Česká zemědělská univerzita v Praze

Provozně ekonomická fakulta

Katedra informačních technologií

Bakalářská práce

Optimalizace dopravních tras pro rozvoz potravinářských produktů

Dan Chejstovský

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Provozně ekonomická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Dan Chejstovský

Systémové inženýrství a informatika
Informatika

Název práce

Optimalizace dopravních tras pro rozvoz potravinářských produktů

Název anglicky

Optimization of transport routes for food products distribution

---

Cíle práce

Cílem této bakalářské práce je najít novou nebo optimalizovat současnou trasu, po které pekárna Pivak rozváží pečivo do pekáren a obchodů. Pro tuto optimalizaci bude použito několik metod s cílem najít tu nejefektivnější možnou trasu.

Metodika

Práce bude rozdělena do dvou částí. V teoretické části bude objasněna základní problematika logistiky a následně bude podán přehled metod pro řešení okružních dopravních problémů.

V praktické části budou nejdříve analyzovány vzdálenosti mezi místy, kam jsou rozváženy produkty danou firmou. Následně bude zjištěna optimální trasa okruhu za použití metod, popsaných v teoretické části. Na závěr bude firmě doporučená nejkratší trasa.

Doporučený rozsah práce

30-40 stran

Klíčová slova

Rozvoz, optimalizace tras, jednookruhový okružní dopravní problém, aproximační metody

---

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.

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. KATEDRA OPERAČNÍ A SYSTÉMOVÉ ANALÝZY, – ŠUBRT, T. *Ekonomicko matematické metody II : aplikace a cvičení..*

SIXTA, J. – MAČÁT, V. *Logistika : teorie a praxe.* Brno: CP Books, 2005. ISBN 80-251-0573-3.

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

Předběžný termín obhajoby

2019/20 LS – PEF

Vedoucí práce

RNDr. Petr Kučera, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra systémového inženýrství

Elektronicky schváleno dne 15. 11. 2019	Elektronicky schváleno dne 19. 11. 2019
doc. Ing. Tomáš Šubrt, Ph.D.	**Ing. Martin Pelikán, Ph.D.**
Vedoucí katedry	Děkan

V Praze dne 04. 03. 2021

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci "Optimalizace dopravních tras pro rozvoz potravinářských produktů" vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou řádně citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů v závěru této 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 vedoucímu práce RNDr. Petru Kučerovi, Ph.D. za pomoc a velice cenné rady při zpracování této bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval společnosti PIVÁK s.r.o. za poskytnutí potřebných podkladů pro vypracování praktické části. A v neposlední řadě děkuji rodině a přítelkyni za jejich podporu při psaní této práce.

Optimalizace dopravních tras pro rozvoz potravinářských produktů

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá optimalizací dopravních tras pro rozvoz potravinářských produktů. Konkrétně se jedná o pekařství PIVÁK s.r.o., které rozváží své produkty po pravidelných okružních trasách svým odběratelům.

Práce je rozdělena do dvou částí. První teoretická část popisuje jednak logistiku a pojmy s ní spojené, dále dopravu, nakonec i distribuční úlohy se zaměřením na okružní problém, a to vše za pomoci odborné literatury.

V praktické části je ve stručnosti popsána firma, pro kterou je následně řešena optimalizace dopravní trasy pomocí Vogelovy aproximační metody a metody nejbližšího souseda.

Po využití a aplikaci těchto metod jsou v závěru práce jednotlivé metody porovnány s cílem nalezení optimální trasy.

Klíčová slova: rozvoz, logistika, doprava, optimalizace tras, okružní dopravní problém, aproximační metody

Optimization of transport routes for food products distribution

Abstract

This bachelor thesis deals with the optimization of transport routes for distribution of food products. Specifically the PIVÁK s.r.o. bakery, which distributes its products to its customers on regular circular routes.

The thesis is divided into two parts. The first theoretical part describes logistics and its related concepts as well as transport and finally distribution tasks with a focus on the circular problem, all with the help of professional literature.

The practical part briefly describes the company for which the optimization of the transport route is subsequently solved using the Vogel approximation method and the nearest neighbor method.

After the use and application of these methods, at the end of the thesis the individual methods are compared in order to find the optimal route.

Keywords: distribution, logistics, transport, route optimization, traveling salesman problem, approximation methods

Obsah

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Seznam příloh

Seznam použitých zkratek

ODP – Okružní dopravní problém

VAM – Vogelova aproximační metoda

1. Úvod

Jedním z prostředků, bez kterých si v dnešní době neumíme představit dobře fungující logistiku, je optimalizace. Jako ekonomicky efektivní přístup lze považovat vynakládání nutného úsilí při optimálních nákladech. Každá prosperující a úspěšná společnost klade důraz na optimalizaci nákladů v souladu s maximalizací zisků. Právě touto problematikou se zabývá optimalizace, kterou lze nalézt například ve výpočetní technice nebo také v matematice. Matematika nám poskytuje mnoho možností, dokážeme-li ji aplikovat na problémy reálného světa. Protože mezi provozní náklady firmy patří i náklady na dopravu, dochází právě v této oblasti k průniku logistiky, dopravy, matematiky a optimalizace. Při dnešních cenách za pohonné hmoty, jež jsou dosti kolísavé a dosahují i závratných výšin, je potřeba se zabývat snižováním nákladů na dopravu, a to pomocí optimalizace jednotlivých tras. Optimální trasu lze nazvat tu, která z hlediska zvoleného kritéria, například co do počtu najetých kilometrů, či času přepravy, je tou nejlepší možnou. Zvolené nejvhodnější řešení lze implementovat během rozvozu, respektive svozu výrobků, zboží, materiálů a všech možných dalších objektů svým odběratelům, respektive dodavatelům.

Ve své bakalářské práci jsem se zaměřil na optimalizaci dopravní trasy pro rozvoz potravinářských produktů. Jako subjekt jsem si zvolil společnost PIVÁK s.r.o. Jedná se o síť pekáren, které vyrábí a rozváží své výrobky po Praze a blízkém okolí svým odběratelům, jakož i o pekařství, která tyto své produkty zároveň prodávají. Hlavní sídlo a současně největší pekárna se nachází v Praze v ulici Korunní na Vinohradech. Odtud také proudí nejvíce výrobků. Stejně tak zde nalezneme výchozí i cílové místo pro trasu, řešenou v této práci. Jedná se tudíž o jednookruhový okružní dopravní problém.

Cílem práce je nalezení nejvýhodnějšího spojení mezi odběrateli za použití dvou aproximačních metod, jimiž jsou metoda nejbližšího souseda a Vogelova aproximační metoda.

2. Cíl práce a metodika

2.1 Cíl práce

Hlavním cílem této bakalářské práce je pomocí vybraných aproximačních metod vyhledat optimální řešení jedné konkrétní dopravní trasy u zvolené společnosti s názvem PIVÁK s.r.o., která pravidelně dováží své produkty svým odběratelům. Hlavním kritériem bude počet najetých kilometrů, jenž by dle optimálního řešení měl být co nejmenší. Nalezené nejvýhodnější řešení bude porovnáno s trasou dříve používanou.

2.2 Metodika

Práce je rozdělena na dvě části, teoretickou a praktickou. K dosažení cíle je potřeba se nejdříve seznámit s teorií a metodami pro řešení okružních dopravních problémů a představení si základních pojmů logistiky. Na to je zaměřena část teoretická.

V praktické části bude představena společnost, pro kterou bude řešena optimalizace dané trasy. K práci bude využit server www.mapy.cz, s jehož pomocí budou zjištěny vzdálenosti mezi jednotlivými odběrovými místy, a to pomocí nástroje „Plánování trasy“. Dále budou použity dvě konkrétní optimalizační metody, jmenované již v části první, tedy metoda nejbližšího souseda a Vogelova aproximační metoda.

Výsledky jednotlivých metod a tras budou zkontrolovány pomocí doplňku pro MS Excel TSPKosou, následně porovnány mezi sebou a s trasou původní. Nejvýhodnější okruh bude navrhnut společnosti pro rozvoz produktů odběratelům.

3. Teoretická východiska

3.1 Logistika

Úvodem je třeba zmínit, že logistika patří mezi relativně mladé vědní obory, co se týče využití v hospodářské praxi. Výrazněji se posunula do popředí na počátku 50. let 20. století, kdy koncentrace výrobních kapacit začala výrazněji předstihovat možnosti dosavadních metod pro distribuci hotových výrobků. Do této doby nebylo zapotřebí věnovat takovou pozornost procesům během přemisťování již hotového zboží a výrobků ke konečným zákazníkům. (SIXTA, MAČÁT, 2005)

V dnešní době lze najít v mnoha odborných zdrojích či literatuře značné množství definic k pojmu logistika, které se mnohdy neshodují přímo, nýbrž se zaměřují na různá hlediska. Těmi mohou být definování logistiky z praktického hlediska, jiné popisují zase logistiku jako soubor logistických nástrojů a metod anebo také jako obor ekonomické činnosti. (ŠTŮSTEK, 2007)

Podle publikace GROS a kolektiv (2016, s.26) je předmět logistiky a její současné postavení nejlépe charakterizován velmi podrobnou definicí formulovanou mezinárodní organizací Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP) z roku 2006, a to následovně: *„Logistika je ta část řízení* dodavatelského *řetězce, která plánuje, realizuje* a *efektivně a účinně řídí dopředně i zpětné toky výrobků, služeb, a příslušných informací* od *místa původu do místa spotřeby a skladování zboží tak, aby byly splněny požadavky konečného zákazníka. K typickým řízeným aktivitám patří doprava, návrh logistické sítě, řízení zásob, plánování nabídky a poptávky a řízení poskytovatelů logistických služeb. V různé míře logistické funkce zahrnují také vyhledávání zdrojů a nákupu, plánování* a *rozvrhování výroby, balení a kompletace a služby zákazníkům. Je zapojena do všech úrovní plánování a realizace – strategické, operativní a taktické. Řízení logistiky je integrující funkcí, která koordinuje a optimalizuje všechny logistické činnosti, stejně jako se podílí* na *propojených logistických činností s dalšími funkcemi, včetně marketingu, výroby, prodeje, financí a informačních technologií.“*

GROS a kolektiv (2016, s.26) tuto definici porovnával se staršími formulacemi, podle nichž je logistika například: *„řízení všech činností, které zabezpečují pohyb* a *koordinaci nabídky a poptávky při vytváření jejich vhodné lokalizace v místě a čase“* (Heskett, Glaskowski, Ivie, 1973 cit. podle GROS a kolektiv 2016), nebo definice dána

Evropskou logistickou asociací 1990: *„organizace, plánování, řízení a výkon toků zboží vývojem a nákupem počínaje, výrobou a distribucí podle objednávky finálního zákazníka konče tak, aby byly splněny všechny požadavky trhu při minimálních nákladech a minimálních kapitálových výdajích“* a nakonec porovnání s logistikou podle ČSN EN 14943: *„plánování, uskutečňování a kontrola pohybu a umisťování osob a zboží podpůrných činností vztahujících se k tomuto pohybu a umisťování, v rámci systému k dosažení specifických cílů.“* Svojí definicí klade důraz na postupný růst významu logistiky jako důležité a významné složky managmentu při vzájemné integraci řízení hmotných toků nejen v rámci jednotlivých firem, ale zároveň i rozsáhlých dodavatelských systémech a její celkový posun z operativní úrovně na úroveň strategickou. (GROS a kolektiv, 2016, s.26)

Sám SIXTA, MAČÁT (2005, str. 24) ve své publikaci vyzdvihuje převážně jednu pasáž z literárního díla „Logistika“ od německého autora Ch. Schulteho: *„Řada autorů charakterizuje logistiku jako integrované plánování, formování, provádění a kontrolování hmotných a s nimi spojených informačních toků od dodavatele do podniku, uvnitř podniku a od podniku k dodavateli. V tomto pojetí, které je nezbytné zejména pro komplexní vytváření logistických systémů, lze jen stěží vést pevnou dělící čáru mezi managmentem výroby a managmentu logistiky.“* (cit. podle SIXTA, MAČÁT, 2005)

3.1.1 Historie a vývoj

Původ logistiky lze odvodit pravděpodobně od řeckého slova **logistikon**, neboli důmysl či rozum, nebo také od slova **logos**, což lze přeložit jako slovo, řeč, myšlenka, pojem, rozum, zákon, pravidlo či smysl. (PERNICA, 2005)

Logistika prošla za svou historii velkým vývojem a změnami a v každé době na ni bylo nahlíženo nepatrně rozdílně. Velké pozornosti se jí pak dostalo v polovině 20. století, především během 2. světové války, kdy také prošla velkými změnami. Americká armáda byla postavena před zkoušku. Mimo přesouvání přes oceán enormního množství zbraní všeho druhu, munice, výstroje, a především lidských zdrojů, bylo zapotřebí také plánování a příprava veškerých operací. Během této doby byla logistika posunuta na maximální možné rozšíření. To po válce vedlo k přeměně a rozšíření logistiky na řešení analogických problémů do civilní sféry. Tímto vznikla hospodářská logistika s řadou ucelených a funkčních aplikací, nejčastěji známá jako podniková logistika. (SIXTA, MAČÁT, 2005)

V dnešní době dochází čím dál tím více k vývoji plně integrovaných logistických systémů, které zahrnují fyzickou distribuci výrobků, nakupování surovin a plánování a podporu výroby. V případě, kdy dochází k řešení těchto problémů jednotlivě, může docházet k rozdílnostem, jež jsou při vymezování cílů zásadní. Zatímco systémové řešení umožňuje sladit rozdílné potřeby distribuce, výroby a nákupů. (SIXTA, MAČÁT, 2005)

3.1.2 Cíle logistiky

Před samotným rozborem jednotlivých cílů je nejdříve nutné zmínit cíle podnikové logistiky, jimiž je jednak potřeba vycházet z podnikové strategie a napomáhat splňovat celopodnikové cíle, a jednak potřeba dosahovat minimalizace celkových nákladů v souladu se zabezpečováním přáním zákazníka na zboží a služby s požadovanou úrovní.

Základním cílem logistiky je na prvním místě optimální uspokojování potřeb jednotlivých zákazníků, jelikož zákazník je v celkovém měřítku celého řetězce tím nejdůležitějším článkem. Od spotřebitele totiž přicházejí informace a požadavky pro zpracování a zabezpečování dodávek zboží společně se službami související. Zároveň u zákazníka končí pohyb materiálu a zboží, který je zabezpečován logistickým řetězcem.

Mezi prioritní cíle se nadále zahrnují cíle **vnější** a **výkonové**. Důležitým požadavkem v logistice je faktor času a zabezpečování spolehlivosti a úplnosti dodávek. Dané cíle se zaměřují na zákazníky a jejich uspokojování, což přispívá k rozšiřování rozsahu realizovaných služeb. Zde lze zařadit:

- navyšování objemu prodeje,
- zkracování dodacích lhůt,
- vylepšování spolehlivosti a úplnosti veškerých dodávek,
- vylepšování pružnosti logistických služeb.

Sekundární cíle se zaměřují na cíle **vnitřní** a **ekonomické**. Jsou orientovány na snižování nákladů za podmínek dodržování splnění vnějších cílů. Jedná se například o náklady na:

- zásoby,
- dopravu,
- manipulaci a skladování,
- výrobu,

- řízení.

Celkové cíle a zároveň i poslání logistiky lze též popsat pomocí takzvaných 7 x S, v anglosaské literatuře označovaných jako „Seven Rs“. Jedná se o postarání se, aby bylo vždy k dispozici správné zboží či služba, se správnou kvalitou, u správného zákazníka, ve správném množství, na správném místě, ve správném okamžiku, a to s vynaložením nákladů za správnou cenu. (SIXTA, MAČÁT, 2005)

3.1.3 Logistický systém

Logistický systém lze popsat jako ucelenou množinu všech možných prostředků, jakožto technické prostředky, zařízení, budovy, cesty a pracovníků, kteří se podílejí na realizaci logistického řetězce. Tento systém je určitým způsobem druh zvláštního multisystému, který zahrnuje systémy kupříkladu technicko – technologický, informační komunikační systém a systém řízení. Hlavním cílem logistického systému jako celku podniku je upevňování a posilování pozice podniku jako ekonomického subjektu na trhu. (HAVLIČEK, ZÍSKAL, 2009)

Mezi hlavní složky logistického systému patří:

- struktura podniku a jeho lokalizace,
- předpověď a řízení objednávek,
- doprava,
- zásoby,
- skladování a balení. (GROS, 1993)

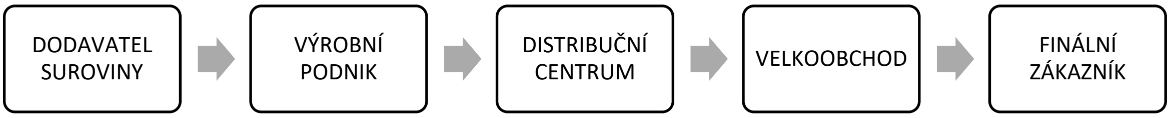
3.1.4 Logistický řetězec

Logistický řetězec, který je složen z dílčích hmotných, informačních či peněžních a jiných toků, současně zabezpečuje pohyb materiálu, případně energie, nebo osob v procesech výrobních a oběhových.

Logistický řetězec lze rozlišit na prvky aktivní a pasivní. **Prvky pasivními** jsou v řetězci výrobky, materiál, odpad, suroviny apod., u kterých dochází k přeměně objednávek určitých výrobků na jejich dodávky. Jinak řečeno, jsou to objekty transformace. **Aktivní prvky** uskutečňují dané transformace. Patří mezi ně technické prostředky či zařízení, používané při dopravě, balení i uskladňování. Důležitým aktivním prvkem jsou ale zejména lidé, kteří se zabývají informacemi a hrají hlavní roli při rozhodování. Starají se o veškerý pohyb prvků pasivních. (HAVLIČEK, ZÍSKAL, 2009; SIXTA, MAČÁT, 2005)

Příklad logistického řetězce na následujícím obrázku:

Obrázek 1: Logistický řetězec



Zdroj: SIXTA, MAČÁT, 2005

3.2 Doprava

Dopravu v logistice lze popsat jako prostředek, který spojuje jednotlivá zařízení logistického systému, a je třeba na něj klást velkou pozornost jak v malých, tak i velkých podnicích., Téměř vždy tak lze v podniku nalézt jistého pracovníka či útvar odpovědného za řízení dopravy. Dopravu je možné zajistit různými způsoby, a to buď s využitím vlastních zdrojů a přepravních kapacit, nebo prostřednictvím jejich pronájmu formou leasingu, taktéž si lze najmout a využívat specializované firmy na zabezpečování těchto přepravních služeb, anebo využívat veřejné přepravce, kteří zabezpečují a přepravují zboží po pevných trasách. Při výběru typu dopravy je na začátku zapotřebí brát v úvahu tři hlavní kritéria, jimiž jsou:

- **náklady na přepravu**, platby za přepravu a náklady na udržování zásob a výrobků na cestě,
- **rychlost přepravy**, kde obvykle platí, že čím rychlejší přeprava, tím vyšší náklady, v souladu s kratší dobou materiálu či zboží na cestě,
- **spolehlivost přepravy**, měřitelná rozptylem doby potřebné pro přepravu mezi dvěma konkrétními místy. Čím menší rozptyl, tím větší spolehlivost a zároveň nižší náklady, jelikož spolehlivější doprava obvykle vykazuje větší náklady. (GROS, 1993)

Na dopravu ve spojení s logistikou se začalo více a více hledět na přelomu 70. a 80. let 20. století, kdy docházelo k nárůstu konkurenceschopnosti, možností dopravy a omezování regulačních zásahů do dopravního průmyslu. Doprava umožňuje propojení jednotlivých dílů logistického řetězce v jeden fungující celek a zajišťuje přesun výrobků či zboží v rámci oběhových i výrobních procesů z místa výroby do místa spotřeby, čímž je navyšována jejich hodnota. V rámci skladby logistických nákladů se jedná v procentech o nejzastoupenější položku, a to až ve výši 29 %.

Dopravu lze rozdělit do několika kritérií, kdy jedním z nich je dělení podle druhu dopravní cesty a používaných dopravních prostředků. Těmi jsou nejčastěji:

- železniční,
- silniční a městskou hromadnou,
- leteckou,
- vodní,
- kombinovanou (integrovanou) a

- nekonvenční, jako například pásová či potrubní doprava. (SIXTA, MAČÁT, 2005)

Silniční automobilová doprava společně s dopravou železniční tvoří základní dopravní soustavu v České republice, kdežto ostatní složky dopravy již zaujímají menší rozsah přepravní práce. V následující tabulce jsou popsány přednosti a nedostatky hlavních používaných dopravních prostředků.

Tabulka 1: Přednosti a nedostatky jednotlivých druhů dopravy

Doprava	Přednosti	Nedostatky
Silniční	- rychlost - spolehlivost - schopnost zabezpečit přímou přepravu - různorodost vozového parku - lepší ochrana zboží - vzájemná nezávislost jednotlivých přeprav	- rostoucí náklady s přepravní vzdáleností - značná závislost na počasí - negativní vliv na životní prostředí - dopravní kongesce - velká nehodovost - problémy se současnou přepravou velkého množství zboží
Železniční	- možnost současné přepravy většího množství zboží v ucelených vlacích - nízké náklady při větších přepravních vzdálenostech - možnosti rychlejšího průjezdu městskými a průmyslovými aglomeracemi a přes hranice	- značná ovlivnitelnost celé železniční sítě při nehodách a provozních poruchách - menší pravidelnost a spolehlivost - menší možnosti zabezpečení přímé dopravy - menší přizpůsobivost měnícím se požadavkům
Vodní	- velmi nízké náklady na přepravu - velká kapacita dopravních prostředků - schopnost zabezpečit přepravu těžkých a těžkých předmětů	- nutnost svozu a rozvozu jinými dopravními prostředky - rozpor kapacit s dopravními prostředky navazujících doprav a nutnost skladování zboží - závislost na počasí (vodní stavy, mlha, mráz)
Letecká	- vysoká rychlost - jednodušší balení - schopnost přepravovat zboží bez otřesů	- vysoká cena - závislost na počasí - omezená kapacita - nutnost zabezpečit pozemní dopravy, která snižuje rychlost
Potrubní	- vysoká spolehlivost a kapacita - šetrnost k životnímu prostředí - poměrně nízké náklady	- značné investiční náklady - nevhodná pro menší množství - problémy při změně druhu přepravovaných substrátů

Zdroj: SIXTA, MAČÁT, 2005

3.3 Distribuční úlohy

Modely distribučních úloh jsou speciální skupinou lineárního programování. Můžeme mezi ně zařadit například problémy jednostupňové, dvoustupňové, okružní a trasovací, přiřazovací, zobecněné a mnoho dalších. (ŠUBRT, 2015)

Všechny dané úlohy se dají vyjádřit pomocí lineárních modelů, avšak u některých z těchto úloh existují díky jejich specifickým vlastnostem speciální metody, a tudíž je není potřeba počítat přes těžší simplexovou metodu. Jiné modely úloh však kvůli své velikosti vyžadovaly tak velkou výpočetní kapacitu, že již neumožňují efektivně nalézt jejich přesné teoretické optimum. (ŠUBRT, 2015)

„Distribuční modely se zabývají speciálními rozmisťovacími logistickými problémy. Pomáhají řešit základní otázky přemísťování či přiřazování lidí, materiálu a informací, které lze vyjádřit slovy odkud, kam, čím a kudy.“ (BROŽOVÁ, HOUŠKA, 2008, str. 128)

3.3.1 Jednostupňová dopravní úloha

Jinak řečeno, jedná se též o dopravní úlohu, která řeší, jak dosáhnout minimálních nákladů na přepravu produktu během uspořádání přepravy produktu od dodavatelů ke spotřebitelům. Vycházíme u toho z předpokladu, že používáme stejný druh dopravních prostředků k přepravě produktu a mezi každým dodavatelem a spotřebovatelem existuje pouze jedna jediná dopravní trasa, po které je možné přepravit různé množství produktu. Během přepravy jsou náklady přímo úměrné množství přepraveného produktu. (ŠUBRT, 2015)

Jednostupňová dopravní úloha je nejjednodušší mezi distribučními modely. Jejím cílem je mezi dodavateli $D_1, D_2, \ldots, D_m$ s omezenými kapacitami zboží $a_1, a_2, \ldots, a_m$, které je dodavatel schopen do určitého období dodat a dále také m spotřebiteli $S_1, S_2, \ldots, S_m$ s požadavky na zboží o velikosti $b_1, b_2, \ldots, b_m$, najít takový plán přepravní trasy, během něhož budou celkové přepravní náklady minimální a zároveň budou kapacity dodavatelů vyčerpány a požadavky spotřebitelů uspokojeny. (BROŽOVÁ, HOUŠKA, 2008)

Tabulka 2: Dopravní tabulka

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

Zdroj: ŠUBRT, 2015

3.3.1.1 *Matematická formulace jednostupňového dopravního modelu*

Hledáme minimum lineární funkce, kde *xij* značí množství přepravovaného produktu

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

za podmínek

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

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

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

přičemž musí platit.

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

Matematický model se skládá ze tří částí:

1) Soustava omezujících podmínek je zadaná jako soustava rovnic, přičemž prvních m rovnic určuje, že každý dodavatel doručí odběratelům právě takové maximální množství produktu dle jejich vlastních kapacit. Dalších n rovnic určuje, že zároveň každý odběratel přijme od dodavatelů právě tolik produktu, kolik je jejich požadavek.
2) Další částí je, že podmínka nezápornosti všech proměnných x_{ij} nám udává, že nelze přepravit záporné množství produktu.
3) Třetí částí je účelová funkce, jež vyjadřuje závislost mezi celkovými přepravními náklady a strukturou přepravy samotné. (ŠUBRT, 2015)

3.3.2 Přiřazovací úloha

Jedná se o další typ distribuční úlohy, která patří mezi ty nejjednodušší. Tato metoda přiřazuje určitý počet prvků ke stejnému množství prvků jiných. Tyto prvky mohou být například požadavky k nabídkám, pracovníci k pracovištím a podobně. Přiřazování musí probíhat tak, aby bylo dosaženo, pokud možno, minimálních celkových nákladů, či maximálního výkonu neboli optimálního výsledného efektu. (KOSKOVÁ, 2006; ŠUBRT, 2015)

3.3.3 Modely teorie grafů

Mnohé reálné situace z dnešní dob lze znázornit pomocí grafů, kde grafy jsou množiny bodů (uzlů, vrcholů) a hran, což jsou spojnice mezi nimi. Grafová reprezentace je více srozumitelná i lidem, kteří se matematickými modely příliš nezabývají, a to díky častěji elegantnějšímu a názornějšímu zpracování, než jsou klasické matematické modely. (ŠUBRT, 2015; ZÍSKAL, HAVLÍČEK, 2009)

<u>Mezi takové reálné situace lze zařadit tyto klasické situace:</u>

- Úloha hledání nejkratší cesty v grafu, k čemuž lze přiřadit hledání trasy na mapě.
- Úloha nalezení minimální kostry grafu, jež se například využívá při řešení problému neuzavřených spojení míst.
- Úloha nalezení maximálního toku, kterou lze uplatnit při hledání kapacity cestní sítě a jejího úzké profilu.
- Úloha obchodního cestujícího.
- Úloha nalezení kritické cesty. (BROŽOVÁ, HOUŠKA, 2008)

3.3.4 Okružní dopravní problém

Okružní dopravní problém (nadále zkráceně ODP) bývá též někdy označován jako „problém obchodního cestujícího“ nebo problém podobný, a to „problém čínského listonoše“. S těmito problémy se v praxi setkáváme velmi často. Jedná se převážně o záležitosti, kdy je například potřeba rozvézt materiál, či produkt od jednoho nebo jen malého počtu dodavatelů k většímu množství odběratelů nebo v opačném případě mnoha dodavatelů k jednomu a několika málo spotřebitelů. (ŠUBRT, 2015; BROŽOVÁ, HOUŠKA, 2008)

Tento problém lze velmi dobře znázornit pomocí grafů. Vrcholy grafu znázorňují místa, která mají být obsloužena, a poté hrany, které představují možná spojení mezi jednotlivými místy. Následné ohodnocení je pak ohodnocením daných hran. Takovýto graf je reprezentován buď schématem grafu, nebo například pomocí matice sousednosti. Jednotlivé prvky této matice vyjadřují ohodnocení hrany c_{ij} mezi uzly i a j a můžeme ji nazvat maticí sazeb. (BROŽOVÁ, HOUŠKA, 2008)

Formulaci ODP lze rozumět následovně: Je dáno n míst (či měst) a sazba c_{ij} pro každou dvojici těchto míst (i, j) reprezentuje například vzdálenost, spotřebu času, nebo také náklady pro přímé (či nejvýhodnější) spojení z místa i do místa j. Cílem této úlohy je propojit všechna místa právě jedním okružním spojením neboli vyhledat takové pořadí těchto míst, ve kterém se každé místo bude vyskytovat právě jednou kromě místa počátečního. Toto místo se v závěru spojení nachází ještě podruhé, aby okružní problém byl dokonán a jeho součet sazeb minimální pro jednotlivá spojení. (ŠUBRT a další, 2007)

Tento ODP z matematického hlediska spadá mezi tzv. NP-úplné problémy, pro který neexistuje ani jeden dostatečně efektivní algoritmus, který by mohl být nazýván přesným optickým optimem. To je zapříčiněno tím, že společně s rostoucím počtem omezujících podmínek dané úlohy velmi rychle roste zároveň i počet míst v matematickém modelu, a to až exponenciálně. S tím roste i doba výpočtu, která by i u středně velké úlohy za použití jakékoli metody měla dobu trvání výpočtu delší než například samotná délka jednoho lidského života. (ŠUBRT a další, 2007; BROŽOVÁ, HOUŠKA, 2008)

Naštěstí existuje v dnešní době již řada aproximačních metod, na jejichž řešení lze pohlížet jako na ekonomické optimum. Při jejich volbě musíme zhodnotit, o který ODP se vlastně jedná. Mezi ty nejdůležitější řadíme jednookruhové a víceokruhové. (BROŽOVÁ, HOUŠKA, 2008)

3.3.5 Jednookruhový okružní dopravní problém

Patří mezi nejjednodušší okružní dopravní problémy, kde trasa tohoto problému je řešena mezi všemi obsluhovanými místy právě jedním okruhem, popsáno více viz kapitola 3.3.4. (ŠUBRT, 2015)

3.3.5.1 Matematický model jednookruhového ODP

Hledání minima lineární funkce

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

za podmínek

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

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

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

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

Matematická formulace je velmi podobná úloze přiřazovací. Avšak aby bylo zabráněno situaci, kdy se některá místa objedou několika samostatnými okruhy, byly do modelu přidány podmínky, které platí s ohledem na skutečnost, že každé místo je navštíveno pouze jednou a zároveň se jedná o pouhý jeden okruh. (ŠUBRT, 2015)

Mezi metody řešení ODP se udávají nejčastěji:

- metoda nejbližšího souseda,
- Vogelova aproximační metoda,
- Habrova přibližná metoda,
- Dantzigova, Fulkersonova a Johnsonova metoda,

- Croesova metoda,
- Littlova metoda. (BROŽOVÁ, HOUŠKA, 2008)

3.3.6 Víceokruhový okružní dopravní problém

Tento problém je rozšířením jednookruhového problému, a to z důvodu, kdy jeden okruh není možné uskutečnit a je potřeba jej rozdělit do více okruhů. Nejčastějším případem bývá důvod kapacitní, kdy kapacita jednoho vozidla již není schopna pobrat požadované množství materiálu na dané trase, a proto je potřeba okruh následně rozdělit do více okruhů. I když je okruh rozdělen, musíme dbát na jisté aspekty, zejména na to, aby okruhy začínaly a končily v centrálním místě a zároveň aby nedocházelo po okruhu k navštívení jiného místa než centrálního zbytečně vícekrát.

Vhodným řešením pro tento problém je Mayerova metoda. (BROŽOVÁ, HOUŠKA, 2008)

3.3.7 Metody řešení okružního dopravního problému

Následuje popsání metod, které jsou použity v rámci praktické části.

3.3.7.1 Metoda nejbližšího souseda

Pro řešení jednookruhového dopravního problému se jedná o nejjednodušší aproximační metodu. Jejím principem je zvolení si výchozího místa, odkud je vyhledáván nejvýhodnější spoj, kam se poté vydává. Z tohoto místa se pokračuje do dalšího, které má opět nejvýhodnější spojení a zároveň ještě nebylo navštíveno. Takto se pokračuje, dokud nebyla navštívena všechna místa okruhu a na závěr se vrací zpět do bodu výchozího.

Postup výpočtu v matici sazeb je jednoduchý a může být rozdělen do pěti kroků.

1) Prvním krokem je zvolení si výchozího místa a v jeho řádku nalezení té nejmenší (nejvýhodnější) sazby přisluhující místu jinému, který je zařazen do výsledné okružní trasy. Je nalezen nový koncový bod.
2) Dalším krokem je vyškrtnutí sloupce odpovídající momentálnímu výchozímu místu, aby bylo zabráněno předčasnému návratu před ukončením trasy.
3) Krokem následujícím je, že v řádku tohoto místa je vyhledána buňka opět s nejmenší sazbou, která ještě nebyla vyškrtnuta. Nalezený sloupec odpovídá novému koncovému bodu a je zařazen opět do okružní trasy.

4) Krok čtvrtý opakuje celý proces předešlých dvou bodů, a to do doby, kdy již není k dispozici sloupec, který by nebyl vyškrtán. V okruhu jsou nyní zařazeny všechny body.
5) Jakmile již žádný takový sloupec neexistuje, je obsazena buňka, která reprezentuje původní výchozí bod, a tím je celý okruh uzavřen a ukončen.

Tento postup je zopakován pro každý ze zadaných bodů, které jsou postupně voleny jako místa výchozí. Optimální trasou lze nazvat tu, u které je výsledná sazba nejmenší. (ŠUBRT a další, 2007; BROŽOVÁ, HOUŠKA, 2008)

Může se stát, že úloha má nesymetrickou matici sazeb. V tomto případě se provede i postup opačný, a to hledání trasy pozpátku, kde se buď vyškrtají řádky a minimální sazby se hledají ve sloupcích, nebo je celý původní postup převeden na transponovanou matici. V daný moment je taktéž ze všech možných nalezených tras vybrána ta nejvýhodnější s nejmenším součtem sazeb. (ŠUBRT, 2015)

Dle publikace BROŽOVÁ, HOUŠKA (2008) má tento postup nevýhodu. Tou je krátkozrakost strategie, která je zapříčiněna zařazováním té nejlevnější trasy při každém kroku. Tím se riskuje, že v pozdějších krocích mohou zbýt pouze trasy velice nevýhodné, což může vést k převážení počáteční výhody.

3.3.7.2 Vogelova aproximační metoda

Jedná se o jednu z nejpoužívanějších aproximačních metod díky svým schopnostem poskytnutí řešení, která se velmi přibližují řešení optimálnímu. Výsledky získané pomocí Vogelovy aproximační metody (nadále zkráceně VAM) jsou často používány místo optimálního řešení. Metoda se dá aplikovat kromě dopravních okružních problémů i na jednostupňové úlohy, ovšem samozřejmě s patřičným způsobem modifikace.

Při aplikaci VAM není pro obsazení určité trasy rozhodující kritérium absolutní výše sazby, ale vzhledem k možnému navýšení dopravních nákladů její relativní výhodnost, pokud je nemožné využití trasy nejlevnější. Tím se docílí rovnoměrného obsazení velmi výhodných tras v průběhu celého postupu.

Pomocí rozdílu mezi dvěma nejvýhodnějšími sazbami se zjišťuje relativní výhodnost každé trasy v řádcích a ve sloupcích. Jinak řečeno, tyto rozdíly lze chápat jako minimální velikosti možných jednotkových ztrát, které by vznikly v případě, kdy by byly obsazeny nikoli nejvýhodnější, ale až druhé nejvýhodnější buňky. (BROŽOVÁ, HOUŠKA, 2008)

Postup řešení v matici sazeb:

1) Na začátku se v každém řádku i sloupci vypočítají diference mezi nejvýhodnější (nejmenší při optimalizaci) a druhou nejvýhodnější (druhou nejmenší) sazbou.
2) V kroku následujícím se určí maximální diference a společně s ní i odpovídající dodavatel (= řádek), u které bude vybrán sloupec s nejvýhodnější (nejnižší) sazbou. Tato trasa bude zařazena do řešení a zároveň bude vyškrtnut daný řádek, sloupec a také sazba, která by mohla zapříčinit předčasné uzavření okruhu.
3) Po těchto krocích následuje opakování celých dvou předešlých bodů, avšak po bodě 2 vždy dojde znovu k přepočtu diferencí, ovšem již bez vyškrtnutých sazeb.
4) Opakování probíhá do té doby, dokud existuje dostatek prvků (sloupců, řádků) pro určení diference a dokud v matici nezbývají poslední dvě sazby, které tvoří poslední dvě hrany, jež jsou zařazeny do řešení a uzavírají celý okruh.

3.3.8 Software doplněk TSPKosa pro Excel

Jedná se o softwarový makro doplněk pro procesor MS Excel. Představuje sadu akcí, které lze opakovaně spouštět, tzv. makro. S pomocí předem naprogramovaného algoritmu je schopen počítat optimální trasy. Program je určený převážně pro počítání jednostupňových dopravních okružních úloh, případně pro generování úloh tohoto typu. K jeho použití je třeba mít předem připravenou matici sazeb. Optimální trasu je schopen počítat třemi aproximačními metodami a jednou optimalizační. Jedná se o metodu nejbližšího souseda, Vogelovu aproximační metodu, metodu výhodnostních čísel a optimalizační metodu větví a mezí pro okružní dopravní úlohu.

V této práci je makro využito pro kontrolu výpočtů. Výsledky jsou zaznamenány v reportu, který vypisuje dobu výpočtu, maximální chybu, počet minimálních cyklů, nejkratší nalezenou trasu, její vzdálenost i posloupnost, a nakonec všechny další možné a testované cykly.

4. Vlastní práce

4.1 Charakteristika společnosti

PIVÁK s.r.o. je česká obchodní firma, která byla založena roku 2010 a jejím majitelem je od té doby Marek Studený se sídlem na Praze 8. Právní forma je společnost s ručením omezeným a předmětem podnikání je výroba, obchod a služby s ní spojené.

Firma se od svého založení soustředí na pečení výrobků jak pro své vlastní pekařství a malé obchůdky partnerů, tak i pro velké odběratele. Své výrobky peče v celkem čtyřech pekárnách po Praze, z nichž tři jsou malé a jedna velká. Malé pekárny slouží současně jako prodejny a je možnost si sem zajít na snídani, svačinu a podobné čerstvé produkty od pondělí do pátku. Největší pekárna se nachází na Vinohradech v ulici Korunní a odsud proudí nejvíce výrobků do Prahy a blízkého okolí. Mezi výrobky lze zařadit jak slané pečivo, mezi něž patří mnoho druhů chleba, tak i místní specialitu rohlík Pivák a housku Pivasku nebo sladké pečivo jako například koblihy a koláčky s různými druhy náplní.

PIVÁK s.r.o. své produkty rozváží pro odběratele široké působnosti:

- **Školky, školy a jídelny:** obědové produkty jako koláče a pečivo.
- **Hotely a penziony:** potřebné produkty na celý den.
- **Restaurace, bistra a kavárny:** pečivo na snídaně, moučníky, přílohy k obědům či hamburgerové bulky.
- **Benzinové pumpy, stánky s občerstvením a bufety:** obložené housky a chleby, rohlíky na párky v rohlíku.
- **Samoobslužné prodejny všeho druhy:** pečivo, koláče, vánočky a podobné produkty, celozrnné pečivo, koblihy.
- **Catering:** pečivo a chleby ideální pro catering, moučníky, bulky na hamburgery.

4.2 Charakteristika trasy

Pro získání dat a informací k potřebě této práce byl osloven pracovník zodpovědný za odbyt s odběrateli a řízení rozvozu. Rozvoz probíhá z několika pekáren po Praze, ale pro tuto práci byla vybrána trasa z pekárny nacházející se na Vinohradech na Korunní 962/85, Praha 3, která vede v okolí centra Prahy. V tabulce níže je znázorněna trasa v pořadí, v jakém je postupně navštěvována, společně se vzdálenostmi mezi zastávkami.

Tabulka 3: Původní trasa s dodacími adresami

	Adresa zastávky	km
Depo	Korunní č.p. 962/85, Praha 3, Vinohrady	-
1. zastávka	Ruská 568/34, Praha 10, Vršovice	0,5
2. zastávka	Vršovická 1216/8, Praha 10, Vršovice	1,2
3. zastávka	Vinohradská 1612/149, Praha 3, Žižkov	3
4. zastávka	Wilsonova 300/8, Praha 2, Vinohrady	2,6
5. zastávka	Balbínova 192/14, Praha 2, Vinohrady	1,4
6. zastávka	Štěpánská 543/3, Praha 2, Nové Město	1
7. zastávka	Záhřebská 534/14, Praha 2, Vinohrady	1,4
8. zastávka	Kubánské náměstí 1268/9, Praha 10, Vršovice	3,8
9. zastávka	Tuklatská 2104, Praha 10, Strašnice	2
10. zastávka	Nákupní 389/2, Praha-Štěrboholy	4,3
11. zastávka	V olšinách 3140/108, Praha 10, Strašnice	5,5
Depo	Korunní č.p. 962/85, Praha 3, Vinohrady	3,8
	Celkem	**30,5**

Zdroj: Vlastní zpracování

4.3 Konstrukce modelu – matice sazeb

Pomocí metody nejbližšího souseda a Vogelovy aproximační metody popsaných v teoretické části budou následně optimalizovány trasy rozvozu pečiva pekárny PIVÁK s.r.o. V prvním kroku je třeba si vytvořit matici sazeb. Tato matice sazeb obsahuje vzdálenosti mezi jednotlivými místy, kterými daná trasa prochází. Matici vytvoříme pomocí serveru *mapy.cz* díky funkci „plánování“ a dosazujeme vždy nejkratší nalezenou vzdálenost mezi danými adresami. Kvůli husté silniční síti po Praze, kde se často nacházejí jednosměrné ulice, není matice symetrická. To znamená, že vzdálenosti z bodu *A* do bodu *B* se mohou lišit od opačné vzdálenosti z bodu *B* do bodu *A*. Matice je znázorněna v následující tabulce. Do popisu místa adresy je vepsáno pouze jméno ulice, ve kterém se odběrové místo nachází, ale v potaz je brána konkrétní adresa.

Tabulka 4: Matice sazeb

	Kor.	Rus.	Vrš.	Vin.	Wil.	Bal.	Ště.	Záh.	Kub.	Tuk.	Nák.	V ol.
Korunní	x	0,5	1,7	1,3	2,1	1,5	2,2	2,2	2,5	3,8	7,6	3,5
Ruská	0,5	x	1,2	1,5	2,7	2	2,6	1,9	2,2	3,8	7,6	3,2
Vršovická	2	1,5	x	3	3,7	3,1	3,5	2,9	3	4,5	8,2	3,5
Vinohradská	0,9	1,1	2,3	x	2,6	1,9	2,8	2,8	2,4	3,4	7,2	3,3
Wilsonova	2,3	2,7	4,1	2,7	x	1,7	2	2,6	4,7	5,8	9,6	5,7
Balbínova	1,7	2	2,5	2,5	1,3	x	1	1,2	4	5,1	8,9	5,1
Štěpánská	2,3	2,6	3	3,4	1,5	1,2	x	1,4	4,7	6,1	9,8	5,7
Záhřebská	1,9	1,7	2	3,2	2,1	1,8	2,3	x	3,8	5,6	10,9	4,8
Kubánské nám.	2,5	2,2	3,3	2,8	4,6	4	4,7	4,1	x	2	5,9	1,4
Tuklatská	4	3,9	4,8	3,1	5,6	5	5,9	5,7	2	x	4,3	1,4
Nákupní	8,1	7,9	8,8	7,1	9,7	9	9,9	10,6	6,4	4,5	x	5,5
V olšinách	3,8	3,6	4,3	3,5	6	5,3	6,1	5,4	1,8	1	5,3	x

Zdroj: Vlastní zpracování

4.4 Optimalizace metodou nejbližšího souseda

Abychom přišli na trasu, která je díky této metodě nejkratší, je třeba nejdříve využít všechny adresy jako body výchozí. Z těchto bodů se vydáváme k bodům nejbližším, odkud pokračujeme opět k sazbám nejnižším. Pokaždé si dáváme pozor, aby okruh nebyl předčasně ukončen, proto při každém navštívení místa vyškrtáváme sloupec i řádek místu příslušnému. Výchozí bod je navštíven až po projetí všech míst a uzavírá nám celý okruh.

V následující tabulce je znázorněno celkem dvanáct možných tras od A až po K počítaných danou metodou. V závorce za názvem ulice je uvedena hodnota v kilometrech, která představuje vzdálenost do daného místa z předchozího bodu. Na prvním místě daných tras se pokaždé nachází ulice, která tvoří výchozí bod pro počítání dané trasy.

Tabulka 5: Výsledné trasy nalezené metodou nejbližšího souseda

Výsledné trasy nalezené metodou nejbližšího souseda
Trasa A: Korunní – Ruská (0,5) – Vršovická (1,2) – Záhřebská (2,9) – Balbínova (1,8) – Štěpánská (1) – Wilsonova (1,5) – Vinohradská (2,7) – Kubánské náměstí (2,4) – V olšinách (1,4) – Tuklatská (1) – Nákupní (4,3) – Korunní (8,1) = **28,8 km**

Trasa B: Ruská – Korunní (0,5) – Vinohradská (1,3) – Balbínova (1,9) – Štěpánská (1) – Záhřebská (1,4) – Vršovická (2) – Kubánské náměstí (3) – V olšinách (1,4) – Tuklatská (1) – Nákupní (4,3) – Wilsonova (9,7) – Ruská (2,7) = **30,2 km**
Trasa C: Vršovická – Ruská (1,5) – Korunní (0,5) – Vinohradská (1,3) – Balbínova (1,9) – Štěpánská (1) – Záhřebská (1,4) – Wilsonova (2,1) – Kubánské náměstí (4,7) – V olšinách (1,4) – Tuklatská (1) – Nákupní (4,3) – Vršovická (8,8) = **29,9 km**
Trasa D: Vinohradská – Korunní (0,9) – Ruská (0,5) – Vršovická (1,2) – Záhřebská (2,9) – Balbínova (1,8) – Štěpánská (1) – Wilsonova (1,5) – Kubánské náměstí (4,7) – V olšinách (1,4) – Tuklatská (1) – Nákupní (4,3) – Vinohradská (7,1) = **28,3 km**
Trasa E: Wilsonova – Balbínova (1,7) – Štěpánská (1) – Záhřebská (1,4) – Ruská (1,7) – Korunní (0,5) – Vinohradská (1,3) – Vršovická (2,3) – Kubánské náměstí (3) – V olšinách (1,4) – Tuklatská (1) – Nákupní (4,3) – Wilsonova (9,7) = **29,3 km**
Trasa F: Balbínova – Štěpánská (1) – Záhřebská (1,4) – Ruská (1,7) – Korunní (0,5) – Vinohradská (1,3) – Vršovická (2,3) – Kubánské náměstí (3) – V olšinách (1,4) – Tuklatská (1) – Nákupní (4,3) – Wilsonova (9,7) – Balbínova (1,7) = **29,3 km**
Trasa G: Štěpánská – Balbínova (1,2) – Záhřebská (1,2) – Ruská (1,7) – Korunní (0,5) – Vinohradská (1,3) – Vršovická (2,3) – Kubánské náměstí (3) – V olšinách (1,4) – Tuklatská (1) – Nákupní (4,3) – Wilsonova (9,7) – Štěpánská (2) = **29,6 km**
Trasa H: Záhřebská – Ruská (1,7) – Korunní (0,5) – Vinohradská (1,3) – Balbínova (1,9) – Štěpánská (1) – Wilsonova (1,5) – Vršovická (4,1) – Kubánské náměstí (3) – V olšinách (1,4) – Tuklatská (1) – Nákupní (4,3) – Záhřebská (10,6) = **32,3 km**
Trasa CH: Kubánské náměstí – V olšinách (1,4) – Tuklatská (1) – Vinohradská (3,1) – Korunní (0,9) – Ruská (0,5) – Vršovická (1,2) – Záhřebská (2,9) – Balbínova (1,8) – Štěpánská (1) – Wilsonova (1,5) – Nákupní (9,6) – Kubánské náměstí (6,4) = **31,3 km**
Trasa I: Tuklatská – V olšinách (1,4) – Kubánské náměstí (1,8) – Ruská (2,2) – Korunní (0,5) – Vinohradská (1,3) – Balbínova (1,9) – Štěpánská (1) – Záhřebská (1,4) – Vršovická (2) – Wilsonova (3,7) – Nákupní (9,6) – Tuklatská (4,5) = **31,3 km**

Trasa J: Nákupní – Tuklatská (4,5) – V olšinách (1,4) – Kubánské náměstí (1,8) – Ruská (2,2) – Korunní (0,5) – Vinohradská (1,3) – Balbínova (1,9) – Štěpánská (1) – Záhřebská (1,4) – Vršovická (2) – Wilsonova (3,7) – Nákupní (9,6) = **31,3 km**
Trasa K: V olšinách – Tuklatská (1) – Kubánské náměstí (2) – Ruská (2,2) – Korunní (0,5) – Vinohradská (1,3) – Balbínova (1,9) – Štěpánská (1) – Záhřebská (1,4) – Vršovická (2) – Wilsonova (3,7) – Nákupní (9,6) – V olšinách (5,5) = **32,1 km**

Zdroj: Vlastní zpracování

Z předešlé tabulky nám vyplývá, že nejkratší okruh, počítán metodou nejbližšího souseda, se nachází na **trase D**. Tuto trasu jsme začali počítat s výchozím bodem v ulici Vinohradská a má celkovou vzdálenost **28,3 km**. Abychom získali trasu s počátečním bodem v ulici Korunní, je třeba celý okruh poupravit.

Tabulka 6: Původní trasa D a trasa upravená

Původní a upravená trasa D
Trasa D: Vinohradská – Korunní (0,9) – Ruská (0,5) – Vršovická (1,2) – Záhřebská (2,9) – Balbínova (1,8) – Štěpánská (1) – Wilsonova (1,5) – Kubánské náměstí (4,7) – V olšinách (1,4) – Tuklatská (1) – Nákupní (4,3) – Vinohradská (7,1) = **28,3 km**
Upravená trasa D: Korunní – Ruská (0,5) – Vršovická (1,2) – Záhřebská (2,9) – Balbínova (1,8) – Štěpánská (1) – Wilsonova (1,5) – Kubánské náměstí (4,7) – V olšinách (1,4) – Tuklatská (1) – Nákupní (4,3) – Vinohradská (7,1) – Korunní (0,9) = **28,3 km**

Zdroj: Vlastní zpracování

Z tabulky je tedy patrné, že **optimální trasa zjištěná pomocí metody nejbližšího souseda** má vzdálenost **28,3 kilometru** a vede po trase ***Korunní – Ruská – Vršovická – Záhřebská – Balbínova – Štěpánská – Wilsonova – Kubánské náměstí – V olšinách – Tuklatská – Nákupní – Vinohradská – Korunní.***

4.4.1 Kontrola výpočtu pomocí TSPKosa

Ke kontrole výsledků je použita TSPKosa jako doplněk pro MS Excel. Výsledek je znázorněn v následující tabulce:

Tabulka 7: Report vytvořený TSPKosou pomocí metody nejbližšího souseda

Metoda nejbližšího souseda – sekvenčně **Doba výpočtu: 00:00:00** **Maximální chyba srovnání veličin s plovoucí desetinnou čárkou: 0,01** **Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 1** **Z_min = 28,3** (Vinohradská) - (Korunní) - (Ruská) - (Vršovická) - (Záhřebská) - (Balbínova) - (Štěpánská) - (Wilsonova) - (Kubánské nám.) - (V olšinách) - (Tuklatská) - (Nákupní) - (Vinohradská) Počet nalezených shodných okruhů: 1 **Další testované cykly:**		
Z =	**28,8**	(Korunní) - (Ruská) - (Vršovická) - (Záhřebská) - (Balbínova) - (Štěpánská) - (Wilsonova) - (Vinohradská) - (Kubánské nám.) - (V olšinách) - (Tuklatská) - (Nákupní) - (Korunní)
Z =	**30,2**	(Ruská) - (Korunní) - (Vinohradská) - (Balbínova) - (Štěpánská) - (Záhřebská) - (Vršovická) - (Kubánské nám.) - (V olšinách) - (Tuklatská) - (Nákupní) - (Wilsonova) - (Ruská)
Z =	**29,9**	(Vršovická) - (Ruská) - (Korunní) - (Vinohradská) - (Balbínova) - (Štěpánská) - (Záhřebská) - (Wilsonova) - (Kubánské nám.) - (V olšinách) - (Tuklatská) - (Nákupní) - (Vršovická)
Z =	**29,3**	(Wilsonova) - (Balbínova) - (Štěpánská) - (Záhřebská) - (Ruská) - (Korunní) - (Vinohradská) - (Vršovická) - (Kubánské nám.) - (V olšinách) - (Tuklatská) - (Nákupní) - (Wilsonova)
Z =	**29,3**	(Balbínova) - (Štěpánská) - (Záhřebská) - (Ruská) - (Korunní) - (Vinohradská) - (Vršovická) - (Kubánské nám.) - (V olšinách) - (Tuklatská) - (Nákupní) - (Wilsonova) - (Balbínova)
Z =	**29,6**	(Štěpánská) - (Balbínova) - (Záhřebská) - (Ruská) - (Korunní) - (Vinohradská) - (Vršovická) - (Kubánské nám.) - (V olšinách) - (Tuklatská) - (Nákupní) - (Wilsonova) - (Štěpánská)
Z =	**32,3**	(Záhřebská) - (Ruská) - (Korunní) - (Vinohradská) - (Balbínova) - (Štěpánská) - (Wilsonova) - (Vršovická) - (Kubánské nám.) - (V olšinách) - (Tuklatská) - (Nákupní) - (Záhřebská)
Z =	**31,3**	(Kubánské nám.) - (V olšinách) - (Tuklatská) - (Vinohradská) - (Korunní) - (Ruská) - (Vršovická) - (Záhřebská) - (Balbínova) - (Štěpánská) - (Wilsonova) - (Nákupní) - (Kubánské nám.)
Z =	**31,3**	(Tuklatská) - (V olšinách) - (Kubánské nám.) - (Ruská) - (Korunní) - (Vinohradská) - (Balbínova) - (Štěpánská) - (Záhřebská) - (Vršovická) - (Wilsonova) - (Nákupní) - (Tuklatská)
Z =	**31,3**	(Nákupní) - (Tuklatská) - (V olšinách) - (Kubánské nám.) - (Ruská) - (Korunní) - (Vinohradská) - (Balbínova) - (Štěpánská) - (Záhřebská) - (Vršovická) - (Wilsonova) - (Nákupní)
Z =	**32,1**	(V olšinách) - (Tuklatská) - (Kubánské nám.) - (Ruská) - (Korunní) - (Vinohradská) - (Balbínova) - (Štěpánská) - (Záhřebská) - (Vršovická) - (Wilsonova) - (Nákupní) - (V olšinách)

Zdroj: Vlastní zpracování

Z tabulky je patrné, že ruční výpočet je proveden správně a že byla nalezena stejná řešení. Stejně tak řešení nejvýhodnější, které je zvýrazněno žlutě.

4.5 Optimalizace Vogelovou aproximační metodou

Výpočet pomocí Vogelovy aproximační metody je náročnější než výpočet pomocí metody nejbližšího souseda, a to z důvodu potřeby počítání diferencí v každém sloupci i řádku, kde je při každém následujícím kroku nutná oprava a nové přepočítání. To se počítá z rozdílu dvou nejvýhodnějších sazeb z daných sloupců i řádků. V Excelu na to máme užitečné funkce, a to funkci MIN a funkci SMALL. MIN nám zjišťuje vždy nejnižší hodnotu a SMALL stupeň nejnižší hodnoty příslušnému místu našeho výběru. V našem případě je to hodnota druhá nejnižší. Výsledné diference poté porovnáváme a hledáme tu, která je nejvyšší. Pokud je tato hodnota nejvyšší ve sloupci, hledáme poté nejnižší sazbu v jejím řádku. Pokud je diference nejvyšší v řádku, nejnižší sazbu hledáme v jejím sloupci. Nalezená sazba nám připadá do řešení a máme první část okruhu. Sloupec a řádek příslušný danému řešení se vyškrtává společně s místem, které by zapříčinilo předčasné ukončení okruhu. Po těchto krocích dochází k přepočítávání diferencí. V případě rovnosti nejvyšších diferencí vybíráme buď tu diferenci, která má ve svém sloupci či řádku nejnižší sazbu, nebo počítáme obě možnosti. V tomto případě nám vzniká alternativní trasa, která ale již může být méně výhodná.

V následujících tabulkách je znázorněn postup pro počítání Vogelovou aproximační metodou. Tabulek a kroků je celkem jedenáct, kde v každé jedné je znázorněno několik postupů výpočtu, tj. přepočet diferencí, vybrání nejvyšší diference, nalezení nejnižší sazby a vyškrtnutí již zakázaných míst pro další cesty.

Tabulka 8: 1. krok VAM

1. krok	Kor.	Rus.	Vrš.	Vin.	Wil.	Bal.	Ště.	Záh.	Kub.	Tuk.	Nák.	V ol.	Dif.
Korunní	x	0,5	1,7	1,3	2,1	1,5	2,2	2,2	2,5	3,8	7,6	3,5	0,8
Ruská	0,5	x	1,2	1,5	2,7	2	2,6	1,9	2,2	3,8	7,6	3,2	0,7
Vršovická	2	1,5	x	3	3,7	3,1	3,5	2,9	3	4,5	8,2	3,5	0,5
Vinohradská	0,9	1,1	2,3	x	2,6	1,9	2,8	2,8	2,4	3,4	7,2	3,3	0,2
Wilsonova	2,3	2,7	4,1	2,7	x	1,7	2	2,6	4,7	5,8	9,6	5,7	0,3
Balbínova	1,7	2	2,5	2,5	1,3	x	1	1,2	4	5,1	8,9	5,1	0,2
Štěpánská	2,3	2,6	3	3,4	1,5	1,2	x	1,4	4,7	6,1	9,8	5,7	0,2
Záhřebská	1,9	1,7	2	3,2	2,1	1,8	2,3	x	3,8	5,6	10,9	4,8	0,1
Kubánské n.	2,5	2,2	3,3	2,8	4,6	4	4,7	4,1	x	2	5,9	1,4	0,6
Tuklatská	4	3,9	4,8	3,1	5,6	5	5,9	5,7	2	x	4,3	1,4	0,6
Nákupní	8,1	7,9	8,8	7,1	9,7	9	9,9	10,6	6,4	4,5	x	5,5	1
V olšinách	3,8	3,6	4,3	3,5	6	5,3	6,1	5,4	1,8	1	5,3	x	0,8
Diference	0,4	0,6	0,5	0,2	0,2	0,3	1	0,2	0,2	1	1	0	

Zdroj: Vlastní zpracování

V prvním kroku jsme během výpočtu zjistili, že nejvyšší diference se nachází ve sloupci v ulici **Štěpánská** a nejnižší sazba v řádku ulice **Balbínova**. Tím vzniklo první spojení v našem okruhu a vzdálenost je **1 kilometr**. Zároveň byl vyškrtnut sloupec a řádek, příslušný dané buňce a také buňka ve směru opačném, aby nedošlo k předčasnému ukončení okruhu.

Aktuální trasa:

1. trasa: **Balbínova – Štěpánská.**

Tabulka 9: 2. krok VAM

2. krok	Kor.	Rus.	Vrš.	Vin.	Wil.	Bal.	Ště.	Záh.	Kub.	Tuk.	Nák.	V ol.	Dif.
Korunní	x	0,5	1,7	1,3	2,1	1,5	2,2	2,2	2,5	3,8	7,6	3,5	0,8
Ruská	0,5	x	1,2	1,5	2,7	2	2,6	1,9	2,2	3,8	7,6	3,2	0,7
Vršovická	2	1,5	x	3	3,7	3,1	3,5	2,9	3	4,5	8,2	3,5	0,5
Vinohradská	0,9	1,1	2,3	x	2,6	1,9	2,8	2,8	2,4	3,4	7,2	3,3	0,2
Wilsonova	2,3	2,7	4,1	2,7	x	1,7	2	2,6	4,7	5,8	9,6	5,7	0,6
Balbínova	1,7	2	2,5	2,5	1,3	x	1	1,2	4	5,1	8,9	5,1	-
Štěpánská	2,3	2,6	3	3,4	1,5	1,2	x	1,4	4,7	6,1	9,8	5,7	0,1
Záhřebská	1,9	1,7	2	3,2	2,1	1,8	2,3	x	3,8	5,6	10,9	4,8	0,1
Kubánské n.	2,5	2,2	3,3	2,8	4,6	4	4,7	4,1	x	2	5,9	1,4	0,6
Tuklatská	4	3,9	4,8	3,1	5,6	5	5,9	5,7	2	x	4,3	1,4	0,6
Nákupní	8,1	7,9	8,8	7,1	9,7	9	9,9	10,6	6,4	4,5	x	5,5	1
V olšinách	3,8	3,6	4,3	3,5	6	5,3	6,1	5,4	1,8	1	5,3	x	0,8
Diference	0,4	0,6	0,5	0,2	0,6	0,2	-	0,5	0,2	1	1	0	

Zdroj: Vlastní zpracování

Ve druhém kroku se nejvyšší diference po přepočítání nachází ve sloupci ulice **Tuklatská** a její nejnižší sazba v řádku ulice **V olšinách**. Vzdálenost mezi místy je opět **1 kilometr**, akorát že daná trasa se nachází mimo trasu první, proto na ni momentálně nenavazuje přímo, ale bude připojena až později. Vyškrtneme sloupec i řádek příslušný této trase plus i buňku v opačném směru.

Aktuální trasa:

1. trasa: Balbínova – Štěpánská,
2. trasa: **V olšinách – Tuklatská.**

Tabulka 10: 3. krok VAM

3. krok	Kor.	Rus.	Vrš.	Vin.	Wil.	Bal.	Ště.	Záh.	Kub.	Tuk.	Nák.	V ol.	Dif.
Korunní	x	0,5	1,7	1,3	2,1	1,5	2,2	2,2	2,5	3,8	7,6	3,5	0,8
Ruská	0,5	x	1,2	1,5	2,7	2	2,6	1,9	2,2	3,8	7,6	3,2	0,7
Vršovická	2	1,5	x	3	3,7	3,1	3,5	2,9	3	4,5	8,2	3,5	0,5
Vinohradská	0,9	1,1	2,3	x	2,6	1,9	2,8	2,8	2,4	3,4	7,2	3,3	0,2
Wilsonova	2,3	2,7	4,1	2,7	x	1,7	2	2,6	4,7	5,8	9,6	5,7	0,6
Balbínova	1,7	2	2,5	2,5	1,3	x	1	1,2	4	5,1	8,9	5,1	-
Štěpánská	2,3	2,6	3	3,4	1,5	1,2	x	1,4	4,7	6,1	9,8	5,7	0,1
Záhřebská	1,9	1,7	2	3,2	2,1	1,8	2,3	x	3,8	5,6	10,9	4,8	0,1
Kubánské n.	2,5	2,2	3,3	2,8	4,6	4	4,7	4,1	x	2	5,9	1,4	0,8
Tuklatská	4	3,9	4,8	3,1	5,6	5	5,9	5,7	2	x	4,3	1,4	1,1
Nákupní	8,1	7,9	8,8	7,1	9,7	9	9,9	10,6	6,4	4,5	x	5,5	1
V olšinách	3,8	3,6	4,3	3,5	6	5,3	6,1	5,4	1,8	1	5,3	x	-
Diference	0,4	0,6	0,5	0,2	0,6	0,2	-	0,5	0,2	-	1,6	1,8	

Zdroj: Vlastní zpracování

Ve třetím kroku se po přepočítání tentokrát nejvyšší diference nacházela ve sloupci ulice **V olšinách** s nejnižší sazbou v řádku **Kubánského náměstí**. Vzdálenost mezi místy měří **1,4 kilometru**. Daná trasa se připojuje na již předešlou z kroku druhého. Je vyškrtnut sloupec „**V olšinách**“, řádek „**Kubánské náměstí**“ a buňka, která by okruh předčasně ukončila, což je v tomto případě trasa z ulice Tuklatská na Kubánské náměstí.

Aktuální trasa:

1. Balbínova – Štěpánská,
2. **Kubánské náměstí – V olšinách** – Tuklatská.

Tabulka 11: 4. a 5. krok VAM

4. krok	Kor.	Rus.	Vrš.	Vin.	Wil.	Bal.	Ště.	Záh.	Kub.	Tuk.	Nák.	V ol.	Dif.
Korunní	x	0,5	1,7	1,3	2,1	1,5	2,2	2,2	2,5	3,8	7,6	3,5	0,8
Ruská	0,5	x	1,2	1,5	2,7	2	2,6	1,9	2,2	3,8	7,6	3,2	0,7
Vršovická	2	1,5	x	3	3,7	3,1	3,5	2,9	3	4,5	8,2	3,5	0,5
Vinohradská	0,9	1,1	2,3	x	2,6	1,9	2,8	2,8	2,4	3,4	7,2	3,3	0,2
Wilsonova	2,3	2,7	4,1	2,7	x	1,7	2	2,6	4,7	5,8	9,6	5,7	0,6
Balbínova	1,7	2	2,5	2,5	1,3	x	1	1,2	4	5,1	8,9	5,1	-
Štěpánská	2,3	2,6	3	3,4	1,5	1,2	x	1,4	4,7	6,1	9,8	5,7	0,1
Záhřebská	1,9	1,7	2	3,2	2,1	1,8	2,3	x	3,8	5,6	10,9	4,8	0,1
Kubánské n.	2,5	2,2	3,3	2,8	4,6	4	4,7	4,1	x	2	5,9	1,4	-
Tuklatská	4	3,9	4,8	3,1	5,6	5	5,9	5,7	2	x	4,3	1,4	0,8
Nákupní	8,1	7,9	8,8	7,1	9,7	9	9,9	10,6	6,4	4,5	x	5,5	0,7
V olšinách	3,8	3,6	4,3	3,5	6	5,3	6,1	5,4	1,8	1	5,3	x	-
Diference	0,4	0,6	0,5	0,2	0,6	0,2	-	0,5	0,2	-	2,9	-	

5. krok	Kor.	Rus.	Vrš.	Vin.	Wil.	Bal.	Ště.	Záh.	Kub.	Tuk.	Nák.	V ol.	Dif.
Korunní	x	0,5	1,7	1,3	2,1	1,5	2,2	2,2	2,5	3,8	7,6	3,5	0,8
Ruská	0,5	x	1,2	1,5	2,7	2	2,6	1,9	2,2	3,8	7,6	3,2	0,7
Vršovická	2	1,5	x	3	3,7	3,1	3,5	2,9	3	4,5	8,2	3,5	0,5
Vinohradská	0,9	1,1	2,3	x	2,6	1,9	2,8	2,8	2,4	3,4	7,2	3,3	0,2
Wilsonova	2,3	2,7	4,1	2,7	x	1,7	2	2,6	4,7	5,8	9,6	5,7	0,6
Balbínova	1,7	2	2,5	2,5	1,3	x	1	1,2	4	5,1	8,9	5,1	-
Štěpánská	2,3	2,6	3	3,4	1,5	1,2	x	1,4	4,7	6,1	9,8	5,7	0,1
Záhřebská	1,9	1,7	2	3,2	2,1	1,8	2,3	x	3,8	5,6	10,9	4,8	0,1
Kubánské n.	2,5	2,2	3,3	2,8	4,6	4	4,7	4,1	x	2	5,9	1,4	-
Tuklatská	4	3,9	4,8	3,1	5,6	5	5,9	5,7	2	x	4,3	1,4	-
Nákupní	8,1	7,9	8,8	7,1	9,7	9	9,9	10,6	6,4	4,5	x	5,5	0,8
V olšinách	3,8	3,6	4,3	3,5	6	5,3	6,1	5,4	1,8	1	5,3	x	-
Diference	0,4	0,6	0,5	0,2	0,6	0,2	-	0,5	0,2	-	-	-	

Zdroj: Vlastní zpracování

V předešlých dvou tabulkách jsou znázorněny kroky číslo 4 a 5. Je zde vidět, že nejdříve byla nejvyšší diference ve sloupci „**Nákupní**“ s nejvýhodnější sazbou řádku „**Tuklatská**“. V dalším kroku byla pro změnu vybrána diference z řádku „**Nákupní**“ s nejnižší hodnotou sloupce „**Vinohradská**“. Společně přidané trasy do řešení mají celkovou vzdálenost **11,4 kilometru** a v našem okruhu navazují na druhou trasu. Zároveň byly z řešení vyškrtnuty oba řádky i sloupce našich dvou uzlů matice, plus místa, která by zapříčinila předčasné ukončení okruhu.

Aktuální trasa:

1. trasa: Balbínova – Štěpánská,
2. trasa: Kubánské náměstí – V olšinách – **Tuklatská – Nákupní – Vinohradská**.

Tabulka 12: 6. krok VAM

6. krok	Kor.	Rus.	Vrš.	Vin.	Wil.	Bal.	Ště.	Záh.	Kub.	Tuk.	Nák.	V ol.	Dif.
Korunní	x	0,5	1,7	1,3	2,1	1,5	2,2	2,2	2,5	3,8	7,6	3,5	1
Ruská	0,5	x	1,2	1,5	2,7	2	2,6	1,9	2,2	3,8	7,6	3,2	0,7
Vršovická	2	1,5	x	3	3,7	3,1	3,5	2,9	3	4,5	8,2	3,5	0,5
Vinohradská	0,9	1,1	2,3	x	2,6	1,9	2,8	2,8	2,4	3,4	7,2	3,3	0,2
Wilsonova	2,3	2,7	4,1	2,7	x	1,7	2	2,6	4,7	5,8	9,6	5,7	0,6
Balbínova	1,7	2	2,5	2,5	1,3	x	1	1,2	4	5,1	8,9	5,1	-
Štěpánská	2,3	2,6	3	3,4	1,5	1,2	x	1,4	4,7	6,1	9,8	5,7	0,1
Záhřebská	1,9	1,7	2	3,2	2,1	1,8	2,3	x	3,8	5,6	10,9	4,8	0,1
Kubánské n.	2,5	2,2	3,3	2,8	4,6	4	4,7	4,1	x	2	5,9	1,4	-
Tuklatská	4	3,9	4,8	3,1	5,6	5	5,9	5,7	2	x	4,3	1,4	-
Nákupní	8,1	7,9	8,8	7,1	9,7	9	9,9	10,6	6,4	4,5	x	5,5	-
V olšinách	3,8	3,6	4,3	3,5	6	5,3	6,1	5,4	1,8	1	5,3	x	-
Diference	0,4	0,6	0,5	-	0,6	0,2	-	0,5	0,3	-	-	-	

Zdroj: Vlastní zpracování

Po přepočtu diferencí jsme nyní získali nejvyšší diferenci v řádku ulice **Korunní** s nejnižší hodnotou v ulici **Ruská**. Daná vzdálenost je pouhých **0,5 kilometrů** k našemu okruhu. Daná trasa nemá žádný společný bod s již existujícími trasami, proto vzniká nová dočasná třetí trasa. Stejně jako v předešlých krocích jsme vyškrtli řádek i sloupec naší nové části okruhu a zároveň i trasu Ruská – Korunní s ohledem na nechtěné dřívější ukončení.

Aktuální trasa:

1. trasa: Balbínova – Štěpánská,
2. trasa: Kubánské náměstí – V olšinách – Tuklatská – Nákupní – Vinohradská,
3. trasa: **Korunní – Ruská**.

Tabulka 13: 7. a 8. krok VAM

7. krok	Kor.	Rus.	Vrš.	Vin.	Wil.	Bal.	Ště.	Záh.	Kub.	Tuk.	Nák.	V ol.	Dif.
Korunní	x	0,5	1,7	1,3	2,1	1,5	2,2	2,2	2,5	3,8	7,6	3,5	-
Ruská	0,5	x	1,2	1,5	2,7	2	2,6	1,9	2,2	3,8	7,6	3,2	0,7
Vršovická	2	1,5	x	3	3,7	3,1	3,5	2,9	3	4,5	8,2	3,5	0,9
Vinohradská	0,9	1,1	2,3	x	2,6	1,9	2,8	2,8	2,4	3,4	7,2	3,3	1
Wilsonova	2,3	2,7	4,1	2,7	x	1,7	2	2,6	4,7	5,8	9,6	5,7	0,6
Balbínova	1,7	2	2,5	2,5	1,3	x	1	1,2	4	5,1	8,9	5,1	-
Štěpánská	2,3	2,6	3	3,4	1,5	1,2	x	1,4	4,7	6,1	9,8	5,7	0,1
Záhřebská	1,9	1,7	2	3,2	2,1	1,8	2,3	x	3,8	5,6	10,9	4,8	0,1
Kubánské n.	2,5	2,2	3,3	2,8	4,6	4	4,7	4,1	x	2	5,9	1,4	-
Tuklatská	4	3,9	4,8	3,1	5,6	5	5,9	5,7	2	x	4,3	1,4	-
Nákupní	8,1	7,9	8,8	7,1	9,7	9	9,9	10,6	6,4	4,5	x	5,5	-
V olšinách	3,8	3,6	4,3	3,5	6	5,3	6,1	5,4	1,8	1	5,3	x	-
Diference	1	-	0,8	-	0,6	0,1	-	0,5	0,8	-	-	-	

8. krok	Kor.	Rus.	Vrš.	Vin.	Wil.	Bal.	Ště.	Záh.	Kub.	Tuk.	Nák.	V ol.	Dif.
Korunní	x	0,5	1,7	1,3	2,1	1,5	2,2	2,2	2,5	3,8	7,6	3,5	-
Ruská	0,5	x	1,2	1,5	2,7	2	2,6	1,9	2,2	3,8	7,6	3,2	0,7
Vršovická	2	1,5	x	3	3,7	3,1	3,5	2,9	3	4,5	8,2	3,5	0,1
Vinohradská	0,9	1,1	2,3	x	2,6	1,9	2,8	2,8	2,4	3,4	7,2	3,3	-
Wilsonova	2,3	2,7	4,1	2,7	x	1,7	2	2,6	4,7	5,8	9,6	5,7	0,9
Balbínova	1,7	2	2,5	2,5	1,3	x	1	1,2	4	5,1	8,9	5,1	-
Štěpánská	2,3	2,6	3	3,4	1,5	1,2	x	1,4	4,7	6,1	9,8	5,7	0,1
Záhřebská	1,9	1,7	2	3,2	2,1	1,8	2,3	x	3,8	5,6	10,9	4,8	0,2
Kubánské n.	2,5	2,2	3,3	2,8	4,6	4	4,7	4,1	x	2	5,9	1,4	-
Tuklatská	4	3,9	4,8	3,1	5,6	5	5,9	5,7	2	x	4,3	1,4	-
Nákupní	8,1	7,9	8,8	7,1	9,7	9	9,9	10,6	6,4	4,5	x	5,5	-
V olšinách	3,8	3,6	4,3	3,5	6	5,3	6,1	5,4	1,8	1	5,3	x	-
Diference	-	-	0,8	-	0,6	0,1	-	0,5	0,8	-	-	-	

Zdroj: Vlastní zpracování

7. a 8. krok nám do tabulky přispěl s dalším rozšířením našeho okruhu. Nejdříve v 7. kroku byla po přepočtu diference nalezena nejvyšší hodnota v řádku „**Vinohradská**“ s nejnižší hodnotou ve sloupci „**Korunní**“. Krok 8. měl následně nejvyšší diferenci v řádku „**Wilsonova**“ a sazbu nejvýhodnější ve sloupci „**Balbínova**“. Okruh byl prodloužen o **2,6 kilometrů**. Dočasná třetí trasa se nyní ruší díky sedmému kroku a jejímu napojení na konec

trasy druhé. 8. krok zapříčinil přidružení Wilsonovy ulice před trasu první. Řádky a sloupce daných spojnic těchto míst byly vyškrtnuty společně s místy, která by způsobila předčasné uzavření okruhu. Jedná se zprvu o trasu Ruská – Kubánské náměstí a poté také Štěpánská – Wilsonova.

Aktuální trasa:

1. trasa: **Wilsonova – Balbínova** – Štěpánská,
2. trasa: Kubánské náměstí – V olšinách – Tuklatská – Nákupní – **Vinohradská** – **Korunní** – Ruská.

Tabulka 14: 9. krok VAM

9. krok	Kor.	Rus.	Vrš.	Vin.	Wil.	Bal.	Ště.	Záh.	Kub.	Tuk.	Nák.	V ol.	Dif.
Korunní	x	0,5	1,7	1,3	2,1	1,5	2,2	2,2	2,5	3,8	7,6	3,5	-
Ruská	0,5	x	1,2	1,5	2,7	2	2,6	1,9	2,2	3,8	7,6	3,2	0,7
Vršovická	2	1,5	x	3	3,7	3,1	3,5	2,9	3	4,5	8,2	3,5	0,1
Vinohradská	0,9	1,1	2,3	x	2,6	1,9	2,8	2,8	2,4	3,4	7,2	3,3	-
Wilsonova	2,3	2,7	4,1	2,7	x	1,7	2	2,6	4,7	5,8	9,6	5,7	-
Balbínova	1,7	2	2,5	2,5	1,3	x	1	1,2	4	5,1	8,9	5,1	-
Štěpánská	2,3	2,6	3	3,4	1,5	1,2	x	1,4	4,7	6,1	9,8	5,7	1,6
Záhřebská	1,9	1,7	2	3,2	2,1	1,8	2,3	x	3,8	5,6	10,9	4,8	0,1
Kubánské n.	2,5	2,2	3,3	2,8	4,6	4	4,7	4,1	x	2	5,9	1,4	-
Tuklatská	4	3,9	4,8	3,1	5,6	5	5,9	5,7	2	x	4,3	1,4	-
Nákupní	8,1	7,9	8,8	7,1	9,7	9	9,9	10,6	6,4	4,5	x	5,5	-
V olšinách	3,8	3,6	4,3	3,5	6	5,3	6,1	5,4	1,8	1	5,3	x	-
Diference	-	-	0,8	-	0,6	-	-	0,5	0,8	-	-	-	

Zdroj: Vlastní zpracování

V 9. kroku Vogelovy aproximační metody se po přepočtu diferencí nachází nejvyšší hodnota v řádku „**Štěpánská**“ s nejvýhodnější sazbou sloupce „**Záhřebská**“. Vzdálenost je rovna **1,4 kilometru**. Vyškrtnutí sazeb pro znemožnění použití těchto míst proběhne v daném řádku i sloupci. Stejně tak i na trase Štěpánská – Wilsonova.

Aktuální trasa:

1. trasa: Wilsonova – Balbínova – **Štěpánská – Záhřebská**,
2. trasa: Kubánské náměstí – V olšinách – Tuklatská – Nákupní – Vinohradská – Korunní – Ruská.

Tabulka 15: 10. krok VAM

10. krok	Kor.	Rus.	Vrš.	Vin.	Wil.	Bal.	Ště.	Záh.	Kub.	Tuk.	Nák.	V ol.	Dif.
Korunní	x	0,5	1,7	1,3	2,1	1,5	2,2	2,2	2,5	3,8	7,6	3,5	-
Ruská	0,5	x	1,2	1,5	2,7	2	2,6	1,9	2,2	3,8	7,6	3,2	1,5
Vršovická	2	1,5	x	3	3,7	3,1	3,5	2,9	3	4,5	8,2	3,5	0,7
Vinohradská	0,9	1,1	2,3	x	2,6	1,9	2,8	2,8	2,4	3,4	7,2	3,3	-
Wilsonova	2,3	2,7	4,1	2,7	x	1,7	2	2,6	4,7	5,8	9,6	5,7	-
Balbínova	1,7	2	2,5	2,5	1,3	x	1	1,2	4	5,1	8,9	5,1	-
Štěpánská	2,3	2,6	3	3,4	1,5	1,2	x	1,4	4,7	6,1	9,8	5,7	-
Záhřebská	1,9	1,7	2	3,2	2,1	1,8	2,3	x	3,8	5,6	10,9	4,8	1,8
Kubánské n.	2,5	2,2	3,3	2,8	4,6	4	4,7	4,1	x	2	5,9	1,4	-
Tuklatská	4	3,9	4,8	3,1	5,6	5	5,9	5,7	2	x	4,3	1,4	-
Nákupní	8,1	7,9	8,8	7,1	9,7	9	9,9	10,6	6,4	4,5	x	5,5	-
V olšinách	3,8	3,6	4,3	3,5	6	5,3	6,1	5,4	1,8	1	5,3	x	-
Diference	-	-	0,8	-	1	-	-	-	0,8	-	-	-	

Zdroj: Vlastní zpracování

V předposledním kroku výpočtu již bylo snadné najít dvě nejnižší hodnoty pro nový přepočet diference, jelikož v řádcích i sloupcích zbývaly poslední dvě hodnoty. Danou diferenci jsme nalezli v řádku v ulici **Záhřebská**, které příslušela nejnižší hodnota do ulice **Vršovická**. Vzdálenost mezi těmito místy je **1,8 kilometrů**. Naposledy byly vyškrtnuty řádky i sloupce patřící danému uzli společně s uzlem, který by zapříčinil opětovné ukončení okruhu.

Aktuální trasa:

1. trasa: Wilsonova – Balbínova – Štěpánská – **Záhřebská – Vršovická**,
2. trasa: Kubánské náměstí – V olšinách – Tuklatská – Nákupní – Vinohradská – Korunní – Ruská.

Tabulka 16: 11. krok VAM

11. krok	Kor.	Rus.	Vrš.	Vin.	Wil.	Bal.	Ště.	Záh.	Kub.	Tuk.	Nák.	V ol.	Dif.
Korunní	x	0,5	1,7	1,3	2,1	1,5	2,2	2,2	2,5	3,8	7,6	3,5	-
Ruská	0,5	x	1,2	1,5	2,7	2	2,6	1,9	2,2	3,8	7,6	3,2	-
Vršovická	2	1,5	x	3	3,7	3,1	3,5	2,9	3	4,5	8,2	3,5	-
Vinohradská	0,9	1,1	2,3	x	2,6	1,9	2,8	2,8	2,4	3,4	7,2	3,3	-
Wilsonova	2,3	2,7	4,1	2,7	x	1,7	2	2,6	4,7	5,8	9,6	5,7	-
Balbínova	1,7	2	2,5	2,5	1,3	x	1	1,2	4	5,1	8,9	5,1	-
Štěpánská	2,3	2,6	3	3,4	1,5	1,2	x	1,4	4,7	6,1	9,8	5,7	-
Záhřebská	1,9	1,7	2	3,2	2,1	1,8	2,3	x	3,8	5,6	10,9	4,8	-
Kubánské n.	2,5	2,2	3,3	2,8	4,6	4	4,7	4,1	x	2	5,9	1,4	-
Tuklatská	4	3,9	4,8	3,1	5,6	5	5,9	5,7	2	x	4,3	1,4	-
Nákupní	8,1	7,9	8,8	7,1	9,7	9	9,9	10,6	6,4	4,5	x	5,5	-
V olšinách	3,8	3,6	4,3	3,5	6	5,3	6,1	5,4	1,8	1	5,3	x	-
Diference	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Zdroj: Vlastní zpracování

Krok poslední již nevyžadoval přepočítávání diferencí. Zbývaly pouze dvě poslední možnosti. Těmi jsou trasa **Ruská – Wilsonova** a trasa **Vršovická – Kubánské náměstí**. Do našeho okruhu přidávají posledních **5,7 kilometrů**. Tím se nám uzavírá celý okruh. Po provedení celého výpočtu nám vyšly tedy trasy po krocích:

1. Balbínova – Štěpánská (1 km)
2. V olšinách – Tuklatská (1 km)
3. Kubánské náměstí – V olšinách (1,4 km)
4. Tuklatská – Nákupní (4,3 km)
5. Nákupní – Vinohradská (7,1 km)
6. Korunní – Ruská (0,5 km)
7. Vinohradská – Korunní (0,9 km)
8. Wilsonova – Balbínova (1,7 km)
9. Štěpánská – Záhřebská (1,4 km)
10. Záhřebská – Vršovická (2 km)
11. Ruská – Wilsonova (2,7 km) a zároveň Vršovická – Kubánské náměstí (3 km)

Jednotlivé trasy nakonec seřadíme v pořadí tak, aby okruh začínal v našem výchozím bodě v ulici Korunní. Z výsledků je tedy patrné, že **optimální trasa zjištěná pomocí Vogelovy aproximační metody** má vzdálenost **27 kilometrů** a vede po trase: ***Korunní –***

Ruská – Wilsonova – Balbínova – Štěpánská – Záhřebská – Vršovická – Kubánské náměstí – V olšinách – Tuklatská – Nákupní – Vinohradská – Korunní.

4.5.1 Kontrola výpočtu pomocí TSPKosa

Tabulka 17: Report vytvořený TSPKosou pomocí Vogelovy aproximační metody

Vogelova aproximační metoda pro ODP
Doba výpočtu: 00:00:00
Maximální chyba srovnání veličin s plovoucí desetinnou čárkou: 0,01
Počet minimálních cyklů (z testovaných zvolenou metodou): 1

Z_min = 27
(Kubánské nám.) - (V olšinách) - (Tuklatská) - (Nákupní) - (Vinohradská) - (Korunní) - (Ruská) - (Wilsonova) - (Balbínova) - (Štěpánská) - (Záhřebská) - (Vršovická) - (Kubánské nám.)

Počet nalezených shodných okruhů: 8

Další testované cykly:

Z =	**31,5**	(Balbínova) - (Štěpánská) - (Záhřebská) - (Wilsonova) - (Vršovická) - (Korunní) - (Ruská) - (Vinohradská) - (Nákupní) - (Tuklatská) - (V olšinách) - (Kubánské nám.) - (Balbínova)
Z =	**30**	(Kubánské nám.) - (V olšinách) - (Tuklatská) - (Nákupní) - (Vršovická) - (Korunní) - (Ruská) - (Vinohradská) - (Wilsonova) - (Balbínova) - (Štěpánská) - (Záhřebská) - (Kubánské nám.)
Z =	**29,6**	(Nákupní) - (Tuklatská) - (V olšinách) - (Kubánské nám.) - (Wilsonova) - (Balbínova) - (Štěpánská) - (Záhřebská) - (Vršovická) - (Korunní) - (Ruská) - (Vinohradská) - (Nákupní)
Z =	**29,6**	(Wilsonova) - (Balbínova) - (Štěpánská) - (Záhřebská) - (Vršovická) - (Korunní) - (Ruská) - (Vinohradská) - (Nákupní) - (Tuklatská) - (V olšinách) - (Kubánské nám.) - (Wilsonova)

Zdroj: Vlastní zpracování

Nyní je z tabulky opět patrné, že ruční výpočet je proveden správně a že nalezené řešení je to nejvýhodnější i podle doplňku pro MS Excel. Report vypisoval ještě další testované cykly, ale po kontrole a porovnání bylo zjištěno, že vypisoval úplně stejné cykly i čtyřikrát. Jednalo se o cyklus s výslednou hodnotou Z = 31,5 a Z = 30. Proto byly odstraněny pro nadbytečnost. Nejvýhodnější cyklus je znázorněn opět žlutou barvou.

5. Zhodnocení výsledků

Původní skutečně realizovaná trasa procházela celkem dvanácti místy se vzdáleností celkových 30,5 kilometrů. Díky použitým metodám pro optimalizaci jsme docílili snížení výsledné vzdálenosti. Pro porovnání viz tabulka níže.

Metodou nejbližšího souseda jsme nalezli výhodnější, respektive kratší trasu s celkovou vzdálenost 28,3 kilometrů. To je o 2,2 kilometry méně než trasa původní. Efektivita optimalizace byla v tomto případě 7,2 %. Došlo tedy ke snížení nákladů na potřebné pohonné hmoty, přesto tato metoda nebyla stále nejlepší.

Nejvýhodnější trasu jsme nalezli až pomocí Vogelovy aproximační metody. Zjištěná nová trasa měří 27 kilometrů. Je tudíž kratší než trasa původní o celých 3,5 kilometrů a činní ji ve výsledku o 11,5 % efektivnější. Nejedná se sice o velké rozdíly ve vzdálenosti, přesto v momentě frekventovanějšího využívání této trasy se úspora jen navyšuje. I tak jsme svého cíle dosáhli a pomohli najít kratší trasu. To vede k úsporám pohonných hmot a nákladů celkově.

Tabulka 18: Porovnání trasy původní a nejvýhodnějších nalezených

Původní trasa:	*Korunní – Ruská – Vršovická – Vinohradská – Wilsonova – Balbínova – Štěpánská – Záhřebská – Kubánské náměstí – Tuklatská – Nákupní – V olšinách – Korunní* = 30,5 km
Nejvýhodnější trasa metodou nejbližšího souseda:	*Korunní – Ruská– Vršovická – Záhřebská – Balbínova – Štěpánská –* Wilsonova *– Kubánské náměstí – V olšinách – Tuklatská – Nákupní – Vinohradská – Korunní* = 28,3 km
Nejvýhodnější trasa Vogelovou aproximační metodou:	*Korunní – Ruská –* Wilsonova *– Balbínova – Štěpánská – Záhřebská – Vršovická – Kubánské náměstí – V olšinách – Tuklatská – Nákupní – Vinohradská – Korunní* = 27 km

Zdroj: Vlastní zpracování

6. Závěr

V předložené bakalářské práci bylo zpracováno téma Optimalizace dopravních tras pro rozvoz potravinářských produktů. Došlo k výzkumu konkrétně dvěma druhy okružních dopravních metod, které byly následně aplikovány na jednu současnou trasu pekárny PIVÁK s.r.o. Tato společnost se zabývá výrobou, prodejem a převážně také rozvozem svých produktů svým odběratelům po Praze a blízkém okolí. Trasa použitá v této práci se uskutečňuje z jednoho a toho samého koncového i výchozího bodu. Obsahuje celkem dvanáct odběrových míst, kde každé místo je navštíveno pouze jednou. Tvoří tak okruh, který lze popsat jako jednookruhový dopravní problém. Cílem bylo především vylepšení trasy současné, nalezení jejího optima a porovnání s trasou původní.

Teoretická část této práce byla vypracována a nastudována pomocí odborné literatury. Díky tomu byly nejdříve popsány a vysvětleny základní pojmy logistiky, dopravy jako součást logistického systému, a nakonec distribuční úlohy se zaměřením na okružní dopravní problémy s jednotlivými metodami použitými pro řešení. V analytické části práce byla následně představena pekárna PIVÁK s.r.o., což pokračovalo vlastním zpracováním a řešením daného problému.

Ke splnění daného cíle byly použity dvě aproximační metody, které se pro jednookruhové okružní dopravní úlohy využívají. Jedná se o metodu nejbližšího souseda a Vogelovu aproximační metodu. Na základě dodaných adres pro doručování výrobků byla vytvořena matice sazeb. Ta je dosazena sazbami, které byly zjištěny pomocí serveru www.mapy.cz s nástrojem pro plánování tras a které udávají vzdálenosti mezi jednotlivými místy. S aplikací daných metod na trase bylo docíleno výsledku. Po srovnání trasy skutečné a tras získaných pomocí aproximačních metod se ukázalo, že obě metody pomohly trasu optimalizovat. Vogelova aproximační metoda dosahuje ještě lepšího výsledku než metoda nejbližšího souseda. Výše efektivity optimalizace dosahuje 11,5 %, což je v procentním měřítku velký rozdíl a představuje snížení vzdálenosti o 3,5 kilometrů na jednu trasu. Při současné ceně 29,16 Kč za litr pohonných hmot a průměrné spotřeby středního nákladního vozidla ve městě 17 litrů na 100 km vychází úspora celkově 17,35 Kč na jednu trasu. S ohledem na jeden okruh nejde o markantní rozdíl. Ten ale nastává až v případě frekventovanějšího využívání nové trasy, lze tedy i tuto úsporu považovat za úspěch.

7. Seznam použitých zdrojů

BROŽOVÁ, Helena a Milan HOUŠKA, 2008. *Základní metody operační analýzy*. Praha: Credit. ISBN 978-80-213-0951-7.

GROS, Ivan, 2016. *Velká kniha logistiky*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. ISBN 978-80-7080-952-5.

GROS, Ivan, 1993. *Logistika*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická. ISBN 80-7080-178-6.

KOSKOVÁ, Ivanka, 2004. *Distribuční úlohy I*. Praha: Credit. ISBN 80-213-1156-8.

PERNICA, Petr, 2005. *Logistika pro 21. století: (Supply chain management)*. Praha: Radix. ISBN 80-86031-59-4.

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

ŠTŮSEK, Jaromír, 2007. *Řízení provozu v logistických řetězcích*. V Praze: C.H. Beck. C.H. Beck pro praxi. ISBN 978-80-7179-534-6.

ŠUBRT, Tomáš, 2015. *Ekonomicko-matematické metody*. 2. upravené vydání. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk. ISBN 978-80-7380-563-0.

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

ZÍSKAL, Jan a Jaroslav HAVLÍČEK, 2009. *Ekonomicko matematické metody II: studijní texty pro distanční studium*. Vyd. 2. Praha: Credit. ISBN 80-213-0664-5.

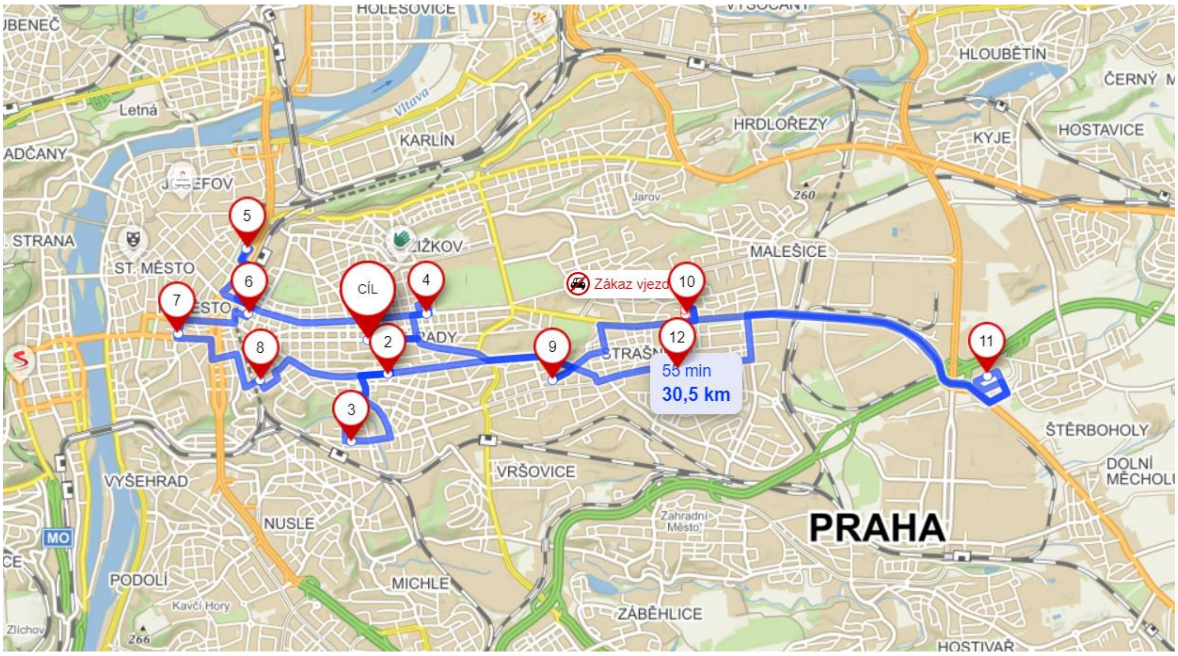
Malá velká pekárna [online]. [cit. 2021-02-05]. Dostupné z: https://www.malavelkapekarna.cz/

Mapy [online]. [cit. 2021-02-05]. Dostupné z: https://mapy.cz/

Rejstřík firem [online]. [cit. 2021-02-05]. Dostupné z: https://rejstrik-firem.kurzy.cz/24714305/pivak-sro/

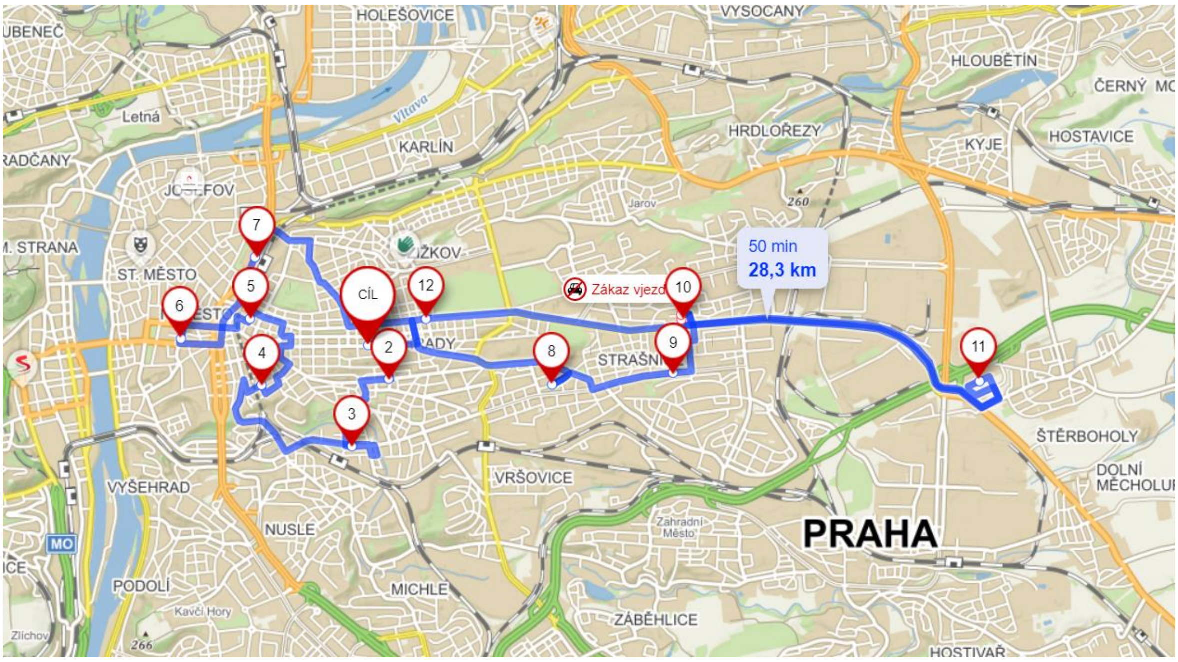
8. Přílohy

Příloha 1: Původní trasa



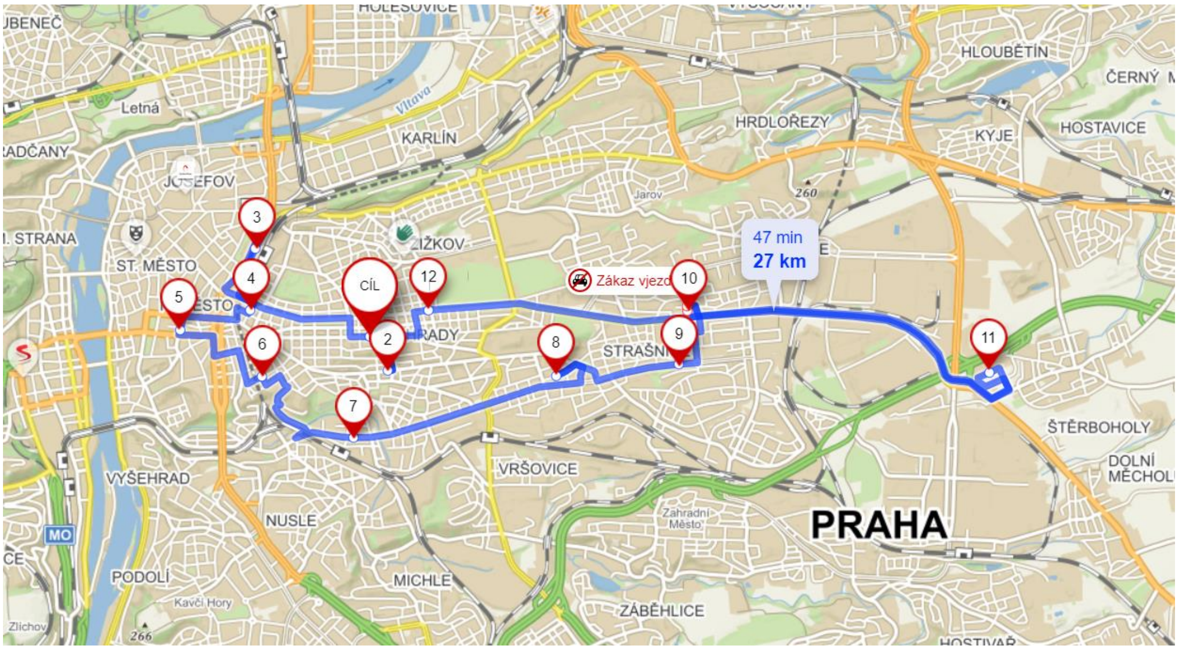
Zdroj: https://www.mapy.cz/

Příloha 2: Nejvýhodnější trasa vytvořená pomocí metody nejbližšího souseda



Zdroj: https://www.mapy.cz/

Příloha 3: Nejvýhodnější trasa vytvořená pomocí Vogelovy aproximační metody



Zdroj: https://www.mapy.cz/