

Česká zemědělská univerzita v Praze

Provozně ekonomická fakulta

Katedra systémového inženýrství



Diplomová práce

**Metody operačního výzkumu v plánování a řízení
dopravy**

Autor:

Tomáš Husák

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Ludmila Dömeová, CSc.

© 2016 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Provozně ekonomická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Tomáš Husák

Provoz a ekonomika

Název práce

Metody operačního výzkumu v plánování a řízení dopravy

Název anglicky

Operation Research Methods in Planning and Management of Transport

Cíle práce

Cílem je návrh nového řešení distribuce, především s ohledem na minimalizaci nákladů. Práce vychází z analýzy struktury tvorby a rozdělení distribučních tras podle současného stavu v reálné firmě.

Metodika

Úvod práce se zabývá literární rešerší, ve které je popsána problematika operačního výzkumu, metod, používaných zejména v logistice postup jejich řešení.

Další část je věnována popisu zvoleného uživatele, jeho současným postupům v plánování logistiky a zejména na rozvozných tras. Touto analýzou je identifikován problém, který bude řešen a vybrány metody, které jsou k řešení nejvhodnější. Následně je provedena komparace výhod, nevýhod a výsledků získaných s pomocí různých metod při řešení vybraného dopravního problému. Následuje výběr vítězné metody, porovnání s původním způsobem distribuce, a vyčíslení úspor.

V závěru je zvolená metoda doporučena k implementaci do praxe a diskutovány možnosti jejich úprav pro specifické požadavky firmy.

Doporučený rozsah práce

40-50 stran

Klíčová slova

Logistika, dopravní úloha, víceokruhový okružní problém, optimalizace, minimalizace nákladů, Vogelova aproximační metoda, Mayerova metoda.

Doporučené zdroje informací

GUTIN, G., PUNNEN, A. P. The traveling salesman problem and its variations. New York: Springer, 2002. 830 s. ISBN 978-1-4020-0664-0

PRECLÍK, V. Průmyslová logistika. 1. vydání. Praha: ČVUT, 2006. 359 s. ISBN 80-01-03449-6

SVOBODA, V. Doprava jako součást logistických systémů. 1. vydání. Praha: Radix, 2006. 152 s. ISBN 80-86031-68-3

ŠIŠLÁKOVÁ, H., RAŠOVSKÝ, M. Ekonomicko-matematické metody. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 1999. ISBN 80-7157-412-0.

ZÍSKAL, J., HAVLÍČEK, J. Ekonomicko-matematické metody II. 2. vydání. Praha: PEF Česká zemědělská univerzita, 2000. 204 s. ISBN 80-213-0664-5

ZÍSKAL, J., HAVLÍČEK, J. Ekonomicko-matematické metody I. 1. vydání. Praha: PEF Česká zemědělská univerzita, 1998. 260 s. ISBN 80-213-0462-6

Předběžný termín obhajoby

2016/17 LS – PEF

Vedoucí práce

doc. Ing. Ludmila Důmeová, CSc.

Garantující pracoviště

Katedra systémového inženýrství

Elektronicky schváleno dne 18. 10. 2016

doc. Ing. Tomáš Šubrt, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 24. 10. 2016

Ing. Martin Pelikán, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 25. 12. 2016

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci „Metody operačního výzkumu v plánování a řízení dopravy“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 25.10.2016 _____

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucí mé diplomové práce, paní doc. Ing. Ludmile Dömeové, CSc. za její ochotu, konstruktivní připomínky a odborné rady, kterými přispěla k vypracování této diplomové práce.

Souhrn

Tato diplomová práce se zabývá řešením problematiky, spojené s plánováním a řízením dopravy u vybrané společnosti, kterážto činnost je primárně důležitá především z hlediska optimalizace nákladů, spojených s dopravou samotnou.

Teoretická část se zabývá především vymezením a popsáním oboru logistiky, nejčastějších problémů s ní spojených a popisem a rozbořením metod operačního výzkumu, které lze aplikovat na danou problematiku.

V praktické části bude řešen konkrétní problém rozvozových tras zvolené společnosti. Pomocí vybraných metod operačního výzkumu bude řešena optimalizace rozvozových tras vybraného podniku, porovnání se stávající situací a analýza využití v praxi.

Klíčová slova

Dopravní úloha, optimalizace, minimalizace nákladů, Mayerova metoda, metoda větví a mezí, okružní dopravní problém, logistika

Summary

The aim of this thesis is to deal with the issues associated with planning and traffic management in the selected company, which is the primarily important activity particularly in terms of optimizing the costs, associated with the transportation itself.

The theoretical part deals with defining and describing the subject of logistics, common problems associated with it and a description and analysis of operational research methods that can be applied to the issue.

In the practical part, there will be solved a specific problem of distribution routes in selected company. Using selected techniques of operations research will be done the optimization of distribution routes selected company, comparing to the current situation and analysis of practical use.

Keywords

Transportation problém, optimalization, minimizing costs, The Mayer method, Branch and Bound method, travelling salesman problém, logistics

Obsah

Čestné prohlášení	3
Poděkování	4
Souhrn	6
Klíčová slova.....	6
Summary	7
Keywords	7
1 Úvod.....	10
2 Cíl práce a metodika	11
2.1 Cíl práce	11
2.2 Metodika	11
3 Literární rešerše.....	13
3.1 Logistika.....	13
3.2 Doprava	16
3.2.1 Rozdělení dopravy	17
3.2.2 Dopravní síť	18
3.2.3 Doprava v ČR.....	19
3.2.4 Silniční doprava v ČR.....	19
3.3 Operační výzkum	21
3.3.1 Matematické modelování.....	23
3.3.2 Klasifikace modelů	24
3.3.3 Sedm výhod matematického modelu	25
3.4 Lineární programování.....	25
3.4.1 Distribuční úlohy lineárního programování.....	27
3.4.2 Jednostupňová dopravní úloha.....	27
3.4.3 Vícestupňová dopravní úloha.....	28
3.4.3 Okružní dopravní problém	28
3.4.4 Víceokružová dopravní úloha.....	30
3.5 Metody řešení okružního dopravního problému.....	30
3.5.1 Metoda nejbližšího souseda	30
3.5.2 Vogelova aproximační metoda	31

3.5.3 Mayerova metoda.....	32
3.5.4 Habrova přibližná metoda.....	33
3.5.5 Metoda větví a mezí.....	33
3.5.6 Littlova metoda	34
3.5.7 Optimalizace	35
3.5.8 Výpočet pomocí softwaru	35
4 Praktická část	36
4.1 Představení společnosti.....	36
4.2 Popis řešené situace	37
4.2 Vozový park.....	38
4.3 Rozvozové body.....	39
4.3.2 Pozice na mapě.....	42
4.3.3 Tabulky vzdáleností.....	44
4.3.4 Tabulky časových údajů.....	49
4.4 Postup řešení	53
4.5 Řešení jednotlivých okruhů	54
4.5.1 1.Okruh	54
4.5.2 2.Okruh	56
4.5.3 3. Okruh	59
4.5.4 4.Okruh	62
4.5.5 5.Okruh	64
4.5.6 6.Okruh	67
4.5.7 7.Okruh	69
4.5.8 8.Okruh	72
5 Zhodnocení výsledků	75
6 Závěr	78
Zdroje	80
Citovaná literatura.....	80
Internetové zdroje	81
Seznam tabulek	82
Seznam obrázků	84

1 Úvod

Doprava se postupem let stala zásadní a důležitou součástí života všech obyvatel. Ještě přednedávnem bylo nemyslitelné, aby zaměstnanec jezdil do práce každý den do vzdálenosti větší než cca 30 km, aby zboží, které si objedná dnes na internetu, dorazilo nejpозději zítra k němu domů, celkově se tedy dá říct, že doprava osob a zboží se jednak děje na větší vzdálenosti, za druhé v kratším čase.

S otevřením západní Evropě před 27 lety se z České republiky stala postupně jedna z nejdůležitějších tranzitních zemí, především v silniční dopravě. I v období tzv. „krize“, v letech 2008-2011 vykázala ČR zvýšení obrátu mezinárodní silniční dopravy o 13%, což bylo jednoznačně nejvíce z celé EU. Dostala se tak na 4. místo v Evropě, za mnohem větší a sítí dopravních cest rozvinutější země, jako je Španělsko, Německo a Polsko. Svojí polohou doslova ve středu Evropy se stala uzlem, přes který proudí zásadní část především kamionové dopravy mezi západem a východem. To sice přináší určitou sumu do rozpočtu ČR především na výběrech mytného, na druhé straně ovšem zhoršuje již tak ne optimální stav českých silnic a dálnic.

Zásadní otázkou, spojenou s plánováním dopravy, je samozřejmě otázka nákladů. Ať již se jedná o cenu spotřebovaných pohonných hmot, nebo nákladů na mzdu řidičů a dalšího personálu, spojených s logistikou, prioritou je jejich minimalizace v každém směru. K této optimalizaci se využívá různých metod. Při menším počtu odběrových míst lze využít některých matematických metod, zahrnutých do operačního výzkumu. Především se jedná o řešení distribučních úloh. V případě rozsáhlejších sítí odběrových míst je lépe použít některý ze specializovaných softwarových řešení, jejichž dostatek je nabízen volně na trhu, protože jejich ruční řešení by trvalo příliš dlouho, a zvětšovalo by se riziko chyb.

Tato práce se bude snažit o neoptimálnější řešení právě takovéto úlohy. Jedná se o menší společnost, která se doposud zabývala pouze stěhovacími službami, kdy se převážel určitý objem zboží z místa A do místa B, ale nebylo potřeba plánovat navazující nakládky

či vykládky. Šlo převážně o přeshraniční zakázky, kdy se stěhovalo větší množství předmětů z ČR, nebo naopak do ČR, a vozidlo jelo pro nakládku, či po nakládce zpět do depa prázdné. Pokud se objevilo několik navazujících tras po Evropě, byly samozřejmě po konzultaci se zákazníky termíny upraveny tak, aby šlo jízdu řešit okružním způsobem, což šetřilo náklady firmě, ale i zákazníkovi, který měl tím pádem sníženou celkovou cenu faktury.

Nyní se však firma rozhodla přijmout zakázku na pravidelný rozvoz maloobchodního zboží po širším regionu, kdy je již potřeba naplánovat rozvoz pečlivěji, aby nedocházelo ke zbytečným ztrátám na pohonných hmotách a mzdách, a aby zároveň byly dodrženy termíny, pevně stanovené smlouvou s objednavatelem. Právě tato situace bude náplní této diplomové práce, především v její praktické části.

2 Cíl práce a metodika

2.1 Cíl práce

Cílem práce bude optimalizace distribučních cest firmy A Team, s.r.o. tak, aby byla minimalizována kilometrová vzdálenost tras s ohledem na časový faktor. Výsledkem této optimalizace by měla být úspora nákladů, spojených s touto distribucí.

2.2 Metodika

Metodika procesu vytváření práce spočívá v první části v úvodu do dané problematiky. Bude podrobně popsána ta část logistiky, týkající se samotného rozvozu, vymezeny a definovány pojmy. Jednotlivé metody operačního výzkumu budou přiblíženy a znázorněny s důrazem na ty, které budou použity v následující praktické části.

Ve druhé – analytické – části bude popsána společnost, jejíž distribuce bude řešena a nová zakázka, týkající se rozvozu zboží, předem připravených na EUR paletách na jednotlivá odběrová místa. Následně budou použity jednotlivé metody k řešení kružního problému, porovnány jejich výsledky a doporučena metoda, která se bude jevit jako nejvhodnější z hlediska minimalizace nákladů. Výstup z použití této metody bude potom porovnán z hlediska nákladů se stávající situací a po vyčíslení úspor bude doporučena k užívání v praxi.

Nejprve budou všechny body rozděleny do okruhů pomocí Mayerovy metody. Tyto okruhy budou poté optimalizovány programem TSPKOSA z hlediska vzdálenosti a času. Nejlepší 2 varianty z obou hledisek (tedy celkem 4) budou poté porovnány zjednodušenou

verzí vícekriteriálního rozhodování za pomocí vah (ceny za 1 km a 1 min). Varianta s nejnižší celkovou sumou nákladů bude doporučena jako varianta vhodná pro praxi.

V závěru bude zhodnocen celý postup a výsledek a posouzena jeho vhodnost při řešení různě náročných distribučních tras v každodenní praxi.

3 Literární rešerše

3.1 Logistika

Slovo logistika je slovem poměrně starým a jeho význam se v průběhu let či staletí měnil (SIXTA, a další, 2010). Jeho vznik se připisuje německému filosofu a matematikovi Gottfriedovi Wilhelmu von Leibnizovi (1646-1716) a znamenalo původně umění logiky. Samotné slovo logos poté znamená řád, pořádek, princip, systém.

V současnosti je pojem logistika téměř výhradně zmiňován v souvislosti s organizací, plánováním a řízením toku zboží. Definic je mnoho, následuje jen pár z nich pro přiblížení aktuálního výkladu:

- disciplína, která se zabývá sladčováním (koordinací, synchronizací a celkovou optimalizací) všech aktivit v rámci samoorganizujících se systémů, jejichž zřetězení je nezbytné k pružnému a hospodárnému dosažení daného konečného (synergického) efektu (PERNICA, 2005).
- Plánování, provádění a kontrola zakázek, pohybu a rozmístění personálu, materiálu a dalších prostředků k dosažení cílů kampaně, plán, projekt, nebo strategie. To může být definováno jako "řízení zásob v pohybu a v klidu" (WebFinance, 2016).
- souhrn činností, systematicky zaměřených na získání materiálů z primárních zdrojů a všechny mezipostupy před dodáním konečnému uživateli, s výjimkou vlastních výrobních procesů. V tomto smyslu logistika zahrnuje dopravu, manipulaci, skladování a balení a všechny s tím spojené informační a řídicí procesy (SVOBODA, a další, 2003).
- Logistika je řízení materiálového, informačního i finančního toku s ohledem na včasné splnění požadavků finálního zákazníka a s ohledem na nutnou tvorbu zisku v celém toku materiálu. Při plnění potřeb finálního zákazníka napomáhá již při vývoji výrobku, výběru vhodného dodavatele, odpovídajícím způsobem řízení vlastní realizace potřeby zákazníka (při výrobě výrobku), vhodným přemístěním požadovaného výrobku k zákazníkovi a v neposlední řadě i zajištěním likvidace morálně i fyzicky zastaralého výrobku (SIXTA, a další, 2010).

Jak lze vidět, všechny definice se shodují na víceméně stejném obecném vyjádření. Logistika je činnost, při které za použití příslušného personálu, technologií, informací a financí dochází k pohybu zboží mezi dodavatelem a odběratelem (ale i uvnitř jednotlivých

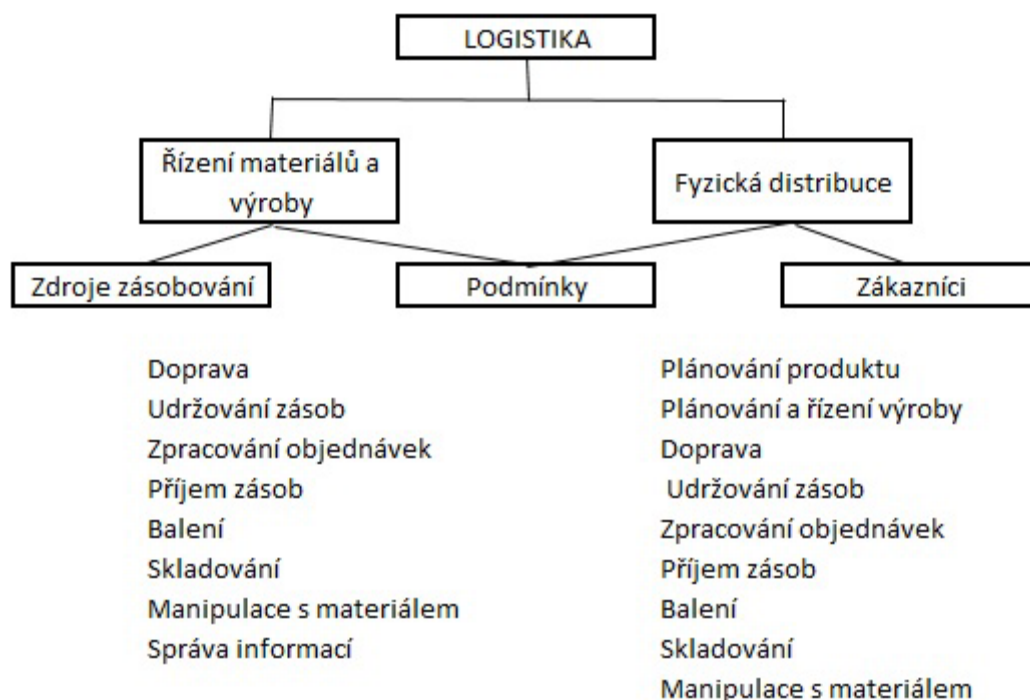
firem) tak, aby byly dodrženy termíny, množství, kvalita a místo převzetí/dodání, to vše za účelem minimalizace nákladů (z pohledu objednavatele) či maximálního zisku (z pohledu proveditele).

Z pohledu běžného spotřebitele se zdá být logistika omezena pouze na jakési zásobování především spotřebitelským zbožím v obchodech, ale málokdo si uvědomí, že logistika je odpovědná i za to, že ráno může jet do práce hromadnou dopravou, že se večer podívá na svůj oblíbený seriál, nebo že zavolá svým příbuzným. V konečném důsledku je tedy posláním logistiky uspokojení přání a tužeb takového spotřebitele (zákazníka).

Prapůvodně byly logistické principy využívány pouze pro vojenské účely k přesouvání materiálu a jednotek. Teprve v 60. letech 20. století dochází k průniku i do civilního prostředí, kdy průmyslový růst vyžadoval sofistikovanější řešení rozmístění skladů, distribučních cest a určení optimálního množství výroby, to vše s minimálními náklady. Na počátku 21. století již výdaje na logistiku tvoří necelých 14% světového HDP (rok 2002). Mezi jednotlivými státy jsou samozřejmě větší či menší rozdíly dané velikostí, či vyspělostí. ČR pro rok 2002 3,5%, oproti tomu Čína 18%.

Logistiku můžeme rozdělit na makrologistiku, která se uplatňuje ve sféře národního hospodářství, a mikrologistiku. Ta se dělí na logistiku armádní, nemocniční, dopravní a podnikovou (PRECLÍK, 2006). Podniková logistika se zabývá výše jmenovanými procesy jen a pouze ve firmě. Výrazným posunem v chápání logistiky byl posun z orientace na trh výrobce, tedy výrobou především na sklad a v omezené nabídce, na trh zákazníka, kdy se rozšířil sortiment a zákazník sám začal diktovat svá přání, která výrobce realizuje. Je to důsledek obchodní liberalizace, informační exploze a tržní globalizace, což vše vede k tomu, že podniky operují na světové bázi a orientují se na kvalitu a spokojeného zákazníka. Dnes již logistika využívá širokou paletu technologií, postupů a forem organizace.

Obrázek 1 – Logistické aktivity



Zdroj: (STUSEK, 2005)

Logistické aktivity se liší společností od společnosti. Důvodem je především rozdílná důležitost jednotlivých aktivit v rámci jednotlivých firem, okolní prostředí, odlišné organizační struktury apod. V každém logistickém kanálu se realizují klíčové aktivity, které lze shrnout následovně:

- řízení zákaznických služeb
- řízení objednávek
- řízení zásob
- řízení výroby
- řízení distribuce
- řízení dopravy

Nejnáročnějšími z hlediska nákladů jsou aktivity spojené se zásobováním a dopravou. Mohou se pohybovat mezi 50-75% celkových nákladů na logistiku. Logistická teorie říká, že doprava přidává k produktu hodnotu místa a času, zásoby potom hodnotu času a kapacity.

logistický integrovaný systém obsahuje tři základní výkonové oblasti:

- **Nákupní logistika** řídí vstupy materiálu, surovin a nakupovaných dílů.
- **Výrobní logistika**, v rámci které probíhá transformace vstupů na výstupy.
- **Distribuční logistika** zajišťuje dodání zboží finálnímu zákazníkovi včetně s tím spojených služeb.

Každý podnik však nemusí vykazovat všechny tyto oblasti. U ryze obchodních firem odpadá výrobní logistika, externě může být řešena i logistika distribuční (PRECLÍK, 2006).

3.2 Doprava

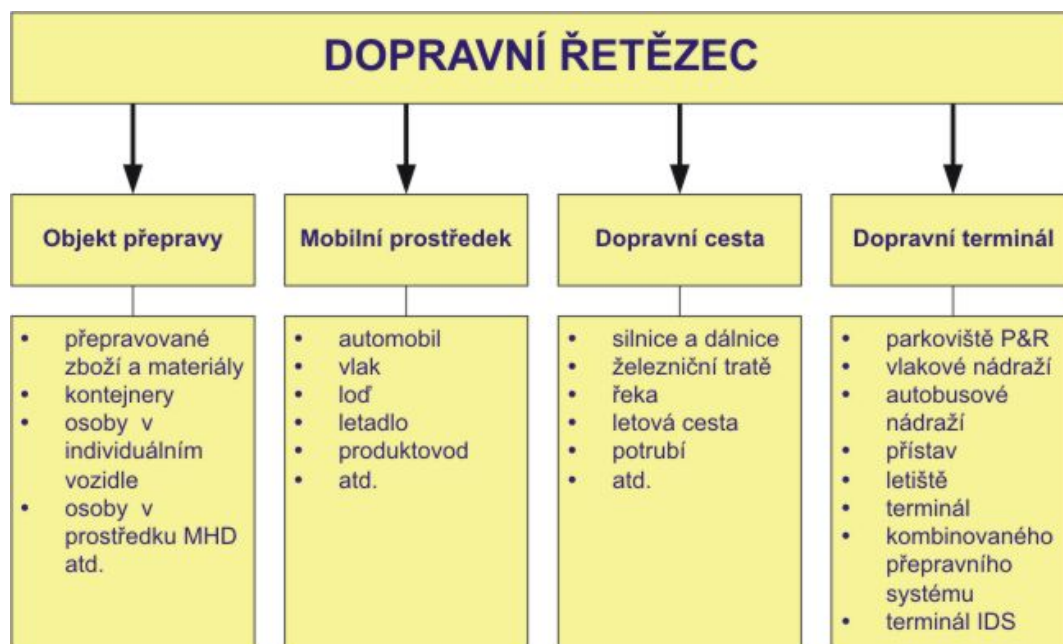
Vývoj dopravy je závislý na rozvoji společnosti, výrobních vztahů a technického pokroku. Nejstaršími druhy dopravy byla vodní a silniční doprava, které ke svému provozování nepotřebovaly mechanickou energii.

Doprava bývá často zaměňována s přepravou. Faktem ovšem je, že přeprava je pouze jedním z procesů, jimiž se zajišťuje činnost, definovaná jako doprava. Pod pojmem doprava můžeme chápat sousled všech činností vedoucích ve finále k tomu, že je určitý objem zboží přesunut z bodu A do bodu B. Jde tedy o nakládku, vykládku, vlastní přepravu, ale i mezisklad, celní deklarace a další činnosti, s přepravou spojené, jako je fytokontrola, vystavení různých protokolů (ADR, DGR, CMR) atd. Přeprava je potom samotný proces přemístění zboží.

Jako dopravce si lze představit provozovatele dopravy, právnickou i fyzickou osobu, která vykonává souhrn výše uvedených činností. Přepravce je celkový název pro odesilatele a příjemce, objedávající si službu u dopravce.

Z hlediska přepravce (dodavatele, partnera či odběratele) je doprava důležitá věc, která se velkou měrou podílí na celkovém dojmu a hodnocení celého obchodu. Zákazník požaduje přesně dané množství výrobku v určený čas na určeném místě, a pokud se něco z těchto požadavků nenaplní, hodnotí celý obchod velmi negativně. V rámci smluvních doložek mohou být uplatněny i sankce, které ve výsledku mohou způsobit, že celá zakázka může být pro dopravce (a částečně i pro dodavatele) i ztrátová. Proto je na výběr dopravce kladen velký důraz.

Obrázek 2 - Dopravní řetězec



Zdroj: (STODOLA, a další, 2007)

3.2.1 Rozdělení dopravy

Dopravu lze dělit dle různých kritérií, nejčastěji však následovně:

- dle cesty – silniční, železniční, letecká, lodní, kombinovaná, nekonvenční (potrubní aj.)
- dle místa – vnitropodniková, mimopodniková
- dle objektu – osobní, nákladní
- dle vztahu mezi přepravcem a dopravcem – veřejná, neveřejná, individuální
- dle území – vnitrostátní, mezinárodní
- dle objemu - hromadná, nehromadná
- dle velikosti – kusová, celovozová
- dle pravidelnosti – pravidelná, nepravidelná
- dle prostředí – pozemní, vodní, vzdušná, podzemní

Dopravní řetězec může být jednočlankový (doprava je celá uskutečněna stejným dopravním prostředkem), nebo vícečlanková (jinak též kombinovaná). Kombinovaná doprava využívá více dopravních prostředků v rámci jedné dopravy. Jde často o kontejnerovou dopravu, kdy zboží přijede např. z Asie v kontejnerech, které se v přístavu přeloží na vlak, a do místa vykládky dorazí na tahači s kontejnerovým návěsem. Tento

způsob bývá využíván především v případě velkých objemů stejného zboží, nebo v konsolidovaných zásilkách, kdy jejich společnou dopravu neurčuje druh zboží, ale místo vykládky. Kontejnerová doprava je též nazývána intermodální, protože zboží je celou cestu uloženo v jedné přepravní jednotce (kontejneru). V případě kombinované přepravy bez ohledu na přepravní jednotku se doprava nazývá multimodální.

3.2.2 Dopravní síť

Tak jako každá síť, skládá se i dopravní síť z jednotlivých prvků. Základními prvky jsou dopravní uzly a cesty, které tvoří spojnice mezi uzly. Ty jsou nazývány hrany. V topologickém smyslu si lze dopravní síť představit jako graf, skládající se z vrcholů (uzlů) a hran (cest). Dostupnost dopravního uzlu poté roste s jeho přístupností, tzn. čím větší je počet přímých spojení k danému uzlu, tím vyšší je hierarchický řád uzlu. Pokud do/z nějakého uzlu nevede žádná cesta, nazývá se tento izolovaným uzlem.

Další hodnotou, kterou lze charakterizovat jednotlivé uzly, je jejich propustnost. Vyjadřuje se počtem dopravních jednotek za jednotku časovou. Časová propustnost je udávána v minutách, náklady na průchodnost uzlu jsou dány peněžními jednotkami na jednotku výkonu (dopravní jednotku).

Každý uzel dopravní sítě plní několik základních funkcí:

- vstup dopravních prvků do sítě (v hraně toto není možné)
- výstup dopravních prvků ze sítě
- kumulace dopravních prvků za účelem vytvoření souprav, konsolidací
- vznik a zánik souprav, konsolidací

Uzel na dopravní síti může být chápán jako místo na dopravní síti, které se tvoří ze základních prvků pohybujících se podle určitých pravidel po dopravní síti. Více dopravních elementů pak tvoří dopravní jednotku nebo dopravní komplety. Dopravní komplety nebo jednotky pak mění svůj směr přechodem na jinou hranu sítě. Hranou na dopravní síti je pak fyzické spojení dvou uzlů dopravní sítě. Hrany se mohou křížit, spojovat nebo směrově rozdělovat pouze v uzlech. Křížení mimo uzel je možné jen u sítí, které jsou definovány v trojrozměrném prostoru. Hrany na dopravní síti jsou vždy zobrazovány jako směrově orientované. Je-li v praxi možné, aby se po fyzické hraně mezi dvěma uzly pohybovaly dopravní jednotky současně, avšak v opačném směru, zobrazíme takové spojení jako dvě paralelní hrany s opačnou orientací. Délkou hrany budeme rozumět buď její fyzickou délku danou v délkových jednotkách, nebo může být vyjádřena dobou průchodu dopravní jednotky; v optimalizačních úlohách pak lze nahradit délku hodnotou hrany (uzlu), která vyjadřuje např. náklady na průchod dopravní jednotky hranou (uzlem), případně jinými ekonomickými hodnotami (SVOBODA, 2006).

3.2.3 Doprava v ČR

Silniční nákladní doprava je nejrozšířenějším a nejvyužívanějším druhem dopravy v ČR. Navzdory tomu, že zde existuje velmi sofistikovaná co do počtu kilometrů na rozlohu velmi hustá (více než 9 500 km) síť železničních tratí, upadá přeprava nákladů po železnici rok od roku, zatímco objem zboží, přepraveného po silnici roste.

Úpadek železniční dopravy nastal zejména po pádu socialismu. Transformace železnice neproběhla ideální cestou, tratě jsou zastaralé stejně jako vozový park, neumožňují jízdu vyšší rychlostí, a v konkurenci kamionové dopravy, která je schopna přepravit zásilky vyšší rychlostí a od domu k domu, nemá šanci obstát. Zatímco transformace socialistického hospodářství na tržní proběhla v Česku v 1. polovině 90. let 20. století, transformace ČD na obchodní společnost orientovanou na tržní poptávku po přepravních službách nebyla dosud dokončena. Tento handicap již budou České dráhy velmi obtížně dohánět (POSPÍŠIL, 2014). V dnešní době se po železnici přepravují ve větším množství již pouze hromadné substráty, v ostatních komoditách je pouze okrajovým dopravcem.

Mezi rostoucí segmenty přepravního trhu v nákladní dopravě lze zařadit přepravu tzv. od domu k domu, tranzitní kontinentální dopravu a interkontinentální dopravu. Charakter železniční dopravy (technický i institucionální) znevýhodňuje dráhy při konkurenčním boji o tyto segmenty přepravy, kdy při přepravě od domu k domu limituje železnice síťový charakter. Tranzitní kontinentální doprava je dle řady faktorů velmi vhodným segmentem dopravy pro dráhy, avšak i zde železničním společností „ujíždí vlak“ nejen z důvodu vlastní nepružnosti, ale i z důvodu velice nízké interoperability jednotlivých národních železničních sítí a nízké průměrné přepravní rychlosti. Ta je však způsobena nejen vojensko-strategickým významem drah v minulosti, ale i ochranou národních drážních dopravců ze strany jednotlivých evropských zemí. V obou těchto segmentech dopravního trhu tedy dominuje silniční doprava a železniční doprava bude mít velmi těžkou úlohu, pokud bude chtít získat silnější pozici především na trhu tranzitní dopravy. Šance pro železniční dopravu skýtají logistická centra s funkčním systémem nakládky a vykládky zboží umístěné ve vhodných lokalitách ČR (POSPÍŠIL, 2014).

3.2.4 Silniční doprava v ČR

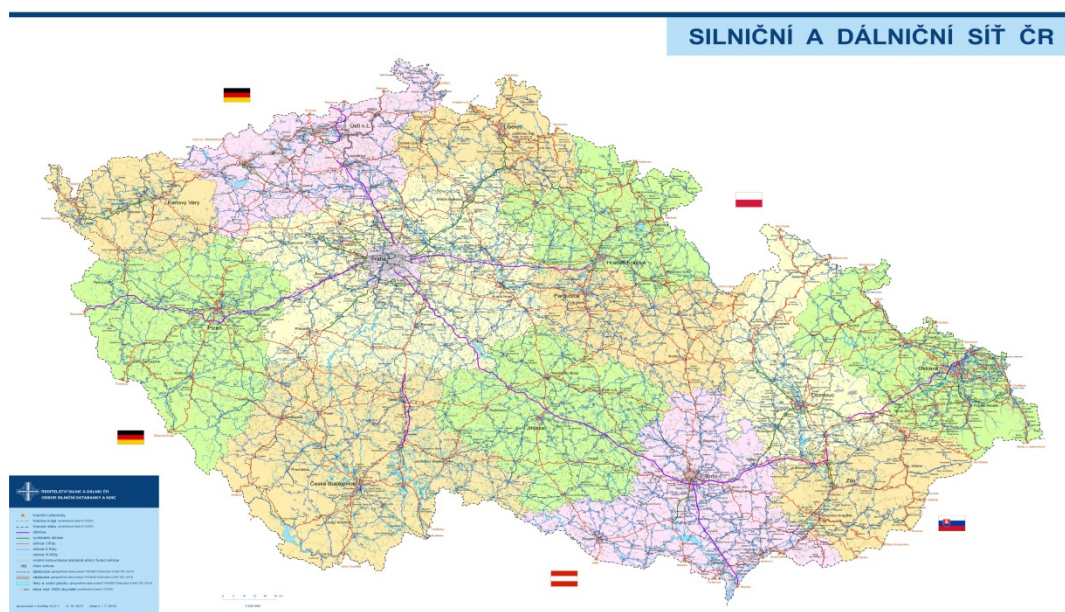
Nákladní doprava silniční je v ČR jednoznačně ve vedení. Je to především díky její flexibilitě, větší dostupnosti, hustotě sítě pozemních komunikací (desetinásobné oproti

železniční síti). Dle údajů z roku 2015 se po silnici přepravilo více než 75% všech nákladů, tj. více než 450 milionů tun. Je to o desetinu více než v roce 2014, a zároveň nejvíce za posledních 8 let. 85% z toho množství činila doprava vnitrostátní, jejíž výkon vzrostl o čtvrtinu. Naopak mezinárodní doprava o 3% klesla oproti roku minulému.

V současné době však naráží na vyčerpání kapacity na některých úsecích. Především nedostatečná hustota dálničních sítí, časté opravy a tím způsobená omezení provozu mají za následek časté tvoření kolon, kdy jsou všechny pruhy zablokované popojíždějícími kamiony, což komplikuje jednak dopravní obslužnost (záchranná služba a jiné přednostní jízdy), za druhé to činí problém podnikům, které využívají metodu JIT (Just In Time). Nejvíce je zatížena dálnice D1 a některé úseky Pražského okruhu, především Jižní spojky.

Bohužel, navzdory poměrně velkému množství peněz, plynoucích do státního rozpočtu z placených úseků silnic a dálnic, se silniční síť prakticky nerozvíjí a staví se pouze krátké dílčí úseky, které však mnohdy nemají návaznost, a tak i nadále zůstává několik důležitých tras, které svoji kapacitou absolutně nevyhovují požadavkům na moderní přepravu i v ohledu k okolním státům. Jde především o úsek mezi Českými Budějovicemi a Rakouskem, Jaroměří a Polskem, či transit přes Slovensko na Ukrajinu. Na vině je zřejmě i leckdy katastrofální stav silnic menší důležitosti, ale především nedostatečná koncepce rozvoje a plánování silniční sítě jako celku. Opravy, nebo dokonce celkovou renovaci některých dálnic brzdí také jejich nekvalitní prvovýstavba za socialistického režimu, kdy při neexistenci objízdnych tras nelze úsek zcela uzavřít, a opravuje se za provozu.

Obrázek 3 – Silniční a dálniční síť ČR



Zdroj: (Dálnice, 2002-2016)

Přes to lze očekávat nárůst tohoto druhu nákladní dopravy. Především z toho důvodu, že je velmi flexibilní k požadavkům zákazníků, je schopna přepravit zásilky téměř mezi jakýmkoli místy a disponuje různorodým vozovým parkem, kdy lze velikost vozidla přizpůsobit přesně povaze a druhu zásilky (kazící se zboží, hutní materiál, automobily, cenné zboží, sypký materiál apod.). S rostoucí vzdáleností sice rostou náklady na přepravu, ale dnes jde většinou podniků především o čas, kdy se i tyto náklady ve finále vyplatí vynaložit. Dá se říci, že silniční doprava ve všech aspektech naplňuje požadavky logistických systémů na rychlost a pravidelnost, což má za následek její další prosazování.

3.3 Operační výzkum

Operační výzkum coby vědní disciplína je poměrně mladá. Její vznik je spojen mimo jiné s Georgem B. Dantzigem, který v roce 1947 vyvinul simplexovou metodu, Johnem von Neumannem, tvůrcem teorie duality, nebo Leonidem Kantorovičem, nositelem Nobelovy ceny za ekonomii (1975). Větší rozvoj započal až během 2.světové války, kdy byly především v USA a Velké Británii vytvořeny speciální týmy pracovníků, kteří analyzovali složité taktické a strategické vojenské problémy a operace. Zkoumal se například systém správného nasazení radarů v protiletectvé obraně. V Čechách byly metody rozvíjeny na vysokých školách, mezi jejich průkopníky patřili zejména Prof. Habr, Prof. Kadlec a Prof. Nožička.

Operační výzkum (jako anglo-americké ekvivalenty tohoto termínu lze uvést operation research, operations research nebo management science) je možné charakterizovat jako vědní disciplínu nebo spíše soubor relativně samostatných disciplín, které jsou zaměřeny na analýzu různých typů rozhodovacích problémů. Poměrně dobře lze však přiblížit podstatu operačního výzkumu, pokud tento termín vyjádříme jako výzkum operací. Takto upravený termín říká mnohé jak o podstatě operačního výzkumu, tak i o oblastech jeho aplikací. Operační výzkum nachází aplikace všude tam, kde se jedná o analýzu a koordinaci provádění operací v rámci nějakého systému (JABLONSKÝ, 2002).

Postupem času se skupina základních disciplín, zahrnovaných do operačního výzkumu rozrostla. Vyplynulo to především z praktických potřeb v souvislosti s rozvojem výpočetní techniky. Nyní mezi ně patří následující:

- **Lineární programování** – řeší problém nalezení minima (maxima) lineární funkce n proměnných na množině, popsané soustavou lineárních nerovností
- **Simulační modely** – sestavení modelu reálného systému a provádění experimentů s ním

- **Síťová analýza** - skupina speciálních analytických metod, které se používají v případech, kdy je třeba analyzovat nebo optimalizovat nějakou síť vzájemně propojených a souvisejících prvků, které mají mezi sebou nějakou souvislost.
- **Řízení projektů** - proces, který koordinuje jednotlivé složky činností při realizaci projektu. Jedná se o hlavní část projektového managementu, kde řízení projektu většinou zastává projektový manažer
- **Teorie her** – popisuje a řeší konfliktní situace, kdy důsledky rozhodnutí závisí i na dalších faktorech (příroda, jiný subjekt)
- **Strukturní analýza** – modely a metody, sloužící k rozboru vazeb mezi prvky určitého systému, a vazeb mezi nimi a jeho okolím
- **Modely hromadné obsluhy** – zkoumá systémy, do nichž vcházejí požadavky, vyžadující obsluhu příslušných linek. Řeší stupeň využití linek a čas čekání požadavků ve frontě.
- **Nelineární programování** – odvětví optimalizace, jehož speciálním typem je konvexní programování a kvadratické programování
- **Modely řízení zásob** – řízení zásobovacích procesů a optimalizace zásob při minimalizaci nákladů na skladování
- **Dynamické programování** – rozkládá problém na podproblémy, jejichž řešení je uloženo pro potenciální další použití
- **Vícekritériální optimalizace** – rozhodovací varianty jsou posuzovány podle několika kritérií zároveň

Metody operačního výzkumu slouží k řešení celé řady různých problémů, a to často ekonomických. Právě ekonomický rozvoj po skončení 2.světové války vedl k potřebě řešení řady praktických problémů, které se daly řešit právě díky metodám operačního výzkumu a jeho jednotlivých disciplín.

Cílem operačního výzkumu je takové nastavení vzájemných vztahů mezi jednotlivými operacemi či úrovně jejich provádění, aby systém fungoval co možná nejlépe. K posouzení stupně funkčnosti systému jsou používána rozličná kritéria. Při operacích jsou spotřebovávány zdroje, které jsou omezené, tudíž jsou na jejich počtu operace závislé. Zkráceně řečeno je tedy operační výzkum nástrojem k nalezení nejvhodnějšího řešení daného problému přičemž jsou respektovány omezení, mající vliv na chod systému jako celku.

Hlavním nástrojem operačního výzkumu je grafické a matematické modelování.

3.3.1 Matematické modelování

V obecném vyjádření jde o seskupení objektů, na kterém jsou definovány relace (vztahy) a funkce (přiřazení) tak, že vytváří realizaci libovolné formální teorie. Jde tedy o určité zobrazení reálného systému, jakýsi nedokonalá obraz skutečnosti. Matematický model potom tyto relace vyjadřuje formou funkcí, či soustav rovnic a nerovnic.

- Deterministický model – v něm jsou všechna vystupující data známa, jsou tedy konstantami
- Pravděpodobnostní model – některý z prvků je náhodnou veličinou

Při používání operačního výzkumu k řešení daného reálného problému je rozlišováno několik základních fází, které na sebe navazují (FÁBRY, 2011):

- **Identifikace a rozpoznání problému v reálném systému.** Tento krok je velmi důležitý, jelikož může subjektu (firmě...) ušetřit nemalé náklady. Analýzu je možno provádět dvěma způsoby:
 1. *Kvalitativní analýza* – problém je analyzován pouze na základě zkušeností a znalostí příslušného manažera, bez číselné kalkulace
 2. *Kvantitativní analýza* – problém je analyzován kvantifikací dat, vyjádřitelných v numerické podobě
- **Sestavení ekonomického modelu** je většinou slovním popisem problému, který by měl obsahovat:
 1. *Cíl analýzy* – tedy stav, kterého má být dosaženo (snížení nákladů, zkrácení doby cyklu apod.)
 2. *Popis procesů* – reálných aktivit (cyklus výrobní linky) a jejich intenzity (kapacita výrobní linky)
 3. *Popis činitelů* – spotřeba zdrojů, požadavky na objem výroby apod.
 4. *Popis vztahů* – mezi cílem, procesy a činiteli
- **Matematický model** – převedení ekonomického modelu do matematického jazyka tak, aby jej bylo možné řešit standardními postupy. Obsahuje stejné prvky jako model ekonomický, ale v jiném vyjádření, kdy každému prvku je přiřazen určitý prvek matematického modelu. Skládá se ze čtyř základních komponentů: strukturní neznámé, podmínky jejich nezápornosti, soustava vlastních omezení a jedna nebo více účelových funkcí. V případě použití pouze lineárních rovnic a nerovnic jde o lineární programování, které je v ekonomické praxi nejčastější. Matematické modely jsou pravděpodobnostní a deterministické (viz. výše).

- Řešení matematického modelu – používá se k němu jednotlivých disciplín operačního výzkumu, v dnešní době především pomocí výpočetní techniky s vhodným softwarem. Řešením je určení takové hodnoty říditelných proměnných, pro něž kritérium dosahuje extrému (minima, maxima), požadovaného řešitelem.
 - Interpretace výsledků a verifikace modelu – jedna z nejdůležitějších fází operačního výzkumu. Verifikace modelu je ověření správnosti sestaveného modelu a posouzení reálnosti získaných výsledků (FÁBRY, 2011). Vzhledem k tomu, že zadavatel, který formuluje problém, potažmo ekonomický model, bývá v praxi odlišný od analytika, který model zpracovává a řeší, je třeba, aby při interpretaci výsledků byly dodrženy termíny a prvky, které byly zavedeny v ekonomickém modelu a nebyly používány, ty které si sám analytik „zavedl během formulace matematického modelu“ (FÁBRY, 2011). Častými nedostatky jsou:
 1. Model obsahuje nepodstatné proměnné
 2. Hodnoty parametrů nejsou spolehlivé
 3. Struktura modelu je nevyhovující
- Implementace – přistupuje se k ní v případě úspěšné verifikace a je v podstatě završením celého rozhodovacího procesu. Následovat by mělo zlepšení celého systému a vzhledem k počáteční situaci by měl nastat reálný a měřitelný přínos.

3.3.2 Klasifikace modelů

Modely lze posuzovat - kromě jiného - z hlediska času a nahodilosti jevů. Z hlediska času dělíme modely na:

- Dynamické – to znamená, že čas hraje roli a ovlivňuje nějakým způsobem model samotný
- Statické – model není ovlivněn působením času, nebo je toto působení zanedbatelné

Z hlediska nahodilosti jevů známe modely:

- Deterministické – v takových modelech se náhodné jevy prakticky nevyskytují, nebo jen v míře, která je zanedbatelná
- Stochastické – zde se náhodilé jevy vyskytují a mají schopnost podstatně ovlivnit chování zkoumaného modelu

3.3.3 Sedm výhod matematického modelu

1. Úspora času – operace probíhající v reálném čase po léta mohou být simulovány pomocí matematického modelu během několika minut (Simulace)
2. Jednodušší manipulace s modelem (Simplicita)
3. Cena za chybné rozhodnutí při práci s modelem je nepatrná ve srovnání s chybou v reálném systému (Spolehlivost)
4. Možnost kalkulace rizika spojeného s přijetím rozhodnutí (Stabilita)
5. Cena za analýzu chování systému pomocí modelu je mnohem menší, než cena za analýzu reálného systému (Spořivost)
6. Modelováním se uživatel učí (Sebevzdělání)
7. Možnost analýzy a posouzení velkého množství (i nekonečného počtu) alternativ řešení (Selektivita)

3.4 Lineární programování

Při řešení problémů v praxi se lze často setkat se situací, kdy je možné vybrat si z několika variant, které nejsou rovnocenné v různých aspektech. Tím nastává problém výběru nejlepší varianty. V tomto případě se jedná o optimalizační rozhodování. To je charakteristické tím, že jsou známy podmínky, které je potřeba splnit při rozhodování, je znám cíl, kterého je třeba dosáhnout, a který popisuje kritéria, dle kterých je možné hodnotit, zda je varianta výnosná či nevýnosná z hlediska subjektu, který se rozhoduje. Soubor metod, které umožňují takový výběr při daných omezujících podmínkách a kritériu optimality, se nazývá lineární programování.

Sestavuje-li se matematický model lineárního programování, musí být dodržena určitá forma. Cíl je vyjádřen jako lineární funkce, přičemž hledáme její minimum, nebo maximum. Tato funkce se nazývá kriteriální, nebo účelová. Každý proces má přiřazen strukturální proměnnou. Její hodnoty značí úroveň jednotlivých procesů. Činitelé, ovlivňující realizaci procesů, se znázorňují pomocí lineárních rovnic a nerovnic, které vyjadřují určitá omezení.

Formulace úlohy tedy spočívá ve správném určení a definici proměnných, včetně slovního popisu. Na jejich základě je sestavena kriteriální funkce a zápis omezujících podmínek ve formě lineárních rovnic a nerovnic. Obecný tvar lineárního matematického modelu ve formě sumačního zápisu lze vyjádřit následovně (HOLOUBEK, 2010) :

$$Z_{extr} = \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \geq b_j \quad (i = 1, \dots, m) \quad (2)$$

$$x_j \geq 0 \quad (j = 1, \dots, n) \quad (3)$$

(1) – účelová funkce

(2) – vlastní omezující podmínky

(3) – podmínky nezápornosti

Použité symboly jsou označovány těmito názvy:

c_j – koeficient účelové funkce vztahující se k j -té proměnné

x_j – strukturální proměnná

a_{ij} – strukturální (technicko-ekonomický) koeficient, který vyjadřuje vztah mezi i -tou omezující podmínkou a j -tou proměnnou

b_i – pravá strana i -té omezující podmínky

m – počet omezujících podmínek

n – počet strukturálních proměnných

Pomocí optimalizačních modelů je řešena celá řada řídicích, rozhodovacích a organizačních činností. Typické problémy, řešitelné metodou lineárního programování jsou:

- Úlohy výrobního plánování (problém alokování zdrojů)
- Úlohy finančního plánování (optimalizace portfolia)
- Plánování reklamy
- Nutriční problém
- Směšovací problém
- Úloha o dělení materiálu
- Rozvrhování pracovníků
- Distribuční úlohy lineárního programování

3.4.1 Distribuční úlohy lineárního programování

Distribuční úlohy tvoří speciální skupinu úloh lineárního programování. Zařazujeme mezi ně problémy jednostupňové, dvoustupňové, přiřazovací, zobecněné, okružní, trasovací a mnoho dalších typů. Všechny tyto úlohy se dají vyjádřit pomocí lineárních modelů. Některé specifické vlastnosti těchto úloh umožňují použít k jejich řešení speciální metody, které jsou jednodušší než simplexová metoda. Při jejím použití nabývá dopravní úloha veliký rozměr simplexové tabulky a řešení je velice pracné a zdouhavé. U jiných by naopak velikost modelů i při malé velikosti úlohy – malém počtu míst, mezi nimiž je třeba přepravu zajistit – vyžadovala výpočetní kapacitu, která neumožní efektivně nalézt jejich přesné teoretické optimum (ŠUBRT, 2011).

Dopravní úlohy mají tu nevýhodu, že díky velké variabilitě počtu řešení a jeho složitosti je určení optimálního řešení s absolutní jistotou takřka nemožné. Proto je hledáno řešení, které se tomu ideálnímu co nejvíce blíží. Těmto metodám se říká aproximační.

3.4.2 Jednostupňová dopravní úloha

Jednostupňové dopravní úlohy jsou nejjednodušší variantou dopravního problému. Cílem takové úlohy je najít takový plán přepravy mezi dodavateli a spotřebiteli, který vyčerpá kapacity dodavatelů a naplní požadavky spotřebitelů za minimalizace přepravních nákladů. Je zde několik základních předpokladů:

- K přepravě je používán stejný druh dopravního prostředku
- Mezi každým dodavatelem a spotřebitelem existuje pouze jedna cesta
- Mezi náklady na přepravu a množstvím přepravovaného produktu existuje přímá úměrnost

Nevyváženost jednostupňové dopravní úlohy znamená, že existuje převis na jedné, nebo druhé straně (kapacita dodavatelů je nadměrná, nebo naopak menší, než požadavky spotřebitelů). Takováto úloha se obvykle převádí na úlohu vyváženou pomocí doplnění fiktivních cílových míst, respektive zdrojů.

3.4.3 Vícestupňová dopravní úloha

U tohoto typu úlohy se navíc počítá s takzvanými mezisklady. To jsou místa v dopravním řetězci mezi dodavatelem a spotřebitelem. Podmínkami pro řešení takové úlohy je znalost sazeb mezi meziskladem a dodavatelem, meziskladem a spotřebitelem, v případě více meziskladů i sazba mezi nimi a zároveň znalost kapacit jednotlivých meziskladů. Dalším předpokladem je vyprázdnění všech meziskladů po realizaci přepravy. Jejich řešení je komplikovanější, dají se složitě převést na jednostupňové úlohy, nicméně v současnosti jsou již k dispozici softwarová řešení, které výpočet značně zjednodušily (např. program DUMKOSA).

3.4.3 Okružní dopravní problém

V praxi se často dopravy mezi dvěma místy neřeší individuálně, ale spojí se v řetěz jednotlivých vykládek tak, že vozidlo provede jakousi okružní jízdu. Nejede tak tedy ze skladu k spotřebiteli A, potom ze skladu ke spotřebiteli B atd..., nýbrž naloží plnou kapacitu vozidla a jede po trase např. sklad -> spotřebitel A -> spotřebitel B -> spotřebitel C... a s prázdným vozem se vrací zpět pro nakládku na další okruh. Cílem, který se snaží dosáhnout je naplánovat trasu tak, aby součet sazeb pro jednotlivé trasy byl minimální.

Hledání optimálních tras většinou vychází z určité komunikační sítě, může se jednat o silniční síť se zadanými kilometrovými vzdálenostmi. Ve většině případů je hledána nejkratší cesta nebo okruh, kritériem optimalizace se ale mohou stát i náklady, do kterých se kromě kilometrové vzdálenosti promítá také spotřeba pohonných hmot, pronájem vozidla nebo náklady na prostoje vozidla. V některých případech je omezujícím faktorem i čas, zejména pokud jde o časově limitované služby, kde okružní trasy musí být navrženy tak, aby rozvoz zboží byl splněn do daného termínu. „*Základním omezujícím faktorem tvorby tras je množství převáženého materiálu.*“ Je tedy vhodné znát požadavky odběratelů, které mohou být udávány váhově, objemově nebo například rozsahem nosné plochy vozidla, které toto zboží zabírá. Současně musíme znát i kapacitu vozidel, které jsou k dispozici. Kapacita pak musí být udána ve stejných jednotkách jako požadavky odběratelů. (PELIKÁN, 1992).

I v tomto případě lze sestrojít matematický model okružního problému:

Mějme:

- n odběrových míst, se startem v i -tém místě a cílem v j -tém místě
- n kroků cesty
- c_{ij} = vzdálenost mezi místy i a j

- x_{ijk} = uskutečněná ($x_{ijk} = 1$), nebo neuskutečněná ($x_{ijk} = 0$) cesta mezi místy i a j v k -tém kroku

Pak matematický model vypadá následovně:

Mají být nalezeny takové hodnoty x_{ijk} , kdy:

$$Z_{min} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n c_{ij} x_{ijk}$$

Při následujících omezeních:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ijk} = 1 \quad (k = 1, 2, \dots, n)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n x_{ijk} = 1 \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n x_{ijk} = 1 \quad (j = 1, 2, \dots, n)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ijk} = \sum_{j=1}^n x_{ijk+1} \quad (i, j, k = 1, 2, \dots, n)$$

Při $k = n$ je $k + 1 = 1$

$$x_{ijk} = 0 \quad (i, j, k = 1, 2, \dots, n)$$

Takto sestavený model má bohužel v praxi jen limitované použití, neboť je potřeba dodržet celou řadu dalších omezujících podmínek, jako jsou například:

- Potřebu plánovat v daném časovém období více tras vzhledem k omezené kapacitě vozidel
- Odběratelé mají většinou specifické požadavky, týkající se času závozu
- Cesty se mohou konat pouze během pracovní doby, a to jak na straně odběratele, tak na straně dodavatele
- V některých místech může být omezený vjezd některých typů vozidel, např. v historických centrech měst je zákaz vjezdu větších (těžších) nákladních vozidel

3.4.4 Víceokruhová dopravní úloha

Tento typ úlohy se liší od jednookruhové varianty v tím, že vlivem některých podmínek, není jediný okruh realizovatelný. Na vině je nejčastěji kapacita, kdy celkový požadavek kapacit jednotlivých míst trasy přesáhne maximální kapacitu jednoho okruhu. Na místě je tedy řešení, při němž je vytvořeno okruhů více. Je tedy řešena úloha, kdy je hledána varianta optimálního rozvozu daného množství materiálu z centrálního skladu do odběrových míst po několika trasách (okruzích). Jde o tzv. NP-úplný problém, kdy efektivní algoritmus není znám, a tak je používáno aproximačních metod. Odběrová místa se rozdělí do několika skupin, z těch je potom sestaveno několik tras, které se řeší metodami pro jednookruhový okružní dopravní problém.

3.5 Metody řešení okružního dopravního problému

3.5.1 Metoda nejbližšího souseda

Tato metoda patří mezi nejjednodušší z hlediska řešení. Velmi zjednodušeně se dá popsat následovně:

- Je stanoven výchozí bod
- Z něj je naplánována trasa do nejbližšího možného bodu
- Z tohoto bodu je opět plánována trasa do dalšího nejbližšího z těch bodů, které ještě nebyly zahrnuty do řešení
- Po zahrnutí všech možných průjezdních bodů je naplánována poslední trasa zpět do výchozího bodu
- Všechny trasy jsou seřazeny za sebou, vypsány jejich vzdálenosti a vypočítána celková suma sazeb.

Tato metoda je sice jednoduchá, nicméně z hlediska celkové optimalizace není zcela bez problémů. Největším se jeví především fakt, že ze začátku jsou plánovány ty výhodnější z tras aby nakonec zbyly ty trasy, do nichž je z většiny bodů největší vzdálenost. Tyto dlouhé trasy mohou vyvážit výhodu, získanou na začátku řazením tras kratších.

3.5.2 Vogelova aproximační metoda

Tato metoda je používána k řešení dopravních úloh nejčastěji. Oproti metodě nejbližšího souseda její řešení poskytuje výsledek velmi blízký řešení optimálnímu. Nevýhodou je potom relativní složitost metody při ručním počítání.

Vogelova metoda je založena na vyhodnocování rozdílů v sazbách pro každý jednotlivý sloupec a řádek. Vypočítávají se rozdíly dvou nejnižších sazeb (minimalizujeme kritériální funkci) pro každý sloupec i řádek. Tato metoda vyplývá z požadavku zvýhodnit výhodné přepravní kombinace tak, aby bylo dosaženo co nejméně nevýhodných kombinací (RAIS, 2005).

Postup řešení:

- Jsou určeny řádkové a sloupcové difference, tvořené rozdílem mezi nejvýhodnější a druhou nejvýhodnější sazbou v příslušné řadě
- Z nich je vybrána ta největší a je obsazena nejvýhodnější trasa v příslušném řádku či sloupci
- V matici je poté vyškrtnut řádek i sloupec, ve kterém se toto spojení nachází
- Následně jsou z řešení vyloučena spojení, která by předčasně ukončila celý okruh
- Dále jsou přepočítány všechny difference a postupuje se stejným způsobem, dokud není sestaven celý okruh
- Pokud se vyskytnou v některém kroku stejné maximální difference, je obsazena trasa s nejvýhodnější sazbou z celé matice (sedlový bod)
- Pokud se vyskytne více sedlových bodů, je vybrán ten, který má nejvyšší součet řádkové a sloupcové difference. Pokud ani při tomto kroku nelze určit trasu, která má být zařazena do okruhu, počítají se tzv. druhé difference.
- Konečná vzdálenost je určena součtem hodnot ve vybraných buňkách matice

Vogelova metoda bývá také nazývána „metodou ztrát“. Důvod je nyní zřejmý z výpočetního postupu.

3.5.3 Mayerova metoda

Tato metoda je využívána především v situacích, kdy rozvoz nelze řešit jedním vozem, většinou z kapacitních důvodů. Trasa je tedy rozdělena na několik okruhů, a ty jsou obslouženy více vozidly současně. Tomuto typu úlohy se říká víceokruhový dopravní problém. K řešení je třeba sestavit symetrickou matici vzdáleností spolu s údajem o požadavcích jednotlivých bodů.

Tabulka 1 – Příklad symetrické matice

	Bod A	Bod B	Bod C	Bod D	Bod E	Bod F	Požadavky
Bod A	-	19	25	11	30	16	3,5
Bod B	19	-	18	26	29	7	1,8
Bod C	25	18	-	31	50	18	2,1
Bod D	11	26	31	-	29	17	2,3
Bod E	30	29	50	29	-	20	2
Bod F	16	7	18	17	20	-	1,4

Zdroj: vlastní zpracování

Postup řešení:

- Místa jsou v tabulce seřazena (v řádcích i sloupcích) podle vzdálenosti od výchozího bodu (ten může být tedy vynechán). Následně je přidán sloupec s požadavky jednotlivých míst
- První sloupec je označen (zařazen do trasy), stejně tak i příslušný požadavek. První řádek je vyškrtnut
- U ostatních bodů jsou sečteny jejich požadavky s tím právě vyškrtnutým, a kde bude součet překračovat kapacitu vozidla, je tento bod vyškrtnut v prvním sloupci
- Z nevyškrtnutých bodů je vybráno minimum (z několika stejných to výše umístěné), a tento bod je zařazen do trasy. Odpovídající sloupec a jeho požadavek je vyškrtnut
- Požadavky zařazených míst jsou sečteny a opět vyškrtneme místa, která by svým požadavkem překročila kapacitu vozidla
- Opět je vybráno minimum a stejným způsobem se pokračuje dokud nejsou při porovnávání kapacit vyškrtnuty všechny sazby
- Tím je vybrán jeden okruh, jehož sloupce i s požadavky jsou vyškrtnuty a ze zbývajících bodů je hledán okruh další stejným způsobem
- Následně jsou body jednotlivých okruhů seřazeny dle vzdáleností pomocí některé z výše zmíněných metod pro řešení jednookruhových úloh

3.5.4 Habrova přibližná metoda

Habrova přibližná metoda bývá popisována jako obdoba sestavení okruhů pomocí sazeb. Při tomto způsobu řešení okružního dopravního problému se vytváří okruh tak, že se ze všech možných spojení mezi jednotlivými místy vybírá a do okruhu se zařazují taková spojení, která jsou co nejvýhodnější s ohledem na celé uvažované dopravní soustavy (dopravní síť). Tento globální pohled poskytují Habrovy frekvence známé z klasické dopravní úlohy. Jako první se ze všech možných spojení mezi jednotlivými místy vybere a do okruhu zařadí to spojení míst (i,j) , které odpovídá nejvýhodnější frekvenci (f_{ij}) . Pak se hledá další nejvýhodnější frekvence (f_{jk}) pro navazující spojení a příslušný nalezený úsek se zařadí do okruhu. Tak se pokračuje v návaznostech $f_{kl}, f_{lm} \dots$ až do uzavření celého okruhu (BROŽOVÁ, a další, 2003).

3.5.5 Metoda větví a mezí

Jde o exaktní metodu řešení okružního dopravního problému, která slouží „k nalezení bodu absolutního minima dané účelové funkce na dané konečné množině přípustných řešení.“ Podstatou metody je postupný rozklad množiny přípustných řešení na vzájemně disjunktní podmnožiny. Na těchto podmnožinách jsou pak stanoveny dolní meze účelové funkce. Po prvním rozkladu se dále rozkládá vždy ta podmnožina, která vykazuje nejnižší hodnotu dolní meze účelové funkce. Postup končí v bodě, kdy postupným rozkladem vznikne jednoprvková množina, která obsahuje jediné přípustné řešení. Pokud hodnota účelové funkce „není větší než dolní meze účelové funkce na ostatních podmnožinách“, je toto nalezené řešení optimální. V opačném případě pokračujeme v rozkladu podmnožiny s nejnižší hodnotou dolní meze účelové funkce. Při ručním výpočtu se postup řešení znázorňuje graficky ve tvaru stromu, jehož uzly odpovídají vytvářeným podmnožinám (RAIS, 2005).

3.5.6 Littlova metoda

Z metody větví a mezí vychází metoda Littlova.

Postup řešení Littlovou metodou:

- Je sestavena matice (symetrickou či asymetrickou)
- Jsou vyloučeny trasy, po kterých by se z místa i vracelo rovnou zpět do místa i , a takové, po kterých by byl okruh předčasně uzavřen před zařazením všech průjezdních bodů
- Matici je třeba zredukovat tím, že od každého sloupce i řádku jeho odečteme nejmenší sazbu (transformační konstantu). Tím vznikne v každém řádku i sloupci alespoň jedna nulová sazba
- Vypočítá se hodnota Z_0 , tedy snížení hodnoty účelové funkce po odečtení transformačních konstant

$$z_0 = \sum_{i=1}^n a_i + \sum_{j=1}^n b_j$$

a_i – transformační konstanta odpovídající i -tému řádku ($i = 1, 2, \dots, n$)

b_j – transformační konstanta odpovídající j -tému sloupci ($j = 1, 2, \dots, n$)

- Stanovíme hodnoty pro všechny redukované nulové vzdálenosti

$$\Phi_{ij} = c'_{i,\min} + c'_{j,\min}$$

$c'_{i,\min}$ - nejmenší redukovaná vzdálenost i -tého řádku

$c'_{j,\min}$ - nejmenší redukovaná vzdálenost j -tého sloupce

- Nalezne se $\max \Phi_{ij}$, čímž se určí zařazení cesty mezi i -tým a j -tým bodem do okruhu
- Vypočte se hodnota účelové funkce $Z_{\bar{ij}} = Z_0 + \Phi_{\max}$
- i -tý řádek i j -tý sloupec je vynechán a vyloučí se vratná cesta (z j do i). Příslušné pole je označeno ∞
- Pokud nyní není známo další $c_{ij} = 0$, opakujeme redukcí vzdáleností pomocí transformačních konstant
- Byla-li cesta z i -tého místa do j -tého místa do okruhu správně zařazena, pak musí platit, že $Z_{ij} \leq Z_{\bar{ij}}$

- Pokud vznikne redukováná matice vzdáleností 2 x 2, kde 2 trasy budou zakázány, výsledkem je okruh po zbývajících trasách. V opačném případě se celý postup opakuje

3.5.7 Optimalizace

Optimalizací je možno nazvat proces, který vede k modifikaci celého systému, zvýšení jeho efektivity, popřípadě ke snížení jeho nároků. V případě okružního dopravního problému jde tedy o proces, který vede k takovému uspořádání jednotlivých bodů, které se budou co nejvíce blížit k optimálnímu řešení, tedy že bude trasa naplánována s ohledem na co nejnižší počet ujetých kilometrů, nebo na co nejkratší čas celého okruhu.

3.5.8 Výpočet pomocí softwaru

Řešení praktických problémů, které mohou obsahovat stovky až tisíce proměnných i vlastních omezení, na základě ručního výpočtu nepřichází v úvahu kvůli velké pracnosti, časové náročnosti a nebezpečí vzniku numerických chyb (HOLOUBEK, 2010).

Pro tyto případy existuje celá řada softwarových řešení, jako například STORM (operuje pod DOSem, nemá nároky na HW), LINGO (obsahuje speciální jazyk pro matematické modelování), QSB aj.

V této práci bude použit program TSPKOSA (autorů Ing. Igora Krejčího, RNDr. Petra Kučery, Ph.D. a Ing. Hany Vydrové). Je vytvořen v Microsoft Visual Basic 6.5 a využívá následujících metod:

- Apoximační
 - Metoda nejbližšího souseda
 - Metoda výkonnostních čísel
 - Vogelova apoximační metoda pro OPD
- Optimalizační
 - metoda větví a mezí pro ODP

Výstupy jsou generovány do souboru MS Excell.

4 Praktická část

4.1 Představení společnosti

V této práci je řešena dopravní úloha na základě informací od menší přepravní společnosti. Na žádost vedení této společnosti nejsou uvedeny žádné údaje, které by mohly vést k její identifikaci. Z obecného hlediska lze společnost charakterizovat následovně:

Společnost T-Team existuje na českém trhu od roku 2005. Vznikla s posláním poskytovat přepravní služby napříč Evropou. Nyní má sídlo na východě Prahy v logistickém areálu Nupaky, kde provozuje sklad s výměrou necelých 10 000 m². Do roku 2016 probíhal poměrně konstantní růst jak z hlediska objemu přepravy, počtu zaměstnanců, hrubého zisku, tak i velikosti skladovacích prostor. V současné době pracuje ve společnosti 8 zaměstnanců v kancelářích jako dispečeri, 21 řidičů a závozníků na stálý poměr a v případě potřeby má databázi tzv. „volných“ řidičů, kteří zajišťují rezervu pro případy nenadálých větších požadavků. Všichni pracovníci mají řidičské průkazy na příslušnou třídu vozidel a to včetně závozníků, takže je lze využívat operativně dle potřeby.

Většina zakázek spočívala doposud ve stěhovacích službách, kdy na základě spolupráce s jednou holandskou společností přepravovala zboží různého charakteru z místa A do místa B, přičemž 75% zakázek bylo bez další návaznosti, tzn., že pokud bylo výchozí místo v ČR, společnost vyslala team pracovníků, který zboží připravil k přepravě, zabalil, naložil a podle velikosti jej posádka ve složení 2-4 pracovníků zavezla na místo dodání, kde jej vyložila, rozbalila a umístila dle požadavků zákazníka.

Pokud bylo výchozí místo mimo ČR, byl vyslán vůz s posádkou na místo, kde proběhly stejné procedury, a po vyložení se vrátil zpět do ČR. I přesto, že v takovém případě byla z laického hlediska takováto zakázka poměrně nerentabilní, jelikož velkou část nákladů tvořily pohonné hmoty na tzv. „prázdné“ cesty (tj. cesty nenaloženého vozidla), spolu s nutností ubytování posádky, pokud šlo o vzdálenější cíle, byly díky vyšším cenám výnosné. I přes současnou velkou konkurenci v přepravě se dařilo vytěžovat většinu vozidel, a zakázky musely být spíše odmítány, než že by je musela společnost sama aktivně hledat. Jak přiznávají jednatelé společnosti, toto mělo příčinu hlavně v holandských partnerech, kteří zajistili více než 80% všech dosavadních zakázek.

Nyní společnost stojí před rozhodnutím. Od července 2016 přejala od spřátelené firmy, sídlící ve stejném areálu podstatnou část jejích rozvozových služeb. Jedná se o pravidelný každotýdenní rozvoz paletových zásilek s nápoji do maloobchodních prodejen v menších městech v západních a jižních Čechách. Dosavadní přepravce se zcela zbavuje oddělení autodopravy, a soustředí se na jinou činnost.

4.2 Popis řešené situace

Zatím je vztah nastaven tak, že ve skladu této společnosti jsou připraveny jednotlivé palety, na kterých je konsolidováno zboží dle požadavků jednotlivých prodejen, které společnost T-Team naloží a rozveze na příslušná místa, kde je vyloží z vozu a dopraví do prodejny. Je tedy třeba použít vozidla s hydraulickým čelem, vybavená paletovým vozíkem i vzhledem k tomu, že jde o nápoje, balené v přepravech či v baleních po šesti a jedna paleta tak průměrně váží 200-500 Kg. Takové vozy má společnost T-Team vyčleněny zatím 4, ale v případě potřeby je připravena operativně nasadit i další vozidla svého vozového parku. Výhledově je potom uvažováno, že by převzala i konsolidování zásilek a jejich přípravu a balení ve vlastních skladovacích prostorách. Vše bude záležet na tom, jakým způsobem se podaří optimalizovat samotnou přepravu, jaké budou náklady, tržby, zisk a nakolik to nabourá stávající strukturu zakázek, popřípadě jak bude potřeba zvýšit počet zaměstnanců či vozidel. Nejprve je třeba stanovit a ustálit trasy rozvozu, spočítat náklady, porovnat s výnosy a určit tak celkovou rentabilitu těchto rozvozů. Následně bude rozhodnuto buď o plném převzetí celého procesu, nebo o odstoupení a soustředění se na dosavadní činnost.

Rozhodnutí, proč hledat nové trhy v domovské zemi na úkor zahraničních zakázek, vysvětlil jeden z jednatelů tím, že v posledních 4-5 letech sledují růst vedlejších nákladů těchto zahraničních cest. Především v otázce ubytování, které je potřeba ve většině případů sehnat v horizontu pár dní před příjezdem, jelikož většina zakázek je tzv. Flash-service, což znamená, že jsou objednány 24-72 hodin před naložením. Ubytování tak je většinou plné, nebo možné jen tam, kde je vyšší cena, nebo je potřeba dojet dalších x kilometrů od místa vykládky/nakládky. Potíž je také s parkováním nákladních vozů, protože většina hotelů nemá parkovací prostory, nebo jen pro osobní vozy. Proto by rádi přesunuli část zakázek do vnitrozemí ČR, a chtěli by, aby zahraniční zakázky tvořily maximálně 30% z celkového počtu.

4.2 Vozový park

Pro účely výše uvedených rozvozů vyčlenila společnost ze svého vozového parku 4 nákladní vozidla, která jsou rezervována pro tuto činnost. Jedná se o následující typy:

Tabulka 2 – Údaje o voze MAN

MAN TGL 8.180 skříň – 2 vozy	
Zdvihový objem	4,5 l
Výkon	132 KW (180 HP)
Točivý moment	700 Nm
Emise	EURO 4
Hmotnost	7 490 Kg
Ložná plocha	6,10 x 2.48 m – 14 palet

Zdroj: (FavCars, 2012-2017)

Obrázek 4 –MAN TGL 8.180 skříň, ilustrační foto



Zdroj: (FavCars, 2012-2017)

Tabulka 3 – Údaje o voze MB

Mercedes-Benz Atego 1230 L - 2 vozy	
Zdvihový objem	7,7 l
Výkon	220 KW (299 HP)
Točivý moment	1200 Nm
Emise	EURO 6
Hmotnost	11 990 Kg
Ložná plocha	7,20 x 2.48 m – 17 palet

Zdroj: (Mercedes-Benz, 2013)

Obrázek 5 – Mercedes Benz Atego 1230 L, ilustrační foto



Zdroj: (Mercedes-Benz, 2013) (Mapy, 2017)

4.3 Rozvozové body

V současné době je potřeba pokrýt 42 rozvozových bodů ve středních a západních Čechách, přičemž každé místo je potřeba navštívit jednou týdně. Rozvozové dny lze po domluvě s odběratelem upravit, ale je potřeba, aby všechny rozvozy proběhly na začátku pracovního týdne, tedy v pondělí a úterý. Společnost by ráda vytížila vozidla na maximum, a rozvezla zboží tak, aby celkový počet ujetých kilometrů byl co nejnižší, a zároveň aby vozidla vyjížděla ze skladu pokud možno zcela naložena a celkový počet okruhů byl co nejnižší.

Body vykládky ve Středních Čechách (seřazeny dle abecedy) jsou následující:

Tabulka 4 – Body vykládky ve Středních Čechách

Prodejna	Množství	Kód
Benátky nad Jizerou	1 paleta	S1
Benešov 1	1 paleta	S2
Benešov 2	2 palety	S3
Beroun	2 palety	S4
Brandýs nad Labem	2 palety	S5
Čáslav	1,5 palety	S6
Kladno	3 palety	S7
Kolín	3 palety	S8
Kostelec nad Černými lesy	2 palety	S9
Kralupy nad Vltavou	2,5 palety	S10
Kutná hora	2 palety	S11
Lysá nad Labem	2,5 palety	S12
Mladá Boleslav 1	1,5 paleta	S13
Mladá Boleslav 2	3 paleta	S14
Mníšek pod Brdy	1 paleta	S15
Nižbor	1 paleta	S16
Nymburk	2,5 paleta	S17
Odolena Voda	2 palety	S18
Příbram	2,5 paleta	S19
Rakovník	2 palety	S20
Sedlčany	2 palety	S21
Slaný	1,5 palety	S22
Týnec nad Sázavou	0,5 palety	S23

Zdroj: vlastní zpracování

Pro účely vytvoření tabulky vzdáleností byly přiděleny jednotlivým bodům kódy. Pro středočeské uzly S1 - S23, pro západočeské Z1 - Z26. Výchozí bod, tedy sklad a sídlo firmy v Nupakách má kód S0.

Body vykládky v Západních Čechách (seřazeny dle abecedy):

Tabulka 5 – Body vykládky v Západních Čechách

Prodejna	Množství
Bor	1 paleta
Domažlice	2 palety
Františkovy Lázně	2 paleta
Horšovský Týn	1 paleta
Cheb	1 paleta
Chodová Planá	1 palety
Jáchymov	2 palety
Karlovy Vary 1	2 paleta
Karlovy Vary 2	1 paleta
Klatovy 1	1 paleta
Klatovy 2	1 paleta
Mariánské Lázně	2 palety
Nejdek	1,5 palety
Nepomuk	2 palety
Nýřany	2 palety
Ostrov	1 paleta
Plasy	1 paleta
Plzeň 1	2 paleta
Plzeň 2	2 palety
Plzeň 3	2 paleta
Rokycany	2 palety
Sokolov	2 palety
Spálené Poříčí	2 palety
Tachov	1 palety
Toužim	0,5 palety
Vroutek	1 paleta

Zdroj: vlastní zpracování

V případě, že uvedený počet palet není celé číslo, znamená to, že požadavky prodejny naplní paletu maximálně do poloviny výšky. Lze tedy tyto „půlpalety“ stohovat na sebe, a při vykládce řidič vyloží celý stoh, na prodejně si složí svoji půlku a řidič zbytek naloží zpět do vozu.

Jde o nápoje, které jsou baleny buď ve smršťovací folii po 6 kusech (minerálky, limonády a ostatní nápoje v PET lahvích), nebo v plastových přepravkách (převážně pivo). Dalším sortimentem jsou převážně potraviny s delší trvanlivostí, které nevyžadují zvláštní skladování (chipsy, cukrovinky), balené v krabicích. Na paletě bude vždy požadovaný počet objednaného zboží, které lze velmi rychle zkontrolovat dle dodacího listu, a při jednotlivých vykládkách by nemělo docházet k velkým prostojům. Jde většinou o malé prodejny typu večerka, nebo malá samoobsluha na okraji města, nebo v sídlištní zástavbě. Do všech těchto prodejen zavážel dosavadní dopravce zboží vozidly stejné velikosti, které vlastní společnost T-Team, z hlediska hmotnostních či rozměrových omezení by tedy neměl být problém. Při nakládce ve skladu je každopádně třeba dodržet přesný postup nakládky v obráceném pořadí rozvážecího okruhu, tedy tak, aby poslední vykládka byla naložena jako první, a první vykládka jako poslední. Vzhledem k tomu, že řidič bude na vykládku sám, a jde o vozidla se skříňovou nástavbou, jakákoli chyba v nakládce by znamenala podstatné zdržení řidiče.

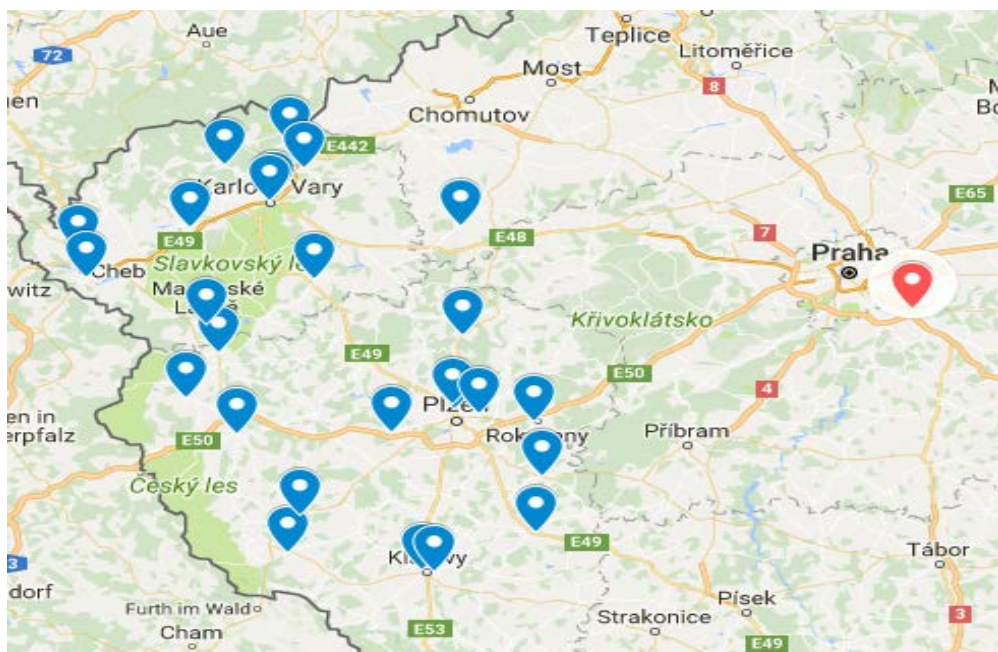
4.3.2 Pozice na mapě

Obrázek 6 – body ve Středních Čechách



Zdroj: (Mapy, 2017) - vlastní zpracování

Obrázek 7 – body v Západních Čechách



Zdroj: (Mapy, 2017) - vlastní zpracování

Prozatím probíhá plánování dopravy následujícím způsobem:

- Dispečer dopravy plánuje jednotlivé zastávky tak, že začne ve výchozím skladě, a dle mapy trasuje vůz do dalších zastávek dle vzdálenosti až do naplnění kapacity.
- Po naplnění kapacity začne plánovat trasu druhého vozu tam, kde první přestal, opět až do naplnění vozu.
- Operativně plánuje trasu pro větší, nebo menší vůz tak, aby byla jejich kapacita využita co nejlépe.

Společnost doposud nemá žádný DSS systém, který by dokázal stanovit optimální trasy rozvozu a minimalizoval tak náklady. Jelikož doposud řešila zakázky jednotlivými cestami, kdy maximální okruh sestával z trasy:

Firma → místo 1.nakládky → místo 1.vykládky → místo 2.nakládky → místo 2.vykládky → zpět na firmu, na řešení těchto tras nebylo žádného softwaru potřeba, stačil selský rozum a kalkulačka.

V případě rozvozu, řešených v této práci již je potřeba pečlivě plánovat každý kilometr trasy, protože jednak jde o krátké trasy ve větším počtu, za druhé výnosy z těchto rozvozu nebudou dosahovat hodnot zahraničních zakázek. Tam se případná „horší“ trasa tolik neprojevila, respektive nebyla řešena vedením, ale zde již je potřeba vše sledovat, hodnotit a analyzovat.

4.3.3 Tabulky vzdáleností

Vzdálenosti mezi jednotlivými uzly byly získány z webové stránky Google maps. Tento web funguje nově i jako navigační systém, kdy poměrně přesně a spolehlivě nahrazuje speciální GPS systémy. Systém primárně hledal trasu, která je časově nejkratší. Pokud však existovala alternativní trasa, jejíž kilometrová vzdálenost byla kratší o více než 10 km a zároveň nebyla časově delší než o 10 minut, byla zvolena právě tato alternativní trasa. V případě delšího zpoždění byla zvolena systémem vybraná varianta. Nemělo by smysl zkrátit si trasu řekněme o 8 km, pokud by řidič nabral půlhodinové zpoždění.

Z důvodu rozměrnosti tabulky byla rozdělena do 4 kvadrantů.

Tabulka 6 – Vzdálenosti bodů – 1.kvadrant

Kód	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23
S0	X	53,5	30,7	30,8	54,2	28,5	72,0	54,1	55,1	21,5	49,6	52,2	42,7	71,5	69,9	39,2	59,1	55,3	40,4	70,5	83,6	61,5	61,9	29,2
S1	53,5	X	80,9	81,9	81,8	17,4	66,2	70,7	48,1	37,9	57,9	58,8	10,9	20,3	17,0	73,7	86,7	23,3	39,6	105,0	111,0	112,0	79,6	80,1
S2	30,7	80,9	X	1,5	78,3	65,4	64,9	77,0	59,1	37,6	76,9	58,4	60,0	98,5	97,3	62,1	83,1	71,3	67,8	68,0	108,0	34,2	85,9	10,7
S3	30,8	81,9	1,5	X	78,7	65,9	66,0	77,4	59,6	38,0	77,3	58,8	60,5	99,0	97,7	45,8	83,5	71,8	68,2	66,0	108,0	32,2	86,3	10,4
S4	54,2	81,8	78,3	78,7	X	62,4	125,0	24,1	107,0	72,8	46,7	104,0	78,1	99,9	98,2	28,3	9,8	99,5	57,0	43,7	39,2	65,0	49,4	65,2
S5	28,5	17,4	65,4	65,9	62,4	X	74,1	54,7	56,1	36,4	30,3	66,6	15,7	36,3	33,5	57,7	67,8	40,9	21,5	88,9	84,5	95,9	56,1	61,6
S6	72,0	66,2	64,9	66,0	125,0	74,1	X	122,0	20,8	52,1	107,0	13,1	64,0	75,7	74,0	116,0	129,0	44,3	98,1	135,0	157,0	95,2	128,0	82,3
S7	54,1	70,7	77,0	77,4	24,1	54,7	122,0	X	102,0	73,5	22,9	102,0	70,6	88,6	86,8	51,6	20,5	98,9	32,5	82,8	83,7	82,4	14,2	64,5
S8	55,1	48,1	59,1	59,6	107,0	56,1	20,8	102,0	X	34,2	83,2	10,9	45,9	57,8	55,9	89,5	103,0	26,3	80,1	121,0	135,0	88,4	110,0	69,5
S9	21,5	37,9	37,6	38,0	72,8	36,4	52,1	73,5	34,2	X	65,7	32,2	29,2	56,7	54,3	57,4	78,4	34,2	56,7	88,6	103,0	68,1	82,1	39,5
S10	49,6	57,9	76,9	77,3	46,7	30,3	107,0	22,9	83,2	65,7	X	99,9	50,3	75,3	68,9	57,9	42,2	79,3	10,4	89,2	52,7	88,2	19,5	70,2
S11	52,2	58,8	58,4	58,8	104,0	66,6	13,1	102,0	10,9	32,2	99,9	X	56,7	68,9	66,6	88,1	107,0	37,2	89,6	119,0	131,0	87,2	110,0	68,8
S12	42,7	10,9	60,0	60,5	78,1	15,7	64,0	70,6	45,9	29,2	50,3	56,7	X	28,1	27,7	71,8	83,2	18,1	37,3	103,0	101,0	111,0	79,2	67,9
S13	71,5	20,3	98,5	99,0	99,9	36,3	75,7	88,6	57,8	56,7	75,3	68,9	28,1	X	2,9	90,8	105,0	32,8	67,2	122,0	118,0	129,0	97,8	97,2
S14	69,9	17,0	97,3	97,7	98,2	33,5	74,0	86,8	55,9	54,3	68,9	66,6	27,7	2,9	X	89,5	104,0	33,1	55,0	121,0	117,0	128,0	95,3	96,1
S15	39,2	73,7	62,1	45,8	28,3	57,7	116,0	51,6	89,5	57,4	57,9	88,1	71,8	90,8	89,5	X	39,1	90,2	55,4	33,5	81,1	32,7	60,2	36,3
S16	59,1	86,7	83,1	83,5	9,8	67,8	129,0	20,5	103,0	78,4	42,2	107,0	83,2	105,0	104,0	39,1	X	104,0	61,9	52,2	29,4	73,3	35,2	70,1
S17	55,3	23,3	71,3	71,8	99,5	40,9	44,3	98,9	26,3	34,2	79,3	37,2	18,1	32,8	33,1	90,2	104,0	X	70,7	122,0	128,0	102,0	101,0	73,3
S18	40,4	39,6	67,8	68,2	57,0	21,5	98,1	32,5	80,1	56,7	10,4	89,6	37,3	67,2	55,0	55,4	61,9	70,7	X	87,4	66,7	86,4	30,0	66,5
S19	70,5	105,0	68,0	66,0	43,7	88,9	135,0	82,8	121,0	88,6	89,2	119,0	103,0	122,0	121,0	33,5	52,2	122,0	87,4	X	67,5	34,5	89,9	63,5
S20	83,6	111,0	108,0	108,0	39,2	84,5	157,0	83,7	135,0	103,0	52,7	131,0	101,0	118,0	117,0	81,1	29,4	128,0	66,7	67,5	X	87,8	33,4	94,0
S21	61,5	112,0	34,2	32,2	65,0	95,9	95,2	82,4	88,4	68,1	88,2	87,2	111,0	129,0	128,0	32,7	73,3	102,0	86,4	34,5	87,8	X	91,0	28,9
S22	61,9	79,6	85,9	86,3	49,4	56,1	128,0	14,2	110,0	82,1	19,5	110,0	79,2	97,8	95,3	60,2	35,2	101,0	30,0	89,9	33,4	91,0	X	72,9
S23	29,2	80,1	10,7	10,4	65,2	61,6	82,3	64,5	69,5	39,5	70,2	68,8	67,9	97,2	96,1	36,3	70,1	73,3	66,5	63,5	94,0	28,9	72,9	X

Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 7 – Vzdálenosti bodů – 2.kvadrant

Kód	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8	Z9	Z10	Z11	Z12	Z13	Z14	Z15	Z16	Z17	Z18	Z19	Z20	Z21	Z22	Z23	Z24	Z25	Z26
S0	163,0	166,0	200,0	155,0	196,0	180,0	166,0	151,0	153,0	150,0	151,0	189,0	167,0	112,0	131,0	161,0	133,0	115,0	115,0	109,0	98,3	170,0	104,0	174,0	145,0	112,0
S1	191,0	195,0	215,0	183,0	215,0	209,0	185,0	168,0	169,0	179,0	179,0	218,0	184,0	166,0	159,0	178,0	162,0	143,0	144,0	137,0	127,0	187,0	144,0	203,0	162,0	129,0
S2	187,0	190,0	222,0	179,0	222,0	204,0	192,0	175,0	176,0	174,0	175,0	213,0	191,0	110,0	155,0	185,0	157,0	139,0	139,0	133,0	122,0	194,0	101,0	198,0	169,0	136,0
S3	187,0	191,0	223,0	179,0	222,0	205,0	192,0	176,0	177,0	175,0	175,0	214,0	192,0	108,0	155,0	186,0	157,0	139,0	140,0	133,0	123,0	194,0	100,0	199,0	169,0	137,0
S4	112,0	115,0	172,0	104,0	171,0	129,0	155,0	139,0	140,0	99,0	100,0	138,0	155,0	86,0	80,0	149,0	82,0	64,0	64,0	57,0	47,0	157,0	64,0	123,0	109,0	100,0
S5	175,0	179,0	199,0	167,0	199,0	193,0	160,0	152,0	153,0	163,0	163,0	202,0	168,0	150,0	143,0	162,0	146,0	127,0	128,0	121,0	111,0	171,0	128,0	187,0	146,0	113,0
S6	236,0	239,0	271,0	228,0	271,0	253,0	241,0	225,0	225,0	223,0	224,0	262,0	240,0	210,0	204,0	235,0	206,0	188,0	188,0	182,0	172,0	243,0	189,0	248,0	218,0	185,0
S7	149,0	153,0	151,0	141,0	150,0	167,0	120,0	104,0	105,0	137,0	137,0	133,0	120,0	124,0	117,0	114,0	83,0	101,0	102,0	95,0	85,0	122,0	102,0	161,0	97,0	65,0
S8	218,0	221,0	253,0	210,0	253,0	235,0	223,0	206,0	207,0	205,0	206,0	244,0	222,0	192,0	186,0	216,0	188,0	170,0	170,0	164,0	153,0	225,0	171,0	230,0	200,0	167,0
S9	181,0	185,0	217,0	173,0	216,0	199,0	186,0	170,0	171,0	169,0	169,0	208,0	186,0	156,0	149,0	180,0	152,0	133,0	134,0	127,0	117,0	188,0	134,0	193,0	163,0	131,0
S10	156,0	159,0	164,0	148,0	163,0	173,0	124,0	117,0	118,0	143,0	144,0	182,0	133,0	130,0	124,0	121,0	96,0	108,0	108,0	102,0	91,0	135,0	108,0	167,0	110,0	78,0
S11	212,0	216,0	247,0	204,0	247,0	229,0	217,0	201,0	201,0	199,0	200,0	238,0	216,0	187,0	180,0	211,0	182,0	164,0	165,0	158,0	148,0	219,0	165,0	224,0	194,0	161,0
S12	191,0	194,0	215,0	182,0	214,0	208,0	185,0	168,0	169,0	178,0	179,0	217,0	184,0	165,0	159,0	178,0	161,0	143,0	143,0	136,0	126,0	187,0	143,0	202,0	161,0	129,0
S13	208,0	212,0	232,0	200,0	232,0	226,0	202,0	185,0	186,0	196,0	196,0	235,0	201,0	183,0	176,0	195,0	179,0	160,0	161,0	154,0	144,0	204,0	161,0	220,0	179,0	146,0
S14	207,0	211,0	231,0	199,0	231,0	225,0	201,0	184,0	185,0	195,0	195,0	234,0	200,0	182,0	175,0	194,0	178,0	159,0	160,0	153,0	143,0	203,0	160,0	219,0	178,0	145,0
S15	136,0	140,0	197,0	128,0	196,0	154,0	167,0	158,0	151,0	108,0	106,0	163,0	166,0	76,0	104,0	160,0	106,0	88,0	89,0	82,0	72,0	168,0	67,0	148,0	143,0	111,0
S16	124,0	128,0	184,0	116,0	183,0	142,0	129,0	112,0	113,0	112,0	112,0	151,0	128,0	99,0	92,0	122,0	63,0	76,0	77,0	70,0	60,0	131,0	77,0	136,0	105,0	73,0
S17	208,0	212,0	243,0	200,0	243,0	225,0	213,0	197,0	197,0	195,0	196,0	234,0	212,0	182,0	176,0	207,0	178,0	160,0	161,0	154,0	144,0	215,0	161,0	220,0	190,0	157,0
S18	164,0	168,0	178,0	156,0	177,0	182,0	138,0	131,0	132,0	152,0	153,0	191,0	147,0	139,0	132,0	135,0	110,0	116,0	117,0	10,0	100,0	149,0	117,0	176,0	124,0	92,0
S19	107,0	106,0	167,0	94,0	166,0	124,0	198,0	181,0	182,0	76,0	73,0	134,0	197,0	43,0	75,0	191,0	94,0	64,0	65,0	70,0	46,0	172,0	35,0	119,0	109,0	142,0
S20	132,0	136,0	123,0	124,0	122,0	109,0	92,0	76,0	77,0	120,0	120,0	105,0	92,0	107,0	100,0	86,0	39,0	60,0	60,0	78,0	68,0	94,0	85,0	144,0	69,0	37,0
S21	151,0	155,0	211,0	143,0	210,0	169,0	209,0	192,0	193,0	109,0	107,0	178,0	208,0	77,0	119,0	202,0	121,0	103,0	104,0	97,0	87,0	210,0	68,0	163,0	148,0	153,0
S22	158,0	161,0	144,0	150,0	144,0	175,0	104,0	97,0	98,0	145,0	146,0	126,0	113,0	132,0	126,0	101,0	77,0	110,0	110,0	103,0	93,0	116,0	110,0	169,0	91,0	58,0
S23	174,0	177,0	209,0	166,0	209,0	191,0	179,0	162,0	163,0	161,0	162,0	200,0	178,0	148,0	142,0	172,0	144,0	126,0	126,0	120,0	109,0	181,0	126,0	185,0	156,0	123,0

Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 8 - Vzdálenosti bodů - 3.kvadrant

Kód	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23
Z1	163,0	191,0	187,0	187,0	112,0	175,0	236,0	149,0	218,0	181,0	156,0	212,0	191,0	208,0	207,0	136,0	124,0	208,0	164,0	107,0	132,0	151,0	158,0	174,0
Z2	166,0	195,0	190,0	191,0	115,0	179,0	239,0	153,0	221,0	185,0	159,0	216,0	194,0	212,0	211,0	140,0	128,0	212,0	168,0	106,0	136,0	155,0	161,0	177,0
Z3	200,0	215,0	222,0	223,0	172,0	199,0	271,0	151,0	253,0	217,0	164,0	247,0	215,0	232,0	231,0	197,0	184,0	243,0	178,0	167,0	123,0	211,0	144,0	209,0
Z4	155,0	183,0	179,0	179,0	104,0	167,0	228,0	141,0	210,0	173,0	148,0	204,0	182,0	200,0	199,0	128,0	116,0	200,0	156,0	94,0	124,0	143,0	150,0	166,0
Z5	196,0	215,0	222,0	222,0	171,0	199,0	271,0	150,0	253,0	216,0	163,0	247,0	214,0	232,0	231,0	196,0	183,0	243,0	177,0	166,0	122,0	210,0	144,0	209,0
Z6	180,0	209,0	204,0	205,0	129,0	193,0	253,0	167,0	235,0	199,0	173,0	229,0	208,0	226,0	225,0	154,0	142,0	225,0	182,0	124,0	109,0	169,0	175,0	191,0
Z7	166,0	185,0	192,0	192,0	155,0	160,0	241,0	120,0	223,0	186,0	124,0	217,0	185,0	202,0	201,0	167,0	129,0	213,0	138,0	198,0	92,0	209,0	104,0	179,0
Z8	151,0	168,0	175,0	176,0	139,0	152,0	225,0	104,0	206,0	170,0	117,0	201,0	168,0	185,0	184,0	158,0	112,0	197,0	131,0	181,0	76,0	192,0	97,0	162,0
Z9	153,0	169,0	176,0	177,0	140,0	153,0	225,0	105,0	207,0	171,0	118,0	201,0	169,0	186,0	185,0	151,0	113,0	197,0	132,0	182,0	77,0	193,0	98,0	163,0
Z10	150,0	179,0	174,0	175,0	99,0	163,0	223,0	137,0	205,0	169,0	143,0	199,0	178,0	196,0	195,0	108,0	112,0	195,0	152,0	76,0	120,0	109,0	145,0	161,0
Z11	151,0	179,0	175,0	175,0	100,0	163,0	224,0	137,0	206,0	169,0	144,0	200,0	179,0	196,0	195,0	106,0	112,0	196,0	153,0	73,0	120,0	107,0	146,0	162,0
Z12	189,0	218,0	213,0	214,0	138,0	202,0	262,0	133,0	244,0	208,0	182,0	238,0	217,0	235,0	234,0	163,0	151,0	234,0	191,0	134,0	105,0	178,0	126,0	200,0
Z13	167,0	184,0	191,0	192,0	155,0	168,0	240,0	120,0	222,0	186,0	133,0	216,0	184,0	201,0	200,0	166,0	128,0	212,0	147,0	197,0	92,0	208,0	113,0	178,0
Z14	112,0	166,0	110,0	108,0	86,0	150,0	210,0	124,0	192,0	156,0	130,0	187,0	165,0	183,0	182,0	76,0	99,0	182,0	139,0	43,0	107,0	77,0	132,0	148,0
Z15	131,0	159,0	155,0	155,0	80,0	143,0	204,0	117,0	186,0	149,0	124,0	180,0	159,0	176,0	175,0	104,0	92,0	176,0	132,0	75,0	100,0	119,0	126,0	142,0
Z16	161,0	178,0	185,0	186,0	149,0	162,0	235,0	114,0	216,0	180,0	121,0	211,0	178,0	195,0	194,0	160,0	122,0	207,0	135,0	191,0	86,0	202,0	101,0	172,0
Z17	133,0	162,0	157,0	157,0	82,0	146,0	206,0	83,0	188,0	152,0	96,0	182,0	161,0	179,0	178,0	106,0	63,0	178,0	110,0	94,0	39,0	121,0	77,0	144,0
Z18	115,0	143,0	139,0	139,0	64,0	127,0	188,0	101,0	170,0	133,0	108,0	164,0	143,0	160,0	159,0	88,0	76,0	160,0	116,0	64,0	60,0	103,0	110,0	126,0
Z19	115,0	144,0	139,0	140,0	64,0	128,0	188,0	102,0	170,0	134,0	108,0	165,0	143,0	161,0	160,0	89,0	77,0	161,0	117,0	65,0	60,0	104,0	110,0	126,0
Z20	109,0	137,0	133,0	133,0	57,0	121,0	182,0	95,0	164,0	127,0	102,0	158,0	136,0	154,0	153,0	82,0	70,0	154,0	112,0	70,0	78,0	97,0	103,0	120,0
Z21	98,3	127,0	122,0	123,0	47,0	111,0	172,0	85,0	153,0	117,0	91,0	148,0	126,0	144,0	143,0	72,0	60,0	144,0	100,0	46,0	68,0	87,0	93,0	109,0
Z22	170,0	187,0	194,0	194,0	157,0	171,0	243,0	122,0	225,0	188,0	135,0	219,0	187,0	204,0	203,0	168,0	131,0	215,0	149,0	172,0	94,0	210,0	116,0	181,0
Z23	104,0	144,0	101,0	100,0	64,0	128,0	189,0	102,0	171,0	134,0	108,0	165,0	143,0	161,0	160,0	67,0	77,0	161,0	117,0	35,0	85,0	68,0	110,0	126,0
Z24	174,0	203,0	198,0	199,0	123,0	187,0	248,0	161,0	230,0	193,0	167,0	224,0	202,0	220,0	219,0	148,0	136,0	220,0	176,0	119,0	144,0	163,0	169,0	185,0
Z25	145,0	162,0	169,0	169,0	109,0	146,0	218,0	97,0	200,0	163,0	110,0	194,0	161,0	179,0	178,0	143,0	105,0	190,0	124,0	109,0	69,0	148,0	91,0	156,0
Z26	112,0	129,0	136,0	137,0	100,0	113,0	185,0	65,0	167,0	131,0	78,0	161,0	129,0	146,0	145,0	111,0	73,0	157,0	92,0	142,0	37,0	153,0	58,0	123,0

Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 9 - Vzdálenosti bodů - 4.kvadrant

Kód	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8	Z9	Z10	Z11	Z12	Z13	Z14	Z15	Z16	Z17	Z18	Z19	Z20	Z21	Z22	Z23	Z24	Z25	Z26
Z1	X	38,3	65,4	27,1	62,5	22,5	103,0	85,5	84,7	67,5	63,4	31,6	94,8	80,5	33,0	96,4	71,1	51,0	52,3	68,6	68,0	70,1	69,2	15,3	59,1	99,1
Z2	38,3	X	105,0	11,8	101,0	60,9	141,0	124,0	123,0	32,2	34,2	69,9	133,0	59,6	49,2	135,0	77,1	56,9	58,3	59,8	71,7	108,0	65,5	53,7	85,9	112,0
Z3	65,4	105,0	X	92,4	8,0	43,3	66,9	49,4	48,6	144,0	145,0	36,4	58,7	142,0	94,3	60,3	110,0	112,0	108,0	130,0	129,0	34,0	130,0	54,7	64,1	93,8
Z4	27,1	11,8	92,4	X	89,7	49,6	130,0	113,0	112,0	34,8	36,9	58,6	122,0	55,1	36,2	123,0	65,3	45,1	46,5	48,0	59,9	97,2	61,1	42,2	74,6	99,8
Z5	62,5	101,0	8,0	89,7	X	40,4	64,0	46,5	45,7	141,0	142,0	33,5	55,9	139,0	91,4	57,5	107,0	109,0	105,0	127,0	126,0	31,2	128,0	51,8	61,2	90,9
Z6	22,5	60,9	43,3	49,6	40,4	X	80,8	63,3	62,6	101,0	102,0	9,4	72,7	98,9	51,4	74,3	62,6	69,4	70,8	72,3	86,5	48,0	87,6	15,9	36,9	76,9
Z7	103,0	141,0	66,9	130,0	64,0	80,8	X	20,3	21,9	143,0	144,0	74,7	21,3	146,0	101,0	9,1	80,6	96,9	95,2	103,0	116,0	38,6	134,0	93,1	49,7	64,4
Z8	85,5	124,0	49,4	113,0	46,5	63,3	20,3	X	1,7	126,0	127,0	56,3	14,5	129,0	84,0	13,4	63,5	79,8	78,1	85,4	99,2	20,2	117,0	74,7	32,6	47,2
Z9	84,7	123,0	48,6	112,0	45,7	62,6	21,9	1,7	X	127,0	128,0	55,5	15,5	129,0	84,9	14,9	64,5	80,7	79,0	86,4	100,0	19,4	118,0	73,9	33,6	48,2
Z10	67,5	32,2	144,0	34,8	141,0	101,0	143,0	126,0	127,0	X	3,3	110,0	141,0	28,0	51,7	135,0	66,0	45,9	47,3	56,0	55,5	149,0	40,5	80,1	92,6	111,0
Z11	63,4	34,2	145,0	36,9	142,0	102,0	144,0	127,0	128,0	3,3	X	111,0	141,0	26,4	52,4	135,0	66,7	46,5	47,9	56,7	56,1	149,0	38,8	80,8	93,3	112,0
Z12	31,6	69,9	36,4	58,6	33,5	9,4	74,7	56,3	55,5	110,0	111,0	X	65,8	108,0	60,4	67,4	65,6	64,4	62,7	70,0	95,5	41,1	96,6	22,9	31,5	71,5
Z13	94,8	133,0	58,7	122,0	55,9	72,7	21,3	14,5	15,5	141,0	141,0	65,8	X	143,0	98,9	18,1	79,1	94,7	93,0	100,0	114,0	29,4	132,0	83,9	48,3	62,9
Z14	80,5	59,6	142,0	55,1	139,0	98,9	146,0	129,0	129,0	28,0	26,4	108,0	143,0	X	51,3	127,0	60,3	40,4	41,7	39,9	36,7	130,0	20,7	95,0	85,3	109,0
Z15	33,0	49,2	94,3	36,2	91,4	51,4	101,0	84,0	84,9	51,7	52,4	60,4	98,9	51,3	X	92,7	35,1	17,7	20,8	20,6	36,6	98,5	37,7	45,1	50,5	68,2
Z16	96,4	135,0	60,3	123,0	57,5	74,3	9,1	13,4	14,9	135,0	135,0	67,4	18,1	127,0	92,7	X	74,0	90,3	88,6	95,9	110,0	32,0	128,0	86,5	43,2	57,8
Z17	71,1	77,1	110,0	65,3	107,0	62,6	80,6	63,5	64,5	66,0	66,7	65,6	79,1	60,3	35,1	74,0	X	21,3	21,1	25,4	39,2	82,6	49,3	82,6	42,6	40,9
Z18	51,0	56,9	112,0	45,1	109,0	69,4	96,9	79,8	80,7	45,9	46,5	64,4	94,7	40,4	17,7	90,3	21,3	X	1,8	7,6	20,7	90,8	32,7	62,2	45,9	63,5
Z19	52,3	58,3	108,0	46,5	105,0	70,8	95,2	78,1	79,0	47,3	47,9	62,7	93,0	41,7	20,8	88,6	21,1	1,8	X	7,4	21,2	89,8	30,3	63,8	45,1	62,8
Z20	68,6	59,8	130,0	48,0	127,0	72,3	103,0	85,4	86,4	56,0	56,7	70,0	100,0	39,9	20,6	95,9	25,4	7,6	7,4	X	14,9	96,6	26,8	65,3	52,0	66,7
Z21	68,0	71,7	129,0	59,9	126,0	86,5	116,0	99,2	100,0	55,5	56,1	95,5	114,0	96,7	36,6	110,0	39,2	20,7	21,2	14,9	X	134,0	18,0	80,5	64,9	69,5
Z22	70,1	108,0	34,0	97,2	31,2	48,0	38,6	20,2	19,4	149,0	149,0	41,1	29,4	130,0	98,5	32,0	82,6	90,8	89,8	96,6	134,0	X	135,0	59,3	45,4	65,1
Z23	69,2	65,5	130,0	61,1	128,0	87,6	134,0	117,0	118,0	40,5	38,8	96,6	132,0	20,7	37,7	128,0	49,3	32,7	30,3	26,8	18,0	135,0	X	83,7	74,0	84,4
Z24	15,3	53,7	54,7	42,2	51,8	15,9	93,1	74,7	73,9	80,1	80,8	22,9	83,9	95,0	45,1	86,5	82,6	62,2	63,8	65,3	80,5	59,3	83,7	X	52,5	92,4
Z25	59,1	85,9	64,1	74,6	61,2	36,9	49,7	32,6	33,6	92,6	93,3	31,5	48,3	85,3	50,5	43,2	42,6	45,9	45,1	52,0	64,9	45,4	74,0	52,5	X	40,0
Z26	99,1	112,0	93,8	99,8	90,9	76,9	64,4	47,2	48,2	111,0	112,0	71,5	62,9	109,0	68,2	57,8	40,9	63,5	62,8	66,7	69,5	65,1	84,4	92,4	40,0	X

Zdroj: vlastní zpracování 1

4.3.4 Tabulky časových údajů

Tabulka 10 – Časové údaje – 1.kvadrant

Kód	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23
S0	x	37,0	26,0	27,0	38,0	32,0	65,0	41,0	50,0	31,0	45,0	55,0	41,0	48,0	49,0	29,0	44,0	48,0	38,0	50,0	56,0	50,0	45,0	30,0
S1	37,0	x	58,0	60,0	60,0	15,0	59,0	60,0	44,0	42,0	43,0	54,0	13,0	15,0	16,0	54,0	67,0	25,0	36,0	75,0	76,0	82,0	56,0	63,0
S2	26,0	58,0	x	4,0	55,0	51,0	66,0	58,0	60,0	45,0	65,0	58,0	61,0	67,0	68,0	46,0	62,0	68,0	58,0	61,0	74,0	32,0	62,0	13,0
S3	27,0	60,0	4,0	x	57,0	53,0	67,0	60,0	61,0	46,0	66,0	60,0	63,0	69,0	70,0	48,0	64,0	69,0	60,0	60,0	76,0	31,0	64,0	13,0
S4	38,0	60,0	55,0	57,0	x	54,0	92,0	31,0	76,0	63,0	42,0	87,0	63,0	69,0	70,0	36,0	14,0	70,0	52,0	48,0	45,0	62,0	36,0	52,0
S5	32,0	15,0	51,0	53,0	54,0	x	60,0	54,0	45,0	42,0	35,0	55,0	20,0	26,0	27,0	48,0	60,0	38,0	25,0	68,0	70,0	76,0	48,0	57,0
S6	65,0	59,0	66,0	67,0	92,0	60,0	x	97,0	21,0	45,0	80,0	18,0	54,0	68,0	69,0	88,0	101,0	41,0	73,0	109,0	113,0	93,0	93,0	78,0
S7	41,0	60,0	58,0	60,0	31,0	54,0	97,0	x	80,0	66,0	29,0	91,0	66,0	71,0	72,0	40,0	25,0	74,0	42,0	61,0	30,0	71,0	21,0	56,0
S8	50,0	44,0	60,0	61,0	76,0	45,0	21,0	80,0	x	29,0	64,0	14,0	38,0	52,0	53,0	72,0	84,0	25,0	57,0	93,0	96,0	87,0	77,0	71,0
S9	31,0	42,0	45,0	46,0	63,0	42,0	45,0	66,0	29,0	x	61,0	33,0	35,0	54,0	55,0	53,0	68,0	38,0	54,0	74,0	80,0	68,0	48,0	48,0
S10	45,0	43,0	65,0	66,0	42,0	35,0	80,0	29,0	64,0	61,0	x	73,0	47,0	52,0	53,0	50,0	49,0	56,0	14,0	71,0	50,0	81,0	21,0	66,0
S11	55,0	54,0	58,0	60,0	87,0	55,0	18,0	91,0	14,0	33,0	73,0	x	49,0	63,0	64,0	79,0	94,0	36,0	68,0	100,0	106,0	85,0	88,0	69,0
S12	41,0	13,0	61,0	63,0	63,0	20,0	54,0	66,0	38,0	35,0	47,0	49,0	x	25,0	26,0	58,0	71,0	24,0	41,0	79,0	81,0	87,0	61,0	68,0
S13	48,0	15,0	67,0	69,0	69,0	26,0	68,0	71,0	52,0	54,0	52,0	63,0	25,0	x	10,0	64,0	76,0	33,0	46,0	85,0	86,0	92,0	65,0	73,0
S14	49,0	16,0	68,0	70,0	70,0	27,0	69,0	72,0	53,0	55,0	53,0	64,0	26,0	10,0	x	65,0	78,0	34,0	47,0	86,0	87,0	94,0	67,0	74,0
S15	29,0	54,0	46,0	48,0	36,0	48,0	88,0	40,0	72,0	53,0	50,0	79,0	58,0	64,0	65,0	x	45,0	64,0	50,0	26,0	57,0	37,0	45,0	44,0
S16	44,0	67,0	62,0	64,0	14,0	60,0	101,0	25,0	84,0	68,0	49,0	94,0	71,0	76,0	78,0	45,0	x	76,0	58,0	58,0	31,0	72,0	37,0	58,0
S17	48,0	25,0	68,0	69,0	70,0	38,0	41,0	74,0	25,0	38,0	56,0	36,0	24,0	33,0	34,0	64,0	76,0	x	50,0	85,0	89,0	93,0	69,0	73,0
S18	38,0	36,0	58,0	60,0	52,0	25,0	73,0	42,0	57,0	54,0	14,0	68,0	41,0	46,0	47,0	50,0	58,0	50,0	x	71,0	61,0	81,0	31,0	64,0
S19	50,0	75,0	61,0	60,0	48,0	68,0	109,0	61,0	93,0	74,0	71,0	100,0	79,0	85,0	86,0	26,0	58,0	85,0	71,0	x	77,0	32,0	65,0	64,0
S20	56,0	76,0	74,0	76,0	45,0	70,0	113,0	30,0	96,0	80,0	50,0	106,0	81,0	86,0	87,0	57,0	31,0	89,0	61,0	77,0	x	86,0	30,0	71,0
S21	50,0	82,0	32,0	31,0	62,0	76,0	93,0	71,0	87,0	68,0	81,0	85,0	87,0	92,0	94,0	37,0	72,0	93,0	81,0	32,0	86,0	x	76,0	33,0
S22	45,0	56,0	62,0	64,0	36,0	48,0	93,0	21,0	77,0	68,0	21,0	88,0	61,0	65,0	67,0	45,0	37,0	69,0	31,0	65,0	30,0	76,0	x	60,0
S23	30,0	63,0	13,0	13,0	52,0	57,0	78,0	56,0	71,0	48,0	66,0	69,0	68,0	73,0	74,0	44,0	58,0	73,0	64,0	64,0	71,0	33,0	60,0	x

Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 11 - Časové údaje - 2.kvadrant

Kód	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8	Z9	Z10	Z11	Z12	Z13	Z14	Z15	Z16	Z17	Z18	Z19	Z20	Z21	Z22	Z23	Z24	Z25	Z26
S0	96,0	118,0	137,0	105,0	139,0	107,0	120,0	107,0	110,0	101,0	102,0	116,0	124,0	90,0	79,0	114,0	92,0	77,0	78,0	66,0	60,0	120,0	79,0	104,0	104,0	81,0
S1	119,0	141,0	156,0	127,0	158,0	129,0	139,0	127,0	130,0	123,0	124,0	139,0	144,0	112,0	101,0	134,0	115,0	100,0	100,0	98,0	82,0	140,0	101,0	127,0	123,0	100,0
S2	114,0	136,0	154,0	122,0	156,0	124,0	137,0	125,0	128,0	118,0	119,0	134,0	144,0	105,0	97,0	132,0	110,0	95,0	95,0	84,0	77,0	138,0	92,0	122,0	121,0	98,0
S3	116,0	138,0	156,0	124,0	158,0	126,0	139,0	126,0	129,0	120,0	121,0	136,0	143,0	104,0	98,0	133,0	112,0	97,0	97,0	85,0	79,0	139,0	91,0	124,0	123,0	100,0
S4	66,0	88,0	111,0	75,0	113,0	77,0	111,0	109,0	102,0	71,0	82,0	86,0	116,0	60,0	49,0	106,0	62,0	47,0	48,0	36,0	30,0	112,0	49,0	74,0	80,0	73,0
S5	112,0	134,0	150,0	121,0	152,0	123,0	130,0	120,0	123,0	117,0	118,0	132,0	137,0	106,0	95,0	127,0	108,0	93,0	94,0	82,0	76,0	133,0	95,0	120,0	117,0	94,0
S6	153,0	155,0	193,0	161,0	195,0	163,0	176,0	163,0	166,0	157,0	158,0	173,0	180,0	146,0	135,0	170,0	149,0	134,0	134,0	122,0	116,0	176,0	135,0	161,0	160,0	137,0
S7	91,0	113,0	110,0	99,0	112,0	101,0	93,0	81,0	84,0	95,0	96,0	110,0	98,0	84,0	73,0	88,0	71,0	72,0	72,0	60,0	54,0	94,0	73,0	99,0	77,0	54,0
S8	136,0	158,0	177,0	145,0	179,0	147,0	160,0	147,0	150,0	141,0	142,0	156,0	164,0	130,0	119,0	154,0	132,0	117,0	118,0	106,0	100,0	160,0	119,0	144,0	144,0	121,0
S9	120,0	144,0	160,0	128,0	163,0	131,0	143,0	131,0	134,0	125,0	125,0	140,0	148,0	114,0	103,0	138,0	116,0	101,0	101,0	90,0	83,0	144,0	102,0	128,0	127,0	105,0
S10	101,0	123,0	128,0	109,0	130,0	111,0	103,0	99,0	102,0	105,0	106,0	121,0	116,0	94,0	83,0	100,0	89,0	82,0	82,0	70,0	64,0	112,0	83,0	109,0	95,0	72,0
S11	146,0	168,0	187,0	154,0	189,0	157,0	169,0	157,0	160,0	151,0	152,0	166,0	174,0	140,0	129,0	164,0	142,0	127,0	127,0	116,0	110,0	170,0	129,0	154,0	153,0	131,0
S12	123,0	145,0	162,0	131,0	164,0	134,0	145,0	132,0	135,0	128,0	128,0	143,0	149,0	117,0	106,0	139,0	119,0	104,0	104,0	93,0	87,0	145,0	105,0	131,0	129,0	106,0
S13	128,0	150,0	166,0	137,0	168,0	139,0	149,0	136,0	139,0	133,0	134,0	148,0	153,0	122,0	111,0	143,0	124,0	109,0	110,0	98,0	92,0	149,0	111,0	136,0	133,0	110,0
S14	130,0	152,0	167,0	138,0	169,0	140,0	150,0	138,0	141,0	134,0	135,0	150,0	155,0	123,0	112,0	145,0	126,0	111,0	111,0	99,0	93,0	151,0	112,0	138,0	134,0	111,0
S15	95,0	117,0	137,0	103,0	139,0	105,0	120,0	108,0	110,0	109,0	97,0	114,0	124,0	70,0	77,0	114,0	91,0	76,0	76,0	64,0	58,0	121,0	57,0	103,0	104,0	81,0
S16	77,0	99,0	121,0	85,0	123,0	87,0	104,0	92,0	95,0	81,0	82,0	96,0	109,0	70,0	59,0	109,0	65,0	58,0	58,0	46,0	40,0	105,0	59,0	85,0	88,0	66,0
S17	129,0	151,0	159,0	137,0	171,0	139,0	152,0	140,0	143,0	133,0	134,0	149,0	157,0	122,0	112,0	147,0	125,0	110,0	110,0	99,0	92,0	153,0	111,0	137,0	136,0	113,0
S18	110,0	132,0	138,0	118,0	140,0	120,0	113,0	109,0	111,0	114,0	115,0	130,0	125,0	103,0	92,0	110,0	99,0	91,0	91,0	79,0	73,0	122,0	92,0	118,0	105,0	82,0
S19	86,0	107,0	130,0	93,0	132,0	96,0	140,0	128,0	130,0	76,0	75,0	106,0	144,0	47,0	69,0	135,0	87,0	69,0	72,0	61,0	49,0	136,0	34,0	94,0	103,0	101,0
S20	96,0	118,0	91,0	104,0	93,0	94,0	74,0	62,0	64,0	100,0	101,0	91,0	78,0	89,0	78,0	69,0	42,0	64,0	64,0	65,0	59,0	75,0	78,0	104,0	58,0	35,0
S21	110,0	132,0	155,0	119,0	157,0	121,0	151,0	138,0	141,0	105,0	104,0	130,0	155,0	76,0	93,0	145,0	106,0	91,0	92,0	80,0	74,0	151,0	63,0	118,0	124,0	112,0
S22	95,0	117,0	107,0	103,0	110,0	105,0	82,0	78,0	81,0	99,0	100,0	107,0	95,0	88,0	78,0	79,0	68,0	76,0	76,0	65,0	58,0	91,0	77,0	103,0	74,0	52,0
S23	111,0	133,0	152,0	120,0	154,0	122,0	134,0	122,0	125,0	116,0	117,0	131,0	139,0	105,0	94,0	129,0	107,0	92,0	92,0	81,0	75,0	135,0	94,0	119,0	118,0	96,0

Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 12 - Časové údaje - 3.kvadrant

Kód	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23
Z1	96,0	119,0	114,0	116,0	66,0	112,0	153,0	91,0	136,0	120,0	101,0	146,0	123,0	128,0	130,0	95,0	77,0	129,0	110,0	86,0	96,0	110,0	95,0	111,0
Z2	118,0	141,0	136,0	138,0	88,0	134,0	155,0	113,0	158,0	144,0	123,0	168,0	145,0	150,0	152,0	117,0	99,0	151,0	132,0	107,0	118,0	132,0	117,0	133,0
Z3	137,0	156,0	154,0	156,0	111,0	150,0	193,0	110,0	177,0	160,0	128,0	187,0	162,0	166,0	167,0	137,0	121,0	159,0	138,0	130,0	91,0	155,0	107,0	152,0
Z4	105,0	127,0	122,0	124,0	75,0	121,0	161,0	99,0	145,0	128,0	109,0	154,0	131,0	137,0	138,0	103,0	85,0	137,0	118,0	93,0	104,0	119,0	103,0	120,0
Z5	139,0	158,0	156,0	158,0	113,0	152,0	195,0	112,0	179,0	163,0	130,0	189,0	164,0	168,0	169,0	139,0	123,0	171,0	140,0	132,0	93,0	157,0	110,0	154,0
Z6	107,0	129,0	124,0	126,0	77,0	123,0	163,0	101,0	147,0	131,0	111,0	157,0	134,0	139,0	140,0	105,0	87,0	139,0	120,0	96,0	94,0	121,0	105,0	122,0
Z7	120,0	139,0	137,0	139,0	111,0	130,0	176,0	93,0	160,0	143,0	103,0	169,0	145,0	149,0	150,0	120,0	104,0	152,0	113,0	140,0	74,0	151,0	82,0	134,0
Z8	107,0	127,0	125,0	126,0	109,0	120,0	163,0	81,0	147,0	131,0	99,0	157,0	132,0	136,0	138,0	108,0	92,0	140,0	109,0	128,0	62,0	138,0	78,0	122,0
Z9	110,0	130,0	128,0	129,0	102,0	123,0	166,0	84,0	150,0	134,0	102,0	160,0	135,0	139,0	141,0	110,0	95,0	143,0	111,0	130,0	64,0	141,0	81,0	125,0
Z10	101,0	123,0	118,0	120,0	71,0	117,0	157,0	95,0	141,0	125,0	105,0	151,0	128,0	133,0	134,0	109,0	81,0	133,0	114,0	76,0	100,0	105,0	99,0	116,0
Z11	102,0	124,0	119,0	121,0	82,0	118,0	158,0	96,0	142,0	125,0	106,0	152,0	128,0	134,0	135,0	97,0	82,0	134,0	115,0	75,0	101,0	104,0	100,0	117,0
Z12	116,0	139,0	134,0	136,0	86,0	132,0	173,0	110,0	156,0	140,0	121,0	166,0	143,0	148,0	150,0	114,0	96,0	149,0	130,0	106,0	91,0	130,0	107,0	131,0
Z13	124,0	144,0	144,0	143,0	116,0	137,0	180,0	98,0	164,0	148,0	116,0	174,0	149,0	153,0	155,0	124,0	109,0	157,0	125,0	144,0	78,0	155,0	95,0	139,0
Z14	90,0	112,0	105,0	104,0	60,0	106,0	146,0	84,0	130,0	114,0	94,0	140,0	117,0	122,0	123,0	70,0	70,0	122,0	103,0	47,0	89,0	76,0	88,0	105,0
Z15	79,0	101,0	97,0	98,0	49,0	95,0	135,0	73,0	119,0	103,0	83,0	129,0	106,0	111,0	112,0	77,0	59,0	112,0	92,0	69,0	78,0	93,0	78,0	94,0
Z16	114,0	134,0	132,0	133,0	106,0	127,0	170,0	88,0	154,0	138,0	100,0	164,0	139,0	143,0	145,0	114,0	109,0	147,0	110,0	135,0	69,0	145,0	79,0	129,0
Z17	92,0	115,0	110,0	112,0	62,0	108,0	149,0	71,0	132,0	116,0	89,0	142,0	119,0	124,0	126,0	91,0	65,0	125,0	99,0	87,0	42,0	106,0	68,0	107,0
Z18	77,0	100,0	95,0	97,0	47,0	93,0	134,0	72,0	117,0	101,0	82,0	127,0	104,0	109,0	111,0	76,0	58,0	110,0	91,0	69,0	64,0	91,0	76,0	92,0
Z19	78,0	100,0	95,0	97,0	48,0	94,0	134,0	72,0	118,0	101,0	82,0	127,0	104,0	110,0	111,0	76,0	58,0	110,0	91,0	72,0	64,0	92,0	76,0	92,0
Z20	66,0	98,0	84,0	85,0	36,0	82,0	122,0	60,0	106,0	90,0	70,0	116,0	93,0	98,0	99,0	64,0	46,0	99,0	79,0	61,0	65,0	80,0	65,0	81,0
Z21	60,0	82,0	77,0	79,0	30,0	76,0	116,0	54,0	100,0	83,0	64,0	110,0	87,0	92,0	93,0	58,0	40,0	92,0	73,0	49,0	59,0	74,0	58,0	75,0
Z22	120,0	140,0	138,0	139,0	112,0	133,0	176,0	94,0	160,0	144,0	112,0	170,0	145,0	149,0	151,0	121,0	105,0	153,0	122,0	136,0	75,0	151,0	91,0	135,0
Z23	79,0	101,0	92,0	91,0	49,0	95,0	135,0	73,0	119,0	102,0	83,0	129,0	105,0	111,0	112,0	57,0	59,0	111,0	92,0	34,0	78,0	63,0	77,0	94,0
Z24	104,0	127,0	122,0	124,0	74,0	120,0	161,0	99,0	144,0	128,0	109,0	154,0	131,0	136,0	138,0	103,0	85,0	137,0	118,0	94,0	104,0	118,0	103,0	119,0
Z25	104,0	123,0	121,0	123,0	80,0	117,0	160,0	77,0	144,0	127,0	95,0	153,0	129,0	133,0	134,0	104,0	88,0	136,0	105,0	103,0	58,0	124,0	74,0	118,0
Z26	81,0	100,0	98,0	100,0	73,0	94,0	137,0	54,0	121,0	105,0	72,0	131,0	106,0	110,0	111,0	81,0	66,0	113,0	82,0	101,0	35,0	112,0	52,0	96,0

Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 13 - Časové údaje - 4.kvadrant

Kód	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8	Z9	Z10	Z11	Z12	Z13	Z14	Z15	Z16	Z17	Z18	Z19	Z20	Z21	Z22	Z23	Z24	Z25	Z26
Z1	x	41,0	54,0	28,0	57,0	21,0	81,0	69,0	69,0	63,0	64,0	30,0	79,0	58,0	25,0	76,0	60,0	41,0	43,0	44,0	42,0	60,0	48,0	17,0	54,0	88,0
Z2	41,0	x	94,0	15,0	96,0	60,0	121,0	109,0	108,0	35,0	39,0	69,0	119,0	63,0	51,0	115,0	82,0	63,0	66,0	69,0	65,0	99,0	71,0	55,0	86,0	115,0
Z3	54,0	94,0	x	81,0	13,0	35,0	47,0	35,0	34,0	109,0	110,0	31,0	45,0	104,0	71,0	41,0	89,0	86,0	86,0	90,0	88,0	25,0	94,0	48,0	55,0	65,0
Z4	28,0	15,0	81,0	x	82,0	46,0	107,0	94,0	94,0	41,0	43,0	55,0	105,0	58,0	37,0	101,0	67,0	48,0	51,0	53,0	49,0	85,0	56,0	43,0	72,0	100,0
Z5	57,0	96,0	13,0	82,0	x	38,0	49,0	37,0	36,0	111,0	112,0	34,0	47,0	107,0	73,0	43,0	91,0	89,0	88,0	93,0	90,0	87,0	97,0	51,0	57,0	67,0
Z6	21,0	60,0	35,0	46,0	38,0	x	63,0	50,0	50,0	75,0	76,0	11,0	61,0	70,0	37,0	57,0	68,0	53,0	55,0	56,0	54,0	41,0	60,0	17,0	35,0	70,0
Z7	81,0	121,0	47,0	107,0	49,0	63,0	x	20,0	22,0	125,0	126,0	62,0	25,0	120,0	87,0	14,0	75,0	80,0	77,0	89,0	99,0	33,0	110,0	79,0	43,0	51,0
Z8	69,0	109,0	35,0	94,0	37,0	50,0	20,0	x	3,0	111,0	112,0	47,0	19,0	105,0	73,0	13,0	61,0	66,0	63,0	75,0	85,0	18,0	95,0	64,0	29,0	37,0
Z9	69,0	108,0	34,0	94,0	36,0	50,0	22,0	3,0	x	113,0	114,0	46,0	19,0	108,0	75,0	15,0	63,0	69,0	66,0	77,0	87,0	18,0	98,0	63,0	31,0	39,0
Z10	63,0	35,0	109,0	41,0	111,0	75,0	125,0	111,0	113,0	x	7,0	84,0	128,0	31,0	47,0	118,0	68,0	50,0	52,0	49,0	47,0	114,0	45,0	73,0	82,0	112,0
Z11	64,0	39,0	110,0	43,0	112,0	76,0	126,0	112,0	114,0	7,0	x	86,0	129,0	29,0	48,0	119,0	70,0	51,0	53,0	50,0	48,0	115,0	43,0	74,0	83,0	113,0
Z12	30,0	69,0	31,0	55,0	34,0	11,0	62,0	47,0	46,0	84,0	86,0	x	56,0	80,0	47,0	52,0	68,0	61,0	58,0	66,0	64,0	36,0	70,0	27,0	31,0	66,0
Z13	79,0	119,0	45,0	105,0	47,0	61,0	25,0	19,0	19,0	128,0	129,0	56,0	x	121,0	89,0	21,0	77,0	82,0	79,0	90,0	100,0	27,0	111,0	73,0	45,0	53,0
Z14	58,0	63,0	104,0	58,0	107,0	70,0	120,0	105,0	108,0	31,0	29,0	80,0	121,0	x	44,0	115,0	63,0	45,0	48,0	38,0	36,0	111,0	23,0	70,0	79,0	102,0
Z15	25,0	51,0	71,0	37,0	73,0	37,0	87,0	73,0	75,0	47,0	48,0	47,0	89,0	44,0	x	80,0	40,0	25,0	26,0	28,0	26,0	75,0	32,0	33,0	44,0	73,0
Z16	76,0	115,0	41,0	101,0	43,0	57,0	14,0	13,0	15,0	118,0	119,0	52,0	21,0	115,0	80,0	x	69,0	74,0	71,0	83,0	92,0	27,0	103,0	72,0	37,0	45,0
Z17	60,0	82,0	89,0	67,0	91,0	68,0	75,0	61,0	63,0	68,0	70,0	68,0	77,0	63,0	40,0	69,0	x	22,0	22,0	29,0	38,0	74,0	53,0	69,0	44,0	43,0
Z18	41,0	63,0	86,0	48,0	89,0	53,0	80,0	66,0	69,0	50,0	51,0	61,0	82,0	45,0	25,0	74,0	22,0	x	4,0	13,0	23,0	75,0	35,0	49,0	37,0	66,0
Z19	43,0	66,0	86,0	51,0	88,0	55,0	77,0	63,0	66,0	52,0	53,0	58,0	79,0	48,0	26,0	71,0	22,0	4,0	x	14,0	24,0	73,0	38,0	52,0	34,0	63,0
Z20	44,0	69,0	90,0	53,0	93,0	56,0	89,0	75,0	77,0	49,0	50,0	66,0	90,0	38,0	28,0	83,0	29,0	13,0	14,0	x	13,0	85,0	28,0	53,0	47,0	73,0
Z21	42,0	65,0	88,0	49,0	90,0	54,0	99,0	85,0	87,0	47,0	48,0	64,0	100,0	36,0	26,0	92,0	38,0	23,0	24,0	13,0	x	93,0	21,0	51,0	58,0	70,0
Z22	60,0	99,0	25,0	85,0	87,0	41,0	33,0	18,0	18,0	114,0	115,0	36,0	27,0	111,0	75,0	27,0	74,0	75,0	73,0	85,0	93,0	x	100,0	54,0	41,0	49,0
Z23	48,0	71,0	94,0	56,0	97,0	60,0	110,0	95,0	98,0	45,0	43,0	70,0	111,0	23,0	32,0	103,0	53,0	35,0	38,0	28,0	21,0	100,0	x	59,0	69,0	88,0
Z24	17,0	55,0	48,0	43,0	51,0	17,0	79,0	64,0	63,0	73,0	74,0	27,0	73,0	70,0	33,0	72,0	69,0	49,0	52,0	53,0	51,0	54,0	59,0	x	51,0	85,0
Z25	54,0	86,0	55,0	72,0	57,0	35,0	43,0	29,0	31,0	82,0	83,0	31,0	45,0	79,0	44,0	37,0	44,0	37,0	34,0	47,0	58,0	41,0	69,0	51,0	x	33,0
Z26	88,0	115,0	65,0	100,0	67,0	70,0	51,0	37,0	39,0	112,0	113,0	66,0	53,0	102,0	73,0	45,0	43,0	66,0	63,0	73,0	70,0	49,0	88,0	85,0	x	33,0

Zdroj: vlastní zpracování

4.4 Postup řešení

Nejprve bude proveden ruční výpočet pomocí Mayerovy metody a následně budou okruhy optimalizovány vhodnou metodou v programu TSPKOSA. Optimalizace bude probíhat z hlediska vzdáleností i časových údajů, nejlepší 4 varianty budou poté porovnány pomocí vícekriteriálního rozhodování.

Postup použití Mayerovy metody je tedy následující:

- Zvolení nejvzdálenějšího bodu od výchozího místa
- Vyškrtnutí řádku i sloupce tohoto bodu z tabulky vzdáleností, což zajistí, že nedojde k zacyklení
- Zařazení nejbližšího bodu k bodu právě zvolenému
- Následuje zařazování dalších bodů až do naplnění kapacity dle zvoleného typu vozidla
- Kontrola časového rozvrhu (řidič smí řídit 4,5 hodiny, poté následuje 45 minutová přestávka, poté může opět řídit 4,5 hodiny, to vše dle nařízení EU EHS č. 561/2006)
- Po uzavření jednoho okruhu opakujeme postup až do obslužení všech daných bodů vykládky

Vícekriteriální rozhodování bude použito ve zjednodušené verzi, kdy kritéria budou pouze 2 (vzdálenost a čas), přičemž za váhy poslouží jednotkové ceny nákladů na 1 km a 1 min pracovní doby řidiče.

Náklady na 1 km a 1 min byly stanoveny následovně (na základě údajů společnosti):

14 Kč/km

3,55 Kč/min

Údaje o vzdálenosti a časech vybraných variant budou tedy vynásobeny těmito jednotkovými náklady a výsledná suma nákladů na celý okruh bude porovnána mezi 2 nejlepšími variantami z hlediska vzdálenosti a času. Ten okruh, který bude mít výslednou sumu nejnižší, bude doporučen jako vhodný pro implementaci.

4.5 Řešení jednotlivých okruhů

4.5.1 1.Okruh

Tabulka 14 – Návrh 1.okruhu

1. Okruh					
Kód	Vzdálenost (km)	Požadavky	Místo	Čas trasy (min)	Čas vykládky (min)
S0	0,0	0,0	Nupaky	0,0	0,0
Z3	200,0	2,5	Františkovy Lázně	137,0	20,0
Z5	8,0	2,0	Cheb	13,0	20,0
Z7	31,2	3,0	Sokolov	27,0	20,0
Z8	19,4	3,0	Karlovy Vary 2	18,0	20,0
Z9	1,7	2,5	Karlovy Vary 1	3,0	20,0
Z16	13,4	2,0	Ostrov	13,0	20,0
Z22	9,1	2,0	Jáchymov	14,0	20,0
S0	166,0	0,0	Nupaky	120,0	0,0
Σ	448,8	17,0		345,0	140,0
				Čas celkem (min)	485,0
				Čas celkem (hod)	8,08

Zdroj: vlastní zpracování

Z tabulky 14 lze vidět, že Mayerovou metodou byl vytvořen 1.okruh: Nupaky → Františkovy Lázně → Cheb → Sokolov → Karlovy Vary1 → Karlovy Vary 2 → Ostrov → Jáchymov → Nupaky. Celková ujetá vzdálenost v této fázi činila 448,8 km za 485 minut stráveného času.

Tabulka 15 - Vzdálenosti v 1.okruhu

Kód	S0	Z3	Z5	Z7	Z8	Z9	Z16	Z22
S0	X	200,0	196,0	166,0	151,0	153,0	161,0	170,0
Z3	200,0	X	8,0	66,9	49,4	48,6	60,3	34,0
Z5	196,0	8,0	X	64,0	46,5	45,7	57,5	31,2
Z7	166,0	66,9	64,0	X	20,3	21,9	9,1	38,6
Z8	151,0	49,4	46,5	20,3	X	1,7	13,4	20,2
Z9	153,0	48,6	45,7	21,9	1,7	X	14,9	19,4
Z16	161,0	60,3	57,5	9,1	13,4	14,9	X	32,0
Z22	170,0	34,0	31,2	38,6	20,2	19,4	32,0	X

Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 16 – Časové údaje 1.okruhu

Kód	S0	Z3	Z5	Z7	Z8	Z9	Z16	Z22
S0	x	137,0	139,0	120,0	107,0	110,0	114,0	120,0
Z3	137,0	x	13,0	47,0	35,0	34,0	41,0	25,0
Z5	139,0	13,0	x	49,0	37,0	36,0	43,0	27,0
Z7	120,0	47,0	49,0	x	20,0	22,0	14,0	33,0
Z8	107,0	35,0	37,0	20,0	x	3,0	13,0	18,0
Z9	110,0	34,0	36,0	22,0	3,0	x	15,0	18,0
Z16	114,0	41,0	43,0	14,0	13,0	15,0	x	27,0
Z22	120,0	25,0	87,0	33,0	18,0	18,0	27,0	x

Zdroj: vlastní zpracování

Trasa 1.okruhu byla za pomoci vstupních údajů z tabulek 15 a 16 optimalizována programem TSPKOSA, a 2 nejlepší varianty z hlediska vzdálenosti a času byly porovnány s pomocí výše stanovených jednotkových nákladů. Tyto náklady tedy slouží přeneseně jako váhy kritérií (vzdálenosti a času)..

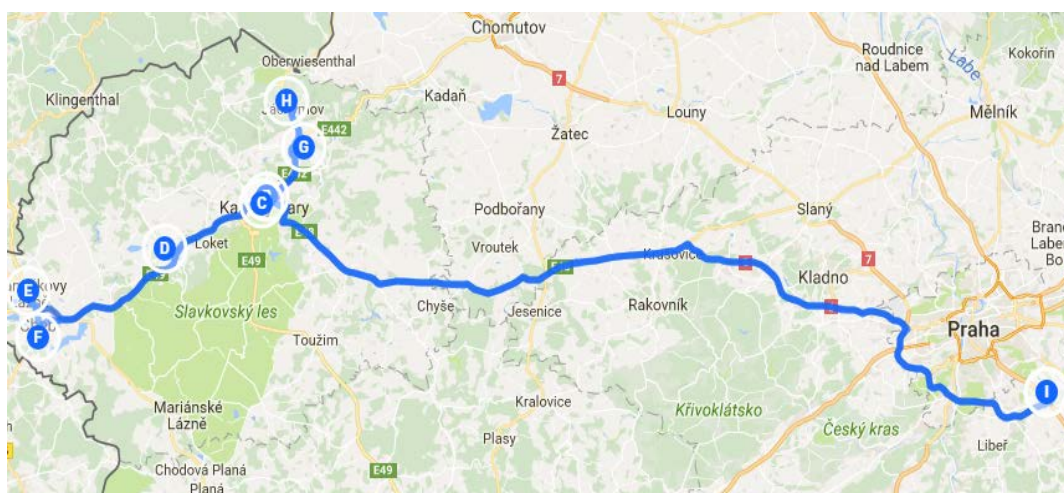
Tabulka 17 – Optimalizace trasy 1.okruhu

Optimalizované trasy 1.okruhu				
Metoda	Trasa	Vzdálenost	Čas	Náklady
	Trasa před optimalizací	448,8	484	8001,4
Větví a mezí	Nupaky→Karlovy Vary 1→Karlovy Vary 2→Sokolov→Františkovy Lázně→Cheb→Ostrov→Jáchymov→Nupaky	446,7	483	7968,45
Výhodnostních čísel	Nupaky→Karlovy vary 1→Karlovy Vary 2→Sokolov→Cheb→Františkovy Lázně→Ostrov→Jáchymov→Nupaky	446,7	485	7975,55
Výhodnostních čísel	Nupaky→Františkovy Lázně→Cheb→Sokolov→Karlovy Vary 2→Karlovy Vary 1→Ostrov→Jáchymov→Nupaky	448,8	483	7997,85
Výhodnostních čísel	NUpaky→Ostrov→Jáchymov→Františkovy Lázně→Cheb→Sokolov→Karlovy Vary 2→Karlovy Vary 1→Nupaky	448,3	483	7990,85

Zdroj: vlastní zpracování

Vybraná trasa dle tabulky 17 je tedy: Nupaky → Karlovy Vary 1 → Karlovy Vary 2 → Sokolov → Františkovy Lázně → Cheb → Ostrov → Jáchymov → Nupaky, je dlouhá 446,7 km, trvá 483 minut s celkovými náklady **7 968,45** Kč.

Obrázek 8 – 1.okruh



Zdroj (Mapy, 2017) - vlastní zpracování

4.5.2 2.Okruh

Tabulka 18 – Návrh 2.okruhu

2. Okruh					
Kód	Vzdálenost (km)	Požadavky	Místo	Čas trasy (min)	Čas vykládky (min)
S0	0,0	0,0	Nupaky	0,0	0,0
Z12	189,0	3,0	Mariánské Lázně	116,0	20,0
Z6	9,4	1,0	Chodová Planá	11,0	20,0
Z24	15,9	3,0	Tachov	17,0	20,0
Z1	15,3	1,0	Bor	17,0	20,0
Z4	27,1	1,0	Horšovský Týn	28,0	20,0
Z24	11,8	2,5	Domažlice	15,0	20,0
Z10	32,2	2,0	Klatovy 1	35,0	20,0
Z11	3,3	3,0	Klatovy 2	7,0	20,0
S0	151,0	0,0	Nupaky	102,0	0,0
Σ	455,0	16,5		348,0	160,0
				Čas celkem (min)	508,0
				Čas celkem (hod)	8,47

Zdroj: vlastní zpracování

Mayerova metoda navrhla okruh (viz tabulka 18):

Nupaky → Mariánské Lázně → Chodová Planá → Tachov → Bor → Horšovský Týn → Domažlice → Klatovy 1 → Klatovy 2 → Nupaky

Tabulka 19 - Vzdálenosti v 2.okruhu

Kód	S0	Z1	Z2	Z4	Z6	Z10	Z11	Z12	Z24
S0	X	163,0	166,0	155,0	180,0	150,0	151,0	189,0	174,0
Z1	163,0	X	38,3	27,1	22,5	67,5	63,4	31,6	15,3
Z2	166,0	38,3	X	11,8	60,9	32,2	34,2	69,9	53,7
Z4	155,0	27,1	11,8	X	49,6	34,8	36,9	58,6	42,2
Z6	180,0	22,5	60,9	49,6	X	101,0	102,0	9,4	15,9
Z10	150,0	67,5	32,2	34,8	101,0	X	3,3	110,0	80,1
Z11	151,0	63,4	34,2	36,9	102,0	3,3	X	111,0	80,8
Z12	189,0	31,6	69,9	58,6	9,4	110,0	111,0	X	22,9
Z24	174,0	15,3	53,7	42,2	15,9	80,1	80,8	22,9	X

Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 20 –Časové údaje 2.okruhu

Kód	S0	Z1	Z2	Z4	Z6	Z10	Z11	Z12	Z24
S0	x	96,0	118,0	105,0	107,0	101,0	102,0	116,0	104,0
Z1	96,0	x	41,0	28,0	21,0	63,0	64,0	30,0	17,0
Z2	118,0	41,0	x	15,0	60,0	35,0	39,0	69,0	55,0
Z4	105,0	28,0	15,0	x	46,0	41,0	43,0	55,0	43,0
Z6	107,0	21,0	60,0	46,0	x	75,0	76,0	11,0	17,0
Z10	101,0	63,0	35,0	41,0	75,0	x	7,0	84,0	73,0
Z11	102,0	64,0	39,0	43,0	76,0	7,0	x	86,0	74,0
Z12	116,0	30,0	69,0	55,0	11,0	84,0	86,0	x	27,0
Z24	104,0	17,0	55,0	43,0	17,0	73,0	74,0	27,0	x

Zdroj: vlastní zpracování

Na základě údajů z tabulek 19 a 20 proběhla optimalizace programem TSPKOSA, která přinesla následující varianty:

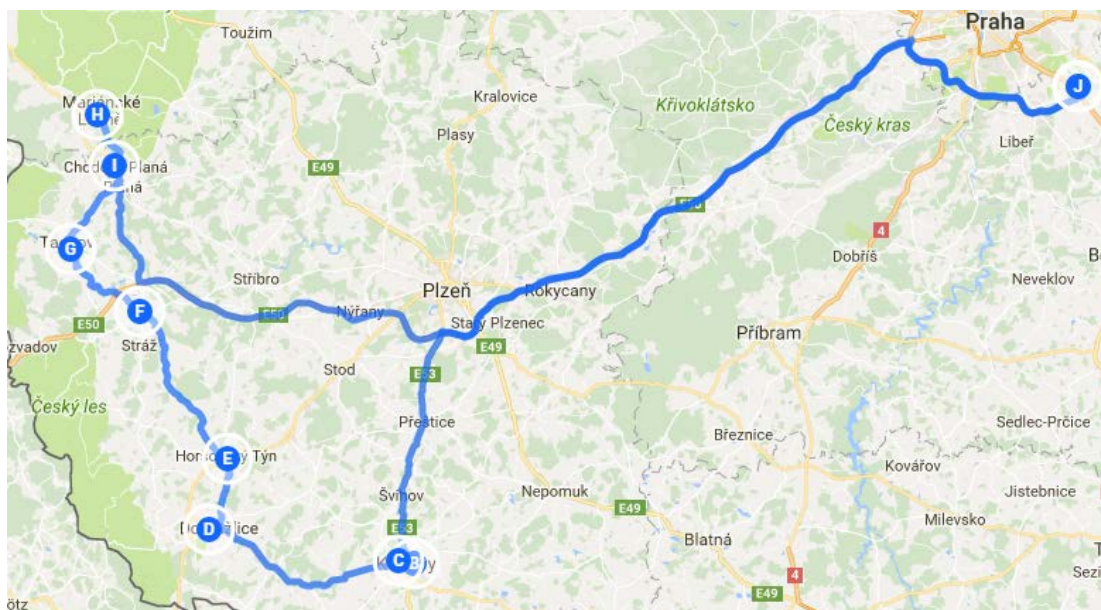
Tabulka 21 - Optimalizace trasy 2.okruhu

Optimalizované trasy 2.okruhu				
Metoda	Trasa	Vzdálenost	Čas	Náklady
	Trasa před optimalizací	455	508	8173,4
Větví a mezí	Nupaky→Klatovy 2→Klatovy 1→Domažlice→Horšovský Týn→Bor→Tachov→Mariánské Lázně→Chodová Planá→Nupaky	453	509	8148,95
Metoda nejbližšího souseda	Nupaky→Chodová Planá→Mariánské Lázně→Tachov→Bor→Horšovský Týn→Domažlice→Klatovy 1→Klatovy 2→Nupaky	453	509	8148,95
Větví a mezí	Nupaky→Mariánské Lázně→Chodová Planá→Tachov→Bor→Horšovský Týn→Domažlice→Klatovy 1→Klatovy 2→Nupaky	455	508	8173,4
Metoda nejbližšího souseda	Nupaky→Klatovy 2→Klatovy 1→Domažlice→Horšovský Týn→Bor→Tachov→Chodová Planá→Mariánské Lázně→Nupaky	455	508	8173,4

Zdroj: vlastní zpracování

Z tabulky 21 je patrné, že v tomto případě jsou vítězné varianty dvě se stejnými hodnotami vzdálenosti i času. Při podrobnějším pohledu lze vidět, že trasy jsou zrcadlově obráceny, tedy co se týká posloupnosti jednotlivých míst naprosto totožné, pouze v opačných směrech. Navržená varianta 2.okruhu tedy vypadá následovně: Nupaky → Klatovy 2 → Klatovy 1 → Domažlice → Horšovský Týn → Bor → Tachov → Mariánské Lázně → Chodová Planá → Nupaky, je dlouhá 453 km, trvá 509 minut s celkovými náklady **8 148,95 Kč**.

Obrázek 9 – 2.okruh



Zdroj (Mapy, 2017) - vlastní zpracování

4.5.3 3. Okruh

Tabulka 22 – Návrh 3.okruhu

3. Okruh					
Kód	Vzdálenost (km)	Požadavky	Místo	Čas trasy (min)	Čas vykládky (min)
S0	0,0	0,0	Nupaky	0,0	0,0
Z13	167,0	1,5	Nejdek	124,0	20,0
Z25	48,3	2,0	Toužim	45,0	20,0
Z26	40,0	1,0	Vroutek	33,0	20,0
S20	37,0	3,0	Rakovník	35,0	20,0
S16	29,4	1,0	Nižbor	29,4	20,0
S4	9,8	3,0	Beroun	14,0	20,0
S7	24,1	3,0	Kladno	31,0	20,0
S0	54,1	0,0	Nupaky	41,0	0,0
Σ	409,7	14,5		352,4	140,0
				Čas celkem (min)	492,4
				Čas celkem (hod)	8,21

Zdroj: vlastní zpracování

Mayerova metoda navrhla (viz tabulka 22) trasu s následujícími body:

Nupaky → Nejdek → Toužim → Vroutek → Rakovník → Nižbor → Beroun → Kladno → Nupaky

Tabulka 23 - Vzdálenosti v 3.okruhu

Kód	S0	S4	S7	S16	S20	Z13	Z25	Z26
S0	X	54,2	54,1	59,1	83,6	167,0	145,0	112,0
S4	54,2	X	24,1	9,8	39,2	155,0	109,0	100,0
S7	54,1	24,1	X	20,5	83,7	120,0	97,0	65,0
S16	59,1	9,8	20,5	X	29,4	128,0	105,0	73,0
S20	83,6	39,2	83,7	29,4	X	92,0	69,0	37,0
Z13	167,0	155,0	120,0	128,0	92,0	X	48,3	62,9
Z25	145,0	109,0	97,0	105,0	69,0	48,3	X	40,0
Z26	112,0	100,0	65,0	73,0	37,0	62,9	40,0	X

Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 24 – Časové údaje 3.okruhu

Kód	S0	S4	S7	S16	S20	Z13	Z25	Z26
S0	x	38,0	41,0	44,0	56,0	124,0	104,0	81,0
S4	38,0	x	31,0	14,0	45,0	116,0	80,0	73,0
S7	41,0	31,0	x	25,0	30,0	98,0	77,0	54,0
S16	44,0	14,0	25,0	x	31,0	109,0	88,0	66,0
S20	56,0	45,0	30,0	31,0	x	78,0	58,0	35,0
Z13	124,0	116,0	98,0	109,0	78,0	x	45,0	53,0
Z25	104,0	80,0	77,0	88,0	58,0	45,0	x	33,0
Z26	81,0	73,0	54,0	66,0	35,0	53,0	33,0	x

Zdroj: vlastní zpracování

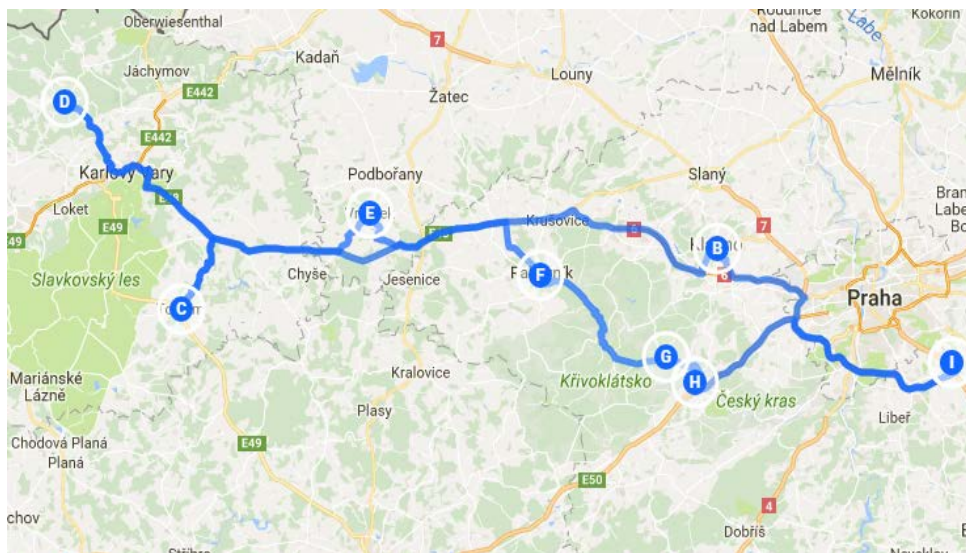
Na základě tabulek 23 a 24 nabídl software TSPKOSA čtyři téměř shodné trasy i z hlediska parametrů. Z tabulky 25 vyplývá, že tři z nich mají nepatrně nižší náklady oproti poslední trase, lze tedy vybrat např. první trasu: Nupaky → Kladno → Toužim → Nejdek → Vroutek → Rakovník → Nižbor → Beroun → Nupaky, dlouhou 392,7 km, trvající 474 minut s celkovými náklady **7 180,50 Kč**.

Tabulka 25 - Optimalizace trasy 3.okruhu

Optimalizované trasy 3.okruhu				
Metoda	Trasa	Vzdálenost	Čas	Náklady
	Trasa před optimalizací	409,7	492,4	7483,82
Větví a mezí	Nupaky→Kladno→Toužim→Nejdek→Vroutek→Rakovník→Nižbor→Beroun→Nupaky	392,7	474	7180,50
Větví a mezí	Nupaky→Kladno→Vroutek→Nejdek→Toužim→Rakovník→Nižbor→Beroun→Nupaky	392,7	474	7180,50
Výhodnostních čísel	Nupaky→Kladno→Vroutek→Toužim→Nejdek→Rakovník→Nižbor→Beroun→Nupaky	392,8	474	7181,90
Výhodnostních čísel	Nupaky→Kladno→Toužim→Nejdek→Vroutek→Rakovník→Nižbor→Beroun→Nupaky	392,7	474	7180,50

Zdroj: vlastní zpracování

Obrázek 10 – 3.okruh



Zdroj: (Mapy, 2017) - vlastní zpracování

4.5.4 4.Okruh

Tabulka 26 – Návrh 4.okruhu

4. Okruh					
Kód	Vzdálenost (km)	Požadavky	Místo	Čas trasy (min)	Čas vykládky (min)
S0	0,0	0,0	Nupaky	0,0	0,0
Z17	133,0	2,0	Plasy	92,0	20,0
Z19	21,1	2,0	Plzeň 2	22,0	20,0
Z18	1,8	3,0	Plzeň 1	4,0	20,0
Z20	7,6	1,5	Plzeň 3	13,0	20,0
Z21	14,9	2,5	Rokycany	13,0	20,0
Z23	18,0	1,5	Spálené Poříčí	21,0	20,0
Z14	20,7	2,0	Nepomuk	23,0	20,0
S19	43,0	2,5	Příbram	47,0	20,0
S0	70,5	0,0	Nupaky	50,0	0,0
Σ	330,6	17,0		285,0	140,0
				Čas celkem (min)	445,0
				Čas celkem (hod)	7,42

Zdroj: vlastní zpracování

Z tabulky 26 lze vidět, že Mayerovou metodou byl vytvořen 4.okruh: Nupaky → Plasy → Plzeň 2 → Plzeň 1 → Plzeň 3 → Rokycany → Spálené Poříčí → Nepomuk → Příbram → Nupaky, který měří 330,6 km a trvá 445 minut.

Tabulka 27 – Vzdálenosti ve 4.okruhu

Kód	S0	S19	Z14	Z17	Z18	Z19	Z20	Z21	Z23
S0	X	70,5	112,0	133,0	115,0	115,0	109,0	98,3	104,0
S19	70,5	X	43,0	94,0	64,0	65,0	70,0	46,0	35,0
Z14	112,0	43,0	X	60,3	40,4	41,7	39,9	36,7	20,7
Z17	133,0	94,0	60,3	X	21,3	21,1	25,4	39,2	49,3
Z18	115,0	64,0	40,4	21,3	X	1,8	7,6	20,7	32,7
Z19	115,0	65,0	41,7	21,1	1,8	X	7,4	21,2	30,3
Z20	109,0	70,0	39,9	25,4	7,6	7,4	X	14,9	26,8
Z21	98,3	46,0	36,7	39,2	20,7	21,2	14,9	X	18,0
Z23	104,0	35,0	20,7	49,3	32,7	30,3	26,8	18,0	X

Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 28 – Časové údaje 4.okruhu

Kód	S0	S19	Z14	Z17	Z18	Z19	Z20	Z21	Z23
S0	x	50,0	90,0	92,0	77,0	78,0	66,0	60,0	79,0
S19	50,0	x	47,0	87,0	69,0	72,0	61,0	49,0	34,0
Z14	90,0	47,0	x	63,0	45,0	48,0	38,0	36,0	23,0
Z17	92,0	87,0	63,0	x	22,0	22,0	29,0	38,0	53,0
Z18	77,0	69,0	45,0	22,0	x	4,0	13,0	23,0	35,0
Z19	78,0	72,0	48,0	22,0	4,0	x	14,0	24,0	38,0
Z20	66,0	61,0	38,0	29,0	13,0	14,0	x	13,0	28,0
Z21	60,0	49,0	36,0	38,0	23,0	24,0	13,0	x	21,0
Z23	79,0	34,0	23,0	53,0	35,0	38,0	28,0	21,0	x

Zdroj: vlastní zpracování

S použitím údajů z tabulek 27 a 28 byl proveden výpočet pomocí programu TSPKOSA s následujícími výsledky:

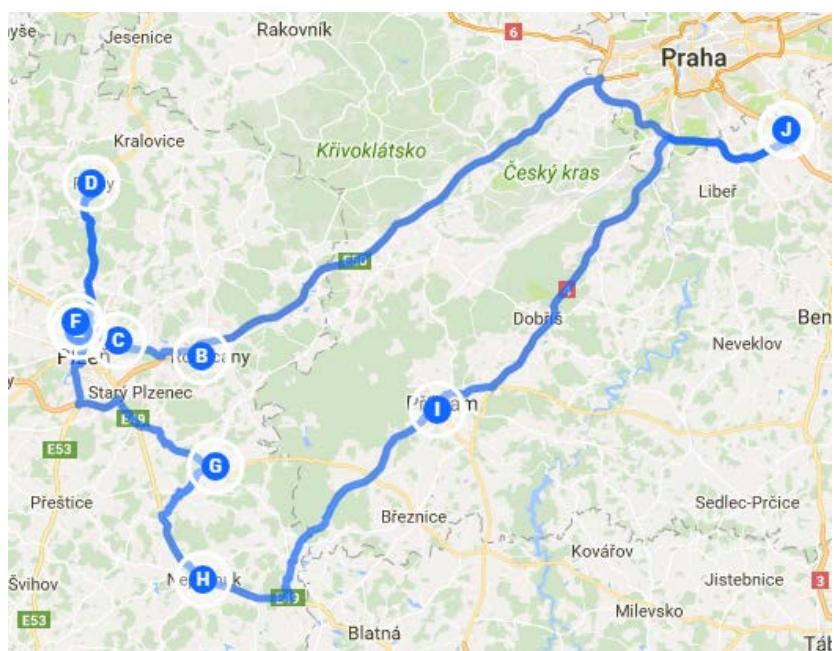
Tabulka 29 - Optimalizace trasy 4.okruhu

Optimalizované trasy 4.okruhu				
Metoda	Trasa	Vzdálenost	Čas	Náklady
	Trasa před optimalizací	330,6	425	6137,15
Výhodnostních čísel	Nupaky→Rokycany→Plzeň 3→Plasy→Plzeň 1→Plzeň 2→Spálené Poříčí→Nepomuk→Příbram→Nupaky	326,2	426	6079,1
Metoda nejbližšího souseda	Nupaky→Rokycany→Plzeň 3→Plzeň 2→Plasy→Spálené Poříčí→Nepomuk→Příbram→Nupaky	327,2	426	6093,1
Vogelova aproximační metoda	Nupaky→Rokycany→Plzeň 3→Plasy→Plzeň 2→Plzeň 1→Nepomuk→Spálené Poříčí→Příbram→Nupaky	328,1	420	6084,4
Metoda nejbližšího souseda	Nupaky→Plzeň 3→Plzeň 1→Plzeň 2→Plasy→Rokycany→Spálené Poříčí→Nepomuk→Příbram→Nupaky	330,9	424	6137,8

Zdroj: vlastní zpracování

Z tabulky 29 je patrné, že doporučená trasa vede následovně: Nupaky → Rokycany → Plzeň 3 → Plasy → Plzeň 1 → Plzeň 2 → Spálené Poříčí → Nepomuk → Příbram → Nupaky, je dlouhá 326,2 km, trvá 426 minut s celkovými náklady **6 079,10** Kč.

Obrázek 11 – 4.okruh



Zdroj: (Mapy, 2017) - vlastní zpracování

4.5.5 5.Okruh

Tabulka 30 – Návrh 5.okruhu

5. Okruh					
Kód	Vzdálenost (km)	Požadavky	Místo	Čas trasy (min)	Čas vykládky (min)
S0	0,0	0,0	Nupaky	0,0	0,0
Z15	131,0	2,0	Nýřany	79,0	20,0
S15	104,0	2,0	Mníšek pod Brdy	77,0	20,0
S21	32,7	3,0	Sedlčany	37,0	20,0
S23	28,9	2,0	Týnec nad Sázavou	33,0	20,0
S3	10,4	2,0	Benešov 2	13,0	20,0
S2	1,5	3,0	Benešov 1	4,0	20,0
S0	30,7	0,0	Nupaky	26,0	0,0
Σ	339,2	14,0		269,0	120,0
				Čas celkem (min)	389,0
				Čas celkem (hod)	6,48

Zdroj: vlastní zpracování

Mayerova metoda (viz tabulka z předchozí strany) navrhla okruh: Nupaky → Nýřany → Mníšek pod Brdy → Sedlčany → Týnec nad Sázavou → Benešov 2 → Benešov 1 → Nupaky s délkou 339,2 km a celkovým časem 389 minut.

Tabulka 31 – Vzdálenosti v 5.okruhu

Místo		Nupaky	Benešov 1	Benešov 2	Mníšek pod Brdy	Sedlčany	Týnec nad Sázavou	Nýřany
	Kód	S0	S2	S3	S15	S21	S23	Z15
Nupaky	S0	X	30,7	30,8	39,2	61,5	29,2	131,0
Benešov 1	S2	30,7	X	1,5	62,1	34,2	10,7	155,0
Benešov 2	S3	30,8	1,5	X	45,8	32,2	10,4	155,0
Mníšek pod Brdy	S15	39,2	62,1	45,8	X	32,7	36,3	104,0
Sedlčany	S21	61,5	34,2	32,2	32,7	X	28,9	119,0
Týnec nad Sázavou	S23	29,2	10,7	10,4	36,3	28,9	X	142,0
Nýřany	Z15	131,0	155,0	155,0	104,0	119,0	142,0	X

Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 32 – Časové údaje 5.okruhu

Místo		Nupaky	Benešov 1	Benešov 2	Mníšek pod Brdy	Sedlčany	Týnec nad Sázavou	Nýřany
	Kód	S0	S2	S3	S15	S21	S23	Z15
Nupaky	S0	x	26,0	27,0	29,0	50,0	30,0	79,0
Benešov 1	S2	26,0	x	4,0	46,0	32,0	13,0	97,0
Benešov 2	S3	27,0	4,0	x	48,0	31,0	13,0	98,0
Mníšek pod Brdy	S15	29,0	46,0	48,0	x	37,0	44,0	77,0
Sedlčany	S21	50,0	32,0	31,0	37,0	x	33,0	93,0
Týnec nad Sázavou	S23	30,0	13,0	13,0	44,0	33,0	x	94,0
Nýřany	Z15	79,0	97,0	98,0	77,0	93,0	94,0	x

Zdroj: vlastní zpracování

Údaje z tabulek 31 a 32 byly použity při výpočtu pomocí softwaru TSPKOSA.

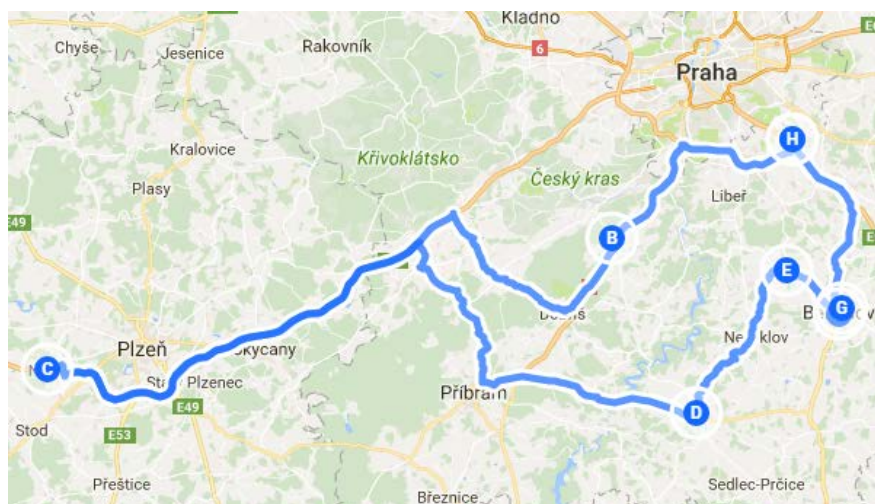
Tabulka 33 - Optimalizace trasy 5.okruhu

Optimalizované trasy 5.okruhu				
Metoda	Trasa	Vzdálenost	Čas	Náklady
	Trasa před optimalizací	339,2	389	6129,75
Metoda nejbližšího souseda	Nupaky→Mníšek pod Brdy→Nýřany→Sedlčany→Týnec nad Sázavou→Benešov 2→Benešov 1→Nupaky	333,7	395	6074,05
Vogelova aproximační metoda	Nupaky→Benešov 1→Benešov 2→Týnec nad Sázavou→Sedlčany→Nýřany→Mníšek podBrdy→Nupaky	333,7	395	6074,05
Metoda nejbližšího souseda	Nupaky→Benešov 1→Benešov 2→Týnec nad Sázavou→Sedlčany→Mníšek pod Brdy→Nýřany→Nupaky	339,2	389	6129,75
Větví a mezí	Nupaky→Nýřany→Mníšek pod Brdy→Sedlčany→Týnec nad Sázavou→Benešov 2→Benešov 1→Nupaky	339,2	389	6129,75

Zdroj: vlastní zpracování

Z tabulky 33 je zřejmé, že vítězné okruhy jsou v tomto případě dva, vybrán byl první v pořadí, tedy: Nupaky → Mníšek pod Brdy → Nýřany → Sedlčany → Týnec nad Sázavou → Benešov 2 → Benešov 1 → Nupaky s parametry 333,7 km a 395 minut, s celkovými náklady **6 074,05** Kč.

Obrázek 12 – 5.okruh



Zdroj: (Mapy, 2017) - vlastní zpracování

4.5.6 6.Okruh

Tabulka 34 – Návrh 6.okruhu

6. Okruh					
Kód	Vzdálenost (km)	Požadavky	Místo	Čas trasy (min)	Čas vykládky (min)
S0	0,0	0,0	Nupaky	0,0	0,0
S6	72,0	2,5	Čáslav	65,0	20,0
S11	13,1	3,0	Kutná Hora	18,0	20,0
S8	10,9	3,0	Kolín	14,0	20,0
S17	26,3	2,5	Nymburk	25,0	20,0
S12	18,1	2,5	Lysá nad Labem	24,0	20,0
S0	42,7	0,0	Nupaky	41,0	0,0
Σ	183,1	13,5		187,0	100,0
				Čas celkem (min)	287,0
				Čas celkem (hod)	4,78

Zdroj: vlastní zpracování

Mayerova metoda vybrala okruh, který lze vyčíst z tabulky 34: Nupaky → Čáslav → Kutná Hora → Kolín → Nymburk → Lysá nad Labem → Nupaky. Má celkovou délku 183,1 km s časem 287 minut.

Tabulka 35 – Vzdálenosti v 6.okruhu

Místo		Nupaky	Čáslav	Kolín	Kutná hora	Lysá nad Labem	Nymburk
	Kód	S0	S6	S8	S11	S12	S17
Nupaky	S0	X	72,0	55,1	52,2	42,7	55,3
Čáslav	S6	72,0	X	20,8	13,1	64,0	44,3
Kolín	S8	55,1	20,8	X	10,9	45,9	26,3
Kutná hora	S11	52,2	13,1	10,9	X	56,7	37,2
Lysá nad Labem	S12	42,7	64,0	45,9	56,7	X	18,1
Nymburk	S17	55,3	44,3	26,3	37,2	18,1	X

Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 36 – Časové údaje 6.okruhu

Místo		Nupaky	Čáslav	Kolín	Kutná hora	Lysá nad Labem	Nymburk
	Kód	S0	S6	S8	S11	S12	S17
Nupaky	S0	x	65,0	50,0	55,0	41,0	48,0
Čáslav	S6	65,0	x	21,0	18,0	54,0	41,0
Kolín	S8	50,0	21,0	x	14,0	38,0	25,0
Kutná hora	S11	55,0	18,0	14,0	x	49,0	36,0
Lysá nad Labem	S12	41,0	54,0	38,0	49,0	x	24,0
Nymburk	S17	48,0	41,0	25,0	36,0	24,0	x

Zdroj: vlastní zpracování

S použitím údajů o vzdálenostech a časech z tabulek 35 a 36 byl proveden výpočet programem TSPKOSA.

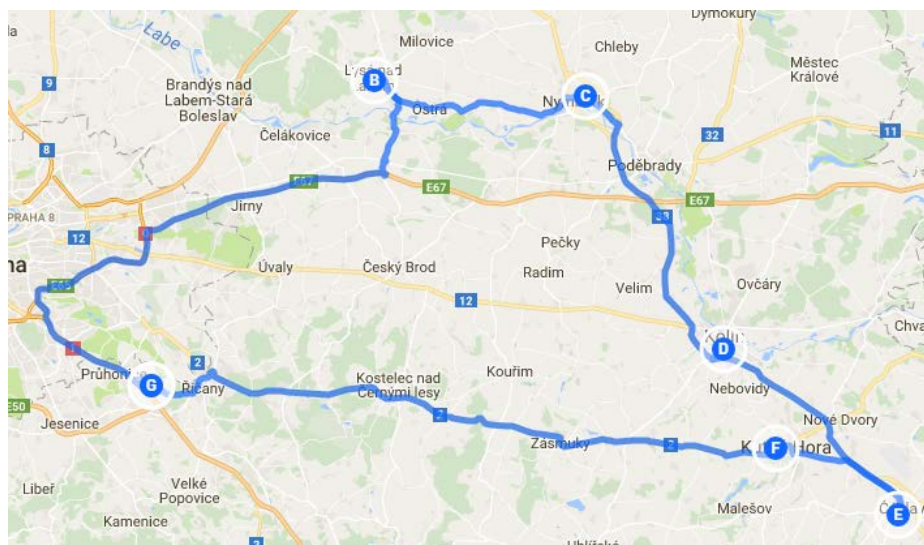
Tabulka 37 - Optimalizace trasy 6.okruhu

Optimalizované trasy 6.okruhu				
Metoda	Trasa	Vzdálenost	Čas	Náklady
	Trasa před optimalizací	183,1	287	3582,25
Vogelova aproximační metoda	Nupaky→Lysá nad Labem→Nymburk→Kolín→Čáslav→Kutná Hora→Nupaky	173,2	284	3433
Větví a mezí	Nupaky→Lysá nad Labem→Nymburk→Kolín→Kutná Hora→Čáslav→Nupaky	173,2	287	3443,65
Výhodnostních čísel	Nupaky→Lysá nad Labem→Nymburk→Kolín→Čáslav→Kutná Hora→Nupaky	173,2	284	3433
Metoda nejbližšího souseda	Nupaky→Lysá nad Labem→Nymburk→Kolín→Kutná Hora→Čáslav→Nupaky	173,2	287	3443,65

Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 37 vypovídá o shodě dvou totožných tras, z nichž byla vybrána doporučená: Nupaky → Lysá nad Labem → Nymburk → Kolín → Čáslav → Kutná Hora → Nupaky. Má délku 173,2 km s časem 284 minut a celkovými náklady **3 433 Kč**.

Obrázek 13 – 6.okruh



Zdroj: (Mapy, 2017) - vlastní zpracování

4.5.7 7.Okruh

Tabulka 38 – Návrh 7.okruhu

7. Okruh					
Kód	Vzdálenost (km)	Požadavky	Místo	Čas trasy (min)	Čas vykládky (min)
S0	0,0	0,0	Nupaky	0,0	0,0
S13	71,5	3,0	Mladá Boleslav 1	48,0	20,0
S14	2,9	3,0	Mladá Boleslav 2	10,0	20,0
S1	17,0	2,0	Benátky nad Jizerou	16,0	20,0
S5	17,4	1,5	Brandýs nad Labem	15,0	20,0
S18	21,5	2,0	Odolena Voda	25,0	20,0
S10	10,4	2,0	Kralupy nad Vltavou	14,0	20,0
S0	49,6	0,0	Nupaky	45,0	0,0
Σ	190,3	13,5		173,0	120,0
				Čas celkem (min)	293,0
				Čas celkem (hod)	4,88

Zdroj: vlastní zpracování

Mayerova metoda navrhla okruh (viz tabulka 38): Nupaky → Mladá Boleslav 1 → Mladá Boleslav 2 → Benátky nad Jizerou → Brandýs nad Labem → Odolena Voda → Kralupy nad Vltavou → Nupaky. Okruh měří 190,3 km a trvá 293 minut.

Tabulka 39 – Vzdálenosti v 7.okruhu

Místo		Nupaky	Benátky nad Jizerou	Brandýs nad Labem	Kralupy nad Vltavou	Mladá Boleslav 1	Mladá Boleslav 2	Odolena Voda
	Kód	S0	S1	S5	S10	S13	S14	S18
Nupaky	S0	X	53,5	28,5	49,6	71,5	69,9	40,4
Benátky nad Jizerou	S1	53,5	X	17,4	57,9	20,3	17,0	39,6
Brandýs nad Labem	S5	28,5	17,4	X	30,3	36,3	33,5	21,5
Kralupy nad Vltavou	S10	49,6	57,9	30,3	X	75,3	68,9	10,4
Mladá Boleslav 1	S13	71,5	20,3	36,3	75,3	X	2,9	67,2
Mladá Boleslav 2	S14	69,9	17,0	33,5	68,9	2,9	X	55,0
Odolena Voda	S18	40,4	39,6	21,5	10,4	67,2	55,0	X

Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 40 – Časové údaje 7.okruhu

Místo		Nupaky	Benátky nad Jizerou	Brandýs nad Labem	Kralupy nad Vltavou	Mladá Boleslav 1	Mladá Boleslav 2	Odolena Voda
	Kód	S0	S1	S5	S10	S13	S14	S18
Nupaky	S0	x	37,0	32,0	45,0	48,0	49,0	38,0
Benátky nad Jizerou	S1	37,0	x	15,0	43,0	15,0	16,0	36,0
Brandýs nad Labem	S5	32,0	15,0	x	35,0	26,0	27,0	25,0
Kralupy nad Vltavou	S10	45,0	43,0	35,0	x	52,0	53,0	14,0
Mladá Boleslav 1	S13	48,0	15,0	26,0	52,0	x	10,0	46,0
Mladá Boleslav 2	S14	49,0	16,0	27,0	53,0	10,0	x	47,0
Odolena Voda	S18	38,0	36,0	25,0	14,0	46,0	47,0	x

Zdroj: vlastní zpracování

S použitím hodnot o vzdálenostech a časech (tabulky 39 a 40) byly provedeny výpočty pomocí metod, obsažených v programu TSPKOSA. Jejich výsledky byly seřazeny do tabulky 41 na následující straně.

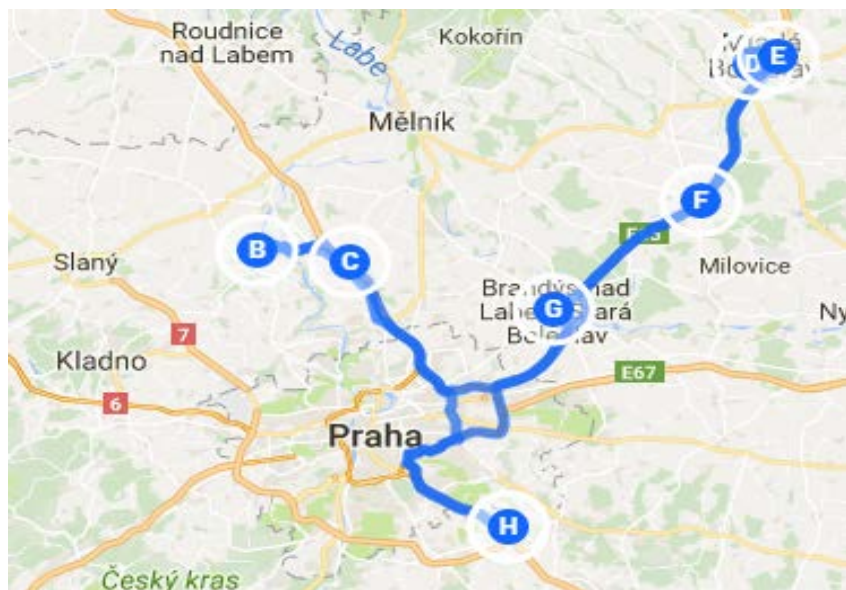
Tabulka 41 - Optimalizace trasy 7.okruhu

Optimalizované trasy 7.okruhu				
Metoda	Trasa	Vzdálenost	Čas	Náklady
	Trasa před optimalizací	190,3	293	3704,35
Metoda nejbližšího souseda	Nupaky→Odolena Voda→Kralupy nad Vltavou→Brandýs nad Labem→Benátky nad Jizerou→Mladá Boleslav 1→Mladá Boleslav 2→Nupaky	189,9	276	3638,4
Výhodnostních čísel	Nupaky→Kralupy nad Vltavou→Odolena Voda→Mladá Boleslav 2→Mladá Boleslav 1→Benátky nad Jizerou→Brandýs nad Labem→Nupaky	184,1	278	3564,3
Metoda nejbližšího souseda	Nupaky→Benátky nad Jizerou→Mladá Boleslav 2→Mladá Boleslav 1→Brandýs nad Labem→Odolena Voda→Kralupy nad Vltavou→Nupaky	191,2	273	3645,95
Větví a mezí	Nupaky→Kralupy nad Vltavou→Odolena Voda→Brandýs nad Labem→Benátky nad Jizerou→Mladá Boleslav 1→Mladá Boleslav 2→Nupaky	192	273	3657,15

Zdroj: vlastní zpracování

Výsledná trasa Nupaky → Kralupy nad Vltavou → Odolena Voda → Mladá Boleslav 2 → Mladá Boleslav 1 → Benátky nad Jizerou → Brandýs nad Labem → Nupaky měří 184,1 km, trvá 278 minut s náklady **3 564,30** Kč.

Obrázek 14 – 7.okruh



Zdroj: (Mapy, 2017) - vlastní zpracování

4.5.8 8.Okruh

Tabulka 42 – Návrh 8.okruhu

8. Okruh					
Kód	Vzdálenost (km)	Požadavky	Místo	Čas trasy (min)	Čas vykládky (min)
S0	0,0	0,0	Nupaky	0,0	0,0
S22	61,9	3,0	Slaný	45,0	20,0
S9	82,1	2,0	Kostelec nad Černými Lesy	68,0	20,0
S0	21,5	0,0	Nupaky	31,0	0,0
Σ	165,5	5,0		144,0	40,0
				Čas celkem (min)	184,0
				Čas celkem (hod)	3,07

Zdroj: vlastní zpracování

Na poslední okruh zbyla již pouze 2 místa, která však nešla vložit do žádného z předchozích okruhů ani po jejich optimalizaci a to z kapacitních důvodů. Celkový počet palet je prostě větší, než kolik se vejde do aut, která jsou k dispozici. Mayerova metoda tento okruh navrhla (viz tabulka 42) jako: Nupaky → Slaný → Kostelec nad Černými Lesy → Nupaky s délkou 165 km a časem 184 minut.

Tabulka 43 – Vzdálenosti v 8.okruhu

Místo		Nupaky	Kostelec nad Černými lesy	Slaný
	Kód	S0	S9	S22
Nupaky	S0	X	21,5	61,9
Kostelec nad Černými lesy	S9	21,5	X	82,1
Slaný	S22	61,9	82,1	X

Zdroj: vlastní zpracování

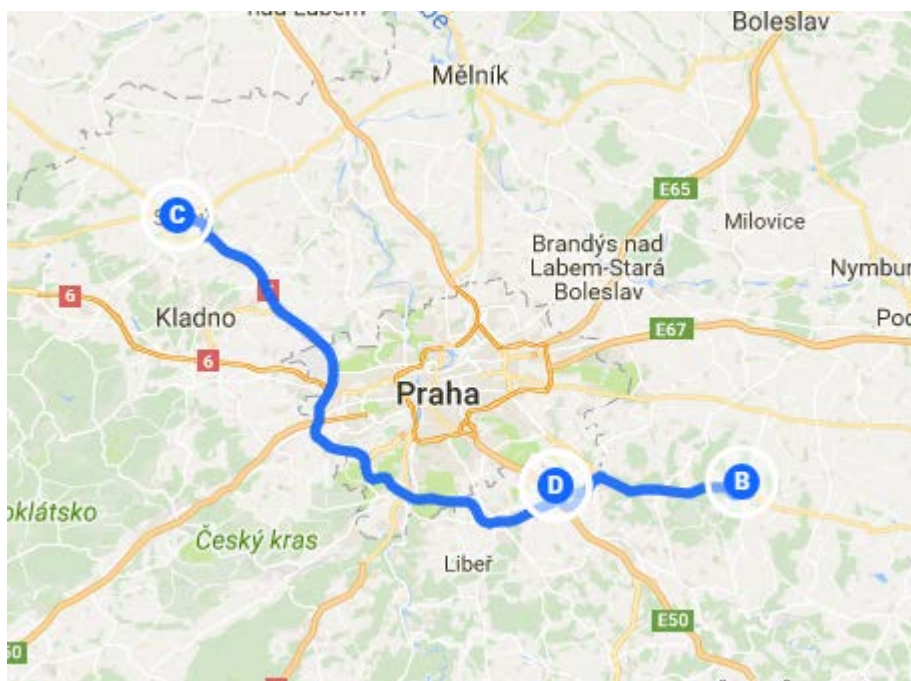
Tabulka 44 – Časové údaje 8.okruhu

Místo		Nupaky	Kostelec nad Černými lesy	Slaný
	Kód	S0	S9	S22
Nupaky	S0	x	31,0	45,0
Kostelec nad Černými lesy	S9	31,0	x	68,0
Slaný	S22	45,0	68,0	x

Zdroj: vlastní zpracování

TSPKOSA v tomto případě neměl možnost trasu nějak optimalizovat, neboť při počtu 2 zastávek vyjde v jakémkoli pořadí uzlů stejná vzdálenost i čas. Je to patrné na první pohled z tabulek 43 a 44. Výše uvedenou trasu lze tedy doporučit s celkovými náklady **2 970,20** Kč.

Obrázek 15 – 8.okruh



Zdroj: (Mapy, 2017; GUTIN, a další, 2002; Tachospeed, 2017) - vlastní zpracování

Trasu č. 8 lze ale za standartních podmínek vzhledem k časové náročnosti obsloužit po rozvezení některé z předchozích tras. Jako nejlepší varianta se k tomuto účelu hodí trasa č. 7.

Celkový čas obou tras dohromady (včetně časů na vykládku) je:

$$184 + 278 = \underline{462 \text{ minut neboli } 7,7 \text{ hodin.}}$$

Řidič smí včetně povinné přestávky řídit 2 x 4,5 hodiny denně, tedy celkem 9 hodin. Zbývá tedy ještě rozumná rezerva pro případné komplikace a toto spojení lze doporučit pro praxi.

Společnost tedy namísto 8 plánovaných vozů zajistí rozvoz pouze s vozy 7, čímž se jí naskýtá možnost využití celého denního času jednoho vozidla pro jiné zakázky.

5 Zhodnocení výsledků

Tabulka 45 – Původní trasy a hodnoty

Původní trasy rozvožů			
Trasa	Vzdálenost	Čas	Náklady
Nupaky→Kostelec nad Černými Lesy→Čáslav→Kutná Hora→Kolín→Nymburk→Lysá nad Labem→Brandýs nad Labem→Nupaky	198	355	4032,25
Nupaky→Benátky nad Jizerou→Mladá Boleslav 1→Mladá Boleslav 2→Odolena Voda→Kralupy nad Vltavou→Kladno→Mníšek pod Brdy→Nupaky	267	366	5037,30
Nupaky→Týnec nad Sázavou→Benešov 1→Benešov 2→Sedlčany→Příbram→Beroun→Nižbor→Nupaky	220,7	366	4389,10
Nupaky→Slaný→Rakovník→Vroutek→Ostrov→Jáchymov→Nejdek→Nupaky	387,5	438	6979,90
Nupaky→Karlovy Vary 1→Karlovy Vary 2→Sokolov→Františkovy Lázně→Cheb→Toužim→Plasy→Nupaky	457,2	506	8197,10
Nupaky→Mariánské Lázně→Chodová Planá→Tachov→Bor→Nýřany→Plzeň 1→Nupaky	398,3	413	7042,35
Nupaky→Rokycany→Plzeň 2→Plzeň 3→Horšovský Týn→Domažlice→Klatovy 2→Nupaky	371,9	432	6740,20
Nupaky→Spálené Poříčí→Nepomuk→Klatovy 1→Nupaky	314,2	294	5442,50
Suma	2614,8	3170	47860,70

Zdroj: vlastní zpracování

Původní trasy byly naplánovány takříkajíc od ruky. Nicméně z tabulek 45 a 46 vyplývá, že rozdíl není na první pohled tak veliký, jak by se mohlo zdát při porovnání lidského úsudku a strojového výpočtu. Úspora nákladů je však patrná hlavně s přihlédnutím k faktoru pravidelnosti a času, jak bude vidět v kapitole „Zhodnocení“.

Tabulka 46 – Optimalizované trasy a hodnoty

Optimalizované trasy rozvozů				
Metoda	Trasa	Vzdálenost	Čas	Náklady
Výhodnostních čísel	Nupaky→Kralupy nad Vltavou→Odolena Voda →Mladá Boleslav 2→Mladá Boleslav 1 →Benátky nad Jizerou→Brandýs nad Labem→Nupaky	184,1	278	3564,30
Větví a mezí	Nupaky→Karlovy Vary 1→Karlovy Vary 2→Sokolov→Františkovy Lázně→Cheb→Ostrov→Jáchymov→Nupaky	446,7	483	7968,45
Větví a mezí	Nupaky→Klatovy 2→Klatovy 1→Domažlice →Horšovský Týn→Bor→Tachov→Mariánské Lázně →Chodová Planá→Nupaky	453	509	8148,95
Větví a mezí	Nupaky→Kladno→Toužim→Nejdek→Vroutek →Rakovník→Nížbor→Beroun→Nupaky	392,7	474	7180,50
Výhodnostních čísel	Nupaky→Rokycany→Plzeň 3→Plasy→Plzeň 1→Plzeň 2→Spálené Poříčí→Nepomuk→Příbram→Nupaky	326,2	426	6079,10
Metoda nejbližšího souseda	Nupaky→Mníšek pod Brdy→Nýřany→Sedlčany→Týnec nad Sázavou→Benešov 2→Benešov 1→Nupaky	333,7	395	6074,05
Vogelova aproximační metoda	Nupaky→Lysá nad Labem→Nymburk→Kolín→Čáslav→Kutná Hora→Nupaky	173,2	284	3433
Není nutný výpočet	Nupaky→Slaný→Kostelec nad Černými lesy→Nupaky	165	184	2963,20
	Suma	2474,6	3033	45411,55

Zdroj: vlastní zpracování

Z tabulky 46 je vidět, že program TSPKOSA použil všech čtyř metod při výpočtu nevhodnějších tras jednotlivých okruhů. Nejdéle počítal metodou větví i mezí, trvalo to v řádech několika sekund, ostatní metody byly vypočítány v podstatě ihned, což bylo dáno nízkou náročností úloh.

Tabulka 47 – Rozdíl hodnot

	Vzdálenost	Čas	Náklady
Původní trasy rozvozů	2614,8	3170	47860,7
Optimalizované trasy rozvozů	2474,6	3033	45411,55
Rozdíl	140,2	137	2449,15

Zdroj: vlastní zpracování

Jak vidno z předchozí tabulky, optimalizací tras dochází k úspoře 2 499,15 Kč týdně. Roční úspora je potom **127 355,80** Kč. Další (a mnohem výraznější) úsporou je obsluha všech míst vykládky pouze sedmi vozovými dny, čímž vniká prostor pro využití jednoho vozidla po celý den k jiným zakázkám.

Pokud bychom vycházeli z průměrných nákladů na jeden vůz z TĚTO zakázky:

$$45\,411,55 / 7 = \underline{\underline{6\,487,37}} \text{ Kč (průměrné náklady na 1 trasu/1 vůz)}$$

$$2\,499,15 + 6\,487,37 = \underline{\underline{8\,936,52}} \text{ Kč (Součet obou úspor, tedy z optimalizovaných tras a ušetření jednoho vozového dnu)}$$

Je tedy možno počítat s tím, že předpokládaná týdenní úspora nákladů, která nastala optimalizací tras a obsluhou celé zakázky pouze sedmi vozovými dny, činí **8 936,52** Kč týdně, čili **464 698,75** Kč ročně. Skutečná úspora bude záviset především na využití kapacity vozidla, které zůstalo k dispozici, a na jeho vzdálenostních a časových údajích.

Je tedy zřejmé, že existuje prostor pro zlepšení stávajícího plánu rozvozů, který povede ke snížení nákladů, a tím ke zvýšení zisku z této konkrétní zakázky.

6 Závěr

Cílem práce byla optimalizace rozvozních tras společnosti T-Team tak, aby nedocházelo ke zbytečnému růstu najetých kilometrů a času, stráveného zajištěním konkrétní zakázky. Dispečeri sledované společnosti prováděli doposud plánování tras pouze systémem zhodnocení bodů na mapě, a postupného zařazování jednotlivých bodů do tras tak, aby navazovaly plynule na sebe a nedocházelo ke zbytečným přejezdům.

Někdy se však vyplatí jet zdánlivě zbytečně dlouhou trasu, která se po uplatnění vhodných výpočetních metod a patřičného softwarového vybavení ukáže být výhodnější, než původní, od oka plánovaná trasa. V dnešní době, kdy existuje převis přepravních společností na trhu, a o zakázky se bojuje především cenou, může být každá koruna, ušetřená na nákladech, rozhodující.

Výsledná úspora byla vyjádřena jednak v zaručené míře, která vychází pouze ze snížení celkového počtu ujetých kilometrů a minut, strávených na trase, jednak v míře předpokládané, která zohledňuje fakt, že místo potřebných 4 vozů ve dvou dnech – tedy celkem 8 vozových dnů – je potřeba pouze 7. Jedno vozidlo tedy zůstává po celý den volné, a je možno jej využít k obsluze dalších zakázek, jejichž náklady a zisk nelze odhadnout. Ale dle vedení společnosti je jisté, že nezůstane nevyužit, neboť zakázek (a to stále především těch přeshraničních) mají stále dost, a největším problémem je nyní zejména dostatek jazykově vybavených řidičů. V případě stěhovacích služeb je totiž potřeba řešit operativně věci na místě, a komunikovat se zákazníky v němčině či angličtině, a většina kvalifikovaných řidičů má pouze základní jazykovou vybavenost.

Postup výpočtu a optimalizace jednotlivých tras tak, jak je ukázáno v této diplomové práci, je možno zcela určitě aplikovat v širší míře na jakýkoli okružní problém, který vzniká především malým a středním firmám. U těch je předpoklad, že doposud nemají příslušný software, který by optimalizaci navrhl adekvátním způsobem. Velmi často si jej nechtějí pořídit především z důvodu, že rozvozné zakázky jsou zatím minoritní v celkovém objemu tržeb, a mají poct, že by se investice jen velmi pomalu – či vůbec – nevrátila.

Z údajů, týkajících se zaručené a předpokládané úspory (viz předchozí kapitola) však vyplývá, že i sebedražší program má návratnost v rámci několik měsíců, či jednoho roku. I vedení námi vybrané společnosti začalo o nákupu uvažovat, protože by rádi přesunuli majoritní podíl zakázek do Čech. A jelikož vnitrozemská doprava není vzdálenostně tak náročná jako ta zahraniční, je zde silný předpoklad, že půjde především o zakázky, týkající se rozvozu či jiných okružních tras.

Na trhu je celá řada společností, nabízejících programy pro plánování dopravy, některé jsou dokonce nabízeny v základní verzi jako freeware, tedy zcela zdarma, ale pro

skutečně profesionální plánování je třeba, aby počítali i s kritérii typu mýto, váhová omezení v případě větších vozidel, velmi často se u „učí“ především v oblasti různých uzavírek, nebo pravidelných zdrženích v určitý čas na určitých úsecích, mají GPS online sledování jednotlivých vozidel, dokáží reagovat na dopravní zpravodajství apod. V těchto případech se již jedná o skutečně odborný software, kterých se může v paušálních měsíčních platbách pohybovat i v řádech desetitisíců. Zaleží tedy jen na jednotlivých společnostech, aby si spočítali, zda jim použití těchto programů sníží náklady natolik, aby byly pokryty tyto poplatky a ještě vzrostl zisk.

Vedení sledované společnosti bylo s optimalizací tras velmi spokojeno, a po zkušebním třítydenním provozu zatím využívají tento způsob plánování. Bohužel postupem času bylo zjištěno, že existuje zhruba 6% proměnlivost bodů vykládky, o kterých při sjednávání zakázky nebyla řeč, takže dispečeri teď musí každý týden provádět nový výpočet, ze kterého některé body zmizely a jiné zase přibyly. Ale s praxí se snížila doba výpočtu natolik, že jsou schopni provést optimalizaci ve dvou lidech zhruba za dvě hodiny. Nejvíce času ušetří fakt, že tabulky časů a vzdáleností jsou hotovy a jen se změní několik řádků. Z těchto tabulek potom již, pomocí funkcí v tabulkovém procesoru a softwaru TSPKOSA, dokáží k výsledku dojít velmi rychle.

Podobným způsobem lze řešit například i trasy obchodních cestujících, kteří musí jednou měsíčně objet obchodní místa, a další rozvozy či naopak svozy materiálů z/do různých míst na mapě.

Lze tedy potvrdit, že cíle této práce bylo dosaženo, a její použití lze doporučit pro praxi.

Zdroje

Citovaná literatura

BROŽOVÁ, Helena, HOUŠKA, Milan a ŠUBRT, Tomáš. 2003. *Modely pro vícekriteriální rozhodování.* Praha : Česká zemědělská univerzita v Praze, 2003. ISBN 80-2131019-3.

FÁBRY, Jan. 2011. *Matematické modelování.* Praha : Professional Publishing, 2011. ISBN 978-80-7431-066-9.

GUTIN, Gregory a PUNNEN, P., Abraham. 2002. *The travelling salesman problem and its variations.* New York : Springer, 2002. ISBN 978-1-4020-0664-0.

HOLOUBEK, Josef. 2010. *Ekonomicko-matematické metody.* Brno : Mendelova univerzita v Brně, 2010. ISBN 978-80-7375-411-2.

JABLONSKÝ, Josef. 2002. *Operační výzkum: Kvantitativní modely pro ekonomické rozhodování.* Praha : PROFESSIONAL PUBLISHING, 2002. ISBN 80-86419-41-8.

PELIKÁN, Jan. 1992. *Praktikum z operačního výzkumu.* Praha : VŠE, 1992. ISBN 80-7079-135-7.

PERNICA, Petr. 2005. *Logistika pro 21. století.* Praha : Radix, 2005. ISBN 80-86031-59-4.

PRECLÍK, Vratislav. 2006. *Průmyslová logistika.* Praha : ČVUT, 2006. ISBN 80-01-03449-6.

RAIS, Karel. 2005. *Základy optimalizace a rozhodování.* Brno : Zdeněk Novotný, 2005. ISBN 80-7355-051-2.

SIXTA, Josef a MAČÁT, Václav. 2010. *Logistika - teorie a praxe.* Brno : Computer Press, 2010. ISBN 80-251-0573-3.

STODOLA, Jiří, MAREK, Josef a FURCH, Jan. 2007. *Logistika.* Brno : Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2007. ISBN 978-80-7375-071-8.

STUSEK, Jaromír. 2005. *Logistický management.* Praha : Česká zemědělská univerzita, PEF, KŘ, 2005. ISBN 80-213-1259-9.

SVOBODA, Vladimír a LATÝN, Patrik. 2003. *Logistika.* Praha : ČVUT, 2003. ISBN 80-01-02735-X.

SVOBODA, Vladimír. 2006. *Doprava jako součást logistických systémů.* Praha : Radix, 2006. ISBN 80-86031-68-3.

SVOBODA, Vladimír, a další. 2003. *Teorie dopravy II.* Praha : ČVUT, 2003. ISBN 80-01-02774-0.

ŠUBRT, Tomáš a kolektiv. 2011. *Ekonomicko-matematické metody.* Plzeň : Aleš Čeněk, s.r.o., 2011. ISBN 978-80-7380-345-2.

Internetové zdroje

Dálnice, České. 2002-2016. Mapy dálniční sítě. *ceskedalnice.cz.* [Online] 2002-2016. [Citace: 27. 12 2016.] <http://www.ceskedalnice.cz/multimedia/mapy/site/>.

FavCars. 2012-2017. MAN TGL 8.180 2012. *FavCars.* [Online] 2012-2017. [Citace: 27. 12 2016.] <https://www.favcars.com/man-tgl-8-180-2012-wallpapers-410977.htm>.

Mapy, Google. 2017. Google mapy. *google.com.* [Online] 2017. [Citace: 20. 02 2017.] <https://www.google.cz/maps?hl=cs&tab=wl>.

Mercedes-Benz. 2013. The new Atego. *Mercedes-Benz.com.* [Online] 2013. [Citace: 27. 12 2016.] <https://www.mercedes-benz.com/en/mercedes-benz/vehicles/trucks/the-new-atego-the-new-benchmark-in-distribution-transportation/>.

POSPÍŠIL, Tomáš. 2014. Nákladní železniční doprava: význam pro národní hospodářství. *Institut pro dopravní ekonomii, geografii a politiku.* [Online] Masarykova univerzita v Brně, 2014. [Citace: 23. 12 2016.] <http://www.itregp.cz/cs/publikace/clanky/nakladni-zeleznicni-doprava-vyznam-pro-narodni-hospodarstvi>.

Tachospeed. 2017. Pracovní doba řidiče. [Online] 2017. [Citace: 28. 02 2017.] <http://tachospeed.cz/pracovni-doba-ridice/>.

WebFinance. 2016. What are logistics? definition and meaning. *BusinessDictionary.* [Online] 2016. [Citace: 21. 12 2016.] <http://www.businessdictionary.com/definition/logistics.html>.

Seznam tabulek

Tabulka 1 – Příklad symetrické matice

Tabulka 2 – Údaje o voze MAN

Tabulka 3 – Údaje o voze MB

Tabulka 4 – Body vykládky ve Středních Čechách

Tabulka 5 – Body vykládky v Západních Čechách

Tabulka 6 – Vzdálenosti bodů – 1.kvadrant

Tabulka 7 – Vzdálenosti bodů – 2.kvadrant

Tabulka 8 - Vzdálenosti bodů - 3.kvadrant

Tabulka 9 - Vzdálenosti bodů - 4.kvadrant

Tabulka 10 – Časové údaje – 1.kvadrant

Tabulka 11 - Časové údaje - 2.kvadrant

Tabulka 12 - Časové údaje - 3.kvadrant

Tabulka 13 - Časové údaje - 4.kvadrant

Tabulka 14 – Návrh 1.okruhu

Tabulka 15 - Vzdálenosti v 1.okruhu

Tabulka 16 – Časové údaje 1.okruhu

Tabulka 17 – Optimalizace trasy 1.okruhu

Tabulka 18 – Návrh 2.okruhu

Tabulka 19 - Vzdálenosti v 2.okruhu

Tabulka 20 – Časové údaje 2.okruhu

Tabulka 21 - Optimalizace trasy 2.okruhu

Tabulka 22 – Návrh 3.okruhu

Tabulka 23 - Vzdálenosti v 3.okruhu

Tabulka 24 – Časové údaje 3.okruhu

Tabulka 25 - Optimalizace trasy 3.okruhu

Tabulka 26 – Návrh 4.okruhu

Tabulka 27 – Vzdálenosti ve 4.okruhu

Tabulka 28 – Časové údaje 4.okruhu

Tabulka 29 - Optimalizace trasy 4.okruhu

Tabulka 30 – Návrh 5.okruhu

Tabulka 31 – Vzdálenosti v 5.okruhu

- Tabulka 32 – Časové údaje 5.okruhu**
- Tabulka 33 - Optimalizace trasy 5.okruhu**
- Tabulka 34 – Návrh 6.okruhu**
- Tabulka 35 – Vzdálenosti v 6.okruhu**
- Tabulka 36 – Časové údaje 6.okruhu**
- Tabulka 37 - Optimalizace trasy 6.okruhu**
- Tabulka 38 – Návrh 7.okruhu**
- Tabulka 39 – Vzdálenosti v 7.okruhu**
- Tabulka 40 – Časové údaje 7.okruhu**
- Tabulka 41 - Optimalizace trasy 7.okruhu**
- Tabulka 42 – Návrh 8.okruhu**
- Tabulka 43 – Vzdálenosti v 8.okruhu**

Tabulka 44 – Časové údaje 8.okruhu

Tabulka 45 – Původní trasy a hodnoty

Tabulka 46 – Optimalizované trasy a hodnoty

Tabulka 47 – Rozdíl hodnot

Seznam obrázků

Obrázek 2 – Logistické aktivity

Obrázek 2 - Dopravní řetězec

Obrázek 3 – Silniční a dálniční síť ČR

Obrázek 4 –MAN TGL 8.180 skříň, ilustrační foto

Obrázek 5 – Mercedes Benz Atego 1230 L, ilustrační foto

Obrázek 6 – body ve Středních Čechách

Obrázek 7 – body v Západních Čechách

Obrázek 8 – 1.okruh

Obrázek 9 – 2.okruh

Obrázek 10 – 3.okruh

Obrázek 11 – 4.okruh

Obrázek 12 – 5.okruh

Obrázek 13 – 6.okruh

Obrázek 14 – 7.okruh

Obrázek 15 – 8.okruh