UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2013 Lukáš Macoun

Univerzita Pardubice

Dopravní fakulta Jana Pernera

Racionalizace rozvozního systému pro vybranou společnost

Lukáš Macoun

Bakalářská práce

2013

UPA055356

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: **2012/2013**

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení:	**Lukáš Macoun**
Osobní číslo:	**D10492**
Studijní program:	**B3709 Dopravní technologie a spoje**
Studijní obor:	**Technologie a řízení dopravy: Technologie a řízení dopravních systémů**
Název tématu:	**Racionalizace rozvozního systému pro vybranou společnost**
Zadávající katedra:	**Katedra technologie a řízení dopravy**

Zásady pro vypracování:

Úvod
1. Používané metody řešení rozvozních úloh
2. Sestavení okružních jízd
3. Zhodnocení návrhu
Závěr

Rozsah grafických prací:	**2 -3**
Rozsah pracovní zprávy:	**30 - 40**
Forma zpracování bakalářské práce:	**tištěná**

Seznam odborné literatury:

(1) TUZAR, A.: Teorie dopravy. vyd. 1. Pardubice : Univezita Pardubice, 1996. str. 75. ISBN 80-71-94-039-9.
(2) Janáček, J.: Optimalizace na dopravních sítích. vyd. 2. Žilina : EIS, 2006. str. 248. ISBN 90-80-70-586-0.
(3) PASTOR, O.. TUZAR, A.: Teorie dopravních systémů. vyd. 1. Praha : ASPI a.s., 2007. str. 312. ISBN 978-80-7357-285-3.

Vedoucí bakalářské práce:	**Ing. Hana Císařová, Ph.D.** Katedra technologie a řízení dopravy
Datum zadání bakalářské práce:	**1. února 2013**
Termín odevzdání bakalářské práce:	**31. května 2013**

prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.
děkan

L.S.

doc. Ing. Pavel Drdla, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 1. února 2013

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona c. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladu, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 31. 5. 2013

Lukáš Macoun

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Haně Císařové, Ph.D. za odborné vedení mé bakalářské práce, za její připomínky a čas, který mi věnovala.

ANOTACE

Práce je věnována problematice řešení rozvozních úloh (okružních jízd) ve vybrané společnosti. Jsou zde využity a analyzovány vybrané metody z oboru Operačního výzkumu a Teorie grafů. Zaměření práce je orientováno na možnosti praktického využití teoretických poznatků ze zmíněných vědních oborů pro aplikaci na konkrétním modelu existující společnosti, která se zabývá rozvozem zboží z centrálního místa k cílovým zákazníkům. Obsahuje postup sestavování okružních jízd pomocí heuristických metod pro hledání efektivních řešení s nízkými náklady, snižování spotřeby času a snižování potřeby vstupů (zaměstnanci, vozidla, atp.).

KLÍČOVÁ SLOVA

Okružní problém, Problém okružních jízd, Problém obchodního cestujícího

TITLE

Rationalization of Distribution for Selected Company

ANNOTATION

The purpose of this work is to solve the vehicle routing problem for a chosen company. There are commonly used and practiced methods for operational research and graph theory. This particular work is focused on the possibility of applications concerning theoretical findings of aforementioned scientific branches for the practical use of specific models in real companies. The company is taking care about making deliveries of the goods from the central place to the end customers. It involves containing the procedures of making routes with the help of heuristic methods in order to find an effective solution with low costs, low time consumption and low inputs (employees, trucks, etc.).

KEYWORDS

Routing Problem, Vehicle Routing Problem, Traveling Salesman Problem

Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ 9
SEZNAM TABULEK 10
SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK 11
ÚVOD 12
1 POUŽÍVANÉ METODY ŘEŠENÍ SVOZNĚ-ROZVOZNÍCH ÚLOH 13
1.1 Problém obchodního cestujícího 14
1.2 Obecné omezující podmínky okružních jízd 15
1.2.1 Klasický problém okružních jízd 15
1.2.2 Obecné lokální podmínky 16
1.2.3 Obecné globální podmínky 17
1.3 Výpočetní algoritmy pro úlohy okružních jízd 17
1.3.1 Heuristické algoritmy 17
1.3.2 Další používané metody 23
1.4 Úlohy okružních jízd 24
1.5 Shrnutí 28
2 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU 29
2.1 Podklady pro tvorbu okružních jízd 30
2.2 Střediska a jejich atrakční obvody 31
2.3 Používaná vozidla 32
2.4 Struktura produktů v souvislosti s dodávkami a svozem 32
2.5 Statistické údaje 34
2.6 Specifické omezující podmínky 37
2.7 Distanční matice 38
2.8 Podrobná analýza vybrané okružní jízdy 40
3 SESTAVENÍ OKRUŽNÍCH JÍZD 42

3.1 Matematický model úlohy 42
3.1.1 Slovní formulace 42
3.1.2 Model úlohy 42
3.1.3 Konkretizace omezujících podmínek a dalších parametrů úlohy 44
3.2 Výhodnostní koeficienty 44
3.3 Dosažené výsledky 45
4 ZHODNOCENÍ MODELU 48
4.1 Srovnání vypočteného a současného modelu 48
4.2 Shrnutí a možnost další aplikace 50
ZÁVĚR 52
SEZNAM POUŽITÝCH INFORMAČNÍCH ZDROJŮ 53
PŘÍLOHY 55

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: *Schéma klasické úlohy VRP s vyznačením tří různých okruhů* 16

Obrázek 2: *Polární souřadnicový systém* 22

Obrázek 3: *Geografická poloha středisek* 31

Obrázek 4: *Geografická poloha uzlů dopravní sítě* 38

Obrázek 5: *Schématické znázornění současného návrhu okružní jízdy* 41

Obrázek 6: *Schématické znázornění vypočtených okruhů* 47

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: *Časová a prostorová náročnost na svoz/dodávku produktů* 33
Tabulka 2: *Počet dodávek/svozů v rámci jednoho servisního cyklu* 35
Tabulka 3: *Okružní jízdy* 36
Tabulka 4: *Struktura a parametry okružní jízdy č. 4* 36
Tabulka 5: *OD matice vzdáleností v km* 39
Tabulka 6: *OD matice časových dostupností v minutách* 39
Tabulka 7: *Současný návrh okružní jízdy* 40
Tabulka 8: *Ukázka výpočtu výhodnostních koeficientů* 45
Tabulka 9: *Výhodnostní koeficienty* 45
Tabulka 10: *Výsledné okruhy po aplikaci metody Clarka a Wrighta* 46
Tabulka 11: *Vyčíslení nákladů vztažených k době trvání* 49
Tabulka 12: *Vyčíslení nákladů vztažených k celkové ujeté vzdálenosti* 49

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

CVRP – Capacitated Vehicle Routing Problem

GPS – Global Positioning System

HACCP – Hazard Analysis and Critical Control Points

HK – Hamiltonovská kružnice

MDVRP – Multiple Depot Vehicle Routing Problem

MTSP – Multiple Traveling Salesman Problem

OD matice – origin-destination matice

PHM – pohonné hmoty

PSČ – poštovní směrovací číslo

PVRP – Periodic Vehicle Routing Problem

SDVRP – Split Delivery Routing Problem

SVRP – Stochastic Vehicle Routing Problem

TSP – Traveling Salesman Problem

VRP – Vehicle Routing Problem

VRPB – Vehicle Routing Problem with Backhauls

VRPPD – Vehicle Routing Problem with Pick-up and Delivery

VRPSF – Vehicle Routing Problem with Satellite Facilities

VRPTW – Vehicle Routing Problem with Time Windows

ÚVOD

Celosvětovým trendem v oblasti logistiky, dopravního plánování a skladování, je vynakládání maximálního úsilí na vytvoření efektivního, nákladově přijatelného a v neposlední řadě, pro zaměstnance dopravních podniků a ostatních podniků provozujících dopravu, ať už pro vlastní nebo cizí potřeby, takového pracovního prostředí, ve kterém nedochází k jejich přetěžování nebo naopak k nevyužívání jejich pracovní kapacity. Pro dosahování výše uvedených cílů existuje poměrně velké množství softwarových aplikací, které se ve spojení s detailně zpracovanými mapovými podklady včetně grafů silniční a městské sítě, stávají velmi účinným nástrojem pro zajišťování vysoké úrovně efektivity a kvality poskytování dopravních služeb, ať už pro vlastní nebo cizí potřeby.

V této práci je řešena především problematika plánování svozně-rozvozních dopravních úloh. Obsahuje výčet základních algoritmů, které se při jejich aplikaci používají, spolu s popisem základních variant těchto dopravních úloh.

Následně je důležitým aspektem celé práce samotná aplikace vybraného typu úlohy na praktickém modelu reálné společnosti, kde na vzorku vybraných dat bude použita jedna z heuristických metod řešení okružního problému a následně pak, spolu s analýzou interpretace získaných výsledků, jejich srovnání a zhodnocení.

Cílem práce tedy je výběr jedné z výpočetních metod operačního výzkumu a teorie grafů pro řešení okružních úloh, její aplikace na vybraném vzorku zákazníků a tím vytvoření funkčního modelu rozvrhování okružích jízd za použití specifických omezujících podmínek. Takto vytvořený model bude následně sloužit jako základní pracovní pomůcka pro budoucí možnost aplikace v širším měřítku – na všechny zákazníky společnosti.

1 POUŽÍVANÉ METODY ŘEŠENÍ SVOZNĚ-ROZVOZNÍCH ÚLOH

Před samotnou analýzou a následným řešením konkrétního modelu, budou v této kapitole představeny základy, ze kterých vycházejí různé výpočetní metody a algoritmy, které se problematikou řešení svozových, rozvozních či kombinovaných úloh zabývají. Dále pak budou uvedeny různé varianty jejich možných aplikací.

Jelikož do této oblasti úloh patří mnoho praktických problémů, jako jsou např. rozvoz výrobků, potravin, vybírání poštovních schránek, svoz odpadu nebo plánování služebních cest, jsou takovéto úlohy spojovány specifickými požadavky k navštívení určité množiny míst, vrcholů/uzlů grafu, a to s určitými požadavky na efektivitu.

Obecně lze obsluhu uzlů sítě formulovat jako dopravní síť reprezentovanou ohodnoceným, souvislým neorientovaným [1] (alespoň neorientovaně souvislým [2]) grafem, ve kterém uzly představují např. města a hrany pak existující dopravní cesty mezi nimi. Cílem je nalezení takové uzavřené trasy, která by začínala a končila v daném uzlu a současně procházela právě všemi ostatními uzly sítě právě jednou nebo alespoň jednou. Takto nalezené trasy nemusí obsahovat všechny hrany dané sítě. Z důvodu minimalizace dopravní práce je požadováno, aby navrhovaná trasa byla minimální, což následně může vést ke zkrácení doby obsluhy, nižší spotřebě pohonných hmot, nižším nákladům, úspoře pracovní doby, atp.

Takovéto úlohy se obecně označují jako *Problém obchodního cestujícího* (TSP, z angl. Traveling Salesman Problem), protože právě pro obchodní cestující byla tato úloha poprvé formulována, řešena a zobecněna i pro jiné případy. Řešení Problému obchodního cestujícího se obecně vyskytuje jak v orientovaných tak neorientovaných dopravních sítích a dále z této úlohy vychází i úloha, která se nazývá *Problém mnohačetného obchodního cestujícího* (MTSP, z angl. Multiple Traveling Salesman Problem), takto specifikovaná úloha již více vystihuje reálné situace v praxi a umožňuje tak rozšíření v širokém spektru řešení úloh obecně známých jako *Okružní problém* nebo *Problém okružních jízd*. (1)

[1] Ohodnocený, souvislý neorientovaný graf je takový graf, který má definovanou velikost všech hran (v případě dopravní sítě jejich délku), zároveň mezi každou dvojicí vrcholů existuje alespoň jedna cesta a hrany nemají určenou svojí orientaci – lze je tedy projít oběma směry. (3)

[2] Neorientovaně souvislý graf je takový, jehož hrany mají stanovenou svojí orientaci a cesta mezi každou dvojicí vrcholů existuje pouze v případě, že hranovou orientaci zanedbáme. (3)

V následujících kapitolách, kde jsou charakterizovány základní typy úloh a výpočetní metody, budou, kvůli lepší přehlednosti, některé vztahy a rovnice uvedeny přímo v kontextu s řešeným problémem, význam použitého značení bude uveden vždy v kontextu s jeho výskytem. Pokud bude v následujících charakteristikách uveden vztah, ze kterého bude vycházet nějaké další řešení, bude řádně označen i s příslušným odkazem na jeho použití.

1.1 Problém obchodního cestujícího

(TSP, z angl. Traveling Salesman Problem)

Pod pojmem Problém obchodního cestujícího si lze představit klasickou aplikaci, kdy je na vybrané mapě (grafu silniční sítě) označeno několik zájmových bodů (potenciálních zákazníků), které musí obchodní zástupce navštívit se svou obchodní nabídkou. Cílem tedy je, nalézt mezi všemi vybranými body nejkratší možnou trasu, která začíná i končí v tomtéž místě. Podmínkou pro nalezení trasy je, že každé místo může obchodní zástupce navštívit pouze jednou. Tím dojde k minimalizaci nákladů a času spojeného s cestováním na komunikacích, které jsou reprezentovány zvolenou silniční sítí a zároveň k uspokojení potřeby obchodního zástupce, který navštívil všechna určená místa. Pro tyto účely byla tato teorie také poprvé formulována, a proto také nese název Problém obchodního cestujícího. (2)

Formulace úlohy Problému obchodního cestujícího pochází z 19. století, kdy irský matematik R. W. Hamilton spolu s britským matematikem T. Kirkmanem poprvé sestavili teorii, která souvisí se studiem kružnic na pravidelném dvanáctistěnu (dodekahedronu), odtud pochází název: Hamiltonovské kružnice (dále jen HK). Zmíněný dvanáctistěn, nebo jiný obyčejný graf, který obsahuje HK, je v teorii grafů nazýván Hamiltonovský graf. V Hamiltonovských grafech lze podle stanovených podmínek vytvářet kromě kružnic také cykly, cesty nebo trasy, které jsou nazývány hamiltonovské cykly, hamiltonovské cesty nebo hamiltonovské trasy. Důležité je, že pro existenci HK v grafu musí existovat tyto nutné podmínky:

- graf je souvislý[3],
- neobsahuje hrany typu most,[4]
- neobsahuje artikulace,[5]
- neobsahuje visící vrcholy[6].

[3] Graf je souvislým tehdy, pokud mezi libovolnou dvojicí jeho vrcholů existuje alespoň jedna cesta. (10)

[4] Mostem je taková hrana v grafu, jejímž odstraněním se graf rozpadne na dvě komponenty. (10)

[5] Artikulací je takový vrchol, jehož odstraněním z grafu se zvýší počet komponent alespoň o jednu. (10)

[6] Neobsahuje vrcholy stupně 1. (3)

Dále jsou též definovány tzv. postačující podmínky, které jsou-li splněny, říkají, že HK v grafu existuje. Pokud však splněny nejsou, neznamená to, že HK v grafu neexistuje. (3)

1.2 Obecné omezující podmínky okružních jízd

V této kapitole budou představeny obecné omezující podmínky pro tvorbu okružních jízd. Jelikož se charakteristika omezujících podmínek v této práci týká především řešení okružního problému, bude nejprve představena jeho klasická varianta a následně charakteristika obecných omezujících podmínek.

1.2.1 Klasický problém okružních jízd

(VRP, z angl. Vehicle Routing Problem)

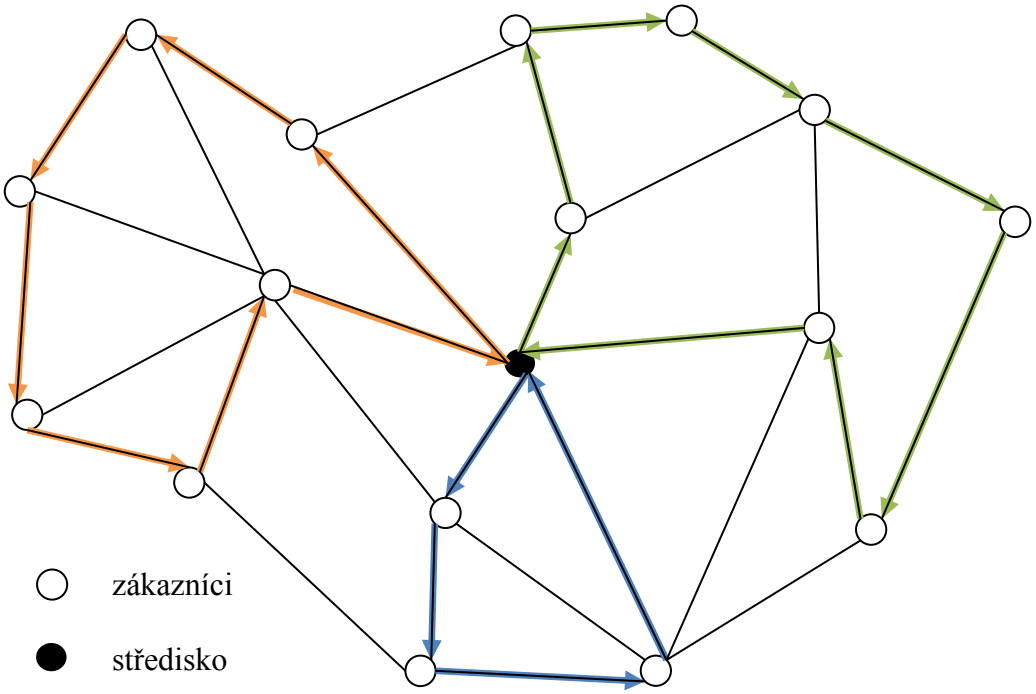
Klasický problém okružních jízd je rozšířením klasického jednookruhového problému (TSP) na víceokruhový problém. K tomuto řešení se přistupuje v případech, kdy jeden okruh nestačí a je třeba zařadit omezující podmínku pro jejich stanovení, nejčastěji kapacitní. V praxi to pak znamená, že v případě přesažení stanovené kapacity jednoho okruhu, musí být nutně vytvořeno okruhů více. (4)

Ve své podstatě se jedná o uspokojování požadavků zákazníků na dopravní síti prostřednictvím předem definovaných typů vozidel a s určitým rozmístěním a dispozicemi zásobovacích středisek. Účelem řešení takové úlohy je stanovení okruhů, které uspokojí potřeby všech zákazníků za minimální spotřeby všech vstupů a při splnění předem stanovených omezujících podmínek.

Klasický problém okružních jízd je tedy možné definovat takto: existuje dopravní síť $S = (V, H)$[7]se střediskem v uzlu V_0 a množinou zákazníků, které představují uzly $\{V_1, \dots, V_n\}$. Dále má každý zákazník v jednotlivých uzlech potřebu na dodávku zboží $\{b_1, \dots, b_n\}$. Přeprava zboží je realizována prostřednictvím okruhů, které vždy začínají a končí ve středisku, které reprezentuje vrchol V_0. Cílem tedy je určení takových okruhů, kdy je zákazník obsloužen právě jednou a právě jedním vozidlem, přičemž každému okruhu přísluší právě jednou vozidlo a celková délka okružních jízd je minimální. Takové podmínky se nazývají omezujícími podmínkami, které lze obecně rozdělit na podmínky lokální a globální, které jsou podrobněji charakterizovány dále. (1)

[7] $S = (V, H)$, kde S je označení dopravní sítě, V je množinou uzlů obsahující prvky $\{V_0, \dots, V_n\}$ a H je množinou všech hran dopravní sítě $\{h_1, \dots, h_n\}$. (1)

Schéma klasické úlohy okružních jízd s vyznačením příkladů jednotlivých okruhů je uvedeno na Obrázku 1.



Obrázek 1: Schéma klasické úlohy VRP s vyznačením tří různých okruhů

Zdroj: Autor podle (3)

Směr, kterým jsou jednotlivé okruhy vyznačeny, závisí na typu zvolené dopravní sítě, buď se jedná o orientovanou, nebo neorientovanou síť. V případě neorientované dopravní sítě lze okruhy obsluhovat oběma směry, tedy i proti naznačenému směru, se shodným výsledkem.

1.2.2 Obecné lokální podmínky

Obecné lokální podmínky představují takové podmínky, které mají svou důležitost v místně příslušném významu. Omezení lokálního významu spočívá v tom, že tato omezení nejsou společná pro všechny zákazníky, okruhy, vozidla, atd. Zároveň se může jednat o podmínky, které jsou stanovené jak na straně dodavatele, tak odběratele (zákazníka). Do obecných lokálních podmínek lze zařadit tyto:

- obsluha jednotlivých zákazníků v předem stanovených časových intervalech, tzv. časových oknech (např. v intervalu 08:00 – 12:00 hodin),
- použití určitého typu vozidla pro obsluhu (např. výbava zadním zvedacím čelem),
- limitovaná spotřeba pohonných hmot,
- limitované náklady na obsluhu.

1.2.3 Obecné globální podmínky

Obecné globální podmínky mají svůj význam v celkovém (globálním) pohledu na rozvrhování okruhů. Jejich společným jmenovatelem jsou tedy všechny prvky řešené úlohy a tím pádem se týkají úlohy jako celku. Jako příklad lze uvést následující:

- množství zboží, které lze rozvést v rámci jednoho okruhu – kapacita vozidla,
- limitovaná maximální doba jízdy (dodržení pracovní doby, doby řízení, atp.),
- limitovaný počet vozidel pro obsluhu zákazníků.

1.3 Výpočetní algoritmy pro úlohy okružních jízd

Výpočetní algoritmy jsou řazeny do dvou základních skupin. Jedná se o algoritmy heuristické a exaktní. Rozdíl spočívá ve výsledku jejich řešení, kdy exaktní algoritmy vedou přímo k nalezení optimálního řešení oproti algoritmům heuristickým, jejichž výsledkem nemusí být přímo optimální řešení, ale pouze suboptimální[8].

Nespornou výhodou exaktních algoritmů je jejich přesnost a optimální výsledek, nicméně s rostoucí velikostí dopravní sítě roste i výpočetní náročnost úlohy, což ve výsledku znamená, že za použití současné technologie není těmito metodami možné v reálném čase takové úlohy řešit, protože počet operací nutných k získání optimálního řešení roste exponenciálně s velikostí úlohy. Z těchto důvodů je v praxi výhodnější využívat heuristických metod řešení okružních úloh, neboť s jejich pomocí lze řešit i úlohy poměrně rozsáhlé a zkrátit tak čas jejich řešení na přijatelnou dobu. Nevýhodou však je, že výsledek nemusí nutně vést k optimálnímu řešení, ale pouze k jednomu z přípustných řešení tedy suboptimálnímu, u kterého většinou ani nelze odhadnout, jak je vzdálené od řešení optimálního. Následující kapitoly se věnují charakteristice nejpoužívanějších heuristických i exaktních algoritmů. (1)

1.3.1 Heuristické algoritmy

Metody, které nezaručují nalezení optimálního řešení a v některých případech dokonce ani přípustného řešení, se nazývají heuristické metody, zkráceně heuristiky. Obecná heuristická metoda je charakterizována přechodem od jednoho přípustného nebo nepřípustného řešení k následujícímu a lokálním kritériem[9], s jehož pomocí je z množiny možných následujících řešení vybíráno výsledné. (5)

[8] Suboptimální řešení je jedno z přípustných řešení, které není optimální, ale pouze jemu blízké. (6)

[9] Hodnota lokálního kritéria je obvykle shodná s hodnotou původní účelové funkce. (6)

Heuristické metody (heuristiky) jsou dále děleny na primární a duální:

- Primární heuristikou se označuje takový postup, který začíná přípustným řešením a přechází k dalšímu řešení, které je také přípustné a jeho hodnota lokálního kritéria je menší než hodnota lokálního kritéria předchozího řešení. Výchozí řešení je tedy postupně zlepšováno, při nenarušení podmínek přípustnosti.
- Duální heuristika, naopak od primární, začíná nepřípustným řešením a postupně přechází k řešení s menší mírou nepřípustnosti tak, aby se lokální kritérium zvýšilo co nejméně.

Oba výše uvedené postupy končí ve fázi, kdy ze současného řešení již není možné, povoleným postupem, přejít k řešení následujícímu s menší hodnotou lokálního kritéria nebo s menší mírou nepřípustnosti. (5) (6)

Při konstrukci heuristický metod se obě heuristiky mohou vzájemně kombinovat tak, že duální heuristika poskytne výchozí řešení pro primární heuristiku, která toto řešení dále zlepšuje. Heuristik je obecně známo několik typů, nejznámější z nich jsou tyto:

- vkládací heuristiky,
- heuristiky s výhodnostními koeficienty,
- výměnné heuristiky,
- dekompoziční heuristiky,
- heuristiky využívající metody matematického programování.

Výše uvedené charakteristiky se týkají deterministických [10] heuristik, které jsou založené na minimalizační metastrategii [11] končící případem, kdy není možné přejít od současného řešení k lepšímu. Algoritmy uvedené dále v této kapitole využívají právě těchto heuristik. Pro dokreslení obecného přehledu je třeba ještě uvést, že kromě heuristik deterministických existují ještě stochastické heuristiky a tzv. metaheuristiky[12]. (5)

Kimova metoda

Tato metoda slouží pro vyhledávání suboptimální trasy, která prochází všemi uzly dopravní sítě a zajišťuje tak jejich optimální obsluhu. V roce 1975 ji publikoval C. Kim.

[10] Deterministický: vlastnost procesu, jehož každý stav je určen předcházejícím. (16)

[11] Metastrategie: rámcová strategie určující, jaké další strategie budou použity v rámci dané situace. (17)

[12] Metaheuristiky jsou metody, které za určitých podmínek umožňují opustit lokální optimum a přejít do jiné množiny přípustných řešení. (17)

Řešení Kimovou metodou spočívá v nalezení minimálního eulerovského tahu[13] na zvolené dopravní síti.

Princip algoritmu lze popsat v několika krocích:

1. Původní dopravní síť musí být doplněna na úplnou síť tak, že neexistujícímu úseku dopravní sítě je přiřazena délka minimální trasy, která odpovídá příslušné dvojici uzlů původní sítě.
2. V úplné dopravní síti nalezneme minimální kostru[14] a následně úseky minimální kostry zdvojíme, čímž se vytvoří eulerovská síť (eulerovský graf[15]).
3. Pro zdvojenou kostru nalezneme některý eulerovský tah.
4. Nalezený eulerovský tah dále porovnáváme s původní dopravní sítí, zda existuje nějaká skupina uzlů, přes které tento tah prochází více než jednou a je-li takový tah kratší než původní, zkrátíme část tahu vynecháním úseku z nalezeného eulerovského tahu.
5. Postup ve 4. kroku opakujeme až do vyčerpání všech možností.

Tímto způsobem je tedy možné nalézt suboptimální trasu na zvolené dopravní síti, nelze však aplikovat dodatečné omezující podmínky např. podmínku omezené kapacity vozidel nebo času obsluhy. (6)

Clark-Wrightova metoda

Clark-Wrightova metoda je jednou z nejznámějších heuristických metod, která je založená na primárních heuristikách s výhodnostními koeficienty. Metoda pochází z roku 1964 a nese jména jejích autorů G. Clarka a J. W. Wrighta.

Původní algoritmus Clarke-Wrightovy metody začíná svou práci s počátečním řešením, které je tvořeno soustavou kyvadlových jízd ve tvaru středisko-zákazník-středisko. Algoritmus postupně přechází od současného řešení k lepšímu tak, že při respektování kapacitní podmínky spojí dvě jízdy v jednu.

U těchto jízd je třeba rozlišovat krajní a vnitřní zákazníky. Krajní zákazníci jsou ti, kteří jsou v jízdě navštíveni jako první nebo poslední, jsou tedy se střediskem spojeni přímým přejezdem. Vnitřní zákazníci se nachází uvnitř trasy, jsou ohraničeni krajními zákazníky a nemají tedy přímé spojení se střediskem.

---

[13] Eulerovský tah je posloupnost obsahující všechny hrany grafu, bez toho, aby některá z hran byla použita více než jednou. (3)

[14] Minimální kostra souvislého hranově ohodnoceného grafu je taková kostra, pro kterou je součet ohodnocení hran minimální. (3)

[15] Eulerovský graf je takový graf, ve kterém je možné sestrojit eulerovský tah. Grafy tohoto typu bývají označovány jako E-grafy. (3)

Spojování jízd je provedeno mezi dvěma krajními zákazníky i a j dvou různých jízd tak, že jsou v obou jízdách zrušeny přejezdy od těchto zákazníků ke středisku a je doplněn přejezd od zákazníka i k zákazníkovi j. Potom je úspora na celkové délce okruhu vypočtena dle vztahu (1), tato úspora se označuje jako výhodností koeficient. (6) (7)

$$v_{ij} = d_{is} + d_{sj} - d_{ij} \quad (1)$$

kde:

v_{ij} ..... výhodnostní koeficient [km],

d_{is} ..... úsek mezi i-tým zákazníkem a střediskem [km],

d_{sj} ..... úsek mezi j-tým zákazníkem a střediskem [km],

d_{ij} ..... úsek mezi i-tým a j-tým zákazníkem [km].

Obecně lze algoritmus Clarka a Wrighta popsat následujícími kroky (podle zdroje (5)):

1. Inicializace:
    a. Z matice vzdáleností vypočteme pro všechny dvojice i, j zákazníků výhodnostní koeficienty. Uvažujeme pouze kladné koeficienty a zapíšeme je do seznamu (popř. matice) V.
    b. Inicializujeme výchozí skupiny okružních jízd $O = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$ tak, že vytvoříme kyvadlové jízdy středisko-zákazník-středisko, tedy $S_k = \langle s, k, s \rangle$ a rovněž zavedeme pro každou jízdu k součet požadavků zákazníků B_k, které jsou na trase uspokojeny, čili $B_k = \sum b_k$.
2. Přechod k dalšímu řešení:
    a. Je-li seznam výhodnostních koeficientů V prázdný, seznam okružních jízd O obsahuje výslednou soustavu okružních jízd. Není-li splněno, pokračujeme dále bodem b.
    b. Ze seznamu V vybereme koeficient v_{ij} s nevyšší hodnotou a určíme jízdy $S_{k(i)}$ a $S_{k(j)}$ do kterých patří krajní zákazníci i a j.

    Je-li následně $B_{k(i)} + B_{k(j)} \leq K_0$, vyjmeme jízdy $S_{k(i)}$ a $S_{k(j)}$ a krajní zákazníky i, i' a j, j' ze seznamu O, sloučíme je spojením krajních zákazníků i a j do jedné jízdy $S_{k'}$, definujeme $B_{k'} = B_{k(i)} + B_{k(j)}$ a vložíme $S_{k'}$ do seznamu O.

    Potom ze seznamu V vybereme (pokud se tam ještě nachází) výhodnostní koeficienty $v_{i'j'}, v_{i'j}, v_{ij'}$. Pokud se některý ze zákazníků i, j stal vnitřním

zákazníkem nové jízdy, vyřadíme ze seznamu V všechny výhodnostní koeficienty spojené s tímto zákazníkem.

c. Dále postupujeme znovu od bodu a.

Takto definovaný algoritmus lze bez větších úprav použít jak s podmínkou kapacitní, tak i s podmínkou na maximální dobu trvání jedné jízdy (okruhu), pokud je toto omezení pro všechny jízdy stejné.

Při aplikaci časové podmínky v algoritmu, lze vycházet z průměrné rychlosti, kterou se vozidla na dané dopravní síti pohybují, nebo ze znalosti doby jízdy na všech použitých úsecích dopravní sítě. Doba trvání se ověřuje analogicky v porovnání s kapacitní podmínkou. Za použití průměrné rychlosti v je algoritmus doplněn následovně:

- Vychází se z faktu, že spojením dvou jízd v krajních zákaznících i a j v jednu jízdu se součet délek obou jízd sníží o $v_{ij} = d_{is} + d_{sj} - d_{ij}$ a tedy součet dob trvání $T_{k(i)} + T_{k(j)}$ obou jízd se sníží o v_{ij}/v. Výsledná doba trvání potom bude $T_{k'} = T_{k(i)} + T_{k(j)} - v_{ij}/v$.
- V případě aplikace v úloze okružních jízd s homogenním vozovým parkem, se výše uvedený algoritmus upraví o zavedení a inicializování dob trvání T_k jednotlivých jízd současného řešení, doplněním kontroly přípustnosti v kroku 2 o podmínku $T_{k(i)} + T_{k(j)} - v_{ij}/v \leq t$ a definováním doby $T_{k'}$ trvání nové jízdy k' podle vztahu $T_{k'} = T_{k(i)} + T_{k(j)} - v_{ij}/v$.). (5) (7)

Sekvenční algoritmus Clark-Wrightovy metody

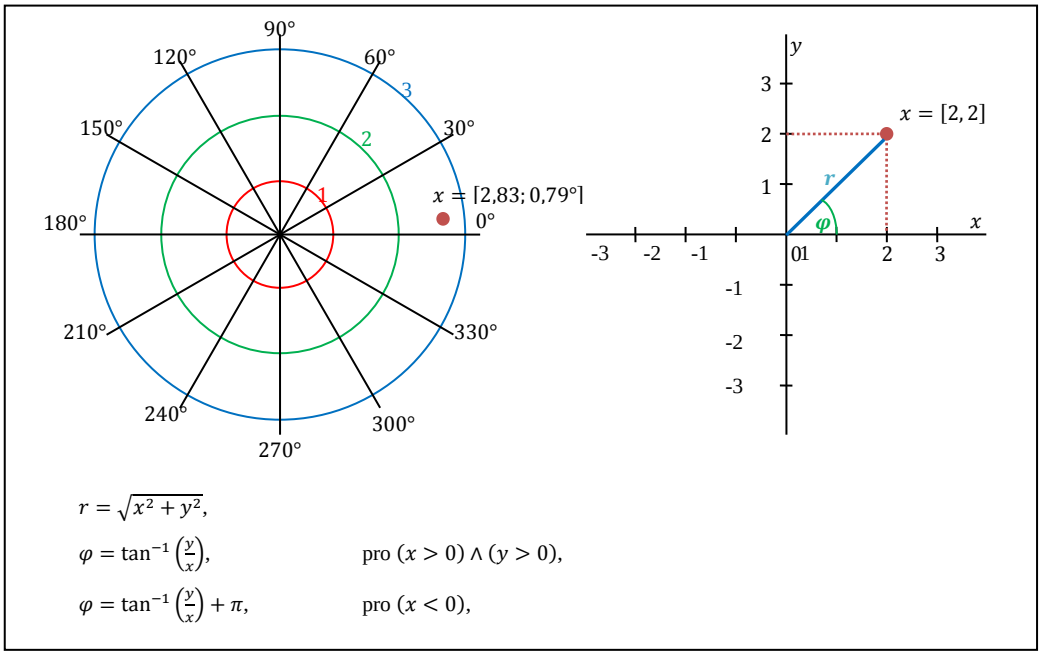
Jelikož klasická forma Clark-Wrightovy metody umožňuje řešit úlohy pouze s homogenním dopravním parkem, kde na všechny vytvářené okružní jízdy je uplatňována stejná kapacitní podmínka nebo podmínka stejné maximální doby trvání, je třeba k řešení úlohy s heterogenním dopravním parkem přistupovat tzv. sekvenčním přístupem. Sekvenční přístup je založen na tom, že vozidla heterogenního dopravního parku jsou uspořádána do posloupnosti, většinou sestupně podle jejich kapacity a trasy jsou vytvářeny postupně pro jednotlivá vozidla, dokud není jejich kapacita nebo jiný omezený parametr vytížen na požadovanou míru. (5) (8)

Stírací algoritmus – metoda primárního shlukování

Metoda stíracího algoritmu (z angl. Sweep algorithm), spočívá ve vytváření shluků, neboli skupin zákazníků, na základě stanovených omezujících podmínek. Následně se na

jednotlivé shluky zákazníků aplikuje metoda obchodního cestujícího, která je řešena využitím znalosti matice vzdáleností z použité dopravní sítě.

Určování shluků vychází z polohy střediska a polohy zákazníků, které jsou zadané dvojicí souřadnic v kartézské soustavě. Souřadnice střediska a zákazníků jsou následně transformovány, tak aby středisko tvořilo počátek nové souřadnicové soustavy. Takto připravené souřadnice jsou dále převedeny na polární souřadnicový systém s počátkem umístěným ve středisku. Pro ilustraci je transformace na polární souřadnice znázorněna na Obrázku č. 2. Následně, před aplikací samotného algoritmu, jsou zákazníci uspořádáni vzestupně podle velikosti úhlu φ. Samotný algoritmus je ve své podstatě založen na vyhledávání geograficky nejbližších párů a jejich shlukování na základně kapacitních omezujících podmínek.



Obrázek 2: Polární souřadnicový systém

Zdroj: Autor podle (8)

Použití Stíracího algoritmu není v některých situacích zcela vhodné. Jeho slabá místa jsou zejména tato:

- Jsou-li požadavky některých zákazníků větší než je $1/2$ kapacity vozidla, mohou pak vznikat shluky, kde součet požadavků nedosahuje ani poloviny kapacity vozidla.
- Jsou-li od sebe zákazníci hodně vzdáleni a ocitnou se potom v jednom shluku (vyhovující kapacitní podmínka), bude délka výsledné trasy poměrně velká.
- Při sestavování shluků nelze kontrolovat jiná omezení, než kapacitu vozidel. (8)

1.3.2 Další používané metody

V této kapitole jsou, pro doplnění přehledu, uvedeny některé z dalších metod, které se používají pro vyhledání minimální hamiltonovské kružnice. Jedná se o všeobecný přehled, kde budou uvedeny pouze základní údaje a jejich princip.

Metoda penalizací

Tato metoda spočívá v nalezení tzv. minimálního 1-stromu[16], který je faktorem původního grafu dopravní sítě. Pokud takto nalezený 1-strom má všechny uzly stupně 2, jedná se o minimální hamiltonovskou kružnici. Pokud má však některý uzel stupeň jiný než 2, získaný graf hamiltonovskou kružnicí není a jednou z možností, jak tuto kružnici najít, je použití tzv. penalizace uzlů.

Řešení tedy spočívá v ohodnocení všech uzlů reálným číslem, tzv. penále. Následně se pak postupnou změnou tohoto penále mění ohodnocení uzlů a mění se tak minimální 1-stromy, ale nemění se řešení problému obchodního cestujícího, protože změnou penále pouze ovlivněn tvar 1-stromu tak, aby v konečném důsledku byla získána kružnice.

Zkušenosti s touto metodou ukazují, že tento postup často vede k cíli, záleží ovšem na správné volbě hodnot penále, neboť existují i takové grafy, kde ani nejdůmyslnější volby penále nalezení hledané hamiltonovské kružnice neumožní. (1) (6)

Metoda větví a mezí

Metoda větví a mezí (z angl. Branch and Bound) je exaktní a poměrně dobře aplikovatelná metoda pro řešení kombinatorických úloh a díky své struktuře velice důležitá. Jak již bylo dříve řečeno, náročnost řešení roste exponenciálně s velikostí úlohy. Největší výhoda této metody tedy spočívá v tom, že algoritmus neprohledává množinu všech přípustných řešení, ale je založen na prohledávání množiny přípustných řešení ve směru největšího zlepšení účelové funkce. Metoda větví a mezí tedy řeší úlohy dělením (větvením) množiny přípustných řešení na menší podmnožiny a výpočtem horního, resp. dolního odhadu hodnot účelové funkce všech řešení v jednotlivých podmnožinách přípustných řešení. (9)

Podstata řešení spočívá v tom, že na základě vypočtených odhadů jsou vylučovány ty podmnožiny, které nemohou obsahovat optimální řešení a současně určovány takové množiny, jejichž hodnoty jsou nejnadějnější pro další dělení. (6) (9)

[16] Minimální 1-strom je takový 1-strom, jehož součet ohodnocení hran je nejmenší. Vznik minimálního1-stromu je zapříčiněn přidáním jedné hrany, která má nejmenší hodnocení a neleží v minimálním 1-stromu. (9)

Největší výhodou metody větví a mezí je, že jejím výsledkem je nalezení optimálního řešení. Nevýhodou je pak časová náročnost, při aplikaci této metody sice nejsou prohledávána všechna přípustná řešení, ale i tak je řešení rozsáhlých úloh časově velice náročné, neboť počet uzlů ve větvícím se stromu může dosahovat velmi vysokého počtu. (9)

Metoda rozhodovacího stromu

Metoda rozhodovacího stromu patří také mezi exaktní metodu pro řešení problému obchodního cestujícího. Jedná se sice o poměrně snadnou metodu, ale její použití může být v rozsáhlých úlohách časově velice náročné. V porovnání s metodou větví a mezí má tato metoda následující odlišnosti:

- je zde prohledáván prostor všech řešení,
- zaznamenávají se zde všechna přípustná řešení,
- ze všech přípustných řešení se potom vybírá optimální.

Existuje zde také pravidlo, že je možné použít pouze jednu omezující podmínku, například minimalizaci dopravní práce.

Při aplikaci této metody se vychází z tzv. rozhodovacího stromu, který představuje účelové a zjednodušené grafické zobrazení struktury rozhodovacího procesu. Zobrazení tohoto procesu pak představuje taková posloupnost uzlů a hran, která vykazuje splnění omezujících podmínek. Zjednodušeně řečeno, jsou uvažována všechna možná řešení a nakonec podle zvoleného kritéria je vybrána optimální posloupnost uzlů vedoucí k nejlepšímu možnému výsledku řešení úlohy. (6) (10)

1.4 Úlohy okružních jízd

Samotný problém okružních jízd lze rozdělit do několika variant, jejichž stručná charakteristika je uvedena dále v této kapitole. Pro řešení těchto úloh již byla použita celá řada exaktních metod a algoritmů založených na technikách lineárního programování, avšak pro řešení rozsáhlých úloh problému okružních jízd se používají heuristické techniky, jež zahrnují i aplikace genetických algoritmů, evolučních algoritmů, neuronových sítí, optimalizaci mravenčí kolonií nebo optimalizaci včelím rojem.

V této části budou představeny základní modifikace problému okružních jízd (VRP), který byl v kapitole 1.2.1 charakterizován. Modifikace okružních úloh v podstatě spočívají v zachování účelové funkce, tedy v minimalizaci ujeté vzdálenosti (popř. času) za stanovených specifických omezujících podmínek. Jednotlivé typy okružních úloh potom lze

mezi sebou různými způsoby kombinovat. Lze tak vytvářet komplexní plánovací systémy za pomoci elementárních podúloh.

Kapacitně omezená úloha okružních jízd

(CVRP – z angl. Capacitated Vehicle Routing Problem)

V této variantě VRP je přidána taková omezující podmínka, která zabezpečuje, že pro žádné vozidlo nebude přesažena jeho kapacita. Dále platí všechny podmínky klasického okružního problému. (11)

Úloha okružních jízd s časovými okny

(VRPTW – z angl. Vehicle Routing Problem with Time Windows)

Pro úlohu VRPTW jsou stanovena taková omezení, která definují pro jednotlivé uzly grafu dopravní sítě takový časový interval, ve kterém je nutné (možné), zákazníka obsloužit. Navíc je pro každý uzel definován čas obsluhy a pro okružní jízdy maximální doba jejich trvání. Toto pak platí pro každé vozidlo. Prakticky si lze situaci představit jako omezenou pracovní dobu na straně zákazníků, dodržování termínů obsluhy, atp. Velikost a počet definovaných časových oken může potom výrazně zvýšit složitost řešení takové úlohy. (12)

Úloha okružních jízd s více středisky

(MDVRP – z angl. Multiple Depot Vehicle Routing Problem)

Úloha okružního problému s více středisky spíše odpovídá skutečnosti, kdy podniky v praxi disponují více než jedním střediskem. Je tedy možné pro obsluhu zákazníků použít více strategicky umístěných středisek, což výrazně napomáhá efektivitě jízd a efektivnějšímu využívání vozového parku a dalších zdrojů. Jednou z obecných podmínek této úlohy je, že každé vozidlo může vyjet z kteréhokoliv střediska, ale pokud z něho vyjede, musí tam opět svou jízdu skončit. Zásadním problémem tohoto druhu úlohy je přidělení zákazníků k jednotlivým střediskům – určit atrakční obvody jednotlivých středisek. Úloha, která se zabývá tímto problémem, se nazývá Úloha rajonizace[17]. (11)

[17] Úloha rajonizace (z angl. Allocation Problem) patří do úrovně taktického plánování a lze realizovat v horizontu týdnů až měsíců. Potřeba rajonizace nejčastěji vzniká v průběhu životního cyklu již vybudovaného distribučního systému z důvodu např. omezené kapacity středisek nebo změn struktury umístění zákazníků. (18)

Úloha okružních jízd s dodávkou v určitý den v cyklu
(PVRP – z angl. Periodic Vehicle Routing Problem)

V klasických úlohách okružních jízd je doba plánování jeden den. V úlohách PVRP je tento parametr obecně rozšířen na M dní. Základní podmínky klasického okružního problému jsou rozšířeny tak, že se žádné vozidlo nesmí vrátit do střediska v tentýž den, kdy odjíždí a zároveň každý zákazník musí být během M denní periody obsloužen alespoň jednou. Obecně lze na tuto úlohu pohlížet jako na generování skupin jízd po jednotlivých dnech zvolené periody, kdy jsou splněny omezující podmínky a zároveň jsou celkové náklady a potřeba vstupů minimální. (11)

Úloha okružních jízd s rozdělenou dodávkou – více vozidly
(SDVRP – z angl. Split Delivery Vehicle Routing Problem)

Zde se jedná o modifikaci klasického VRP takovým způsobem, kdy je podmínka obsluhy jednoho zákazníka jedním vozidlem upravena tak, že je možno jednotlivé zákazníky obsluhovat více vozidly. Zároveň je však zachována podmínka minimalizace nákladů. Využití tohoto typu úlohy je praktické například v případech, kdy objednávky zákazníků přesahují kapacitu dostupných vozidel a tak vzniká potřeba je rozdělit. (11)

Stochastická úloha okružních jízd
(SVRP – z angl. Stochastic Vehicle Routing Problem)

Stochastická úloha okružních jízd se vyznačuje tím, že alespoň jedna komponenta úlohy je náhodná, jedná se například o tyto:

- komponenta zákazníků, kdy je každý zákazník v úloze přítomen či nepřítomen s určitou hodnotou pravděpodobnosti,
- komponenta poptávky, kde má poptávka každého zákazníka náhodnou velikost,
- komponenta času, kdy jsou čas obsluhy a cestovní doba také náhodné proměnné.

Stochastické úlohy jsou řešeny dvoufázově. Nejprve se řešení vypočte za použití náhodných proměnných a poté, ve druhé fázi, kdy jsou hodnoty náhodných proměnných již známé, je proveden opravný (upřesňující) výpočet. Při výpočtu druhé fáze SVRP je definována tzv. rekurzivní funkce, pomocí které je určen další potup plánování okružní jízdy.

Příklady několika akcí za použití kapacitní podmínky (při aplikaci na svozové úloze), které jsou dány rekurzivní funkcí, mohou být následující:

- je-li vozidlo plně naložené, vrátit se do střediska, vyložit a označit svoz jako plánovaný,
- je-li vozidlo plně naložené, vrátit se do střediska a přepočítat zbývající část plánovaných jízd,
- naplánovat preventivní návrat do střediska, i když není vozidlo zcela plně naložené. Je to z toho důvodu, že se zde vychází z předpokladu, že následující zákazník by mohl způsobit překročení kapacity použitého vozidla. (11)

Úloha okružních jízd – lze kdykoli nakládat a vykládat

(VRPPD – z angl. Vehicle Routing Problem with Pick-up and Delivering)

V této úloze je uvažováno s možností, že na straně zákazníka je možno jak vykládat, tak i nakládat zboží. Je proto třeba brát v úvahu to, že zboží naložené na straně zákazníka nesmí přesáhnout kapacitu vozidla. Takové omezení vytváří z plánování jízd poměrně složitý problém, který může vést k neefektivnímu využívání zdrojů a tím i zvyšování nákladů spojených s dopravou. Pro úspěšné řešení tohoto okružního problému je třeba definovat například následující omezující podmínky:

- veškeré dodávky zboží jsou uspokojovány pouze ze střediska směrem k zákazníkům,
- veškeré zboží naložené na straně zákazníků musí být vráceno zpět do střediska,
- dodávky mezi jednotlivými zákazníky navzájem jsou vyloučeny.

Omezující podmínky jsou pak zvlášť definovány pro dodávky, svozy a nakládku zboží. (13)

Úloha okružních jízd se zpětným sběrem

(VRPB – z angl. Vehicle Routing Problem with Backhauls)

V okružním problému se zpětným sběrem je řešen obdobný problém jako v VRPPD, avšak zde je zásadní omezující podmínkou to, že před nakládkou zboží u zákazníků musí být celé vozidlo nejprve vyloženo, tedy uskutečněny veškeré dodávky a až poté se uskutečňují svozy. Obecně se zde vychází z předpokladu, že jsou vozidla nakládána zezadu a jakákoliv manipulace na trase, spojená s přemísťováním nákladu v rámci nákladového prostoru vozidla, je vyloučena. Dále je množství k dodání i svozu pevně dané a předem známé. (13)

Úloha okružních jízd se satelitními středisky

(VRPSF – z angl. Vehicle Routing Problem with Satellite Facilities)

Jedním z důležitých hledisek při sestavování a plánování okružních jízd je možnost doplňovat vozidlo na trase za pomoci satelitních středisek. Touto možností se zabývá úloha okružních jízd se satelitními středisky, která pomáhá úspěšně a efektivně řešit tuto problematiku. V praxi si lze aplikaci úlohy představit například v distribuci pohonných hmot, případně některých dalších maloobchodních položek. (11)

1.5 Shrnutí

Výpočetních metod a algoritmů, pro řešení okružního problému a problému obchodního cestujícího, existuje celá řada. Vždy je třeba vybírat takovou metodu, která nejlépe vyhovuje struktuře dané situace, popřípadě spolu některé metody vzájemně kombinovat. Při aplikaci na rozsáhlých úlohách se ve většině případů exaktní algoritmy a metody nepoužívají z důvodů velké časové náročnosti nebo kvůli nutnosti použití výkonné výpočetní techniky. Toto se děje především v případech, kdy je třeba dynamicky reagovat například na změny objednávek zákazníků, změny termínů dodávek zboží, a další. Vzhledem k tomuto poměrně zásadnímu omezení, je většinou uspokojující výsledek získán díky použití heuristických algoritmů, jež jsou poměrně snadno aplikovatelné. Zároveň zajišťují uspokojivé výsledky a zahrnují i poměrně velké množství variant použitelných omezujících podmínek.

Pro vytvoření reálného modelu rozvrhování okružních jízd byla z výpočetních metod, charakterizovaných v této kapitole, zvolena metoda Clarka a Wrighta. Použití právě této výpočetní metody je dáno především tím, že se jedná se o heuristický algoritmus, jehož největší předností, oproti exaktním algoritmům, je rychlost a relativní nenáročnost na zpracování. Lze použít více než jednu omezující podmínku a při změně vozového parku z homogenního na heterogenní lze algoritmus této změně snadno přizpůsobit.

2 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU

V této kapitole bude věnována pozornost organizaci okružních jízd, která je spojená především s uspokojováním požadavků zákazníků na dodávky/svoz zboží. Jelikož není obchodní společnost, pro kterou se racionalizace rozvážkové systému provádí, vybavena žádným plánovacím a optimalizačním softwarem, bude též analyzován současný proces tvorby jízdních okruhů, vytěžování vozidel a snaha o zefektivnění celého systému.

V podstatě lze říci, že veškerá plánování a rozvrhování všech požadavků zákazníků, jsou zpracovávána pouze na základě úvahy zaměstnanců, kteří nesou odpovědnost za svěřené atrakční obvody jednotlivých středisek. Při analyzování současného stavu tedy vyvstává otázka nalezení nejslabšího místa, které tkví především v absenci systému, který by svou jednoznačností umožňoval efektivní plánování a rozvrhování okružních jízd. O současném stavu tedy lze říci, že je nevyhovující a vyvstává zde potřeba na jeho změnu a doplnění. Problémy, které mohou vznikat při nesystematickém plánování, mohou způsobovat jak přetěžování vozidel z hlediska množství zboží, tak přetěžování zaměstnanců z hlediska neúměrné délky pracovní doby. Tato situace platí i obráceně, kdy naopak mohou být vozidla nevytížená a zaměstnanci nevyužívají plně a efektivně svou pracovní dobu. Kombinace těchto dvou stavů pak vytváří nevyvážené prostředí, jehož efektivita závisí pouze na způsobilosti a úvaze zaměstnanců. Takto nastavený režim není možné efektivně kontrolovat a nelze tak předcházet neefektivnímu plýtvání se zdroji nebo s jejich přetěžováním.

Tato kapitola se tedy věnuje podrobné analýze současného stavu rozvrhování jízd vybrané společnosti, jejíž výstupy budou použity pro aplikaci heuristického algoritmu Clarka a Wrighta, s jehož pomocí bude demonstrován jeden z možných systematických postupů, jak docílit racionálního plánování a rozvrhování okružních jízd ve vybrané společnosti.

Důležitou úpravou při sestavování modelu okružních jízd je zjednodušení, které spočívá v použití modelu náhradní dopravní sítě, která z původní dopravní sítě vychází. Jelikož se tato práce zabývá vytvářením rozvozního modelu na dopravní síti České republiky, která obsahuje více než 20 000 uzlů[18], je počet uzlů distribučního systému náhradní sítě řádově menší a tedy výhodnější pro zpracování. Jako uzly náhradní dopravní sítě jsou tedy vybrány ty uzly, které reprezentují objekty zvoleného distribučního systému, tedy střediska a zákazníky vybrané společnosti. Úseky náhradní dopravní sítě potom budou tvořit všechny

[18] Jedná se o počet uzlů silniční sítě, kde nejsou započítány ulice měst a obcí. Počet uzlů je uveden podle zdroje (5).

dvojice uzlů náhradní dopravní sítě s příslušným ohodnocením hran. Podrobněji je rozvedeno generování úseků náhradní dopravní sítě v kapitole 2.7 Distanční matice.

Základní informace o společnosti

Společnost je interně rozdělena na 2 divize. Divize 1 se zabývá dodávkami spotřebního materiálu a instalací zařízení sanitárního charakteru, mezi které patří různé dávkovače papírových ručníků, tekutých mýdel a s tím souvisejících náplní. Divize 2 se potom zabývá poskytováním servisu pracovních oděvů, který spočívá v dodávání čistých oděvů výměnou za použité (svozu použitých) a jejich čištění a údržbu pro následné zpětné dodání a používání. Tato charakteristika je důležitá z toho důvodu, že byť je ve společnosti zřízeno toto interní dělení na dvě divize, je možné obsluhovat jedním vozidlem zákazníky jak z divize 1, tak z divize 2. Někteří zákazníci však vyžadují speciální péči a lze je pak obsluhovat pouze vozidlem se speciální úpravou. Bližší charakteristika používaných vozidel je uvedena dále v kapitole 2.3 Používaná vozidla.

Množina zákazníků, vyžadujících obsluhu vozidlem se speciální úpravou, není příliš rozsáhlá, proto bude modelová úloha zpracována právě na výběru z této množiny dodacích míst. Zároveň je tato množina referenčním vzorkem, který dopovídá charakteru obsluhy také u ostatních zákazníků společnosti.

2.1 Podklady pro tvorbu okružních jízd

V současné době se pro lepší orientaci, hodnocení efektivity a nákladovosti ve společnosti, používá systém sledování GPS s možností sledování vozidel v reálném čase. Záznamy získané z tohoto systému napomáhají k získávání přehledů a statistik, které obsahují například:

- přesné polohy vozidel,
- knihu jízd a historii jízd,
- využití pracovní doby,
- spotřebu pohonných hmot (dále jen PHM),
- náklady na provoz,
- statistiky využití vozidel,
- statistiky využití řidičů.

Data získaná z tohoto systému byla použita jako pomůcka pro analyzování současného stavu okružních jízd, spolu s přístupem do informačního systému společnosti, odkud lze

získávat data o dodávkách, a to především: objem dodávek/svozů (počet kusů), struktura dodávek/svozů (druh zboží) a časová náročnost obsluhy.

2.2 Střediska a jejich atrakční obvody

Geografická poloha středisek, ilustrovaná na Obrázku 3, je velice důležitým aspektem při tvorbě okružních jízd a následné obsluze zákazníků. Současná poloha jednotlivých středisek s jejich atrakčními obvody, vychází z historického konceptu, kdy hustota dodávek byla nejvyšší v jejich blízkém okolí (v okruhu do 90 km). V současné době není vyloučeno, že jejich poloha nemusí být optimální a může být předmětem lokační analýzy, která je nad rámec této práce.

Pro obsluhu zákazníků je v rámci celé společnosti využíváno celkem 5 středisek, která jsou umístěna v Praze, Brně, Dvoře Králové nad Labem, Karlových Varech a Vítkově u Opavy. Důležitým faktem je, že všechna střediska jsou společná pro obě divize, kde divize 1 využívá pro obsluhu zákazníků všechna střediska a divize 2 pouze dvě z nich, a to konkrétně středisko v Praze a Brně.

Obrázek 3: Geografická poloha středisek

Zdroj: Autor na podkladu Google Maps

Ke každému středisku jsou přiděleny atrakční obvody, kterým dále přísluší stanovený počet servisních vozidel a okružních jízd. Jednotlivé atrakční obvody se skládají z oblastí, které jsou tvořeny oblastmi PSČ[19]. Každému středisku tedy přísluší určitá množina oblastí

[19] PSČ – poštovní směrovací číslo

PSČ, která vymezuje jejich geografickou působnost. Přidělování zákazníků do atrakčních obvodů je tedy dáno oblastí PSČ ve které se zákazník nachází.

Dalším důležitým kritériem je, že většina zákazníků divize 2 vyžaduje pro obsluhu speciální certifikaci HACCP[20], pro kterou jsou přizpůsobena pouze 2 vozidla, která jsou k dispozici v počtu jednoho vozidla na středisko v Praze a jednoho vozidla na středisko v Brně. Toto omezení je jedním z důvodů, kvůli kterým jsou atrakční obvody pro obě divize různé.

V Příloze A této práce jsou potom uvedeny mapy, které zobrazují obě divize spolu s geografickým umístěním středisek. Dále jsou v této příloze vyznačeny atrakční obvody středisek jednotlivých divizí a hustota dodávek/svozů obsluhovaných míst.

2.3 Používaná vozidla

Pro obsluhu zákazníků, je ve společnosti používáno celkem 29 vozidel. Z hlediska flexibility, rozumné pořizovací ceny, přiměřené výši provozních nákladů a dalších aspektů, jsou používána vozidla dodávkového typu s maximální celkovou hmotností do 3,5 t. Pro dodávky zboží, které vyžadují speciální úpravy nákladového prostoru, jsou výše uvedená vozidla upravena dle následujících specifikací:

specifikace č. 1: běžná sériová dodávka typu furgon (26 vozidel), užitečná hmotnost 1 530 kg,

specifikace č. 2: podvozek + skříňová nástavba + zadní zvedací čelo (1 vozidlo), užitečná hmotnost 1 146 kg,

specifikace č. 3: podvozek + skříňová nástavba + zadní zvedací čelo + parametry pro HACCP (2 vozidla), užitečná hmotnost 1 146 kg.

Vozidla specifikace č. 2 a č. 3 mají skříňovou nástavbu a zadní zvedací čelo z důvodu pohodlnější a rychlejší manipulace se zbožím, neboť se používají převážně pro obsluhu zákazníků druhé divize, kde se jako přepravní prostředky používají mobilní palety[21].

2.4 Struktura produktů v souvislosti s dodávkami a svozem

Při dodávkách a svozu produktů, jsou dle typu produktu, stanoveny průměrné časy manipulace (empirická data), vyjadřující dobu, kterou zaměstnanec stráví na místě obsluhy

[20] HACCP (z angl. Hazard Analysis and Critical Control Points) – analýza nebezpečí a kritické kontrolní body dle Věstníku Ministerstva zemědělství ČR č. 2/2010.

[21] Používané mobilní palety mají rozměry 715×815×1530 mm (š×h×v).

(u zákazníka). Průměrný čas na manipulaci je stanoven vždy na jednotku každého produktu. V Tabulce 1 jsou pro ilustraci uvedeny jednotkové manipulační časy základních produktů a parametr: „Zábor místa na vozidle“, udávající počet jednotek (místo), které daný produkt na vozidle zabere. Tento parametr je stanoven na základně referenčního produktu, kterým je pracovní oděv, který lze naložit na vozidla specifikace č. 1 v počtu 2 000 ks a na vozidla specifikace č. 2 a č. 3 v počtu 2 500 ks. Základní kapacita vozidel je tedy stanovena na 2 000 jednotek pro vozidlo specifikace č. 1 a 2 500 jednotek pro vozidlo specifikace č. 2 a č. 3. Výpočet záboru místa na vozidle je potom dán vztahem (2).

$$Z = \frac{K_r}{maxK_{pr}} \tag{2}$$

kde:

Z ..... zábor místa na vozidle [jednotky],

K_r ..... základní kapacita vozidla r [ks],

$maxK_{pr}$..... maximální ložené množství produktu p na vozidle r[ks].

Podle údajů v Tabulce 1 je tedy možné stanovit a kontrolovat, jakým způsobem je dané vozidlo vytížené a zda nedošlo k překročení maximální kapacity i v případě, že se kombinují dodávky různých produktů. Zároveň lze kontrolovat manipulační časy na jednotlivých místech obsluhy. Speciálním manipulačním časem pak je *Fixní přirážka ke každému dodacímu místu*, která (nezávisle na objemu dodávky) přidává 3 minuty jako fixní čas za zastavení u zákazníka.

Tabulka 1: Časová a prostorová náročnost na svoz/dodávku produktů

Produkt/služba	Manipulační čas na jednotku [min]	Zábor místa na vozidle (vozidla specifikace č. 2 a č. 3) [jednotky]	Zábor místa na vozidle (vozidlo specifikace č. 1) [jednotky]
Fixní přirážka ke každému dodacímu místu (za zastavení)	3	-	-
Ručníková role (výměna 1:1)	0,25	2,31	2,78
Osvěžovač vzduchu (servis)	2	0,25	0,20
Čistící zóna (výměna 1:1)	2	7,14	5,71
Lady box (výměna 1:1)	2	7,94	11,90
Pracovní oděv – volný (výměna 1:1)	0,25	1,00	1,00
Pracovní oděv – vkládaný (výměna 1:1)	0,25	1,00	1,00
Dodávka spotřebního materiálu (za celou dodávku)	15	Dle skladby dodávky	Dle skladby dodávky

Zdroj: Autor

V této práci budou, pro stanovení požadavků zákazníků a kontrolu splnění kapacitní podmínky, dále používány pouze jednotky, které udávají zábor místa na vozidle.

Pro výpočet manipulačního času na jedno dodací místo se vychází z údajů v Tabulce 1, která uvádí „Manipulační čas na jednotku“ a dále podle požadavků zákazníka na množství zboží pro dodávku/svoz. Následně je celkový čas obsluhy vypočten dosazením hodnot do vztahu (3).

$$T_{mo} = \left(t_{p_1} * q_{p_1 o} + \cdots + t_{p_n} * q_{p_n o}\right) + t_{fix} \quad (3)$$

kde:

T_{mo} ..... celkový manipulační čas m na zákazníka o [min],

t_{p_n} ..... manipulační čas na jednotku n-tého produktu p [min],

$q_{p_n o}$ ..... množství n-tého produktu p pro zákazníka o [ks],

t_{fix} ..... fixní přirážka k dodacímu místu [min].

Celkový manipulační čas jednoho místa obsluhy se tedy skládá z jednotkových časů jednotlivých produktů, které jsou násobeny jejich počtem. Tyto násobky jsou po té sečteny a k tomuto součtu je následně přičtena ještě fixní přirážka za zastavení, která ke každému místu obsluhy náleží právě jednou. Takto vypočtený čas uvádí dobu, kterou zaměstnanec stráví obsluhou příslušného dodacího místa.

2.5 Statistické údaje

Pro představení současné situace z širšího pohledu, zde budou uvedena základní statistická data o společnosti, struktuře zákazníků, specifikaci dodacích/svozových míst a jejich vztahu k okružním jízdám. Následně bude charakterizována množina obsluhovaných míst, která byla zvolena pro vytvoření modelové úlohy.

Souhrnné údaje za společnost

Jelikož se počty zákazníků během času mění, nelze stanovit jejich pevný počet. Proto jsou souhrny zákazníků vytvářeny pravidelně za každý kalendářní měsíc. Poslední známý údaj je datován k 31. prosinci 2012 a je roven počtu 5 051 zákazníků. Významným faktorem, který ovlivňuje celkový počet uskutečněných dodávek za stanovené období, je frekvence obsluhy jednotlivých dodacích míst. Frekvence obsluhy může být stanovena v rozsahu jedenkrát týdně, jedenkrát za dva týdny nebo jedenkrát za čtyři týdny. Čtyři týdny, které pak takto následují za sebou, jsou označovány jako servisní cyklus, neboť se pravidelně opakují. Sjednaná frekvence obsluhy závisí vždy na individuální dohodě se zákazníkem a neexistuje na její stanovení žádné závazné pravidlo.

Z výše uvedeného počtu 5 051 zákazníků, je obsluhováno 999 jedenkrát týdně (20 %), 1 259 jedenkrát za dva týdny (25 %) a 2793 jedenkrát za čtyři týdny (55 %). Tabulka 2 pak uvádí přehled dodávek, které jsou uskutečněny v rámci jednoho servisního cyklu, tedy v rámci čtyřech po sobě jdoucích týdnů.

Tabulka 2: Počet dodávek/svozů v rámci jednoho servisního cyklu

Frekvence obsluhy	Počet zákazníků	Počet návštěv 1 zákazníka v rámci servisního cyklu	Celkový počet dodávek/svozů v rámci servisního cyklu
1 x za 1 týden	999	4	3996
1 x za 2 týdny	1259	2	2518
1 x za 4 týdny	2793	1	2793
Celkem	**5051**		**9307**

Zdroj: Autor

Z údajů uvedených v Tabulce 2 vyplývá, že změny ve struktuře zákazníků a v jejich požadavcích na obsluhu, mohou v poměrně vysoké míře ovlivňovat sestavování okružních jízd, neboť výpadkem jednoho zákazníka, např. s obsluhou jedenkrát za týden, vypadne požadavek na 4 dodávky/svozy v jednom servisním cyklu.

Specifické údaje pro modelovou úlohu

Podle dříve uvedeného, bude modelová úloha vytvořena na množině zákazníků, kteří patří do divize 2. Všechna dodací místa, která patří do této množiny, jsou obsluhována pravidelně jedenkrát za týden. Také vzhledem k tomu, že patří do divize 2, budou v rámci obsluhy dodávány/sváženy produkty z oblasti pracovních oděvů, jejichž bližší specifikace (manipulační čas a zábor místa na vozidle) byla uvedena v kapitole 2.4.

Vybrané vozidlo, pro které bude modelová úloha zpracována, je vozidlo specifikace č. 3. Toto vozidlo má přidělené 4 okružní jízdy, kde každá okružní jízda odpovídá jednomu pracovnímu dni. Pracovní doba pro zaměstnance je stanovena na 40 hodin týdně (8 hodin denně) a to od pondělí do pátku.

Pro specifikaci jednotlivých okružních jízd jsou použity údaje: **Celkový čas obsluhy** (celkový manipulační čas), který je stanoven podle manipulačních časů za použití Tabulky 1 a vztahu (3) a množství dodávek, které jsou smluvně sjednané se zákazníky. Dále **doba a délka samotné jízdy**, které byly stanoveny pomocí plánovače tras na Google Maps, kde pořadí obsluhy zákazníků odpovídá stanoveným okružním jízdám. Následně **celková doba trvání okružní jízdy**, která je součtem celkového času jízdy a celkového času obsluhy. Jako poslední údaj je uveden příslušný **den a počet dodávek/svozů**, tedy počet obsloužených

zákazníků na trase. Tato specifikace okružních jízd pro dané vozidlo je shrnuta dále v Tabulce 3.

Tabulka 3: Okružní jízdy

Číslo okružní jízdy	Den obsluhy	Počet dodávek/svozů	Celkový čas obsluhy [min]	Délka jízdy [km]	Doba jízdy [min]	Celková doba trvání okružní jízdy [min]
1	Pondělí	11	105	470	365	470
2	Úterý	13	135	358	362	497
3	Středa	14	169	454	406	575
4	Čtvrtek	10	177	462	416	593
5	Pátek	0	0	0	0	0
Celkem		**48**	**586**	**1744**	**1549**	**2135**

Zdroj: Autor

Důležité ukazatele pro vyhodnocení nastavených okružních jízd vybraného vozidla tedy jsou: celkový počet dodávek/svozů (48), celkem ujetá vzdálenost (1744 km) a celková doba trvání okružních jízd (2135 min, tj. 35,6 h). Volba těchto ukazatelů je dána tím, že pro zvýšení efektivity je třeba maximalizovat pracovní výkon, čehož lze dosáhnou co nejvyšším počtem obsloužených zákazníků za co nejkratší dobu a při ujetí co nejkratší vzdálenosti. Geografické znázornění jednotlivých okružních jízd je uvedeno v Příloze B této práce.

Vybraná okružní jízda pro modelovou úlohu

Pro řešení modelové úlohy byla vybrána okružní jízda č. 4, protože v porovnání s ostatními okružními jízdami, vykazuje nevyšší celkovou dobu trvání a zároveň nejnižší počet obsloužených zákazníků. Tabulka 4 potom uvádí podrobné údaje o této okružní jízdě.

Tabulka 4: Struktura a parametry okružní jízdy č. 4

Označení zákazník/středisko	Uzel	Místo dodání/svozu	Požadavek na dodávku/svoz [jednotky]	Manipulační čas [min]
0 – středisko	V_0	Do Čertous 2627/9, 19300 Praha 9	0	0
1 – zákazník	V_1	Rokelská 270, 43201 Kadaň	32	11
2 – zákazník	V_2	5. května 2645, 44001 Louny	32	11
3 – zákazník	V_3	České Mládeže 594/33, 46006 Liberec	40	13
4 – zákazník	V_4	Jablonné v Podještědí 261, 47125 Jablonné v	76	22
5 – zákazník	V_5	Pod Vinicí, 47127 Stráž pod Ralskem	96	27
6 – zákazník	V_6	Spořická 4344, 43001Chomutov	52	16
7 – zákazník	V_7	Dubská 3106, 45001 Teplice	40	13
8 – zákazník	V_8	Lipová, 40801 Rumburk	144	39
9 – zákazník	V_9	Zelená 409/14, 40502 Děčín	36	12
10 – zákazník	V_{10}	Masarykova 1028/238, 40001 Ústí nad Labem	40	13

Zdroj: Autor

Údaje v Tabulce 4 jsou strukturovány tak, aby bylo možné aplikovat zvolenou výpočetní metodu spolu se stanovenými omezujícími podmínkami. Obsahem analýzy je adresní seznam zákazníků s příslušným označením uzlu na dopravní síti, dále jsou zde uvedeny požadavky na dodávku/svoz zboží a manipulační čas, který je stanoven podle jednotkových časů z Tabulky 1 a vztahu (3).

2.6 Specifické omezující podmínky

Tato kapitola obsahuje charakteristiku specifických omezujících podmínek, které je třeba při tvorbě okružních jízd respektovat. Omezující podmínky budou následně použity pro sestavení matematického modelu. Při řešení této úlohy je uvažováno hlavně s podmínkou nepřekročení maximální kapacity použitého vozidla a podmínkou nepřekročení maximální doby trvání okružní jízdy. Následně pak platí veškeré podmínky, které vyplývají z principu Clark-Wrightovy metody.

Specifické omezující podmínky pro modelovou úlohu tedy závisí na:

- specifikaci použitého vozidla,
- omezení vozového parku,
- respektování pracovní doby zaměstnanců,
- omezené kapacitě vozidel.

Význam **specifikace použitého vozidla** spočívá v tom, že vozidla specifikace č. 1 lze substituovat vozidly specifikace č. 2 a č. 3. Dále vozidlo specifikace č. 2 lze substituovat vozidlem specifikace č. 3. Nakonec vozidlo specifikace č. 3 substituovat nelze. Existují ovšem i výjimky z výše uvedeného, které se používají pouze ve výjimečných situacích a do běžného plánování nevstupují a nijak ho neovlivňují.

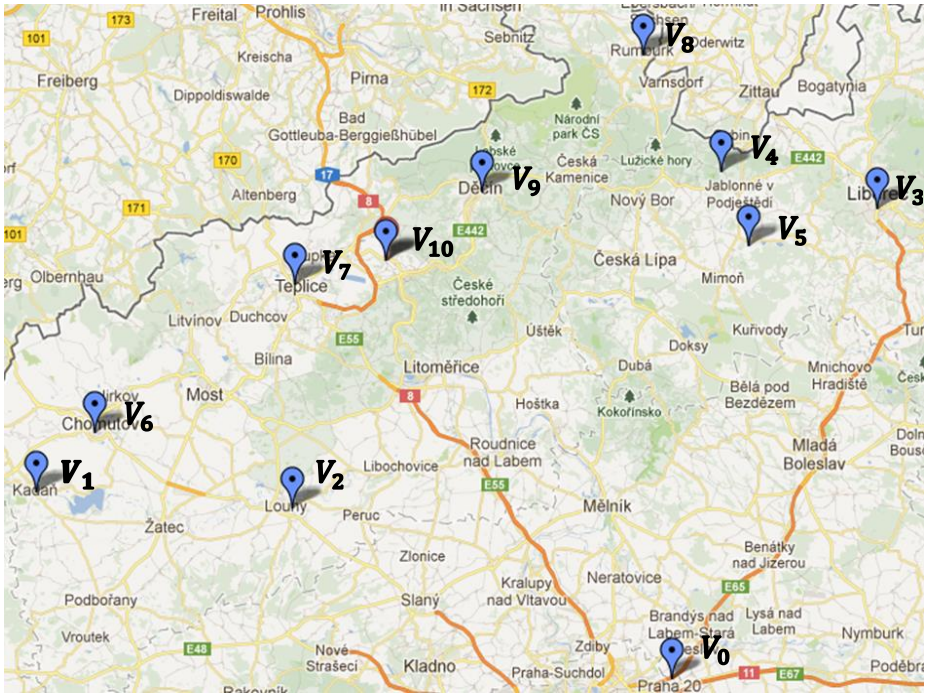
V modelové úloze je tedy použito vozidlo specifikace č. 3, které je k dispozici pro středisko v Praze v počtu jednoho vozidla. Tímto je zároveň dáno **omezení vozového parku**, které umožňuje použití pouze jednoho vozidla s výše uvedenou specifikací. Dále se jedná o **respektování pracovní doby zaměstnanců**, která vychází z pracovního fondu 40 hodin týdně, tedy 8 hodin na každý pracovní den. V této souvislosti je třeba brát v úvahu, že v případě obsluhy zákazníků s týdenní frekvencí, je možné plánovat maximálně 5 okruhů na týden, protože 1 okruh odpovídá jednomu pracovnímu dni. Proto také délka trvání jedné okružní jízdy je shora omezena na 8 hodin. Poslední podmínkou je **omezená kapacita vozidla**, která v tomto případě odpovídá kapacitě vozidla se specifikací č. 3 a je tedy shora omezena na 2500 jednotek.

2.7 Distanční matice

Další součástí analýzy je vytvoření distanční matice (dále jen OD matice[22]). Jedná se o definování vzdáleností mezi všemi dvojicemi uzlů náhradní dopravní sítě, která je tvořena místy obsluhy a střediskem podle Tabulky 4. Následně je na stejných podkladech vytvořena i matice časových dostupností, udávající čas, který je potřeba na ujetí vzdálenosti (stanovena maticí vzdáleností) mezi všemi dvojicemi uzlů náhradní dopravní sítě.

Pro generování matice vzdáleností a matice časových dostupností bylo použito nástroje: „The Google Distance matrix API“, s nastavením výpočtu optimalizace trasy pro motorová vozidla s celkovou hmotností do 3,5 t. Pro generování výše uvedených matic bylo použito rychlostních indexů silniční sítě Google Maps, které jsou neveřejné a není možné je žádným způsobem ovlivnit nebo zjistit.

Geografická poloha obsluhovaných míst se střediskem je uvedena na Obrázku 4. Jednotlivá místa obsluhy jsou potom označena popiskem uzlu, odpovídajícímu označení, které je uvedeno v Tabulce 4.



Obrázek 4: Geografická poloha uzlů dopravní sítě

Zdroj: Autor na podkladu Google Maps

Použitím nástroje The Google Distance Matrix došlo k vygenerování podkladů pro vytvoření OD matic jak pro vzdálenosti, tak pro jízdní doby. Prvotním výstupem byly nesymetrické OD matice. Vzhledem k tomu, že průměrná hodnota rozdílu vzdáleností ve

[22] OD matice – (z angl. Origin-Destination) matice vzdáleností mezi všemi dvojicemi uzlů grafu dopravní sítě, tedy od počátku do cíle.

směru z i do j a z j do i činí 1,086 % a průměrná hodnota rozdílu jízdních dob činí 0,7 %, lze tyto rozdíly pokládat za zanedbatelné a nesymetrické matice tak převést na symetrické. Převod na symetrické matice byl proveden aritmetickým průměrem vzdáleností a jízdních dob ze směru z i do j a z j do i.

Výstup z nástroje The Google Distance Matrix je uveden v Příloze C této práce, spolu s uvedením prvotních nesymetrických matic. Výsledné symetrické OD matice, jsou uvedeny dále v Tabulce 5 a Tabulce 6.

Tabulka 5: OD matice vzdáleností v km

km	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0,0	128,0	81,1	88,2	119,5	92,5	115,0	92,6	146,5	114,0	92,3
1	128,0	0,0	50,6	213,5	153,0	150,5	20,9	67,0	150,5	109,5	90,1
2	81,1	50,6	0,0	166,5	107,5	101,0	38,1	40,1	116,0	75,8	63,2
3	88,2	213,5	166,5	0,0	32,0	38,7	201,0	148,5	59,2	73,4	99,8
4	119,5	153,0	107,5	32,0	0,0	15,8	135,5	86,6	27,6	46,1	72,4
5	92,5	150,5	101,0	38,7	15,8	0,0	131,5	93,3	42,9	57,2	74,4
6	115,0	20,9	38,1	201,0	135,5	131,5	0,0	49,1	132,5	91,5	72,2
7	92,6	67,0	40,1	148,5	86,6	93,3	49,1	0,0	84,1	42,8	16,8
8	146,5	150,5	116,0	59,2	27,6	42,9	132,5	84,1	0,0	43,5	69,9
9	114,0	109,5	75,8	73,4	46,1	57,2	91,5	42,8	43,5	0,0	28,6
10	92,3	90,1	63,2	99,8	72,4	74,4	72,2	16,8	69,9	28,6	0,0

Zdroj: Autor

Údaje o vzdálenostech v Tabulce 5 jsou uvedeny v kilometrech a zaokrouhleny na jedno desetinné místo. Údaje o časových dostupnostech v Tabulce 6 jsou potom zaokrouhleny na celé minuty.

Tabulka 6: OD matice časových dostupností v minutách

min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	102	64	49	73	68	89	65	101	85	67
1	102	0	44	147	144	144	22	60	143	98	77
2	64	44	0	108	116	110	31	43	124	81	60
3	49	147	108	0	28	37	133	108	56	69	95
4	73	144	116	28	0	21	127	91	32	52	78
5	68	144	110	37	21	0	126	100	49	63	85
6	89	22	31	133	127	126	0	43	126	81	60
7	65	60	43	108	91	100	43	0	90	45	22
8	101	143	124	56	32	49	126	90	0	51	77
9	85	98	81	69	52	63	81	45	51	0	31
10	67	77	60	95	78	85	60	22	77	31	0

Zdroj: Autor

Uvedené OD matice tedy obsahují informace o vzdálenostech mezi jednotlivými dvojicemi uzlů a jejich časové dostupnosti. Popisky řádků a sloupců obsahují indexy jednotlivých uzlů podle definice z Tabulky 4.

OD matice vzdáleností slouží jako podklad pro výpočet výhodnostních koeficientů pro řešení modelové úlohy a údaje z OD matice časových dostupností jsou potom určeny pro kontrolu splnění omezující podmínky na maximální dobu trvání okružních jízd.

2.8 Podrobná analýza vybrané okružní jízdy

Před samotnou optimalizací vybrané okružní jízdy je třeba provést podrobnější analýzu tak, aby bylo možné porovnat výsledky dosažené výpočtem se současným stavem. Současné nastavení vybrané okružní jízdy je podrobně rozvedeno v Tabulce 7.

Tabulka 7: Současný návrh okružní jízdy

Místo obsluhy	Požadavek dodávka/svoz (jednotek)	Čas obsluhy (min)	Předchůdce	Vzdálenost od předchůdce (km)	Doba jízdy od předchůdce (min)
0 - středisko	-	-	-	-	-
2 - Louny	32	11	0 - středisko	81,1	64
1 - Kadaň	32	11	2 - Louny	50,6	44
6 - Chomutov	52	16	1 - Kadaň	20,9	22
7 - Teplice	40	13	6 - Chomutov	49,1	43
10 - Ústí nad Labem	40	13	7 - Teplice	16,8	22
9 - Děčín	36	12	10 - Ústí nad Labem	28,6	31
8 - Lipová	144	39	9 - Děčín	43,5	51
4 - Jablonné v Podještědí	76	22	8 - Lipová	27,6	32
5 - Stráž pod Ralskem	96	27	4 - Jablonné v Podještědí	15,8	21
3 - Liberec	40	13	5 - Stráž pod Ralskem	38,7	37
0 - středisko	-	0	3 - Liberec	88,2	49
Dílčí součty	**588**	**177**		**460,9**	**416**
Celková doba trvání okružní jízdy [min]	**593**				

Zdroj: Autor

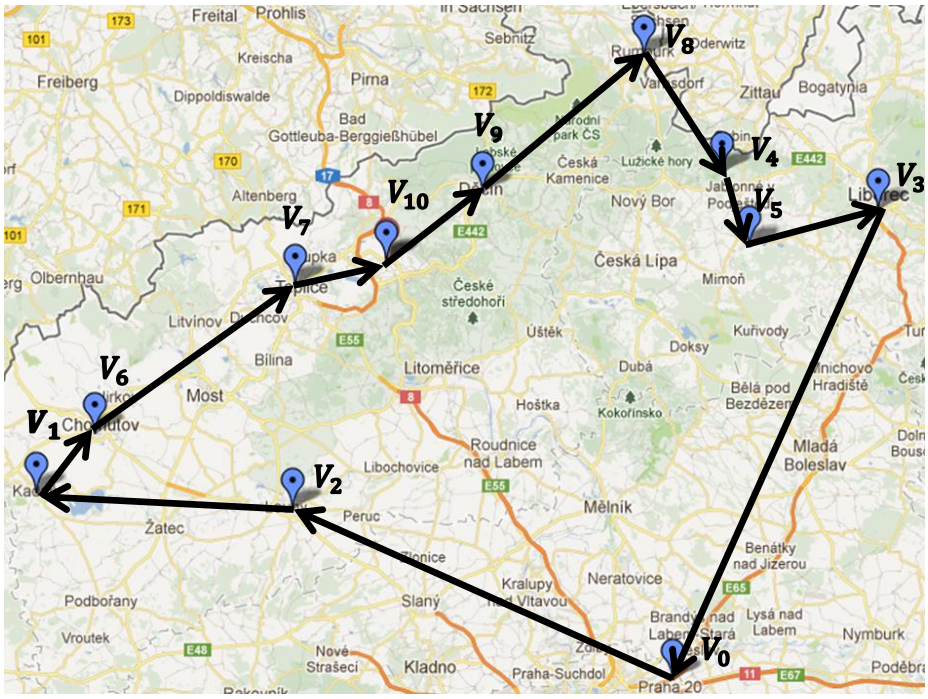
V uvedené tabulce lze nalézt obsluhované zákazníky (celkem 10) a pořadí, ve kterém probíhá jejich obsluha. Pořadí obsluhy je řazeno shora dolů, kde sloupce Místo obsluhy a Předchůdce tvoří dvojici uzlů, kde Předchůdce je uzel výchozí a Místo obsluhy uzel cílový. Dále je v tabulce uveden sloupec s požadavky zákazníků na dodávku/svoz zboží (celkem 588 jednotek) a s tím související čas obsluhy (celkem 177 min), které jsou převzaty z Tabulky 4.

Prvním parametrem z tabulky, který je třeba pro vyhodnocení celé okružní jízdy, je dílčí součet vzdáleností, který udává celkovou délku okružní jízdy (460,9 km). Druhým

parametrem je potom celková doba trvání okružní jízdy (593 min), která je sumou celkového času obsluhy a celkové doby jízdy.

Z uvedeného vyplývá, že celková doba trvání okružní jízdy v délce 593 min (9 h 53 min) nevyhovuje stanovené omezující podmínce na celkovou dobu trvání okružní jízdy, která je shora omezená na 8 hodin. Z této analýzy tedy plyne, že ve vztahu ke stanoveným omezujícím podmínkám, se jedná o nepřípustné řešení. Vzniká tedy předpoklad, že stávající okružní jízda musí být rozdělena nejméně na dvě nové okružní jízdy.

Dalším důležitým výstupem z této analýzy je celkové množství požadavků zákazníků na dodávku/svoz ve výši 588 jednotek. Srovnáním těchto celkových požadavků s maximální kapacitou vozidla, která je rovna 2500 jednotek, lze dojít k závěru, že jakoukoliv změnou v pořadí zákazníků, nebo rozdělením na více okruhů, nebude kapacita vozidla překročena. Omezující kapacitní podmínku lze tedy pro další řešení předem pokládat za splněnou.



Obrázek 5: Schématické znázornění současného návrhu okružní jízdy

Zdroj: Autor na podkladu Google Maps

Posledním výstupem z analýzy, je schématické znázornění současného návrhu okružní jízdy, které je ilustrováno na Obrázku 5, kde směr jízdy je naznačen šipkami. Výchozím a koncovým místem je středisko v uzlu V_0.

3 SESTAVENÍ OKRUŽNÍCH JÍZD

V této kapitole budou sestaveny okružní jízdy pomocí metody Clarka a Wrighta s kapacitní podmínkou a podmínkou maximální doby trvání. Zároveň zde bude zde uveden matematický model a vlastní řešení úlohy.

3.1 Matematický model úlohy

Matematický model úlohy obsahuje slovní formulaci úlohy spolu se samotným modelem úlohy. Pro sestavení matematického modelu a slovní formulace úlohy bylo použito těchto informačních zdrojů: (1), (3), (5) a (7).

3.1.1 Slovní formulace

K dispozici je popis náhradní dopravní sítě s maticí vzdáleností $\{d_{ij}\}$ mezi jednotlivými objekty sítě $J' = J \cup \{s\}$, kde J je množina zákazníků s aktuálními denními požadavky b_j a kde s je umístění střediska v uzlu V_0 z něhož mají být zákazníci obsluhováni okružními jízdami vozidel.

Je tedy dána množina zákazníků J, kde každý zákazník $j \in J$ požaduje dodávku/svoz b_j jednotek zboží ze střediska s. K dispozici je množina vozidel R, kde každé vozidlo $r \in R$ má kapacitu K_r a může být použito v daný den nejvýše jednou. V případě, že je vozidlo $r \in R$ použito, vyjíždí a vrací se do střediska s, přičemž doba trvání jízdy nesmí překročit dobu t_r. Pro každou dvojici zákazníků i, j z $J' = J \cup \{s\}$ je známa vzdálenost d_{ij} a kladná doba t_{ij} jízdy v níž je zahrnuta i doba na obsluhu zákazníka i.

Pro vozidla $r \in R$ je třeba navrhnou takovou soustav tras, aby jejich délka byla minimální, aby každý zákazník byl obsloužen jedinou návštěvou vozidla, aby kapacita žádného vozidla nebyla překročena a aby nebyla překročena maximální doba trvání okruhu.

3.1.2 Model úlohy

Tato část uvádí specifikaci matematické definice úlohy, která obsahuje minimalizační účelovou funkci s omezujícími podmínkami. Horní index r v tomto modelu úlohy představuje vozidlo $r \in R$, nikoli exponent.

$minimalizovat$:

$$\sum_{r\in R}\sum_{i\in J}\sum_{\substack{j\in J\\ j\neq i}} d_{ij}x_{ij}^{r} \tag{4}$$

$za\ podmínek$:

$$\sum_{r\in R}\sum_{\substack{i\in J\\ i\neq j}} x_{ij}^{r} = 1 \qquad pro\ j \in J \tag{5}$$

$$\sum_{i\in J} x_{ij}^{r} = \sum_{i\in J} x_{ji}^{r} \qquad pro\ r \in R, j \in J, i \neq j \tag{6}$$

$$\sum_{j\in J} x_{sj}^{r} = 1 \qquad pro\ r \in R \tag{7}$$

$$\sum_{j\in J} b_j \sum_{\substack{i\in J\\ i\neq j}} x_{ij}^{r} \leq K_r \qquad pro\ r \in R \tag{8}$$

$$\sum_{j\in J}\sum_{\substack{i\in J\\ i\neq j}} t_{ij}x_{ij} \leq t_r \qquad pro\ r \in R \tag{9}$$

$$\sum_{j\in S}\sum_{\substack{i\in S\\ i\neq j}} x_{ij}^{r} \leq |S| - 1 \qquad pro\ r \in R, S \subseteq J, |S| \geq 2 \tag{10}$$

$$x_{ij}^{r} \in \{0, 1\} \qquad pro\ r \in R, i \in J, j \in J, i \neq j \tag{11}$$

kde:

d_{ij} ..... vzdálenost mezi objekty na dopravní síti,

R ..... množina všech vozidel,

r ..... označuje jednotlivá vozidla z množiny vozidel R,

x_{ij}^{r} ..... proměnná určující, zda vozidlo r použije (1) nebo nepoužije (0) daný úsek,

b_j ..... aktuální požadavky zákazníků na den,

K_r ..... kapacita jednotlivých vozidel r,

$|S|$ ..... počet obsluhovaných zákazníků (vrcholů grafu) na trase,

t_r ..... maximální doba jízdy (trvání okruhu) vozidla r.

Komentář k uvedeným formulacím:

- účelová funkce (4) minimalizuje sumu všech použitých úseků vytvořených okružních jízd,
- podmínka (5) vytváří omezení, že každý zákazník smí být navštíven právě jednou,

- podmínka (6) zajišťuje, že vozidlo, které vjede do uzlu j z něho také musí vyjet,
- podmínka (7) říká, že každé vozidlo bude použitou pouze jednou,
- podmínka (8) zabezpečuje, že požadavky zákazníků nepřesáhnou kapacitu vozidla,
- podmínka (9) zabezpečuje, že nebude překročena maximální doby jízdy vozidla,
- podmínka (10) je tzv. anticyklící podmínka, která zajišťuje, že trasa bude tvořit jedinou kružnici, která bude procházet umístěním skladu,
- podmínka (11) určuje, zda vozidlo použilo, nebo nepoužilo daný úsek.

3.1.3 Konkretizace omezujících podmínek a dalších parametrů úlohy

Model, zvolený pro tuto úlohu, se bude zabývat obsluhou zákazníků z pražského střediska, kde je k dispozici 1 vozidlo specifikace č. 3 s kapacitou 2 500 jednotek. Jak již bylo také dříve uvedeno, jedna okružní jízda přísluší vždy jednomu pracovnímu dni o délce 8 hodin. Zákazníci modelové úlohy pak přísluší do divize 2, kde jsou zákazníci obsluhováni s frekvencí jedenkrát za týden, což odpovídá maximálnímu počtu pěti okruhů na vozidlo.

Vstupní hodnoty jsou stanoveny na základě předchozího textu. Zvolený model se tedy bude zabývat a bude propočítáván pro:

množinu vozidel $r \in R$ .....$\{1\}$ (vozidlo specifikace č. 3),

dobu trvání jízd t_r .....480 min (8 h),

kapacitu vozidla K_r .....2 500 jednotek,

maximální počet okruhů .....5.

3.2 Výhodnostní koeficienty

Výpočet výhodnostních koeficientů je klíčovou součástí algoritmu Clarka a Wrighta. Na základě právě těchto koeficientů jsou vybírány dvojice uzlů pro zařazení/nezařazení do příslušné okružní jízdy. Jelikož je zdrojem pro výpočet symetrická OD matice, bude také seznam výhodnostních koeficientů symetrickou maticí, která je pro přehlednost upravena do trojúhelníkového tvaru.

Matice výhodnostních koeficientů je vypočtena dle vztahu (1), který je uvedený v kapitole 1.3.1 v části Clark-Wrightova metoda. Jednotlivé vzdálenosti pro výpočet jsou potom převzaty z Tabulky 5, která je uvedena v kapitole 2.7 Distanční matice.

Ukázka výpočtu výhodnostních koeficientů modelové úlohy, pro koeficienty v_{21} a v_{82}, je uvedena v Tabulce 8.

Tabulka 8: Ukázka výpočtu výhodnostních koeficientů

v_{21}	v_{82}
$v_{21} = (d_{s2} + d_{s1} - d_{21})$ $= (81{,}1\ km + 128\ km - 50{,}6\ km)$ $= 158{,}5\ km$	$v_{82} = (d_{s8} + d_{s2} - d_{82})$ $= (146{,}5\ km + 81{,}1\ km - 116\ km)$ $= 111{,}6\ km$

Zdroj: Autor podle (6)

Výhodnostní koeficienty tedy vyjadřují úsporu, která vznikne sdružením dvou tras, tedy trasy ze střediska k i-tému zákazníkovi a zpět a trasy ze střediska k j-tému zákazníkovi a zpět. Sdružením vznikne trasa: středisko – i-tý zákazník – j-tý zákazník – středisko, s úsporou v_{ij}. Čím vyšší výhodnostní koeficient v_{ij} je, tím vyšší je úspora. Matice výhodnostních koeficientů, vypočtených podle výše uvedeného vztahu, je zobrazena dále v Tabulce 9, kde jsou zvýrazněny výhodnostní koeficienty v_{21} a v_{82}, které byly vypočteny jako ukázka v Tabulce 8.

Tabulka 9: Výhodnostní koeficienty

v_{ij}	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
1	0									
2	158,5	0								
3	2,7	2,8	0							
4	94,5	93,1	175,7	0						
5	70,0	72,6	142,0	196,3	0					
6	222,2	158,0	2,2	99,0	76,0	0				
7	153,7	133,6	32,3	125,5	91,8	158,5	0			
8	124,0	111,6	175,5	238,4	196,1	129,0	155,1	0		
9	132,5	119,3	128,8	187,5	149,3	137,6	163,9	217,0	0	
10	130,3	110,2	80,7	139,4	110,4	135,1	168,2	169,0	177,8	0

Zdroj: Autor

Podle postupu algoritmu Clarka a Wrighta se z této matice, pokud není prázdná, vybírá vždy maximální prvek, který představuje maximální úsporu. Výchozím maximálním prvkem uvedené matice tedy je koeficient $v_{84} = 238{,}4$.

3.3 Dosažené výsledky

Výpočet metodou Clarka a Wrighta byl proveden ručně za pomocí aplikace MS Excel. Pro samotný výpočet bylo použito základních vzorců a funkcí podmíněného formátování. Některé části algoritmu, např. vyhledávání maximálních hodnot výhodnostních koeficientů, bylo v MS Excelu automatizováno především proto, aby se předešlo možným chybám. Po

aplikaci Clark-Wrightovy metody, jejíž postup (jednotlivé iterace) je uveden v Příloze D této práce, byly dosaženy výsledky, jejichž shrnutí je uvedeno dále v Tabulce 10.

Tabulka 10: Výsledné okruhy po aplikaci metody Clarka a Wrighta

OKRUH 1					
Místo obsluhy	Požadavek dodávka/svoz (jednotky)	Doba obsluhy (min)	Předchůdce	Vzdálenost od předchůdce (km)	Doba jízdy od předchůdce (min)
0 - středisko	-	-	-	-	-
3 - Liberec	40	13	0 - středisko	88,2	49
5 - Stráž pod Ralskem	96	27	3 - Liberec	38,7	37
4 - Jablonné v Podještědí	76	22	5 - Stráž pod Ralskem	15,8	21
8 - Lipová	144	39	4 - Jablonné v Podještědí	27,6	32
9 - Děčín	36	12	8 - Lipová	43,5	51
10 - Ústí nad Labem	40	13	9 - Děčín	28,6	31
7 - Teplice	40	13	10 - Ústí nad Labem	16,8	22
0 - středisko	-	0	7 - Teplice	92,6	65
Σ okruh 1	**472**	**139**		**351,8**	**308**
Σ doby trvání okruhu 1	**447 minut**				
OKRUH 2					
Místo obsluhy	Požadavek dodávka/svoz (jednotky)	Doba obsluhy (min)	Předchůdce	Vzdálenost od předchůdce (km)	Doba jízdy od předchůdce (min)
0 - středisko	-	-	-	-	-
2 - Louny	32	11	0 - středisko	81,1	64
6 - Chomutov	52	16	2 - Louny	38,1	31
1 - Kadaň	32	11	6 - Chomutov	20,9	22
0 - středisko	-	0	1 - Kadaň	128,0	102
Σ okruh 2	**116**	**38**		**268,1**	**219**
Σ doby trvání okruhu 2	**257 minut**				
Celková doba trvání okruhů	**704 minut**				
Celková délka okruhů	**619,9 km**				

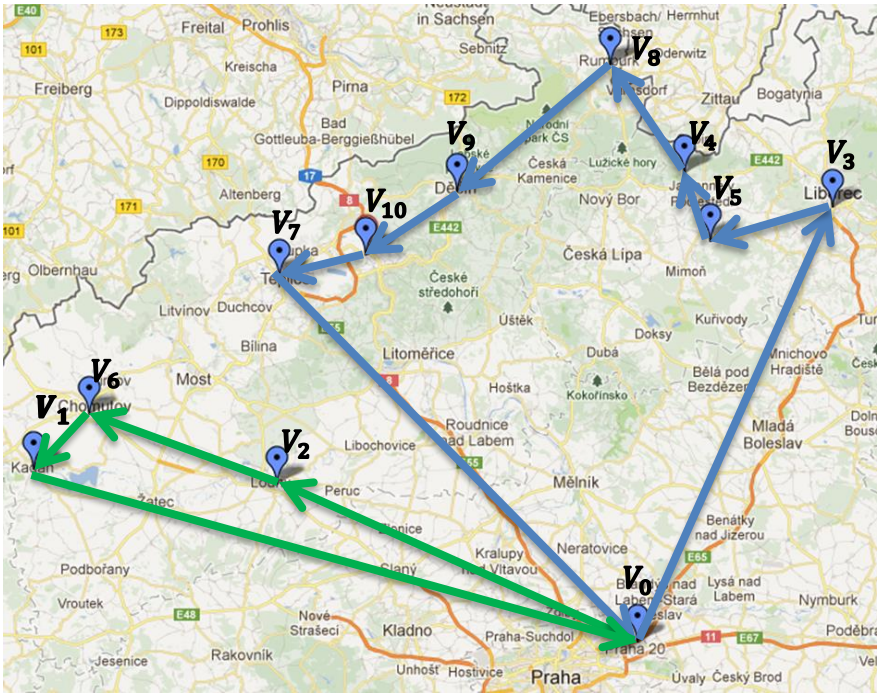
Zdroj: Autor

Výsledkem optimalizace je rozdělení původního okruhu na okruhy 2. První okruh zahrnuje obsluhu 7 zákazníků, dodávku/svoz 472 jednotek zboží, celkem ujetou vzdálenost 351,8 km a celkovou dobu trvání okružní jízdy 447 min (7 h 27 min).

Druhý okruh potom zahrnuje obsluhu 3 zákazníků, dodávku/svoz 116 jednotek zboží, celkem ujetou vzdálenost 268,1 km a celkovou dobu trvání okružní jízdy 257 min (4 h 17 min). Celkem je tedy, po provedení optimalizace, suma celkové doby trvání obou okruhů 704 min (11 h 44 min) a suma celkové ujeté vzdálenosti obou okruhů 619,9 km.

V rámci rekapitulace dosažených výsledků je třeba uvést, že původní okružní jízda zahrnuje obsluhu 11 zákazníků, dodávku/svoz 588 jednotek zboží, celkem ujetou vzdálenost 460,9 km a celkovou dobu trvání okružní jízdy 593 min (9 h 53 min).

Z výše uvedeného je tedy zřejmé, že nově vypočtené okruhy vykazují delší celkovou dobu trvání a delší ujetou vzdálenost. Je však důležité zdůraznit, že původní okružní jízda nesplňovala základní omezující podmínku, konkrétně podmínku maximální doby trvání, která byla překročeno o 1 hodinu a 53 minut a je tedy nepřípustným řešením.



Obrázek 6: Schématické znázornění vypočtených okruhů

Zdroj: Autor na podkladu Google Maps

Schematicky jsou nově vypočtené okruhy znázorněny na Obrázku 6, kde modře je vyznačen Okruh 1 a zeleně Okruh 2. Oba naznačené okruhy lze díky symetrii projet jak ve směru šipek, tak i proti jejich směru se shodným výsledkem.

4 ZHODNOCENÍ MODELU

Tato kapitola se zaměřuje na zhodnocení vypočteného modelu a jeho srovnání s původním stavem. Dále bude navrženo, jakým způsobem a za jakým podmínek změnit současný stav okružích jízd. Následně bude navržena možnost další aplikace na základě skutečností, které ze zhodnocení vyplynou.

Pro srovnání a zhodnocení obou verzí modelu, jak vypočtené tak současné verze, je třeba zrekapitulovat některé důležité hodnoty a parametry pro obě verze. Zároveň je třeba uvést údaje, které budou sloužit pro zhodnocení dosažených výsledků. Jedná se o tyto údaje:

- cena nafty 36,30 Kč/l – průměrná cena za období 30. 3. 2012 až 30. 3. 2013, podrobnosti jsou k dispozici v Příloze E této práce, (14)
- průměrná spotřeba vozidla 10,82 l/100 km – průměrná spotřeba nafty je převzata z Výkazu o provozu vozidla, které bylo použito v modelové úloze, Výkaz o provozu vozidla je k dispozici v Příloze F této práce,
- náklady na jeden km jízdy jsou vypočteny z průměrné ceny nafty a průměrné spotřeby použitého vozidla následovně: $10{,}82 \times 36{,}30 \,/\, 100 = 3{,}93$ Kč/km,
- náklady na zaměstnance 155 Kč/h btto, v případě práce přesčas náleží zaměstnanci příplatek o velikosti nejméně 25 %, celkem tedy jedna přesčasová hodina stojí nejméně 194 Kč btto. (15)

Pro celkové zhodnocení vypočteného modelu, budou výše uvedené údaje zpracovány podle podmínek vypočteného i původního modelu.

4.1 Srovnání vypočteného a současného modelu

Podle dosažených výsledků v kapitole 3.3, bude vyčíslen efekt vypočteného řešení a následně porovnán s původním řešením.

Nejprve bude uvedeno vyčíslení nákladů, které se vztahují k celkové době trvání okružních jízd. Zde jsou použity sazby za běžnou odpracovanou hodinu (155 Kč) a hodinu odpracovanou jako přesčas (194 Kč). Porovnání vypočtené varianty a původní varianty je uvedeno v Tabulce 11. Po té bude podle Tabulky 12 uvedeno vyčíslení nákladů, které se vztahují k celkové ujeté vzdálenosti. Pro výpočet těchto nákladů byla použita sazba na ujetý kilometr ve výši 3,93 Kč/km.

Tabulka 11: Vyčíslení nákladů vztažených k době trvání

Náklady vztažené k době trvání			
Původní okruh			
	Doba trvání	Hodinová sazba	Celkové náklady
Běžná sazba	8,0 h	155 Kč/h	1 240 Kč
Zvýšená sazba	1,9 h	194 Kč/h	369 Kč
Σ	**9,9 h**		**1 609 Kč**
Vypočtené řešení			
	Doba trvání	Hodinová sazba	Celkové náklady
Okruh 1	7,5 h	155 Kč/h	1 163 Kč
Okruh 2	4,3 h	155 Kč/h	667 Kč
Σ	**11,8 h**		**1 829 Kč**
Vyčíslení			
	Původní okruh	Vypočtené řešení	Rozdíl
Shrnutí	**1 609 Kč**	**1 829 Kč**	**-220 Kč**

Zdroj: Autor

Náklady ve výše uvedené Tabulce 11 jsou rozděleny na dvě části, první část obsahuje kalkulaci pro původní okruh, kde je uvedena běžná sazba za odpracovaných 8 hodin v celkové částce 1 240 Kč a zvýšená sazba za odpracovaných 1,9 přesčasových hodin v celkové částce 369 Kč. V součtu se jedná o celkový náklad ve výši 1609 Kč za odpracovaných 9,9 hodin.

Stejným způsobem jsou vyčísleny i náklady na vypočtené řešení, kde je počítáno pouze se základní sazbou. Celkem je za 1. okruh odpracovaných 7,5 hodiny v celkové částce 1 163 Kč a za 2. okruh je odpracováno celkem 4,3 hodiny v celkové částce 667 Kč. V součtu se jedná o celkový náklad 1 829 Kč za 11,8 hodin na vypočtené řešení.

Výpočtem rozdílu celkových nákladů na původní řešení ve výši 1 609 Kč a celkových nákladů za vypočtené řešení ve výši 1 829 Kč, je získána částka -220 Kč, která představuje zvýšení nákladů na vypočtené řešení.

Tabulka 12: Vyčíslení nákladů vztažených k celkové ujeté vzdálenosti

Náklady vztažené k celkové ujeté vzdálenosti			
Původní okruh			
	Ujetá vzdálenost	Sazba na km	Celkové náklady
Běžná sazba	460,9 km	3,93 Kč/km	1 811 Kč
Σ	**460,9 km**		**1 811 Kč**
Vypočtené řešení			
	Ujetá vzdálenost	Sazba na km	Celkové náklady
Okruh 1	351,8 km	3,93 Kč/km	1 383 Kč
Okruh 2	268,1 km	3,93 Kč/km	1 054 Kč
Σ	**619,9 km**		**2 436 Kč**
Vyčíslení			
	Původní okruh	Vypočtené řešení	Rozdíl
Shrnutí	**1 811 Kč**	**2 436 Kč**	**-625 Kč**

Zdroj: Autor

Obdobně je řešeno porovnání a vyčíslení nákladů vypočtené varianty a původní varianty pro celkové ujeté vzdálenosti jednotlivých okruhů. Náklady zde jsou také rozděleny na dvě části, náklady pro původní řešení a vypočtené řešení. V původním řešení jsou pro ujetou vzdálenost 460,9 km vypočteny celkové náklady ve výši 1 811 Kč. Následně pro

vypočtené řešení je po 1. okruh s ujetou vzdáleností 351,8 km vypočtený náklad 1 383 Kč a pro 2. okruh s ujetou vzdáleností 268,1 km vypočtený náklad 1 054 Kč. Celkově jsou za oba okruhy vypočteného řešení celkové náklady ve výši 2 436 Kč.

Vypočtením rozdílu celkových nákladů původního řešení ve výši 1 811 Kč a celkových nákladů na vypočtené řešení ve výši 2 436 Kč, je získána částka -625 Kč, která představuje zvýšení nákladů na vypočtené řešení.

4.2 Shrnutí a možnost další aplikace

Podle údajů z předchozí kapitoly vyplývají ze srovnání tyto údaje:

- celková doba trvání se oproti původnímu řešení zvýšila o 1 hodinu a 54 minut, což představuje finanční rozdíl 220,- Kč ve prospěch původního řešení,
- celkem ujetá vzdálenost se oproti původnímu řešení zvýšila o 159 km, což představuje finanční rozdíl 625,- Kč také ve prospěch původního řešení,
- v součtu došlo ke zvýšení celkových nákladů na vypočtené řešení oproti původnímu řešení o 220 + 625 = 845 Kč.

Dále, je pro potřeby shrnutí, třeba rekapitulovat údaje o celkových dobách trvání ostatních okružních jízd, které jsou příslušné vozidlu z modelové úlohy. Podle Tabulky 3 jsou celkové doby trvání okružních jízd následující:

- okružní jízda č. 1 – 470 min,
- okružní jízda č. 2 – 497 min,
- okružní jízda č. 3 – 575 min,
- okružní jízda č. 4 – 593 min.

Z výše uvedených údajů vyplývá, že kromě okružní jízdy č. 4, která byla vybrána pro modelovou úlohu, ještě jízdy č. 2 a č. 3 také nevyhovují omezující podmínce na maximální dobu trvání okružní jízdy. Výsledek je tedy takový, že v součtu za jízdy č. 2, č. 3 a č. 4 je celkový součet přesčasových hodin (doba přesahující 480 min v každé okružní jízdě) roven 3,75 h/týden. Tato hodnota je vypočtena podle vztahu (12).

$$17\ min + 95\ min + 113\ min = 225\ min = 3{,}75\ h \tag{12}$$

Jelikož se tyto jízdy opakují s týdenní frekvencí, je roční počet (součet za 52 týdnů) přesčasových hodin roven 195 h/rok. Tato hodnota byla vypočtena podle vztahu (13).

$$3{,}75\ \frac{h}{týden} * 52\ týdnů = 195\ h/rok \tag{13}$$

Údaje o celkovém počtu přesčasových hodin jsou důležité z toho důvodu, že podle Zákona 262/2006 Sb., zákoníku práce, je možné konat práci přesčas jen výjimečně a nařízená práce přesčas nesmí u zaměstnance činit více než 8 hodin v jednotlivých týdnech a 150 hodin v kalendářním roce. (15)

Z výše uvedeného tedy plyne, že v případě zachování okružních jízd v současném nezměněném režimu, bude ve fondu přesčasových hodin chybět 45 h. Zároveň je při čerpání přesčasových hodin nutné počítat se zvýšenými náklady, které zahrnují příplatek ve výši 25 % průměrného výdělku. (15)

Tento výsledek tedy není možné akceptovat a je třeba současné nastavení okružních jízd změnit. I za cenu vyšších nákladů je vypočtené řešení lepší než původní, protože původní okružní jízda není regulérním řešením, neboť nevyhovuje omezující podmínce. Zároveň je potvrzeno, že správně nastavená omezující podmínka pro maximální dobu trvání jedné okružní jízdy, je jedním ze základních prvků při jejich systematickém rozvrhování.

Výpočtem modelové úlohy tedy bylo prezentováno, že se jedná o funkční model, a že správně zvolené omezující podmínky významně přispívají k racionalizaci při pánování a rozvrhování okružních jízd ve vybrané společnosti.

Dalším krokem, pro správnou a účelnou optimalizaci, je aplikace Clark-Wrightova algoritmu na všechna místa obsluhy, která spadají do množiny míst obsluhovaných vybraným vozidlem v modelové úloze. Suma celkových dob trvání za všechny okružní jízdy daného vozidla je (podle Tabulky 3) rovna přibližně 35,6 h/týden. Z toho lze usoudit, že aplikace algoritmu na všechna místa obsluhy povede k vytvoření takových okruhů, které budu splňovat omezující podmínky modelové úlohy, a tím budou eliminovány současné negativní aspekty těchto okruhů.

Na této modelové úloze bylo jasně prezentováno, jaké potíže mohou vzniknout při neodborném plánování, a tím i nevědomém narušování omezujících podmínek. Tyto chyby potom ovlivňují rozvrhování okružních jízd poměrně zásadním způsobem.

ZÁVĚR

Tato práce si kladla za cíl vytvoření pracovní pomůcky ve formě funkčního modelu rozvrhování okružních jízd, za použití vybrané metody operačního výzkumu a teorie grafů, a možnost následného využití vytvořeného modelu. Tento cíl byl v práci splněn. Byla zvolena výpočetní metoda z oblasti operačního výzkumu a teorie grafů a následně byl na vybraném vzorku zákazníků vytvořen funkční model, který je možné použít jako pomůcku při další optimalizaci ve větším měřítku. Samotný výsledek modelové úlohy také poukázal na zásadní nedostatky při rozvrhování okružních jízd. Na základě dosaženého výsledku ve zpracovaném modelu, byla provedena změna okružní jízdy, pro kterou byl model vytvořen a zároveň stanoveny další kroky pro jeho využití.

Přínosem této práce je důkaz, že optimalizace za pomocí metody Clarka a Wrighta je velmi dobře použitelná metoda, kterou lze ve vybrané společnosti, za určitých podmínek, snadno aplikovat. Jednou z podmínek aplikace je použití takového softwaru, aby se s maximální mírou odstranila manuální práce při aplikaci optimalizačního algoritmu. Takovýto systémový způsob potom nabízí reálný pohled na řešení okružního problému ve společnosti a je tedy možné ho v praxi úspěšně využít.

V budoucnu by bylo velice zajímavé, vytvořit srovnání i s jinými metodami výpočtu, které jsou založeny na pokročilých algoritmech obsahujících náhodné složky, neboť takto modelovaná úloha by se ještě více přibližovala realitě. Též by bylo velmi zajímavé řešení nejen statických, ale i dynamických úloh, jež by umožnovaly pružným způsobem reagovat na změny proměnných v okružních úlohách.

SEZNAM POUŽITÝCH INFORMAČNÍCH ZDROJŮ

1. **TUZAR, A.** *Teorie dopravy.* vyd. 1. Pardubice : Univezita Pardubice, 1996. ISBN 80-71-94-039-9.

2. **GOLDEN, B. L.** *Vehicle Routing Problems: Formulations and Heuristic Solution Techniques.* Cambridge : Operations Research Center - Massachusetts Institute of Technology, 1975. Technical Report No. 113.

3. **VOLEK, J. a LINDA, B.** *Teorie grafů - aplikace v dopravě a veřejné správě.* [editor] Filip Vízner. Pardubice : Univerzita Pardubice, 2012. ISBN 978-80-7395-225-9.

4. **BROŽOVÁ, H., ŠUBRT, T. a MIKULECKÝ, M.** Kvantitativní podpora rozhodování. *http://pef.czu.cz.* [Online] [Citace: 5. ledna 2013.] http://pef.czu.cz/~BROZOVA/CASESTUDY/index.html.

5. **JANÁČEK, J.** *Optimalizace na dopravních sítích.* vyd. 2. Žilina : EDIS, 2006. ISBN 90-80-70-586-0.

6. **PASTOR, O. a TUZAR, A.** *Teorie dopravních systémů.* vyd. 1. Praha : ASPI a.s., 2007. ISBN 978-80-7357-285-3.

7. **CLARKE, G. a WRIGHT, J. W.** *Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points.* Operational research 12, 1964. stránky 568-581.

8. **LEDVINOVÁ, M.** *Teorie Dopravy.* Pardubice : Univerzita Pardubice - Dopravní fakulta Jana Pernera, 2011.

9. **BALAS, E. a TOTH, P.** *BRANCH AND BOUND METHODS FOR THE TRAVELING SALESMAN PROBLEM.* Management Science Research Report No. MSRR 488. Pennsyslvania : Carnegie-Mellon University, 1983.

10. **HLINĚNÝ, P.** Teorie Grafů. *Fakulta informatiky Masarykovy univerzity.* [Online] [Citace: 20. dubna 2013.] http://www.fi.muni.cz/~hlineny/Vyuka/GT/Grafy-text07.pdf.

11. NEO. *Networking and Emerging Optimization.* [Online] 20. července 2012. [Citace: 30. října 2012.] http://neo.lcc.uma.es/vrp/.

12. **SLIVONĚ, M. et al.** GA-GED VR: software pro Sestavu okružních jízd. [editor] J. ŠIROKÝ. *PERNER'S CONTACTS.* 5. ročník, 18. listopadu 2010, Sv. 3, 2010, stránky 305-314. ISSN: 1801-674X. http://pernerscontacts.upce.cz/19_2010/Slivone.pdf.

13. **TOTH, P. a VIGO, D.** *THE VEHICLE ROUTING PROBLEM.* Universita degli Studi di Bologna. Bologna : Society for Industrial and Applied Matematics, Philadelphia, 2002. ISBN 0-89871-579-2.

14. Finance.cz: Portál o finančnictví. *Ceny pohonných hmot on-line.* [Online] Finance media a.s. [Citace: 3. dubna 2013.] Průměrné ceny za čerpací stanice v akceptační síti CCS. http://www.finance.cz/makrodata-eu/pohonne-hmoty/?form1407%5BVyvoj%5D=2&form1407%5Bid_hmoty%5D=2&form1407%5Bid_obdobi%5D=4&form1407%5Bdo_den%5D=30&form1407%5Bdo_mesic%5D=3&form1407%5Bdo_rok%5D=2013&form1407%5Bod_den%5D=30&form1407%5Bod_mesic%5D=3&form1407.

15. *Zákon č.* 262/2006 Sb., zákoník práce - znění dle 385/12 Sb., 396/12 Sb., 399/12 Sb., 472/12 Sb.

16. *Slovník cizích slov.* [Online] Redakční systém © slovník cizích slov 2005-2013, Best One Service s.r.o. [Citace: 6. listopadu 2012.] http://www.slovnik-cizich-slov.cz/.

17. **PANUŠ, J.** *Evoluční algoritmy v optimalizačních problémech veřejné správy.* Pardubice, 2008. Disertační práce. Univerzita Parubice, Fakulta ekonomicko-správní.

18. **ŠIROKÝ, J. a SLIVONĚ, M.** Optimalizace svozu a rozvozu kusových zásilek. *PERNER'S CONTACTS.* 5. ročník, duben 2010, Sv. 1, stránky 255-269. ISSN: 1801-674X. http://pernerscontacts.upce.cz/17_2010/Siroky.pdf.

PŘÍLOHY

Příloha A *Atrakční obvody a hustota obsluhy zákazníků*

Příloha B *Geografické znázornění okružních jízd*

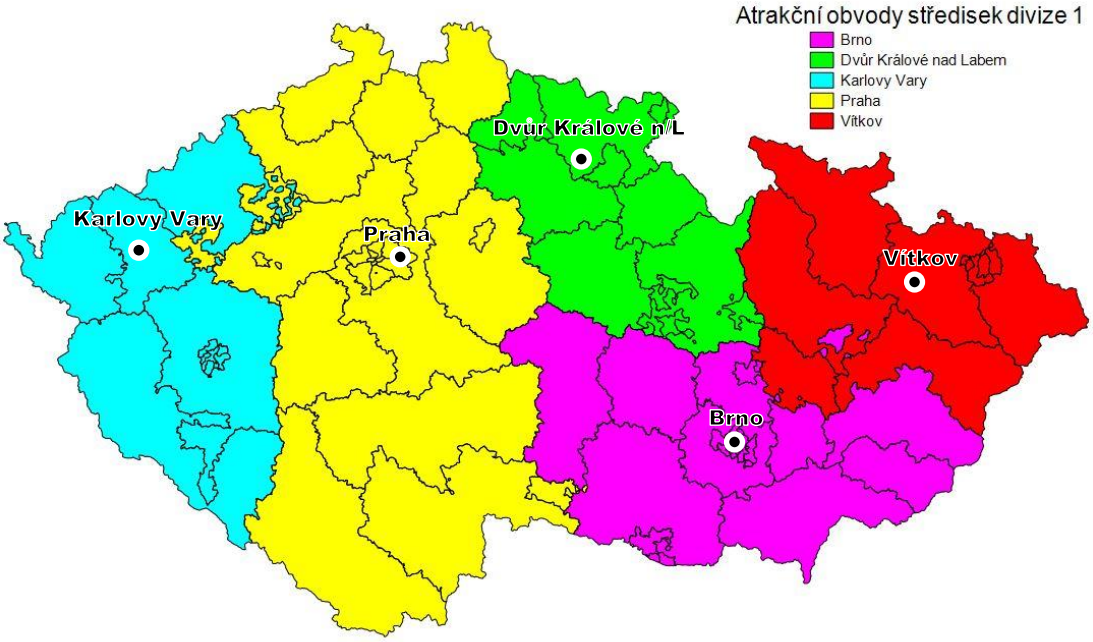
Příloha C *Výstup z aplikace The Google Distance Matrix API a nesymetrické OD matice*

Příloha D *Postup výpočtu metodou Clarka a Wrighta*

Příloha E *Vývoj cen nafty*

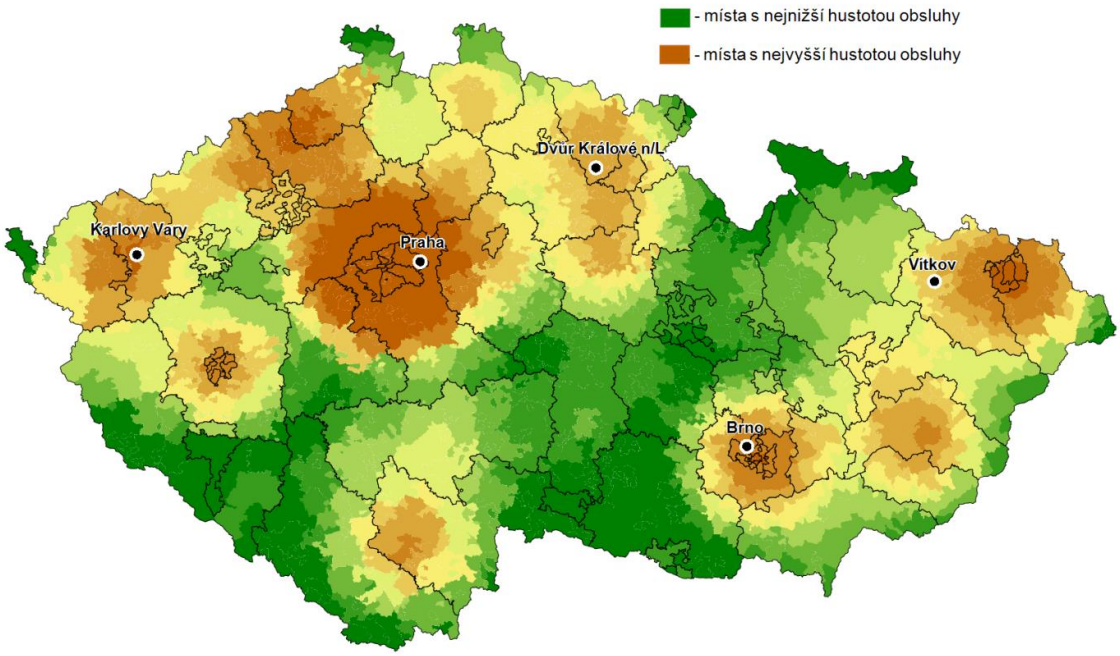
Příloha F *Přehled nákupů a spotřeby vybraného vozidla*

Příloha A *Atrakční obvody a hustota obsluhy zákazníků*



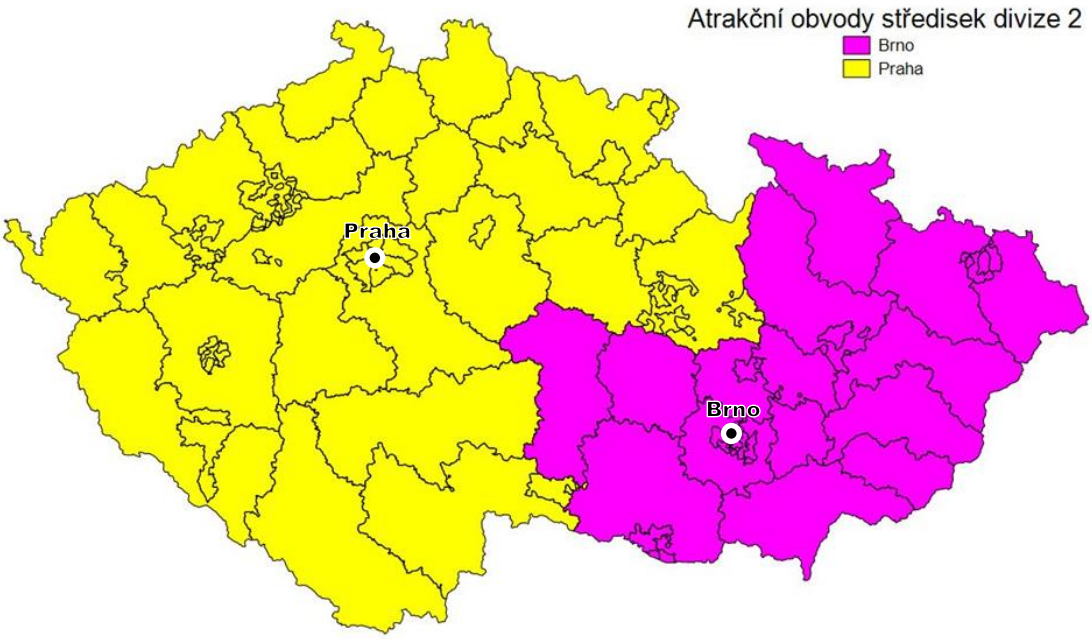
Příloha A – Obrázek 1: Atrakční obvody středisek divize 1

Zdroj: Autor na mapovém podkladu EasyMap 10.1



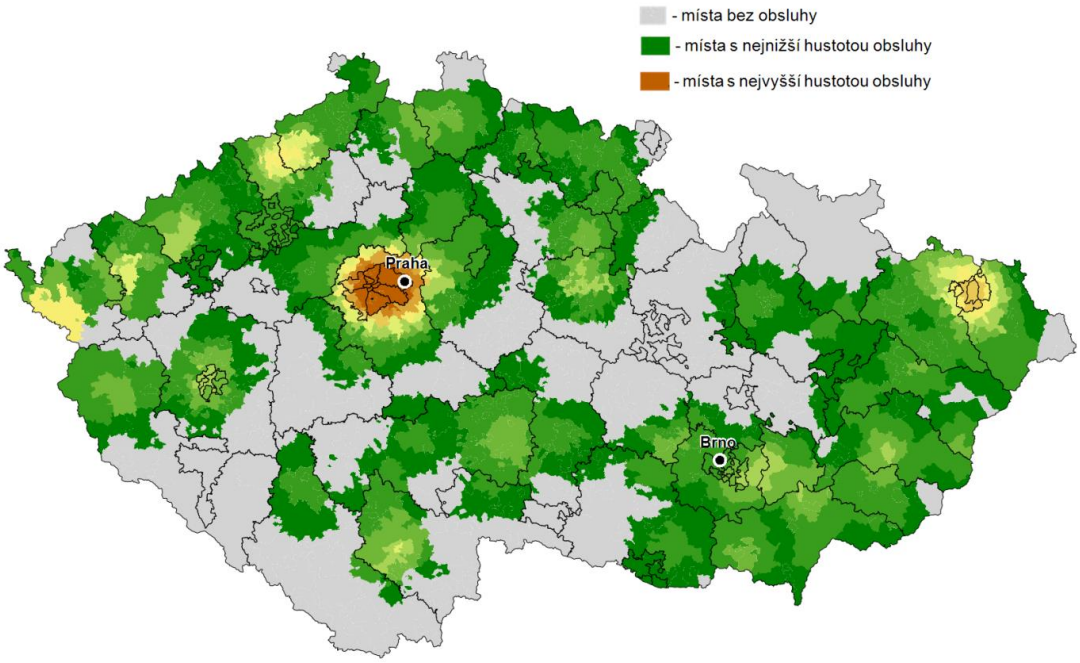
Příloha A – Obrázek 2: Rozmístění středisek a hustota obsluhy divize 1

Zdroj: Autor na mapovém podkladu EasyMap 10.1



Příloha A – Obrázek 3: Atrakční obvody středisek divize 2

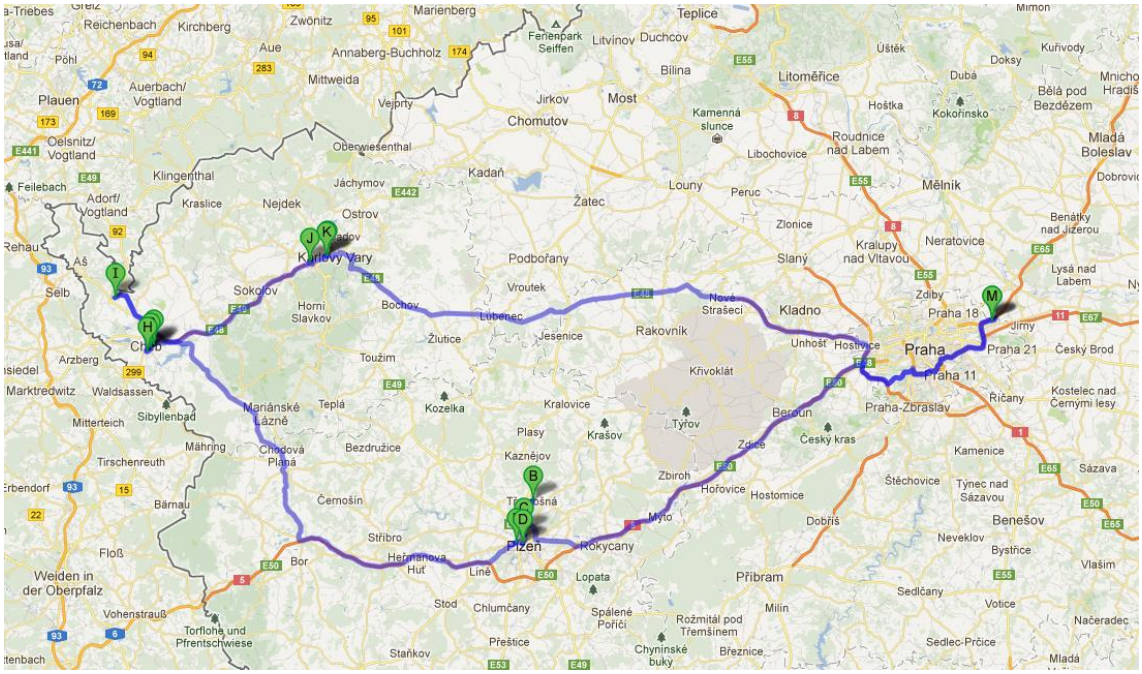
Zdroj: Autor na mapovém podkladu EasyMap 10.1



Příloha A – Obrázek 4: Rozmístění středisek a hustota obsluhy divize 2

Zdroj: Autor na mapovém podkladu EasyMap 10.1

Příloha B *Geografické znázornění okružních jízd*



Příloha B – Obrázek 1: Okružní jízda č. 1

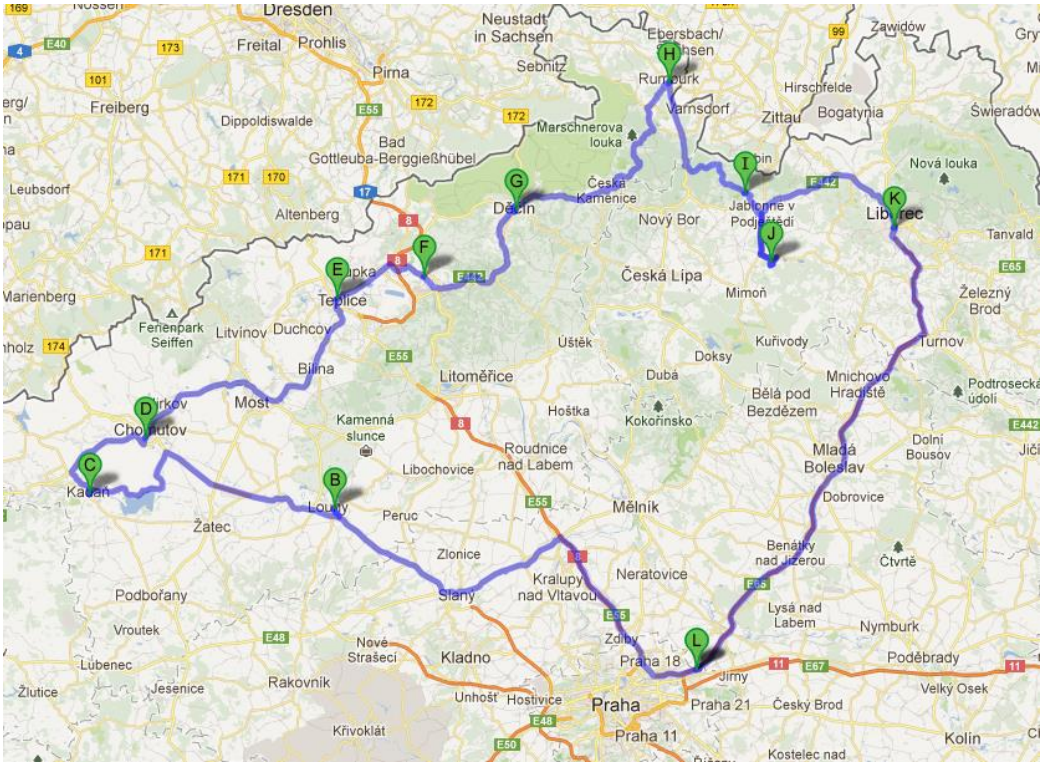
Zdroj: Autor na podkladu Google Maps

Příloha B – Obrázek 2: Okružní jízda č. 2

Zdroj: Autor na podkladu Google Maps

Příloha B – Obrázek 3: Okružní jízda č. 3

Zdroj: Autor na podkladu Google Maps



Příloha B – Obrázek 4: Okružní jízda č. 4

Zdroj: Autor na podkladu Google Maps

Příloha C *Výstup z aplikace The Google Distance Matrix API a nesymetrické OD matice*

Příloha C – Tabulka 1: Výstup z aplikace The Google Distance Matrix

Uzel Od	Místo Od	Uzel Do	Místo Do	Vzdálenost [km]	Jízdní doba [min]
0	Do Čertous 2627/9, 193 00 Praha-Praha 20, Česká republika	0	Do Čertous 2627/9, 193 00 Praha-Praha 20, Česká republika	0	0
0	Do Čertous 2627/9, 193 00 Praha-Praha 20, Česká republika	1	Rokelská 270, 432 01 Kadaň, Česká republika	130	102
0	Do Čertous 2627/9, 193 00 Praha-Praha 20, Česká republika	2	5. května 2645, 440 01 Louny, Česká republika	80,9	63
0	Do Čertous 2627/9, 193 00 Praha-Praha 20, Česká republika	3	České mládeže 594/33, 460 06 Liberec, Česká republika	87,9	48
0	Do Čertous 2627/9, 193 00 Praha-Praha 20, Česká republika	4	Jablonné v Podještědí 261, 471 25 Jablonné v Podještědí, Česká republika	119	72
0	Do Čertous 2627/9, 193 00 Praha-Praha 20, Česká republika	5	Pod Vinicí, Stráž pod Ralskem, Česká republika	92,2	67
0	Do Čertous 2627/9, 193 00 Praha-Praha 20, Česká republika	6	Spořická 4344, 430 01 Chomutov, Česká republika	115	88
0	Do Čertous 2627/9, 193 00 Praha-Praha 20, Česká republika	7	Dubská 3106, 415 01 Teplice, Česká republika	92,5	63
0	Do Čertous 2627/9, 193 00 Praha-Praha 20, Česká republika	8	Lipová, 408 01 Rumburk, Česká republika	146	99
0	Do Čertous 2627/9, 193 00 Praha-Praha 20, Česká republika	9	Zelená 409/14, 405 02 Děčín, Česká republika	114	84
0	Do Čertous 2627/9, 193 00 Praha-Praha 20, Česká republika	10	Masarykova 1028/238, 400 01 Ústí nad Labem-Ústí nad Labem-město, Česká republika	92,6	67
1	Rokelská 270, 432 01 Kadaň, Česká republika	0	Do Čertous 2627/9, 193 00 Praha-Praha 20, Česká republika	126	102
1	Rokelská 270, 432 01 Kadaň, Česká republika	1	Rokelská 270, 432 01 Kadaň, Česká republika	0	0
1	Rokelská 270, 432 01 Kadaň, Česká republika	2	5. května 2645, 440 01 Louny, Česká republika	49,2	43
1	Rokelská 270, 432 01 Kadaň, Česká republika	3	České mládeže 594/33, 460 06 Liberec, Česká republika	212	147
1	Rokelská 270, 432 01 Kadaň, Česká republika	4	Jablonné v Podještědí 261, 471 25 Jablonné v Podještědí, Česká republika	153	143
1	Rokelská 270, 432 01 Kadaň, Česká republika	5	Pod Vinicí, Stráž pod Ralskem, Česká republika	149	142
1	Rokelská 270, 432 01 Kadaň, Česká republika	6	Spořická 4344, 430 01 Chomutov, Česká republika	20,8	22
1	Rokelská 270, 432 01 Kadaň, Česká republika	7	Dubská 3106, 415 01 Teplice, Česká republika	66,7	59
1	Rokelská 270, 432 01 Kadaň, Česká republika	8	Lipová, 408 01 Rumburk, Česká republika	150	141
1	Rokelská 270, 432 01 Kadaň, Česká republika	9	Zelená 409/14, 405 02 Děčín, Česká republika	109	98

Uzel Od	Místo Od	Uzel Do	Místo Do	Vzdálenost [km]	Jízdní doba [min]
1	Rokelská 270, 432 01 Kadaň, Česká republika	10	Masarykova 1028/238, 400 01 Ústí nad Labem-Ústí nad Labem-město, Česká republika	89,5	77
2	5. května 2645, 440 01 Louny, Česká republika	0	Do Čertous 2627/9, 193 00 Praha-Praha 20, Česká republika	81,3	65
2	5. května 2645, 440 01 Louny, Česká republika	1	Rokelská 270, 432 01 Kadaň, Česká republika	52	44
2	5. května 2645, 440 01 Louny, Česká republika	2	5. května 2645, 440 01 Louny, Česká republika	0	0
2	5. května 2645, 440 01 Louny, Česká republika	3	České mládeže 594/33, 460 06 Liberec, Česká republika	167	109
2	5. května 2645, 440 01 Louny, Česká republika	4	Jablonné v Podještědí 261, 471 25 Jablonné v Podještědí, Česká republika	107	116
2	5. května 2645, 440 01 Louny, Česká republika	5	Pod Vinicí, Stráž pod Ralskem, Česká republika	101	108
2	5. května 2645, 440 01 Louny, Česká republika	6	Spořická 4344, 430 01 Chomutov, Česká republika	37,8	30
2	5. května 2645, 440 01 Louny, Česká republika	7	Dubská 3106, 415 01 Teplice, Česká republika	39,7	41
2	5. května 2645, 440 01 Louny, Česká republika	8	Lipová, 408 01 Rumburk, Česká republika	117	123
2	5. května 2645, 440 01 Louny, Česká republika	9	Zelená 409/14, 405 02 Děčín, Česká republika	75,7	80
2	5. května 2645, 440 01 Louny, Česká republika	10	Masarykova 1028/238, 400 01 Ústí nad Labem-Ústí nad Labem-město, Česká republika	62,5	59
3	České mládeže 594/33, 460 06 Liberec, Česká republika	0	Do Čertous 2627/9, 193 00 Praha-Praha 20, Česká republika	88,4	49
3	České mládeže 594/33, 460 06 Liberec, Česká republika	1	Rokelská 270, 432 01 Kadaň, Česká republika	215	146
3	České mládeže 594/33, 460 06 Liberec, Česká republika	2	5. května 2645, 440 01 Louny, Česká republika	166	107
3	České mládeže 594/33, 460 06 Liberec, Česká republika	3	České mládeže 594/33, 460 06 Liberec, Česká republika	0	0
3	České mládeže 594/33, 460 06 Liberec, Česká republika	4	Jablonné v Podještědí 261, 471 25 Jablonné v Podještědí, Česká republika	32,1	27
3	České mládeže 594/33, 460 06 Liberec, Česká republika	5	Pod Vinicí, Stráž pod Ralskem, Česká republika	38,5	37
3	České mládeže 594/33, 460 06 Liberec, Česká republika	6	Spořická 4344, 430 01 Chomutov, Česká republika	201	132
3	České mládeže 594/33, 460 06 Liberec, Česká republika	7	Dubská 3106, 415 01 Teplice, Česká republika	178	107
3	České mládeže 594/33, 460 06 Liberec, Česká republika	8	Lipová, 408 01 Rumburk, Česká republika	59,3	55

Uzel Od	Místo Od	Uzel Do	Místo Do	Vzdálenost [km]	Jízdní doba [min]
3	České mládeže 594/33, 460 06 Liberec, Česká republika	9	Zelená 409/14, 405 02 Děčín, Česká republika	73,2	69
3	České mládeže 594/33, 460 06 Liberec, Česká republika	10	Masarykova 1028/238, 400 01 Ústí nad Labem-Ústí nad Labem-město, Česká republika	99,7	95
4	Jablonné v Podještědí 261, 471 25 Jablonné v Podještědí, Česká republika	0	Do Čertous 2627/9, 193 00 Praha-Praha 20, Česká republika	120	74
4	Jablonné v Podještědí 261, 471 25 Jablonné v Podještědí, Česká republika	1	Rokelská 270, 432 01 Kadaň, Česká republika	153	145
4	Jablonné v Podještědí 261, 471 25 Jablonné v Podještědí, Česká republika	2	5. května 2645, 440 01 Louny, Česká republika	108	116
4	Jablonné v Podještědí 261, 471 25 Jablonné v Podještědí, Česká republika	3	České mládeže 594/33, 460 06 Liberec, Česká republika	31,8	28
4	Jablonné v Podještědí 261, 471 25 Jablonné v Podještědí, Česká republika	4	Jablonné v Podještědí 261, 471 25 Jablonné v Podještědí, Česká republika	0	0
4	Jablonné v Podještědí 261, 471 25 Jablonné v Podještědí, Česká republika	5	Pod Vinicí, Stráž pod Ralskem, Česká republika	15,4	21
4	Jablonné v Podještědí 261, 471 25 Jablonné v Podještědí, Česká republika	6	Spořická 4344, 430 01 Chomutov, Česká republika	136	127
4	Jablonné v Podještědí 261, 471 25 Jablonné v Podještědí, Česká republika	7	Dubská 3106, 415 01 Teplice, Česká republika	81,5	91
4	Jablonné v Podještědí 261, 471 25 Jablonné v Podještědí, Česká republika	8	Lipová, 408 01 Rumburk, Česká republika	27,6	32
4	Jablonné v Podještědí 261, 471 25 Jablonné v Podještědí, Česká republika	9	Zelená 409/14, 405 02 Děčín, Česká republika	45,7	52
4	Jablonné v Podještědí 261, 471 25 Jablonné v Podještědí, Česká republika	10	Masarykova 1028/238, 400 01 Ústí nad Labem-Ústí nad Labem-město, Česká republika	72,1	78
5	Pod Vinicí, Stráž pod Ralskem, Česká republika	0	Do Čertous 2627/9, 193 00 Praha-Praha 20, Česká republika	92,8	69
5	Pod Vinicí, Stráž pod Ralskem, Česká republika	1	Rokelská 270, 432 01 Kadaň, Česká republika	152	146
5	Pod Vinicí, Stráž pod Ralskem, Česká republika	2	5. května 2645, 440 01 Louny, Česká republika	101	112
5	Pod Vinicí, Stráž pod Ralskem, Česká republika	3	České mládeže 594/33, 460 06 Liberec, Česká republika	38,9	37
5	Pod Vinicí, Stráž pod Ralskem, Česká republika	4	Jablonné v Podještědí 261, 471 25 Jablonné v Podještědí, Česká republika	16,1	21
5	Pod Vinicí, Stráž pod Ralskem, Česká republika	5	Pod Vinicí, Stráž pod Ralskem, Česká republika	0	0
5	Pod Vinicí, Stráž pod Ralskem, Česká republika	6	Spořická 4344, 430 01 Chomutov, Česká republika	132	127
5	Pod Vinicí, Stráž pod Ralskem, Česká republika	7	Dubská 3106, 415 01 Teplice, Česká republika	93,5	100

Uzel Od	Místo Od	Uzel Do	Místo Do	Vzdálenost [km]	Jízdní doba [min]
5	Pod Vinicí, Stráž pod Ralskem, Česká republika	8	Lipová, 408 01 Rumburk, Česká republika	43,2	48
5	Pod Vinicí, Stráž pod Ralskem, Česká republika	9	Zelená 409/14, 405 02 Děčín, Česká republika	57,2	63
5	Pod Vinicí, Stráž pod Ralskem, Česká republika	10	Masarykova 1028/238, 400 01 Ústí nad Labem-Ústí nad Labem-město, Česká republika	74,6	86
6	Spořická 4344, 430 01 Chomutov, Česká republika	0	Do Čertous 2627/9, 193 00 Praha-Praha 20, Česká republika	115	90
6	Spořická 4344, 430 01 Chomutov, Česká republika	1	Rokelská 270, 432 01 Kadaň, Česká republika	20,9	22
6	Spořická 4344, 430 01 Chomutov, Česká republika	2	5. května 2645, 440 01 Louny, Česká republika	38,4	31
6	Spořická 4344, 430 01 Chomutov, Česká republika	3	České mládeže 594/33, 460 06 Liberec, Česká republika	201	134
6	Spořická 4344, 430 01 Chomutov, Česká republika	4	Jablonné v Podještědí 261, 471 25 Jablonné v Podještědí, Česká republika	135	126
6	Spořická 4344, 430 01 Chomutov, Česká republika	5	Pod Vinicí, Stráž pod Ralskem, Česká republika	131	125
6	Spořická 4344, 430 01 Chomutov, Česká republika	6	Spořická 4344, 430 01 Chomutov, Česká republika	0	0
6	Spořická 4344, 430 01 Chomutov, Česká republika	7	Dubská 3106, 415 01 Teplice, Česká republika	48,7	42
6	Spořická 4344, 430 01 Chomutov, Česká republika	8	Lipová, 408 01 Rumburk, Česká republika	132	124
6	Spořická 4344, 430 01 Chomutov, Česká republika	9	Zelená 409/14, 405 02 Děčín, Česká republika	91	81
6	Spořická 4344, 430 01 Chomutov, Česká republika	10	Masarykova 1028/238, 400 01 Ústí nad Labem-Ústí nad Labem-město, Česká republika	71,5	60
7	Dubská 3106, 415 01 Teplice, Česká republika	0	Do Čertous 2627/9, 193 00 Praha-Praha 20, Česká republika	92,7	66
7	Dubská 3106, 415 01 Teplice, Česká republika	1	Rokelská 270, 432 01 Kadaň, Česká republika	67,2	61
7	Dubská 3106, 415 01 Teplice, Česká republika	2	5. května 2645, 440 01 Louny, Česká republika	40,5	44
7	Dubská 3106, 415 01 Teplice, Česká republika	3	České mládeže 594/33, 460 06 Liberec, Česká republika	119	109
7	Dubská 3106, 415 01 Teplice, Česká republika	4	Jablonné v Podještědí 261, 471 25 Jablonné v Podještědí, Česká republika	91,7	91
7	Dubská 3106, 415 01 Teplice, Česká republika	5	Pod Vinicí, Stráž pod Ralskem, Česká republika	93,1	99
7	Dubská 3106, 415 01 Teplice, Česká republika	6	Spořická 4344, 430 01 Chomutov, Česká republika	49,5	43
7	Dubská 3106, 415 01 Teplice, Česká republika	7	Dubská 3106, 415 01 Teplice, Česká republika	0	0
7	Dubská 3106, 415 01 Teplice, Česká republika	8	Lipová, 408 01 Rumburk, Česká republika	88,7	89

Uzel Od	Místo Od	Uzel Do	Místo Do	Vzdálenost [km]	Jízdní doba [min]
7	Dubská 3106, 415 01 Teplice, Česká republika	9	Zelená 409/14, 405 02 Děčín, Česká republika	47,7	46
7	Dubská 3106, 415 01 Teplice, Česká republika	10	Masarykova 1028/238, 400 01 Ústí nad Labem-Ústí nad Labem-město, Česká republika	16,7	22
8	Lipová, 408 01 Rumburk, Česká republika	0	Do Čertous 2627/9, 193 00 Praha-Praha 20, Česká republika	147	102
8	Lipová, 408 01 Rumburk, Česká republika	1	Rokelská 270, 432 01 Kadaň, Česká republika	151	145
8	Lipová, 408 01 Rumburk, Česká republika	2	5. května 2645, 440 01 Louny, Česká republika	115	124
8	Lipová, 408 01 Rumburk, Česká republika	3	České mládeže 594/33, 460 06 Liberec, Česká republika	59	56
8	Lipová, 408 01 Rumburk, Česká republika	4	Jablonné v Podještědí 261, 471 25 Jablonné v Podještědí, Česká republika	27,6	31
8	Lipová, 408 01 Rumburk, Česká republika	5	Pod Vinicí, Stráž pod Ralskem, Česká republika	42,6	49
8	Lipová, 408 01 Rumburk, Česká republika	6	Spořická 4344, 430 01 Chomutov, Česká republika	133	128
8	Lipová, 408 01 Rumburk, Česká republika	7	Dubská 3106, 415 01 Teplice, Česká republika	79,4	91
8	Lipová, 408 01 Rumburk, Česká republika	8	Lipová, 408 01 Rumburk, Česká republika	0	0
8	Lipová, 408 01 Rumburk, Česká republika	9	Zelená 409/14, 405 02 Děčín, Česká republika	43,6	52
8	Lipová, 408 01 Rumburk, Česká republika	10	Masarykova 1028/238, 400 01 Ústí nad Labem-Ústí nad Labem-město, Česká republika	70	78
9	Zelená 409/14, 405 02 Děčín, Česká republika	0	Do Čertous 2627/9, 193 00 Praha-Praha 20, Česká republika	114	85
9	Zelená 409/14, 405 02 Děčín, Česká republika	1	Rokelská 270, 432 01 Kadaň, Česká republika	110	98
9	Zelená 409/14, 405 02 Děčín, Česká republika	2	5. května 2645, 440 01 Louny, Česká republika	75,9	81
9	Zelená 409/14, 405 02 Děčín, Česká republika	3	České mládeže 594/33, 460 06 Liberec, Česká republika	73,6	68
9	Zelená 409/14, 405 02 Děčín, Česká republika	4	Jablonné v Podještědí 261, 471 25 Jablonné v Podještědí, Česká republika	46,4	51
9	Zelená 409/14, 405 02 Děčín, Česká republika	5	Pod Vinicí, Stráž pod Ralskem, Česká republika	57,2	62
9	Zelená 409/14, 405 02 Děčín, Česká republika	6	Spořická 4344, 430 01 Chomutov, Česká republika	91,9	80
9	Zelená 409/14, 405 02 Děčín, Česká republika	7	Dubská 3106, 415 01 Teplice, Česká republika	37,8	44
9	Zelená 409/14, 405 02 Děčín, Česká republika	8	Lipová, 408 01 Rumburk, Česká republika	43,4	49
9	Zelená 409/14, 405 02 Děčín, Česká republika	9	Zelená 409/14, 405 02 Děčín, Česká republika	0	0
9	Zelená 409/14, 405 02 Děčín, Česká republika	10	Masarykova 1028/238, 400 01 Ústí nad Labem-Ústí nad Labem-město, Česká republika	28,4	30

Uzel Od	Místo Od	Uzel Do	Místo Do	Vzdálenost [km]	Jízdní doba [min]
10	Masarykova 1028/238, 400 01 Ústí nad Labem-Ústí nad Labem-město, Česká republika	0	Do Čertous 2627/9, 193 00 Praha-Praha 20, Česká republika	92	67
10	Masarykova 1028/238, 400 01 Ústí nad Labem-Ústí nad Labem-město, Česká republika	1	Rokelská 270, 432 01 Kadaň, Česká republika	90,6	77
10	Masarykova 1028/238, 400 01 Ústí nad Labem-Ústí nad Labem-město, Česká republika	2	5. května 2645, 440 01 Louny, Česká republika	63,9	60
10	Masarykova 1028/238, 400 01 Ústí nad Labem-Ústí nad Labem-město, Česká republika	3	České mládeže 594/33, 460 06 Liberec, Česká republika	99,9	94
10	Masarykova 1028/238, 400 01 Ústí nad Labem-Ústí nad Labem-město, Česká republika	4	Jablonné v Podještědí 261, 471 25 Jablonné v Podještědí, Česká republika	72,7	77
10	Masarykova 1028/238, 400 01 Ústí nad Labem-Ústí nad Labem-město, Česká republika	5	Pod Vinicí, Stráž pod Ralskem, Česká republika	74,2	83
10	Masarykova 1028/238, 400 01 Ústí nad Labem-Ústí nad Labem-město, Česká republika	6	Spořická 4344, 430 01 Chomutov, Česká republika	72,9	60
10	Masarykova 1028/238, 400 01 Ústí nad Labem-Ústí nad Labem-město, Česká republika	7	Dubská 3106, 415 01 Teplice, Česká republika	16,8	21
10	Masarykova 1028/238, 400 01 Ústí nad Labem-Ústí nad Labem-město, Česká republika	8	Lipová, 408 01 Rumburk, Česká republika	69,7	75
10	Masarykova 1028/238, 400 01 Ústí nad Labem-Ústí nad Labem-město, Česká republika	9	Zelená 409/14, 405 02 Děčín, Česká republika	28,7	32
10	Masarykova 1028/238, 400 01 Ústí nad Labem-Ústí nad Labem-město, Česká republika	10	Masarykova 1028/238, 400 01 Ústí nad Labem-Ústí nad Labem-město, Česká republika	0	0

Zdroj: Autor za využití nástroje The Google Distance Matrix API

Příloha C – Tabulka 2: Nesymetrická OD matice vzdáleností v km

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	130	80,9	87,9	119	92,2	115	92,5	146	114	92,6
1	126	0	49,2	212	153	149	20,8	66,7	150	109	89,5
2	81,3	52	0	167	107	101	37,8	39,7	117	75,7	62,5
3	88,4	215	166	0	32,1	38,5	201	178	59,3	73,2	99,7
4	120	153	108	31,8	0	15,4	136	81,5	27,6	45,7	72,1
5	92,8	152	101	38,9	16,1	0	132	93,5	43,2	57,2	74,6
6	115	20,9	38,4	201	135	131	0	48,7	132	91	71,5
7	92,7	67,2	40,5	119	91,7	93,1	49,5	0	88,7	47,7	16,7
8	147	151	115	59	27,6	42,6	133	79,4	0	43,6	70
9	114	110	75,9	73,6	46,4	57,2	91,9	37,8	43,4	0	28,4
10	92	90,6	63,9	99,9	72,7	74,2	72,9	16,8	69,7	28,7	0

Zdroj: Autor

Příloha C – Tabulka 3: Nesymetrická OD matice časových dostupností v minutách

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	102	63	48	72	67	88	63	99	84	67
1	102	0	43	147	143	142	22	59	141	98	77
2	65	44	0	109	116	108	30	41	123	80	59
3	49	146	107	0	27	37	132	107	55	69	95
4	74	145	116	28	0	21	127	91	32	52	78
5	69	146	112	37	21	0	127	100	48	63	86
6	90	22	31	134	126	125	0	42	124	81	60
7	66	61	44	109	91	99	43	0	89	46	22
8	102	145	124	56	31	49	128	91	0	52	78
9	85	98	81	68	51	62	80	44	49	0	30
10	67	77	60	94	77	83	60	21	75	32	0

Zdroj: Autor

Příloha D: *Postup výpočtu metodou Clarka a Wrighta*

Výchozí stav

čas		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	okruhy
11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
11	2	158,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
13	3	2,7	2,8	0	0	0	0	0	0	0	0	3
22	4	94,5	93,1	175,7	0	0	0	0	0	0	0	4
27	5	70	72,6	142	196,3	0	0	0	0	0	0	5
16	6	222,2	158	2,2	99	76	0	0	0	0	0	6
13	7	153,7	133,6	32,3	125,5	91,8	158,5	0	0	0	0	7
39	8	124	111,6	175,5	238,4	196,1	129	155,1	0	0	0	8
12	9	132,5	119,3	128,8	187,5	149,3	137,6	163,9	217	0	0	9
13	10	130,3	110,2	80,7	139,4	110,4	135,1	168,2	169	177,8	0	10

časy strávené na dodacím místě												časy strávené jízdou mezi vrcholy
											11	1
											11	2
											13	3
											22	4
											27	5
											16	6
											13	7
											39	8
											12	9
											13	10

Maximální prvek
238,4

Maximální čas
480

krajní vrcholy Z/DO DEPA	

kontrola omezující podmínky času
11
11
13
22
27
16
13
39
12
13

1. iterace

čas		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	okruhy
11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
11	2	158,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
13	3	2,7	2,8	0	0	0	0	0	0	0	0	3
22	4	94,5	93,1	175,7	0	0	0	0	0	0	0	4
27	5	70	72,6	142	196,3	0	0	0	0	0	0	5
16	6	222,2	158	2,2	99	76	0	0	0	0	0	6
13	7	153,7	133,6	32,3	125,5	91,8	158,5	0	0	0	0	7
39	8	124	111,6	175,5	238,4"	196,1	129	155,1	0	0	0	8
12	9	132,5	119,3	128,8	187,5	149,3	137,6	163,9	217	0	0	9
13	10	130,3	110,2	80,7	139,4	110,4	135,1	168,2	169	177,8	0	10

časy strávené na dodacím místě												časy strávené jízdou mezi vrcholy
											11	1
											11	2
											13	3
										39	22	4
											27	5
											16	6
											13	7
										22	39	8
											12	9
											13	10

Maximální prvek
222,2

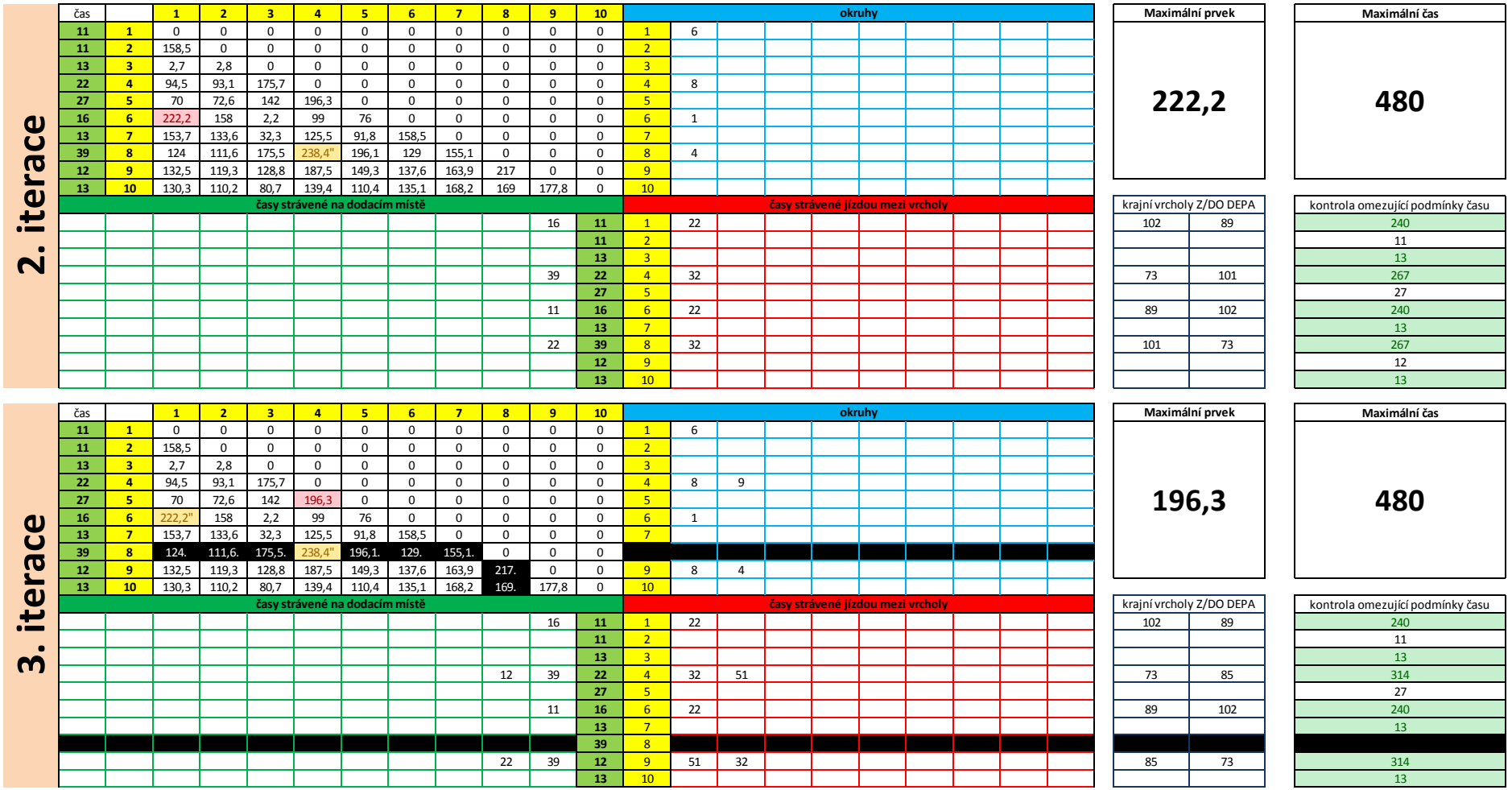
Maximální čas
480

krajní vrcholy Z/DO DEPA	
73	101
101	73

kontrola omezující podmínky času
11
11
13
267
27
16
13
267
12
13

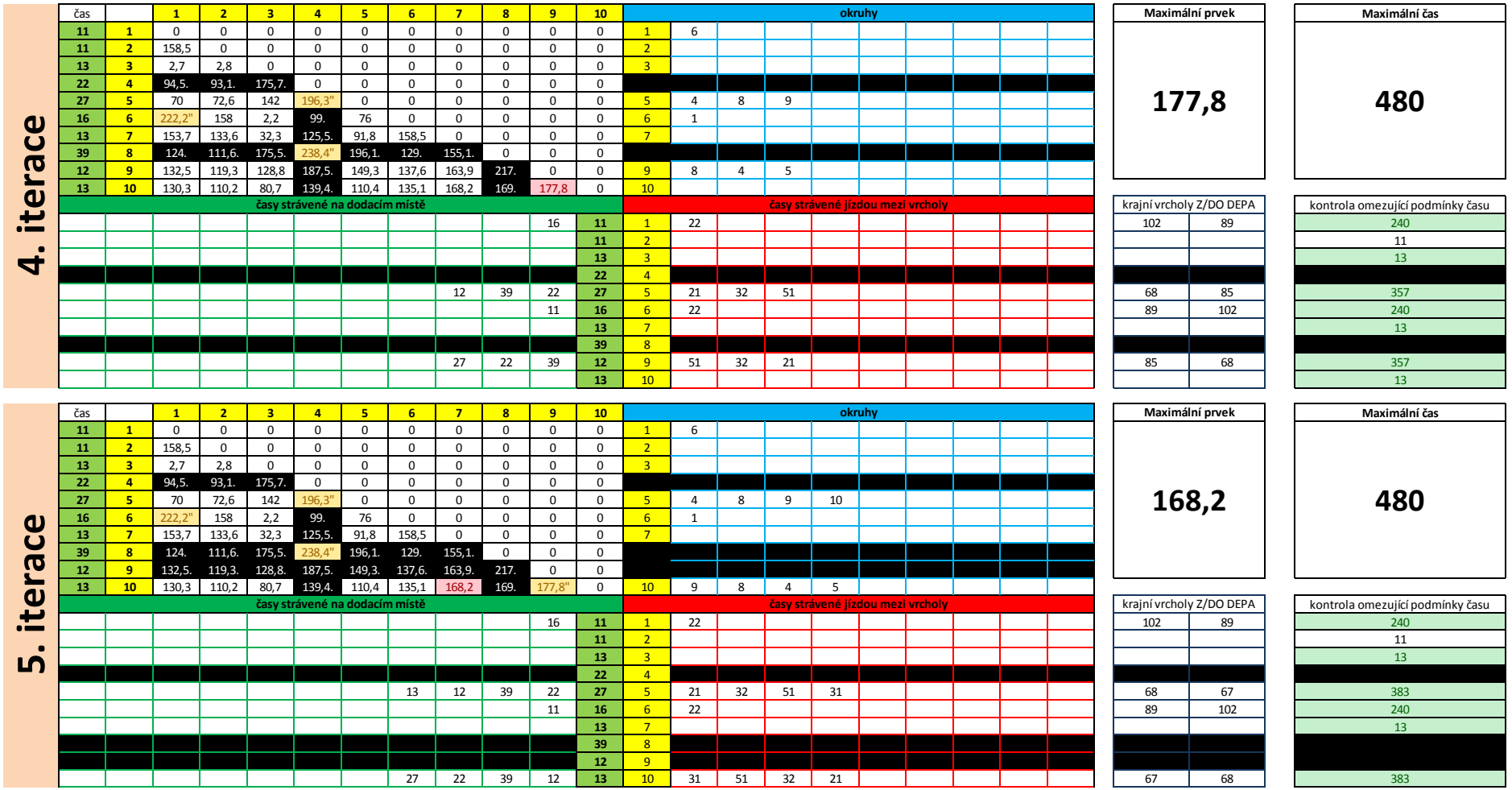
Příloha D – Obrázek 1: Výchozí stav a 1. iterace algoritmu Clarka a Wrighta

Zdroj: Autor



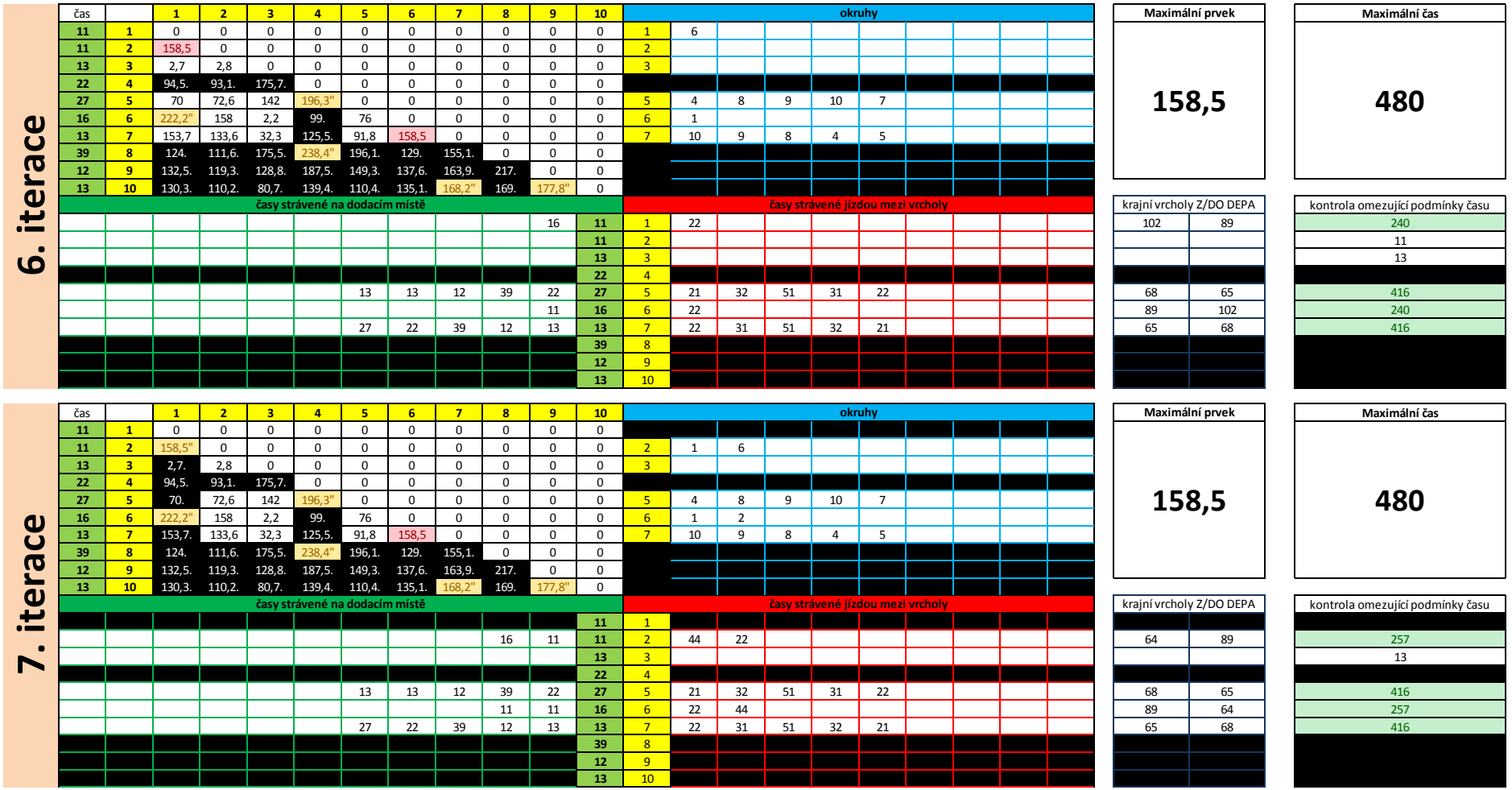
Příloha D – Obrázek 2: 2. a 3. iterace algoritmu Clarka a Wrighta

Zdroj: Autor



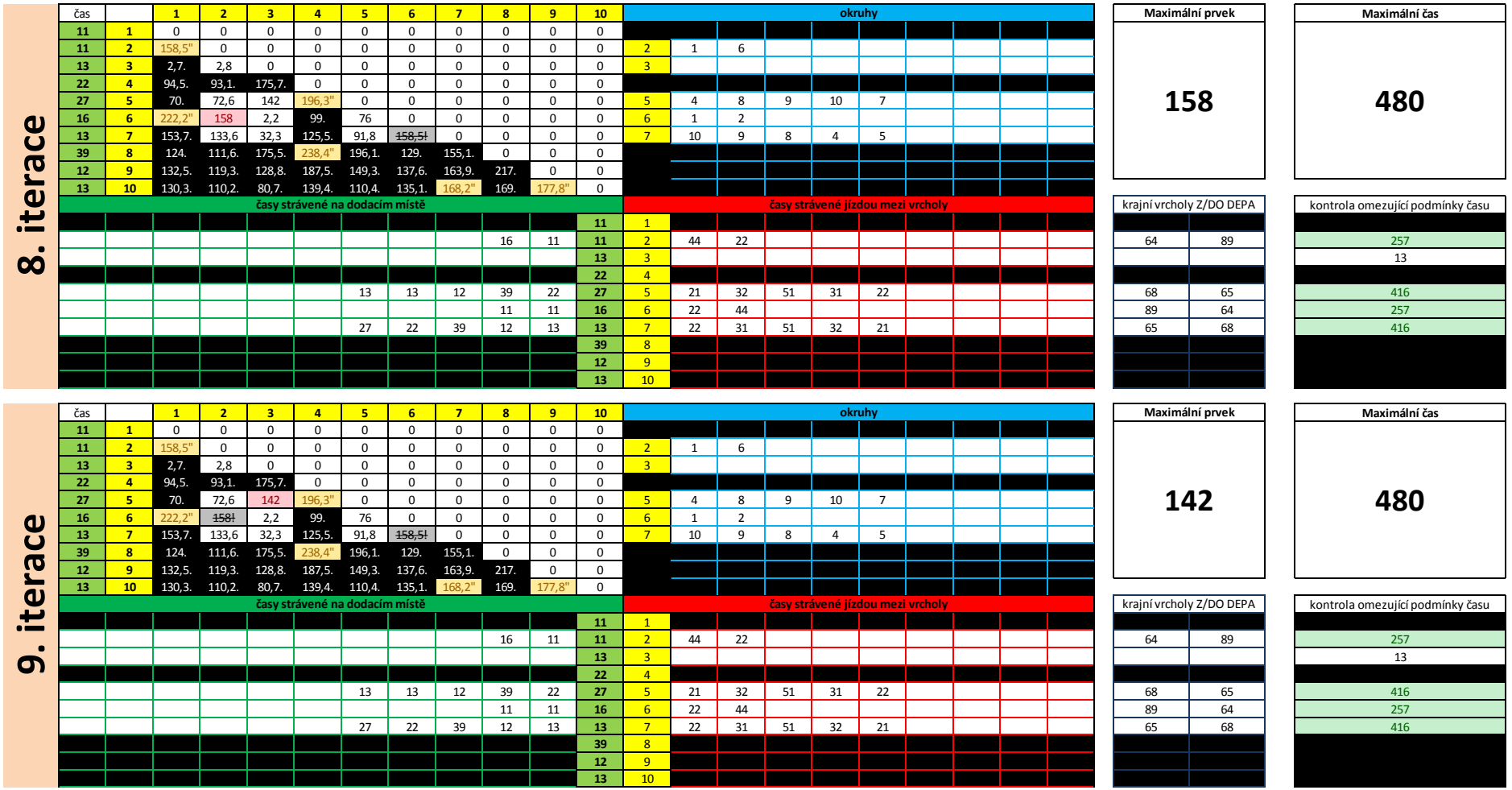
Příloha D – Obrázek 3: 4. a 5. iterace algoritmu Clarka a Wrighta

Zdroj: Autor



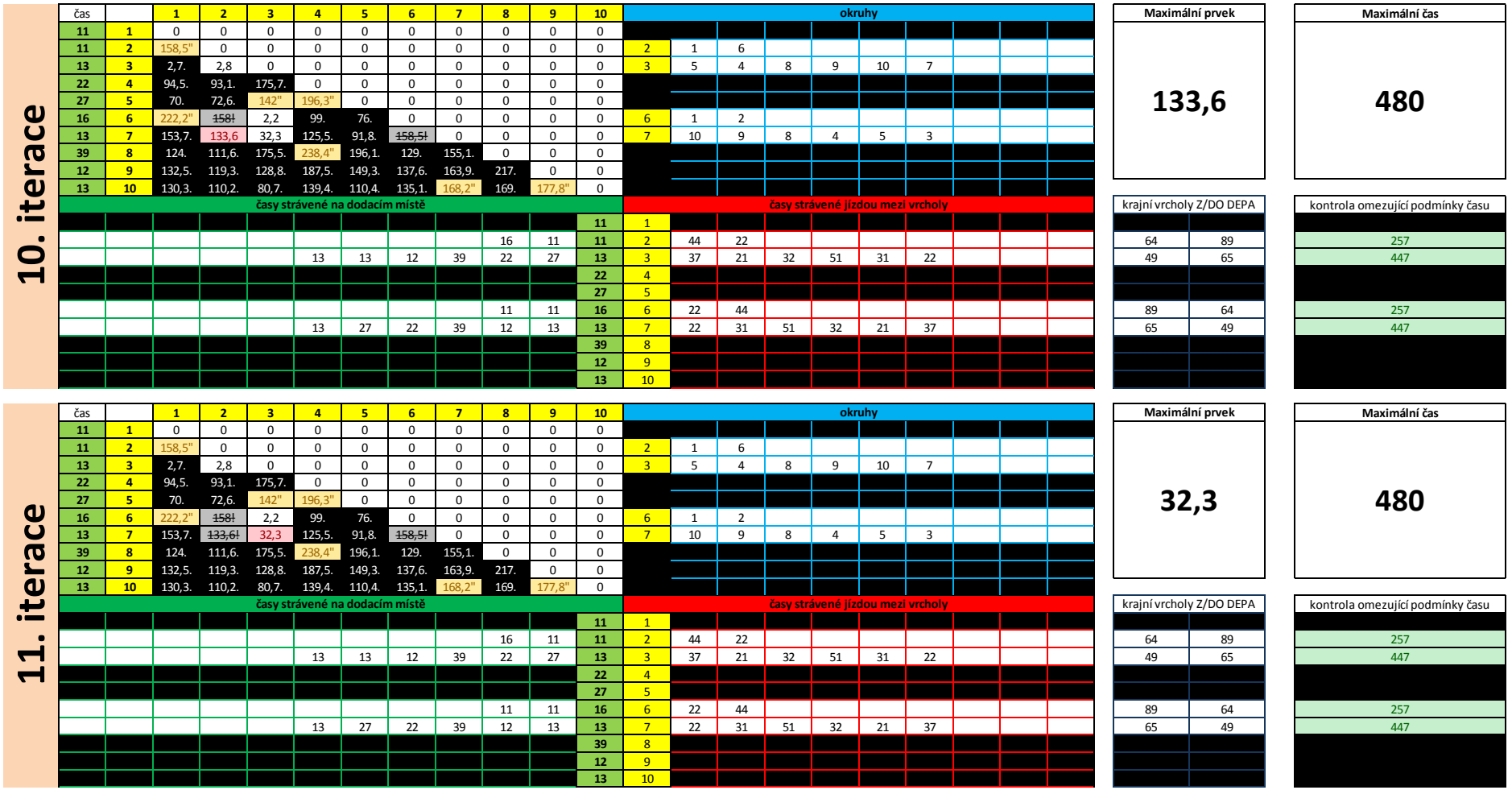
Příloha D – Obrázek 4: 6 a 7. iterace algoritmu Clarka a Wrighta

Zdroj: Autor



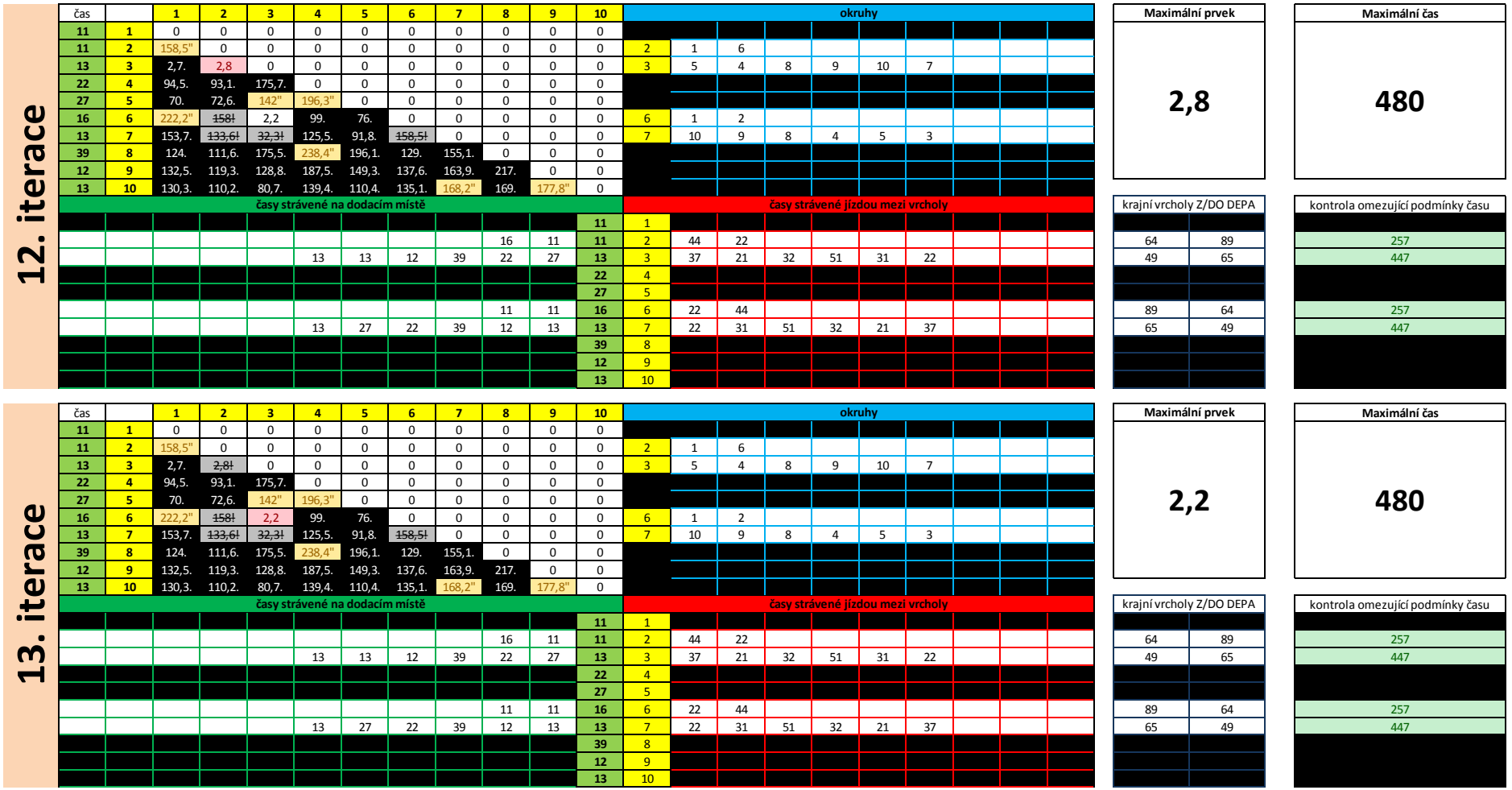
Příloha D – Obrázek 5: 8. a 9. iterace algoritmu Clarka a Wrighta

Zdroj: Autor



Příloha D – Obrázek 6: 10. a 11. iterace algoritmu Clarka a Wrighta

Zdroj: Autor



Příloha D – Obrázek 7: 12. a 13. iterace algoritmu Clarka a Wrighta

Zdroj: Autor

14. iterace

čas		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	okruhy									
11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0										
11	2	158,5"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	6							
13	3	2,7.	~~2,8!~~	0	0	0	0	0	0	0	0	3	5	4	8	9	10	7			
22	4	94,5.	93,1.	175,7.	0	0	0	0	0	0	0										
27	5	70.	72,6.	142"	196,3"	0	0	0	0	0	0										
16	6	222,2"	~~158!~~	~~2,2!~~	99.	76.	0	0	0	0	0	6	1	2							
13	7	153,7.	~~133,6!~~	~~32,3!~~	125,5.	91,8.	~~158,5!~~	0	0	0	0	7	10	9	8	4	5	3			
39	8	124.	111,6.	175,5.	238,4"	196,1.	129.	155,1.	0	0	0										
12	9	132,5.	119,3.	128,8.	187,5.	149,3.	137,6.	163,9.	217.	0	0										
13	10	130,3.	110,2.	80,7.	139,4.	110,4.	135,1.	168,2"	169.	177,8"	0										

časy strávené na dodacím místě												časy strávené jízdou mezi vrcholy									
											11	1									
									16	11	11	2	44	22							
					13	13	12	39	22	27	13	3	37	21	32	51	31	22			
											22	4									
											27	5									
									11	11	16	6	22	44							
					13	27	22	39	12	13	13	7	22	31	51	32	21	37			
											39	8									
											12	9									
											13	10									

Maximální prvek
0

Maximální čas
480

krajní vrcholy Z/DO DEPA	
64	89
49	65
89	64
65	49

kontrola omezující podmínky času
257
447
257
447

Příloha D – Obrázek 8: 14. iterace algoritmu Clarka a Wrighta - konečná iterace

Zdroj: Autor

Příloha E: *Vývoj cen nafty*

Příloha E – Tabulka 1: Vývoj cen nafty

Vývoj cen nafty za období 30.3.2012 až 30.3.2013											
Datum	**Cena (Kč)**	**Změna**	**Datum**	**Cena (Kč)**	**Změna**	**Datum**	**Cena (Kč)**	**Změna**	**Datum**	**Cena (Kč)**	**Změna**
30.3.2013	36	0,01	26.12.2012	36	-0,04	13.9.2012	37	0,01	13.6.2012	35,6	-0,09
29.3.2013	36	-0,04	25.12.2012	36	0,03	12.9.2012	37	0,01	10.6.2012	35,7	-0,04
28.3.2013	36	-0,02	24.12.2012	36	0,03	11.9.2012	37	-0,01	9.6.2012	35,8	0,01
27.3.2013	36	-0,01	23.12.2012	36	-0,04	10.9.2012	37	0	8.6.2012	35,8	-0,04
26.3.2013	36	-0,04	20.12.2012	36	-0,02	9.9.2012	37	0	7.6.2012	35,8	-0,04
23.3.2013	36	-0,03	18.12.2012	36	-0,01	8.9.2012	37	0,01	6.6.2012	35,9	-0,04
22.3.2013	36	-0,02	17.12.2012	36	-0,01	7.9.2012	37	-0,02	5.6.2012	35,9	-0,04
21.3.2013	36	-0,02	13.12.2012	36	-0,05	6.9.2012	37	0	4.6.2012	35,9	-0,03
20.3.2013	36	-0,03	12.12.2012	36	-0,07	5.9.2012	37	-0,02	3.6.2012	36	0
19.3.2013	36	-0,01	30.11.2012	36	-0,02	4.9.2012	37	0,01	2.6.2012	36	-0,08
18.3.2013	36	-0,03	29.11.2012	36	0	3.9.2012	37	-0,01	1.6.2012	36	0,02
15.3.2013	36	-0,04	28.11.2012	36	0	2.9.2012	37	-0,04	31.5.2012	36	0,01
14.3.2013	36	-0,01	27.11.2012	36	-0,02	1.9.2012	37	0,06	30.5.2012	36	-0,07
13.3.2013	36	-0,04	26.11.2012	36	0,03	31.8.2012	37	-0,01	29.5.2012	36,1	-0,04
12.3.2013	36	-0,04	25.11.2012	36	0	30.8.2012	37	0,02	28.5.2012	36,1	-0,02
11.3.2013	36	0	21.11.2012	36	0	29.8.2012	37	-0,01	27.5.2012	36,1	-0,01
10.3.2013	36	-0,01	20.11.2012	36	-0,04	28.8.2012	37	0,02	26.5.2012	36,2	-0,01
9.3.2013	36	-0,01	19.11.2012	36	0,03	27.8.2012	37	-0,02	25.5.2012	36,2	-0,04
8.3.2013	36	-0,01	18.11.2012	36	-0,02	24.8.2012	37	0,04	24.5.2012	36,2	0,01
7.3.2013	36	-0,03	15.11.2012	36	-0,03	23.8.2012	37	0,06	23.5.2012	36,2	-0,04
6.3.2013	36	-0,01	14.11.2012	36	-0,03	22.8.2012	37	0,19	22.5.2012	36,2	-0,02
5.3.2013	36	0	12.11.2012	36	-0,04	21.8.2012	37	0,11	21.5.2012	36,3	-0,05
4.3.2013	36	-0,03	11.11.2012	37	-0,01	20.8.2012	37	0,02	20.5.2012	36,3	-0,01
3.3.2013	36	0,01	9.11.2012	37	-0,03	19.8.2012	37	-0,05	19.5.2012	36,3	0,02
2.3.2013	36	0,02	8.11.2012	37	-0,01	16.8.2012	37	0,11	18.5.2012	36,3	-0,05
1.3.2013	36	0	7.11.2012	37	-0,05	15.8.2012	37	0,23	17.5.2012	36,3	0
27.2.2013	36	0,15	6.11.2012	37	-0,03	14.8.2012	36	0,2	16.5.2012	36,3	-0,11
26.2.2013	36	0,04	5.11.2012	37	-0,02	13.8.2012	36	0,02	15.5.2012	36,5	-0,01
25.2.2013	36	-0,03	4.11.2012	37	0,01	12.8.2012	36	0	14.5.2012	36,5	-0,03
24.2.2013	36	0,01	1.11.2012	37	-0,07	11.8.2012	36	0,02	13.5.2012	36,5	0
23.2.2013	36	0,01	31.10.2012	37	-0,04	10.8.2012	36	0,04	12.5.2012	36,5	-0,02
22.2.2013	36	0,03	30.10.2012	37	-0,03	9.8.2012	36	0,01	11.5.2012	36,5	-0,03
21.2.2013	36	0,09	29.10.2012	37	-0,02	8.8.2012	36	0	10.5.2012	36,5	-0,01
20.2.2013	36	0,05	28.10.2012	37	-0,02	5.8.2012	36	-0,02	5.5.2012	36,7	0,06
19.2.2013	36	0,05	25.10.2012	37	-0,02	4.8.2012	36	0,02	4.5.2012	36,6	-0,02
18.2.2013	36	-0,01	24.10.2012	37	-0,02	3.8.2012	36	0	3.5.2012	36,7	0,01
17.2.2013	36	0	23.10.2012	37	-0,01	2.8.2012	36	-0,01	2.5.2012	36,6	-0,07
16.2.2013	36	0,05	22.10.2012	37	-0,01	1.8.2012	36	0	1.5.2012	36,7	0,03
15.2.2013	36	0,03	21.10.2012	37	0	31.7.2012	36	-0,03	30.4.2012	36,7	-0,04

Vývoj cen nafty za období 30.3.2012 až 30.3.2013											
Datum	**Cena (Kč)**	**Změna**	**Datum**	**Cena (Kč)**	**Změna**	**Datum**	**Cena (Kč)**	**Změna**	**Datum**	**Cena (Kč)**	**Změna**
10.2.2013	36	0,02	20.10.2012	37	0,04	30.7.2012	36	-0,03	29.4.2012	36,7	0,04
9.2.2013	36	-0,06	19.10.2012	37	0	27.7.2012	36	-0,02	28.4.2012	36,7	-0,02
8.2.2013	36	0,07	18.10.2012	37	0,03	26.7.2012	36	0,1	27.4.2012	36,7	-0,03
7.2.2013	36	0,02	17.10.2012	37	-0,03	25.7.2012	36	0,29	26.4.2012	36,7	0,02
6.2.2013	36	0,01	16.10.2012	37	-0,02	24.7.2012	36	0,21	25.4.2012	36,7	-0,03
5.2.2013	36	0,01	15.10.2012	37	-0,02	23.7.2012	36	-0,01	24.4.2012	36,7	-0,02
4.2.2013	36	-0,03	14.10.2012	37	0,01	22.7.2012	36	0,04	23.4.2012	36,8	-0,01
1.2.2013	36	0,01	13.10.2012	37	0,02	19.7.2012	36	0,07	22.4.2012	36,8	-0,16
31.1.2013	36	0,02	12.10.2012	37	0	16.7.2012	35	0,02	21.4.2012	36,9	0,15
30.1.2013	36	0,01	11.10.2012	37	-0,02	15.7.2012	35	-0,01	20.4.2012	36,8	0
29.1.2013	36	0,02	10.10.2012	37	-0,01	13.7.2012	35	0,02	19.4.2012	36,8	0,01
28.1.2013	36	-0,03	9.10.2012	37	-0,02	12.7.2012	35	0,06	18.4.2012	36,8	-0,02
27.1.2013	36	-0,02	8.10.2012	37	-0,01	11.7.2012	35	0,1	17.4.2012	36,8	-0,01
26.1.2013	36	0,05	7.10.2012	37	0,01	8.7.2012	35	-0,03	16.4.2012	36,8	-0,04
25.1.2013	36	-0,01	6.10.2012	37	-0,01	7.7.2012	35	-0,02	15.4.2012	36,8	0,03
24.1.2013	36	0	5.10.2012	37	-0,01	6.7.2012	35	-0,01	14.4.2012	36,8	0,01
23.1.2013	36	-0,04	4.10.2012	37	0,02	5.7.2012	35	0,03	13.4.2012	36,8	-0,01
22.1.2013	36	-0,02	3.10.2012	37	0	4.7.2012	35	-0,03	12.4.2012	36,8	0,04
21.1.2013	36	0	2.10.2012	37	0	3.7.2012	35	0,01	11.4.2012	36,8	-0,03
20.1.2013	36	-0,01	1.10.2012	37	0,01	2.7.2012	35	-0,06	10.4.2012	36,8	-0,02
19.1.2013	36	-0,02	30.9.2012	37	-0,05	30.6.2012	35	-0,05	9.4.2012	36,8	0,02
18.1.2013	36	0,04	27.9.2012	37	-0,03	29.6.2012	35	-0,05	8.4.2012	36,8	0
17.1.2013	36	0,01	26.9.2012	37	-0,05	26.6.2012	35	-0,04	7.4.2012	36,8	0
16.1.2013	36	0,09	25.9.2012	37	-0,03	25.6.2012	35	-0,03	6.4.2012	36,8	0
15.1.2013	36	0,11	24.9.2012	37	-0,01	24.6.2012	35	-0,01	5.4.2012	36,8	0
14.1.2013	36	0	23.9.2012	37	0	23.6.2012	35	-0,03	4.4.2012	36,8	-0,03
10.1.2013	36	0,01	20.9.2012	37	-0,04	20.6.2012	35	-0,05	3.4.2012	36,8	-0,01
9.1.2013	36	-0,01	19.9.2012	37	-0,02	19.6.2012	35	-0,03	31.3.2012	36,9	0,02
31.12.2012	36	0,01	18.9.2012	37	0	18.6.2012	35	-0,01	30.3.2012	36,8	-0,01
30.12.2012	36	-0,02	17.9.2012	37	-0,02	17.6.2012	35	-0,01	***Průměrná cena***	**36,3**	
27.12.2012	36	0	14.9.2012	37	0	14.6.2012	36	-0,07			

Zdroj: (14)

Příloha F: *Přehled nákupů a spotřeby vybraného vozidla*

Rok: **2012**

Měsíc	*Nákup PHM množství*	*Nákup PHM částka s DPH*	*Nákup PHM částka bez DPH*	*Průměrná spotřeba*
leden	978,00 l	36 284,10 Kč	30 236,76 Kč	11,20 l/100 km
únor	771,00 l	28 271,50 Kč	23 559,58 Kč	11,27 l/100 km
březen	859,51 l	31 911,80 Kč	26 593,15 Kč	10,61 l/100 km
duben	827,01 l	30 642,20 Kč	25 535,16 Kč	10,33 l/100 km
květen	678,02 l	24 985,17 Kč	20 820,98 Kč	10,59 l/100 km
červen	913,00 l	32 567,10 Kč	27 139,25 Kč	10,77 l/100 km
červenec	876,00 l	31 956,48 Kč	26 630,41 Kč	10,88 l/100 km
srpen	828,00 l	30 735,80 Kč	25 613,16 Kč	10,64 l/100 km
září	668,02 l	24 873,90 Kč	20 728,25 Kč	10,63 l/100 km
říjen	748,01 l	27 869,78 Kč	23 224,84 Kč	10,88 l/100 km
listopad	602,00 l	21 600,70 Kč	18 000,58 Kč	10,63 l/100 km
prosinec	802,00 l	28 806,21 Kč	24 005,18 Kč	11,27 l/100 km
Celkem	9 550,57 l	350 504,74 Kč	292 087,30 Kč	10,82 l/100 km

Příloha F – Obrázek 1: Výkaz o provozu vozidla

Zdroj: Autor