problém logistiky. [1]

3.2.2 Logistický řetězec

„Logistický řetězec je složen z dílčích hmotných, informačních, peněžních a jiných toků, které probíhají mezi různými subsystémy ve výrobě, dopravě, zasílatelství a v obchodě"

Pasivní prvky – za ně považujeme předměty, které v podniku využíváme, např. odpadky, suroviny. V našem případě za ně považujeme suroviny na přípravu pokrmů.

Aktivní prvky – do aktivních prvků patří, např. technické vybavení, kterým upravujeme pasivní prvky, tj. materiál na balení, úprava surovin a dopravu k zákazníkům. Nesmíme zapomenout na hlavní aktivní složku, který dostává informace a rozhoduje o celé manipulaci s pasivními prvky a tím jsou lidé. Aktivní prvky nám zajišťují jakýkoliv přesun pasivních prvků. [9, str. 59]

3.2.3 Cíl dopravní logistiky

Cílem dopravní logistiky je co největší usnadnění přesunu zásilky z jednoho místa do místa určení. Usnadněním pohybu zásilek je myšleno snižování nákladů jako např. (spotřeba pohonných hmot, energií a dalších hmotných prostředků). Do těchto zlepšení jsou zahrnuty všechny stroje, které jsou při přepravě použité, např. (dodávky, automobily, kamiony, vysokozdvižná zařízení atd..). V oblasti snižování nákladů nepatří pouze zmiňované dopravní prostředky, ale zahrnujeme zde i řízení dopravních uzlů v síti dopravy, a také koordinování informačních uzlů. Tyto faktory nám pomáhají v co nejpohodlnější přepravě. [7]

3.3 Distribuční a dopravní modely

Distribuční modely si kladou otázku, jak dopravovat nebo přiřazovat předměty, lidi či informace, které jsou potřeba přemístit od jednoho místa vyzvednutí na určité místo dodání za pomoci jakých dopravních prostředků a jakou trasou se to provede.

Distribuční modely můžeme řešit za pomoci lineárních optimalizačních modelů, které využívají ve svých výpočtech *„jednoduchou a speciální strukturou matice koeficientů v omezujících podmínkách."*

Pro výpočet se sice používá simplexová metoda, ale řešení postupu je příliš časově náročné, neefektivní a díky velkému množství dat nemožné vypočítat. [2, str. 128]

3.3.1 Typy distribučních úloh

Distribuční modely patří do lineárních optimalizačních modelů, které se vyznačují ojedinělým typem matice A, kde se objevují zřídka nenulové nebo také jednotkové koeficienty.

Jako klasický distribuční model máme dopravní úlohu, která nám řeší problém, jak nejlépe a nejefektivněji přepravit výrobky od dodavatelů ke konečným spotřebitelům.

Dále distribuční modely rozdělujeme na jednostupňovou a dvoustupňovou dopravní úlohu, kterou rozlišujeme podle úrovní přepravy. Rozdělení těchto úloh je v počtu míst přepravy, anebo kolik meziskladů úloha má a dále se nám rozděluje na počet indexů, kolik vůbec lišíme druhů přepravy. Jednostupňovou dopravní úlohu můžeme vymezit jako systém, který obsahuje dodavatele a následného spotřebitele bez rozlišování strojů, které při přepravě využíváme. Na rozdíl od dvoustupňové dopravní úlohy, která nám zahrnuje o jednu položku víc a tím jsou mezisklady.

- Zobecněný distribuční model (Přepočítává objemy za pomocí koeficientů a ty se zapisují jako různé jednotky. Výpočty spotřebitelů a zdrojů se zápisem na jednotky liší).

-přiřazovací problém (Přiřazujeme jednoho spotřebitele k jednomu zdroji. Podmínkou úlohy je výskyt stejného počtu spotřebitelů i zdrojů).

-okružní problémy (spadají pod distribuční a dopravní úlohy, ale řeší se jinými metodami).

V praxi se používá nejvíce minimalizačních kritérií, díky kterým se snažíme minimalizovat počet najetých tunokilometrů mezi dodavatelem a spotřebitelem, a to se používá nejčastěji, dále se minimalizuje, např. cena. [2]

3.3.2 Jednostupňová dopravní úloha

Jednostupňová dopravní úloha má za úkol pomocí dodavatelů a pomocí spotřebitelů najít ten nejlepší plán přepravy, kde budeme požadovat co nejmenší přepravní náklady, při využití veškerých kapacit dodavatelů a uspokojení zákazníka.

Tabulka 1, která obsahuje všechny informace s dopravním problémem a k tomu rovnicový tvar celého dopravního modelu.
Rovnicový tvar *m*+*n* omezujících podmínek:

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

chceme nalézt minimum lineární funkce za určitých podmínek:

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

$$\sum_{i=1}^{m} x_{ij} = b_j, i = 1, \dots, n$$

$x_{ij} \geq 0$, $i = 1, \dots, m$, $j = 1, \dots, n$.

Omezující podmínky. První vyjadřuje, že není možné přečerpat kapacitu dodavatelů. Druhá vyjadřuje, nutnost maximálního uspokojení zákazníka. [2]

Omezující podmínky budeme brát jako soustavu rovnic. První *m* rovnice vyjadřuje, kolik produktů dodavatel musí dodat cílovému zákazníkovi, aby dosáhl plného množství kapacity. Další *n* rovnice říká, že zákazník si vezme tolik produktů od dodavatele podle jeho potřeb. [8]

Zde platí:

x_{ij} =číslo první udává dodavatele a druhé udává spotřebitele, u kterých hledáme přepravované množství.

c_{ij} =přepravní cena mezi dodavatelem a spotřebitelem.

$a_1, a_2 \dots, a_m$ =kapacity zboží dodavatelů.

$b_1, b_2 \dots, b_n$ =požadavky na zboží od spotřebitelů. [2]

Tabulka 1 Dopravní tabulka

<table>
<tr><td colspan="2" rowspan="2"></td><td colspan="4">Spotřebitelé</td><td rowspan="2">Kapacity dodavatelů</td></tr>
<tr><td>S_1</td><td>S_2</td><td>…</td><td>S_n</td></tr>
<tr><td rowspan="4">Dodavatelé</td><td>D_1</td><td>C_{11} X_{11}</td><td>C_{12} X_{11}</td><td>…</td><td>C_{1n} X_{1n}</td><td>a_1</td></tr>
<tr><td>D_2</td><td>C_{21} X_{21}</td><td>C_{22} X_{22}</td><td>…</td><td>C_{2n} X_{2n}</td><td>a_2</td></tr>
<tr><td>⋮</td><td>⋮</td><td>⋮</td><td>⋮</td><td>⋮</td><td>⋮</td></tr>
<tr><td>D_m</td><td>C_{m1} X_{m1}</td><td>C_{m2} X_{m2}</td><td>…</td><td>C_{mn} X_{mn}</td><td>a_m</td></tr>
<tr><td colspan="2">Požadavky spotřebitelů</td><td>b1</td><td>b_2</td><td>…</td><td>b_n</td><td>$\sum_{i=1}^{m} a_i = \sum_{j=1}^{n} b_j$</td></tr>
</table>

Zdroj [8, str. 81]

Tuto vlastnost nazýváme podmínkou vyváženosti a je podmínkou řešitelnosti.

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

Všechny údaje zapisujeme do dopravní tabulky. Na řádcích se nacházejí dodavatelé a ve sloupcích spotřebitelé. Buňky obsahují dvě hodnoty c_{ij} a x_{ij} (množství rozváženého zboží). Hodnota x_{ij} se nachází v bázi, když je $x_{ij} > 0$. Pokud je tato hodnota $x_{ij} = 0$ není v bázi a hodnotu nemusíme vyplňovat, trasa se nerealizuje. [8]

3.3.3 Řešení dopravní úlohy

Dopravní úlohu řešíme ve 3 bodech.

- Prvním bodem hledáme bazické přípustné řešení. Bazická řešení lze nalézt pomocí aproximačních metod: (Metoda severozápadního rohu, Indexová metoda, Vogelova metoda).
- Druhým bodem je testování optimality. Ukazuje, jestli neexistuje řešení, kde se nachází lepší hodnota účelové funkce.

- Třetím bodem je přechod na lepší řešení. Tento bod se využívá v případě splnění druhého bodu (test optimality) a řešení se provádí prostřednictvím tzv. Dantzingových uzavřených obvodů. [2]

3.4 Okružní dopravní problém

Okružní dopravní problém se nám velice často objevuje pod pojmem problém obchodního cestujícího nebo se mu přezdívá problémem listonoše. Vysvětluje řešení nejvýhodnějšího způsobu dopravy v okružním spojení, nikoli přepravu mezi dvěma polohami (od dodavatele ke konečnému spotřebiteli). Přeprava zboží od jednoho výrobce k několika dodavatelům. [9][4]

Problém obchodního cestujícího podle Applegata (2007), který uvádí, že okružní dopravní problém má velkou historii a snaží se ho pomocí různých metod vyřešit. Jeho myšlenka je jednoduchá, jakým nejlevnějším způsobem se můžeme dopravit do různých měst a vrátit se zpátky do počátečního bodu.

Zmínky o prvním použití této metody nejsou vůbec známé, nemáme ani ponětí kdy nebo kdo tuto metodu navrhnul, ale Merrill Flood z Princetonské univerzity se tímto problémem zabýval od počátku.

Tento problém oslnil velikou škálu matematiků, chemiků, psychologů a mnoho dalších badatelů. Je to díky zajímavosti a jednoduchosti problému. Tento zájem celého problému je kvůli problematice nalezení obecného řešení. Máme tedy zde prostor pro vytváření nových technik a výpočtů pro tento problém. Hlavní myšlenkou je, jak se dá přesunout na každé místo dopravy, aniž bychom se museli na nějaké místo vracet podruhé. [1]

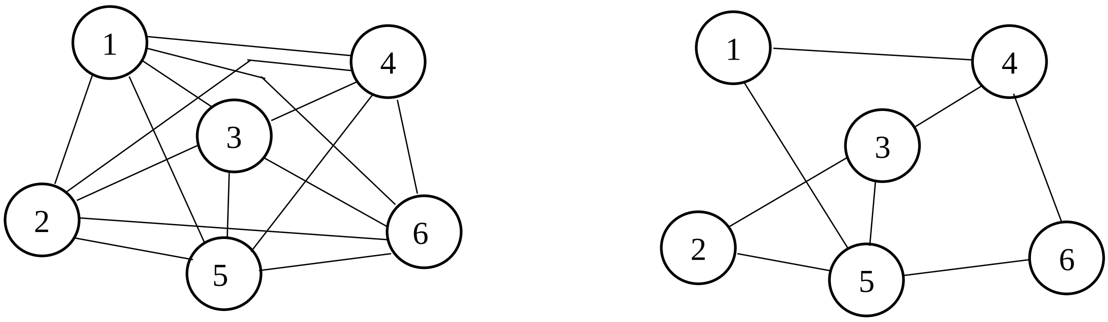
3.4.1 Jednookruhový okružní dopravní problém

Jednookruhový okružní dopravní problém je v praxi častým problémem. Rozvoz zboží, výrobků, materiálu od pár dodavatelů k mnoha zákazníků, a naopak od hodně dodavatelů k malé škále zákazníků. Okružní dopravní spojení řeší situaci dodání výrobků všem spotřebitelům jednou okružní trasou, místo dopravy za pomoci několika přímých spojení od dodavatele ke spotřebitelům.

Jednookruhový okružní dopravní problém neboli zkráceně ODP (okružní dopravní problém), je v praxi jeden z nejjednodušších modelů. Z názvu termín jednookruhový okružní dopravní problém vyplývá, že se jedná o problém, který tvoří pouze jeden okruh mezi všemi místy přepravy. Existují i víceokruhové ODP, tyto typy úloh jsou poněkud náročnější na řešení a přezdívají se trasovacími problémy. [8]

Okružní dopravní problém můžeme také rozdělit na problém s úplnou sítí cest s existencí spojení mezi dvěma jakýmikoliv místy přepravy. Namísto problému s neúplnou sítí cest, kde spojení dvou náhodně vybraných míst nelze realizovat v době přepravy. [2]

Obrázek 1 Okružního dopravního problému s úplnou sítí a neúplnou sítí



Zdroj [2, str. 156]

Na okružní dopravní problém se můžeme dívat také z matematického hlediska, které nám říká, že okružní dopravní problém patří do tzv. NP-úplné problémy, vysvětlující neexistující účinný algoritmus, který by dokázal nalézt pro daný problém matematické optimální řešení. Toto se děje z důvodu rychlého až exponenciálního zvyšování množství omezujících podmínek v dané úloze, proto je těžké najít takovou metodu pro její výpočet. Máme několik aproximačních metod, které nám pomáhají tento problém řešit, ale ne zdaleka jak bychom požadovali. [8]

3.4.2 Obecná formulace okružního dopravního problému

Máme určenu existenci n míst (počet zastávek rozvozů pokrmů) a sazbu c_{ij}, která nám představuje v našem případě vzdálenost z jednoho místa přepravy pokrmů i (i představuje jednu polohu přepravy) k dalšímu místu přepravy j (j představuje druhou polohu přepravy), c_{ij} nemusí nutně představovat vzdálenost, můžou to být rovněž náklady nebo jednotka času mezi přepravovanými místy. Úkolem úlohy je spojení všech míst dopravy zboží pomocí okružního spojení ve městě tak, aby se součet vzdáleností (času, nákladů) co nejvíce minimalizoval a počátek rozvozu neboli počáteční bod, byl jedinou výjimkou kvůli opětovnému objevení v závěru úlohy. [8]

Matematický Model:

Chceme nalézt minimum lineární funkce:

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

Omezující podmínky:

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

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ij} = 1 \qquad i = 1, \dots, n$$

$$u_i - u_j + n x_{ij} \leq n - 1 \qquad i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, n; i \neq j$$

$$X_{ij} \in \{0; 1\} \qquad i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, n$$

Okružní dopravní problém můžeme z matematického hlediska pokládat jako přiřazovací úlohu. Tu poté řešíme, že ke všem místům, které chceme navštívit přiřadíme místo. Může dojít k alternativě, kdy se některá místa projedou samostatnými okruhy. Proto do řešení úlohy zahrnujeme tzv. Tuckerovy podmínky, kdybychom ale do úlohy vložili podmínky nezápornosti, můžeme se dostat k výsledku v desetinných číslech. Když máme x_{ij} = 1 tak to znamená průjezd z *i*-tého bodu do *j*-tého a když naopak, tak se x_{ij} = 0. [8]

3.4.3 Metoda nejbližšího souseda

Je to jedna z nejlehčích aproximačních metod, jaké můžeme aplikovat.

Tato metoda funguje, že si nejprve zvolí počáteční bod (A), poté se z tohoto místa přejde do dalšího nejvýhodnějšího místa (B) z hlediska spojení, následně se pokračuje do dalšího nejvýhodnějšího místa, tudíž z bodu B do bodu C. V dalších krocích se provádí stejný postup, dokud výpočet neskončí v počátečním bodu A. [8]

Nevýhodou této metody je, že tato metoda nevidí moc do budoucna. Její první kroky mohou vzít nejvýhodnější trasy, ale může se stát, že na konci výpočtů zbydou velice nevýhodné trasy. [2]

Postup výpočtu:

1. V prvním kroku se vyřadí sloupec, kde se nachází počáteční bod startu, k němuž se vrátíme až ke konci.
2. V druhém kroku se najde sloupec a v němž buňka, která je nejvýhodnější od počátečního bodu a tu obsadíme, pak se tento sloupec škrtne a nebude se k němu znovu vracet.
3. Druhý krok se opakuje do té doby, dokud se neobsadí všechny buňky a nevyškrtají se tak všechny sloupce.
4. Když se vyškrtaly všechny sloupce, tak se došlo zpět do počáteční buňky.
5. Tento postup se aplikuje pro všechna místa, která budou vybrána jako počáteční bod a pro každý najdeme okružní trasu.
6. Pokud úloha s nesymetrickou maticí sazeb, bude také hledání provádět po řádcích vyškrtáváním (to nazýváme hledáním trasy „pozpátku“), kde se budou hledat místa s nejmenší vzdáleností ve sloupcích, nebo se může postupovat a úlohu vyřešit pomocí transponované matice.
7. V posledním kroku už jenom volíme tu trasu, která udává nejmenší součet vzdálenosti a ta bude nejvýhodnější. [8]

3.4.4 Vogelova aproximační metoda

Vogelova metoda funguje na principu rozdílu hodnoty dvou nejmenších buněk (diferencí) v každém řádku i sloupci dopravní tabulky. Výhodou metody je, že v postupu výpočtu za pomoci diferencí se vybírají velice výhodné spoje v každém kroku, až do ukončení algoritmu. V praxi je tato metoda hodně využívaná, díky výsledku, který se občas blíží k optimálnímu řešení. [10]

Postup výpočtu:

1. V prvním kroku se spočítá rozdíl neboli diference pro dvě nejmenší hodnoty, jak pro řádek, tak i sloupec a následně se vybere ta největší. Když se náhodou stane, že v řádku bude diference např. 45 a ve sloupci taky 45, vyberou se libovolně. Tyto dvě hodnoty dají stejnou okružní trasu. Jedna je ta samá, jen je projetá z druhé strany.
2. V druhém kroku se vybírá ze sloupce či řádku podle diference, která zvolila buňku s nejmenší hodnotou (vzdálenosti).
3. Ve třetím kroku se škrtne celý sloupec s vybranou buňkou vertikálně a celý řádek horizontálně a zmiňovanou buňku, která tvoří zpáteční okruh. Když vyjde buňka, kde se budeme dostávat z Prahy do Brna, tak zpáteční buňku myslíme tu, která vede trasu

z Brna do Prahy. Došlo by k předčasnému uzavření okruhu bez návštěvy všech měst a výsledek by byla jedině trasa Praha → Brno.

4. V dalším kroku se znovu přepočítá diference z 2 bodu, vybere se nejvyšší diference s nejmenší hodnotou buňky a následně se vyškrtne sloupec, řádek a zpáteční buňka z bodu 3. Ve vyřazení zpáteční buňky od napojení druhé trasy se trošku liší. Např. vznikne nové napojení na trasu Praha → Brno a Brno → Plzeň. Vyřazení zpáteční cesty Plzeň → Brno se řešit nemusí, jelikož už byla vyřazená, ale musí se vyřadit zpáteční trasa Plzeň → Praha, která by mohla opět předčasně uzavřít okruh. Na vyřazení zpátečních tras se musí dávat pozor při dalším napojení na stávající trasu nebo při vzniklé nové části okruhu.
5. Posledním krokem se budou opakovat všechny předešlé body, dokud nebudou vyškrtány všechny sloupce a řádky. Tím se ukáže výsledný okruh buněk.

Jedna z nevýhod tohoto výpočtu může nastat, když se bude při výpočtu diferencí v řádku objevovat dvě stejné (jedna stejná v řádku a dvě ve sloupci), to se bude muset vyřešit pomocí logiky a vyhodnotit, co se bude nejlépe hodit, třeba vyjdou stejné diference pro Prahu → Brno, Brno → Praha, ty jsou stejné, akorát v opačném směru a Praha → Ostrava. To je situace, kdy se používá vlastní logika a řekne se, že je výhodnější směr Praha → Brno, a tak následně se nechá spoj Praha → Ostrava nevybraný a možná se do tohoto spoje se dostane v dalším kroku výpočtu. [8]

3.4.5 Metoda výhodnostních čísel

Jedná se o metodu, která je považována za jednu z nejstarších, ale stále velice často používaných metod, kterou vytvořili Clarke a Wright. Metoda byla navržena pro výpočty za pomoci počítače, ale mohou se využít při ručním výpočtu. [3]

Hlavní rozdíl oproti jiným metodám se dají vidět v používání matice výhodnostních čísel ve výpočtu. Na rozdíl u ostatních metod se využívá matice vzdáleností. Jeden z nejpopulárnějších algoritmů pro výpočet ODP.

Postup výpočtu:

Vzorec na vypočtení výhodnostních čísel: $S_{ij} = C_{i0} + C_{0j} - C_{ij}$

1. V prvním kroku se určí uzel s indexem 0,

2. Druhým krokem se vypočítají vyhodnostní čísla za pomoci vzorce S_{ij} pro každé i a j =1 a zároveň $i \neq j$, vyjadřuje vypočtení všech výhodnostních čísel pro dvojice míst, bez uzlu 0. Vypočtené výhodnostní čísla se seřadí sestupně.
3. Ve třetím kroku ze seřazených výhodnostních čísel se vyberou největší S_{ij}. U uvažované úspoře nákladů S_{ij}, se musí zahrnout i a j, pokud ovšem je každý v jiném cyklu, tak pomocí odstranění hran u i a j vznikne nová hrana.
4. V posledním kroku se kontroluje seznam výhodnostních čísel, dokud nezbyde pouze jeden jediný cyklus, v opačném případě se opakuje krok číslo 3.

Vysvětlivka:

S_{ij} – označuje výhodnostní čísla, (i, j) – označuje zákazníky, C_{i0} – označuje náklady na přesun z místa rozvozu k zákazníkovi, C_{ij} představuje náklady na přesun mezi zákazníky. [11]

3.4.6 TSPKOSA

Program TSPKOSA v práci pomohl s výpočtem všech výsledků a zároveň sloužil i pro kontrolu ručně vypočtených vzorových okruhů v každé metodě. TSPKOSA je jako doplněk k softwaru MS Excel a je využíván jako program k výpočtu tří metod: metoda nejbližšího souseda, Vogelova aproximační metoda a metoda výhodnostních čísel.

Autoři projektu jsou z Katedry systémového inženýrství: Ing. Igor Krejčí, RNDr. Petr Kučera, Ph.D. a z Katedry statistiky: Ing. Hana Vostrá Vydrová. Projekt byl vytvořen pro podporu Fondu rozvoje vysokých škol, projekt 2678/2010. [12]

4 Praktická část

4.1 Informace o firmě

WOKNO Street Food je malá začínající firma v oblasti gastronomie – bistro Lukáše Rice nacházející se v Příbrami 261 01 v Jiráskových sadech, která nabízí široké možnosti v oblasti stravování, zdravé stravy i gurmánských pochoutek vyrobených ručně z domácích surovin na základě zkušeností majitele a kuchaře Lukáše, které získal hodinami strávenými v kuchyni a vášní vařit stále nová jídla. Toto skvělé bistro se nachází na Jiráskových sadech, těsně vedle autobusové zastávky. Je to skvělé stravovací zařízení nejen pro místní klienty, ale i pro cestovatele, kteří si mohou své jídlo vzít do autobusu nebo jenom vychutnávat. Tento podnik vznikl nejen díky majiteli, ale podíleli se na něm i další brigádníci Jakub Gregor, který pomáhá v kuchyni společně s Lukášem. Jakub také vytvořil marketingový plán pro firmu a je jeho správcem. Dalším zaměstnancem je Lukáš Jandus, jehož náplní je rozvoz pokrmů. Tato firma rozváží své produkty do různých podniků i soukromých zařízení. Pro tuto práci je vybrána trasa o devíti zastávkách, s nimiž budeme pracovat. Všech 9 zastávek jsme přepsali abecedně pro zjednodušení. Tato firma nemá zkušenosti v oblasti optimalizace tras, a proto je výbornou příležitostí pro vypočtení jedné z využívaných tras.

4.2 Popis problému

Problém obsahuje optimalizace trasy o 9 zastávkách, které jsou rozmístěné ve městě Příbrami. Tento rozvoz je nejčastějším a stálým spojením, které se průměrně opakuje dvanáctkrát za měsíc. Všechny zastávky jsou pro přehlednost zapsány do tabulky, která je pod tímto odstavcem. Zde nám půjde o optimalizaci trasy jen z jednoho hlediska a tím je vzdálenost mezi zastávkami. Za pomoci metody nejbližšího souseda, Vogelovy aproximační metody a metody výhodnostních čísel provedeme výpočty. Následně v závěru práce tyto metody porovnáme mezi sebou a se současnou starou trasou. Vyhodnotíme si nejlepší výslednou trasu, když nám vyjde lepší, než je současná, tak jí nová lepší nahradí.

Zde je uvedena tabulka pro lepší orientaci ve výpočtech a celkové přehlednosti bylo každé místo označeno písmenem. Počáteční adresa A nám označuje místo podniku a počáteční bod výjezdu.

Tabulka 2 Místa rozvozu

	Adresa
A	Jiráskovy sady
B	Billiard Club Bar, Riegrova 56
C	Zmrzlina Ryneček, Mariánská 39
D	Aquapark Příbram, Legionářů 539
E	Divadlo A. Dvořáka, Legionářů 400
F	Mini golf, Milínská 30
G	B. Němcové 242
H	Sadová
I	Hostinec U Císaře Rudolfa II, Slunná 551
J	HABiBi Shisha bar & Lounge, Dlouhá 346

Zdroj: vlastní tvorba

4.3 Optimalizace tras pomocí výpočetních metod

Pro výpočet tras budou použity 3 následující metody: metoda nejbližšího souseda, Vogelova aproximační metoda a metoda výhodnostních čísel.

Dalším krokem k výpočtu tras je výchozí tabulka 3, která nám udává vzdálenost mezi dvojicemi jednotlivých míst rozvozu. Díky internetovému portálu https://mapy.cz/zakladni [13] jsme zjistili nejkratší vzdálenost mezi jednotlivými místy. Tento průzkum byl vyhotoven 5.září 2020. Z dosažených informací byla sestavena matice vzdáleností.

Tabulka 3 Matice vzdáleností

(km)	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
A	x	0,6	1	1,8	1,6	1,8	2,6	3,2	3,9	0,55
B	0,6	x	1	2,2	2	1,8	3	2,9	3,6	1,2
C	1	1	x	0,85	0,65	1,4	1,6	2,2	2,9	1,1
D	1,7	2,1	0,85	x	0,19	1,3	1	1,9	2,4	1,9
E	1,8	2,1	0,85	0,27	x	1,5	1	1,9	2,6	1,9
F	1,8	1,8	1,4	1,5	1,5	x	1,5	2,3	2,9	1,7
G	2,7	3	1,8	0,75	0,75	1,7	x	1,2	1,7	2,8
H	3,4	2,9	2,5	1,9	1,9	2,2	1,2	x	1	3,4
I	3,7	3,5	2,8	2,2	2,2	2,4	1,4	0,7	x	3,5
J	0,45	1	1,4	2,2	2	1,9	3	3,6	4,3	x

Zdroj: vlastní tvorba

Některá spojení mezi dvěma místy nemusí být stejná v obou směrech, pro ukázku si vezmeme spojení A → I, to je spojení mezi naším podnikem Wokno a hospodou U císaře Rudolfa II, které pravidelně objednává pokrmy. Spojení z bodu A do bodu I je vzdáleno 3,9 km, ale v opačném případě z I → A je tato vzdálenost 3,7 km. Příčinou mohou být aktuální uzavření silnic v jednom směru nebo jednosměrné ulice a další omezení.

Největší možný rozdíl, který v úloze figuruje je spoj I → J jehož hodnota rozdílu je 0,8 km. To je na město podstatný rozdíl vzdálenosti.

4.3.1 Optimalizace pomocí metody nejbližšího souseda

Výpočet je proveden podle kapitoly 3.4.3, která je popsána v teoretické části. Přehled výpočtu je uveden jenom na jednom okruhu, který je spočítán ručně a kvůli zdlouhavosti výpočtu jsou všechna řešení, kde se musí každé výchozí místo spočítat zvlášť, bude uvedeno na konci v tabulce 9 pomocí programu TSPKOSA. Červeně označené řádky a sloupce jsou vyřazené a do nich se už nebudeme vracet. Zeleně označená pole jsou místa, do kterých se budeme postupně přesouvat.

Výpočet:

1. krok

Na začátku výpočtu je potřeba zvolit výchozí místo, to bude bod C neboli Zmrzlina Ryneček. Výchozí místo z bodu C bylo zvoleno z důvodu nejlepšího výsledku, než kdybychom zvolili jakékoliv jiné výchozí místo. Funkce minimum (MIN) nám ve třetím řádku vybrala hodnotu 0,65, spoj mezi C (Zmrzlina Ryneček) a E (Divadlo A. Dvořáka). Pole označená červenou barvou tedy všechny spoje z místa C budou smazány a do nich už se nebudeme vracet. To platí i se zpátečním spojem E → C, jelikož nechceme uzavřít okruh jenom dvěma spoji.

Tabulka 4 Metoda nejbližšího souseda – Výchozí místo v C

(km)	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
A	x	0,6	1	1,8	1,6	1,8	2,6	3,2	3,9	0,55
B	0,6	x	1	2,2	2	1,8	3	2,9	3,6	1,2
C	1	1	x	0,85	0,65	1,4	1,6	2,2	2,9	1,1
D	1,7	2,1	0,85	x	0,19	1,3	1	1,9	2,4	1,9
E	1,8	2,1	0,85	0,27	x	1,5	1	1,9	2,6	1,9
F	1,8	1,8	1,4	1,5	1,5	x	1,5	2,3	2,9	1,7
G	2,7	3	1,8	0,75	0,75	1,7	x	1,2	1,7	2,8
H	3,4	2,9	2,5	1,9	1,9	2,2	1,2	x	1	3,4
I	3,7	3,5	2,8	2,2	2,2	2,4	1,4	0,7	x	3,5
J	0,45	1	1,4	2,2	2	1,9	3	3,6	4,3	x

Zdroj: vlastní tvorba

Obrázek 2 Ilustrace dopravního spoje s výchozím místem v C

2. krok

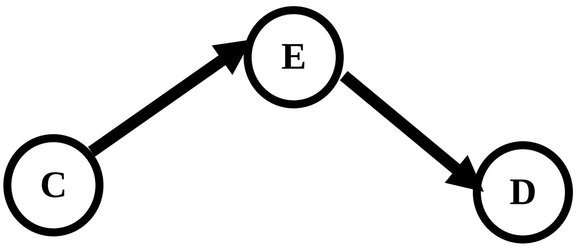
V dalším kroku se pokračuje z Místa E (Divadlo A. Dvořáka) do nejvýhodnějšího spoje, jehož hodnota je 0,27 km a je v místě D (Aquapark Příbram). V tomto bodě se pokračuje jako v prvním kroku, vyřadí se řádek E, sloupec D a pole s hodnotou, které může předčasně uzavřít okruh, a to je spoj D → C.

Tabulka 5 Metoda nejbližšího souseda – 2. krok

(km)	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
A	x	0,6	1	1,8	1,6	1,8	2,6	3,2	3,9	0,55
B	0,6	x	1	2,2	2	1,8	3	2,9	3,6	1,2
C	1	1	x	0,85	0,65	1,4	1,6	2,2	2,9	1,1
D	1,7	2,1	0,85	x	0,19	1,3	1	1,9	2,4	1,9
E	1,8	2,1	0,85	0,27	x	1,5	1	1,9	2,6	1,9
F	1,8	1,8	1,4	1,5	1,5	x	1,5	2,3	2,9	1,7
G	2,7	3	1,8	0,75	0,75	1,7	x	1,2	1,7	2,8
H	3,4	2,9	2,5	1,9	1,9	2,2	1,2	x	1	3,4
I	3,7	3,5	2,8	2,2	2,2	2,4	1,4	0,7	x	3,5
J	0,45	1	1,4	2,2	2	1,9	3	3,6	4,3	x

Zdroj: vlastní tvorba

Obrázek 3 Ilustrace dopravního spoje v 2. kroku



Další kroky budou ve zrychleném výpočtu, kde se ukáže 6.krok, 7.krok a 8.krok. Kroky, které nebudou uvedeny jsou počítané stejným způsobem a k pochopení není potřeba uvádět každý krok.

6. Krok

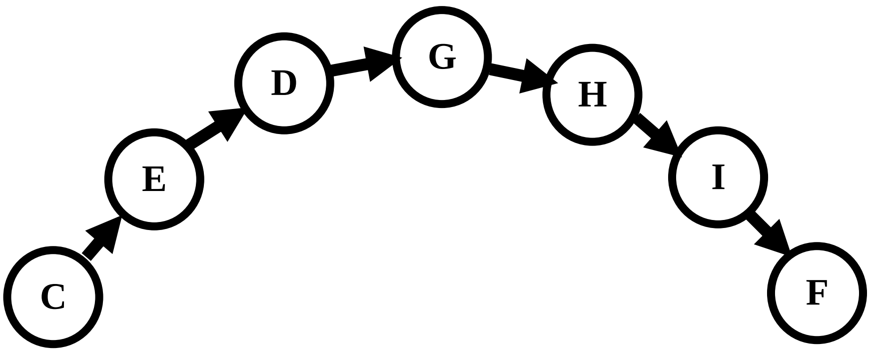
Může se ukázat, že do 6.kroku oproti druhému se vyřadil sloupec a řádek F, G, H, I. Třetí spojení bylo z D → G, čtvrtým z G → H, pátým z H → I a poslední je spojení z I → F. Nesmí se také zapomenout na vyřazení tabulkového pole ve směru z F → C, tím by se předčasně uzavřel okruh bez návštěvy všech míst.

Tabulka 6 Metoda nejbližšího souseda – 6. krok

(km)	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
A	x	0,6	1	1,8	1,6	1,8	2,6	3,2	3,9	0,55
B	0,6	x	1	2,2	2	1,8	3	2,9	3,6	1,2
C	1	1	x	0,85	0,65	1,4	1,6	2,2	2,9	1,1
D	1,7	2,1	0,85	x	0,19	1,3	1	1,9	2,4	1,9
E	1,8	2,1	0,85	0,27	x	1,5	1	1,9	2,6	1,9
F	1,8	1,8	1,4	1,5	1,5	x	1,5	2,3	2,9	1,7
G	2,7	3	1,8	0,75	0,75	1,7	x	1,2	1,7	2,8
H	3,4	2,9	2,5	1,9	1,9	2,2	1,2	x	1	3,4
I	3,7	3,5	2,8	2,2	2,2	2,4	1,4	0,7	x	3,5
J	0,45	1	1,4	2,2	2	1,9	3	3,6	4,3	x

Zdroj: vlastní tvorba

Obrázek 4 Ilustrace dopravního spoje v 6. kroku



7. krok

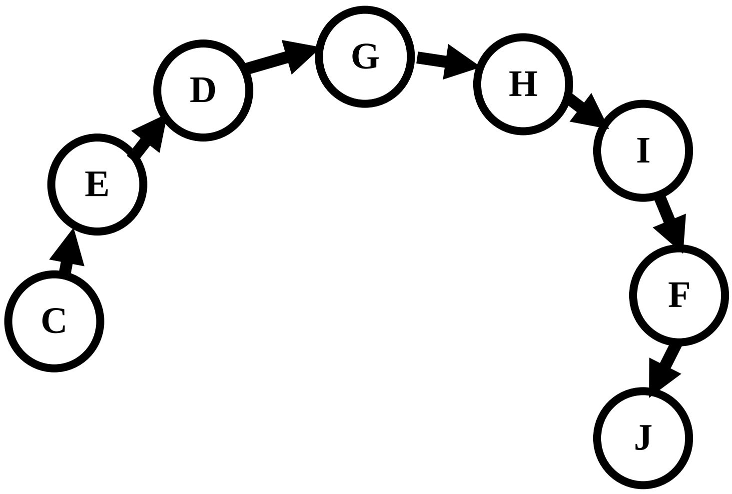
V sedmém kroku se nachází nejmenší hodnota pole z tabulky (vzdálenost) v řádku F s hodnotou 1,7. Opět se vyřadí sloupec J, řádek F a pole ve směru z J → C.

Tabulka 7 Metoda nejbližšího souseda – 7. krok

(km)	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
A	x	0,6	1	1,8	1,6	1,8	2,6	3,2	3,9	0,55
B	0,6	x	1	2,2	2	1,8	3	2,9	3,6	1,2
C	1	1	x	0,85	0,65	1,4	1,6	2,2	2,9	1,1
D	1,7	2,1	0,85	x	0,19	1,3	1	1,9	2,4	1,9
E	1,8	2,1	0,85	0,27	x	1,5	1	1,9	2,6	1,9
F	1,8	1,8	1,4	1,5	1,5	x	1,5	2,3	2,9	1,7
G	2,7	3	1,8	0,75	0,75	1,7	x	1,2	1,7	2,8
H	3,4	2,9	2,5	1,9	1,9	2,2	1,2	x	1	3,4
I	3,7	3,5	2,8	2,2	2,2	2,4	1,4	0,7	x	3,5
J	0,45	1	1,4	2,2	2	1,9	3	3,6	4,3	x

Zdroj: vlastní tvorba

Obrázek 5 Ilustrace dopravního spoje v 7. kroku



8. krok

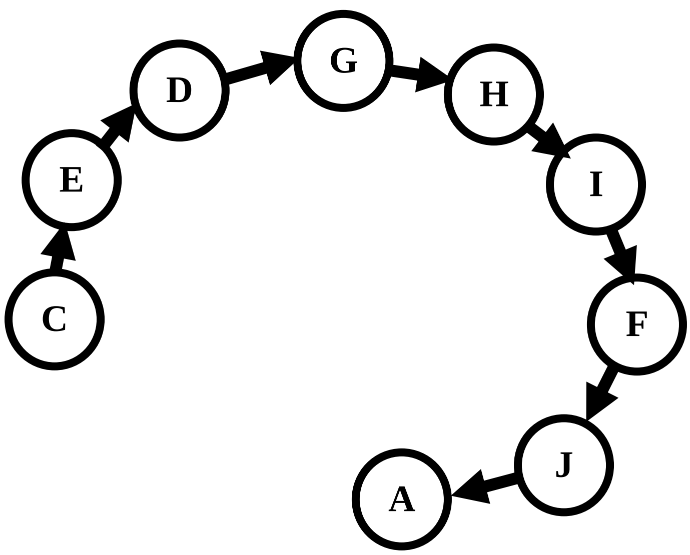
Ve výpočtu 8.kroku trasa povede z místa J do A. Následně je v osmém kroku vyřazen sloupec A, řádek J a pole uzavírající předčasně okruh ve směru z A → C.

Tabulka 8 Metoda nejbližšího souseda – 8. krok

(km)	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
A	x	0,6	1	1,8	1,6	1,8	2,6	3,2	3,9	0,55
B	0,6	x	1	2,2	2	1,8	3	2,9	3,6	1,2
C	1	1	x	0,85	0,65	1,4	1,6	2,2	2,9	1,1
D	1,7	2,1	0,85	x	0,19	1,3	1	1,9	2,4	1,9
E	1,8	2,1	0,85	0,27	x	1,5	1	1,9	2,6	1,9
F	1,8	1,8	1,4	1,5	1,5	x	1,5	2,3	2,9	1,7
G	2,7	3	1,8	0,75	0,75	1,7	x	1,2	1,7	2,8
H	3,4	2,9	2,5	1,9	1,9	2,2	1,2	x	1	3,4
I	3,7	3,5	2,8	2,2	2,2	2,4	1,4	0,7	x	3,5
J	0,45	1	1,4	2,2	2	1,9	3	3,6	4,3	x

Zdroj: vlastní tvorba

Obrázek 6 Ilustrace dopravního spoje v 8. kroku



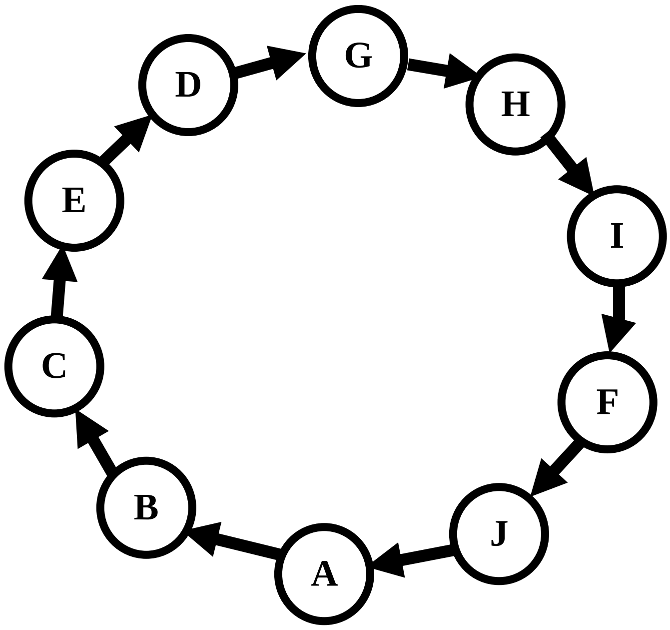
10. krok

Poslední 10. krok dokončil celý okruh a byly objety všechna místa dopravy. Tento krok nebylo potřeba předvádět tabulkou, a to ani 9. krok, protože za pomoci 8. kroku už se mohou jednoduše poslední dva spoje doplnit. V tomto kroku se sečtou všechna místa okružního problému (naše zelená políčka) a ta vyobrazí výsledek se vzdáleností 10,27 km s výchozím bodem C.

Výsledná trasa:

Zmrzlina Ryneček → Divadlo A. Dvořáka → Aquapark Příbram → B. Němcové 242 → Sadová → Hostinec u Císaře Rudolfa II → Mini golf → Habibi Shisha bar & lounge → Jiráskovy sady (Wokno) → Billiard Club bar → Zmrzlina Ryneček.

Obrázek 7 Ilustrace dopravního spoje v 10. kroku (nejbližší soused)



Výsledky vypočtené pomocí programu TSPKOSA

Program TSPKOSA byla nápomocná při zjištění několika vypočtených okruhů. Zde bude uvedeno 10 výsledků, z nichž bude obsažena nejkratší i nejdelší trasa pro přehled.

Metoda nejbližšího souseda – sekvenčně,

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 1,

Počet nalezených shodných okruhů: 2.

Nejkratší trasa pomocí TSPKOSY:

Z_min = 10,27; (C) - (E) - (D) - (G) - (H) - (I) - (F) - (J) - (A) - (B) - (C)

Nejkratší trasa pomocí TSPKOSY vyšla na vzorovém výpočtu.

Ostatní výsledné okruhy:

Tabulka 9 Výsledky programu TSPKOSA – metoda nejbližšího souseda

Vzdálenost v km	Testované cykly (výběr 10 cyklů)
10,27	(C) - (E) - (D) - (G) - (H) - (I) - (F) - (J) - (A) - (B) - (C)
10,54	(H) - (I) - (G) - (D) - (E) - (C) - (B) - (A) - (J) - (F) - (H)
10,54	(G) - (D) - (E) - (C) - (B) - (A) - (J) - (F) - (H) - (I) - (G)
10,62	(G) - (E) - (D) - (C) - (B) - (A) - (J) - (F) - (H) - (I) - (G)
10,62	(H) - (I) - (G) - (E) - (D) - (C) - (B) - (A) - (J) - (F) - (H)
10,64	(I) - (H) - (G) - (D) - (E) - (C) - (B) - (A) - (J) - (F) - (CH)
10,72	(I) - (H) - (G) - (E) - (D) - (C) - (B) - (A) - (J) - (F) - (CH)
10,84	(G) - (D) - (E) - (C) - (A) - (J) - (B) - (F) - (H) - (I) - (G)
10,84	(H) - (I) - (G) - (D) - (E) - (C) - (A) - (J) - (B) - (F) - (H)
12,07	(F) - (C) - (E) - (D) - (G) - (H) - (I) - (B) - (A) - (J) - (F)

Zdroj: vlastní tvorba

Nejkratší vypočtená trasa pomocí TSPKOSY měří 10,27 km a její okruh se nalezne výše. Správnost výpočtu se může také potvrdit shodou výpočtu nejkratší trasy pomocí TSPKOSY a manuálním výpočtem, kdy se tyto výsledky shodly.

Její kompletní okruh od místa rozvozu v našem případě Wokno je: Jiráskovy sady (Wokno) → Billiard Club bar → Zmrzlina Ryneček → Divadlo A. Dvořáka → Aquapark Příbram → B. Němcové 242 → Sadová → Hostinec u Císaře Rudolfa II → Mini golf → Habibi Shisha bar & lounge → Jiráskovy sady (Wokno).

Nejdelší trasa naopak měří 12,07 km, to je o 1,8 km rozdíl mezi nejkratší a nejdelší trasou. Není to sice markantní rozdíl, ale díky přepravování po městě to může ušetřit čas, peníze a pohonné hmoty.

4.3.2 Optimalizace Vogelovou aproximační metodou

Obecný postup výpočtu je popsán v kapitole 3.4.4, podle kterého se bude postupovat. Pro ruční výpočet Vogelovy aproximační metody je potřeba hodně práce i času, proto pro ukázku je nastíněn výpočet pouze jedné trasy v šesti krocích. Ostatní trasy jsou spočítané pomocí programu TSPKOSA a tyto trasy budou předvedeny po následujícím výpočtu níže. Oproti předešlé metodě se zde nachází navíc přidaný sloupec a řádek s diferencí neboli rozdíl dvou nejnižších hodnot. Hodnoty těchto diferencí se musí každým krokem přepočítat, jelikož se pokaždé mění vyřazováním některých tras. Jako u předešlé metody, červeně označená pole jsou vyřazená a nebudeme se do nich vracet a zelená pole ukazují, kam se budeme přesouvat.

Výpočet:

1.krok

Prvním krokem se bude hledat v každém řádku a sloupci nejnižší hodnota a druhá nejnižší hodnota (dvě nejmenší vzdálenosti). Z těchto dvou hodnot se vypočítá rozdíl tzv. diference, ta ukáže, kde se nachází místo s nejvyšší ztrátou. Z vypočtených diferencí se vybere právě ta s nejvyšší hodnotou, v našem případě se jedná o sloupec I. Následně se vybere ve sloupci I právě ta sazba, která představuje nejnižší hodnotu, tj. 1. Už stačí jenom vyřadit sloupec I spolu s řádkem H a hodnotu, která může uzavřít okruh, aniž bychom navštívili všechna místa. V našem případě je to hodnota 0,7 v řádku I a sloupci H.

Tabulka 10 Vogelova aproximační metoda – 1. krok

(km)	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Dif
A	x	0,6	1	1,8	1,6	1,8	2,6	3,2	3,9	0,55	0,05
B	0,6	x	1	2,2	2	1,8	3	2,9	3,6	1,2	0,4
C	1	1	x	0,85	0,65	1,4	1,6	2,2	2,9	1,1	0,2
D	1,7	2,1	0,85	x	0,19	1,3	1	1,9	2,4	1,9	0,66
E	1,8	2,1	0,85	0,27	x	1,5	1	1,9	2,6	1,9	0,58
F	1,8	1,8	1,4	1,5	1,5	x	1,5	2,3	2,9	1,7	0,1
G	2,7	3	1,8	0,75	0,75	1,7	x	1,2	1,7	2,8	0
H	3,4	2,9	2,5	1,9	1,9	2,2	1,2	x	1	3,4	0,2
I	3,7	3,5	2,8	2,2	2,2	2,4	1,4	0,7	x	3,5	0,7
J	0,45	1	1,4	2,2	2	1,9	3	3,6	4,3	x	0,55
Dif	0,15	0,4	0	0,48	0,46	0,1	0	0,5	0,7	0,55	

Zdroj: vlastní tvorba

Vzniká první trasa z H (Sadová) → I (Hostinec U Císaře Rudolfa II).

Obrázek 8 Ilustrace dopravního spoje v 1. kroku

2. krok

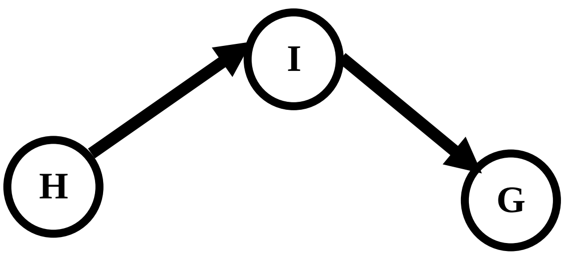
V druhém kroku se nesmí zapomenout na přepočtení diferencí. Nejvyšší diference vyšla v řádku I s hodnotou 0,8 a nejmenší sazbou 1,4. Tímto se napojuje další trasa z prvního kroku: I (Hostinec U Císaře Rudolfa II) → G (B. Němcové 242). Vzniká část nového okruhu H → I → G. Nesmí se rovněž zapomenout na vyřazení buňky v řádku G a sloupci H s hodnotou 1,2, která by mohla opět předčasně uzavřít okruh a ten by byl tvořen pouze dvěma zastávkami.

Tabulka 11 Vogelova aproximační metoda – 2. krok

(km)	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Dif
A	x	0,6	1	1,8	1,6	1,8	2,6	3,2	3,9	0,55	0,05
B	0,6	x	1	2,2	2	1,8	3	2,9	3,6	1,2	0,4
C	1	1	x	0,85	0,65	1,4	1,6	2,2	2,9	1,1	0,2
D	1,7	2,1	0,85	x	0,19	1,3	1	1,9	2,4	1,9	0,66
E	1,8	2,1	0,85	0,27	x	1,5	1	1,9	2,6	1,9	0,58
F	1,8	1,8	1,4	1,5	1,5	x	1,5	2,3	2,9	1,7	0,1
G	2,7	3	1,8	0,75	0,75	1,7	x	1,2	1,7	2,8	0
H	3,4	2,9	2,5	1,9	1,9	2,2	1,2	x	1	3,4	X
I	3,7	3,5	2,8	2,2	2,2	2,4	1,4	0,7	x	3,5	0,8
J	0,45	1	1,4	2,2	2	1,9	3	3,6	4,3	x	0,55
Dif	0,15	0,4	0	0,48	0,46	0,1	0	0,7	X	0,55	

Zdroj: vlastní tvorba

Obrázek 9 Ilustrace dopravního spoje v 2. kroku



3. krok

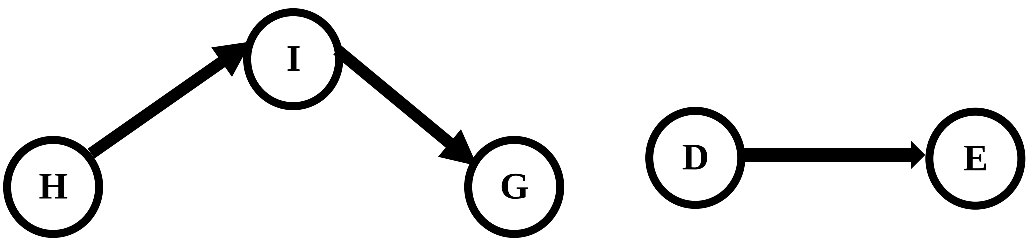
Ve třetím kroku se zjistí po přepočtení diferencí, nejvyšší hodnota v řádku D s nejmenší vzdáleností ve sloupci E spolu s nejnižší hodnotou 0,19. Následujícím krokem vzniká nová část okruhu, a to je spojení mezi D (Aquapark Příbram) → E (Divadlo A. Dvořáka). Opět se vyřadí společně se sloupcem E a řádkem D, buňka s hodnotou 0,27, která by novou část okruhu mohla uzavřít, a to ve směru z bodu E → D.

Tabulka 12 Vogelova aproximační metoda – 3. krok

(km)	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Dif
A	x	0,6	1	1,8	1,6	1,8	2,6	3,2	3,9	0,55	0,05
B	0,6	x	1	2,2	2	1,8	3	2,9	3,6	1,2	0,4
C	1	1	x	0,85	0,65	1,4	1,6	2,2	2,9	1,1	0,2
D	1,7	2,1	0,85	x	0,19	1,3	1	1,9	2,4	1,9	0,66
E	1,8	2,1	0,85	0,27	x	1,5	1	1,9	2,6	1,9	0,58
F	1,8	1,8	1,4	1,5	1,5	x	1,5	2,3	2,9	1,7	0,1
G	2,7	3	1,8	0,75	0,75	1,7	x	1,2	1,7	2,8	0
H	3,4	2,9	2,5	1,9	1,9	2,2	1,2	x	1	3,4	X
I	3,7	3,5	2,8	2,2	2,2	2,4	1,4	0,7	x	3,5	X
J	0,45	1	1,4	2,2	2	1,9	3	3,6	4,3	x	0,55
Dif	0,15	0,4	0	0,48	0,46	0,1	X	0	X	0,55	

Zdroj: vlastní tvorba

Obrázek 10 Ilustrace dopravního spoje ve 3. kroku



4. krok

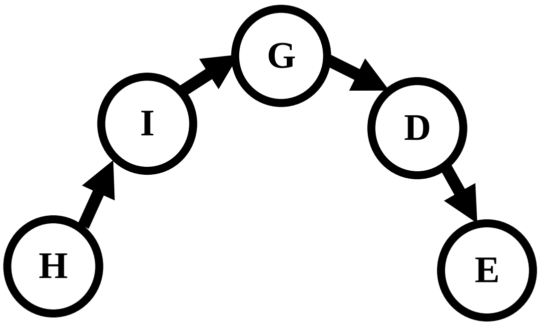
Ve čtvrtém kroku po přepočtení diferencí, se nachází nejvyšší hodnota diference v řádku G s hodnotou buňky 0,75. Tento krok zobrazuje napojení dvou částí okruhů do sebe z předešlého třetího kroku. Propojení vzniká směrem z bodu G (B. Němcové 242) → D (Aquapark Příbram). Vyřazuje se sloupec D spolu s řádkem G a s buňkou, která může uzavřít předčasně okruh ve směru z E → H, jehož hodnota je 1,9.

Tabulka 13 Vogelova aproximační metoda – 4. krok

(km)	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Dif
A	x	0,6	1	1,8	1,6	1,8	2,6	3,2	3,9	0,55	0,05
B	0,6	x	1	2,2	2	1,8	3	2,9	3,6	1,2	0,4
C	1	1	x	0,85	0,65	1,4	1,6	2,2	2,9	1,1	0,15
D	1,7	2,1	0,85	x	0,19	1,3	1	1,9	2,4	1,9	X
E	1,8	2,1	0,85	0,27	x	1,5	1	1,9	2,6	1,9	0,65
F	1,8	1,8	1,4	1,5	1,5	x	1,5	2,3	2,9	1,7	0,1
G	2,7	3	1,8	0,75	0,75	1,7	x	1,2	1,7	2,8	0,95
H	3,4	2,9	2,5	1,9	1,9	2,2	1,2	x	1	3,4	X
I	3,7	3,5	2,8	2,2	2,2	2,4	1,4	0,7	x	3,5	X
J	0,45	1	1,4	2,2	2	1,9	3	3,6	4,3	x	0,55
Dif	0,15	0,4	0,15	0,1	X	0,1	X	0,3	X	0,55	

Zdroj: vlastní tvorba

Obrázek 11 Ilustrace dopravního spoje ve 4. kroku



7.krok

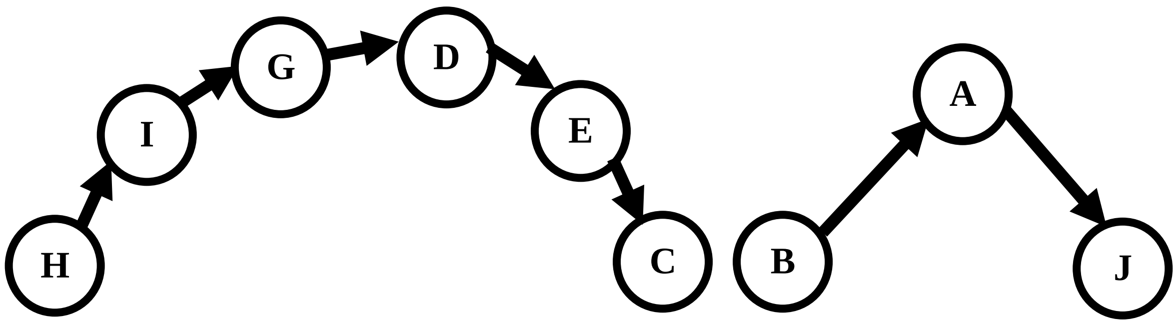
V sedmém kroku po přepočtení diferencí se nachází největší v řádku A s nejnižší hodnotou buňky 0,55. Představuje to spojení z místa A (Jiráskovy sady) → J (HABiBi Shisha bar & Lounge). Vzniká nová část okruhu. Nyní jsou dva okruhy, které se na závěr propojí. Musí se pořád dávat pozor, aby se okruhy předčasně neuzavřely za pomoci vyřazení zpáteční cesty z místa J → B.

Tabulka 14 Vogelova aproximační metoda – 7. krok

(km)	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	D.if
A	x	0,6	1	1,8	1,6	1,8	2,6	3,2	3,9	0,55	1,25
B	0,6	x	1	2,2	2	1,8	3	2,9	3,6	1,2	X
C	1	1	x	0,85	0,65	1,4	1,6	2,2	2,9	1,1	0,1
D	1,7	2,1	0,85	x	0,19	1,3	1	1,9	2,4	1,9	X
E	1,8	2,1	0,85	0,27	x	1,5	1	1,9	2,6	1,9	X
F	1,8	1,8	1,4	1,5	1,5	x	1,5	2,3	2,9	1,7	0,1
G	2,7	3	1,8	0,75	0,75	1,7	x	1,2	1,7	2,8	X
H	3,4	2,9	2,5	1,9	1,9	2,2	1,2	x	1	3,4	X
I	3,7	3,5	2,8	2,2	2,2	2,4	1,4	0,7	x	3,5	X
J	0,45	1	1,4	2,2	2	1,9	3	3,6	4,3	x	0,9
Dif	X	0	X	X	X	0,4	X	0,1	X	0,55	

Zdroj: vlastní tvorba

Obrázek 12 Ilustrace dopravního spoje v 7. kroku



8.krok

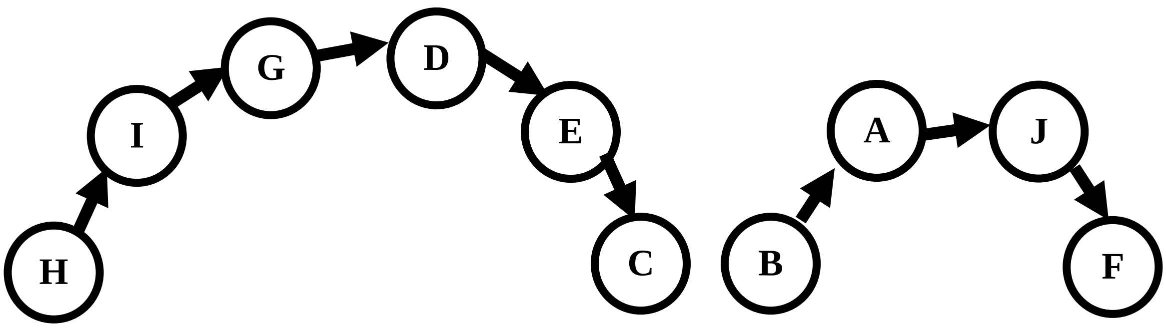
V osmém kroku za pomoci přepočtených diferencí se zjistila největší diferenci v řádku J a vybrala se poslední zbývající buňka se vzdáleností 1,9. Pomocí tohoto kroku jsme doplnili druhou část spojení z místa J (HABiBi Shisha bar & Lounge) → F (Mini golf) a vyřadil se sloupec F spolu s řádkem J a buňkou, která by mohla uzavřít druhou část okruhu z místa F → B.

Tabulka 15 Vogelova aproximační metoda – 8. krok

(km)	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	D.if
A	x	0,6	1	1,8	1,6	1,8	2,6	3,2	3,9	0,55	X
B	0,6	x	1	2,2	2	1,8	3	2,9	3,6	1,2	X
C	1	1	x	0,85	0,65	1,4	1,6	2,2	2,9	1,1	0,4
D	1,7	2,1	0,85	x	0,19	1,3	1	1,9	2,4	1,9	X
E	1,8	2,1	0,85	0,27	x	1,5	1	1,9	2,6	1,9	X
F	1,8	1,8	1,4	1,5	1,5	x	1,5	2,3	2,9	1,7	0,5
G	2,7	3	1,8	0,75	0,75	1,7	x	1,2	1,7	2,8	X
H	3,4	2,9	2,5	1,9	1,9	2,2	1,2	x	1	3,4	X
I	3,7	3,5	2,8	2,2	2,2	2,4	1,4	0,7	x	3,5	X
J	0,45	1	1,4	2,2	2	1,9	3	3,6	4,3	x	1,7
Dif	X	0,8	X	X	X	0,4	X	0,1	X	X	

Zdroj: vlastní tvorba

Obrázek 13 Ilustrace dopravního spoje v 8. kroku



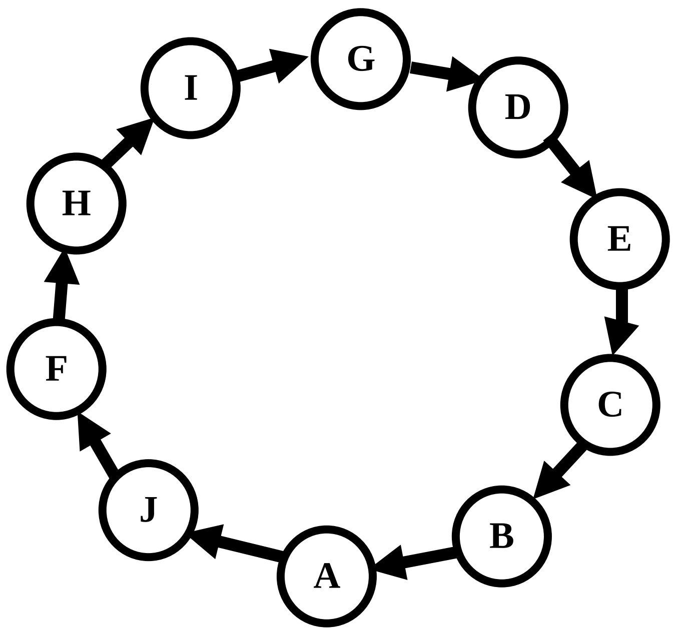
10.krok

V desátém výsledném kroku se uzavřel celý okruh. Výpočet posledních dvou kroků nebylo potřebné uvádět na základě zbývajících dvou buněk, které doplnily celý okruh. Poslední propojení dvou zbylých míst je z místa F (Mini golf) → H (Sadová). Už stačí jenom sečíst hodnoty všech navštívených míst rozvozu a zjistí se, že výsledná trasa měří 10,54 km. Tento výsledek vyšel nejlepším v této metodě za pomocí programu TSPKOSA. Zbylé výsledky pomocí programu budou vypsány níže.

Výsledná trasa:

Sadová → Hostinec u Císaře Rudolfa II → B. Němcové 242 → Aquapark Příbram → Divadlo A. Dvořáka → Zmrzlina Ryneček → Billiard Club bar → Jiráskovy sady (Wokno) → Habibi Shisha bar & lounge → Mini golf → Sadová

Obrázek 14 Ilustrace dopravního spoje ve výsledném kroku (Vogelova metoda)



Výsledky získané pomocí programu TSPKOSA

Za pomocí programu TSPKOSA se získalo 5 vypočtených okruhů. Nejlepší výsledek se spočítal na ukázkovém příkladu a délka trasy měřila 10,54km.

Vogelova aproximační metoda pro ODP,

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 1,

Počet nalezených shodných okruhů: 2.

Nejkratší trasa pomocí TSPKOSY:

Z_min = 10,54; (F) - (H) - (I) - (G) - (D) - (E) - (C) - (B) - (A) - (J) - (F).

Ostatní výsledné okruhy:

Tabulka 16 Výsledky programu TSPKOSA – Vogelova aproximační metoda

Vzdálenost v km	Testované cykly
10,54	(F) - (H) - (I) - (G) - (D) - (E) - (C) - (B) - (A) - (J) - (F)
10,64	(F) - (I) - (H) - (G) - (D) - (E) - (C) - (B) - (A) - (J) - (F)
10,99	(C) - (D) - (E) - (G) - (I) - (H) - (F) - (B) - (A) - (J) - (C)
10,99	(C) - (D) - (E) - (G) - (I) - (H) - (F) - (B) - (A) - (J) - (C)
10,99	(G) - (I) - (H) - (F) - (B) - (A) - (J) - (C) - (D) - (E) - (G)

Zdroj: vlastní tvorba

Nejkratší okruh z místa rozvozu(Wokno):

Jiráskovy sady (Wokno) → Habibi Shisha bar & lounge → Mini golf → Sadová → Hostinec u Císaře Rudolfa II → B. Němcové 242 → Aquapark Příbram → Divadlo A. Dvořáka → Zmrzlina Ryneček → Billiard Club bar → Jiráskovy sady (Wokno).

Výsledky dalších testovaných cyklů jsou vzdáleností hodně podobné. Při výběru trasy je využita nejkratší trasa se vzdáleností 10,54km za předpokladu normálního provozu. Kdyby však nastala dopravní špička, dala by se použít i jakákoliv další trasa vzhledem k zanedbatelné vzdálenosti nejkratší a nejdelší trasy, jejichž rozdíl tvoří 0,45km.

4.3.3 Optimalizace pomocí metody výhodnostních čísel

Metoda výhodnostních čísel byla spočtena a interpretována za pomoci programu TSPKOSA. Následně bylo seřazeno 10 výsledných okruhů do tabulky.

Metoda výhodnostních čísel – paralelně:

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 2,

Počet nalezených shodných okruhů: 4.

Nejkratší trasa pomocí TSPKOSY:

Z_min = 10,27; (F) - (J) - (A) - (B) - (C) - (E) - (D) - (G) - (H) - (I) - (F).

Ostatní výsledné okruhy:

Tabulka 17 Výsledky programu TSPKOSA – metoda výhodnostních čísel

Vzdálenost v km	Testované cykly
10,27	(F) - (J) - (A) - (B) - (C) - (E) - (D) - (G) - (H) - (I) - (F)
10,39	(B) - (C) - (D) - (E) - (G) - (I) - (H) - (F) – (J) - (A) - (B)
10,39	(J) - (A) - (B) - (C) - (D) - (E) - (G) - (H) - (I) - (F) - (I)
10,44	(C) - (J) - (A) - (B) - (F) - (H) - (I) - (G) - (D) - (E) - (C)
10,44	(H) - (I) - (G) - (D) - (E) - (C) - (J) - (A) - (B) - (F) - (H)
10,44	(A) - (B) - (F) - (H) - (I) - (G) - (D) - (E) - (C) - (J) - (A)
10,54	(A) - (J) - (F) - (H) - (I) - (G) - (D) - (E) - (C) - (B) - (A)
10,67	(D) - (I) - (H) - (G) - (F) - (J) - (A) - (B) - (C) - (E) - (D)
10,67	(E) - (D) - (H) - (I) - (G) - (F) - (J) - (A) - (B) - (C) - (E)
11,94	(E) - (D) - (H) - (I) - (G) - (F) - (J) - (A) - (B) - (C) - (E)

Zdroj: vlastní tvorba

Nejkratší výsledná trasa měří 10,27km, je to stejný výsledek jako u metody nejbližšího souseda. Naopak nejdelší trasou vyšla se vzdáleností 11,94km.

Nejkratší okruh z místa rozvozu (Wokno):

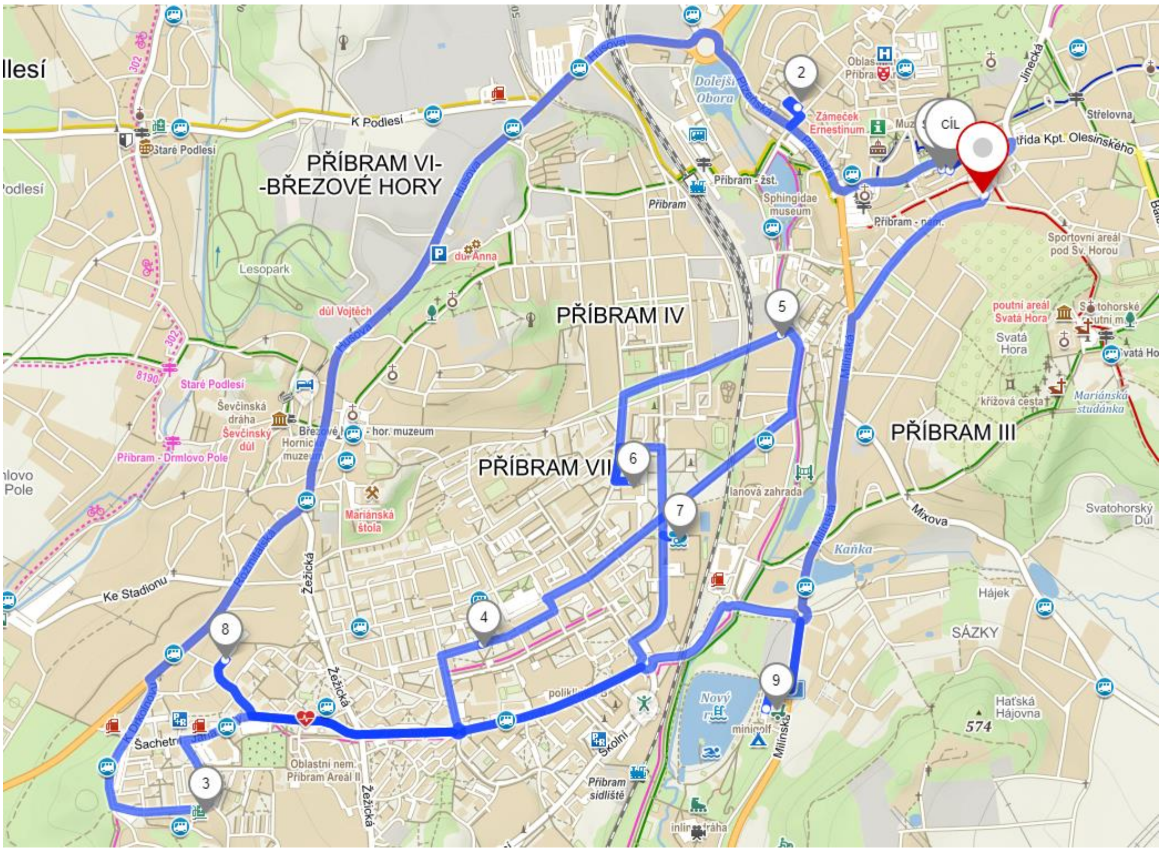
Jiráskovy sady (Wokno) → Billiard Club bar → Zmrzlina Ryneček → Divadlo A. Dvořáka → Aquapark Příbram → B. Němcové 242 → Sadová → Hostinec u Císaře Rudolfa II → Mini golf → Habibi Shisha bar & lounge → Jiráskovy sady (Wokno).

4.3.4 Původní trasa

Stará trasa, která míří přes město Příbram, je dlouhá 14,7 km. Její zastávky jsou plynule za sebou z výchozího bodu (Wokna): Jiráskovy sady (Wokno) → Billiard Club bar → Hostinec u Císaře Rudolfa II → B. Němcové 242 → Zmrzlina Ryneček → Divadlo A. Dvořáka → Aquapark Příbram → Sadová → Mini golf → Habibi Shisha bar & lounge → Jiráskovy sady (Wokno).

Tato trasa je neoptimalizovaná a ježděná na základě zkušeností řidiče a jeho znalosti města. Auto sloužící na rozvoz je Daihatsu Cuore.

Obrázek 15   Původní trasa



Zdroj: [13]

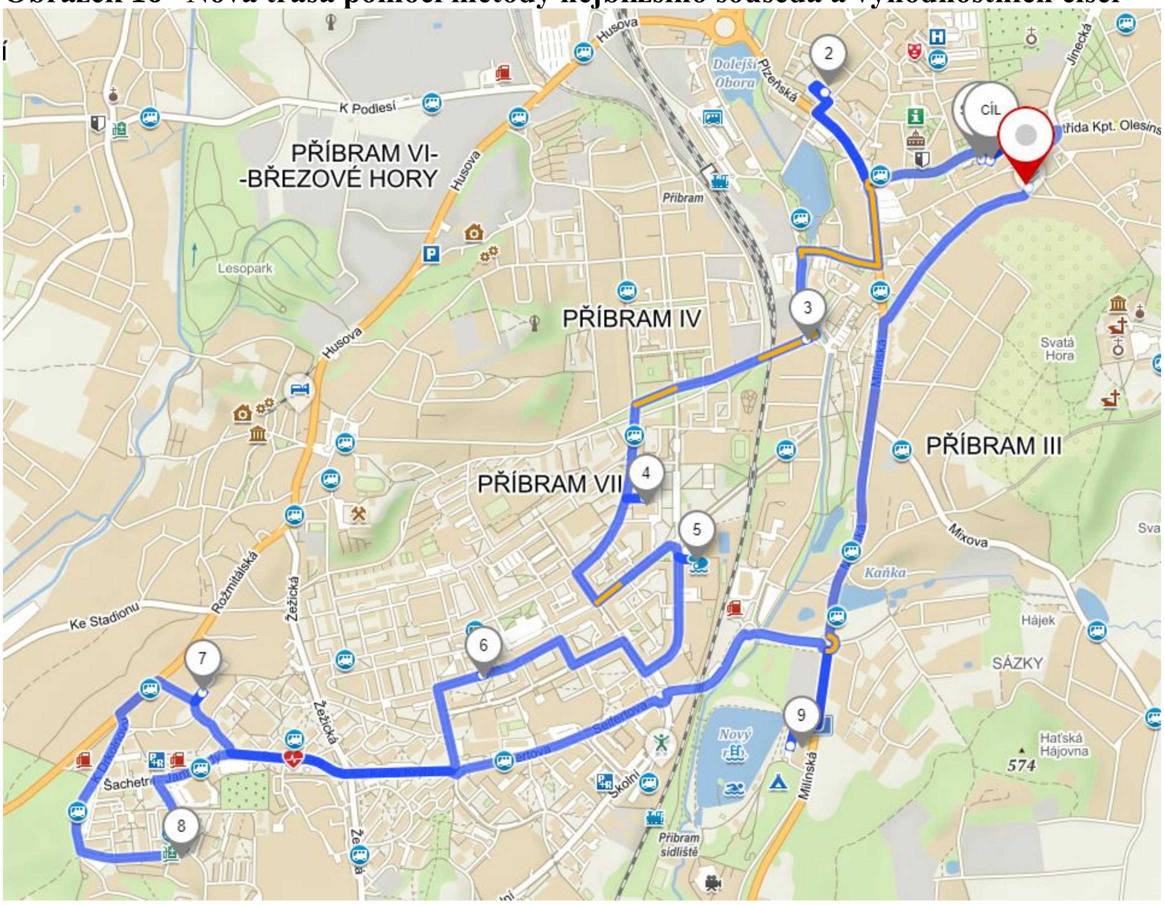
5 Zhodnocení výsledků

Na základě zpracování tří aproximačních metod vyšlo několik možných výsledků. Všechny tři metody mohly ukázat různé výsledky. Dvě metody ukázaly dva totožné výsledky, konkrétně metoda nejbližšího souseda a metoda výhodnostních čísel, oproti poslední metodě (Vogelovy aproximační metody), jejíž nejlepší trasa vyšla o něco horší než u ostatních metod.

Nejlepší vypočtená trasa dosahuje 10,27 km a díky tomu došlo za pomoci dvou už zmíněných metod, metodě nejbližšího souseda a metody výhodnostních čísel. Vypočtený okruh má totožně na sebe navazující zastávky a nijak se neliší. Jejich zastávky s počátkem v našem podniku (Wokno): Jiráskovy sady (Wokno) → Billiard Club bar → Zmrzlina Ryneček → Divadlo A. Dvořáka → Aquapark Příbram → B. Němcové 242 → Sadová → Hostinec u Císaře Rudolfa II → Mini golf → Habibi Shisha bar & lounge → Jiráskovy sady (Wokno).

Grafické znázornění:

Obrázek 16 Nová trasa pomocí metody nejbližšího souseda a vyhodnostních čísel

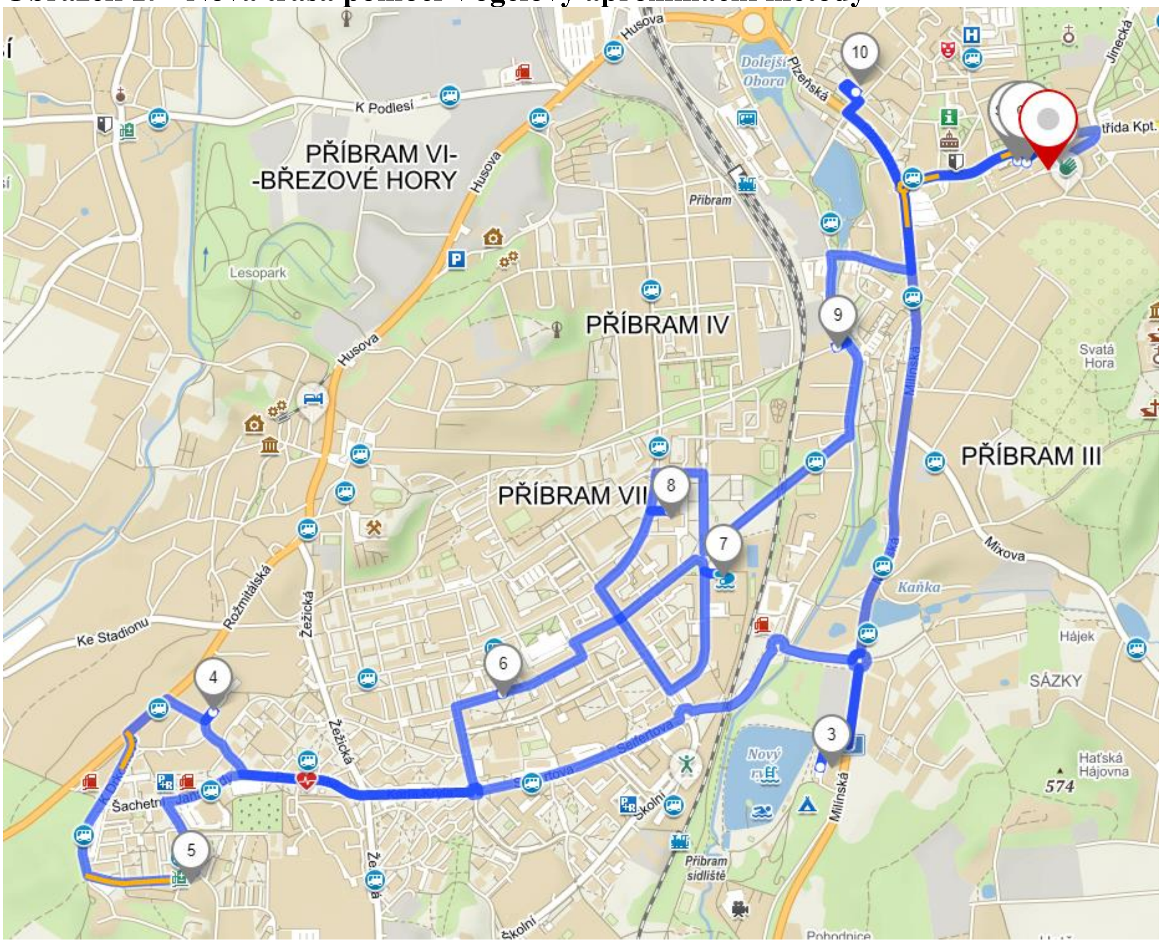


Zdroj: [13]

Znázorněná trasa je nejkratší vypočtená a tu by měl podnik volit za účelem ušetření nákladů ve firmě. Ve výpočtech výše máme několik podobných tras, které jsou sice o desetiny kilometrů delší, ale mohou se využít při velké dopravní komplikaci.

Pomocí Vogelovy aproximační metody byla zjištěna jedna z nejkratších tras. Tato trasa měří 10,54 km. Můžeme tím tedy konstatovat, že je delší o 0,27km, než vypočítaná trasa metodou nejbližšího souseda a výhodnostních čísel, ale její využití podnik může opět najít, a to při zvýšené dopravě. Celý okruh z výchozího místa (Wokno) vypadá následovně: Jiráskovy sady (Wokno) → Habibi Shisha bar & lounge → Mini golf → Sadová → Hostinec u Císaře Rudolfa II → B. Němcové 242 → Aquapark Příbram → Divadlo A. Dvořáka → Zmrzlina Ryneček → Billiard Club bar → Jiráskovy sady (Wokno).
Grafické znázornění:

Obrázek 17 Nová trasa pomocí Vogelovy aproximační metody



Zdroj: [13]

Pomocí této metody sice trasa vyšla o 0,27km delší, ale opět se může konstatovat, že při dopravní kolizi se dá tato trasa využít, díky malému rozdílu vzdáleností.

Posledním bodem zájmu je finanční hledisko. Po osobní konzultaci s majitelem se zjistilo, že podnik řeší rozvoz osobním automobilem Daihatsu Cuore, který je přezdívaný Woky. Jeho spotřeba je 6,1 litru / 100 km benzínu po městě, a s tím se také bude pracovat.

Původní trasa měřila 14,7km, a když se spočtou náklady na provoz staré trasy s nynější cenou pohonných hmot, v našem případě benzínu, jeho cena za jeden litr na Příbramsku je 27,2 Kč. Jedna trasa nás bude stát 24,39 Kč.

Nová kratší trasa měří už pouhých 10,27 km a s ohledem na stejnou cenu benzínu nás jedna cesta se stejnou trasou vyjde na 17,04kč. Ostatní výsledky jsou pro přehled shrnuty v následující tabulce 18.

Tabulka 18 Finanční porovnání

	Náklady na jednu trasu	Úspora v %
	Údaje v jednotkách - Kč	
Původní trasa	24,39	X
Metoda nejbližšího souseda	17,04	30,14
Vogelova aproximační metoda	17,49	28,29
Metoda výhodnostních čísel	17,04	30,14

Zdroj: vlastní tvorba

Z tabulky 18 už se může vyčíst vše potřebné k vypočtení ročních nákladů. Trasa pro rozvoz jídla je využívaná v průměru 12x do měsíce, ročně to činí 144x realizace trasy.

Původní trasa vyšla na realizaci jednoho okruhu 24,39 kč, a to činí ročně 3512,16 kč.

Nejkratší trasa pomocí metody nejbližšího souseda a metody vyhodnostních čísel vyšla realizací jednoho okruhu na 17,04 kč, což za rok činí 2453,76 kč.

Z vypočtených výsledků se dá konstatovat, že podnik by měl novou kratší trasu začít využívat, jelikož se roční náklady na rozvoz sníží o 1058,4 Kč. Nově ušetřené peníze se mohou využít na další podnikatelské účely, nebo se jenom zvednou zisky z prodeje. To už závisí na rozhodnutí majitele.

6 Závěr

Celkovým obsahem této práce bylo, jak zjednodušit okružní dopravní problém pro novou firmu Wokno street food, která působí v oblasti gastronomie a poskytuje služby rozvozu pokrmů. Od majitele byla zadána jedna z nejvyužívanějších tras a ta se za pomoci optimalizačních metod pokusila co nejvíce zefektivnit. V samotném závěru práce byla porovnána stará trasa s novou efektivnější a ukázaly se rozdíly ve vzdálenosti a samotné finanční úlevě.

V první části práce byly popsány informace z teorie. Nastínily se pojmy jako doprava, logistika, distribuční a dopravní modely a samotný okružní dopravní problém s popisem metod, za jejichž pomoci byla řešena daná problematika.

V druhé části neboli praktické části se začalo přímo s reálným řešením problému od Firmy Wokno street food. Pomocí tří metod se mohla zadaná trasa zefektivnit (Vogelova aproximační metoda, metoda nejbližšího souseda, metoda výhodnostních čísel).

Bylo zjištěno hned několik okruhů, které zlepšily původní trasu o 4,43 km a tím se i snížily náklady o 7,35 Kč na jednu okružní trasu v tom nejlepším případě. Trasa je vysoce využívaná podnikem a ročně se na ní může ušetřit 1058,4 Kč. Z pohledu podniku to sice není ekonomicky tolik významné, ale při optimalizování dalších okružních tras se může ušetřená částka vyšplhat až na několik tisíc korun, a to už může být pro podnik ekonomicky zajímavé.

Toto téma je velice důležité pro firmy, které jsou závislé na dopravě a jejich hlavním cílem by mělo být co největší snižování dopravních nákladů, které pomocí optimalizačních metod dlouhodobě pomáhají s úsporou financí a rychlejším růstem firmy či zisků.

7 Seznam použitých zdrojů

1. APPLEGATE, David L. *The traveling salesman problem: a computational study*. Princeton: Princeton University Press, 2006. ISBN 978-0-691-12993-8.

2. BROŽOVÁ, Helena a Milan HOUŠKA. *Základní metody operační analýzy*. Praha: Credit, 2002. ISBN 80-213-0951-2.

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

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

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

6. SVOBODA, Vladimír. *Dopravní logistika*. V Praze: Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN 80-010-2914-X.

7. ŠTŮSEK, Jaromír. *Logistický management*. V Praze: Česká zemědělská univerzita, Provozně ekonomická fakulta, Katedra řízení, 2005. ISBN 80-213-1259-9.

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

9. ZÍSKAL, Jan. *Ekonomicko matematické metody: studijní texty pro distanční studium*. Vyd. 2. Praha: Credit, 2000. ISBN 978-80-213-0664-6.

10. ZÍSKAL, Jan. *Ekonomicko matematické metody: studijní texty pro distanční studium : určeno pro posluchače PEF*. Vyd. 2. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2001. ISBN 80-213-0761-7.

Elektronické zdroje:

11. Engineering, Technology & Applied Science Research [online] Vol. 3, No. 2, 2013, 413-415 [cit. 2020-11-20]. ISSN (e-journal): 1792-8036
Dostupné z:https://www.etasr.com/index.php/ETASR

12. KREJČÍ, I., KUČERA, P., VYDROVÁ, H. Program TSPKOSA. Vytvořeno s podporou Fondu rozvoje vysokých škol, projekt 2678/2010.

13. Mapy.cz [online]. [cit. 2020-09-20]. Mapy.
Dostupné z: Mapy.cz