ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
FAKULTA DOPRAVNÍ

Robin Lipenský

OPTIMALIZAČNÍ ÚLOHY V DOPRAVĚ PODNIKU A MOŽNOSTI JEJICH ŘEŠENÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2013

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta dopravní
děkan
Konviktská 20, 110 00 Praha 1

K617 ..... Ústav logistiky a managementu dopravy

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Robin Lipenský

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

B 3710 – ME – Management a ekonomika dopravy a telekomunikací

Název tématu (česky): **Optimalizační úlohy v dopravě podniku a možnosti jejich řešení**

Název tématu (anglicky): Optimization in the business transportation and solution possibilities

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte osnovou uvedenou v následujících bodech:

- Úvod
- Analýza stávající dopravní situace v podniku
- Stanovení podmínek pro optimalizaci
- Nalezení vhodných algoritmů pro řešení
- Řešení optimalizace
- Porovnání stanovených podmínek s výsledky optimalizace
- Závěr

Rozsah grafických prací:	dle pokynů vedoucí bakalářské práce
Rozsah průvodní zprávy:	minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
Seznam odborné literatury:	Černý M.: Algoritmus řešení okružních dopravních úloh Demel J.: Grafy a jejich aplikace, Academia, 2002 U.S.R. Murty: Graph Theory with Applications, Springer 2008. - monografie

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Denisa Mocková, Ph.D.**

Datum zadání bakalářské práce: **1. července 2011**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce: **29. listopadu 2013**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

L. S.

doc. Ing. Ladislav Bína, CSc.
vedoucí
Ústavu logistiky a managementu dopravy

prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

Robin Lipenský
jméno a podpis studenta

V Praze dne.....14. června 2013

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užívání tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne ....

podpis

Anotace:

Jméno autora:	Robin Lipenský
Název bakalářské práce:	Optimalizační úlohy v dopravě podniku a možnosti jejich řešení
Název vysoké školy a fakulty:	ČVUT v Praze Fakulta dopravní
Vedoucí práce:	Ing. Denisa Mocková, Ph.D.
Klíčová slova:	Logistika, problém obchodního cestujícího, dopravní obsluha uzlů sítě, heuristický algoritmus, Clark-Wrightův algoritmus

Bakalářská práce je zaměřena na optimalizaci dopravních procesů ve vybrané společnosti. Na základě reálných dat a poznatků je řešen praktický příklad s cílem navrhnout nejkratší trasy a splnit určité podmínky. Pro rychlejší výpočet je vytvořen program, který řeší úlohu pomocí heuristického algoritmu.

Annotation:

Author's name:	Robin Lipenský
Title of the thesis:	Optimization problems in transport of the company and their solutions
Name of the university and college:	Czech Technical University in Prague Faculty of Transportation Sciences
Supervisor:	Ing. Denisa Mocková, Ph.D.
Keywords:	Logistics, travelling salesman problem, heuristics algorithm, Clark-Wright algorithm

This thesis is focused on the optimization of transport processes in selected company. The practical example is based on the real data and solves the shortest route and meets the certain conditions. For faster calculation is developed program, that solves the task by using heuristic algorithm.

Obsah

Seznam tabulek 10

Seznam obrázků 11

Seznam použitých zkratek 12

Úvod 13

1. Popis stávajícího stavu 14

1.1 Obecné informace o firmě 14

1.1.1 Oblast podnikání 14

1.1.2 Popis oblasti sídla firmy 14

1.1.3 Výrobky 14

1.2 Logistika ve firmě 16

1.2.1 Štíhlá logistika 16

3.3.2 Milk Run 17

3.3.3 KANBAN 18

3.3.4 Just In Time 19

3.3.5 FIFO 20

3.3.6 Obalová logistika 20

1.3 Analýza dopravní situace 21

1.3.1 Zákazníci a dodavatelé 21

3.6 Stávající dopravní situace 23

2. Výběr vhodné metody řešení 25

2.1 Úloha okružních jízd 25

2.2. Heuristické metody řešení 27

2.3 Softwarové prostředky k řešení úloh okružních jízd 29

2.3 Charakteristika úlohy 30

2.4 Stanovené podmínky 31

2.5 Formulace úlohy 32

3. Návrh řešení 33
3.1 Clark - Wrightova metoda 33
3.2 Vstupní údaje 34
3.2.1 Matice vzdáleností 34
3.2.2 Ostaní vstupní údaje 36
3.3 Celková doba přepravy 36
3.3.1 AETR 37
3.4 Vytvořený program pro výpočet optimalizace 38
3.5 Řešení úlohy pomocí programu 41
3.5.1 Pondělí 41
3.5.2 Úterý 44
3.5.3 Středa 46
3.5.4 Čtvrtek 49
3.5.5 Pátek 52
6. Srovnání návrhu se stávající situací 55
7. Závěr 56
Literatura 58

Seznam tabulek

Tabulka 1- Seznam dodavatelů 22
Tabulka 2 - Seznam zákazníků 23
Tabulka 3 - Trasy vytvořené firmou LOCK SYSTEMS K. Vary 24
Tabulka 4 - Příklady softwarových produktů 30
Tabulka 5 - Matice vzdáleností 35
Tabulka 6 - Matice vzdáleností - pondělí 41
Tabulka 7 - Matice výhodnostních koeficientů - pondělí 42
Tabulka 8 - Objemy zboží - pondělí 42
Tabulka 9 - Časové údaje - pondělí 43
Tabulka 10 - Trasy po optimalizaci - pondělí 43
Tabulka 11 - Matice vzdáleností - úterý 44
Tabulka 12 - Matice výhodnostních koeficientů - úterý 44
Tabulka 13 - Objemy zboží - úterý 45
Tabulka 14 - Časové údaje - úterý 45
Tabulka 15 - Trasy po optimalizaci - úterý 46
Tabulka 16 - Matice vzdáleností - středa 47
Tabulka 17 - Matice výhodnostních koeficientů 47
Tabulka 18 - Objemy zboží - středa 47
Tabulka 19 - Časové údaje - středa 48
Tabulka 20 - Trasy po optimalizaci - středa 48
Tabulka 21 - Matice vzdáleností - čtvrtek 49
Tabulka 22 - Matice výhodnostních koeficientů - čtvrtek 50
Tabulka 23 - Objemy zboží - čtvrtek 50
Tabulka 24 - Časové údaje - čtvrtek 51
Tabulka 25 - Trasy po optimalizaci - čtvrtek 51
Tabulka 26 - Matice vzdáleností - pátek 52
Tabulka 27 - Matice výhodnostních koeficientů 53
Tabulka 28 - Objemy zboží - pátek 53
Tabulka 29 - Časové údaje - pátek 53
Tabulka 30 - Trasy po optimalizaci - pátek 54

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Milk Run 18
Obrázek 2 - KANBAN 19
Obrázek 3 - Prázdné stohované KLT přepravky 20
Obrázek 4 - Palety s přepravkami a víky připravené k expedici 21
Obrázek 5 - Mapa s vyznačenými zákazníky a dodavateli 21
Obrázek 6 - Grafické znázornění dob řízení a přestávek 37
Obrázek 7 - Znázornění dvoutýdenní doby jízdy a odpočinku 38
Obrázek 8 - Okno pro zadání velikosti matice 38
Obrázek 9 - Okno pro zadání vzdáleností 38
Obrázek 10 - Okno pro zadání objemů zboží 39
Obrázek 11 - Okno pro zadání omezujících údajů 39
Obrázek 12 - Výpis matice výhodnostních koeficientů 40
Obrázek 13 - Výpis všech iterací 40
Obrázek 14 - Výpis tras po optimalizaci 41

Seznam použitých zkratek

MTSP	Problém vícenásobného obchodního cestujícího.
KANBAN	logistický a výrobní systém, pro plynulé a včasné dodávky materiálu.
JIT (Just In Time)	logistická strategie, která podporuje minimální skladové zásoby.
KLT	druh přepravky, která má ochrannou, informační a manipulační funkci.
FIFO	jednoduchá univerzální metoda řízení, organizování, manipulace a upřednostňování pohybu materiálu nebo dat.
ČR	Česká republika
AETR	Evropská dohoda o práci osádek vozidel v mezinárodní silniční dopravě

Úvod

Logistiku a logistický systém chápeme jako uspořádání toku materiálu a informací průmyslových firem. Podniky, které chtějí v dnešním rychle se měnícím světě prosperovat, musí sledovat nejnovější logistické technologie a přizpůsobovat se jim. Ke stále kladenému cíli snižovat rostoucí náklady (ceny ropy, pracovní síly, mýtné, skladování a další), které jsou navíc doprovázeny očekávaným naplňováním požadavků zákazníků a dodavatelů, je nástroj *dopravní optimalizace* nepostradatelnou součástí úspěšně prosperující logistiky ve firmě.

Tato bakalářská práce se zabývá významnou logistickou úlohou zvanou „Optimalizace okružních jízd“ (Vehicle Routing Problem), respektive problémem vícenásobného obchodního cestujícího (MTSP) s omezenou kapacitou. Stěžejním úkolem, řešícím stanovení optimálních tras, je určit potřebný počet použitých vozidel, délky tras a vytvořit program pro zjednodušení výpočtu.

Tato práce je rozdělená do tří základních částí. První část popisuje stávající stav ve firmě, které se optimalizace týká. Charakterizuje logistiku, používané metody a technologie. Nedílnou součástí je také analýza stávající dopravní situace ve firmě. V druhé části jsou popsány metody vhodné pro řešení optimalizace, používané softwarové produkty pro určitý počet obsluhovaných uzlů a charakteristika úlohy.

Třetí část se věnuje aplikaci všech výše zmíněných teoretických poznatků na konkrétním příkladu. Vstupní údaje zajistila firma působící v oblasti automobilového průmyslu. Úloha si klade za cíl získat optimální trasy pro obsluhu všech uzlů sítě a přitom minimalizovat ujetou vzdálenost a počet použitých vozidel. Součástí praktické části je program, který byl vyvinut přímo na míru této úloze. Program pracuje na základě Clark-Wrightova algoritmu s drobnými modifikacemi. Díky softwarové pomoci trvá výpočet optimálních tras mnohem rychleji, což se dá využít při náhlých změnách objemu zboží, nebo při zařazení nového uzlu do sítě.

1. Popis stávajícího stavu

1.1 Obecné informace o firmě

V této bakalářské práci je věnována pozornost optimalizaci dopravy v distribučním a zásobovacím systému firmy na základě poskytnutých dat. Její název je v textu označován jako LOCK SYSTEMS. Reálné jméno musí být utajeno z důvodu ochrany práv a interních dat vybrané firmy. Rozsah dopravy celé společnosti je velice obsáhlý, a proto je úloha omezena pouze na dopravu materiálu, organizovanou pobočkou LOCK SYSTEMS v Karlových Varech.

1.1.1 Oblast podnikání

Firma působí v oblasti automobilového průmyslu již přes 100 let a byla založena v německém Velbertu. Vyniká zejména díky svým kreativním a inovativním řešením v oblasti zamykacích a bezpečnostních systémů. Zabývá se samotným návrhem, vizemi produktů, klíčovými koncepty a velkosériově vyrábí. Výrobky firmy LOCK SYSTEMS se objevují ve většině vozidel významných výrobců po celém světě.

1.1.2 Popis oblasti sídla firmy

Společnost LOCK SYSTEMS má v Evropě několik dceřiných společností. Pro lepší obsluhu zákazníků z východní Evropy a díky levné pracovní síle v regionu, nechala vystavět moderní výrobní závod i v Karlových Varech. Další výhodou polohy LOCK SYSTEMS Karlovy Vary je v současné době druhým největším zaměstnavatelem v Karlovarském kraji (zaměstnává cca 1500 zaměstnanců). Nachází se zde montážní centrum, výroba nástrojů a forem, zpracování plastů, vývojové centrum a produktové centrum.

1.1.3 Výrobky

Všechny druhy výrobků, které firma vyrábí, jsou rozděleny do tří základních skupin.

<u>Klíčové koncepty pro kapoty</u>

Ve spolupráci s celým automobilovým průmyslem realizuje LOCK SYSTEMS následující produkty pro kapoty:

- bezpečná kinematická řešení pro upevnění a pohodlnou obsluhu přední a zadní kapoty,
- elektrické panty a zamykací háky pro poháněnou zadní kapotu,
- moduly zadních dveří,
- uzavírací servomechanismy,
- panty,
- pohony pantů,
- zámky skel,
- poháněné zavírání,
- zamykací čepy.

Jednou z novinek je i tzv. "aktivní kapota", která zajišťuje ochranu chodců díky deformačním zónám v kloubových závěsech zámku přední kapoty.

Klíčové koncepty dveří

Firma LOCK SYSTEMS vyrábí klíčové garnitury i s klikami, které odpovídají platným požadavkům na bezpečnost při jakékoliv interakci s cizím tělesem. Díly jsou lakovány podle přání zákazníka. Zámkové garnitury jsou patentované a odpovídají nejnovějšímu stupni technického vývoje. Dalšími technikami, které firma vyrábí pro dveře automobilů, jsou:

- výztuhy dveří,
- klíče a klíčové garnitury,
- bezklíčové otevírání dveří,
- vnitřní ovládání,
- poháněné zavírání,
- zamykací čepy,
- brzdy,
- panty.

Klíčové koncepty sedadel

Díky rozsáhlým bezpečnostním studiím mohla firma LOCK SYSTEMS vyvinout zámky opěradel a sedadel, které zaručují vysoký stupeň ochrany cestujících. Dalšími výrobky v oblasti sedadel jsou:

- ukotvení sedadel,
- ovládání (včetně indikátorů),
- zamykací čepy.

1.2 Logistika ve firmě

Logistika se obecně zabývá pohybem materiálu, zboží a informačních toků z místa vzniku do místa spotřeby. Pohyb zboží se týká všech komponent oběhového procesu, tzn. řízení zásob, řízení dopravy, manipulace s materiálem, balení, skladování a distribuce. Úkolem logistiky je dostat zboží nebo suroviny na správné místo, ve správný čas, v požadované kvalitě a s příslušnými informacemi.

Úsek logistiky ve firmě LOCK SYSTEMS má několik oddělení. Mezi ně patří vedení logistiky, obalová logistika, interní doprava, expedice a nově vytvořené plánování logistiky. Sousloví „Plánování logistiky“ je sám o sobě název, za kterým je možno vidět velké množství více či méně pravidelných aktivit směřujících k dosahování firemních vizí, potažmo cílů. V LOCK SYSTEMS je takto pojmenováno oddělení, které nemá v kompetenci zdaleka všechny logistické plánovací procesy, nicméně existuje ambice, aby se stalo zodpovědným hráčem v oblasti:

- přípravy logistiky u nových výrobních programů,
- ekonomické posuzování logistických alternativ,
- podpora při optimalizaci stávajících logistických procesů,
- správa části logistických procesů.

Tato bakalářská práce je největším přínosem pro oddělení plánování logistiky ve smyslu plánování tras v distribučním systému.

1.2.1 Štíhlá logistika

V posledních letech se světové trhy snaží maximálně vyhovět individuálním potřebám zákazníků. To je důsledkem nárůstu variability výroby, která lehko může ovlivnit kvalitu výrobků, rychlost, spolehlivost, přesnost a výši ceny. Jedním z východisek je zavedení tzv. "štíhlé organizace" do všech podnikových činností. Základem štíhlého podniku je omezování plýtvání toho, co zvyšuje náklady výrobků nebo služeb, aniž by to zvyšovalo jejich hodnotu. [1]

Příkladem plýtvání může být:

- nedostatečná příprava pracovišť k výrobě (chybějící materiál, špatně seřízené stroje, neúplná výrobní dokumentace atd.),
- zbytečná manipulace a skladování,

- špatná organizace řízení (plánování na základě nepravdivých, neúplných nebo neaktuálních dat a informací).

Logistika je vhodná oblast pro aplikaci principů štíhlého podniku. Doba celkového pobytu materiálu v podniku je z více než 80 % spotřebovaná logistikou. Logistická činnost se podílí na více než polovině celkových nákladů na výrobek, přičemž ovlivňuje i jeho kvalitu. 3 - 5 % objemu materiálových toků se znehodnocuje nesprávnou manipulací, dopravou nebo skladováním. Štíhlá logistika neznamená jen omezování zásob, ale hlavně organizaci všech logistických činností - fyzickou manipulací počínaje, přes dopravu a získáváním dat potřebných pro řízení konče.

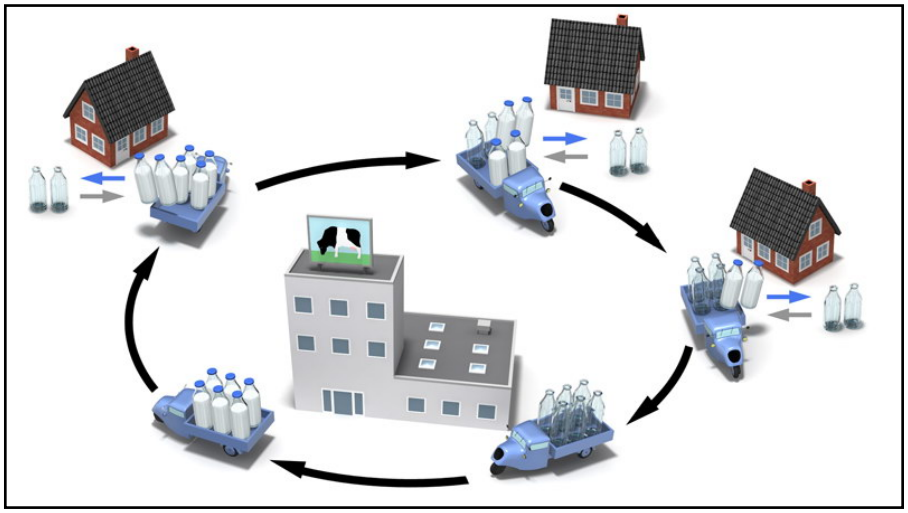
Počátky štíhlé logistiky v LOCK SYSTEMS Karlovy Vary nebyly příznivé. Materiály pro výrobu se skladovaly na nespecifikovaných místech a v důsledku toho rostly skladové zásoby. Firma byla obležena kamiony, a pravidelná doprava k zákazníkům byla postupně vytlačena mimořádnou taxi a leteckou dopravou. Postupem času se zvyšovala průchodnost skladu a změnila se filozofie skladování materiálu v centrálním skladu na pohyb materiálu z kamionu přímo k výrobní lince. Začalo se využívat štíhlé výroby, štíhlých procesů, štíhlé administrativy a štíhlého managementu. Cílem je vytvořit plynulost průchodu zásob firmou. Za tímto účelem byla vystavěna nová hala, která slouží pouze jako sklad dílů a obalů. [2]

3.3.2 Milk Run

Milk Run pochází z Anglie a vychází z podstaty pravidelných rozvozů čerstvého mléka z mlékárny k zákazníkům. K zákazníkovi přijede v určitý čas vůz, vyloží 2 plné konve a zároveň naloží 2 prázdné, jako je tomu na obrázku 3. Pokud se takový rozvoz „mléka“ dobře nastaví, vykazuje tak pro průmyslovou výrobu velmi využitelné parametry, kde:

- dochází k eliminaci jednotlivých dvoustranných transportů sběrnou službou,
- trasa přepravy je ta nejkratší možná,
- každá zastávka (vrchol grafu) je obsloužena právě jednou v předem stanovenou dobu,
- řeší odběr i dodání materiálu včetně obalů, tudíž prakticky nikdy nejede naprázdno,

- tím, že lze stanovit jízdní řád, je možné empiricky změřit a nastavit využití pracovní doby odpovědného pracovníka.



Obrázek 1 - Milk Run

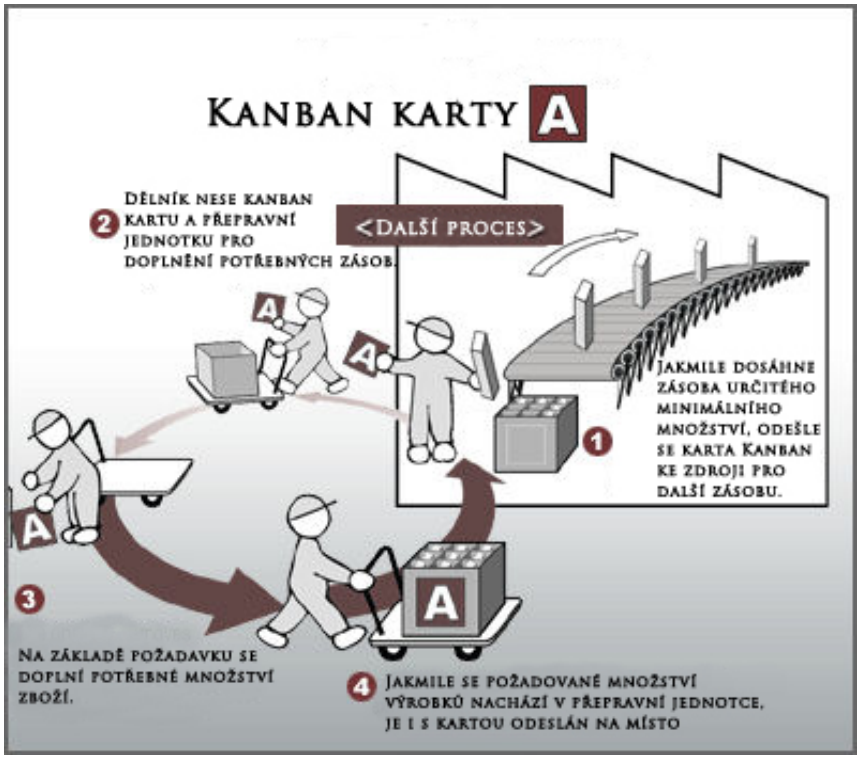
Zdroj: http://www.pe.eng.ku.ac.th

V LOCK SYSTEMS Karlovy Vary byla provedena optimalizace zásobování jednotlivých výrobních linek. IT Oddělení vytvořilo aplikaci s interaktivním prostředím na dotykovém panelu u každého vozíku. Každý vozík má svůj jízdní řád, který vytváří program na základě požadavků výroby. Milk run přináší úspory z hlediska nižších skladových zásob u výrobních linek a snížením počtu pracovníků obsluhy.

3.3.3 KANBAN

V poslední době role tohoto systému v oblastech výroby a logistiky velmi roste. Systém byl vyvinut společností Toyota Motor Company v 50. a 60. letech dvacátého století.

KANBAN je založen na zavedení vztahu zákazník - dodavatel ve výrobním procesu. Každý výrobní stupeň (pracoviště) je zároveň zákazníkem, který podle svých požadavků předává informace předchozímu stupni výroby, a stejně tak je i dodavatelem pro stupeň následující, jehož požadavky musí plnit. Objednávky se předávají v podobě kartiček (japonsky KANBAN). Cyklus systému je znázorněn na obrázku 2.



Obrázek 2 - KANBAN

Zdroj: http://factsanddetails.com

Tento systém se velmi osvědčil pro položky dodávek, které se používají opakovaně. [2] Stejně jako u jiných firem působících v oblasti automobilového průmyslu, i v LOCK SYSTEMS Karlovy Vary je zaveden systém KANBAN ve výrobě (od roku 2006). Od té doby se zvýšil skladový prostor, snížily se vázané prostředky v zásobách a tím i náklady. KANBAN je velmi optimální podnikatelská strategie nejen z hlediska nákladů, ale i z hlediska služeb.

3.3.4 Just In Time

Je neznámější logistická strategie. Systém byl koncipován v USA, ale poprvé se aplikoval v Japonsku firmou Toyota Motor Company. Stěžejními body strategie je výrazné snížení zásob polotovarů omezením produkce a montáže jen na množství, které je bezprostředně nutné v souladu se skutečnými požadavky odběratelů nebo plánem výroby. Tím se minimalizují prostředky vázané v zásobách. Logistické strategie JIT jsou rozšířením strategie Kanban. Spojují totiž nákup, výrobu a logistiku. [2]

3.3.5 FIFO

Je akronym ze dvou slov **First In** a **First Out**, což znamená **první dovnitř** a **první ven**. FIFO je jednoduchá univerzální metoda řízení, organizování, manipulace a upřednostňování pohybu materiálu nebo dat. Veškerý materiál je obsluhován v takovém pořadí, v jakém vstoupil do systému. [3] V LOCK SYSTEMS se metoda FIFO používá především v příručních skladech u výrobních linek v rámci Milk Runu.

3.3.6 Obalová logistika

Balení zboží a materiálu je nedílnou součástí skladování a manipulace každé firmy. Ve firmě LOCK SYSTEMS se klade důraz na celkovou efektivnost a výkonnost obalů. Podle specifikací výrobků firma rozhodla nakoupit vlastní KLT přepravky (viz obr. 3), které výborně plní logistické funkce obalu. Přepravky jsou skládány na europalety a zakrývány víkem jako je tomu na obrázku 4.

Obrázek 3 - Prázdné stohované KLT přepravky

Zdroj: autor

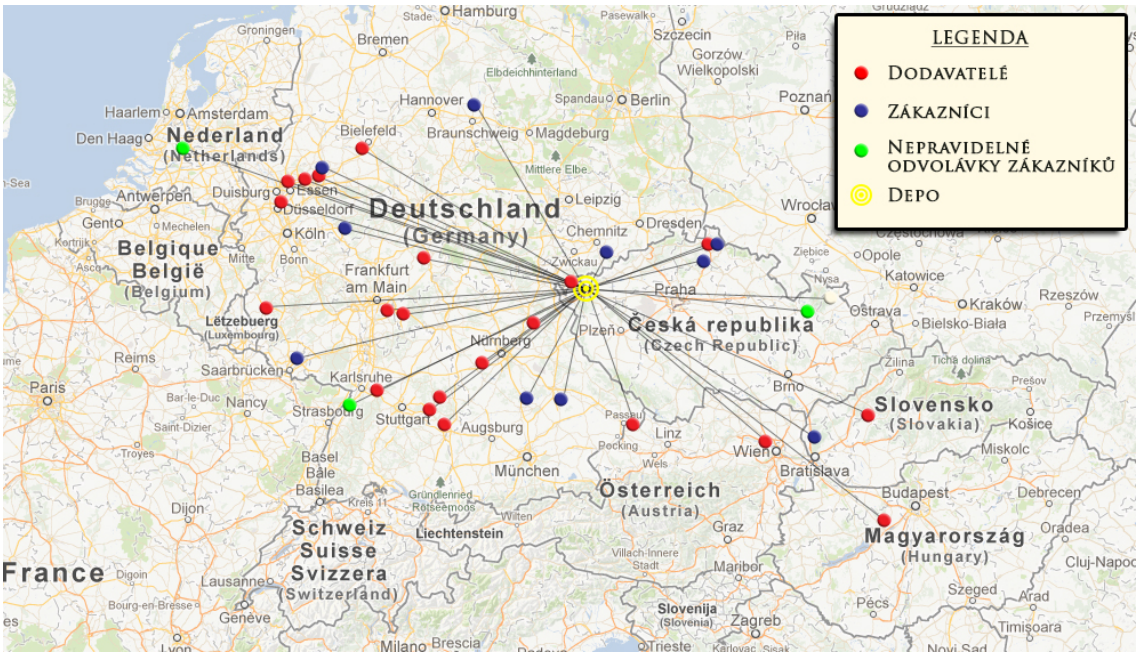
Obrázek 4 - Palety s přepravkami a víky připravené k expedici

Zdroj: autor

1.3 Analýza dopravní situace

1.3.1 Zákazníci a dodavatelé

Společnost zásobuje jedny z největší automobilek světa. Dodává díly pro AUDI, BMW, FORD, JAGUAR, LAMBORGINI, LAND ROVER, SCANIA, VOLVO, VW, DAF, MITSUBISHI, MERCEDES-BENZ, NISSAN, SEAT, ŠKODA, OPEL, PORSCHE, RENAULT TRUCK a další. Dodavatelé jsou nejčastěji lisovny, lakovny, a výrobci překupovaných dílů. Na obrázku 5 jsou vyznačeny sklady zákazníků a dodavatelů, kam plánuje firma LOCK SYSTEMS dopravu.



Obrázek 5 - Mapa s vyznačenými zákazníky a dodavateli *Zdroj: autor*

V následujících tabulkách jsou rozděleni jednotliví dodavatelé (viz tabulka 1) a zákazníci (viz tabulka 2), včetně jejich objemů, hmotností nákladu a frekvencí jízd v týdnu.

Tabulka 1- Seznam dodavatelů

ČÍSLO UZLU	DODAVATELÉ	MNOŽSTVÍ ZBOŽÍ (palet)	HMOTNOST ZBOŽÍ (kg)	DNY V TÝDNU	ADRESA
1	Teclac Fulda	20	3 000	po – pá	Fulda, Německo
2	Velbert	75	15 000	po – pá	Velbert, Německo
3	RIKU	55	9 000	po – pá	Bitburg, Německo
4	GK Logistik	81	19 000	po – pá	Hagen, Německo
5	Schütz	10	1 000	úterý	Großwallstadt, Německo
5	Schütz	6	500	čtvrtek	Großwallstadt, Německo
6	Ytab	1	250	čtvrtek	Iggingen-Brainkofen, Německo
7	Saxonia	15	7 600	čtvrtek	Göppingen, Německo
8	Härter	8	2 700	čtvrtek	Königsbach-Stein, Německo
9	Fischer	60	12 000	po – pá	Gütersloh, Německo
10	HWHW Wickede	80	16 500	po – pá	Wickende, Německo
11	WHW Langenfeld	74	15 000	po – pá	Langenfeld, Německo
12	ZF Electronics	6	1 200	po – pá	Auerbach, Německo
13	Sumida	5	150	úterý	Obernzell, Německo
14	Oechsler AG Ansbach	1	16	úterý	Ansbach, Německo
15	Veinnaplex	26	2 500	pátek	Wien, Rakousko
15	Veinnaplex	26	2 500	úterý	Wien, Rakousko
16	Externí prostory	8	3 000	po – pá	Nová Role, ČR
16	Externí prostory	8	2 500	pátek	Nová Role, ČR
17	Kongsberg	7	800	pondělí	Siofok, Maďarsko
18	SPPP SK	58	7 000	po, út, čt	Bánovce nad Bebravou, Slovensko
19	Megatech Liberec	18	1 800	pondělí	Liberec, ČR
20	Gebr. Binder	3	1 500	pondělí	Weidenstetten, Německo
21	PB Electro	1	10	úterý	Umstadt, Německo

Zdroj dat: Firma LOCK SYSTEMS

Tabulka 2 - Seznam zákazníků

ČÍSLO UZLU	ZÁKAZNÍCI	MNOŽSTVÍ ZBOŽÍ	HMOTNOST ZBOŽÍ	DNY V TÝDNU	ADRESA
22	TWB	36	9 000 kg	po – pá	Hagen, Německo
23	HBPO	10	3 100 kg	středa	Mnichovo Hradiště, ČR
24	Logistikzentrum Liberec	10	1 200 kg	pondělí	Liberec, ČR
25	Brose Lozorno	13	2 400 kg	středa	Lozorno, Slovensko
26	Scherdel Marienberg	17	2 500 kg	středa	Marienberg, Německo
27	Roof	1	260 kg	pátek	Gifhorn, Německo
28	Benteler Siegen	1	70 kg	středa	Siegen, Německo
29	Decoma Sulzbach	7	1 300 kg	středa	Schierling, Německo
30	Webasto AG	7	500 kg	úterý, čtvrtek	Sulzbach, Německo
31	Georg Mayer	15	2 300 kg	čtvrtek	Pettling, Německo

Zdroj dat: Firma LOCK SYSTEMS

3.6 Stávající dopravní situace

Jednotlivé dceřiné společnosti LOCK SYSTEMS si organizují dopravu sami. Jedná se o dopravu:

- hotových výrobků k zákazníkům;
- materiálu a polotovarů od dodavatelů;
- výrobků pro další montáž či povrchovou úpravu.

V závodě LOCK SYSTEMS Karlovy Vary je využíván outsourcing v přepravě zboží od dodavatelů k zákazníkům. Trasy si firma volí sama, ale dopravu zprostředkovávají dopravci, kteří vlastní heterogenní vozový park. Mezi ně patří například CS CARGO (nejčastěji používaná), Gefco, Dachser, CB Sped a další menší dopravci (Apolín, Sidor, Kilián, MM Spedition), kteří vlastní vozidla různých parametrů. LOCK SYSTEMS v Karlových Varech organizuje jen část z celé sítě přeprav ve společnosti. V následující tabulce 3 jsou trasy navržené závodem v Karlových Varech.

Tabulka 3 - Trasy vytvořené firmou LOCK SYSTEMS K. Vary

TRASY	DÉLKY TRAS (km)	TÝDENNÍ FREKVENCE
K. Vary - Fulda - Bitburg - Fulda - K. Vary	1302	5
K. Vary - Hagen - Wülfrath - Wuppertal - K. Vary	1285	5
K. Vary - Mnichovo Hradiště - K. Vary	440	1
K. Vary - Liberec	265	1
Groß-Umstadt - Großwallstadt - K. Vary	410	1
K. Vary - Iggingen - Göppingen - Königsbach - Großwallstadt - K. Vary	1083	1
K. Vary - Velbert - K. Vary	1300	5
Gütersloh - Wickede - K. Vary	640	2
Langenfeld - Velbert - K. Vary	675	5
K. Vary - Auerbach - K. Vary	320	5
Obernzell - K. Vary	351	1
K. Vary - Lozorno - K. Vary	909	1
K. Vary - Marienberg - K. Vary	188	1
K. Vary - Gifhorn	498	1
Ansbach - K. Vary	283	1
K. Vary - Siegen	518	1
K. Vary - Gent - K. Vary	1770	2
K. Vary - Nové Město nad Váhom - Bánovce nad Bebravou - K. Vary	1062	3
K. Vary - Wieselbourg - Wien - K. Vary	1020	2
K. Vary - Nová Role - K. Vary	24	1
K. Vary - Siofok - K. Vary	1330	1
K. Vary - Sulzbach - K. Vary	1182	1
K. Vary - Bánovce nad Bebravou - K. Vary	1062	2
K. Vary - Megatech Liberec - K. Vary	462	1
K. Vary - Schierling - K. Vary	460	2
K. Vary - Weidenstetten - K. Vary	810	1
K. Vary - Pettling - K. Vary	538	1

Zdroj dat: Firma LOCK SYSTEMS

Celková délka tras za jeden pracovní týden (pondělí - pátek) činí **46 791 km** rozdělených do **54 tras**. Tyto základní údaje jsou důležité pro následné porovnání s výsledkem optimalizace.

2. Výběr vhodné metody řešení

Základní pojmy a terminologie dané problematiky vychází z [4] a [5].

2.1 Úloha okružních jízd

Úloha okružních jízd (Vehicle Routing Problem) je často označována jako problém vícenásobného obchodního cestujícího (Multiple Travelling Salesman Problem). V této práci je použita úloha okružních jízd s omezenou kapacitou v neorientovaném grafu vytvořeného z uzlů (měst) a hran (existujících dopravních cest), kde je potřeba obsloužit vrcholy sítě. Cílem je najít takové uzavřené trasy, které vychází z depa a současně prochází všemi ostatními uzly právě jednou.

Existuje spousty podmínek, které jsou určující ve volbě strategií a přístupů. Požadavky zákazníků bývají různorodé a nemusí být charakterizovány pouze množstvím zboží a materiálu, ale i časem, kapacitou vozidla, maximální délkou trasy, maximálním časem projetí trasy apod. Individuální požadavky zákazníka mohou být umístěny v jednom uzlu dopravní sítě, mohou být rozloženy po úseku sítě a nebo v posloupnosti uzlů, které je třeba v zadaném pořadí navštívit. Podle uvedených příkladů vzniká potřeba specifikovat některé charakteristické znaky možných úloh a uspořádat je do jakéhosi systému. Tak tomu může být podle následující klasifikace [6]:

- Čas uspokojování požadavků
  - čas je určen pevně (úloha rozvrhování)
  - čas je určen časovým intervalem (dán časovými okny)
  - čas není určen
- Počet dep
  - jedno středisko
  - více středisek
- Typ vozového parku
  - homogenní
  - heterogenní

- Velikost vozového parku
    - jedno vozidlo
    - více vozidel
    - neomezený počet vozidel
- Povaha požadavků
    - deterministické – přesně známy
    - stochastické – nejsou předem známy (svoz domovního odpadu)
- Povaha požadavků na dopravní síti
    - v uzlech (obsluha vrcholu sítě)
    - na úsecích (obsluha hran sítě)
    - v uzlech i na úsecích (obsluha vrcholů a hran sítě)
- Typ dopravní sítě
    - orientovaná
    - neorientovaná
    - smíšená
- Čas strávený v uzlu
    - nakládka
    - vykládka
    - obě operace
- Maximální doba pro projetí jedné trasy
    - každé vozidlo má jinou dobu
    - stejná pro všechna vozidla (homogenní park)
    - bez omezení
- Kritérium kvality řešení (účelová funkce)
    - minimální součet ohodnocení úseků, kterými projela vozidla (délka trasy pracovní doba, spotřeba pohonných hmot)
    - minimální počet tras (počet použitých vozidel, pořizovací náklady)
    - smíšené kritérium (celkové náklady)

2.2. Heuristické metody řešení

Dané úlohy se mohou řešit dvěma základními metodami řešení. Jedním z nich je **exaktní metoda**, která prověřuje všechny varianty řešení. Na základě výpočtu hodnoty kritéria pro každou z těchto variant vyberou optimální řešení. Největší nevýhodou je neaplikovatelnost na úlohy rozsáhlejšího charakteru, neboť s velikostí úlohy roste i počet potřebných operací nutných k získání optimálního řešení. V oblasti operativního řízení procesů v distribučních systémech se nejčastěji řeší úloha obchodního cestujícího, která se často vyskytuje při řešení složitějších úloh okružních jízd. Pro řešení úlohy obchodního cestujícího existují i exaktní metody [8]. Ty ale nejsou díky jejich náročnosti vhodné pro aplikace, kde se úloha obchodního cestujícího mnohokrát opakuje.

Oproti tomu **heuristika** se zabývá řešením problému u rozsáhlých úloh, kde nalézá pouze **suboptimální** řešení, které může být vyhovující, ale nemusí být nejlepší možné. Začíná pouze hrubým odhadem, který se postupně zlepšuje. Bohužel často tyto metody neumožňují určit, jak daleko se odchylují od optimálního řešení. S přihlédnutím na rychlost výpočtu a nároky na výpočetní techniku se mohou *suboptimální* řešení považovat jako přijatelná.

Většina heuristických algoritmů používá jedno ze dvou následujících postupů. Postup začínající přípustným řešením, které je postupně zlepšováno a jehož hodnota lokálního kritéria je menší než hodnota lokálního kritéria předchozího řešení se nazývá **primární heuristika**. Proces zlepšování končí dosažením takového řešení, které nejde již nadále zlepšit. Oproti tomu v **duální heuristice** je vytvořeno nejdříve nepřípustné řešení s hodnotou účelové funkce „lepší“ než může nabývat optimální řešení a to je postupně upravováno tak, aby odstranilo narušení podmínek přípustnosti při co nejmenším zhoršení podmínek účelové funkce v jednotlivých krocích. Výpočet končí zjištěním přípustného řešení, nebo v případě, že dalšími uvažovanými změnami nelze dosáhnout lepšího výsledku. Kvalitu použité heuristiky lze zjistit zejména praktickými zkušenostmi získané jejich používáním.

Mezi nejznámější heuristiky, používané k řešení úloh okružních jízd, patří:

- **Heuristiky s výhodnostními koeficienty**, které se obvykle využívají ve spojení slokálním kritériem, které se sanží vystihnout váhodnost vložení daného objektu do současného řešení. Výhodnostní koeficient (lokální kritérium) nemusí odpovídat přímo zvýšení nebo snížení hodnoty účelové funkce následného řešení, ale může nějakým způsobem odhadovat vliv hodnoceného přechodu na hodnotu účelové funkce výsledného řešení celé heuristiky. Mezi nejznámější heuristiky s výhodnostními koeficienty patří **Clark – Wrightova metoda**.
- **Vkládací heuristiky** využívají toho, že řešení úlohy je určené výběrem určitých objektů z množiny dosud nezařazených objektů (nenavštívených uzlů sítě). Heuristika vkládá jeden z nezařazených objektů do výchozího řešení tak, aby byla v duálním postupu zmenšena míra nepřípustnosti a nebo aby byla zmenšena hodnota účelové funkce v případě primárního postupu. Jedna z variant duální vkládací heuristiky pro řešení úlohy obchodního cestujícího je metoda nejbližšího souseda.
- **Výměnné heuristiky** jsou využívány nejen v úlohách, kde je řešení dané množinou vybraných objektů, ale i v úlohách, kde je řešení určené vzájemným uspořádáním objektů. Princip výměnné heuristiky se opírá o rozdělení objektů úlohy do dvou disjunktních množin a to množiny objektů tvořící současné řešení a množiny nezařazených objektů. Tato heuristika spočívá v tom, že jistá podmnožina objektů je vyjmuta ze současného řešení a nahrazena podmnožinou objektů z množiny nezařazených objektů. Objekty vyjmuté ze současného řešení jsou potom vloženy do množiny nezařazených objektů. Kritériem, podle kterého je posuzován výsledek, může být změna hodnoty účelové funkce současného řešení.

Všechny výše uvedené heuristiky mají jednu nevýhodu v podobě neschopnosti opustit lokální minimum poté, co ho předchozími kroky dosáhnou. Existují však metaheuristiky, které za jistých okolností mohou opustit lokální extrém účelové funkce a přejít posloupností iteračních kroků do jiných částí množiny přípustných řešení.. Mezi nejznámější patří metaheuristika simulovaného žíhání (Simulated Annealing), Tabu Search, Genetický algoritmus, optimalizace mravenčích kolonií (Ant Colony) a další. [7]

2.3 Softwarové prostředky k řešení úloh okružních jízd

Již od 80. let 20. století se rozvíjejí softwary určené pro optimalizaci okružních jízd, přičemž některé produkty jsou využívány dodnes (ORTEC, Roadnet Transportation Suite, LogiX Suite, TruckStops Routing and Scheduling). Zavádění softwaru pro plánování okružních jízd přináší doprvcům významné úspory přepravních nákladů. Podle různých studií se úspory pohybují v rozmezí 4 - 20 %. Minimalizací dopravních tras se také sníží negativní dopady na životní prostředí.

Mezi základní funkce moderního softwaru patří:

- přiřazování geografických poloh (GPS) k adrese a spolupráce s digitálními mapami,
- řešení různých typů úloh okružních jízd,
- výpočet optimální trasy z různých hledisek,
- zobrazení výsledků v grafu nebo na mapě.

Většina produktů běží na operačním systému MS Windows, ale některé můžeme spustit i na Unixu, Linuxu a Mac OS. Čas výpočtu úlohy s 50 vozidly, 1000 zákazníky a dvouhodinovými časovými okny se pohybuje v rozmezí 1 – 10 minutami. V posledních letech se však rozvíjí použití webových aplikacích jako jsou *Java EE 6*[1] a *ASP.NET*[2]. Některé vývojové firmy neuvádějí informace o použitých algoritmech, nicméně převážně používají heuristiky a metaheuristiky. Většina programů dokáže pracovat s obsluhou uzlů (tzv. node routing) v síti, méně je tomu tak u obsluhy úseků sítě (tzv. arc rating). Arc routing je ideální pro případy, kdy je počet zákazníků zařazených do jedné trasy vyšší než 100 (např. svoz odpadků, rozvoz pošty). Práce s měkkými časovými okny není také hojně zastoupena. Mnoho produktů sice uvádí jejich podporu, ale myslí tím jen maximální tolerované zpoždění. Díky moderním technologiím je možná integrace se systémem GPS a s mobilními telefony, jejichž pomocí můžeme sledovat vozidla v reálném čase, zaznamenávat jejich trasy a veškerý pohyb.

---

[1] Java EE 6 je součást platformy Java, určený pro provoz a vývoj aplikací a informačních systémů.
[2] ASP.NET je součást platformy .NET Framework pro tvorbu webových aplikací a služeb.

Tabulka 4 - Příklady softwarových produktů

Počet uzlů	Název software
1 000 a více	ArcLogistics Route (ESRI)
	Roadnet Transportation Suite (UPS Logistics Technologies)
	TruckStops Routing and Scheduling (The Descartes Systems Group)
	Prophesy Total Transportation System (Prophesy Transportation Solutions)
500 - 1 000	JOpt.SDK (DNA Evolutions)
	TourSolver for MapPoint / MapInfo Pro (Magellan Ingenierie)
	Descartes Routing and Scheduling (The Descartes Systems Group)
	Direct Route (Appian Logistics Software)
	ORTEC Routing and Scheduling (ORTEC)
	Paragon Routing and Scheduling Systems (Paragon Software Systems)
100 - 500	STARS 5.0 (SAITECH)
	The LogiX Suite (Distribution Planning Software Limited)

Zdroj: [8]

Většina firem vyvíjí softwarové produkty zákazníkovi přímo na míru a nejsou určeny na výzkum, ale ILOG a DNA Evolution nabízejí řešení optimálního trasování, které mohou být implementovány do jiných programů. Tímto způsobem se mohou tyto programy používat pro výzkum, skutečný vozový park a jako součást jiných softwarových produktů. Cena se obvykle odvíjí podle počtu instalací, míry požadovaných úprav, velikosti vozového parku, počtu uzlů v síti a dalších kritérií. Nejlevnější komerční produkty se pohybují od 10 000 USD.

2.3 Charakteristika úlohy

V práci je použita úloha okružních jízd (Vehicle Routing Problem) s omezenou kapacitou, nebo-li problém vícenásobného obchodního cestujícího (Multiple Travelling Salesman Problem). Úloha okružních jízd se svozem a rozvozem je složitá úloha, která přesahuje rozsah této bakalářské práce, proto se počítá svoz i rozvoz jako jedna činnost.

Jízdní souprava vždy začíná a končí v depu. Před výjezdem vozidla z depa je naloženo zboží pro zákazníky a prázdné obaly pro dodavatele. V každém uzlu dále probíhá nakládka nebo vykládka zboží či prázdných obalů. Tím je ošetřen svoz a rozvoz jako jedna činnost. Zboží se vždy vymění za stejný objem obalů a naopak. To znamená, že každý zákazník a dodavatel má k dispozici určitou část objemu vozidla, kterou se naplní jak zboží, tak prázdné obaly.

Základními podmínkami je, aby každý zákazník a dodavatel byl obsloužen pouze jednou, nebyla překročena kapacita vozidla a nebyl překročen maximální čas strávený mimo výchozí uzel. V úloze se počítá s heterogenním vozovým parkem. To znamená, že algoritmus počítá s jedním typem vozidla o určité kapacitě a technologické způsobilosti. V případě homogenního vozového parku je náročnost výpočtu velmi obtížná. Pro tyto případy se používají jiné algoritmy jako tabu search, record-to-record, evoluční algoritmy a další. [9]

Cílem použití praktické úlohy je využití všech poznatků z teoretické části a aplikovat jednu z heuristických metod na konkrétním příkladu. Dobré naplánování okružních tras je nedílnou součástí každého distribučního systému.

2.4 Stanovené podmínky

Cílem úlohy je splnit následující prioritní podmínky:

1. **Tvorba programu pro jednodušší výpočet optimalizace.**
2. **Navrhnout menší délky tras, než které jsou vytvořeny firmou.**
3. **Navrhnout celkově menší počet tras, než které jsou vytvořeny firmou.**

Díky menším délkám tras lze dosáhnout nižších nákladů na dopravu z pohledu spotřeby pohonných hmot. Další výhodnou je snížení vypuštěných emisí do ovzduší z vozidel silniční dopravy. S tím souvisí i menší počet použitých vozidel. Méně vozidel znamená také méně pracovní síly a dalších nákladů. Čas je další z faktorů, na kterém se dá uspořit. Snižují se tak zásoby ve skladech a zlepšuje se plynulost pohybu zboží.

Protože je optimalizace pomocí heuristických algoritmů pro velký počet uzlů náročná, vytvořil jsem ve spolupráci s IT oddělením firmy LOCK SYSTEMS program, který je

speciálně navržen pro tuto práci. Výstupem programu jsou jednotlivé rozvozové trasy a z nich vyplývající počet použitých vozidel. Algoritmus se musí aplikovat na jednotlivé dny v týdnu.

2.5 Formulace úlohy

V oblasti západní, střední a jihovýchodní Evropy je potřeba řešit úlohu optimálního trasování. Je k dispozici jedno distribuční centrum v Karlových Varech, ze kterého se uskutečňují svozy a rozvozy zboží a prázdných obalů.

Cílem je stanovit trasy pro jednotlivé dny v týdnu na základě těchto vstupních údajů:

- matice vzdáleností mezi jednotlivými uzly,
- průměrná rychlost použitého vozidla,
- kapacita vozidla - maximální počet palet,
- kapacita vozidla - maximální nosnost,
- doba potřebná k vyložení jedné palety,
- maximální doba jízdy vozidla, nakládek a vykládek,
- množství zboží z / do uzlu.

Jelikož se jedná o mezinárodní přepravu, je potřeba brát ohled i na dohodu AETR. Jedná se o mezinárodní úmluvu činnosti osádek vozidel v mezinárodní silniční dopravě. Ta určuje délky a četnost přestávek, dobu odpočinku, požadavky na osádku a případy, kdy mohou řidiči limity porušit.

3. Návrh řešení

3.1 Clark - Wrightova metoda

Clark-Wrightova metoda, která je základním kamenem této práce, pochází z r. 1964 a jejími autory jsou G. Clark a J. Wright. Algoritmus v každé iteraci *sdružuje* dvě trasy (V_0 - V_i - V_0) a (V_0 - V_j - V_0) podle jistého kritéria do jedné trasy (V_0 - V_i - V_j - V_0). Stane se tak jen za splnění podmínek (maximální kapacita vozidla, doba trvaní jízdy a další). Algoritmus tedy sdružuje uzly na základě výhodnosti a nevýhodnosti. Ta je dána úsporou, kterou měříme výhodnostním koeficientem z_{ij} podle vstahu $z_{ij} = (d_{0i} + d_{0j} - d_{ij})$, kde z_{ij} vyjadřuje rozdíl mezi součtem délek tras (V_0 - V_i - V_0) a (V_0 - V_j - V_0) a délkou sdružené trasy (V_0 - V_i - V_j - V_0). Metoda sdružuje postupně ty dva uzly, které vykazují *nejvyšší koeficient* z_{ij}, pokud vyhovují podmínkám. Cyklicky se opakují následující kroky:

1. Program postupně prochází matici výhodnostních koeficientů, najde největší kladný prvek z_{ij} a sdruží trasy (V_0 - V_i - V_0) a (V_0 - V_j - V_0) do sdružené trasy (V_0 - V_i - V_j - V_0). Pokud je takový prvek nenalezen, program končí s aktuální množinou tras. Je-li nalezen největší kladný prvek z_{ij}, program přejde na krok 2.
2. Program kontroluje, zda sdružením uzlů V_i a V_j vznikne přípustná trasa na základě stanovených podmínek. Pokud přípustná trasa ne*vznikne* → položíme $z_{ij} = 0$ a přejdeme na krok 1. Pokud přípustná trasa *vznikne* → přejdeme na krok 3.
3. Proběhne aktualizace množiny uzlů V vyjmutím uzlů i a j a položíme $z_{ij} = 0$. Aktualizuje se množina tras vyjmutím původních tras a nahrazením novými trasami. Současně se aktualizují ostatní parametry jako množství palet, hmotnost nákladu, délka trasy a doba přepravy.

3.2 Vstupní údaje

Nejdříve je nutné uvést následující obecné charakteristiky dané úlohy:

- pracujeme s neorientovanou sítí,
- kapacita vozidel je omezena z hlediska nosnosti a objemu,
- všechny objednávky jsou deterministické, tudíž předem známy,
- použitá vozidla jsou homogenní (vozidla jednoho typu) a budou začínat a končit vždy v jediném depu,
- maximální čas pobytu vozidla mimo depo je stejný pro všechny trasy.

Pro řešení úlohy je zapotřebí dalších údajů jako matice vzdáleností a jiné vstupní údaje.

3.2.1 Matice vzdáleností

Čtvercová matice vzdáleností typu $n \times n$ je symetrická, protože se jedná o neorientovanou síť. Depo v Karlových Varech je označeno V_0. Délky mezi jednotlivými uzly jsou vypočítány z webové aplikace Google Maps. [10] Do programu jsou vybrány nejkratší cesty, vedoucí nejčastěji po dálnicích a rychlostních silnicích. Je totiž nutné zachovat průměrnou rychlost vozidla. Následující tabulka obsahuje všechny uzly dohromady, ačkoliv v této práci jsou trasy tvořeny pro každý všední den v týdnu zvlášť.

Tabulka 5 - Matice vzdáleností

		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Depo	0	0	323	581	623	542	368	360	386	453	497	503	567	164	274	267	484	9	681	505	262	387	379	542	228	261	456	69	424	492	553	222	263
Dodavatelé	1	323	0	298	318	235	120	257	282	256	231	237	267	254	436	192	699	324	991	805	527	283	122	245	527	530	778	348	277	165	282	327	308
	2	581	298	0	198	48	281	451	460	362	147	87	35	511	681	437	944	618	1236	1067	713	496	378	48	766	716	1046	571	355	129	310	572	553
	3	623	318	198	0	213	253	368	372	279	312	253	168	492	652	389	916	628	1208	1069	825	413	230	213	791	824	1019	612	500	232	115	544	513
	4	542	235	48	213	0	246	438	447	349	106	47	59	478	647	404	911	583	1203	1064	672	495	249	1	725	675	976	530	294	75	356	539	519
	5	368	120	281	253	246	0	240	199	191	340	282	250	261	430	186	693	367	985	847	603	277	27	247	569	602	797	426	386	194	217	321	302
	6	360	257	451	368	438	240	0	32	122	473	478	417	207	368	104	631	368	922	784	541	50	231	439	507	540	735	412	519	365	275	200	174
	7	386	282	460	372	447	199	32	0	98	498	482	428	232	362	129	625	393	900	856	566	33	235	447	532	565	734	437	544	370	251	241	201
	8	453	256	362	279	349	191	122	98	0	444	385	330	284	452	196	715	460	989	876	633	134	138	350	599	632	827	504	501	277	160	331	320
	9	497	231	147	312	106	340	473	498	444	0	75	158	470	651	408	915	539	1207	985	631	499	343	107	684	631	933	487	196	183	429	542	523
	10	503	237	87	253	47	282	478	482	385	75	0	100	475	656	413	920	544	1212	988	633	504	288	108	50	636	939	492	264	117	349	548	528
	11	567	267	35	168	59	250	417	428	330	158	100	0	479	648	405	912	586	1204	1065	724	464	246	60	777	727	1016	556	346	106	261	540	520
	12	164	254	511	492	478	261	207	232	284	470	475	479	0	270	114	501	164	793	622	379	234	272	478	345	378	573	227	427	426	409	129	141
	13	274	436	681	652	647	430	368	362	452	651	656	648	270	0	276	296	332	558	529	330	329	442	649	296	329	405	409	660	576	574	154	195
	14	267	192	437	389	404	186	104	129	196	408	413	405	114	276	0	538	276	830	692	448	130	199	405	414	447	642	320	455	353	309	166	111
	15	484	699	944	916	911	693	631	625	715	915	920	912	501	296	538	0	480	260	231	439	590	705	911	362	395	96	471	803	839	837	417	458
	16	9	324	618	628	583	367	368	393	460	539	544	586	164	332	276	480	0	676	500	257	388	373	570	223	256	451	87	408	497	547	216	257
	17	681	991	1236	1208	1203	985	922	900	989	1207	1212	1204	793	558	830	260	676	0	253	637	834	996	1203	603	636	234	670	1001	1150	1129	709	750
	18	505	805	1067	1069	1064	847	784	856	876	985	988	1065	622	529	692	231	500	253	0	490	825	859	1030	383	416	177	492	824	993	991	641	682
	19	262	527	713	825	672	603	541	566	633	6311	633	724	379	330	448	439	257	637	490	0	569	616	675	37	3	369	237	459	639	748	397	438
	20	387	283	496	413	495	277	50	33	134	499	504	464	234	329	130	590	388	834	825	569	0	272	485	533	566	700	439	545	431	287	207	167
	21	379	122	378	230	249	27	231	235	38	343	288	246	272	442	199	705	373	996	859	616	272	0	249	589	622	817	445	389	197	184	341	321
Zákazníci	22	542	245	48	213	1	247	439	447	350	107	108	60	478	649	405	911	570	1203	1030	675	485	249	0	725	675	976	530	294	75	307	539	519
	23	228	527	766	791	725	569	507	532	599	684	50	777	345	296	414	362	223	603	383	37	533	589	725	0	36	334	202	522	692	713	354	404
	24	261	530	716	824	675	602	540	565	632	631	636	727	378	329	447	395	256	636	416	3	566	622	675	36	0	368	236	462	642	747	397	428
	25	456	778	1046	1019	976	797	735	734	827	933	939	1016	573	405	642	96	451	234	177	369	700	817	976	334	368	0	443	775	963	942	528	569
	26	69	348	571	612	530	426	412	437	504	487	492	556	227	409	320	471	87	670	492	237	439	445	530	202	236	443	0	403	463	600	295	348
	27	424	277	355	500	294	386	519	544	501	196	264	346	427	660	455	803	408	1001	824	459	545	389	294	522	462	775	403	0	343	527	551	545
	28	492	165	129	232	75	194	365	370	277	183	117	106	426	576	353	839	497	1150	993	639	431	197	75	692	642	963	463	343	0	324	487	468
	29	553	282	310	115	356	217	275	251	160	429	349	261	409	574	309	837	547	1129	991	748	287	184	307	713	747	942	600	527	324	0	464	433
	30	222	327	572	544	539	321	200	241	331	542	548	540	129	154	166	417	216	709	641	397	207	341	539	354	397	528	295	551	487	464	0	49
	31	263	308	553	513	519	302	174	201	320	523	528	520	141	195	111	458	257	750	682	438	167	321	519	404	428	569	348	545	468	433	49	0

3.2.2 Ostaní vstupní údaje

Následující údaje byly zjištěny z poskytnutých dat od firmy LOCK SYSTEMS. Tyto údaje jsou nezbytné pro výpočet optimalizace pomocí Clark-Wrightova algoritmu.

1. Rozměry nejčastěji používaného návěsu jsou 13,6 m x 2,48m x 3 m. Objem tedy činí 101,184 m^3. Do jedné vrstvy se vejde 35 europalet, které se mohou stohovat až do tří vrstev. Kapacita **K = 105 palet**
2. Maximální povolená hmotnost celé soupravy je 40 000 kg a tahač váží cca 15 000 kg. Maximální hmotnost nákladu **N = 25 000 kg**.
3. Průměrná rychlost vykazuje určité odchylky, ale nejčastěji se pohybuje okolo 70 km/h. S touto hodnotou počítá i oddělení plánování logistiky ve firmě. Průměrná rychlost vozidla **c = 70 km/h**
4. Množství zboží q_i, které je potřeba dopravit z/do uzlu V_i. Tyto údaje jsou popsány v dalších kapitolách této práce.
5. Doba potřebná k vyložení a naložení jedné palety zboží je 0,02 h. Důležité je počítat i s paletami prázdných obalů, proto celková doba **t = 0,04 h**.
6. Maximální doba nakládky, vykládky a jízdy vozidla **T = 24 h**.

3.3 Celková doba přepravy

Celková doba pobytu vozidla mimo depo se stanoví z následujícího vzorce:

$$\frac{d}{c} + q_i t + b + o \qquad (3.1)$$

kde:

d - celková vzdálenost ujetá na trase

c - průměrná rychlost vozidla

q_i - kde i=1,2, ... ,n, jsou počty přepravovaných palet

t - doba potřebná k výstupu a vstupu jedné palety zboží a palety s prázdnými obaly

b - celková doba bezpečnostních přestávek (podle výpočtu AETR)

o - celková doba denních odpočinků (podle výpočtu AETR)

Celková doba nesmí přesáhnout 48 h (čas stanovený firmou LOCK SYSTEMS). Maximální doba nakládek, vykládek a samotných jízd je 24 h. Zbylých 24 hodin je rezerva na časy odpočinků a přestávek řidiče.

3.3.1 AETR

Dohoda AETR je důležitou součástí výpočtu celkové doby pohybu vozidla mimo výchozí uzel.

Doba řízení

Doba řízení mezi dvěma denními dobami odpočinku nesmí přesáhnout 9 hodin. Dvakrát za týden může být prodloužena na 10 hodin. [11]

Bezpečnostní přestávky

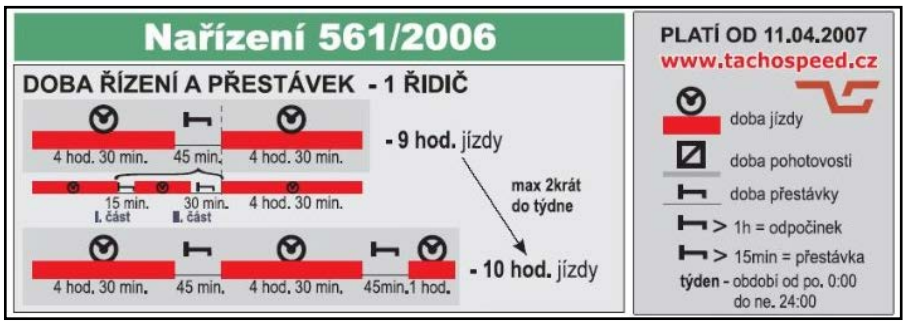
Po čtyřech a půl hodinách řízení musí mít řidič přestávku nejméně 45 minut.

Tuto přestávku může nahradit nejméně patnáctiminutovými přestávkami zařazenými do doby řízení. Během přestávek nesmí řidič vykonávat žádnou jinou práci. Doba čekání a doba nevěnovaná řízení strávená ve vozidle při jízdě, na trajektu nebo ve vlaku se nepovažuje za „jinou práci“ a je považována za bezpečnostní přestávku. [11]

Doba odpočinku

V průběhu každých 24 hodin musí mít řidič odpočinek nejméně 11 po sobě následujících hodin, který smí být zkrácen na nejméně 9 po sobě následujících hodin nejvýše třikrát týdně za podmínky, že bude náhradou poskytnuta odpovídající doba odpočinku před koncem následujícího týdne.

V každém týdnu musí být čerpána doba týdenního odpočinku v celkovém trvání 45 po sobě následujících hodin. Tato doba odpočinku smí být zkrácena na minimum 36 po sobě následujících hodin, je-li čerpána v místě obvyklého odstavení vozidla nebo v místě pobytu řidiče, nebo na minimum 24 po sobě následujících hodin, je-li čerpána mimo tato místa. [11] Grafické znázornění doby řízení a přestávek jsou zobrazeny na obrázku 6 a doba odpočinku na obrázku 7.



Obrázek 6 - Grafické znázornění dob řízení a přestávek

Zdroj: http://tachospeed.cz

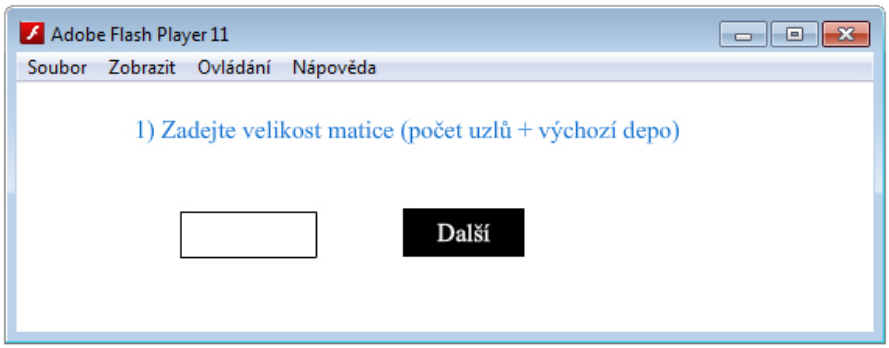
Obrázek 7 - Znázornění dvoutýdenní doby jízdy a odpočinku

Zdroj: http://tachospeed.cz

3.4 Vytvořený program pro výpočet optimalizace

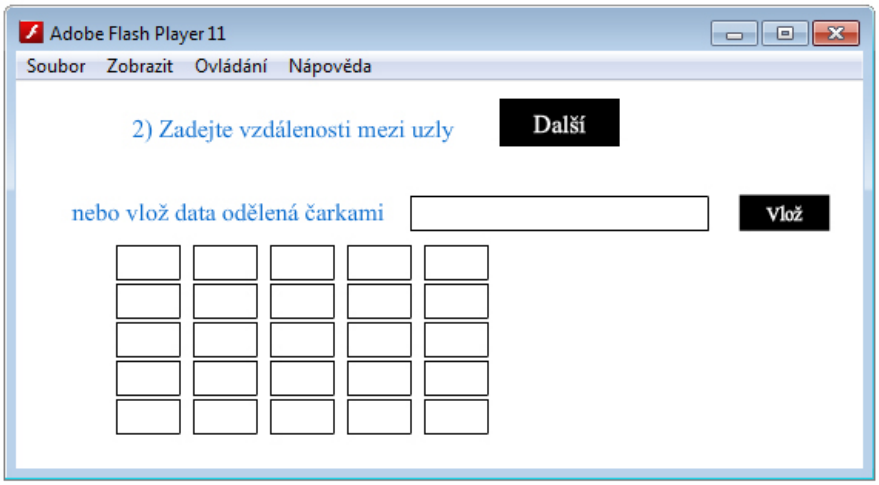
Pro účely této práce jsem ve spolupráci s IT oddělením firmy LOCK SYSTEMS navrhnul a vytvořil program, který je napsán v programovacím jazyce Action Script. Díky softwaru Adobe Flash Professional jsme vytvořili program, který pomocí Clark-Wrightova algoritmu vypočítá optimalizaci tras po zadání následujících údajů:

1. velikost matice vzdáleností $D\{d(i,j)\}$, kde $i,j = ,1,2, \ldots ,n$,



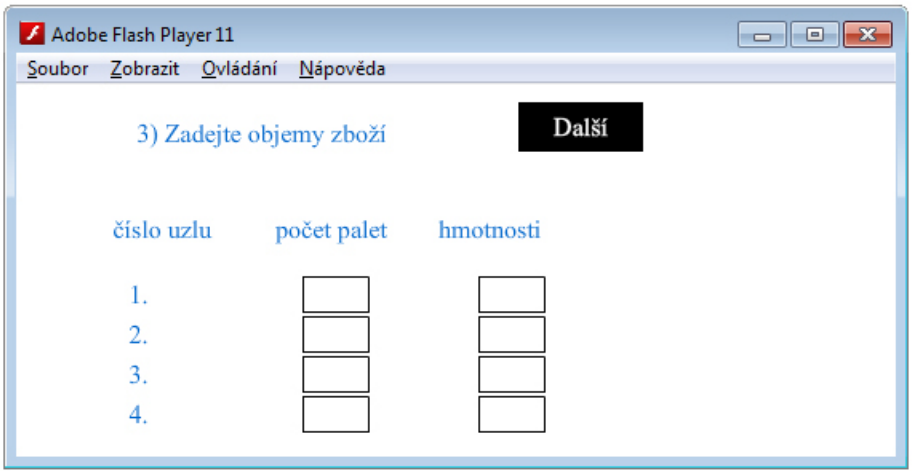
Obrázek 8 - Okno pro zadání velikosti matice

2. vzdálenosti mezi jednotlivými uzly (každý s každým včetně depa),



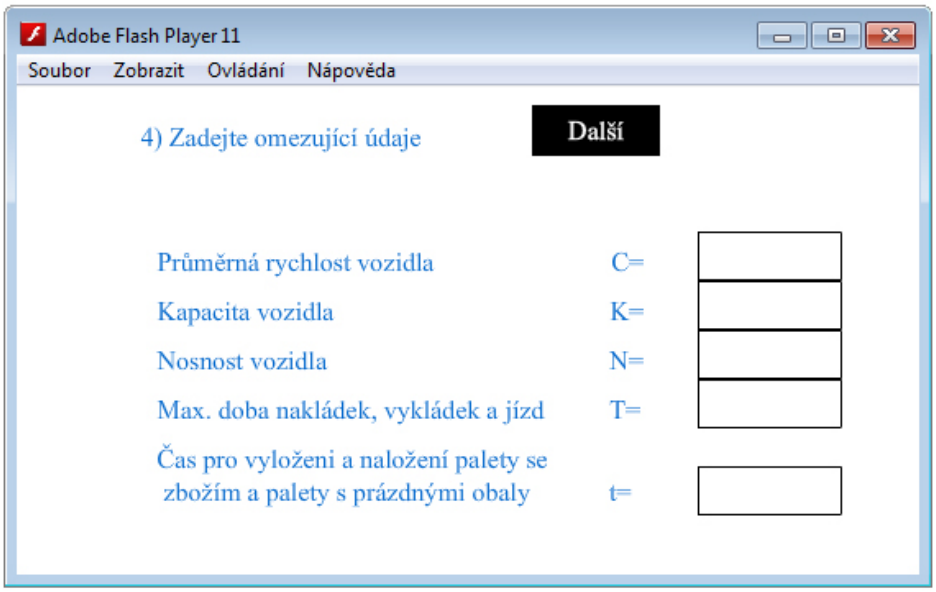
Obrázek 9 - Okno pro zadání vzdáleností

3. objemy zboží (počet palet q_i a hmotnost h_i) pro zákazníka nebo od dodavatele,



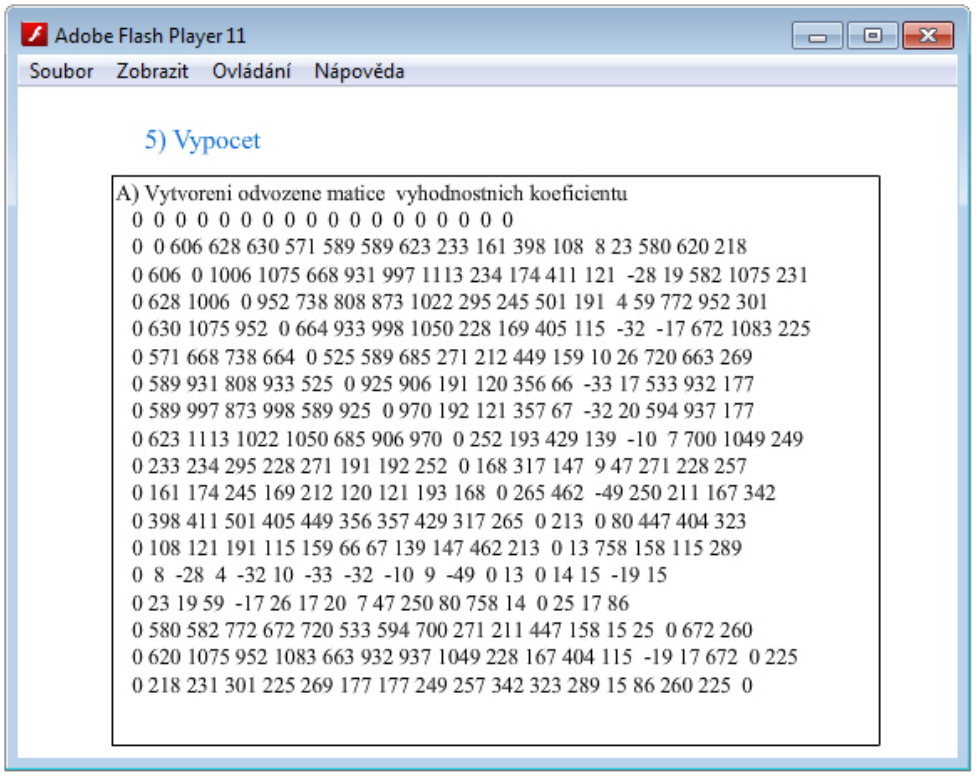
Obrázek 10 - Okno pro zadání objemů zboží

4. průměrná rychlost vozidla *c*, maximální doba pobytu vozidla mimo výchozí depo *T*, kapacita vozidla *K*, nosnost vozidla *N*, celková doba bezpečnostních přestávek *b*, celková doba denního odpočinku *o*.

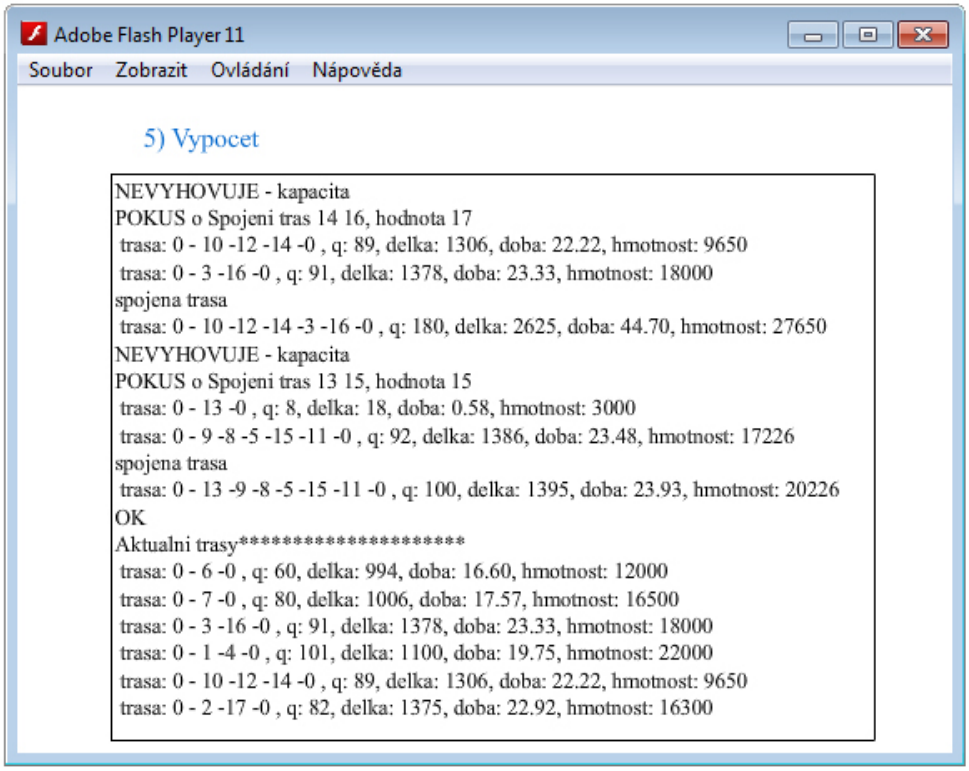


Obrázek 11 - Okno pro zadání omezujících údajů

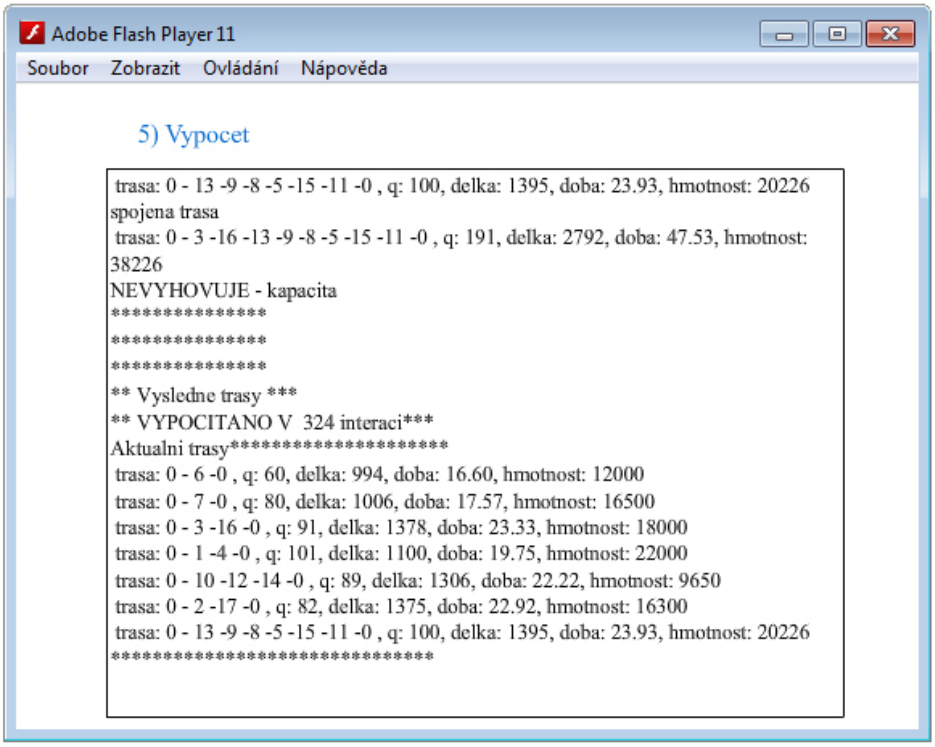
Program na závěr zobrazí textový výstup s maticí výhodnostních koeficientů (viz obr. 12), všemi iteracemi (viz obr. 13) a výslednými trasami (viz obr. 14).



Obrázek 12 - Výpis matice výhodnostních koeficientů



Obrázek 13 - Výpis všech iterací



Obrázek 14 - Výpis tras po optimalizaci

3.5 Řešení úlohy pomocí programu

Optimalizace je řešena v rámci každého dne zvlášť (od pondělí do pátku).

3.5.1 Pondělí

V první všední den je potřeba obsloužit 13 dodavatelů a 2. zákazníky. Matice vzdáleností mezi jednotlivými uzly je znázorněna v tabulce 6.

Tabulka 6 - Matice vzdáleností - pondělí

							10	11	12	16	17	18	19	20	22	24
0	0	323	581	623	542	497	503	567	164	9	681	505	262	387	542	261
1		0	298	318	235	231	237	267	254	324	991	805	527	283	245	530
2			0	198	48	147	87	35	511	618	1236	1067	713	496	48	716
3				0	213	312	253	168	492	628	1208	1069	825	413	213	824
4					0	106	47	59	478	583	1203	1064	672	495	1	675
9						0	75	158	470	539	1207	985	631	499	107	631
10							0	100	475	544	1212	988	633	504	108	636
11								0	479	586	1204	1065	724	464	60	727
12									0	164	793	622	379	234	478	378
16										0	676	500	257	388	570	256
17											0	253	637	834	1203	636
18												0	490	825	1030	416
19													0	569	675	3
20														0	485	566
22															0	675
24																0

Tabulka 7 - Matice výhodnostních koeficientů - pondělí

							10	11	12	16	17	18	19	20	22	24
0	0	323	581	623	542	497	503	567	164	9	681	505	262	387	542	261
1		0	298	318	235	231	237	267	254	324	991	805	527	283	245	530
2			0	198	48	147	87	35	511	618	1236	1067	713	496	48	716
3				0	213	312	253	168	492	628	1208	1069	825	413	213	824
4					0	106	47	59	478	583	1203	1064	672	495	1	675
9						0	75	158	470	539	1207	985	631	499	107	631
10							0	100	475	544	1212	988	633	504	108	636
11								0	479	586	1204	1065	724	464	60	727
12									0	164	793	622	379	234	478	378
16										0	676	500	257	388	570	256
17											0	253	637	834	1203	636
18												0	490	825	1030	416
19													0	569	675	3
20														0	485	566
22															0	675
24																0

Program vytvoří matici výhodnostních koeficientů (viz tabulka 7), podle které následně sdružuje jednotlivé trasy na základě jistého kritéria (v tomto případě proběhlo 256 iterací). Dále máme k dispozici množství palet a hmotnosti nákladů pro každý uzel.

Tabulka 8 - Objemy zboží - pondělí

ČÍSLO UZLU	NÁZEV UZLU	MNOŽSTVÍ ZBOŽÍ (palet)	HMOTNOST ZBOŽÍ (kg)
1	Teclac Fulda	20	3 000
2	WAVE Velbert	75	15 000
3	RIKU	55	9 000
4	GK Logistik	81	19 000
9	Fischer	60	12 000
10	HWHW Wickede	80	16 500
11	WHW Langenfeld	74	15 000
12	ZF Electronics	6	1 200
16	Externí prostory	8	3 000
17	Kongsberg	7	800
18	SPPP SK	58	7 000
19	Megatech Liberec	18	1 800
20	Gebr. Binder	3	1 500
22	TWB	36	9 000
24	Logistikzentrum Liberec	10	1 200

Podle výsledných časů tras jsou určeny doby přestávek a denních odpočinků podle dohody AETR. Celkem je vytvořeno 7 tras.

Tabulka 9 - Časové údaje - pondělí

TRASA	DOBA JÍZDY VOZIDLA (hod)	CELKOVÁ DOBA NAKLÁDEK A VYKLÁDEK (hod)	AETR - CELKOVÁ DOBA PŘESTÁVEK (hod)	AETR - CELKOVÁ DOBA DENNÍHO ODPOČINKU (hod)
0-2-0	16,6	3	1,5	11
0-10-0	14,37	3,2	1,5	11
0-3-22-0	16,69	3,64	1,5	11
0-1-4-0	15,71	4,04	1,5	11
0-11-20-12-0	20,41	3,32	1,5	22
0-9-19-24-0	19,89	3,52	1,5	22
0-16-17-18-0	20,61	2,92	1,5	22

Po 9 hodinách jízdy musí mít řidič 11 hodin denního odpočinku. Jelikož trasy 0-11-20-12-0, 0-9-19-24-0 a 0-16-17-18-0 přesahují 18 hodin jízdy, musí řidič využít 2 denní odpočinky po 11 hodinách. V ostatních případech stačí doba denního odpočinku 11 hodin.

Tabulka 10 - Trasy po optimalizaci - pondělí

TRASA	POČET PALET (ks)	HMOTNOST NÁKLADU (kg)	UJETÁ VZDÁLENOST (km)	CELKOVÁ DOBA POBYTU VOZIDLA MIMO DEPO (hod)	DEN NAKLÁDKY VOZIDLA V DEPU
0-2-0	75	15 000	1 162	32,1	pondělí
0-10-0	80	16 500	1 006	30,07	pondělí
0-3-22-0	91	18 000	1 378	32,83	pondělí
0-1-4-0	101	22 000	1 100	32,25	pondělí
0-11-20-12-0	83	17 700	1 429	47,23	pátek
0-9-19-24-0	88	15 000	1 392	46,91	pátek
0-16-17-18-0	73	10 800	1 443	47,03	pátek
CELKEM	**591**	**98 800**	**7 985**	**268,42**	

V pondělí je v provozu 7 vozidel. V trasách 0-3-22-0 a 0-9-19-24-0 je zahrnuta obsluha zákazníků. V těchto případech se požadované zboží naloží před výjezdem z depa, kde se také naloží prázdné obaly pro dodavatele. Při obsluze zákaznických uzlů se po vykládce zboží z vozidla naloží prázdné obaly pro depo v Karlových Varech. V ostatních trasách jsou obsluhováni jen dodavatelé.

3.5.2 Úterý

Sestrojíme matici vzdáleností pro úterý, kde je potřeba obsloužit 15 dodavatelů a 2 zákazníky.

Tabulka 11 - Matice vzdáleností - úterý

	0	1	2	3	4	5	9	10	11	12	13	14	15	16	18	21	22	30
0	0	323	581	623	542	368	497	503	567	164	274	267	484	9	505	379	542	222
1	323	0	298	318	235	120	231	237	267	254	436	192	699	324	805	122	245	327
2	581	298	0	198	48	281	147	87	35	511	681	437	944	618	1067	378	48	572
3	623	318	198	0	213	253	312	253	168	492	652	389	916	628	1069	230	213	544
4	542	235	48	213	0	246	106	47	59	478	647	404	911	583	1064	249	1	539
5	368	120	281	253	246	0	340	282	250	261	430	186	693	367	847	27	247	321
9	497	231	147	312	106	340	0	75	158	470	651	408	915	539	985	343	107	542
10	503	237	87	253	47	282	75	0	100	475	656	413	920	544	988	288	108	548
11	567	267	35	168	59	250	158	100	0	479	648	405	912	586	1065	246	60	540
12	164	254	511	492	478	261	470	475	479	0	270	114	501	164	622	272	478	129
13	274	436	681	652	647	430	651	656	648	270	0	276	296	332	529	442	649	154
14	267	192	437	389	404	186	408	413	405	114	276	0	538	276	692	199	405	166
15	484	699	944	916	911	693	915	920	912	501	296	538	0	480	231	705	911	417
16	9	324	618	628	583	367	539	544	586	164	332	276	480	0	500	373	570	216
18	505	805	1067	1069	1064	847	985	988	1065	622	529	692	231	500	0	859	1030	641
21	379	122	378	230	249	27	343	288	246	272	442	199	705	373	859	0	249	341
22	542	245	48	213	1	247	107	108	60	478	649	405	911	570	1030	249	0	539
30	222	327	572	544	539	321	542	548	540	129	154	166	417	216	641	341	539	0

Tabulka 12 - Matice výhodnostních koeficientů - úterý

	0	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**18**	**21**	**22**	**30**
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	606	628	630	571	589	589	623	233	161	398	108	8	23	580	620	218
2	0	606	0	1006	1075	668	931	997	1113	234	174	411	121	-28	19	582	1075	231
3	0	628	1006	0	952	738	808	873	1022	295	245	501	191	4	59	772	952	301
4	0	630	1075	952	0	664	933	998	1050	228	169	405	115	-32	-17	672	1083	225
5	0	571	668	738	664	0	525	589	685	271	212	449	159	10	26	720	663	269
9	0	589	931	808	933	525	0	925	906	191	120	356	66	-33	17	533	932	177
10	0	589	997	873	998	589	925	0	970	192	121	357	67	-32	20	594	937	177
11	0	623	1113	1022	1050	685	906	970	0	252	193	429	139	-10	7	700	1049	249
12	0	233	234	295	228	271	191	192	252	0	168	317	147	9	47	271	228	257
13	0	161	174	245	169	212	120	121	193	168	0	265	462	-49	250	211	167	342
14	0	398	411	501	405	449	356	357	429	317	265	0	213	0	80	447	404	323
15	0	108	121	191	115	159	66	67	139	147	462	213	0	13	758	158	115	289
16	0	8	-28	4	-32	10	-33	-32	-10	9	-49	0	13	0	14	15	-19	15
18	0	23	19	59	-17	26	17	20	7	47	250	80	758	14	0	25	17	86
21	0	580	582	772	672	720	533	594	700	271	211	447	158	15	25	0	672	260
22	0	620	1075	952	1083	663	932	937	1049	228	167	404	115	-19	17	672	0	225
30	0	218	231	301	225	269	177	177	249	257	342	323	289	15	86	260	225	0

Program vytvoří matici výhodnostních koeficientů a sdružuje trasy, pokud vyhovují podmínkám. V tabulce 13 jsou vypsány uzly, jejich počty palet a hmotnosti nákladů.

Tabulka 13 - Objemy zboží - úterý

ČÍSLO UZLU	NÁZEV UZLU	MNOŽSTVÍ ZBOŽÍ (palet)	HMOTNOST ZBOŽÍ (kg)
1	Teclac Fulda	20	3 000
2	WAVE Velbert	75	15 000
3	RIKU	55	9 000
4	GK Logistik	81	19 000
5	Schütz	10	1 000
9	Fischer	60	12 000
10	HWHW Wickede	80	16 500
11	WHW Langenfeld	74	15 000
12	ZF Electronics	6	1 200
13	Sumida	5	150
14	Oechsler AG Ansbach	1	16
15	Veinnaplex	26	2 500
16	Externí prostory	8	3 000
18	SPPP SK	58	7 000
21	PB Electro	1	10
22	TWB	36	9 000
30	Webasto AG	7	1 300

Programem je vytvořeno 7 tras. Na základě jízdních dob je určen čas přestávek a odpočinků (viz tabulka 12) podle mezinárodní dohody AETR.

Tabulka 14 - Časové údaje - úterý

TRASA	DOBA JÍZDY VOZIDLA (hod)	CELKOVÁ DOBA NAKLÁDEK A VYKLÁDEK (hod)	AETR - CELKOVÁ DOBA PŘESTÁVEK (hod)	AETR - CELKOVÁ DOBA DENNÍHO ODPOČINKU (hod)
0-9-0	14,2	2,4	1,5	11
0-10-0	14,37	3,2	1,5	11
0-3-22-0	19,68	3,64	1,5	22
0-1-4-0	15,71	4,04	1,5	11
0-13-15-18-0	18,65	3,56	2,25	11
0-2-30-0	19,64	3,28	1,5	22
0-16-12-11-5-21-14-0	19,92	4	1,5	22

Trasy 0-3-22-0, 0-13-15-18-0, 0-2-30-0 a 0-16-12-11-5-21-14-0 přesahují dobu jízdy 18 hodin, proto musí řidič využít 2 denní odpočinky po 11 hodinách. Výjimku tvoří trasa 0-13-15-18-0, kde může řidič využít 9 hodiny jízdy a 10 hodin jízdy, takže využije jen jednu dobu denního odpočinku, ale 3 přestávky po 45 minutách.

Tabulka 15 - Trasy po optimalizaci - úterý

TRASA	POČET PALET (ks)	HMOTNOST NÁKLADU (kg)	UJETÁ VZDÁLENOST (km)	CELKOVÁ DOBA POBYTU VOZIDLA MIMO DEPO (hod)	DEN NAKLÁDKY VOZIDLA V DEPU
0-9-0	60	12 000	994	29,1	úterý
0-10-0	80	16 500	1 006	30,07	úterý
0-3-22-0	91	18 000	1 378	46,82	pondělí
0-1-4-0	101	22 000	1 100	32,25	úterý
0-13-15-18-0	89	9 650	1 306	35,46	úterý
0-2-30-0	82	16 300	1 375	46,42	pondělí
0-16-12-11-5-21-14-0	100	20 226	1 395	47,42	pondělí
CELKEM	**603**	**114 676**	**8 554**	**267,54**	

Trasy 0-3-22-0 a 0-2-30-0 obsahují zákazníky, pro které je zboží naloženo v depu před výjezdem vozida splu s prázdnými obaly pro dodavatele. Následně jsou po vykládce u zákazníků naložené prázdné obaly pro depo.

3.5.3 Středa

Sestrojíme matici vzdáleností pro středu, kde je potřeba obsloužit 9 dodavatelů a 6 zákazníků. Následně je vytvořena matice výhodnostních koeficientů (viz tabulka 17).

Tabulka 16 - Matice vzdáleností - středa

	0	1	2	3	4	9	10	11	12	16	22	23	25	26	28	29
0	0	323	581	623	542	497	503	567	164	9	542	228	456	69	492	553
1	323	0	298	318	235	231	237	267	254	324	245	527	778	348	165	282
2	581	298	0	198	48	147	87	35	511	618	48	766	1046	571	129	310
3	623	318	198	0	213	312	253	168	492	628	213	791	1019	612	232	115
4	542	235	48	213	0	106	47	59	478	583	1	725	976	530	75	356
9	497	231	147	312	106	0	75	158	470	539	107	684	933	487	183	429
10	503	237	87	253	47	75	0	100	475	544	108	50	939	492	117	349
11	567	267	35	168	59	158	100	0	479	586	60	777	1016	556	106	261
12	164	254	511	492	478	470	475	479	0	164	478	345	573	227	426	409
16	9	324	618	628	583	539	544	586	164	0	570	223	451	87	497	547
22	542	245	48	213	1	107	108	60	478	570	0	725	976	530	75	307
23	228	527	766	791	725	684	50	777	345	223	725	0	334	202	692	713
25	456	778	1046	1019	976	933	939	1016	573	451	976	334	0	443	963	942
26	69	348	571	612	530	487	492	556	227	87	530	202	443	0	463	600
28	492	165	129	232	75	183	117	106	426	497	75	692	963	463	0	324
29	553	282	310	115	356	429	349	261	409	547	307	713	942	600	324	0

Tabulka 17 - Matice výhodnostních koeficientů

	0	1	2	3	4	9	10	11	12	16	22	23	25	26	28	29
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	606	628	630	589	589	623	233	8	620	24	1	44	650	594
2	0	606	0	1006	1075	931	997	1113	234	-28	1075	43	-9	79	944	824
3	0	628	1006	0	952	808	873	1022	295	4	952	60	60	80	883	1061
4	0	630	1075	952	0	933	998	1050	228	-32	1083	45	22	81	959	739
9	0	589	931	808	933	0	925	906	191	-33	932	41	20	79	806	621
10	0	589	997	873	998	925	0	970	192	-32	937	681	20	80	878	707
11	0	623	1113	1022	1050	906	970	0	252	-10	1049	18	7	80	953	859
12	0	233	234	295	228	191	192	252	0	9	228	47	47	6	230	308
16	0	8	-28	4	-32	-33	-32	-10	9	0	-19	14	14	-9	4	15
22	0	620	1075	952	1083	932	937	1049	228	-19	0	45	22	81	959	788
23	0	24	43	60	45	41	681	18	47	14	45	0	350	95	28	68
25	0	1	-9	60	22	20	20	7	47	14	22	350	0	82	-15	67
26	0	44	79	80	81	79	80	80	6	-9	81	95	82	0	98	22
28	0	650	944	883	959	806	878	953	230	4	959	28	-15	98	0	721
29	0	594	824	1061	739	621	707	859	308	15	788	68	67	22	721	0

Dále máme k dispozici uzly, jejich počty palet a hmotnosti nákladů.

Tabulka 18 - Objemy zboží - středa

ČÍSLO UZLU	NÁZEV UZLU	MNOŽSTVÍ ZBOŽÍ (palet)	HMOTNOST ZBOŽÍ (kg)
1	Teclac Fulda	20	3 000
2	WAVE Velbert	75	15 000
3	RIKU	55	9 000
4	GK Logistik	81	19 000
9	Fischer	60	12 000
10	HWHW Wickede	80	16 500
11	WHW Langenfeld	74	15 000
12	ZF Electronics	6	1 200
16	Externí prostory	8	3 000

22	TWB	36	9 000
23	HBPO	10	3 100
25	Brose Lozorno	13	2 400
26	Scherdel Marienberg	17	2 500
28	Benteler Siegen	1	70
29	Decoma Sulzbach	7	1 300

Po zadání všech nezbytných údajů je programem vytvořeno 7 tras (v tomto případě proběhlo 256 iterací). Na základě dob jízd výsledných tras jsou určeny doby AETR.

Tabulka 19 - Časové údaje - středa

TRASA	DOBA JÍZDY VOZIDLA (hod)	CELKOVÁ DOBA NAKLÁDEK A VYKLÁDEK (hod)	AETR - CELKOVÁ DOBA PŘESTÁVEK (hod)	AETR - CELKOVÁ DOBA DENNÍHO ODPOČINKU (hod)
0-2-0	16,60	3	1,5	11
0-11-0	16,20	2,96	1,5	11
0-16-0	0,26	0,32	0	0
0-9-22-0	16,37	3,84	1,5	11
0-1-4-28-0	16,07	4,08	1,5	11
0-10-23-25-0	19,19	4,12	1,5	22
0-12-3-29-26-0	20,57	3,4	1,5	22

U trasy 0-16-0 není třeba brát v úvahu AETR, protože se jedná o vnitrostátní dopravu a délka trasy je dlouhá pouze 18 km.

Tabulka 20 - Trasy po optimalizaci - středa

TRASA	POČET PALET (ks)	HMOTNOST NÁKLADU (kg)	UJETÁ VZDÁLENOST (km)	CELKOVÁ DOBA POBYTU VOZIDLA MIMO DEPO (hod)	DEN NAKLÁDKY VOZIDLA V DEPU
0-2-0	75	15 000	1 162	32,1	středa
0-11-0	74	15 000	1 134	31,66	středa
0-16-0	8	3 000	18	0,58	středa
0-9-22-0	96	21 000	1 146	32,71	středa
0-1-4-28-0	102	22 070	1 125	32,65	středa
0-10-23-25-0	103	22 000	1 343	46,81	úterý

0-12-3-29-26-0	85	14 000	1 440	47,47	úterý
CELKEM	**543**	**112 070**	**7 368**	**223,98**	

V úterý je trasa 0-16-0 velmi málo vytížená. Logicky by se dala spojit s trasami uzlů 2 nebo 11, ale program tak neučinil proto, že jejich vzájemné výhodnostní koeficienty jsou záporné (i když jsou to malá záporná čísla) a jsou tak automaticky brány jako nula. Toto je názorná ukázka, jak Clark-Wrightův algoritmus dokáže vypočítat pouze suboptimální řešení. Samozřejmě je možné pro trasu 0-16-0 přidělit jiné menší vozidlo nebo ji spíše přiřadit k uzlu 11. Vznikla by tak trasa 0-11-16-0 a nemuseli bychom používat další vozidlo s řidičem.

3.5.4 Čtvrtek

Sestrojíme matici vzdáleností, kde je potřeba obsloužit 14 dodavatelů a 3 zákazníky.

Tabulka 21 - Matice vzdáleností - čtvrtek

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	16	18	22	30	31
0	0	323	581	623	542	368	360	386	453	497	503	567	164	9	505	542	222	263
1	323	0	298	318	235	120	257	282	256	231	237	267	254	324	805	245	327	308
2	581	298	0	198	48	281	451	460	362	147	87	35	511	618	1067	48	572	553
3	623	318	198	0	213	253	368	372	279	312	253	168	492	628	1069	213	544	513
4	542	235	48	213	0	246	438	447	349	106	47	59	478	583	1064	1	539	519
5	368	120	281	253	246	0	240	199	191	340	282	250	261	367	847	247	321	302
6	360	257	451	368	438	240	0	32	122	473	478	417	207	368	784	439	200	174
7	386	282	460	372	447	199	32	0	98	498	482	428	232	393	856	447	241	201
8	453	256	362	279	349	191	122	98	0	444	385	330	284	460	876	350	331	320
9	497	231	147	312	106	340	473	498	444	0	75	158	470	539	985	107	542	523
10	503	237	87	253	47	282	478	482	385	75	0	100	475	544	988	108	548	528
11	567	267	35	168	59	250	417	428	330	158	100	0	479	586	1065	60	540	520
12	164	254	511	492	478	261	207	232	284	470	475	479	0	164	622	478	129	141
16	9	324	618	628	583	367	368	393	460	539	544	586	164	0	500	570	216	257
18	505	805	1067	1069	1064	847	784	856	876	985	988	1065	622	500	0	1030	641	682
22	542	245	48	213	1	247	439	447	350	107	108	60	478	570	1030	0	539	519
30	222	327	572	544	539	321	200	241	331	542	548	540	129	216	641	539	0	49
31	263	308	553	513	519	302	174	201	320	523	528	520	141	257	682	519	49	0

Tabulka 22 - Matice výhodnostních koeficientů - čtvrtek

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	16	18	22	30	31
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	606	628	630	571	426	427	520	589	589	623	233	8	23	620	218	278
2	0	606	0	1006	1075	668	490	507	672	931	997	1113	234	-28	19	1075	231	291
3	0	628	1006	0	952	738	615	637	797	808	873	1022	295	4	59	952	301	373
4	0	630	1075	952	0	664	464	481	646	933	998	1050	228	-32	-17	1083	225	286
5	0	571	668	738	664	0	488	555	630	525	589	685	271	10	26	663	269	329
6	0	426	490	615	464	488	0	714	691	384	385	510	317	1	81	463	382	449
7	0	427	507	637	481	555	714	0	741	385	407	525	318	2	35	481	367	448
8	0	520	672	797	646	630	691	741	0	506	571	690	333	2	82	645	344	396
9	0	589	931	808	933	525	384	385	506	0	925	906	191	-33	17	932	177	237
10	0	589	997	873	998	589	385	407	571	925	0	970	192	-32	20	937	177	238
11	0	623	1113	1022	1050	685	510	525	690	906	970	0	252	-10	7	1049	249	310
12	0	233	234	295	228	271	317	318	333	191	192	252	0	9	47	228	257	286
16	0	8	-28	4	-32	10	1	2	2	-33	-32	-10	9	0	14	-19	15	15
18	0	23	19	59	-17	26	81	35	82	17	20	7	47	14	0	17	86	86
22	0	620	1075	952	1083	663	463	481	645	932	937	1049	228	-19	17	0	225	286
30	0	218	231	301	225	269	382	367	344	177	177	249	257	15	86	225	0	436
31	0	278	291	373	286	329	449	448	396	237	238	310	286	15	86	286	436	0

Z matice vzdáleností je vytvořena matice výhodnostních koeficientů a následně trasy, které vyhovují zadaným podmínkám. Dále jsou v tabulce 23 uvedeny uzly, jejich počty palet a hmotnosti nákladů. Po zadání všech nezbytných údajů je vytvořeno 8 tras (v tomto případě v 324 iteracích).

Tabulka 23 - Objemy zboží - čtvrtek

ČÍSLO UZLU	NÁZEV UZLU	MNOŽSTVÍ ZBOŽÍ (plalet)	HMOTNOST ZBOŽÍ (kg)
1	Teclac Fulda	20	3 000
2	WAVE Velbert	75	15 000
3	RIKU	55	9 000
4	GK Logistik	81	19 000
5	Schütz	6	500
6	Ytab	1	250
7	Saxonia	15	7 600
8	Härter	8	2 700
9	Fischer	60	12 000
10	HWHW Wickede	80	16 500
11	WHW Langenfeld	74	15 000
12	ZF Electronics	6	1 200
16	Externí prostory	8	3 000

18	SPPP SK	58	7 000
22	TWB	36	9 000
30	Webasto AG	7	500
31	Georg Mayer	15	2 300

Na základě doby jízdy výsledné trasy se určí doby AETR (viz tabulka 20).

Tabulka 24 - Časové údaje - čtvrtek

TRASA	DOBA JÍZDY VOZIDLA (hod)	CELKOVÁ DOBA NAKLÁDEK A VYKLÁDEK (hod)	AETR - CELKOVÁ DOBA PŘESTÁVEK (hod)	AETR - CELKOVÁ DOBA DENNÍHO ODPOČINKU (hod)
0-2-0	16,60	3	1,5	11
0-10-0	14,37	3,2	1,5	11
0-18-0	14,43	2,32	1,5	11
0-3-22-0	19,69	3,64	1,5	22
0-5-11-0	16,93	3,2	1,5	11
0-1-4-0	15,71	4,04	1,5	11
0-6-7-8-9-0	20,44	3,36	1,5	22
0-16-12-30-31-0	8,77	1,44	1,5	0

Trasy 0-3-22-0 a 0-6-7-8-9-0 přesahují dobu jízdy 18 hodin, a proto musí řidič využít 2 doby denního odpočinku tzn. 12 hodin. U trasy 0-16-12-30-31-0 není potřeba denního odpočinku, protože doba jízdy nepřesahuje ani 9 hodin.

Tabulka 25 - Trasy po optimalizaci - čtvrtek

TRASA	POČET PALET (ks)	HMOTNOST NÁKLADU (kg)	UJETÁ VZDÁLENOST (km)	CELKOVÁ DOBA POBYTU VOZIDLA MIMO DEPO (hod)	DEN NAKLÁDKY VOZIDLA V DEPU
0-2-0	75	15 000	1 162	32,1	čtvrtek
0-10-0	80	16 500	1 006	30,07	čtvrtek
0-18-0	58	7 000	1 010	29,25	čtvrtek
0-3-22-0	91	9 900	1 378	46,83	středa
0-5-11-0	80	15 500	1 185	32,63	čtvrtek
0-1-4-0	101	22 000	1 100	32,25	čtvrtek

0-6-7-8-9-0	84	22 550	1 431	47,3	středa
0-16-12-30-31-0	36	7 000	614	11,71	čtvrtek
CELKEM	**605**	**115 450**	**8 886**	**262,14**	

Trasa 0-16-12-30-31-0 je zbytečně nevytížená. Spojením s trasou 0-18-0 by teoreticky měla vzniknout přípustná trasa, ale není tak proto, že by celková doba pobytu vozidla mimo depo přesáhla 48 hodin. Východiskem je použití velkoobjemové lehkotonážní soupravu o nosnosti 12 tun a ložným prostorem pro 38 europalet v jedné vrstvě. Stejně tak i pro trasu 0-18-0 můžeme použít stejný typ soupravy.

3.5.5 Pátek

Pro pátek je sestrojena matice vzdáleností, kde je potřeba obsloužit 10 dodavatelů a 2 zákazníky je v tabulce 22 (viz tabulka 26). Z těchto údajů je vypočtena matice výhodnostních koeficientů znázorněna v tabulce 27. Po zadání všech vstupních údajů uvedených v tabulce 28, je vytvořeno celkem 7 tras.

Tabulka 26 - Matice vzdáleností - pátek

	0	1	2	3	4	9	10	11	12	15	16	22	27
0	0	323	581	623	542	497	503	567	164	484	9	542	424
1	323	0	298	318	235	231	237	267	254	699	324	245	277
2	581	298	0	198	48	147	87	35	511	944	618	48	355
3	623	318	198	0	213	312	253	168	492	916	628	213	500
4	542	235	48	213	0	106	47	59	478	911	583	1	294
9	497	231	147	312	106	0	75	158	470	915	539	107	196
10	503	237	87	253	47	75	0	100	475	920	544	108	264
11	567	267	35	168	59	158	100	0	479	912	586	60	346
12	164	254	511	492	478	470	475	479	0	501	164	478	427
15	484	699	944	916	911	915	920	912	501	0	480	911	803
16	9	324	618	628	583	539	544	586	164	480	0	570	408
22	542	245	48	213	1	107	108	60	478	911	570	0	294
27	424	277	355	500	294	196	264	346	427	803	408	294	0

Tabulka 27 - Matice výhodnostních koeficientů

	0	1	2	3	4	9	10	11	12	15	16	22	27
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	606	628	630	589	589	623	233	108	8	620	470
2	0	606	0	1006	1075	931	997	1113	234	121	-28	1075	650
3	0	628	1006	0	952	808	873	1022	295	191	4	952	547
4	0	630	1075	952	0	933	998	1050	228	115	-32	1083	672
9	0	589	931	808	933	0	925	906	191	66	-33	932	725
10	0	589	997	873	998	925	0	970	192	67	-32	937	663
11	0	623	1113	1022	1050	906	970	0	252	139	-10	1049	645
12	0	233	234	295	228	191	192	252	0	147	9	228	161
15	0	108	121	191	115	66	67	139	147	0	13	115	105
16	0	8	-28	4	-32	-33	-32	-10	9	13	0	-19	25
22	0	620	1075	952	1083	932	937	1049	228	115	-19	0	672
27	0	470	650	547	672	725	663	645	161	105	25	672	0

Tabulka 28 - Objemy zboží - pátek

ČÍSLO UZLU	NÁZEV UZLU	MNOŽSTVÍ ZBOŽÍ (palet)	HMOTNOST ZBOŽÍ (kg)
1	Teclac Fulda	20	3 000
2	WAVE Velbert	75	15 000
3	RIKU	55	9 000
4	GK Logistik	81	19 000
9	Fischer	60	12 000
10	HWHW Wickede	80	16 500
11	WHW Langenfeld	74	15 000
12	ZF Electronics	6	1 200
15	Veinnaplex	26	2 500
16	Externí prostory	16	5 500
22	TWB	36	9 000
27	Roof	1	260

Po zadání všech nezbytných údajů program vytvoří trasy po 169 iteracích. Na základě dob jízd výsledných tras se určí doby AETR (viz tabulka 24).

Tabulka 29 - Časové údaje - pátek

TRASA	DOBA JÍZDY VOZIDLA (hod)	CELKOVÁ DOBA NAKLÁDEK A VYKLÁDEK (hod)	AETR - CELKOVÁ DOBA PŘESTÁVEK (hod)	AETR - CELKOVÁ DOBA DENNÍHO ODPOČINKU (hod)
0-2-0	16,60	3	1,5	11
0-10-0	14,37	3,2	1,5	11
0-15-0	13,83	1,04	1,5	11

0-3-22-0	19,69	3,64	1,5	22
0-1-4-0	15,71	4,04	1,5	11
0-11-12-0	17,29	3,2	1,5	11
0-16-9-27-0	16,69	3,08	1,5	11

Tabulka 30 - Trasy po optimalizaci - pátek

TRASA	POČET PALET (ks)	HMOTNOST NÁKLADU (kg)	UJETÁ VZDÁLENOST (km)	CELKOVÁ DOBA POBYTU VOZIDLA MIMO DEPO (hod)	DEN NAKLÁDKY VOZIDLA V DEPU
0-2-0	75	15 000	1 162	32,1	pátek
0-10-0	80	16 500	1 006	30,07	pátek
0-15-0	26	2 500	968	27,37	pátek
0-3-22-0	91	18 000	1 378	46,83	čtvrtek
0-1-4-0	101	22 000	1 100	32,25	pátek
0-11-12-0	80	16 200	1 210	32,99	pátek
0-16-9-27-0	77	17 760	1 168	32,27	pátek
CELKEM	**530**	**107 960**	**7 992**	**233,88**	

V pátek musí řidič využít 2 doby denního odpočinku pouze na trase 0-3-22-0. Všechny trasy jsou dobře vytížené, kromě trasy 0-15-0. Tato trasa se nemůže spojit s ostatními díky přesáhnutí maximálních kapacit a dob pobytu vozidla mimo depo.

Pro trasu 0-15-0 tedy přidělíme menší vozidlo (do 3,5 tuny) nebo sběrnou službu.

6. Srovnání návrhu se stávající situací

Jak je již výše zmíněno v 2. kapitole, základním cílem úlohy bylo splnit následující prioritní podmínky:

1. **Tvorba programu pro jednodušší výpočet optimalizace.**
   Program je úspěšně vytvořen v softwaru Adobe Flash Professional. Součástí je i frontend (prostředí, které vidí uživatel), kde jsou 4 kroky pro zadání všech potřebných dat. Výhodou programu je okamžitá reakce při náhlých změnách v objednávkách zboží, kapacit a zařazování nových uzlů do sítě. Nejvíce času zabere tvorba matice vzdáleností. Při větším počtu uzlů je zapotřebí další software, který spočte automaticky délky vzdáleností pro každý uzel s každým.

2. **Navrhnout menší délky tras, než které jsou vytvořeny firmou.**
   Původní trasy, vytvořené firmou, jsou dlouhé celkem 46 791 km za týden. Nově navržené trasy čítají 40 785 km za týden. Pomocí programu bylo tedy ušetřeno **6 006 km** týdně, což je necelých 22 000 km měsíčně. Optimalizace byla úspěšná, protože menší počet ujetých kilometrů znamená nižší náklady. Firma LOCK SYSTEMS bohužel nechce poskytnout údaje o cenách doprav, proto není součástí práce výpočet nákladů na dopravu.

3. **Navrhnout celkově méně tras, než které jsou vytvořeny firmou..**
   Původně firma provedla 54 tras týdně. Nový návrh čítá **36 tras**, což je o 18 tras méně. Tím odpadají veškeré náklady na provoz vozidel a řidičů. Následkem toho vzniká pokles logistických nákladů.

7. Závěr

Zpracování zadané úlohy potvrdilo, že optimální trasování je velmi důležitou součástí při navrhování dopravy zboží od dodavatelů k zákazníkům. Správné stanovení svozových a rozvozových tras vede ke snižování nákladů, zkvalitňování zákaznických služeb a šetrnosti k životnímu prostředí.

V kapitole popisující stávající stav firmy je analyzována logistika ve firmě a její dopravní situace. Na základě těchto dat je možné připravit vstupní data pro optimalizaci a následně vyřešit.

Metody řešení optimalizace tras jsou velmi obecné, a ne každá firma se jim dokáže přizpůsobit. Proto je nutné přistupovat k problému individuálně vzhledem ke konkrétní situaci v podniku. Pod touto situací si lze představit například druh vozového parku (homogenní nebo heterogenní), kapacity použitých vozidel, množství uzlů v síti, vzdálenosti mezi uzly a další. V některých případech se zohledňuje využívání mezinárodních dohod, jako jsou podmínky AETR (případ firmy LOCK SYSTEMS).

Clark - Wrightův algoritmus, použitý v návrhu řešení, dokáže vypsat celkem ujetou vzdálenost tras a pořadí uzlů, které budou obslouženy, což jsou základní dovednosti. Zohledňuje také maximální dobu pobytu vozidla mimo depo, maximální počet palet na vozidle a také maximální hmotnost nákladu, kterou ve většině případů Clark - Wrightův algoritmus nepoužívá. Tyto faktory jsou velmi důležité při sestavování rozvozových tras. Největší nevýhodou algoritmu je, že nedokáže vypočítat časová okna obsluhy uzlů v síti. V některých publikacích se uvádí možnost rozšíření Clark - Wrightova algoritmu o časová okna, ale rozšíření je velmi složité a přesahuje téma této bakalářské práce. Samozřejmě může být dalším podnětem pro vypracování diplomové práce. Pro časová okna se však nejčastěji využívá metaheuristik, jako je genetický algoritmus, metoda tabu search, metoda simulovaného žíhání a další. V případě firmy LOCK SYSTEMS je možnost pohybu časových oken po domluvě se zákazníkem nebo dodavatelem. Proto si firma může určit časová okna podle naplánovaných tras.

V dnešní době si firmy nechávají na míru navrhovat vlastní počítačové softwary, které si přizpůsobí svým požadavkům. Součástí práce je navržený program, který dokáže vypočítat úlohu během chvilky, zatímco ručně by člověk počítal jednotlivé iterace celý den. Většinou se počet iterací pohyboval v rozmezí 169 až 324. Výhodou programu je včasné reagování na změny množství zboží v objednávkách. Jakmile se například změní objemy zboží, zadají se nová data do programu, a ten vytvoří nové trasy. Součástí je i frontend (prostředí viditelné uživatelem) pro jednodušší zadávání dat. Nevýhodou programu je složité zadávání vzdáleností mezi uzly. Pro zjednodušení by mohl být proveden update na dokonalejší verzi s propojením na Google Maps. Program by tak mohl využít mapu pro názorné zobrazení tras a uzlů.

Většina tras obsahuje jen obsluhu dodavatelů, kde probíhá nakládka prázdných obalů v depu před odjezdem, následná vykládka u dodavatele a zároveň nakládka zboží pro depo. Některé trasy však obsahují i obsluhu zákazníků. V tomto případě se naloží zboží pro zákazníky v depu před výjezdem (včetně prázdných obalů pro dodavatele) a vyloží se v cílovém uzlu, kde se zase naloží prázdné obaly pro depo. Tímto způsobem jsou vozidla co nejvíce vytížená.

Výsledná optimalizace má i své nevýhody, které mohou být podnětem k tvorbě navazující diplomové práce. Například omezené použití vozového parku pouze na jeden typ vozidla (homogenní vozový park). Pro řešení úlohy s heterogenním vozovým parkem jsou nejvhodnější zejména metaheuristiky.

Na základě vytvořených tras firma vždy provádí výběrové řízení na dopravce, který disponuje potřebným typem vozidel. Firma LOCK SYSTEMS bohužel nechce poskytnout data týkající se cen doprav, a proto není možné porovnat náklady před a po optimalizaci. Díky menším najetým vzdálenostem a počtu použitých vozidel se jeví optimalizace jako výhodná z hlediska nákladů, ochrany životního prostředí a přispívá i k rozvoji štíhlé výroby podniku.

Finální výsledek úlohy je tedy velmi přijatelný. Celkově se po optimalizaci ušetří 6 006 najetých km od pondělí do pátku a počet tras se sníží o 18 týdně oproti výchozímu řešení.

Literatura

1. **Černý, Josef RNDr.** Logistika štíhlého podniku. *http://http://www.logisticnews.cz/.* [Online] 05 2007. [Citace: 18. 04 2012.] http://www.logisticnews.cz/pdf/05_2007/34_logistika.pdf.

2. **Strachota, Svatopluk a Gerner, Jiří.** Zkušenosti se zaváděním štíhlé logistiky ve Witte Automotive Nejdek. *Academy of Productivity and Innovations.* [Online] 11. 08 2009. [Citace: 18. 04 2012.] http://e-api.cz/article/69383.zkusenosti-se-zavadenim-stihle-logistiky-ve-witte-automotive-nejdek/.

3. **Drahotský, Ivo a Řezníček, Bohumil.** *Logistika - procesy a jejich řízení.* Město : Computer Press, 2003. 80-7226-521-0.

4. **Valach, Josef.** Management mania: first-in-fiirst-out. *Management mania.* [Online] 26. Září 2011. [Citace: 18. Duben 2012.] http://managementmania.com/first-in-first-out.

5. **Mocková, Denisa.** *Základy teorie dopravy.* Praha : České vysoké učení technické v Praze, 2007. 978-80-01-03791-1.

6. **Volek, J. a Bohdan, L.** *Teorie grafů: Aplikace v dopravě a veřejné správě.* Pardubice : autor neznámý, 2012. 978-80-7395-225-9.

7. **Janáček, Jaroslav.** *Optimalizace na dopravních sítích.* Žilina : Žilinská univerzita, 2006. 80-8070-586-0.

8. **Crowder, H. P. a Padberg, M.W.** *Lolving Large-Scale Symmetric Travelling Salesman Problems to Optimality.* místo neznámé : Management Science, 1980.

9. **Široký, Jaromír a Slivoně, Miroslav.** Optimalizace svozu a rozvozu kusových zásilek. [editor] Jaromír Široký. *Perner's Contacts.* duben 2010, 1, stránky 258-267.

10. **Hall, Randolph a Paryka, Janice.** Lionhrtpub. *Survey of vehicle routing software spotlights integration with portable phones.* [Online] http://www.lionhrtpub.com/orms/orms-2-08/vrss.html.

11. **Baldacci, R., Battarra, M. a Vigo, D.** *Routing a Heterogeneous Fleet of Vehicles.* Sv. 2007, 1.

12. **Inc, Google.** Google Inc. *Google Maps.* [Online] Google Inc., 5. Červenec 2012. [Citace: 12. Leden 2013.] http://maps.google.cz.

13. Sdělení č. 62/2010 Sb. m. s., o vyhlášení přijetí změn a dodatků Evropské dohody o práci osádek vozidel v mezinárodní silniční dopravě (AETR). *Sbírka mezinárodních smluv.*