

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA EKONOMICKÁ

Bakalářská práce

Analýza systému plánování obslužných tras v dané společnosti

Analysis of service routes planning system in a particular company

Jiří Komínek

Cheb 2015

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta ekonomická
Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jiří KOMÍNEK**
Osobní číslo: **K13B0479P**
Studijní program: **B6208 Ekonomika a management**
Studijní obor: **Podniková ekonomika a management**
Název tématu: **Analýza systému plánování obslužných tras v dané společnosti**
Zadávající katedra: **Katedra podnikové ekonomiky a managementu**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Uveďte přehled možných postupů řešení úlohy trasování.
2. Představte danou společnost.
3. Analyzujte současný způsob plánování obslužných tras ve společnosti.
4. Navrhněte alternativní možnosti plánování tras.
5. Vyhodnoťte získané výsledky.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy: **40 - 60 stran**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

- **DRAHOTSKÝ, Ivo, ŘEZNÍČEK, Bohumil.** *Logistika: Procesy a jejich řízení.* 1. vydání. Brno: Computer Press, 2003. ISBN 80-7226-521-0.
- **NOVÁK, Radek a kol.** *Přepavní, zasilatelské a logistické služby.* 1. vydání. Praha: Wolters Kluwer ČR, 2011. ISBN 978-80-7357-735-3.
- **PASTOR, Otto, TUZAR, Antonín.** *Teorie dopravních systémů.* 1. vydání. Praha: ASPI, 2007. ISBN 978-80-7357-285-3.

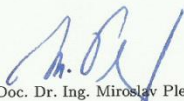
Vedoucí bakalářské práce:

Doc. Dr. Ing. Miroslav Plevný

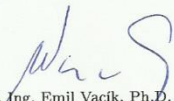
Fakulta ekonomická

Datum zadání bakalářské práce: **25. října 2014**

Termín odevzdání bakalářské práce: **24. dubna 2015**


Doc. Dr. Ing. Miroslav Plevný
děkan




Doc. Ing. Emil Vacík, Ph.D.
vedoucí katedry

V Chebu dne 25. října 2014

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma

„Analýza systému plánování obslužných tras v dané společnosti“

vypracoval samostatně pod odborným dohledem vedoucího bakalářské práce za použití pramenů uvedených v předložené bibliografii.

V Chebu dne.....

Podpis studenta

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu práce, panu doc. Dr. Ing. Plevnému, za odborné rady, konzultace a směr, kterým moji bakalářskou práci nasměroval. Další poděkování patří panu Rintovi za poskytnutí cenných informací o společnosti DHL a pomoc při jejich zpracování.

Obsah

Úvod a cíl práce	7
1 Vymezení základních pojmů	10
1.1 Logistika	10
1.2 Doprava	10
1.3 Teorie dopravních sítí.....	11
2 Klasifikace přepravních úloh	15
2.1 Jednookruhové jízdy	16
2.1.1 Úloha obchodního cestujícího	16
2.2 Víceokruhové jízdy	18
2.2.1 Kyvadlové jízdy	18
2.2.2 Úlohy okružních jízd.....	18
2.3 Dělení okružních a rozvozních úloh podle charakteristických znaků.....	21
3 Optimální a suboptimální metody řešení distribučních úloh.....	23
3.1 Exaktní metody	23
3.2 Heuristiky	24
3.2.1 Metoda výhodnostních koeficientů a vkládání	25
3.2.2 Metoda zlepšování výměnou	28
3.2.3 Metody primárního shlukování.....	29
3.2.4 Metody tvorby primární trasy	29
3.3 Metaheuristiky	30
4 Představení společnosti	34
4.1 Historie	34
4.2 Struktura	35
4.3 Společnost v České republice	36
4.4 Produktové portfolio	37

4.5	Principy stanovení ceny.....	38
4.6	Zákaznická věrnost.....	40
5	Formulace úlohy	41
5.1	Formulace charakteristických znaků úlohy	41
6	Řešení problému	44
6.1	Přidání nového vozidla	44
6.2	Optimalizace tras.....	46
6.2.1	Popis výpočetního programu	46
6.2.2	Vyhodnocení optimalizace tras za jeden den.....	50
7	Porovnání výsledků a jejich formulace	58
	Závěr.....	63
	SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK	65
	SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ.....	66
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	68
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	69
	SEZNAM PŘÍLOH.....	72

Úvod a cíl práce

Outsourcing služeb v logistice se provozuje již od sedmdesátých let dvacátého století a přenechání činností spojených s přepravou jiným specializovaným firmám se stává stále více populární. Díky rostoucímu počtu objednávek je pro celou řadu podniků ekonomicky výhodnější vyčlenit a svěřit svoje vedlejší činnosti spojené s distribucí poskytovateli logistické služby. V posledních letech tak došlo k obrovskému nárůstu firem specializujících se na outsourcing logistických služeb, což má za následek vysokou konkurenci na trhu. Tito poskytovatelé jsou proto nuceni k postupnému snižování nákladů zejména neustálou optimalizací logistického řetězce.

V důsledku toho byl v poslední době zaznamenán obrovský nárůst optimalizačních informačních systémů plánování dopravy. Optimalizace dopravy představuje důležitý proces, a pokud firma tento proces dokáže zvládnout, může ušetřit velkou část nákladů. Celkové procento úspor závisí na celé řadě omezujících podmínek: časových oken, množství zákazníků, kapacity přepravních vozidel, apod. Pro plánování má podnik k dispozici určitý počet vlastních a externích vozidel lišících se v kapacitě, náklady na ujetý kilometr nebo hodinovou sazbu. Při správné optimalizaci tras se podnik může vyhnout dlouhým čekacím postojům, nedostatečné vytíženosti a potřebě použití dalších vozidel. Pomocí výpočetního programu je navržena sada přijatelných tras, které zajistí minimální náklady při současném dodržení všech pravidel a podmínek nezbytných pro distribuci.

Tato bakalářská práce se bude zabývat **optimalizací tras společnosti DHL Express**, která poskytuje svým zákazníkům přepravní, zásílatelské a logistické služby.

Cílem **první kapitoly** je **vymezení klíčových pojmů** nutných k pochopení a vysvětlení dané problematiky vybraných distribučních úloh.

Druhá kapitola práce je **úvodem do problematiky přepravních úloh**. Čtenáři je předložen rozdíl mezi dopravní obsluhou uzlů a úseků, přičemž jsou definovány pojmy jednookruhové a dvouokruhové jízdy. Jsou zde představeny základní modely dopravních úloh, jako např. **úloha okružních jízd s časovými okny**. Následně je provedena klasifikace okružních a rozvozních úloh podle charakteristických znaků, ze kterých se vychází v páté kapitole.

Ve **třetí kapitole** jsou představeny **metody řešení užívané v oblasti přepravních služeb**. Uvedené metody se rozdělí na empiricko-intuitivní přístup, exaktní metody, heuristické metody a metaheuristiky. Speciální pozornost je věnována zejména heuristikám a metaheuristikám. V kapitole jsou podrobněji představeny **Clarke-Wrightova metoda** a **LNS algoritmus**.

Čtvrtá kapitola se věnuje společnosti **DHL**, jejímu představení, historii a struktuře. V další části kapitoly je přiblíženo produktové portfolio firmy a principy stanovení ceny.

V **páté kapitole** je **formulována a definována řešená distribuční úloha**. Je zde představen současný systém rozložení tras ve společnosti.

Šestá kapitola řeší okružní problém společnosti DHL, na které je postupně zpracována praktická část synteticky propojená s částí teoretickou, kde byl použit LNS algoritmus. V první části kapitoly je zvažena **možnost změny počtu dopravních kompletů** v distribuční úloze. V druhé části kapitoly je pozornost věnována **optimalizaci tras** a zde je představen výpočetní program pro řešení úlohy okružních jízd s časovými okny. Na konci kapitoly je demonstrováno použití programu na jednom zvoleném dni.

Sedmá kapitola obsahuje **souhrnný přehled výsledků**, tj. návrh optimalizovaných tras dříve popsáním postupem. Získané výsledky jsou vyhodnoceny, porovnány se skutečnými a vysvětleny. Závěrem je zkoumána **efektivita dopravce** v nově navrženém řešení sestavování denních okružních jízd.

Hlavním cílem této práce je **minimalizovat logistické přepravní náklady** ve společnosti DHL Express pomocí vhodně zvolené optimalizační metody. Dílčí cíle práce pak lze shrnout do následujících bodů:

- Seznámit se s problematikou „okružních a rozvozních úloh“ a přístupy k jejich řešení.
- Formulovat distribuční úlohu, která bude řešena.
- Stanovit ucelené podmínky úlohy, které bude nutno dodržovat.
- Vyhodnotit přínos zvažovaného pořízení čtvrtého vozidla.
- Vybrat vhodnou optimalizační metodu reprezentovanou výpočetním programem pro řešení dané úlohy.
- Porovnat skutečné a nově navržené rozložení tras.

- Vyhodnotit efektivitu dopravce v současném a nově navrženém rozložení tras.

Podkladem práce se staly vnitropodnikové údaje firmy DHL.

1 Vymezení základních pojmů

1.1 Logistika

Pod pojmem logistika si lze představit celou řadu definic. „*Stručně lze říci, že se logistika zabývá pohybem zboží a materiálu z místa vzniku do místa spotřeby a s tím souvisejícím informačním tokem.*“ [1 str. 1]

„*Logistika je souhrn činností, systematicky zaměřených na získání materiálů z primárních zdrojů, a všechny mezipostupy před dodáním konečnému uživateli, s výjimkou vlastních výrobních procesů.*“ [2 str. 8]

Dnešní moderní společnost je zvyklá, že logistické služby fungují bez potíží a je zvykem si tohoto konceptu všimnout až v době, kdy nastane nějaký problém. Situace mohou být různé:

- Okamžik, kdy spotřebitel zjistí, že výrobek, který viděl v reklamě a pro který si přišel do obchodu, se zde nenachází kvůli zdržení dodávky tohoto zboží.
- Někdy je obtížné najít vhodnou velikost nebo specifický druh zboží, pokud logistický systém nezajišťuje uspokojivě široký sortiment. Typickým příkladem mohou být státy bývalého Sovětského svazu.
- Řešení stále komplikovanějších distribučních procesů, kdy je důležitá návaznost, aby byly optimálně a efektivně využity všechny kapacity. [1], [3]

Je to jen zlomek případů, které mohou poukazovat na skutečnost, jak moc se logistika dotýká každodenního života obyvatel.

Tento proces přemísťování osob, věcí a zpráv z jednoho místa na druhé je souhrnem úkonů uskutečňujících se pomocí *dopravy*. [4]

1.2 Doprava

„*Dopravu lze definovat jako specifickou lidskou činnost, již se provádí cílevědomé přemísťování osob a hmotných statků.*“ [2 str. 9]

Pastor [4] rozděluje přemísťování hmotných statků do tří fází:

- **Doprava ve sféře výroby** – uspokojuje potřeby vyvolané technologií výroby, dělbou činností a spoluprací výroby mezi různými fázemi.

- **Doprava ve sféře oběhu** – uspokojuje potřeby přemístování nutné k realizaci ekonomického běhu (proces směny).
- **Doprava ve sféře spotřeby** – uspokojuje potřeby přemístování výrobků, které již vstoupily do spotřeby (spotřebitel mění místo spotřeby).

Přemístování osob pak probíhá ve dvou úrovních:

- **Dopravou pracovní síly** do/z pracovního procesu.
- Ve sféře spotřeby, kde uspokojuje **osobní požadavky jednotlivců**.

Doprava v oblasti osobní přepravy má však v obou úrovních významné poslání v ekologické a sociální politice společnosti. Z ekonomického hlediska není důležitá ani přeprava hmotných statků ve sféře spotřeby, proto se tato práce bude zabývat převážně přepravou hmotných statků ve sféře oběhu. [4]

Dopravu lze také klasifikovat podle různých jiných hledisek, jedním z nich je rozlišení na dopravu **vnitrostátní** a **mezinárodní**. Další rozlišení, které používají nejčastěji podniky, je doprava **vnitropodniková** (vnitřní) a **mimopodniková** (vnější). Vnitropodniková se nejčastěji uskutečňuje v rámci výrobního procesu firmy. Jedná se o dopravu velmi specifickou a rozsáhlou, kterou se tato práce nebude zabývat. Mnohem podstatnější pro zadanou problematiku je vnější doprava probíhající mimo prostory organizací. Je realizována na veřejných komunikacích při zásobování a distribuci zboží. Firmy se nejdříve musí rozhodnout, zda pro mimopodnikovou dopravu budou používat vlastní dopravní prostředky, nebo budou využívat služeb jiných organizací zabývajících se přepravou zboží (outsourcing).

Ve většině případů používají firmy právě veřejnou dopravu. Přeprava zboží se také může zajistit u zásilkových společností v zájmu a na účet příkazce. Nasazení veřejné dopravy může mít následující výhody: nižší náklady na zabezpečení přepravy, možnost věnovat se výhradně své hlavní činnosti podnikání, možnost využití i jiných druhů dopravy než vlastní silniční dopravy. [5]

1.3 Teorie dopravních sítí

Pojem doprava je možné chápat různě, například jako obor zkoumání samostatné vědní disciplíny nazývané teorie dopravy nebo také **teorie dopravních systémů**.

„Teorie dopravních systémů je samostatný vědní obor (disciplína), který se zabývá vytvářením, zpracováním a aplikací matematických modelů dopravních systému a jejich částí.“ [4 str. 19]

Mnoho úloh z oblasti teorie dopravních systémů si vyžádalo vytvoření vlastních specifických metodických postupů, což vedlo ke vzniku nových typů dopravních úloh a přístupů k jejich řešení. Nejčastěji používanými přístupy k řešení dopravních úloh jsou specifické metody dopravních systémů. [4]

Zmíněnými metodami se bude tato práce zabývat. Pro jednotný popis metod a přístupů k jejich řešení bude uveden výčet základních pojmů.

Teorie dopravních systémů řeší dva typy problému:

- **Deskriptivní** – cílem je zjistit charakteristiky ovlivňující dopravní proces např. hustotu dopravního proudu, průměrnou rychlost přepravy; to pomůže posoudit, zda je potřeba změnit nějaký proces v současném dopravním systému.
- **Optimalizační** – stanoví se předem takové parametry v závislosti na daném měřítku, aby se dosáhlo bodu optima, tj. maxima nebo minima.

Základem teorie dopravních systémů je existence **dopravní sítě**. [4]

„Dopravní síť představuje infrastrukturu, po které se mohou pohybovat zásilky (vozidla anebo zprávy). Je tvořena uzly a úseky sítě, kde pod uzly můžeme rozumět obce, města, železniční stanice, počítačové servery anebo telefonní ústředny a úseky tvoří komunikace mezi těmito uzly (železniční trati, silnice, vodní toky, telefonní anebo datové kabely, apod.).“ [6 str. 98]

Svoboda [2] definuje dopravní síť jako konečnou množinu dopravních uzlů a cest propojující tyto uzly. Tyto vrcholy a hrany tvoří pevnou kostru dopravní soustavy označovanou jako dopravní infrastruktura.

Uzel (vrchol) je definován jako místa ležící na dopravních úsecích, na nichž se uskutečňuje vykládání nebo nakládání (elementy vstupují do systému a vystupují z něj).

Úsekem (hranou) se rozumí každé fyzické spojení dvou uzlů dopravní sítě, po níž se dopravují soupravy (např. část silnice mezi dvěma zastávkami). Úseky se rozdělují pouze ve vrcholech. [2]

Dopravním elementem (někdy pouze elementem) se rozumí objekt přemístění, který se během dopravního procesu dále nerozpadá na menší části (např. zásilka, cestující).

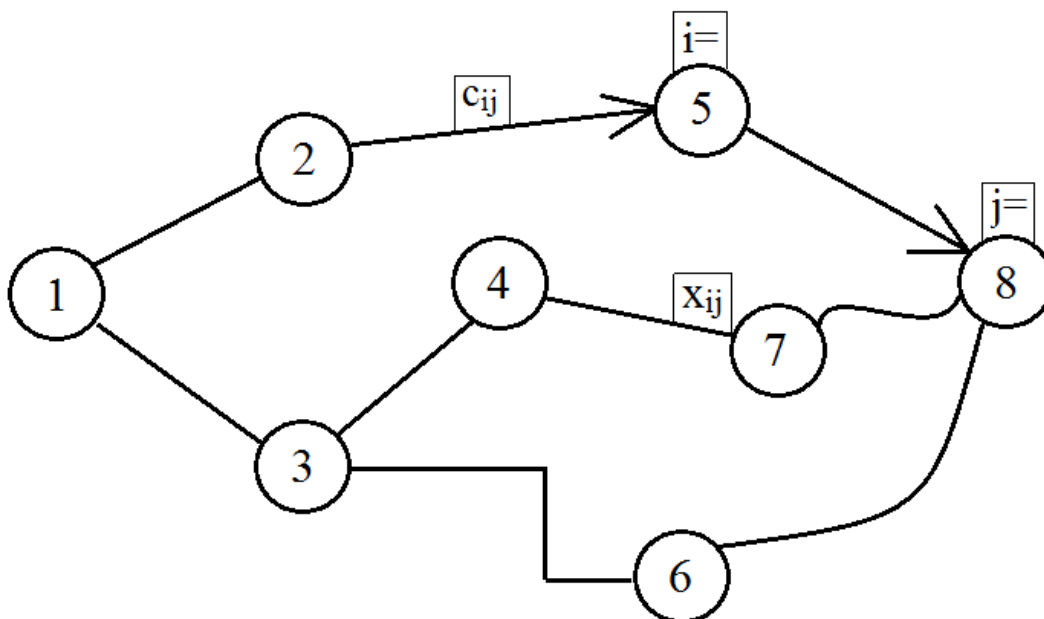
Pomocné objekty (náležitosti, souprava) spolu s dopravním elementem tvoří **dopravní komplet**. Jedná se o objekt schopný samostatného pohybu po dopravní síti. Přírozenější název pro dopravní komplet je „*dopravní prostředek*“. [4]

Trasa je střídavá posloupnost uzlů a úseků spojujících tyto uzly. Mezi dvěma uzly stojí v posloupnosti úsek, po kterém je možné se přemístit z jednoho uzlu do druhého. Pomocí trasy popisujeme pohyb dopravního prostředku v dopravní síti. Příslušnou metodou vytvoříme nebo určíme trasu, tento proces nazýváme **trasováním**.

Okružní jízda je trasa obsluhující konkrétní uzly, kde se žádný uzel ani úsek neopakuje. Dopravní prostředek začne v jednom uzlu a v něm také skončí (počáteční a koncový uzel je shodný). [7]

Obrázek č. 1 představuje model obecné dopravní sítě. Na modelu lze vidět uzly označené kruhy s čísly a také úseky spojující jednotlivé vrcholy. Úseky mohou mít jakýkoliv tvar nebo mohou být zobrazeny pouze úsečkou. Mohou být **orientované** (udávající směr, šipka zobrazující úsek z jednoho vrcholu do druhého) nebo **neorientované**. Jak je vidět na obrázku, počáteční a koncový index může být obecně značen indexy i a j , přepravované množství jako x_{ij} a ohodnocení úseku c_{ij} (vzdálenost, spotřeba nafty, doba jízdy, atd.). [6]

Obr. č. 1: Ukázka modelu dopravní sítě



Zdroj 1: vlastní zpracování dle [6], 2014

Proto se může v jednoduchých případech definovat dopravní síť (S) jako množinu vrcholů (V), množinu hran (H), vektorem délka úseku (d) a propustností sítě (p).

$$S = (V, H, d, p)$$

Délka úseku může být vyjádřena ve vzdálenostních jednotkách (km) i např. průměrnou dobou potřebnou k překonání daného úseku.

Propustnost sítě je definována počtem dopravních kompletů, které mohou dopravní síť projet za jednotku času. [2]

Dopravní síť připomíná grafy užívané v teorii grafů¹. Pojem dopravní síť se používá proto, aby se odlišila dopravní infrastruktura od matematické struktury známé z teorie grafů. Dopravní sítě mohou mít omezení, jako jsou např. kapacita nebo rychlost. Probíhá zde řada procesů – přeprava zásilek, jejich třídění a shromažďování. [6]

¹ Teorie grafů ukazuje, jak je možné řešit problémy operačního výzkumu pomocí grafů a ne pouze formulací matematických modelů.

2 Klasifikace přepravních úloh

Mezi nejčastěji řešené optimalizační úlohy v distribuci patří optimální hledání tras. Tyto úlohy lze rozdělit na dopravní obsluhu hran a vrcholů sítě.

U **dopravní obsluhy hran sítě** se požaduje určit takovou trasu, která začíná a končí v určeném vrcholu, všemi hranami prochází právě jednou a její celková délka je minimální. Tato úloha nazývaná také jako **úloha čínského pošťáka** byla poprvé formulována čínským matematikem Kwanem v roce 1965 právě pro poštovní doručovatele. Dalšími úlohami, v nichž se požaduje obsloužit jednotlivé hrany dopravní sítě, jsou např. odvoz odpadků nebo údržba silnic. [4]

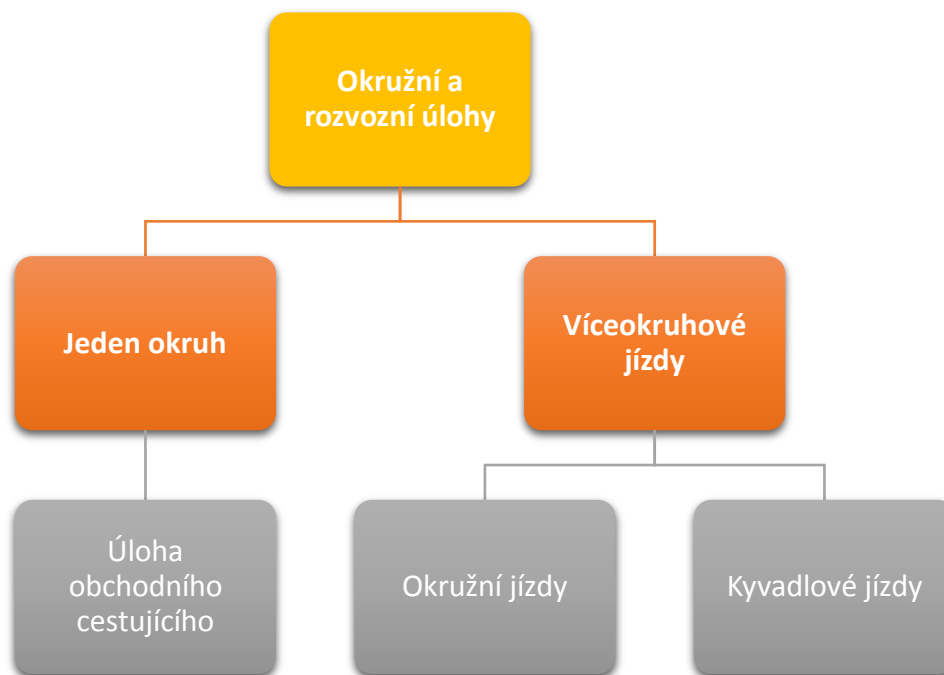
Mnohem problematičtější a v zahraniční literatuře probíranější jsou úlohy, kdy je potřeba obsloužit jednotlivé vrcholy sítě. Tyto úlohy jsou někdy nazývány **dopravní obsluha vrcholů sítě**. Obsluha uzlů (vrcholů) sítě je v praxi častější než obsluha úseků sítě. Jedná se např. o rozvoz výrobků, vybírání poštovních schránek, plánování služebních cest, kurýrní rozvážku. V ohodnocené souvislé síti je požadováno určit pro dopravní komplet realizující obsluhu vrcholů takovou trasu, která bude začínat a končit v jednom vrcholu a současně bude procházet všemi ostatními vrcholy dané sítě. A to *právě jednou* nebo *alespoň jednou*. Je zřejmé, že takové trasy nemusí procházet všemi úseky dané sítě. Zpravidla se jedná o úlohy minimalizační. Požaduje se, aby navrhovaná trasa byla minimální, což může vést ke zkrácení doby obsluhy, nižší spotřebě pohonných hmot apod. [8], [9]

Obtížnost určení optimální nebo alespoň suboptimální trasy dopravního prostředku při realizaci přeprav závisí na vzájemném poměru kapacity dopravního prostředku K a střední velikosti požadavku zákazníka q . Tento vztah poslouží k základnímu rozlišení přepravních úloh.

1. $q > K$ trasování hromadných přeprav
2. $q \sim K$ trasování kombinovaných přeprav
3. $q < K$ trasování přeprav kusových zásilek

Předmětem zkoumání této práce bude nejsložitější problematika trasování, případy **trasování přeprav kusových zásilek**, v domácí literatuře nazývané jako **okružní a rozvozní úlohy**. Na obrázku č. 2. lze vidět rozdělení okružních a rozvozních úloh. [10]

Obr. č. 2: Dělení okružních a rozvozních úloh



Zdroj 2: vlastní zpracování, 2015

Pokud se na kapacitu vozidla nebere zřetel, považuje se taková úloha za **okružní úlohu**. Uvažuje-li se pro plánování okruhů omezená kapacita vozidla, potom se hovoří o **rozvozní úloze**. Pod pojmem rozvozní úloha je však nutno si představit úlohy zabývající se rozvozem i svozem zboží. Tento pojem je v české terminologii ale tak známý, že nemá žádný význam nějak měnit toto názvosloví. [9]

2.1 Jednookruhové jízdy

Úloha zabývající se obsluhou trasy jedním vozidlem se označuje jako úloha obchodního cestujícího.

2.1.1 Úloha obchodního cestujícího

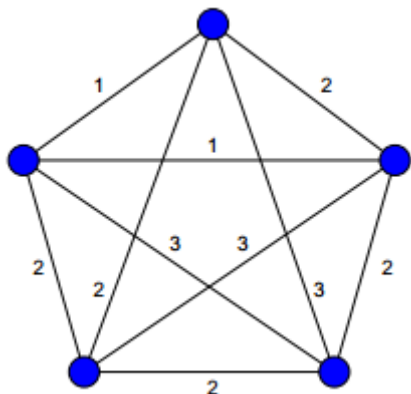
Tato úloha byla původně navržena pro obchodního cestujícího, který se vydá na cestu z jednoho města, navštíví všechna ostatní města a vrátí se zpátky do výchozího. Jde o to, aby délka cesty byla minimální. Problém obchodního cestujícího je obtížným diskrétním optimalizačním problémem. Z hlediska teorie grafů se hledá **minimální Hamiltonovská kružnice** neboli uzavřená Hamiltonovská cesta – obsahuje všechny vrcholy grafu a součet ohodnocení hran je minimální. [4]

„Tyto pojmy nesou jméno po irském matematikovi a fyzikovi W. R. Hamiltonovi, který okolo roku 1859 vymyslel a kladně vyřešil hádanku o tom, zda lze po hranách do roviny rozvinutého pravidelného dvanáctistěnu projít všemi jeho dvanácti vrcholy a vrátit se zpět do výchozího bodu, aniž bychom některým vrcholem prošli vícekrát.“ [4 str. 135]

Jde vlastně o nalezení nejkratšího okruhu, který začíná a končí ve středisku a zahrnuje všechny ostatní uzly. V reálných aplikacích se jedná o pravidelný rozvoz (pekárny, mlékárny) a svoz (domovní odpad) jakýchkoliv produktů. [11]

Na obrázku č. 3 lze vidět příklad jednoduché úlohy obchodního cestujícího – souvislý neorientovaný graf s ohodnocenými hranami. Úkolem je najít nejkratší cestu z jednoho uzlu přes všechny ostatní a zpátky do výchozího (hamiltonovskou kružnici).

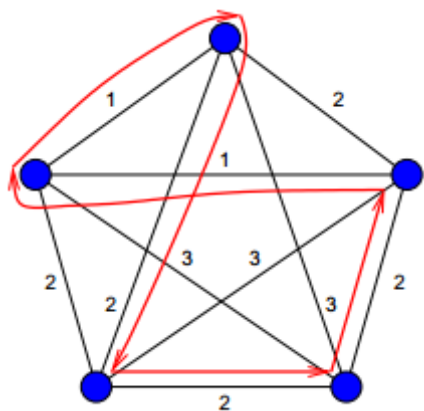
Obr. č. 3: Problém obchodního cestujícího



Zdroj 3: [12]

Obrázek č. 4 zobrazuje řešení problému obchodního cestujícího.

Obr. č. 4: Řešení problému obchodního cestujícího



Zdroj 4: [12]

Nejkratší možná cesta úlohy obchodního cestujícího má délku 8.

2.2 Víceokruhové jízdy

Z reálného hlediska není většinou možné obsloužit požadavky všech zákazníků jedním dopravním kompletem. Víceokruhové jízdy jsou rozšířením klasické jednookruhové jízdy o podmínky, které způsobí, že není možné obsloužit všechny zákazníky pouze jedním okruhem. Důsledkem působení těchto podmínek je vznik více okruhů. Nejčastěji jde o podmínky kapacitní nebo časové. [13]

2.2.1 Kyvadlové jízdy

Kyvadlové jízdy se uskutečňují jednorázově nebo opakovaně. V reálném modelu jede dopravní komplet ze střediska k zákazníkovi, tam vyloží nebo naloží zásilku a vrací se zpátky do střediska. Důvodem jsou požadavky jednoho zákazníka, které jsou stejné nebo převyšují kapacitu vozidla. Dopravní prostředek tak realizuje krátké jízdy sem a tam. [9]

2.2.2 Úlohy okružních jízd

Úlohy, v nichž se řeší rozvoz zásilek ze střediska k jednotlivým zákazníkům a požadavky jednotlivého zákazníka nenaplní celou kapacitu vozidla, tj. jednou jízdou je možné obsloužit více zákazníků, se označují jako **úlohy okružních jízd**. V zahraniční literatuře lze tento typ úloh nalézt pod pojmem *Vehicle Routing Problems*.

Tento typ úloh je potřeba řešit denně, podle toho jak se mění počet a místa doručení jednotlivých zásilek. V praxi je velice žádoucí umět danou úlohu vyřešit v řádu několika minut, protože jen tak se dá rychle reagovat na objednávku zákazníka.

Úkolem je stanovit trasu kompletu tak, aby celková délka tras byla co nejkratší a aby byl každý požadavek (v našem případě uzel vyjadřující požadavek) uspokojen jedinou obsluhou kompletu.

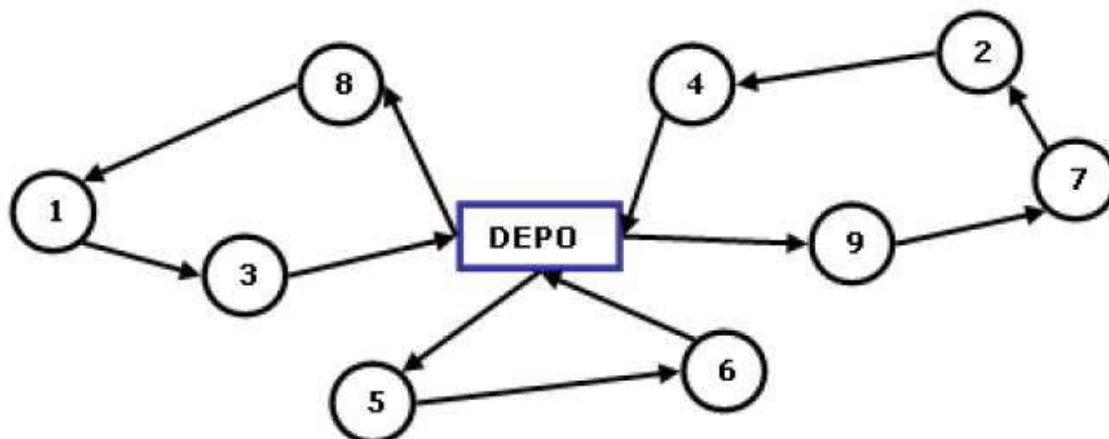
Podle podmínek, které je třeba dodržovat, lze rozlišit několik základních modelů okružních jízd. V této bakalářské práci budou představeny kapacitně omezená úloha okružních jízd a úloha okružních jízd s časovými okny. [9], [14]

Kapacitně omezená úloha okružních jízd

Úloha respektuje kapacitní omezení jednotlivých dopravních vozidel. Obecná formulace úlohy je následující: Každý zákazník bude obsloužen právě jednou. Každé vozidlo, které do vrcholu V vjede, z něho také vyjede. Požadavky zákazníků přiřazených

k danému vozidlu nepřesáhnou jeho kapacitu. Trasa vozidla tvoří uzavřený sled objektů, přičemž žádný z nich se neopakuje a trasa prochází umístěním střediska (depa). Cílem je nepřekročit kapacitu vozidla a obsloužit všechny zákazníky s minimálními náklady. Náklady jsou odvozené od ujeté vzdálenosti. Grafické znázornění kapacitně omezené úlohy okružních jízd si lze prohlédnout na obrázku č. 5. [14]

Obr. č. 5: Grafické znázornění kapacitně omezené úlohy okružních jízd



Zdroj 5: [14 str. 264]

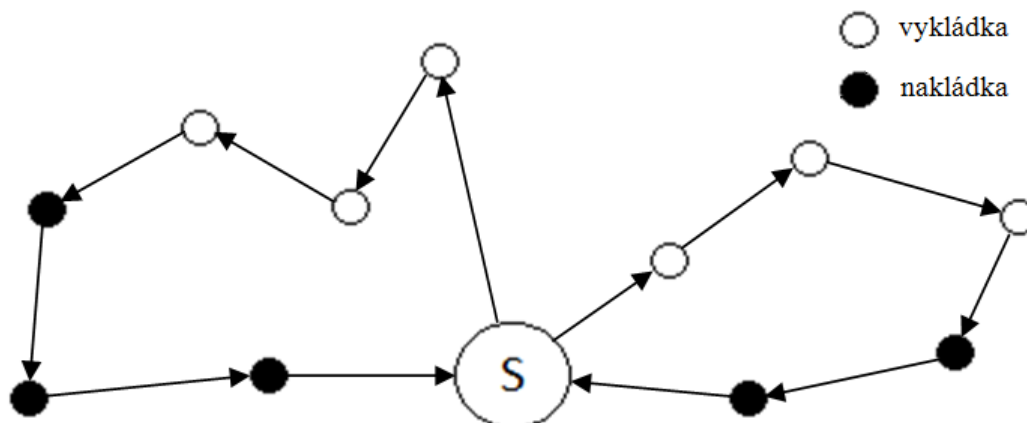
Úloha okružních jízd se současným svozem a rozvozem

Jedná se o modifikaci základní úlohy, u které je možné provádět svoz i rozvoz zásilek současně. U některých zákazníků se zboží vykládá, u jiných nakládá a u některých nakládá i vykládá. U této úlohy je opět nutné brát v úvahu kapacitní omezení vozidel. [14], [15]

Úloha okružních jízd s rozvozem a zpátečním svozem

Jedná se o rozšíření úlohy rozvozu a svozu, kde je zboží vykládáno nebo nakládáno. V úloze se zpátečním vyzvedáváním se nejdříve realizují všechny vykládky a až poté nakládky. Vyplývá to z předpokladu, že zboží je ve vozidle poskládáno podle pořadí, v jakém budou zákazníci obsluhováni. Během jízdy se totiž nepovažuje za hospodárné nebo proveditelné přerovnávání zboží ve vozidle. Stejně jako u výše uvedených úloh jsou všechny požadavky zákazníků známy před započítáním jízdy. V reálném modelu dopravní komplet nejdříve doručí všechny zásilky a až poté je začne vyzvedávat. Grafické znázornění úlohy okružních jízd s rozvozem a zpátečním svozem lze vidět na následujícím obrázku. [15]

Obr. č. 6: Grafické znázornění úlohy okružních jízd s rozvozem a zpátečním svozem

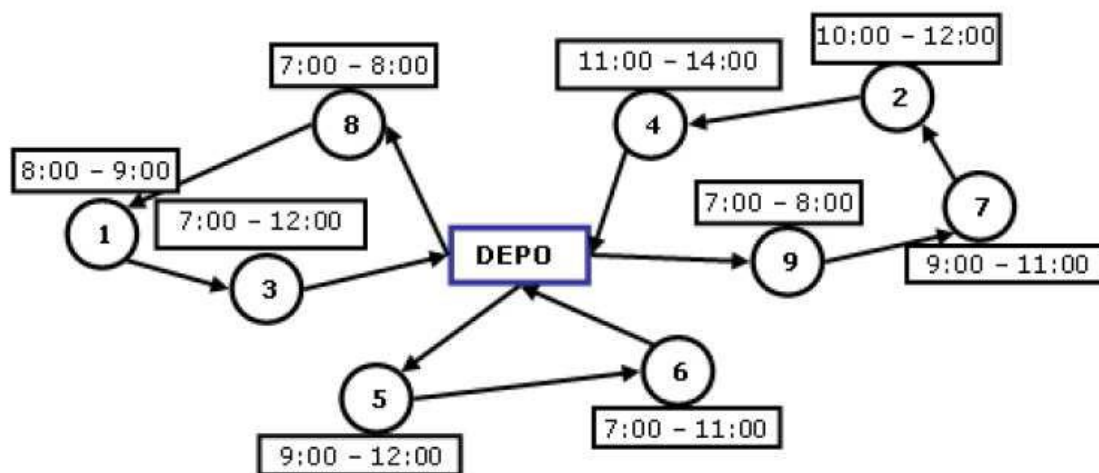


Zdroj 6: vlastní zpracování, 2015

Úloha okružních jízd s časovými okny

Úloha s časovými okny je základní úloha rozšířená o **časová okna**. Časová okna si lze představit jako specifikovaný časový interval, ve kterém je možné každého zákazníka obsloužit. V reálu to znamená, že musíme firmy navštívit v jejich pracovní době nebo je potřeba obdržet objednávku do určitého času, apod. Úlohu okružních jízd s časovými okny si lze prohlédnout na obrázku č. 7. [14]

Obr. č. 7: Grafické znázornění úlohy okružních jízd s časovými okny



Zdroj 7: [14 str. 265]

Existuje také varianta této úlohy s tzv. měkkými časovými okny. Tato varianta je známá v zahraniční literatuře jako *soft time windows*. V takovéto úloze je dovoleno časová okna porušovat, ale každé porušení časového okna je penalizováno. [14]

2.3 Dělení okružních a rozvozních úloh podle charakteristických znaků

Jemnější klasifikaci úloh trasování přeprav kusových zásilek můžeme provést podle následujících charakteristických znaků:

Čas obsluhy uzlů

- Čas obsluhy je přesně určen.
- Čas obsluhy je zadán intervalem (časovým oknem).
- Čas obsluhy není určen.

Počet středisek

- Síť má pouze jedno středisko.
- Síť má více středisek.

Mohutnost dopravního parku

- Dopravní park je tvořen jedním dopravním prostředkem.
- Dopravní park je tvořen více dopravními prostředky.

Typ dopravního parku

- Homogenní dopravní park.
- Heterogenní dopravní park.

Omezení na kapacitu dopravního prostředku

- Všechny dopravní prostředky mají stejnou kapacitu.
- V dopravním parku se nacházejí dopravní prostředky různých kapacit.
- Kapacita dopravního prostředku není omezená.

Operace prováděné s elementy v uzlech

- Dopravní elementy jsou pouze nakládány.
- Dopravní elementy jsou pouze vykládány.
- Některé dopravní elementy jsou vykládány a jiné nakládány.

Charakter nákladů

- Náklady jsou závislé na délce cesty, kterou dopravní prostředek projede.
- Náklady jsou pevné (např. dané tarifem). [10]

Charakter úlohy

- Statická úloha (informace o všech zákaznících a jejich požadavcích jsou známy předem).

- Dynamická úloha (některé požadavky zákazníků přicházejí až po nalezení optimálních tras nebo až během jízdy). [9]

3 Optimální a suboptimální metody řešení distribučních úloh

Metody užívané v oblasti přepravních služeb mohou mít zdroj v empiricko-intuitivním, kombinatorickém, heuristickém nebo metaheuristickém přístupu k řešení problémů.

Empiricko-intuitivní přístup je vhodný pro opakující se situace, neboť je založen na zkušenostech, intuici a logickém úsudku řešitele. Důsledkem toho není zaručeno, že bude zformulován vždy správný závěr za každých okolností.

Algoritmický přístup je založen na exaktních metodách. Hlavními znaky jsou formalizace úlohy, kvantitativní vyjádření a algoritmizace. Tento přístup je vhodný pouze pro méně rozsáhlé problémy s desítkami uzlů, protože počet operací nutných k získání optimálního řešení roste exponenciálně s velikostí úlohy.

Heuristický přístup může být vhodný pro řešení praktických problémů. Pomocí heuristických metod a postupů je obecně nalezeno nějaké suboptimální (přijatelné) řešení. Suboptimální řešení je sice přípustné, ovšem nemusí být nejlepší možné. Většinou ani není možné odhadnout, jak hodně je nalezené řešení vzdálené od optimálního. [4], [16]

Zatímco heuristiky řeší vždy specifickou konkrétní úlohu, **metaheuristický přístup** představuje obecné algoritmy pro řešení optimalizačních úloh, které jsou aplikovány na daný problém. Stejně jako heuristické metody ani metaheuristické metody nezaručují nalezení optimálního řešení. [17]

3.1 Exaktní metody

Použitím algoritmického přístupu dojde k nalezení optimálního řešení úlohy.

Metoda větví a hranic

Pro výpočet řešení se používají často algoritmy založené na principu metody větví a hranic. Princip metody větví a hranic je založen na dělení množiny na dvě podmnožiny a výpočtu horního nebo dolního odhadu hodnot účelové funkce. Odhady hodnot účelové funkce jsou využívány v průběhu výpočtu k vylučování podmnožin, jež nemohou obsahovat optimální řešení, a k určení nejperspektivnějších podmnožin, u nichž je největší předpoklad nalezení optimálního řešení.

Zmíněnou metodu využívá více algoritmů, z nichž zde bude podrobněji uveden jeden z nich, tzv. **Littlův algoritmus** pro řešení úlohy obchodního cestujícího.

Algoritmus spočívá v tom, že prohledává do hloubky s případným návratem k nejbližšímu uzlu. Množina řešení je zde definována množinou hran, které budou nebo nebudou zařazeny do minimální Hamiltonovské kružnice. V získaném řešení však hrany představují vzdálenosti, proto nemusí vždy odpovídat reálné situaci a je nutné řešení transformovat do podmínek reálné dopravní sítě. [10], [18]

Croesova metoda

Jednou z nejstarších metod optimálního řešení úloh je Croesova metoda [19] pro řešení úlohy obchodního cestujícího. Jedná se o metodu, jež vychází z nějakého počátečního řešení v podobě množiny použitých úseků dopravní sítě. Použité úseky jsou ohodnoceny nulovými hodnotami a ohodnocení úseku jsou transformována tak, aby uspořádání všech přípustných řešení zůstalo ponecháno vzhledem k hodnotám účelové funkce. Nepoužité úseky jsou potom ohodnoceny nezápornými nebo zápornými reálnými čísly vyjadřujícími o jakou hodnotu by se účelová funkce zvýšila či snížila, pokud by se do řešení úlohy zavedl příslušný úsek. Zavedení úseků se zápornými reálnými čísly si vynutí další úseky, které již záporné ohodnocení nemusí mít, neboť množinu použitých úseků je v Croesově metodě možnost měnit pouze tak, aby úseky tvořily jedinou okružní jízdu procházející právě jednou každým uzlem. Princip této metody spočívá v tom, že se vybere takový úsek se záporným ohodnocením, jehož zavedením do řešení a provedením nutných změn se sníží hodnota účelové funkce. Poté se celá metoda opakuje, dokud není zjištěno, že zavedením dalšího úseku se záporným ohodnocením se současné řešení už nezlepší. [10]

3.2 Heuristiky

„Pro efektivní nalezení suboptimálních řešení v přijatelném čase využívají heuristické metody lokálních vlastností účelových funkcí, které jsou platné pouze v omezené části prostoru přípustných řešení. Vzhledem k dostatečně krátké době výpočtu, přijatelným nárokům na výpočetní techniku a přece jen jistému přiblížení se k optimálnímu řešení, můžeme suboptimální řešení považovat v mnoha případech za uspokojivá a přijatelná.“
[4 str. 139]

Většina heuristik je založena na využití jednoho z následujících postupů:

1. **Primární heuristika** – je vytvořeno výchozí libovolné přípustné řešení, které je postupně zlepšováno. Proces zlepšování končí dosažením takového přípustného řešení, které už nelze žádnými úpravami zlepšit.
2. **Duální heuristika** – je vytvořeno výchozí nepřípustné řešení, kde hodnota účelové funkce nabývá lepší hodnoty než optimální řešení. Poté je řešení upravováno tak, aby se postupně odstranilo narušení podmínek jeho přípustnosti. Výpočet končí získáním přípustného řešení nebo zjištěním, že dalšími uvažovanými změnami nelze dosáhnout přípustného řešení.

Mezi klasické heuristiky patří metody založené na výhodnostních koeficientech, různé výměnné metody a dvoufázové přístupy. Dvoufázové přístupy dekomponují úlohu na dvě části: na úlohu shlukování, které se zabývá zařazením zákazníků do trasy, a na úlohu trasování, která se zabývá pořadím zákazníků v trase (úloha obchodního cestujícího). Dvoufázové přístupy se tedy dělí na metody primárního shlukování a metody tvorby primární trasy. [4], [14]

3.2.1 Metoda výhodnostních koeficientů a vkládání

Algoritmy realizující tuto skupinu metod většinou vylepšují výchozí řešení pomocí operací, jimiž vznikne nová výhodnější trasa. [10]

Algoritmus nejbližšího souseda

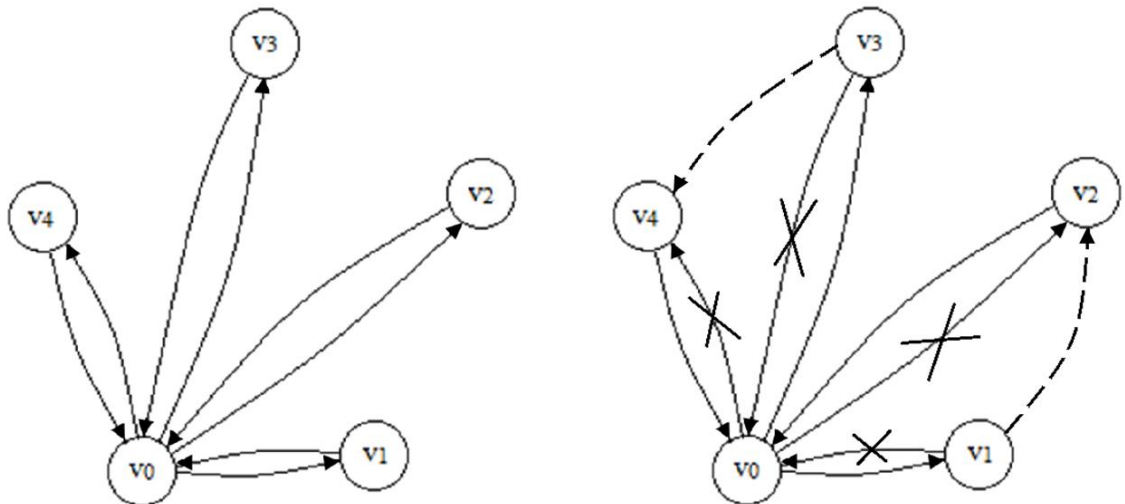
Tato metoda pracuje tak, že se zvolí výchozí uzel a do řešení se jako první zařadí úsek s nejnižším ohodnocením, který z něj vede. Po tomto úseku se uskuteční přesun do jeho koncového uzlu a následně se nalezne opět úsek s nejnižším ohodnocením vedoucí z tohoto uzlu do některého z dosud nenavštívených uzlů. Tento proces se opakuje, dokud se neprojde všemi uzly, a nakonec se zařadí úsek z posledního navštíveného uzlu do výchozího. Pro praktické řešení je vhodné vyzkoušet volbu každého uzlu jako výchozího a z takto nalezených řešení vybrat to s nejnižší hodnotou účelové funkce. [10]

Clarke-Wrightova metoda

Tuto metodu zveřejnili v roce 1964 G. Clarke a W. Wright [20]. Clarke-Wrightova metoda je jednou z nejrozšířenějších heuristických metod založenou na *primárních heuristikách*. Algoritmus začíná zpracovávat přípustné, avšak velmi neefektivní řešení, které je tvořené kyvadlovými jízdami typu středisko – uzel – středisko. V následujícím

kroku algoritmus vybere z množiny úseků dva takové, které je možno s ohledem na podmínky přípustnosti spojit a jejich spojením se celkové ohodnocení jízdy nejvíce zmenší (viz obrázek č. 8). Algoritmus skončí, pokud už není možno dosáhnout úspory spojením dvou jízdy. Výchozí řešení Clarke-Wrightovy metody lze vidět na následujícím obrázku. [10]

Obr. č. 8: Výchozí a výsledné řešení úlohy Clarke-Wrightovou metodou



Zdroj 8: vlastní zpracování, 2015

Jelikož se jedná o jednu z nejznámějších heuristik, bude Clarke-Wrightova metoda blíže představena v následujícím textu.

Obecně je úloha formulována pro danou dopravní síť $S = (V, H)$, kde V je množina uzlů a H množina úseků spojujících tyto uzly. Uzel v_0 je definován jako středisko této sítě a uzly v_1, \dots, v_n představují požadavky zákazníků (místa vyžadující obsluhu). Tato obsluha je uskutečňována vozidly, jejichž trasa začíná a končí ve středisku V_0 .

Úlohou je sestavit množinu tras vozidel tak, aby byl každý uzel uspokojen jedinou obsluhou vozidla a aby celkové náklady na přepravu byly minimální z hlediska délky nebo času. Úloha je řešena iteračními kroky, kde v každé iteraci jsou podle kritéria vybrány dvě možné trasy, které jsou spojeny do jedné sdružené trasy za předpokladu, že tato trasa vyhovuje podmínkám přípustnosti. Výhodnost nebo nevýhodnost sdružení dvou tras je určena úsporou, která vznikne jejich sdružením.

Řešení úlohy se lze formulovat do několika následujících kroků:

Krok 1) Pro danou dopravní síť $S = (V, H)$ se sestaví matice vzdáleností $D = \{d(i,j)\}$, kde $i,j = 0,1, \dots, n; n = |V|$. Dále je nutno znát následující hodnoty:

c – průměrná rychlost kompletu (vozidla);

t – doba potřebná k vyložení jednoho elementu z obsluhujícího kompletu;

T – maximální doba pobytu kompletu mimo výchozí uzel v_0 ;

K – kapacita kompletu;

q_i – množství elementů přepravovaných z uzlu v_0 do uzlu v_i ($i = 1, \dots, n$)

Krok 2) Vytvoří se počáteční řešení, které představuje soubor elementárních tras ($v_0 - v_i - v_0$) pro všechny uzly $i = 1, \dots, n$ s uvedeným množstvím elementů a dobami přepravy.

Obr. č. 9: Počáteční řešení úlohy

Trasa	Množství elementů	Doba přepravy
$v_0 - v_i - v_0$	q_i	$\frac{2 \cdot d_{0i}}{c} + q_i t$
.....
$v_0 - v_n - v_0$	q_n	$\frac{2 \cdot d_{0n}}{c} + q_n t$

Zdroj 9: [4]

Krok 3) Sestaví se matice výhodnostních koeficientů² $Z = \{z_{ij}\}$, kde $i, j = 1, \dots, n$. Podle vztahu $z_{ij} = d_{0i} + d_{0j} - d_{ij}$ se odvodí z matice D .

Krok 4) V matici výhodnostních koeficientů Z se najde největší kladný prvek z_{ij} a sdruží se, v případě splnění podmínek, 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 takový prvek neexistuje, algoritmus je ukončen. Aktuální množina je výsledkem algoritmu. Pokud takový prvek existuje, přechází se na Krok 5).

Krok 5) Probíhá kontrola, zda seskupením uzlů v_i a v_j vznikne přípustná trasa. Pokud přípustná trasa nevznikne, položí se $z_{ij} = 0$ a následuje návrat ke Kroku 4). V opačném případě se pokračuje Krokem 6).

Krok 6) Aktualizuje se množina uzlů V vyjmutím uzlů i a j , které přestaly být krajními uzly trasy dopravní sítě. Položí se $z_{ij} = 0$. Následně se aktualizuje množina tras

² Někdy je také označována jako matice úspor.

vyjmutím sdružených tras a vložení tras nových. Také probíhá kontrola omezujících podmínek, které nesmí být porušeny.

Postup, popsáný pomocí výše uvedených Kroků 1 až 6, se opakuje, dokud není matice Z vyčerpána nebo nejsou vyčerpány kapacity K kompletů. V reálné situaci bude výsledné řešení málokdy optimální a převážně se bude jednat o řešení suboptimální. Převzato z [4].

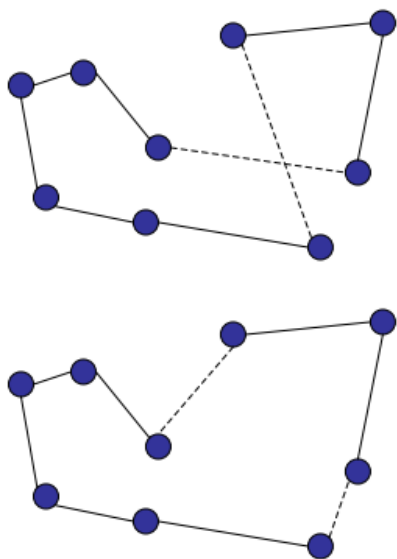
3.2.2 Metoda zlepšování výměnou

Metody zlepšování výměnou vylepšují v jednotlivých fázích dosavadní řešení tím, že z něho vyloučí některé z nevhodných úseků a nahradí je výhodnějšími. Následně vymění úseky tak, aby nové řešení s menším ohodnocením bylo přípustné. [10]

Lin-Kernighanova metoda

Princip metody vychází z toho, že je-li dáno neoptimální přípustné řešení úlohy dané množinou H hran dopravní sítě, pak toto řešení není optimální, neboť obsahuje nějaké hrany x_k , které do optimálního řešení nepatří. Z této množiny H jsou náhodně vybrány dvě hrany, které nemají společný uzel. Poté si vybrané hrany vymění své místo a vzniknou nové hrany. Spočtením hodnoty účelové funkce se zjistí, zda je tato výměna výhodná. Tímto způsobem se prozkoumají veškeré přípustné dvojice úseků. Pokud neexistuje žádná kombinace úseků, která by vylepšila celkově řešení, je metoda u konce. Na obrázku č. 10 si lze prohlédnout příklad výměny hran v uvedené metodě. [10]

Obr. č. 10: Lin-Kernighanova metoda – příklad výměny hran



Zdroj 10: [21]

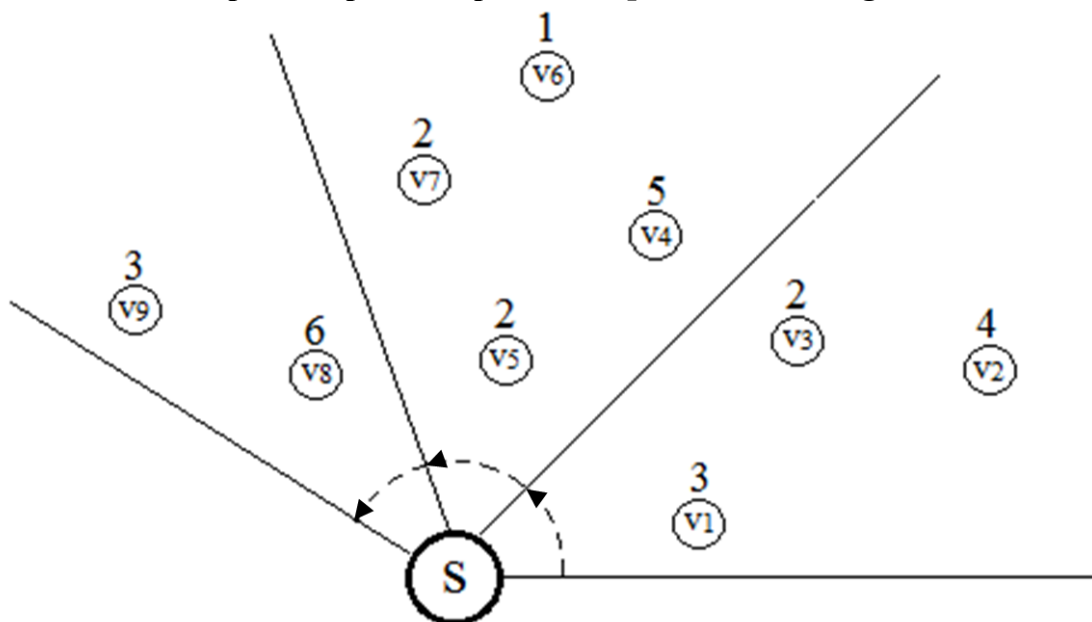
3.2.3 Metody primárního shlukování

Metody primárního shlukování se používají pro řešení přepravních úloh v rozsáhlých dopravních sítích. Metody primárního shlukování vhodným způsobem rozdělí množinu uzlů na podmnožiny, ve kterých následně řeší jednodušší úlohy trasování. [10]

Sweep algoritmus

Sweep algoritmus neboli stírací algoritmus je založen právě na principu dekompozice úlohy. Dekompozice je prováděna, jako by linie vycházející ze střediska byla postupně otáčena proti směru hodinových ručiček, počínaje pevně zvolenou polopřímku (startovací pozice může být dána pohořím, řekou, apod.). Požadavky q_j uzlů v_j , které linie zasáhne, jsou sčítány. Posun linie se zastaví, pokud by přičtení následujícího požadavku převýšilo kapacitu vozidla K . Získá se tak sektor, který se může obsloužit jedinou okružní jízdou. Tímto způsobem se dekomponuje celá úloha na jednotlivé sektory. Vytváření sektorů pro kapacitu $K = 10$ je zobrazeno na obrázku č. 11, kde nad jednotlivými uzly v_j jsou vyznačeny jejich požadavky q_j . [10]

Obr. č. 11: Princip dekompozice dopravní sítě podle stíracího algoritmu



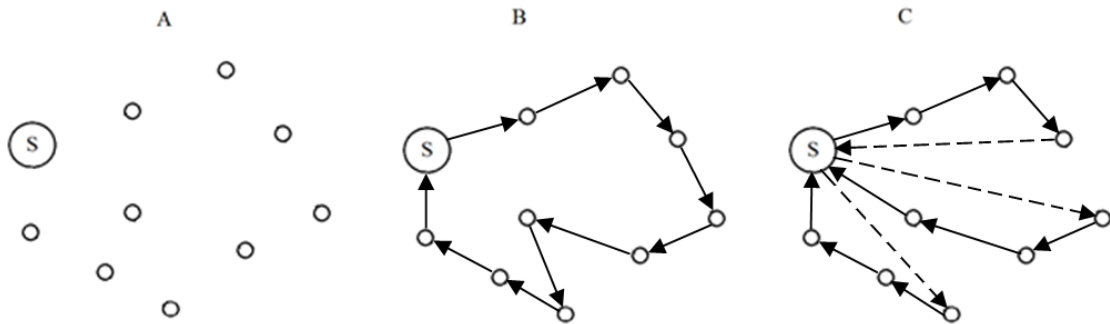
Zdroj 11: vlastní zpracování, 2015

3.2.4 Metody tvorby primární trasy

V této skupině se nachází metody využívající opačného postupu než metody primárního shlukování. Nejdřív je vytvořena primární trasa, která prochází všemi uzly, ale zároveň nesplňuje kritérium přípustnosti (např. pracovní dobu vozidla). Tato trasa je při dalším

zpracovávání dělena a upravována na okružní jízdy, které už splňují podmínky přípustnosti. Schématický postup je znázorněn na obrázku č. 12. [10]

Obr. č. 12: Princip metody tvorby primární trasy a její dekompozice na jednotlivé okružní jízdy



Zdroj 12: vlastní zpracování dle [10], 2015

3.3 Metaheuristiky

V poslední době se na základě velkého nárůstu výpočetního výkonu počítačů začaly výrazně prosazovat metaheuristické metody (někdy jen metaheuristiky). Ve srovnání s klasickými heuristikami dosahují tyto metody mnohem lepších výsledků. Jejich výhodou je zpravidla schopnost opustit za určitých podmínek lokální extrém účelové funkce, což je vlastnost, která chybí heuristickým metodám. Stejně jako heuristiky ani metaheuristiky nezaručují nalezení optimálního řešení. [10]

V následující části budou představeny některé metaheuristiky.

Horolezecký algoritmus

Horolezecký algoritmus, v zahraniční literatuře označován jako *Hill climbing*, lze popsat následovně:

Algoritmus začne s náhodně vygenerovaným řešením, které je následně použito jako ohnisko nové oblasti hledání. V dalších krocích prochází okolí ohniska a vybírá nejlepší řešení, které je potom použito jako nové centrum hledání. Během výpočtu je zaznamenáváno nejlepší řešení, které je na konci použito jako výstup horolezeckého algoritmu. Nevýhodou algoritmu je, že většinou jako ohnisko hledání bere vždy stejně dobré nebo lepší řešení, než bylo to původní. Tím ale většinou uvízne v lokálním optimu a dochází tak k zacyklení. Podmínkou ukončení algoritmu je provedení určitého počtu iterací. [22]

Simulované žíhání

Algoritmus simulovaného žíhání byl poprvé představen v osmdesátých letech dvacátého století. Tento algoritmus staví na znalostech fyziky a je založen na simulaci žíhání kovů. Metoda vybere sousední řešení, které může mít lepší i horší výslednou hodnotu. Horší řešení má vyšší pravděpodobnost, že bude vybráno při vysoké teplotě, která se snižuje při běhu algoritmu. Na začátku simulovaného žíhání tak mohou být přijaty změny s horším řešením, což může pomoci k úniku z lokálního extrému. V průběhu výpočtu algoritmu je teplota snižována na základě přibližování se k cíli. Vede to k tomu, že na konci se provádějí pouze zlepšující se změny. [17], [23]

Zakázané prohledávání

Metodu zakázaného prohledávání, v zahraniční literatuře nazývanou jako *Tabu Search*, poprvé popsal a použil v roce 1986 F. W. Glover. Jedná se o metodu založenou na lokálním prohledávání. Hlavní myšlenkou algoritmu je využívání seznamu (tabu list – seznam zákazných bodů, ke kterým se již nevrací) již nalezených řešení, který má pevnou délku. Metoda vychází z počátečního proveditelného řešení, které se zlepšuje modifikací za pomoci lokálních změn a hledá nejvíce zlepšující se řešení. Nalezené řešení se porovná s dosud dosaženým nejlepším řešením a umístí do seznamu. Pokud se prozkoumané řešení se již nachází v seznamu, algoritmus se k němu nevrací a řešení tak nemůže být přijato. Pokud je seznam naplněn, dochází k odstraňování nalezených řešení v seznamu principem FIFO (první dovnitř, první ven). Na rozdíl od horolezeckého algoritmu neuvízne Tabu Search tak snadno v lokálních extrémech a nedochází k zacyklení. [17], [24]

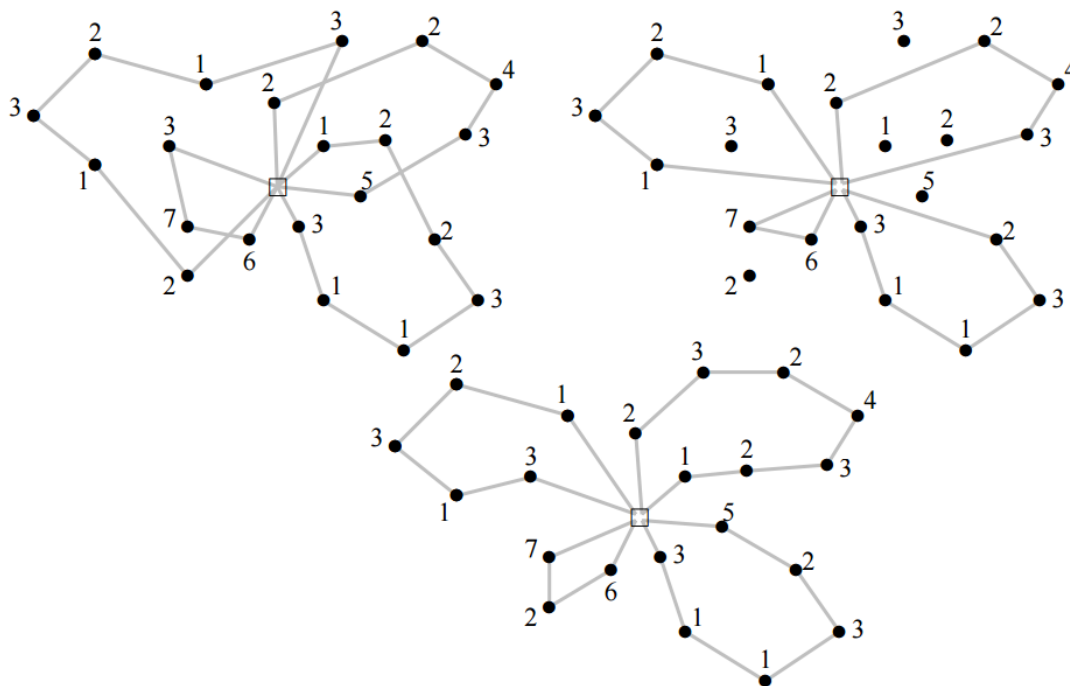
Prohledávání velkého okolí

Algoritmus prohledávání velkého okolí (*Large Neighborhood search - LNS*) funguje na principu postupného vylepšování. Toto vylepšování se realizuje pomocí střídavého rozbíjení a opravování proveditelného řešení, které je vstupním parametrem algoritmu.

Jedná se o metaheuristiku, při které prohledávané okolí roste exponenciálně s velikostí dopravního problému. Tato metoda staví na tom, že při prohledávání co největšího prostoru řešení nalezne nejlepší možné lokální optimum.

Základní myšlenkou LNS algoritmu je opakované upravování a následné optimalizování částí řešení. Na obrázku č. 13 lze vidět příklad rozbíjení a opravování úlohy okružních jízd. [23]

Obr. č. 13: Příklad rozbíjení a opravování úlohy LNS algoritmem



Zdroj 13: [25], 2015

Na obrázku lze vidět nahoře vlevo klasickou úlohu okružních jízd před jejím rozbitím. Schéma vpravo nahoře znázorňuje řešení po rozbití úlohy, kde jsou náhodně vybraní zákazníci vyjmuti z obsluhy. Poté je proveditelné řešení opraveno a nezařazení zákazníci jsou zařazení zpátky do tras podle toho, jak mění hodnotu účelové funkce. [25]

V následujícím textu bude detailněji představen princip LNS algoritmu. Pseudokód³ algoritmu využívá proměnné x aktuální řešení, x^b nejlepší nalezené řešení a x^t dočasné řešení. Funkce $d()$ rozbíjí řešení, funkce $r()$ řešení opravuje a $c()$ je funkce, která vrací ohodnocené řešení. [23]

³ Pseudokód je jazyk pro popis algoritmů, který je určen pro člověka a nikoli pro počítač.

Algoritmus Large Neighborhood search

```
1: input: a feasible solution  $x$ 
2:  $x^b = x$ ;
3: repeat
4:    $x^t = r(d(x))$ ;
5:   if accept( $x^t, x$ ) then
6:      $x = x^t$ ;
7:   end if
8:   if  $c(x^t) < c(x^b)$  then
9:      $x^b = x^t$ ;
10:  end if
11: until stop criterion is met
12: return  $x^b$ 
```

Převzato z [25].

Průběh algoritmu je popsán a formulován v následujících krocích:

1. Vstup: vezme se aktuální řešení (x).
2. Do proměnné pro nejlepší nalezené řešení (x^b) se zatím uloží aktuální řešení (x).
3. Dokola se opakuje následující sekvence:
 - a. Rozbije se aktuální řešení (x), pak se opraví a uloží do proměnné pro dočasné řešení (x^t).
 - b. Pokud je vyhodnocené řešení (x^t) lepší než aktuální (x), dočasně (x^t) se uloží do proměnné aktuálního řešení (x).
 - c. Pokud je hodnocení dočasného řešení (x^t) lepší než hodnocení nejlepšího nalezeného (x^b), uloží se dočasně do nejlepšího nalezeného řešení (x^b).
 - d. Opakuje se tak dlouho, až program nalezne nejlepší řešení (do doby, kdy jsou vyčerpáni všichni zákazníci, nebo do doby, kdy dojde programu čas na výpočet).
4. Algoritmus vrátí nejlepší nalezené řešení (x^b).

„V LNS algoritmech jsou důležité metody pro rozbití a opravu řešení. U rozbití řešení je velmi důležitý jeho stupeň - ten může například postupně narůstat s délkou běhu algoritmu, nebo být v každé iteraci volen náhodně z rozsahu daného velikostí instance. U metody pro opravu řešení je důležité rozhodnutí, zda použít metodu optimální, která vrátí nejlepší možné řešení, nebo heuristiku, která bude rychlejší, ale není zajištěno, že vrací optimální řešení.“ [23 str. 10]

4 Představení společnosti

Společnost DHL je považována za jednu ze světové nejúspěšnějších přepravních logistických firem. Toho dosahuje především díky svým službám v expresní letecké, námořní, železniční i pozemní přepravě, které jí zaručují celosvětové pokrytí. DHL působí ve všech zemích a oblastech světa, výjimkou je pouze Turkmenistán, a tím je nejglobálnější společností na světě. K dosažení nejvyšší možné kvality poskytovaných služeb firma zaměstnává kolem 315 000 zaměstnanců. [26]

4.1 Historie

Od roku 1948 bylo pod záštitou GATT (Všeobecná dohoda o clech a obchodu) vyvíjeno úsilí o snížení cel a omezení ve světovém obchodu. V kombinaci s poválečnou populační explozí a sociální a kulturní revolucí v šedesátých letech 20. století byla připravena půda pro obrovský nárůst mezinárodního obchodu před rokem 1969. Byla to ideální doba pro vybudování společnosti pro expresní doručování, a přesně to učinila trojice partnerů ve zmíněném roce.

Společnost založila trojice Adrian Dalsey, Larry Hillblom a Robert Lynn, podle nichž je společnost i pojmenována. Firma DHL zahájila svou první kurýrní službu mezi západním pobřežím Ameriky a Havajskými ostrovy. Během dalších čtyř let rozšířila svou přepravní síť např. v Pacifické oblasti, Japonsku a Austrálii.

V roce 1974 byla otevřena první evropská pobočka v Londýně. V roce 1979 už DHL působila na Středním Východě, Africe, Latinské Americe a Německu.

V letech 1983 až 1993 otevírá firma nové distribuční centra v USA, Bruselu či Bahrajnu. Začíná mimo jiné obchodovat s Čínskou lidovou republikou a Kuvajtem.

V roce 1998 se stává akcionářem společnosti Deutsche Post. Do roku 2002 získává Deutsche Post 100% podíl akcií firmy.

V letech 2002 až 2008 se společnost DHL stává prvotřídním dodavatelem pro všechny logistické aktivity. V těchto letech také mění oficiální barvy z červené a bílé na žlutou a červenou.

V roce 2008 je otevřen evropský letecký centrální HUB⁴ v Lipsku, který opět rozšířil přepravní síť. [27]

4.2 Struktura

Jak bylo zmíněno, jediným akcionářem společnosti DHL je firma Deutsche Post. Společně tvoří dvě silné značky pod jedním jménem. Dále společnost DHL primárně rozděluje svojí nabídku do 4 divizí (Global Mail, Freight a Global Forwarding, Express, Supply Chain). Detailní strukturu společnosti si lze prohlédnout na obrázku č. 13. [26]

Obr. č. 14: Struktura společnosti



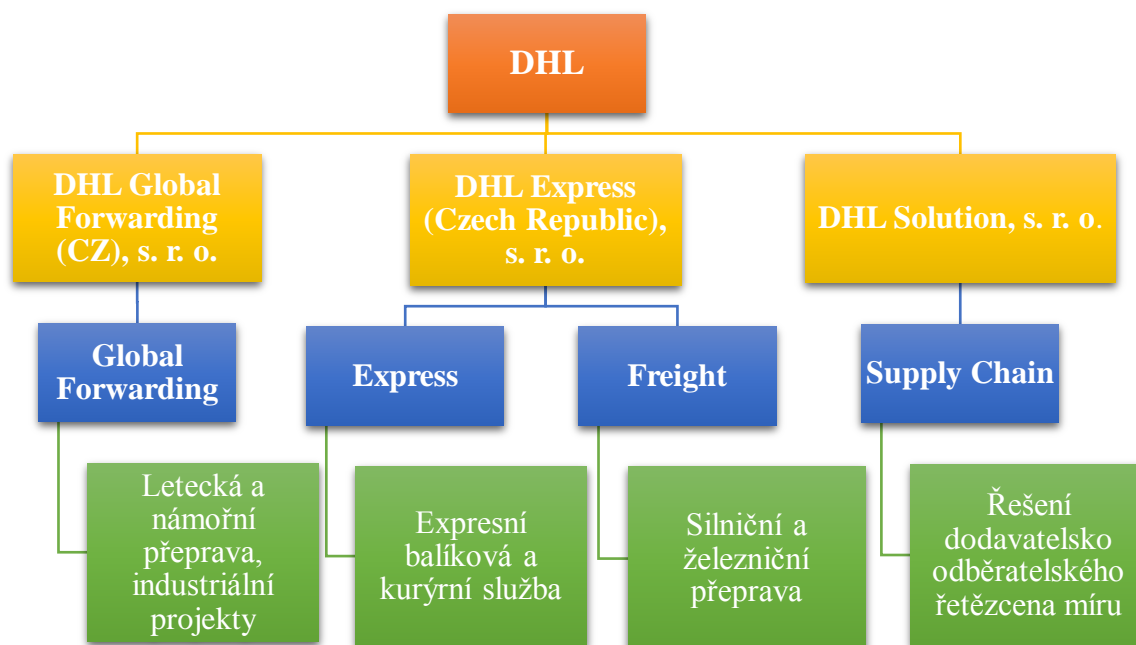
Zdroj 14: [26], 2014

⁴ Místo, kde dochází k výměně nákladu mezi vozidly nebo druhy přeprav (silniční - letecká).

4.3 Společnost v České republice

DHL působí na českém trhu od roku 1986. V této době začala jako první poskytovat expresní přepravu. V roce 1993 mění svou právní subjektivitu na DHL International (Czech Republic), s. r. o., a otevírá řídicí centrum a překladiště v areálu pražského ruzyňského letiště⁵. V březnu 2006 se členem skupiny Deutsche Post DHL stala firma PPL, kterou DHL využívá pro tuzemskou přepravu. V současné době je DHL Czech Republic zastoupena společnostmi DHL Global Forwarding (CZ), s. r. o., DHL Solution s. r. o., a DHL Express (Czech Republic), s. r. o. (viz obrázek č. 15). [28]

Obr. č. 15: Struktura DHL Česká republika



Zdroj 15: vlastní zpracování dle [28], 2014

Global Forwarding

- letecká cargo přeprava (z letiště na letiště, z domu do domu)
- námořní přeprava (celokontejnerové zásilky, kusové konsolidované zásilky, speciální zásilky)
- industriální projekty

Express

- okamžité vyzvednutí a doručení zásilky tentýž den (Same Day)

⁵ Dnes je známo jako letiště Václava Havla.

- rychlé doručení zásilky do určitého času (Time Definite)
- silniční doprava zásilek s pevně stanoveným termínem doručení (Day Definite)

Freight

- kusové zásilky a doklázky (Euroconnect)
- celovozová přeprava (Euroline)
- celovozová přeprava šitá na míru (Euronet)
- veletrhy a výstavy
- celní služby (Eurorail)
- speciální služby

Supply Chain

- plánování dodavatelského řetězce
- skladování
- distribuce
- dodání a instalace

V následujících kapitolách se tato práce bude zabírat firmou DHL Express (Czech Republic), s. r. o., která je zastoupena divizemi DHL Freight a DHL Express. [26]

Divize Express CZ zaměstnává v současnosti kolem 600 zaměstnanců. Pobočky a service pointy můžeme najít ve 22 městech České republiky.

4.4 Produktové portfolio

Firma DHL Express nabízí širokou škálu služeb rozdělených podle časových požadavků (viz obrázek č. 16).

Obr. č. 16: Globální produktové portfolio DHL Express

SAME DAY

- Když je nutné okamžité vyzvednutí a co nejrychlejší doručení v případě nouze nebo posílání kritických zásilek.

TIME DEFINITE

- Hlavní zaměření podniku.
- Když je potřebné doručení „door to door“ (z domu do domu) do předem zvoleného času, buď přes noc nebo následující pracovní den.

DAY DEFINITE

- Když je nutné spolehlivé nákladově efektivní doručení „door to door“ do určitého počtu dnů.

Zdroj 16: vlastní zpracování dle [26], 2014

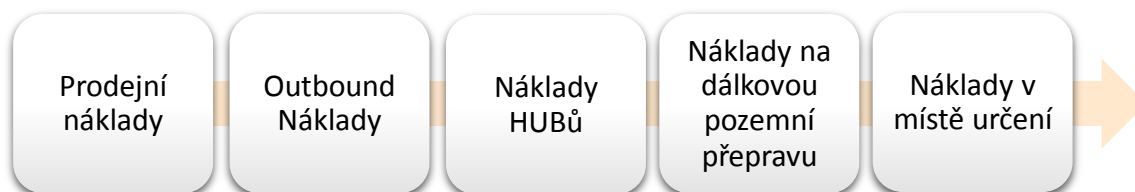
Firma DHL Express se zaměřuje na produkt Time Definite, který tvoří 80 % všech jejich příjmů. Produkty typu Time Definite jsou:

- **DHL Express 09:00** – vyzvednutí dokumentovaných zásilek a zásilek zboží typu „door to door“ s vývozním, dovozním nebo vnitrostátním doručením před 09:00 hodin následující pracovní den.
- **DHL Express 10:30** – vyzvednutí dokumentovaných zásilek a zásilek zboží typu „door to door“ s vývozním, dovozním nebo vnitrostátním doručením do 10:30 hodin následující pracovní den (pouze do USA).
- **DHL Express 12:00** – vyzvednutí dokumentovaných zásilek a zásilek zboží typu „door to door“ s vývozním, dovozním nebo vnitrostátním doručením do 12:00 hodin následující pracovní den.
- **DHL Express Worldwide** – vyzvednutí dokumentovaných zásilek a zásilek zboží typu „door to door“ s vývozním, dovozním nebo vnitrostátním doručením do konce pracovní doby v dané zemi následující pracovní den.
- **DHL Import Express Worldwide** – mezinárodní vyzvednutí a místní doručení dokumentovaných zásilek a zásilek zboží „door to door“ do konce následujícího pracovního dne s tím, že výdaje za přepravu a související poplatky budou fakturovány příjemci nebo třetí straně. [26]

4.5 Principy stanovení ceny

Sazby DHL Express zahrnují všechny potřebné služby mezi vyzvednutím a doručením. Cena produktů a služeb je stanovena na základně síťové perspektivy. Sazby se odvíjí podle hmotnosti a zóny, ve které se místo určení nachází. Náklady zahrnované do těchto sazeb si lze prohlédnout na obrázku č. 17.

Obr. č. 17: Ukázka nákladů zahrnovaných do sazby DHL Express



Zdroj 17: vlastní zpracování dle [26], 2015

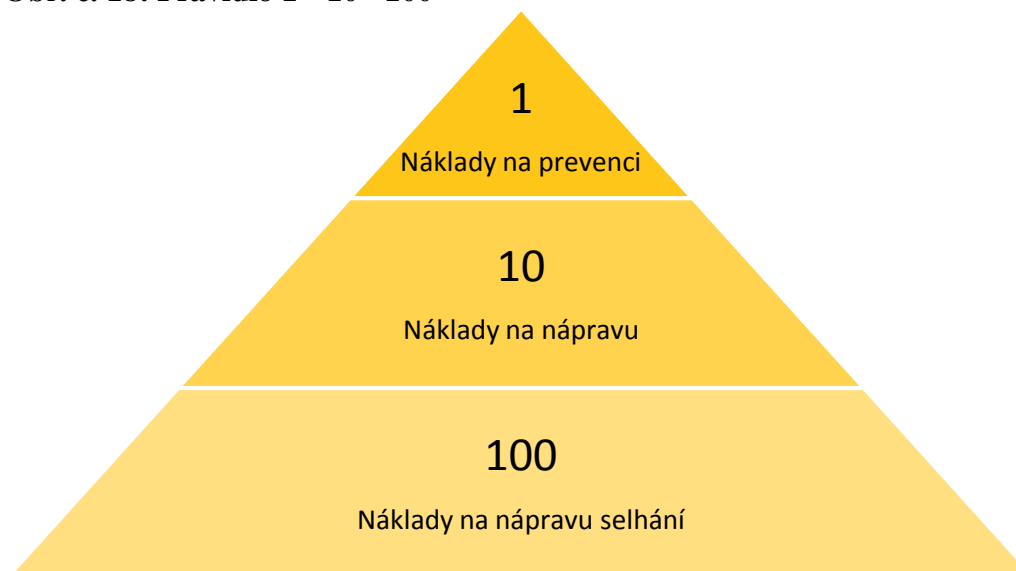
DHL Express používá ke stanovení ceny proces z názvem *Strategic price alignment*⁶, který zajišťuje zavedení strategie pro stanovení ceny DHL Express do určité země prostřednictvím přezkoumání zveřejněných zásad o sazbách a slevách v této zemi v ročních nebo dvouletých intervalech.

Vychází z analýzy šesti hlavních položek:

- Strategie DHL a dynamika trhu
- Aktuální ceny DHL
- Ceny klíčové konkurence
- Vnímání zákazníka
- Náklady a rentabilita
- Růst segmentu

V DHL Express se řídí pravidlem vykonat svou práci „*správně hned napoprvé*“. Pravidlo má za následek nižší náklady pro firmu. Zamezit chybě na počátku procesu stojí stokrát méně než umožnit vznik a vystupňování chyb do úplného selhání služby (viz obrázek č. 18). [26]

Obr. č. 18: Pravidlo 1 – 10 – 100



Zdroj 18: vlastní zpracování dle [26], 2015

⁶ Strategické stanovení ceny.

4.6 Zákaznická věrnost

Získání zákazníků, kteří jsou věrní značce, znamená, že zákazníci budou nakupovat více, déle, a budou snáze odpouštět, když se něco nepovede.

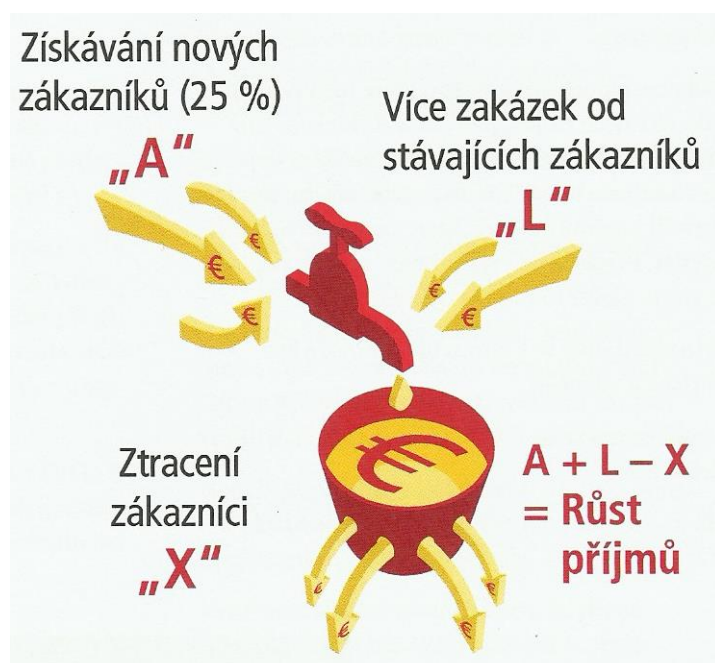
Ztráta zákazníků je drahá záležitost. Je dokázáno, že je šestkrát dražší přilákat nové zákazníky než si udržet ty dosavadní. V současnosti společnost DHL získává pouze 25 % zakázek z potenciálních příležitostí firmy (získávání nových zákazníků). Ty se označují jako Acquisition „A“. To znamená, že 75 % času věnovaného získávání nových zákazníků nekončí odesláním zásilky. Jedná se o drahý, ale nutný proces.

Kromě růstu v důsledku nových obchodů společnost DHL zaznamenala i růst stávajících zákazníků, to se označuje jako Organic growth „L“.

Jako každá firma, ani DHL není schopna si udržet všechny své zákazníky. V průměru DHL ztrácí 12 % svých příjmů v důsledku úbytku zákazníků (X). [26]

Na následujícím obrázku lze vidět tzv. „děravé vědro“ DHL Express, jednoduchý vzorec k dosažení růstu příjmů.

Obr. č. 19: Růst příjmu



Zdroj 19: [26], 2015

5 Formulace úlohy

Zásilky z celého světa mířící do Evropy se roztřídí v Lipsku v HUBu, kde jsou následně odeslány do středisek jednotlivých zemí a zde jsou systematicky roztříděny podle místa doručení. Poté jsou zásilky dopraveny do krajských poboček, kde jsou rozčleněny podle jednotlivých tras.

Pobočka DHL Express Karlovy Vary je zastoupena třemi vozidly a jedním dopravcem (třetí stranou), kterého využívá podle potřeby. Vozidla začínají svoji jízdu mezi 11:00-11:45 podle toho, v kolik dorazí vozidlo DHL (tomuto vozidlu je také přiřazeno území, které obsluhuje) jedoucí z Prahy se zásilkami pro karlovarskou pobočku. Vozidla obsluhují tři území a podle toho jsou zásilky rozděleny. Kurýři podle zkušeností odhadnou, zda svojí trasu stihnou. Co nestihnou, nechávají na pobočce. Nestihnuté zásilky rozvozí dopravce. Kurýři na svých *routech*⁷ zásilky nejen doručují, ale také vyzvedávají. Jelikož se jedná o obálky a malé balíky, neklade se na kapacitu vozidla žádný důraz. Vozidla musí být zpátky do 17:00 hodin, aby se vyzvednuté zásilky naložily do vozidla DHL jedoucího zpátky do Prahy, kde jsou následně zpracovány a odeslány opět do Lipska.

5.1 Formulace charakteristických znaků úlohy

V teorii dopravních sítí se jedná o modifikaci **úlohy okružních jízd s časovými okny**.

Úloha respektuje následující kritéria:

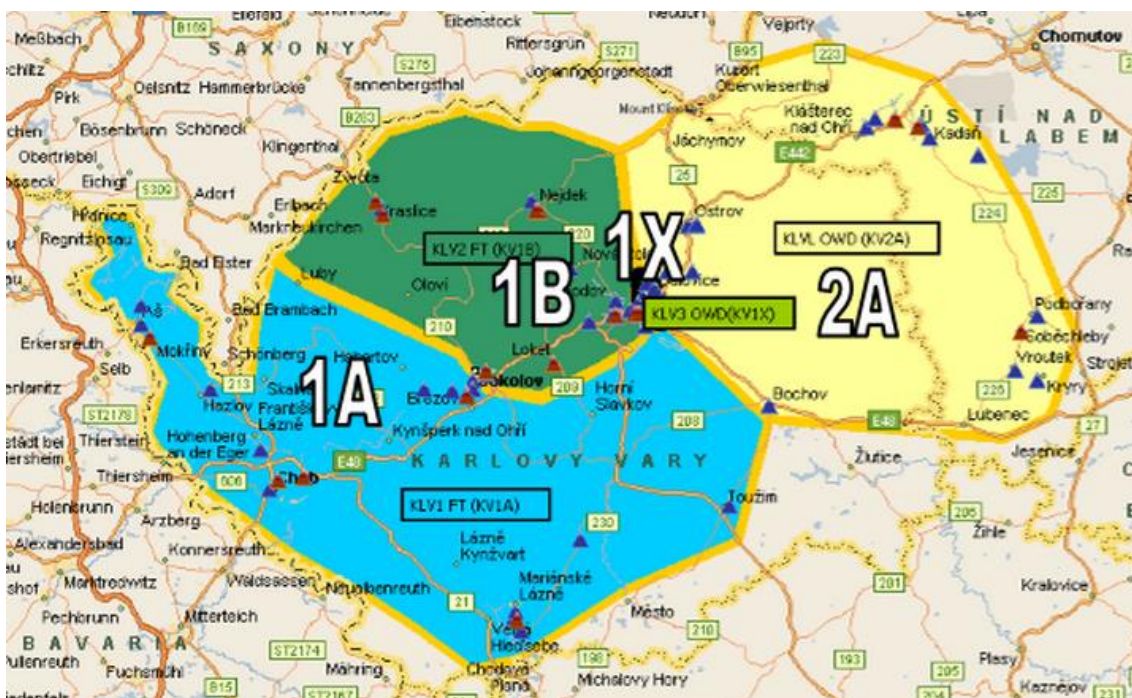
- Čas obsluhy uzlů je zadán časovým intervalem – u většiny zásilek se jedná o pracovní dobu vozidla, která je v tomto případě od 11:00 do 17:00 hodin. U zásilek typu TIME DEFINITE se jedná o čas doručení do 12:00 hodin. Vyzvedávané zásilky jsou většinou dány časovým oknem – buď pracovní dobou firmy, nebo specifickým požadavkem zákazníka.
- Síť má pouze jedno středisko.
- Dopravní park je tvořen 3 dopravními vozidly a 1 externím dopravcem.
- Dopravní park je homogenní.
- Kapacita dopravního prostředku není omezena.
- Zásilky jsou během trasy vykládány i nakládány.

⁷ V teorii dopravních systémů lze výraz „route“ chápat jako: trasa, kterou dopravní komplet obsluhuje.

- U vozidel jsou náklady závislé na kilometrech, které ujedou. DHL Express Karlovy Vary za rok 2014 stanovuje na základě vnitropodnikových údajů sazbu 22 Kč/km. U dopravce jsou náklady závislé na času, který rozvozem a svozem zásilek stráví. Sazba dopravce činí 250 Kč/h.
- Jedná se o statickou úlohu, kde všechny požadavky jsou známy ještě před začátkem jízdy.

Současné rozdělení tras v DHL Express Karlovy Vary je vidět na obrázku č. 20. Vozidla obsluhují 3 oblasti (1A – vozidlo 1, 1B – vozidlo 2, 2A – vozidlo 3 přijíždějící z Prahy), území obsluhované dopravcem je variabilní a je značeno jako 1X.

Obr. č. 20: Současné rozdělení tras v DHL Express Karlovy Vary



Zdroj 20: interní zdroj DHL, 2015

V rámci výše uvedených údajů se dopravní problém člení na dvě základní úlohy:

1. V důsledku každodenního využívání dopravce a při současném časovém vytížení jednotlivých vozidel DHL se nabízí otázka, zda by pro podnik nebylo ekonomicky výhodnější nahradit dopravce čtvrtým vozidlem DHL.
2. V DHL Express Karlovy Vary se dodržují každodenně statické linky a rozvržení obsluhovaného území každého vozidla. Při současném počtu ujetých kilometrů a požadavků zákazníků se musí zvažovat otázka, k jaké úspoře nákladů by došlo při každodenním využívání vhodného optimalizačního informačního systému.

V dalších částech této práce dojde v prvním kroku k analýze nákladovosti dopravce a vyhodnocení přínosu dalšího vozidla DHL. Ve druhém kroku se autor práce zaměří na denní optimalizaci současného rozložení tras pomocí vhodné optimalizační metody. Mělo by tak dojít k úspoře nákladů za dopravce i u vozidel DHL a jejich lepšímu časovému vytížení.

Pro vyřešení definovaného rozvozního problému se bude vycházet z dat získaných z informačního systému podniku. Pro účely této práce bylo zvoleno období 01.12.2014 – 31.12.2014, neboť vytíženost vozidel v tomto měsíci dosahuje nejvyšších hodnot a jedná se o aktuální období. U vozidel DHL bude pozornost věnována množství ujetých kilometrů, zatímco u dopravce počtu odpracovaných hodin.

V příloze A si lze prohlédnout ujeté kilometry jednotlivých vozidel a pracovní dobu dopravce za zvolené období.

6 Řešení problému

6.1 Přidání nového vozidla

V prvním kroku se použije nejjednodušší způsob srovnání dopravních nákladů. Místo dopravce se dosadí uvažované vozidlo DHL a porovnájí se náklady za stejnou odpracovanou dobu a stejné obsluhované území bez úpravy tras ostatních vozidel v roce 2014. V tabulce č. 1 lze vidět vstupní hodnoty získané z vnitropodnikového systému.

Tab. č. 1: Vstupní parametry za rok 2014

Náklady na 1 vozidlo DHL za 1 měsíc (bez nafty)	40.900 Kč
Kilometry dopravce	8 832 km
Odpracované hodiny dopravce	384,48 h
Průměrná cena nafty OMV po úpravě	35 Kč
Průměrná spotřeba nafty vozidel DHL	9,2 l/100 km
Celkové ujeté kilometry vozidel DHL	142 723 km
Celkové náklady	3.140.738 Kč

Zdroj 21: vlastní zpracování, 2015

Náklady na jedno vozidlo DHL bez nafty jsou stanovené podnikem na **40.900 Kč** (včetně mzdy řidiče). Na dalších řádcích si lze prohlédnout ujeté kilometry a odpracovanou dobu dopravce. Vozidla DHL tankují pouze na benzinových čerpacích stanicích OMV, kde mají slevu 1 Kč na každý litr nafty. Průměrná cena nafty OMV v roce 2014 byla vypočítána na 36 Kč, proto částka **35 Kč**. Průměrná spotřeba vozidel je **9,2 l/100 km**.

V následující tabulce lze tedy vidět porovnání skutečných a uvažovaných nákladů za rok 2014.

Tab. č. 2: Srovnání skutečných a uvažovaných nákladů za rok 2014

	Skutečný stav	Uvažovaný stav
Celkové ujeté kilometry	142 723 km	151 555 km
Vozidla + dopravce	3 + 1	4 + 0
Nafta celkem	459.568 Kč	488.007 Kč
Náklady vozidel DHL	981.600 Kč	1.472.400 Kč
Náklady dopravce	96.120 Kč	0 Kč
Fixní náklady	1.603.450 Kč	1.603.450 Kč
Náklady celkem	3.140.738 Kč	3.563.857 Kč

Náklady na 1 ujetý kilometr	22 Kč	23,5 Kč
------------------------------------	-------	---------

Zdroj 22: vlastní zpracování, 2015

Celkem bylo ujeté **142 723 km**, v uvažovaném modelu po nahrazení dopravce vozidlem DHL čítají ujeté kilometry **151 555 km⁸**. Celková spotřebovaná nafta byla získána pomocí vzorce, kdy celkové ujeté kilometry byly vyděleny stem, následně byl výsledek vynásoben průměrnou spotřebou a cenou nafty za rok 2014⁹. Měsíčně 40.900 Kč je pro pobočku DHL Express Karlovy Vary kalkulováno pouze pro dvě vozidla, neboť vozidlo, které přiváží a následně rozváží zásilky, spadá těmito náklady pod pobočku Prahy. Výjimku tvoří náklady na naftu tohoto vozidla, které spadají pod pobočku Karlovy Vary¹⁰. Roční náklady na dopravce v roce 2014 byly **96.120 Kč¹¹**. Skutečné celkové náklady činí **3.140.738 Kč** a uvažované by dosáhly **3.563.857 Kč**, což je v procentuálním vyjádření nárůst o **13,47 %¹²**. Lze tedy vykalkulovat skutečné náklady na 1 ujetý kilometr **22 Kč** a uvažované **23,5 Kč**.

V tabulce č. 3 jsou rozepsány dopravní náklady, neboť tyto náklady přímo ovlivňují hodnotu účelové funkce v uvažované situaci nahrazení dopravce vozidlem DHL.

Tab. č. 3: Srovnání skutečných a uvažovaných dopravních nákladů za rok 2014

	Skutečný stav	Uvažovaný stav
Nafta	459.568 Kč	488.007 Kč
Náklady vozidel DHL	981.600 Kč	1.472.400 Kč
Náklady dopravce	96.120 Kč	0 Kč
Celkové dopravní náklady	1.537.228 Kč	1.960.407 Kč

Zdroj 23: vlastní zpracování, 2015

Z tabulky č. 3 lze vidět, že nárůst nafty činí **28.439 Kč**, což je v procentuálním vyjádření **6,19 %**. Při nahrazení dopravce vozidlem DHL vzrostou náklady na vozidla z **981.600 Kč** na **1.472.400 Kč**, což je procentuální nárůst o **50 %**. Celkové dopravní náklady tím vzrostou o **423.119 Kč**. Jedná se o nárůst dopravních nákladů o **27,53 %**.

⁸ 142 723 + 8 832

⁹ (142 723 / 100) * 9,2 * 35; [(142 723 + 8 832) / 100] * 9,2 * 35

¹⁰ 40 900 * 2 * 12; 40 900 * 3 * 12

¹¹ 384,48 * 250

¹² 459 568 + 981 600 + 96 120 + 1 603 450; 488 007 + 1 472 400 + 0 + 1 603 450

S využitím informačního systému se však může situace změnit a při správné optimalizaci tras může dojít k úspoře ujetých kilometrů. Správná optimalizace tras může přinést redukci dopravních nákladů až o 20 %, přitom za dobrý výsledek je považováno snížení dopravních nákladů již v rozmezí 5 až 10 %. [29]

V důsledku tohoto tvrzení lze odmítnout možnost nahrazení dopravce čtvrtým vozidlem DHL při současném počtu požadavků zákazníků a ujetých kilometrů. Vozidlo DHL ujede průměrně **48 452 km** za rok, naproti tomu dopravce pouhých **8 832 km**, proto nahrazení dopravce vozidlem DHL je pro podnik nevýhodné, neboť by neměl pro další vozidlo dostatečné využití. Současný stav 3 firemních vozidel a jednoho dopravce se jeví jako výhodnější.

6.2 Optimalizace tras

K řešení úlohy okružních jízd s časovými okny lze využít exaktní, heuristické nebo metaheuristické metody. V důsledku velkého počtu zákazníků (uzlů) a rozsahu omezujících podmínek bude pro daný problém vhodnější jedna z heuristických nebo metaheuristických metod. Úlohy okružních jízd je nutno řešit denně podle aktuálních požadavků zákazníků. Z tohoto důvodu bude nutno vybrat metodu, která může být reprezentována určitým výpočetním programem.

V kapitolách 3.2 Heuristiky a 3.3 Metaheuristiky byly uvedeny nejznámější z optimalizačních metod, které lze použít k řešení úlohy. Jednou z nejčastěji používaných heuristik je Sweep algoritmus. Hodí se spíše pro kapacitně omezené úlohy okružních jízd, neboť při kladení ještě dalších požadavků kromě omezení kapacity se použití stírací metody komplikuje. Metoda nejbližšího souseda se využívá pro sestavení jedné okružní jízdy, a proto nebude použita.

Je-li nutné úlohu ještě funkčně upravovat, je dobré zvolit algoritmus z řad metaheuristických metod. Metaheuristiky bývají často popsány velmi obecným schématem a lze je tak aplikovat na mnoho různých druhů distribučních úloh. Po zvážení těchto okolností byl vybrán LNS algoritmus, který funguje na principu postupného vylepšování úlohy a je zastoupen volně dostupným výpočetním programem.

6.2.1 Popis výpočetního programu

Zvolený výpočetní program byl vyvinut v programu Microsoft Excel v programovacím jazyce VBA. Program s názvem **VRP Spreadsheet Solver** vyvinul Dr. Güneş Erdoğan

v roce 2013 v Southamptonu. VRP Spreadsheet Solver je volně stažitelný na webových stránkách¹³.

Zvolený program řeší základní okružní a rozvozní úlohy (Vehicle routing problem) použitím LNS algoritmu.

Algoritmus programu VRP Spreadsheet Solver funguje následovně:

1. Pomocí zadaných parametrů (podmínek) se vytvoří počáteční řešení, které vezme v úvahu pouze tvrdá omezení.
2. Program spustí cyklus, který je zastaven po nalezení přijatelného řešení.
3. V cyklu se vyberou méně kvalitní části řešení, které budou upravovány, zbylá část řešení je zmrazena.
4. Vybrané části řešení jsou upravovány a optimalizovány.
5. Pokud je nově nalezené řešení lepší než původní, aktualizuje se.

Metoda Prohledávání velkého okolí nejdříve rozbije původní řešení úlohy a poté jednotlivé části řešení optimalizuje. Pokud již nelze úlohu vylepšit (nebo vypršel poskytnutý čas pro výpočet) bez porušení omezujících podmínek, program ukončuje výpočet a zobrazuje výsledné řešení.

Původní řešení úlohy, tj. způsob rozvozu realizovaný firmou v současnosti, bude zapisováno jako „skutečný stav“, naproti tomu řešení získané programem bude označováno jako „uvažovaný stav“.

V následujícím textu bude přiblížen program VRP Spreadsheet Solver.

Formulář pro zadávání dat

Podobu úvodního formuláře pro zadávání dat lze vidět na obrázku č. 21. Všechny parametry lze vybrat nebo zadat z nabízených možností.

¹³ <http://verolog.deis.unibo.it/vrp-spreadsheet-solver>

Obr. č. 21: Formulář pro zadávání dat

Sequence	Parameter	Value
0.Optional - GIS License	Bing Maps Key	
1.Locations	Number of customers	10
	Pickup / Delivery?	Delivery
2.Distances	Distance / duration computation	Bing Maps
	Bing Maps route type	Fastest - Real Time Traffic
	Average vehicle speed	60
3.Vehicles	Number of vehicle types	1
4.Solution	All vehicles must be used?	No
	Vehicles must return to the depot	Yes
	Time window type	Soft
	Work start time	0:00
	Driving time limit	23:59
	Working time limit	8:00
	Distance limit	500
5.Optional - Visualization	Visualization background	Bing Maps
	Location labels	Location IDs
6.Solver	Warm start?	No
	CPU time limit (seconds)	80

Zdroj 24: program VRP Spreadsheet Solver

0. Optional – GIS License

- **Bing Maps Key** – Zde lze zadat klíč, který uživatel obdrží při registraci na *Bing Maps*¹⁴. Tento klíč umožní spárovat jednotlivé adresy s jejich GPS polohou pomocí Bing Maps. Uživatel tak nemusí ručně vyhledávat jednotlivé adresy (uzly) a stačí mu jen zkopírovat adresy do programu.

1. Locations

- **Number of customers** – U prvního parametru lze zvolit počet zákazníků. VRP Spreadsheet Solver je schopen zvládnout spočítat počet zákazníků v rozsahu 10 až 200.

¹⁴ Bing Maps je webová mapová služba poskytovaná jako součást Microsoft Bing.

- **Pickup/Delivery** – Zde lze nastavit, zda se jedná o vyzvedávání (pickup) nebo doručování (delivery) zásilek.

2. Distances

- **Distance/duration computation** – Parametr určuje, jaká vzdálenost bude použita pro matici vzdáleností. Pro klasickou silniční vzdálenost mezi dvěma místy se používá možnost Bing Maps.
- **Bing Maps route type** – Určuje, zda program bude hledat trasu nejkratší nebo nejrychlejší.
- **Avarage vehicle speed** – Udává průměrnou rychlost vozidla.

3. Vehicles

- **Number of vehicle types** – Udává počet druhů vozidel, která budou použita k řešení problémů. Pro homogenní vozový park = 1. Pro heterogenní vozový park > 1.

4. Solution

- **All vehicles must be used** – Parametr se ptá, zda musí být použita všechna vozidla.
- **Vehicles must return to the depot** – Určuje, jestli vozidla končí svoji okružní jízdu ve středisku.
- **Time window type** – Dodržování časových oken, lze zvolit mezi možnostmi *soft* nebo *hard*, které jsou vysvětleny v podkapitole 2.2.2 Úloha okružních jízd s časovými okny.
- **Work start time** – Kdy začíná pracovní doba.
- **Driving time limit** – Jak dlouho může vozidlo jezdit.
- **Working time limit** – Jak dlouho může řidič obsluhovat zákazníky (vykládat nebo nakládat zásilky).
- **Distance limit** – Omezení, kolik kilometrů může vozidlo ujet během pracovní doby.

5. Optional – Visualization

- **Visualization background** – Určuje, v jakém formátu bude řešení prezentováno.
- **Location labels** – Označení uzlů.

6. Solver

- **Warm start** – Pokud je zvolena možnost „yes“, program vezme původní řešení jako startovací bod a bude jej následně upravovat.
- **CPU time limit (seconds)** – Omezuje čas, který program dostane k vyřešení úlohy. Doporučený limit je stanoven na 80 sekund.

Formulář pro zadávání lokací

Na obrázku č. 22 je zobrazen následující krok výpočetního programu a to formulář pro zadávání lokací.

Obr. č. 22: Formulář pro zadávání lokací

Location ID	Name	Address	Latitude (y)	Longitude (x)	Time window start	Time window end	Must be visited?	Service time
0	Depot				00:00	23:59	Starting location	0:00
1	Customer 1				00:00	23:59	Must be visited	0:00
2	Customer 2				00:00	23:59	Must be visited	0:00
3	Customer 3				00:00	23:59	Must be visited	0:00
4	Customer 4				00:00	23:59	Must be visited	0:00
5	Customer 5				00:00	23:59	Must be visited	0:00
6	Customer 6				00:00	23:59	Must be visited	0:00
7	Customer 7				00:00	23:59	Must be visited	0:00
8	Customer 8				00:00	23:59	Must be visited	0:00
9	Customer 9				00:00	23:59	Must be visited	0:00
10	Customer 10				00:00	23:59	Must be visited	0:00

Zdroj 25: program VRP Spreadsheet Solver

Do formuláře zadáme adresu a program následně automaticky zjistí (díky Bing Maps key) zeměpisnou délku a šířku jednotlivých zákazníků. Poté se zvolí časové intervaly pro jednotlivé zákazníky. Další parametr určuje, zda každý zákazník musí nebo nemusí být obslužen. Posledním ukazatelem je požadovaná doba obsluhy jednotlivých uzlů.

V následujících krocích je spočítána matice časů a vzdáleností (jednotkou vzdálenosti je kilometr) mezi jednotlivými uzly pomocí webové služby *Bing Maps*. Poté se určí počet dopravních vozidel obsluhujících zákazníky. Následně je vypočítáno přípustné řešení, které je textově a vizuálně prezentováno.

6.2.2 Vyhodnocení optimalizace tras za jeden den

V této kapitole bude prezentováno použití programu VRP Spreadsheet Solver za jeden den. Lze si tak vytvořit ucelenou představu, jak vznikaly souhrnné výsledky za sledované období. Byl zvolen den 09.12.2014, jedná se o jeden z nejnákladnějších a časově nejvytíženějších dnů ve sledovaném období. Nejprve bude představen dosavadní způsob rozložení tras pro zvolený den. Poté bude demonstrováno použití vstupních dat a

výsledné řešení za použití prezentovaného programu pro řešení LNS algoritmem. Nakonec dojde ke komparaci dosavadního a nového řešení.

Dosavadní způsob rozložení tras

Tabulka č. 4 informuje o jízdách, které se reálně uskutečnily 09.12.2014. Tabulka je seřazena podle pořadí, v jakém byla jednotlivá města obsluhována daným vozidlem. V každém městě se nacházel alespoň jeden požadavek zákazníka (uzel).

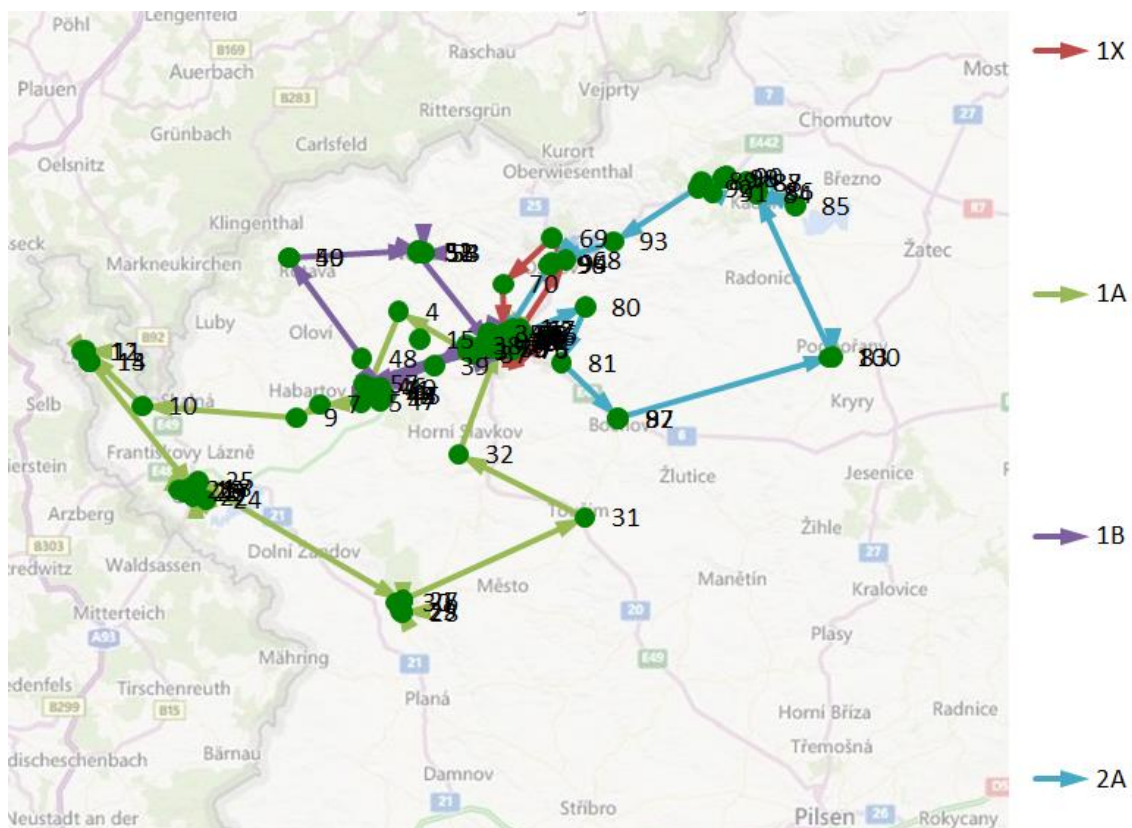
Tab. č. 4: Dosavadní způsob rozložení tras 09.12.2014 – města

1A	1B	2A	1X
Karlovy Vary	Karlovy Vary	Karlovy Vary	Karlovy Vary
Vřesová	Chodov	Kyselka	Ostrov
Sokolov	Nové Sedlo	Bochov	Hroznětín
Bukovany	Sokolov	Podbořany	Karlovy Vary
Hazlov	Lomnice	Kadaň	
Aš	Kraslice	Vernéřov	
Cheb	Nejdek	Klášterec nad Ohří	
Mariánské Lázně	Karlovy Vary	Stráž nad Ohří	
Toužim		Ostrov	
Krásno		Karlovy Vary	
Karlovy Vary			

Zdroj 26: vlastní zpracování, 2015

Pro lepší demonstraci příkladu je na následujícím obrázku graficky zpracováno řešení dosavadního rozložení tras.

Obr. č. 23: Dosavadní způsob rozložení tras 09.12.2014



Zdroj 27: VRP Spreadsheet Solver, Bing Maps, 2015

Tabulka č. 5 ukazuje dosavadní způsob rozložení ujetých kilometrů vozidel DHL a odpracovaných hodin dopravce.

Tab. č. 5: Dosavadní způsob rozvržení tras 09.12.2014 – náklady

Trasa	1A	1B	2A	1X
Počet kilometrů/hodin	216 km	153 km	200 km	4,43 h
Náklady	4.752 Kč	3.366 Kč	4.400 Kč	1.107,5 Kč

Zdroj 28: vlastní zpracování, 2015

Sloupce označují jednotlivé trasy a řádky informují o počtu ujetých kilometrů/odpracovaných hodinách a o nákladech jednotlivých tras.

Vstupní data pro zvolený den

Do program VRP Spreadsheet Solver byla zadána vstupní data ze dne 09. 12. Tuto inicializaci lze vidět na obrázku č. 24.

Obr. č. 24: Ukázka vstupních hodnot pro 09.12.2014 v programu VRP Spreadsheet Solver

Sequence	Parameter	Value
0.Optional - GIS License	Bing Maps Key	AtqqTY-nGQKCQ5PtrkOnvF
1.Locations	Number of customers	100
	Pickup / Delivery?	Delivery
2.Distances	Distance / duration computation	Bing Maps
	Bing Maps route type	Fastest - Real Time Traffic
	Average vehicle speed	
3.Vehicles	Number of vehicle types	1
4.Solution	All vehicles must be used?	No
	Vehicles must return to the depot	Yes
	Time window type	Hard
	Work start time	11:20
	Driving time limit	5:00
	Working time limit	6:00
	Distance limit	500
5.Optional - Visualization	Visualization background	Bing Maps
	Location labels	Location IDs
6.Solver	Warm start?	No
	CPU time limit (seconds)	80

Zdroj 29: VRP Spreadsheet Solver, 2015

Tento den bylo nutno uspokojit požadavky 100 zákazníků. Hodnota doručování nebo vyzvedávání zásilek není důležitá, neboť se neuvažuje omezená kapacita vozidla. K získávání vzdáleností se využívají Bing mapy, a proto v parametru „Distance“ je zvolena položka *Bing Maps*. Jako další se požaduje nejrychlejší, nikoliv nejkratší trasa. Parametr průměrná rychlost vozidla není pro možnost *Bing Maps* k dispozici, jelikož tato aplikace počítá s nejrychlejším možným projetím trasy v závislosti na reálném provozu a skutečném stavu komunikace. V parametru vozidel se uvažuje homogenní vozový park, proto je hodnota jedna. Dále nemusejí být použita všechna vozidla, neboť cílem je náklady snížit, proto je zvolena možnost ne. Všechny okružní jízdy musí začínat a končit ve středisku. Všichni zákazníci musí být obslouženi v požadovaném časovém intervalu, proto možnost porušování časových oken (soft) nelze použít.

Okružní jízda každého vozidla začala v 11:20 hodin. Průměrná vzdálenost, kterou vozidla denně ujedou, je kolem 200 km, proto je limit 500 km dostačující. K vizualizaci je použita webová služba Bing Maps. Jednotlivé uzly jsou pro lepší orientaci označeny čísly. U parametru „Warm start“ je zvolena možnost „ne“, neboť není žádoucí upravovat dosavadní rozložení tras, záměrem práce je přijít s jejich novým rozložením. Doba výpočtu 80 sekund je stanovena jako doporučená doba k vyřešení úlohy. Tato doba je přijatelná, neboť jak bylo uvedeno v podkapitole 2.2.2 Úlohy okružních jízd, je v praxi žádoucí vyřešit úlohu během několika minut.

V další části jsou zadány adresy požadavků zákazníků získaných z podnikového informačního systému a pomocí Bing Maps je dopočítána jejich zeměpisná délka a šířka. Doba vyložení elementů je stanovena na základě dat získaných z monitorovacího systému firmy DHL. Průměrná doba vyložení elementu byla stanovena na 5 minut a všichni zákazníci musí být bezpodmínečně obslouženi.

K lepšímu pochopení a objasnění časových oken byli vybráni a popsáni 3 zákazníci (viz tabulka č. 6) ze dne 09.12.2014. Zákazník 2 má dáno časové okno pracovní dobou kompletu, která byla od 11:20 do 17:00 hodin. Zákazníkovi 5 byla doručována zásilka typu TIME DEFINITE, a proto musel být obsloužen do 12:00 hodin. U zákazníka 35 se jednalo o vyzvednutí zásilky, která byla připravena od 12:00 a musela být vyzvednuta do 15:00 hodin, kdy se firma zavírala.

Tab. č. 6: Formulář pro zadávání lokací

Název	Adresa	Zeměpisná šířka	Zeměpisná délka	Začátek	Konec
Zákazník 2	Zeyerova 897, Karlovy Vary	50,2295609	12,8688898	11:20	17:00
Zákazník 5	Chebská 53, Sokolov	50,1661415	12,6359701	11:20	12:00
Zákazník 35	Závodu míru 3, Karlovy Vary	50,2374306	12,8406601	12:00	15:00

Zdroj 30: vlastní zpracování dle VRP Spreadsheet Solver, 2015

Kompletní formulář pro zadávání lokací ze dne 09.12.2014 lze najít v příloze B.

Doručení (vyzvednutí) zásilky v předem stanovený den a dodržování časových oken je pro firmu velice důležité, jelikož vede ke spokojenosti zákazníka. Zákaznická věrnost

(podkapitola 4.6) vede k růstu příjmů, a proto se společnost DHL obzvláště zaměřuje na dodržování termínů.

V následujícím kroku byla vypočítána matice vzdáleností a času mezi jednotlivými uzly. Ukázkou vzdáleností a časů mezi jednotlivými uzly lze vidět v tabulce č. 7.

Tab. č. 7: Ukázka vzdáleností a časů mezi jednotlivými uzly v programu VRP Spreadsheet Solver

Od	Do	Vzdálenost (km)	Doba
Středisko	Středisko	0,00	0:00
Středisko	Zákazník 1	4,308	0:09
Středisko	Zákazník 2	0,954	0:02

Zdroj 31: vlastní zpracování dle VRP Spreadsheet Solver, 2015

Vzdálenost mezi Střediskem a prvním zákazníkem činí 4,308 km. K projetí úseku, který propojuje uzly Středisko a Zákazník 1, je potřeba 9 minut.

Nové navrhované rozložení tras

Nakonec bylo programu VRP Spreadsheet Solver poskytnuto požadovaných 80 sekund k nalezení řešení. Nově nalezený způsob rozložení tras lze vidět v tabulce č. 8.

Tab. č. 8: Nové navrhované rozložení tras pro 09.12.2014 - města

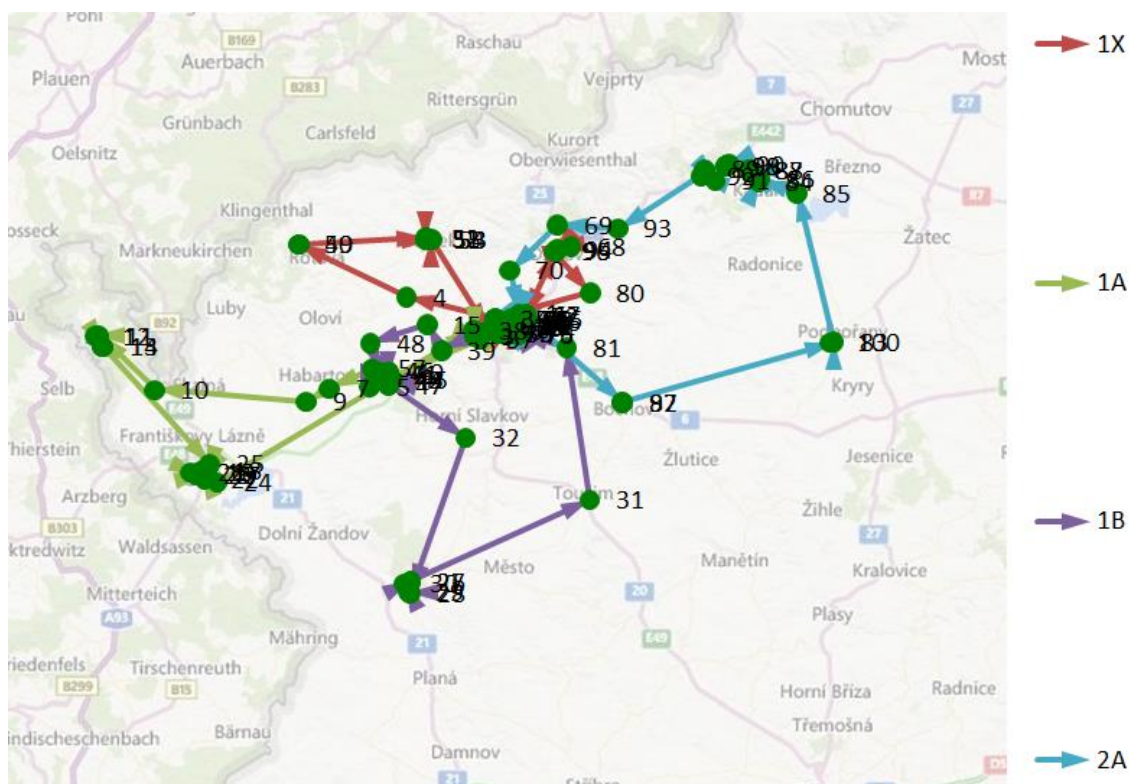
1A	1B	2A	1X
Karlovy Vary	Karlovy Vary	Karlovy Vary	Karlovy Vary
Sokolov	Chodov	Bochov	Ostrov
Bukovany	Lomnice	Podbořany	Kyselka
Hazlov	Sokolov	Kadaň	Vřesová
Aš	Krásno	Klášterec nad Ohří	Kraslice
Cheb	Mariánské Lázně	Vernéřov	Nejdek
Karlovy Vary	Toužim	Stráž nad Ohří	Karlovy Vary
	Bochov	Ostrov	
	Karlovy Vary	Hroznětín	
		Karlovy Vary	

Zdroj 32: vlastní zpracování, 2015

Už na první pohled lze zpozorovat změny v obsluhovaném území vozidel a v pořadí, v jakém byla jednotlivá města obsluhována. K nejmenší úpravě obsluhovaného území došlo u vozidla 2A.

Grafická prezentace nového rozložení tras je zobrazena na následujícím obrázku.

Obr. č. 25: Nové navrhované rozložení tras pro 09.12.2014



Zdroj 33: VRP Spreadsheet Solver, Bing Maps, 2015

Kompletní výsledné řešení i s jednotlivými časy obsluhy zákazníků lze najít v příloze C.

Tabulka č. 9 ukazuje nový způsob rozložení ujetých kilometrů vozidel DHL a odpracovaných hodin dopravce.

Tab. č. 9: Nové způsob rozložení tras pro 09.12.2014 – náklady

Trasa	1A	1B	2A	1X
Počet kilometrů/hodin	173 km	146 km	165 km	5,45 h
Náklady	3.806 Kč	3.212 Kč	3.630 Kč	1.362,5 Kč

Zdroj 34: vlastní zpracování, 2015

Porovnání výsledků za zvolený den

Z tabulky č. 10 lze porovnat uvažovaný stav se skutečným dne 09.12.2014. Díky provedeným změnám došlo k úspoře celkových nákladů z **13.625,5 Kč** na **12.010,5 Kč**, to je pokles o **11,85 %**.

Tab. č. 10: Srovnání dosavadního a uvažovaného stavu pro 09.12.2014

	Skutečný stav	Nový stav
Počet ujetých kilometrů vozidel DHL (km)	569	484
Počet hodin dopravce (h)	4,43	5,45
Náklady za vozidla DHL (Kč)	12.518	10.648
Náklady za dopravce (Kč)	1.107,5	1.362,5
Náklady celkem (Kč)	13.625,5	12.010,5

Zdroj 35: vlastní zpracování, 2015

Celkové náklady stávající varianty 13.625,5 Kč

Celkové náklady nové varianty 12.010,5 Kč

Úspora nákladů 1.615 Kč

Z výpočtu je zřejmé, že k úspoře došlo díky efektivnějšímu využití dopravce. I když uvažované náklady na dopravce ve zvolený den jsou vyšší než skutečné náklady, dopravce díky optimalizaci tras dokázal obsloužit větší počet zákazníků. Úspora na ostatních trasách je způsobena především efektivnějším rozvržením obslužení jednotlivých uzlů ve městech.

7 Porovnání výsledků a jejich formulace

V této kapitole budou představeny sumární výsledky za jednotlivé dny ve sledovaném období. Výpočet jednotlivých dnů byl prováděn stejným způsobem, jak je znázorněno v podkapitole 6.2.2 Vyhodnocení optimalizace tras za jeden den.

Následující tabulky poskytují přehled o tom, jak se liší skutečný stav rozložení tras se stavem získaným řešením úlohy za použití programu využívajícího LNS algoritmus. V jednotlivých dnech sledovaného období se nezměnil počet využitých vozidel. Všechna řešení v následujících tabulkách jsou přípustná a splňují omezující podmínky dané úlohy. Původní řešení distribuční úlohy je zapisováno jako „skutečný stav“, naproti tomu řešení získané programem je označováno jako „uvažovaný stav“.

Tabulka č. 11 porovnává skutečné ujeté kilometry vozidel DHL a odpracované hodiny dopravce s nově vypočtenými (uvažovanými). Obsahuje datum, aby bylo patrné, o jaký den se jedná, počet ujetých kilometrů a pracovní dobu dopravce. Poslední řádek sumarizuje jednotlivé výsledky.

Tab. č. 11: Porovnání výsledků za sledované období

Datum	Ujeté kilometry vozidel DHL (km)		Odpracované hodiny dopravce (h)	
	Skutečné	Uvažované	Skutečné	Uvažované
01.12.	524	383	3,65	4,68
02.12.	521	451	0,00	0,00
03.12.	537	498	3,20	3,58
04.12.	509	437	4,55	5,17
05.12.	492	436	3,92	5,32
08.12.	603	425	3,18	4,78
09.12.	569	484	4,43	5,45
10.12.	510	493	3,73	4,25
11.12.	599	491	3,57	5,70
12.12.	570	458	3,70	4,62
15.12.	524	493	2,28	5,00
16.12.	502	433	0,00	0,00
17.12.	564	488	3,97	5,08
18.12.	583	446	3,00	4,08
19.12.	553	535	3,87	5,67

22.12.	553	402	4,00	5,33
23.12.	529	426	2,28	5,62
29.12.	468	424	5,40	5,05
30.12.	441	369	0,00	0,00
31.12.	283	267	0,00	0,00
Celkem	10 434	8 839	58,73	79,38

Zdroj 36: vlastní zpracování, 2015

Za sledované období došlo k úspoře kilometrů z **10 434 km** na **8 839 km** a k nárůstu využití dopravce z **58,73 h** na **79,38 h**.

V následující tabulce lze porovnat nejdůležitější ukazatel – nově navržené a skutečné náklady. Třetí a čtvrtý sloupec obsahuje rozdíly v nákladech a jejich procentuální vyjádření. Celková procentuální úspora je počítána z celkového počtu skutečných a uvažovaných nákladů¹⁵.

Tab. č. 12: Porovnání nákladů za sledované období

Datum	Skutečné náklady (Kč)	Uvažované náklady (Kč)	Rozdíl v nákladech (Kč)	Úspora (v %)
01.12.	12.440,5	9.596	2.844,5	22,86
02.12.	11.462	9.922	1.540	13,44
03.12.	12.614	11.851	763	6,05
04.12.	12.335,5	10.906,5	1.429	11,58
05.12.	11.804	10.922	882	7,47
08.12.	14.061	10.545	3.516	25,00
09.12.	13.625,5	12.010,5	1.615	11,85
10.12.	12.152,5	11.908,5	244	2,00
11.12.	14.070,5	12.227	1.843,5	13,10
12.12.	13.465	11.231	2.234	16,59
15.12.	12.098	12.096	2	0,02
16.12.	11.044	9.526	1.518	13,75
17.12.	13.400,5	12.006	1.394,5	10,41
18.12.	13.576	10.832	2.744	20,21
19.12.	13.133,5	13.187,5	-54	-0,41

¹⁵ Není možné počítat celkovou procentuální úsporu z aritmetického průměru jednotlivých dní, jedná se o tzv. *Simpsonův paradox*.

22.12.	13.166	10.176,5	2.989,5	22,71
23.12.	12.208	10.777	1.431	11,72
29.12.	11.646	10.590,5	1.055,5	9,06
30.12.	9.702	8.118	1.584	16,33
31.12.	6.226	5.874	352	5,65
Celkem	244.230,5	214.303	29.927,5	12,25

Zdroj 37: vlastní zpracování, 2015

Za období 01.12.2014 – 31.12.2014 došlo k úspoře nákladů **29.927,5 Kč**, což je v procentuálním vyjádření **12,25 %**.

Z uvedené tabulky vyplývá, že při využití vhodného softwarového nástroje pro plánování tras by podnik mohl ušetřit měsíčně až 29.927,5 Kč.

V jednom případě (19.12.) bylo nalezeno LNS algoritmem horší řešení, než bylo řešení skutečné. Počet použitých vozidel zůstal v každém dni nezměněn.

Shrnutí výsledků za sledované období si lze prohlédnout v tabulce č. 13.

Tab. č. 13: Sumarizace výsledků za sledované období

	Skutečný stav	Uvažovaný stav	Rozdíl	Úspora v %
Odpracovaná doba dopravy (h)	58,73	79,38	-20,65	-35,16
Náklady na dopravce (Kč)	14.682,5	19.845	-5.162,5	-35,16
Ujeté kilometry vozidel DHL (km)	10 434	8 839	1 595	15,29
Náklady na vozidla DHL (Kč)	229.548	194.458	35.090	15,29
Náklady celkem (Kč)	244.230,5	214.303	29.927,5	12,25

Zdroj 38: vlastní zpracování, 2015

Z výše uvedené tabulky je zřejmé, že k úsporám dochází při větším využití dopravce. Došlo k nárůstu odpracovaných hodin dopravce o **35,16 %**. Díky tomu lze dosáhnout úspory **15,29 %** na ujetých kilometrech vozidel DHL, tj. **35.090 Kč**.

V důsledku toho je velmi důležitá efektivita dopravce v současném a uvažovaném rozložení tras. Lze ji porovnat v tabulce č. 14.

Tab. č. 14: Efektivita dopravce ve skutečném a uvažovaném rozložení tras

12/2014	Skutečný stav	Uvažovaný stav	Rozdíl	Úspora v %
Celkové náklady (Kč)	14.682,5	19.845	- 5.162,5	-35,16
Počet odpracovaných hodin (h)	58,73	79,38	-20,65	-35,16
Počet obslužených zákazníků (Q)	259	369	110	42,47
Index Kč/h	250	250	0,00	0,00
Index Q/h	4,41	4,64	0,23	5,22
Index Kč/Q	56,69	53,78	2,91	5,13

Zdroj 39: vlastní zpracování, 2015

Z tabulky je zřejmé, že efektivita dopravce při novém rozložení tras dosahuje znatelně lepších hodnot. V nově nalezeném řešení je dopravce schopen obsloužit **4,64 zákazníků za hodinu**, což je nárůst o **5,22 %** oproti současnému stavu. V peněžním vyjádření dopravce stojí jedno obslužení zákazníka o **2,91 Kč** méně, což je v procentuálním vyjádření úspora **5,13 %**.

Tyto pozitivní efekty vyplývají z použití LNS algoritmu, který byl vybrán pro daný problém.

Pozitivní efekty tohoto algoritmu vyplývají:

- z efektivnějšího využití externího dopravce,
- ze snížení počtu ujetých kilometrů vozidel DHL,
- z toho, že výsledné řešení pro daný den je možno získat díky využití informačního systému za několik minut.

Na závěr je nutno podotknout, že uvedená metoda patří do skupiny metaheuristik. Znamená to, že řešení nemusí být optimální, ale může se jednat a ve většině případů se jedná o řešení suboptimální, které se optimálnímu řešení přibližuje. Potvrzuje to i skutečnost, že v jednom dni byla výsledná úspora záporná. Jak daleko se nachází výsledné řešení od optimálního, je také dáno tím, kolik času je programu VRP Spreadsheet Solver poskytnuto k vyřešení okružního problému.

Je nutné si uvědomit, že jednotlivé trasy se každý den měnily a přizpůsobovaly požadavkům zákazníků. Proto by v reálné situaci bylo důležité, aby kurýři znali

kompletně celé obsluhované území DHL Express Karlovy Vary a mohli tak v rychlosti reagovat na změny trasy v jednotlivých dnech.

V současné době se DHL Express Karlovy Vary rozrůstá o další vůz, který by měl obsluhovat Chomutov. Ostatní trasy se nebudou měnit a obsluhované území se jen rozroste o další route. Z výše uvedených výsledků je zřejmé, že by bylo prospěšné pro firmu, kdyby investovala do některého z dostupných geografických softwarových nástrojů na trhu.

V důsledku toho, že se vozový park firmy rozrůstá o další vůz, by tak mohlo dojít optimalizací daných tras k ještě větší úspoře, než je prezentováno v této práci.

Závěr

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo minimalizovat logistické náklady vybrané firmy použitím jiného způsobu sestavování denních tras rozvozu zásilek zákazníkům.

V úvodu práce byla věnována pozornost teoretickým modelům zabývajícím se problematikou sestavování okružních a rozvozních úloh a přístupy k jejich řešení. Byla zde provedena klasifikace přepravních úloh a jejich následné dělení podle charakteristických znaků.

Úkolem práce bylo aplikování teoretických poznatků na praktickém modelu přepravní úlohy. K tomuto úkolu byla vybrána firma DHL Express (Czech Republic), s. r. o. Jedná se o společnost patřící německé Deutsche Post World Net. DHL je firmou s dlouholetou tradicí poskytující kompletní služby v mezinárodní přepravě, expresní, letecké, silniční, námořní a železniční dopravě.

Veškeré potřebné informace o denních požadavcích zákazníků a jízdách jednotlivých vozů za zvolené období 01.12. – 31.12.2014 byly vygenerovány z vnitropodnikového informačního systému. Na základě teoretických poznatků bylo možno definovaný problém připodobnit k úloze okružních jízd s časovými okny a formulovat charakteristické znaky (omezující podmínky) přepravní úlohy.

V dalších částech byl jako první zpracován dílčí cíl práce – zhodnocení přínosu čtvrtého vozidla ve společnosti DHL. V prvním kroku došlo ke srovnání nákladů za stejné obsluhované území v roce 2014. Dopravní náklady v současném stavu činily 1.545.770 Kč, zatímco v uvažovaném stavu 1.968.889 Kč, to znamená nárůst o víc než 27 %. Zde je nutno podotknout, že při správné optimalizaci tras lze dosáhnout úspory čítající až 20 %. V důsledku tohoto tvrzení se nahrazení dopravce čtvrtým vozidlem DHL nedoporučuje, neboť by pro něj nebylo využítí při současném počtu zákazníků.

Dalším bodem byla optimalizace tras. Zde bylo nutno vybrat vhodnou metodu k řešení daného problému. Vycházelo se z výčtu metod uvedených v kapitolách 3.1 Exaktní metody, 3.2 Heuristiky a 3.3 Metaheuristiky. Exaktní metody přinášejí sice optimální řešení, ale jsou vhodné pro menší distribuční modely s desítkami uzlů. V důsledku velkého počtu uzlů v jednotlivých dnech bylo proto nutno vybrat jednu z heuristických nebo metaheuristických metod, které většinou přinášejí suboptimální řešení. Výhodou těchto metod je poměrně krátký čas potřebný k vyřešení okružní úlohy. Na základě

náročnosti dané úlohy a zadaných podmínek byl zvolen LNS algoritmus, který lze snadno aplikovat na úlohu okružních jízd s časovými okny.

Pro plánovanou optimalizaci okružní úlohy byl zvolen program VRP Spreadsheet Solver. Tento výpočetní program řešící úlohy LNS algoritmem je volně stažitelný na webových stránkách a slouží jako názorná ukázka, jak by měly vypadat sofistikovanější informační systémy řešící optimalizaci tras. VRP Spreadsheet Solver byl názorně představen a byly detailně vysvětleny formuláře pro zadávání dat a lokací.

Pro lepší pochopení byl v programu demonstrován a vizualizován jeden vybraný den (09.12.2014). V prvním kroku byl zobrazen současný způsob rozložení tras. Poté byla prezentována vstupní data potřebná k vyřešení úlohy. Na závěr byly porovnány výsledky. Pro zvolený den došlo k úspoře 1.615 Kč, což činí 11,85 %.

V poslední kapitole byla provedena komparace souhrnných výsledků za období 01.12. – 31.12.2014. Za sledované období došlo k úspoře 1 595 kilometrů a k nárůstu odpracované doby dopravce o 20,65 h. Celkově došlo k úspoře nákladů z 244.230,5 Kč na 214.303 Kč, to znamená úsporu 12,25 %. Na závěr celé práce byla porovnána efektivita dopravce v současném a uvažovaném způsobu řešení distribuční úlohy.

Na základě výše uvedeného textu lze konstatovat, že **byl splněn primární cíl a z něho vyplývající dílčí cíle**. Používáním výpočetního programu pro denní sestavování tras by došlo ke značné úspoře nákladů.

K úspoře nákladů dochází především díky:

- efektivnějšímu využití dopravce,
- celkové úspoře ujetých kilometrů,
- menším postojům vozidel u jednotlivých zákazníků,
- rychlým výpočtům.

Na základě výsledků lze deklarovat, že tato bakalářská práce poskytuje společnosti alternativu a řešení pro každodenní sestavování tras pro každé vozidlo.

SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK

Tab. č. 1: Vstupní parametry za rok 2014	44
Tab. č. 2: Srovnání skutečných a uvažovaných nákladů za rok 2014	44
Tab. č. 3: Srovnání skutečných a uvažovaných dopravních nákladů za rok 2014..	45
Tab. č. 4: Dosavadní způsob rozložení tras 09.12.2014 – města.....	51
Tab. č. 5: Dosavadní způsob rozvržení tras 09.12.2014 – náklady	52
Tab. č. 6: Formulář pro zadávání lokací	54
Tab. č. 7: Ukázka vzdáleností a časů mezi jednotlivými uzly v programu VRP Spreadsheet Solver	55
Tab. č. 8: Nové navrhované rozložení tras pro 09.12.2014 - města	55
Tab. č. 9: Nové způsob rozložení tras pro 09.12.2014 – náklady	56
Tab. č. 10: Srovnání dosavadního a uvažovaného stavu pro 09.12.2014.....	57
Tab. č. 11: Porovnání výsledků za sledované období.....	58
Tab. č. 12: Porovnání nákladů za sledované období	59
Tab. č. 13: Sumarizace výsledků za sledované období.....	60
Tab. č. 14: Efektivita dopravce ve skutečném a uvažovaném rozložení tras	61
Tab. č. 15: Počet ujetých kilometrů vozidel DHL od 1. 12. do 31. 12. 2014.....	73
Tab. č. 16: Pracovní doba a ujeté kilometry dopravce 1X od 1. 12. do 31. 12. 2014	74

SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obr. č. 1: Ukázka modelu dopravní sítě	14
Obr. č. 2: Dělení okružních a rozvozních úloh	16
Obr. č. 3: Problém obchodního cestujícího	17
Obr. č. 4: Řešení problému obchodního cestujícího.....	17
Obr. č. 5: Grafické znázornění kapacitně omezené úlohy okružních jízd.....	19
Obr. č. 6: Grafické znázornění úlohy okružních jízd s rozvozem a zpátečním svozem.....	20
Obr. č. 7: Grafické znázornění úlohy okružních jízd s časovými okny	20
Obr. č. 8: Výchozí a výsledné řešení úlohy Clarke-Wrightovou metodou	26
Obr. č. 9: Počáteční řešení úlohy	27
Obr. č. 10: Lin-Kernighanova metoda – příklad výměny hran	28
Obr. č. 11: Princip dekompozice dopravní sítě podle stíracího algoritmu	29
Obr. č. 12: Princip metody tvorby primární trasy a její dekompozice na jednotlivé okružní jízdy	30
Obr. č. 13: Příklad rozbíjení a opravování úlohy LNS algoritmem	32
Obr. č. 14: Struktura společnosti	35
Obr. č. 15: Struktura DHL Česká republika	36
Obr. č. 16: Globální produktové portfolio DHL Express	37
Obr. č. 17: Ukázka nákladů zahrnovaných do sazby DHL Express	38
Obr. č. 18: Pravidlo 1 – 10 – 100	39
Obr. č. 19: Růst příjmu	40
Obr. č. 20: Současné rozdělení tras v DHL Express Karlovy Vary	42
Obr. č. 21: Formulář pro zadávání dat	48
Obr. č. 22: Formulář pro zadávání lokací	50
Obr. č. 23: Dosavadní způsob rozložení tras 09. 12. 2014	52

Obr. č. 24: Ukázka vstupních hodnot pro 09. 12. 2014 v programu VRP Spreadsheet Solver	53
Obr. č. 25: Nové navrhované rozložení tras pro 09. 12. 2014	56
Obr. č. 26: Formulář pro zadávání lokací ze dne 9. 12. 2014 část první	75
Obr. č. 27: Formulář pro zadávání lokací ze dne 9. 12. 2014 část druhá	76
Obr. č. 28: Formulář pro zadávání lokací ze dne 9. 12. 2014 část třetí	77
Obr. č. 29: Trasy sestavené programem VRP Spreadsheet Solver pro 09. 12. 2014 část první	79
Obr. č. 30: Trasy sestavené programem VRP Spreadsheet Solver 09. 12. 2014 část druhá.....	80

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Apod.	A podobně
Atd.	A tak dále
GATT	General Agreement on Tariffs and Trade
Tj.	To je
Tzv.	Takzvaný
VBA	Visual Basic for Applications
VRP	Vehicle routing problem

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. **DRAHOTSKÝ, Ivo a ŘEZNÍČEK, Bohumil.** *Logistika: procesy a jejich řízení.* Vyd. 1. Brno: Computer Press, 2003. Str. 334. ISBN 80-7226-521-0.
2. **SVOBODA, Vladimír.** *Doprava jako součást logistických systémů.* Vyd. 1. Praha: Radix, 2006. Str. 148. ISBN 80-86031-68-3.
3. **LAMBERT, Douglas M., ELLRAM, Lisa M. a STOCK, James R.** *Logistika.* Vyd. 1. Praha: Computer Press, 2000. Str. 589. ISBN 80-7226-221-1.
4. **PASTOR, Otto a TUZAR, Antonín.** *Teorie dopravních systémů.* Vyd. 1. Praha: ASPI, 2007. Str. 307. ISBN 978-80-7357-285-2.
5. **SIXTA, Josef a MAČÁT, Václav.** *Logistika - teorie a praxe.* Vyd. 1. Brno: CP Books, a. s., 2005. Str. 315. ISBN 80-251-0573-3.
6. **CENEK, Petr.** Modelování procesů na dopravních sítích. *ATP Journal.* [Online] str. 98-101, 9 2003. [Citace: 10. 10 2014.] Dostupné z: http://www.atpjournalsk/buxus/docs/atp-2003-09-98_101.pdf. ISSN 1336-233X.
7. **PLESNÍK, Ján.** *Grafové algoritmy.* Vyd. 1. Bratislava: VEDA, 1983. Str. 343.
8. **ČERNÝ, Ján a KLUVÁNEK, Petr.** *Základy matematickej teórie dopravy.* Vyd. 1. Bratislava: Veda, 1991. Str. 279. ISBN 80-224-0099-8.
9. **FIALA, Petr.** *Operační výzkum - nové trendy.* Vyd. 1. Praha: Professional Publishing, 2010. Str. 239. ISBN 978-80-7431-036-2.
10. **SKÝVA, Ladislav, JANÁČEK, Jaroslav a CENEK, Petr.** *Energeticky optimální řízení dopravních systémů.* Vyd. 1. Praha: NADAS, 1987. Str. 288.
11. **JABLONSKÝ, Josef.** *Operační výzkum: kvantitativní modely pro ekonomické rozhodování.* Vyd. 3. Praha: Professional Publishing, 2007. Str. 323. ISBN 978-80-86946-44-3.
12. **KOT, Martin.** *Katedra informatiky Fakulta elektrotechniky a informatiky, VŠB - TUO.* [Online] [Citace: 11. 2 2015.] Dostupné z: www.cs.vsb.cz/kot/soubory_animaci/a-tsp_approx.pdf.

13. **BROŽOVÁ, Helena a HOUŠKA, Milan.** *Základní metody operační analýzy*. Vyd. 1. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2008. ISBN 978-80-213-0951-7.
14. **ŠIROKÝ, Vladimír a SLIVONĚ, Miroslav.** Optimalizace svozu a rozvozu kusových zásilek. *Perner's contacts*. [Online] Číslo I., str. 255-269, 4 2010. [Citace: 7. 2 2015.] Dostupné z: http://pernerscontacts.upce.cz/17_2010/Siroky.pdf. ISSN 1801-674X.
15. **DÍAZ, Bernabé Dorronsoro.** *The VRP Web*. [Online] 11 2006. [Citace: 19. 3 2015.] Dostupné z: <http://www.bernabe.dorronsoro.es/vrp/>.
16. **NOVÁK, Radek et al.** *Přepravní, zásilatelské a logistické služby*. Vyd. 1. Praha: Wolters Kluwer, 2011. Str. 391. ISBN 978-80-7357-735-3.
17. **TOTH, P., VIGO, D.** *The Vehicle Routing Problem*. Philadelphia: SIAM, 2001. 0-89871-579-2.
18. **DORDA, Michal.** INNET/VŠB – Technická univerzita Ostrava. *HomeL*. [Online] [Citace: 12. 2 2015.] Dostupné z: homel.vsb.cz/~dor028/Littluv_algoritmus.doc.
19. **GROES, G. A.** A Method for Solving Travelling-Salesman Problems. *Operations Research*, 1958. Str. 791–812.
20. **CLARKE, G., WRIGHT J. W.** Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points. *Operation Research*, 1964. Str. 568-581.
21. **MILLER, Tomáš.** *Heuristické řešení problémů*. [Online] 6. 7 2002. [Citace: 13. 2 2015.] Dostupné z: http://muller.unitime.org/heurist02_present.pdf.
22. **KLUSÁČEK, Dalibor.** *Plánování úloh v paralelním a distribuovaném prostředí*. Diplomová práce. Brno: Masarykova univerzita, Fakulta informatiky, 2006.
23. **MÁCS, Daniel.** *Moduly pro tvorbu a distribuci rozvhu zaměstnanců*. Diplomová práce. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, Katedra počítačové grafiky a interakce, 2014.
24. **VOJTEKOVÁ, Mária.** Informační systém Masarykovy univerzity. *Metaheuristické metody na riešenie vybraných dopravných problémov*. [Online] 2013. [Citace: 1. 4 2015.] Dostupné z:

http://is.muni.cz/el/1456/podzim2013/BPM_OMVE/um/35333334/Vojtekova-Blazekova.pdf.

25. **PISINGER, David a ROPKE, Stefan.** Large Neighborhood Search. In GENDREAU, M. – POTVIN, J.-Y. (Ed.) Handbook of Metaheuristics, 146/ International Series in Operations Research & Management Science. Springer US, 2010. Str. 399–419. ISBN 978-1-4419-1665-5.

26. **DHL.** *Příručka certifikovaného mezinárodního specialisty (certified international specialist)*. Bonn: autor neznámý, 2010. Str. 124.

27. **DHL.** *Deutsche Post DHL*. [Online] 2014. [Citace: 15. 10 2014.] Dostupné z: <http://www.dhl.cz/cs.html>.

28. **DHL Global Forwarding.** *DHL Global Forwarding (CZ) s. r. o.* [Online] 2014. [Citace: 15. 10 2014.] Dostupné z: <http://www.dhlgf.cz/o-nas>.

29. **VAŠKE, František.** Optimalizace tras snižuje náklady na přepravu. *Nebezpečný náklad*. [Online] 3 2009. [Citace: 8. 3 2015.] <http://www.nebezpecnynaklad.cz/inc/clanky/optimalizace.pdf>.

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A: Skutečné ujeté kilometry za sledované období

Příloha B: Formulář pro zadávání lokací

Příloha C: Trasy sestavené programem VRP Spreadsheet Solver

Příloha A: Skutečné ujeté kilometry za sledované období

Tab. č. 15: Počet ujetých kilometrů vozidel DHL od 01.12. do 31.12.2014

Datum	1A (km)	1B (km)	2A (km)
01.12.	194	150	180
02.12.	191	138	192
03.12.	220	124	193
04.12.	221	128	160
05.12.	259	74	159
08.12.	223	157	223
09.12.	216	153	200
10.12.	202	128	180
11.12.	222	165	212
12.12.	211	153	206
15.12.	208	139	177
16.12.	198	134	170
17.12.	197	157	210
18.12.	235	168	180
19.12.	227	156	170
22.12.	201	130	222
23.12.	189	150	190
29.12.	211	105	152
30.12.	183	88	170
31.12.	123	90	70
Celkem	4 131	2 687	3 616

Zdroj 40: vlastní zpracování dle interních zdrojů, 2015

Tab. č. 16: Pracovní doba a ujeté kilometry dopravce 1X od 1.12. do 31.12.2014

Datum	Začátek	Konec	Hodiny (h)	Ujeté kilometry (km)
01.12.	11:21	15:00	3,65	64
02.12.	-	-	-	-
03.12.	11:58	15:10	3,20	62
04.12.	11:37	16:10	4,55	65
05.12.	12:10	16:05	3,92	99
08.12.	11:39	14:50	3,18	34
09.12.	11:54	16:20	4,43	67
10.12.	11:51	15:35	3,73	64
11.12.	12:34	16:08	3,57	65
12.12.	11:53	15:35	3,70	100
15.12.	13:56	16:13	2,28	53
16.12.	-	-	-	-
17.12.	11:52	15:50	3,97	71
18.12.	11:54	14:54	3,00	51
19.12.	11:50	15:42	3,87	84
22.12.	11:36	15:36	4,00	55
23.12.	12:10	14:27	2,28	53
29.12.	11:14	16:38	5,40	101
30.12.	-	-	-	-
31.12.	-	-	-	-
Celkem	-	-	58,73	1 088

Zdroj 41: vlastní zpracování dle interních zdrojů, 2015

Příloha B: Formulář pro zadávání lokací

Obr. č. 26: Formulář pro zadávání lokací ze dne 09.12.2014 – část první

Depot	Moskevská 43, Karlovy Vary	50,2267799	12,8577099	11:20	17:00	Starting location	0:00
Customer 1	U TRATI 3/11 KARLOVY VARY	50,2421608	12,8795500	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 2	ZEYEROVA 897/1 Karlovy Vary	50,2295609	12,8688898	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 3	OBCHODNI 30 KARLOVY VARY	50,2188680	12,8068400	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 4	VRESOVA 35743 VRESOVA	50,2597084	12,6964397	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 5	CHEBSKA 53 SOKOLOV	50,1661415	12,6359701	11:20	12:00	Must be visited	0:05
Customer 6	CHEBSKA 73/48 KARLOVY VARY	50,2294884	12,8378601	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 7	BUKOVANY 148	50,1643295	12,5708904	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 8	ZEYEROVA 7 KARLOVY VARY	50,2300682	12,8691998	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 9	Marianská 246, Chlum sv. Máří	50,1506390	12,5327700	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 10	TECHNICAL TEXTILES SRO HAZLOV	50,1628900	12,2854350	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 11	ALESOVA, AŠ	50,2187467	12,1957867	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 12	LIPOVA 622/1 35201 AS	50,2194405	12,1897497	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 13	SKANDINAVSKA 2 352 01 AS	50,2077713	12,2014799	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 14	SKANDINAVSKA 2708/2 AS	50,2077713	12,2014799	12:00	15:00	Must be visited	0:05
Customer 15	VINTIROVSKA 1083 . CHODOV	50,2314190	12,7298600	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 16	LIDICKA 65, Karlovy Vary	50,2332610	12,8917800	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 17	EVROPSKA 9 CHEB,. CHEB	50,0738297	12,3703203	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 18	SVOBODY 2 CHEB . CHEB	50,0777817	12,3712997	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 19	GOETHOVA 1356 . CHEB	50,0774193	12,3602304	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 20	AMERICKA 2452/14 CHEB	50,0745888	12,3631096	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 21	AMERICKA 80 35002 CHEB	50,0766296	12,3449697	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 22	K NEMOCNICI 17 350 11 CHEB	50,0699081	12,3669500	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 23	PRATELSTVI 1443/21 CHEB	50,0735703	12,3545704	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 24	PODHRADSKA 5 CHEB	50,0664291	12,3880701	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 25	JESENICE 1 CHEB	50,0853195	12,3753405	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 26	KRIZIKOVA 715 ML	49,9632000	12,7032300	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 27	KRIZIKOVA 715 ML	49,9632000	12,7032300	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 28	KE KASARNUM 730/9 ML	49,9509315	12,7020798	11:00	15:00	Must be visited	0:05
Customer 29	PODHORSKA 746/4 ML	49,9525909	12,6997604	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 30	LEKARSKA FAKULTA Marisánské lázně	49,9606033	12,6922633	13:00	16:00	Must be visited	0:05
Customer 31	PLZENSKA 529 TOUZIM	50,0481415	12,9947205	11:20	17:00	Must be visited	0:05

Zdroj 42: VRP Spreadsheet Solver, 2015

Obr. č. 27: Formulář pro zadávání lokací ze dne 09.12.2014 – část druhá

Customer 32	HLAVNI 560 35747 KRASNO	50,1130490	12,7922500	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 33	JAKOVSKÉHO 25 KARLOVY VARY	50,2222404	12,8471603	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 34	ZAVODU MIRU 582/3 KARLOVY VARY	50,2374306	12,8406601	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 35	ZAVODU MIRU 3 K VARY	50,2374306	12,8406601	12:00	15:00	Must be visited	0:05
Customer 36	1. MAJE 30 DVORY	50,2250790	12,8309900	11:38	17:00	Must be visited	0:05
Customer 37	CESKA 147 KARLOVY VARY	50,2155991	12,8165798	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 38	HERMANKOVA 231 JENISOV	50,2253799	12,8053598	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 39	UPORCELANKY 143, LOUCKY	50,2041397	12,7532101	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 40	TOVARNI 2093 SOKOLOV	50,1813698	12,6676702	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 41	TOVARNI 1362 SOKOLOV	50,1798706	12,6594105	11:20	12:00	Must be visited	0:05
Customer 42	ZAVODU MIRU 1913, SOKOLOV	50,1738014	12,6654902	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 43	SVABINSKEHO 1734 SOKOLOV	50,1734510	12,6679100	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 44	KOSMONAUTU 1905 SOKOLOV	50,1731682	12,6657000	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 45	SLAVICKOVA 1677/71 SOKOLOV	50,1732900	12,6744300	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 46	SLOVENSK 35601 SOKOLOV CZ	50,1820908	12,6503801	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 47	JASMINOVA 2163 SOKOLOV	50,1678581	12,6673203	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 48	HORNICKA 259 LOMNICE	50,2118988	12,6369801	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 49	CS.ARMADY 830 KRASLICE	50,3145067	12,5204083	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 50	CSA 830 KRASLICE	50,3145067	12,5204083	11:20	15:30	Must be visited	0:05
Customer 51	ROOSEVELTOVA 1299 NEJDEK	50,3218613	12,7276697	14:00	16:30	Must be visited	0:05
Customer 52	ROOSEVELTOVA 1299 NEJDEK	50,3218613	12,7276697	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 53	KARLOVARSKA 49 NEJDEK	50,3204002	12,7375002	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 54	KARLOVARSKA 1342 NEJDEK	50,3195305	12,7359600	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 55	NADRAZNI 1267 NEJDEK	50,3192902	12,7283697	15:40	17:00	Must be visited	0:05
Customer 56	TABRSKA 27 KARLOVY VARY	50,2222404	12,8471603	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 57	NADRAZNI 1557 SOKOLOV	50,1849594	12,6399899	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 58	SLUNECNI 361/22 KARLOVY VARY	50,2370987	12,8769102	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 59	NAM. M. HORAKOVE 7 KARLOVY VARY	50,2292786	12,8647604	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 60	BEZRUCOVA 8 KARLOVY VARY	50,2308006	12,8756800	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 61	BEZRU.OVA 19 KARLOVY VARY CZ	50,2323914	12,8757200	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 62	SKLAD BEZRUCOVA 19 KARLOVY VARY	50,2323914	12,8757200	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 63	BEZRUCOVA 19 KARLOVY VARY	50,2323914	12,8757200	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 64	JATECNI 2121/6	50,2345500	12,8725700	11:20	17:00	Must be visited	0:05

Zdroj 43: VRP Spreadsheet Solver, 2015

Obr. č. 28: Formulář pro zadávání lokací ze dne 09.12.2014 – část třetí

Customer 65	VITEZNA 45 KARLOVY VARY	50,2356491	12,8796101	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 66	STARA KYSIBELSKA 43 KARLOVY VARY	50,2367400	12,8925510	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 67	SPORTOVNI 13 KARLOVY VARY	50,2414894	12,8907900	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 68	U NEMOCNICE 1161 OSTROV	50,3126410	12,9640100	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 69	HORNI ZDAR 45 OSTROV	50,3348999	12,9420099	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 70	POD LESEM 37 HROZNETIN	50,2877810	12,8638800	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 71	KRUSNOHORSKA 12 KALROVY VARY	50,2373886	12,8664503	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 72	MATTONIHO NABEZI 86 KARLOVY VARY	50,2396698	12,8890800	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 73	BELEHRADSKA 1042/14 KARLOVY VARY	50,2297516	12,8670197	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 74	LAZENSKA 19/1 KARLOVY VARY	50,2247200	12,8828897	11:20	12:00	Must be visited	0:05
Customer 75	STARA LOUKA 335/48 KARLOVY VARY	50,2210884	12,8798399	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 76	MIROVE NAMESTI 2	50,2202867	12,8782950	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 77	JANA PALACHA 969/16 KARLOVY VARY	50,2305183	12,8738098	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 78	F X SALDY 16 . KARLOVY VARY	50,2276083	12,8608217	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 79	I.P.PAVLOVA 23 KARLOVY VARY	50,2222404	12,8471603	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 80	NA 362 72 KYSELKA	50,2640800	12,9958100	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 81	ANDELSKA HORA 201 BOCHOV	50,2070620	12,9567300	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 82	LUCNI 395 BOCHOV	50,1498108	13,0480804	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 83	HLUBANY 121 PODBORANY	50,2127609	13,3916798	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 84	DVORAKOVA 1841 KADAN	50,3801689	13,2692404	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 85	TUSIMICE 1 KADAN	50,3680611	13,3317499	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 86	TU SEIMILE 8 KADAN	50,3832500	13,2708917	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 87	KPT. JAROSE 1551 KADAN	50,3925300	13,2541600	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 88	KRALOVSKY VRCH 1987	50,3925210	13,2531300	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 89	POLNI 651 KLASTEREC NAD OHRI	50,3932610	13,1816797	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 90	PRUMYSLOVA 4 Klášterec nad ohří	50,3987617	13,2219696	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 91	U PORCELANKY 786 Klášterec nad ohří	50,3814200	13,1995800	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 92	CHOMUTOVSKA 209 Klášterec nad ohří	50,3862380	13,1755690	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 93	STRAZ NAD OHRI 77 STRAZ NAD OHRI	50,3316383	13,0401802	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 94	JACHYMOVSKA 1369 OSTROV	50,3095398	12,9421797	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 95	JACHYMOVSKA 803 OSTROV	50,3081890	12,9406400	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 96	HROZNETINSKA 1344 OSTROV	50,3071520	12,9371400	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 97	LUCNI 395 BOCHOV	50,1498108	13,0480804	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 98	PRUMYSLOVA 11 VERNEROV	50,3970410	13,2165300	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 99	PRUMYSLOVA 4	50,3970410	13,2165300	11:20	17:00	Must be visited	0:05
Customer 100	HLUBANY 124 PODBORANY	50,2122917	13,3865900	11:20	16:30	Must be visited	0:05

Zdroj 44: VRP Spreadsheet Solver, 2015

Příloha C: Trasy sestavené programem VRP Spreadsheet Solver

Obř. ř. 29: Trasy sestavené programem VRP Spreadsheet Solver pro 09.12.2014 – řást první

Vehicle: 1X		Vehicle: 1A	
Stop count	Location name	Stop count	Location name
0	Depot	0	Depot
1	Customer 8	1	Customer 5
2	Customer 77	2	Customer 41
3	Customer 64	3	Customer 57
4	Customer 65	4	Customer 7
5	Customer 62	5	Customer 9
6	Customer 63	6	Customer 10
7	Customer 61	7	Customer 11
8	Customer 67	8	Customer 12
9	Customer 72	9	Customer 13
10	Customer 95	10	Customer 14
11	Customer 68	11	Customer 25
12	Customer 94	12	Customer 17
13	Customer 96	13	Customer 22
14	Customer 80	14	Customer 21
15	Customer 34	15	Customer 23
16	Customer 35	16	Customer 20
17	Customer 4	17	Customer 19
18	Customer 50	18	Customer 18
19	Customer 49	19	Customer 24
20	Customer 52	20	Customer 38
21	Customer 51	21	Customer 3
22	Customer 55	22	Customer 37
23	Customer 54	23	Customer 56
24	Customer 53	24	Customer 33
25	Customer 36	25	Customer 79
26	Depot	26	Depot

Distance	Delivered	Driving time	Arrival	Departure	Working time
0,00	0	0:00	11:20	11:20	0:00
1,20	0	0:03	11:23	11:28	0:08
1,56	0	0:04	11:29	11:34	0:14
2,13	0	0:07	11:37	11:42	0:22
2,74	0	0:09	11:44	11:49	0:29
3,47	0	0:11	11:51	11:56	0:36
3,47	0	0:11	11:56	12:01	0:41
3,47	0	0:11	12:01	12:06	0:46
5,32	0	0:17	12:12	12:17	0:57
5,66	0	0:18	12:18	12:23	1:03
15,98	0	0:29	12:34	12:39	1:19
18,17	0	0:35	12:45	12:50	1:30
20,61	0	0:41	12:56	13:01	1:41
21,16	0	0:42	13:02	13:07	1:47
32,04	0	0:58	13:23	13:28	2:08
48,28	0	1:19	13:49	13:54	2:34
48,28	0	1:19	13:54	13:59	2:39
61,56	0	1:38	14:18	14:23	3:03
81,69	0	1:58	14:43	14:48	3:28
81,69	0	1:58	14:48	14:53	3:33
102,70	0	2:23	15:18	15:23	4:03
102,70	0	2:23	15:23	15:28	4:08
103,27	0	2:24	15:29	15:45	4:14
104,46	0	2:28	15:49	15:54	4:23
105,48	0	2:34	16:00	16:05	4:34
121,14	0	2:55	16:26	16:31	5:00
123,79	0	3:01	16:37	16:37	5:06

Distance	Delivered	Driving time	Arrival	Departure	Working time
0,00	0	0:00	11:20	11:20	0:00
22,15	0	0:23	11:43	11:48	0:28
25,16	0	0:30	11:55	12:00	0:40
27,21	0	0:34	12:04	12:09	0:49
34,64	0	0:42	12:17	12:22	1:02
38,38	0	0:48	12:28	12:33	1:13
60,72	0	1:12	12:57	13:02	1:42
71,63	0	1:27	13:17	13:22	2:02
72,36	0	1:30	13:25	13:30	2:10
74,50	0	1:35	13:35	13:40	2:20
74,50	0	1:35	13:40	13:45	2:25
96,54	0	1:58	14:08	14:13	2:53
99,00	0	2:05	14:20	14:25	3:05
99,72	0	2:08	14:28	14:33	3:13
102,15	0	2:13	14:38	14:43	3:23
103,00	0	2:16	14:46	14:51	3:31
103,72	0	2:18	14:53	14:58	3:38
104,30	0	2:21	15:01	15:06	3:46
105,75	0	2:26	15:11	15:16	3:56
108,63	0	2:32	15:22	15:27	4:07
148,97	0	3:10	16:05	16:10	4:50
150,35	0	3:15	16:15	16:20	5:00
151,53	0	3:19	16:24	16:29	5:09
154,28	0	3:25	16:35	16:40	5:20
154,28	0	3:25	16:40	16:45	5:25
154,28	0	3:25	16:45	16:50	5:30
156,26	0	3:30	16:55	16:55	5:35

Obř. ř. 30: Trasy sestavené programem VRP Spreadsheet Solver pro 09.12.2014 – řást druhá

Vehicle: 1B		Vehicle: 2A		Vehicle: 3		Vehicle: 4		Vehicle: 5		Vehicle: 6		Vehicle: 7		Vehicle: 8		Vehicle: 9		Vehicle: 10		Vehicle: 11		Vehicle: 12		Vehicle: 13		Vehicle: 14		Vehicle: 15		Vehicle: 16		Vehicle: 17		Vehicle: 18		Vehicle: 19		Vehicle: 20		Vehicle: 21		Vehicle: 22		Vehicle: 23		Vehicle: 24		Vehicle: 25		Vehicle: 26																																																																																																																																																																													
Stop count	Location name	Distance	Delivered	Driving time	Arrival	Departure	Working time	Stop count	Location name	Distance	Delivered	Driving time	Arrival	Departure	Working time	Stop count	Location name	Distance	Delivered	Driving time	Arrival	Departure	Working time	Stop count	Location name	Distance	Delivered	Driving time	Arrival	Departure	Working time	Stop count	Location name	Distance	Delivered	Driving time	Arrival	Departure	Working time	Stop count	Location name	Distance	Delivered	Driving time	Arrival	Departure	Working time	Stop count	Location name	Distance	Delivered	Driving time	Arrival	Departure	Working time																																																																																																																																																																								
0	Depot	0,00	0	0:00	11:20	11:20	0:00	0	Depot	0,00	0	0:00	11:20	11:20	0:00	1	Customer 60	1,70	0	0:04	11:24	11:24	0:09	2	Customer 74	2,97	0	0:07	11:32	11:37	0:17	3	Customer 16	4,61	0	0:11	11:41	11:46	0:26	4	Customer 66	5,63	0	0:13	11:48	11:53	0:33	5	Customer 82	22,80	0	0:28	12:08	12:13	0:53	6	Customer 97	22,80	0	0:28	12:13	12:18	0:58	7	Customer 100	54,80	0	0:59	12:49	12:54	1:34	8	Customer 83	55,76	0	1:03	12:58	13:03	1:43	9	Customer 85	84,89	0	1:41	13:41	13:46	2:26	10	Customer 84	91,31	0	1:53	13:58	14:03	2:43	11	Customer 86	91,75	0	1:54	14:04	14:09	2:49	12	Customer 87	93,81	0	1:58	14:13	14:18	2:58	13	Customer 88	93,88	0	1:58	14:18	14:23	3:03	14	Customer 90	97,36	0	2:04	14:29	14:34	3:14	15	Customer 98	98,38	0	2:07	14:37	14:42	3:22	16	Customer 99	98,38	0	2:07	14:42	14:47	3:27	17	Customer 89	102,61	0	2:15	14:55	15:00	3:40	18	Customer 91	104,77	0	2:20	15:05	15:10	3:50	19	Customer 92	107,03	0	2:25	15:15	15:20	4:00	20	Customer 93	120,37	0	2:39	15:34	15:39	4:19	21	Customer 69	130,89	0	2:51	15:51	15:56	4:36	22	Customer 70	140,48	0	3:03	16:08	16:13	4:53	23	Customer 1	146,94	0	3:13	16:23	16:28	5:08	24	Customer 58	147,84	0	3:15	16:30	16:35	5:15	25	Customer 71	149,60	0	3:20	16:40	16:45	5:25	26	Depot	152,47	0	3:28	16:53	16:53	5:33

Abstrakt

KOMÍNEK, Jiří. *Analýza systému plánování obslužných tras v dané společnosti.*

Bakalářská práce. Cheb: Fakulta ekonomická ZČU v Plzni, s. 72, 2015

Klíčová slova: doprava, teorie dopravních systémů, okružní a rozvozní úlohy, úloha okružních jízd s časovými okny, LNS algoritmus.

Předložená práce je zaměřena na problematiku okružních a rozvozních úloh. Distribuce zboží je realizována prostřednictvím okružních jízd sestavovaných na základě denních požadavků zákazníků. Při řešení byla použita jedna z metaheuristik, LNS algoritmus. V první části jsou popsána teoretická východiska pro daný problém. Nejprve jsou přiblíženy základní pojmy logistika, doprava, teorie dopravních systémů a základní dopravní modely. Následně jsou charakterizovány přístupy k řešení okružních a rozvozních úloh. V druhé části práce je v první řadě představena společnost, ve které byla distribuční úloha řešena. Na základě teoretických poznatků je definován konkrétní problém, poté je vybrána a implementována metoda k jeho řešení. Na závěr jsou porovnány a vyhodnoceny získané výsledky.

Abstract

KOMÍNEK, Jiří. *Analysis of service route planning system in a particular company.*

Bachelor Thesis. Cheb: Faculty of Economics, University of West Bohemia, p. 72, 2015.

Key words: transport, transport theory, vehicle routing problems, Vehicle Routing Problem with Time Windows, LNS algorithm.

This thesis focuses on the problem of distribution tasks. The distribution is realized through vehicle routing problem compiled on the basis of the daily requirements of the customers. Metaheuristic LNS algorithm was evaluated as the best approach for solving this problem. The first section of the thesis presents theoretical foundation for the problem. First of all the thesis introduce basic concepts of logistics, transportation, transport theory and the basic transport models. Subsequently, approaches to solving Vehicle Routing Problem are presented. The first is in the second part introduces the company, in which the transportation problem solved. Based on theoretical knowledge is defined by a specific problem and selected method to solve it. In the end, the results obtained are compared and evaluated.