

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA DOPRAVNÍ

Bc. Stanislav Pochop

**Analýza a optimalizace zásobování dodavatele
autodílů**

Diplomová práce

2018

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



K617..... Ústav logistiky a managementu dopravy

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Stanislav Pochop

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

N 3710 – LA – Logistika a řízení dopravních procesů

Název tématu (česky): **Analýza a optimalizace zásobování dodavatele autodílů**

Název tématu (anglicky): Analysis and Optimalization of Supply Car Components Distributor

Zásady pro vypracování

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

- Analýza stávajícího řešení
- Výběr vhodných metod řešení
- Návrh jiné formy rozvozu
- Možnost přidání nového skladu - určení nových rozvozových tras
- Porovnání stávající situace a navrhovaných řešení





- Rozsah grafických prací: podle pokynů vedoucího diplomové práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: Volek, J., Linda, B. Teorie grafů - aplikace v dopravě a veřejné správě. Univerzita Pardubice, 2012
Mocková, D. Základy teorie dopravy - úlohy. ČVUT, Praha, 2007
Daněk, J. Teichmann, D. Optimalizace dopravních procesů. VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2005

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Denisa Mocková, Ph.D.**

Datum zadání diplomové práce: **30. června 2016**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání diplomové práce: **30. listopadu 2018**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia


doc. Ing. Tomáš Horák, Ph.D.
vedoucí
Ústavu logistiky a managementu dopravy


doc. Ing. Pavel Hrubeš, Ph.D.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.



Bc. Stanislav Pochop
jméno a podpis studenta

V Praze dne.....7. června 2018

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mi pomohli při přípravě této diplomové práce. Zvláště pak děkuji paní doc. Ing. Denise Mockové, Ph.D. za odborné vedení, konzultace a poskytnutí cenných rad během mého studia.

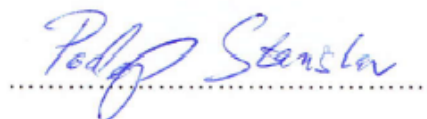
Hlavně bych ale rád poděkoval rodině a všem svým blízkým, kteří mi poskytli podporu a byli mi ochotni kdykoliv pomoci po celou dobu mého dosavadního studia.

Prohlášení

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

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

V Praze dne 27. srpna 2018

A handwritten signature in blue ink that reads "Podpisy Stanislav". The signature is written over a horizontal dotted line.

Podpis

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

Analýza a optimalizace zásobování dodavatele autodílů

Diplomová práce

srpen 2018

Bc. Stanislav Pochop

Abstrakt

Předmětem diplomové práce je navrhnout nové trasy rozvozu zboží ze skladů na pobočky pro společnost Auto Kelly. Jsou k tomu využity metody z oblasti teorie grafů. Problém, který je v práci řešen, je problém okružních jízd. Výsledky získané pomocí vybraných metod jsou porovnány se současnou situací a je zvoleno nejvhodnější řešení.

Klíčová slova

Problém okružních jízd, středisko obsluhy, atrakční obvod, distanční matice, metoda Clarke-Wright, metoda Tabu search.

Abstract

The subject of the master thesis is to propose new routes of goods distribution from warehouses to Auto Kelly branches. There are used methods from the area of graph theory. The vehicle routing problem is being solved in the thesis. The results obtained using the selected methods are compared with the current situation and the most suitable solution is chosen.

Key words

Vehicle routing problem, depo, served area, distance matrix, Clarke-Wright method, Tabu search method.

Obsah

1	Úvod	8
2	Uvedení do řešené problematiky	10
3	Analýza současné situace.....	12
3.1	Popis společnosti.....	12
3.2	Nabízené zboží	13
3.3	Služby zákazníkům	15
3.4	Zázemí společnosti	17
3.5	Rozvozové trasy	24
3.6	Dopravci a vozidla	27
3.7	Podmínky pro řidiče.....	29
4	Základní formulace problému	31
4.1	Představení problému okružních jízd	31
4.2	Formulace problému okružních jízd	32
4.3	Varianty úlohy VRP	36
5	Metody řešení VRP	38
5.1	Exaktní metody	38
5.2	Heuristické metody.....	38
5.3	Metaheuristiky	40
6	Popis řešené úlohy okružních jízd	43
6.1	Použité metody pro výpočet.....	43
6.1.1	Metoda Clarke - Wright.....	44
6.1.2	Tabu search.....	45
6.2	Vstupní data obou metod	47
6.3	Výstupy z programů	49
6.4	Distanční matice	53
7	Přehled nově navržených tras.....	55
7.1	Denní rozvozy	55
7.1.1	Varianta 1.....	55
7.1.2	Varianta 2.....	60
7.1.3	Varianta 3.....	64
7.1.4	Varianta 4.....	69
7.2	Noční rozvozy	73

8	Shrnutí výsledků	76
8.1	Denní rozvozy	76
8.2	Noční rozvozy	80
9	Závěr.....	82
	Literatura.....	84
	Seznam obrázků.....	86
	Seznam tabulek	87
	Seznam příloh	88

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

AETR	Evropská dohoda o práci osádek vozidel v mezinárodní silniční dopravě
CVRP	Capacitated Vehicle Routing Problem – Kapacitně omezený problém okružních jízd
ID	IDentification – identifikační číslo
MS Excel	Microsoft Excel – tabulkový procesor od společnosti Microsoft
NP	třída složitosti (zkratka Nedeterministicky Polynomiální)
TSP	Travelling Salesman Problem – Problém obchodního cestujícího
VRP	Vehicle Routing Problem – Problém okružních jízd

1 Úvod

Logistika je soubor všech činností, které slouží k poskytnutí potřebného množství prostředků na daném místě, v daný čas s co nejmenšími náklady. Je to obor, který se zabývá všemi procesy pohybu materiálu, od získání surovin až po doručení finálního výrobku ke koncovému zákazníkovi. Postavení logistiky ve firmách nabývá čím dál větší důležitosti. Snahou každého podniku je minimalizovat své náklady. Logistika je oblastí, ve které může podnik dosáhnout významných úspor nákladů, má velký vliv na spokojenost zákazníků a tím i na jejich počet a v neposlední řadě je to prvek, díky kterému může společnost získat náskok před konkurencí.

Každá společnost, která nabízí svým zákazníkům určité zboží, musí mít zajištěno zásobování surovinami nebo materiálem a zároveň se musí postarat o distribuci svých produktů. Pokud si alespoň jednu z těchto činností organizuje firma sama, musí dbát na její co nejlepší realizaci.

Odvětví dopravní obsluhy je oblastí, ve které se pohybuje velké množství financí. A například zajištění rozvozu zboží může hrát v celkových nákladech firmy značnou roli. Proto je pro každý podnik důležité, aby v této oblasti, kterou nutně potřebuje ke svému fungování, zbytečně neplýtval financemi a neměl příliš vysoké náklady. Naopak, v dnešní době se firmy snaží ušetřit, kde se dá. Jiné to není ani v oblasti dopravní obsluhy, ať už se jedná například o svoz surovin nebo o rozvoz hotových výrobků k zákazníkům, či na pobočky společnosti.

Tato práce se zaměřuje na společnost Auto Kelly, konkrétně na rozvozy zboží ze skladů na pobočky společnosti. Auto Kelly je společnost působící již mnoho let na trhu s autodíly a je největším distributorem náhradních dílů a příslušenství v ČR. Aby si toto postavení společnost udržela, musí se snažit nabízet zákazníkům co nejlepší služby. Do toho spadá samozřejmě rychlé dodání objednaných dílů a součástí. Každý den proto ze skladů společnosti vyjíždí několik desítek dodávek a větších nákladních aut a vydávají se na své pravidelné rozvozové trasy, jejichž cílem je doručit na pobočky společnosti potřebné zboží a uspokojit tak přání zákazníka co možná nejrychleji.

Cílem této diplomové práce je navrhnout takové trasy rozvozu zboží ze skladů, při kterých budou obslouženy všechny pobočky a zároveň bude ujeta co nejmenší vzdálenost.

V práci jsou využity metody z oblasti teorie grafů. Jak je naznačeno výše, problém, který bude v práci řešen, je problém okružních jízd neboli problém vícenásobného obchodního cestujícího. K řešení tohoto problému budou využity dvě metody. První metodou bude

heuristika, kterou představili G. Clarke a J. W. Wright, druhou metodou potom Tabu Search. Obě metody budou později blíže představeny. Pomocí těchto metod se zjistí rozvozové trasy a kolik jízd, neboli kolik obchodních cestujících, bude třeba na obslužení vrcholů.

V první části práce je krátce představena řešená problematika a jsou zde uvedeny bližší informace, které se týkají zvoleného tématu.

Druhá část se zaměřuje na společnost samotnou. Nejprve je firma blíže představena a jsou uvedeny základní informace. Je zde ukázáno zboží, které firma svým zákazníkům nabízí, a také jsou zde přiblíženy skladovací prostory společnosti. V této kapitole jsou informace o dopravních a dopravních prostředcích, které společnost Auto Kelly využívá. Především jsou zde pak podrobně představeny současné rozvozové trasy, které zajišťují obsluhu všech poboček. Jsou zde uvedeny také další služby, které společnost Auto Kelly nabízí.

Další kapitola se zaměřuje na problém, který je v práci řešen, a popisuje ho. Následně je představen výběr možných metod pro řešení problému. V další části je podrobněji popsána řešená úloha okružních jízd a jsou blíže představeny metody vybrané k jejímu řešení.

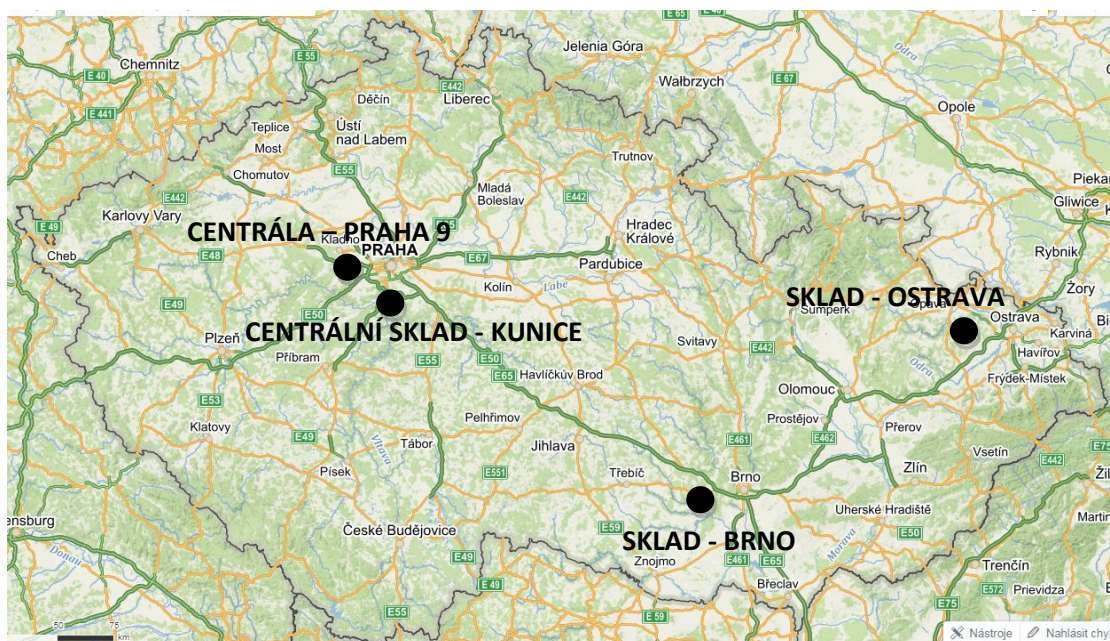
V následující části práce dochází již k samotné aplikaci vybraných metod a tedy k řešení dané úlohy. Postupně zde budou představeny výsledky zvolených metod pro různé varianty řešení.

Závěrečná kapitola se věnuje porovnání stávajícího stavu rozvozových tras a nově navržených variant řešení. Zvolená řešení jsou zde představena i se svými klady a zápory a nakonec jsou vybrána nejvhodnější z nich.

2 Uvedení do řešené problematiky

Problematika, kterou se diplomová práce zabývá, se týká okružních jízd. Jak už bylo řečeno, jedná se o optimalizaci rozvozových tras zboží ze skladů na pobočky společnosti. Centrála společnosti sídlí na Praze 9, hlavní logistické centrum – sklad je však úplně jinde. Logistické centrum musí splňovat určité požadavky z hlediska polohy a napojení na komunikace, aby byl přístup k němu (a následný rozvoz) co nejvíce praktický. Denně tudy totiž proudí desítky aut a v nich tisíce kusů zboží.

Centrální sklad Auto Kelly se nachází nedaleko Prahy, a to na 15. kilometru dálnice D1. Odtud denně začínají rozvozové trasy pro desítky dodávek a větších nákladních automobilů. Všechna tato vozidla zajišťují přesun zboží ze skladu na pobočky společnosti, které jsou rozmístěny po celé republice. Společnost Auto Kelly využívá v současné době ještě dva podstatně menší sklady, ze kterých jsou organizovány pravidelné rozvozy do poboček v jejich okolí - jedná se o sklady v Brně a v Ostravě. Vše je znázorněno na obrázku 1.



zdroj: [14, 20, autor]

Obrázek 1: Umístění skladů a centrály Auto Kelly

Jedná se tedy o obsluhu vrcholů (poboček), která začíná a zároveň i končí ve skladu, ze kterého je daná pobočka zásobována. Společnost Auto Kelly si na tyto pravidelné rozvozy pronajímá vozidla od několika dopravců. Kilometry, za které dopravcům platí, se počítají za

takzvaná kolečka. Často je nutné z poboček odvézt nějaké zboží zpět na sklad. Může se jednat například o zboží reklamované, poškozené, zboží může být také chybně dodané, nebo si zákazník koupí rozmyslel. Na sklad se z poboček také sváží různé obalové materiály, ve kterých je zboží převáženo. Objem nákladu, který se sváží zpět, je menší než objem dodávaného zboží a tak nevznikají problémy s kapacitou.

Auta, která rozváží zboží na pobočky, denně najedou stovky kilometrů. Jelikož rozvozů je během dne mnoho, nebavíme se pouze o stovkách, ale dostáváme se na hodnoty tisíců kilometrů, které v součtu rozvozová auta ujedou za pouhý jeden den. Je tedy vidět, že rozvozové trasy jsou pro společnost velmi důležité z finančního hlediska. Je nutné vyvarovat se v této oblasti zbytečného plýtvání. Naopak je třeba snažit se náklady na přepravu zboží snížit, jak je to jen možné. Jedním ze způsobů je správné naplánování rozvozových tras.

V současné době jsou denní rozvozy organizovány ze všech tří skladů a na všech trasách rozvoz zajišťují dodávky. Pro noční rozvozy funguje pouze sklad v Kunicích a využívají se větší nákladní automobily.

Pro různé možnosti řešení denních rozvozů jsou vstupní data zpracována do 4 variant. V první variantě jsou uvažovány stávající sklady a k nim současné atrakční obvody. Druhá varianta počítá také se stávajícími sklady, ale atrakční obvody jsou vytvořeny nově. Jelikož se společnost neustále rozrůstá, do budoucna počítá s vybudováním dalšího skladu. Tento sklad by mohl vzniknout buď u pobočky v Hradci Králové, nebo u pobočky v Plzni. Třetí varianta proto obsahuje sklady čtyři (nově s Hradcem Králové) a k nim určené atrakční obvody. Čtvrtá varianta potom počítá také se čtyřmi sklady (tři stávající a Plzeň) a jejich novými atrakčními obvody. Na každou z těchto variant budou při návrhu tras nasazeny postupně dva typy vozidel: malá vozidla (dodávky), které se používají již nyní, a velká vozidla (větší nákladní automobily – nyní se používají na noční rozvozy). Noční rozvozy budou i nadále obsluhovány pouze skladem v Kunicích a využívané automobily budou také stejné. Pro jednotlivé varianty bude vozový park vždy homogenní, jako v současné situaci. Na všechny zmíněné varianty budou k řešení problému okružních jízd použity následující dvě metody, které jsou zpracovány ve formě počítačových programů. Jedná se o metodu Clarke – Wright a metodu Tabu search.

3 Analýza současné situace

Tato kapitola se zaměřuje na samotnou společnost Auto Kelly. Nejprve jsou uvedeny základní informace o společnosti, je zde představeno nabízené zboží, centrální sklad společnosti a především jsou zde informace o trasách pro rozvoz zboží na pobočky.

3.1 Popis společnosti

Auto Kelly je obchodně – logistická firma, která se na trhu s autodíly pohybuje od roku 1994. Působí v České republice, na Slovensku a v Bulharsku. V současné době má společnost po celé republice 81 poboček. Hlavní sídlo společnosti je na Praze 9. Centrální sklad se nachází u dálnice D1 v Kunicích (exit 15). Společnost má celkem přes 1 200 zaměstnanců.

Auto Kelly je největší distributor náhradních dílů a příslušenství v ČR a nabízí svým zákazníkům mnoho produktů a služeb. Mezi ně patří například:

- prodej náhradních dílů a autopříslušenství na osobní, lehké užitkové, nákladní vozy a motocykly,
- sortiment pro maloobchodní i velkoobchodní zákazníky,
- komplexní nabídka vybavení autoservisů a garážové techniky, včetně služeb a školení,
- prodej elektrokol, skútrů a motocyklů,
- více než 300 smluvních servisů v síti Auto Kelly Autoservis,
- síť poboček s rozvozem zboží několikrát denně,
- autodíly a autopříslušenství od více než 450 značkových výrobců,
- online technická a servisní data,
- vlastní tréninkové a předváděcí centrum,
- správa vozových parků - Fleet Service Auto Kelly,
- mezinárodní působení na trzích v České republice, Slovensku (od roku 1997) a Bulharsku (od roku 2013) [20].

Rhiag Group

Od roku 2010 je Auto Kelly součástí mezinárodní skupiny Rhiag Group. Tento evropský dodavatel autodílů a příslušenství vlastnil již předtím druhou největší společnost v prodeji

autodílů na českém trhu, firmu Elit. Koupí společnosti Auto Kelly tak Rhiag Group významně posílil svoji pozici v této oblasti na českém trhu. Společnost prodává autodíly ještě v několika dalších evropských zemích, kterými jsou Itálie, Švýcarsko, Slovensko, Ukrajina, Rumunsko, Maďarsko, Polsko, Bulharsko a Španělsko.

LKQ

Společnost LKQ je největším severoamerickým distributorem náhradních dílů pro osobní a užitkové automobily, na trh zde vstoupila v roce 1988. Společnost je aktivní i v Evropě, kde získala silné postavení, když v loňském roce koupila a tedy převzala pod svoji kontrolu právě skupinu Rhiag.

Pod LKQ patří od roku 2011 například britská společnost Euro Car Parts, která má se zhruba 200 pobočkami vedoucí postavení na trhu s autodíly ve Velké Británii a Irsku. V roce 2013 převzala LKQ také skupinu Sator, která působí především v zemích Beneluxu a ve Francii. V současné době společnost LKQ působí v 16 zemích Evropy. Mimo Evropu je LKQ aktivní například také v Austrálii nebo Číně [20].

3.2 Nabízené zboží

Auto Kelly dnes nabízí svým zákazníkům opravdu širokou škálu zboží. Doby, kdy společnost nabízela pouze náhradní díly a autopříslušenství, jsou již dávno pryč. V současné době si zákazník může vybrat z celkové nabídky asi 230 000 produktů téměř cokoliv, a to od náhradních dílů přes motorky, nářadí, autokosmetiku, oblečení až po gril, spacák, kancelářskou židli, reproduktor nebo třeba hračky pro děti. Zboží je možné objednat přes internetové stránky společnosti, nebo si ho koupit osobně v jedné z 81 poboček.

Nabízený sortiment z katalogu pro běžné zákazníky se dělí do těchto hlavních kategorií:

- Osobní automobil,
- Nákladní automobil,
- Motocykl, skútr, čtyřkolka,
- Přívěsný vozík,
- Jízdní kolo, elektrokolo,
- Hobby a volný čas,
- Kancelářské vybavení,
- Dárkové předměty a oblečení.

Společnost nabízí zboží nejen pro běžné spotřebitele, ale má také široký sortiment zboží pro vybavení autodílen a servisů, který se dělí následovně:

- Nářadí,
- Speciální nářadí a přípravky,
- Pneuservis a stlačený vzduch,
- Diagnostika,
- Klimatizace a chlazení,
- Zvedáky, manipulátory, hydraulika,
- Testování, měření, nabíjení, diesel program,
- Vybavení dílny,
- Mytí a čištění,
- Ochranné pracovní pomůcky a prostředky,
- Spotřební materiál,
- Podpora.

Příklad techniky pro vybavení dílny je na obrázku 2.



zdroj: [15]

Obrázek 2: Čtyřsloupový zvedák

Další způsob, jakým si zákazník může pořídit nějaký produkt, je online aukce. V těchto aukcích se vyskytuje nejrůznější zboží, mnohdy se jedná o nějaký vystavený produkt z předváděcí akce. Přesto, že je zboží ve 100 % stavu, je jeho počáteční cena výrazně nižší. Záleží už pak jen na účastnících aukce, za jakou částku se dané zboží vydraží.

Značka Starline

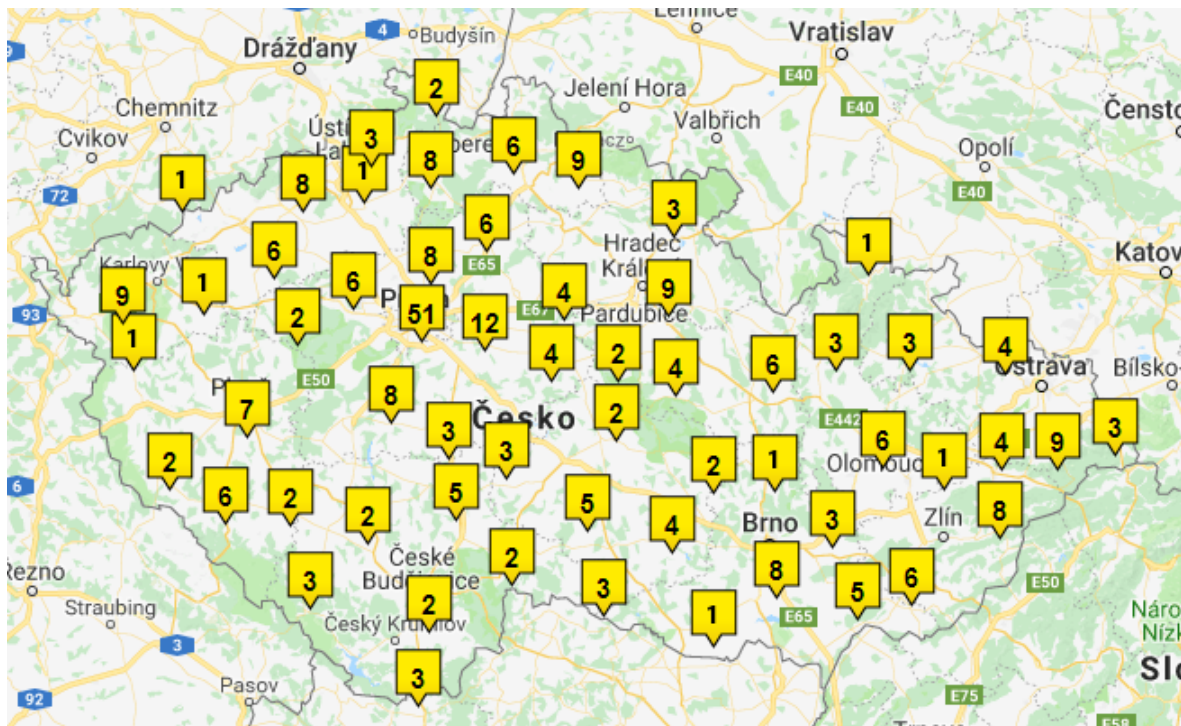
Starline je privátní značka zboží Auto Kelly, která na evropském trhu působí již od roku 1999. V současnosti má zastoupení v 19 zemích Evropy. Značka se snaží nabízet produkty vysoké kvality za daleko příznivější ceny, než jsou nabízeny originální díly od výrobců. Starline nabízí náhradní díly, které pokrývají více jak 90 procent náhradních dílů pro osobní automobily, dále také díly pro motorky a nákladní vozy. Značka Starline nabízí celkem 35 000 položek náhradních dílů, garážového vybavení a nářadí [20].

3.3 Služby zákazníkům

Auto Kelly nabízí svým zákazníkům mimo zmíněné produkty také různé služby. Mezi ně patří například síť autoservisů, mimořádné rozvozy, nebo aplikace Moje garáž.

Auto Kelly Autoservis

Servisní koncept Auto Kelly Autoservis působí na českém trhu od roku 2003. Pro zákazníky představují tyto servisy kvalitní alternativu k autorizovaným servisům, aniž by se museli obávat méně kvalitních dílů či horší odvedené práce. V současné době patří do této sítě více než 300 servisů. Díky úzké spolupráci autoservisů se společností Auto Kelly si může zákazník vybrat z více náhradních dílů v různých cenových kategoriích. V nabídce jsou jak díly originální, tak i značkové díly, které jsou svojí kvalitou naprosto srovnatelné a za daleko nižší ceny. Náhradní díly, které si tyto servisy objednávají, jsou do servisů zaváženy i několikrát denně, takže na ně zákazník nemusí dlouho čekat. Na obrázku 3 jsou partnerské autoservisy znázorněny (číslo znázorňuje počet autoservisů v dané oblasti).



zdroj: [15]

Obrázek 3: Auto Kelly Autoservis

Od roku 2016 je na českém trhu také servisní koncept Auto Kelly Truckservis, který funguje podobně jako Auto Kelly Autoservis, ale zaměřuje se na nákladní vozy, návěsy a přívěsy. V současné době je v této síti 5 servisů.

Fleet service Auto Kelly

Služba Fleet service Auto Kelly je určena pro majitele a správce vozových parků. Pokud se zákazník rozhodne tuto službu využít, bude o jeho vozový park kompletně postaráno. Služba zahrnuje například zajištění technické kontroly, emisí, mytí vozidel, čištění interiéru, periodické prohlídky, souhrnnou fakturaci, likvidaci pojistných událostí, využití náhradního vozidla, pneuservis a další výhody v Auto Kelly.

Mimořádné rozvozy

Do této kategorie spadá zboží, které si zákazník zpravidla nemůže koupit rovnou na pobočce. Jedná se hlavně o nadrozměrné zboží s velkou hmotností - garážové vybavení, vybavení servisů a autodílen (zvedáky, plničky klimatizací, vyvažovačky a další). Takovéto zboží si zákazník objedná na některé z poboček. Obchodní zástupce či manažer pobočky poté zašle objednávku daného zboží na centrální sklad společnosti, odkud je naplánován

mimořádný rozvoz tohoto zboží. Doručení je možné buď na danou pobočku, nebo rovnou k zákazníkovi.

Moje garáž

Moje garáž je internetová aplikace, díky které má uživatel přehled o všem důležitém, co se týká jeho vozu. Zaparkování do garáže znamená, že uživatel do aplikace uloží základní informace o svém vozidle. Poté si už jen stačí užívat výhod, které aplikace přináší. Aplikace upozorní například na důležité termíny, jakou jsou konec platnosti STK, autolékárničky, nebo třeba na servisní prohlídku. Bonusem pro zákazníky je také sleva až 20 % na nákup z široké nabídky vybraného zboží. Zákazník také získá možnost nakupovat ve speciálních nabídkách za ty nejnižší ceny. Další výhodou je také digitální servisní knížka [20].

3.4 Zázemí společnosti

Jak již bylo zmíněno dříve, společnost Auto Kelly má stabilní zázemí. Do něj patří centrála společnosti, tři vlastní skladové prostory a pobočky.

Centrála

Hlavní sídlo společnosti se nachází ve Vysočanech v Praze 9. Celkem zde pracuje asi 200 zaměstnanců. Kromě vedení zde sídlí tato oddělení: personální, obchodní, provozní, reklamační, product management, účtárna, oddělení datové podpory, služeb, nákupu, logistiky, exportu, marketingu, IT a zákaznické podpory.

V centrále společnosti se také nachází takzvané oddělení Garážovka – zde je vystaveno nejrůznější zboží do garáží a servisů, které si zákazník může prohlédnout osobně.

Skladovací prostory

Společnost Auto Kelly disponuje v současné době třemi sklady. Hlavní sklad společnosti se nachází nedaleko Prahy, další dva, podstatně menší, se nachází v Brně a Ostravě. Pozornost zde bude věnována skladu centrálnímu. Jak již bylo zmíněno, tento sklad se nachází v logistickém centru Point Park P3 v Kunicích, na 15. kilometru dálnice D1. Zaměstnanci mohou využít pro spojení svozový autobus, který sem jezdí ze stanice metra C Opatov.

Point Park P3 – D1

Na obrázku 4 je vidět celý logistický areál a jeho poloha hned vedle dálnice. Celková plocha skladovacích prostor areálu je 176 203 m². Největšími nájemci jsou společnosti Hopi, Schenker, Yusen Logistics, Auto Kelly a Mountfield [16].



zdroj: [16, autor]

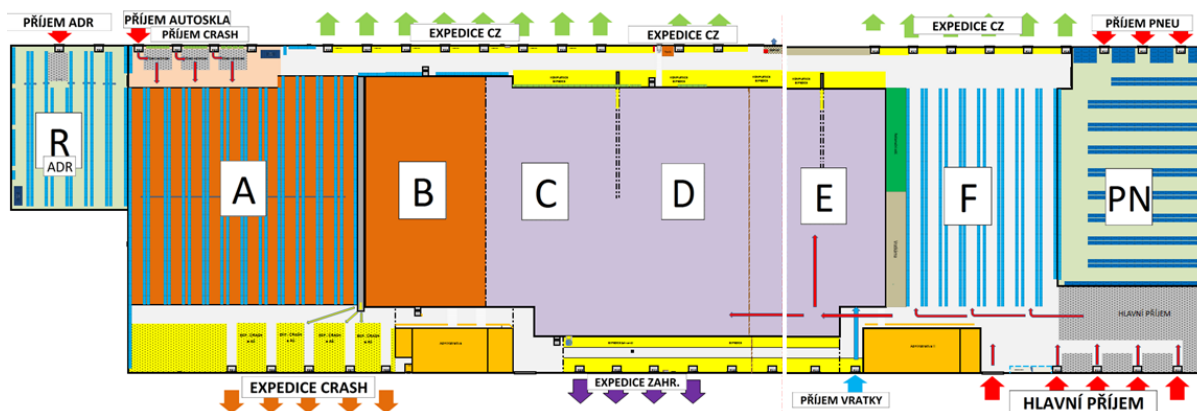
Obrázek 4: Point Park P3 u dálnice D1

Sklad společnosti Auto Kelly je v budově číslo 3, resp. v její jedné polovině. Délka skladu je 270 metrů, na šířku má sklad 100 metrů. Využitelná skladovací plocha je okolo 21 400 m², paletových míst je zde necelých 13 000.

Denně se zde pohybuje přes 400 zaměstnanců. Většinu z nich tvoří pracovníci skladu, je zde ale také administrativní zázemí – součástí jsou: vedení skladu, oddělení logistiky, datové podpory, příjmu, personální, bezpečnostní, distribuční a reklamační oddělení.

Sklad disponuje počtem 41 ramp, na kterých probíhá nakládka a vykládka zboží. Rampy jsou z obou stran skladu. Sklad je rozdělen do několika sekcí podle funkce a účelu. Na obrázku

5 je zobrazen jeho plánek. Jednotlivé části skladu jsou následující: expedice (CZ, zahraničí, crash), příjem (hlavní, autoskla, crash, vratky, pneumatiky), vratkárna, galerie, administrativa a reklamační oddělení.



zdroj: [20]

Obrázek 5: Plánek centrálního skladu

Proces vychystávání zboží

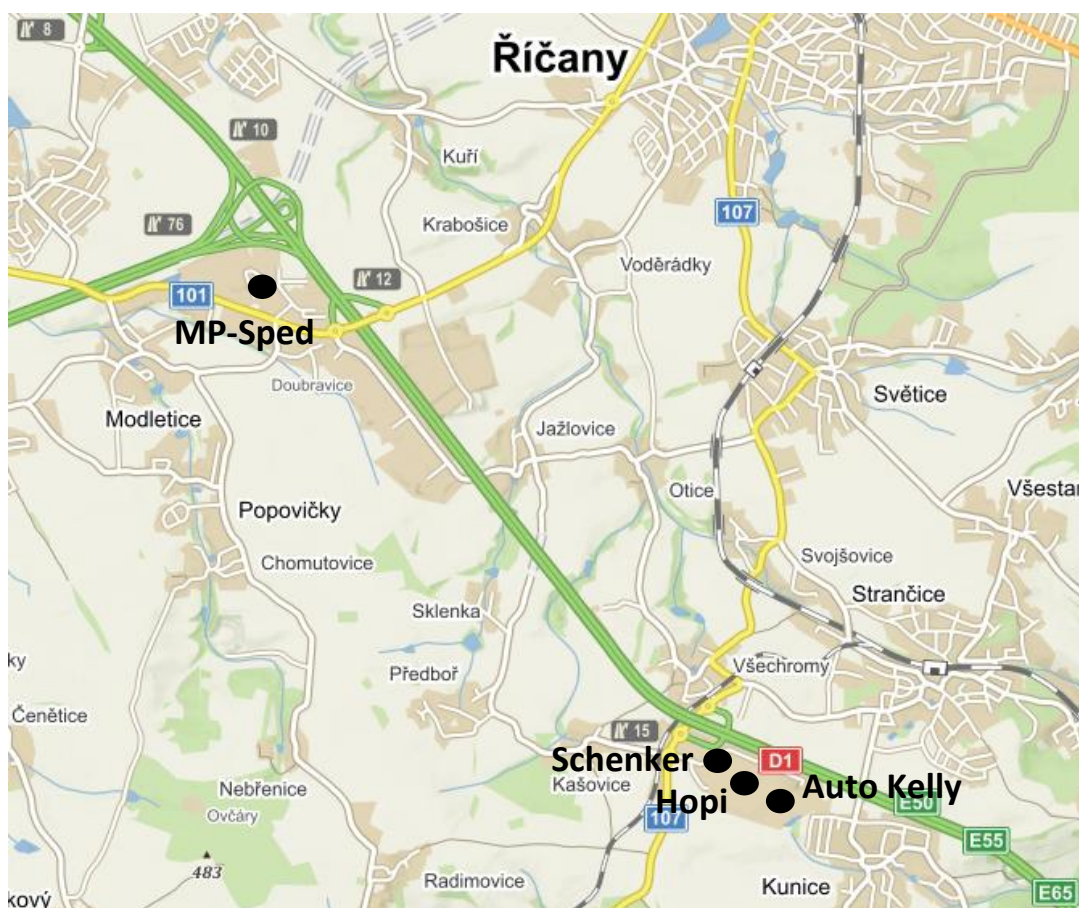
Ze skladu je uskutečňováno několik rozvozů denně a pobočky si pro tyto rozvozy objednávají zboží. Pro každý rozvoz je nastaven určitý čas, kterému se říká Stop krok. Stop krok je čas cca 30 minut až hodinu před odjezdem rozvozového vozidla. Pokud si tedy pobočka objedná zboží před tímto Stop krokem, měla by zboží dostat hned daným rozvozem, v případě dostatečné kapacity vozidla.

Pro skladníka to znamená, že se mu objednané zboží objeví na čtečce a měl by ho přidat k objednávce. Zboží musí nejprve ve skladu najít, což by neměl být problém – každé zboží má danou přesnou skladovou lokaci. Skladník musí poté zboží donést na správnou rampu, odkud daný rozvoz jede. Nyní zbývá zboží ještě načíst. Takto načtené zboží je připraveno k distribuci. Posledním krokem tak už je jen správné uložení zboží pro přepravu. Zboží se může přepravovat v několika typech obalů. Nejčastěji se používají boxy – pro drobné zboží, papírové krabice na paletách, palety samotné, nebo klece. Některé zboží se vzhledem ke svým rozměrům nebo váze přepravuje volně, pouze ve svém vlastním obalu. Musí být ale dobře zajištěno, aby nedošlo k jeho poškození nebo poškození dalších věcí při přepravě. Samotnou nakládku zboží do vozidla provádějí pracovníci skladu ve spolupráci s řidičem, který si náklad v autě uspořádá tak, jak ho bude vykládat. Nakládka do auta probíhá buď ručně, nebo paletovým vozíkem.

Na skladě musí být dodržovány bezpečnostní předpisy. Každý pracovník je povinen nosit reflexní vestu nebo reflexní popruhy a obuv s plnou špičkou. Jsou zde používány paletové vozíky, ručně vedené elektrické vozíky, vysokozdvizné vozíky a retraky.

Externí sklady

Kapacita hlavního skladu je téměř zaplněna, proto společnost využívá také některé externí sklady. Ve stejném areálu využívá Auto Kelly skladové prostory u společností Hopi a Schenker. V těchto skladech je uloženo zboží, které není tak obrátkové. Dalším externím skladem je MP Sped v Modleticích, vzdálený necelých 8 kilometrů od centrálního skladu Auto Kelly v Kunicích. Zde je uloženo garážové vybavení, elektrokola, motorky a skútry. Toto zboží je totiž přepravováno v již zmíněných mimořádných rozvozech. Poloha externího skladu v Modleticích je znázorněna na následujícím obrázku č.6.



zdroj: [14, 20, autor]

Obrázek 6: Externí sklady

Pobočky Auto Kelly

V České republice má Auto Kelly široké zastoupení, a to v podobě celkem 81 poboček. Většina poboček je zavázána z centrálního skladu společnosti. Každá pobočka má několik zaměstnanců, mezi ně patří: manažer pobočky, obchodní zástupci, prodavači, skladníci a řidiči. Pobočky mají různou velikost, průměrný počet zaměstnanců je deset. Seznam poboček je uveden v tabulce 1. Zvýrazněné pobočky v tabulce (Kunice, Brno – Slatina, Ostrava) se nacházejí přímo u stávajících skladů, proto není třeba do těchto poboček zboží rozvážet.

Tabulka 1: Seznam poboček Auto Kelly

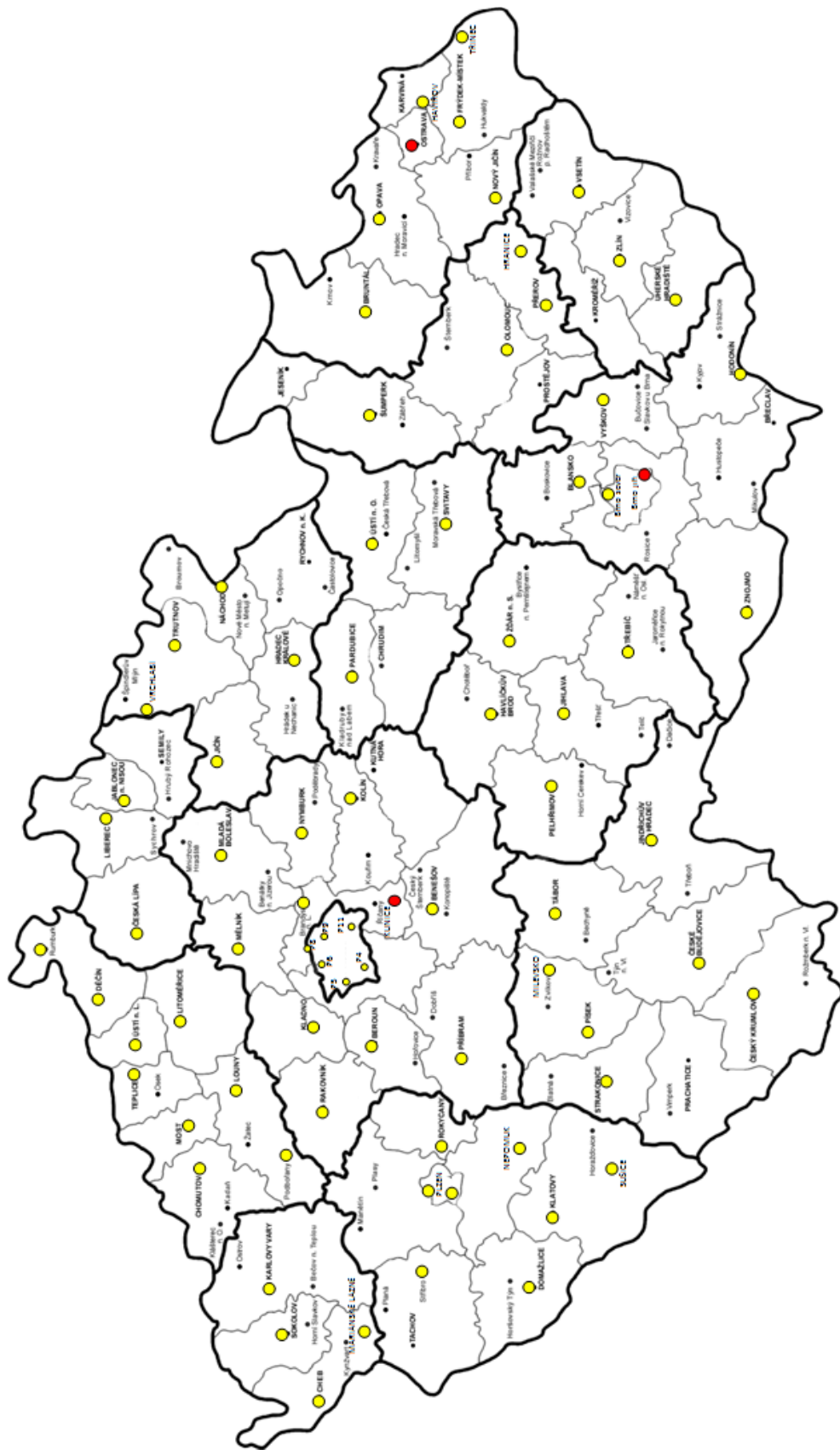
Benešov	Olomouc
Beroun	Opava
Blansko	Ostrava
Brandýs nad Labem	Pardubice
Brno - Lesná	Pelhřimov
Brno – Slatina	Písek
Bruntál	Plzeň
Česká Lípa	Plzeň 2
České Budějovice	Podbořany
Český Krumlov	Praha 11
Děčín	Praha 4
Domažlice	Praha 5
Frýdek - Místek	Praha 6
Havířov	Praha 8
Havlíčkův Brod	Praha 9
Hodonín	Přerov
Hradec Králové	Příbram
Hranice	Rakovník
Cheb	Rokycany
Chomutov	Rumburk
Jablonec nad Nisou	Sokolov
Jičín	Strakonice
Jihlava	Stříbro
Jindřichův Hradec	Sušice
Karlovy Vary	Svitavy
Kladno	Šumperk
Klatovy	Tábor
Kolín	Teplice
Kunice	Trutnov
Liberec	Třebíč
Litoměřice	Třinec

Louny
Mariánské Lázně
Mělník
Millevsko
Mladá Boleslav
Most
Náchod
Nepomuk
Nový Jičín
Nymburk

Uherské Hradiště
Ústí nad Labem
Ústí nad Orlicí
Vrchlabí
Vsetín
Vyškov
Zlín
Znojmo
Žďár nad Sázavou

zdroj: [20]

Pobočky jsou ještě znázorněny na obrázku 7 žlutou barvou, červeně jsou vyznačeny sklady.



zdroj: [20, autor]

Obrázek 7: Pobočky Auto Kelly v ČR

Informační systém Auto Kelly

ISAK je zkratka pro informační systém Auto Kelly. Je to interní systém, ve kterém se nachází prakticky všechny důležité informace a je dostupný jak v centrále společnosti, tak ve skladech a na pobočkách. Jsou zde například informace ohledně množství a stavu zboží, jeho pohybu a detailní informace o každém druhu zboží. Pobočky do systému zadávají své objednávky, podle kterých je zboží ve skladech vychystáváno. Jsou zde uvedeny jednotlivé rozvozy, pomocí systému je možné měnit například časy expedice, Stop kroky a vše důležité pro každodenní chod společnosti [20].

3.5 Rozvozové trasy

V současné době jsou ze skladů společnosti uskutečňovány 3 typy pravidelných rozvozů. Jedná se o denní, noční a sobotní rozvozy. Denní a noční rozvozy jsou pravidelné pro každý všední den, sobotní rozvozy jsou uskutečňovány v sobotu odpoledne. Noční a sobotní rozvozy jsou shodné, proto v další části práce nebudou sobotní rozvozy uvažovány a budou řešeny pouze dva druhy rozvozů – denní a noční. Níže jsou jednotlivé typy představeny podrobněji.

Denní rozvozy

Denní rozvozy se ještě dělí na další tři skupiny. Rozdíl je v tom, odkud rozvozová auta vyjíždějí. Nejvíce poboček je obsluhováno z centrálního skladu v Kunicích. Další rozvozová auta začínají buď v brněnském skladu, nebo ve skladu v Ostravě.

Kunice

Nejprve budou představeny rozvozové trasy pro centrální sklad v Kunicích. V tabulce 2 níže je vidět jak složení jednotlivých tras, tak i jejich délka.

Tabulka 2: Denní rozvozové trasy – Kunice

Sklad: Kunice		
Okružní trasa	Pobočky na trase	Vzdálenost [km]
1	Praha 9 - Brandýs nad Labem	83
2	Praha 8	73
3	Praha 4	49
4	Praha 5	70
5	Praha 6	64
6	Praha 11	36
7	Ústí nad Labem - Děčín	266
8	Litoměřice - Teplice	229
9	Pelhřimov - Jindřichův Hradec	244
10	Vrchlabí - Trutnov	326
11	Jihlava - Havlíčkův Brod	224
12	Kolín - Nymburk	155
13	Písek - Strakonice	255
14	Příbram - Nepomuk	250
15	Karlovy Vary - Sokolov	339
16	Beroun - Plzeň 2	240
17	Česká Lípa - Rumburk	285
18	Mělník	117
19	Rokycany - Plzeň	239
20	Benešov - Tábor (Milevsko)	142
21	Klatovy - Domažlice	353
22	Kladno - Louny	179
23	České Budějovice - Český Krumlov	303
24	Liberec - Jablonec	254
25	Hradec Králové - Náchod	322
26	Pardubice	220
27	Mariánské Lázně - Cheb	434
28	Mladá Boleslav - Jičín	217
29	Rakovník - Podbořany	232
30	Chomutov - Most	260
	celkem	6460

zdroj: [20]

Z centrálního skladu je zboží během denních rozvozů zavezeno do 53 poboček. Jak je zřejmé z tabulky, je k tomu třeba využít 30 vozidel, které dohromady urazí 6 460 kilometrů. V uvedené tabulce 2 denních rozvozů z Kunic chybí pobočky Milevsko, Sušice a Stříbro. Tyto pobočky se samostatně nezaváží z důvodu malého objemu zboží. Z těchto poboček si zaměstnanci pro objednané zboží jezdí do poboček okolních, kam je zboží pravidelným rozvozem zavezeno. Pobočky mají svá vlastní služební vozidla, která například k tomuto účelu využívají. Pro pobočku Milevsko je zboží složeno na pobočce v Táboře, pobočka

Stříbro má zboží na pobočce v Plzni a pobočka Sušice má zboží složeno v Klatovech. Pro tyto pobočky je situace stejná i u nočních pravidelných rozvozů.

Brno

V následující tabulce 3 jsou znázorněny rozvozové trasy pro brněnský sklad.

Tabulka 3: Denní rozvozové trasy – Brno

Sklad: Brno (Slatina)		
Okružní trasa	Pobočky na trase	Vzdálenost [km]
1	Brno (Lesná) - Žďár nad Sázavou	168
2	Blansko - Svitavy - Ústí nad Orlicí	219
3	Olomouc - Šumperk - Vyškov	250
4	Zlín - Přerov	213
5	Hodonín - Uherské Hradiště	172
6	Znojmo - Třebíč	187
	celkem	1209

zdroj: [20]

Z brněnského skladu je denními rozvozy obsluženo 14 poboček. Během šesti rozvozových tras vozidla ujedou vzdálenost celkem 1 209 kilometrů.

Ostrava

Poslední část denních rozvozů tvoří rozvozové trasy ze skladu v Ostravě, viz tabulka 4 níže.

Tabulka 4: Denní rozvozové trasy – Ostrava

Sklad: Ostrava		
Okružní trasa	Pobočky na trase	Vzdálenost [km]
1	Opava - Bruntál	142
2	Frydek-Místek - Havířov - Třinec	103
3	Nový Jičín - Hranice - Vsetín	177
	celkem	422

zdroj: [20]

Ze skladu v Ostravě jsou denně uskutečněny tři rozvozy. Při nich je zboží zavezeno do 8 poboček a rozvozová auta urazí celkem 422 kilometrů.

Noční rozvozy

Noční rozvozy na pobočky jsou všechny uskutečňovány z centrálního skladu v Kunicích. Rozvozové trasy jsou zobrazeny v tabulce 5 níže.

Tabulka 5: Noční rozvozové trasy – Kunice

Sklad: Kunice		
Okružní trasa	Pobočky na trase	Vzdálenost [km]
1	Vyškov - Olomouc - Hranice - Vsetín	652
2	Hodonín - Uherské Hradiště - Zlín - Přerov	630
3	Nový Jičín - Frýdek-Místek - Třinec - Havířov	756
4	Ostrava - Opava - Bruntál	723
5	Znojmo - Brno (Slatina) - Brno (Lesná) - Blansko	502
6	Plzeň - Plzeň 2	246
7	Rokycany - Domažlice - Klatovy - Nepomuk	359
8	Praha 4 - Praha 5 - Praha 6	84
9	Praha 9 - Praha 11	62
10	Litoměřice - Česká Lípa - Rumburk - Mělník	304
11	Ústí nad Labem - Děčín - Teplice	282
12	Benešov - Příbram - Beroun - Kladno	203
13	Mladá Boleslav - Liberec - Jablonec	257
14	Kolín - Branýs nad Labem - Praha 8	166
15	Karlovy Vary - Sokolov - Cheb - Mariánské Lázně	407
16	Louny - Most - Chomutov - Podbořany - Rakovník	296
17	Náchod - Trutnov - Vrchlabí - Jičín - Nymburk	375
18	Pardubice - Hradec Králové	258
19	Svitavy - Šumperk - Ústí nad Orlicí	455
20	Tábor - Jindřichův Hradec - Pelhřimov - Havlíčkův Brod	284
21	Jihlava - Třebíč - Žďár nad Sázavou	324
22	České Budějovice - Český Krumlov - Strakonice - Písek	359
	celkem	7984

zdroj: [20]

Při nočních rozvozech je z centrálního skladu obslouženo celkem 77 poboček. Zboží se zaváží i na sklady v Brně a v Ostravě. Nočních rozvozových tras je celkem 22 a vozidla při nich ujedou vzdálenost celkem 7 984 kilometrů [20].

3.6 Dopravci a vozidla

Společnost Auto Kelly využívá na rozvozové trasy outsourcovaný vozový park. To znamená, že si vozidla pronajímá od několika dopravců. V současné době jezdí pro Auto Kelly celkem 9 různých dopravců, na denních rozvozech se podílí 6 z nich, noční rozvozy zajišťuje 5 dopravců.

Vozidla – denní rozvozy

Pro denní rozvozy jsou na všech trasách využívány dodávky. Nosnost nákladu mají do 1,5 tuny a disponují prostorem 7 paletových míst. V další části práce bude tento typ vozidel označován jako „malá vozidla“.

Vozidla – noční rozvozy

Noční rozvozy jsou obsluhovány většími nákladními auty. Nosnost těchto vozidel je do 6 tun, nabízejí prostor 15 paletových míst. Tato vozidla již musí být vybavena tachografem. V další části práce budou označována jako „velká vozidla“.

Kapacita vozidel

Počet obslužených poboček jedním rozvozem závisí nejenom na velikosti vozidla, ale také na požadavcích a velikostech objednávek poboček. Tyto hodnoty jsou ale ze zkušenosti již dobře známé, takže rozvozové trasy jsou stabilní. Přesné objednávky poboček jsou navíc sledovány a kontrolovány v informačním systému, jak bylo již zmíněno. Požadavky poboček budou pro nové návrhy rozvozových tras stejné, jako jsou v současné situaci.

- **Malá vozidla**

Jak je možné vidět v tabulkách pro denní rozvozové trasy, malé vozidlo je schopné obsloužit jednu až tři pobočky. Nejčastější je obsluha dvou poboček během jednoho rozvozu.

- **Velká vozidla**

Z tabulky pro noční rozvozy vyplývá, že velké vozidlo ve většině případů obslouží jedním rozvozem tři nebo čtyři pobočky. V některých rozvozech jsou ale obslouženy pobočky pouze dvě, v jiných naopak až pět.

V případě nezvykle velké objednávky je zboží, které se do pravidelného denního rozvozu nevešlo, zavezeno na pobočku nočním rozvozem. V nočních rozvozech se totiž pro tyto případy počítá s jistou rezervou.

Ceny za kilometr

Jelikož společnost využívá služby celkem devíti různých dopravců, není smluvená cena za kilometr u všech stejná. Záleží to na více parametrech, například jaký podíl z rozvozu dopravce pro společnost zajišťuje, kolik poboček obslouží, nebo jakou vzdálenost celkem urazí.

Pro malé vozidlo bude uvažována průměrná cena 10,- Kč bez DPH za jeden kilometr. Pro velké vozidlo je situace složitější, protože se platí také mýtné. Výše mýtného je stanovena součinem sazby mýtného a ujeté vzdálenosti po zpoplatněném úseku. Mýtné závisí ještě například na emisní třídě vozidla, nebo počtu náprav. U každého dopravce může proto vycházet odlišná cena za mýtné v přepočtu na jeden kilometr. V práci bude průměrná cena za jeden kilometr u velkého vozidla získána následovně. Nejdříve bude sečteno mýtné u všech dopravců na všech rozvozových trasách. Tato hodnota bude podělena celkovým počtem najetých kilometrů na těchto trasách. Tím bude získána průměrná hodnota mýtného na jeden kilometr na rozvozových trasách Auto Kelly. Pokud tedy bude pro velké vozidlo počítáno s průměrnou cenou 17,- Kč bez DPH za jeden kilometr (bez mýta), průměrná cena (s mýtným) bude pro velké vozidlo 18,3,- Kč bez DPH za jeden kilometr [20].

3.7 Podmínky pro řidiče

Doprovce musí při přepravách, na které se vztahuje nařízení (ES) č. 561/2006 nebo dohoda AETR (Evropská dohoda o práci osádek vozidel v mezinárodní silniční dopravě), zajistit, aby řidič dodržoval určité doby řízení, doby odpočinku a bezpečnostní přestávky. Tato omezení se týkají části rozvozových tras společnosti Auto Kelly, jelikož nařízení 561/2006 se vztahuje na přepravu zboží vozidly, jejichž maximální přípustná hmotnost včetně návěsu nebo přívěsu překračuje 3,5 tuny. Jedná se o noční rozvozové trasy společnosti [17].

Řidič musí dodržovat následující doby:

Doba řízení

Celková doba řízení mezi dvěma denními odpočinky nebo jedním odpočinkem denním a jedním týdenním nesmí přesáhnout 9 hodin. Dvakrát za týden může být prodloužena na 10 hodin. Týdenní doba řízení nesmí přesáhnout 56 hodin. Celková doba řízení nesmí přesáhnout 90 hodin za období dvou po sobě následujících týdnů [17].

Bezpečnostní přestávka

Přestávkou se rozumí doba, během níž nesmí řidič řídit ani vykonávat žádnou jinou práci a která je určena výhradně k jeho zotavení. Po 4,5 hod. řízení musí mít řidič nepřerušenu přestávku nejméně 45 minut, pokud mu nezačíná doba odpočinku. Tato přestávka může být nahrazena přestávkou v délce nejméně 15 minut, po níž následuje přestávka v délce nejméně 30 minut [17].

Denní doba odpočinku

V průběhu každých 24 hodin po skončení předchozí denní nebo týdenní doby odpočinku musí mít řidič novou denní dobu odpočinku. Je-li denní doba odpočinku v průběhu těchto 24 hodin alespoň 9 hodin, ale kratší než 11 hodin, považuje se dotyčná denní doba odpočinku za zkrácenou. Mezi dvěma týdenními dobami odpočinku smí mít řidič nanejvýš tři zkrácené denní doby odpočinku. Jsou-li ve vozidle dva řidiči, musí mít každý z nich denní odpočinek nejméně 9 po sobě následujících hodin za každé období 30 hodin od skončení denní nebo týdenní doby odpočinku [17].

V diplomové práci je uvažováno s průměrnou rychlostí vozidel 60 km/h a průměrnou dobou vykládky 10 minut. Pokud by řidič navštívil při jedné rozvozové trase nejvíce 5 poboček, zdržel by se na vykládkách celkem 50 minut. Na samotnou jízdu by mu potom zbývalo 8 hodin a 10 minut. Podle vzorce $s = v \cdot t$ lze snadno určit maximální možnou délku rozvozové trasy. Aby řidič nepřekročil povolenou dobu řízení (9 hodin), znamená to, že při obsluze 5 poboček může být maximální možná délka rozvozové trasy 490 kilometrů. U stávajících rozvozových tras společnosti je tato podmínka porušena u pěti nočních rozvozů. Aby nedocházelo k porušování zákona a řidiči nepřekračovali povolenou dobu řízení, je situace u zmíněných rozvozů řešena výměnou řidičů. Jelikož tyto rozvozy zajišťuje stejný dopravce, který má sídlo v Brně, a všechny tyto rozvozy přes Brno vedou, je to pro něj nejvhodnější řešení.

4 Základní formulace problému

Tato kapitola věnuje pozornost řešenému problému okružních jízd. Problém je blíže představen, je zde uvedena základní definice ve formě matematického modelu a jsou zmíněny možné varianty úlohy. Většina informací je čerpána z odborné literatury, jejíž autory jsou G. Laporte, T.G.Crainic, nebo P.Toth a D.Vigo [4], [5].

4.1 Představení problému okružních jízd

Úloha okružních jízd (Vehicle Routing Problem) bývá označována jako problém vícenásobného obchodního cestujícího (Multiple Travelling Salesman Problem). Již uplynulo více než 50 let od chvíle, kdy Dantzig a Ramser v roce 1959 představili problém okružních jízd ve své práci nazvané The Truck Dispatching Problem [6]. Popsali ho na skutečném příkladu týkajícím se dodávky benzínu do čerpacích stanic a navrhli první matematickou formulaci a algoritmický přístup k problému. O několik let později, v roce 1964, Clarke a Wright navrhli účinnou heuristickou metodu, která zlepšuje přístup Dantziga a Ramsera. Po těchto dvou klíčových zpracování problému bylo v následujících desítkách let navrženo velké množství různých modelů a algoritmů pro řešení VRP. Tento zájem o VRP je způsoben jeho velkým praktickým významem v mnoha úlohách každodenního života a také jeho značnou obtížností. Nejrozsáhlejší příklady VRP, které lze vyřešit nejúčinnějšími exaktními algoritmy, obsahují přes 50 zákazníků [5].

Stručná historie vývoje řešení problému okružních jízd [4]:

1950 – 1960:

- formulace VRP (Dantzig a Ramser),
- řešeny malé problémy, 10 až 20 zákazníků,

1960 – 1970:

- navrženy počáteční konstrukční heuristiky (Clarke a Wright),
- řešeny problémy s 30 až 100 zákazníky,

1970 – 1980:

- navrženy dvoufázové heuristiky (Gillett a Miller),
- řešeny rozsáhlejší problémy, 100 až 1 000 zákazníků,
- problémy s 25 až 30 zákazníky řešeny pomocí exaktních metod,

1980 – 1990:

- navrženy postupy založené na matematickém programování (Fisher a Jaikumar),
- problémy s přibližně 50 zákazníky řešeny exaktními metodami,

1990 – 2000

- řešeny problémy s 50 až 100 zákazníky pomocí exaktních metod,
- na problém okružních jízd jsou aplikovány metaheuristiky.

V úlohách diskrétní optimalizace je často množina všech přípustných řešení velmi rozsáhlá. Dle teorie složitosti se rozlišuje několik tříd úloh. Většina dnes používaných algoritmů má polynomiální časovou složitost. Problémy, které tyto algoritmy řeší, řadíme do třídy P (zvládnutelné). Mezi úlohy s touto složitostí řadíme z dopravy například úlohu hledání minimální kostry grafu nebo problém nejkratší cesty v grafu.

Problémy, které nepatří do třídy P, označujeme jako nezvládnutelné. Tyto úlohy mají často důležité praktické využití, ale možnost najít optimální řešení existuje pouze pro malé vstupy. Úlohy tohoto typu mohou mít astronomický počet řešení, je proto velice obtížné získat řešení v reálném čase. V těchto situacích lze použít aproximační algoritmy, heuristiky nebo metaheuristiky. V dopravě patří do této skupiny úloh například problém obchodního cestujícího, problém okružních jízd, lokační úlohy, čínský pošťák. Jak je možné vidět v tabulkách 6 a 7 níže, J.K. Lenstra a A. R. Kan řadí ve své práci problémy TSP a VRP do třídy výpočetní složitosti NP-hard [7].

Tabulka 6: Úlohy a jejich označení

Name	Code
Traveling salesman problem	TSP
Directed traveling salesman problem	DTSP
Chinese postman problem	CPP
Directed Chinese postman problem	DCPP
Mixed Chinese postman problem	MCPP
Rural postman problem	RPP
Directed rural postman problem	DRPP
Stacker - Crane problem	SCP

zdroj: [7]

Tabulka 7: Výpočetní náročnost úloh

Problem	Complexity
VRP	NP-hard
TSP	NP-hard
DTSP	NP-hard
CPP	$O(v^3)$
mCPP	NP-hard
DCPP	$O(v^3 \log a)$
mDCPP	NP-hard
MCPP	NP-hard
RPP	NP-hard
DRPP	NP-hard
SCP	NP-hard

zdroj: [7]

4.2 Formulace problému okružních jízd

Problém okružních jízd může být popsán jako úloha, jejímž cílem je určení takových tras vozidel, aby byli obslouženi všichni zákazníci a aby celkové náklady byly minimální. Každá

trasa začíná v depu, obslouží několik zákazníků a vrací se zpět do depa. Každý zákazník musí být v rámci některé trasy obsloužen právě jednou. Celková velikost dodávek zákazníků na jedné trase nesmí přesáhnout kapacitu vozidla (Capacitated Vehicle Routing Problem - CVRP).

Úloha okružních jízd je zobecněním úlohy obchodního cestujícího. Oproti němu má ale VRP řadu dalších omezení a podmínek, které úlohu blíže přizpůsobují požadavkům a problémům reálného světa. Distribuce například může probíhat z více dep, každý zákazník musí být obsloužen v daném časovém intervalu (časovém okně), může být homogenní nebo heterogenní vozový park, nebo může být dán maximální možný počet obsloužených míst v rámci jedné trasy vzhledem ke kapacitám vozidel a požadavkům zákazníků. Úloha může mít podle druhu a množství omezení hodně podob, pro lepší přehled mohou být charakteristické znaky a podmínky úlohy klasifikovány následovně [3]:

Čas uspokojování požadavků

- čas je pevně určen (úloha rozvrhování),
- čas je dán časovým intervalem (časovými okny),
- čas není určen.

Počet středisek (dep)

- jedno středisko,
- více středisek.

Typ vozového parku

- homogenní,
- heterogenní.

Velikost vozového parku

- jedno vozidlo,
- více vozidel,
- neomezený počet vozidel.

Povaha požadavků

- deterministické - přesně známy,
- stochastické - nejsou předem známy.

Poloha požadavků v dopravní síti

- v uzlech (obsluha vrcholu sítě – rozvoz zboží),
- na úsecích (obsluha hran sítě – kropení ulic, zimní posyp silnic),
- v uzlech i na úsecích.

Typ dopravní sítě

- orientovaná,
- neorientovaná,
- smíšená.

Maximální doba pro projetí jedné trasy (pracovní doba řidičů)

- stejná pro všechna vozidla (homogenní park),
- každé vozidlo má obecně jinou dobu,
- není zadána (bez omezení).

Operace prováděné u zákazníků

- pouze nakládka (svozové úlohy),
- pouze vykládka (rozvozové úlohy),
- obě operace.

Kritérium kvality řešení (účelová funkce)

- minimální součet ohodnocení úseků projetych vozidly (délka trasy, pracovní doba, spotřeba pohonných hmot),
- minimální počet tras (počet použitých vozidel, pořizovací náklady),
- smíšené kritérium (celkové náklady),
- minimaxové kritérium.

Matematický model VRP

Nyní bude uvedena konkrétní formulace řešeného problému. Máme úplný graf $G = (V; H)$, kde $V = (u_1, \dots, u_n)$ znázorňuje množinu zákazníků a H je množina hran spojujících tyto zákazníky. Umístění depa je reprezentováno vrcholem u_0 a rozmístění zákazníků je dáno vrcholy u_i , kde $i = 1, \dots, n$. U těchto zákazníků vzniká požadavek na obsluhu určitého množství elementů. Hrana mezi každými dvěma vrcholy u_i a u_j je ohodnocena velikostí c_{ij} , která

představuje vzdálenost, kterou musí vozidlo mezi těmito vrcholy urazit. Pro obsluhu zákazníků je k dispozici množina vozidel K o kapacitě C a trasa každého vozidla začíná a končí v depu. Každý zákazník u_i má poptávku d_i .

Cílem je navrhnout takové trasy vozidel, aby byl požadavek v každém místě uspokojen právě jednou a aby jejich celková délka byla minimální [3], [4].

Ze zadání úlohy vyplývá, že úloha má dvě podmínky přípustnosti jejího řešení:

- každý zákazník musí být v rámci některé trasy obslužen právě jednou;
- musí být respektována kapacita obsluhujících vozidel [4].

Pro sestavení matematického modelu je také nutné definovat proměnné. Bivalentní proměnná x_{ijk} , kde $x_{ijk} \in \{0;1\}$ pro každé z vozidel $k \in K$ a každou dvojici objektů $(i; j)$, udává, zda je vozidlo přiřazeno na hranu (i, j) . Pokud dojde k přiřazení vozidla na hranu (i, j) , tak je $x_{ijk} = 1$, pokud tomu tak není, potom $x_{ijk} = 0$ [3].

Matematický model VRP lze pak zapsat [3]:

$$\text{Minimalizovat} \quad \sum_{k \in K} \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} c_{ij} x_{ijk} \quad (1)$$

za podmínek:

$$\sum_{k \in K} \sum_{i \in V} x_{ijk} = 1 \quad \text{pro } u \in V; \text{ kde } i \neq j \quad (2)$$

$$\sum_{i \in V} x_{ijk} = \sum_{i \in V} x_{jik} \quad \text{pro } u \in V \cup \{u_0\}; k \in K, \text{ kde } i \neq j \quad (3)$$

$$\sum_{u \in V} d_i \sum_{i \in V} x_{ijk} \leq C_k \quad \text{pro } k \in K, \text{ kde } i \neq j \quad (4)$$

$$\sum_{j \in S} \sum_{i \in S} x_{ijk} \leq |S| - 1 \quad \text{pro } k \in K, S \subseteq V, |S| \geq 2, \text{ kde } i \neq j \quad (5)$$

$$x_{ijk} \in \{0;1\} \quad \text{pro } k \in K, i \in V \cup \{u_0\}, j \in V \cup \{u_0\}, \text{ kde } i \neq j \quad (6)$$

Účelová funkce této úlohy (1) vyjadřuje celkovou ujetou vzdálenost. Podmínky (2) zabezpečují, aby každý zákazník byl navštíven právě jednou jedním vozidlem. Podmínky (3) zajišťují, že každé vozidlo, které vjede do vrcholu u_i , z něho také vyjede. Podmínky (4) zabezpečují, že požadavky zákazníků přiřazených vozidlu k nepřesáhnou jeho kapacitu C , a podmínky (5) určují to, že trasa vozidla musí tvořit kružnici v grafu a tato kružnice musí procházet umístěním depa u_0 . Tyto podmínky se označují jako anticyklické. Podmínky (6) jsou podmínky celočíselnosti [3].

4.3 Varianty úlohy VRP

Dle množství a druhu různých omezujících podmínek může mít úloha okružních jízd mnoho podob. V této části práce budou představeny některé modifikace úlohy VRP, které můžeme díky použití těchto podmínek získat ze základní úlohy okružních jízd.

Úloha okružních jízd s časovými okny

Úloha okružních jízd s časovými okny je důležitým zobecněním úlohy okružních jízd. Původní úloha se rozšíří o tzv. časová okna, která reprezentují určitý časový interval, ve kterém je nutné (možné) zákazníka obsloužit. Aby bylo možné dodržovat časové intervaly, musí být znám časový okamžik, kdy vozidlo opustí sklad, doba jízdy mezi jednotlivými vrcholy a čas nutný k vykládce (nakládce) zboží. Obsluha daného zákazníka pak musí začít během stanoveného časového okna. Velikost a počet definovaných časových oken může potom výrazně zvýšit složitost řešení takové úlohy. Této úloze se věnoval ve své práci A. N. El-Sherbeny [8].

Úloha okružních jízd s heterogenní flotilou vozidel

Vozidla mohou být heterogenní z různých úhlů pohledu. Typickým příkladem je flotila vozidel s odlišnou kapacitou. Vozidla mohou být různého typu (krytá, nekrytá ložná plocha), mohou mít odlišné cestovní doby, různé doby pro vykládku a nakládku zboží nebo různé další vlastnosti a charakteristiky. Tento problém řešili například J. F. Cordeau a M. Laporte [9].

Úloha okružních jízd s více středisky obsluhy

V běžně řešených úlohách se často setkáváme s více než jedním depem. Zákazníci jsou obsluhováni několika depy, kde každé má svou vlastní flotilu vozidel. Obvykle se předpokládá, že se vozidla vrací do depa, ze kterého vyjela. Tato střediska obsluhy jsou

autonomní s vlastní množinou zákazníků, které obsluhují. Někdy je však pouze požadováno, aby se počet přijíždějících vozidel rovnal počtu vozidel, která depo opustila. Jednotlivá vozidla mohou po obsluze zákazníků skončit v jiném depu, než ze kterého vyrazila. Tímto problémem se zabýval C. Hjorring [18].

Stochastická úloha okružních jízd

Stochastická úloha okružních jízd se vyznačuje tím, že alespoň jedna část poptávky úlohy je náhodná. Jedná se například o tyto případy:

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

Trasy musí být navrženy před tím, než je známa skutečná poptávka. Stochastické úlohy jsou řešeny dvoufázově. Nejprve se řešení vypočte za použití náhodných proměnných a poté, ve druhé fázi, kdy jsou hodnoty náhodných proměnných již známy, je proveden opravný (upřesňující) výpočet. Úlohu řešili G. Laporte a F. V. Louveaux [4].

Úloha okružních jízd obsahující svoz a rozvoz

U klasické úlohy okružních jízd buď zboží zákazníkům rozvážíme, nebo ho naopak stahujeme zpět. V tomto případě však můžeme dělat obě činnosti najednou. Je třeba dbát na to, že zboží naložené u zákazníka nesmí přesáhnout kapacitu vozidla. V jednoduché verzi tohoto problému musí proběhnout nejprve rozvoz a vozidla musí být před zahájením fáze sběru zcela prázdná. V tomto případě mohou být zákazníci rozděleni do dvou tříd: množina zákazníků, kterým rozvážíme, a množina zákazníků, od kterých svážíme. Odstraněním všech hran orientovaných od svozových zákazníků k rozvozovým zajistíme, že bude nemožné obsloužit rozvozového zákazníka po zákazníkovi, od kterého svážíme. Cílem je určit množinu tras, které zajistí doručení zboží zákazníkům a odvoz od zákazníků, tak, že kapacita vozidel není překročena a celková ujetá vzdálenost je minimální. Tuto úlohu řešil například G. Righini [18].

5 Metody řešení VRP

V následující kapitole budou představeny některé metody, které slouží k řešení problému okružních jízd. Základní druhy metod mohou být klasifikovány následovně:

- exaktní metody,
- heuristiky,
- metaheuristiky.

5.1 Exaktní metody

Výhodou exaktních metod je jejich přesnost, jelikož jsou prověřovány všechny varianty řešení a z nich je vybráno optimální řešení. Exaktní algoritmy u kombinatoricky složitých úloh bohužel zvládají v rozumném čase pracovat jen s malými úlohami. Pro úlohy většího rozsahu je nelze použít, protože pomocí těchto algoritmů není možné v reálném čase nalézt řešení. Počet operací nutných k získání optimálního řešení roste kombinatoricky s velikostí úlohy. Jedná se především o metody větví a hranic a větví a řezů [3].

Metoda větví a hranic

Jedná se o metodu, která je založena na opakování dvou operací - větvení a omezování. Větvením se množina přípustných řešení rozkládá na navzájem disjunktní podmnožiny (větvě). Pro každou podmnožinu vzniklou větvením se omezováním určí dolní mez (u minimalizačních úloh). Lze tak určit, které podmnožiny budou nejpravděpodobněji obsahovat optimální řešení a které naopak není třeba dále zkoumat. Algoritmus proto neprohledává množinu všech přípustných řešení, ale je založen na prohledávání množiny přípustných řešení ve směru největšího zlepšení účelové funkce, což je výhodou této metody. Pro další větvení je vybrána podmnožina s nejnižší dolní mezí. Cílem je nalézt takové přípustné řešení, pro které není hodnota účelové funkce větší než dolní mez u všech dosud nerozložených podmnožin. Výsledkem metody větví a hranic je nalezení optimálního řešení. Touto metodou se zabývali P. Toth a D. Vigo [5].

5.2 Heuristické metody

Heuristické metody lze v praxi využívat k řešení poměrně rozsáhlých úloh a výsledek je získán v reálném čase. Nevýhodou ovšem je, že tyto metody nezaručují nalezení optimálního řešení. Výsledkem je jedno z přípustných řešení, tedy řešení suboptimální.

U něho většinou nelze zjistit, jak je vzdálené od řešení optimálního. Vzhledem k rychlosti výpočtu a nárokům na výpočetní techniku mohou být suboptimální řešení považována za přijatelná.

Heuristiky mohou být děleny do následujících dvou skupin:

- **Primární heuristiky** - postup začíná přípustným řešením, které je postupně zlepšováno a jehož hodnota lokálního kritéria je menší než hodnota lokálního kritéria předchozího řešení. Proces zlepšování končí dosažením takového řešení, které nejde již nadále zlepšit.
- **Duální heuristiky** - vytváří nejdříve nepřípustné řešení, které má hodnotu účelové funkce lepší, než může nabývat optimální řešení. Toto řešení je postupně upravováno tak, aby se odstranilo narušení podmínek přípustnosti při co nejmenším zhoršení účelové funkce v jednotlivých krocích. Výpočet končí nalezením přípustného řešení, nebo v případě, kdy dalšími možnými změnami nelze získat lepší řešení.

Oba uvedené postupy se mohou vzájemně kombinovat. Duální heuristika může poskytnout výchozí řešení, které je dále zlepšováno použitím primární heuristiky [3].

Heuristických metod a jejich modifikací existuje velký počet a můžeme je klasifikovat dle mnoha kritérií a přístupu k jejich řešení. Základní rozdělení může být následující [4]:

- konstrukční heuristiky,
- dvoufázové heuristiky,
- zlepšovací heuristiky.

Heuristické algoritmy, kde je množina tras vytvářena od začátku, nazýváme konstrukční heuristiky. Zlepšovací heuristiky jsou ty, které se pokouší vytvořit vylepšené řešení na základě již existujícího řešení. Níže bude představeno několik heuristických metod, které mohou být použity k řešení úloh okružních jízd.

Dvoufázové metody

Tyto metody, kterým se věnovali M. L. Fisher a R. Jaikumar, danou úlohu nejdříve rozdělí na dvě části, na úlohu shlukování a úlohu trasování [18].

- **Metody primárního shlukování**

V první fázi dojde ke zjednodušení úlohy zanedbáním podmínek souvisejících s vlastní trasou vozidla. Řeší se pouze úloha rozdělení zákazníků do shluků, aby každý shluk bylo možné obsloužit jedinou okružní jízdou vozidla. Ve druhé fázi se na jednotlivé shluky

zákazníků aplikuje metoda obchodního cestujícího, která řeší zařazení zákazníků do trasy obsluhované určitým vozidlem.

- **Metody primárního trasování**

Nejdříve dojde ke zjednodušení úlohy zanedbáním kapacitních omezení jednotlivých vozidel. Tím úloha přejde na rozsáhlou úlohu obchodního cestujícího, která je řešena některou z heuristických metod. Ve druhé fázi je potom získaná trasa upravována tak, aby vznikl potřebný počet okružních jízd, které respektují omezené kapacity vozidel.

Metody výhodnostních koeficientů a vsouvání

Tyto metody mohou být založeny jak na primárním tak i na duálním principu. Duální heuristiky budují trasu vozidel postupným vsouváním zákazníků do současné nepřipustné trasy. V případě primárních heuristik je nové přípustné řešení získáváno spojením dvou nebo více okružních jízd do jedné. Podle lokálního kritéria je pro úpravu řešení vybráno vložení vhodného zákazníka nebo spojení jízd. Jako lokální kritérium je použita hodnota koeficientu odhadujícího důsledky výběru pro hodnotu účelové funkce. Takto vytvořené lokální kritérium se nazývá výhodnostním koeficientem. Mezi nejznámější metody s výhodnostními koeficienty patří konstrukční heuristika, kterou vytvořili G. Clarke a J. Wright [1].

Výměnné metody

Princip výměnné heuristiky spočívá v tom, že jistá část objektů trasy je vyjmuta ze současného řešení a buď je vložena na jiné místo trasy, nebo je nahrazena podmnožinou objektů z množiny nezařazených objektů. Vyjmuté objekty ze současného řešení jsou následně vloženy do množiny nezařazených objektů. Kritériem, kterým je posuzován výsledek, je například změna hodnoty účelové funkce současného řešení. Výměnnou heuristikou se zabývali B. E. Gillet a L. R. Miller [9].

5.3 Metaheuristiky

Všechny výše uvedené heuristiky mají jednu nevýhodu, kterou je neschopnost opustit lokální minimum poté, co ho předchozími kroky dosáhnou. Metaheuristiky se vyznačují tím, že je možné za určitých okolností opustit lokální minimum a přejít posloupností iteračních kroků do jiných částí množiny přípustných řešení. Zde je šance nalézt řešení s lepší hodnotou účelové funkce, než mělo nalezené lokální optimum. Metaheuristiky také nezaručují nalezení optimálního řešení úlohy [3].

Metaheuristiky jsou výkonné techniky, které se používají na výpočet náročných a rozsáhlých úloh. Mezi základní metaheuristiky se řadí simulované žihání, Tabu search, mravenčí kolonie a genetické algoritmy.

Simulované žihání

Název a princip této metody je inspirován fyzikálním procesem známým jako žihání. Při tomto procesu je materiál zahříván až do kapalného stavu a poté je ochlazován zpět do stavu pevného a přitom se mění jeho krystalická mřížka. Při zahřátí jsou atomy volné a náhodně kmitají mezi stavy s vyšší energií. Když dochází k pomalému ochlazení, kmitání se zmenšuje a materiál má tendenci ztuhnout ve struktuře s vydáním minimální energie. Pro účely algoritmu nahrazuje energii minimalizační funkce.

V každém kroku algoritmu se náhodně vybere nějaký stav z blízkého okolí současného stavu řešení. Uskutečnění přechodu do nového řešení z okolí je založeno na výsledku náhodného pokusu. V případě, že je řešení lepší, je následně považováno za nové nejlepší řešení. Pokud je ale horší než řešení současné, je přijímáno pouze s určitou pravděpodobností. Pravděpodobnost přijetí je určena teplotou, která se postupně snižuje. Postupně s teplotou klesající k nule se tak algoritmus blíží ke stavu minimalizující danou funkci. Metodou se zabýval například I. H. Osman [9].

Tabu search

Tabu search, neboli tabu prohledávání, je metoda, kterou představil koncem osmdesátých let minulého století F. Glover. Tato metaheuristika je velmi flexibilní a dává výsledky, které jsou lepší nebo podobné výsledkům, které poskytují nejlepší heuristiky. Tato metoda se řadí mezi algoritmy lokálního prohledávání.

V každé iteraci jsou prohledána okolní řešení aktuálního řešení a nejlepší nalezené řešení nahradí to původní. Aktuální řešení je nastaveno jako nejlepší i v případě, že hodnota účelové funkce není nižší. Díky tomu je algoritmus schopen vystupovat z lokálních minim. Hlavní myšlenkou metody Tabu search je tabu list. Do tohoto listu jsou zapisována řešení algoritmu. Tím je zabráněno zacyklení neboli opakovanému nacházení nedávno vybraných řešení. Tabu list se v průběhu chodu algoritmu mění a udává řešení, která nejsou přijatelná v dalších několika iteracích. Tabu list často obsahuje pouze zakázané pohyby. Povolit tento pohyb má smysl, když jeho pokračování vede ke zlepšení celkového nejlepšího řešení. Aspirační kritéria jsou kritéria, která umožňují povolit pohyb zakázaný v tabu listu. Důležitým

parametrem je délka tabu listu, protože příliš krátká délka může vést k zacyklení. V případě příliš dlouhého tabu listu může dojít k přeskočení řešení, která by mohla vést k nejlepšímu řešení [10].

Genetické algoritmy

Genetické algoritmy jsou pravděpodobnostní vyhledávací metody, které vycházejí z evolučního přístupu, který lze nasadit na řešení složitých problémů. Tyto metody používají techniky, které napodobují evoluční procesy známé z biologie (přirozený výběr, křížení, mutace). Mezi průkopníky v oblasti genetických algoritmů patří americký teoretický biolog J. Holland, který studoval elementární procesy v populacích, které jsou z hlediska evoluce nepostradatelné. Na základě těchto výzkumů v roce 1975 navrhl genetický algoritmus jako abstrakci daných biologických procesů.

Genetické algoritmy pracují s celou množinou řešení zvanou populací, ne pouze s jedním řešením jako metody simulované žíhání nebo Tabu search. Práce genetického algoritmu začíná vytvořením počáteční populace, tedy množiny přípustných řešení, a aktualizací dosud nejlepšího nalezeného řešení. Nová řešení se získají použitím genetických operátorů (selekce, křížení, mutace) na potenciálních rodičích vybraných uvnitř populace. Na základě účelové funkce jsou geny jedinců kříženy. Při křížení je z dvojice genů vytvořena dvojice jiná. Místo křížení je vybráno náhodně a každý z genů je na tomto místě rozdělen na dvě části. Tyto části jsou do nových genů kombinovány tak, že nový gen bude tvořen počáteční částí jednoho a koncovou částí druhého z původních genů. Nově vzniklí jedinci jsou mutováni. Při mutaci je s určitou pravděpodobností na jednom genu změněna hodnota některé složky. Na nově vzniklé populaci je provedena selekce, díky které je populace omezena na zvolený počet jedinců. Probráním nové populace je aktualizováno dosud nejlepší nalezené řešení a celý proces je opakován, dokud není splněna některá z podmínek ukončení.

Genetické algoritmy jsou založeny na principu, že nejlepší rodiče mají nejlepší potomky. Nejlepší členové populace mají proto velkou pravděpodobnost, že budou vybráni jako rodiče. Ti jsou pak kříženi a dávají prostor svým dětem, které nahrazují slabší jedince populace nebo rodiče samotné. Každému členovi je přechodem do nové generace určena hodnota fitness funkce (účelové funkce). Ta vyjadřuje kvalitu řešení znázorněného tímto jedincem. Postup je opakován do té doby, kdy je získána populace, která má silné všechny členy [11].

6 Popis řešené úlohy okružních jízd

V této části práce bude popsána konkrétní úloha a metody, pomocí kterých je úloha řešena. Budou také představeny vstupy do programů a jejich výstupy s výsledky.

Zboží je do poboček společnosti rozváženo ze tří skladů, kterými společnost disponuje. Každému skladu je určen atrakční obvod. Pro rozvoz zboží si společnost pronajímá vozidla od několika dopravců. Používají se dva typy vozidel, s nosností do 1,5 tuny a do 6 tun. Pro jednotlivé typy rozvozu je použit vždy jen jeden typ vozidel. Požadavky poboček z hlediska velikosti objednaného zboží jsou předem známy. Denní rozvozy jsou uskutečňovány během provozní doby poboček, u nočních rozvozů má řidič vždy klíče, takže vykládku provede sám. Pořadí obsluhovaných poboček je určeno dispečerem. Z toho vyplývá, že zde nejsou omezení časovými okny, během kterých je nutné vykládku uskutečnit. Délka vykládky je průměrně stanovena na 10 minut.

Úloha je definována následujícími parametry:

- 3 depa, každé depo má určený atrakční obvod,
- pro každý typ rozvozu homogenní vozový park,
- poptávka zákazníků je deterministická,
- doba vykládky není omezena časovými okny,
- délka vykládky průměrně 10 minut,
- průměrná rychlost vozidel 60 km/h.

6.1 Použité metody pro výpočet

Pro řešení dané úlohy okružních jízd byly zvoleny dvě metody. Vzhledem k parametrům a náročnosti úlohy byla vybrána heuristická metoda Clarke - Wright, druhou metodou je metaheuristika Tabu search. Obě tyto metody budou použity na řešení jednotlivých variant, které byly popsány v úvodní části této práce.

V této části budou obě zvolené metody blíže představeny. K řešení pomocí těchto metod jsou použity již vytvořené a otestované algoritmy, které splňují požadavky úlohy, a výpočetní technika. Tyto algoritmy musely být modifikovány, aby zvládly pracovat s reálnými daty, která jsou známa z praxe a slouží jako vstupy do algoritmů. Oba algoritmy byly vytvořeny a upraveny v jazyce C++. Algoritmus pro metodu Clarke – Wright je použit z bakalářské práce [12], která se zabývá řešením úlohy okružních jízd touto metodou. K aplikaci algoritmu

na zpracovaná vstupní data pro jednotlivé varianty bylo využito pomoci autora algoritmu. Druhý použitý algoritmus je z diplomové práce [13], ve které je řešen problém okružních jízd s časovými okny pomocí metody Tabu search. Vstupní data a algoritmus jsou nastaveny tak, aby s časovými okny program nepracoval. Výsledky z této metody byly získány s pomocí autora práce [13].

6.1.1 Metoda Clarke - Wright

Postup metody spočívá v tom, že v každé iteraci metody jsou podle jistého kritéria vybrány dvě možné trasy $(V_0 - V_i - V_0)$ a $(V_0 - V_j - V_0)$ a tyto trasy jsou spojeny do jedné sdružené trasy $(V_0 - V_i - V_j - V_0)$. Dvě trasy mohou být sdruženy jen tehdy, jestliže vzniklá sdružená trasa bude vyhovovat podmínkám přípustnosti řešení. To znamená, že každý zákazník musí být v rámci některé trasy obslužen právě jednou a musí být respektována kapacita obsluhujících vozidel. Při postupu lze snadno kontrolovat i splnění dalších podmínek jako například maximální délku trasy nebo počet navštívených uzlů. Výhodnost nebo nevýhodnost sdružení dvou tras je určena úsporou, která jejich sdružením vznikne. Tato úspora je dána výhodnostem koeficientem Z_{ij} podle vztahu $Z_{ij} = (d_{0i} + d_{0j} - d_{ij})$, kde d_{0i} , d_{0j} a d_{ij} označují délky hran (V_0, V_i) , (V_0, V_j) a (V_i, V_j) . Hodnota Z_{ij} tedy vyjadřuje rozdíl mezi součtem délek tras $(V_0 - V_i - V_0)$ a $(V_0 - V_j - V_0)$ a délkou sdružené trasy $(V_0 - V_i - V_j - V_0)$. Metoda sdruží v každé iteraci postupu ty dva uzly, které mají nejvyšší výhodnostní koeficient Z_{ij} , pokud je možné vzhledem k přípustnosti toto sdružení provést. Výhodou tohoto postupu je, že koeficient Z_{ij} závisí pouze na vzájemných vzdálenostech uzlů V_i , V_j a V_0 a nemění se, pokud je možné tyto dva uzly spojit [1].

Vstupem do algoritmu je distanční matice. Prvním krokem je tedy zjistit vzdálenosti pro každou dvojici vrcholů, které obsluhujeme. Za vrcholy jsou brány jednotlivé pobočky společnosti. Kritériem je ujet co nejméně kilometrů, neboť jde o optimalizaci kritéria vzdálenosti. Za omezující vstupní podmínky byly zvoleny kapacita vozů a celková ujetá vzdálenost.

Algoritmus řešení popíšeme pomocí následující posloupnosti 6 kroků:

1. Vypočteme matici výhodnostních koeficientů (matici úspor) podle $Z_{ij} = d_{i0} + d_{0j} - d_{ij}$ pro všechna $i, j = 1, 2, \dots, n$.
2. Inicializačním řešením algoritmu je triviální řešení, které obsahuje celkem n triviálních cyklů: $\{(V_0, V_1, V_0), (V_0, V_2, V_0), \dots, (V_0, V_i, V_0), (V_0, V_j, V_0), \dots, (V_0, V_n, V_0)\}$. Položíme $\gamma_i = 1, i = 1, 2, \dots, n$.

3. V tabulce úspor zjistíme, existuje-li ještě nějaké $Z_{ij} > 0$, které nebylo dosud vybráno. Mohou nastat dvě možnosti:
 - a. $Z_{ij} > 0$ ještě existuje, pokračujeme krokem 4,
 - b. Žádné $Z_{ij} > 0$ již neexistuje, pokračujeme krokem 6.
4. Určíme $\max\{Z_{ij}\} > 0$, které nebylo dosud vybráno. Pro další postup je rozhodující splnění, resp. nesplnění omezující podmínky.
 - a. Omezující podmínky jsou splněny, označíme příslušné $Z_{ij} > 0$ jako použitelné, pokračujeme krokem 5,
 - b. Alespoň jedna podmínka není splněna, označíme příslušné $Z_{ij} > 0$ jako nepoužitelné, pokračujeme krokem 4.
5. Sjednotíme cykly obsahující v_i a v_j do jednoho cyklu, určíme znovu příslušná γ_i pro $i = 1, 2, \dots, n$, pokračujeme krokem 3.
6. Obdržené řešení je (sub)optimálním řešením okružních jízd na síti [2].

6.1.2 Tabu search

Algoritmy na principu Tabu search jsou používány k řešení mnoha kombinatorických problémů včetně VRP. Tato metoda patří mezi algoritmy lokálního prohledávání, kde se uvíznutí v lokálním optimu zabraňuje různými druhy zapamatování si průběhu vyhledávacího procesu. Informace o výpočetním algoritmu jsou čerpány z práce, která tento otestovaný algoritmus popisuje [10].

Metoda začíná s počátečním přípustným řešením, ze kterého jsou iteracemi vytvářena další řešení. Hlavní a nejdůležitější myšlenkou algoritmu je tabu list. Při inicializaci je list prázdný. Po každé iteraci je do tabu listu přidána inverzní transformace k transformaci, která vytvořila aktuální řešení. Je-li délka tabu listu L , po L iteracích transformace list opouští a každou novou přidanou transformaci doprovází vyloučení té nejstarší. Algoritmus při každém kroku nemusí nutně nalézt řešení s lepší hodnotou účelové funkce, proto se dokáže dostat i z lokálního optima. Pokud se algoritmus po nějaké době přeci jen vrátí do již navštíveného řešení, zpravidla je okolí redukované skrze tabu seznam jiné, čímž se zabrání dalšímu zacyklení. Důležité součásti konce algoritmu jsou diverzifikace a zintenzivnění. Diverzifikace se snaží algoritmus navést k odlišným, zatím neprozkoumaným řešením. Zintenzivnění důkladněji prohledává okolí nejlepších řešení. Pro zastavení algoritmu Tabu search jsou jako nejčastěji používaná kritéria vybírána konstantní počet iterací, při kterých se již nezlepšuje celkové řešení, nebo celkový počet iterací.

Základní prvky algoritmu

Krok - modifikace neboli transformace řešení.

Okolí - množina sousedních řešení. Jedná se o všechna přípustná řešení, která lze vygenerovat pomocí nějakého definovaného kroku.

Krátkodobá paměť - slouží k tomu, že si algoritmus pamatuje již prozkoumaná řešení. V krátkodobé paměti jsou uložena buď přímo řešení, nebo jen změny atributu, které vedly k opuštění nějakého řešení.

Tabu list - list zakázaných kroků nebo změn, které by vedly zpátky k již navštívenému nebo pravděpodobně nezajímavému řešení.

Délka tabu listu - počet iterací, během kterého platí zákaz modifikací uvedených v tabu listu. Příliš krátká délka tabu listu může vést k zacyklení prohledávání, příliš dlouhá délka může natolik modifikovat okolí, že mnoho potenciálně zajímavých řešení bude přeskočeno.

Aspirační kritérium - kritérium, které povolí provést uvedený krok, přestože je daným tabu listem zakázán. Typickou volbou aspiračního kritéria je případ, kdy nové řešení bude dosud vůbec nejlepší nalezené.

Dlouhodobá paměť - dlouhodobá paměť slouží ke zlepšení inteligence algoritmu. Například často prováděné kroky, které nevedou k žádnému zlepšení, lze penalizovat a časem prozkoumávat i dosud opomíjené kroky nebo naopak preferovat slibné kroky. S dlouhodobou pamětí často pracují následující dva pojmy.

Zintenzivnění - zintenzivnění prohledávání slouží k důkladnějšímu prohledávání okolí nejlepších řešení.

Diverzifikace - diverzifikace se snaží navést vyhledávací algoritmus k odlišným, dosud neprozkoumaným řešením.

Základní minimalizační Tabu search algoritmus na datech pro VRP vypadá následovně [10]:

Data: Instance problému VRP

Result: Seznam přípustných cest pokrývajících všechny zákazníky

S =počáteční_řešení;

$S^*=S$;

while není překročen předepsaný počet iterací **do**


```

najdi nejlepší přípustné řešení  $S' \in N(S)$ , které není zakázané nebo splňuje
aspirační kritérium;
if  $f(S') < f(S^*)$  then
     $S^* = S'$ ;
end
 $S = S'$ ;
aktualizuj tabu list;
end
vypiš  $S^*$ ;

```

Kde $N(S)$ označuje množinu okolních přípustných řešení a $f(S)$ účelovou funkci přípustného řešení S .

6.2 Vstupní data obou metod

Pro každou variantu řešení a pro každou zvolenou metodu řešení je vstup tvořen dvěma textovými soubory. Každá metoda vyžadovala jinou formulaci vstupních dat, jak je znázorněno níže. Na obrázku 8 je vidět příklad distanční matice, ze které byly vytvářeny vstupní soubory pro oba algoritmy.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0	35	10	62	70	80	74	125	64	65	105	27	91	70	79
2	35	0	28	95	103	114	48	111	86	99	79	36	125	102	101
3	10	28	0	70	78	88	66	130	65	74	97	35	99	74	79
4	62	95	70	0	111	96	133	166	125	45	164	64	71	106	139
5	69	102	77	111	0	24	72	56	133	72	97	42	66	140	138
6	79	112	87	96	24	0	93	76	143	49	118	52	43	150	157
7	74	48	67	133	71	93	0	63	125	137	31	98	135	140	54
8	124	112	130	166	56	76	63	0	188	125	59	97	119	195	130
9	65	87	65	125	133	144	125	188	0	129	156	90	155	52	52
10	65	98	73	45	73	49	137	125	129	0	167	53	29	136	143
11	105	79	98	164	96	118	31	59	156	167	0	130	160	171	97
12	27	36	35	64	42	56	98	97	90	53	129	0	67	97	104
13	92	125	100	71	66	43	135	118	156	29	160	67	0	163	170
14	70	100	74	105	140	150	140	195	52	135	171	97	161	0	121
15	79	101	80	139	138	158	54	130	52	144	97	105	170	121	0

zdroj: [autor]

Obrázek 8: Příklad distanční matice

Aplikace metody Clarke - Wright

Na obrázku 9 je distanční matice pro jednotlivé vrcholy i a j ve tvaru vektoru hodnot. První hodnota značí vrchol i , druhá vrchol j a třetí hodnota udává vzdálenost mezi nimi

v kilometrech zaokrouhlenou na celá čísla nahoru. Je zde uveden také počet všech vrcholů pro řešenou variantu, včetně skladu, který je značen hodnotou nula.

Parametry k úloze jsou znázorněny na obrázku 10. Mezi ně patří počet obsluhovaných vrcholů, kapacita vozidla a pro každou pobočku i je zde uvedena poptávka z hlediska využití kapacity vozidla.

Poptávka pobočky je do vstupů pro oba algoritmy zadávána stejným způsobem pro všechny varianty, jak pro nasazení malého, tak i velkého vozidla. Vždy je poptávka zapsána jako část z kapacity vozidla, kterou pobočka svojí objednávkou vytíží.

Distanční matice úloha 3

Pocet vsech vrchoľu
15

0	1	35
0	2	10
0	3	62
0	4	70
0	5	80
0	6	74
0	7	125
0	8	64
0	9	65
0	10	105
0	11	27
0	12	91
0	13	70
0	14	79
1	0	35
1	2	28
1	3	95
1	4	103
1	5	114
1	6	48
1	7	111
1	8	86
1	9	99
1	10	79

zdroj: [autor]

Parametry úloha 3

Pocet obsluhovaných vrchoľu
14

Kapacita vozidla
6

Poptávka

- 2
- 3
- 3
- 2
- 3
- 3
- 2
- 2
- 3
- 3
- 3

zdroj: [autor]

Obrázek 9: Distanční matice, metoda Clarke-Wright

Obrázek 10: Parametry k úloze, metoda Clarke-Wright

Aplikace metody Tabu search

Na obrázku 11 je opět distanční matice pro jednotlivé vrcholy i a j ve tvaru vektoru hodnot. Pro výpočet v tomto programu je sklad značen hodnotou jedna.

Na obrázku 12 jsou znázorněny parametry, které jsou zpracovány podobně jako pro předchozí metodu. Jako maximální počet vozidel je zde uveden počet obsluhovaných

vrcholů v úloze. Poté je zde opět uvedena kapacita vozidla a požadavky jednotlivých poboček, které jsou tentokrát přiřazeny k ID označení pobočky. Jelikož sklad má ID označení rovno jedné, jeho požadavky na vytížení kapacity vozidla jsou nulové.

DISTANCNI MATICE ULOHA_3

1	2	35
1	3	10
1	4	62
1	5	70
1	6	80
1	7	74
1	8	125
1	9	64
1	10	65
1	11	105
1	12	27
1	13	91
1	14	70
1	15	79
2	1	35
2	3	28
2	4	95
2	5	103
2	6	114
2	7	48
2	8	111
2	9	86
2	10	99
2	11	79

zdroj: [autor]

PARAMETRY ULOHA_3

MAXIMALNI POCET VOZIDEL	
14	
KAPACITA	
6	
ID	POPTAVKA
1	0
2	2
3	3
4	3
5	2
6	3
7	2
8	2
9	3
10	3
11	2
12	2
13	3
14	3
15	3

zdroj: [autor]

Obrázek 11: Distanční matice, metoda Tabu search

Obrázek 12: Parametry k úloze, metoda Tabu search

Pro tento algoritmus je nutné zadat ještě další hodnoty, které nejsou načítány z představených vstupních souborů, ale jsou pevně nastaveny v programu. Jsou to maximální počet přípustných uložených řešení (5000), délka tabu listu (50), maximální počet přesouvaných zákazníků v jedné trase (2), počet iterací Tabu search (1000) a počet zákazníků (tato proměnná závisí na konkrétní úloze). Tyto parametry byly nastaveny dle práce, ze které byl tento algoritmus použit [13]. Program dával při tomto nastavení parametrů nejlepší výsledky. Při testování jiných hodnot parametrů dával program téměř stejné, případně o něco horší výsledky.

6.3 Výstupy z programů

Výstupem z každého algoritmu je jeden soubor, kde jsou vypsané jednotlivé trasy.

Výsledky metody Clarke - Wright

Na obrázku 13 je zobrazen výstup z algoritmu Clarke - Wright. Na jednotlivých řádcích je vypsáno složení výsledných tras a jejich délka. Na posledním řádku je uvedena celková délka těchto tras.

Trasa: 0 - 4 - 11 - 1 - 0	Delka trasy: 183
Trasa: 0 - 5 - 12 - 0	Delka trasy: 215
Trasa: 0 - 7 - 10 - 6 - 0	Delka trasy: 289
Trasa: 0 - 9 - 3 - 0	Delka trasy: 172
Trasa: 0 - 13 - 2 - 0	Delka trasy: 154
Trasa: 0 - 14 - 8 - 0	Delka trasy: 196
celkova delka tras: 1209	

zdroj: [autor]

Obrázek 13: Výstup z algoritmu Clarke – Wright

Výsledky metody Tabu search

Výstup z algoritmu Tabu search je na obrázku 14. Na prvním řádku je znázorněn počet použitých vozidel. Další řádky obsahují výpis jednotlivých tras. Trasa rozvozu vždy začíná a končí ve skladu, který je v tomto případě označen číslem jedna. Délky jednotlivých tras byly zjištěny na základě distančních matic, program bohužel tyto hodnoty nezobrazil. Celkový počet ujetých kilometrů je uveden na posledním řádku.

```
7 pouzitych vozidel
1: 1 9 14 1
2: 1 7 15 1
3: 1 2 12 1
4: 1 13 6 1
5: 1 11 8 5 1
6: 1 3 1
7: 1 4 10 1
celkovy pocet ujetych kilometru: 1185
```

zdroj: [autor]

Obrázek 14: Výstup z algoritmu Tabu search

Pobočky a jejich ID

Z důvodu mnoha variant řešení a dvou použitých algoritmů je nutné každé pobočce přiřadit její identifikační číslo neboli ID. Vzhledem k různým variantám atrakčních obvodů by čísla poboček v jednotlivých variantách nešla postupně za sebou. Ve vstupních souborech pro každou variantu je ovšem nutné, aby čísla poboček šla postupně za sebou. Navíc označení skladu musí být pro jednotlivé algoritmy také odlišné. Níže je proto uvedena tabulka 8, která slouží k přečíslování poboček v jednotlivých variantách pro vstupy do algoritmů a následně výstupy z nich.

Tabulka 8: ID pro jednotlivé pobočky Auto Kelly

ID	Pobočky Auto Kelly	Poptávka denní	Poptávka noční
1	Benešov	0,50	0,25
2	Beroun	0,50	0,25
3	Blansko	0,33	0,25
4	Brandýs nad Labem	0,50	0,33
5	Brno - Lesná	0,50	0,25
6	Brno - Slatina - S2	0,00	0,25
7	Bruntál	0,33	0,25
8	Česká Lípa	0,50	0,25
9	České Budějovice	0,50	0,25
10	Český Krumlov	0,50	0,25
11	Děčín	0,50	0,33
12	Domažlice	0,50	0,25
13	Frydek - Místek	0,33	0,25
14	Havířov	0,33	0,25
15	Havlíčkův Brod	0,50	0,25
16	Hodonín	0,50	0,25
17	Hradec Králové	0,50	0,50
18	Hranice	0,33	0,25
19	Cheb	0,50	0,25
20	Chomutov	0,50	0,20
21	Jablonec nad Nisou	0,50	0,33
22	Jičín	0,50	0,20
23	Jihlava	0,50	0,33
24	Jindřichův Hradec	0,50	0,25
25	Karlovy Vary	0,50	0,25
26	Kladno	0,50	0,25
27	Klatovy	0,50	0,25
28	Kolín	0,50	0,33
29	Kunice - S1	0,00	0,00
30	Liberec	0,50	0,33
31	Litoměřice	0,50	0,25
32	Louny	0,50	0,20
33	Mariánské Lázně	0,50	0,25
34	Mělník	1,00	0,25
35	Mladá Boleslav	0,50	0,33
36	Most	0,50	0,20
37	Náchod	0,50	0,20
38	Nepomuk	0,50	0,25
39	Nový Jičín	0,33	0,25
40	Nymburk	0,50	0,20

ID	Pobočky Auto Kelly	Poptávka denní	Poptávka noční
41	Olomouc	0,33	0,25
42	Opava	0,33	0,25
43	Ostrava - S3	0,00	0,50
44	Pardubice	1,00	0,50
45	Pelhřimov	0,50	0,25
46	Písek	0,50	0,25
47	Plzeň	0,50	0,50
48	Plzeň 2	0,50	0,50
49	Podbořany	0,50	0,20
50	Praha 11	1,00	0,50
51	Praha 4	1,00	0,33
52	Praha 5	1,00	0,33
53	Praha 6	1,00	0,33
54	Praha 8	1,00	0,33
55	Praha 9	0,50	0,50
56	Přerov	0,50	0,25
57	Příbram	0,50	0,25
58	Rakovník	0,50	0,20
59	Rokycany	0,50	0,25
60	Rumburk	0,50	0,25
61	Sokolov	0,50	0,25
62	Strakonice	0,50	0,25
63	Svitavy	0,33	0,33
64	Šumperk	0,33	0,33
65	Tábor	0,50	0,25
66	Teplice	0,50	0,33
67	Trutnov	0,50	0,20
68	Třebíč	0,50	0,33
69	Třinec	0,33	0,25
70	Uherské Hradiště	0,50	0,25
71	Ústí nad Labem	0,50	0,33
72	Ústí nad Orlicí	0,33	0,33
73	Vrchlabí	0,50	0,20
74	Vsetín	0,33	0,25
75	Vyškov	0,33	0,25
76	Zlín	0,50	0,25
77	Znojmo	0,50	0,25
78	Žďár nad Sázavou	0,50	0,33

zdroj: [autor]

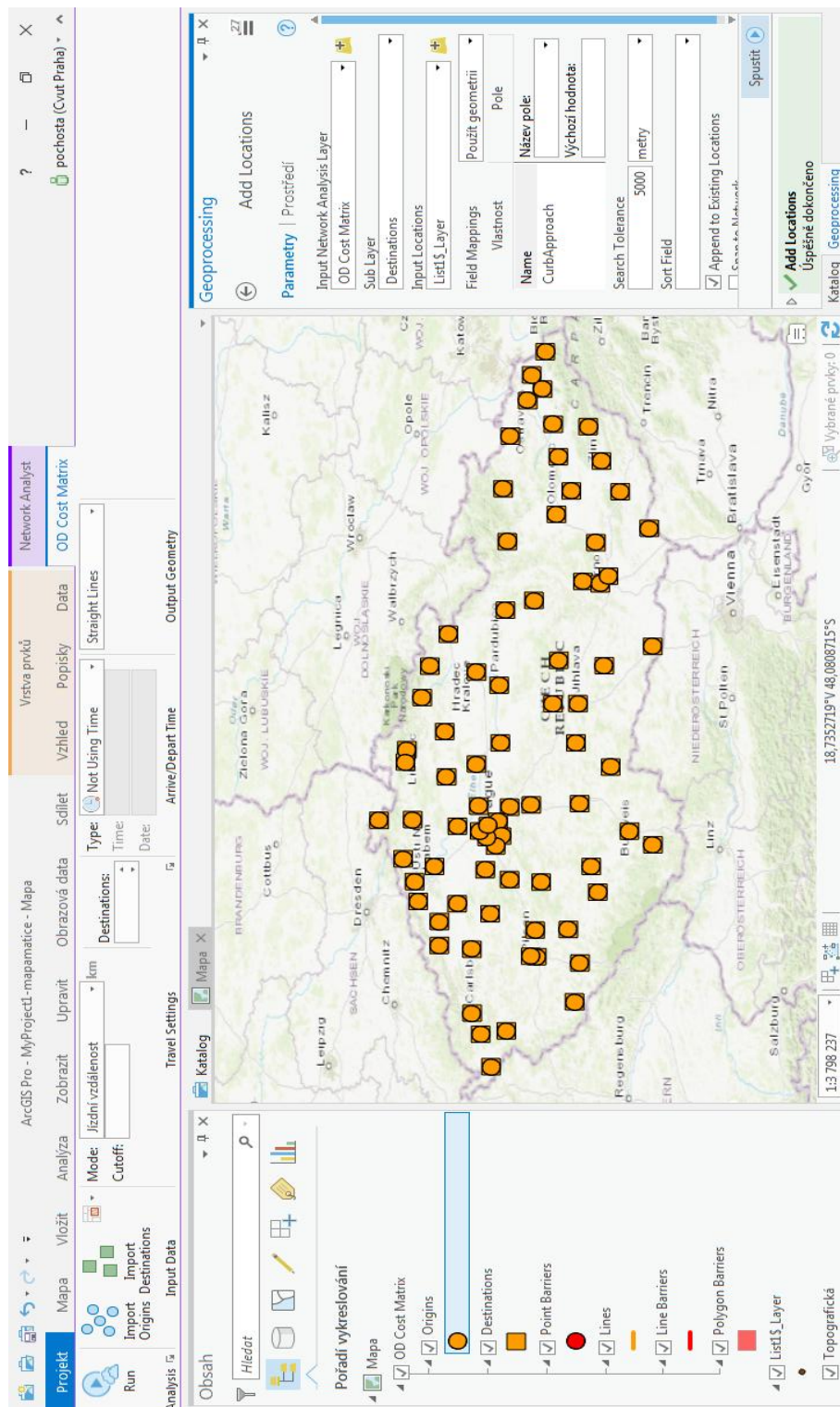
V této tabulce jsou také uvedeny poptávky jednotlivých poboček. Vzhledem k přepravovanému zboží a formě jeho uložení nelze použít k určení velikosti poptávky jednotky jako například počet palet. Velikost poptávky je vždy znázorněna jako část jednotky kapacity vozidla, kterou pobočka svojí objednávkou zabere. Například pokud pobočka vytíží svojí objednávkou polovinu kapacity vozidla, je velikost její poptávky rovna 0,5. Určování velikostí poptávek jednotlivých poboček vychází ze současného stavu. Požadavky poboček jsou mírně odlišné pro denní a noční rozvozy, což je v tabulce také zaznamenáno.

6.4 Distanční matice

K vytvoření vhodných vstupních souborů do algoritmů je třeba znát vzájemné vzdálenosti mezi všemi vrcholy (pobočkami). K získání těchto distančních matic bylo použito několika nástrojů.

Nejdříve musela být pro každou pobočku zjištěna GPS souřadnice. K tomu byly využity webové stránky www.mapy.cz. Poté bylo nutné najít takový nástroj, který by získané souřadnice jednotlivých bodů použil a na jejich základě vytvořil distanční matici.

K tomu byl použit program ArcGIS Pro. Je to geografický informační systém určený pro práci s prostorovými daty, který poskytuje trial verzi na 60 dnů. Do tohoto programu byly nejdříve na jeho standardní mapový podklad nahrány všechny body. Pro tyto body byla vytvořena nová vrstva. Poté byly použity nástroje Origin-Destination Cost Matrix. Všechny vložené body nové vrstvy byly nastaveny zároveň jako zdroje (Origins) a cíle (Destinations). Bylo nastaveno hledání jízdní vzdálenosti a výpočet byl spuštěn. Program ještě umožňoval zvolit typ vozidla, pro které má být distanční matice vypočtena. Vzhledem k vozidlům, které společnost na rozvozy používá, bylo zvoleno nákladní vozidlo. Z tohoto hlediska nemusí být výsledná vzdálenost v této distanční matici pro některé body minimální. Tato vzdálenost ale udává délku nejvhodnější trasy, kterou by měl tento typ vozidla použít. Výpočet distanční matice byl ukončen po několika minutách a výsledek byl uložen do textového dokumentu. Z něho byla data za účelem lepšího zpracování exportována do tabulek v programu MS Excel. Prostředí programu je zobrazeno na obrázku 15.



zdroj: [19, autor]

Obrázek 15: Souřadnice poboček znázorněné v programu ArcGIS Pro

Výsledkem programu byly dvě vytvořené distanční matice s rozdílným ohodnocením hran. Jde o distanční matici vzdálenosti a matici času. Vzhledem k cíli práce nalézt co nejkratší rozvozkové trasy bude použita pouze matici vzdálenosti. Distanční matice z programu ArcGIS Pro jsou v příloze diplomové práce.

7 Přehled nově navržených tras

V této kapitole budou představeny trasy, které byly navrženy pomocí zvolených metod. U každé varianty řešení budou uvedeny základní informace a návrhy tras budou zpracovány do stejné podoby, v jaké byly představeny současné rozvozové trasy.

7.1 Denní rozvozy

Jak bylo zmíněno ve druhé kapitole této práce, bude zpracováno několik variant návrhů tras. Pro denní rozvozy vzniknou 4 hlavní varianty řešení, přičemž všechny se od sebe liší různými atrakčními obvody. Na každou variantu budou nasazeny dva typy vozidel (malé a velké) a každé variantě budou navrženy trasy dle algoritmů Clarke - Wright a Tabu search.

7.1.1 Varianta 1

V této variantě jsou zvoleny stejné atrakční obvody, které jsou u současných rozvozových tras. Atrakční obvody budou vyjádřeny stručněji a to pomocí ID jednotlivých poboček. Pro tuto variantu vypadají atrakční obvody následovně:

Kunice:

1 – 2 – 4 – 8 – 9 – 10 – 11 – 12 – 15 – 17 – 19 – 20 – 21 – 22 – 23 – 24 – 25 – 26 – 27 – 28 – 30 – 31 – 32 – 33 – 34 – 35 – 36 – 37 – 38 – 40 – 44 – 45 – 46 – 47 – 48 – 49 – 50 – 51 – 52 – 53 – 54 – 55 – 57 – 58 – 59 – 60 – 61 – 62 – 65 – 66 – 67 – 71 – 73

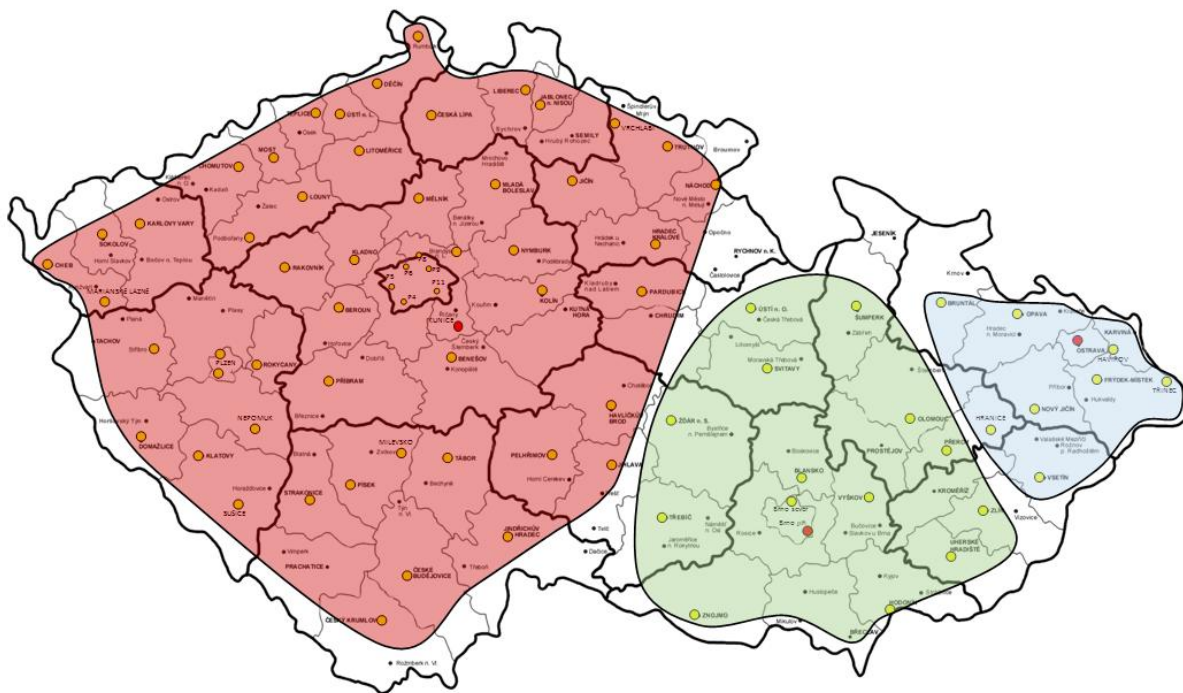
Brno:

3 – 5 – 16 – 41 – 56 – 63 – 64 – 68 – 70 – 72 – 75 – 76 – 77 – 78

Ostrava:

7 – 13 – 14 – 18 – 39 – 42 – 69 – 74

Atrakční obvody jsou znázorněny na obrázku 16.



zdroj: [autor]

Obrázek 16: Atrakční obvody varianty 1

Dle výše zmíněného návrhu vzniknou pro tuto variantu 4 nové návrhy tras rozvozu. Dva návrhy budou pro malé vozidlo dle algoritmů Clarke - Wright a Tabu search. Podle stejných algoritmů budou další dva návrhy vytvořeny pro trasy velkého vozidla. Výsledné trasy budou zapisovány v tabulkách také pomocí ID pro jednotlivé pobočky.

Ještě je důležité zmínit úpravu poptávek poboček v případě návrhu tras s velkým vozidlem. Velké vozidlo má pro denní rozvozy kapacitu více jak dvojnásobnou oproti standardně používané dodávce, která obsluží průměrně 2 až 3 pobočky. Proto bude počítáno s tím, že je velké vozidlo schopné obslužit až 5 těchto poboček najednou. Proto u poboček, které poptávaly polovinu nebo třetinu kapacity dodávky, dojde k následující změně. Bude vytvořena nová hodnota poptávky společná pro tyto pobočky. Vzhledem k použití velkého vozidla budou dané pobočky požadovat jednu pětinu jeho kapacity. Nová hodnota poptávky těchto poboček proto bude 0,20. Ostatním pobočkám, které měly poptávku hodnoty 1, bude přiřazena poptávka hodnoty 0,40. Uvedené změny poptávek platí pro všechny řešené varianty v případě nasazení velkého vozidla na denní rozvozy.

Malé vozidlo (Clarke – Wright)

V tabulce 9 jsou představeny návrhy tras pro malé vozidlo pomocí metody Clarke - Wright.

Tabulka 9: Návrhy tras – varianta 1 (malé vozidlo, Clarke - Wright)

Sklad: Kunice		
Trasy	[km]	
1	0 - 1 - 65 - 0	142
2	0 - 8 - 31 - 0	235
3	0 - 9 - 10 - 0	300
4	0 - 17 - 40 - 0	262
5	0 - 21 - 30 - 0	254
6	0 - 23 - 15 - 0	224
7	0 - 24 - 45 - 0	245
8	0 - 26 - 32 - 0	179
9	0 - 27 - 12 - 0	353
10	0 - 28 - 55 - 0	143
11	0 - 33 - 19 - 0	434
12	0 - 34 - 0	117
13	0 - 35 - 4 - 0	153
14	0 - 36 - 20 - 0	260
15	0 - 44 - 0	220
16	0 - 47 - 48 - 0	246
17	0 - 49 - 58 - 0	232
18	0 - 50 - 0	36
19	0 - 51 - 0	49
20	0 - 52 - 0	70
21	0 - 53 - 0	64
22	0 - 54 - 0	73
23	0 - 57 - 2 - 0	167
24	0 - 59 - 38 - 0	271
25	0 - 60 - 11 - 0	344
26	0 - 61 - 25 - 0	340
27	0 - 62 - 46 - 0	257
28	0 - 67 - 37 - 0	349
29	0 - 71 - 66 - 0	237
30	0 - 73 - 22 - 0	285
	celkem	6541

Sklad: Brno (Slatina)		
Trasy	[km]	
1	0 - 41 - 75 - 3 - 0	183
2	0 - 56 - 76 - 0	215
3	0 - 64 - 72 - 63 - 0	289
4	0 - 70 - 16 - 0	172
5	0 - 77 - 5 - 0	154
6	0 - 78 - 68 - 0	196
	celkem	1209

Sklad: Ostrava		
Trasy	[km]	
1	0 - 7 - 42 - 0	142
2	0 - 13 - 69 - 14 - 0	89
3	0 - 18 - 74 - 39 - 0	169
	celkem	400

zdroj: [autor]

Celková délka tras navržených metodou Clarke - Wright pro malé vozidlo je 8 150 km.

Malé vozidlo (Tabu search)

V tabulce 10 jsou představeny návrhy tras pro malé vozidlo pomocí metody Tabu search.

Tabulka 10: Návrhy tras – varianta 1 (malé vozidlo, Tabu search)

Sklad: Kunice		
Trasy		[km]
1	0 - 50 - 0	36
2	0 - 51 - 0	49
3	0 - 65 - 1 - 0	141
4	0 - 4 - 55 - 0	83
5	0 - 53 - 0	64
6	0 - 52 - 0	70
7	0 - 54 - 0	73
8	0 - 38 - 59 - 0	270
9	0 - 40 - 28 - 0	153
10	0 - 34 - 0	117
11	0 - 58 - 49 - 0	232
12	0 - 22 - 35 - 0	215
13	0 - 11 - 71 - 0	263
14	0 - 57 - 2 - 0	167
15	0 - 23 - 15 - 0	224
16	0 - 45 - 24 - 0	244
17	0 - 26 - 32 - 0	179
18	0 - 8 - 60 - 0	285
19	0 - 44 - 0	220
20	0 - 36 - 20 - 0	260
21	0 - 31 - 66 - 0	229
22	0 - 46 - 62 - 0	255
23	0 - 12 - 27 - 0	352
24	0 - 21 - 30 - 0	254
25	0 - 37 - 17 - 0	322
26	0 - 47 - 48 - 0	246
27	0 - 10 - 9 - 0	300
28	0 - 67 - 73 - 0	326
29	0 - 19 - 33 - 0	407
30	0 - 25 - 61 - 0	339
	celkem	6375

Sklad: Brno (Slatina)		
Trasy		[km]
1	0 - 68 - 77 - 0	186
2	0 - 63 - 78 - 0	207
3	0 - 3 - 75 - 0	98
4	0 - 76 - 56 - 0	213
5	0 - 72 - 64 - 41 - 0	289
6	0 - 5 - 0	20
7	0 - 16 - 70 - 0	172
	celkem	1185

Sklad: Ostrava		
Trasy		[km]
1	0 - 14 - 69 - 13 - 0	88
2	0 - 7 - 42 - 0	142
3	0 - 39 - 74 - 18 - 0	168
	celkem	398

zdroj: [autor]

Celková délka tras navržených metodou Tabu search pro malé vozidlo je 7 958 km.

Velké vozidlo (Clarke – Wright)

V tabulce 11 jsou představeny návrhy tras pro velké vozidlo pomocí metody Clarke - Wright.

Tabulka 11: Návrhy tras – varianta 1 (velké vozidlo, Clarke - Wright)

Sklad: Kunice		
Trasy		[km]
1	0 - 1 - 65 - 57 - 2 - 26 - 0	260
2	0 - 8 - 60 - 11 - 71 - 66 - 0	335
3	0 - 21 - 30 - 35 - 40 - 28 - 0	295
4	0 - 22 - 73 - 67 - 37 - 17 - 0	368
5	0 - 24 - 9 - 10 - 62 - 46 - 0	402
6	0 - 32 - 36 - 20 - 49 - 58 - 0	296
7	0 - 38 - 27 - 12 - 47 - 59 - 0	360
8	0 - 45 - 23 - 15 - 44 - 0	330
9	0 - 48 - 33 - 19 - 61 - 25 - 0	410
10	0 - 51 - 50 - 4 - 0	100
11	0 - 52 - 53 - 55 - 0	86
12	0 - 54 - 31 - 34 - 0	185
celkem		3427

Sklad: Brno (Slatina)		
Trasy		[km]
1	0 - 41 - 64 - 72 - 63 - 78 - 0	349
2	0 - 75 - 56 - 76 - 70 - 16 - 0	262
3	0 - 77 - 68 - 3 - 5 - 0	247
celkem		858

Sklad: Ostrava		
Trasy		[km]
1	0 - 7 - 42 - 18 - 74 - 39 - 0	282
2	0 - 13 - 69 - 14 - 0	89
celkem		371

zdroj: [autor]

Celková délka tras navržených metodou Clarke - Wright pro velké vozidlo je 4 656 km.

Velké vozidlo (Tabu search)

V tabulce 12 jsou představeny návrhy tras pro velké vozidlo pomocí metody Tabu search.

Tabulka 12: Návrhy tras – varianta 1 (velké vozidlo, Tabu search)

Sklad: Kunice		
Trasy		[km]
1	0 - 15 - 23 - 45 - 24 - 65 - 0	305
2	0 - 37 - 67 - 73 - 22 - 35 - 0	370
3	0 - 59 - 47 - 12 - 27 - 38 - 0	360
4	0 - 20 - 36 - 66 - 71 - 31 - 0	301
5	0 - 25 - 61 - 19 - 33 - 48 - 0	407
6	0 - 40 - 17 - 44 - 28 - 0	265
7	0 - 26 - 32 - 49 - 58 - 2 - 0	266
8	0 - 8 - 11 - 60 - 30 - 21 - 0	370
9	0 - 10 - 9 - 62 - 46 - 57 - 0	368
10	0 - 55 - 53 - 52 - 0	86
11	0 - 54 - 34 - 4 - 0	122
12	0 - 1 - 51 - 50 - 0	93
celkem		3313

Sklad: Brno (Slatina)		
Trasy		[km]
1	0 - 16 - 70 - 76 - 56 - 75 - 0	258
2	0 - 3 - 63 - 72 - 64 - 41 - 0	298
3	0 - 5 - 78 - 68 - 77 - 0	263
celkem		819

Sklad: Ostrava		
Trasy		[km]
1	0 - 14 - 69 - 13 - 0	88
2	0 - 42 - 7 - 18 - 74 - 39 - 0	277
celkem		365

zdroj: [autor]

Celková délka tras navržených metodou Tabu search pro velké vozidlo je 4 497 km.

7.1.2 Varianta 2

V této variantě jsou již určeny nové atrakční obvody. Všechny nové atrakční obvody jsou tvořeny na základě distanční matice získané z programu ArcGIS Pro. Každá pobočka je přiřazena do atrakčního obvodu toho depa, kterému je dle distanční matice nejbližší. V případě, že by se některá pobočka vyskytovala ve stejné vzdálenosti od dvou dep, o přiřazení rozhodne kratší časový údaj pro překonání daných vzdáleností.

Atrakční obvody pro variantu 2 jsou následující:

Kunice:

1 – 2 – 4 – 8 – 9 – 10 – 11 – 12 – 15 – 17 – 19 – 20 – 21 – 22 – 24 – 25 – 26 – 27 – 28 – 30 – 31 – 32 – 33 – 34 – 35 – 36 – 37 – 38 – 40 – 44 – 45 – 46 – 47 – 48 – 49 – 50 – 51 – 52 – 53 – 54 – 55 – 57 – 58 – 59 – 60 – 61 – 62 – 65 – 66 – 67 – 71 – 73

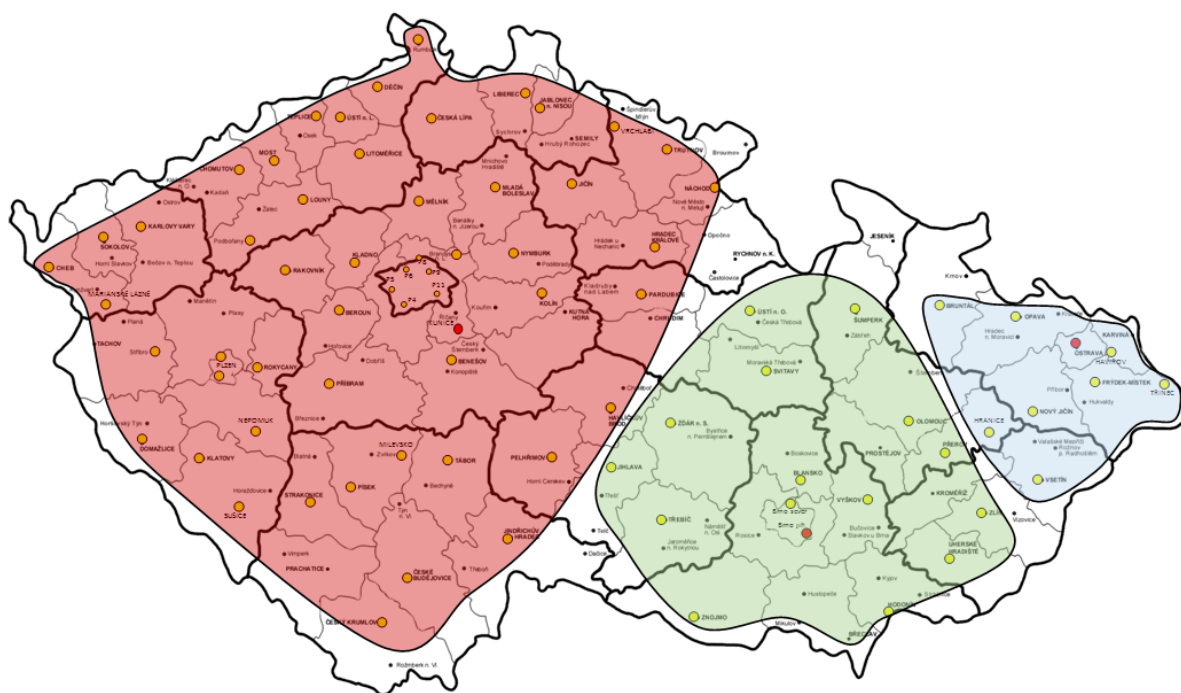
Brno:

3 – 5 – 16 – 23 – 41 – 56 – 63 – 64 – 68 – 70 – 72 – 75 – 76 – 77 – 78

Ostrava:

7 – 13 – 14 – 18 – 39 – 42 – 69 – 74

Atrakční obvody, znázorněné na obrázku 17, se změnily jen minimálně, došlo k přesunu pouze jedné pobočky z atrakčního obvodu Kunic do atrakčního obvodu Brna. Pro Ostravu zůstává atrakční obvod nezměněn.



zdroj: [autor]

Obrázek 17: Atrakční obvody varianty 2

Návrhy tras pro tuto variantu jsou následující:

Malé vozidlo (Clarke – Wright)

V tabulce 13 jsou představeny návrhy tras pro malé vozidlo pomocí metody Clarke - Wright.

Tabulka 13: Návrhy tras – varianta 2 (malé vozidlo, Clarke - Wright)

Sklad: Kunice			Sklad: Brno (Slatina)			Sklad: Ostrava		
Trasy		[km]	Trasy		[km]	Trasy		[km]
1	0 - 1 - 0	50	1	0 - 5 - 0	20	1	0 - 7 - 42 - 0	142
2	0 - 2 - 58 - 0	190	2	0 - 23 - 78 - 0	212	2	0 - 13 - 69 - 14 - 0	89
3	0 - 8 - 31 - 0	235	3	0 - 41 - 75 - 3 - 0	183	3	0 - 18 - 74 - 39 - 0	169
4	0 - 10 - 9 - 0	300	4	0 - 56 - 76 - 0	215	celkem		400
5	0 - 17 - 15 - 0	310	5	0 - 64 - 72 - 63 - 0	289			
6	0 - 21 - 30 - 0	254	6	0 - 70 - 16 - 0	172			
7	0 - 24 - 45 - 0	245	7	0 - 77 - 68 - 0	187			
8	0 - 27 - 12 - 0	353	celkem		1278			
9	0 - 28 - 4 - 0	148						
10	0 - 33 - 19 - 0	434						
11	0 - 34 - 0	117						
12	0 - 35 - 40 - 0	179						
13	0 - 36 - 20 - 0	260						
14	0 - 44 - 0	220						
15	0 - 47 - 48 - 0	246						
16	0 - 49 - 32 - 0	236						
17	0 - 50 - 0	36						
18	0 - 51 - 0	49						
19	0 - 52 - 0	70						
20	0 - 53 - 0	64						
21	0 - 54 - 0	73						
22	0 - 55 - 26 - 0	116						
23	0 - 57 - 65 - 0	216						
24	0 - 59 - 38 - 0	271						
25	0 - 60 - 11 - 0	344						
26	0 - 61 - 25 - 0	340						
27	0 - 62 - 46 - 0	257						
28	0 - 67 - 37 - 0	349						
29	0 - 71 - 66 - 0	237						
30	0 - 73 - 22 - 0	285						
celkem		6484						

zdroj: [autor]

Celková délka tras navržených metodou Clarke - Wright pro malé vozidlo je 8 162 km.

Malé vozidlo (Tabu search)

V tabulce 14 jsou představeny návrhy tras pro malé vozidlo pomocí metody Tabu search.

Tabulka 14: Návrhy tras – varianta 2 (malé vozidlo, Tabu search)

Sklad: Kunice		
Trasy	[km]	
1	0 - 50 - 0	36
2	0 - 51 - 0	49
3	0 - 1 - 0	50
4	0 - 4 - 55 - 0	83
5	0 - 53 - 0	64
6	0 - 52 - 0	70
7	0 - 54 - 0	73
8	0 - 58 - 49 - 0	232
9	0 - 40 - 28 - 0	153
10	0 - 34 - 0	117
11	0 - 36 - 20 - 0	260
12	0 - 22 - 35 - 0	215
13	0 - 11 - 71 - 0	263
14	0 - 47 - 48 - 0	246
15	0 - 15 - 45 - 0	224
16	0 - 38 - 59 - 0	270
17	0 - 8 - 60 - 0	285
18	0 - 44 - 0	220
19	0 - 26 - 32 - 0	179
20	0 - 31 - 66 - 0	229
21	0 - 65 - 24 - 0	226
22	0 - 46 - 62 - 0	255
23	0 - 25 - 61 - 0	339
24	0 - 21 - 30 - 0	254
25	0 - 37 - 17 - 0	322
26	0 - 57 - 2 - 0	167
27	0 - 67 - 73 - 0	326
28	0 - 12 - 27 - 0	352
29	0 - 19 - 33 - 0	407
30	0 - 9 - 10 - 0	300
	celkem	6266

Sklad: Brno (Slatina)		
Trasa	[km]	
1	0 - 78 - 23 - 0	211
2	0 - 5 - 3 - 0	73
3	0 - 63 - 72 - 64 - 0	288
4	0 - 16 - 75 - 0	153
5	0 - 68 - 77 - 0	186
6	0 - 56 - 41 - 0	173
7	0 - 76 - 70 - 0	185
	celkem	1269

Sklad: Ostrava		
Trasy	[km]	
1	0 - 14 - 69 - 13 - 0	88
2	0 - 7 - 42 - 0	142
3	0 - 39 - 74 - 18 - 0	168
	celkem	398

zdroj: [autor]

Celková délka tras navržených metodou Tabu search pro malé vozidlo je 7 933 km.

Velké vozidlo (Clarke – Wright)

V tabulce 15 jsou představeny návrhy tras pro velké vozidlo pomocí metody Clarke - Wright.

Tabulka 15: Návrhy tras – varianta 2 (velké vozidlo, Clarke - Wright)

Sklad: Kunice		
	Trasy	[km]
1	0 - 1 - 65 - 57 - 2 - 26 - 0	260
2	0 - 4 - 21 - 30 - 35 - 40 - 0	277
3	0 - 8 - 60 - 11 - 71 - 66 - 0	335
4	0 - 22 - 73 - 67 - 37 - 17 - 0	368
5	0 - 24 - 10 - 9 - 62 - 46 - 0	402
6	0 - 28 - 44 - 15 - 45 - 0	299
7	0 - 32 - 36 - 20 - 49 - 58 - 0	296
8	0 - 38 - 27 - 12 - 47 - 59 - 0	360
9	0 - 48 - 33 - 19 - 61 - 25 - 0	410
10	0 - 51 - 50 - 0	54
11	0 - 54 - 31 - 34 - 0	185
12	0 - 55 - 53 - 52 - 0	86
	celkem	3332

Sklad: Brno (Slatina)		
	Trasa	[km]
1	0 - 41 - 64 - 72 - 63 - 3 - 0	299
2	0 - 75 - 56 - 76 - 70 - 16 - 0	262
3	0 - 77 - 68 - 23 - 78 - 5 - 0	289
	celkem	850

Sklad: Ostrava		
	Trasy	[km]
1	0 - 7 - 42 - 18 - 74 - 39 - 0	282
2	0 - 13 - 69 - 14 - 0	89
	celkem	371

zdroj: [autor]

Celková délka tras navržených metodou Clarke - Wright pro velké vozidlo je 4 553 km.

Velké vozidlo (Tabu search)

V tabulce 16 jsou představeny návrhy tras pro velké vozidlo pomocí metody Tabu search.

Tabulka 16: Návrhy tras – varianta 2 (velké vozidlo, Tabu search)

Sklad: Kunice		
	Trasy	[km]
1	0 - 65 - 9 - 10 - 24 - 45 - 0	363
2	0 - 31 - 11 - 71 - 66 - 32 - 0	294
3	0 - 58 - 49 - 20 - 36 - 26 - 0	302
4	0 - 40 - 28 - 44 - 15 - 0	305
5	0 - 2 - 59 - 47 - 12 - 27 - 0	355
6	0 - 25 - 61 - 19 - 33 - 48 - 0	407
7	0 - 8 - 60 - 30 - 21 - 35 - 0	326
8	0 - 22 - 73 - 67 - 37 - 17 - 0	368
9	0 - 57 - 38 - 62 - 46 - 1 - 0	297
10	0 - 52 - 53 - 55 - 0	86
11	0 - 54 - 34 - 4 - 0	122
12	0 - 50 - 51 - 0	53
	celkem	3278

Sklad: Brno (Slatina)		
	Trasy	[km]
1	0 - 3 - 63 - 72 - 64 - 41 - 0	298
2	0 - 16 - 70 - 76 - 56 - 75 - 0	258
3	0 - 77 - 68 - 23 - 78 - 5 - 0	289
	celkem	845

Sklad: Ostrava		
	Trasy	[km]
1	0 - 14 - 69 - 13 - 0	88
2	0 - 42 - 7 - 18 - 74 - 39 - 0	277
	celkem	365

zdroj: [autor]

Celková délka tras navržených metodou Tabu search pro velké vozidlo je 4 488 km.

7.1.3 Varianta 3

Tato varianta při návrhu tras počítá již se čtyřmi sklady. Společnost se totiž neustále rozrůstá a do budoucna uvažuje o umístění dalšího skladu. Tento sklad by mohl vzniknout u pobočky v Hradci Králové, nebo v Plzni. V této variantě jsou proto určeny nové atrakční obvody pro čtyři sklady, nově s Hradcem Králové.

Varianta 3 má tyto atrakční obvody:

Kunice:

1 – 2 – 4 – 8 – 9 – 10 – 11 – 12 – 15 – 19 – 20 – 24 – 25 – 26 – 27 – 28 – 31 – 32 – 33 – 34 – 35 – 36 – 38 – 40 – 45 – 46 – 47 – 48 – 49 – 50 – 51 – 52 – 53 – 54 – 55 – 57 – 58 – 59 – 60 – 61 – 62 – 65 – 66 – 71

Brno:

3 – 5 – 16 – 23 – 41 – 56 – 68 – 70 – 75 – 76 – 77 – 78

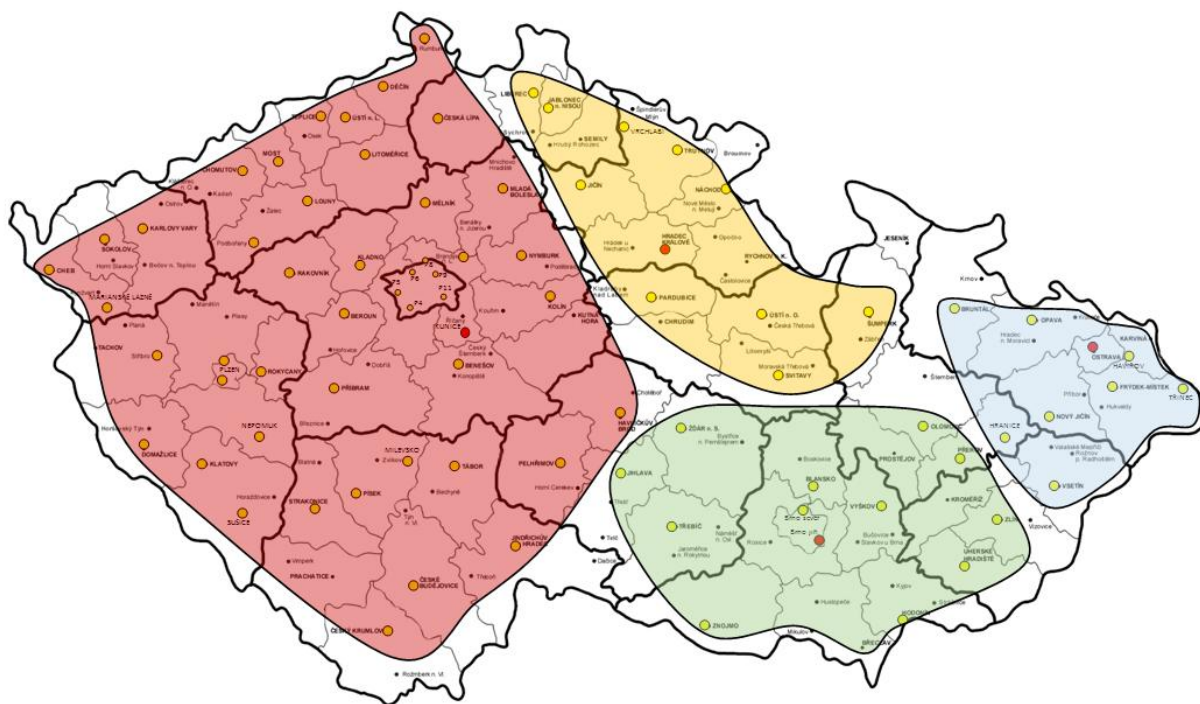
Ostrava:

7 – 13 – 14 – 18 – 39 – 42 – 69 – 74

Hradec Králové:

21 – 22 – 30 – 37 – 44 – 63 – 64 – 67 – 72 – 73

Atrakční obvody se změnilo výrazně, jelikož byl přidán nový sklad. Pro Ostravu zůstává ovšem atrakční obvod stále stejný. Nové atrakční obvody jsou znázorněné na obrázku 18.



zdroj: [autor]

Obrázek 18: Atrakční obvody varianty 3

Návrhy tras pro tuto variantu jsou následující:

Malé vozidlo (Clarke – Wright)

V tabulce 17 jsou představeny návrhy tras pro malé vozidlo pomocí metody Clarke - Wright.

Tabulka 17: Návrhy tras – varianta 3 (malé vozidlo, Clarke - Wright)

Sklad: Kunice		
	Trasy	[km]
1	0 - 1 - 65 - 0	142
2	0 - 4 - 55 - 0	83
3	0 - 9 - 10 - 0	300
4	0 - 24 - 45 - 0	245
5	0 - 26 - 32 - 0	179
6	0 - 27 - 12 - 0	353
7	0 - 28 - 15 - 0	212
8	0 - 31 - 8 - 0	235
9	0 - 33 - 19 - 0	434
10	0 - 34 - 0	117
11	0 - 35 - 40 - 0	179
12	0 - 36 - 20 - 0	260
13	0 - 47 - 48 - 0	246
14	0 - 50 - 0	36
15	0 - 51 - 0	49
16	0 - 52 - 0	70
17	0 - 53 - 0	64
18	0 - 54 - 0	73
19	0 - 57 - 2 - 0	167
20	0 - 58 - 49 - 0	232
21	0 - 59 - 38 - 0	271
22	0 - 60 - 11 - 0	344
23	0 - 61 - 25 - 0	340
24	0 - 62 - 46 - 0	257
25	0 - 71 - 66 - 0	237
	celkem	5125

Sklad: Brno (Slatina)		
	Trasy	[km]
1	0 - 5 - 0	20
2	0 - 23 - 78 - 0	212
3	0 - 41 - 75 - 3 - 0	183
4	0 - 56 - 76 - 0	215
5	0 - 70 - 16 - 0	172
6	0 - 77 - 68 - 0	187
	celkem	989

Sklad: Hradec Králové		
	Trasy	[km]
1	0 - 21 - 30 - 0	209
2	0 - 37 - 22 - 0	177
3	0 - 44 - 0	52
4	0 - 72 - 64 - 63 - 0	250
5	0 - 73 - 67 - 0	152
	celkem	840

Sklad: Ostrava		
	Trasy	[km]
1	0 - 7 - 42 - 0	142
2	0 - 13 - 69 - 14 - 0	89
3	0 - 18 - 74 - 39 - 0	169
	celkem	400

zdroj: [autor]

Celková délka tras navržených metodou Clarke - Wright pro malé vozidlo je 7 354 km.

Malé vozidlo (Tabu search)

V tabulce 18 jsou představeny návrhy tras pro malé vozidlo pomocí metody Tabu search.

Tabulka 18: Návrhy tras – varianta 3 (malé vozidlo, Tabu search)

Sklad: Kunice		
	Trasy	[km]
1	0 - 50 - 0	36
2	0 - 51 - 0	49
3	0 - 65 - 24 - 0	226
4	0 - 4 - 55 - 0	83
5	0 - 53 - 0	64
6	0 - 52 - 0	70
7	0 - 54 - 0	73
8	0 - 58 - 49 - 0	232
9	0 - 40 - 28 - 0	153
10	0 - 34 - 0	117
11	0 - 12 - 27 - 0	352
12	0 - 8 - 35 - 0	231
13	0 - 32 - 31 - 0	212
14	0 - 71 - 66 - 0	237
15	0 - 15 - 45 - 0	224
16	0 - 47 - 48 - 0	246
17	0 - 2 - 26 - 0	141
18	0 - 11 - 60 - 0	318
19	0 - 9 - 10 - 0	300
20	0 - 46 - 62 - 0	255
21	0 - 38 - 59 - 0	270
22	0 - 36 - 20 - 0	260
23	0 - 19 - 33 - 0	407
24	0 - 1 - 57 - 0	158
25	0 - 25 - 61 - 0	339
	celkem	5053

Sklad: Brno (Slatina)		
	Trasy	[km]
1	0 - 68 - 77 - 0	186
2	0 - 16 - 75 - 0	153
3	0 - 78 - 23 - 0	211
4	0 - 41 - 56 - 0	173
5	0 - 76 - 70 - 0	185
6	0 - 3 - 5 - 0	73
	celkem	981

Sklad: Hradec Králové		
	Trasy	[km]
1	0 - 44 - 0	52
2	0 - 63 - 64 - 72 - 0	250
3	0 - 30 - 21 - 0	209
4	0 - 73 - 22 - 0	163
5	0 - 37 - 67 - 0	126
	celkem	800

Sklad: Ostrava		
	Trasy	[km]
1	0 - 14 - 69 - 13 - 0	88
2	0 - 7 - 42 - 0	142
3	0 - 39 - 74 - 18 - 0	168
	celkem	398

zdroj: [autor]

Celková délka tras navržených metodou Tabu search pro malé vozidlo je 7 232 km.

Velké vozidlo (Clarke – Wright)

V tabulce 19 jsou představeny návrhy tras pro velké vozidlo pomocí metody Clarke - Wright.

Tabulka 19: Návrhy tras – varianta 3 (velké vozidlo, Clarke - Wright)

Sklad: Kunice		
Trasy		[km]
1	0 - 1 - 65 - 45 - 15 - 0	247
2	0 - 4 - 35 - 40 - 28 - 0	193
3	0 - 8 - 60 - 11 - 71 - 66 - 0	335
4	0 - 24 - 9 - 10 - 62 - 46 - 0	402
5	0 - 32 - 36 - 20 - 49 - 58 - 0	296
6	0 - 38 - 27 - 12 - 47 - 59 - 0	360
7	0 - 48 - 33 - 19 - 61 - 25 - 0	410
8	0 - 50 - 0	36
9	0 - 54 - 31 - 34 - 0	185
10	0 - 55 - 53 - 51 - 0	78
11	0 - 57 - 2 - 26 - 52 - 0	191
celkem		2733

Sklad: Brno (Slatina)		
Trasy		[km]
1	0 - 41 - 56 - 76 - 70 - 16 - 0	273
2	0 - 75 - 3 - 5 - 0	101
3	0 - 77 - 68 - 23 - 78 - 0	278
celkem		652

Sklad: Hradec Králové		
Trasy		[km]
1	0 - 37 - 72 - 64 - 63 - 0	295
2	0 - 44 - 0	52
3	0 - 67 - 73 - 21 - 30 - 22 - 0	242
celkem		589

Sklad: Ostrava		
Trasy		[km]
1	0 - 7 - 42 - 18 - 74 - 39 - 0	282
2	0 - 13 - 69 - 14 - 0	89
celkem		371

zdroj: [autor]

Celková délka tras navržených metodou Clarke - Wright pro velké vozidlo je 4 345 km.

Velké vozidlo (Tabu search)

V tabulce 20 jsou představeny návrhy tras pro velké vozidlo pomocí metody Tabu search.

Tabulka 20: Návrhy tras – varianta 3 (velké vozidlo, Tabu search)

Sklad: Kunice		
Trasy		[km]
1	0 - 15 - 45 - 24 - 65 - 1 - 0	284
2	0 - 59 - 47 - 12 - 27 - 38 - 0	360
3	0 - 8 - 60 - 11 - 71 - 31 - 0	321
4	0 - 25 - 61 - 19 - 33 - 48 - 0	407
5	0 - 66 - 36 - 20 - 49 - 32 - 0	326
6	0 - 10 - 9 - 62 - 46 - 57	368
7	0 - 34 - 35 - 40 - 28 - 0	219
8	0 - 26 - 58 - 2 - 52 - 0	195
9	0 - 55 - 53 - 51 - 0	78
10	0 - 4 - 54 - 50 - 0	96
celkem		2654

Sklad: Brno (Slatina)		
Trasy		[km]
1	0 - 78 - 23 - 68 - 77 - 0	278
2	0 - 16 - 70 - 76 - 56 - 41 - 0	272
3	0 - 5 - 3 - 75 - 0	101
celkem		651

Sklad: Hradec Králové		
Trasy		[km]
1	0 - 63 - 64 - 72 - 37 - 0	294
2	0 - 44 - 0	52
3	0 - 22 - 30 - 21 - 73 - 67 - 0	241
celkem		587

Sklad: Ostrava		
Trasy		[km]
1	0 - 14 - 69 - 13 - 0	88
2	0 - 42 - 7 - 18 - 74 - 39 - 0	277
celkem		365

zdroj: [autor]

Celková délka tras navržených metodou Tabu search pro velké vozidlo je 4 257 km.

7.1.4 Varianta 4

Stejně jako v předchozí variantě jsou i v této variantě čtyři sklady. Tentokrát se jedná o kombinaci tří skladů stávajících a skladu v Plzni. Atrakční obvody pro variantu 4 jsou:

Kunice:

1 – 4 – 8 – 9 – 10 – 11 – 15 – 17 – 21 – 22 – 24 – 26 – 28 – 30 – 31 – 32 – 34 – 35 – 37 – 40 – 44 – 45 – 50 – 51 – 52 – 53 – 54 – 55 – 60 – 65 – 66 – 67 – 71 – 73

Brno:

3 – 5 – 16 – 23 – 41 – 56 – 63 – 64 – 68 – 70 – 72 – 75 – 76 – 77 – 78

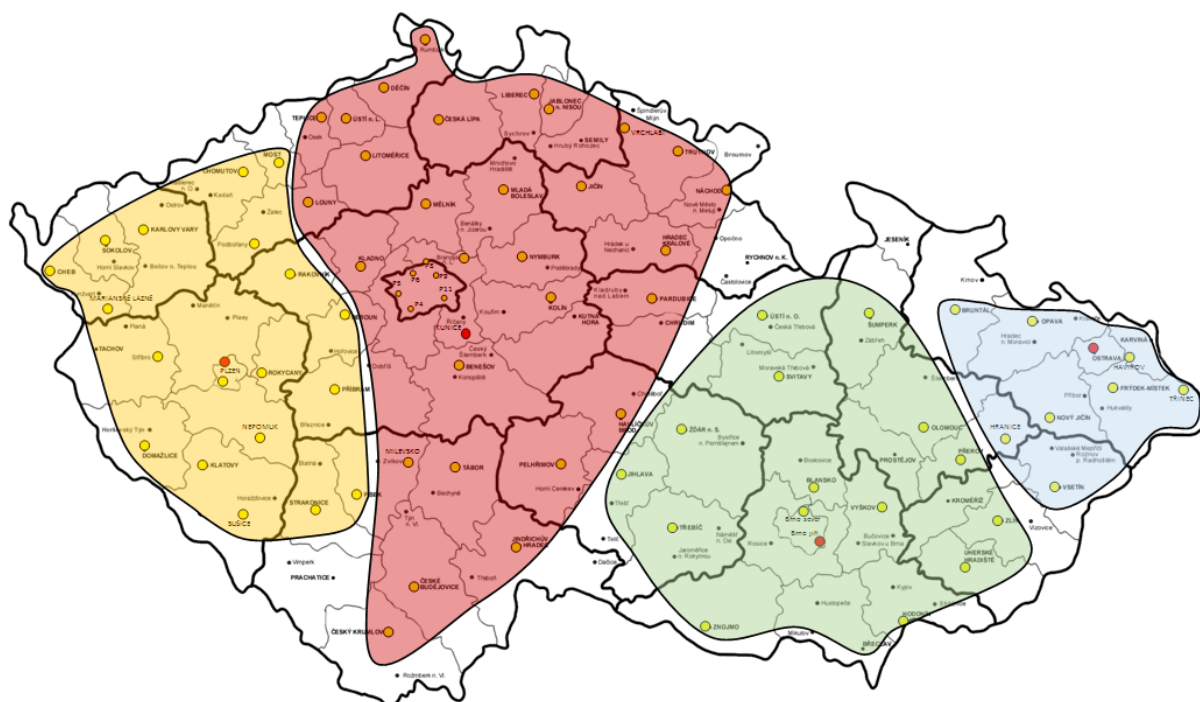
Ostrava:

7 – 13 – 14 – 18 – 39 – 42 – 69 – 74

Plzeň:

2 – 12 – 19 – 20 – 25 – 27 – 33 – 36 – 38 – 46 – 48 – 49 – 57 – 58 – 59 – 61 – 62

Atrakční obvody jsou opět značně změněny, kromě atrakčního obvodu Ostravy, jak je vidět na obrázku 19.



zdroj: [autor]

Obrázek 19: Atrakční obvody varianty 4

Návrhy tras pro tuto variantu jsou následující:

Malé vozidlo (Clarke – Wright)

V tabulce 21 jsou představeny návrhy tras pro malé vozidlo pomocí metody Clarke - Wright.

Tabulka 21: Návrhy tras – varianta 4 (malé vozidlo, Clarke - Wright)

Sklad: Kunice		
Trasy	[km]	
1	0 - 1 - 65 - 0	142
2	0 - 4 - 55 - 0	83
3	0 - 8 - 31 - 0	235
4	0 - 10 - 9 - 0	300
5	0 - 17 - 15 - 0	310
6	0 - 21 - 30 - 0	254
7	0 - 24 - 45 - 0	245
8	0 - 26 - 32 - 0	179
9	0 - 28 - 0	115
10	0 - 34 - 0	117
11	0 - 35 - 40 - 0	179
12	0 - 37 - 67 - 0	349
13	0 - 44 - 0	220
14	0 - 50 - 0	36
15	0 - 51 - 0	49
16	0 - 52 - 0	70
17	0 - 53 - 0	64
18	0 - 54 - 0	73
19	0 - 60 - 11 - 0	344
20	0 - 71 - 66 - 0	237
21	0 - 73 - 22 - 0	285
celkem		3886

Sklad: Brno (Slatina)		
Trasy	[km]	
1	0 - 5 - 0	20
2	0 - 23 - 78 - 0	212
3	0 - 41 - 75 - 3 - 0	183
4	0 - 56 - 76 - 0	215
5	0 - 64 - 72 - 63 - 0	289
6	0 - 70 - 16 - 0	172
7	0 - 77 - 68 - 0	187
celkem		1278

Sklad: Plzeň		
Trasa	[km]	
1	0 - 12 - 27 - 0	123
2	0 - 20 - 36 - 0	235
3	0 - 33 - 25 - 0	205
4	0 - 46 - 62 - 0	188
5	0 - 48 - 0	17
6	0 - 57 - 2 - 0	158
7	0 - 58 - 49 - 0	171
8	0 - 59 - 38 - 0	95
9	0 - 61 - 19 - 0	213
celkem		1405

Sklad: Ostrava		
Trasy	[km]	
1	0 - 7 - 42 - 0	142
2	0 - 13 - 69 - 14 - 0	89
3	0 - 18 - 74 - 39 - 0	169
celkem		400

zdroj: [autor]

Celková délka tras navržených metodou Clarke - Wright pro malé vozidlo je 6 969 km.

Malé vozidlo (Tabu search)

V tabulce 22 jsou představeny návrhy tras pro malé vozidlo pomocí metody Tabu search.

Tabulka 22: Návrhy tras – varianta 4 (malé vozidlo, Tabu search)

Sklad: Kunice		
Trasy		[km]
1	0 - 50 - 0	36
2	0 - 51 - 0	49
3	0 - 55 - 4 - 0	83
4	0 - 1 - 0	50
5	0 - 53 - 0	64
6	0 - 52 - 0	70
7	0 - 54 - 0	73
8	0 - 8 - 60 - 0	285
9	0 - 22 - 35 - 0	215
10	0 - 34 - 0	117
11	0 - 40 - 28 - 0	153
12	0 - 31 - 66 - 0	229
13	0 - 65 - 24 - 0	226
14	0 - 26 - 32 - 0	179
15	0 - 44 - 0	220
16	0 - 11 - 71 - 0	263
17	0 - 45 - 15 - 0	224
18	0 - 21 - 30 - 0	254
19	0 - 73 - 67 - 0	326
20	0 - 17 - 37 - 0	322
21	0 - 9 - 10 - 0	300
	celkem	3738

Sklad: Brno (Slatina)		
Trasa		[km]
1	0 - 78 - 23 - 0	211
2	0 - 5 - 3 - 0	73
3	0 - 63 - 72 - 64 - 0	288
4	0 - 16 - 75 - 0	153
5	0 - 68 - 77 - 0	186
6	0 - 56 - 41 - 0	173
7	0 - 76 - 70 - 0	185
	celkem	1269

Sklad: Plzeň		
Trasy		[km]
1	0 - 25 - 61 - 0	188
2	0 - 33 - 19 - 0	203
3	0 - 36 - 20 - 0	235
4	0 - 46 - 62 - 0	188
5	0 - 49 - 58 - 0	170
6	0 - 57 - 2 - 0	158
7	0 - 27 - 12 - 0	122
8	0 - 38 - 59 - 0	94
9	0 - 48 - 0	17
	celkem	1375

Sklad: Ostrava		
Trasy		[km]
1	0 - 14 - 69 - 13 - 0	88
2	0 - 7 - 42 - 0	142
3	0 - 39 - 74 - 18 - 0	168
	celkem	398

zdroj: [autor]

Celková délka tras navržených metodou Tabu search pro malé vozidlo je 6 780 km.

Velké vozidlo (Clarke – Wright)

V tabulce 23 jsou představeny návrhy tras pro velké vozidlo pomocí metody Clarke - Wright.

Tabulka 23: Návrhy tras – varianta 4 (velké vozidlo, Clarke - Wright)

Sklad: Kunice		
Trasy		[km]
1	0 - 1 - 65 - 0	142
2	0 - 4 - 21 - 30 - 35 - 40 - 0	277
3	0 - 8 - 60 - 11 - 71 - 66 - 0	335
4	0 - 15 - 45 - 24 - 10 - 9 - 0	400
5	0 - 17 - 37 - 67 - 73 - 22 - 0	368
6	0 - 28 - 44 - 50 - 0	229
7	0 - 34 - 31 - 32 - 26 - 0	233
8	0 - 51 - 54 - 55 - 0	88
9	0 - 53 - 52 - 0	79
celkem		2151

Sklad: Ostrava		
Trasy		[km]
1	0 - 7 - 42 - 18 - 74 - 39 - 0	282
2	0 - 13 - 69 - 14 - 0	89
celkem		371

Sklad: Brno (Slatina)		
Trasa		[km]
1	0 - 41 - 64 - 72 - 63 - 3 - 0	299
2	0 - 75 - 56 - 76 - 70 - 16 - 0	262
3	0 - 77 - 68 - 23 - 78 - 5 - 0	289
celkem		850

Sklad: Plzeň		
Trasy		[km]
1	0 - 2 - 57 - 46 - 62 - 38 - 0	249
2	0 - 12 - 27 - 0	123
3	0 - 25 - 61 - 19 - 33 - 48 - 0	230
4	0 - 59 - 58 - 20 - 36 - 49 - 0	267
celkem		869

zdroj: [autor]

Celková délka tras navržených metodou Clarke - Wright pro velké vozidlo je 4 241 km.

Velké vozidlo (Tabu search)

V tabulce 24 jsou představeny návrhy tras pro velké vozidlo pomocí metody Tabu search.

Tabulka 24: Návrhy tras – varianta 4 (velké vozidlo, Tabu search)

Sklad: Kunice		
Trasy		[km]
1	0 - 65 - 9 - 10 - 24 - 45 - 0	363
2	0 - 22 - 73 - 67 - 37 - 17 - 0	368
3	0 - 32 - 66 - 11 - 71 - 31 - 0	295
4	0 - 21 - 30 - 60 - 8 - 35 - 0	339
5	0 - 40 - 28 - 44 - 15 - 0	305
6	0 - 26 - 52 - 51 - 0	114
7	0 - 54 - 34 - 4 - 0	122
8	0 - 1 - 0	50
9	0 - 50 - 55 - 53 - 0	75
celkem		2031

Sklad: Ostrava		
Trasy		[km]
1	0 - 14 - 69 - 13 - 0	88
2	0 - 42 - 7 - 18 - 74 - 39 - 0	277
celkem		365

Sklad: Brno (Slatina)		
Trasy		[km]
1	0 - 3 - 63 - 72 - 64 - 41 - 0	298
2	0 - 16 - 70 - 76 - 56 - 75 - 0	258
3	0 - 77 - 68 - 23 - 78 - 5 - 0	289
celkem		845

Sklad: Plzeň		
Trasy		[km]
1	0 - 38 - 62 - 46 - 57 - 2 - 0	247
2	0 - 27 - 12 - 0	122
3	0 - 48 - 33 - 19 - 61 - 25 - 0	230
4	0 - 49 - 36 - 20 - 58 - 59 - 0	265
celkem		864

zdroj: [autor]

Celková délka tras navržených metodou Tabu search pro velké vozidlo je 4 105 km.

7.2 Noční rozvozy

U nočních rozvozů je řešena pouze jedna varianta, obsluha probíhá pouze ze skladu v Kunicích a používá se pouze velké vozidlo. Návrhy tras budou celkem dva, podle algoritmů Clarke - Wright a Tabu search.

Návrh dle metody Clarke - Wright

V tabulce 25 je představen návrh tras pro noční rozvozy podle metody Clarke - Wright.

Tabulka 25: Návrh nočních tras dle algoritmu Clarke - Wright

Sklad: Kunice		
	Trasy	[km]
1	0 - 2 - 58 - 32 - 31 - 0	264
2	0 - 3 - 5 - 6 - 77 - 0	504
3	0 - 4 - 35 - 34 - 0	177
4	0 - 10 - 9 - 62 - 46 - 0	359
5	0 - 21 - 30 - 8 - 0	293
6	0 - 28 - 50 - 0	136
7	0 - 33 - 19 - 61 - 25 - 0	411
8	0 - 38 - 27 - 12 - 59 - 0	360
9	0 - 40 - 22 - 73 - 67 - 37 - 0	375
10	0 - 43 - 42 - 7 - 0	723
11	0 - 44 - 17 - 0	258
12	0 - 47 - 48 - 0	246
13	0 - 51 - 57 - 1 - 0	164
14	0 - 52 - 26 - 53 - 0	115
15	0 - 54 - 55 - 0	77
16	0 - 60 - 11 - 71 - 0	347
17	0 - 63 - 64 - 72 - 0	455
18	0 - 65 - 24 - 45 - 15 - 0	284
19	0 - 66 - 36 - 20 - 49 - 0	312
20	0 - 69 - 14 - 13 - 39 - 0	755
21	0 - 75 - 41 - 70 - 16 - 0	620
22	0 - 76 - 74 - 18 - 56 - 0	648
23	0 - 78 - 68 - 23 - 0	325
	celkem	8208

zdroj: [autor]

Celková délka tras navržených metodou Clarke - Wright činí 8 208 km.

Metoda Tabu search

V tabulce 26 je představen návrh tras pro noční rozvozy podle metody Tabu search.

Tabulka 26: Návrh nočních tras dle algoritmu Tabu search.

Sklad: Kunice		
Trasy		[km]
1	0 - 65 - 24 - 45 - 15 - 0	284
2	0 - 47 - 48 - 0	246
3	0 - 31 - 8 - 60 - 34 - 0	304
4	0 - 32 - 36 - 20 - 49 - 58 - 0	296
5	0 - 23 - 68 - 78 - 0	324
6	0 - 59 - 12 - 27 - 38 - 0	359
7	0 - 37 - 67 - 73 - 22 - 40 - 0	375
8	0 - 11 - 71 - 66 - 0	278
9	0 - 17 - 44 - 0	258
10	0 - 10 - 9 - 62 - 46 - 0	359
11	0 - 25 - 61 - 19 - 33 - 0	407
12	0 - 77 - 6 - 5 - 3 - 0	502
13	0 - 72 - 64 - 63 - 0	454
14	0 - 41 - 18 - 56 - 75 - 0	572
15	0 - 39 - 13 - 14 - 69 - 0	754
16	0 - 7 - 42 - 43 - 0	697
17	0 - 16 - 76 - 74 - 70 - 0	662
18	0 - 1 - 57 - 2 - 26 - 0	203
19	0 - 55 - 50 - 0	62
20	0 - 54 - 4 - 28 - 0	166
21	0 - 21 - 30 - 35 - 0	255
22	0 - 53 - 52 - 51 - 0	83
	Celkem	7900

zdroj: [autor]

Celková délka tras navržených metodou Tabu search pro velké vozidlo je 7 900 km.

Jak již bylo uvedeno, aby řidič nepřekročil povolenou dobu řízení, maximální možná délka rozvozové trasy může být 490 kilometrů. Tato podmínka je v nových návrzích nočních tras porušena u 5 rozvozových tras pro každou metodu (v tabulkách 25 a 26 vyznačeny tučně). Jedná se o obsluhu stejných poboček, u kterých je tato podmínka porušena i v současné situaci. Je proto možné použít stejné řešení, jako nyní, kterým je výměna řidičů.

8 Shrnutí výsledků

V této kapitole budou nejdříve všechny výsledky návrhů tras přehledně zobrazeny v tabulce 27. V další části dojde k jejich vzájemnému porovnání. Tabulka 27 znázorňuje délky variant rozvozových tras, kde jsou všechny hodnoty uvedeny v kilometrech.

Tabulka 27: Výsledky návrhů tras

Současný stav				
Denní (malé vozidlo)		8 091		
Noční (velké vozidlo)		7 984		
Návrhy				
Denní	Malé vozidlo		Velké vozidlo	
	Clarke - Wright	Tabu Search	Clarke - Wright	Tabu Search
Varianta 1	8 150	7 958	4 656	4 497
Varianta 2	8 162	7 933	4 553	4 488
Varianta 3	7 354	7 232	4 345	4 257
Varianta 4	6 969	6 780	4 241	4 105
Noční	Velké vozidlo			
	Clarke - Wright		Tabu Search	
	8 208		7 900	

zdroj: [autor]

8.1 Denní rozvozy

Porovnání všech variant najednou a vybrání jednoho výsledného návrhu by nemělo správnou vypovídající hodnotu. Varianty se totiž liší v různých hlediscích, u některých jsou například uvažovány 3, u jiných 4 sklady. Proto budou se stávajícím stavem vzájemně srovnány pouze varianty 1 a 2, ve kterých jsou uvažovány také 3 sklady. Další návrhy, kde se počítá se 4 sklady, budou porovnány zvlášť.

Je třeba také nahlížet jinak na srovnání návrhů pro malé a velké vozidlo. V tomto případě nestačí sledovat pouze ujeté kilometry, ale vzhledem k rozdílné ceně za kilometr pro každé vozidlo je nutné porovnávat celkovou cenu za pronájem vozidel na daných trasách.

Porovnání stávající situace a variant 1 a 2

V současné době jsou denní rozvozy uskutečňovány malými vozidly a celková ujetá vzdálenost za jeden den činí 8 091 kilometrů. Pozornost bude nejprve věnována návrhům pro malá vozidla.

Malá vozidla

V tabulce 28 jsou ještě jednou zobrazeny výsledky návrhů pro malá vozidla.

Tabulka 28: Výsledky návrhů tras pro malá vozidla

Malé vozidlo	Clarke - Wright	Tabu Search
Varianta 1	8 150	7 958
Varianta 2	8 162	7 933

zdroj: [autor]

Z tabulky 28 je zřejmé, že nejvhodnějším řešením je návrh pro variantu 2 dle metody Tabu Search. Délka rozvozových tras je v tomto případě 7 933 kilometrů.

Velká vozidla

V tabulce 29 jsou uvedeny hodnoty návrhů pro velká vozidla. Nejlepším řešením je opět návrh pro variantu 2 metodou Tabu Search, kdy výsledná délka rozvozových tras činí 4 488 kilometrů.

Tabulka 29: Výsledky návrhů tras pro velká vozidla

Velké vozidlo	Clarke - Wright	Tabu Search
Varianta 1	4 656	4 497
Varianta 2	4 553	4 488

zdroj: [autor]

Nyní může dojít k porovnání vybraných návrhů pro malá a velká vozidla. Jak již bylo uvedeno v kapitole 3.6 této práce, průměrná cena za kilometr pro malé vozidlo je 10,0,- Kč bez DPH, pro velké vozidlo je průměrná cena stanovena na 18,3,- Kč bez DPH. Tabulka 30 zobrazuje porovnání jak z hlediska ujetých kilometrů, tak z hlediska ceny za použití vozidel na navržených rozvozových trasách.

Tabulka 30: Vybrané návrhy pro malé a velké vozidlo

Vozidlo	Cena za km [Kč]	Vzdálenost [km]	Výsledná cena [Kč]
Malé	10,0	7 933	79 330
Velké	18,3	4 488	82 130

zdroj: [autor]

Z tabulky 30 vyplývá, že levnějším řešením je zvolit rozvoz malými vozidly. Při nasazení velkých vozidel by byl rozvoz o 2 800,- Kč denně dražší. Vybrané řešení pro stanovení rozvozových tras z porovnávaných variant 1 a 2 je tedy návrh pro variantu 2 metodou Tabu Search při nasazení malých vozidel. Vozidla musí urazit vzdálenost 7 933 kilometrů a cena za rozvoz je 79 330,- Kč. Nyní může dojít ke srovnání vybraného řešení a stávajícího stavu, viz tabulka 31 níže.

Tabulka 31: Srovnání současného stavu a vybraného řešení pro denní rozvozy

Denní rozvoz	Vzdálenost [km]	Výsledná cena [Kč]
Současný stav	8 091	80 910
Vybrané řešení	7 933	79 330
Úspora	158	1 580

zdroj: [autor]

Jak je z tabulky 31 zřejmé, vybrané řešení by přineslo pro denní rozvozy úsporu 158 kilometrů, což znamená finanční úsporu v hodnotě 1 580,- Kč denně. Pokud bude například uvažováno průměrně s 21 pracovními dny za měsíc, měsíční úspora by potom činila 3 318 kilometrů neboli 33 180,- Kč. Za rok by rozvozová vozidla mohla najet o 39 816 kilometrů méně a společnost by mohla ušetřit 398 160,- Kč.

Výsledky pro varianty 3 a 4

Díky umístění nového skladu a vytvořením nových atrakčních obvodů dojde ke značnému zkrácení dojezdových vzdáleností na určité pobočky, které leží v atrakčním obvodu nového skladu. Proto se u těchto variant, kde jsou 4 sklady, předpokládají návrhy tras s mnohem menším celkovým počtem ujetých kilometrů. Srovnávat je se současným stavem nebo variantami 1 a 2 by bylo značně zkreslující. Výsledky těchto variant proto budou představeny zvlášť.

Jak je patrné z tabulky 27, varianta 4 se oproti variantě 3 jeví ve všech případech jako výhodnější. Tento výsledek bylo možné předpokládat již ze samotného umístění dvou nových skladů. Sklad v Plzni má totiž ve svém atrakčním obvodu 17 poboček, zatímco sklad v Hradci Králové pouze 10. Výsledky varianty 4 jsou proto lepší a řešení by bylo možné vybírat pouze z nich. Pro společnost Auto Kelly je ale vytvoření nového skladu plánem do budoucna a rozhodnutí o jeho umístění nestojí pouze na výhodnějším návrhu tras. O umístění nového skladu rozhoduje mnoho faktorů, návrh rozvozových tras je pouze jedním z nich. Proto nebude z těchto dvou variant vybrán jeden nejlepší návrh, ale pro každou variantu bude vybráno jedno nejlepší řešení. Vybudování nového skladu je součástí dlouhodobé strategie společnosti, cílem práce není vyčíslení nákladů na vybudování skladu, ale návrh vhodných rozvozových tras.

Varianta 3

Výsledky návrhů tras pro variantu 3 jsou uvedeny v následující tabulce 32.

Tabulka 32: Výsledky návrhů tras varianty 3

Varianta 3	Clarke - Wright	Tabu Search
Malé vozidlo	7 354	7 232
Velké vozidlo	4 345	4 257

zdroj: [autor]

Pro obě vozidla jsou výhodnější návrhy dle metody Tabu Search. Nyní je nutné tyto dva návrhy vzájemně porovnat viz tabulka 33.

Tabulka 33: Vybrané návrhy pro variantu 3

Vozidlo	Cena za km [Kč]	Vzdálenost [km]	Výsledná cena [Kč]
Malé	10,0	7 232	72 320
Velké	18,3	4 257	77 903

zdroj: [autor]

Z tabulky 33 lze vyčíst, že nejlepším řešením pro variantu 3 je návrh dle metody Tabu Search pro malá vozidla. Výsledná cena denních rozvozů je 72 320,- Kč a vozidla musí urazit vzdálenost 7 232 kilometrů.

Varianta 4

Pro variantu 4 jsou hodnoty návrhů uvedeny v tabulce 34.

Tabulka 34: Výsledky návrhů tras varianty 4

Varianta 4	Clarke - Wright	Tabu Search
Malé vozidlo	6 969	6 780
Velké vozidlo	4 241	4 105

zdroj: [autor]

Opět je vidět, že lepší hodnoty získáme metodou Tabu Search. V tabulce 35 proto porovnáme tyto dva návrhy.

Tabulka 35: Vybrané návrhy pro variantu 4

Vozidlo	Cena za km [Kč]	Vzdálenost [km]	Výsledná cena [Kč]
Malé	10,0	6 780	67 800
Velké	18,3	4 105	75 122

zdroj: [autor]

Dle tabulky 35 je nejvhodnějším řešením pro variantu 4 návrh tras pro malá vozidla. Délka rozvozových tras je celkem 6 780 kilometrů s celkovou cenou 67 800,- Kč.

8.2 Noční rozvozy

U návrhů tras pro noční rozvozy je situace poněkud jednodušší. Obsluha probíhá pouze z jednoho skladu a k rozvozu jsou používána pouze velká vozidla. Není zde proto tolik variant řešení jako u denních rozvozů. Nové návrhy tras jsou pouze dva a jejich výsledky jsou zobrazeny v tabulce 36.

Tabulka 36: Výsledky návrhů tras pro noční rozvozy

Noční	Velké vozidlo	
	Clarke - Wright	Tabu Search
	8 208	7 900

zdroj: [autor]

Jak je z tabulky 36 patrné, vhodným řešením je návrh podle metody Tabu Search. Vozidla musí urazit vzdálenost 7 900 kilometrů. Nyní bude opět porovnán stávající stav s vybraným řešením v tabulce 37.

Tabulka 37: Srovnání současného stavu a vybraného řešení pro noční rozvozy

Noční rozvoz	Vzdálenost [km]	Výsledná cena [Kč]
Současný stav	7 984	146 107
Vybrané řešení	7 900	144 570
Úspora	84	1 537

zdroj: [autor]

Z tabulky 37 vyplývá, že nový návrh nočních rozvozových tras by přinesl úsporu 84 kilometrů. Za jeden pracovní den by tak došlo k úspoře 1 537,- Kč. V případě, že bude opět počítáno s 21 pracovními dny za měsíc, měsíční úspora bude mít hodnotu 1 764 kilometrů a 32 277,- Kč. Za rok se počet ušetřených kilometrů dostane na hodnotu 21 168, společnost může ušetřit 387 324,- Kč.

V kapitole 3.5 byly zmíněny ještě sobotní rozvozy, které ale v průběhu práce nebyly uvažovány, neboť jsou stejné jako rozvozy noční. To znamená, že pro každý sobotní rozvoz může být při vybraném návrhu tras úspora stejná, jako za jeden noční rozvoz. Při obvyklém počtu 50 sobotních rozvozů za rok by počet ušetřených kilometrů byl 4 200 a společnost by mohla ušetřit částku 76 850,- Kč.

Jak již bylo zmíněno, vybudování nového skladu je plánem do budoucna. V současné době, kdy společnost disponuje 3 sklady, může dojít ke změně denních tras podle vybraného návrhu z variant 1 a 2. Samozřejmě může být také použit vybraný návrh pro noční rozvozy. Při těchto změnách tras by úspora na pronájmu vozidel za jeden pracovní den činila 3 117,- Kč. Měsíčně by mohlo být ušetřeno 65 457,- Kč a ročně by společnost mohla ušetřit částku 785 484,- Kč. Pokud ještě započítáme možnou úsporu na sobotních rozvozech, celková roční úspora společnosti na rozvozových trasách by mohla být 862 334,- Kč.

9 Závěr

Diplomová práce se zabývá společností Auto Kelly, konkrétně řeší rozvozy zboží ze skladů na pobočky společnosti. Cílem práce bylo vytvoření návrhu nových rozvozových tras, kterými budou pobočky společnosti obsluhovány.

V úvodní části práce došlo k bližšímu představení řešené problematiky a společnosti Auto Kelly. Byly zde uvedeny jednotlivé varianty, jak by měla vypadat nová navrhovaná řešení.

Ve druhé kapitole byla provedena důkladná analýza stávající situace. Nejprve byly uvedeny základní informace o společnosti, bylo představeno nabízené zboží a služby, které firma svým zákazníkům nabízí. Dále zde bylo přiblíženo zázemí společnosti, skladovací prostory, informace o dopravních a vozidlech, které společnost využívá, a především zde byly podrobně uvedeny informace o současných rozvozových trasách.

Následující část byla zaměřena na problém okružních jízd. Problém zde byl blíže představen, byla uvedena základní definice formou matematického modelu a byly zmíněny možné varianty úlohy. Další část práce byla zaměřena na metody, kterými je možné problém okružních jízd řešit.

V další kapitole byla podrobně popsána řešená úloha okružních jízd. Byly zde představeny metody, které byly vybrány k řešení úlohy. První metodou byla heuristická metoda Clarke – Wright, druhou metodou metaheuristika Tabu search. V této kapitole byla představena vstupní data obou algoritmů a zároveň i výstupy z nich. Na závěr kapitoly byly uvedeny informace o způsobu, jakým byla získána distanční matice, která byla nezbytná pro vytvoření vstupních souborů do algoritmů.

Dále byly představeny nové trasy, které byly navrženy pomocí zvolených metod. Výsledky byly zkompletovány do jednotlivých variant, které byly zmíněny v úvodní části této práce. Pro denní rozvozy byly vytvořeny 4 hlavní varianty řešení. Pro každou variantu vznikly 4 nové návrhy tras rozvozu. Dva návrhy pro malé vozidlo dle metod Clarke – Wright a Tabu search, další dva návrhy dle stejných metod ale pro velké vozidlo. Pro noční rozvozy byla řešena pouze jedna varianta, která měla dva návrhy rozvozových tras, podle algoritmů Clarke – Wright a Tabu search.

V závěrečné kapitole byly shrnuty výsledky. Nejdříve byly všechny výsledky návrhů tras přehledně zobrazeny, aby mohlo dojít k jejich vzájemnému porovnání. Pro jednotlivé varianty byly vybrány nejlepší nové návrhy tras. Došlo k porovnání vybraného řešení pro denní rozvozy a současného stavu. Se současným stavem byl porovnán vybraný návrh pro noční rozvozy. Následně byla vyčíslena úspora, které by společnost mohla dosáhnout při zavedení vybraných nových návrhů rozvozových tras.

V diplomové práci bylo vytvořeno několik nových variant návrhů rozvozových tras, které může společnost využít. Návrhy pro varianty se 4 sklady jsou spíše výhledem do budoucna a záleží pouze na společnosti, jakým tempem se bude rozvíjet a kdy se případně rozhodne pro vybudování nového skladu. V současné situaci může ale společnost využít nový návrh tras pro stávající 3 sklady, který jí může přinést vítanou úsporu z hlediska ujetých kilometrů na rozvozových trasách a zároveň úsporu finanční. Celková ujetá vzdálenost při denních rozvozech činí v současné době 8 091 kilometrů, vybraný nový návrh udává hodnotu 7 933 kilometrů, což je o 158 kilometrů méně. Při ceně 10,0,- Kč za kilometr pro malé vozidlo by úspora za jeden pracovní den byla pro denní rozvozy 1 580,- Kč. Při současných nočních rozvozech ujedou velká vozidla dohromady 7 984 kilometrů. Nový návrh nočních rozvozových tras má celkovou délku 7 900 kilometrů. Za jeden pracovní den je tak možné ušetřit 84 kilometrů, při ceně 18,3,- Kč za jeden kilometr pro velké vozidlo by úspora činila 1 537,- Kč. Stejně úspory (1 537,- Kč) by společnost dosáhla i u sobotních rozvozů. Pokud bude uvažováno celkem s 252 pracovními dny a s 50 sobotními rozvozy během roku, může celková roční úspora na rozvozových trasách dosáhnout hodnoty 862 334,- Kč.

Změna současných tras a zavedení nových rozvozových tras není jednoduchou záležitostí. Jedná se o systémovou záležitost, muselo by dojít ke změnám v systému objednávek zboží z poboček, v nakládkách ve skladech společnosti a také časy dojezdů rozvozových vozidel na pobočky by byly jiné. Jak ale plyne z výsledného porovnání, zavedení nových rozvozových tras by společnosti přineslo příjemnou úsporu v nákladech. Záleží proto na vedení společnosti, pro co se rozhodne a jaké jsou její priority.

Literatura

Knihy a brožury

- [1] VOLEK, J. – LINDA, B. :*Teorie grafů - aplikace v dopravě a veřejné správě*. Vyd. 1. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2012, 190 s. ISBN 978-80-7395-225-9.
- [2] MOCKOVÁ, D. :*Základy teorie dopravy: úlohy*. Vyd. 1. V Praze: Nakladatelství ČVUT, 2007, 96 s. ISBN 978-80-01-03791-1.
- [3] JANÁČEK, J.: *Optimalizace na dopravních sítích*. Vyd. 2. Žilina: Žilinská univerzita, 2006, 248 s. ISBN 80-8070-586-0.
- [4] CRAINIC, Teodor Gabriel a Gilbert LAPORTE. *Fleet management and logistics*. Boston: Kluwer, 1998. ISBN 0-7923-8161-0.
- [5] TOTH, Paolo a Daniele VIGO. *The vehicle routing problem*. Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics, 2002. ISBN 0898714982.
- [6] DANTZIG, G.B. a J.H. RAMSER. The Truck Dispatching Problem. *Management Science*, vol. 6, no. 1, pp. 80-91, 1959.
- [7] LENSTRA, J.K. a A.R. KAN. Complexity of vehicle routing and scheduling problems. *Networks*, vol. 11, no. 2, pp. 221-227, 1981.
- [8] EL-SHERBENY, Nasser A. Vehicle routing with time windows: An overview of exact, heuristic and metaheuristic methods. *Journal of King Saud University – Science*, vol. 22, no. 3, pp. 123-131, 2010. ISSN 1018-3647.
- [9] CORDEAU, J.F., G. LAPORTE, M. SAVELSBERGH a D. VIGO. Vehicle Routing. *Handbooks in Operations Research and Management Science*, vol. 14, pp. 367-428, 2007. ISSN 0927-0507.
- [10] KAFKA, O.: *Optimální plánování rozvozu pomocí dopravních prostředků*. Praha, 2013. Diplomová práce. Univerzita Karlova v Praze, Matematicko-fyzikální fakulta
- [11] RYBIČKOVÁ, A.: *Využití genetických algoritmů v úlohách diskrétní optimalizace*. Praha, 2012. Diplomová práce. ČVUT v Praze, Fakulta dopravní

[12] VIKTOROVÁ, J.: Optimalizace distribučních tras firmy Friza spol. s r.o. Praha, 2015. Bakalářská práce. ČVUT v Praze, Fakulta dopravní

[13] DOSKOČIL M.: Optimalizace provozu flotily chladírenských vozidel. Praha, 2017. Diplomová práce. ČVUT v Praze, Fakulta dopravní

Internetové stránky

[14] *Seznam.cz: MAPY.CZ* [online]. [cit. 2018-02-17]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=15.7333000&y=49.5767000&z=11>

[15] *Auto Kelly: vše pro auta* [online]. [cit. 2018-01-10]. Dostupné z: <https://www.autokelly.cz/>

[16] *P3 Logistic parks* [online]. [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: <https://www.p3parks.com/p3-parky/platforma-2/mapa-2/2-p3-prague-d1/zakladni-udaje/>

[17] *Ministerstvo dopravy: Režim řidičů* [online]. [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: <https://www.mdcr.cz/Dokumenty/Silnicni-doprava/Nakladni-doprava/Rezim-ridicu/Rezim-ridicu?returl=/Dokumenty/Silnicni-doprava/Nakladni-doprava/Rezim-ridicu>

[18] *Networking and Emerging Optimization* [online]. [cit. 2018-5-17]. Dostupné z: <http://neo.lcc.uma.es/vrp/>

[19] *ARCDATA PRAHA: ArcGIS* [online]. [cit. 2018-03-23]. Dostupné z: <https://www.arcdata.cz/produkty/arcgis>

Ostatní

[20] Interní zdroj

Seznam obrázků

Obrázek 1: Umístění skladů a centrály Auto Kelly	10
Obrázek 2: Čtyřsloupový zvedák	14
Obrázek 3: Auto Kelly Autoservisy	16
Obrázek 4: Point Park P3 u dálnice D1	18
Obrázek 5: Plánek centrálního skladu	19
Obrázek 6: Externí sklady	20
Obrázek 7: Pobočky Auto Kelly v ČR.....	23
Obrázek 8: Příklad distanční matice.....	47
Obrázek 9: Distanční matice, metoda Clarke-Wright.....	48
Obrázek 10: Parametry k úloze, metoda Clarke-Wright.....	48
Obrázek 11: Distanční matice, metoda Tabu search.....	49
Obrázek 12: Parametry k úloze, metoda Tabu search.....	49
Obrázek 13: Výstup z algoritmu Clarke – Wright.....	50
Obrázek 14: Výstup z algoritmu Tabu search.....	50
Obrázek 15: Souřadnice poboček znázorněné v programu ArcGIS Pro	54
Obrázek 16: Atrakční obvody varianty 1	56
Obrázek 17: Atrakční obvody varianty 2	60
Obrázek 18: Atrakční obvody varianty 3	64
Obrázek 19: Atrakční obvody varianty 4	69

Seznam tabulek

Tabulka 1: Seznam poboček Auto Kelly	21
Tabulka 2: Denní rozvozové trasy – Kunice.....	25
Tabulka 3: Denní rozvozové trasy – Brno	26
Tabulka 4: Denní rozvozové trasy – Ostrava.....	26
Tabulka 5: Noční rozvozové trasy – Kunice.....	27
Tabulka 6: Úlohy a jejich označení.....	32
Tabulka 7: Výpočetní náročnost úloh.....	32
Tabulka 8: ID pro jednotlivé pobočky Auto Kelly	52
Tabulka 9: Návrhy tras – varianta 1 (malé vozidlo, Clarke - Wright).....	57
Tabulka 10: Návrhy tras – varianta 1 (malé vozidlo, Tabu search).....	58
Tabulka 11: Návrhy tras – varianta 1 (velké vozidlo, Clarke - Wright).....	59
Tabulka 12: Návrhy tras – varianta 1 (velké vozidlo, Tabu search).....	59
Tabulka 13: Návrhy tras – varianta 2 (malé vozidlo, Clarke - Wright).....	61
Tabulka 14: Návrhy tras – varianta 2 (malé vozidlo, Tabu search).....	62
Tabulka 15: Návrhy tras – varianta 2 (velké vozidlo, Clarke - Wright).....	63
Tabulka 16: Návrhy tras – varianta 2 (velké vozidlo, Tabu search).....	63
Tabulka 17: Návrhy tras – varianta 3 (malé vozidlo, Clarke - Wright).....	65
Tabulka 18: Návrhy tras – varianta 3 (malé vozidlo, Tabu search).....	66
Tabulka 19: Návrhy tras – varianta 3 (velké vozidlo, Clarke - Wright).....	67
Tabulka 20: Návrhy tras – varianta 3 (velké vozidlo, Tabu search).....	68
Tabulka 21: Návrhy tras – varianta 4 (malé vozidlo, Clarke - Wright).....	70
Tabulka 22: Návrhy tras – varianta 4 (malé vozidlo, Tabu search).....	71
Tabulka 23: Návrhy tras – varianta 4 (velké vozidlo, Clarke - Wright).....	72
Tabulka 24: Návrhy tras – varianta 4 (velké vozidlo, Tabu search).....	73
Tabulka 25: Návrh nočních tras dle algoritmu Clarke - Wright.....	74
Tabulka 26: Návrh nočních tras dle algoritmu Tabu search.....	75
Tabulka 27: Výsledky návrhů tras.....	76
Tabulka 28: Výsledky návrhů tras pro malá vozidla.....	77
Tabulka 29: Výsledky návrhů tras pro velká vozidla.....	77
Tabulka 30: Vybrané návrhy pro malé a velké vozidlo.....	78
Tabulka 31: Srovnání současného stavu a vybraného řešení pro denní rozvozy.....	78
Tabulka 32: Výsledky návrhů tras varianty 3	79
Tabulka 33: Vybrané návrhy pro variantu 3	79
Tabulka 34: Výsledky návrhů tras varianty 4	80
Tabulka 35: Vybrané návrhy pro variantu 4	80
Tabulka 36: Výsledky návrhů tras pro noční rozvozy.....	80
Tabulka 37: Srovnání současného stavu a vybraného řešení pro noční rozvozy.....	81

Seznam příloh

Příloha 1: Distanční matice z programu ArcGIS Pro