# Česká zemědělská univerzita v Praze

# Provozně ekonomická fakulta


## Diplomová práce

# Okružní dopravní problém v agrární firmě


**Obor**: .....................PaEN

**Ročník**: .................2.

**Vypracoval**: .......... Yevgen Ivanov

**Vedoucí práce**: .....Ing. Roman Kvasnička, Ph. D.

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Provozně ekonomická fakulta

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Yevgen Ivanov

Provoz a ekonomika

Název práce

**Okružní dopravní problém v agrární firmě**

Název anglicky

**Travelling salesman problem in agricultural company**

---

**Cíle práce**

Hlavním cílem práce je navrhování okružních jízd pro agrární společnost AMAGRO s.r.o., která chce nově zavést dopravní oddělení do útvaru podniku, navrhovaná trasa musí mít co nejmenší možnou vzdálenost. Na základě toho je nutné posoudit rentabilitu založení vlastního dopravního oddělení.

**Metodika**

V teoretické časti bude popsaná obecná formulace problému a různé modifikace úlohy. Budou rozpracované metody řešení víceokruhových dopravních úloh, které je možné využít v existujících podmínkách, včetně silných a slabých stránek každé jednotlivé metody.

V praktické části bude matematický a slovesně popsaná úloha, kterou je nutné řešit a na základě toho bude provedená aplikace vybraných metod do praxe. Každá metoda bude konkrétně popsaná s následnou analýzou každého kroku. Bude provedena ekonomická analýza včetně nákladu na zahájení nového systému a na základě toho bude navržen nový systém.

Na začátku budou shromážděná data z existujícího podniku a rozpracovaná struktura útvaru, hlavní a vedlejší činnosti, podmínky zákazníků. Zvlášť bude proveden popis a charakteristika dopravních prostředku včetně kapacity vybraného modelu, silné a slabé stránky, omezení vozu. Součásti diplomové práce je charakteristika výrobků vybrané společnosti a nákladovost využívaní služeb jiné firmy. Bude provedená ekonomická analýza a rentabilita zavedení dopravního oddělení do podniku a porovnání jednotlivých metod řešení úlohy obchodního cestujícího v určité situaci. Na základě toho bude nabízená optimální struktura podniku.

V případě odmítnutí výsledků práce firmou bude navržená nejlepší možná metoda řešení problému a posudek, zda zavedení dopravního systému a nákup vlastního vozidla bude lepší než pokračování spolupráce s jinou logistickou firmou, cílem které je rozvoz objednávek od zákazníků. Posudek bude vytvořen na základě časové a ekonomické úspornosti.

**Doporučený rozsah práce**

60-80 s.

**Klíčová slova**

víceokruhový dopravní problém, NP-úplné úlohy, matematický model, Clarkeova – Wrightova metoda, metoda nejbližšího souseda

---

**Doporučené zdroje informací**


Antošová, R., Holoubek, J. Využití Mayerovy Metody při Řešení Víceokruhového Dopravního Problému. Sborník příspěvku z mezinárodního vědeckého semináře Kvalitativní Metody V Ekonomii 2010. 1. Vyd. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2010,s. 100-109 ISBN 978-807-375-438-9

Applegate, D.L., Bixby, R.E., Chvátal, V., Cook, J.W.: The Traveling Salesman Problem: A Computational Study, Princeton University Press, 2006. ISBN 978-14-008-4110-3

Holoubek, J. Ekonomicko-matematické metody. 2. vydání. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2010. s. 150-158 ISBN 978-80-7375-411-2

Janáček ,J.: Optimalizace Na Dopravních Sítich, vyd. 2. Žilina: EDIS,2006. ISBN 90-80-70-586-0

Pelikán, J. Praktikum z Operačního výzkumu. 1. vydání, Praha: VŠE, 1992. s. 80-86 ISBN 80-7079-135-7.

Toth P., Vigo D., 1997; An exact algorithm for the vehicle routing problem with the backhauls; Transportation science; V31 S:372-385


---

**Předběžný termín obhajoby**

2017/18 LS – PEF

**Vedoucí práce**

Ing. Roman Kvasnička, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra systémového inženýrství

Elektronicky schváleno dne 12. 3. 2018

**doc. Ing. Tomáš Šubrt, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 13. 3. 2018

**Ing. Martin Pelikán, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 15. 03. 2018

## Čestné prohlášení

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

V Praze dne........................

Podpis studenta

## Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu mé diplomové práce Ing. Romanu Kvasníčkovi, Ph. D., za cenné připomínky a odborné vedení. Dále bych rád poděkoval panu Lubomíru Rákosovi, řediteli firmy AMAGRO s.r.o. za spolupráci a poskytnutou dokumentaci.

# Okružní dopravní problém v agrární firmě


## Souhrn

Diplomová práce je zaměřena na řešení okružního dopravního problému ve společnosti AMAGRO s.r.o., která se zabývá výrobou a prodejem hnojiv na českém trhu. Cílem práce je prozkoumat požadavky zákazníků, všechny druhy omezení, existující náklady na přepravu a strukturu okruhů, pomocí které společnost může uspokojit poptávku na trhu vlastními dopravními prostředky. Součástí práce je taky analýza existujících nákladů na využití služeb jiné dopravní firmy a nákladů při realizaci rozvozu vlastními silami.

V první části práce je prozkoumána teorie problému, základní pojmy a metody pro řešení ODP. Důraz je kladen na pochopení jednotlivých modifikací úloh obchodního cestujícího.

V praktické části práce je analyzována struktura omezení, se kterými společnost při zahájení dopravy počítá, provedená analýza nákladovosti založení nového oddělení včetně nákladu spojeného s fungováním nabízených okruhů. Pro řešení víceokruhového dopravního problému je použita Clarkeova-Wrightova metoda a metoda nejbližšího souseda s respektováním jednotlivých omezení.

Na závěr je nabízena struktura okruhů s nejmenší celkovou vzdáleností a rentabilita rozvozu objednávek vlastním vozem z dlouhodobého hlediska.



**Klíčová slova:** víceokruhový dopravní problém, NP-úplné úlohy, matematický model, Clarkeova-Wrightova metoda, metoda nejbližšího souseda.

# Travelling salesman problem in Agricultural Company


**Summary**

The subject of the Diploma Thesis is the solution of an travelling salesman problem in the AMAGRO s.r.o. company which focuses on production and sale of fertilizers on the Czech market. The aim of the thesis is to examine customer requirements, different kinds of constraints, as well as existing transport costs, and to offer a structure of circuits through which the company can satisfy the market demand using its own means of transport. As a part of the thesis, there is also an analysis of both the existing costs of using another transport company's services and the costs of self-delivery.

In the first part of the thesis, there is theoretical information about the problem, basic terms and methods of solving the travelling salesman problem. Emphasis is placed on understanding the individual modifications of this problem.

The practical part of the thesis includes structural analysis of the constraints, that the company is expecting to occur upon the launch of the transport, and analyzes the expenses of the new department establishment including the costs associated with the operation of the offered circuits. To solve the orbital traffic problem, both the Clarke and Wright method and the simple linkage method were used, with respect to particular constraints.

Finally, a structure of circuits with the shortest overall distance is stated together with long-term profitability of the self-delivery.



**Keywords**: multiple salesman problem, NP-hard problems, mathematical model, Clarke and Wright method, Closest Neighbor algorithm

# Obsah

## SEZNAM TABULEK

## SEZNAM OBRÁZKŮ

# 1 Úvod

Optimalizace cest a s tím spojená minimalizace nákladů a času na dopravu je otázkou každého dopravního podniku, protože řešení tohoto problému vede k prospěchu a růstu konkurenční schopnosti na trhu. Řešit tuto otázku můžeme pomocí okružního dopravního problému.

Okružní dopravní problém je nalezení nejkratší možné cesty procházející všemi zadanými body na mapě, přičemž každý bod je možné navštívit právě jednou.

Pro řešení dané úlohy je nutné předem vědět vzdálenosti mezi každdou dvojicí míst. Říkáme tomu také problém obchodního cestujícího nebo „traveling salesman problem“ (TSP). Z definice můžeme udělat závěr, že tento problém má velmi úzkou specializaci, ale není to pravda. Problém se vyskytuje například při směrování teleskopu, rentgenových paprsků a laserů, při třídění dat, psaní hudby, testování mikroprocesorů apod. Navíc většina lidí řeší tento problém skoro každý den, například při cestování autem, kde je nutné projet co nejvíce zajímavých míst co nejrychleji. Kvůli tomu řešení okružního dopravního problému je velmi důležitá otázka našeho času, kterou dosud nikdo nemůže řešit. Zásadní je otázka našeho drahocenného času, která se nedá řešit jinak než okružní dopravou, která by mohla vyřešit dopravní problémy. Zvláštnost problému je v tom, že ještě neexistuje žádná metoda, která by sloužila jako univerzální vzorek pro řešení této úlohy. Náročnost spočívá v tom, že s počtem míst, které je nutné navštívit, exponenciálně roste počet operací, které je nutné provést pro nalezení optimálního výsledku, proto nejrychlejší počítač dokáže vypočítat úlohy se 100 místy až za 100 000 let.

V případě úlohy TSP hledáme optimální řešení, nikoliv minimální. Je to spojeno s tím, že kvůli náročnosti dané úlohy vzniklo tvrzení: pokud nikdo nedokázal, že existuje cesta kratší než původní, budeme brát tu původní cestu jako optimální.

V praxi se velmi často setkáváme s dodatečnými podmínkami na dodání zboží, proto podle složitosti okružní dopravní problém můžeme rozdělit na jednookruhový a víceokruhový. Jednookruhový problém je jednodušší než víceokruhový. Jednoduchost jednookruhové úlohy spočívá v neexistenci dodatečných podmínek a cesta je realizována jen jedním okruhem. V případě víceokruhového dopravního problému použití jednoho okruhu nestačí. Je to spojeno s omezeními na jednotlivých trasách okruhu, kapacitními omezeními, požadavky na rozdělení zákazníků do skupin apod.

ODP se nejvíce uplatňuje v dopravních a speditérských firmách, kde hledání nejkratších a nejlevnějších cest je podstatou fungování celé firmy. Proto řešení této úlohy (konkrétně víceokruhového problému) je nejdůležitější část strategického plánování při založení dopravní společnosti. Metod řešení ODP existuje velké množství a jejich uplatňování záleží na omezujících podmínkách existujících v daném okruhu.

Nalezení univerzální metody řešení ODP by umožnilo v dopravě zmenšit výdaje na provoz autodopravy, na logistické outsourcingové služby, zkrátit čas dodání zboží, zvětšit rozsah dodání zboží, zvětšit zájem potenciálních partnerů a následně zvětšit zisk a účelnost dopravy celkem.

# 2 Cíl a metodika

Cílem práce je navrhování okružních jízd pro agrární společnost AMAGRO s.r.o., která chce nově zavést dopravní oddělení do útvaru podniku. Navrhované trasy musí mít co nejmenší možnou vzdálenost. Zároveň je nutné posoudit rentabilitu nákupu vlastního dopravního prostředku.

Bude kladen důraz na víceokruhový dopravní problém a jeho modifikace. Pro účely diplomové práce budou používané známé metody řešení víceokruhových dopravních úloh, konkrétně Clarkeova-Wrightova metoda a metoda nejbližšího souseda.

V teoretické časti bude popsána obecná formulace problému a různé modifikace úlohy. Budou rozpracovány metody řešení víceokruhových dopravních úloh, které je možné využít v existujících podmínkách, včetně silných a slabých stránek každé jednotlivé metody. Při výběru jednotlivé metody budeme uvažovat:

1) Počet míst
2) Celkovou délku cest
3) Kapacitu vozidel
4) Způsob rozmístění míst
5) Časové omezení
6) Požadavky zákazníků

Bude matematicky a slovesně popsaná úloha, kterou je nutné řešit, a na základě toho bude provedena aplikace vybraných metod do praxe. Každá metoda bude konkrétně popsána s následnou analýzou každého kroku. Bude provedena ekonomická analýza včetně nákladu na zahájení nového systému a na základě toho bude navržen nový systém.

Na začátku budou shromážděna data z existujícího podniku a rozpracována struktura útvaru, hlavní a vedlejší činnosti, podmínky zákazníků. Zvlášť bude proveden popis a charakteristika dopravních prostředků včetně kapacity vybraného modelu, silné a slabé stránky, omezení vozu. Součásti diplomové práce je charakteristika výrobků vybrané společnosti a nákladovost využívání služeb jiné firmy. Bude provedena ekonomická analýza a zjištěna rentabilita zavedení dopravního oddělení do podniku, dále dojde k porovnání jednotlivých metod řešení úlohy obchodního cestujícího v určité situaci. Na základě toho bude znázorněna optimální struktura podniku.

V případě odmítnutí výsledků práce firmou bude navržena nejlepší možná metoda řešení problému a posudek, zda zavedení dopravního systému a nákup vlastního vozidla bude lepší než pokračování ve spolupráci s jinou logistickou firmou, jejímž cílem je rozvoz objednávek od zákazníků. Posudek bude vytvořen na základě časové a ekonomické úspornosti.

# 3 Okružní dopravní problém

Cílem této kapitoly je prozkoumat literaturu, vytvořit seznam nejdůležitějších pojmů a poznatků, na základě kterých bude řešen existující problém v podniku.

## 3.1 Obecná charakteristika ODP

Obecná formulace okružního dopravního problému, nebo jak jej nazývají v zahraniční literatuře Travelling Salesman Problem (TSP), zní takto: „*Je dána množina M a pro každé dva její prvky x, y je dáno číslo d (x,y), které budeme nazývat vzdálenost x a y. Cílem je najít, v jakém pořadí má obchodní cestující projet prvky množiny M tak, aby prošel každým městem právě jednou a pak se vrátil do místa, kde cestu začal, a urazil při tom vzdálenost co možná nejmenší.*“ [4]

Okružní dopravní problém patří ke třídě NP-úplných úloh. „*NP je třída rozhodovacích problémů takových, že L ∈ NP právě tehdy, když ∃ problém K ∈ P a ∃ polynom g takový, že pro x platí L(x) = 1 ⇔ ∃ nápověda y: |y| ≤ g (|x|) a současně K (x,y) = 1.*“ [5]

Třída NP znamená, že ten problém se skládá z takových úloh, jejichž řešení lze v polynomiálním čase zkontrolovat, následkem toho je možnost ověřit, zda navržená cesta je kratší než původní optimální. [1]

Úplnost toho problému spočívá v tom, že případná existence dobrého algoritmu pro tento problém už zaručuje existenci dobrého algoritmu pro všechny další problémy ve třídě NP. Pokud to někdo dokáže vyřešit, tak prokáže že NP=P (třídě úloh, pro které existuje „dobré“ řešení). Tyto třídy nejsou totožné, proto názor na řešení jednotlivých úloh uvnitř třídy je různý. Když bude vysvětleno že NP=P, změní se názor na okružní dopravní problém a postupy při hledání optimální cesty. Proto existuje pojem NP-obtížná úloha, který se používá při situaci neurčitosti, zda úloha je NP-úplná. Tento pojem je možné použít taky pro všechny úlohy třídy NP. [2]

Metod k řešení ODP existuje obrovské množství a využití jednotlivé metody záleží na formulaci úlohy a typu existujících omezujících podmínek, které lze klasifikovat na interní podmínky zavedené zkoumaným objektem, jako jsou například kapacita vozidel, délka okruhu, a externí podmínky kladené subjektem podstatného nebo širšího okolí. Sem můžeme zařadit poptávku jednotlivého místa, které je nutné navštívit a časová okna. [3]

Je nutné říct, že vědci bojují s problémem obchodního cestujícího už dlouho a pro pochopení tohoto problému a jednotlivých postupů při řešení je nutné sáhnout do historie.

## 3.2 Historické poznatky

Poprvé problém obchodního cestujícího definoval Karl Menger v roce 1930 a v té době tato úloha byla spojena s tím, jak projet všechny státy v USA co nejrychleji a vrátit se zpátky do Washingtonu. Problém vznikl, když bylo stanoveno, že řešení úlohy „hrubou silou“ (probrat všechny možné varianty) bude trvat mnoho let. Následkem toho se objevila snaha využít metodu nejbližšího souseda, během které hledali bod, který je nejblíže k poslednímu zvolenému bodu, ale zase se potkali s neúspěchem, protože uvažovali jen jeden krok dopředu a dorazili tak do místa, odkud už nemohli jet nikam dál, pouze se vrátit zpátky na cestu, kterou již projeli.

Za několik let, když úloha byla konečně vyřešena metodou nejbližšího souseda, řešení bylo přijato jako optimální. Důsledkem pochopení nedokonalosti využívaných metod bylo využití hladového algoritmu, který probírá všechny hrany od té nejkratší k nejdelší a přidá novou hranu jen tehdy, když spojí dva existující úseky cesty do delšího úseku (používá teorii grafu). Když úloha byla vyřešena, výsledek byl lepší než při metodě nejbližšího souseda. Za několik let použili metodu kolíků a provázků. Tak s pomocí dřevěné makety náhodou objevili nejlepší dosud známé řešení. Tento příklad nám vysvětluje, že se optimální řešení ODP může objevit náhodou a vždycky existuje možnost ho najít. Platilo to před 100 lety a platí to taky dnes. [2]

## 3.3 Jednookruhová dopravní úloha

Jednookruhová dopravní úloha je nejjednodušším příkladem NP-úplných úloh. Neexistence dodatečných podmínek umožňuje najít optimální řešení úlohy pomocí jednoho okruhu. Bohužel v praxi málokdy můžeme potkat takové úlohy. Pro řešení jednokruhové dopravní úlohy je nutné specifikovat účelovou funkci, obecné omezující podmínky a na základě toho sestavit matematický model úlohy.

*Matematický model* je abstraktní forma úlohy, zapsaná pomocí matematického aparátu a vyjadřující vztahy existující mezi proměnnými v reálném světě.

Na začátku uvedeme proměnné, které budeme používat při řešení jednookruhové dopravní úlohy: [6]

1) $\boldsymbol{N} \in \mathbb{N}$ – vyjadřuje celkový počet míst, které je nutné navštívit a který je elementem množství $\mathbb{N}$ (celkový možný počet míst).
2) $\boldsymbol{c_{ij}} \in R_o^+$; $\boldsymbol{i,j} \in (0, \dots, N)$ – vyjadřuje celkové náklady trasy mezi i a j místy, které jsou elementem celkových možných nákladů.
3) Ačkoliv se jedná o specifické úlohy, je nutné uvést řádu dalších pomocných proměnných:
4) $\boldsymbol{x_{ij}} \in (0, 1)$ ; $\boldsymbol{i,j} \in (0, \dots, N)$ – vyjadřuje možnost existence trasy mezi i a j místem.
5) $\boldsymbol{B_i} \in (1, \dots, N)$ – vyjadřuje pořadí, ve kterém bude navštíveno i místo.
6) $\boldsymbol{B_j} \in (1, \dots, N)$ – vyjadřuje pořadí, ve kterém bude navštíveno j místo.

Účelová funkce nám ukazuje to, čeho chceme dosáhnout řešením úlohy. V daném případě chceme minimalizovat vzdálenost mezi jednotlivými místy:

$$z = \sum_{i=0}^{N} \sum_{j=0}^{N} c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min \qquad (3.1).$$

Omezující podmínky ovlivňují hodnoty řešení zadaných proměnných a jsou dané vlivem okolního prostředí:

$$\sum_{i=1}^{N} x_{ij} = 1, j \in (1, \dots, N), i \neq j \qquad (3.2),$$

$$\sum_{j=1}^{N} x_{ij} = 1, i \in (1, \dots, N), i \neq j \qquad (3.3),$$

$$B_i - B_j + N x_{ij} \leq N - 1, j \in (1, \dots, N), i \in (1, \dots, N), i \neq j; \qquad (3.4).$$

Omezující podmínka (3.2) ukazuje, že každé místo bude navštěvováno jednou, podmínka (3.3) ukazuje, že každé místo bude opuštěno jednou, omezující podmínka (3.4) se vyhýbá přítomnosti subcesty.

Obecně v jednookruhové dopravní úloze předpokládáme, že matice vzdálenosti je symetrická, nebo tomu říkáme Euklidova okružní dopravní úloha.

## 3.4 Víceokruhová dopravní úloha

Víceokruhová dopravní úloha je rozšířením obecné jednookruhové dopravní úlohy. K rozšíření dojde, když jeden okruh nestačí a je nutné přidat k původnímu modelu další omezující podmínky. V praxi by to znamenalo, že je nutné vytvořit další okruh v době, kdy bude překročena kapacita jednoho okruhu.

Řešením takové úlohy je uspokojení určitých potřeb všech odběratelů při splnění omezujících podmínek s předpokladem optimalizace času a minimálním možným využitím všech vstupů.

Základní klasifikace víceokruhových dopravních úloh je následující: [14]

1) *Úlohy se stanoveným počtem vozidel*. Může být přesně definována na začátku nebo být stochastickou proměnnou, která se bude měnit s určitou pravděpodobností.
2) *Úlohy se stanoveným počtem výchozích míst*. Existuje obrovské množství kombinací z hlediska počtu výchozích míst. Jedná se o možnosti výběru jednoho výchozího místa – depa, nebo většího počtu těchto míst. Vozidla mohou být umístěna v jednom depu, nebo být rozprostřena do více středisek. Každé vozidlo se může vrátit do depa, ze kterého začínalo cestu, nebo do jiného.
3) *Úlohy s časovými okny*. Existence nebo neexistence časových oken má obrovský vliv na formulaci víceokruhového problému. Časová okna vstupují do podniku jako interní data od zákazníků a podnik na ně nemá vliv.
4) *Úlohy s fixními poplatky za vozidlo*. Mnohdy jsou náklady spojené s udržováním vozidla a mzdami řidičů součástí účelové funkce a cílem řešené úlohy.
5) *Kapacitně omezené úlohy*. Občas na úsecích tras vznikají omezení na celkovou hmotnost vozu, nebo kapacita je přímo úměrná nosnosti vozidla.
6) *Další typy úloh.*

Uvedeme matematický model pro řešení základní víceokruhové dopravní úlohy: [6]

1) $\boldsymbol{N} \in \boldsymbol{\mathbb{N}}$ – vyjadřuje celkový počet míst, které je nutné navštívit a který je elementem množství $\boldsymbol{\mathbb{N}}$ (celkový možný počet míst).
2) $\boldsymbol{P} \in \boldsymbol{\mathbb{N}}$ – vyjadřuje maximální počet míst, které lze navštívit během jednoho cyklu.
3) $\boldsymbol{T} \in \boldsymbol{\mathbb{N}}$ – vyjadřuje počet cyklů v úloze.
4) $\boldsymbol{c_{ij}} \in R_o^+$; $\boldsymbol{i,j} \in (0, .... , N)$ – vyjadřuje celkové náklady trasy mezi i a j místy, která jsou elementem celkových možných nákladů.

Ačkoliv se jedná o specifickou úlohu, je nutné uvést řádu dalších pomocných proměnných:

5) $\boldsymbol{x_{ij}} \in (0, 1)$ ; $\boldsymbol{i,j} \in (0, .... , N)$ – vyjadřuje možnost existence trasy mezi i a j místy.

6) $\boldsymbol{B_{iz}} \in (1, \dots , P)$ – vyjadřuje pořadí, ve kterém bude navštíveno i-té místo v rámci z-ého cyklu.

7) $\boldsymbol{B_{jz}} \in (1, \dots , P)$ – vyjadřuje pořadí, ve kterém bude navštíveno j-té místo v rámci z-ého cyklu.

Účelová funkce úlohy je stejná jako v případě jednookruhové dopravní úlohy, protože mají stejný cíl:

$$z = \sum_{i=0}^{N} \sum_{j=0}^{N} c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min \qquad (3.2.1).$$

Omezující podmínky se liší a jsou komplikovanější než v případě jednookruhové úlohy.

$$\sum_{i=1}^{N} x_{ij} = 1,\ j \in (1, .... , N),\ i \neq j; \qquad (3.2.2),$$

$$\sum_{j=1}^{N} x_{ij} = 1,\ i \in (1, .... , N),\ i \neq j \qquad (3.2.3),$$

$$B_{iz} - B_{jz} + N_j x_{ij} \leq N - 1,\ j \in (1, .... , N),\ i \in (1, .... , N),\ i \neq j; \qquad (3.2.4).$$

Další omezující podmínky jsou spojené s cyklem a charakterizují počet cest ze základny *i* do základny, které se musejí rovnat počtu cyklů:

$$\sum_{j=1}^{N} x_{0j} = T; \qquad (3.2.5),$$

$$\sum_{i=1}^{N} x_{i0} = T; \qquad (3.2.6).$$

Omezující podmínka (3.2.2) ukazuje, že každé místo bude navštíveno jednou, podmínka (3.2.3) ukazuje, že každé místo bude opuštěno jednou, omezující podmínka (3.2.4) je podmínkou cyklu, omezující podmínky (3.2.5, 3.2.6) jsou podmínkami rovností cyklu.

## 3.5 TSP z hlediska teorie grafu

*Teorie grafu* je obor diskrétní matematiky zkoumající vlastnosti grafů. Je velmi specifickým oborem, proto pro pochopení teorie a řešení okružního dopravního problému je nutné uvést pojmy související s danou problematikou.

*Graf G* je uspořádanou dvojicí *(V, E)*, kde *V* označuje množinu uzlů $u_1, u_2, u_3 \dots u_n$ $(U_i,\ i = 1, 2 \dots n)$ a *E* označuje množinu hran $h_{ij}$, kde $h_{ij}$ je hrana mezi uzlem $u_i$ a $u_j$. Každý uzel má svůj *stupeň* – počet hran grafu *G*, které z něj vycházejí nebo do něj přicházejí. Podle toho dělíme stupeň grafu na vstupní a výstupní.

*Cesta P* v grafu *G = (V,E)* je posloupnost střídavě se skládající z vrcholů a hran,

$P = (v_0,e_1,v_1,e_2,...,e_k,v_k)$, kde $e_i = v_i{-}1v_i$ jsou hrany a $\{v0,v1,...,vk\} \subset V$ jsou navzájem různé vrcholy. Přidáme-li k $P$ navíc hranu $v_kv_0$, vznikne uzavřená cesta nazývaná kružnice nebo také cyklus.

*Tah* $W$ v grafu $G$ je posloupnost střídavě se skládající z vrcholů a hran, $W = (v_0,e_1,v_1,e_2,...,e_k,v_k)$, kde $e_i = v_i{-}1v_i$ jsou navzájem různé hrany.

*Úplný* je neorientovaný graf $K_n$ s celkovým počtem vrcholů $n$, ve kterém každé dva vrcholy jsou spojené hranou.

*Kostra grafu K* je libovolný faktor grafu $G$, který je stromem, přičemž *srom S* je souvislý graf $G$, který neobsahuje kružnici.

*Orientovaný* je graf $G = (V,E)$, ve kterém hrany mají stanovený určitý směr a zároveň délka $c_{ij} \neq c_{ji}$ (v případě existence zpětné cesty). V takovém případě *neorientovaným* grafem nazýváme takový graf, ve kterém není stanoven směr cesty s $u_i$ do $u_j$, nebo orientovaný graf, ve kterém $c_{ij} = c_{ji}$.

*Tah* $W$ v grafu $G$ je posloupnost střídavě se skládající z vrcholů a hran, $W = (v_0,e_1,v_1,e_2,...,e_k,v_k)$, kde $e_i = v_i{-}1v_i$ jsou navzájem různé hrany.

*Eulerovský tah* je tahem, který obsahuje všechny hrany grafu. Při hledání Eulerovského tahu je pro nás podstatné, zda je graf orientovaný nebo neorientovaný. V případě hledání uzavřeného tahu v neorientovaném grafu musí být všechny uzly sudého stupně. V opačném případě právě 2 uzly musí být lichého stupně (otevřený tah). Při zkoumání uzavřeného tahu v orientovaném grafu, všechny uzly musí mít stejný vstupní a výstupní stupeň, v takovém případě mluvíme o uzavřeném tahu. V otevřeném tahu pro právě 2 uzly musí platit:

$$deg_u\,(b) = deg_u\,(a) + 1$$

$$deg_v\,(b) = deg_v$$

Na základě uvedených pojmů definujeme úlohou obchodního cestujícího z hlediska teorie grafu: *Nechť $G = (V,E)$ je graf (orientovaný nebo neorientovaný). Označme $V = \{1, 2, . . . , n\}$. Pro každou hranu $(i, j) \in E$ resp. $\{i,j\} \in E$ je dána její cena $c_{ij}$. Potom úlohou obchodního cestujícího je nalézt hamiltonovský cyklus v $G$, jehož součet cen hran je nejmenší možný.* [4]

*Hamiltonův cyklus* je cyklus, který obsahuje každý vrchol grafu, a to právě jednou. Problém je v nalezení nejkratší cesty, která zároveň musí mít minimální délku. Postup řešení tohoto problému musí být následující:

*V daném grafu G najdeme nejlevnější kostru K grafu G. Je-li tato kostra cestou, dostali jsme nejkratší hamiltonovskou cestu v grafu G. Není-li tato kostra cestou, tj. má-li vrchol v stupně aspoň 3, zakážeme vždy jednu hranu incidentní s v. Tím rozvětvíme danou úlohu na k podúloh, kde k je stupeň vrcholu v. Každou z podúloh řešíme podobně.*

*Cena již získané hamiltonovské cesty slouží jako horní odhad délky nejkratší hamiltonovské cesty. Jestliže v některé podúloze je délka minimální kostry delší nebo stejná jako délka dosud známé hamiltonovské cesty, nemusíme se danou podúlohou již zabývat – nemůžeme dostat cestu s menší délkou.* [8]

# 4 Omezení v okružní dopravní úloze

Okružní dopravní úloha je úlohou orientovanou do praxe, protože řeší otázku optimalizace existujících cest a následně minimalizace nákladů na dopravu. Každý podnik jako individuální útvar má svoje podmínky, kapacity a okruhy tras. Zkoumání a pochopení jednotlivých omezení je důležitým nástrojem fungování jakéhokoliv podniku.

Rozdělit jednotlivá omezení podle charakteristických znaků můžeme na: [7]

1) ***Počet středisek***
    a. *Jedno středisko*
    b. *Více středisek*
2) ***Velikost dopravního parku***
    a. *Jediné vozidlo*
    b. *Více vozidel*
    c. *Neomezený počet vozidel*
3) ***Čas uspokojování požadavků***
    a. *Čas není určen*
    b. *Čas je dán časovým intervalem*
    c. *Čas je pevně určen*
4) ***Poloha požadavků v dopravní síti***
    a. *V uzlech*
    b. *Na úsecích*
    c. *V uzlech a úsecích*
5) ***Typ dopravního parku***
    a. *Homogenní*
    b. *Heterogenní*
6) ***Povaha požadavků***
    a. *Deterministická*
    b. *Stochastická*
7) ***Typ dopravní sítě***
    a. *Neorientovaná*
    b. *Orientovaná*
    c. *Smíšená*
8) ***Kvalita řešení***

a. *Minimaxové kritérium*
b. *Minimální počet tras*
c. *Minimální součet ohodnocení úseků projetých vozidly*
d. *Smíšené kritérium*

9) ***Operace prováděné u zákazníků***
a. *Pouze nakládka*
b. *Pouze vykládka*
c. *Obě operace*

10) ***Maximální doba pro projetí jedné trasy***
a. *Stejná pro všechna vozidla*
b. *Každé vozidlo má jinou dobu*
c. *Není zadána*

## 4.1 Kapacitně omezená úloha

Kapacitně omezená úloha obecně patří k problému okružních jízd, kde k uspokojení požadavku míst *n-1* máme k dispozici omezené množství vozidel $V \in (2, \dots, k)$, kde *k* je předem dané konečné číslo. Z formulace problému můžeme udělat závěr, že množství vozidel bude vždycky více než jedno. Podmínky této úlohy jsou:

1) Předem známá poptávka od každého místa
2) Stejná kapacita všech vozidel
3) Všechna vozidla mají jedno výchozí depo

Úlohou tohoto problému je navštívit jednou každé místo a uspokojit jeho požadavek s co nejmenšími náklady. Formulace kapacitně omezené úlohy zní takto: Mějme úplný graf $G = (V, A)$, kde *V* je množina *n* vrcholů, $V \in \{0, \dots, n\}$, kde 0 je výchozí depo a *A* je množina hran. Každá hrana $(i, j) \in A$ má svoji cenu (vzdálenost) $c_{ij}$. Mnohdy matice vzdálenosti $c_{ij}$ splňuje trojúhelníkovou nerovnost: [9]

$$c_{ik} + c_{kj} \geq c_{ij}, \ (i, j, k) \in V \qquad (4.1.1).$$

Celkový počet vozidel ve vozovém parku označíme *K*, přičemž každé má stejnou kapacitu $Q_1 = Q_2 = \dots = Qn$. Poptávku každého místa $i \in \{1, \dots, n\}$ označíme $d_i \geq 0$. Pro depo definujeme hodnotu $d_i = 0$. Binární proměnná $x_{ij}$ ukazuje, zda existuje optimální cesta mezi *i* a *j*. Následně matematický model řešení kapacitně omezeného problému:

*Účelová funkce* vyjadřuje optimalizaci vzdálenosti mezi místy:

$$z = \sum_{i=0}^{N} \sum_{j=0}^{N} c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min \qquad (4.1.2).$$

Omezující podmínky zadávají přesné hodnoty proměnných na základě definovaných podmínek: [9]

$$\sum_{i=0}^{N} x_{ij} = 1, j \in (1, \ldots, N), i \neq j \qquad (4.1.3),$$

$$\sum_{j=0}^{N} x_{ij} = 1, i \in (1, \ldots, N), i \neq j \qquad (4.1.4),$$

$$\sum_{i=0}^{N} x_{i0} = K, i \in (1, \ldots, N) \qquad (4.1.5),$$

$$\sum_{j=0}^{N} x_{0j} = K, j \in (1, \ldots, N) \qquad (4.1.6),$$

$$d_i \leq u_i \leq Q, i \in (1, \ldots, N), \qquad (4.1.7),$$

$$x_{ij} \in \{0;1\}, i, j \in (1, \ldots, N); \qquad (4.1.8),$$

$$u_i - u_j + d_j \leq Q(1 - x_{ij}), i, j \in (1, \ldots, N); \qquad (4.1.9).$$

Omezující podmínka (4.1.3) ukazuje, že každé místo bude navštíveno jednou; podmínka (4.1.4) ukazuje, že každé místo bude opuštěno jednou; omezující podmínky (4.1.5, 4.1.6) říkají, že z depa vyjede a vrátí se K vozů; omezující podmínka (4.1.9) eliminuje existence subcyklu; omezující podmínka (4.1.8) je podmínkou hodnot binární proměnné $x_{ij}$.

## 4.2 Úloha s časovými okny

Hlavní cíl dané úlohy se nemění, což znamená, že obchodní cestující musí projet všemi zadanými místy pravě jednou, uspokojit jejich požadavky a s co nejmenšími náklady se vrátit do výchozího místa. Rozdíl je v tom, že vstupují nová omezení ve tvaru časových oken. *Časové okno* – určitý čas, ve kterém obchodní cestující musí navštívit konkrétní místo. Nadefinujeme tuto úlohu takto: mějme matici vzdálenosti $C$ mezi $n$ počtu míst. Každé místo $n\text{-}1$ je nutno navštívit jednou, přičemž cesta musí začínat a končit v místě $1$. Pro každé místo $i$ je stanoven požadovaný začátek a konec návštěvy, které označíme $a_i$ a $b_i$. Následně stanovený časový interval pro každé i-té místo $\langle a_i, b_i \rangle$. Kromě matice vzdálenosti $C$ stanovíme matici $D$, která se skládá z jednotlivých časů přejezdů mezi uzly $d_{ij}$. Proměnná $x_{ij}$ označuje, zda mezi jednotlivými uzly existuje optimální cesta. Musíme zavést další proměnnou $t_i$, která označuje čas, v němž je navštíven uzel $i$. Zavedeme taky proměnnou $M$, která označuje libovolnou vysokou konstantu. [8]

Účelová funkce vyjadřuje snahu minimalizovat celkovou vzdálenost mezi uzly a bude mít tvar: [8]

$$z = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} c_{ij} x_{ij} \rightarrow min \qquad (4.2.1).$$

Omezující podmínky v TSP s časovými okny budou vypadat následně:

$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = 1, i \in (1, \dots, N), i \neq j;$ (4.2.2),

$\sum_{i=1}^{n} x_{ij} = 1, j \in (1, \dots, N), i \neq j;$ (4.2.3),

$x_{ij} \in \{0;1\}, i, j \in (1, \dots, N);$ (4.2.4),

$t_1 = 0;$ (4.2.5),

$a_i \leq t_i \leq b_i, i \in (2, \dots, N), i \neq j;$ (4.2.6),

$t_i + d_{ij} - M(1-x_{ij}) \leq t_j;$ (4.2.7),

*kde* $i \in (1, \dots, N), j \in (2, \dots, N), i \neq j.$

Další možností modifikace této úlohy je možnost zavést dobu obsluhy *i*-tého místa *Si*, v takovém případě místo podmínky (4.2.7) zavedeme novou:

$t_i + S_i + d_{ij} - M(1-x_{ij}) \leq t$ (4.2.8),

*kde* $i \in (1, \dots, N), j \in (2, \dots, N), i \neq j.$

Omezující podmínka (4.2.2) ukazuje, že každé místo bude navštíveno jednou; podmínka (4.2.3) ukazuje, že každé místo bude opuštěno jednou; omezující podmínka (4.2.4) říká, že čas odjezdu nastavíme na 0; omezující podmínka (4.2.6) musí platit pro všechny uzly kromě prvního a znamená, že čas, pro který ji nastavíme, spadá do požadovaného časového okna; omezující podmínka (4.2.7) je podmínkou, že pokud pojedeme z *i* do *j*, tak nenavštívíme uzel *j* dříve, než kolik činí čas návštěvy uzlu včetně doby přejezdu z *i* do *j*.

Podmínkou úlohy je respektování časových oken konkrétního zákazníka, proto vždycky dojde k jedné ze dvou situací:

Vozidlo zůstane v místě *i* a bude čekat na takový čas odjezdu $e_j$ - $t_{ij}$, aby dorazilo do místa *j* přesně v dobu otevření časového okna.

Po ukončení obsluhy místa *i* vozidlo odjede do místa *j* a bude čekat na zahájení obsluhy $e_j$ u konečného zákazníka.

## 4.3 Úloha s více středisky

Úloha obchodního cestujícího s více středisky je modifikace obyčejné úlohy TSP, ve které je povolen více než jeden cestující. Výchozím předpokladem pro řešení úlohy je matice vzdálenosti *M* mezi jednotlivými místy a jedno depo – výchozí bod, ve kterém se nachází *m* množství cestujících. Úlohou daného problému je minimalizace celkových nákladů (vzdálenosti) na *m* cest. Existuje celá řada modifikací úlohy *m*TSP, například úloha s několika depy a fixními náklady. [14]

*Úloha s několika depy* je úloha, kde místo jednoho depa můžeme potkat fixní množství dep větší než 1. Navíc v každém z dep $j$ je umístěno $m_j$ cestujících. Ve fixní verzi této úlohy se každý cestující musí vrátit do výchozího depa, ze kterého začínal svoji cestu. Ve variabilní verzi každý cestující může dokončit svoji cestu v libovolném depu, ale množství těch cestujících, které vyjelo z jednoho depa, se musí rovnat množství cestujících, které se vrátilo do depa $d$.

*Úloha s fixními náklady* je úloha, kde určité množství cestujících není stanoveno, ale musejí být stanovené fixní náklady na aktivaci každého cestujícího. Celkové náklady spočítáme jako náklady na jednoho cestujícího plus náklady na cestu.

Mějme graf $G = (V, A)$, kde $V$ je množina $n$ vrcholů a $A$ je množina hran. Každá hrana $(i, j) \in A$ má svoji cenu (vzdálenost) $c_{ij}$. Depo je vrcholem $1$ a v tomto vrcholu se nachází $m$ cestujících. Předpokládáme binární variabilitu $x_{ij}$ pro každou hranu $(i, j) \in A$, $x_{ij} \in \{0;1\}$. Pro eliminaci omezení subcesty definujeme variabilní položku $u_i$ , která označuje pozici vrcholu $i$ v cestě a definujeme proměnnou $p$, která označuje maximální počet vrcholů, které může navštívit jeden cestující. [15]

Účelová funkce v úloze obchodního cestujícího s více středisky bude mít tvar:

$$\sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ij} \rightarrow min \qquad (4.3.1).$$

Následně omezující podmínky budou mít podobu:

$$\sum_{j \in V:(1,j) \in A} x_{1j} = m \qquad (4.3.2),$$

$$\sum_{j \in V:(j,1) \in A} x_{j1} = m \qquad (4.3.3),$$

$$\sum_{i \in V:(i,j) \in A} x_{ij} = 1, \forall j \in V \qquad (4.3.4),$$

$$\sum_{j \in V:(i,j) \in A} x_{ij} = 1, \forall i \in V \qquad (4.3.5),$$

$$u_i - u_j + p * x_{ij} \leq p - 1, \forall 2 \leq i \neq j \leq n \qquad (4.3.6).$$

Omezující podmínka (4.3.2) ukazuje, že přesně $m$ cestujících opouští vrchol $1$; podmínka (4.3.3) ukazuje, že se přesně $m$ cestujících vrátí zpátky do vrcholu $1$; omezující podmínka (4.3.4) nám říká, že přesně jedna cesta vstupuje do všech vrcholů; omezující podmínka (4,3,5) nám říká, že přesně jedna cesta vystupuje ze všech vrcholů; omezující podmínka (4.3.6) je opatřením proti parciálním cyklům, kde $p$ je maximální počet míst, které může navštívit jedno vozidlo.

## 4.4 Úloha se zpětným sběrem

Podstatou této úlohy je rozdělení všech míst na dvě skupiny: Linehaul a Backhaul ($L$ a $B$). *Linehaul* – množina všech míst, které čekají na dodání určitého množství produktu. *Backhaul* – souhrn všech míst čekajících na odvoz určitého produktu. Při řešení úlohy se zpětným sběrem musíme respektovat následující pravidla: [10]

1) Celková poptávka $L$ nesmí překročit kapacitu vozidla.
2) Celková poptávka $B$ nesmí překročit kapacitu vozidla.
3) Produkty nesmí být pomíchané.
4) Uspokojení požadavků množiny $L$ má přednost a nesmí se začít odvážet, pokud existuje alespoň jedno místo $L$ s neuspokojenou poptávkou.
5) V jednom okruhu nesmí být místa pouze z okruhu $B$.

Definujeme úlohu takto: mějme orientovaný graf $G^* = (V, A^*)$, kde $V$ je množina $n$ vrcholů a $A^*$ je množina hran. $A^* \in (A_1, A_2, A_3)$, kde:

$A_1 = \{(i,j) \in A;\ i \in L_0, j \in L\}$; *– obsahuje všechny hrany z depa a hrany z množiny L,*

$A_1 = \{(i,j) \in A;\ i \in B\ ,\ j \in B_0\}$; *– obsahuje všechny hrany z depa a hrany z množiny B,*

$A_1 = \{(i,j) \in A;\ i \in L\ ;\ j \in B_0\}$; *– obsahuje všechny hrany mezi $A_1$, $A_2$.*

Každá hrana $(i, j) \in A$ má svoji cenu $c_{ij}$. Počet vozidel $K \geq max\ (K_L; K_B)$, kde $K_L = min\ (K_l)$ *– minimum nutných vozidel pro obsluhu množiny L;* $K_B = min\ (K_b)$ *– minimum nutných vozidel pro obsluhu množiny B.* $S$ jsou všechny možné množiny míst. Binární proměnná $x_{ij}$ vyjadřuje, zda mezi $i$ a $j$ existuje optimální cesta.

Matematický model úlohy má tvar:

$$\sum_{(i,j)\in A*} c_{ij}x_{ij} \rightarrow min \qquad (4.4.1),$$

$$\sum_{i=1}^{N} x_{ij} = 1, j \in V^*\backslash\{0\}; \qquad (4.4.2),$$

$$\sum_{j=1}^{N} x_{ij} = 1, i \in V^*\backslash\{0\}; \qquad (4.4.3),$$

$$\sum_{i=1}^{N} x_{i0} = K, i \in (1, \ldots, N) \qquad (4.4.4),$$

$$\sum_{j=1}^{N} x_{0j} = K, j \in (1, \ldots, N) \qquad (4.4.5),$$

$$x_{ij} \in \{0;1\}, i, j \in (1, \ldots, N); \qquad (4.4.6),$$

$$\sum_{j\in S} \sum_{i\in \Delta j\backslash S} x_{ij} \geq r(S), i, j \in (1, \ldots, N); \qquad (4.4.7),$$

$$\sum_{i\in S} \sum_{j\in \Delta i\backslash S} x_{ij} \geq r(S), i, j \in (1, \ldots, N); \qquad (4.4.8).$$

Účelová funkce (4.4.1) se snaží minimalizovat celkové náklady (vzdálenost). Omezující podmínka (4.4.2) ukazuje, že každé místo bude navštíveno jednou; podmínka

(4.4.3) ukazuje, že každé místo bude opuštěno jednou; omezující podmínky (4.4.4, 4.4.5) nám říkají, že z depa vyjede a vrátí se K vozů; omezující podmínka (4.4.7, 4.4.8) to, že rostou s počtem míst a určují uspokojení požadavků množin *L* a *B*.

## 4.5 Vzdálenostně omezená úloha

Ačkoliv v praxi je pro včasné uspokojení potřeb zákazníků velice často nutné mít v určitý čas určitý počet vozidel v depu, musíme respektovat omezení vzdálenosti tras pro jednotlivá vozidla. Jedná se spíše o omezení času, po který každé vozidlo může být na lince. Je to spojeno s tím, že předmětem dodávky můžou být potraviny, respektive jiné produkty omezené trvanlivosti, nebo jde o pracovní dobu jednotlivého řidiče. Proto musíme uvést podmínky pro tento typ úlohy: [11]

1) Všechna vozidla mají jeden výstupní bod – depo.
2) Součet požadavků ve všech místech okruhů nesmí překročit kapacitu vozidla.
3) Každý vrchol je navštíven jednou a právě jedním vozidlem.
4) Celková délka okruhu $t_{ij}$ nesmí překročit stanovenou délku *T*.

Definujeme tuto úlohu následovně: mějme graf $G = (V, A)$, kde $V$ je množina $n$ vrcholů a $A$ je množina hran. Každá hrana $(i, j) \in A$ má svoji cenu $c_{ij}$. Ke každé hraně $(i, j)$ je přiřazena délka $T \geq t_{ij} \geq 0$, kde $T \in \{1, \dots, K\}$. Čas $t_{ij}$ můžeme najít podle vzorce:

$$t_{ij} = t_{ij*} + \frac{si}{2} + \frac{sj}{2} \qquad (4.5.1),$$

*kde $S_i$ – čas obsluhy vozu v místě i,*

*$S_j$ – čas obsluhy v místě j,*

*$t_{ij}$* - doba přepravy mezi i aj.*

Zavedeme binární proměnnou $x_{ij}$ a proměnnou $K$, vyjadřující celkový počet vozidel ve výchozím depu. Na základě toho matematický tvar vzdálenostně omezené úlohy:

Účelová funkce:

$$z = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} c_{ij} x_{ij} \rightarrow min \qquad (4.5.2).$$

Omezující podmínky:

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = 1, i \in (1, \dots, N), i \neq j; \qquad (4.5.3),$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ij} = 1, j \in (1, \dots, N), i \neq j; \qquad (4.5.4),$$

$$x_{ij} \in \{0;1\};$$

$$\sum_{i=1}^{N} x_{i0} = K, i \in (1, \dots, N) \qquad (4.5.5),$$

$$\sum_{j=1}^{N} x_{0j} = K, j \in (1, \dots, N) \quad (4.5.6),$$

$$T \geq t_{ij} \geq 0, T \in \{1, \dots, K\} \quad (4.5.7).$$

Omezující podmínka (4.5.3) ukazuje, že každé místo bude navštíveno jednou; podmínka (4.5.4) ukazuje, že každé místo bude opuštěno jednou; omezující podmínky (4.5.5, 4.5.6) nám říkají, že z depa vyjede a vrátí se K vozů; omezující podmínka (4.5.7) ukazuje celkovou možnou vzdálenost jízdy.

## 4.6 Stochastická úloha

Stochastickou je jakákoliv úloha, ve které je alespoň jeden faktor úlohy náhodný, například náhodnost může být v:

Poptávce, kde požadavek každého místa je určen pravděpodobností

Přítomnosti místa na cestě v určitý den rozvozu

Času dodávky nebo obsluhy každého určitého úseku sítě

Tento typ úloh má obrovský vliv na strukturu dopravy a formulaci úlohy. V závislosti na pravděpodobnosti se může měnit počet dep, struktura vozového parku a délka časových oken.

Podstatnou podmínkou pro všechny druhy stochastických úloh je dvoufázovost řešení. Na začátku je úloha řešená s použitím existujících náhodných položek. Ve druhé fázi je prováděn opravný výpočet a definování rekurzivní funkce. [12]

Nejzkoumanější je problém s variabilní poptávkou. Podstatné je to, že distribuce je závislá na pravděpodobnosti poptávky u zákazníka. Podstatnou podmínkou tady je nezávislost poptávek u jednotlivých míst**,** což v praxi občas není pravdou. V současnosti je jedním z nejvíce studovaných problémů v logistice.

Strategie řešení tohoto problému můžeme rozdělit na klasickou a orientovanou. Klasická strategie spočívá ve vrácení se do výchozího depa. Orientovaný problém spočívá v opatřeních na cestě, což je řešením více orientovaným do praxe. [12]

Mějme úplný graf $G (V, E)$, kde $V = \{v_1, \dots, v_n\}$ *a* $E = \{(v_i, v_j): v_i, v_j \in V, i < j\}$, $Y_i$ *je celková poptávka místa* $i \in (2, \dots, n)$. Binární proměnná $x_{ij} \in (0;1), i, j > 1$ ; $x_{1j} \in (0,1,2), j \in (2, \dots, n), j > 1$. Poptávky jsou nezávislé a $Y_i \in (0, \dots, D), j \in (2, \dots, n)$. $C$ je matice nákladů $c_{ij}$, $D$ – kapacita každého vozu. [13]

$$Q(x) = \sum_{i=1}^{m} min\{Qk, 1, Qk, 2\} \quad (4.6.1).$$

Účelová funkce:

$$\sum_{i<j} c_{ij}x_{ij} + Q(x) \rightarrow \min \qquad (4.6.2).$$

Omezující podmínky:

$$\sum_{j=2}^{n} x_{1j} = 2m \qquad (4.6.3),$$

$$\sum_{i<k} x_{ik} + \sum_{j>k} x_{kj} = 2 \qquad (4.6.4),$$

*kde* $k \in (2, \dots, n)$.

$$\sum_{vi,vj \in S} x_{ij} \leq S - \lceil \sum_{vi \in S} E(Yi)/D \rceil \qquad (4.6.5),$$

*kde* $S \square V \setminus \{v1\}, 2 \leq S \leq n-2$

$$0 \leq x_{ij} \leq 1 \qquad (4.6.6),$$

*kde* $1 \leq i < j < n$;

$$0 \leq x_{0j} \leq 2 \qquad (4.6.7),$$

*kde* $j \in (2, \dots, n)$.

Účelová funkce (4.6.2) se snaží minimalizovat celkové náklady (vzdálenost) s podmínkou uspokojení předpokladané poptávky. Omezující podmínka (4.6.3) ukazuje, že auto, které vyjelo z depa, se musí vrátit zpátky; podmínka (4.6.4) ukazuje, že návrat do výchozího místa se koná po optimální cestě; omezující podmínky (4.6.5) nám říkají o optimálním uspokojení požadavků všech míst.

## 4.7 Kombinované úlohy

V praxi málokdy můžeme potkat úlohu, která bude obsahovat jeden druh modifikací. Logistické firmy se setkávají s úlohami obsahujícími *n* množství omezení ze strany zákazníků, dodavatele, odběratele, podmínek tras, kapacity vozidel. Proto vznikla potřeba definovat úlohy obsahující více modifikací a větší množství specifických omezujících podmínek.

Tím pádem se dostáváme do jedné ze známých kombinovaných úloh se sběrem, doručením a časovými okny. Cílem této úlohy je minimalizovat celkovou vzdálenost cesty s podmínkou existence požadavků v bodě sběru $i$, bodu doručení $j$ a poptávky mezi nimi $d_i$, $p_i$.

Definujeme úlohu takto: nechť $N$ je souhrn všech požadavků na transportování. Pro každý požadavek $i \in N$ existuje určité množství $q_i$, které je nutné odvézt z místa $N_i^+$ do místa $N_i^-$, přičemž $N^+ = \bigcup_{i \in N} N_i +$ a $N^- = \bigcup_{i \in N} N^-$. Každé vozidlo má svoji kapacitu $Q$, začíná a končí cestu ve vrcholu $O$ bez zboží. Pro všechny $i, j \in V$. Zavedeme proměnnou $c_{ij}$ vyjadřující vzdálenost mezi místy a $t_{ij}$ vyjadřující časovou délku cesty. Zavedeme taky časová okna $[e_i, l_i]$ pro intervaly obsluhy. Tady je nutné zavést dva druhy binárních proměnných, první $z_{ik}$ $(i \in V;\ i, k \in M)$, $z_{ik} \in (0;1)$, přičemž $z_{ik} = 1$, jestli požadavek $i$ – ého místa vejde do vozidla $k$. Druhý druh binárních proměnných je $x_{ijk}$ $(i, j \in V, k \in M)$, $x_{ijk} \in (0;1)$, přičemž $x_{ijk} = 1$, jestli vůz $k$ pojede z místa $i$ do místa $j$. Zavedeme $y_j$, která označuje střední proměnnou celkové naloženosti auta jezdícího do $j$. [17]

Sběr a doručení na cestě $R_k$ pro vůz *k se* koná za následujících podmínek:

1) Cesta $R_k$ začíná a končí v $O$.
2) Současně $N_i^+$ a $N_i^-$ náleží $V_k$ pro všechny $i \in N$.
3) Jestli $N_i^+$ a $N_i^-$ náleží $V_k$ , $N_i^+$ , je navštěvováno před. $N_i^-$.
4) Vůz $k$ navštěvuje každou destinaci právě jednou.
5) Vůz je naložen jednou a množstvím menším, než je kapacita vozidla $Q$.
6) Pro čas příjezdu $A_i$ a odjezdu $Di$ do každé destinace $i$ musí platit $D_i \in [e_i, l_i]$, kde $D_i = max\ \{A_i, e_i\}$.

Následně matematický model bude mít tvar: [18]

Účelová funkce:

$$z = \sum_{i\in V} \sum_{j\in V} c_{ij} x_{ij} \rightarrow min \qquad (4.7.1).$$

Omezující podmínky:

$$\sum_{k\in M} z_{ik} = 1, \forall i \in N \qquad (4.7.2),$$

$$\sum_{k\in M} \sum_{j\in V} x_{ijk} = 1, \forall i \in V \qquad (4.7.3),$$

$$\sum_{i \in V} x_{i0k} = 1, \forall k \in M \qquad (4.7.4),$$

$$\sum_{j \in V} x_{0jk} = 1, \forall k \in M \qquad (4.7.5),$$

$$\sum_{i \in V} x_{ihk} - \sum_{j \in V} x_{hjk} = 0 \qquad (4.7.6),$$

$kde\ \forall k \in M; \forall h \in V$

$$\sum_{i \in V} x_{ijk} * Q \geq y_j \qquad (4.7.7),$$

$kde\ \forall j \in V; \forall k \in M$

$$y_i + q_i = y_j \qquad (4.7.8),$$

$kde\ \forall i, j \in V; \forall k \in M$

$$y_0 = 0 \qquad (4.7.9),$$

$$y_i \geq 0, \forall i \in V \qquad (4.7.10),$$

$$D_0 = 0 \qquad (4.7.11),$$

$$D_i + t_{ij} \leq D_j \qquad (4.7.12),$$

$kde\ \forall i, j \in V; \forall k \in M$

$$p = N_i^+ ; q = N_i^- ; D_p \leq D_q, \forall i \in N \qquad (4.7.13).$$

Účelová funkce (4.7.1) vyjadřuje optimalizaci vzdálenosti mezi místy. Omezující podmínka (4.7.2) ukazuje, že každý požadavek je předělen právě jednomu vozidlu. Omezující podmínka (4.7.3) říká, že každé místo *j* je navštěvováno jednou. Omezující podmínky (4.7.4, 4.7.5) označují, že vozidla vyjedou a vrátí se zpátky do stejného depa. Omezující podmínka (4.7.6) říká, že jestli vozidlo přijelo do vrcholu, musí ho opustit. Omezující podmínky (4.7.7 – 4.7.10) jsou podmínky označující kapacitní omezení. Časová okna jsou reprezentována podmínkou (4.7.12).

# 5 Řešení víceokruhového dopravního problému

Dosud neexistuje žádná univerzální metoda pro nalezení optimálního řešení okružního dopravního problému, proto mluvíme o dvou typech výpočetních algoritmů: heuristické a exaktní. Exaktní algoritmy vedou k nalezení konkrétního optimálního řešení, což je v případě reálného dopravního problému nereálné. Heuristické algoritmy vedou k vygenerování velkého množství potenciálních řešení a množina všech řešení nikdy neobsahuje všechny možné varianty. Navíc množina vygenerovaných variant nemusí obsahovat nejlepší možné řešení. V případě heuristických algoritmů hledáme přípustné řešení, to znamená, že řešení není špatné, ale zároveň není nejlepší. Heuristické metody nevykazují obtíže při řešení rozsáhlých úloh, jsou polynomiální a rychlé. [16] Jejich výhodou je možnost flexibilních úprav pro různé modifikace úloh, například kombinaci různých typů omezení probraných v předešlé kapitole.

Charakteristikou heuristického algoritmu je přechod od nalezeného přípustného nebo nepřípustného řešení k dalším řešením pomocí porovnání výchozích a nalezených hodnot účelové funkce. [7]

Z hlediska teorie můžeme rozdělit heuristické metody na duální a primární. Podstata primární heuristiky spočívá v nalezení přípustného řešení, které se liší od výchozího přípustného řešení lepší hodnotou účelové funkce. Postupné zlepšení vede k nalezení nejlepší možné varianty. Duální heuristika začíná s nepřípustným řešením a jeho dalším zmenšením tak, aby se hodnota účelové funkce zvýšila co nejméně.

Rozdělit heuristické metody můžeme taky na metody, které vytvoří nové řešení a na metody, které nalezené řešení zlepšují. [7]

## 5.1 Clarkeova-Wrightova metoda

Clarkeova-Wrightova metoda řešení víceokruhového dopravního problému patří k heuristickým metodám. Metoda spočívá v tom, že pomocí postupných iterací sdružujeme dvě možné trasy $(V_0 – V_i – V_0)$ a $(V_0 – V_j – V_0)$, kde $V_0$ – výchozí vrchol a $V_i$, $V_j$ jsou další místa na mapě s určitým požadavkem. Cesta vždycky začíná ve vrcholu $V_0$ a kapacita jednotlivých vozidel je omezená. Sdružit dvě trasy je možné, když jsou splněna určitá omezení, konkrétně podmínka nepřekročení kapacity vozidla $K$ a možnost navštívit každé místo právě jednou v rámci jednoho okruhu. V případě možnosti spojit dvě trasy se vytváří jedna cesta *($V_0 – V_i – V_j – V_0$)*, která vyhovuje zadaným podmínkám. Výhodou této metody je možnost kontrolovat splnění dodatečných podmínek na všech stupních řešení úlohy.

Pro měření výhodnosti sdružování jednotlivých tras použijeme výhodnostní koeficient $z_{ij}$. Nechť $d_{oi}$, $d_{oj}$ a $d_{ij}$ jsou proměnné pro označení délek hran ($V_0$, $V_i$), ($V_0$, $V_j$), ($V_i$, $V_j$). V takovém případě se hodnota výhodnostního koeficientu bude rovnat:

$$\boldsymbol{z_{ij}} = d_{oi} + d_{oj} - d_{ij} \qquad (5.1.1).$$

To znamená, že $\boldsymbol{z_{ij}}$ je rozdílem mezi součtem délek tras *($V_0 – V_i – V_0$)*, *($V_0 – V_j – V_0$)* a délkou trasy *($V_0 – V_i – V_j – V_0$)*. V každé iteraci uvedená metoda spojuje dva uzly, které vykazují nejvyšší výhodnostní koeficient $\boldsymbol{z_{ij}}$. [19]

Pokud rozdělíme řešení úlohy na jednotlivé postupy:

1) Mějme dopravní síť $S = (V, H)$, kde $V$ je množina vrcholů sítě a $H$ je množina hran spojující jednotlivé vrcholy. Sestavíme pro danou síť matici vzdálenosti $D = \{d(i, j\}$, kde $i, j \in \{0, \dots , n\}$ a $n = |V|$.
2) Musíme znát následující hodnoty:

   $c$ – průměrná rychlost pohybu vozidla na síti,

   $t$ – doba potřebná k vyložení jednotkového množství elementů z obsluhujícího vozidla,

   $T$ – maximální doba pobytu vozidla mimo výchozí uzel $V_0$,

   $K$ – kapacita vozidla,

   $qi$ – množství elementů přepravovaných z uzlu $V_0$ do uzlu $V_i$ $(i = 1,\dots,n)$.
3) Vytvoříme počáteční řešení, které představuje soubor elementárních tras *($V_0 – V_i – V_0$)* pro všechny uzly sítě $i \in (1,\dots,n)$ s uvedeným množství elementů a doby přeprav:

**Tabulka č. 1 – Clarkeova-Wrightova metoda**

| **Trasa** | **Množství elementů** | **Doba přepravy** |
|---|---|---|
| $V_0 – V_i – V_0$ | $q_1$ | $\frac{d_{01}+d_{10}}{c} + q_1 t$ |
| $V_0 – V_n – V_0$ | $q_n$ | $\frac{d_{0n}+d_{n0}}{c} + q_1 n$ |

4) Najdeme hodnoty výhodnostních koeficientů $\boldsymbol{z_{ij}}$ podle vztahu (5.1.1) a sestavíme matici $Z$ obsahující všechny hodnoty $\boldsymbol{z_{ij}}$.
5) Najdeme největší kladný prvek v matici $Z$ a spojíme trasy $V_0 – V_i – V_0$ a $V_0 – V_j – V_0$, ale v případě splnění zadaných podmínek.

6) Provedením kontroly zjistíme, zda spojením tras $V_0 - V_i - V_0$ a $V_0 - V_j - V_0$ vznikne přípustná trasa $V_0 - V_i - V_j - V_0$. V případě neexistence přípustné trasy položíme $\boldsymbol{z_{ij}} = 0$ a vrátíme se na předchozí krok, pokud taková trasa existuje, pokračujeme dál.
7) Položíme $\boldsymbol{z_{ij}} = 0$ a aktualizujeme množinu vrcholů, pokud vrcholy *i* a *j* přestanou být krajními vrcholy. Je nutné sledovat omezující podmínky.
8) Není-li krok 5 a 6 možný, najdeme nejblíže menší nebo stejně velký prvek $z_{st}$ a sdružíme trasy obsahující uzly $V_s$ a $V_t$. Pro krajní vrcholy $V_s$ a $V_t$ se zapíše $\boldsymbol{z_{st}} = 0$.
9) Postup je nutné opakovat, pokud nejsou vyčerpané kapacity vozidel, nebo není matice *Z* vyčerpaná.

## 5.2 Metoda nejbližšího souseda

Je nejjednodušší metodou pro nalezení řešení okružního dopravního problému. Tato metoda nemusí zajišťovat dobré výsledky, protože se na konci musíme vrátit do výchozího místa, které může být daleko od posledního navštíveného uzlu. Základem pro řešení je matice vzdálenosti mezi jednotlivými místy *D*. [20]

Mějme graf $G\ (V, A)$, kde $V$ je množina vrcholů a $A$ je množina hran; $V = (v_1, \dots, v_i)$, $A = (a_{11}, \dots, a_{ij})$. Pro řešení úlohy zvolíme jedno výchozí místo $v_i$, ke kterému v matici vzdálenosti $D$ hledáme hranu $a_{ij^*}$, pro kterou platí podmínka:

$$a_{ij^*} = min\ \{a_{ij}\} \qquad (5.2.1),$$

kde $a_{ij}$ – všechny hrany vystupující z uzlu *i*.

Při nalezení hrany, pro kterou platí podmínka (5.2.1), je nutné ji zařadit do trasy přidáním do předchozího místa. Opakováním vysvětleného postupu musíme zařadit všechna místa do cesty. Tak se dostaneme do cesty:

$$A_{ij} = \sum aij * \qquad (5.2.2).$$

Výpočty je nutné opakovat pro všechny uzly jako výchozí místa. Po opakování výpočtu je nutné najít minimální cestu ze všech nalezených:

$$A_{ij^*} = min\ (A_{ij}) \qquad (5.2.3).$$

Nalezená hodnota $A_{ij^*}$ bude řešením metody nejbližšího souseda.

## 5.3 Littlův algoritmus

Metoda je založená na metodě větví a hranic, kde hledáme optimální řešení dělením množiny přípustných řešení na menší podmnožiny. Výpočet končí vyhledáním přípustného řešení s minimální hodnotou účelové funkce vzhledem ke všem přípustným řešením úlohy.

Princip algoritmu je prohledávání do hloubky s případným zpětným návratem k nejbližšímu uzlu. Množina řešení je definována množinou úseků, které budou/ nebudou zařazeny do minimální Hamiltonovy kružnice. Při řešení se tato množina zmenšuje až do momentu nalezení optimálního řešení. Pro pohodlnost je možné sestavit matici *D*, která bude reprezentovat vzdálenosti mezi místy *i* a *j*. [21]

Postup řešení ukážeme v jednotlivých krocích:

1) Hledáme v každém řádku *i* matice *D* prvek s minimální hodnotou a ten odečteme od všech prvků v řádku *i*.
2) Ve všech sloupcích *j*, ve kterých se nenachází hrana s 0 vzdáleností, hledáme minimální hodnotu prvků a následně odečítáme tu hodnotu od všech prvků v příslušném sloupci.
3) Sečteme všechny hodnoty, o které byly ponížené vzdálenosti v řádcích *i* a sloupcích *j*. Tím pádem nalezneme dolní hranici účelové funkce, pod kterou skutečná hodnota účelové funkce nesmí klesnout.
4) Vyhledáme v matici vzdálenosti *D* minimální hodnoty v řádcích *i* a sloupcích *j*. Po nalezení minimálních hodnot je sečteme. Tím pádem ohodnotíme 0 v matici vzdálenosti *D*.
5) Z ohodnocených 0 vybereme prvek s maximální hodnotou. Pokud máme v matici více prvků se stejným ohodnocením, volíme libovolný z nich. Vybraný prvek vstupuje do Hamiltonovy kružnice.
6) Zrušíme ohodnocení 0 ve zbylé matici.
7) Pro zpřehlednění výpočtu provedeme redukování řešící matice. Vybereme prvky $c_{ij}$ jako navržený spoj mezi prvky *i* a *j*.
8) Zakážeme prvky vzniklé výpočtem v kroku 5, protože umožňují vznik nepřípustného řešení. Nepřípustnost je spojená s možností uzavřít Hamiltonovu kružnici do konce cyklu.
9) Zkontrolujeme, zda po kroku 6 zůstala alespoň jedna 0 v matici řešení. Pokud nemáme takové prvky, vrátíme se zpátky a opakujeme krok 1. V případě

dalšího odečítání zvyšujeme o příslušnou hodnotu dolní odhad účelové funkce.

10) Hodnotu určitého řešení porovnáme s dolním odhadem účelové funkce. Pokud hodnoty vytvářeného řešení ve všech fázích překročí hodnoty dolního odhadu, pokračujeme dál.
11) Zbylé prvky v matici *D* určují úseky uzavírající Hamiltonovu kružnici.
12) Jestliže se v naposledy vytvořeném řešení objeví větev s hodnotou účelové funkce nižší než hodnota dolního odhadu, je nutné vytvořit novou matici *D* a zohlednit další omezující podmínky pro určitý vrchol. V takovém případě je nutné postupovat úplně od začátku.

## 5.4 Mayerova metoda

Patří k nejvíce používaným metodám pro řešení víceokruhového dopravního problému. Spočívá ve výběru minimálních prvků v úloze s omezenou kapacitou vozidel. Nevýhodou metody je možnost řešení symetrické úlohy, v případě nesymetrické matice vzdálenosti úlohu Mayerovou metodou řešit nelze.

Pro účely metody je nutné na začátku sestavit matici vzdálenosti *D* mezi všemi jednotlivými místy *i* a *j* v posloupnosti vzdálenosti od výchozího místa *O*. Podstatou této metody je posloupnost uvedení jednotlivých míst, kde centrální místo musíme uvést jako poslední do sítě a nejvzdálenější místo jako první. Musí být proveden výběr jednotlivých míst pro okruhy vozidel a pak zařazení každého vozidla do jednotlivých tras s cílem minimalizace celkové vzdálenosti. [22]

Řešení úlohy začínáme od nejvzdálenějšího místa, ke kterému přidáváme místa s nejmenší vzdáleností od něj. Pro každé další přidané místo je nutné kontrolovat celkový požadavek zákazníka a podmínku nepřekročení kapacity vozidla. Je-li kapacita vozidla plně využita, okruh bude uzavřen, v opačném případě přidáváme další místa a kontrolujeme uvedenou podmínku. Výběr nového okruhu začíná od nejvzdálenějšího místa, které dosud nebylo zařazeno do okruhu. Postup je stejný, pokud všechna místa nejsou zařazena do jednotlivých okruhů. Dál probíhá zařazení míst v jednotlivých trasách do jejich optimálního pořadí.

Mayerova metoda rozděluje jednotlivá místa do dílčích skupin, pro sestavení okruhu je vhodné použít nějakou další metodu pro řešení víceokruhového dopravního problému, například Littlův algoritmus nebo metodu nejbližšího souseda.

# 6 Popis podniku

V této kapitole jsou rozpracovány veškeré informace o existující struktuře podniku, jeho činnosti a náležitosti spojené s účelem diplomové práce. Součástí kapitoly je rozsáhlá charakteristika zboží a podmínky paletizace.

## 6.1 Popis činnosti a útvarů podniku

Společnost AMAGRO s.r.o. je výrobcem a distributorem vysocejakostních, plněrozpustných preparátů, hnojiv určených pro zemědělství a živočišnou výrobu, hobby trh, medicínu a potravinářský průmysl. Je to mezinárodní společnost, která má zahraniční zastoupení v Egyptské arabské republice ve městě Cairo, na Slovensku je zastoupena celou řadou firem: STIMAP s.r.o., HUMAGRO s.r.o. a VELUMA s.r.o. Na území České Republiky má centrálu v areálu Prahy 10 na ulici 28. pluku, ředitelem firmy je Lubomír Rákos. V hlavní kanceláři pracuje 4 pracovníky. Firma má také zástupce v Jihočeském a Plzeňském kraji a na Vysočině. Společnost byla založena v roce 1999 a zabývá se prodejem svých výrobků na území České Republiky a vývozem do jiných států EU podle požadavků, konkrétně do Německa, Holandska a Velké Británie. Velká poptávka na českém trhu a trzích jiných států EU je způsobená tím, že výrobky mají vysoký obsah fulvových kyselin, čistotu a standardní kvalitu. [26]

Společnost AMAGRO s.r.o uskutečňuje rozvoz svých výrobků pomocí služeb externí speditérské společnosti, ale z hlediska dlouhodobé perspektivy chce zakoupit vlastní vůz pro samostatný rozvoz objednávek svým zákazníkům. Firma využívá doložku DAP z pravidel INCOTERMS ve vztahu se zákazníky, což znamená, že je zodpovědná za doručení výrobku na sklad zákazníka a nese veškerá rizika spojená s dodáním zboží.

Za účelem zpracování praktické části diplomové práci je nutné uvést, že společnost má centrální sklad v obci Košík, kde skladuje všechny druhy výrobků. Sklad je připraven pro naložení výrobků na palety a následné naplnění vozů. Využívá regálový systém ukládání výrobků, kde každý druh výrobku je uložen na určitém místě, které je zaznamenáno ve vnitropodnikovém informačním systému. Pro manipulaci s paletami na skladě používají vysokozdvižné vozíky s možností dávat palety s celkovou hmotností 2,5 t do výšky 3. patra.

**Obrázek č. 1 – Vysokozdvižný vozík**


*Zdroj: [23]*

## 6.2 Charakteristika výrobků

Jedním z produktů společnosti AMAGRO s.r.o. pro české zemědělské podniky je od roku 2009 produkt Lignohumát MAX, který se z 20 % skládá z vysocekoncentrovaných univerzálních huminových přípravků se stimulačními účinky, fulvokyselin a dodaných mikroelementů. Jedná se o nejkoncentrovanější standardně vyráběný huminový preparát v prodejích na území EU.

Stále větší popularitu si získávají práškové výrobky Lignohumát A a Lignohumát AM. Lignohumát A je základní produkt, který obsahuje pouze mikroelementy původně obsažené v surovině pro výrobu Lignohumátu. Tento produkt je zejména vhodný pro výrobce stimulátorů a hnojiv, ale i pro velké zemědělské společnosti. Lignohumát AM je populární výrobek, který oproti modifikaci A je obohacen základními mikroelementy ve stopovém množství, proto je nejrozšířenější v přímých prodejích. V současné době jej dodávají v baleních 20 kg, 1 kg, 100 gramů a také v barevných sáčcích 5 gramů pro závěsné stojany.

Další kategorií jsou výrobky s obsahem Lignohumátu a hnědé mořské řasy pod obchodním názvem Ligno AKTIVÁTOR. Tento produkt je dodáván jak v práškové, tak i tekuté formě.

Všechny výrobky jsou vhodné k samostatným aplikacím na jakékoli zemědělské kultury, ale také jako příměs k minerálním hnojivům či fungicidům. Velmi efektivní je aplikace směsi stimulátoru růstu společně s Lignohumátem.

Ceny jednotlivých druhů výrobků jsou uvedené v tabulce v příloze k diplomové práci.

# 7 Podkladové údaje

V této kapitole jsou rozpracovaná výchozí data a podklady pro tvorbu jednotlivých okruhů jízd. Výchozí údaje jsou vytvořené na základě vnitropodnikové dokumentace, spolupráce se společností a veřejně dostupných údajů a statistik firmy AMAGRO s.r.o.

## 7.1 Matice vzdálenosti

Distanční matice je nezbytným podkladem pro tvorbu okruhů vybranými metodami. Postup tvorby matice spočívá v nalezení vzdálenosti mezi všemi dvojicemi míst, která tvořila poptávku po výrobcích společnosti AMAGRO s.r.o. v měsíci březnu roku 2017. Ve vybraném měsíci je největší zájem po produkci firmy z důvodu sezónnosti agrárního trhu, proto analýza struktury možných okruhů vyjadřuje největší možnou současnou vytíženost. Seznam všech měst, zákazníků a jejich požadavků je uveden v tabulce:

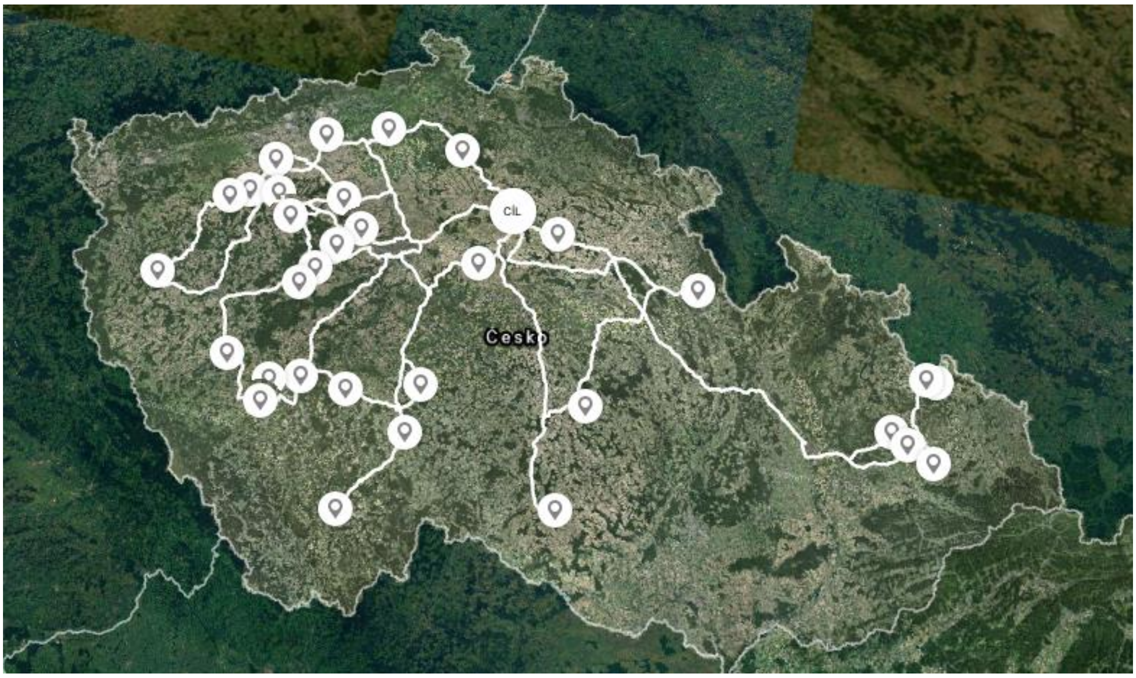
**Tabulka č. 2 – Objednávky za měsíc březen**

| Číslo | Místo | Hmotnost, kg | Palety, ks |
|---|---|---|---|
| 1 | Zdice | 235 | 1 |
| 2 | Slatina nad Zdobnicí | 122 | 1 |
| 3 | Bezděz | 235 | 1 |
| 4 | Býčkovice | 685 | 1 |
| 5 | Hostouň | 122 | 1 |
| 6 | Žatec | 4744 | 4 |
| 7 | Měrunice | 356 | 1 |
| 8 | Hořovice | 585 | 1 |
| 9 | Čáslavice | 721 | 1 |
| 10 | Studeněveš | 64 | 1 |
| 11 | Velká Losenice | 236 | 1 |
| 12 | Chyňava | 295 | 1 |
| 13 | Mladá Vožice | 236 | 1 |
| 14 | Blatná | 97 | 1 |
| 15 | Milevsko | 57 | 1 |
| 16 | Nepomuk | 3030 | 5 |
| 17 | Třebohostice | 200 | 1 |
| 18 | Starý Bydžov | 236 | 1 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 19 | Rakovník | 1240 | 2 |
| 20 | Čimelice | 440 | 1 |
| 21 | České Budějovice | 2505 | 5 |
| 22 | Chabrovice | 180 | 1 |
| 23 | Šenov u Nového | 90 | 1 |
| 24 | Kryry | 358 | 1 |
| 25 | Svojetín | 125 | 1 |
| 26 | Chotutice | 470 | 1 |
| 27 | Stříbro | 357 | 1 |
| 28 | Lubenec | 238 | 1 |
| 29 | Opava | 50 | 1 |
| 30 | Odry | 170 | 1 |
| 31 | Spálov | 50 | 1 |
| 32 | Velké Hoštice | 60 | 1 |

Z uvedeného seznamu pomocí nástrojů veřejné dostupné aplikace Google Maps byla zjištěna vzdálenost mezi všemi místy a sestavena nesymetrická matice vzdálenosti mezi 32 místy. Důvodem pro využití této aplikace je vysoká kvalita výchozího řešení z hlediska nalezení nejkratší vzdálenosti mezi místy. Plná matice je součástí příloh k diplomové práci. Seznam všech míst je ukázán na obrázku.

**Obrázek č. 2 – Rozmístění míst s požadavkem na mapě ČR**



## 7.2 Matice času

Na základě rozpracované matice vzdálenosti je odvozená matice času, která vyjadřuje dobu pohybu mezi všemi místy. Výpočet hodnot jednotlivých časů přesunu z vrcholu *i* do vrcholu *j* uděláme podle vztahu:

$$t_{ij} = \frac{c_{ij}}{V},$$

kde:

$c_{ij}$ – vzdálenost mezi místy *i* a *j*, km,

*V* – průměrná rychlost, km/hod.

Hodnota průměrné rychlosti vozidla je odvozená od struktury meziměstských tras České Republiky, průměrné rychlosti vybraného typu vozidla, času stráveného v zácpě a zahrnuje čas odpočinku a zastávek. Dovolená rychlost v České Republice je zobrazená v tabulce:

**Tabulka č. 3 – Maximální povolená rychlost**

| Zóna | Rychlost, km/hod | |
|---|---|---|
| | **Mimo obec** | **Obec** |
| Obec | - | 50 |
| Mimo obec | 90 | - |
| Silnice pro motorová vozidla | 110 | 80 |
| Dálnice | 130 | 80 |
| Pěší a obytná oblast | 20 | |

Z hlediska toho, že rozvoz se koná v meziměstské části, střední povolená rychlost v daných směrech se rovná 90 km/hod, průměr času stráveného v zácpách 8 minut, maximální rychlost vozu s polovičně využitou kapacitou 100 km/hod a dodatečný čas 13 minut, který zahrnuje odpočinek řidiče. Z toho dostaneme hodnotu průměrné rychlosti 65 km/hod. Všechny hodnoty $t_{ij}$ jsou uvedené v matici času v příloze k diplomové práci.

## 7.3 Charakteristika vybraného typu vozidla

Společnost AMAGRO s.r.o. pro rozvoz objednávek ke svým zákazníkům chce koupit vůz Hyundai HD – 65. Cena nového vozu je 180 000 Kč. Celkový objem výrobků na paletě, který se může vejít do dopravního prostředku, je 20 m$^3$, maximální váha včetně hmotnosti palet je 3720 kg. Maximální rychlost částečně naloženého vozidla je 100 km/hod. Maximální zatížení přední osy je 2400 kg, zadní osy 4200 kg. Průměrná spotřeba paliva je 17 litrů/100 km.

## 7.4 Rozmístění výrobků

Při distribuci vlastních výrobků společnost AMAGRO s.r.o. rozmisťuje každou objednávku zvlášť na různé palety a nezáleží přitom na hmotnosti a objemu jednotlivých objednávek. Používá ke svým účelům standardní europalety s mírami 1200x800x44 mm a maximální nosností 2000 kg. Co se týče sousedství jednotlivých druhů výrobků, všechny druhy můžou být umístěné na jedné paletě s podmínkou nepřekročení objemu a nosnosti palet. Nejtěžší výrobek vždycky musí být ve spodu palety. Tekuté zboží nesmí ležet na paletě, musí být vždycky proloženo kartonem. Každá paleta musí být zabalená a připravena k transportování.

## 7.5 Struktura omezujících podmínek

Každá společnost, která se zabývá dopravou, nebo nově chce zavést dopravní oddělení do útvaru podniku, se musí soustředit na co největší pochopení struktury možných nebo existujících podmínek. Společnost AMAGRO s.r.o. uvažuje následující skupiny omezení:

1) Kapacitní omezení. Jsou většinou spojená s dopravním prostředkem, ale řadíme tam taky omezení spojená s původním balením výrobků a jeho rozmístěním. Pro zkoumanou firmu je podstatné:
   a. Váha výrobků na paletě nesmí překročit váhu 2000 kg stanovenou technickými normami.
   b. Váha výrobků a palet v dopravním prostředku nesmí překročit hodnotu 3720 kg.
   c. Objem zboží určeného k dodání v rámci jednoho okruhu musí být menší, nebo se rovnat 20 $m^3$.
   d. Zatížení přední osy musí být menší, nebo se rovnat 2400 kg, pro zadní osu se hodnota liší a je 4200 kg.
2) Časové omezení. Často je spojeno se sociálními normami nebo právními předpisy, patří sem:

a. Pracovní doba řidiče, která nesmí překročit 12 hodin, z nichž 11 řidič může řídit auto a hodinu má na odpočinek (v dané práci je hodnota zahrnuta při výpočtu průměrné rychlosti).
b. Doba na čekání a vyložení výrobku z auta u zákazníka je stanovená v průměru 8 minut/1 paleta.
c. Průměrná rychlost auta na všech úsecích trasy je 65 km/h.
d. Optimálně paleta musí být naložená do auta tak, aby v místě doručení byla co nejblíž k rampě, aby nedošlo ke zbytečným manipulacím a ztrátě času.

3) Požadavky zákazníků. Jsou velmi specifické, v daném případě jsou:
   a. Čas doručení muže být přímo stanoven zákazníkem.
   b. Dodávka může být rozdělená na několik palet podle přání zákazníka.

# 8 Aplikace vybraných metod

Na základě rozpracované literatury, konkrétně kapitol 3 a 4, je sestaven matematický a slovní popis řešené úlohy a dál je provedeno využití vybraných metod v praxi. Výběr metod byl proveden na základě poznatků z kapitoly 5. Konkrétně byly vybrány metoda Clark-Wrighta a metoda nejbližšího souseda. Tyto metody nejvíce vyhovují zadaným podmínkám, kde během jednotlivých iterací je možné kontrolovat všechna zadaná omezení.

## 8.1 Slovní formulace úlohy

Formulace je vytvořená samostatně autorem práce na základě poznatků získaných při zpracování kapitoly 4 v teoretické části diplomové práce.

Mějme graf $G = (V, A)$, kde $V$ je množina $n$ vrcholů a $A$ je množina hran, přičemž

$n \in (0 ,..., 32)$ a $0$ je výchozí depo. Každá hrana $(i, j) \in A$ a $c_{ij}$ je vzdálenost mezi jednotlivými místy. Množina všech vzdáleností $c_{ij} \in C_i$, kde $C_i$ je matice vzdálenosti mezi jednotlivými místy. Každé další místo $j$ má určitý požadavek $q_{ij}$, který musí být uspokojen do $R_j$, což je nejpozdější datum návštěvy stanovené $j$ zákazníkem. Celkový počet vozidel ve výchozím depu označíme $K$, přičemž pro uvedenou úlohu platí $K = 1$. V případě, že vozidlo $K$ projede zadanou hranou, stanovíme binární proměnnou $x_{ij}$ a její hodnota na zadaném úseku se bude rovnat $1$, v opačném případě stanovíme $x_{ij} = 0$. Doba pobytu dopravního prostředku $K$ nesmí překročit zadaný čas $T$, skutečný čas $T_{ij} = \sum_{i\in V}\sum_{j\in V} tij + t_n$, kde $t_n$ je čas na vykládání výrobku v místě $j$, $l_j \in L$ *a* $t_{ij}$ – doba jízdy mezi vrcholy $i$ a $j$, které vstupují do daného okruhu. Nechť $Q$, $P$ a $V$ jsou kapacitní omezení, které nesmí být překročeny na žádném úseku okruhu. Konkrétně $Q$ je celková hmotnost výrobků v dopravním prostředku, $P$ je množství palet, které je možné umístit najednou do auta a $V$ je objem všech výrobků umístěných na paletě. Je dáno určité možné zatížení přední $O$ a zadní $B$ osy vozidla, které taky nesmí být překročeno.

Pro vozidlo $K$ je nutné navrhnout určitou strukturu okruhů, aby délka každého okruhu byla co nejmenší, každé místo bylo navštíveno jen jednou v rámci jednoho okruhu s dodržením zmíněných podmínek.

## 8.2 Matematický popis úlohy

Na základě slovní formulace úlohy sestavíme matematický model pro nalezení nejkratší vzdálenosti jednotlivých okruhů konkrétního zkoumaného problému, který se skládá z minimalizační účelové funkce a omezení, která jsou popsaná v kapitole 7.

Účelová funkce:

$$z = \sum_{i\in V} \sum_{j\in V} c_{ij} x_{ij} \rightarrow min \qquad (8.2.1).$$

Omezující podmínky:

$$\sum_{j=0}^{N} x_{ij} = 1,\ i \in (1, \dots, N),\ i \neq j; \qquad (8.2.2),$$

$$\sum_{i=0}^{N} x_{ij} = 1,\ j \in (1, \dots, N),\ i \neq j; \qquad (8.2.3),$$

$$x_{ij} \in \{0;1\}; \qquad (8.2.4),$$

$$\sum_{i=0}^{N} x_{ij} - \sum_{i=0}^{N} x_{ji} = 0,\ j \in (1, \dots, N),\ i \neq j; \qquad (8.2.5),$$

$$\sum_{i=0}^{N} \sum_{j=1}^{N} t_{ij} x_{ij} \leq T,\ i \neq j; \qquad (8.2.6),$$

$$\sum_{i=0}^{N} \sum_{j=1}^{N} p_{j} x_{ij} \leq P,\ i \neq j; \qquad (8.2.7),$$

$$\sum_{i=0}^{N} \sum_{j=1}^{N} q_{j} x_{ij} \leq Q,\ i \neq j; \qquad (8.2.8),$$

$$\sum_{i=0}^{N} \sum_{j=1}^{N} v_{j} x_{ij} \leq V,\ i \neq j,\ g \in (1, \dots G) \qquad (8.2.9),$$

$$a_j \leq t_j \leq b_j,\ j \in (1, \dots, N),\ i \neq j; \qquad (8.2.10),$$

$$\sum_{i=0}^{N} \sum_{j=1}^{N} x_{ij} \leq |S| - 1,\ i \neq j,\ |S| \geq 2 \qquad (8.2.11),$$

kde:

$c_{ij}$ – vzdálenost mezi uzly *i* a *j*, km,

$x_{ij}$ – binární proměnná, která určuje, zda vozidlo *K* projede hranou *ij* v rámci zadaného cyklu,

$q_j$ – požadavek *j* zákazníka, kg,

*Q* – celková kapacita vozidla, kg,

$p_j$ – množství palet, které musí být dodáno *j* zákazníkovi, ks,

*P* – celkové možné množství palet, které se může vejít do dopravního prostředku, ks,

$t_{ij}$ – čas jízdy mezi vrcholy *i* a *j*, hod,

*T* – celkový možný čas konání okruhu, hod,

$v_j$ – objem obsazený paletou s výrobkem *g*, který musí být dovezen zákazníkovi *j*, $m^3$,

*V* – objem, který se může vejít do vozidla, $m^3$,

$|S|$ – počet vrcholů v okruhu,

$a_i$ – nejčasnější možné datum návštěvy *j* místa,

$b_j$ – nejpozdější možné datum návštěvy *j* místa,

$t_j$ – skutečné datum návštěvy *j* místa.

Význam matematického modelu:

Úkolem účelové funkce (8.2.1) je minimalizovat vzdálenost mezi všemi městy s požadavkem vstupujícím do jednotlivých okruhů. Podmínky (8.2.2) a (8.2.3) znamenají, že každé město bude navštíveno a opuštěno právě jednou. Binární proměnná $x_{ij}$ může nabývat hodnot 0 a 1 v závislosti na tom, zda bude použitá hrana *ij* v rámci určitého okruhu, toto zajišťuje omezující podmínka (8.2.4). Podmínka (8.2.5) vytváří omezení, že každé navštívené město bude opuštěno. Podmínky (8.2.7), (8.2.8), (8.2.9) jsou kapacitní omezení, přičemž omezení (8.2.8) zabezpečuje nepřekročení celkové možné váhy na vozidle, (8.2.7) znamená, že na vozidlo nemůže být naloženo množství palet větší, než přípustné množství pro vybraný druh vozidla, poslední kapacitní omezení (8.2.9) vyjadřuje nepřekročení celkového přípustného objemu dopravního prostředku. Časové omezení (8.2.6) zajišťuje, že vozidlo se nebude nacházet mimo depo čas delší, než je stanoveno firmou.

## 8.3 Praktické řešení Clark-Wrightovou metodou

Detailní postup řešení víceokruhové dopravní úlohy je popsán v kapitole 5.1. Úlohou této části práce je aplikace zjištěných poznatků do praxe. Pro řešení úlohy na začátku sestavíme tabulku hodnot pohybu vozidla z výchozího místa do každého místa $j \in (1 \ldots 32)$.

**Tabulka č. 4 – Vzdálenost z výchozího místa**

| Trasa | qi, ks | Délka, km | Celkový čas | Trasa | qi, ks | Délka, km | Celkový čas |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0–1–0 | 1 | 243 | 3 hod 52 min | 0–17–0 | 1 | 368 | 5 hod 48 min |
| 0–2–0 | 1 | 268 | 4 hod 17 min | 0–18–0 | 1 | 54 | 58 min |
| 0–3–0 | 1 | 94 | 1 hod 35 min | 0–19–0 | 2 | 256 | 4 hod 10 min |
| 0–4–0 | 1 | 188 | 3 hod 2 min | 0–20–0 | 1 | 304 | 4 hod 49 min |
| 0–5–0 | 1 | 184 | 2 hod 58 min | 0–21–0 | 5 | 421 | 6 hod 54 min |
| 0–6–0 | 4 | 330 | 5 hod 13 min | 0–22–0 | 1 | 338 | 5 hod 20 min |
| 0–7–0 | 1 | 276 | 4 hod 23 min | 0–23–0 | 1 | 634 | 9 hod 53 min |
| 0–8–0 | 1 | 258 | 4 hod 7 min | 0–24–0 | 1 | 560 | 8 hod 46 min |
| 0–9–0 | 1 | 318 | 5 hod 2 min | 0–25–0 | 1 | 540 | 8 hod 27 min |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0–10–0 | 1 | 222 | 3 hod 32 min | 0–26–0 | 1 | 646 | 10 hod 5 min |
| 0–11–0 | 1 | 246 | 3 hod 55 min | 0–27–0 | 1 | 576 | 9 hod |
| 0–12–0 | 1 | 214 | 3 hod 26 min | 0–28–0 | 1 | 302 | 4 hod 47 min |
| 0–13–0 | 1 | 236 | 3 hod 46 min | 0–29–0 | 1 | 272 | 4 hod 20 min |
| 0–14–0 | 1 | 336 | 5 hod 19 min | 0–30–0 | 1 | 76 | 1 hod 19 min |
| 0–15–0 | 1 | 342 | 5 hod 24 min | 0–31–0 | 1 | 412 | 6 hod 29 min |
| 0–16–0 | 5 | 386 | 6 hod 36 min | 0–32–0 | 1 | 340 | 5 hod 22 min |

V tabulce byly hodnoty délek jednotlivých tras spočítány pomocí vzorce:

$$C_{ij} = c_{0j} + c_{j0}, \qquad (8.2.1),$$

Kde:

$c_{0j}$ – vzdálenost z výchozího skladu *0* do místa *j*,

$c_{j0}$ – vzdálenost z místa *j* do výchozího skladu *0*.

Celkový čas byl spočítán jako celková délka cesty z výchozího místa do každého jednotlivého místa *j* a zpět děleno hodnotou průměrné rychlosti pohybu vozidla, která se rovná 65 km/hod, plus doba na vyložení palety s výrobky, stanovenou na 8 minut. Následně uvedeme příklad výpočtu hodnoty celkového času pro trasu $V_0 – V_7 – V_0$:

$$T_{0\text{-}7} = \frac{C07+C70}{V} + q_{ij}\, t_j = \frac{138+138}{65} + 1*0{,}14 \text{ (8 min)} = 4 \text{ hod } 23 \text{ min} \qquad (8.2.2).$$

Dál je nutné sestavit matici výhodnostních koeficientů, které vyjadřují možnou úsporu vzdálenosti při pohybu vozidla z výchozího vrcholu do určitého místa *j* a zpět. Důležitost tohoto kroku spočívá v tom, že právě na základě maximální hodnoty ze všech možných variant koeficientů budou sdružené dvě trasy.

Výpočet jednotlivých hodnot výhodnostních koeficientů byl proveden podle vzorce (5.1.1). Ukázka výpočtu hodnot pro koeficienty $z_{21}$ a $z_{64}$ je uveden v tabulce.

**Tabulka č. 5 – Ukázka výpočtu výhodnostních koeficientů**

| $z_{12}$ | $z_{64}$ |
|---|---|
| $z_{ij} = d_{o1} + d_{o2} – d_{12}$ = 243+268-(122+135+211) = 43 km | $z_{ij} = d_{o6} + d_{o4} – d_{64}$ = 188+330-(94+165+66) = 193 km |

Tabulka všech hodnot $Z_{ij}$ je součástí příloh k diplomové práci.

Po sestavení podkladových tabulek můžeme přistoupit k řešení víceokruhové úlohy pomocí navazujících postupů uvedených v podkapitole 5.1.

Pro řešení úlohy byla použitá aplikace MS Office Excel, která umožnila snadno dohledávat maximální hodnoty výhodnostních koeficientů v matici $Z_{ij}$ pomocí funkce *=MAX($Z_{ij}$)* a kombinovat řešení z tabulky *Vzdálenost z výchozího místa*. Výpočty byly provedeny během jednotlivých kol, kterým říkáme iterace. Uvedeme postup jednotlivých iterací pro pochopení metody a případného navržení jejího použití firmou:

1) **iterace**

V tabulce hodnot výhodnostních koeficientů najdeme největší hodnotu $z_{ij}$, na základě toho spojíme trasy *i* a *j*. Konkrétně se jedná o hodnotu $z_{23-26} = 633{,}5$, následně spojíme trasy $V_0 - V_{23} - V_0$ a $V_0 - V_{26} - V_0$. Zkontrolujeme, zda se spojením uvedených tras utvořil přípustný okruh. Podmínky, které musí být ověřené, jsou:

- Kapacitní omezení
  - Celkové množství palet: 1+1=2 ks < 6 ks
  - Celková váha: 50+60 =110 kg < 3 720 kg
  - Celkový objem: 0,240+0,240 = 0, 480 $m^3$ < 20 $m^3$
- Časové omezení:
  - Čas okruhu: 10 hod 13 min < 12 hodin
  - Datum návštěvy: 1.03 < 21.03

Na základě toho můžeme udělat závěr, že nabízená trasa je přípustná, opravíme tabulku v kapitole 8.2 tak, že místo tras $V_0 - V_{23} - V_0$ a $V_0 - V_{26} - V_0$ zapíšeme jednu novou $V_0 - V_{23} - V_{26} - V_0$ .

2) **iterace**

Opravíme tabulku hodnot výhodnostních koeficientů tak, že položíme $z_{23-26} = 0$ a hledáme další největší hodnotu koeficientu $\boldsymbol{z_{ij}}$. Hledaná hodnota $z_{26-27} = 561$. Spojíme trasu nalezenou během minulé iterace s trasou $V_0 - V_{27} - V_0$ . Kontrolujeme splnění omezujících podmínek novou trasou, kde máme celkem 3 palety s hmotností 200 kg a objemem 0,720 $m^3$. Čas potřebný na zavření okruhu se rovná 10 hodin 35 minut a nejpozdější datum návštěvy není stanoveno. Trasa je přípustná, takže zrušíme dvě staré trasy a zapíšeme novou $V_0 - V_{23} - V_{26} - V_{27} - V_0$. Vrchol $V_{26}$ přestal být krajním, takže zrušíme možnost jet do tohoto vrcholu.

3) **iterace**

Položíme hodnotu $z_{26-27} = 0$, další hodnota, kam můžeme jet $z_{23-24} = 559$. Tím pádem se utváří nová trasa $V_0 - V_{24} - V_{23} - V_{26} - V_{27} - V_0$. Zkontrolujeme přípustnost daného okruhu. Celkové množství palet je 4 ks, hmotnost 370 kg, objem 1,056 $m^3$. Okruh bude uzavřen za

10 hod 44 min, nejpozdější datum návštěvy není stanoveno. Trasa je přípustná, vrchol $V_{23}$ je uzavřen, stanovíme $z_{23\text{-}24} = 0$.

4) **iterace**

Další maximální hodnota $z_{24\text{-}27} = 544$, koeficient nemůže být použit, protože povede k dočasnému uzavření okruhu. Hledáme hodnotu $z_{24\text{-}25} = 540$, sdružením se utváří okruh $V_0 – V_{25} – V_{24} – V_{23} – V_{26} – V_{27} – V_0$. Provedeme kontrolu, celkové množství palet v dopravním prostředku 5, hmotnost 420 kg, objem 1,296 m$^3$. Čas jízdy se rovná 10 hod 52 min, nejpozdější datum návštěvy není stanoveno. Trasa je přípustná, vrchol $V_{24}$ je uzavřen, stanovíme $z_{24\text{-}25} = 0$.

5) **iterace**

Dalším postupem nalezneme $z_{25\text{-}27} = 524$, což je nepřípustnou hodnotou, protože povede ke zkresleným výsledkům. Hledáním nalezneme $z_{16\text{-}17} = 341$, spojíme trasy $V_0 – V_{16} – V_0$ a $V_0 – V_{17} – V_0$. Zkontrolujeme, zda vybraný okruh je přípustný. Celkový požadavek míst 16 a 17 je 6 palet s celkovou hmotností 3230 kg, objemem 5,184 m$^3$. Čas jízdy se rovná 7 hodin a 9 minut, nejpozdější datum návštěvy není stanoveno. Trasa $V_0 – V_{16} – V_{17} – V_0$ je přípustná a okruh je uzavřen kvůli plnému využití kapacity vozidla. Uzavřeme vrcholy $V_{16}$ a $V_{17}$.

6) **iterace**

Hledáme další možné spojení, takovým je $z_{21\text{-}32} = 327$. Spojením tras dostaneme okruh $V_0 – V_{21} – V_{32} – V_0$ s celkovým požadavkem 6 palet, hmotností 2685 kg a objemem 4,326 m$^3$. Objet všechna města okruhu je možné za 7 hodin 18 minut, nejpozdější datum návštěvy není stanoveno. Okruh je uzavřen kvůli plnému využití kapacity vozidla. Stanovíme $z_{21\text{-}32} = 0$, uzavřeme vrcholy $V_{21}$ a $V_{32}$.

7) **iterace**

Největší hodnota výhodnostních koeficientů je $z_{22\text{-}31} = 309$, sdružením se dostaneme do trasy $V_0 – V_{22} – V_{31} – V_0$ s celkovým požadavkem 2 palety, hmotností 595 kg a objemem 1,065 m$^3$. Okruh je možno dokončit za 7 hodin 3 minuty, nejpozdější datum návštěvy není stanoveno. Trasa je přípustná, stanovíme $z_{22\text{-}31} = 0$.

8) **iterace**

Další největší hodnota je $z_{22\text{-}28} = 306$, sdružujeme trasy $V_0 – V_{22} – V_{31} – V_0$ a $V_0 – V_{28} – V_0$ s celkovou potřebností 3 palety, 953 kg a objemem 1,865 m$^3$. Objet všechna města okruhu je možné za 7 hodin 8 minut, nejpozdější datum návštěvy není stanoveno. Okruh $V_0 – V_{28} – V_{22} – V_{31} – V_0$ je přípustný, uzavřeme vrchol $V_{22}$ a stanovíme $z_{22\text{-}28} = 0$.

9) **iterace**

Dalším postupem nalezneme $z_{14\text{-}20}$ = 300, spojením tras dostaneme okruh $V_0 – V_{14} – V_{20} – V_0$. Je přípustným, protože požadavek je 2 palety s celkovou hmotností 537 kg a objemem 0,941 $m^3$. Čas na dodávku požadavků se rovná 5 hodin 22 minuty, nejpozdější datum návštěvy je 23.3. Okruh je přípustný, stanovíme $z_{14\text{-}20}$ = 0.

10) **iterace**

Největší hodnota výhodnostních koeficientů je $z_{20\text{-}15}$ = 298, spojíme trasy $V_0 – V_{14} – V_{20} – V_0$ a $V_0 – V_{15} – V_0$. Zkontrolujeme, zda okruh je přípustný, požadavek okruhu je 3 palety o hmotnosti 594 kg a celkovým objemem 1,085 $m^3$. Celkový čas na obsluhu okruhu je 6 hodin 19 minut, nejpozdější datum návštěvy je 23.3. Okruh je přípustný, stanovíme $z_{20\text{-}15}$ = 0 a uzavřeme vrchol $V_{20}$.

11) **iterace**

Další největší hodnota je $z_{14\text{-}15}$ = 297, která může dočasně zavřít okruh, stanovíme $z_{14\text{-}15}$ = 0 a pokračujeme v hledání největší hodnoty ze všech možných výhodnostních koeficientů. Taková hodnota je $z_{7\text{-}28}$ = 294. Zkontrolujeme, zda okruh $V_0 – V_6 – V_{28} – V_{22} – V_{31} – V_0$ vyhovuje zadaným podmínkám. Z hlediska toho, že požadavek města $V_6$ je 4 744 kg, v žádném případě nedojde k uspokojení požadavku najednou z hlediska kapacitní omezenosti vozidla. Tím pádem stanovíme odvoz prvních dvou palet v rámci zadaného okruhu. Následně celkový počet palet v autě je 5 s celkovou váhou 3 353 kg a objemem 4,225 $m^3$. Čas potřebný pro rozvoz objednávky 7 hodin 57 min, nejpozdější datum návštěvy není stanoveno. Okruh je přípustný, uzavřeme vrchol $V_{28}$ a stanovíme $z_{7\text{-}28}$ = 0.

12) **iterace**

Největší hodnota výhodnostních koeficientů je $z_{14\text{-}31}$ = 283, musíme spojit okruhy $V_0 – V_6 – V_{28} – V_{22} – V_{31} – V_0$ a $V_0 – V_{14} – V_{20} – V_{15} – V_0$. Spojením se dostaneme k překročení kapacity vozidla, proto položíme hodnotu $z_{14\text{-}31}$ = 0 a pokračujeme dál.

13) **iterace**

Dalším postupem nalezneme $z_{6\text{-}29}$ = 282, spojíme trasy $V_0 – V_6 – V_0$ a $V_0 – V_{29} – V_0$. Zkontrolujeme, zda okruh vyhovuje zadaným podmínkám. Celkový počet palet je 3, hmotnost 2469 kg, objem 3,072 $m^3$. Celkový čas na obsluhu okruhu je 5 hodin 20 minut, nejpozdější datum návštěvy není stanoveno.

14) **iterace**

Největší hodnota výhodnostních koeficientů je $z_{6\text{-}7}$ = 271, spojením tras dostaneme okruh $V_0 – V_7 – V_6 – V_{29} – V_0$. Trasa je přípustná, protože celkem je nutné odvést 4 palety za

5 hodin 32 minuty, s celkovou hmotností 2825 kg a objemem 3,744 $m^3$, nejpozdější datum návštěvy není stanoveno. Položíme hodnotu $z_{6\text{-}7} = 0$ a uzavřeme vrchol $V_{6}$,

15) **iterace**

Další největší hodnota je $z_{31\text{-}15} = 255$, ale spojením se dostaneme k překročení kapacity vozidla, proto položíme hodnotu $z_{31\text{-}15} = 0$ a pokračujeme dál.

16) **iterace**

Hledáme další možné spojení, takovým je $z_{8\text{-}31} = 249$, spojíme trasy $V_0 – V_8– V_0$ a $V_0 – V_6– V_{28} – V_{22} – V_{31} – V_0$ . Zkontrolujeme, zda okruh vyhovuje zadaným podmínkám. Celkový počet palet je 6, hmotnost 3938 kg, což je překročením kapacity vozidla, proto položíme hodnotu $z_{8\text{-}31} = 0$ a pokračujeme dál.

17) **iterace**

Dalším postupem nalezneme $z_{19\text{-}29} = 249$, spojením tras dostaneme okruh $V_0 – V_6 – V_{29} – V_{19} – V_0$. Trasa je přípustná, protože celkem je nutné odvést 5 palet za 5 hodin 47 minuty, s celkovou hmotností 3 709 kg a objemem 5,184 $m^3$, nejpozdější datum návštěvy není stanoveno. Zavřeme okruh kvůli plnému využití kapacity vozidla.

18) **iterace**

Největší hodnota výhodnostních koeficientů je $z_{13\text{-}15} = 247$, spojíme trasy $V_0 – V_{13} – V_0$ a $V_0 – V_{14} – V_{20} – V_{15} – V_0$. Trasa je přípustná, protože celkem je nutné odvést 4 palety za 6 hodin 1 minutu, s celkovou hmotnosti 830 kg a objemem 1,421 $m^3$, nejpozdější datum návštěvy je 22.3. Položíme hodnotu $z_{13\text{-}15} = 0$ a uzavřeme vrchol $V_{15}$,

19) **iterace**

Dalším postupem nalezneme $z_{2\text{-}27} = 245$, spojením tras dostaneme okruh $V_0 – V_{23}– V_{26} – V_{27} – V_2 – V_0$. Zkontrolujeme, zda okruh vyhovuje zadaným podmínkám. Celkový počet palet je 4, hmotnost 322 kg, objem 0,912 $m^3$. Celkový čas na obsluhu okruhu je 11 hodin 4 minuty, nejpozdější datum návštěvy 12.3. Trasa je přípustná, položíme hodnotu $z_{2\text{-}27} = 0$ a uzavřeme vrchol $V_{27}$.

20) **iterace**

Největší hodnota výhodnostních koeficientů je $z_{2\text{-}25} = 245$, spojíme trasy $V_0 – V_{25}– V_{24}– V_{23}– V_{26} – V_{27} – V_0$ a $V_0 – V_{23}– V_{26} – V_{27} – V_2 – V_0$. Trasy nelze spojit, protože přesahuje kapacitu vozidla. Stanovíme $z_{2\text{-}25} = 0$ a pokračujeme dál.

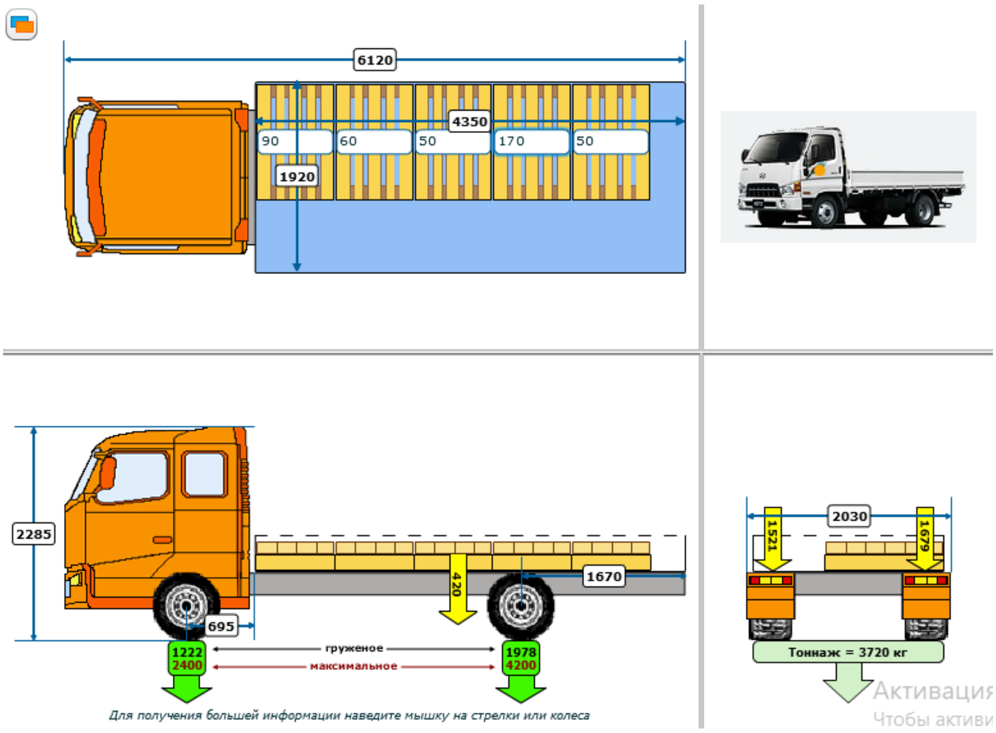
Další postupy jednotlivých iterací jsou uvedeny v tabulce:

**Tabulka č. 6 – Postup jednotlivých iterací**

| Iterace | Trasa | Váha | Palety | Objem | Čas | Datum |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 21 | 31, 1 | 3588 | 6 | 5,109 | 8 hod 11 min | 10.3 |
| 22 | 14, 8 | 1415 | 5 | 2,621 | 6 hod 6 min | 17.3 |
| 23 | 25, 9 | - | 5 | - | 12 hod 20 min | - |
| 24 | 9, 11 | 957 | 2 | 1,494 | 5 hod 40 min | - |
| 25 | 10, 7 | 2889 | 5 | 3,894 | 5 hod 54 min | - |
| 26 | 8, 12 | 1710 | 6 | 3,125 | 6 hod 50 min | 21.3 |
| 27 | 25, 11 | - | - | - | 14 hod 30 min | - |
| 28 | 27, 11 | - | 7 | - | - | - |
| 29 | 5, 10 | 3011 | 6 | 3,874 | 6 hod 9 min | - |
| 30 | 2, 11 | 1079 | 3 | 1,626 | 7 hod 39 min | 12.3 |
| 31 | 19, 4 | 1925 | 3 | 3,168 | 4 hod 59 min | 15.3 |
| 32 | 4, 3 | 2 160 | 4 | 3,504 | 5 hod 10 min | 11.3 |
| 33 | 18, 2 | 1315 | 4 | 2,01 | 7 hod 22 min | 12.3 |
| 34 | 27, 18 | - | 9 | - | - | - |
| 35 | 30, 9 | 1414 | 5 | 2,342 | 5 h 11 m | 12.3 |

Po nalezení struktury okruhů pomocí jednotlivých iterací je nutné sestavit plán naložení auta pro každý okruh tak, aby zatížení přední a zadní osy nepřesáhlo přípustnou hodnotu. V případě překročení zatížení jedné z os vůz nemůže vyjet z centrálního skladu. V případě neexistence takové kombinace musí být úloha opravena a řešena od začátku s respektováním nalezeného omezení. Kontrola splnění uvedených podmínek byla zkontrolovaná pomocí veřejně dostupné aplikace z [25]. Uvedeme příklady výstupu z aplikace a inerpretujeme je.

**Obrázek č. 3 – Rozmístění palet v autě pro 1. okruh**




Na obrázku nahoře vlevo je znázorněno schéma rozmístění vybraného množství palet s určitou hmotností v autě, včetně ukázky využití celkového objemu uvnitř vozidla. Při rozmístění palet bylo respektováno taky pořadí, ve kterém palety budou vyložené z auta. Na obrázku dole vlevo je schéma zatížení přední a zadní osy dopravního prostředku, ze kterého je vidět maximální možnou zatíženost přední osy 2400 kg a aktuální zatíženost přední osy vozu 1222 kg. Stejně tak můžeme říct, že zatížení zadní osy je 1978 kg z možných 4200 kg. V případě překročení zatížení jedné z os aplikace umožnuje automaticky optimálně rozmístit palety, ale nezaručuje existence takové kombinace. Na třetím obrázku dole vlevo je vidět tlak na levou a pravou část vozu a maximální možnou váhu výrobku na paletách, které se vejdou do vozidla.

Rozpracovaná schémata pro všechny okruhy jsou součástí příloh k diplomové práci.

Na základě uvedených postupů můžeme znázornit optimální strukturu okruhů nalezených pomocí Clark-Wrigthovy metody:

1) (1) Košík $\xrightarrow{\substack{50\text{ kg}\\ 1\text{ paleta}\\ 0{,}240\text{ m}^3\\ 270\text{ km}}}$ (2) Spálov $\xrightarrow{\substack{170\text{ kg}\\ 1\text{ paleta}\\ 0{,}336\text{ m}^3\\ 10\text{ km}}}$ (3) Odry $\xrightarrow{\substack{50\text{ kg}\\ 1\text{ paleta}\\ 0{,}240\text{ m}^3\\ 38\text{ km}}}$ (4) Opava $\xrightarrow{\substack{60\text{ kg}\\ 1\text{ paleta}\\ 0{,}240\text{ m}^3\\ 6{,}5\text{ km}}}$

(5) Velké Hoštice $\xrightarrow{\substack{90\text{ kg}\\ 1\text{ paleta}\\ 0{,}240\text{ m}^3\\ 50\text{ km}}}$ (6) Šenov u Nového $\overset{288\text{ km}}{\dashrightarrow}$ (1) Košík

2) (1) Košík $\xrightarrow{\substack{3030\text{ kg}\\ 5\text{ palet}\\ 4{,}800\text{ m}^3\\ 193\text{ km}}}$ (7) Nepomuk $\xrightarrow{\substack{200\text{ kg}\\ 1\text{ paleta}\\ 0{,}384\text{ m}^3\\ 36\text{ km}}}$ (8) Třebohostice $\overset{184\text{ km}}{\dashrightarrow}$ (1) Košík

3) (1) Košík $\xrightarrow{\substack{2505\text{ kg}\\ 5\text{ palet}\\ 4{,}326\text{ m}^3\\ 211\text{ km}}}$ (9) České Budějovice $\xrightarrow{\substack{180\text{ kg}\\ 1\text{ paleta}\\ 0{,}288\text{ m}^3\\ 53\text{ km}}}$ (10) Chabrovice $\overset{170\text{ km}}{\dashrightarrow}$

(1) Košík

4) (1) Košík $\xrightarrow{\substack{2400\text{ kg}\\ 2\text{ palety}\\ 2{,}908\text{ m}^3\\ 165\text{ km}}}$ (11) Žatěc $\xrightarrow{\substack{358\text{ kg}\\ 1\text{ paleta}\\ 0{,}800\text{ m}^3\\ 22\text{ km}}}$ (12) Kryry $\xrightarrow{\substack{238\text{ kg}\\ 1\text{ paleta}\\ 0{,}365\text{ m}^3\\ 14\text{ km}}}$ (13) Lubenec

$\xrightarrow{\substack{357\text{ kg}\\ 1\text{ paleta}\\ 0{,}700\text{ m}^3\\ 66\text{ km}}}$ (14) Stříbro $\xrightarrow{\substack{235\text{ kg}\\ 1\text{ paleta}\\ 0{,}336\text{ m}^3\\ 90\text{ km}}}$ (15) Zdice $\overset{122\text{ km}}{\dashrightarrow}$ (1) Košík

5) (1) Košík $\xrightarrow{\substack{295\text{ kg}\\ 1\text{ paleta}\\ 0{,}504\text{ m}^3\\ 107\text{ km}}}$ (16) Chyňava $\xrightarrow{\substack{585\text{ kg}\\ 1\text{ paleta}\\ 1{,}200\text{ m}^3\\ 36\text{ km}}}$ (17) Hořovice $\xrightarrow{\substack{97\text{ kg}\\ 1\text{ paleta}\\ 0{,}192\text{ m}^3\\ 61\text{ km}}}$ (18) Blatná

$\xrightarrow{\substack{440\text{ kg}\\ 1\text{ paleta}\\ 0{,}749\text{ m}^3\\ 20\text{ km}}}$ (19) Čimelice $\xrightarrow{\substack{57\text{ kg}\\ 1\text{ paleta}\\ 0{,}\ 144\text{ m}^3\\ 25\text{ km}}}$ (20) Milevsko $\xrightarrow{\substack{236\text{ kg}\\ 1\text{ paleta}\\ 0{,}336\text{ m}^3\\ 42\text{ km}}}$ (21) Mladá Vožice $\xrightarrow{118\text{ km}}$

(1) Košík

6) (1) Košík $\xrightarrow{\text{122 kg, 1 paleta, } 0{,}240\ m^3\text{, 92 km}}$ (22) Hostouň $\xrightarrow{\text{64 kg, 1 paleta, } 0{,}150\ m^3\text{, 24 km}}$ (23) Studeněves $\xrightarrow{\text{356 kg, 1 paleta, } 0{,}672\ m^3\text{, 42 km}}$ (24) Měrunice $\xrightarrow{\text{2344 kg, 2 palety, } 2{,}620\ m^3\text{, 32 km}}$ (11) Žatec $\xrightarrow{\text{125 kg, 1 paleta, } 0{,}192\ m^3\text{, 19 km}}$ (25) Svojetín $\overset{\text{136 km}}{\dashrightarrow}$ (1) Košík

7) (1) Košík $\xrightarrow{\text{470 kg, 1 paleta, } 0{,}800\ m^3\text{, 38 km}}$ (26) Chotutice $\xrightarrow{\text{350 kg, 1 paleta, } 0{,}672\ m^3\text{, 138 km}}$ (27) Čáslavice $\xrightarrow{\text{236 kg, 1 paleta, } 0{,}294\ m^3\text{, 69 km}}$ (28) Velká Losenice $\xrightarrow{\text{122 kg, 1 paleta, } 0{,}192\ m^3\text{, 108 km}}$ (29) Slatina nad Zdobnicí $\xrightarrow{\text{236 kg, 1 paleta, } 0{,}384\ m^3\text{, 81 km}}$ (30) Starý Bydžov $\overset{\text{27 km}}{\dashrightarrow}$ (1) Košík

8) (1) Košík $\xrightarrow{\text{1240 kg, 2 palety, } 2{,}112\ m^3\text{, 128 km}}$ (31) Rakovník $\xrightarrow{\text{685 kg, 1 paleta, } 1{,}056\ m^3\text{, 75 km}}$ (32) Býčkovice $\xrightarrow{\text{235 kg, 1 paleta, } 0{,}336\ m^3\text{, 50 km}}$ (33) Bezděz $\overset{\text{47 km}}{\dashrightarrow}$ (1) Košík

$\longrightarrow$ - jízda z vrcholu *i* do *j* s výrobky

$\dashrightarrow$ - jízda prázdného auta z vrcholu *I* do *j*

*Poznámka: během okruhu 5 došlo k reklamaci objednávky zákazníkem, kvůli čemuž auto jede zpátky s vratkou.*

Znázorníme splnění všech omezujících podmínek každého jednotlivého okruhu:

**Tabulka č. 7 – Kontrola okruhů**

| Č. | Kapacitní podmínky | | | Časové podmínky | | Vzdálenost, km | Nosnost os, kg | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Váha, kg** | **Objem, m3** | **Palety, ks** | **Celkový čas** | **Datum** | | **Přední** | **Zadní** |
| 1 | 420 | 1,296 | 5 | 10 h 52 m | - | 662,5 | 1222 | 1978 |
| 2 | 3230 | 5,184 | 6 | 7 h 9 m | - | 413 | 1843 | 4167 |
| 3 | 2685 | 4,614 | 6 | 7 h 18 m | - | 434 | 1689 | 3776 |
| 4 | 3588 | 5,109 | 6 | 8 h 5 m | 10.03 | 479 | 2379 | 3989 |
| 5 | 1710 | 3,125 | 6 | 6 h 50 m | 17.03 | 409 | 1382 | 3108 |
| 6 | 3011 | 3,874 | 6 | 6 h 9 m | 15.03 | 345 | 2323 | 3468 |
| 7 | 1414 | 2,342 | 5 | 7 h 46 m | 12.03 | 461 | 1265 | 2929 |
| 8 | 2160 | 3,504 | 4 | 5 h 10 m | 11.03 | 300 | 1196 | 3745 |
| | **≤ 3720** | **≤ 20** | **≤ 6** | **≤ 12** | **-** | **∑3504** | **≤ 2400** | **≤ 4200** |

Po provedené kontrole všech okruhů můžeme říct, že vybrané okruhy splňují všechna omezení a vybrané řešení je optimální.

## 8.4 Praktické řešení metody nejbližšího souseda

Řešení víceokruhové úlohy metodou nejbližšího souseda se ve společnosti AMAGRO s.r.o. koná na základě rozpracované literatury v kapitole 5.2. a omezujících podmínek stanovených v kapitole 7.5.

Pro nalezení optimálního (případně suboptimálního) řešení úlohy vybranou metodou využijeme matici vzdálenosti, která je součástí příloh k dané práci. Ačkoliv výchozí místo je stanoveno firmou, začneme nalezení každého okruhu začátkem v obci Košík. Dalším postupem bude hledání místa s nejmenší možnou vzdáleností od předchozího místa tak, aby byly splněny všechny omezující podmínky. V případě, že místo s nejmenší možnou vzdáleností nesplňuje alespoň jedno z omezení, hledáme další možné místo s co nejmenší možnou vzdáleností od předchozího, které splní uvedené podklady. Pokud takové místo neexistuje, můžeme uzavřít tento okruh a říct, že jeho struktura je optimální.

Příkladem řešení úlohy je postup hledání optimální struktury prvního okruhu:

1) V matici vzdálenosti $C_{ij}$ najdeme zákazníka, ke kterému vzdálenost z obce Košík bude minimální, takovým je Starý Bydžov se vzdáleností 27 km, požadavek místa je 1 paleta o hmotnosti 236 kg a objemem 0,384 m$^3$, čas jízdy k zákazníkovi včetně času na manipulaci je 34 minut. Můžeme zařadit vrchol do okruhu.
2) Hledáme nejmenší možnou vzdálenost od obce Starý Bydžov, takovým je místo Chotutice, vzdálenost je 48 km, zákazník s požadavkem 1 paleta hmotnosti 470 kg a objemem 0,800 m$^3$. Čas jízdy z předchozího místa je 53 minut. Kontrolujeme celý okruh, potřebujeme odvézt 2 palety s celkovou váhou 706 kg, objemem 1,184 m$^3$ a celkovým časem 1 hod 27 min. Následně okruh je přípustný.
3) Dalším místem je Bezděz ve vzdálenosti 79 km od obce Chotutice, s požadavkem 1 paleta o hmotnosti 235 kg a objemem 0,336 m$^3$. Čas jízdy z Chotutice je 1 hod 21 min. Zkontrolujeme celý okruh, potřebujeme odvézt 3 palety celkovou váhou 941 kg, objemem 1,520 m$^3$. Čas potřebný na rozvoz je 2 hod 48 min. Můžeme spojit místa Chotutice a Bezděz.
4) Nejbližším místem k Bezdězu jsou Býčkovice se vzdáleností 50 km. Požadavek místa je 1 paleta o hmotnosti 685 kg a objemem 1,056 m$^3$. Čas jízdy z Bezdězu je 54 min. Zkontrolujeme celý okruh, potřebujeme odvézt 4 palety s váhou 1626 kg objemem 2,576 m$^3$. Celkový čas na rozvoz se rovná 3 hod 42 min. Trasa je přípustná.
5) Dalším místem jsou Měrunice se vzdáleností 35 km od Býčkovic. Požadavek zákazníka je 1 paleta hmotnosti 356 kg a objemem 0,672 m$^3$. Čas jízdy od Býčkovic je 40 minut. Zkontrolujeme celý okruh, potřebujeme odvézt 5 palet hmotnosti 1982 kg, objemem 3,248 m$^3$. Celkový čas na rozvoz se rovná 4 hod 22 min. Okruh je přípustný.
6) Hledáme nejmenší možnou vzdálenost od obce Měrunice, což je místo Žatec, vzdálenost je 32 km, zákazník s požadavkem 1 paleta o hmotnosti 1172 kg a objemem 1,180 m$^3$. Čas jízdy je 38 min. Zkontrolujeme celý okruh, potřebujeme odvézt 6 palet o hmotnosti 3154 kg, objemem 4,428 m$^3$. Celkový čas na rozvoz se rovná 5 hodin. Kapacita vozidla je využitá, musíme

se vrátit do výchozího místa Košík. Celkový čas celého okruhu 7 hod 30 min. Okruh je přípustný.

Strukuru všech optimálních okruhů znázorníme v tabulce.

**Tabulka č. 8 – Řešení metodou nejbližšího souseda**

| **Č.** | **Okruh** | **Kapacitní podmínky** | | **Celkový čas, h** | **Vzdálenost, km** |
|---|---|---|---|---|---|
| | | **Váha, kg** | **Palety, ks** | | |
| 1 | 1-30-26-33-32-24-11-1 | 3154 | 6 | 7 h 30 min | 436 |
| 2 | 1-22-16-15-17-31-1 | 2477 | 6 | 5 h 41 min | 320 |
| 3 | 1-23-25-12-13-14-18-1 | 1239 | 6 | 8 h 36 min | 507 |
| 4 | 1-21-10-20-19-8-27-1 | 1463 | 6 | 9 h 48 min | 585 |
| 5 | 1-28-29-4-5-3-2-1 | 688 | 6 | 11 h 46 min | 688 |
| 6 | 1-7-1 | 3030 | 5 | 6 h 4 min | 386 |
| 7 | 1-9-1 | 2505 | 5 | 7 h 18 min | 422 |
| 8 | 1-11-1 | 3572 | 3 | 5 hod 53 min | 330 |
| 9 | 1-6-1 | 90 | 1 | 9 hod 40 min | 576 |
| | **-** | **≤ 3720** | **≤ 6** | **≤ 12** | **∑4250** |

*Poznámka: čísla měst v okruhu jsou převzata ze schéma řešení metodou Clark-Wrighta; objem, nosnost os a datumy dodání budou splněny při řešení metodou nejbližšího souseda.*

# 9 Vyhodnocení výsledků

Cílem této kapitoly je zhodnocení výstupů vybraných metod řešení víceokruhového problému, porovnat náklady plynoucí z implementace jednotlivých výsledků do praxe a hlavně zhodnotit časovou úsporu při zavedení optimální struktury tras.

## 9.1 Porovnání výsledků jednotlivých metod

Na základě výsledků dosažených v kapitole 8, kde bylo provedeno řešení potenciálního víceokruhového problému, pro společnost AMAGRO s.r.o. sestavíme tabulku nejdůležitějších rozhodujících faktorů:

**Tabulka č. 9 – Výsledky jednotlivých metod**

| | **Metoda Clark-Wrighta** | **Metoda nejbližšího souseda** |
|---|---|---|
| **Počet přepravených palet, ks** | 44 | 44 |
| **Celková váha, kg** | 18218 | 18218 |
| **Celkový čas, hod** | 59 h 19 min | 72 h 16 min |
| **Množství pracovních dní** | 8 | 9 |
| **Celková ujetá vzdálenost, km** | 3504 | 4250 |

Z tabulky je vidět, že zvolenými metodami byl uspokojen požadavek všech zákazníků, konkrétně bylo odvezeno 44 palet s celkovou hmotností 18218 kg. Zároveň tímto krokem bylo zkontrolováno, zda úloha byla řešená správně. Nejdůležitějším je tady celková ujetá vzdálenost, ačkoliv účelová funkce se snaží minimalizovat konkrétně tento ukazatel. Metodou Clark-Wrighta bylo dosaženo mnohem lepších výsledků než metodou nejbližšího souseda, přesně o 746 kilometrů méně bylo ujeto během všech okruhů. Pro optimalizační úlohy to je obrovský rozdíl. Úspora času je 12 hodin 57 minut, což je více než jedna pracovní směna. Díky tomu je možné uzavřít všechny okruhy za 8 pracovních dní a ušetřit jeden den.

Co se týče aplikace výsledků do praxe, pokud by se rozvoz jednotlivých objednávek konal v březnu 2017, tak by podle metody Clark-Wrighta vyjelo vozidlo z výchozího místa Košík ve středu 1.3., dokončilo 3. okruh v pátek 3.3. a pokračovalo v rozvozu v pondělí 6.3. O víkendu se rozvoz nekoná. Rozvoz jednotlivých dodávek by byl dokončen 10.3. V případě metody nejbližšího souseda by vozidlo ještě čekalo na pondělí 13.3., kvůli tomu celková úspora ve dnech se rovná 3 dnům.

Metoda nejbližšího souseda dala zkreslené výsledky kvůli tomu, že nezaručuje minimalizaci vzdálenosti od posledního místa okruhu do výchozího. Taky místa, která měla nejmenší možnou vzdálenost od předchozího, nemusela být součástí jednoho okruhu kvůli omezením. V důsledku toho první okruhy daly dobré výsledky, ale poslední okruh se skládá z jednoho místa, které je hodně vzdáleným od výchozího místa a zároveň váha výrobku s paletou se rovná 90 kg, což nemá žádnou rentabilitu.

V tabulce *Výsledky jednotlivých metod* byly speciálně použita čísla pro označení jednotlivých míst shodná s výsledky metody Clark-Wrighta, na základě toho můžeme udělat závěr, že pořadí, ve kterém vstupují jednotlivé vrcholy do okruhu u zkoumaných metod, se málokdy opakuje, což nám říká o nutnosti probrat alespoň několik metod před konkrétním zhodnocením optimálního řešení.

## 9.2 Porovnání struktury nákladů

Porovnání jednotlivých metod je nutné provést z hlediska nákladovosti jednotlivých okruhů. Pro tyto účely definujeme náklady, které jsou součástí dopravních:

1) Mzdové náklady. Podle zkušenosti řidičů stanovíme průměrnou hodinovou sazbu, která se rovná 180 Kč/hod.
2) Náklady na pohonné hmoty. Průměrná cena na 1 litr nafty je odvozená od ceny na pohonné hmoty od 1.2.2018 do 25.2.2018, tabulka s vývojem cen je součástí příloh k diplomové práci a je veřejně dostupná z [26] a je hodnotou 29,99 Kč/1 litr.
3) Amortizace vozidla. Do nákladů zahrnujeme taky měsíční odpis dopravního prostředku.
4) Údržba vozu. Součástí těchto nákladů jsou náklady na obsluhu auta a případná obnova součástek. Hodnota je stanovená na 1500 Kč/měsíc.
5) Mýtné – poplatek za použití dálnic pro vozidla nad 3,5 t. V praxi výše mýtného je stanovena pro každý úsek tras zvlášť, ale hodnotu je těžko stanovit, předpokládáme jako průměr 1,30 Kč/ km.

Na začátku ukážeme strukturu nákladů pro řešení nalezené metodou Clark-Wrighta.

Mzdové náklady zjistíme podle vzorce:

$$N_m = S*T \qquad (9.2.1),$$

kde

S – stanovená hodinová sazba, 180 Kč/hod,

T– celkový čas zaokrouhlený nahoru, hod,

$N_m$ = 180*60 = 10 800 Kč.

Cena vozu Hyundai HD – 65 na trhu je 180 000 Kč, dlouhodobý hmotný majetek odneseme do 5. odpisové skupiny s dobou odpisování 30 let. Měsíční odpis zjistíme podle vztahu:

$$N_o = \frac{180000}{30*12} = 500 \text{ Kč/měsíc} \qquad (9.2.2).$$

Celková ujetá vzdálenost je 3504 km, spotřeba nafty je 15 l/100 km, z jednoduchého výpočtu můžeme zjistit, kolikrát za měsíc vozidlo projede 100 km:

$$P = \frac{3504}{100} = 35{,}04 \qquad (9.2.3).$$

Z toho se dozvíme celkové náklady na naftu:

$$N_p = 35{,}04*17*29{,}99 = 17\ 864{,}04 \text{ Kč} \qquad (9.2.4).$$

Mýtné spočítáme podle vzorce, kde průměr 1,30 Kč/km vynásobíme celkovou vzdáleností:

$$N_y = 1{,}30*\ 3504 = 4555{,}2 \text{ Kč} \qquad (9.2.5).$$

Spočítáme celkové náklady na měsíc březen:

$$N = 1500+500+17864{,}04+10800+4552{,}2 = 35\ 174{,}04 \text{ Kč}.$$

Stejně spočítáme celkové náklady pro okruhy nalezené metodou nejbližšího souseda a znázorníme výsledky v tabulce:

**Tabulka č. 10 – Struktura nákladů**

| | **Metoda Clark-Wrighta** | **Metoda nejbližšího souseda** |
|---|---|---|
| **Mzdové náklady** | 10 800 | 13 140 |
| **Náklady na pohonné hmoty** | 17 864,04 | 21 667,78 |
| **Amortizace vozidla** | 500 | |
| **Údržba vozu** | 1500 | |
| **Mýtné** | 4555,2 | 5525 |
| **Celkem** | 35219,24 | 42332,78 |

Pokud porovnáme celkové náklady na nalezené okruhy, tak zjistíme, že struktura okruhů nalezená pomocí metody Clark-Wrighta je úspornější, a to o 7113,54 Kč/měsíc. Struktura nákladů potvrdila výsledky získané v kapitole 9.1.

Na základě údajů uvedených v předchozí tabulce odvodíme hodnotu celkových ročních nákladů pro obě dvě metody:

**Tabulka č. 11 – Celkové roční náklady**

| | **Metoda Clark-Wrighta** | **Metoda nejbližšího souseda** |
|---|---|---|
| **Celkové roční náklady** | 422 630,88 | 507 993,36 |

V případě ročních nákladů se rozdíl mezi výsledky vybraných metod rovná 85362,48 Kč, což bude mít velký vliv na zisk společnosti. Metoda Clark-Wrighta je mnohem úspornější z hlediska nákladů, celkové vzdálenosti a času jízd.

# 10 Analýza účelnosti nákupu vozu

V této kapitole je rozpracovaná struktura již existujících nákladů na využití služeb jiné firmy a je porovnaná s předpokládanými náklady na zahájení vlastní dopravní činnosti. Součástí je taky ekonomická charakteristika společnosti.

## 10.1 Analýza existujících nákladů

V této době společnost AMAGRO s.r.o. spolupracuje s externí speditérskou společností, která vystavuje faktury na dopravu. Na základě vnitropodnikové dokumentace je možné snadno odvodit celkové náklady, které se skládají z nákladů na přepravné, mýtné a paletového příplatku, všechny náklady pro každdou destinaci znázorníme v tabulce:

**Tabulka č. 12 – Existující náklady**

| Č | Místo | Náklady | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Přepravné | Mýtné | Paletový příplatek | Celkem |
| 1 | Zdice | 522 | 14,34 | 31,32 | 567,66 |
| 2 | Slatina nad Zdobnicí | 599 | 34,89 | 35,94 | 669,83 |
| 3 | Bezděz | 763 | 60 | 45,78 | 868,78 |
| 4 | Býčkovice | 1381 | 162,82 | 82,86 | 1626,68 |
| 5 | Hostouň | 385 | 8,73 | 23,10 | 416,83 |
| 6 | Žatec | 8352 | 1395,52 | 501,12 | 10248,64 |
| 7 | Měrunice | 989 | 93,03 | 59,34 | 1141,37 |
| 8 | Hořovice | 2686 | 69,72 | 161,16 | 2916,94 |
| 9 | Čáslavice | 1482 | 186,06 | 88,92 | 1756,98 |
| 10 | Studeněves | 260 | 4,19 | 15,6 | 279,79 |
| 11 | Velká Losenice | 763 | 60 | 45,78 | 868,78 |
| 12 | Chyňava | 610 | 17,46 | 36,6 | 664,06 |
| 13 | Mladá Vožice | 763 | 60 | 45,78 | 868,78 |
| 14 | Blatná | 436 | 23,27 | 26,16 | 485,43 |
| 15 | Milevsko | 349 | 18,71 | 20,94 | 388,65 |
| 16 | Nepomuk | 3703 | 766,96 | 222,18 | 4692,14 |
| 17 | Třebohostice | 697 | 46,52 | 41,82 | 785,34 |
| 18 | Starý Bydžov | 763 | 60 | 45,78 | 868,78 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 19 | Rakovník | 1677 | 87,22 | 100,62 | 1864,84 |
| 20 | Čimelice | 1079 | 105,91 | 64,74 | 1249,65 |
| 21 | České Budějovice | 4867 | 687,37 | 292,02 | 5855,39 |
| 22 | Chabrovice | 697 | 46,52 | 41,82 | 785,34 |
| 23 | Šenov u Nového | 450 | 34,89 | 27 | 511,89 |
| 24 | Kryry | 989 | 93,03 | 59,34 | 1141,37 |
| 25 | Svojetín | 385 | 8,73 | 23,10 | 416,83 |
| 26 | Chotutice | 910 | 29,08 | 54,6 | 993,68 |
| 27 | Stříbro | 989 | 93,03 | 59,34 | 1141,37 |
| 28 | Lubenec | 763 | 60 | 45,78 | 868,78 |
| 29 | Opava | 359 | 26,65 | 21,54 | 407,19 |
| 30 | Odry | 731 | 69,79 | 43,86 | 844,65 |
| 31 | Spálov | 359 | 26,65 | 21,54 | 407,19 |
| 32 | Velké Hoštice | 359 | 26,65 | 21,54 | 407,19 |
| | **SUMA** | **40117** | **4477,74** | **2407,02** | **47010,82** |

Na základě tabulky můžeme říct, že celkové měsíční náklady na dopravu v březnu 2017 roku byly 47010,82 Kč, největší položkou byly náklady na využití služeb jiné firmy, a to v hodnotě 40117 Kč, pak byly náklady na mýtné 4477,74 Kč, poslední položkou byl paletový příplatek v hodnotě 2407,02 Kč.

## 10.2 Zahájení vlastní činnosti

Cílem této podkapitoly je prozkoumat všechny náklady spojené se zahájením vlastní dopravní činnosti. Ačkoliv se jedná o rozšíření služeb firmy, dojde k nárůstu okamžitých nákladu, které se budou skládat z:

1) Modernizace vnitropodnikového informačního systému, které umožní optimálně rozmísťovat palety v dopravním prostředku, hledat nejkratší cesty, součástí kterého bude systém pro podporu rozhodování. Peněžní hodnota nákupu takové modernizace se rovná 40 000 Kč, instalace systému 15 000 Kč.
2) Nákup vozidla Hyundai HD – 65 za 180 000 Kč.
3) Ve společnosti je založeno logistické oddělení, které se zabývá vyřizováním objednávek, dopravní oddělení bude součástí logistiky podniku a řídit to bude

stejný pracovník, proto plat pracovníka oddělení logistiky se zvětší o 5000 Kč.

4) Školení zaměstnanců manipulace s novým systémem bude stát 1500 Kč.
5) Využití externích IT služeb pro podporu a rozvoj vnitropodnikového informačního systému přijde na 1000 Kč/měsíc.

Spočítáme celkové okamžité náklady na zahájení fungování dopravního systému:

$N$ = 40 000+15 000+ 180 000+ 1500 = 236 500 Kč.

Měsíční náklady spojené s fungováním dopravního systému se zvětší, znázorníme je v tabulce a porovnáme s náklady na využití služeb externího podniku.

**Tabulka č. 13 – Měsíční náklady spojené s fungováním dopravy**

| | |
|---|---|
| **Mzdové náklady řidiče** | 10 800 |
| **Náklady na pohonné hmoty** | 17 864,04 |
| **Amortizace vozidla** | 500 |
| **Údržba vozu** | 1500 |
| **Mýtné** | 4555,2 |
| **Využití externích IT služeb** | 1000 |
| **Příplatek ke mzdě pracovníka oddělení** | 5000 |
| **Celkem** | 41 219,24 |

Pokud se podíváme na celkové existující měsíční náklady v hodnotě 47010,82 Kč a nově nalezené náklady na rozvoz vlastním dopravním prostředkem 41219,24 Kč, uděláme jednoznačný závěr, že doprava vlastním prostředkem je úspornější, a to o 5791,58 Kč/měsíc.

Dále je nutné dozvědět se, za jaký čas nově zavedený systém bude přinášet zisk z hlediska zahrnutí okamžitých nákladů na zahájení systému. Uděláme to tak, že spočítáme, za kolik měsíců celková měsíční úspora 5791,58 Kč pokryje okamžitý náklad 236 500 Kč.

$Z = \frac{236500}{5791,58} = 40,83 = 41$ měsíce

Na základě toho můžeme udělat závěr, že za 3 roky 5 měsíců od okamžiku zahájení fungování vlastní dopravní sítě systém přestane být ztrátový a začne přinášet zisk.

## 10.3 Ekonomická charakteristika

Ze získaných údajů je nutné udělat ekonomickou interpretaci. Pro tyto účely využijeme předpokládaný výnos za měsíc březen. Požadavek jednotlivých míst a peníze získané za prodej konkrétních druhů vlastních výrobků je součástí příloh k diplomové práci. Z tabulky v příloze je vidět, že celková průměrná hodnota výnosu se rovná 8 388 550 Kč. Z toho můžeme spočítat, kolik nám zbude peněz po odečtení dopravních nákladů:

$$Z_{č} = 8\,388\,550 - 41\,219{,}24 = 8\,347\,330{,}76 \text{ Kč.}$$

Uděláme závěr, že dopravní náklady pro danou společnost v porovnání s celkovým příjmem jsou malé a mají malý vliv na konečnou hodnotu zisku. Pro účely diplomové práce je podstatné, kolik korun výnosu přichází na 1 korunu dopravních nákladů:

$$Z_N = \frac{8388550}{41219{,}24} = 203{,}51 \text{ Kč.}$$

Uděláme stejné výpočty pro existující situaci v podniku a souhrn získaných dat zapíšeme do tabulky.

**Tabulka č. 14 – Ekonomická charakteristika**

| | **Existující situace** | **Nové řešení** |
|---|---|---|
| $Z_{č}$ | 8 341 539,18 | 8 347 330,76 |
| $Z_N$ | 178,44 | 203,51 |

Na základě provedených výpočtu uděláme závěr, že dopravní náklady mají nepodstatný vliv na konečný zisk. Dnešní situace v podniku přináší 178,44 Kč z jedné vynaložené koruny na dopravu, ale při nákupu svého vozu tato hodnota poroste do 203,51 Kč, což je obrovský nárůst.

# 11 Závěr

Hlavním cílem diplomové práce je navrhování struktury dopravních okruhů pro společnost AMAGRO s.r.o., která chce koupit dopravní prostředek a uskutečňovat rozvoz vlastních výrobků svým zákazníkům. Dalším cílem je porovnání struktury předpokládaných nákladu a existujících nákladů na služby jiné speditérské firmy.

V teoretické části diplomové práce je rozpracována teorie k problému, kde je kladen důraz na modifikaci víceokruhového problému obchodního cestujícího a metody řešení určitého problému. Na začátku praktické části je uvedená charakteristika společnosti včetně detailního popisu jednotlivých typů výrobků. Na základě toho je odvozena struktura omezujících podmínek, slovní a matematický popis problému. Dále následuje výběr vhodných metod pro řešení víceokruhového problému, konkrétně metody Clark-Wrighta a metody nejbližšího souseda. Cílem těchto metod je nalézt strukturu jednotlivých okruhů, která umožní uspokojit poptávku všech zákazníků s co nejmenší možnou ujetou vzdáleností.

Na základě výpočtu nejlepší výsledky poskytuje metoda Clark-Wrighta, která rozděluje všechny vrcholy do 8 okruhů s celkovou ujetou vzdáleností 3504 km za 59 hodin 19 minut, což je o 1 okruh, 746 km a 12 hodin 57 minut úspornější než řešení nalezené pomocí metody nejbližšího souseda. Co se týče nákladové úspornosti, řešení nalezené metodou Clark-Wrighta je úspornější o 7113,54 Kč/měsíc, což je o 85362,48 Kč/rok. Výnosem této práce je potvrzení univerzality metody Clark-Wrighta a možnosti aplikace této metody v situaci s veškerými podmínkami.

Pokud jde o rentabilitu nákupu vlastního vozu, dopravní náklady se zmenší o 5791,58 Kč/měsíc a za 3 roky a 5 měsíců po zavedení dopravního oddělení do útvaru podniku začne přinášet zisk. Po provedení ekonomické analýzy zjistíme, že v dnešní době jedna koruna dopravních nákladu přináší 178,44 Kč výnosu, přičemž potenciální hodnota po změnách se rovná 203,51 Kč. Z dlouhodobého hlediska a s předpokladem nárůstu poptávky po výrobcích společnosti AMAGRO s.r.o. úspora z nákupu vlastního vozu bude narůstat a ztrátová doba se bude zkracovat.

Na základě získaných údajů bude společnosti AMAGRO s.r.o. jednoznačně doporučeno koupit vlastní vůz a zavést dopravní oddělení do útvaru podniku. Součástí návrhu bude rozpracovaná struktura tras a ekonomická analýza.

V případě odmítnutí nalezených výsledku bude firmě nabízena metoda Clark-Wrighta pro řešení určitého problému včetně ukázky výpočtu a aplikace pro rozhodnutí optimálního naložení auta.

# 12 Použitá literatura


[1] Gutin, G., Punnen, A.P., 2006. *The Traveling Salesman Problem and Its Variations*. Springer. ISBN 978-1-4020-0664-7

[2] Cook, J.W., 2011. *Po Stopách Obchodního Cestujícího*. Argo/Dokořán. ISBN 978-80-7363-412-4

[3] Applegate, D.L., Bixby, R.E., Chvátal, V., Cook, J.W., 2006. *The Traveling Salesman Problem: A Computational Study*. Princeton University Press. ISBN 978-14-008-4110-3.

[4] Kučera, P., *Metodologie Řešení Okružního* Dopravního *Problému*. Česká zemědělská univerzita v Praze, 2009.

[5] Kolman, P., 2012. *Modely Dopravních Úloh Minimalizující Dobu Přepravy*. Mendelová univerzita v Brně.

[6] Croes, G.A., 1958. *Methods For Solving Traveling Salesman Problem.* Operations Research, 6.

[7] Janáček, J., 2006. *Optimalizace Na Dopravních Sítích*. vyd. 2. Žilina: EDIS. ISBN 90-80-70-586-0.

[8] Kudelová, B, 2007. *Srovnání efektivnosti algoritmu pro řešení úloh obchodního cestujícího*. Praha. 77–79 s. Diplomová práce na Fakultě informatiky a statistiky Vysoké školy ekonomické v Praze hlavní specializace Ekonometrie a operační výzkum.

[9] Toth, P., Vigo, D., 2001. *An Overview of Vehicle Routing Problems*. In: Toth, P. and Vigo, D. The vehicle routing problem. Philadelphia. Society for Industrial and Applied Mathematics, s. 1–46. ISBN:0-89871-498-2

[10] Toth, P., Vigo, D., 1997. *An exact algorithm for the vehicle routing problem with the backhauls*. Transportation science, V31 S:372–385.

[11] Laporte, G., Nobert, Y., Destrochers, M., 1985. *Optimal routing under capacity and distance restrictions.* Operations research, V33 S: 1020–1078.

[12] Birge, J. R., Louveaux, F., 2011. *Introduction to Stochasticc Programming*. 2nd edition, Springer.  ISBN 978-1-4614-0236-7

[13] Jabali, O., Rei, W., Gendreau, M., Laporte, G., 2014. *New Valid Inequalities for the Multi – Vehicle Routing Problem with Stochastic Demands*. Discrete Applied Mathematics, 177, s. 121–136.

[14] Bektas, T., 2006. *The Multiple Traveling Saleseman Problem: an Overview of Formulations and Solution Procedures.* Omega. 34: s. 205–228.

[15] Oberlin, P., Rathinam, S., Darbha, S., 2009. *A transformation for heterogeneous, multi-depot, multiple traveling saleseman problem.* In Proceedings of the Amerikan Control Conference, p. 1290–1303, St. Louis, June 10–12.

[16] Pelikán, J., 2001. *Diskrétní modely v operačním výzkumu*. Professional Publishing, Praha, s. 48-71 ISBN 8086419177

[17] Desrosiers, J., et al., 1995. *Time Constrained Roating and Scheduling*. In Handbooks in Operations Research and Management Science: Network Roating. Elsevier Science Publ., 30–146.

[18] Dumas, Y., Desrosiers, J., Soumis, F., 1991. *The Pick-Up and Delivery problem with the windows.* European Journal of Operational Research 54, 4–32.

[19] Clarke, G; Wright, J. W., 1964. *Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points.* Operations Research 12, s.: 560–586.

[20] Pelikán, J., 1992. *Praktikum z Operačního výzkumu*. 1. vydání, Praha: VŠE. s. 80–86. ISBN 80-7079-135-7.

[21] Holoubek, J., 2010. *Ekonomicko-matematické metody*. 2. vydání. Brno: Mendelova univerzita v Brně, s. 150–158. ISBN 978-80-7375-411-2.

[22] Antošová, R., Holoubek, J., 2010. *Využití Mayerovy Metody při Řešení Víceokruhového Dopravního Problému*. Sborník příspěvku z mezinárodního vědeckého semináře Kvalitativní Metody V Ekonomii 2010. 1. Vyd. Brno: Mendelova univerzita v Brně, s. 100–109. ISBN 978-807-375-438-9.

## Internetové zdroje

[23] Carrello trilaterale per corsie strette (BT Vector R VRE150). *Mecalux: Logismarket* [online]. ©2000-2018 [cit. 2018-02-22]. Dostupné z: https://www.logismarket.it/tmhit/carrello-trilaterale-per-corsie-strette/698491735-10474626-p.html.

[24] Transport. *Logistic Club* [online]. ©2003-2018 [cit. 2018-02-22]. Dostupné z: http://transport.logists.by/calculator/veh-by-pal.

[25] MBenzin.cz [online]. [cit. 2018-02-22]. Dostupné z: https://www.mbenzin.

[26] Amagro s.r.o. [online]. ©2008-2018 [cit. 2018-02-22]. Dostupne z: https://www.amagro.com

# 13 Přílohy

### Příloha č. 1 – Výchozí data

| | Město | Objednávka | | Nejpozdější možné datum | Náklady | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Hmotnost kg | Palety ks | | Přepravné | Mýtné | Paletový příplatek | Celkem |
| **1** | Zdice | 235 | 1 | 10.03 | 522 | 14,34 | 31,32 | 567,66 |
| **2** | Slatina nad Zdobnicí | 122 | 1 | 12.03 | 599 | 34,89 | 35,94 | 669,83 |
| **3** | Bezděz | 235 | 1 | 11.03 | 763 | 60 | 45,78 | 868,78 |
| **4** | Býčkovice | 685 | 1 | 13.03 | 1381 | 162,82 | 82,86 | 1626,68 |
| **5** | Hostouň | 122 | 1 | - | 385 | 8,73 | 23,10 | 416,83 |
| **6** | Žatec | 4744 | 4 | 15.03 | 8352 | 1395,52 | 501,12 | 10248,64 |
| **7** | Měrunice | 356 | 1 | - | 989 | 93,03 | 59,34 | 1141,37 |
| **8** | Hořovice | 585 | 1 | 17.03 | 2686 | 69,72 | 161,16 | 2916,94 |
| **9** | Čáslavice | 721 | 1 | - | 1482 | 186,06 | 88,92 | 1756,98 |
| **10** | Studeněves | 64 | 1 | - | 260 | 4,19 | 15,6 | 279,79 |
| **11** | Velká Losenice | 236 | 1 | - | 763 | 60 | 45,78 | 868,78 |
| **12** | Chyňava | 295 | 1 | 21.03 | 610 | 17,46 | 36,6 | 664,06 |
| **13** | Mladá Vožice | 236 | 1 | 22.03 | 763 | 60 | 45,78 | 868,78 |
| **14** | Blatná | 97 | 1 | 23.03 | 436 | 23,27 | 26,16 | 485,43 |
| **15** | Milevsko | 57 | 1 | 24.03 | 349 | 18,71 | 20,94 | 388,65 |
| **16** | Nepomuk | 3030 | 5 | - | 3703 | 766,96 | 222,18 | 4692,14 |
| **17** | Třebohostice | 200 | 1 | - | 697 | 46,52 | 41,82 | 785,34 |
| **18** | Starý Bydžov | 236 | 1 | 28.03 | 763 | 60 | 45,78 | 868,78 |
| **19** | Rakovník | 1240 | 2 | - | 1677 | 87,22 | 100,62 | 1864,84 |
| **20** | Čimelice | 440 | 1 | 31.03 | 1079 | 105,91 | 64,74 | 1249,65 |
| **21** | České Budějovice | 2505 | 5 | - | 4867 | 687,37 | 292,02 | 5855,39 |
| **22** | Chabrovice | 180 | 1 | - | 697 | 46,52 | 41,82 | 785,34 |
| **23** | Šenov u Nového | 90 | 1 | - | 450 | 34,89 | 27 | 511,89 |
| **24** | Kryry | 358 | 1 | - | 989 | 93,03 | 59,34 | 1141,37 |
| **25** | Svojetín | 125 | 1 | - | 385 | 8,73 | 23,10 | 416,83 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **26** | Chotutice | 470 | 1 | - | 910 | 29,08 | 54,6 | 993,68 |
| **27** | Stříbro | 357 | 1 | - | 989 | 93,03 | 59,34 | 1141,37 |
| **28** | Lubenec | 238 | 1 | - | 763 | 60 | 45,78 | 868,78 |
| **29** | Opava | 50 | 1 | - | 359 | 26,65 | 21,54 | 407,19 |
| **30** | Odry | 170 | 1 | - | 731 | 69,79 | 43,86 | 844,65 |
| **31** | Spálov | 50 | 1 | - | 359 | 26,65 | 21,54 | 407,19 |
| **32** | Velké Hoštice | 60 | 1 | - | 359 | 26,65 | 21,54 | 407,19 |
| | SUMA | - | - | - | 40117 | 4477,74 | 2407,02 | 47010,82 |

## Příloha č. 2 – Ceny výrobků

| **Výrobek** | **Balení** | **Jednotková cena v Kč bez DPH** | **Cena plné aplikace na 1 ha bez DPH** | **Jednotková cena v Kč vč. 21% DPH** |
|---|---|---|---|---|
| **Lignohumát MAX** | IBC 1000 litrů | 316 000,00 | 126,40 | 382 360,00 |
| **Lignohumát MAX** | Kanystr 10 litrů | 3 496,00 | 139,80 | 4 230,00 |
| **Lignohumát MAX** | Kanystr 5 litrů | 1 806,00 | 144,50 | 2 185,00 |
| **Lignohumát MAX** | Lahev 1 litr | 368,00 | 147,20 | 445,00 |
| **Lignohumát B** | Kanystr 10 litrů | 1 906,00 | 190,00 | 2 306,00 |
| **Lignohumát B** | Kanystr 5 litrů | 1 011,00 | 202,00 | 1 223,00 |
| **Lignohumát A** | Pytel 20 kg | 21 494,00 | 107,5 | 26 008,00 |
| **Lignohumát AM** | Pytel 20 kg | 22 620,00 | 105,70 | 27 370,00 |
| **Lignohumát AM** | Sáček 1 kg | 1 156,00 | 115,60 | 1 399,00 |
| **Ligno SUPER NPK** | Kanystr 10 litrů | 1 098,00 | 219,60 | 1 328,00 |
| **Ligno SUPER NPK** | Kanystr 5 litrů | 578,00 | 231,20 | 699,00 |
| **Ligno SUPER NPK** | Lahev 1 litr | 134,00 | 268,00 | 162,00 |
| **Ligno AKTIVÁTOR prášek** | Pytel 10 kg | 17 045,00 | 170,50 | 20 624,00 |
| **Ligno AKTIVÁTOR prášek** | Sáček 1 kg | 1 878,00 | 187,80 | 2 272,40 |
| **Ligno AKTIVÁTOR roztok** | Kanystr 10 litrů | 3 178,00 | 238,40 | 3 845,00 |
| **Ligno AKTIVÁTOR roztok** | Kanystr 5 litrů | 1 618,00 | 242,90 | 1 958,00 |
| **Ligno AKTIVÁTOR roztok** | Lahev 1 litr | 384,00 | 288,70 | 464,00 |
| **AMAGRO Alga** | Kanystr 10 litrů | 1 583,00 | 316,60 | 1 915,00 |

## Příloha č. 3 – Požadavky jednotlivých zákazníků

| Místo | Výrobky | Příjem | Váha | Objem |
|---|---|---|---|---|
| **Zdice** | 10x Lignohumát A | 260 080 | 200 | 0,336 m3 |
| | 1x Ligno AKTIVÁTOR prášek | 20 624 | 10 | |
| | 1x Ligno SUPER NPK | 699 | 5 | |
| **Slatina nad Zdobnicí** | 5x Lignohumát AM | 136 850 | 100 | 0,192 m3 |
| | 2x Ligno AKTIVÁTOR prášek | 4 544,80 | 2 | |
| **Bezděz** | 10x Lignohumát AM | 273 700 | 200 | 0,336 m3 |
| | 1x Ligno SUPER NPK | 699 | 5 | |
| | 1x Ligno AKTIVÁTOR prášek | 20 624 | 10 | |
| **Býčkovice** | 33x Lignohumát A | 858 264 | 660 | 1,056 m3 |
| | 5x Lignohumát AM | 6 995 | 5 | |
| **Hostouň** | 6x Lignohumát A | 156 048 | 100 | 0,240 m3 |
| | 2x Lignohumát MAX | 890 | 2 | |
| **Žatec** | 57x Lignohumát AM | 1 560 090 | 1 140 | 1,440 m3 |
| | 1x Ligno AKTIVÁTOR roztok | 3 845 | 10 | |
| | 2x Ligno SUPER NPK | 324 | 2 | |
| | 59x Lignohumát A | 1 534 472 | 1 180 | 1,728 m3 |
| | 50x Lignohumát AM | 1 368 500 | 1 000 | 1,180 m3 |
| | 8x AMAGRO Alga | 15 320 | 80 | |
| | 7x Ligno AKTIVÁTOR prášek | 206 240 | 70 | |
| | 2x Ligno SUPER NPK | 324 | 2 | |
| | 49x Lignohumát AM | 1 341 130 | 980 | 1,180 m3 |
| | 20x Lignohumát B | 23 060 | 200 | |
| **Měrunice** | 16x Lignohumát A | 416 128 | 320 | 0,672 m3 |
| | 1xLigno SUPER NPK | 13 280 | 10 | |
| | 6x Ligno AKTIVÁTOR roztok | 2 784 | 6 | |
| **Hořovice** | 28x Lignohumát AM | 0 | 560 | 1,200 m3 |
| | 1x Lignohumát B | 0 | 5 | |
| **Čáslavice** | 48x Ligno AKTIVÁTOR prášek | 989 952 | 480 | 1,200 m3 |
| | 11x Lignohumát A | 286 088 | 220 | |
| | 1x Lignohumát MAX | 445 | 1 | |

<table>
<tr><td rowspan="2">Studeněves</td><td>2x Lignohumát AM</td><td>54 740</td><td>40</td><td rowspan="2">0,150 m3</td></tr>
<tr><td>4x Ligno AKTIVÁTOR prášek</td><td>9089,60</td><td>4</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Velká Losenice</td><td>10x Lignohumát A</td><td>260 080</td><td>200</td><td rowspan="3">0,294 m3</td></tr>
<tr><td>1x Ligno SUPER NPK</td><td>1 328</td><td>10</td></tr>
<tr><td>6x Lignohumát AM</td><td>8 394</td><td>6</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Chyňava</td><td>27x Ligno SUPER NPK</td><td>35 856</td><td>270</td><td rowspan="2">0,504 m3</td></tr>
<tr><td>5x Ligno AKTIVÁTOR roztok</td><td>2 320</td><td>5</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Mladá Vožice</td><td>9x Lignohumát AM</td><td>246 330</td><td>180</td><td rowspan="3">0,336 m3</td></tr>
<tr><td>3x Ligno AKTIVÁTOR prášek</td><td>61 872</td><td>30</td></tr>
<tr><td>6x Ligno SUPER NPK</td><td>972</td><td>6</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Blatná</td><td>3x Lignohumát A</td><td>78 024</td><td>60</td><td rowspan="3">0,192 m3</td></tr>
<tr><td>2x Ligno SUPER NPK</td><td>1 398</td><td>10</td></tr>
<tr><td>7x Lignohumát MAX</td><td>3 115</td><td>7</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Milevsko</td><td>3x Ligno SUPER NPK</td><td>3 984</td><td>30</td><td rowspan="2">0,144 m3</td></tr>
<tr><td>1x Ligno AKTIVÁTOR prášek</td><td>2 272,40</td><td>7</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Nepomuk</td><td>145x Lignohumát AM</td><td>3 968 650</td><td>2 900</td><td rowspan="3">4,800 m3</td></tr>
<tr><td>5x Ligno SUPER NPK</td><td>3 495</td><td>25</td></tr>
<tr><td>1x Ligno AKTIVÁTOR prášek</td><td>11 362</td><td>5</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Třebohostice</td><td>5x Lignohumát A</td><td>130 040</td><td>100</td><td rowspan="2">0,384 m3</td></tr>
<tr><td>8x Ligno SUPER NPK</td><td>10 624</td><td>80</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Starý Bydžov</td><td>21x Ligno AKTIVÁTOR prášek</td><td>433 104</td><td>210</td><td rowspan="2">0,384 m3</td></tr>
<tr><td>6x Lignohumát AM</td><td>8 394</td><td>6</td></tr>
<tr><td>Rakovník</td><td>60x Lignohumát AM</td><td>1 642 200</td><td>1 200</td><td>2,112 m3</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Čimelice</td><td>2x Lignohumát A</td><td>52 016</td><td>40</td><td rowspan="2">0,749 m3</td></tr>
<tr><td>40x Ligno AKTIVÁTOR prášek</td><td>824 960</td><td>400</td></tr>
<tr><td rowspan="6">České Budějovice</td><td>78x Lignohumát AM</td><td>109 122</td><td>1 560</td><td rowspan="2">2,558 m3</td></tr>
<tr><td>6x Ligno SUPER NPK</td><td>972</td><td>6</td></tr>
<tr><td>38x Ligno AKTIVÁTOR roztok</td><td>146 110</td><td>380</td><td rowspan="2">1,000 m3</td></tr>
<tr><td>14x Ligno SUPER NPK</td><td>2 268</td><td>14</td></tr>
<tr><td>21x Lignohumát AM</td><td>574 770</td><td>420</td><td rowspan="2">0,768 m3</td></tr>
<tr><td>25x Ligno SUPER NPK</td><td>4 050</td><td>25</td></tr>
</table>

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Chabrovice** | 6x Lignohumát AM | 164 220 | 120 | 0,288 m3 |
| | 4x Lignohumát MAX | 16 920 | 40 | |
| **Šenov u Nového** | 7x Lignohumát B | 16 142 | 70 | 0,240 m3 |
| **Kryry** | 33x Lignohumát MAX | 139 590 | 330 | 0,800 m3 |
| | 8x Ligno AKTIVÁTOR roztok | 3 712 | 8 | |
| **Svojetín** | 10x Ligno AKTIVÁTOR prášek | 206 240 | 100 | 0,192 m3 |
| | 5x Lignohumát AM | 6 995 | 5 | |
| **Chotutice** | 45x Lignohumát B | 103 770 | 450 | 0,800 m3 |
| **Sříbro** | 28x Ligno AKTIVÁTOR roztok | 107 660 | 280 | 0,700 m3 |
| | 57x Ligno SUPER NPK | 9 234 | 57 | |
| **Lubenec** | 18x Ligno AKTIVÁTOR prášek | 371 232 | 180 | 0,365 m3 |
| | 38x Ligno SUPER NPK | 6 162 | 38 | |
| **Opava** | 30x Ligno AKTIVÁTOR roztok | 13 920 | 30 | 0,240 m3 |
| **Odry** | 150x Ligno SUPER NPK | 24 300 | 150 | 0,336 m3 |
| **Spálov** | 30x Ligno AKTIVÁTOR roztok | 13 920 | 30 | 0,240 m3 |
| **Velké Hoštice** | 20x Ligno AKTIVÁTOR prášek | 412 480 | 40 | 0,240 m3 |
| **SUMA** | - | 8 388 550 | - | - |

## Příloha č. 4 – Matice vzdálenosti 1. Část

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **0** | 0 | 122 | 135 | 47 | 94 | 92 | 165 | 138 | 129 | 159 | 111 | 123 | 107 | 118 | 168 | 171 | 193 |
| **1** | 121 | 0 | 211 | 133 | 118 | 43 | 107 | 103 | 13 | 204 | 63 | 186 | 27 | 126 | 88 | 81 | 77 |
| **2** | 133 | 211 | 0 | 150 | 225 | 193 | 256 | 232 | 218 | 153 | 205 | 108 | 203 | 182 | 257 | 260 | 282 |
| **3** | 47 | 133 | 150 | 0 | 50 | 103 | 111 | 83 | 141 | 238 | 76 | 157 | 118 | 159 | 150 | 182 | 205 |
| **4** | 94 | 118 | 225 | 50 | 0 | 79 | 66 | 35 | 127 | 237 | 55 | 220 | 85 | 158 | 179 | 176 | 191 |
| **5** | 92 | 43 | 193 | 103 | 79 | 0 | 68 | 65 | 52 | 186 | 24 | 168 | 16 | 107 | 108 | 111 | 116 |
| **6** | 165 | 107 | 256 | 111 | 66 | 68 | 0 | 32 | 115 | 249 | 44 | 231 | 68 | 170 | 172 | 175 | 120 |
| **7** | 138 | 103 | 232 | 83 | 35 | 65 | 32 | 0 | 112 | 247 | 42 | 226 | 76 | 167 | 169 | 172 | 176 |
| **8** | 129 | 13 | 218 | 141 | 127 | 52 | 115 | 112 | 0 | 212 | 73 | 195 | 36 | 92 | 61 | 68 | 73 |
| **9** | 159 | 204 | 153 | 238 | 237 | 186 | 249 | 247 | 212 | 0 | 206 | 69 | 197 | 120 | 174 | 141 | 198 |
| **10** | 111 | 63 | 205 | 76 | 55 | 24 | 44 | 42 | 73 | 206 | 0 | 189 | 32 | 128 | 129 | 133 | 137 |
| **11** | 123 | 186 | 108 | 157 | 220 | 168 | 231 | 226 | 195 | 69 | 189 | 0 | 179 | 102 | 179 | 129 | 259 |
| **12** | 107 | 27 | 203 | 118 | 85 | 16 | 68 | 76 | 36 | 197 | 32 | 179 | 0 | 117 | 112 | 105 | 100 |
| **13** | 118 | 126 | 182 | 159 | 158 | 107 | 170 | 167 | 92 | 120 | 128 | 102 | 117 | 0 | 83 | 42 | 107 |
| **14** | 168 | 88 | 257 | 150 | 179 | 108 | 172 | 169 | 61 | 174 | 129 | 179 | 112 | 83 | 0 | 42 | 25 |
| **15** | 171 | 81 | 260 | 182 | 176 | 111 | 175 | 172 | 68 | 141 | 133 | 129 | 105 | 42 | 42 | 0 | 65 |
| **16** | 193 | 77 | 282 | 205 | 191 | 116 | 120 | 176 | 73 | 198 | 137 | 259 | 100 | 107 | 25 | 65 | 0 |

## Příloha č. 5 – Matice vzdálenosti 2. část

| | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **0** | 184 | 27 | 128 | 152 | 211 | 169 | 317 | 280 | 270 | 323 | 288 | 151 | 136 | 38 | 206 | 170 |
| **1** | 96 | 137 | 37 | 64 | 138 | 121 | 414 | 377 | 367 | 421 | 385 | 103 | 88 | 100 | 90 | 149 |
| **2** | 273 | 81 | 229 | 241 | 240 | 270 | 151 | 169 | 158 | 157 | 176 | 251 | 237 | 122 | 295 | 192 |
| **3** | 196 | 79 | 106 | 164 | 223 | 143 | 448 | 410 | 400 | 362 | 418 | 125 | 110 | 79 | 218 | 182 |
| **4** | 191 | 150 | 75 | 159 | 222 | 98 | 446 | 410 | 399 | 453 | 417 | 84 | 77 | 116 | 204 | 181 |
| **5** | 127 | 111 | 42 | 95 | 168 | 83 | 395 | 359 | 348 | 402 | 366 | 65 | 50 | 81 | 129 | 130 |
| **6** | 190 | 173 | 33 | 158 | 232 | 37 | 459 | 422 | 412 | 465 | 430 | 22 | 19 | 144 | 103 | 194 |
| **7** | 187 | 157 | 51 | 155 | 229 | 68 | 455 | 419 | 409 | 462 | 426 | 53 | 46 | 124 | 189 | 191 |
| **8** | 83 | 146 | 44 | 51 | 124 | 130 | 423 | 387 | 376 | 430 | 394 | 112 | 97 | 109 | 86 | 115 |
| **9** | 175 | 149 | 223 | 167 | 117 | 264 | 254 | 217 | 207 | 260 | 225 | 246 | 231 | 138 | 289 | 98 |
| **10** | 148 | 131 | 33 | 116 | 189 | 68 | 416 | 380 | 369 | 423 | 387 | 50 | 35 | 98 | 150 | 151 |
| **11** | 183 | 113 | 206 | 154 | 153 | 247 | 257 | 221 | 210 | 264 | 228 | 228 | 213 | 103 | 272 | 104 |
| **12** | 119 | 128 | 42 | 87 | 161 | 83 | 406 | 369 | 359 | 412 | 377 | 64 | 50 | 91 | 113 | 141 |
| **13** | 95 | 111 | 143 | 67 | 77 | 184 | 331 | 295 | 285 | 338 | 302 | 166 | 151 | 91 | 210 | 30 |
| **14** | 14 | 182 | 146 | 20 | 77 | 130 | 397 | 361 | 351 | 404 | 368 | 112 | 154 | 139 | 91 | 87 |
| **15** | 53 | 185 | 149 | 25 | 62 | 190 | 356 | 320 | 310 | 363 | 327 | 171 | 157 | 142 | 122 | 46 |
| **16** | 36 | 209 | 108 | 44 | 101 | 108 | 387 | 450 | 440 | 493 | 458 | 104 | 161 | 173 | 68 | 111 |

## Příloha č. 6 – Matice vzdálenosti 3. část

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **17** | 184 | 96 | 273 | 196 | 191 | 127 | 190 | 187 | 83 | 175 | 148 | 183 | 119 | 95 | 14 | 53 |
| **18** | 27 | 137 | 81 | 79 | 150 | 111 | 173 | 157 | 146 | 149 | 131 | 113 | 128 | 111 | 182 | 185 |
| **19** | 128 | 37 | 229 | 106 | 75 | 42 | 33 | 51 | 44 | 223 | 33 | 206 | 42 | 143 | 146 | 149 |
| **20** | 152 | 64 | 241 | 164 | 159 | 95 | 158 | 155 | 51 | 167 | 116 | 154 | 87 | 67 | 20 | 25 |
| **21** | 210 | 138 | 240 | 223 | 222 | 168 | 232 | 229 | 124 | 117 | 189 | 153 | 161 | 77 | 77 | 62 |
| **22** | 169 | 121 | 270 | 143 | 98 | 83 | 37 | 68 | 128 | 264 | 68 | 247 | 83 | 184 | 130 | 190 |
| **23** | 317 | 414 | 151 | 448 | 446 | 395 | 459 | 455 | 423 | 254 | 416 | 257 | 406 | 331 | 397 | 356 |
| **24** | 280 | 377 | 169 | 410 | 410 | 359 | 422 | 419 | 387 | 217 | 380 | 221 | 369 | 295 | 361 | 320 |
| **25** | 270 | 367 | 158 | 400 | 399 | 348 | 412 | 409 | 376 | 207 | 369 | 210 | 359 | 285 | 351 | 310 |
| **26** | 323 | 421 | 157 | 362 | 453 | 402 | 465 | 462 | 430 | 260 | 423 | 264 | 412 | 338 | 404 | 363 |
| **27** | 288 | 385 | 176 | 418 | 417 | 366 | 430 | 426 | 394 | 225 | 387 | 228 | 377 | 302 | 368 | 327 |
| **28** | 151 | 103 | 251 | 125 | 84 | 65 | 22 | 53 | 112 | 246 | 50 | 228 | 64 | 166 | 112 | 171 |
| **29** | 136 | 88 | 237 | 110 | 77 | 50 | 19 | 46 | 97 | 231 | 35 | 213 | 50 | 151 | 154 | 157 |
| **30** | 38 | 100 | 122 | 79 | 116 | 81 | 144 | 124 | 109 | 138 | 98 | 103 | 91 | 91 | 139 | 142 |
| **31** | 206 | 90 | 295 | 218 | 204 | 127 | 103 | 189 | 86 | 289 | 150 | 272 | 113 | 210 | 91 | 122 |
| **32** | 170 | 149 | 192 | 182 | 181 | 130 | 194 | 191 | 115 | 98 | 151 | 104 | 141 | 30 | 87 | 46 |

## Příloha č. 7 – Matice vzdálenosti 4. část

| | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **17** | 0 | 200 | 163 | 32 | 68 | 141 | 409 | 373 | 362 | 416 | 380 | 122 | 171 | 157 | 103 | 98 |
| **18** | 200 | 0 | 154 | 167 | 226 | 195 | 269 | 233 | 222 | 276 | 240 | 177 | 162 | 48 | 221 | 185 |
| **19** | 163 | 154 | 0 | 133 | 206 | 48 | 433 | 397 | 386 | 440 | 404 | 30 | 15 | 199 | 88 | 168 |
| **20** | 32 | 167 | 133 | 0 | 74 | 173 | 381 | 344 | 334 | 387 | 352 | 154 | 139 | 125 | 104 | 70 |
| **21** | 68 | 226 | 206 | 74 | 0 | 250 | 381 | 344 | 334 | 388 | 352 | 232 | 217 | 156 | 166 | 53 |
| **22** | 141 | 195 | 48 | 173 | 250 | 0 | 462 | 426 | 416 | 469 | 433 | 14 | 29 | 148 | 66 | 197 |
| **23** | 409 | 269 | 433 | 381 | 381 | 462 | 0 | 38 | 39 | 6,5 | 44 | 455 | 441 | 304 | 499 | 331 |
| **24** | 373 | 233 | 397 | 344 | 344 | 426 | 38 | 0 | 10 | 44 | 24 | 419 | 404 | 267 | 462 | 295 |
| **25** | 362 | 222 | 386 | 334 | 334 | 416 | 39 | 10 | 0 | 46 | 34 | 408 | 394 | 257 | 452 | 284 |
| **26** | 416 | 276 | 440 | 387 | 388 | 469 | 6,5 | 44 | 46 | 0 | 50 | 462 | 447 | 310 | 505 | 338 |
| **27** | 380 | 240 | 403 | 352 | 352 | 433 | 44 | 24 | 34 | 50 | 0 | 426 | 411 | 274 | 469 | 302 |
| **28** | 122 | 177 | 30 | 154 | 232 | 14 | 455 | 419 | 408 | 462 | 426 | 0 | 22 | 141 | 83 | 190 |
| **29** | 171 | 162 | 15 | 139 | 217 | 29 | 441 | 404 | 394 | 445 | 411 | 22 | 0 | 127 | 94 | 176 |
| **30** | 157 | 48 | 199 | 125 | 156 | 148 | 304 | 267 | 257 | 311 | 274 | 141 | 127 | 0 | 177 | 113 |
| **31** | 103 | 221 | 88 | 104 | 166 | 66 | 499 | 462 | 452 | 505 | 469 | 83 | 94 | 177 | 0 | 168 |
| **32** | 98 | 185 | 168 | 70 | 53 | 197 | 331 | 295 | 284 | 338 | 302 | 190 | 176 | 113 | 168 | 0 |

## Příloha č. 8 – Matice času 1. část

| | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **0** | 2,8 | 0,4 | 2,0 | 2,3 | 3,2 | 2,6 | 4,9 | 4,3 | 4,2 | 5,0 | 4,4 | 2,3 | 2,1 | 0,6 | 3,2 | 2,6 |
| **1** | 1,5 | 2,1 | 0,6 | 1,0 | 2,1 | 1,9 | 6,4 | 5,8 | 5,6 | 6,5 | 5,9 | 1,6 | 1,4 | 1,5 | 1,4 | 2,3 |
| **2** | 4,2 | 1,2 | 3,5 | 3,7 | 3,7 | 4,2 | 2,3 | 2,6 | 2,4 | 2,4 | 2,7 | 3,9 | 3,6 | 1,9 | 4,5 | 3,0 |
| **3** | 3,0 | 1,2 | 1,6 | 2,5 | 3,4 | 2,2 | 6,9 | 6,3 | 6,2 | 5,6 | 6,4 | 1,9 | 1,7 | 1,2 | 3,4 | 2,8 |
| **4** | 2,9 | 2,3 | 1,2 | 2,4 | 3,4 | 1,5 | 6,9 | 6,3 | 6,1 | 7,0 | 6,4 | 1,3 | 1,2 | 1,8 | 3,1 | 2,8 |
| **5** | 2,0 | 1,7 | 0,6 | 1,5 | 2,6 | 1,3 | 6,1 | 5,5 | 5,4 | 6,2 | 5,6 | 1,0 | 0,8 | 1,2 | 2,0 | 2,0 |
| **6** | 2,9 | 2,7 | 0,5 | 2,4 | 3,6 | 0,6 | 7,1 | 6,5 | 6,3 | 7,2 | 6,6 | 0,3 | 0,3 | 2,2 | 1,6 | 3,0 |
| **7** | 2,9 | 2,4 | 0,8 | 2,4 | 3,5 | 1,0 | 7,0 | 6,4 | 6,3 | 7,1 | 6,6 | 0,8 | 0,7 | 1,9 | 2,9 | 2,9 |
| **8** | 1,3 | 2,2 | 0,7 | 0,8 | 1,9 | 2,0 | 6,5 | 6,0 | 5,8 | 6,6 | 6,1 | 1,7 | 1,5 | 1,7 | 1,3 | 1,8 |
| **9** | 2,7 | 2,3 | 3,4 | 2,6 | 1,8 | 4,1 | 3,9 | 3,3 | 3,2 | 4,0 | 3,5 | 3,8 | 3,6 | 2,1 | 4,4 | 1,5 |
| **10** | 2,3 | 2,0 | 0,5 | 1,8 | 2,9 | 1,0 | 6,4 | 5,8 | 5,7 | 6,5 | 6,0 | 0,8 | 0,5 | 1,5 | 2,3 | 2,3 |
| **11** | 2,8 | 1,7 | 3,2 | 2,4 | 2,4 | 3,8 | 4,0 | 3,4 | 3,2 | 4,1 | 3,5 | 3,5 | 3,3 | 1,6 | 4,2 | 1,6 |
| **12** | 1,8 | 2,0 | 0,6 | 1,3 | 2,5 | 1,3 | 6,2 | 5,7 | 5,5 | 6,3 | 5,8 | 1,0 | 0,8 | 1,4 | 1,7 | 2,2 |
| **13** | 1,5 | 1,7 | 2,2 | 1,0 | 1,2 | 2,8 | 5,1 | 4,5 | 4,4 | 5,2 | 4,6 | 2,6 | 2,3 | 1,4 | 3,2 | 0,5 |
| **14** | 0,2 | 2,8 | 2,2 | 0,3 | 1,2 | 2,0 | 6,1 | 5,6 | 5,4 | 6,2 | 5,7 | 1,7 | 2,4 | 2,1 | 1,4 | 1,3 |
| **15** | 0,8 | 2,8 | 2,3 | 0,4 | 1,0 | 2,9 | 5,5 | 4,9 | 4,8 | 5,6 | 5,0 | 2,6 | 2,4 | 2,2 | 1,9 | 0,7 |
| **16** | 0,6 | 3,2 | 1,7 | 0,7 | 1,6 | 1,7 | 7,5 | 6,9 | 6,8 | 7,6 | 7,0 | 1,6 | 2,5 | 2,7 | 1,0 | 1,7 |

## Příloha č. 9 – Matice času 2. část

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **0** | 0,0 | 1,9 | 2,1 | 0,7 | 1,4 | 1,4 | 2,5 | 2,1 | 2,0 | 2,4 | 1,7 | 1,9 | 1,6 | 1,8 | 2,6 | 2,6 | 3,0 |
| **1** | 1,9 | 0,0 | 3,2 | 2,0 | 1,8 | 0,7 | 1,6 | 1,6 | 0,2 | 3,1 | 1,0 | 2,9 | 0,4 | 1,9 | 1,4 | 1,2 | 1,2 |
| **2** | 2,0 | 3,2 | 0,0 | 2,3 | 3,5 | 3,0 | 3,9 | 3,6 | 3,4 | 2,4 | 3,2 | 1,7 | 3,1 | 2,8 | 4,0 | 4,0 | 4,3 |
| **3** | 0,7 | 2,0 | 2,3 | 0,0 | 0,8 | 1,6 | 1,7 | 1,3 | 2,2 | 3,7 | 1,2 | 2,4 | 1,8 | 2,4 | 2,3 | 2,8 | 3,2 |
| **4** | 1,4 | 1,8 | 3,5 | 0,8 | 0,0 | 1,2 | 1,0 | 0,5 | 2,0 | 3,6 | 0,8 | 3,4 | 1,3 | 2,4 | 2,8 | 2,7 | 2,9 |
| **5** | 1,4 | 0,7 | 3,0 | 1,6 | 1,2 | 0,0 | 1,0 | 1,0 | 0,8 | 2,9 | 0,4 | 2,6 | 0,2 | 1,6 | 1,7 | 1,7 | 1,8 |
| **6** | 2,5 | 1,6 | 3,9 | 1,7 | 1,0 | 1,0 | 0,0 | 0,5 | 1,8 | 3,8 | 0,7 | 3,6 | 1,0 | 2,6 | 2,6 | 2,7 | 1,8 |
| **7** | 2,1 | 1,6 | 3,6 | 1,3 | 0,5 | 1,0 | 0,5 | 0,0 | 1,7 | 3,8 | 0,6 | 3,5 | 1,2 | 2,6 | 2,6 | 2,6 | 2,7 |
| **8** | 2,0 | 0,2 | 3,4 | 2,2 | 2,0 | 0,8 | 1,8 | 1,7 | 0,0 | 3,3 | 1,1 | 3,0 | 0,6 | 1,4 | 0,9 | 1,0 | 1,1 |
| **9** | 2,4 | 3,1 | 2,4 | 3,7 | 3,6 | 2,9 | 3,8 | 3,8 | 3,3 | 0,0 | 3,2 | 1,1 | 3,0 | 1,8 | 2,7 | 2,2 | 3,0 |
| **10** | 1,7 | 1,0 | 3,2 | 1,2 | 0,8 | 0,4 | 0,7 | 0,6 | 1,1 | 3,2 | 0,0 | 2,9 | 0,5 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,1 |
| **11** | 1,9 | 2,9 | 1,7 | 2,4 | 3,4 | 2,6 | 3,6 | 3,5 | 3,0 | 1,1 | 2,9 | 0,0 | 2,8 | 1,6 | 2,8 | 2,0 | 4,0 |
| **12** | 1,6 | 0,4 | 3,1 | 1,8 | 1,3 | 0,2 | 1,0 | 1,2 | 0,6 | 3,0 | 0,5 | 2,8 | 0,0 | 1,8 | 1,7 | 1,6 | 1,5 |
| **13** | 1,8 | 1,9 | 2,8 | 2,4 | 2,4 | 1,6 | 2,6 | 2,6 | 1,4 | 1,8 | 2,0 | 1,6 | 1,8 | 0,0 | 1,3 | 0,6 | 1,6 |
| **14** | 2,6 | 1,4 | 4,0 | 2,3 | 2,8 | 1,7 | 2,6 | 2,6 | 0,9 | 2,7 | 2,0 | 2,8 | 1,7 | 1,3 | 0,0 | 0,6 | 0,4 |
| **15** | 2,6 | 1,2 | 4,0 | 2,8 | 2,7 | 1,7 | 2,7 | 2,6 | 1,0 | 2,2 | 2,0 | 2,0 | 1,6 | 0,6 | 0,6 | 0,0 | 1,0 |
| **16** | 3,0 | 1,2 | 4,3 | 3,2 | 2,9 | 1,8 | 1,8 | 2,7 | 1,1 | 3,0 | 2,1 | 4,0 | 1,5 | 1,6 | 0,4 | 1,0 | 0,0 |

## Příloha č. 10 – Matice času 3. část

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **17** | 3,0 | 1,2 | 4,3 | 3,2 | 2,9 | 1,8 | 1,8 | 2,7 | 1,1 | 3,0 | 2,1 | 4,0 | 1,5 | 1,6 | 0,4 | 1,0 |
| **18** | 2,8 | 1,5 | 4,2 | 3,0 | 2,9 | 2,0 | 2,9 | 2,9 | 1,3 | 2,7 | 2,3 | 2,8 | 1,8 | 1,5 | 0,2 | 0,8 |
| **19** | 0,4 | 2,1 | 1,2 | 1,2 | 2,3 | 1,7 | 2,7 | 2,4 | 2,2 | 2,3 | 2,0 | 1,7 | 2,0 | 1,7 | 2,8 | 2,8 |
| **20** | 2,0 | 0,6 | 3,5 | 1,6 | 1,2 | 0,6 | 0,5 | 0,8 | 0,7 | 3,4 | 0,5 | 3,2 | 0,6 | 2,2 | 2,2 | 2,3 |
| **21** | 2,3 | 1,0 | 3,7 | 2,5 | 2,4 | 1,5 | 2,4 | 2,4 | 0,8 | 2,6 | 1,8 | 2,4 | 1,3 | 1,0 | 0,3 | 0,4 |
| **22** | 3,2 | 2,1 | 3,7 | 3,4 | 3,4 | 2,6 | 3,6 | 3,5 | 1,9 | 1,8 | 2,9 | 2,4 | 2,5 | 1,2 | 1,2 | 1,0 |
| **23** | 2,6 | 1,9 | 4,2 | 2,2 | 1,5 | 1,3 | 0,6 | 1,0 | 2,0 | 4,1 | 1,0 | 3,8 | 1,3 | 2,8 | 2,0 | 2,9 |
| **24** | 4,9 | 6,4 | 2,3 | 6,9 | 6,9 | 6,1 | 7,1 | 7,0 | 6,5 | 3,9 | 6,4 | 4,0 | 6,2 | 5,1 | 6,1 | 5,5 |
| **25** | 4,3 | 5,8 | 2,6 | 6,3 | 6,3 | 5,5 | 6,5 | 6,4 | 6,0 | 3,3 | 5,8 | 3,4 | 5,7 | 4,5 | 5,6 | 4,9 |
| **26** | 4,2 | 5,6 | 2,4 | 6,2 | 6,1 | 5,4 | 6,3 | 6,3 | 5,8 | 3,2 | 5,7 | 3,2 | 5,5 | 4,4 | 5,4 | 4,8 |
| **27** | 5,0 | 6,5 | 2,4 | 5,6 | 7,0 | 6,2 | 7,2 | 7,1 | 6,6 | 4,0 | 6,5 | 4,1 | 6,3 | 5,2 | 6,2 | 5,6 |
| **28** | 4,4 | 5,9 | 2,7 | 6,4 | 6,4 | 5,6 | 6,6 | 6,6 | 6,1 | 3,5 | 6,0 | 3,5 | 5,8 | 4,6 | 5,7 | 5,0 |
| **29** | 2,3 | 1,6 | 3,9 | 1,9 | 1,3 | 1,0 | 0,3 | 0,8 | 1,7 | 3,8 | 0,8 | 3,5 | 1,0 | 2,6 | 1,7 | 2,6 |
| **30** | 2,1 | 1,4 | 3,6 | 1,7 | 1,2 | 0,8 | 0,3 | 0,7 | 1,5 | 3,6 | 0,5 | 3,3 | 0,8 | 2,3 | 2,4 | 2,4 |
| **31** | 0,6 | 1,5 | 1,9 | 1,2 | 1,8 | 1,2 | 2,2 | 1,9 | 1,7 | 2,1 | 1,5 | 1,6 | 1,4 | 1,4 | 2,1 | 2,2 |
| **32** | 3,2 | 1,4 | 4,5 | 3,4 | 3,1 | 2,0 | 1,6 | 2,9 | 1,3 | 4,4 | 2,3 | 4,2 | 1,7 | 3,2 | 1,4 | 1,9 |

## Příloha č. 11 – Matice času 4. část

| | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **17** | 0,6 | 3,2 | 1,7 | 0,7 | 1,6 | 1,7 | 7,5 | 6,9 | 6,8 | 7,6 | 7,0 | 1,6 | 2,5 | 2,7 | 1,0 | 1,7 |
| **18** | 0,0 | 3,1 | 2,5 | 0,5 | 1,0 | 2,2 | 6,3 | 5,7 | 5,6 | 6,4 | 5,8 | 1,9 | 2,6 | 2,4 | 1,6 | 1,5 |
| **19** | 3,1 | 0,0 | 2,4 | 2,6 | 3,5 | 3,0 | 4,1 | 3,6 | 3,4 | 4,2 | 3,7 | 2,7 | 2,5 | 0,7 | 3,4 | 2,8 |
| **20** | 2,5 | 2,4 | 0,0 | 2,0 | 3,2 | 0,7 | 6,7 | 6,1 | 5,9 | 6,8 | 6,2 | 0,5 | 0,2 | 3,1 | 1,4 | 2,6 |
| **21** | 0,5 | 2,6 | 2,0 | 0,0 | 1,1 | 2,7 | 5,9 | 5,3 | 5,1 | 6,0 | 5,4 | 2,4 | 2,1 | 1,9 | 1,6 | 1,1 |
| **22** | 1,0 | 3,5 | 3,2 | 1,1 | 0,0 | 3,8 | 5,9 | 5,3 | 5,1 | 6,0 | 5,4 | 3,6 | 3,3 | 2,4 | 2,6 | 0,8 |
| **23** | 2,2 | 3,0 | 0,7 | 2,7 | 3,8 | 0,0 | 7,1 | 6,6 | 6,4 | 7,2 | 6,7 | 0,2 | 0,4 | 2,3 | 1,0 | 3,0 |
| **24** | 6,3 | 4,1 | 6,7 | 5,9 | 5,9 | 7,1 | 0,0 | 0,6 | 0,6 | 0,1 | 0,7 | 7,0 | 6,8 | 4,7 | 7,7 | 5,1 |
| **25** | 5,7 | 3,6 | 6,1 | 5,3 | 5,3 | 6,6 | 0,6 | 0,0 | 0,2 | 0,7 | 0,4 | 6,4 | 6,2 | 4,1 | 7,1 | 4,5 |
| **26** | 5,6 | 3,4 | 5,9 | 5,1 | 5,1 | 6,4 | 0,6 | 0,2 | 0,0 | 0,7 | 0,5 | 6,3 | 6,1 | 4,0 | 7,0 | 4,4 |
| **27** | 6,4 | 4,2 | 6,8 | 6,0 | 6,0 | 7,2 | 0,1 | 0,7 | 0,7 | 0,0 | 0,8 | 7,1 | 6,9 | 4,8 | 7,8 | 5,2 |
| **28** | 5,8 | 3,7 | 6,2 | 5,4 | 5,4 | 6,7 | 0,7 | 0,4 | 0,5 | 0,8 | 0,0 | 6,6 | 6,3 | 4,2 | 7,2 | 4,6 |
| **29** | 1,9 | 2,7 | 0,5 | 2,4 | 3,6 | 0,2 | 7,0 | 6,4 | 6,3 | 7,1 | 6,6 | 0,0 | 0,3 | 2,2 | 1,3 | 2,9 |
| **30** | 2,6 | 2,5 | 0,2 | 2,1 | 3,3 | 0,4 | 6,8 | 6,2 | 6,1 | 6,8 | 6,3 | 0,3 | 0,0 | 2,0 | 1,4 | 2,7 |
| **31** | 2,4 | 0,7 | 3,1 | 1,9 | 2,4 | 2,3 | 4,7 | 4,1 | 4,0 | 4,8 | 4,2 | 2,2 | 2,0 | 0,0 | 2,7 | 1,7 |
| **32** | 1,6 | 3,4 | 1,4 | 1,6 | 2,6 | 1,0 | 7,7 | 7,1 | 7,0 | 7,8 | 7,2 | 1,3 | 1,4 | 2,7 | 0,0 | 2,6 |

## Příloha č. 12 – Hodnoty výhodnostních koeficientů 1. část

| | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** | **11** | **12** | **13** | **14** | **15** | **16** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1** | 0 | 43 | 35 | 97 | 170 | 179 | 156 | 237 | 76 | 169 | 58 | 201 | 113 | 201 | 211 | 237 |
| **2** | | 0 | 30 | 2 | 32 | 42 | 39 | 44 | 139 | 39 | 148 | 37 | 69 | 44 | 44 | 44 |
| **3** | | | 0 | 91 | 36 | 101 | 102 | 35 | -32 | 82 | 13 | 36 | 6 | 65 | 36 | 35 |
| **4** | | | | 0 | 107 | 193 | 197 | 96 | 16 | 150 | -3 | 116 | 54 | 83 | 89 | 96 |
| **5** | | | | | 0 | 189 | 165 | 169 | 65 | 179 | 47 | 183 | 103 | 152 | 152 | 169 |
| **6** | | | | | | 0 | 271 | 179 | 75 | 232 | 57 | 204 | 113 | 161 | 161 | 238 |
| **7** | | | | | | | 0 | 155 | 50 | 207 | 35 | 169 | 89 | 137 | 137 | 155 |
| **8** | | | | | | | | 0 | 76 | 167 | 57 | 200 | 155 | 236 | 232 | 249 |
| **9** | | | | | | | | | 0 | 64 | 213 | 69 | 157 | 153 | 189 | 154 |
| **10** | | | | | | | | | | 0 | 45 | 186 | 101 | 150 | 149 | 167 |
| **11** | | | | | | | | | | | 0 | 51 | 139 | 112 | 165 | 57 |
| **12** | | | | | | | | | | | | 0 | 108 | 163 | 173 | 200 |
| **13** | | | | | | | | | | | | | 0 | 203 | 247 | 204 |
| **14** | | | | | | | | | | | | | | 0 | 297 | 336 |
| **15** | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 299 |
| **16** | | | | | | | | | | | | | | | | 0 |

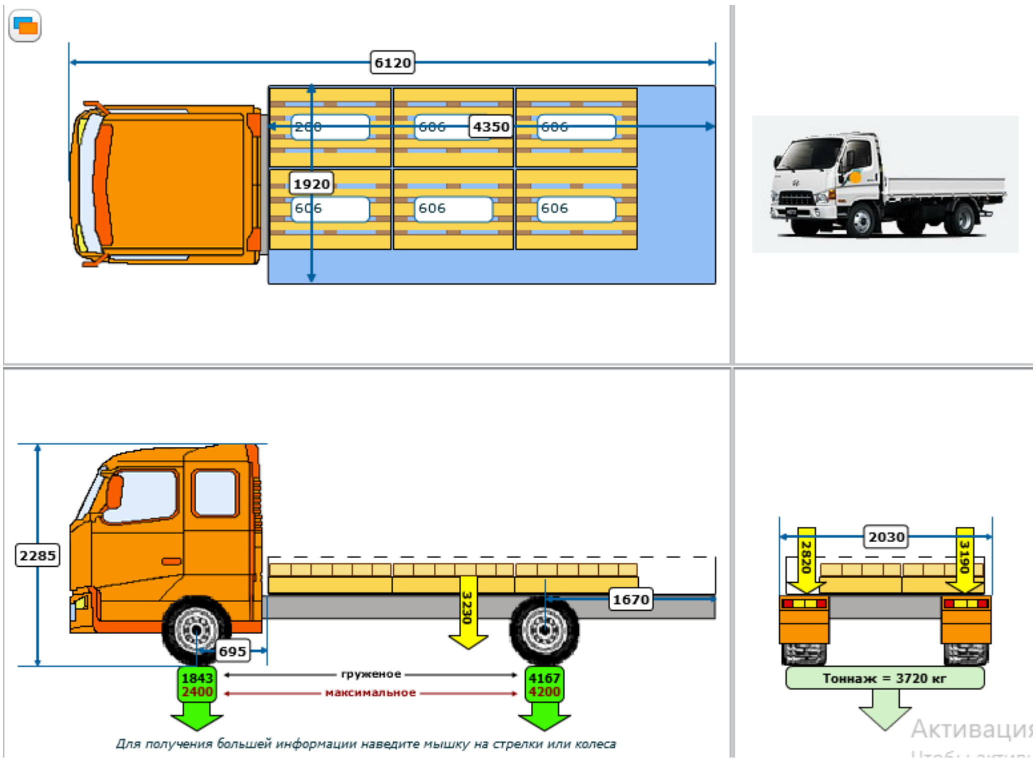
## Příloha č. 13 – Hodnoty výhodnostních koeficientů 2. část

| | **17** | **18** | **19** | **20** | **21** | **22** | **23** | **24** | **25** | **26** | **27** | **28** | **29** | **30** | **31** | **32** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1** | 209 | 11 | 212 | 209 | 193 | 169 | 24 | 24 | 24 | 23 | 24 | 169 | 169 | 59 | 237 | 142 |
| **2** | 44 | 79 | 32 | 44 | 103 | 32 | 299 | 244 | 245 | 299 | 245 | 33 | 32 | 49 | 44 | 111 |
| **3** | 35 | -5 | 69 | 35 | 34 | 73 | -84 | -83 | -83 | 8 | -83 | 73 | 73 | 6 | 35 | 35 |
| **4** | 87 | -29 | 147 | 87 | 82 | 165 | -35 | -36 | -35 | -36 | -35 | 161 | 153 | 16 | 96 | 83 |
| **5** | 149 | 8 | 178 | 149 | 134 | 178 | 14 | 13 | 14 | 13 | 14 | 178 | 178 | 49 | 169 | 132 |
| **6** | 159 | 19 | 260 | 159 | 143 | 297 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 294 | 282 | 59 | 268 | 141 |
| **7** | 135 | 8 | 215 | 135 | 119 | 239 | 0 | -1 | -1 | -1 | 0 | 236 | 228 | 52 | 155 | 117 |
| **8** | 230 | 10 | 213 | 230 | 215 | 168 | 23 | 22 | 23 | 22 | 23 | 168 | 168 | 58 | 249 | 184 |
| **9** | 168 | 37 | 64 | 144 | 252 | 64 | 222 | 222 | 222 | 222 | 222 | 64 | 64 | 59 | 76 | 231 |
| **10** | 147 | 7 | 206 | 147 | 132 | 212 | 12 | 11 | 12 | 11 | 12 | 212 | 212 | 51 | 167 | 130 |
| **11** | 124 | 37 | 45 | 121 | 180 | 45 | 183 | 182 | 183 | 182 | 183 | 46 | 46 | 58 | 57 | 189 |
| **12** | 172 | 6 | 193 | 172 | 156 | 193 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 194 | 193 | 54 | 200 | 136 |
| **13** | 207 | 34 | 103 | 203 | 251 | 157 | 38 | 37 | 37 | 37 | 38 | 157 | 100 | 17 | 233 | 201 |
| **14** | 338 | 13 | 150 | 300 | 301 | 207 | 88 | 87 | 87 | 87 | 88 | 207 | 150 | 67 | 283 | 323 |
| **15** | 302 | 13 | 150 | 298 | 319 | 150 | 132 | 131 | 131 | 131 | 132 | 151 | 150 | 67 | 255 | 295 |
| **16** | 341 | 11 | 213 | 301 | 302 | 254 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 240 | 168 | 58 | 331 | 252 |

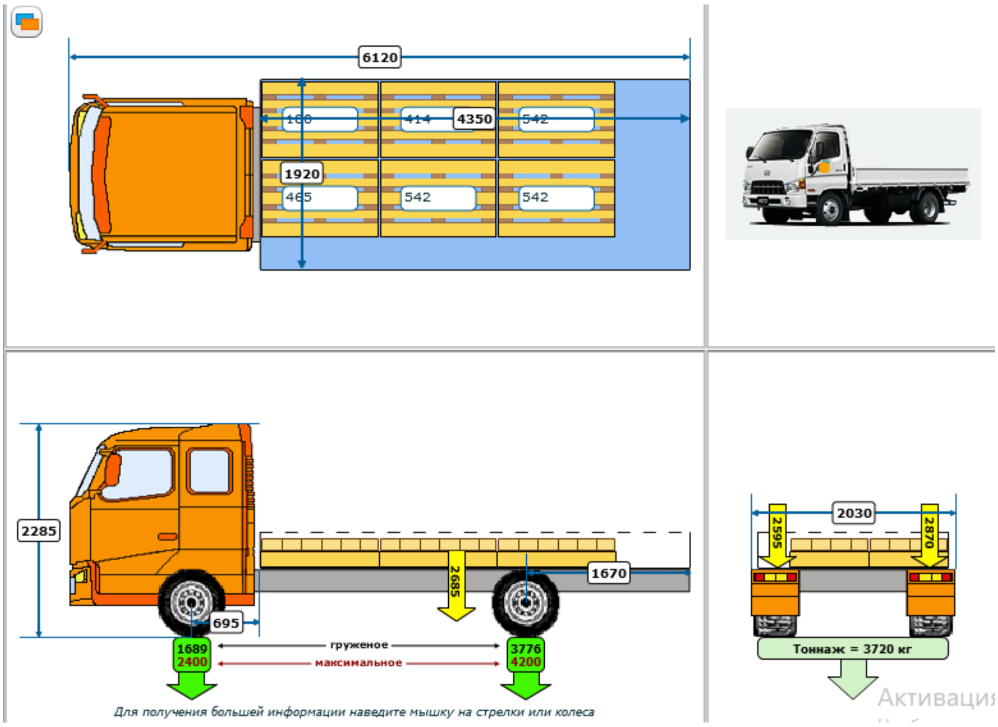
## Příloha č. 14 – Hodnoty výhodnostních koeficientů 3. část

| | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **17** | 0 | 11 | 149 | 304 | 326 | 212 | 92 | 91 | 92 | 91 | 92 | 213 | 149 | 65 | 287 | 256 |
| **18** | | 0 | 1 | 12 | 11 | 1 | 75 | 74 | 75 | 74 | 75 | 1 | 1 | 17 | 12 | 12 |
| **19** | | | 0 | 147 | 132 | 249 | 12 | 11 | 12 | 11 | 12 | 249 | 249 | -33 | 246 | 130 |
| **20** | | | | 0 | 288 | 148 | 88 | 88 | 88 | 88 | 88 | 149 | 149 | 65 | 254 | 252 |
| **21** | | | | | 0 | 129 | 146 | 146 | 146 | 145 | 146 | 129 | 129 | 92 | 250 | 327 |
| **22** | | | | | | 0 | 24 | 23 | 23 | 23 | 24 | 306 | 276 | 59 | 309 | 142 |
| **23** | | | | | | | 0 | 559 | 548 | 633,5 | 561 | 13 | 12 | 51 | 24 | 156 |
| **24** | | | | | | | | 0 | 540 | 559 | 544 | 12 | 12 | 51 | 24 | 155 |
| **25** | | | | | | | | | 0 | 547 | 524 | 13 | 12 | 51 | 24 | 156 |
| **26** | | | | | | | | | | 0 | 561 | 12 | 12 | 51 | 24 | 155 |
| **27** | | | | | | | | | | | 0 | 13 | 13 | 52 | 25 | 156 |
| **28** | | | | | | | | | | | | 0 | 265 | 48 | 274 | 131 |
| **29** | | | | | | | | | | | | | 0 | 47 | 248 | 130 |
| **30** | | | | | | | | | | | | | | 0 | 67 | 95 |
| **31** | | | | | | | | | | | | | | | 0 | 208 |
| **32** | | | | | | | | | | | | | | | | 0 |

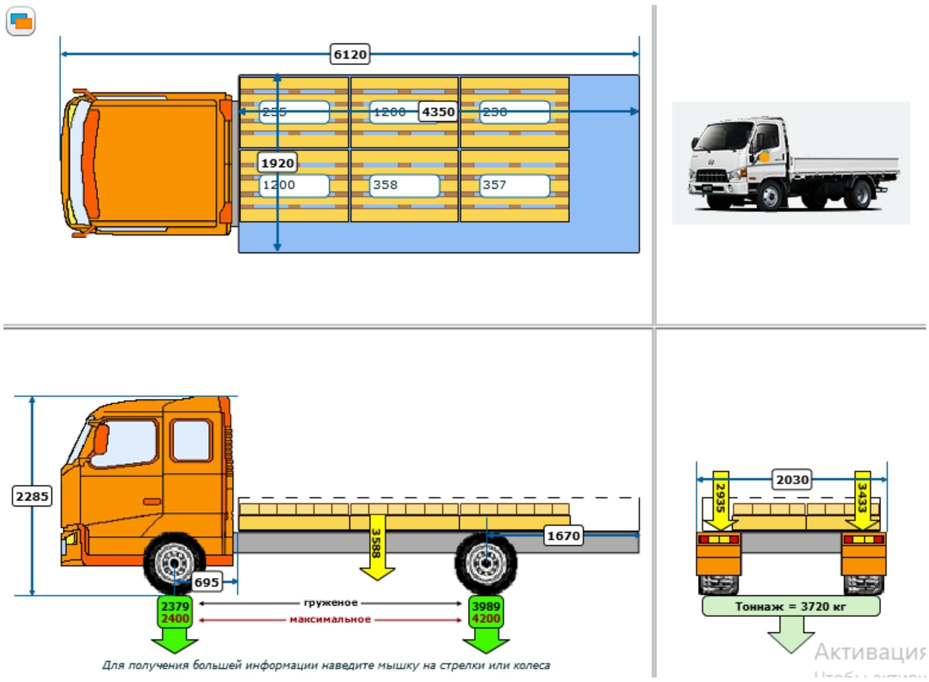
## Příloha č. 15 – Schéma rozmístění palet na DP pro 2. okruh



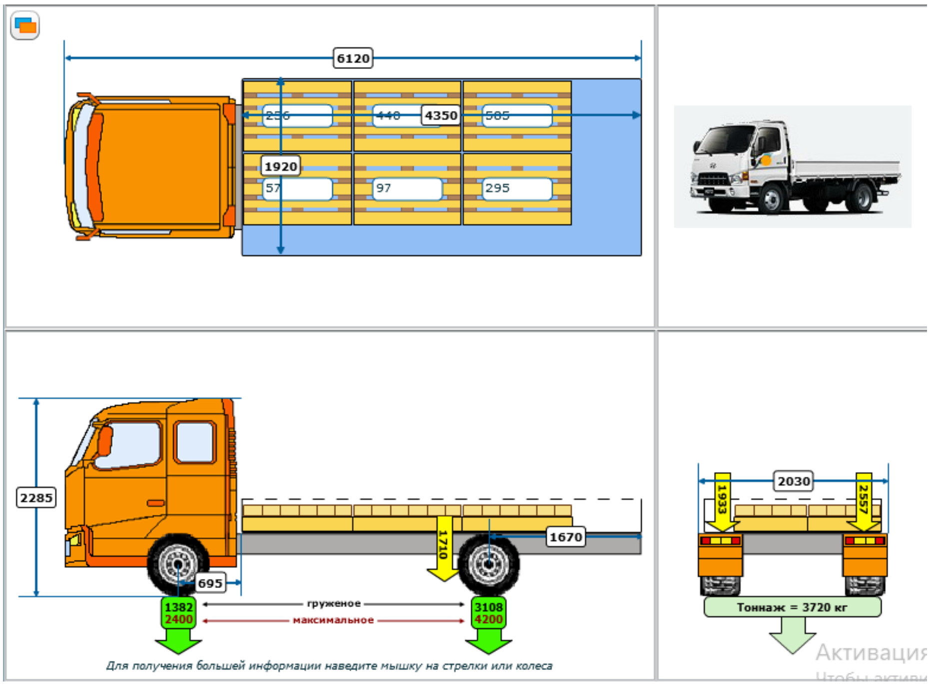
## Příloha č. 16 – Schéma rozmístění palet na DP pro 3. okruh



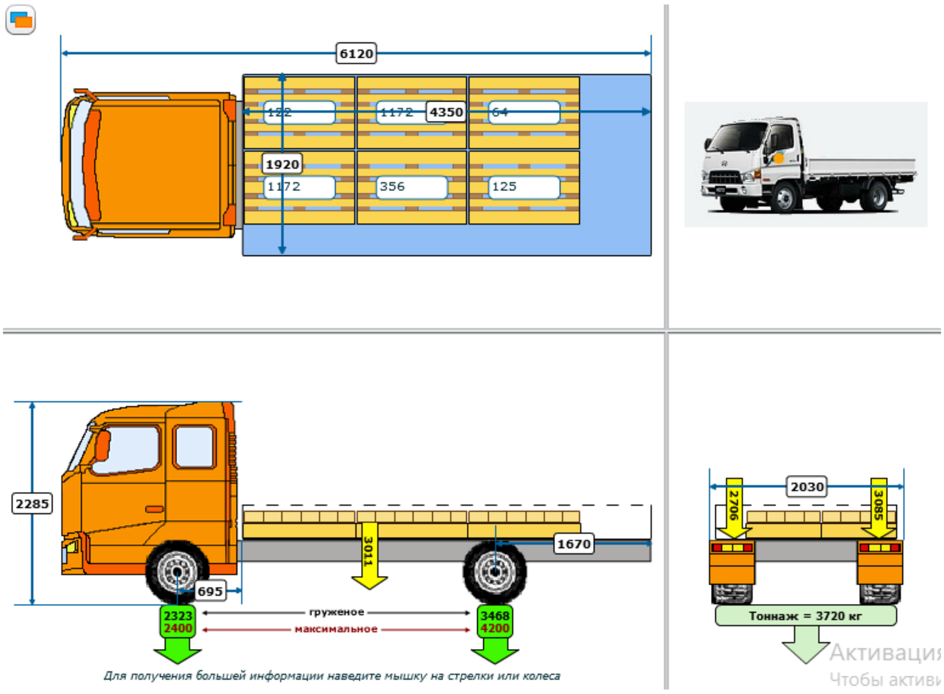

## Příloha č. 17 – Schéma rozmístění palet na DP pro 4. okruh



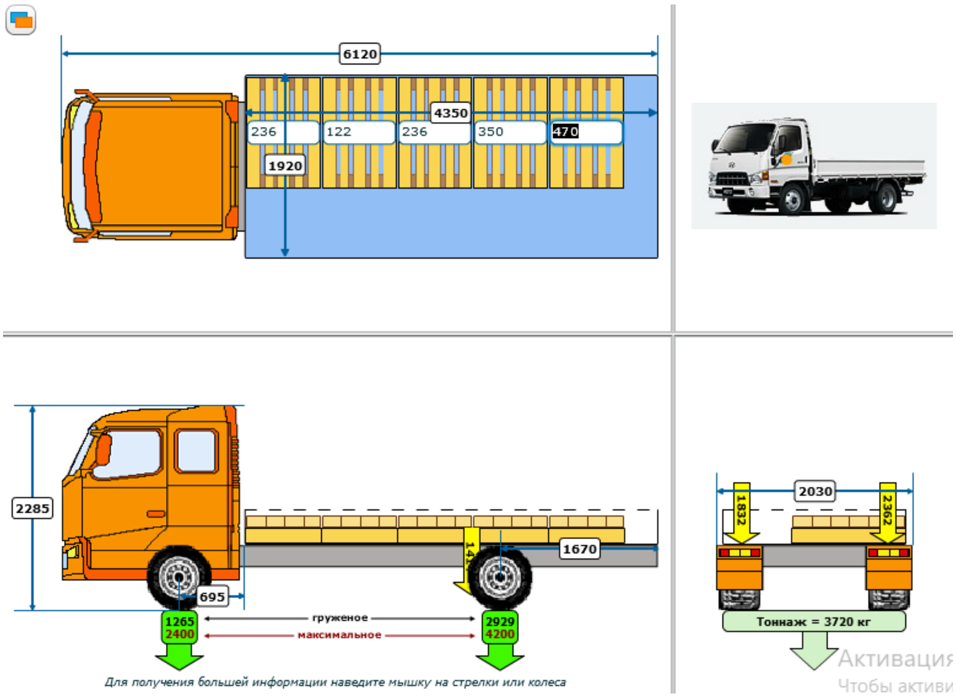
## Příloha č. 18 – Schéma rozmístění palet na DP pro 5. okruh



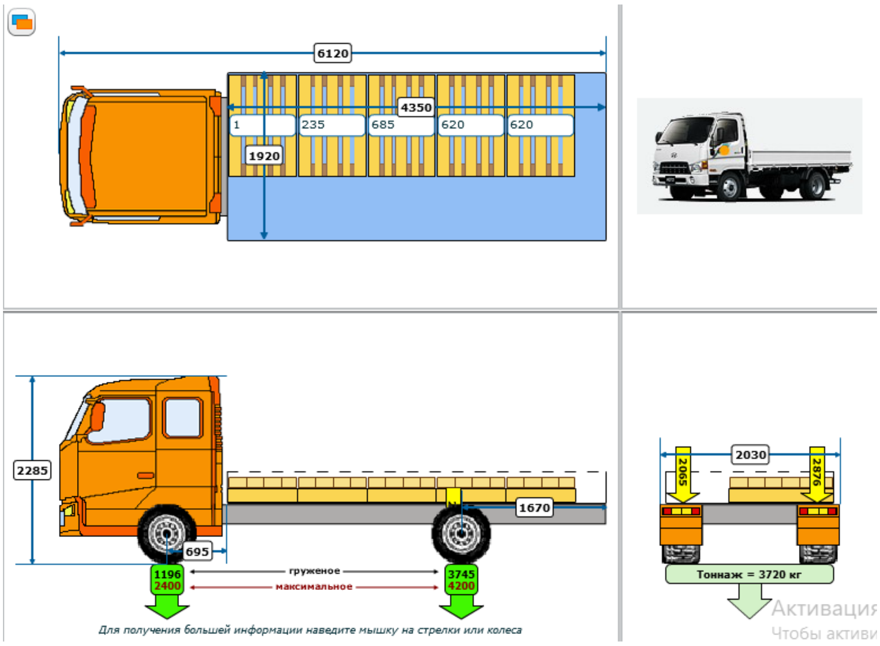

## Příloha č. 19 – Schéma rozmístění palet na DP pro 6. okruh



## Příloha č. 20 – Schéma rozmístění palet na DP pro 7. okruh




## Příloha č. 21 – Schéma rozmístění palet na DP pro 8. okruh



## Příloha č. 22 – Vývoj cen na pohonné hmoty

| Datum | Natural E95 | Nafta |
|---|---|---|
| 25.02.2018 | 30.72 Kč | 29.77 Kč |
| 24.02.2018 | 30.65 Kč | 29.77 Kč |
| 23.02.2018 | 30.71 Kč | 29.77 Kč |
| 22.02.2018 | 30.72 Kč | 29.81 Kč |
| 21.02.2018 | 30.73 Kč | 29.81 Kč |
| 20.02.2018 | 30.75 Kč | 29.83 Kč |
| 19.02.2018 | 30.76 Kč | 29.87 Kč |
| 18.02.2018 | 30.76 Kč | 29.89 Kč |
| 17.02.2018 | 30.79 Kč | 29.89 Kč |
| 16.02.2018 | 30.84 Kč | 29.93 Kč |
| 15.02.2018 | 30.90 Kč | 29.98 Kč |
| 14.02.2018 | 30.94 Kč | 30.00 Kč |
| 13.02.2018 | 30.91 Kč | 30.03 Kč |
| 12.02.2018 | 30.94 Kč | 30.04 Kč |
| 11.02.2018 | 30.97 Kč | 30.07 Kč |
| 10.02.2018 | 30.89 Kč | 30.07 Kč |
| 09.02.2018 | 30.96 Kč | 30.06 Kč |
| 08.02.2018 | 30.95 Kč | 30.07 Kč |
| 07.02.2018 | 30.94 Kč | 30.08 Kč |
| 06.02.2018 | 30.95 Kč | 30.07 Kč |
| 05.02.2018 | 30.91 Kč | 30.06 Kč |
| 04.02.2018 | 30.98 Kč | 30.07 Kč |
| 03.02.2018 | 30.92 Kč | 30.07 Kč |
| 02.02.2018 | 30.94 Kč | 30.06 Kč |
| 01.02.2018 | 30.93 Kč | 30.06 Kč |