

Česká zemědělská univerzita v Praze

Provozně ekonomická fakulta

Katedra systémového inženýrství



Bakalářská práce

Optimalizace tras pro cestovní kanceláře

Martin Rejlek

© 2021 ČZU v Praze

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Martin Rejlek

Veřejná správa a regionální rozvoj – k.s. Jičín

Název práce

Optimalizace tras pro cestovní kanceláře

Název anglicky

Optimization of Routes for Travel Agencies

Cíle práce

Cílem této bakalářské práce je optimalizace trasy pro cestovní kancelář pomocí vybraných metod.

Metodika

Práce bude rozdělena na část teoretickou a na část praktickou. V první části bude vypracován přehled a popis vybraných metod, které budou použity na konkrétním případě v praktické části práce. Tyto vypočtené optimální trasy budou poté porovnány s původní trasou okružního dopravního problému.

Doporučený rozsah práce

30-40 stran

Klíčová slova

aproximační metody, cestovní kancelář, okružní dopravní problém, optimalizace, operační analýza

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.
- COOK, W. *Po stopách obchodního cestujícího : matematika na hranicích možností*. Praha: Dokořán, 2012. ISBN 978-80-7363-412-4.
- ŠUBRT, T. *Ekonomicko-matematické metody*. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, s.r.o., 2015. ISBN 978-80-7380-563-0.

Předběžný termín obhajoby

2020/21 LS – PEF

Vedoucí práce

RNDr. Petr Kučera, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra systémového inženýrství

Elektronicky schváleno dne 19. 1. 2021

doc. Ing. Tomáš Šubrt, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 22. 1. 2021

Ing. Martin Pelikán, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 24. 02. 2021

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Optimalizace tras pro cestovní kanceláře" 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 15. 3. 2021

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval panu RNDR. Petru Kučerovi, Ph.D. za jeho ochotu přístup a cenné rady, které mi velmi pomohly při zpracování této závěrečné práce.

Optimalizace tras pro cestovní kanceláře

Abstrakt

Tato bakalářská práce na téma „Optimalizace tras pro cestovní kanceláře“ se zabývá problematikou okružního dopravního problému, který je také někdy nazýván problémem obchodního cestujícího. Cílem práce je nalezení optimálního řešení pro konkrétní trasu vybraného zájezdu cestovní kanceláře.

V první, teoretické, části práce je popsán nástin dopravní logistiky, dopravní úlohy a výše zmíněného problému. Tato část pak dále popisuje vybrané metody vhodné pro řešení tohoto typu úloh – metodu nejbližšího souseda, Vogelovu aproximační metodu a metodu výhodnostních čísel.

Druhá část této práce se věnuje praktické aplikaci výše zmíněných aproximačních metod. V úvodu této části je také krátce představena samotná cestovní kancelář, nabízený zájezd a konečně řešení této úlohy.

Třetí a poslední část je věnována souhrnu výsledků jednotlivých metod a jejich porovnání s reálně využívanou trasou.

Klíčová slova: cestovní kancelář, optimalizace tras, aproximační metody, metoda nejbližšího souseda, Vogelova aproximační metoda, metoda výhodnostních čísel

Optimization of Routes for Travel Agencies

Abstract

This Bachelor Thesis on „Optimalization of Routes for Travel Agencies“ deals with the solution of the transport problem, which is also known as the Travelling Salesman Problem. The purpose of this work is to find the optimal solution for concrete excursion trip of a travel agency.

The first, theoretical, part of the thesis describes the basics of transport logistics, transport tasks and the above-mentioned problem. This part also describes methods used for solving this type of tasks – nearest neighbour method, Vogel approximation method and Clark-Wright savings method.

The second part is mainly focused on application of these methods. There is brief introduction of a travel agency and trip itself and the final solution for this problem.

The last, third part, summarizes the results of used methods and compares them with route used in real life.

Keywords: travel agency, approximation methods, traveling salesman problem, route optimalization, nearest neighbour method, Vogel approximation method, Clark-Wright savings method

Obsah

1 Úvod.....	11
2 Cíl práce a metodika.....	12
2.1 Cíl práce	12
2.2 Metodika	12
3 Teoretická východiska	13
3.1 Logistika.....	13
3.1.1 Definice logistiky	13
3.1.2 Dopravní logistika	14
3.2 Jednostupňová dopravní úloha	14
3.3 Okružní dopravní problém.....	15
3.3.1 Matematická formulace	17
3.4 Řešení okružního dopravního problému	18
3.4.1 Řešení pomocí SW nástroje TSPKOSA.....	19
3.5 Vybrané metody.....	19
3.5.1 Metoda nejbližšího souseda (MNS).....	19
3.5.2 Vogelova aproximační metoda (VAM).....	20
3.5.3 Metoda výhodnostních čísel (Clark-Wrightova).....	21
4 Analytická část.....	22
4.1 Informace o cestovní kanceláři	22
4.2 Popis vybraného zájezdu „Benelux – velký okruh“	22
4.3 Tabulka vzdáleností.....	24
4.4 Původní trasa	26
4.5 Výpočet metodou nejbližšího souseda	27
4.6 Výpočet Vogelovou aproximační metodou.....	30
4.7 Výpočet metodou výhodnostních čísel	38
4.8 Výsledky pomocí programu TSPKOSA	40
5 Zhodnocení a doporučení	42
6 Závěr.....	44
7 Seznam použitých zdrojů.....	45
8 Přílohy	46

Seznam obrázků

Obrázek 1 Jednostupňový dopravní problém.....	15
Obrázek 2 Okružní dopravní problém s úplnou, nebo neúplnou sítí cest.....	16
Obrázek 3 Původní trasa zájezdu	26
Obrázek 4 Metoda nejbližšího souseda – krok 1 – znázornění trasy.....	27
Obrázek 5 Metoda nejbližšího souseda – krok 2 – znázornění trasy.....	28
Obrázek 6 Metoda nejbližšího souseda – krok 12 - znázornění cesty	29
Obrázek 7 Metoda nejbližšího souseda – krok 12 zpětný průchod – znázornění cesty	29
Obrázek 8 Vogelova aproximační metoda – krok 1 – znázornění cesty.....	31
Obrázek 9 Vogelova aproximační metoda – krok 2 – znázornění cesty.....	32
Obrázek 10 Vogelova aproximační metoda – krok 3 – znázornění cesty	33
Obrázek 11 Vogelova aproximační metoda – krok 4 - znázornění cesty	33
Obrázek 12 Vogelova aproximační metoda – krok 5 - znázornění cesty	34
Obrázek 13 Vogelova aproximační metoda – krok 6 - znázornění cesty	35
Obrázek 14 Vogelova aproximační metoda – krok 7 - znázornění cesty	35
Obrázek 15 Vogelova aproximační metoda – krok 8 - znázornění cesty	36
Obrázek 16 Vogelova aproximační metoda – krok 9 - znázornění cesty	37
Obrázek 17 Vogelova aproximační metoda – krok 10 - znázornění cesty	37
Obrázek 18 Vogelova aproximační metoda – znázornění výsledné cesty	38
Obrázek 19 Metoda výhodnostních čísel – krok 1 - znázornění cesty	39
Obrázek 20 Metoda výhodnostních čísel – krok 2 - znázornění cesty	40
Obrázek 21 Metoda výhodnostních čísel – nejvýhodnější řešení	40
Obrázek 22 Report TSPKOSA – metoda nejbližšího souseda	41
Obrázek 23 Report TSPKOSA – Vogelova aproximační metoda	41
Obrázek 24 Report TSPKOSA – metoda výhodnostních čísel.....	41

Seznam tabulek

Tabulka 1 Seznam měst zájezdu	24
Tabulka 2 Výchozí matice sazeb.....	25
Tabulka 3 Upravená (zaokrouhlená) matice sazeb	25
Tabulka 4 Metoda nejbližšího souseda – krok 1	27
Tabulka 5 Metoda nejbližšího souseda – krok 2	28
Tabulka 6 Metoda nejbližšího souseda – krok 12.....	28
Tabulka 7 Metoda nejbližšího souseda – krok 12 zpětný průchod	29
Tabulka 8 Výsledné trasy metodou nejbližšího souseda.....	30
Tabulka 9 Výsledné trasy metodou nejbližšího souseda – zpětný průchod.....	30
Tabulka 10 Vogelova aproximační metoda – krok 1	31
Tabulka 11 Vogelova aproximační metoda – krok 2.....	32
Tabulka 12 Vogelova aproximační metoda – krok 3.....	32
Tabulka 13 Vogelova aproximační metoda – krok 4.....	33
Tabulka 14 Vogelova aproximační metoda – krok 5.....	34
Tabulka 15 Vogelova aproximační metoda – krok 6.....	34
Tabulka 16 Vogelova aproximační metoda – krok 7.....	35
Tabulka 17 Vogelova aproximační metoda – krok 8.....	36
Tabulka 18 Vogelova aproximační metoda – krok 9.....	36
Tabulka 19 Vogelova aproximační metoda – krok 10.....	37
Tabulka 20 Část matice sazeb – ukázka výpočtu výhodnostní matice	38
Tabulka 21 Ukázka výpočtu části výhodnostní matice pro F_0	39

Tabulka 22 Metoda výhodnostních čísel – matice výhodností pro F_0 – krok 1	39
Tabulka 23 Metoda výhodnostních čísel – matice výhodností pro F_0 – krok 2	40
Tabulka 24 Porovnání tras	42
Tabulka 25 Rozdíly mezi trasami.....	42

1 Úvod

S uvolněním hranic po roce 1989 vzrostl zájem o cestování a poznávání zahraničních destinací. Se vstupem České republiky do Evropské unie a tzv. Schengenského prostoru se pak stalo vycestování do ostatních států v rámci tohoto společenství ještě jednodušší. Vzhledem k tomu, že v rámci Schengenského prostoru je zaručen volný pohyb osob a zboží, odpadly tak někdy zdlouhavé a stresující kontroly na hraničních přechodech.

Na rozkvět cestování má vliv i zvyšování důchodů (příjmů) obyvatel. Dalším důvodem může být zjednodušení v podobě společné měny euro, které je oficiálním platidlem ve většině členských zemí. I když Česká republika prozatím Euro nezavedla, je existence společné měny příjemná i pro nás, kdy nám na delší cestu přes více států stačí platidla jedné měny. A v dnešní době již ani nemusíme peníze měnit před cestou ve specializovaných směnárnách a můžeme jen využívat služeb platebních terminálů či bankomatů.

Vzhledem k tomu, že nemalá část cestovatelů se nespokojí pouze s koupáním v moři či hotelovém bazénu, roste obliba i tzv. poznávacích zájezdů. Tyto zájezdy umožňují cestovatelům poznat daleko lépe destinaci. V programu těchto zájezdů je i poznávání typické gastronomie a kulturních památek.

Hlavním cílem firmy je maximalizace zisku. Vzhledem k vysoké konkurenci mezi cestovními kancelářemi není možné libovolně zvyšovat ceny těchto zájezdů a dosahovat maximalizace zisku pouze tímto krokem. Nabízení horších a levnějších stravovacích nebo ubytovacích služeb také není řešením. Jednotlivé cestovní kanceláře se tak soustředí na kontrolu nákladů v podobě snížených nákladů za dopravu. Tohoto kroku je možné docílit využitím úspornějších (novějších) dopravních prostředků anebo i optimalizací vybrané trasy. Optimalizace tras hraje klíčovou roli v úspoře nákladů na dopravu.

Jak je již z názvu této závěrečné práce patrné, budou v ní využity aproximační metody aplikované na tzv. okružní dopravní problém. S jejich pomocí můžeme zjistit, zda aktuálně naplánovanou trasu můžeme považovat za optimální, nebo zda najdeme jinou variantu, která bude výhodnější.

2 Cíl práce a metodika

2.1 Cíl práce

Cílem práce je na základě použití vybraných aproximačních metod nalezení řešení vybraného okružního dopravního problému cestovní kanceláře a zjištění, zda je aktuálně využívána ekonomicky nejvýhodnější trasa, nebo je možné tuto trasu optimalizovat a doporučit tak výhodnější trasu.

V závěru práce budou získané alternativy ke stávající trase předloženy cestovní kanceláři k posouzení.

2.2 Metodika

Práce bude vypracována za pomoci odborné a doporučené literatury, která je zaměřena na dopravní logistické problémy. V této části práce budou vysvětleny pojmy jako je logistika, jednostupňový dopravní problém, okružní dopravní problém a podrobněji budou rozebrány zejména vybrané metody pro řešení jednookruhového okružního problému, kterému se budeme věnovat i v praktické části práce.

Druhá část práce se bude věnovat praktickým výpočtům, kde budou jednotlivé aproximační metody použity na konkrétním příkladu, u kterého se bude hledat optimální řešení jednookruhového okružního problému.

V poslední, třetí, části práce dojde ke zhodnocení zjištěných výsledků a k porovnání s aktuální trasou, kterou v současné chvíli cestovní kancelář využívá.

3 Teoretická východiska

3.1 Logistika

Logistika a doprava se zabývá metodami řízení a analytickými technikami v oblasti dopravy a logistiky. Jde o řízení dopravních a skladovacích činností organizace, která zahrnuje řízení materiálových, informačních a finančních toků tak, aby byly uspokojeny požadavky zákazníka. Cílem logistiky je zajistit, aby správný zákazník obdržel ve správnou dobu, ve správném okamžiku a na správném místě správné zboží nebo službu ve správné kvalitě a správném množství. To vše při vynaložení přiměřených nákladů.

Se zvyšující se důležitostí logistiky se začaly postupně rozvíjet i metody a postupy, které vedou k optimalizaci navázaných logistických činností, ať už z pohledu minimalizace vynaložených nákladů, tak i z hlediska potřebného času na tyto činnosti.

„Logistika představuje nový směr myšlení, který je zaměřen na uspokojování potřeb zákazníka. Tohoto efektu se snaží dosáhnout s co největší pružností a hospodárností. Metody operační analýzy je možno využívat v jednotlivých člancích hmotného i nehmotného logistického řetězce, který vede od míst těžby surovin přes výrobní a distribuční organizace až do míst konečné spotřeby výrobků“¹

3.1.1 Definice logistiky

V této podkapitole uvedeme několik publikovaných názorů na logistiku.

„Logistika je vědecká nauka o plánování, řízení a kontrolování toků materiálů, osob, energií a informací v systémech a klade ji vedle jiných oborů kybernetiky, jako je operační analýza nebo systémové inženýrství“²

„Logistika je disciplína, která se zabývá celkovou optimalizací, koordinací a synchronizací všech aktivit v rámci samoorganizujících se systémů, jejichž zřetězení je nezbytné k pružnému a hospodárnému dosažení daného konečného (synergického) efektu.“³

„Logistika je systémová vědecká disciplína zabývající se řešením, koordinací a synchronizací řetězců hmotných a nehmotných (tj. informačních, peněžních) operací, jež

¹ ŽÍSKAL, J. *Ekonomicko matematické metody II: studijní texty pro distanční studium*. 2010, s. 58

² JUNEMANN, R. *Materialfluß und Logistik*, 1989, s. 13

³ PERNICA, P. *Logistický management: teorie a podniková praxe*. 1998. s. 80

vznikají jako důsledek dělby práce a jež jsou spojeny s výrobou a oběhem určité finální produkce.“⁴

„Logistika je proces plánování, realizace a regulování účelného a hospodárného toku a skladování zboží, služeb a s nimi spojených informací od místa vzniku do místa spotřeby za účelem souladu s požadavky zákazníků“⁵

Z uvedených názorů je patrné, že se jedná o propojení již známých činností s cílem efektivního překonání prostoru a času při uspokojování požadavků koncových zákazníků. Efektivní by mohlo být nahrazeno i hospodárným způsobem i s ohledem na celkové náklady jednotlivých zúčastněných článků.

Zjednodušeně logistika usiluje o dodání správných výrobků, materiálů nebo služeb na správné místo ve správném čase, kvalitě, množství a za správnou cenu.

3.1.2 Dopravní logistika

„Cílem dopravní logistiky je uspořádání všech procesů a postupů v dopravě tak, aby se minimalizovaly náklady na jednotlivé činnosti, avšak při zachování požadované kvality této činnosti.“⁶

„Rozvoj dopravní logistiky je určen úrovní infrastruktury daného státu, potažmo regionu. Doprava je rostoucím odvětvím ekonomiky a poptávka po ní stále vzrůstá. Tento růst je způsoben neustálými změnami v jednotlivých odvětvích průmyslu, výroby, nárustem služeb nebo i větší ochotou dojížděním za prací.“⁷

3.2 Jednostupňová dopravní úloha

Tato úloha patří mezi nejjednodušší distribuční modely. Cílem této úlohy je najít takový plán přepravy stejnorodého produktu mezi m dodavateli D_1, D_2, \dots, D_m a n spotřebiteli S_1, S_2, \dots, S_n při kterém budou celkové přepravní náklady minimální a budou vyčerpány kapacity dodavatelů a uspokojeny požadavky spotřebitelů.⁸

„Při řešení se vychází z předpokladu, že se používá stejný druh dopravních prostředků, mezi každým dodavatelem a spotřebitelem existuje pouze jedna dopravní cesta, po které je

⁴ ZÍSKAL, J., *Ekonomicko matematické metody II: studijní texty pro distanční studium*. 2010, s. 58

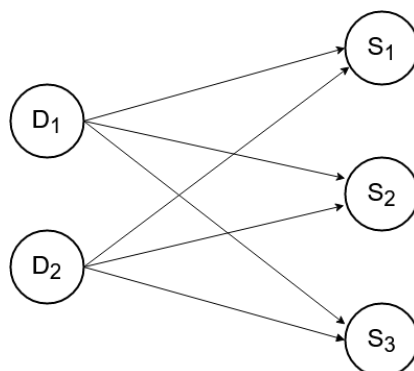
⁵ Council of Supply Chain Management Professionals (2011)

⁶ ZÍSKAL, J., *Ekonomicko matematické metody II: studijní texty pro distanční studium*. 2010, s. 60

⁷ tamtéž

⁸ BROŽOVÁ H., HOUŠKA M., *Základní metody operační analýzy*, s. 129

možné přepravovat libovolné množství produktu, a náklady na přepravu jsou přímo úměrné množství přepravovaného produktu.“⁹



Obrázek 1 Jednostupňový dopravní problém

Zdroj: BROŽOVÁ H., HOUŠKA M., *Základní metody operační analýzy*, s. 129

Obrázek 1 zobrazuje jednostupňovou dopravní úlohu pomocí grafu. Dodavatelé i spotřebitelé jsou v něm zobrazeny jako vrcholy (uzly) a možné cesty mezi nimi jako hrany grafu.

Řešení této úlohy není předmětem této práce a je uvedena jako základní úloha

3.3 Okružní dopravní problém

Tato úloha je často také nazývána jako *Problém obchodního cestujícího (Travelling Salesman Problem)*.

Cílem této úlohy je nalezení nejvýhodnějšího způsobu dopravy nikoli izolovaným spojením dvojic míst (dodavatel – spotřebitel, jako v předchozí úloze), nýbrž spojením okružním, tedy sestavením posloupnosti všech míst tak, aby se v ní každé z nich vyskytlo právě jednou s výjimkou počátečního, které se objeví opět na jejím konci, a aby součet sazeb pro jednotlivá spojení v této posloupnosti byl minimální.¹⁰

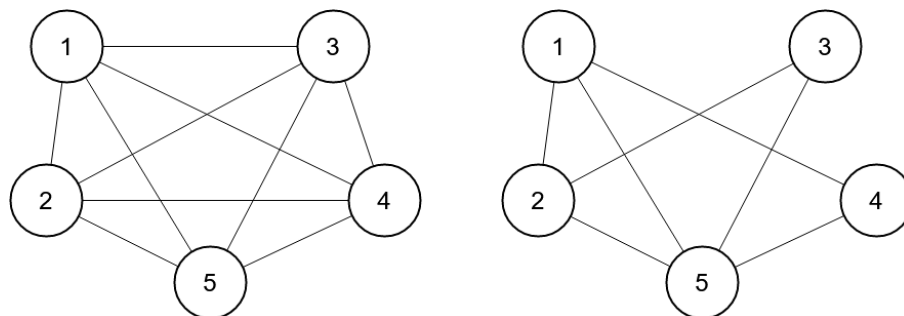
Velmi podobnou úlohou je i tzv. „*problém čínského listonoše*“ – v této úloze musí listonoš projít všechny cesty a co nejméně procházet cesty, resp. jejich křižovatky, kde již byl.

Existuje mnoho typů okružních dopravních úloh. Tou nejjednodušší z nich je *jednookruhový okružní dopravní problém*. Přeprava mezi všemi obsluhovanými místy má být v tomto případě realizována jedním okruhem. Dalšími typy jsou víceokruhové okružní dopravní problémy, někdy nazývané rovněž trasovací. Objevují se v různých modifikacích

⁹ ŠUBRT, T., *Ekonomicko-matematické metody*, s. 79

¹⁰ BROŽOVÁ H., HOUŠKA M., *Základní metody operační analýzy*, s. 156

s různými kapacitními, časovými a jinými omezeními, která způsobují, že přepravu nelze realizovat jedním okruhem. Kromě toho lze okružní úlohy rozdělit např. na problémy s úplnou sítí cest, kde existuje spojení mezi libovolnými dvěma obsluhovanými místy, a problémy s neúplnou sítí cest, kde přímé spojení mezi některými dvojicemi míst nelze v průběhu přepravy realizovat ¹¹



Obrázek 2 Okružní dopravní problém s úplnou, nebo neúplnou sítí cest

Zdroj: BROŽOVÁ H., HOUŠKA M., *Základní metody operační analýzy*, s. 156

V praxi se tento typ úloh vyskytuje poměrně často, je možné jejich řešením najít vhodné varianty tras pro:

- svozové a rozvozové autobusy pro pracovníky,
- rozvoz zboží z centrálního skladu do lokálních menších skladů,
- zásobování vlastní prodejní sítě,
- zásilkové služby apod.

Těmito úlohami se zabývalo již několik matematiků. Například v roce 1962 zahájila společnost Procter & Gamble reklamní kampaň, která slibovala odměnu 10 000 amerických dolarů, což v té době stačilo ke koupi domu. Pravidla reklamní kampaně byla následující: „Představte si, že Toody a Muldoon chtějí cestovat po Spojených státech, navštívit každé z 33 míst na soutěžní mapě, a přitom ujet co nejkratší vzdálenost. Vaším úkolem je naplánovat trasu, která bude postupovat od města k městu a bude co do vzdálenosti nejkratší okružní cestou z Chicaga a zpět do Chicaga.“¹²

Jedno z možných řešení problému obchodního cestujícího navrhl v roce 1930 Karl Menger. Řešením bylo, že se vyzkouší všechny konečné možnosti. Dle zadání společnosti Procter & Gamble bylo potřeba navštívit 33 měst, tato města lze označit písmeny A až Z a číslicemi 1 až 7. Vytvořený řetěz písmen a číslic vystihuje jednu konkrétní trasu. Např.:

¹¹ ŠUBRT, T., *Ekonomicko-matematické metody*, s. 102

¹² COOK, W. *Po stopách obchodního cestujícího : matematika na hranicích možností.*, s. 14

ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ1234567 je označení pro trasu číslo 1. Pro každou trasu se vytvoří cyklický řetězec písmen a čísel, lze tedy vytvořit 33 způsobů, jak zapsat řetězec. Při tvorbě řetězce, který lze označit za permutaci, je vhodné se držet toho, aby řetězec začínal vždy písmenem A, následně zbývá 32 možností, jaké bude druhé město, 31 možností pro třetí město atd. Matematicky je možné tuto permutaci zapsat jako $32 \times 31 \times 30 \times 29 \times 28 \times 27 \times 26 \times 25 \times 24 \times 23 \times 22 \times 21 \times 20 \times 19 \times 18 \times 17 \times 16 \times 15 \times 14 \times 13 \times 12 \times 11 \times 10 \times 9 \times 8 \times 7 \times 6 \times 5 \times 4 \times 3 \times 2 \times 1$. Permutace označuje 32 různých měst a můžeme to zapsat jako 32 faktoriál, $32!$. Jelikož vzdálenost mezi dvěma městy je stejná pro oba směry tak, pro nalezení konečného řešení je potřeba prozkoumat polovinu všech možných permutací $32!/2$. Ale možností je téměř nespočítatelně mnoho.¹³

3.3.1 Matematická formulace

„V matematické formulaci základní okružní úlohy je dána konečná množina míst a vzdálenosti, spotřeba času nebo náklady sazby pro spojení každé dvojice těchto míst. Hledáme takovou posloupnost míst, ve které se každé místo objeví právě jednou a součet ohodnocení jednotlivých spojení v této posloupnosti je minimální.

Označíme-li vybranou posloupnost m míst indexy i_1, i_2, \dots, i_m , můžeme hodnotu tohoto spojení vypočítat jako součet sazeb (vzdáleností)¹⁴

$$\sum_{k=1}^{m-1} c_{i_k, i_{k+1}} + c_{i_m, i_1}$$

„Požadavek, aby se každé místo objevilo ve vybrané trase pouze jednou, nelze chápat tak, že se každým místem projíždí pouze jednou, neboť nemusím vždy existovat unikátní spojení mezi každou dvojicí míst a je třeba do trasy zařadit odbočky a koncová místa“¹⁵¹⁶

„Pro úplnost uvedeme ještě *Tuckerovu formulaci problému obchodního cestujícího*. Obchodní cestující má navštívit n míst. Vzdálenost mezi i -tým a j -tým místem označíme symbolem c_{ij} . Celkovou délku okružní cesty, která se má minimalizovat lze vyjádřit vtahem

¹³ COOK, W. *Po stopách obchodního cestujícího : matematika na hranicích možností.*, s. 16

¹⁴ ZÍSKAL, J., *Ekonomicko matematické metody II: studijní texty pro distanční studium.* 2010, s. 66

¹⁵ Tamtéž

¹⁶ BROŽOVÁ H., HOUŠKA M., *Základní metody operační analýzy*, s. 156

$$z = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n c_{ij} x_{ij}$$

kde x_{ij} je počet jízd z místa i do místa j .¹⁷

„Každé místo trasy je jedenkrát navštíveno, a proto musí platit následující podmínky, které s nutností platí pro řešení problému

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

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

ale ani předchozí podmínky nejsou postačující k přesné formulaci problému, neboť splnění je možné projetím jednotlivých míst více nezávislými okruhy. Pro odstranění možnosti zvolit více okruhů, formuloval *Tucker* také tato omezení:

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

kde u_i je neznámé reálné číslo přiřazené místu i

kde u_j je neznámé reálné číslo přiřazené místu j .¹⁸

3.4 Řešení okružního dopravního problému

„Okružní dopravní problém patří z matematického hlediska mezi tzv. NP-úplné problémy, pro které neexistuje žádný efektivní algoritmus, který by našel přesné matematické optimum. Je to způsobeno tím, že počet omezujících podmínek v matematickém modelu roste velmi rychle (exponenciálně) s rostoucím počtem míst, a tak doba výpočtu jakoukoliv metodou roste při nejlepším stejně rychle a již pro středně velké úlohy by byla nesrovnatelně větší, než např. délka lidského života. Naštěstí existuje řada aproximačních metod, jejichž řešení lze považovat za ekonomické optimum“¹⁹

¹⁷ ZÍSKAL, J., *Ekonomicko matematické metody II: studijní texty pro distanční studium*. 2010, s. 66

¹⁸ ZÍSKAL, J., *Ekonomicko matematické metody II: studijní texty pro distanční studium*. 2010, s. 66

¹⁹ BROŽOVÁ H., HOUŠKA M., *Základní metody operační analýzy*, s. 156

3.4.1 Řešení pomocí SW nástroje TSPKOSA

Tento nástroj je modulem pro tabulkový procesor Microsoft Excel a je zaměřen na řešení okružního dopravního problému. Program vznikl na katedře systémového inženýrství ve spolupráci s katedrou statistiky. Jeho autory jsou Ing. Igor Krejčí, RNDr. Petr Kučera, Ph.D. a Ing. Hana Vostrá Vydrová. Tento modul používá pro řešení tři aproximační metody (Metoda nejbližšího souseda, Vogelova aproximační metoda, Metoda výhodnostních čísel) a jednu optimalizační metodu (Metoda větví a mezí).

3.5 Vybrané metody

3.5.1 Metoda nejbližšího souseda (MNS)

Tato metoda je nejjednodušší aproximační metodou pro řešení okružního dopravního problému. Začneme zvolením výchozího místa, poté se vydáme do místa, které má z výchozího místa nejvýhodnější spojení. Jako další místo, které vybereme, volíme to, které má nejvýhodnější spojení a zároveň jsme toto místo dosud nenavštívili. Takto pokračujeme, dokud neprojdeme všechna místa. Po projetí všech míst se vracíme opět do výchozího místa.

Abychom našli nejoptimálnější řešení je nutné postupně zvolit za výchozí místo všechna místa a tím nalezení dalším možných řešení.

„Má-li úloha nesymetrickou matici sazeb, provedeme pro každé místo také hledání trasy „pozpátku“, tj. buď vyškrtáváme řádky a hledáme minimální sazby ve sloupcích, nebo původní postup aplikujeme na transponovanou matici.“²⁰

Následně zvolíme nejvýhodnější trasu ze všech, které jsme prošli.

Postup v tabulce sazeb:

1. vyškrtáme sloupec odpovídající výchozímu místu (vrať se budeme až nakonec),
2. v řádku odpovídajícímu výchozímu místu najdeme nejvýhodnější sazbu a označíme ji,
3. takto jsme se přesunuli do místa, kterému odpovídá sloupec, ve kterém se tato buňka nachází a tento sloupec následně vyškrtáme, abychom ho omylem nezařadili v některém z dalších kroků,

²⁰ ŠUBRT, T., *Ekonomicko-matematické metody*, s. 104

4. přesuneme se na řádek odpovídající posledně vyškrtnutému sloupci a v tomto řádku vybereme z dosud nevyškrtnutých buněk tu s nejvýhodnější sazbou a označíme ji,
5. opakujeme body 3. a 4. dokud nevyškrtnáme všechny sloupce. Poté se vrátíme do výchozího místa.

Hledání řešení touto metodou bude podrobně ilustrováno v praktické části práce.

3.5.2 Vogelova aproximační metoda (VAM)

Tuto metodu je možné použít pro řešení, jak jednostupňové dopravní úlohy, tak i pro řešení okružního dopravního problému. Jedná se pravděpodobně o nepoužívanější aproximační metodu, jelikož dává řešení blízké optimu.

V této metodě se využívá rozdílů (diferencí) mezi dvěma nejvýhodnějšími sazbami v řadách celé tabulky. Tímto se zajišťuje rovnoměrnějšího obsazování výhodnějších spojů.

Postup v tabulce sazeb:

1. Vypočteme difference mezi dvěma nejvýhodnějšími sazbami pro každý řádek i sloupec.
2. V řádku, nebo sloupci s největší diferencí vybereme buňku s nejvýhodnější sazbou. Vyskytne-li se maximální difference u dvou různých řad, doporučuje se obsadit přednostně buňku s nejvýhodnější sazbou v těchto řadách.
3. Vyškrtně se řádek i sloupec vybrané buňky.
4. Musí se také vyškrtnout buňka, která by vracela do již obsazené buňky a vyškrtnou se i buňky, které by předčasně uzavíraly okruh.
5. Je nutné přepočítat řádkové i sloupcové difference, pro dosud nevyškrtnuté buňky.
6. Opakujeme body 2. – 5. dokud nejsou všechna místa zařazena do kruhu.

3.5.3 Metoda výhodnostních čísel (Clark-Wrightova)

Jedná se o jednu z nejstarší metod, navrhli ji autoři Clarke a Wright už roce 1964²¹. Proto bývá často označována i jako Clarke-Wrightova metoda. Algoritmus může být napsán jako sekvenční i jako paralelní.

Sekvenční algoritmus přidává další uzly na začátek nebo konec trasy za, nebo před výchozí místo. Paralelní algoritmus může vytvářet více cyklů, které se až v poslední fázi spojí v jeden cyklus.

Postup algoritmu:

1. výběr libovolného uzlu, označí se indexem 0
2. pro každou dvojici ostatních uzlů i, j (různých od uzlu z předchozího bodu) se vypočte výhodnostní číslo $s_{ij} = c_{i0} + c_{0j} - c_{ij}$ $i, j = 1, 2, \dots, n, i \neq j$
3. trasy se seřadí sestupně podle výhodnostních čísel,
4. postupně se trasy v tomto pořadí zpracovávají a přidávají do řešení, pokud mohou s dosud zařazenými tvořit okruh
5. takto nakonec vznikne cesta procházející všemi uzly, kromě uzlu 0
6. připojí se uzel s indexem 0 do řešení.

„Uvedený postup je vhodné provést pro všechny možné volby uzlu 0 a jako řešení uvést nejlepší takto získané“²²

²¹ CLARKE, G. a WRIGHT J. W. Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points.

²² KUČERA, P. *Metodologie řešení okružního dopravního problému*. s. 21

4 Analytická část

4.1 Informace o cestovní kanceláři

„Cestovní kancelář Mayer a Crocus působí na trhu cestovního ruchu již od roku 1991, tedy již 28. sezónu pro Vás připravila širokou nabídku poznávacích zájezdů do různých zemí.

Cestovní kancelář je členem Asociace českých cestovních kanceláří a agentur a je pojištěna proti úpadku podle zákona 159/99 Sb.“²³

V katalogu uvedené cestovní kanceláře jsou k nalezení poznávací zájezdy, pobyty s výlety, zájezdy s lehkou pěší turistikou. Během poznávacích zájezdů této cestovní kanceláře je možné navštívit mnoho zajímavých míst v celkem 32 zemích celého světa. Mezi nejoblíbenější destinace patří například Itálie, Francie, Norsko, Skotsko, Turecko, Portugalsko, Maroko, Řecko, Korsika, Sicílie, Švýcarsko.

4.2 Popis vybraného zájezdu „Benelux – velký okruh“

Pro analytickou část této práce jsem vybral tento poznávací zájezd, jelikož ho v minulost absolvovali rodinní známí a já jsem si na jejich vyprávění vzpomněl, když jsem zvažoval, jaký zájezd vybrat.

Samotná cestovní kancelář popisuje tento zájezd následujícími slovy: „Země Beneluxu jsou místem, kde se utvářely dějiny Evropy. Přestože se v řadě souvislostí o nich mluví pod společným názvem, je každá z nich až překvapivě jiná. Svobodomyšlné Nizozemsko je zemí větrných mlýnů, tulipánů, sýrů a polderů. Spíše usedlejší Belgie nabízí nesmírně bohatá města, úžasné čokoládové pralinky a nepřekonatelné hranolky. Maličké Lucembursko má na rozdíl od svých větších sousedů i pár kopců a údolí, ale hlavně malebnou metropoli s přímým odkazem na naši historii.

Program zájezdu

1. den (so): Odjezd z Prahy ve večerních hodinách.
2. den (ne): Návštěva překrásně položeného města LUCEMBURKU (UNESCO) v LUCEMBURSKÉM VELKOVÉVODSTVÍ. BRUSEL (UNESCO) – hlavní město s královskou rezidencí, s jedním z nejkrásnějších náměstí v Evropě a s dalšími pozoruhodnostmi. Evropské město kultury 2000.

²³ O nás | CK Mayer Crocus [cit. 2021-03-01]. Dostupné z: <http://www.ckmayer.cz/onas.html>

3. den (po): BRUGGY (UNESCO) – stavební skvost Belgie. Belgické Benátky s velkým množstvím malebných kanálů mezi historickými budovami, po kterých se konají vyhlídkové plavby.

4. den (út): ANTVERPY (UNESCO) – přezdívané Rubensovo město a také Jeruzalém západu, dominantní gotická katedrála na nábřeží Šeldy se 123 metry vysokou věží, renesanční radnice, cechovní domy

5. den (st): Skanzen 19 větrných mlýnů KINDERDIJK (UNESCO). DELFT – někdejší sídelní město holandských hrabat proslavené známou delftskou keramikou (fajánsí). Park MADURODAM – ukazuje Holandsko v miniatuře a také to, co by jinak zůstalo nepoznané. SCHEVENINGEN – nejvýznamnější mořské lázně v Holandsku ve městě Den Haag s vyhlídkou na Severní moře.

6. den (čt): GOUDU proslavil stejnojmenný sýr, ale najdete zde i nejdelší kostel v Nizozemsku (123 metry) a gotickou radnici. UTRECHT – starobylé město s monumentálním domem, desítkami staveb z období gotiky – baroka, několik kostelů a chrámů budovaných od 12. do 15. stol.

7. den (pá): Návštěva květinové burzy v městečku AALSMER (není garantováno v případě státních svátků). AMSTERDAM (UNESCO) – nádherné město nazývané „Benátkami severu“ pro své malebné uličky a kanály (grachty).

8. den (so): Příjezd do Prahy v ranních – dopoledních hodinách.

V ceně zájezdu je zahrnuto:

- doprava autobusem
- průvodce
- 5x ubytování v hotelu (2lůžkové pokoje s vlastním příslušenstvím)
- 5x snídaně²⁴

Cena zájezdu je pro sezónu 2021 stanovena ve výši 11.790,- a v plánu jsou dva termíny – jeden v červenci a druhý v srpnu.

Jedná se o zájezd, který je dle slov zaměstnankyně cestovní kanceláře velmi oblíbený a zájezd jako takový cestovní kancelář nabízí již několik let. V minulosti byl tento zájezd naplánován v opačném směru.

²⁴ Benelux - velký okruh | CK Mayer Crocus [cit. 2021-03-01]. Dostupné z: <https://www.ckmayer.cz/zajezdy/489408-benelux-velky-okruh.html>

Jeden rok došlo k operativnímu přeplánování z kapacitních důvodů u ubytování na cestě a poté se již cestovní kancelář nevrátila k původnímu plánu a zachovala tento nový směr zájezdu.

V této kapitole budou využity již popsané metody – tedy metoda nejbližšího souseda, Vogelova aproximační metoda a metoda výhodnostních čísel (Clarke-Wrightova). Výsledky budou kontrolovány pomocí softwarového nástroje TSPKOSA.

4.3 Tabulka vzdáleností

Pro samotné výpočty je nutné nejdříve sestavit tzv. matici sazeb. V této matici jsou uvedeny vzdálenosti, mezi všemi místy (zastávkami) zájezdu. V tabulce níže jsou uvedeny názvy jednotlivých měst – pro přehlednost budou jména měst nahrazena v tabulkách písmeny.

Tabulka 1 Seznam měst zájezdu

	Město
A	Praha
B	Lucemburk
C	Bruggy
D	Antverpy
E	Kinderdijk
F	Delft
G	Madurodam
H	Scheveningen
I	Gouda
J	Utrecht
K	Aalsmeer
L	Amsterdam

Zdroj: vlastní zpracování

Pro získání vzdáleností byly použity mapové podklady na internetové stránce [Mapy.cz](https://mapy.cz)²⁵. V tabulce níže jsou zapsány vzdálenosti v kilometrech mezi každou dvojicí uzlů (měst) v okruhu. Byla zvolena volba „Rychlá s provozem“ tj. měl by být zohledněn i obvyklý provoz. Nicméně to nutně neznamená, že jsou uvedeny nejkratší (z pohledu vzdálenosti) možné cesty mezi uzly. Vzdálenosti jsou zapsané ke dni 1. 3. 2021.

²⁵ [Mapy.cz](https://mapy.cz) [cit. 2021-03-01] Dostupné z: <https://mapy.cz/>

Tabulka 2 Výchozí matice sazeb

[km]	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
A	x	732,8	985,5	895,8	902,2	919,0	918,9	920,7	893,0	861,9	894,2	877,7
B	735,1	x	316,1	252,0	385,5	367,7	379,9	381,7	406,2	375,2	412,6	409,6
C	1003,2	319,0	x	92,7	177,6	193,0	206,9	208,7	195,7	217,9	239,6	252,3
D	896,5	253,3	90,1	x	94,9	117,4	129,6	131,4	114,4	124,9	162,3	159,3
E	901,6	346,9	173,8	94,2	x	36,4	48,6	50,4	25,4	50,1	65,9	84,5
F	918,3	369,2	189,5	116,4	36,2	x	15,9	17,7	35,3	63,9	48,6	67,3
G	918,7	381,7	202,9	129,0	48,8	17,0	x	2,0	33,8	64,3	46,5	64,8
H	920,3	383,4	204,6	130,7	50,4	17,5	1,9	x	35,5	65,9	47,8	66,4
I	892,4	367,4	194,3	114,7	25,4	35,8	34,6	36,5	x	38,0	40,4	72,4
J	857,3	376,7	214,9	123,9	50,6	64,0	64,0	65,8	38,1	x	43,1	40,9
K	894,8	413,8	235,0	161,1	65,8	47,9	45,2	46,6	43,4	43,0	x	29,3
L	878,0	401,1	249,4	158,4	85,1	64,7	61,9	63,4	72,5	42,0	28,0	x

Zdroj: vlastní zpracování

Pro větší přehlednost a ulehčení dílčích výpočtů je tato matice sazeb zaokrouhlena a to „nahoru“ na celé kilometry. Tímto vznikne malá nepřesnost, ale domnívám se, že na okruhu se vzdáleností přibližně 2.300 km bude zanedbatelná.

Tabulka 3 Upravená (zaokrouhlená) matice sazeb

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
A	x	733	986	896	903	919	919	921	893	862	895	878
B	736	x	317	252	386	368	380	382	407	376	413	410
C	1004	319	x	93	178	193	207	209	196	218	240	253
D	897	254	91	x	95	118	130	132	115	125	163	160
E	902	347	174	95	x	37	49	51	26	51	66	85
F	919	370	190	117	37	x	16	18	36	64	49	68
G	919	382	203	129	49	17	x	2	34	65	47	65
H	921	384	205	131	51	18	2	x	36	66	48	67
I	893	368	195	115	26	36	35	37	x	38	41	73
J	858	377	215	124	51	64	64	66	39	x	44	41
K	895	414	235	162	66	48	46	47	44	43	x	30
L	878	402	250	159	86	65	62	64	73	42	28	x

Zdroj: vlastní zpracování

Pohledem do tabulky 1 zjistíme, že je rozdíl, jestli se pohybujeme z uzlu A do uzlu B, nebo z uzlu B do uzlu A. V prvním případě je vzdálenost mezi uzly 733 km a ve druhém je vzdálenost 736 km. Tyto rozdíly mohou být způsobeny například jednosměrkami, jinou vzdáleností nájezdů na dálnice atd.

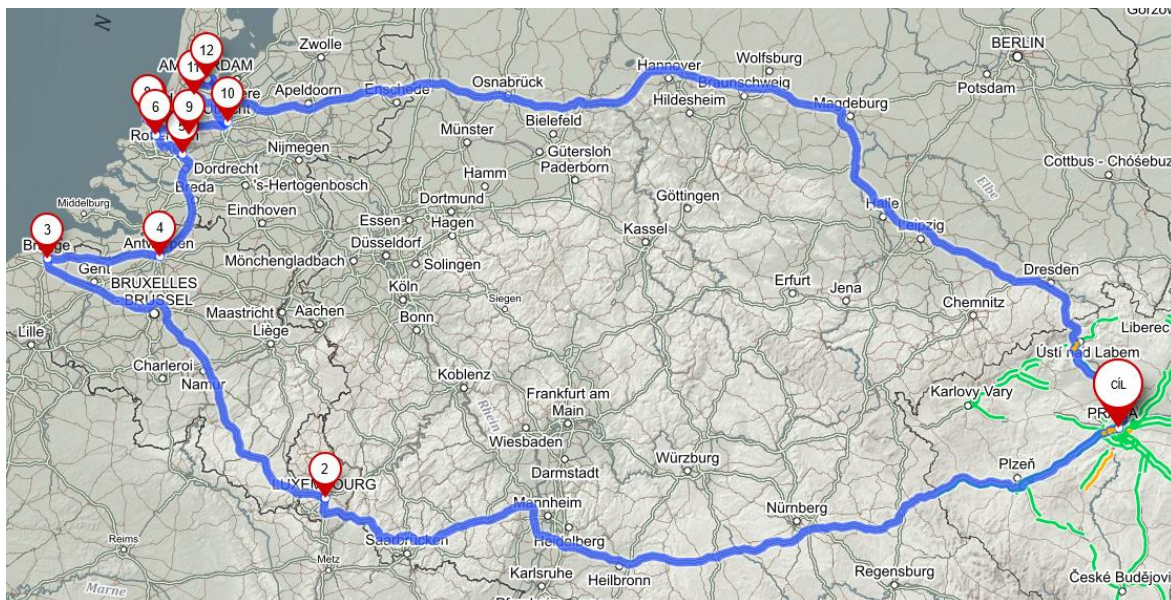
Matice sazeb, která má takto různé sazby pro dvojici uzlů a záleží tedy na pořadí, nazýváme nesymetrickou maticí sazeb.

4.4 Původní trasa

Původní trasa zájezdu vypadá následovně:

A – B – C – D – E – F – G – H – I – J – K – L – A

Trasa měří: 2.319 km (počítáno ze zaokrouhlené matice sazeb)



Obrázek 3 Původní trasa zájezdu

Zdroj: mapový podklad vytvořený na portále www.mapy.cz

4.5 Výpočet metodou nejbližšího souseda

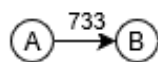
Způsob řešení pomocí této metody byl popsán v kapitole 3.5.1. Zde si ukážeme výpočet pro náš konkrétní příklad. Ukážeme si řešení pouze pro jeden výchozí bod (A), ostatní průchody pak budou zařazeny v přílohách.

Celý sloupec odpovídající výchozímu bodu (nyní A) si označíme barvou (oranžová), abychom náhodou neukončili okruh dříve, než projdeme ostatní body. V řádku A teď hledáme nejmenší hodnotu (vzdálenost) – v našem případě je nejnižší číslo ve sloupci B s hodnotou 733 (označeno žlutě) - to odpovídá vzdálenosti 733 km z bodu A do bodu B. Pro lepší přehlednost zbytek sloupce B opět označíme (světle modrá), protože bod B již z žádného jiného bodu nelze navštívit.

Tabulka 4 Metoda nejbližšího souseda – krok 1

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
A	x	733	986	896	903	919	919	921	893	862	895	878
B	736	x	317	252	386	368	380	382	407	376	413	410
C	1004	319	x	93	178	193	207	209	196	218	240	253
D	897	254	91	x	95	118	130	132	115	125	163	160
E	902	347	174	95	x	37	49	51	26	51	66	85
F	919	370	190	117	37	x	16	18	36	64	49	68
G	919	382	203	129	49	17	x	2	34	65	47	65
H	921	384	205	131	51	18	2	x	36	66	48	67
I	893	368	195	115	26	36	35	37	x	38	41	73
J	858	377	215	124	51	64	64	66	39	x	44	41
K	895	414	235	162	66	48	46	47	44	43	x	30
L	878	402	250	159	86	65	62	64	73	42	28	x

Zdroj: vlastní zpracování



Obrázek 4 Metoda nejbližšího souseda – krok 1 – znázornění trasy

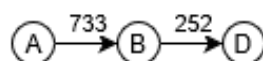
Zdroj: vlastní zpracování

V dalším kroku se přesuneme na řádek B a v tomto řádku hledáme opět nejmenší hodnotu – ta se nachází ve sloupci D s hodnotou 252. Pole si opět označíme (žlutě) a také zbytek sloupce D (světle modře). Trasa bude pokračovat z bodu B do bodu D.

Tabulka 5 Metoda nejbližšího souseda – krok 2

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
A	x	733	986	896	903	919	919	921	893	862	895	878
B	736	x	317	252	386	368	380	382	407	376	413	410
C	1004	319	x	93	178	193	207	209	196	218	240	253
D	897	254	91	x	95	118	130	132	115	125	163	160
E	902	347	174	95	x	37	49	51	26	51	66	85
F	919	370	190	117	37	x	16	18	36	64	49	68
G	919	382	203	129	49	17	x	2	34	65	47	65
H	921	384	205	131	51	18	2	x	36	66	48	67
I	893	368	195	115	26	36	35	37	x	38	41	73
J	858	377	215	124	51	64	64	66	39	x	44	41
K	895	414	235	162	66	48	46	47	44	43	x	30
L	878	402	250	159	86	65	62	64	73	42	28	x

Zdroj: vlastní zpracování



Obrázek 5 Metoda nejbližšího souseda – krok 2 – znázornění trasy

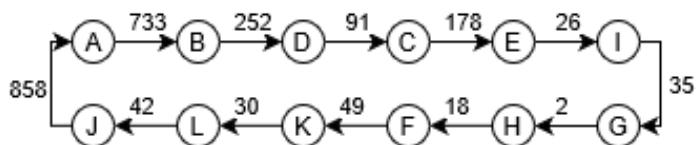
Zdroj: vlastní zpracování

Stejným způsobem se postupuje, dokud se neprojdou všechny body a okruh tím bude uzavřen.

Tabulka 6 Metoda nejbližšího souseda – krok 12

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
A	x	733	986	896	903	919	919	921	893	862	895	878
B	736	x	317	252	386	368	380	382	407	376	413	410
C	1004	319	x	93	178	193	207	209	196	218	240	253
D	897	254	91	x	95	118	130	132	115	125	163	160
E	902	347	174	95	x	37	49	51	26	51	66	85
F	919	370	190	117	37	x	16	18	36	64	49	68
G	919	382	203	129	49	17	x	2	34	65	47	65
H	921	384	205	131	51	18	2	x	36	66	48	67
I	893	368	195	115	26	36	35	37	x	38	41	73
J	858	377	215	124	51	64	64	66	39	x	44	41
K	895	414	235	162	66	48	46	47	44	43	x	30
L	878	402	250	159	86	65	62	64	73	42	28	x

Zdroj: vlastní zpracování



Obrázek 6 Metoda nejbližšího souseda – krok 12 - znázornění cesty

Zdroj: vlastní zpracování

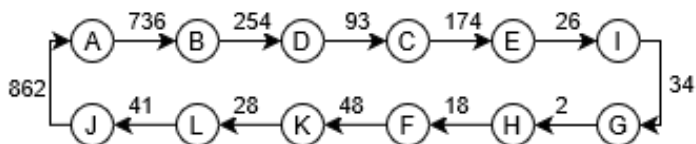
Takto jsme našli následující cestu A – B – D – C – E – I – G – H – F – K – L – J – A. Celková délka této cesty je 2.314 km.

Jelikož je naše matice nesymetrická, je nutné projít (hledat) stejným způsobem i trasu „pozpátku“ - tj. buď vyškrtáváme řádky a hledáme minimální sazby ve sloupcích, nebo původní postup aplikujeme na transponovanou matici. Následující tabulka zobrazuje postup hledání cesty na transponované matici.

Tabulka 7 Metoda nejbližšího souseda – krok 12 zpětný průchod

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
A	x	736	1004	897	902	919	919	921	893	858	895	878
B	733	x	319	254	347	370	382	384	368	377	414	402
C	986	317	x	91	174	190	203	205	195	215	235	250
D	896	252	93	x	95	117	129	131	115	124	162	159
E	903	386	178	95	x	37	49	51	26	51	66	86
F	919	368	193	118	37	x	17	18	36	64	48	65
G	919	380	207	130	49	16	x	2	35	64	46	62
H	921	382	209	132	51	18	2	x	37	66	47	64
I	893	407	196	115	26	36	34	36	x	39	44	73
J	862	376	218	125	51	64	65	66	38	x	43	42
K	895	413	240	163	66	49	47	48	41	44	x	28
L	878	410	253	160	85	68	65	67	73	41	30	x

Zdroj: vlastní zpracování



Obrázek 7 Metoda nejbližšího souseda – krok 12 zpětný průchod – znázornění cesty

Zdroj: vlastní zpracování

Takto nalezená cesta není výhodnější než ta, kterou jsme našli v předcházejícím hledání.

V tabulkách níže jsou uvedeny všechny trasy, které byly nalezeny metodou nejbližšího souseda, pro tento konkrétní problém.

Tabulka 8 Výsledné trasy metodou nejbližšího souseda

Přehled tras	délka
A-B-D-C-E-I-G-H-F-K-L-J-A	2314
B-D-C-E-I-G-H-F-K-L-J-A-B	2314
L-K-J-I-E-F-G-H-D-C-B-A-L	2346
I-E-F-G-H-K-L-J-D-C-B-A-I	2364
K-L-J-I-E-F-G-H-D-C-B-A-K	2364
J-I-E-F-G-H-K-L-D-C-B-B-J	2365
E-I-G-H-F-K-L-J-D-C-B-A-E	2375
F-G-H-I-E-J-L-K-D-D-B-A-F	2427
G-H-F-I-E-J-L-K-D-C-B-A-G	2429
H-G-F-I-E-J-L-K-D-C-C-A-H	2430
D-C-E-I-G-G-F-K-L-J-B-A-D	2480
C-D-E-I-G-H-F-K-L-J-B-A-C	2488

Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 9 Výsledné trasy metodou nejbližšího souseda – zpětný průchod

Přehled tras – zpětný průchod	délka
A-B-D-C-E-I-G-H-F-K-L-J-A	2316
B-D-C-E-I-G-H-F-K-L-J-A-B	2316
J-I-E-F-G-H-K-L-D-C-B-A-J	2356
I-E-F-G-H-K-L-J-D-C-B-A-I	2359
K-L-J-I-E-F-G-H-D-C-B-A-K	2359
L-K-I-E-F-G-H-H-D-C-B-A-L	2365
E-I-G-H-F-K-L-J-D-C-B-A-E	2367
F-G-H-I-E-J-L-K-D-C-B-A-F	2430
G-H-F-I-E-J-L-K-D-C-B-A-G	2430
H-G-F-I-E-J-L-K-D-C-B-A-H	2430
D-C-E-I-G-H-F-K-L-J-B-A-D	2470
C-D-E-I-G-H-F-K-L-J-B-B-C	2496

Zdroj: vlastní zpracování

Z tabulek výše je patrné, že v závislosti na volbě výchozího uzlu se vzdálenosti nalezených tras podstatně liší – od trasy s délkou 2.314 km po trasu s délkou 2.496 km. Z toho důvodu je nutné zvolit postupně všechny uzly jako výchozí bod cesty a najít tato dílčí řešení.

Tabulky výpočtů pro ostatní místa jsou k nahlédnutí v příloze č.1 a č. 2.

4.6 Výpočet Vogelovou aproximační metodou

Při řešení pomocí této metody je nutné v matici sazeb (Tabulka 3) spočítat nejdříve pro každou řadu (sloupec nebo řádek) diference mezi dvěma nejnižšími čísly. Následně se

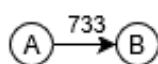
zvolí nejvyšší takto vypočtená diference a v řadě, která přísluší této diferenci, se nalezne minimální hodnota. Přehledněji v následující tabulce.

Tabulka 10 Vogelova aproximační metoda – krok 1

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	d
A	x	733	986	896	903	919	919	921	893	862	895	878	129
B	736	x	317	252	386	368	380	382	407	376	413	410	65
C	1004	319	x	93	178	193	207	209	196	218	240	253	85
D	897	254	91	x	95	118	130	132	115	125	163	160	4
E	902	347	174	95	x	37	49	51	26	51	66	85	11
F	919	370	190	117	37	x	16	18	36	64	49	68	2
G	919	382	203	129	49	17	x	2	34	65	47	65	15
H	921	384	205	131	51	18	2	x	36	66	48	67	16
I	893	368	195	115	26	36	35	37	x	38	41	73	9
J	858	377	215	124	51	64	64	66	39	x	44	41	2
K	895	414	235	162	66	48	46	47	44	43	x	30	13
L	878	402	250	159	86	65	62	64	73	42	28	x	14
d	122	65	83	2	11	1	14	16	8	4	13	11	

Zdroj: vlastní zpracování

Ve sloupci i řádku „d“ jsou uvedeny příslušné spočítané diference. Je patrné, že nejvyšší diference s hodnotou 129 je pro řádek A. V tomto řádku hledáme minimální sazbu, která je ve sloupci B – tedy pole [1;2] s hodnotou 733. Pro přehlednost je pole vybarveno žlutě. Dále je nutné označit (vyškrtnout) celý řádek A i sloupec B a buňky, které by předčasně uzavíraly okruh – v tomto případě pole [2;1]. Takto označené buňky se v dalších krocích výpočtu ignorují.



Obrázek 8 Vogelova aproximační metoda – krok 1 – znázornění cesty

Zdroj: vlastní zpracování

Po vyškrtnutí buněk je nutné opět přepočítat diference, protože se nejnižší a druhá nejnižší hodnota mohla změnit. Poté opět hledáme nejvyšší diferenci a v příslušné řadě minimální sazbu. Opět vyškrtnáme příslušný řádek i sloupec a další buňky, které by předčasně uzavíraly okruh.

Tabulka 11 Vogelova aproximační metoda – krok 2

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	d
A	x												
B		x	317	252	386	368	380	382	407	376	413	410	65
C	1004		x	93	178	193	207	209	196	218	240	253	85
D	897		91	x	95	118	130	132	115	125	163	160	4
E	902		174	95	x	37	49	51	26	51	66	85	11
F	919		190	117	37	x	16	18	36	64	49	68	2
G	919		203	129	49	17	x	2	34	65	47	65	15
H	921		205	131	51	18	2	x	36	66	48	67	16
I	893		195	115	26	36	35	37	x	38	41	73	9
J	858		215	124	51	64	64	66	39	x	44	41	2
K	895		235	162	66	48	46	47	44	43	x	30	13
L	878		250	159	86	65	62	64	73	42	28	x	14
d	122		83	2	11	1	14	16	8	4	13	11	

Zdroj: vlastní zpracování



Obrázek 9 Vogelova aproximační metoda – krok 2 – znázornění cesty

Zdroj: vlastní zpracování

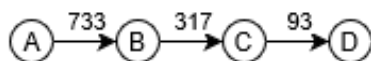
Na obrázku 9 je vidět, že u této metody nevzniká cesta postupným přidáváním bodů na konec prozatím nalezené cesty tak, jako je tomu u metody nejbližšího souseda.

Pro třetí krok vypadá tabulka následovně:

Tabulka 12 Vogelova aproximační metoda – krok 3

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	d
A	x												
B		x	317		386	368	380	382	407	376	413	410	51
C			x										
D	897			x	95	118	130	132	115	125	163	160	20
E	902		174		x	37	49	51	26	51	66	85	11
F	919		190		37	x	16	18	36	64	49	68	2
G	919		203		49	17	x	2	34	65	47	65	15
H	921		205		51	18	2	x	36	66	48	67	16
I	893		195		26	36	35	37	x	38	41	73	9
J	858		215		51	64	64	66	39	x	44	41	2
K	895		235		66	48	46	47	44	43	x	30	13
L	878		250		86	65	62	64	73	42	28	x	14
d	20		16		11	1	14	16	8	4	13	11	

Zdroj: vlastní zpracování



Obrázek 10 Vogelova aproximační metoda – krok 3 – znázornění cesty

Zdroj: vlastní zpracování

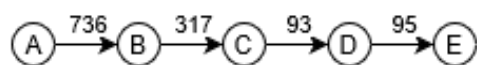
Během následujícího kroku se dostaneme do situace, která byla také zmíněna v teoretické části.

Tabulka 13 Vogelova aproximační metoda – krok 4

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	d
A	x												
B		x											
C			x										
D				x	95	118	130	132	115	125	163	160	20
E	902				x	37	49	51	26	51	66	85	11
F	919				37	x	16	18	36	64	49	68	2
G	919				49	17	x	2	34	65	47	65	15
H	921				51	18	2	x	36	66	48	67	16
I	893				26	36	35	37	x	38	41	73	9
J	858				51	64	64	66	39	x	44	41	2
K	895				66	48	46	47	44	43	x	30	13
L	878				86	65	62	64	73	42	28	x	14
d	20				11	1	14	16	8	4	13	11	

Zdroj: vlastní zpracování

V tomto kroku vychází stejná hodnota maximální difference s hodnotou 20 pro dvě řady. Konkrétně pro sloupec A a řádek D. Z těchto dvou řad se vybere ta výhodnější sazba, což je sazba s hodnotou 95 v řádku D tak, jak je to znázorněno v tabulce. Poté vyškrtne celý řádek D, sloupec E a pole [5;1] předčasně uzavírající okruh.



Obrázek 11 Vogelova aproximační metoda – krok 4 - znázornění cesty

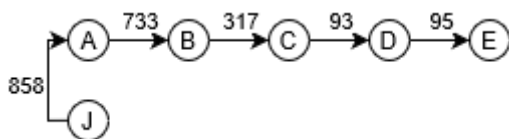
Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 14 Vogelova aproximační metoda – krok 5

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	d
A	x												
B		x											
C			x										
D				x									
E					x	37	49	51	26	51	66	85	11
F	919					x	16	18	36	64	49	68	2
G	919					17	x	2	34	65	47	65	15
H	921					18	2	x	36	66	48	67	16
I	893					36	35	37	x	38	41	73	9
J	858					64	64	66	39	x	44	41	2
K	895					48	46	47	44	43	x	30	13
L	878					65	62	64	73	42	28	x	14
d	20					1	14	16	8	4	13	11	

Zdroj: vlastní zpracování

V pátém kroku výpočtu se zvolí difference (20) ve sloupci A a vybere se sazba 858 v řádku J. Vyškrtneme sloupec A, řádek J a také pole [5;10] protože trasa E – J by nám uzavírala předčasně okruh.



Obrázek 12 Vogelova aproximační metoda – krok 5 - znázornění cesty

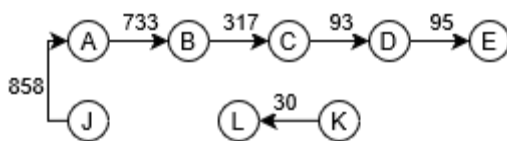
Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 15 Vogelova aproximační metoda – krok 6

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	d
A	x												
B		x											
C			x										
D				x									
E					x	37	49	51	26		66	85	11
F						x	16	18	36	64	49	68	2
G						17	x	2	34	65	47	65	15
H						18	2	x	36	66	48	67	16
I						36	35	37	x	38	41	73	9
J										x			
K						48	46	47	44	43	x	30	13
L						65	62	64	73	42	28	x	14
d						1	14	16	8	4	13	35	

Zdroj: vlastní zpracování

V šestém kroku se volí difference s hodnotou 35 ve sloupci L a vybere se sazba 30. Škrtná se řádek K, sloupec L a pole [12;11].



Obrázek 13 Vogelova aproximační metoda – krok 6 - znázornění cesty

Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 16 Vogelova aproximační metoda – krok 7

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	d
A	x												
B		x											
C			x										
D				x									
E					x	37	49	51	26		66		11
F						x	16	18	36	64	49		2
G						17	x	2	34	65	47		15
H						18	2	x	36	66	48		16
I						36	35	37	x	38	41		1
J										x			
K											x		
L						65	62	64	73	42		x	20
d						1	14	16	8	4	6		

Zdroj: vlastní zpracování

V sedmém kroku se vybírá difference s hodnotou 20 a v řádku L nejnižší sazba s hodnotou 42 ve sloupci J značící cestu z uzlu L do uzlu J. Škrtná se řádek L, sloupec J a pole [5;11], protože spojení E – K by uzavřelo předčasně okruh.



Obrázek 14 Vogelova aproximační metoda – krok 7 - znázornění cesty

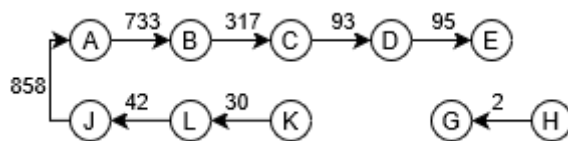
Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 17 Vogelova aproximační metoda – krok 8

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	d
A	x												
B		x											
C			x										
D				x									
E					x	37	49	51	26				11
F						x	16	18	36		49		2
G						17	x	2	34		47		15
H						18	2	x	36		48		16
I						36	35	37	x		41		1
J										x			
K											x		
L												x	
d						1	14	16	8		6		

Zdroj: vlastní zpracování

V osmém kroku se vybírá diference s hodnotou 16 v řádku H a tím nejnižší sazba s hodnotou 2 ve sloupci G značící cestu z uzlu H do uzlu G. Vyškrtně se řádek H, sloupec G a pole [7;8].



Obrázek 15 Vogelova aproximační metoda – krok 8 - znázornění cesty

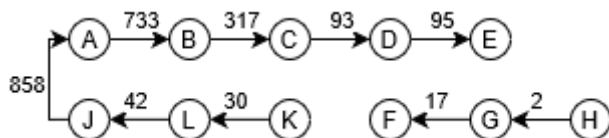
Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 18 Vogelova aproximační metoda – krok 9

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	d
A	x												
B		x											
C			x										
D				x									
E					x	37		51	26				11
F						x		18	36		49		18
G						17	x		34		47		17
H													
I						36		37	x		41		1
J										x			
K											x		
L												x	
d						19		19	8		6		

Zdroj: vlastní zpracování

V devátém kroku se vybírá diference s hodnotou 19 ve sloupci F a nejnižší sazba s hodnotou 17 v řádku G značí cestu z uzlu G do uzlu F. Vyškrtnete se řádek G, sloupec F a pole [6;8] – vznikl by samostatný okruh.



Obrázek 16 Vogelova aproximační metoda – krok 9 - znázornění cesty

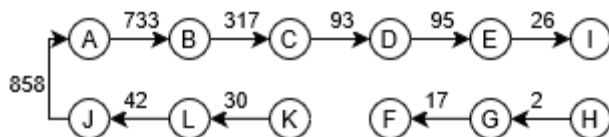
Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 19 Vogelova aproximační metoda – krok 10

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	d
A	x												
B		x											
C			x										
D				x									
E					x			51	26				25
F						x			36		49		13
G							x						
H													
I								37	x		41		4
J										x			
K											x		
L												x	
d								14	10		8		

Zdroj: vlastní zpracování

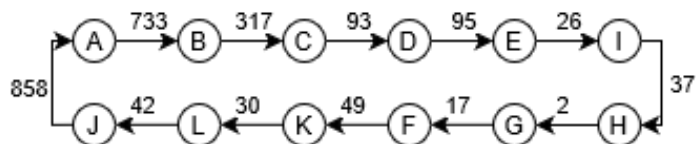
V desátém kroku se vybírá diference s hodnotou 25 ve sloupci I a nejnižší sazba s hodnotou 26 v řádku E značí cestu z uzlu E do uzlu I. Vyškrtnete se řádek E, sloupec I a pole [9;11].



Obrázek 17 Vogelova aproximační metoda – krok 10 - znázornění cesty

Zdroj: vlastní zpracování

Desátý krok byl posledním, ve kterém jsme museli počítat diference. V tabulce nám po vyškrtnání zbyly pouze dvě trasy a ty jen zapíšeme do řešení. Nalezené řešení touto metodou s celkovou délkou 2.299 km je znázorněno na následujícím obrázku.



Obrázek 18 Vogelova aproximační metoda – znázornění výsledné cesty

Zdroj: vlastní zpracování

4.7 Výpočet metodou výhodnostních čísel

Při výpočtu trasy pomocí této metody postupně zvolíme jako výchozí bod každý uzel a ten si označíme indexem 0. Pro takto zvolený bod vypočteme matici výhodnostních čísel. V takto vypočítané matici hledáme maximální hodnotu výhodnostního čísla a zapíšeme jemu odpovídající trasu. Stejně jako u předchozí Vogelovy aproximační metody vyškrtneme celý řádek i sloupec vybrané buňky, buňku vracející nás do právě obsazené buňky a také buňky, které by předčasně uzavíraly okruh. V dalším kroku vyhledáme maximální výhodnostní číslo ve zbylé matici, zapíšeme jemu odpovídající trasu a opět vyškrtneme řádek i sloupec a buňky předčasně uzavírající okruh. Tento postup opakujeme, dokud neprojdeme celou výhodnostní matici pro uzel 0. Posledním krokem je zařazení uzlu 0 do nalezené trasy.

Vypočtené trasy pro všechny volby výchozí bodu porovnáme a vybereme tu nejméně výhodnou.

Nejdříve je nutné vypočítat výhodnostní matici pro tento výchozí bod. Princip výpočtu této matice je sice uveden v kapitole 3.5.3 této práce, ale i tak je znázorněn níže. Postup bude ukázán pro volbu uzlu F_0 – výsledná trasa pro tuto volbu výchozího bodu je nakonec ta nejméně výhodná. Pro určení výhodnostní matice je nutné vyjít z matice sazeb (Tabulka 3).

Tabulka 20 Část matice sazeb – ukázka výpočtu výhodnostní matice

	...	F	G	H	I	...
...	x	...	...	...	...	...
F	...	x	16	18	36	...
G	...	17	x	2	34	...
H	...	18	2	x	36	...
I	...	36	35	37	x	...
...	...	...	...	...	...	x

Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 21 Ukázka výpočtu části výhodnostní matice pro F_0

	...	F_0	G	H	I	...
...	x	...	...	...	...	...
F_0	...	x	0	0	0	...
G	...	0	x	17+18-2	17+36-34	...
H	...	0	18+16-2	x	36	...
I	...	0	36+16-35	36+18-37	x	...
...	...	...	...	...	...	x

Zdroj: vlastní zpracování

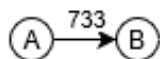
Tabulka 22 Metoda výhodnostních čísel – matice výhodností pro F_0 – krok 1

	A	B	C	D	E	F_0	G	H	I	J	K	L
A	x	556	123	140	53	0	16	16	62	121	73	109
B	551	x	241	233	19	0	4	4	-3	56	4	26
C	108	244	x	217	52	0	2	2	33	39	2	8
D	140	234	217	x	60	0	4	4	39	57	4	26
E	54	60	53	59	x	0	4	4	47	50	20	20
F_0	0	0	0	0	0	x	0	0	0	0	0	0
G	17	5	4	5	5	0	x	33	19	16	19	20
H	16	4	3	4	4	0	32	x	18	16	19	19
I	62	38	31	38	47	0	17	17	x	62	44	31
J	125	57	39	57	50	0	16	16	61	x	69	91
K	72	4	3	3	19	0	18	19	40	69	x	86
L	106	33	5	23	16	0	19	19	28	87	86	x

Zdroj: vlastní zpracování

Hledáme maximální hodnotu výhodnostního čísla – v tomto případě pole [1;2] s hodnotou 556 (označeno žlutě). Zapišeme odpovídající trasu (z uzlu A do uzlu B) a vyškrtáme řádek A, sloupec B a buňky, které by předčasně uzavíraly okruh – v tomto případě pole [2;1] (vše označeno světle modrou).

Zapišeme nalezenou trasu a sazbu této trasy z původní matice sazeb (v našem případě z Tabulka 3).



Obrázek 19 Metoda výhodnostních čísel – krok 1 - znázornění cesty

Zdroj: vlastní zpracování

Opakujeme hledání maximálního výhodnostního čísla v upravené výhodnostní matici, kterou jsme získali vyškrtáním buněk v předchozím kroku. Tento stav je zobrazen v následující tabulce (Tabulka 23).

Tabulka 23 Metoda výhodnostních čísel – matice výhodností pro F_0 – krok 2

	A	B	C	D	E	F_0	G	H	I	J	K	L
A	x											
B		x	241	233	19	0	4	4	-3	56	4	26
C	108		x	217	52	0	2	2	33	39	2	8
D	140		217	x	60	0	4	4	39	57	4	26
E	54		53	59	x	0	4	4	47	50	20	20
F_0	0		0	0	0	x	0	0	0	0	0	0
G	17		4	5	5	0	x	33	19	16	19	20
H	16		3	4	4	0	32	x	18	16	19	19
I	62		31	38	47	0	17	17	x	62	44	31
J	125		39	57	50	0	16	16	61	x	69	91
K	72		3	3	19	0	18	19	40	69	x	86
L	106		5	23	16	0	19	19	28	87	86	x

Zdroj: vlastní zpracování

Vidíme, že maximální výhodnostní číslo odpovídá trase z uzlu B do uzlu C. Z matice sazeb (Tabulka 3) zjistíme, že tato trasa je ohodnocena sazbou 317. Trasu přidáme do řešení.

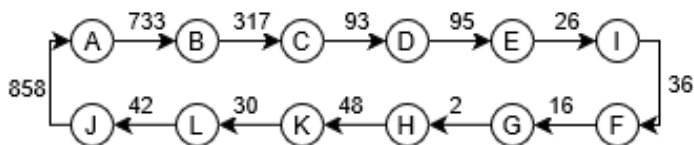


Obrázek 20 Metoda výhodnostních čísel – krok 2 - znázornění cesty

Zdroj: vlastní zpracování

Tento postup opakujeme, dokud neprojdeme všechna místa v matici. Pouze v 11. kroku už máme pouze jedinou možnost výběru trasy a tou je trasa z uzlu I do uzlu G, čímž bychom uzavřeli okruh, ale chyběl by nám uzel F. Uzel F zařadíme právě mezi uzly I a G.

Výsledná nalezená trasa (zobrazená s uzlem A na začátku) vypadá následovně:



Obrázek 21 Metoda výhodnostních čísel – nejvýhodnější řešení

Zdroj: vlastní zpracování

Celková délka této trasy je 2.296 km.

4.8 Výsledky pomocí programu TSPKOSA

Pro kontrolu nalezených řešení (tras) byl využit doplněk TSPKOSA pro MS Excel. V této části budou uvedeny pouze nejlepší řešení pro všechny uvedené metody. Kompletní záznamy výstupů jsou v příloze č. 3 této práce.

Nalezená řešení programem TSPKOSA jsou zobrazena na následujících obrázcích.

```
TSPKOSA/KSI
-----
Doba výpočtu: 00:00:00
Maximální chyba srovnání veličin s plovoucí desetinnou čárkou: 0
Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 1
Z_min = 2314
-----
(A) - (B) - (D) - (C) - (E) - (I) - (G) - (H) - (F) - (K) - (L) - (J) - (A)
Počet nalezených shodných okruhů: 2
-----
```

Obrázek 22 Report TSPKOSA – metoda nejbližšího souseda

Zdroj: vlastní zpracování

```
TSPKOSA/KSI
-----
Doba výpočtu: 00:00:00
Maximální chyba srovnání veličin s plovoucí desetinnou čárkou: 0
Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 1
Z_min = 2299
-----
(K) - (L) - (J) - (A) - (B) - (C) - (D) - (E) - (I) - (H) - (G) - (F) - (K)
Počet nalezených shodných okruhů: 3
-----
```

Obrázek 23 Report TSPKOSA – Vogelova aproximační metoda

Zdroj: vlastní zpracování

```
TSPKOSA/KSI
-----
Doba výpočtu: 00:00:00
Maximální chyba srovnání veličin s plovoucí desetinnou čárkou: 0
Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 1
Z_min = 2296
-----
(F) - (G) - (H) - (K) - (L) - (J) - (A) - (B) - (C) - (D) - (E) - (I) - (F)
Počet nalezených shodných okruhů: 5
-----
```

Obrázek 24 Report TSPKOSA – metoda výhodnostních čísel

Zdroj: vlastní zpracování

Obrázky 22, 23 a 24 zobrazují výstupy a nalezená řešení. Nám tím potvrzují, že jsme během ručních výpočtů neudělali žádnou chybu a přišli na správná řešení.

5 Zhodnocení a doporučení

Tato část práce se bude věnovat zhodnocení a porovnání získaných tras pomocí jednotlivých aproximačních metod, které byly použity v předcházející části této práce. Výsledky jsou zobrazeny v následující tabulce.

Tabulka 24 Porovnání tras

Trasa	Itinerář	Délka trasy
Současná	Praha - Lucemburk - Bruggy - Antverpy - Kinderdijk - Delft - Madurodam - Scheveningen - Gouda - Utrecht - Aalsmeer - Amsterdam - Praha	2.319 km
MNS	Praha - Lucemburk - Antverpy - Bruggy - Kinderdijk - Gouda - Madurodam - Scheveningen - Delft - Aalsmeer - Amsterdam - Utrecht - Praha	2.314 km
VAM	Praha - Lucemburk - Bruggy - Antverpy - Kinderdijk - Gouda - Scheveningen - Madurodam - Delft - Aalsmeer - Amsterdam - Utrecht - Praha	2.299 km
C-W metoda	Praha - Lucemburk - Bruggy - Antverpy - Kinderdijk - Gouda - Delft - Madurodam - Scheveningen - Gouda - Utrecht - Aalsmeer - Amsterdam - Praha	2.296 km

Zdroj: vlastní zpracování

Z tabulky je patrné, že nejlepšího výsledku bylo dosaženo metodou výhodnostních čísel. Druhá v pořadí je Vogelova aproximační metoda a nejhorší výsledek poskytla metoda nejbližšího souseda. V příloze 4 jsou v mapě zaneseny rozdíly jednotlivých tras.

Tabulka 25 Rozdíly mezi trasami

Trasa	Délka trasy	Rozdíl vzdáleností	Procentuální vyjádření
Současná	2.319 km		100,00 %
MNS	2.314 km	-5 km	99,78 %
VAM	2.299 km	-20 km	99,14 %
C-W metoda	2.296 km	-23 km	99,01 %

Zdroj: vlastní zpracování

Z rozhovoru se zaměstnankyní cestovní kanceláře jsem vyvodil, že cestovní kancelář neprovozuje žádné vlastní dálkové autobusy, a proto si pro zájezdy objednáva služby několika nasmlouvaných dopravců. Konkrétní smluvní podmínky mezi cestovní kanceláří a dopravci mi nejsou známy, ale budu předpokládat, že je cena stanovena relativně běžným způsobem, a to za ujetý kilometr a čas strávený čekáním na cestě. Ceny za kilometr se pohybují ve výši 30-35 Kč/km – tzn. případná změna trasy by cestovní kanceláří ušetřila přibližně 700 – 800 Kč (u nejkratší trasy proti stávající). Samotná změna trasy by s sebou

přinesla i další náklady spojené se změnou všech informačních materiálů (katalogy, brožury, internetová prezentace atd.). Cestovní kancelář by musela aktualizovat také informace směrem do své prodejní sítě (jiné CK, cestovní agentury).

Vzhledem k předpokládané výši možné úspory v této situaci bych doporučil zachovat aktuálně využívanou trasu.

6 Závěr

Tato bakalářská práce na téma „Optimalizace tras pro cestovní kanceláře“ se zabývá problematikou okružního dopravního problému na vybraném zájezdu cestovní kanceláře Mayer & Crocus s.r.o., která nabízí mimo jiné i poznávací zájezdy do většiny zemí evropské unie. Cílem bylo optimalizovat trasu konkrétního zájezdu pomocí vybraných aproximačních metod a následné porovnání takto získaných tras s trasou, která je reálně využívána.

Teoretická část práce se věnovala vysvětlení pojmů logistika, dopravní úloha a okružní dopravní problém. Dále byly představeny vybrané metody vhodné pro řešení tohoto typu úloh a to metoda nejbližšího souseda, Vogelova aproximační metoda a metoda výhodnostních čísel.

Druhá část práce se již věnovala praktické aplikaci těchto metod operační analýzy. Nejdříve byla představena cestovní kancelář a nabízený poznávací zájezd. Tento zájezd byl optimalizován nejprve pomocí metody nejbližšího souseda, následně Vogelovy aproximační metody a nakonec pomocí metody výhodnostních čísel.

Třetí a poslední část je věnována souhrnu výsledků jednotlivých metod a jejich porovnání s reálně využívanou trasou. Nejvýhodnější řešení bylo nalezeno pomocí metody výhodnostních čísel. Vybraný zájezd je nabízen již mnoho let a byl během této doby postupně mírně obměňován. Tím i docházelo k optimalizaci jeho trasy. Jelikož tento zájezd nemá rozvětvenou trasu, nejsou rozdíly mezi trasami zásadní a reálně využívaná trasa se téměř blíží k té nejvýhodnější. Tyto poznatky byly následně konzultovány s danou cestovní kanceláří.

Využívání metod operační analýzy pro řešení problému obchodního cestujícího nalézá uplatnění nejen u cestovních kanceláří, ale i v mnoha dalších oborech, které nemusejí být nutně spojeny s dopravní tematikou.

7 Seznam použitých zdrojů

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

CLARKE, G. A WRIGHT, J.W.: Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points, *Operations Research*, Vol. 12, 1964, 568-581

COOK, William John. *Po stopách obchodního cestujícího: matematika na hranicích možností*. Praha: Dokořán, 2012. ISBN 978-80-7363-412-4.

JUNEMANN, Reinhardt. *Materialfluß und Logistik*. Berlin: Springer, 1989. ISBN 978-3-662-08532-5.

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

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

SIXTA, Josef a MAČÁT, Václav. *Logistika: teorie a praxe*. Vyd. 1. Brno: CP Books, 2005. 315 s. Praxe manažera. ISBN 80-251-0573-3

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

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

Elektronické zdroje:

CK Mayer Crocus [cit. 2021-03-01]. Dostupné z: <http://www.ckmayer.cz/>

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

Mapy.cz [online]. [cit. 2021-03-01]. Mapy. Dostupné z: <https://www.mapy.cz>

8 Přílohy

Příloha 1: Výsledné matice pro metodu nejbližšího souseda

Příloha 2: Výsledné matice pro metodu nejbližšího souseda – zpětný průchod

Příloha 3: Kompletní výstupy programu TSPKOSA

Příloha 4: Grafické zobrazení rozdílů tras na mapě

Příloha 1: Výsledné matice pro metodu nejbližšího souseda

Výchozí uzel: A

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
A	x	733	986	896	903	919	919	921	893	862	895	878
B	736	x	317	252	386	368	380	382	407	376	413	410
C	1004	319	x	93	178	193	207	209	196	218	240	253
D	897	254	91	x	95	118	130	132	115	125	163	160
E	902	347	174	95	x	37	49	51	26	51	66	85
F	919	370	190	117	37	x	16	18	36	64	49	68
G	919	382	203	129	49	17	x	2	34	65	47	65
H	921	384	205	131	51	18	2	x	36	66	48	67
I	893	368	195	115	26	36	35	37	x	38	41	73
J	858	377	215	124	51	64	64	66	39	x	44	41
K	895	414	235	162	66	48	46	47	44	43	x	30
L	878	402	250	159	86	65	62	64	73	42	28	x

Zdroj: vlastní zpracování

Výchozí uzel: B

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
A	x	733	986	896	903	919	919	921	893	862	895	878
B	736	x	317	252	386	368	380	382	407	376	413	410
C	1004	319	x	93	178	193	207	209	196	218	240	253
D	897	254	91	x	95	118	130	132	115	125	163	160
E	902	347	174	95	x	37	49	51	26	51	66	85
F	919	370	190	117	37	x	16	18	36	64	49	68
G	919	382	203	129	49	17	x	2	34	65	47	65
H	921	384	205	131	51	18	2	x	36	66	48	67
I	893	368	195	115	26	36	35	37	x	38	41	73
J	858	377	215	124	51	64	64	66	39	x	44	41
K	895	414	235	162	66	48	46	47	44	43	x	30
L	878	402	250	159	86	65	62	64	73	42	28	x

Zdroj: vlastní zpracování

Výchozí uzel: C

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
A	x	733	986	896	903	919	919	921	893	862	895	878
B	736	x	317	252	386	368	380	382	407	376	413	410
C	1004	319	x	93	178	193	207	209	196	218	240	253
D	897	254	91	x	95	118	130	132	115	125	163	160
E	902	347	174	95	x	37	49	51	26	51	66	85
F	919	370	190	117	37	x	16	18	36	64	49	68
G	919	382	203	129	49	17	x	2	34	65	47	65
H	921	384	205	131	51	18	2	x	36	66	48	67
I	893	368	195	115	26	36	35	37	x	38	41	73
J	858	377	215	124	51	64	64	66	39	x	44	41
K	895	414	235	162	66	48	46	47	44	43	x	30
L	878	402	250	159	86	65	62	64	73	42	28	x

Zdroj: vlastní zpracování

Výchozí uzel: D

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
A	x	733	986	896	903	919	919	921	893	862	895	878
B	736	x	317	252	386	368	380	382	407	376	413	410
C	1004	319	x	93	178	193	207	209	196	218	240	253
D	897	254	91	x	95	118	130	132	115	125	163	160
E	902	347	174	95	x	37	49	51	26	51	66	85
F	919	370	190	117	37	x	16	18	36	64	49	68
G	919	382	203	129	49	17	x	2	34	65	47	65
H	921	384	205	131	51	18	2	x	36	66	48	67
I	893	368	195	115	26	36	35	37	x	38	41	73
J	858	377	215	124	51	64	64	66	39	x	44	41
K	895	414	235	162	66	48	46	47	44	43	x	30
L	878	402	250	159	86	65	62	64	73	42	28	x

Zdroj: vlastní zpracování

Výchozí uzel: E

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
A	x	733	986	896	903	919	919	921	893	862	895	878
B	736	x	317	252	386	368	380	382	407	376	413	410
C	1004	319	x	93	178	193	207	209	196	218	240	253
D	897	254	91	x	95	118	130	132	115	125	163	160
E	902	347	174	95	x	37	49	51	26	51	66	85
F	919	370	190	117	37	x	16	18	36	64	49	68
G	919	382	203	129	49	17	x	2	34	65	47	65
H	921	384	205	131	51	18	2	x	36	66	48	67
I	893	368	195	115	26	36	35	37	x	38	41	73
J	858	377	215	124	51	64	64	66	39	x	44	41
K	895	414	235	162	66	48	46	47	44	43	x	30
L	878	402	250	159	86	65	62	64	73	42	28	x

Zdroj: vlastní zpracování

Výchozí uzel: F

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
A	x	733	986	896	903	919	919	921	893	862	895	878
B	736	x	317	252	386	368	380	382	407	376	413	410
C	1004	319	x	93	178	193	207	209	196	218	240	253
D	897	254	91	x	95	118	130	132	115	125	163	160
E	902	347	174	95	x	37	49	51	26	51	66	85
F	919	370	190	117	37	x	16	18	36	64	49	68
G	919	382	203	129	49	17	x	2	34	65	47	65
H	921	384	205	131	51	18	2	x	36	66	48	67
I	893	368	195	115	26	36	35	37	x	38	41	73
J	858	377	215	124	51	64	64	66	39	x	44	41
K	895	414	235	162	66	48	46	47	44	43	x	30
L	878	402	250	159	86	65	62	64	73	42	28	x

Zdroj: vlastní zpracování

Výchozí uzel: G

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
A	x	733	986	896	903	919	919	921	893	862	895	878
B	736	x	317	252	386	368	380	382	407	376	413	410
C	1004	319	x	93	178	193	207	209	196	218	240	253
D	897	254	91	x	95	118	130	132	115	125	163	160
E	902	347	174	95	x	37	49	51	26	51	66	85
F	919	370	190	117	37	x	16	18	36	64	49	68
G	919	382	203	129	49	17	x	2	34	65	47	65
H	921	384	205	131	51	18	2	x	36	66	48	67
I	893	368	195	115	26	36	35	37	x	38	41	73
J	858	377	215	124	51	64	64	66	39	x	44	41
K	895	414	235	162	66	48	46	47	44	43	x	30
L	878	402	250	159	86	65	62	64	73	42	28	x

Zdroj: vlastní zpracování

Výchozí uzel: H

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
A	x	733	986	896	903	919	919	921	893	862	895	878
B	736	x	317	252	386	368	380	382	407	376	413	410
C	1004	319	x	93	178	193	207	209	196	218	240	253
D	897	254	91	x	95	118	130	132	115	125	163	160
E	902	347	174	95	x	37	49	51	26	51	66	85
F	919	370	190	117	37	x	16	18	36	64	49	68
G	919	382	203	129	49	17	x	2	34	65	47	65
H	921	384	205	131	51	18	2	x	36	66	48	67
I	893	368	195	115	26	36	35	37	x	38	41	73
J	858	377	215	124	51	64	64	66	39	x	44	41
K	895	414	235	162	66	48	46	47	44	43	x	30
L	878	402	250	159	86	65	62	64	73	42	28	x

Zdroj: vlastní zpracování

Výchozí uzel: I

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
A	x	733	986	896	903	919	919	921	893	862	895	878
B	736	x	317	252	386	368	380	382	407	376	413	410
C	1004	319	x	93	178	193	207	209	196	218	240	253
D	897	254	91	x	95	118	130	132	115	125	163	160
E	902	347	174	95	x	37	49	51	26	51	66	85
F	919	370	190	117	37	x	16	18	36	64	49	68
G	919	382	203	129	49	17	x	2	34	65	47	65
H	921	384	205	131	51	18	2	x	36	66	48	67
I	893	368	195	115	26	36	35	37	x	38	41	73
J	858	377	215	124	51	64	64	66	39	x	44	41
K	895	414	235	162	66	48	46	47	44	43	x	30
L	878	402	250	159	86	65	62	64	73	42	28	x

Zdroj: vlastní zpracování

Výchozí uzel: J

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
A	x	733	986	896	903	919	919	921	893	862	895	878
B	736	x	317	252	386	368	380	382	407	376	413	410
C	1004	319	x	93	178	193	207	209	196	218	240	253
D	897	254	91	x	95	118	130	132	115	125	163	160
E	902	347	174	95	x	37	49	51	26	51	66	85
F	919	370	190	117	37	x	16	18	36	64	49	68
G	919	382	203	129	49	17	x	2	34	65	47	65
H	921	384	205	131	51	18	2	x	36	66	48	67
I	893	368	195	115	26	36	35	37	x	38	41	73
J	858	377	215	124	51	64	64	66	39	x	44	41
K	895	414	235	162	66	48	46	47	44	43	x	30
L	878	402	250	159	86	65	62	64	73	42	28	x

Zdroj: vlastní zpracování

Výchozí uzel: K

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
A	x	733	986	896	903	919	919	921	893	862	895	878
B	736	x	317	252	386	368	380	382	407	376	413	410
C	1004	319	x	93	178	193	207	209	196	218	240	253
D	897	254	91	x	95	118	130	132	115	125	163	160
E	902	347	174	95	x	37	49	51	26	51	66	85
F	919	370	190	117	37	x	16	18	36	64	49	68
G	919	382	203	129	49	17	x	2	34	65	47	65
H	921	384	205	131	51	18	2	x	36	66	48	67
I	893	368	195	115	26	36	35	37	x	38	41	73
J	858	377	215	124	51	64	64	66	39	x	44	41
K	895	414	235	162	66	48	46	47	44	43	x	30
L	878	402	250	159	86	65	62	64	73	42	28	x

Zdroj: vlastní zpracování

Výchozí uzel: L

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
A	x	733	986	896	903	919	919	921	893	862	895	878
B	736	x	317	252	386	368	380	382	407	376	413	410
C	1004	319	x	93	178	193	207	209	196	218	240	253
D	897	254	91	x	95	118	130	132	115	125	163	160
E	902	347	174	95	x	37	49	51	26	51	66	85
F	919	370	190	117	37	x	16	18	36	64	49	68
G	919	382	203	129	49	17	x	2	34	65	47	65
H	921	384	205	131	51	18	2	x	36	66	48	67
I	893	368	195	115	26	36	35	37	x	38	41	73
J	858	377	215	124	51	64	64	66	39	x	44	41
K	895	414	235	162	66	48	46	47	44	43	x	30
L	878	402	250	159	86	65	62	64	73	42	28	x

Zdroj: vlastní zpracování

Příloha 2: Výsledné matice pro metodu nejbližšího souseda – zpětný průchod

Výchozí uzel: A - zpětný průchod

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
A	x	736	1004	897	902	919	919	921	893	858	895	878
B	733	x	319	254	347	370	382	384	368	377	414	402
C	986	317	x	91	174	190	203	205	195	215	235	250
D	896	252	93	x	95	117	129	131	115	124	162	159
E	903	386	178	95	x	37	49	51	26	51	66	86
F	919	368	193	118	37	x	17	18	36	64	48	65
G	919	380	207	130	49	16	x	2	35	64	46	62
H	921	382	209	132	51	18	2	x	37	66	47	64
I	893	407	196	115	26	36	34	36	x	39	44	73
J	862	376	218	125	51	64	65	66	38	x	43	42
K	895	413	240	163	66	49	47	48	41	44	x	28
L	878	410	253	160	85	68	65	67	73	41	30	x

Zdroj: vlastní zpracování

Výchozí uzel: B - zpětný průchod

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
A	x	736	1004	897	902	919	919	921	893	858	895	878
B	733	x	319	254	347	370	382	384	368	377	414	402
C	986	317	x	91	174	190	203	205	195	215	235	250
D	896	252	93	x	95	117	129	131	115	124	162	159
E	903	386	178	95	x	37	49	51	26	51	66	86
F	919	368	193	118	37	x	17	18	36	64	48	65
G	919	380	207	130	49	16	x	2	35	64	46	62
H	921	382	209	132	51	18	2	x	37	66	47	64
I	893	407	196	115	26	36	34	36	x	39	44	73
J	862	376	218	125	51	64	65	66	38	x	43	42
K	895	413	240	163	66	49	47	48	41	44	x	28
L	878	410	253	160	85	68	65	67	73	41	30	x

Zdroj: vlastní zpracování

Výchozí uzel: C - zpětný průchod

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
A	x	736	1004	897	902	919	919	921	893	858	895	878
B	733	x	319	254	347	370	382	384	368	377	414	402
C	986	317	x	91	174	190	203	205	195	215	235	250
D	896	252	93	x	95	117	129	131	115	124	162	159
E	903	386	178	95	x	37	49	51	26	51	66	86
F	919	368	193	118	37	x	17	18	36	64	48	65
G	919	380	207	130	49	16	x	2	35	64	46	62
H	921	382	209	132	51	18	2	x	37	66	47	64
I	893	407	196	115	26	36	34	36	x	39	44	73
J	862	376	218	125	51	64	65	66	38	x	43	42
K	895	413	240	163	66	49	47	48	41	44	x	28
L	878	410	253	160	85	68	65	67	73	41	30	x

Zdroj: vlastní zpracování

Výchozí uzel: D - zpětný průchod

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
A	x	736	1004	897	902	919	919	921	893	858	895	878
B	733	x	319	254	347	370	382	384	368	377	414	402
C	986	317	x	91	174	190	203	205	195	215	235	250
D	896	252	93	x	95	117	129	131	115	124	162	159
E	903	386	178	95	x	37	49	51	26	51	66	86
F	919	368	193	118	37	x	17	18	36	64	48	65
G	919	380	207	130	49	16	x	2	35	64	46	62
H	921	382	209	132	51	18	2	x	37	66	47	64
I	893	407	196	115	26	36	34	36	x	39	44	73
J	862	376	218	125	51	64	65	66	38	x	43	42
K	895	413	240	163	66	49	47	48	41	44	x	28
L	878	410	253	160	85	68	65	67	73	41	30	x

Zdroj: vlastní zpracování

Výchozí uzel: E - zpětný průchod

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
A	x	736	1004	897	902	919	919	921	893	858	895	878
B	733	x	319	254	347	370	382	384	368	377	414	402
C	986	317	x	91	174	190	203	205	195	215	235	250
D	896	252	93	x	95	117	129	131	115	124	162	159
E	903	386	178	95	x	37	49	51	26	51	66	86
F	919	368	193	118	37	x	17	18	36	64	48	65
G	919	380	207	130	49	16	x	2	35	64	46	62
H	921	382	209	132	51	18	2	x	37	66	47	64
I	893	407	196	115	26	36	34	36	x	39	44	73
J	862	376	218	125	51	64	65	66	38	x	43	42
K	895	413	240	163	66	49	47	48	41	44	x	28
L	878	410	253	160	85	68	65	67	73	41	30	x

Zdroj: vlastní zpracování

Výchozí uzel: F - zpětný průchod

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
A	x	736	1004	897	902	919	919	921	893	858	895	878
B	733	x	319	254	347	370	382	384	368	377	414	402
C	986	317	x	91	174	190	203	205	195	215	235	250
D	896	252	93	x	95	117	129	131	115	124	162	159
E	903	386	178	95	x	37	49	51	26	51	66	86
F	919	368	193	118	37	x	17	18	36	64	48	65
G	919	380	207	130	49	16	x	2	35	64	46	62
H	921	382	209	132	51	18	2	x	37	66	47	64
I	893	407	196	115	26	36	34	36	x	39	44	73
J	862	376	218	125	51	64	65	66	38	x	43	42
K	895	413	240	163	66	49	47	48	41	44	x	28
L	878	410	253	160	85	68	65	67	73	41	30	x

Zdroj: vlastní zpracování

Výchozí uzel: G - zpětný průchod

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
A	x	736	1004	897	902	919	919	921	893	858	895	878
B	733	x	319	254	347	370	382	384	368	377	414	402
C	986	317	x	91	174	190	203	205	195	215	235	250
D	896	252	93	x	95	117	129	131	115	124	162	159
E	903	386	178	95	x	37	49	51	26	51	66	86
F	919	368	193	118	37	x	17	18	36	64	48	65
G	919	380	207	130	49	16	x	2	35	64	46	62
H	921	382	209	132	51	18	2	x	37	66	47	64
I	893	407	196	115	26	36	34	36	x	39	44	73
J	862	376	218	125	51	64	65	66	38	x	43	42
K	895	413	240	163	66	49	47	48	41	44	x	28
L	878	410	253	160	85	68	65	67	73	41	30	x

Zdroj: vlastní zpracování

Výchozí uzel: H - zpětný průchod

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
A	x	736	1004	897	902	919	919	921	893	858	895	878
B	733	x	319	254	347	370	382	384	368	377	414	402
C	986	317	x	91	174	190	203	205	195	215	235	250
D	896	252	93	x	95	117	129	131	115	124	162	159
E	903	386	178	95	x	37	49	51	26	51	66	86
F	919	368	193	118	37	x	17	18	36	64	48	65
G	919	380	207	130	49	16	x	2	35	64	46	62
H	921	382	209	132	51	18	2	x	37	66	47	64
I	893	407	196	115	26	36	34	36	x	39	44	73
J	862	376	218	125	51	64	65	66	38	x	43	42
K	895	413	240	163	66	49	47	48	41	44	x	28
L	878	410	253	160	85	68	65	67	73	41	30	x

Zdroj: vlastní zpracování

Výchozí uzel: I - zpětný průchod

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
A	x	736	1004	897	902	919	919	921	893	858	895	878
B	733	x	319	254	347	370	382	384	368	377	414	402
C	986	317	x	91	174	190	203	205	195	215	235	250
D	896	252	93	x	95	117	129	131	115	124	162	159
E	903	386	178	95	x	37	49	51	26	51	66	86
F	919	368	193	118	37	x	17	18	36	64	48	65
G	919	380	207	130	49	16	x	2	35	64	46	62
H	921	382	209	132	51	18	2	x	37	66	47	64
I	893	407	196	115	26	36	34	36	x	39	44	73
J	862	376	218	125	51	64	65	66	38	x	43	42
K	895	413	240	163	66	49	47	48	41	44	x	28
L	878	410	253	160	85	68	65	67	73	41	30	x

Zdroj: vlastní zpracování

Výchozí uzel: J - zpětný průchod

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
A	x	736	1004	897	902	919	919	921	893	858	895	878
B	733	x	319	254	347	370	382	384	368	377	414	402
C	986	317	x	91	174	190	203	205	195	215	235	250
D	896	252	93	x	95	117	129	131	115	124	162	159
E	903	386	178	95	x	37	49	51	26	51	66	86
F	919	368	193	118	37	x	17	18	36	64	48	65
G	919	380	207	130	49	16	x	2	35	64	46	62
H	921	382	209	132	51	18	2	x	37	66	47	64
I	893	407	196	115	26	36	34	36	x	39	44	73
J	862	376	218	125	51	64	65	66	38	x	43	42
K	895	413	240	163	66	49	47	48	41	44	x	28
L	878	410	253	160	85	68	65	67	73	41	30	x

Zdroj: vlastní zpracování

Výchozí uzel: K - zpětný průchod

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
A	x	736	1004	897	902	919	919	921	893	858	895	878
B	733	x	319	254	347	370	382	384	368	377	414	402
C	986	317	x	91	174	190	203	205	195	215	235	250
D	896	252	93	x	95	117	129	131	115	124	162	159
E	903	386	178	95	x	37	49	51	26	51	66	86
F	919	368	193	118	37	x	17	18	36	64	48	65
G	919	380	207	130	49	16	x	2	35	64	46	62
H	921	382	209	132	51	18	2	x	37	66	47	64
I	893	407	196	115	26	36	34	36	x	39	44	73
J	862	376	218	125	51	64	65	66	38	x	43	42
K	895	413	240	163	66	49	47	48	41	44	x	28
L	878	410	253	160	85	68	65	67	73	41	30	x

Zdroj: vlastní zpracování

Výchozí uzel: L - zpětný průchod

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
A	x	736	1004	897	902	919	919	921	893	858	895	878
B	733	x	319	254	347	370	382	384	368	377	414	402
C	986	317	x	91	174	190	203	205	195	215	235	250
D	896	252	93	x	95	117	129	131	115	124	162	159
E	903	386	178	95	x	37	49	51	26	51	66	86
F	919	368	193	118	37	x	17	18	36	64	48	65
G	919	380	207	130	49	16	x	2	35	64	46	62
H	921	382	209	132	51	18	2	x	37	66	47	64
I	893	407	196	115	26	36	34	36	x	39	44	73
J	862	376	218	125	51	64	65	66	38	x	43	42
K	895	413	240	163	66	49	47	48	41	44	x	28
L	878	410	253	160	85	68	65	67	73	41	30	x

Zdroj: vlastní zpracování

Příloha 3: kompletní výstupy programu TSPKOSA

Metoda nejbližšího souseda – sekvenčně

Doba výpočtu: 00:00:00

Maximální chyba srovnání veličin s plovoucí desetinnou čárkou: 0

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 1

Z_min = 2314

(A) - (B) - (D) - (C) - (E) - (I) - (G) - (H) - (F) - (K) - (L) - (J) - (A)

Počet nalezených shodných okruhů: 2

Další testované cykly:

Z = 2489	(C) - (D) - (E) - (I) - (G) - (H) - (F) - (K) - (L) - (J) - (B) - (A) - (C)
Z = 2480	(D) - (C) - (E) - (I) - (G) - (H) - (F) - (K) - (L) - (J) - (B) - (A) - (D)
Z = 2375	(E) - (I) - (G) - (H) - (F) - (K) - (L) - (J) - (D) - (C) - (B) - (A) - (E)
Z = 2427	(F) - (G) - (H) - (I) - (E) - (J) - (L) - (K) - (D) - (C) - (B) - (A) - (F)
Z = 2429	(G) - (H) - (F) - (I) - (E) - (J) - (L) - (K) - (D) - (C) - (B) - (A) - (G)
Z = 2430	(H) - (G) - (F) - (I) - (E) - (J) - (L) - (K) - (D) - (C) - (B) - (A) - (H)
Z = 2364	(I) - (E) - (F) - (G) - (H) - (K) - (L) - (J) - (D) - (C) - (B) - (A) - (I)
Z = 2365	(J) - (I) - (E) - (F) - (G) - (H) - (K) - (L) - (D) - (C) - (B) - (A) - (J)
Z = 2364	(K) - (L) - (J) - (I) - (E) - (F) - (G) - (H) - (D) - (C) - (B) - (A) - (K)
Z = 2346	(L) - (K) - (J) - (I) - (E) - (F) - (G) - (H) - (D) - (C) - (B) - (A) - (L)

Zdroj: TSKOSA – doplněk pro MS Excel

Vogelova aproximační metoda pro ODP

Doba výpočtu: 00:00:00

Maximální chyba srovnání veličin s plovoucí desetinnou čárkou: 0

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 1

Z_min = 2299

(K) - (L) - (J) - (A) - (B) - (C) - (D) - (E) - (I) - (H) - (G) - (F) - (K)

Počet nalezených shodných okruhů: 3

Další testované cykly:

Z = 2300	(K) - (L) - (J) - (A) - (B) - (C) - (D) - (E) - (F) - (G) - (H) - (I) - (K)
Z = 2300	(K) - (L) - (J) - (A) - (B) - (C) - (D) - (E) - (F) - (G) - (H) - (I) - (K)
Z = 2300	(K) - (L) - (J) - (A) - (B) - (C) - (D) - (E) - (F) - (G) - (H) - (I) - (K)
Z = 2300	(K) - (L) - (J) - (A) - (B) - (C) - (D) - (E) - (F) - (H) - (G) - (I) - (K)
Z = 2300	(K) - (L) - (J) - (A) - (B) - (C) - (D) - (E) - (F) - (H) - (G) - (I) - (K)
Z = 2300	(K) - (L) - (J) - (A) - (B) - (C) - (D) - (E) - (F) - (H) - (G) - (I) - (K)

Zdroj: TSKOSA – doplněk pro MS Excel

Metoda výhodnostních čísel - paralelně

Doba výpočtu: 00:00:00

Maximální chyba srovnání veličin s plovoucí desetinnou čárkou: 0

Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 1

Z_min = 2296

(F) - (G) - (H) - (K) - (L) - (J) - (A) - (B) - (C) - (D) - (E) - (I) - (F)

Počet nalezených shodných okruhů: 5

Další testované

cykly:

Z =	2359	(A) - (B) - (C) - (D) - (J) - (E) - (F) - (H) - (G) - (I) - (K) - (L) - (A)
Z =	2469	(B) - (A) - (D) - (J) - (K) - (L) - (F) - (H) - (G) - (I) - (E) - (C) - (B)
Z =	2365	(C) - (B) - (A) - (E) - (I) - (J) - (L) - (K) - (H) - (G) - (F) - (D) - (C)
Z =	2356	(D) - (E) - (I) - (J) - (L) - (K) - (H) - (G) - (F) - (A) - (B) - (C) - (D)
Z =	2334	(E) - (D) - (C) - (B) - (A) - (L) - (K) - (J) - (F) - (H) - (G) - (I) - (E)
Z =	2334	(I) - (E) - (D) - (C) - (B) - (A) - (L) - (K) - (J) - (F) - (H) - (G) - (I)
Z =	2298	(J) - (A) - (B) - (C) - (D) - (E) - (I) - (G) - (H) - (F) - (K) - (L) - (J)
Z =	2299	(K) - (L) - (J) - (A) - (B) - (C) - (D) - (E) - (I) - (H) - (G) - (F) - (K)
Z =	2300	(L) - (K) - (F) - (H) - (G) - (I) - (E) - (D) - (C) - (B) - (A) - (J) - (L)
Z =	2324	(A) - (J) - (L) - (K) - (I) - (G) - (H) - (F) - (E) - (C) - (D) - (B) - (A)
Z =	2469	(B) - (A) - (D) - (J) - (K) - (L) - (F) - (G) - (H) - (I) - (E) - (C) - (B)
Z =	2365	(C) - (B) - (A) - (E) - (I) - (J) - (L) - (K) - (G) - (H) - (F) - (D) - (C)
Z =	2356	(D) - (E) - (I) - (J) - (L) - (K) - (G) - (H) - (F) - (A) - (B) - (C) - (D)
Z =	2321	(E) - (D) - (C) - (B) - (A) - (L) - (K) - (J) - (I) - (G) - (H) - (F) - (E)
Z =	2334	(I) - (E) - (D) - (C) - (B) - (A) - (L) - (K) - (J) - (F) - (G) - (H) - (I)
Z =	2334	(I) - (F) - (H) - (G) - (E) - (D) - (C) - (B) - (A) - (L) - (K) - (J) - (I)
Z =	2331	(J) - (L) - (K) - (A) - (B) - (C) - (D) - (E) - (F) - (G) - (H) - (I) - (J)
Z =	2345	(J) - (L) - (K) - (A) - (B) - (C) - (D) - (E) - (G) - (H) - (F) - (I) - (J)
Z =	2297	(K) - (L) - (J) - (A) - (B) - (C) - (D) - (E) - (I) - (F) - (H) - (G) - (K)
Z =	2300	(L) - (K) - (G) - (H) - (F) - (I) - (E) - (D) - (C) - (B) - (A) - (J) - (L)
Z =	2359	(A) - (B) - (C) - (D) - (J) - (E) - (F) - (G) - (H) - (I) - (K) - (L) - (A)
Z =	2334	(E) - (D) - (C) - (B) - (A) - (L) - (K) - (J) - (F) - (G) - (H) - (I) - (E)
Z =	2334	(I) - (F) - (G) - (H) - (E) - (D) - (C) - (B) - (A) - (L) - (K) - (J) - (I)
Z =	2331	(J) - (A) - (B) - (C) - (D) - (E) - (F) - (G) - (H) - (I) - (L) - (K) - (J)
Z =	2345	(J) - (A) - (B) - (C) - (D) - (E) - (G) - (H) - (F) - (I) - (L) - (K) - (J)
Z =	2300	(L) - (K) - (F) - (G) - (H) - (I) - (E) - (D) - (C) - (B) - (A) - (J) - (L)

Zdroj: TSKOSA – doplněk pro MS Excel

Příloha 4: Grafické zobrazení rozdílů tras na mapě

